



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

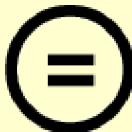
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

냉장고 축관에 따른 소비전력
특성연구



부 경 대 학 교 대 학 원

에 너 지 시 스 템 공 학 과

이 윤 태

공 학 석 사 학 위 논 문

냉장고 축관에 따른 소비전력 특성연구

지도교수 권 오 봉

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

에 너 지 시 스 템 공 학 과

이 윤 태

이윤탈의 공학석사 학위논문을
인준함.

2012년 2월



주 심 공학박사 배 대 석 印

위 원 공학박사 권 오 봉 印

위 원 공학박사 박 정 印

목 차

목차	i
Nomenclature.....	iv
초록	vi

제 I 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 관련 연구 동향.....	4
1.3 연구 목적 및 내용.....	7
제 II 장 이론적 고찰.....	10
2.1 냉동 사이클	10
2.2 냉동 사이클 계산.....	12
2.2.1 냉동 효과	12
2.2.2 압축기의 압축 일량	12
2.2.3 응축 열량	13
2.2.4 냉동 능력	13
2.2.5 성능 계수	15

제 III장 실험장치 및 방법.....	17
3.1 실험장치	17
3.1.1 양문형 냉장고.....	22
3.1.2 멀티도어 냉장고.....	25
3.2 실험방법	28
3.2.1 양문형 냉장고 환경 축소에 따른 소비전력 특성.....	28
3.2.2 멀티도어 냉장고 환경 축소에 따른 소비전력 특성...	32
3.2.3 냉장고 환경변화에 따른 소비전력 특성.....	34
3.2.4 오리피스 실험.....	35
3.2.5 가시화 실험.....	37
제 IV장 실험결과 및 고찰.....	39
4.1 오리피스 실험 결과	39
4.2 양문형 냉장고의 환경 축소에 따른 소비전력 특성.....	41
4.3 멀티도어 냉장고의 환경 축소에 따른 소비전력 특성.....	51
4.4 냉장고 환경변화에 따른 소비전력 특성실험.....	59
4.5 가시화를 이용한 이상유동 확인	67
제 V장 결 론.....	69
감사의 글.....	73

참고문헌.....	75
영문초록.....	77



Nomenclature

A	: Thermal equivalent of work
A_w	: Compressor requirement work
COP	: Coefficient Of Performance
G	: Refrigerant circulation amount
h	: Enthalpy
$\dot{m}$	: Mass flow rate
Q	: Volume flow rate
q	: Heat quantity
q_e	: Refrigerating effect per refrigerant 1kg
rev	: Number of revolution
Q	: Volume flow rate
V	: Refrigerant vapor circulation amount
v	: specific volume

Greek Symbols

ρ density

Subscripts

c : Condenser

e : Evaporator

w : Work per Refrigerant unit mass



냉장고 측관에 따른 소비전력 특성 연구

이 윤 태

부 경 대 학 교 대 학 원
에 너 지 시 스템 공 학 과

초 록

냉장고의 제작과정에서 배관의 굵힘이나 용접불량에 따른 관경 축소가 발생하고 이에 따른 소비전력 특성을 알아보고자 실험적 연구를 수행하였다. 냉장고의 부품 가운데 저압부에 해당하는 증발기 출구부분과 흡입라인에서 관경 축소에 따른 증발압력이 감소하고, 소비전력은 크게 영향을 받는다. 그리고 시차분할 멀티사이클 방식의 냉장고에 비해 간냉식 냉각방식의 냉장고 경우 저압부의 관경 축소에 따른 소비전력 증가가 크다. 외기온도가 30℃일 때 환경 변화(관경 축소, 외기온도, 고내 노치온도)에 따른 소비전력 영향이 컸고, 가정에 있는 냉장고의 노치온도를 높게 설정하면 최대 20%의 소비전력을 절약할 수 있다. 배관의 변형을 고려했을 때, 관경이 축소될수록 소비전력은 증가했고 이들이 선형적인 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

제 1장 서 론

1.1 연구 배경

전 세계적인 에너지 고갈 및 지구 온난화 문제로 국제사회에서는 에너지 및 환경규제를 강화하고 있으며 국내 가전사업의 경우 수출중심의 구조로 인해 에너지 및 환경규제에 대한 압박이 매우 큰 상태이다. 전기를 동력원으로 사용하는 가정용 냉장고(domestic refrigerator)의 경우도 최근 들어 소비전력량 규제를 위한 시험규격이 개정되고 에너지 사용량에 대한 허용기준이 새로 마련되는 등, 냉장고의 에너지소비를 줄이기 위한 정부차원의 규제가 본격화되고 있다. 이에 따라, 냉장고 제조업체를 중심으로 가정용 냉장고의 소비전력량 저감을 위한 여러 가지 방안이 강구되고 있으며, 그 방안의 하나로써 냉장고 사이클을 보다 효율적으로 개선하여 냉장고 및 냉동 시스템의 에너지 효율을 증가시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.[1] 최근 냉장고 내의 넓은 공간과는 반대로 기계실의 경우 점점 더 협소해 지고 있다. 이렇게 컴팩트한 기계실을 구성하기 위해 사이클 유로를 굽히고, 냉동시스템 연결부의 수작업에 의한 용

접으로 인해 용접불량이 발생하는 경우가 있고 이러한 용접불량에 따라 Fig.1.1과 같은 파이프 관경의 축소(reduced pipe)가 되고 Fig.1.2와 같은 굽힘에 의한 굽은 관(bended pipe) 발생하게 된다. 이러한 사이클 원형을 변형으로 압력변화 폭이 커지므로 지시 일량이 증가하고 단열효율 및 체적효율이 감소한다. 원형을 변형으로 인해 소비전력 표시치의 산포가 발생되고 제품에 대한 소비자의 클레임이 증가하는 추세이다. 본 연구는 이러한 냉장고 소비전력 표시치의 산포를 개선하기 위한 방안을 세우기 위해 냉장고 냉동시스템 주요부분에 관경 축소 시뮬레이션을 설치하여 이에 대한 소비전력과 온도, 압력을 측정하여 냉장고 성능특성에 대해 알아보고 또한 외기온도와 고내 노치온도를 바꿔가며 환경변화에 따른 소비전력 특성을 파악하는 것이다. 그리고 현재 가정용 냉장고의 경우 중국 및 인도 등 개발도상국들의 발전으로 인해 냉장고의 수요는 꾸준히 증가하고 있으며 소비자의 생활수준 개선으로 인해 대형화, 고급화 되는 추세이고 세계시장에서 R-134a와 R-600a (iso-butane) 냉매가 함께 사용되고 있으며 이로 인해 사이클 개발 시 R-134a와 R-600a 냉매에 대한 동시 대응이 필수적인 상황이다.[2] 따라서 R-134a와 R-600a 냉매 각각의 원형을 변형과 환경변화에 따른 냉장고의 소비전력 특성 연구를 하고자 한다.

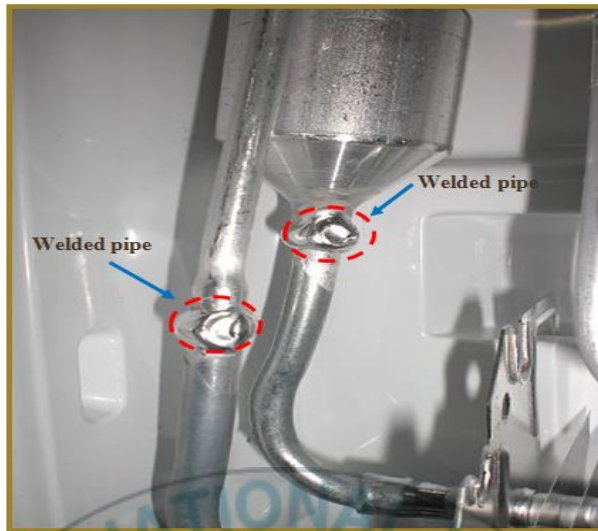


Fig.1.1 Example of welded pipe.

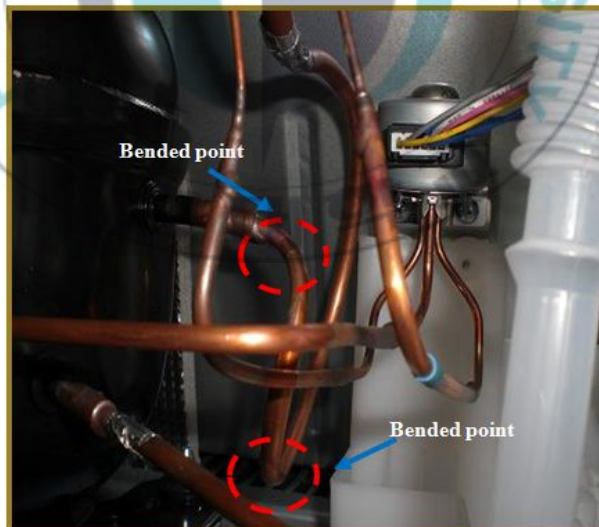


Fig.1.2 Example of bended pipe.

1.2 관련 연구 동향

냉장고 성능에 관한 최근 연구 동향은 실험적 방법과 모델링에 의한 해석적인 방법들이 병행되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 냉동시스템을 따로 구성하여 성능과 관련한 연구가 관심의 대상이었고[3], 현재 탄화수소계 냉매에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 기존에 냉장고용 냉매로 주로 사용되었던 R134a의 대체, 혼합냉매의 적용을 통한 효율 향상과 냉장고 효율 향상에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 680Liter 양문형 냉장고를 대상으로 하여 R134a 냉매를 R600a로 대체하고, 정속형 압축기를 인버터 압축기로 변경하여 성능 변화에 대한 연구 결과를 발표하였다. 냉매 충전량, 모세관길이 및 압축기 회전수의 최적화와 고내 팬 제어를 통하여 냉장고의 소비전력을 22.0% 개선시켰다고 발표하였다.[4] 또 냉장고 소비전력 특성에 관한 연구는 각 사이클 부품의 성능 개선이나 냉각방식의 개발을 통한 소비전력 저감에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 사이클 부품개선의 연구로 냉장고의 비정상 상태에서 충전된 냉매의 질량 분배에 대한 연구를 하였다. on/off 운전이 이루어지는 냉장고의 사이클 손실이 9~11% 수준의 성능 악화를 야기한다고

주장하였다. 그리고 냉장고의 on/off 사이클에서 고압 측과 저압 측에서의 냉매의 질량 배분을 연구하여 압축기 가동 초기 3분 동안 증발기에서의 냉매는 부족하게 되나, 모세관 입구에서의 과냉 발생으로 인한 유량 증가로 인하여 이 같은 냉매부족 현상이 없어지게 된다. 이후 냉매유량은 모세관 입구에서의 이상상태와 어큐물레이터(accumulator)에서 액 냉매의 tapping으로 적정 순환유량을 가지게 되며, 이 같은 사이클 on/off 손실을 저감하기 위해서는 인버터 압축기의 적용이 가장 바람직한 방법이라 하였다.[5] 이어서 인버터 압축기를 사용한 3실형 멀티시스템 에어컨 냉방 특성 실험에서 3실 동시 운전일 경우 각 실내기의 냉방능력은 설정온도가 실내온도에 근접할수록 감소하고 냉방용량이 작은 실내기에 비해 냉방능력 감소폭이 큰 것을 알아냈다. 또한 설정온도가 증가할수록 압축기의 압력차가 감소하여 각 실내기를 지나는 질량유량은 감소하였고, 용량이 비슷한 실내기의 질량유량은 거의 유사하게 조절되었으며, 시스템의 소비전력은 설정온도가 증가할수록 감소하였고, COP는 소비전력의 감소에 비해 냉방능력의 감소가 상대적으로 적어서 증가하는 것을 밝혀냈다.[6] 그리고 냉각방식 개발의 연구로 시차분할(time-sharing) 방식의 멀티 사이클에 관한 연구를 하였다. TDM(Time Divided Multi-evaporator & expansion Cycle)사이클은

압축기, 응축기, 3방향밸브, 3개의 모세관 및 2개의 증발기로 구성되어있다. 이 사이클은 냉장 또는 냉동실의 부하에 따라 3방향밸브의 유로를 변경하고 2개의 증발기를 직렬로 연결하여 사용하거나 또는 하나의 증발기만을 사용하도록 제어된다. 모세관 사양과 냉매 충전량을 변경하면서 시스템의 성능을 평가하여 냉장고의 내용적당 소비전력이 단일 증발기 사이클이나 듀얼 루프(Dual loop) 사이클보다 26% 이상 감소한다고 하였고, 냉장고 습도도 단일 증발기 사이클보다 2.8배 높아 고습 유지에 유리하다고 발표하였다.[7] 최근까지 실제 냉장고를 실험대상으로 한 소비전력의 특성 연구는 상대적으로 데이터 측정을 위한 장비 설치 및 조작 등 다루기가 불편한 점이 있어 상대적으로 관심이 적다. 그리고 사이클 배관의 원형을 변형에 따른 실제적인 소비전력 영향도에 관한 연구는 거의 없었다.

1.3 연구목적 및 내용

근래에 소비자의 생활수준 향상과 건강 및 편의생활에 대한 관심이 높아짐에 따라 냉장고를 비롯한 가전제품들은 고급화, 다양화, 대형화되기 시작했으며, 최근에는 그 추세가 더욱 확대되고 있다. 이와 더불어 고유가로 인한 에너지 관련 비용의 증가로 에너지 절감형 제품에 대한 소비자와 시장의 수요 또한 증가하고 있다. 국내 냉장고 시장은 해마다 급격히 성장하여 2007년 국내 양문형 냉장고 시장 규모는 8500억원으로 성장하였으며, 김치냉장고 또한 2000년 165만대의 판매량을 보인 이후 매년 100만대 이상의 보급이 이루어지고 있으며, 2007년 이후로는 Stand style로 제품의 변화가 이루어지고 있다. 그리고 정수기, 와인 냉장고와 전문 냉동고의 수요도 증대되고 있다. 한 가정에서 다수의 냉장고를 사용하는 현상으로 고급화, 다양화, 대형화로 냉장고가 발전한 반면 소비전력은 오히려 악화되어 문제가 제기되기도 하였다. 즉 시장은 냉장고의 본질기능(신선보존, 고습)에 충실하고 친환경 절전기능을 갖춘 냉장고를 요구하고 있다.[8] 따라서 냉장고의 고효율화 및 고급화와 미래기술 확보를 통하여 제품의 부가가치를 향상시키는 노력과 연구가 필요하며, 이러한 연구의 한 방편으로 R600a와 R134a 냉매를 이용하는

냉장고의 소비전력 절감을 위한 연구는 매우 큰 의미를 가질 것이다. 이렇게 대형 양문형 냉장고의 시장의 요구에 맞추어 점점 더 큰 고내공간을 창출해야 함에 따라 더 컴팩트한 기계실을 제작하게 됨으로써 많은 냉동사이클 주요 부분의 파이프는 굵힘에 의한 굽은 관이 생기고, 또 Table1.1에서 보는 바와 같이 부품의 조립 및 배관의 연결에 다수의 화염 브레이징 기술이 일반적으로 적용되고 있다.

