

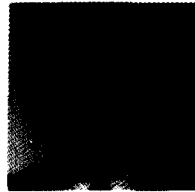
냉장고 성능평가 기술

Performance Test of Household Refrigerator

윤 재 호

J. H. Yun

생산기술연구원, 기계소재개발센터

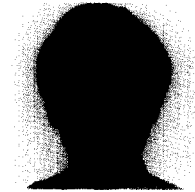


- 1955년생
- 열유체공학(열전달)을 전공하였으며 고효율 냉동공조시스템 CFC 대체기술, 환경기술의 개발에 관심을 가지고 있음

박 승 상

S. S. Park

생산기술연구원, 기계소재개발센터

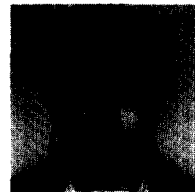


- 1959년생
- 열유체공학을 전공하였으며 각종 열유체관련기기의 성능시험 및 평가기술의 개발에 관심을 가지고 있음

류 호 열

H. Y. Ryu

생산기술연구원, 기계소재개발센터



- 1965년생
- 열유체공학을 전공하였으며 냉동공조시스템의 시뮬레이션에 관심을 가지고 있음

냉장고의 성능은 KS 규격에 따르면 일정조건하에서 열적성능, 전기적 성능, 구조적 성능 등 여러 항목을 시험해야 하지만, 본고에서는 열적 성능만을 대상으로 하여 당 연구원에서 수행한 “대체 냉매 냉장고 설계 및 제작 기술 개발” 과제와 관련하여 설계·제작된 냉장고용 주요부품의 성능시험장치(압축기 성능시험장치, 증발기 성능시험장치, 모세관 성능시험장치) 및 시스템 성능시험장치를 중심으로 각 성능시험장치의 구성 및 시험 방법에 대하여 알아본다.

1. 압축기 성능시험장치

1.1 압축기 성능시험 방법

압축기의 성능(냉동능력)은 압축기에 의해 순환되는 냉매의 질량 유량과 압축기 입출구 사이에서 압축기의 압축일에 의해 변화된 냉매의 엔탈피 차이와의 곱으로 정의되므로 압축기의 성능을 측정하기 위해서는 시험용 압축기로 구성되는 냉동 사이클 각 부위에서의 냉매의 엔탈피 및 냉매의 질량유량을 측정해야 한다. 냉동 사이클 각 부위에서의 냉매의 엔탈피는 그 부위에서의 온도와 압력을 측정하여 계산하며, 냉매의 질량유량은 유량계에

의한 직접측정 및 열교환량 측정에 의한 계산 방법 등 여러가지 방법으로 측정할 수 있다.

압축기 성능시험 방법은 냉매의 질량 유량 측정방법에 따라 6가지 방법으로 분류되며 각 method는 그 정도 및 용도에 따라 표 1에서 보는 바와 같이 primary test와 confirming test로 구분된다. primary test는 압축기의 성능을 측정하기 위한 주 테스트를 의미하고, confirming test는 primary test의 시험결과가 양호한 것인지를 확인하기 위한 2차 테스트를 의미하는 것으로 원칙적으로 압축기 성능시험 장치는 primary test method 중 한가지와 confirming test method 중 한가지를 동시에 갖추고 있어야 하며, 성능 시험시 두 테스트의 결과가 $\pm 3\%$ 이내의 오차를 보이면 양호한 시험이 수행된 것으로 판단한다. 일반적으로 primary test로 2차 냉매 열량계법, confirming test로 액체 냉매 유량계법이 많이 사용되고 있으며 이 방법들을 간단히 설명하면 다음과 같다.

표 1 압축기 성능시험 방법

- Primary test method
 - Secondary refrigerant calorimeter method (2차냉매 열량계법)
 - Secondary fluid calorimeter method (브라인 탱크식 열량계법 또는 열교환식 증발기 열량계법)
 - Primary refrigerant calorimeter method (직접가열식 열량계법)
 - Gaseous refrigerant flowmeter method (가스냉매 유량계법)
- Confirming test method
 - Gaseous refrigerant flowmeter method (가스냉매 유량계법)
 - Condenser calorimeter method (수냉 응축기법)
 - Liquid refrigerant flowmeter method (액체냉매 유량계법)

(1) Secondary refrigerant calorimeter method (2차 냉매 열량계법)

그림 1에서 보는 바와 같이 냉동 사이클의 증발기를 2차냉매 열량계내에 설치하여 증발기 코일과 2차냉매 사이의 열전달량을 측정하여 냉매의 질량유량을 계산하는 방법으로서, 2차냉매 열량계의 용기는 기액 2상의 2차 냉매를 봉입한 기밀용기이며 증발기 코일은 열량계 용기내의 상부 (기상의 2차냉매와 접촉)에 설치하고 2차냉매 가열장치로는 증발기 히터를 열량계 용기내 하부의 2차냉매 액면하에 잠기도록 설치한다.