Table1.1 The number of brazing points in refrigeration equipment

components		refrigerator
compressor		5
condenser		-
evaporator		19
pipes	Sub ASM.	13
	Manin ASM.	19
Total		56

화염 브레이징 공법은 작업자의 숙련도에 따라 품질이 크게 의존하기 때문에 명확한 품질요인을 설정, 관리하기 어려워서 과열(over heat)에 의한 크랙이나 납재량을 과다하게 사용하는 문제점 등이 있다. 고주파 브레이징이 냉매 압축기 및 어큐물레이터 등과 같은

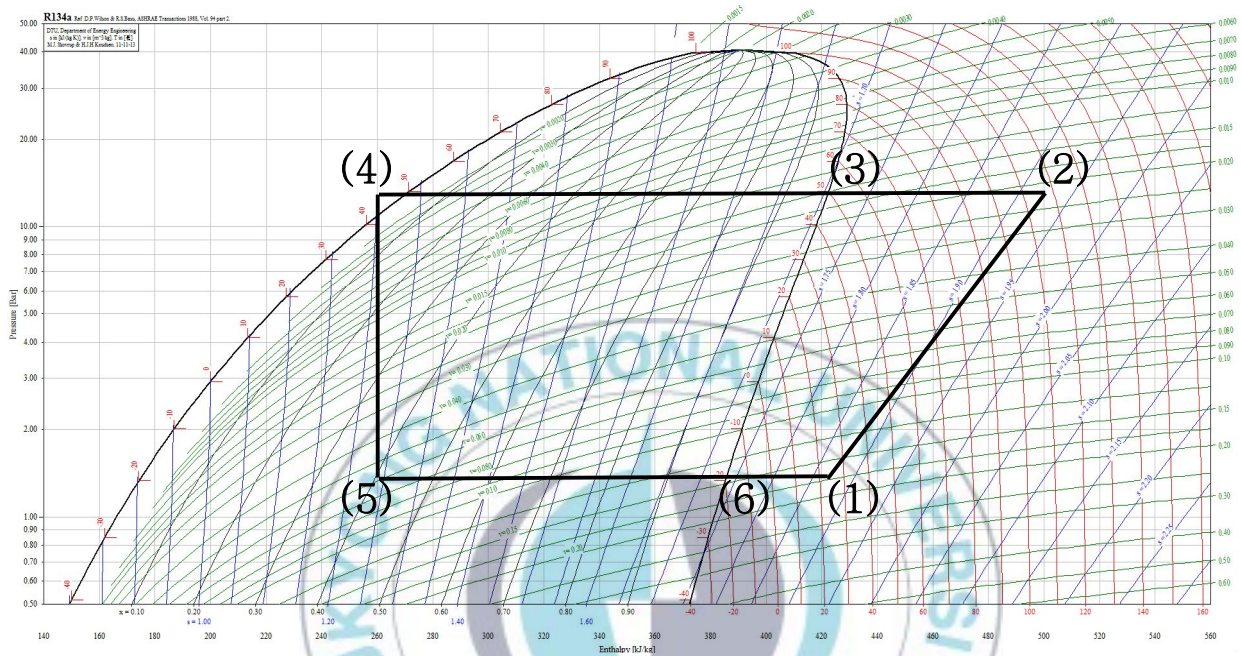
비교적 단순한 조립공정에 일부 적용되고 있으나, 냉장고 또는 에어컨을 완성하는 냉동 사이클 조립공정에서는 제품이 컨베이어(conveyor) 상에서 연속적으로 이송되며 공간이 협소하고, 빠른 작업시간이 요구되기 때문에 지금까지는 대부분 화염브레이징이 적용되어[9] 왔고 이로 인해 관경 축소(reduced pipe)가 발생되고 있다. 이런 관경 축소로 인해 사이클 효율 변화 및 소비전력 표시치 산포가 발생하게 되었다.

본 연구에서는 이러한 냉장고 소비전력의 표시치 산포 발생에 대한 개선책을 찾기 위해 사이클 각 부품에서의 원형을 변형에 따른 소비전력 영향도를 분석하고 소비전력과의 상관관계를 도출하고자 한다. 그리고 최근 R-134a와 R-600a 냉매가 함께 사용되고 있는 세계시장의 추세에 따라 R-134a와 R-600a 냉매에 대한 동시 대응을 하기 위해 R-134a와 R-600a 냉매 각각의 원형을 변화에 따른 소비전력 특성을 알아보고, 이러한 원형율의 변화뿐만 아니라 외기온도와 냉장고내 노치온도 같은 환경변화에 따른 소비전력 특성을 알아보고자 한다. .

제 II 장 이론적 고찰

2-1 냉동사이클

냉동시스템에서 R134a 냉매 상태 변화는 Fig.2.1에 압력-엔탈피 선도(P-h diagram)에 나타내었다. 압축기 입구에서 냉매는 저압·과열의 (1)상태로 압축기에 유입되고 압축기에 의하여 냉매는 (2)와 같이 고온 고압의 증기 상태로 토출된다. 압축기에서 토출된 고온 고압의 냉매는 압축기와 응축기 연결 관을 지나면서 냉각이 발생하고 (3)의 상태로 응축기로 유입되어 2차 유체와 열 교환 과정을 통하여 액상의 (4)상태로 냉각된다. (4)상태에서 냉매는 팽창장치인 모세관을 통과하여 저온·저압의 이상 상태인 (5)상태가 된다. (5)상태의 냉매는 냉장실과 냉동실 증발기를 순차적으로 유동하며 2차 유체와 열 교환하여 과열증기 상태인 (6)상태로 되고 흡입(Suction)배관을 지나며 SLHX (Suction line heat exchanger)에 의해 추가 과열되어 과열증기 상태인 (1)지점으로 되돌아가 압축기로 유입되는 냉동 사이클을 구성한다.[9]



2-2 냉동사이클의 계산

2.2.1 냉동효과

단위질량의 냉매가 증발기 내에서 흡입하는 열량으로 증발기 내를 흐르는 단위 냉매의 엔탈피 차이를 냉동효과라고 한다. Fig.2.2에서 증발기 입·출구 지점을 4, 1 점이라고 하면 냉동효과는 다음 (2-1)식과 같이 계산한다.

$$q_e = h_1 - h_4 [\text{kcal/kg}] \quad (2-1)$$

2.2.2 압축기의 압축일량

압축기가 증발기로부터 흡수한 냉매가스를 압축하는데 필요한 동력의 단위 시간당의 일량($\text{kg}_f \cdot \text{m/h}$)을 열량으로 환산하기 위해서는 일의 열당량 $A = 1/427 (\text{kcal/kg}_f \cdot \text{m})$ 를 곱하여야 한다. 그러나 물리에르선도 상에서는 Fig.2.2와 같이 일을 직접 열량으로 구할 수 있다. 즉, 냉매 1kg을 압축하는데 필요한 일의 열당량은 압축과정의 엔탈피 차로 다음 (2-2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_w = h_2 - h_1 [kcal/kg] \quad (2-2)$$

2.2.3 응축열량

Fig.2.2에서와 같이 압축기에서 토출된 냉매 가스는 응축기에서 열을 방출하고 응축하게 되는데, 이때 방출하는 열량은 에너지 보존 법칙으로부터 (2-3)식과 같이 증발기에서 흡수한 열량과 압축기에서 주어진 일량의 합으로 구할 수 있다.

$$q_c = q_e + A_w [kcal/kg] \quad (2-3)$$

$$q_c = (h_1 - h_4) + (h_2 - h_1) = h_2 - h_4 [kcal/kg], h_3 = h_4$$

2.2.4 냉동능력

냉동장치에서 필요한 냉동능력을 얻기 위해서는 얼마만큼의 냉매량을 증발기에 공급하여 증발시켜야 하는가 즉, 단위 시간당 몇 kg의 냉매량이 증발기에 공급되는 가를 나타낸 것이 냉매순환량이며, 냉동능력은 식(2-4)와 같이 냉매 순환량과 주어진 조건하에서 냉매

1kg이 흡수 할 수 있는 냉동효과와의 곱으로 계산한다.

$$Q_e = G \cdot q_e \quad (2-4)$$

Q_e : 냉동능력 ($kcal/h$)

q_e : 선도에서 구한 냉매 1kg당 냉동효과 ($kcal/kg$)

G : 냉매순환량 (kg/h)

그러나 필요한 냉동능력을 얻기 위하여 공급되는 냉매 순환량을 처리하는 압축기의 크기를 결정하기 위해서는 이 냉매 순환량을 압축기의 흡입 가스량 $V(m^3/h)$ 으로 환산해야 한다. 흡입가스량 환산을 위하여 압축기 입구 냉매상태에서 냉매의 비체적을 알아야 한다. 따라서 다음 식에 의하여 냉매 증기순환량(압축기의 피스톤 압출량) $V(m^3/h)$ 을 식(2-5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$V = Gv = \frac{Q}{q_e} v = \frac{Qv}{h_1 - h_4} \quad (2-5)$$

2.2.5 성능계수

냉동사이클의 효율을 나타내는 데는 성능계수(Coefficient of Performance, COP)가 사용된다. 일반적으로 열기관에서는 효율이란 용어를 사용하는데, 냉동사이클은 열기관과 달리 열을 저온에서 고온으로 이동시키는 열펌프 작용을 하므로 압축기에 가해진 일량과 실제 출력으로 나타나는 일 즉, 냉동효과를 비교하면 냉동효과 쪽이 훨씬 큰 값이 된다. 따라서 일반적으로 효율이라 부르지 않고 성능계수라고 부른다. Fig.2.2에서 성능계수를 구하면 식(2-6)과 같다.

$$\text{성능계수}(COP) = \frac{\text{냉동효과}(q_e)}{\text{압축기소요일량}(A_w)} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (2-6)$$

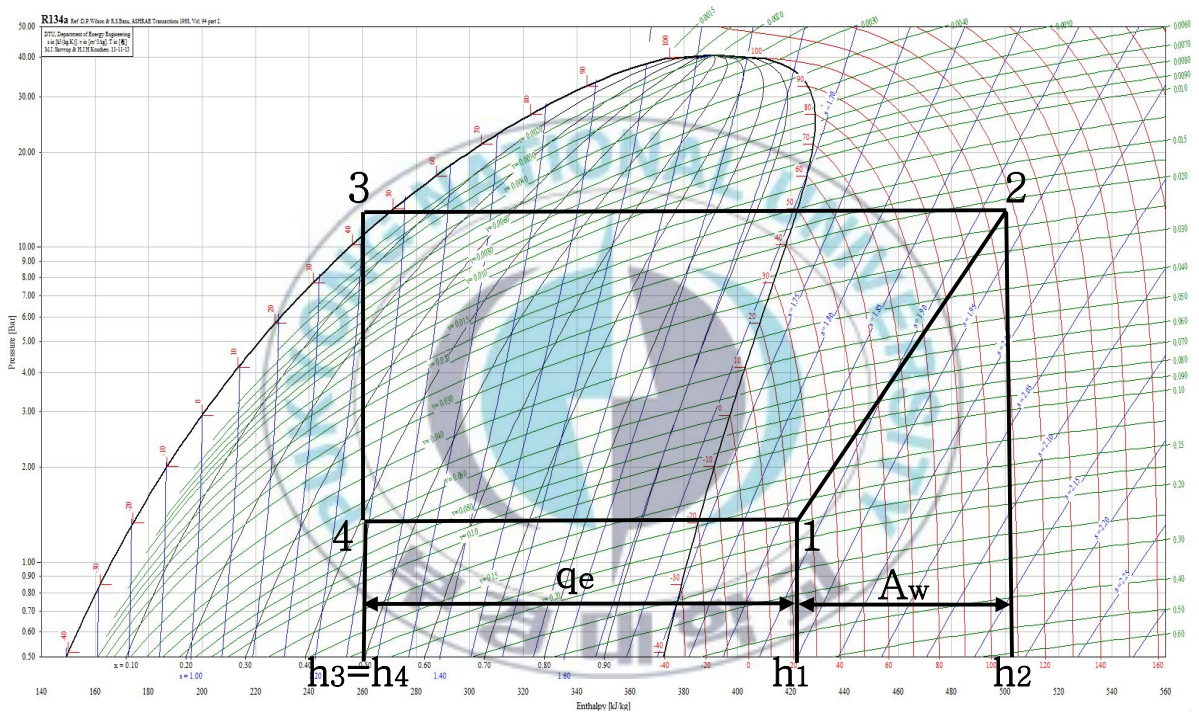


Fig.2.2 Calculation of refrigeration cycle

제 Ⅲ장 실험장치 및 방법

이 장에서는 본 연구에 사용된 실험 장치에 대한 구성과 각 부분의 기능을 살펴보고, 실험방법에 대한 설명을 논의하도록 한다.

3.1 실험 장치

본 실험의 장치는 냉장고의 항온항습을 위한 Fig.3.1의 항온항습 챔버가 있고 냉장고의 기계실, 냉장실, 냉동실 및 외부의 온도 측정을 위해 Table3.1의 20곳에 T형 열전대(구리-콘스탄탄)를 설치하였고, 냉동 사이클의 주요 부분의 압력 측정을 위해 압력 트랜스듀서(Wise사)를 설치하였다. 또 측정된 온도와 압력 데이터를 수집하기 위한 Fig.3.2의 데이터로거(YOKOGAWA사)와 냉장고에서 소비한 에너지를 측정할 수 있는 디지털 전력분석기(CHAUVIN ARNOUX사), 측정된 데이터를 저장 하기위한 컴퓨터가 있다. 실험에 사용된 양문형 냉장고와 멀티도어 냉장고의 냉매로는 R600a와 R134a가 있고 그 물성치는 Table3.2에서 알 수 있다. Fig.3.3에 기계실의 위치와 데이터 측정 포인트를 온도는 빨간색으로 압력은 파란색으로 표

시하였다. 이 밖에도 냉장고 배관의 관경 축소 시뮬레이션을 하기 위한 니들밸브(swagelok사)와 니들밸브를 통한 원형 변형율과 실제 배관의 원형 변형율과의 관계를 알아보기 위해 아크릴 수조, 오리피스, 디지털미디어 카메라를 사용하여 규명하는 실험을 하였고, 추가로 증발기의 출구부의 이상유동의 거동을 확인하기 위한 가시화 실험에 파이렉스튜브(pyrex tube)와 카메라(nikon D100)를 사용하였다.





Fig.3.1 Constant temperature and humidity chamber



Fig.3.2 Data logger and Power analyzer

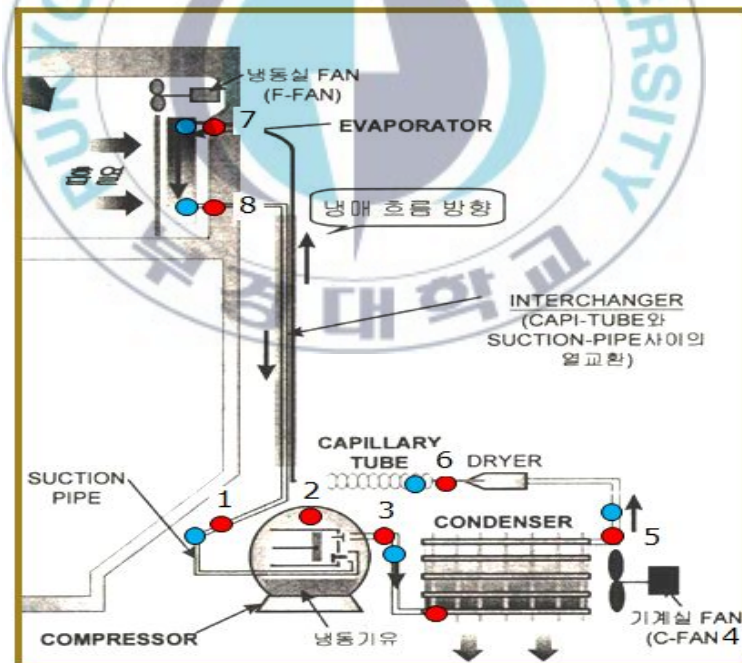


Fig.3.3 Temperature and Pressure measurement point

Table 3.1 Measurement point of temperature

Number	Temperature Point	Number	Temperature Point
1	Suction pipe	11	R-3
2	Comp. dome	12	R-4
3	Discharge pipe	13	F-eva. in
4	Condenser in	14	F-eva. out
5	Condenser out	15	F-1
6	Dryer out (Capillary tube)	16	F-2
7	R-eva.. in	17	F-3
8	R-eva. out	18	F-4
9	R-1	19	Ambient
10	R-2	20	Ambient

Table 3.2 Thermodynamic properties of R134a and R600a

Refrigerant	unit	R-134a	R-600a
Name	–	Tetrafluoroethane	Iso-butane
Chemical formula	–	CF ₃ CH ₂ F	C ₄ H ₁₀
Molecular weight	–	102.0	58.1
Normal Boiling point	°C	-26.1	-11.7
Critical temperature	°C	101.1	135
Critical pressure	<i>kPa</i>	4067	3645
Critical volume	<i>L/kg</i>	1.8	4.5

3.1.1 양문형 냉장고 (Side-by-side refrigerator)



Fig.3.4 Side-by-side refrigerator

본 연구는 냉동시스템을 따로 구성하여 진행 하는 것이 아닌 실제 가정용 냉장고를 이용하여 관경 축소 시뮬레이션을 하고 소비전력, 온도, 압력 등을 측정하게 된다. Fig.3.4는 R600a 냉매를 사용하고 시차분할 멀티사이클(Time Divided Multi cycle)을 적용한 양문형 냉장고(Side-by-side refrigerator)이다. 이 TDM 사이클은 냉매의 유동에 따라 2가지 방법의 운전조건을 갖고 있다. 냉장냉동 동시운

전에서는 3 방향밸브를 통과한 냉매가 냉장 측 모세관을 지나 냉장 실 증발기(R-eva)에서 흡열한 후 중간 모세관(C-capi)을 거쳐 냉동 실 증발기(F-eva)에서 다시 한 번 흡열하는 과정으로 기존의 직렬 냉각방식과 동일한 방법으로 운전하게 된다. 냉동실 단독운전 조건에서는 3 방향밸브를 통과한 냉매가 냉동 측 모세관을 지나 냉동실 증발기에서 흡열하는 과정으로 냉장냉동 운전조건에서 충족되지 못한 냉동실 용량을 보조하게 된다. 냉장고의 응축기는 구리 튜브 및 알루미늄 흰으로 제작되었으며, 냉동 리니어 압축기는 미네랄 오일을 사용하고 무극성인 R600a (isobutane) 냉매로 작동되며 해당 냉장고 최적 냉매 충전량인 82g의 냉매를 충전하였다. Fig.3.5는 양문형 냉장고 실험의 계략도이다. 냉장고 배관의 관경 축소 시뮬레이션을 위해 압축기, 응축기, 모세관, 냉장실증발기(R-eva) 입, 출구 및 냉동실증발기(F-eva) 입, 출구에 니들밸브 (Needle Valve)를 설치하고 관경 축소에 의한 압력 측정을 위해 압력 트랜스듀서 8개를 설치하고, 냉동시스템 주요부와 냉장실, 냉동실, 외부온도 등 총 20개의 T형 열전대를 설치하여 온도를 측정하고, 니들밸브의 개/폐를 통해 open, 2-rev., 4-rev., 6-rev., 8-rev. 에 대해 관경 축소에 따른 소비 전력 영향에 대한 실험을 하였다.

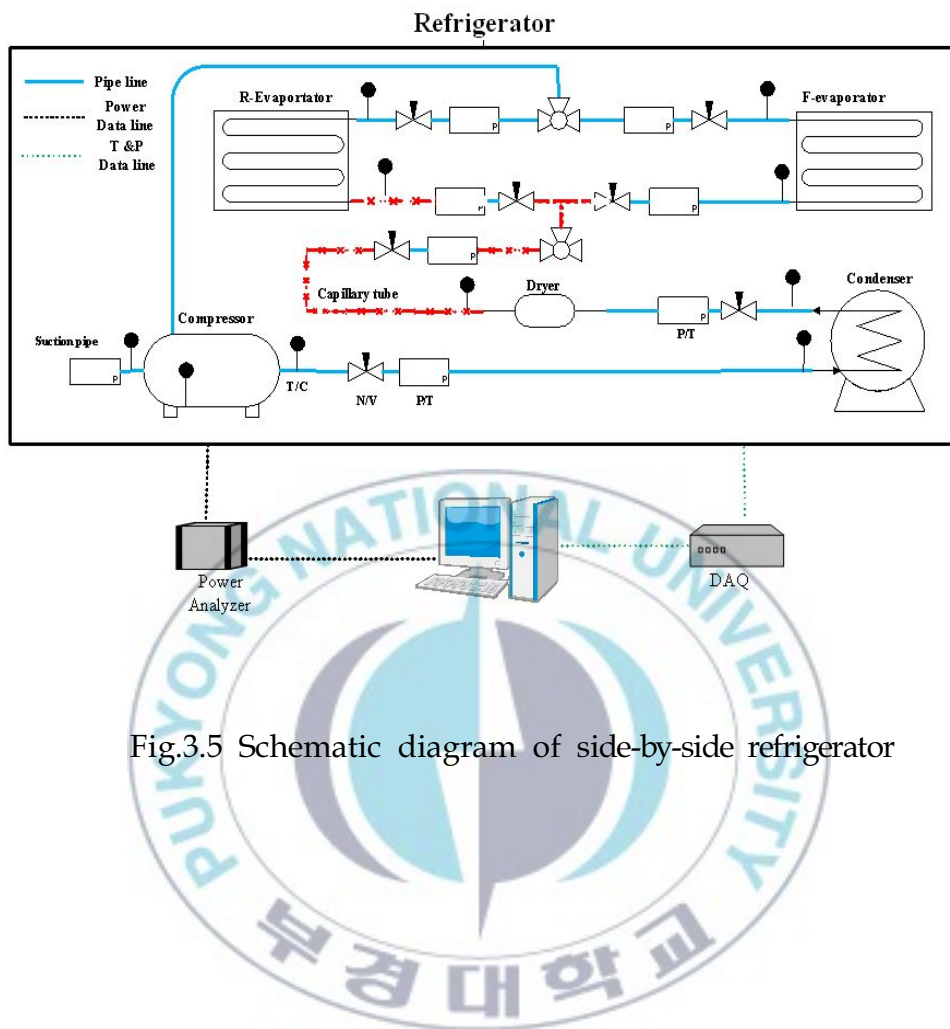


Fig.3.5 Schematic diagram of side-by-side refrigerator

3.1.2 멀티도어 냉장고 (Multi door refrigerator)



Fig.3.6 Multi door refrigerator

Fig.3.6의 멀티도어 냉장고(Multi door refrigerator)는 간접 냉각방식 즉 간냉식(Indirect cooling)을 적용하였고 이러한 간냉식은 우리나라를 비롯한 미국 및 일본 등지에서 주로 사용하는 방식으로 팬을 이용하여 냉동실에 설치된 하나의 증발기 주위로 냉동실과 냉장실 내부의 공기를 순환시켜 냉각하는 방식이다. 냉장고의 응축기는 구리 튜브 및 알루미늄 환으로 제작되었으며, 냉동실 내부의 뒷 벽면에

장착된 증발기에서 압축기로의 흡입라인(suction line)과 모세관(capillary tube)을 접합시켜, 증발기 출구에서의 저온 증기 냉매를 이용하여 응축기 출구의 냉매를 과냉시켜 시스템 효율을 증가시키는 액체-흡입 열교환기(liquid suction heat exchanger)가 장착된 상태로 운전하였다. 압축기는 냉장고 온도조절 장치에 의해 on/off 작동을 하며 리니어 압축기가 사용되었다. 압축기는 R134a 냉매로 작동되며 해당 냉장고 최적 냉매 충전량인 125g의 냉매를 충전 하였다. Fig.3.7은 멀티도어 냉장고 실험의 계략도 이다. 압축기, 응축기, 모세관, 증발기 입, 출구 및 흡입라인에 니들밸브 (Needle Valve)를 설치하고 관경 축소에 의한 압력 측정을 위해 압력 트랜스듀서 6개를 설치하고, 냉동시스템 주요부와 냉장실, 냉동실, 외부 온도 등 총 18개의 T형 열전대를 설치하여 온도를 측정하고, 니들밸브의 개/폐를 통해 open, 2-Rev., 4-Rev., 6-Rev., 8-Rev. 에 대해 관경 축소에 따른 소비전력 영향에 대한 실험을 하였고 아이스메이커를 오프모드로 설정을 하고 무부하 실험을 진행하였다.

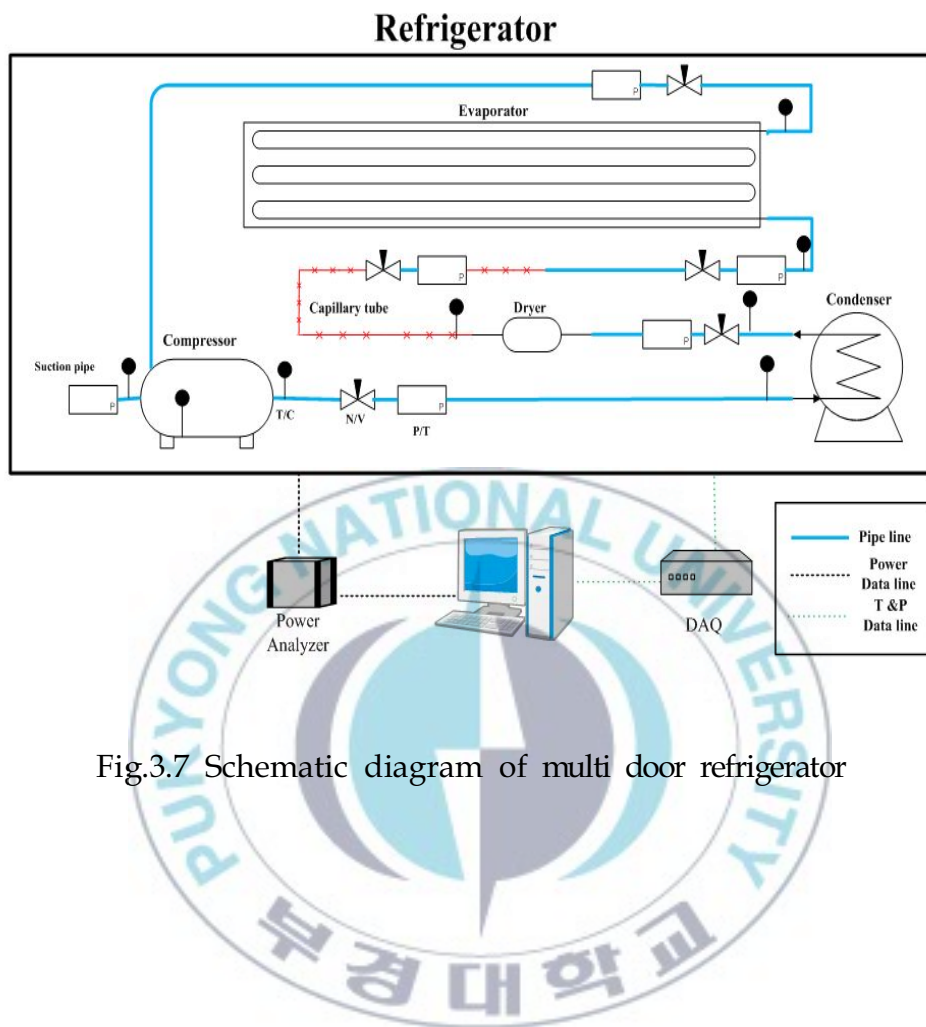


Fig.3.7 Schematic diagram of multi door refrigerator

3.2 실험방법

3.2.1 양문형 냉장고 환경 축소에 따른 소비전력 영향도

양문형 냉장고의 배관의 원형 변형율에 따른 소비전력 영향도를 확인하기 위해 Fig.3.8의 기계실의 배관을 절단하여 Fig.3.9와 같이 냉동시스템의 주요 기계실의 압축기, 응축기, 모세관의 출구, 그리고 Fig.3.10의 냉장실증발기(R-eva) 입, 출구, 이 밖에도 Fig.3.11의 냉동실증발기(F-eva) 입, 출구에 니들밸브와 압력 트랜스듀서 및 열전대를 설치하였고, 그 중에서 냉장실과 냉동실의 균일한 냉장성능 확인을 위해 각 층에 4개씩 총8개의 열전대를 설치하고 외부에도 2개의 열전대를 설치 후 냉장고를 진공시켰다. 해당 냉장고 최적 냉매 충전량인 R600a 냉매를 82g 충전 후 냉장실 온도 5°C 냉동실 온도 -20°C 로 설정 후 무부하 상태로 초기 24시간을 가동하였다. 항온항습 챔버의 온도는 30°C (2007년 이전 KS규격)로 고정된 상태에서 각 부분의 니들밸브의 개/폐를 통해 open, 2-Rev., 4-Rev., 6-Rev., 8-Rev. 환경을 축소시키고, 실험 1회당 타이머를 5시간씩 하여 최소 5사이클은 기록될 수 있도록 하였다. 한 케이스가 끝나면 다음 실

험까지 안정화 시간을 2시간씩 줌으로써 앞의 실험에 의한 영향을 최소화 하도록 하였다. 그리고 데이터수집 장치를 통해 5초 간격으로 온도와 압력데이터를 수집하여 기계실 및 증발기의 입, 출구는 압축기 on time 에서의 평균을 적용하고, 냉장실 냉동실은 total time을 적용하였다. 전력분석기 또한 5초 간격으로 소비전력을 측정하여 제상구간을 제외한 적산전력을 계산하였다.