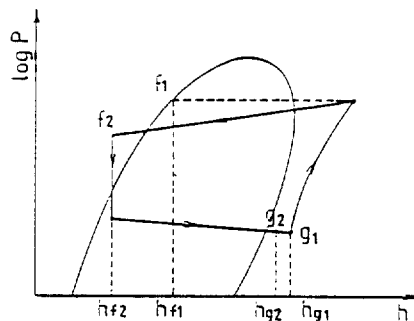
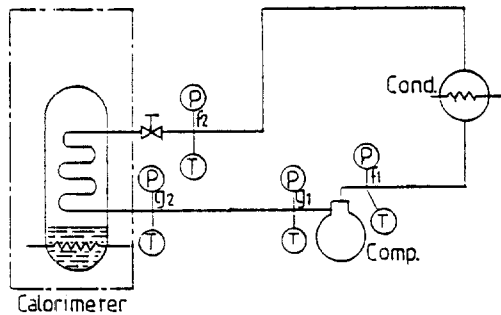


그림 1 2차냉매 열량계법의 냉동 사이클 및 상태량 측정위치

냉매의 질량 유량은 증발기 코일에서 흡수하는 열량을 2차냉매 열량계의 가열장치에 공급되는 전력을 이용하여 측정하고 다음식에 의하여 계산한다.

$$q_{mf} = \frac{P + \Phi_\ell}{h_{g2} + h_{f2}} \quad (1)$$

q_{mf} : 냉매의 질량유량 (kg/s)

P : 열량계 가열장치로의 공급전력 (W)

Φ_ℓ : 열량계의 누설열량 (W)

h_{g2} : 열량계 출구에서의 냉매가스의 엔탈피 (J/kg)

h_{f2} : 팽창밸브 입구에서의 냉매액의 엔탈피 (J/kg)

이 때 누설열량은 열량계 주변 공기로부터 열량계로의 열전달량으로서 시험기별로 다음과 같은 방법에 의하여 미리 측정된 열누설계수를 이용하여 계산한다.

- ① 열량계의 열입력은 2차 냉매의 압력이 주위 온도보다 15°C 높은 온도에 대응하는 일정한 포화 압력을 유지하도록 설정
- ② 주위 온도는 40°C 이하로 하고 그 온도 변동은 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이내로 한다.
- ③ 가열기의 열입력의 변동에 의한 2차 냉매의 포화압력에 대응하는 온도의 변동은 1시간에 걸쳐 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이내로 한다.
- ④ 열누설계수 계산

$$G = \frac{P}{t_p - t_a} \quad (2)$$

G : 열누설계수 (W/K)

P : 열량계 가열 장치로의 공급전력 (W)

t_p : 2차냉매의 압력에 대응한 포화 냉매 온도 ($^\circ\text{C}$)

t_a : 평균 주위온도 ($^\circ\text{C}$)

- ⑤ 열누설량 계산

$$\Phi_\ell = G \cdot (t_a - t_p) \quad (3)$$

따라서 압축기의 냉동 능력은

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= q_{mf} \cdot (h_{g1} - h_{f1}) \\ &= (P + \Phi_\ell) \cdot \frac{h_{g1} - h_{f1}}{h_{g2} - h_{f2}} \quad (4) \end{aligned}$$

h_{g1} : 압축기 입구에서의 냉매가스의 엔탈피 (J/kg)

h_{f1} : 압축기 출구에서의 냉매가스의 압력에 상당하는 온도에서의 냉매액의 엔탈피 (J/kg)

로 부터 계산된다. 일반적으로 대부분의 시험기에서는 2차냉매 열량계주변을 단열처리하여 열누설량을 무시하고 시험을 수행한다.

(2) Liquid refrigerant flowmeter method (액체냉매 유량계법)

그림 2에서 보는 바와 같이 과냉각기와 팽창밸브 사이에 액체냉매 유량계를 설치하여 냉동 사이클내로 흐르는 액체냉매의 유량을 측정하여 압축기의 냉동능력을 시험하는 방법이다. 이 때 유량계를 통과하는 냉매액은 유량계 출구의 압력에 상당하는 포화온도보다 3°C 이상 과냉각시켜 두어야 한다.

- 냉매의 질량유량 (체적유량계 사용시)

$$q_{mf} = \frac{\rho \cdot Q}{1 + \frac{w}{1-w} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}} \quad (5)$$

ρ : 액체 냉매의 밀도 (kg/m³)

Q : 냉매 · 오일 혼합액체의 유량 (m³/s)

w : 오일 순환율

ρ_0 : 오일의 밀도 (kg/m³)

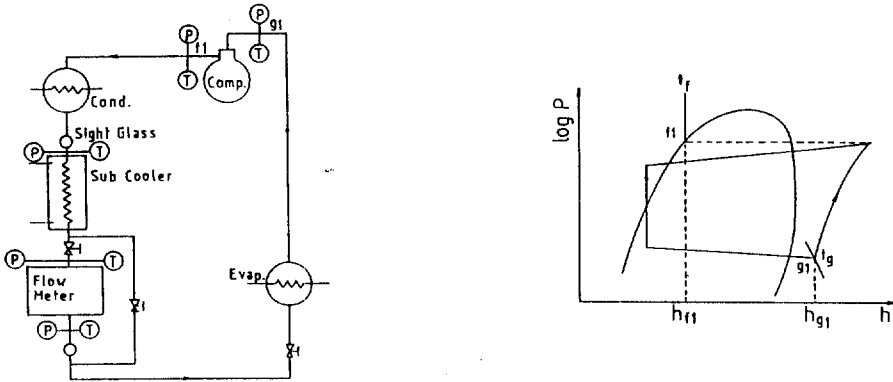


그림 2 액체냉매 유량계법의 냉동 사이클 및 상태량 측정위치

• 압축기의 냉동능력

$$\Phi_0 = q_{mf} \cdot \left\{ h_{g1} - h_{f1} - \frac{W}{1-W} C_0 (t_f - t_g) \right\} \quad (6)$$