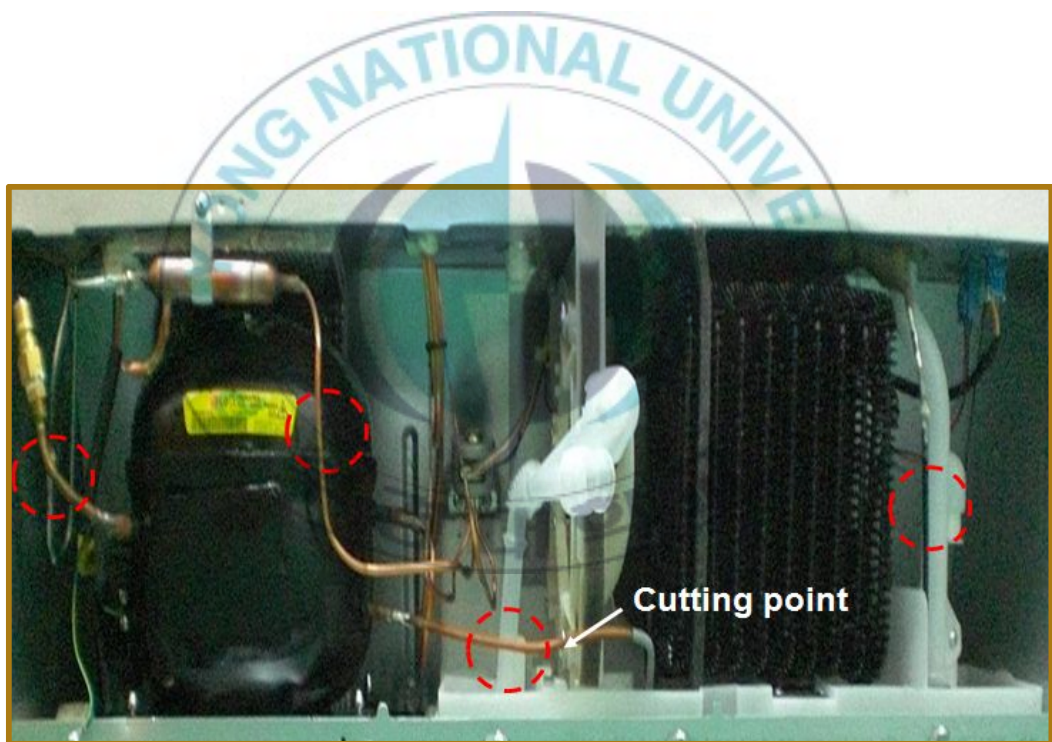


Fig.3.8 Installation point of needle valve

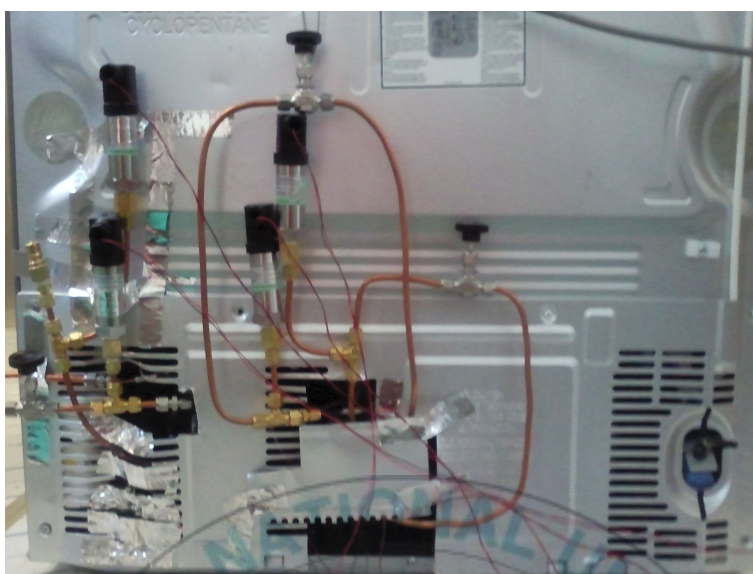


Fig.3.9 Installation of needle valve



Fig.3.10 Installation point of needle valve on R-eva.

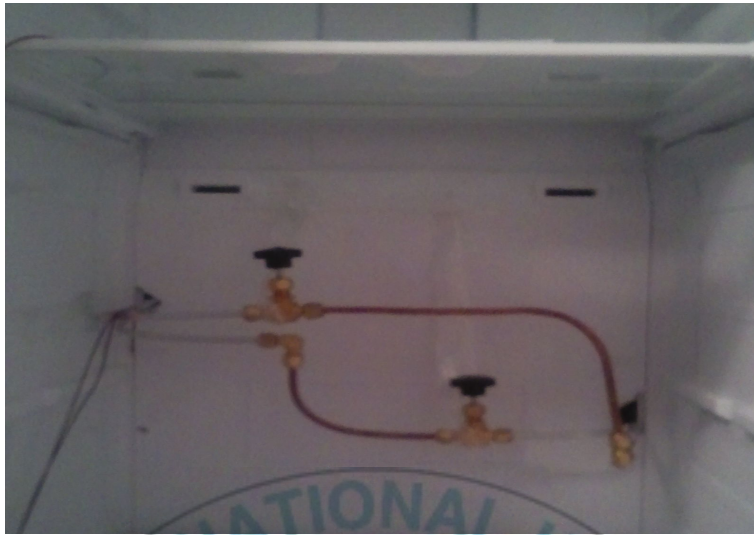


Fig.3.11 Installation of needle valve in R-room



3.2.2. 멀티도어 냉장고 환경 축소에 따른 소비전력 영향도

멀티도어 냉장고의 배관의 원형 변형율에 따른 소비전력 영향도를 확인하기 위해 위의 양문형과 같은 방법으로 Fig.3.8의 기계실의 배관을 절단하여 Fig. 3.9와 같이 냉동시스템의 주요 기계실의 압축기, 응축기, 모세관의 출구, 그리고 증발기출구에 니들밸브와 압력 트랜스듀서 및 열전대를 설치하였고, 냉장실의 균일한 냉장성능 확인을 위해 5개의 열전대를 설치하고 냉동실은 층의 구분이 없어 냉기류의 직접영향을 최소화 하기위해 동구의 홀에 열전대를 삽입 후 각 선반의 밑면으로부터 1/3높이에 동구를 설치하여 측정하였고, 외부에도 2개의 열전대를 설치 후 냉장고를 진공시켰다. 해당 냉장고 최적 냉매 충전량인 R134a 냉매를 125g 충전 후 냉장실 온도 5°C 냉동실 온도 -20°C 로 설정 후 무부하 상태로 초기 24시간을 가동하였다. 항온항습 챔버의 온도는 30°C (2007년 이전 KS규격)로 고정된 상태에서 각 부분의 니들밸브의 개/폐를 통해 open, 2-Rev., 4-Rev., 6-Rev., 8-Rev. 환경을 축소시키고, 멀티도어 냉장고의 경우 1사이클의 시간이 길고 사이클이 양문형냉장고에 비해 불안정하여 실험 1회당 타이머를 8시간씩 하여 최소 5사이클은 기록될 수 있도록 하

였다. 한 케이스가 끝나면 다음 실험까지 안정화 시간을 2시간씩
줌으로써 앞의 실험에 의한 영향을 최소화 하도록 하였다. 그리고
데이터수집 장치를 통해 5초 간격으로 온도와 압력데이터를 수집하
여 기계실 및 증발기의 입, 출구는 압축기 on time 에서의 평균을
적용하고, 냉장실 냉동실은 total time의 평균값을 적용 하였다. 전
력분석기 또한 5초 간격으로 소비전력을 측정하여 제상구간을 제외
한 적산전력을 계산하였다. 그리고 두 냉장고 모두 저압부의 관경
축소가 소비전력에 미치는 영향이 크다는 결과가 도출되어 증발기
출구부분보다 더 저압부인 흡입라인(Suction line)에 추가로 니들밸
브(N/V)를 설치하고 배관의 관경을 축소시키고 원형 변형율에 따
른 소비전력 특성을 알아보는 실험을 위와 같은 방법으로 진행하였
다.

3.2.3 냉장고 환경변화에 따른 소비전력 특성실험

냉장고의 배관 원형 변형율에 따른 소비전력 특성에 관한 연구에 이어서 배관 원형 변형율과 냉장고의 환경변화(외기온도, 노치온도)에 따른 소비전력 특성에 관한 실험을 진행하였다. 양문형 냉장고와 멀티도어 냉장고의 배관 원형 변형율에 따른 소비전력 영향도가 가장 큰 부분이었던 증발기 출구부분의 원형 변형율과 외기온도와 노치온도를 바꿔가며 환경변화에 따른 소비전력 특성을 알아보는 실험을 진행하였다. 실험계획법에 따라 원형 변형율과 외기온도와 노치온도를 Table3.3과 같이 조합을 하여 27가지의 케이스에 추가로 소음방지를 위해 관경을 축소 시켜놓은 모세관의 관경 축소 적용 유/무에 따라 총 54가지의 케이스에 대한 환경변화에 따른 소비전력 특성 실험을 하였다.

Table3.3 Experimental condition

외기 온도	15℃	30℃	40℃
노치 온도	Low (R:1℃ / F:-21℃)	Medium (R:4℃ / F:-18℃)	High (R:7℃ / F:-13℃)
Needle valve Rev.	0 Rev.	4 Rev.	8 Rev.

3.2.4 오리피스 실험

냉장고 배관의 관경 축소 시뮬레이션을 실현하기 위해 냉동사이클 주요 부품에 니들밸브를 설치하였다. 니들밸브의 회전수에 따른 관경 축소의 모양은 관 내부의 한쪽에서 달 모양으로 조금씩 축소되었다. 그리고 실제 배관 대비 관경 축소에 따른 원형 변형율을 알 수 없었다. 그래서 실제 냉장고 제작과정에서 용접이나 굽힘에 의해 원형이 달 모양이 아닌 단면 전체에서 변형이 일어날 것으로 생각하여 오리피스를 이용하여 니들밸브의 회전수에 따른 면적과 오리피스 면적을 일치시켜 원형 변형율을 알아보고자 하였다. 실험을 위해 Fig.3.12와 같이 가로*세로*높이 60*60*60인 아크릴 수조 4개 준비하여 두 개는 위쪽에서 흘러보내는 용도로 나머지 두 개는 아래에서 물을 받는 용도로 이용하였다. 그리고 하나는 냉장고와 같이 니들밸브를 설치하고 다른 하나는 오리피스를 설치하였다. 동시에 물을 흘러 보내기 위해 두 경우 모두 볼밸브를 설치하여 최대한 빨리 개방할 수 있게 하였다. 그리고 관 마찰에 의한 손실을 최소화하기 위해 수조에서 나오는 처음 부분은 최대한 넓은 동관을 설치하였고, 바닥까지 내려온 후 냉장고배관과 같은 크기로 축소시

켰다. 오리피스는 갈아 끼울 수 있게 제작하였고 냉장고의 가장 큰 내경 4mm부터 0.1mm씩 줄여서 직경 0.1mm의 오리피스까지 준비하였다. 수면 높이 $h=30\text{cm}$ 로 양쪽의 체적을 같게 만들었다. 물을 채운 뒤 니들밸브를 1 Rev. 시키고 오리피스를 4mm를 장착하고 동시에 흐르게 하고 카메라로 물이 동시에 채워지는 순간까지의 시간을 확인하는 방법으로 8 Rev.까지 실험을 진행하여 니들밸브 회전수에 의한 원형 변형율과 같은 오리피스의 크기를 확인하였다. 동일한 시간동안 같은 양의 물을 흘려 보냈기 때문에 질량유량(kg/s)이 같고 양쪽 모두 밀도(ρ)가 같다. 따라서 체적유량(Q)같으므로 배관면적(A)도 같다.

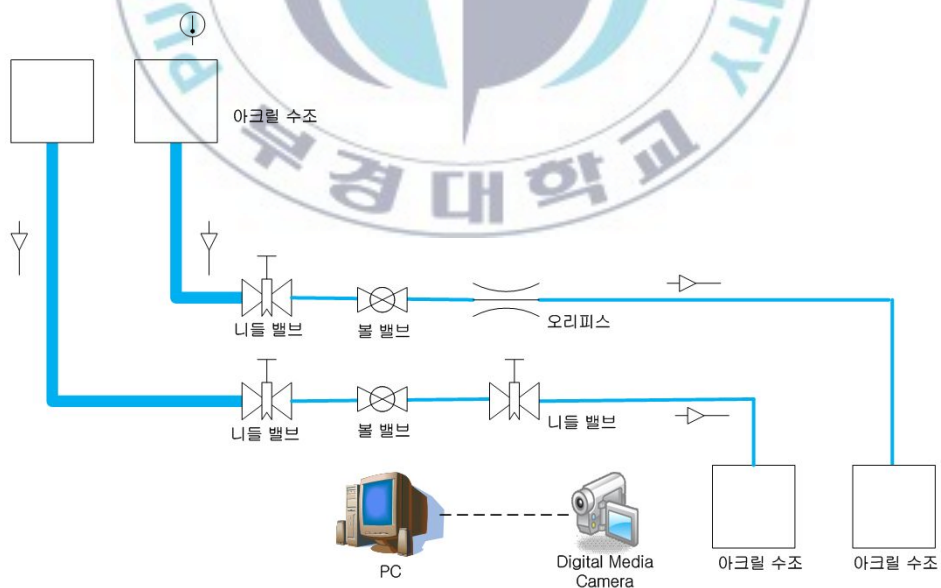


Fig.3.12 Schematic diagram of orifice experiment

3.2.5 가시화 실험

냉동 사이클의 저압부인 증발기 출구에서의 관경 축소에 따른 소비 전력 영향도가 가장 크다는 결과를 토대로 증발기 출구에서의 이상 유동과 소비전력과의 관계에 대해 알아보기로 하였다. 멀티도어 냉장고 증발기가 있는 냉동실의 넓은 공간을 활용하여 Fig.3.13과 같이 냉동실 벽면에 검정색 종이를 붙이고 파이렉스 튜브를 냉장고 배관과 같은 크기로 준비하고 스테인레스 플렌지로 파이렉스 튜브 (pyrex tube)를 크기별로 갈아 끼우기 쉽게 제작하였다. 증발기 출구부분의 외경 6.35mm. 튜브를 이용하여 가시화 장치를 설치하였다. 그리고 백라이트를 비추고 기계실의 압축기 on/off time 나눠서 고속카메라로 촬영을 하여 저장하고 컴퓨터를 이용해 이상유동의 형상을 확인하였다.



Fig.3.13 Installation of visualization equipment in F-evaporator outlet

제 IV장 실험결과 및 고찰

4.1 오리피스 실험

니들밸브를 이용한 축관 시뮬레이션은 니들밸브의 회전수에 의존해서 정량화 하였다. 하지만 니들밸브 회전수로 실제 배관의 원형 변형율을 나타낼 수 없다. 따라서 니들밸브 회전수에 따른 원형 변형율과 실제 원형변형율과 일치시키기 위해 오리피스 실험 결과를 먼저 알아보았다. 그 결과를 Table4.1에 내경 4mm 동관에 대한 실험결과와 Table4.2에 내경 2.5mm 동관에 대한 실험결과를 나타내었다.

Table4.1 Comparative analysis of needle valve revolution and orifice diameter (D=4mm)

Needle valve revolution	Orifice strain [%]
2 Rev.	14.32%
4 Rev.	59.62%
6 Rev.	84.00%
8 Rev.	90.44%

Table4.2 Comparative analysis of needle valve revolution and orifice diameter (D=2.5mm)

Needle valve revolution	Orifice strain [%]
2 Rev.	25.31%
4 Rev.	62.41%
6 Rev.	82.32%
8 Rev.	92.31%

동일한 시간동안 같은 양의 물을 흘려 보냈기 때문에 질량유량 (kg/s)이 같고 양쪽 모두 밀도(ρ)가 같다. 따라서 체적유량(Q)이 같으므로 니들밸브 축관 회전수에 의한 원형변형율과 오리피스에 의한 원형 변형율이 같다.