C_0 : 오일의 비열 (J / kg · K)

t_f : 압축기 토출 압력에 대응하는 포화 냉매 온도 (°C)

t_g : 압축기 입구에서의 냉매온도 (°C)

1.2 압축기 성능시험장치 구성

본 장치는 시험 압축기로 냉동 사이클을 구성하는 기본 사이클, 시험조건을 맞추어주기 위한 조절장치, 성능평가를 위한 각종 물성치의 측정장치 및 측정값들을 효과적으로 처리하기 위한 data acquisition system 으로 구성된다.

(1) 기본 사이클

그림 3은 기본 사이클의 구성도를 나타낸 것으로 시험 압축기, 오일분리기, 응축기 코일, 리시버, 필터/드라이어, 과냉각기 코일, 유량계, 팽창밸브, 증발기 코일 및 연결배관으로 주 사이클을 구성하며, 응축기와 과냉각기용 냉동 사이클(콘덴싱 유니트 1, 2)이 별도로 구성된다. 주 사이클의 각 구성부품 및 배관상에 계측·제어를 위한 센서류 및 연결 포트가 설치되며, 외기조건을 일정하게 조절하

기 위하여 시험 압축기와 오일분리기는 항온 챔버 1에, 응축기, 리시버, 필터/드라이어, 과냉각기, 유량계, 팽창밸브, 증발기(calorimeter)는 항온 챔버 2에 설치되며, 응축기와 과냉각기용 콘덴싱 유니트는 항온 챔버 외부에 별도로 설치된다.

(2) 조절장치

압축기의 성능시험시에는 시험조건에 맞추어 압축기 전원, 압축기 흡입가스 온도 및 압력, 압축기 토출압력, 팽창밸브 입구온도등을 조절해야 한다. 또한, 시험압축기의 예열온도와 표면온도, 항온실온도 및 오일분리기 예열온도 등도 조절되어야 한다. 각 조절장치는 조건 설정부에 설치된 센서로부터 현재의 상태를 측정하여, 콘트롤러에서 설정치와 측정치를 비교하여 편차에 해당하는 출력신호를 내보내면, 액추에이터에서 콘트롤러의 출력신호를 받아 조절기를 작동시켜 조건설정부의 상태를 변화시키는 피드백 제어를 반복하여 사이클 각 부분에서의 상태를 시험조건에 맞추어 일정하게 유지시켜 준다.

(3) 측정장치

압축기의 성능을 시험하기 위해서는 주 사이클을 흐르는 1차 냉매의 사이클 각 부분에서의 온도와 압력, 증발기 탱크의 2차냉매 가열용 전기히터의 전력량, 시험 압축기의 전원

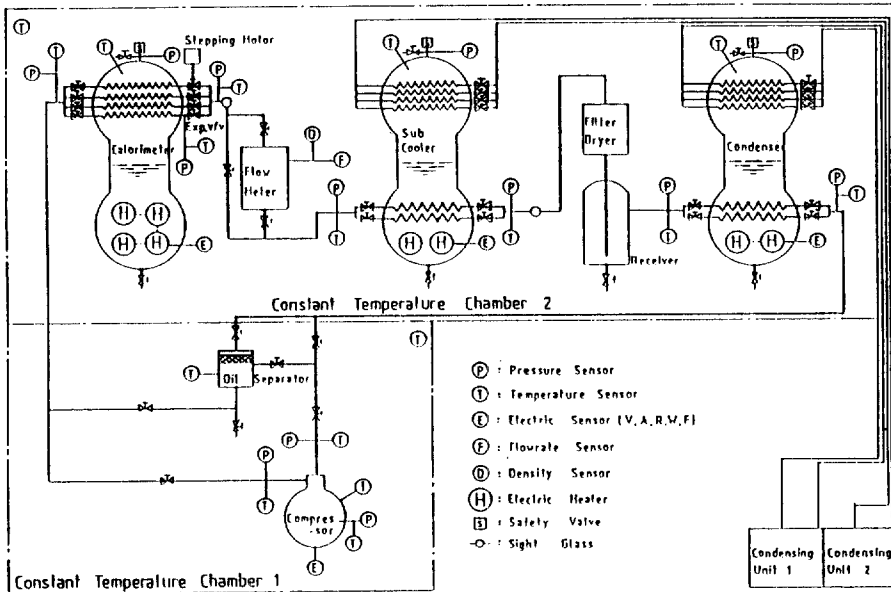


그림 3 기본 사이클 구성

및 전력량 측정이 기본적으로 필요하며, 이외에도 confirming test를 위한 1차냉매 유량, 오일 순환량 및 시험 압축기 주변온도, 대기압 등의 측정이 필요하다. 그림 3에서 냉동 사이클 각 부분에서의 온도(T), 압력(P), 유량(F) 등의 측정점을 개략적으로 알 수 있으며, 표 2에 각 측정 항목과 센서를 나타내었다.

일반적으로 냉동 사이클을 흐르는 오일 순환량이 2wt%(gaseous refrigerant flowmeter method의 경우 1wt%) 이상일 경우 압축기 성능측정값에 오차가 커지게 되므로 정확한 성능측정을 위하여는 오일 분리기를 사용하여 증발기 코일로 오일이 흐르지 않게하는 방법을 사용하거나, 오일 순환량을 측정하여 압축기 성능계산시 오일의 영향을 고려해 주어야 한다. 오일순환량 측정 방법으로는 다음과 같은 3가지 방법이 있다.

- ① 샘플 분석법 : 시험 도중에 액상라인에서 일정량의 냉매 및 오일혼합액을 채취하여 총 질량을 측정하고, 냉매를 증발시키고 난 후에 남은 오일의 질량을 측정하여 계산하는 방법
- ② 오일 분리기를 이용하는 방법 : 오일

분리기의 오일 출구 라인에 일정 용적의 정량탱크를 설치하고 밸브를 조작하여 이 정량탱크에 오일이 채워지는 시간을 측정하여 계산하는 방법으로 본 연구에서 채택

- ③ 자외선 오일 농도 측정기 : 자외선을 이용한 오일 순환량 측정 sensing unit를 냉동 사이클에 설치하여 직접 측정하는 장치

(4) 데이터 처리장치

앞의 여러 측정장치들에 의해 측정된 값들을 처리하기 위하여 data acquisition system, personal computer, panel 부착형 conditioner /indicator 등을 사용하였다. 원칙적으로 콘트롤 패널에 표시되는 측정값들은 데이터처리용과는 별도의 센서 및 인디케이터를 사용하였다. 데이터처리용 측정값들은 대부분 데이터처리 전용 센서의 시그널을 data acquisition system으로 받아 처리하였으며 일부 값들은 콘트롤 패널에 설치된 conditioner /indicator의 output signal을 data acquisition system으로 받아 처리하였다. 또한 그다지 중요하지 않거나 어쩔 수 없는 상태값들은 작업자가 컴퓨터에 직접 입력시킨다.

표 2 압축기 성능시험 장치의 각종 측정항목 및 센서

온도 측정점			압력 측정점			전기량 측정점		
No	항목	센서	항목	센서	No	항목	센서	
1	시험압축기 토출가스 온도	T-T/C(D) T-T/C(I)	시험압축기 토출가스 온도	pres. transducer(D) pres. transducer(C) pres. gauge(I)	1	증발기 히터 전압	digital power meter 1 (D)	
2	콘덴서 입구 냉매가스 온도	T-T/C(D)	콘덴서 입구 냉매가스압력	pres. trasducer(D)	2	증발기 히터 전류	digital power meter 1 (D)	
3	콘덴서 출구 냉매액 온도	T-T/C(D)	콘덴서 출구 냉매액 압력	pres. transducer(D)	3	증발기 히터 전력	digital power meter 1 (D)	
4	과냉각기 입구 냉매액 온도	T-T/C(D)	과냉각기 입구 냉매액 압력	pres. transducer(D)	4	시험압축기 전압	digital power meter 2 (D)	
5	팽창밸브 입구 냉매액 온도	T-T/C(D)	과냉각기 출구 냉매액 압력	pres. transducer(D)	5	시험압축기 전류	digital power meter 2 (D)	
6	팽창밸브 출구 냉매가스 온도	Pt 100Ω (C)	과냉각기 출구 냉매액 압력	pres. transducer(D)	6	시험압축기 전력	digital power meter 2 (D)	
7	증발기 출구 냉매가스 온도	T-T/C(D)	팽창밸브 입구 냉매액 압력	pres. transducer(D)	7	시험압축기 주파수	digital frequency meter (D)	
8	시험압축기 입구 냉매가스 온도	T-T/C(D)	팽창밸브 출구 냉매가스압력	pres. transducer(D) 참고용 포트 설치	8	시험압축기 motor coil 저항	hot line coil ohmmeter(D)	
9	시험압축기 입구 냉매가스 온도	T-T/C(D) T-T/C(I) Pt 100Ω (C)	증발기 출구 냉매가스압력	pres. transducer(D)	9	과냉각기 히터 전력	digital watt meter(D)	
10	시험압축기 표면 온도	T-T/C(D) T-T/C(C) T-T/C(C)	시험압축기 입구 냉매가스압력	pres. transducer(C)	10	콘덴서 히터 전력	digital watt meter (D)	
11	증발기 탱크 온도	온도계 (R)		pres. gauge(I)	기타 측정점			
12	과냉각기 탱크 온도	온도계 (R)		pres. transducer(D)	No	항목	센서	
13	콘덴서 탱크 온도	온도계 (R)	시험압축기 내부압력	pres. gauge(R)	1	액체 냉매 유량	mass flowmeter (D)	
14	comp. motor coil 온도	Hot Line Coil Ohmmeter(D)	증발기 탱크 압력	pres. gauge (R)	2	오일 순환량	oil separator (D)	
15	항온 체임버 2 온도	T-T/C(D)	과냉각기 탱크 압력	pres. gauge (R)				
16	항온 체임버 1 온도	Pt 100Ω (C)	콘덴서 탱크 압력	pres. gauge(R)				
17	오일 분리기 표면 온도	T-T/C(D) T-T/C(C)	대기압	barometer(D)				