4.2 양문형 냉장고의 환경 축소에 따른 소비전력 특성

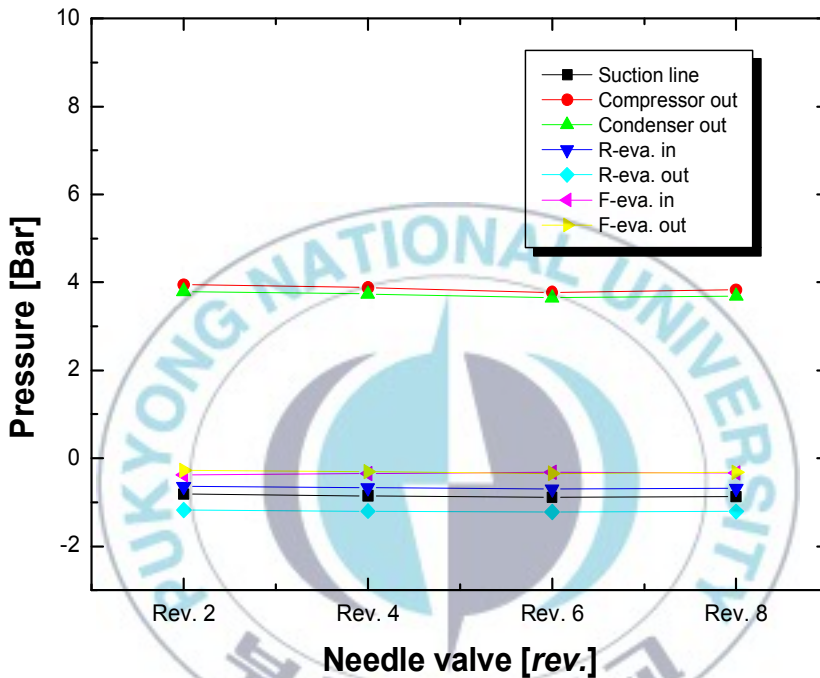


Fig.4.1 Pressure variation by N/V rev. of Comp.

고압부인 압축기에서 니들밸브를 이용한 환경 축소 시뮬레이션을 수행하여 Fig.4.1과 같이 각 부분의 압력 데이터 분석하였다. 그 결과 압력의 경우 고압부인 압축기나 응축기에서는 압력이 0.14~0.4% 까지 증가 하였고, 저압부인 증발기 흡입라인에서는 0.58% 감소하

였다.

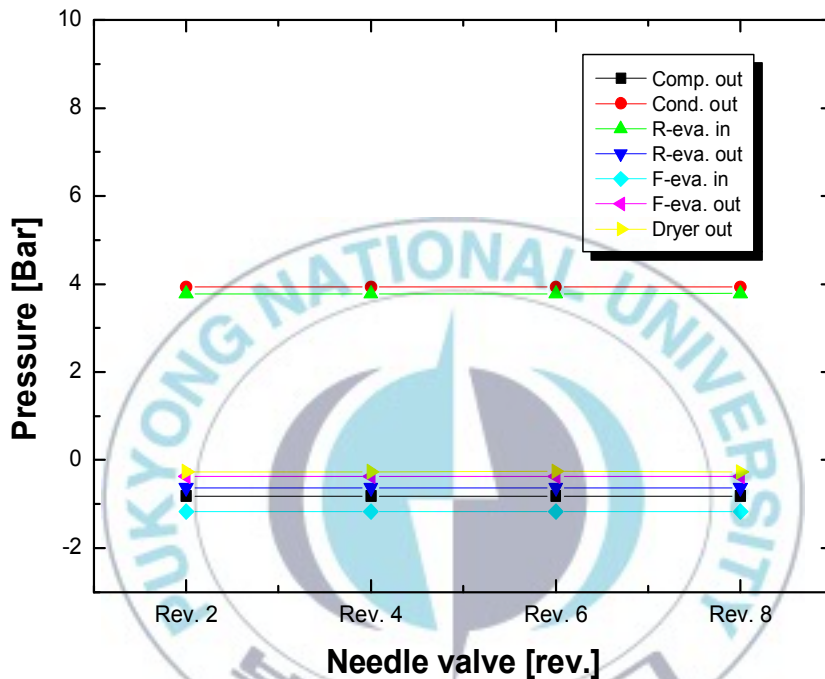


Fig.4.2 Pressure variation by N/V rev. of F-eva. out

하지만 Fig.4.2와 같이 저압부인 냉동실 증발기 출구(F-eva. out)부분에서 관경 축소 시뮬레이션을 수행하였을 때 원형 변형율에 따른 각 부분의 압력변화는 고압부에서 2.17~2.40% 까지 감소하였지만 저압부에서 증발압력이 30.21%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과로 보아 저압부에서의

관경 축소가 증발압력강하에 더 큰 영향을 끼치고 이것은 냉장고에 더 큰 영향이 끼칠 것으로 예상된다.

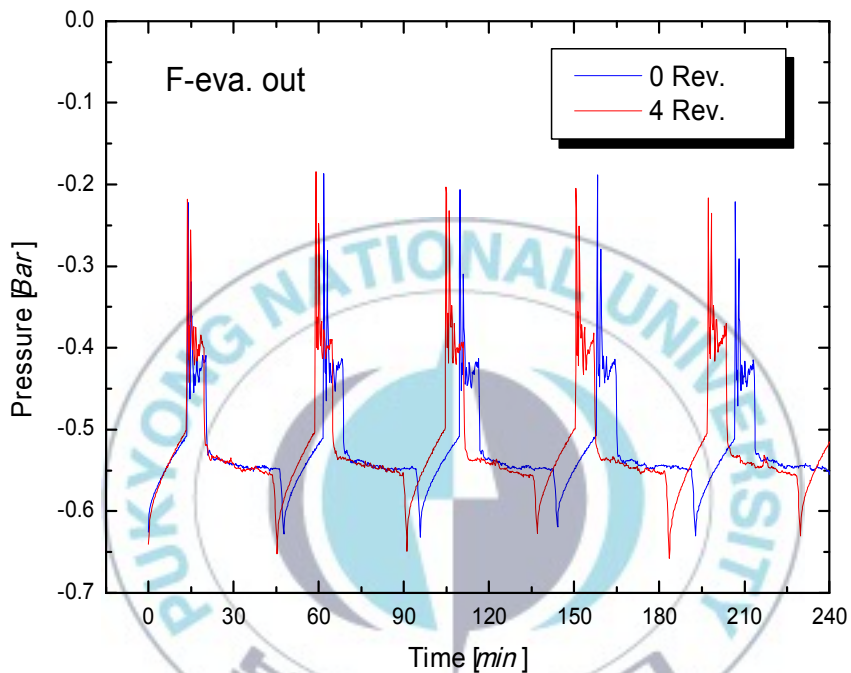


Fig.4.3 Comparative analysis of N/V rev. and pressure drop (F-eva. out)

Fig.4.3은 증발압력에 변화가 가장 컸던 증발기 출구 부분에서의 영향도를 확인하기 위한 방법으로 냉동실 증발기 출구의 니들밸브를 Open과 4-Rev. 시켰을 경우의 증발기 출구부분의 압력 변화를 시간에 따라서 나타낸 그래

프이다. 여기서 4 Rev. 했을 경우 Open 보다 압력이 더 낮아지고 사이클 주기 또한 짧아지는 것으로 확인되었다. 이것은 증발압력의 하강으로 인해 냉장고 성능에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있고, 사이클 주기가 짧아져서 압축기 가동주기 또한 짧아져서 소비전력이 증가할 것으로 예상할 수 있다.

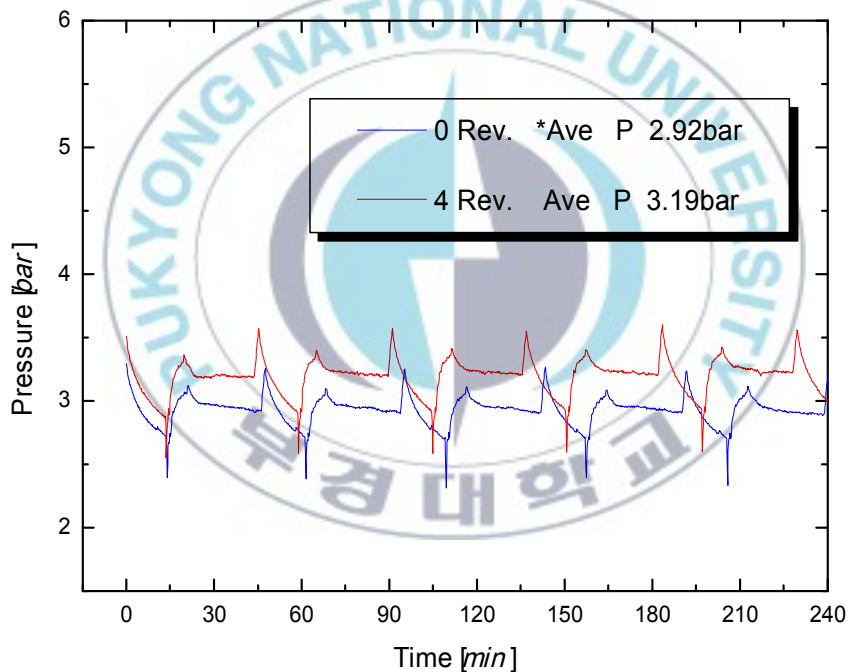


Fig.4.4 Comparative analysis of needle valve revolution and pressure difference

그리고 Fig.4.4는 냉장고 증발압력에 변화가 가장 컸던 증발기 출구 부분의

니들밸브를 Open과 4Rev. 시켰을 경우의 증발기 출구부분의 고압부인 응축압력과 저압부인 증발압력의 압력차를 시간에 따라서 나타낸 그래프이다. 4- Rev. 측관 적용 했을 때 5사이클 동안 평균 압력차가 0.27bar 정도 크게 발생하였다. 관경 축소에 따른 냉장고 증발압력의 영향은 저압부인 증발기 출구 부분에서 크다는 것을 알게 되었고, 냉장고 제작과정에서 특히 냉동실 증발기출구(F-eva. out) 배관의 원형 변형방지를 위한 관리 방안이 필요할 것으로 생각된다.

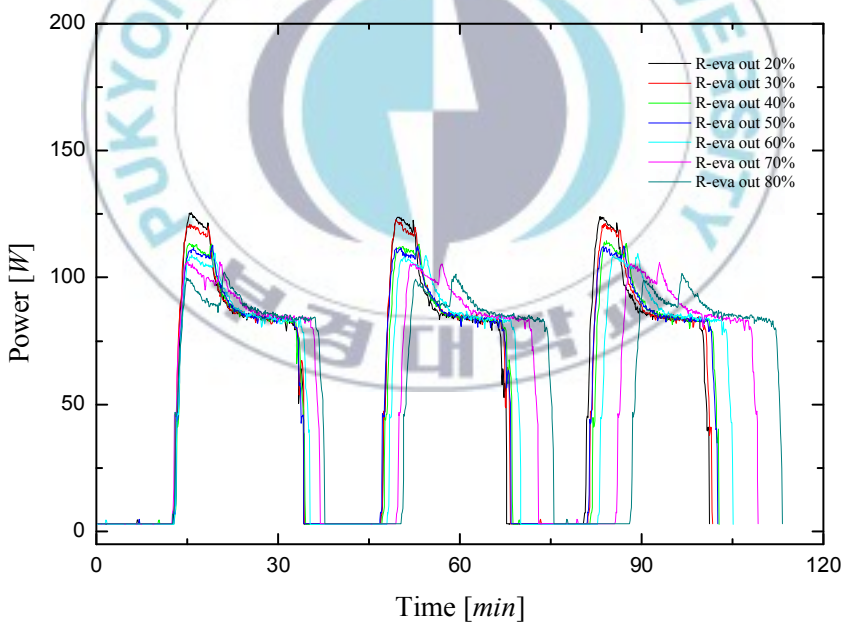


Fig.4.5 Power variation by N/V rev. of R-eva. out

Fig.4.5는 증발압력에 영향이 큰 것으로 확인되었던 저압부 중에서 냉장실 증발기 출구부분의 환경 축소와 시간에 따른 순간 소비전력의 변화를 나타낸 것이다. 니들밸브의 회전수가 커질수록 사이클 한 주기의 시간이 길어지고 그 중에서 소비전력이 발생하는 압축기의 가동시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 원형 변형율이 커짐에 따라 냉장고의 압축기가 더 긴 시간 작동을 하면서 소비전력을 더 많이 소모하게 될 것으로 생각된다.

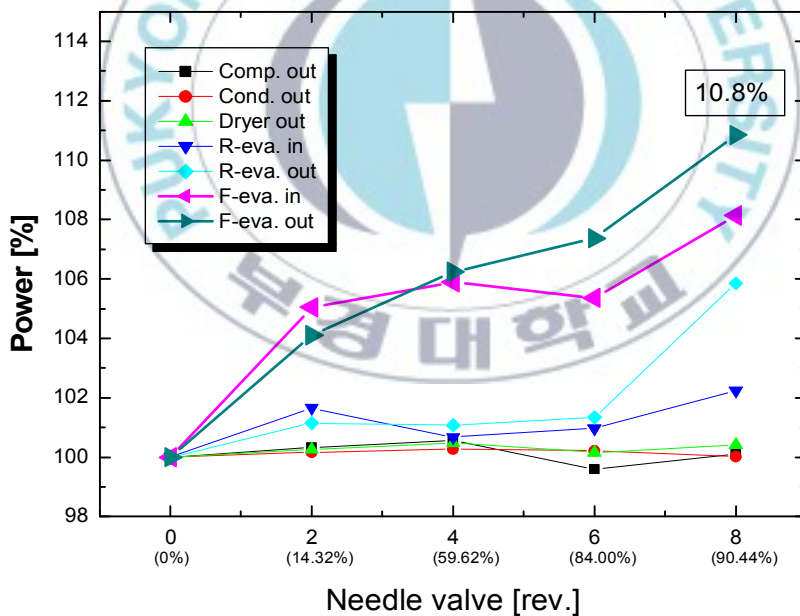


Fig.4.6 Power variation of side-by-side refrigerator by N/V rev. of all components

이제 실제 실험에 사용된 양문형 냉장고(side-by-side refrigerator)의 배관이 모두 개방된 상태 즉 원형 변형율0%(Open)일 경우와 각 부품에서의 원형 변형율에 따른 소비전력의 변화를 Fig.4.6에 비교하여 나타내었다. 냉장고 배관의 위치와 상관없이 모든 부분에서 관경 축소에 따라 소비전력이 약간씩은 증가하였으나 그 가운데 증발기가 있는 저압부 쪽에서 밸브의 회전수가 6 Rev.를 넘어가면 소비전력이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 냉동사이클의 저압부인 냉장실 증발기출구(R-eva. out)와 냉동실 증발기출구(F-eva. out)에서 관경 축소에 따른 영향도가 크다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 조건하에서 고압부인 압축기 출구에 관경 축소시켰을 경우 원형 변형율의 증가에도 소비전력의 증가가 크지 않고 심지어 오차 범위 안에서 소비전력이 1% 감소하는 경향도 나타났고, Open상태에서도 케이스마다 소비전력이 약간씩 산포가 발생하고, 최고 5%까지도 산포가 발생하는 것을 확인하였다. 저압부인 냉장실 증발기 출구(R-eva. out)에서는 원형 변형율의 증가에 따라 4.67%까지 소비전력이 증가하고, 냉동실 증발기 출구(F-eva. out)에서는 원형 변형율에 따라 소비전력이 10.8%가 증가하여 상대적으로 저압부에서 관경 축소에 따른 소비전력 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

이 실험을 통해 냉장고의 소비전력은 측정할 때마다 조금씩 산포가 발생하는데 관경 축소 위치에 따라 소비전력 산포의 크기가 다른 것을 알 수 있다.