* D : data acquisition용 센서, I : indicator용 센서, C : control용 센서, R : 참고용 센서

2. 증발기 성능시험 장치

그림 4는 냉장고에서 가장 중요한 구성부품 중의 하나인 증발기의 성능시험장치 구성도로써 크게 공기가 순환하는 wind tunnel 과 시험 증발기 및 증발기와 함께 구성되는 냉동 사이클로 구성되며, 시험조건을 맞추어주기 위한 조절장치 및 각종 측정장치가 필요한 부분에 부착된다. 본 시험장치에서 증발기 내부를 흐르는 냉매의 증발기 전후에서의 시험 조건의 조절은 앞절의 압축기 성능시험 장치를 이용한다.

2.1 Wind tunnel

그림 4에 나타난 바와 같이 증발기에 의해 냉각되는 공기의 순환통로로서 $\phi 216 \times 6'$ 의 스테인레스 파이프를 플랜지를 이용하여 체결

한다. 터널의 총 길이는 10.2m로서 2.5m×2.6m의 직사각형 폐회로를 이루고 있으며, 공기 유동을 유발시키는 팬, 온·습도 조절장치, 시험 증발기가 위치하는 test section 과 유량측정용 오리피스가 부착된다.

덕트에서의 속도분포를 일정하게 하기 위하여 덕트의 굴절부에 가이드 베인(고정) 과 뎀퍼(회전)를 설치하여 굴절부를 지나면서 공기의 속도분포가 한쪽으로 편중되는 것을 방지하며, test section 의 입구부분 및 오리피스 전후에는 honeycomb 을 설치하여 이들 부분에서의 속도 분포를 균일하게 유지시켜 준다.

Test section 은 시험 증발기의 형상 및 실제 사용시의 공기흐름 방향등을 고려하여 시험 증발기에 맞추어 별도로 제작하여 사용하며, 증발기를 통과하는 공기가 냉장실용과 냉동실용으로 구분되므로 이 조건을 맞추어주기 위

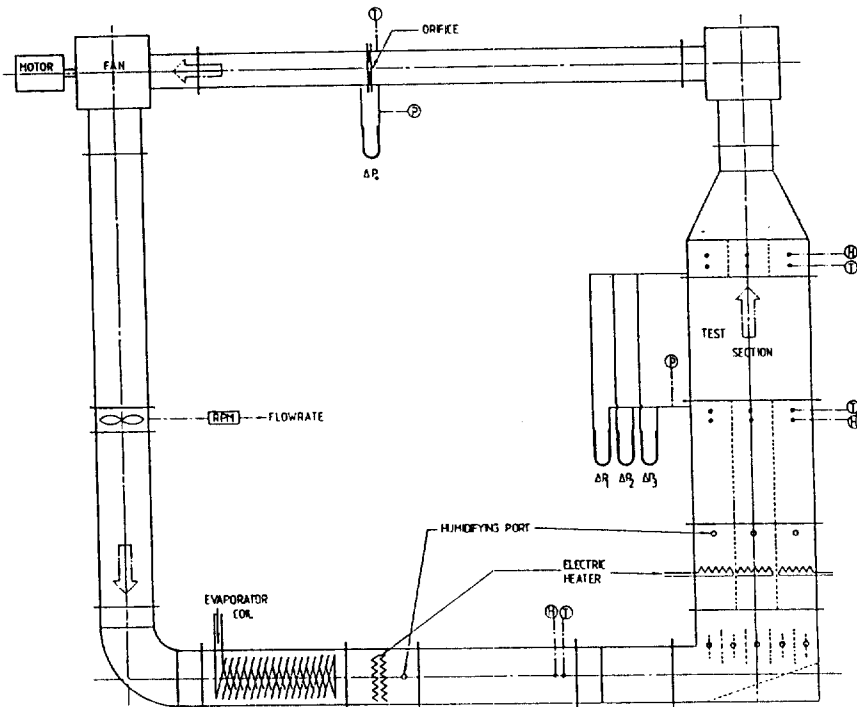


그림 4 증발기 성능시험 장치 구성도

하여 test section 전후의 통로를 3개의 통로로 구분하고 각각에 통로별 온·습도 조절장치 및 측정장치를 별도로 설치한다.

덕트의 연결부분 및 조절·측정장치 설치부분은 외부 공기와의 혼합을 방지하기 위하여 기밀을 유지시키도록 하며, 유동가시화를 위한 일부 부분을 제외하고는 외부온도의 영향을 받지 않도록 단열 처리한다.

공기유동용 팬은 DC 모터구동 시로코 팬을 사용하며 팬전후에는 플렉시블 덕트를 사용하여 팬의 진동이 터널 전체에 전달되는 것을 방지한다.

2.2 조절장치

조절장치는 크게 공기측 상태 조절장치와 냉매측 상태 조절장치로 구분되며 냉매측 상태 조절장치는 앞절의 압축기 성능시험장치를 그대로 이용한다. 즉, 압축기 성능시험장치(그림 3)에서 증발기 탱크의 증발기 코일에 연결되는 라인을 wind tunnel의 test section에 설치되는 시험 증발기에 연결하여 냉동 사이클을 구성하고 압축기 성능시험장치의 각종 조절장치를 이용하여 시험 증발기 입출구에서의 냉매의 상태를 조절한다. 공기측 상태 조절장치는 유량조절장치, 증발기 입구공기 온도 및 습도 조절장치로 구성된다.

(1) 유량조절장치

공기유량은 공기유동용 팬의 회전수 조절을 이용하여 조절한다. 팬은 충분한 용량의 시로코 팬을 사용하며 구동용 모터로 DC 모터를 사용하여 DC 모터의 공급전압을 조절함으로써 팬의 회전수를 조절하여 공기유량을 조절한다.

(2) 온도조절장치

시험 증발기를 통과한 공기는 온도가 낮아지므로 증발기 입구에서의 온도 조건을 맞추기 위하여 증발기 입구측의 하부 덕트 내부에 전기히터를 설치하여 전기히터의 가열열량을 조절하여 증발기 입구에서의 공기 온도를 조절하며, 증발기 통과 공기를 3개의 영역으로 분할

하여 조건을 달리하는 경우에는 증발기 입구 직전의 덕트에 설치된 3개의 전기히터를 각각 조절하여 각 통로에서의 공기의 온도를 조절한다.

(3) 습도조절장치

냉장실 및 냉동실에서의 공기의 습도가 서로 다르므로 3개의 통로에 각각 별도의 습도 조절 장치 및 전체를 조절하기 위한 주 습도 조절 장치를 설치한다. 가습장치로는 전기히터를 이용하는 가습장치를 사용하며 전기히터에 공급되는 전원을 조절하여 가습량을 조절하며, 3개의 통로에서 각각 다르게 습도가 조절된 공기가 증발기를 통과하고 나면 하나의 통로로 합치므로 연속적인 조절을 위하여 통로별 습도조절 장치를 통과하기 전단계에 제습 코일을 이용하여 최대한으로 제습을 시킨다.

2.3 측정장치

측정장치로는 증발기 입출구에서의 냉매의 온도, 압력, 유량측정 장치와 공기의 온도, 습도, 압력, 유량측정장치가 설치되며, 필요에 따라 착상 및 제상현상관찰, 증발기를 통과하는 공기의 유동상태 관찰 등을 위한 장치가 설치된다. 표 3에 각종 측정항목 및 센서를 나타내었으며, 이 중에서 냉매유량은 앞절의 압축기 성능시험장치에 사용된 질량유량계를 이용한다.

그리고 착상 및 제상특성 측정이 필요한 경우 test section 한면의 내부를 볼 수 있도록 투명 아크릴판으로 설치하여 시험 증발기에 착상 및 제상되는 과정을 육안관찰 및 사진촬영을 통하여 측정하며, 착상 시험시에는 단위 시간당 공급되는 습증기량이, 제상시험시에는 덕트내부 공기의 습도변화량 및 외부로 방출되는 물의 양이 측정되어야 한다.

증발기를 통과하는 공기의 유동특성 측정이 필요한 경우 증발기 출구쪽에 여러개의 피도 튜브를 설치하여 각 부분에서의 공기유속을 측정하는 방법과, 유색 가스를 사용하여 유동

장을 가시화시켜 육안관찰 및 사진촬영을 하는 방법이 있다. 유색가스를 사용하는 경우에는 지속적인 관찰을 위하여 wind tunnel 을 closed loop 가 아닌 open loop 로 변경시켜야만 한다.

2.4 데이터 처리장치

온도와 압력 센서는 곧바로 data acqui-

sition system 으로 연결되고, 습도 센서와 냉매질량 유량계는 digital indicator 를 거쳐서 data acquisition system 으로 연결되며, data acquisition system 은 다시 personal computer 에 연결되어 각 측정값 및 증발기의 성능이 계산된다. 계산된 결과는 personal computer 에 연결된 printer, floppy disk driver, recorder 등에 의하여 기록 및 저장된다.