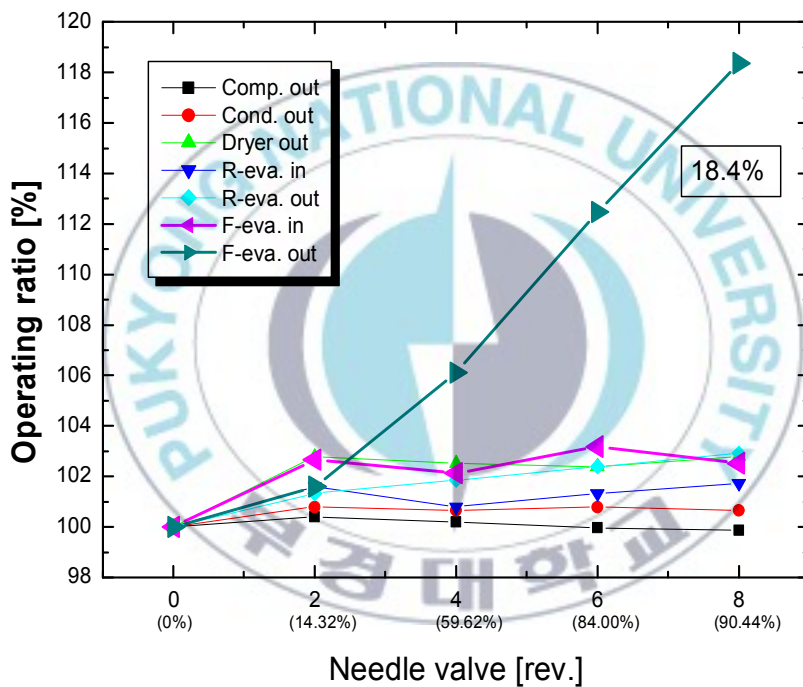


Fig.4.7 Operating ratio variation of side-by-side refrigerator by N/V rev. of all components

Fig.4.7은 배관이 모두 개방된 Open의 경우와 각 부품에서의 원형

변형율에 따른 운전율의 변화를 비교하여 나타내었다. 이 운전율은 냉장고가 가동되는 전체시간 가운데 압축기가 가동되는 시간의 비율인데 운전율이 증가하게 되면 압축기가 더 많이 가동되는 것으로 생각할 수 있고 그에 따라 소비전력이 증가한다고 판단할 수 있다. 그래서 냉장고의 소비전력 못지않게 운전율 또한 소비전력의 중요한 요인이라 할 수 있다. 운전율의 변화는 소비전력과 같은 패턴을 보였으며 저압부 중에서도 냉장실 보다는 냉동실 증발기출구(F-eva. out)에서 관경 축소시켰을 때 운전율이 최대 18.4%까지 증가하는 것을 확인 하였다.



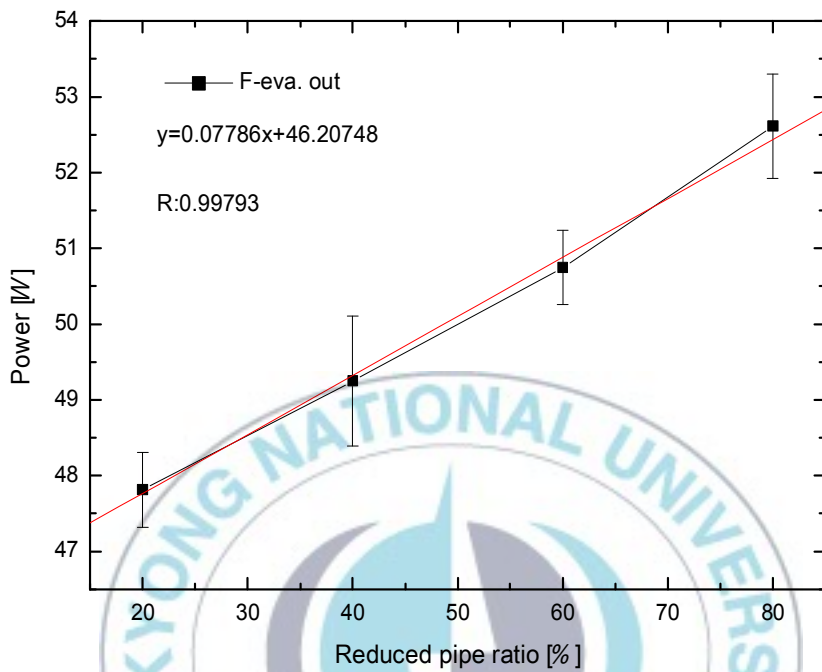


Fig.4.8 Correlation between reduced pipe ratio and electric consumption of side-by-side refrigerator

양문형 냉장고의 저압부인 냉동실 출구부의 원형 변형율과 소비전력 데이터를 특성화 작업을 수행하여 Fig.4.8과 같은 거동을 따르는 것을 확인하였고, 본 연구의 조건하에서 위의 상관식을 얻었다.

4.3 멀티도어 냉장고의 환경 축소에 따른 소비전력 특성

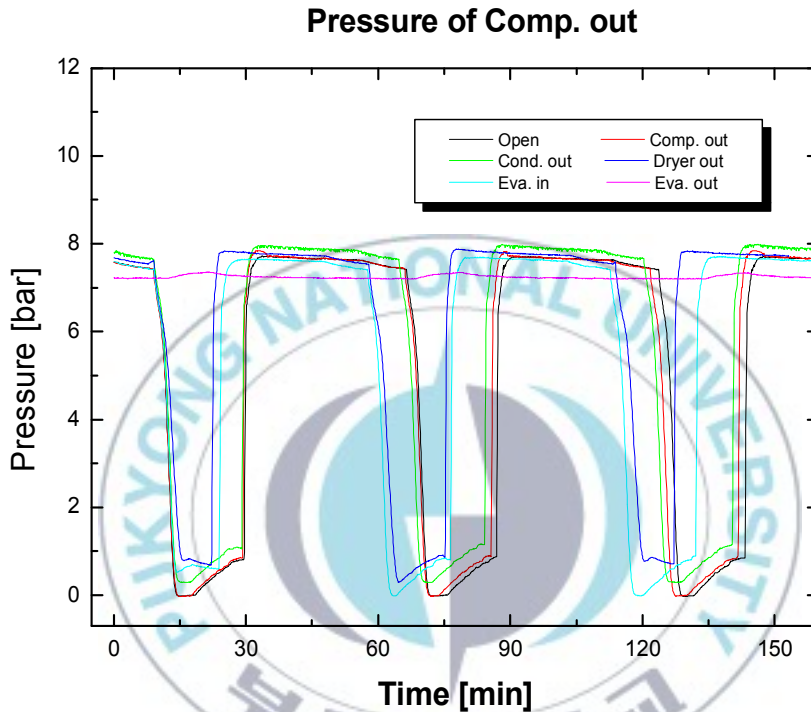


Fig.4.9 Pressure variation of compressor outlet by N/V Rev. of all components (8-Rev.)

멀티도어 냉장고의 경우 증발기가 하나로 구성되어 있어 온도와 압력 측정부위가 적고 냉장실, 냉동실 구분 없이 저압부는 증발기 출구로 고압부는 압축기 출구로 정하였다. 환경 축소에 따른 압력 변화를 확인하기 위하여 먼저 극단적으로 각 부분에 8-Rev.를 적용

했을 경우 고압부와 저압부의 압력을 그림으로 나타내 보았다.

Fig.4.9는 8-Rev.시켰을 경우 고압부인 압축기 출구 압력이다. 증발기 출구부에서 8-Rev. 환경 축소시켰을 경우 압력이 떨어지지 않는데 이것은 압축기가 쉬지 않고 계속 가동하여 압축기 출구 부분의 압력이 높아지는 것으로 예상된다.

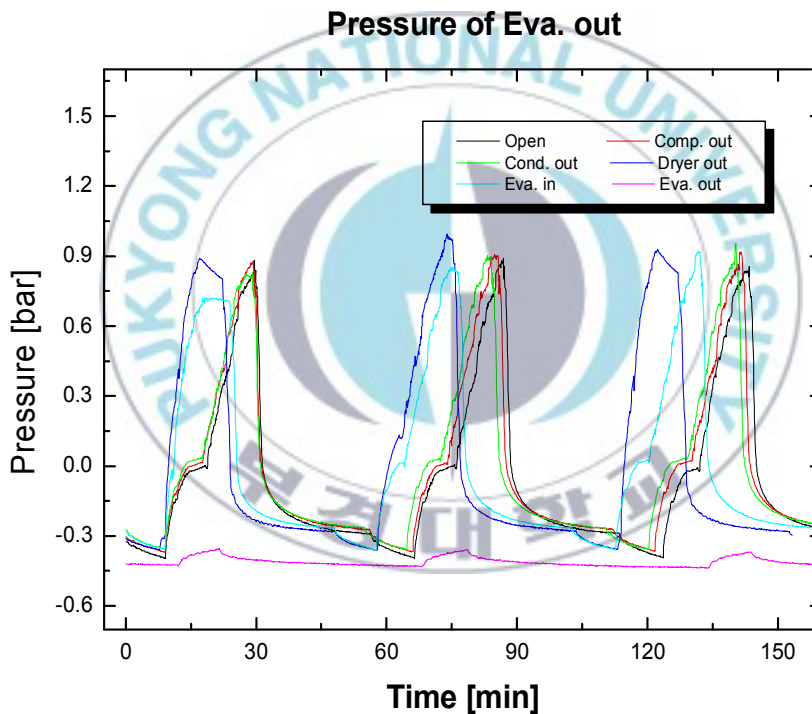


Fig.4.10 Pressure variation of evaporator outlet by N/V rev. of all components (8-Rev.)

그리고 Fig.4.10에 모든 부품에 8-Rev.시켰을 경우 저압부인 증발기 출구 압력을 나타내었다. 고압부의 압력과 마찬가지로 증발기 출구 부에서 8-Rev. 환경 축소시켰을 경우 저압부인 증발기 출구 쪽의 압력이 오르지 못하고 다른 부분에 비해 증발압력이 낮을 것을 확인 할 수 있다.

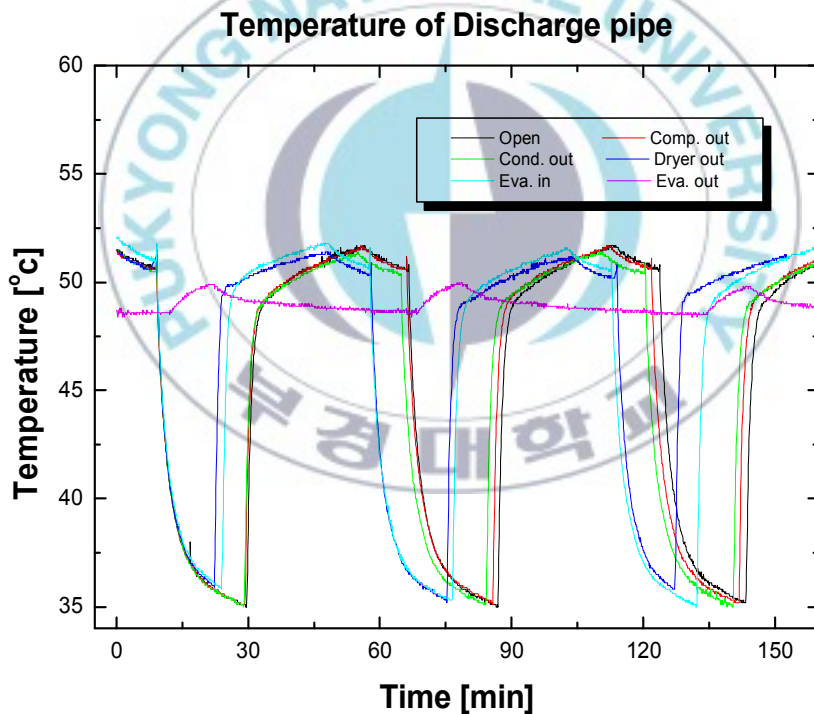


Fig.4.11 Temperature variation of Discharge pipe by N/V rev. of all components (8-Rev.)

관경 축소에 따른 온도변화를 확인하기 위하여 모든 부품에 8-Rev. 시키고 고온부분인 토출 온도를 측정하여 Fig.4.11에 나타내었다. 압력과 마찬가지로 증발기 출구에서 관경 축소에 따른 영향이 크다는 것을 확인할 수 있다.

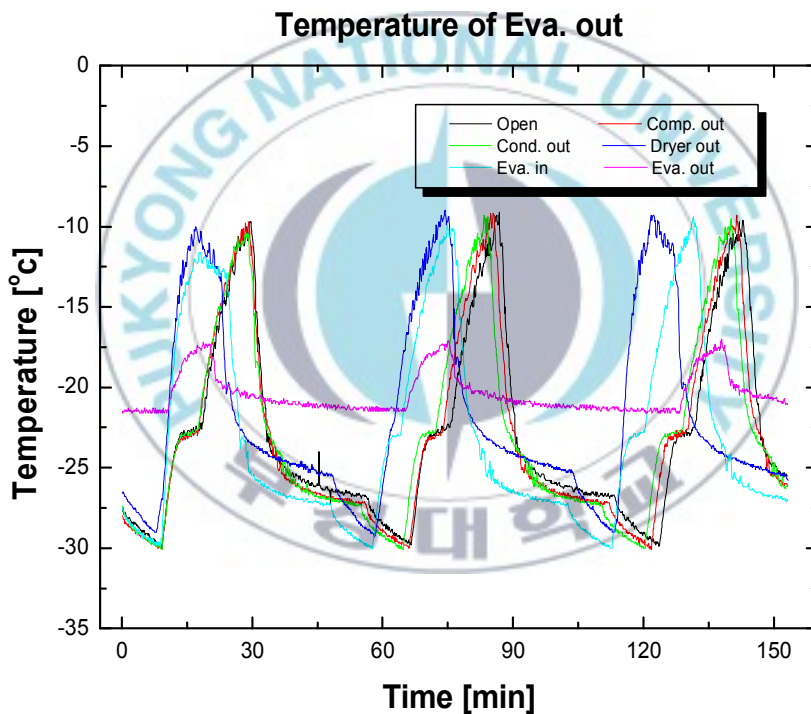


Fig.4.12 Temperature variation of Evaporator outlet by N/V rev. of all components (8-Rev.)

저온부분인 증발기 출구 온도를 측정하여 Fig.4.12에 나타내었다. 고온부분과 마찬가지로 증발기 출구에서 환경 축소에 따른 영향이 크다는 것을 확인할 수 있다. 멀티도어 냉장고(multi door refrigerator)의 환경 축소에 따른 소비전력 영향을 알아보기 위하여 배관이 모두 개방된 상태 즉 원형 변형율0%(Open)일 경우와 각 부품에서의 원형 변형율에 따른 소비전력의 변화를 Fig.4.13에 비교하여 나타내었다.