표 3 증발기 성능시험장치의 각종 측정항목 및 센서

구분	No	항 목	센 서	연 결 장 치	비 고
온도	1	팽창밸브 입구 냉매온도	1-T-type T/C	data acquisition system	
	2	팽창밸브 출구 냉매온도	1-T-type T/C	data acquisition system	
	3	증발기 출구 냉매온도	1-T-type T/C	data acquisition system	
	4	증발기 입구 공기온도 (3개 통로별 온도)	21-T-type T/C	data acquisition system	21개 T/C 평균값
	5	증발기 출구 공기온도 (3개 통로별 온도)	21-T-type T/C	data acquisition system	21개 T/C 평균값
	6	오리피스 입구 공기온도	21-T-type T/C	data acquisition system	21개 T/C 평균값, 유량계산용
습도	1	증발기 입구 공기습도	3- 습도 센서	digital indicator	3개 통로별
	2	증발기 출구 공기습도	3- 습도 센서	digital indicator	3개 통로별
유량	1	냉매 유량	mass flowmeter	digital indicator	
	2	공기 유량	오리피스	data acquisition system	
압력	1	팽창밸브 입구 냉매압력	strain gauge type-P/T	data acquisition system	절대압
	2	팽창밸브 출구 냉매압력	strain gauge type-P/T	data acquisition system	절대압
	3	증발기 출구 냉매압력	strain gauge type-P/T	data acquisition system	절대압
	4	증발기 입구 공기압력 (3개 통로별 압력)	strain gauge type-P/T	data acquisition system	절대압
	5	증발기 입출구 공기압력차 (3개 통로별 압력차)	strain gauge type-P/T	data acquisition system	차 압
	6	오리피스 입구 공기압력	strain gauge type-P/T	data acquisition system	절대압
	7	오리피스 입출구 공기압력차	strain gauge type-P/T	data acquisition system	차 압

3. 모세관 유량특성 시험장치

냉장고에서 냉동 사이클의 팽창변 대응으로 주로 사용되는 모세관의 냉매 유량 특성은 모세관의 길이, 내경, 내부 표면상태 등의 형상에 따라서, 적용되는 시스템의 특성에 따라서, 모세관 입출구에서의 냉매의 온도, 압력, 건도, 오일농도 등의 특성에 따라서 매우 복잡하게 변화하므로 모세관의 냉매유량 특성을 간단하게 시험하기는 매우 곤란하다. 따라서 냉매를 사용하는 실제의 유량성능시험보다는 건질소 가스를 사용하여 모세관의 기하학적 형상(길이, 내경) 변화 및 입구압력 변화에 따른 유량특성 시험을 수행하여 조건변화에 따른 유량특성의 변화 경향을 파악하는 시험을 주로 수행한다.

3.1 건질소가스 유량특성 시험장치

그림 5는 건질소가스 유량특성 시험장치의 구성도를 나타낸 것으로 건질소공급장치, 모세관 입구에서의 조건을 맞추어주기 위한 압

력조절기 및 온도 조절기와 온도, 압력 및 유량측정장치로 구성된다.

(1) 질소 탱크

질소가스의 공급원으로서 최소공급압 8.5 kgf/cm² 이상, -32°C 이하의 dew point 를 갖는 건질소 가스를 사용하며, shut-off 밸브, 질소가스공급압력 측정용 bourdon tube pressure gauge 및 모세관 막힘을 방지하기 위한 고체, 액체 불순물 제거용 필터가 부착된다.

(2) 압력조절기

모세관 입구에서의 질소가스 압력을 일정하게 유지시켜주기 위한 것으로 미세조정이 가능한 0-10kgf/cm² 범위의 air regulator 를 사용한다.

(3) 항온조

모세관 입구에서의 질소가스 온도를 일정하게 유지시켜주기 위한 것으로 항온조 속으로 질소가스 라인을 통과시키고 항온조내의 온도를 조절하여 질소가스의 온도를 조절한다.

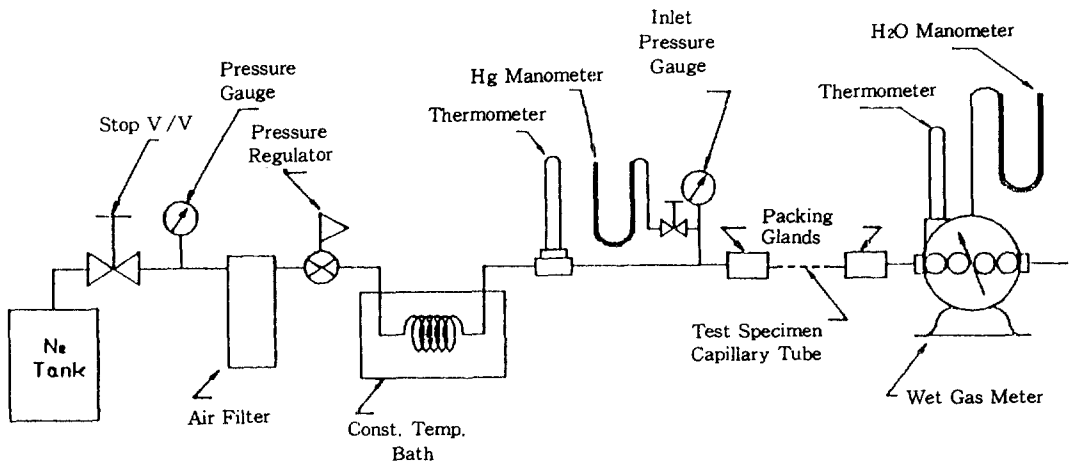


그림 5 건질소가스 유량특성 시험장치 구성도

(4) 모세관 입구 온도·압력 측정장치

모세관 입구에서의 질소가스의 온도 및 압력 측정용으로, 온도계는 T-type thermocouple을 사용하는 digital thermometer 또는 표준온도계용 수은온도계를 사용하며, 압력계는 test gauge 용 bourdon tube pressure gauge 또는 pressure transducer 를 사용하는 digital pressure gauge 를 사용한다.