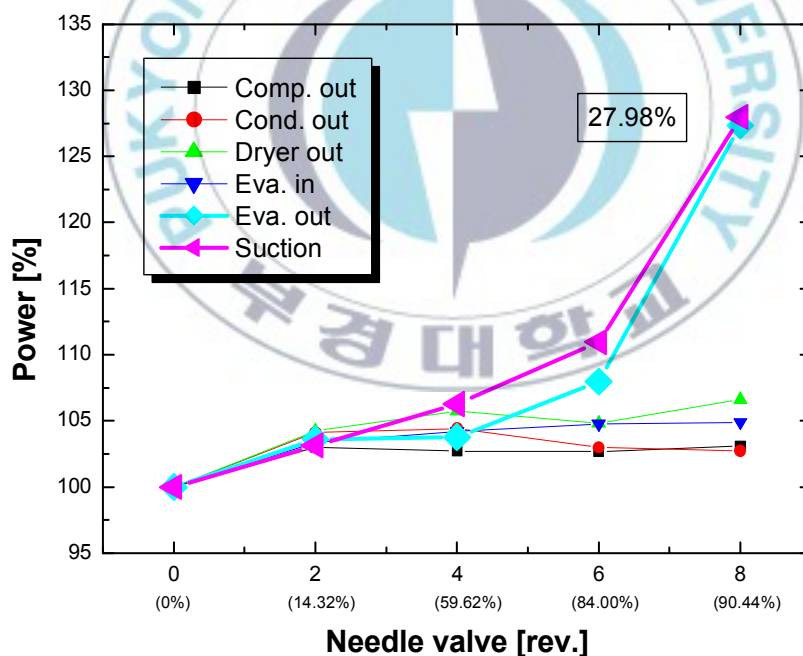


Fig.4.13 Power variation of multi door refrigerator by N/V rev. of all components

멀티도어 냉장고의 관경 축소에 따른 소비전력의 변화는 양문형냉장고의 결과와 비슷한 패턴으로 저압부인 증발기 출구 부분에서 영향이 가장 컸고 이런 결과를 바탕으로 증발기 출구보다 더 저압부인 냉장고의 증발기 출구와 압축기 사이의 흡입라인(Suction line)의 관경 축소에 따른 소비전력 영향에 관한 연구가 필요할 것으로 판단되어 추가적으로 실험을 수행하였다. 그 결과 Open대비 27.98% 소비전력이 증가하는 것으로 나타났다.

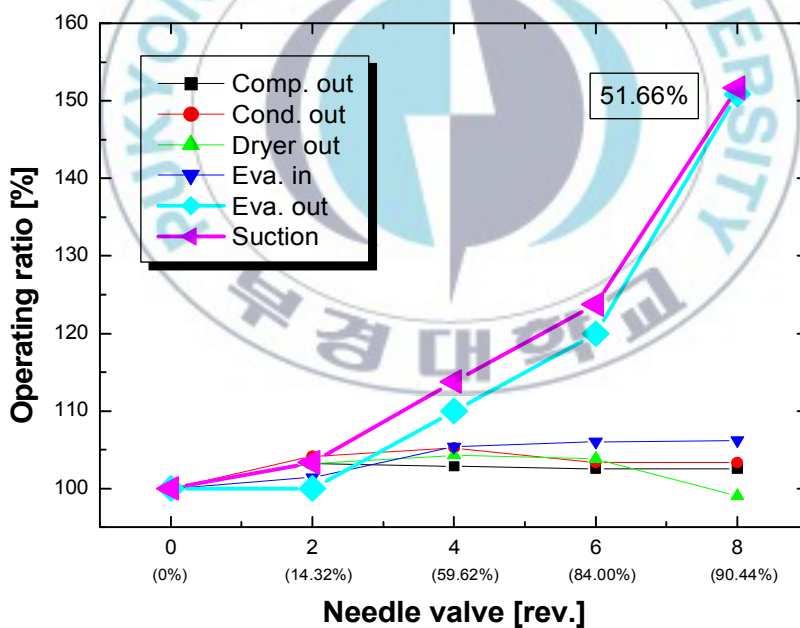


Fig.4.14 Operating ratio variation of multi door refrigerator by N/V rev. of all components

멀티도어 냉장고의 운전율 또한 소비전력과 비슷한 패턴으로 저압 부위인 흡입라인에서 관경 축소에 따른 영향이 가장 컸으며 Open 대비 51.66% 까지 증가하여 양문형 냉장고보다 영향이 크다는 것을 확인하였다.

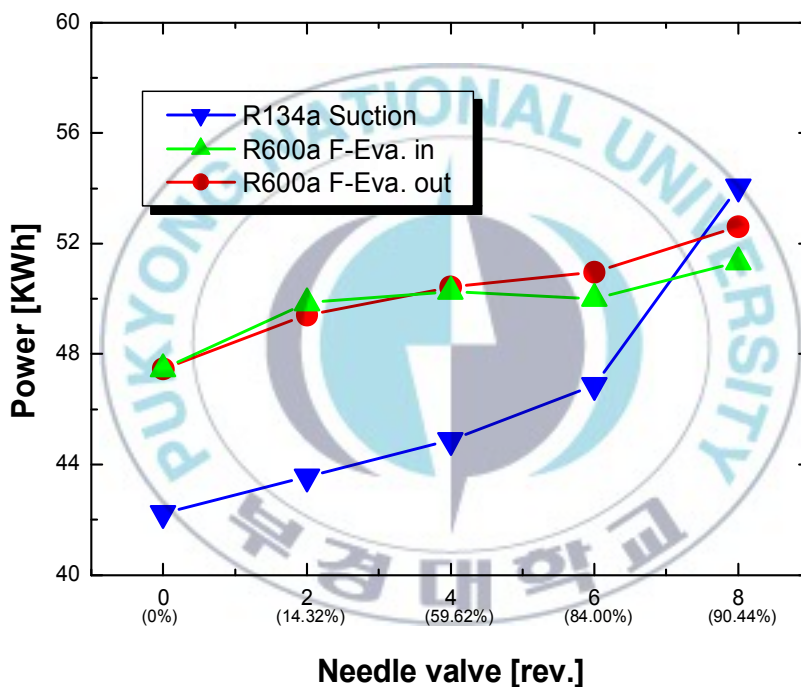


Fig.4.15 Comparison of electric consumption by N/V rev. of low pressure components (side-by-side and multi door)

Fig.4.15는 앞선 소비전력 결과에서 비슷한 경향을 보인 양문형 냉

장고와 멀티도어 냉장고의 저압부인 증발기 출구부분의 관경 축소
에 따른 소비전력 변화를 비교하였다. 두 냉장고의 Open상태에서
소비전력은 R600a를 사용하는 양문형 냉장고가 소비전력이 더 높지
만 원형을 변형이 커짐에 따라 R134a 냉매를 사용하는 멀티도어 냉
장고의 소비전력 영향도가 커지는 것을 확인하였다. 이것은 두 냉
장고 중에서도 멀티도어 냉장고의 저압부 원형을 관리가 중요함을
보여준다. 두 종류의 냉장고의 실험을 통해 냉장고 저압부의 원형
을 변형이 소비전력에 미치는 영향이 상당하다고 판단이 되고 특히
증발기 출구부분과 흡입라인의 원형을 보존을 위한 방안이 필요할
것으로 판단된다. 또 저압부의 원형을 변형에 따라 증발압력이 감
소하는데 이렇게 증발압력이 감소하게 되면 압축비가 증대되고 압
축기의 토출가스 온도가 상승하고 그에 따라 냉동효과와 성능계수
가 감소한다. 그리고 비체적 증대로 인한 냉매 순환량이 감소하게
된다. 이것은 소비전력 증가의 원인이 된다.

4.4 냉장고 환경변화에 따른 소비전력 특성실험

앞선 연구결과를 바탕으로 영향이 가장 큰 것으로 확인되었던 저압부의 원형을 변형과 외기온도와 냉장고내 노치온도 즉, 환경변화에 따른 소비전력 특성과의 관계를 알아보기 위해 실험을 수행 하였다. 이 실험은 멀티도어 냉장고로 수행하였으며, 실험계획법에 따라 Table4.3을 작성하였고 총 27개의 실험케이스가 있다.



Fig.4.16 Reduced capillary tube

추가로 냉장고 증발기 입구로 연결되는 모세관 끝 부분에는 Fig.4.16과 같이 냉매의 소음을 방지하기 위해 인위적으로 모세관을 축소시켜 놓았는데, 모세관경 축소 적용 유/무에 따라 2가지의 경우의 수를 더 적용하여 총 54가지의 실험케이스에 대해 환경변화와 원형 변형율에 따른 소비전력 특성 실험을 하였다.

Table4.3 Experimental condition

외기 온도	15℃	30℃	40℃
노치 온도	min (R:1℃ / F:-21℃)	ave (R:4℃ / F:-18℃)	max (R:7℃ / F:-13℃)
Needle valve Rev.	0 Rev.	4 Rev.	8 Rev.

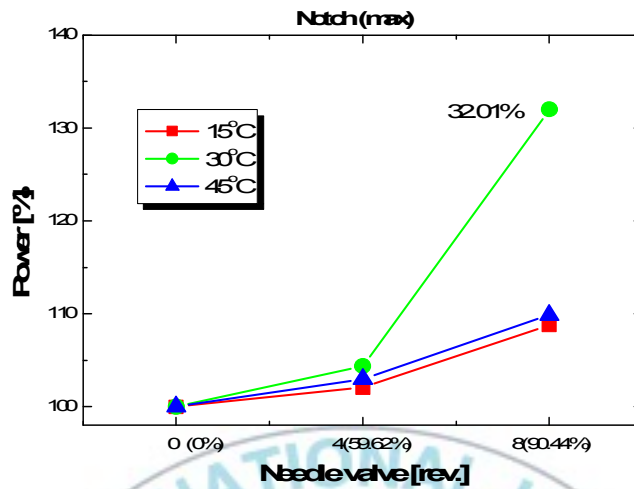


Fig.4.17 Power variation of refrigerator by ambient temperature and N/V rev. on non-reduced capi.

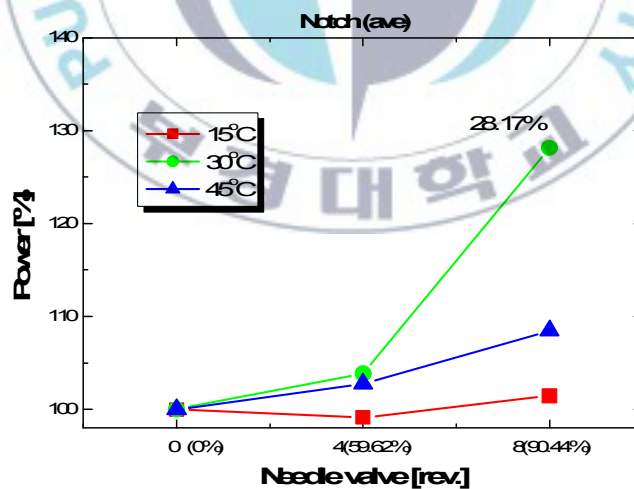


Fig.4.18 Power variation of refrigerator by ambient temperature and N/V rev. on non-reduced capi.

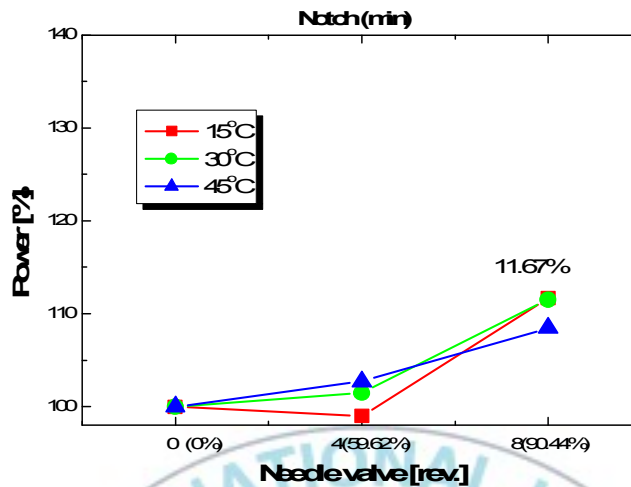


Fig.4.19 Power variation of refrigerator by ambient temperature and N/V rev. on non-reduced capi.

Fig.4.17, Fig.4.18, Fig.4.19는 모세관경 축소를 적용하지 않고 외기온도와 원형 변형율을 바꿔가면서 소비전력을 측정하여 Open대비 소비전력 증가율에 대해 노치온도 max, ave, min 순으로 나타낸 결과이다. 세 가지 모든 경우에서 외기온도가 30°C의 경우 소비전력 영향도가 가장 큰 것으로 확인 되었으며, 특히 노치온도 max에서 외기온도 30°C와 8-Rev.의 경우에 소비전력이 32%까지 증가하였다. Open과 외기온도30°C에서 노치온도만 min에서 max로 바뀌어도 최대 20%까지 소비전력을 절약할 수 있는 것으로 확인되었다. 이것은 실제 가정의 냉장고의 외기온도와 가장 비슷한 30°C에서 고내 노치온

도에 따라 소비전력 산포가 많이 발생 한다는 것이고, 반대로 고내
노치온도 설정만 조절한다면 많은 에너지를 절약할 수 있을 것이
다. 외기온도가 45°C 의 경우 외기온도에 의한 심각한 영향으로 노
치온도 변화에 따른 소비전력 증가가 최대 5.6%로 상대적으로 영향
을 적게 받는 것으로 나타났다. 이 조건에서는 워낙 심한 부하로
노치온도나 원형 변형율과 관계없이 압축기가 90~99%까지 운전하
는 것으로 나타났다.



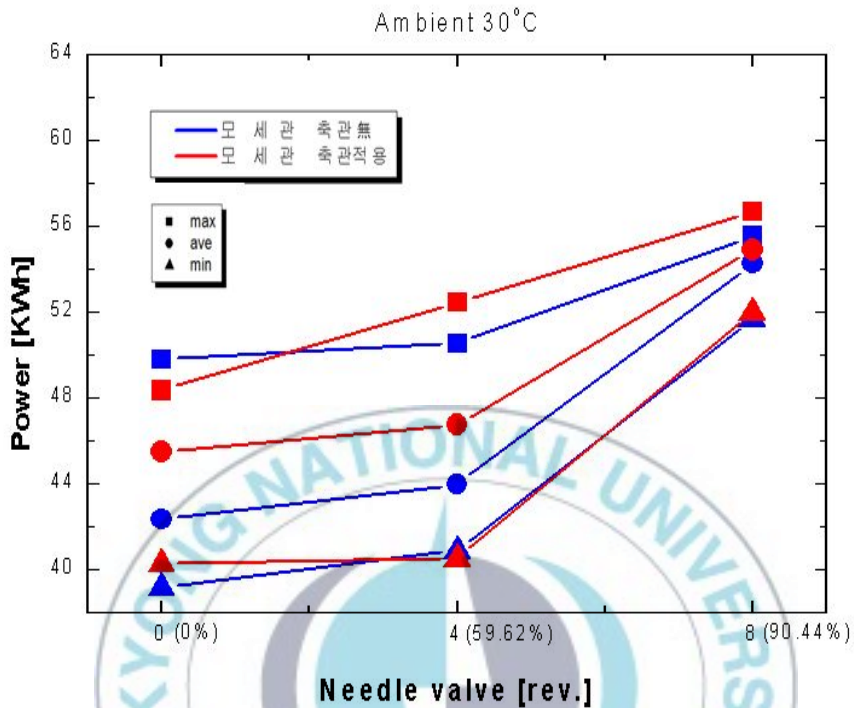


Fig.4.20 Comparison of electric consumption by N/V rev. and notch temperature on non-reduced capi. and reduced capi.

모세관경 축소 적용하지 않은 결과를 바탕으로 외기온도 30°C에서 노치온도와 원형 변형을 그리고 모세관경 축소 적용 유/무에 따른 소비전력 변화를 Fig.4.20에 비교해 나타내 보았다. 전체적으로 그 영향도는 관경 축소 유/무에 상관없이 비슷한 경향을 보이니 모세관에 축관적용을 했을 경우 소비전력이 평균 1.62% 증가하였다.

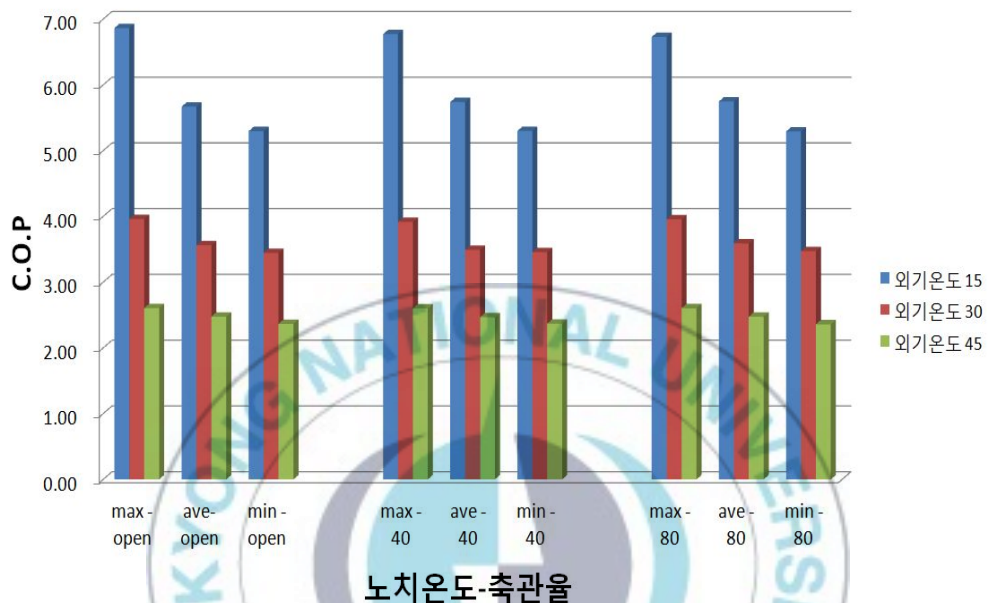


Fig.4.21 C.O.P of refrigerator by experimental condition change on non-reduced capi.

Fig.4.21는 모세관경 축소 적용하지 않은 27가지 경우의 성능계수 C.O.P를 나타내었다. 외기온도에 의한 영향이 가장 크고 원형 변형율에 의한 영향이 가장 작았다. 노치온도 변화에 따른 성능계수의 변화는 소비전력의 변화만큼 크지 않는 것으로 확인되었고, 이것은 소비전력은 커졌지만 냉장고 본래의 냉장 및 냉동 성능에는 크게 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있다. 실제로 외기온도 15°C에

서는 노치온도에 맞게 유지 되었고 외기온도 30°C 와 45°C 에서는 냉장실에서 약 1°C 미만으로 증가하여 냉장고 본래의 냉장, 냉동 기능에는 영향이 크지 않은 것을 확인하였다.



4.5 가시화를 이용한 이상유동 확인

앞선 연구를 통해 냉장고 저압부인 증발기 출구와 흡입라인에서 축관에 의한 소비전력 영향이 가장 크다는 사실을 알게 되었다. 이러한 저압부에서 축관을 시킬 경우 냉매가 완전 증발되지 못해 액적(droplet)이 발생하고 이러한 이상유동이 소비전력 증가의 주요 원인으로 예상하여 이상유동(two phase flow) 발생 유/무를 확인하기 위해 증발기가 있는 냉동실의 고내에 파이렉스 튜브(pyrex tube)를 이용한 가시화 실험 장치를 설치하고 증발기 출구부의 유동 가시화를 하였다.



Fig.4.22 Visualization of two-phase flow in evaporator outlet (on time)



Fig.4.23 Visualization of two-phase flow in evaporator outlet (off time)

Fig.4.22, Fig.4.23과 같이 압축기 on/off time 두 경우에서 특별한 이상유동이 발생하지 않았다. 이 결과로 보아 증발기 출구의 환경 축소에 의한 이상유동이 소비전력 증가의 주요한 원인은 아닌 것으로 판단된다.

제 V 장 결 론

양문형냉장고와 멀티도어 냉장고를 이용하여 냉장고 배관 원형을 변형에 따른 소비전력의 영향 그리고 압력과 온도 특성을 알아보기 위해 여러 가지 실험을 통해 연구를 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다..

1) 니들밸브를 통한 관경 축소와 실제 원형변형율의 정도를 확인하기 위해 오리피스를 이용하여 실험을 하였고 그 결과 외경D=4mm 관에서는 N/V회전수가 Rev.2, Rev.4, Rev.6, Rev.8 로 증가함에 따라서 14.32%, 59.62%, 84.00%, 90.44% 원형 변형이 되는 것으로 확인하였다. 그리고 외경D=2.5mm 관에서는 25.31%, 62.41%, 82.32%, 92.31% 원형 변형이 생기는 것을 확인하였다.

2) 양문형냉장고(side-by-side)의 냉동시스템 각 부분에 관경을 축소시키고 실험한 결과 저압부인 냉장실 증발기출구(R-eva. out)와 냉동실 증발기출구(F-eva. out)의 관경 축소에 의한 소비전력과 운전율의 영향도가 가장 큰 것으로 확인되었다. 그리고 냉장고의 소비

전력은 원형을 변형이 없는 Open 상태에서도 5.02%까지 증가하여 산포가 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 저압부의 축관에 의해 증발압력 강하가 컸고, 응축압력과 증발압력 차이 또한 저압부에서 더 컸으며 온도 또한 마찬가지로의 결과를 보였다. 이러한 결과로 보아 다른 부분에 비해 저압부의 관경 축소가 냉동시스템에 큰 영향을 주는 것으로 확인하였다.

3) 멀티도어 냉장고의 원형 변형율에 따른 소비전력 영향 또한 저압부의 소비전력 영향도가 가장 크게 나타났으며, 특히 증발기 출구보다 더 저압부인 흡입라인(suction line)의 관경 축소가 증발기 출구보다 영향이 더 크다는 것을 확인하였다. 그래서 실제 곱힘에 의한 원형을 변형이 많이 발생하는 흡입라인의 제조과정의 관리가 필요할 것으로 생각된다. 양문형냉장고와 멀티도어냉장고의 저압부에서 축관에 의한 영향도를 비교한 결과 멀티도어 냉장고의 소비전력이 관경 축소에 의한 영향이 심하다는 것을 알 수 있었다. 이것은 멀티도어 냉장고에 적용된 간냉식 냉각방식의 냉장고 제작 시 더 높은 수준의 원형을 보존을 위한 방안이 요구된다.

4) 소비전력에 가장 영향이 크게 나타난 증발기 출구 부분의 원형

을 변형과 외기온도 변화에 따른 소비전력을 노치온도에 따라 비교해 본 결과 외기온도 30°C 일 경우 원형 변형율과 노치온도에 따라 소비전력의 영향이 가장 크고 최대 32%까지 증가하는 것을 확인하였고, Open과 외기온도 30°C 에서 노치온도만 바뀌도 최대 20%까지 소비전력을 절약할 수 있는 것으로 확인되었다. 30°C 는 일반 가정의 온도와 가장 근접한 온도이므로 가정용 냉장고의 노치온도만 바뀌도 많은 에너지를 절약할 수 있을 것으로 생각된다. 외기온도의 증가에도 냉장고내 온도는 설정온도에서 1°C 정도 차이를 보이며 냉장고 본래의 성능에는 큰 문제가 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 이것은 노치온도의 변화에 따라 소비전력의 영향은 컸지만 COP는 상대적으로 크지 않은 것을 통해서도 확인할 수 있다. 같은 조건에서 모세관의 축관적용에 따라 소비전력이 평균1.62% 증가하였다.

5) 냉장고 소비전력에 저압부에서 가장 영향이 크다는 결론을 바탕으로 저압부인 증발기 출구 쪽의 관경 축소로 인해 냉매가 완전히 증발되지 않고 액적(droplet)에 의한 이상유동(two phase flow)이 발생될 것으로 예상하고 가시화를 해보았지만 압축기 on/off time 모두 이상유동을 찾을 수 없었다. 이 결과로 보아 증발기 출구의

관경 축소에 의한 이상유동이 소비전력 증가의 주요한 원인은 아닌 것으로 판단된다.

6) 지금까지 배관의 원형을 변형이 냉장고 소비전력에 미치는 영향에 대한 연구를 수행해 왔으나 실제 냉동시스템 부품들의 원형을 변화에 따른 소비전력 특성연구를 하지 못했다. 응축기만 하여도 굽힘에 의한 벤딩포인트가 30~40여 군데가 있고 굽힘각이 커서 원형 변형율이 상당할 것으로 생각된다. 또 저압부의 영향이 크다는 결론을 비추어 볼 때 증발기 쪽의 굽힘에 의한 많은 원형변형은 소비전력 증가에 상당한 영향을 끼칠 것으로 예상되어 향후 이러한 냉동시스템 부품의 원형을 변형에 따른 소비전력 연구를 해 봐야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

2001년 입학하고 2007년 늦은 복학을 하고 어려움을 많이 느끼며 2학년을 보냈습니다. 진로에 대해 큰 고민을 하고 있을 때 2008년 지금의 열유체 연구실을 소개 받아서 들어와서 많은 선후배 분들의 도움을 받아 4년이 지나고 어느덧 석사졸업까지 오게 되었습니다. 제가 여기까지 오기까지 많은 분들의 도움이 있었기에 이 작은 결실의 기쁨을 함께 나누고자 합니다. 우선, 2학년까지 방황하며 진로를 정하지 못하고 고민만 하고 있는 저에게 연구실을 통한 대학원이라는 새로운 길로 이끌어 주시고 늘 따뜻한 웃음으로 저의 진로에 대해 관심과 조언을 해주신 권오봉 교수님 진심으로 감사의 뜻을 전합니다. 교수님의 연구실 학생이 아님에도 불구하고 항상 신경 써주시고 진로에 도움이 될 수 있는 거라면 무엇이든 늘 저한테 좋은 방향으로 조언해 주시고 이끌어 주신 박정 교수님 정말 감사드립니다. 그리고 교수님께서 믿고 맡기셨는데 기대만큼 제가 충족은 시키지 못한 점 죄송하기도 합니다. 늘 아버지 같은 웃음으로 강의하시고 저의 개인적인 사정까지 이해해 주신 이도형 교수님께 깊이 감사드리며, 대학원 과정동안 배움의 깊이를 더해주시는 기계공학과 모든 교수님께도 감사드립니다. 처음 연구실로 인도해준 동훈

이 형, 연구실로 이끌어주고 진로에 대해 고민할 때 항상 들어주고
대학원까지 이끌어 준 와일드한 성환이 형 ^^; 연구실 처음 들어와
서 잘 모르고 힘들 때 친형처럼 늘 따뜻하게 해주신 재성선배,
연수선배, 우진선배 정말 감사드립니다. 대학원에 진학하여 아무것
도 모르고 고민할 때, 때로는 형님처럼 때로는 친구로 늘 조언을
해준 박대근! 사우디에서 꼭 꿈을 이루기를 기원하겠습니다. 형님들
이지만 늘 편안하게 대해서는 우리 6공학과 터줏대감 경도형님, 경
우형님 감사합니다. 편하다는 이유로 시키는 많은 일들을 다 웃으
면서 받아준 정승욱! 정말 고맙고 대학원에 진학해서 꼭 꿈을 이루
기를 기원합니다. 지금은 부산대에 있는 김태권, 체코에서 고생하는
박영균, 단음식만 사주면 어떤 부탁이라도 들어주는 워드천재 한성
만, 연구실막내 김정운, 장기영에게도 감사의 마음을 드리며, 항상
열심히 하여 10년 뒤 멋진 모습을 기대합니다. 오늘의 제가 있기가
지 깊은 사랑으로 돌보아 주신 존경하는 아버지, 어머니 가슴속 깊
이 감사드립니다. 끝으로 항상 저를 믿고 사랑으로 뒷바라지해준
나의 미래 아내 혜정이에게 감사의 마음을 전하고, 앞으로 더 멋진
미래를 기대하면서 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

2012 년 01월

이 윤 래 울림

참고문헌

- [1] 송돈수, 정연구, 박경우, 박희용, 1999, “냉매와 가스관의 형상 변화가 왕복동압축기 성능에 미치는 영향” 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp.1200-1205
- [2] 장의성, 윤원재, 정현준, 정해원, 김용찬 , 2009, “R-600a 및 R-134a를 공용으로 사용한 소형 냉동사이클의 성능 특성 최적화에 대한 실험적 연구” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.208-213
- [3] 주영주, 김영현, 정현준, 김용찬 , 2006, “R600a 냉매를 이용한 2 단 압축 사이클의 압축기 조합에 따른 성능 특성” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.404-409
- [4] 윤원재, 안지훈, 김영현, 서국정, 이재승, 최도철, 2004, “고효율 BLDC 인버터 압축기를 적용한 가정용 냉장고의 최적운전에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.243-248
- [5] Erik, B., B. Palm, 2006, “Refrigerant mass charge distribution in a domestic refrigerator”, Part1: Transient conditions, Applied Thermal Engineering 26, pp.829-837

- [6] 진의선, 허삼행, 권영철, 고국원, 전용호, 이영덕, 박인규, 2004, “인버터 스크롤 압축기를 사용한 3실 에어컨의 난방성능”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.337-341
- [7] 김창년, 김운영, 이재승, 배학균, 김명옥, 박용중, 2003, “시차분할 멀티사이클을 적용한 냉장고의 성능에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.1261-1266
- [8] 안지훈, 장용희, 김용찬, 최원섭, 오승환, 김창년, 이재승, 2008, “R600a를 이용한 소형 멀티형 냉장고 시스템의 성능특성에 대한 실험적 연구”, 설비공학논문집 제 21권 제4호, pp.222-228
- [9] 우창세, 홍성준, 강형식, 홍순국, 곽호섭, 2008, “냉장고 싸이클 조립의 고주파 브레이징 기술에 관한 연구”, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집 2002년 제1권, 2002, pp.1-288

A Study on effect of reduced pipes in electric consumption of refrigerator

Yoon Tae Lee

Department of Mechanical Engineering,
Graduate School
Pukyong National University

Abstract

The electric consumption characteristics of a refrigerator have been investigated experimentally by bending or reducing tube because bend of tube or reduction of the diameter on faulty welding could be made in producing process of a refrigerator. Among the components, evaporation pressure according to reduction of tube's diameter in an exit of evaporator corresponding to the part of low pressure and suction line decrease and it is significantly influenced on electric consumption. And in case of a refrigerator of indirect cooling refrigerator, electric consumption on reduction of the diameter at the part of low pressure increase much more rapidly as compared with one of time divided multi cycle. When ambient temperature approach 30 도씨, the electric consumption according to change of boundary condition such as the reduction of the diameter, ambient temperature and notch temperature has a great effect. If notch temperature of refrigerator is set

up highly, it can be saved for electric until maximum 20%. By considering variation of tube, electric consumption increase with decrease of the diameter, and both of them are shown with linear relationships.