(5) 유량측정장치

모세관을 통과하는 질소가스의 유량측정 장치로는 고정도의 표준계기로 사용되는 Wet gasmeter 를 사용한다. Wet gasmeter 는 적산유량계의 일종이므로 질량유량으로의 환산을 위한 배압측정용 압력계(H₂O manometer) 및 온도계와 자동측정을 위한 pulse signal 발생장치가 wet gasmeter 에 부착되어 있다. 그리고 질소가스 유량의 질량유량으로의 환산을 위하여 대기압 및 실내온도를 측정한다.

3.2 냉매 유량특성 시험장치

실제의 냉동 사이클에 모세관을 설치하여 유량특성을 시험하는 방법으로 앞절의 압축기 성능시험 장치(그림 3)에서 팽창밸브를 시험 모세관으로 교체하여 시험한다.

(1) 조절장치

압축기 성능시험 장치의 각종 조절장치를 사용하여 모세관 입출구에서의 조건을 맞춘다.

(2) 유량측정장치

압축기 성능시험 장치의 질량 유량계를 이용하여 냉매의 질량유량을 측정한다.

(3) 모세관내의 온도·압력 변화 측정장치

모세관의 길이에 따른 냉매의 온도·압력 변화를 측정하기 위해서는 모세관에 일정 간격으로 thermocouple 및 pressure tap 을 설치하여 각 포인트에서의 온도와 압력을 측정한다. 모세관의 크기가 작기 때문에 thermocouple 은 모세관 외벽에 용접하여 설치하며, pressure tap 은 모세관에는 레이저 가공등을 이용하여 $\phi 0.1\text{mm}$ 정도의 작은 구멍을 정밀 가공하고 그 주변을 큰 튜브로 감싸고 외부

의 큰 튜브에 pressure tap 을 설치한다. Thermocouple 은 T-type 을 사용하며 thermocouple 설치 부분은 외부 온도의 영향을 받지 않도록 단열처리한다. 압력계는 strain gauge type pressure transducer 또는 bourdon tube pressure gauge 를 사용한다.

4. 시스템 성능시험장치

냉장고의 종합적인 성능을 시험하는 장치로 KS C9305-1989 에 의하면 냉매누설, 냉각 및 냉동성능, 냉각속도, 성에 제거 성능, 단열특성, 소비전력 및 절연저항 등의 전기적 성능, 온도분포, 문의 개방력 및 유지력 등 여러 항목을 측정해야 하지만, 본 연구에서는 열적 성능에 관계되는 사항만을 대상으로 성능시험 장치를 구성하였다.

4.1 성능시험장치 구성

냉장고의 종합성능 시험을 위한 장치로서 압축기, 응축기, 모세관, 증발기 등으로 이루어지는 냉장고, 냉장고 외기조건을 조절하기 위한 항온·항습조, 냉장고 주요점에서의 온도, 압력 그리고 소비 전력량등을 측정하기 위한 측정장치, 각 측정점에서 측정된 데이터를 처리하고 성능을 계산하기 위한 데이터처리장치로 구성된다.

(1) 항온·항습조

표 4에 본 연구에서 사용한 항온·항습조의 사양을 나타내었다.

(2) 측정장치

① 온도측정장치

냉장고 주요측정점 및 외기온도를 측정하기 위하여 T-type thermocouple 을 사용하였으며 냉장고에서는 압축기 입출구, 응축기 및 증발기 그리고 내부에서의 온도를 측정하며 냉장고에 부하를 주기 위한 물의 온도도 측정한다. 압축기 입출구에서는 냉매의 온도를 직접 측정하지만 이외의 부분에서는 측정상의 어려움으로 판표면의 온도측정으로 대신한다.

표 4 항온·항습조의 사양

규	내 부 크 기	W2000 × D1500 × H2000 mm
	투 시 창	Φ252 × 3
	분	쌍 여닫이
격	재 료	내부 SUS 304 (1.2t) 외부 steel coating (1.2t)
	단 열 재	glass wool (100t)
	순 환 모 터	250W × 5
	히 터	SUS pipe fin heater 20kW
	진 원	AC 220V
제	온 도 범 위	0°C ~ 50°C
	온 도 정 밀 도	± 1°C
어	습 도 범 위	0 ~ 95% RH
	습 도 정 밀 도	± 3% RH
	온 도 조 절 기	PID digital
	습 도 조 절 기	PID digital

② 압력측정장치

압력측정은 압축기 입출구에서 이루어지며 측정 센서로는 strain gauge type pressure transducer 를 사용하였다. 본 성능시험시 사용한 P/T 는 4선식으로 DC 24V로 입력되어 4-20mA 로 출력되며 측정범위가 0 ~ 15 kgf/cm² (압축기 출구압력 측정용), 0 ~ 5 kgf/cm² (압축기 입구압력 측정용)로 두 종류이다.

③ 전기 계통 측정장치

냉장고 기동 및 운전시의 전류측정을 위하여 ammeter 를 전원선에 설치하였으며 측정 범위가 5A 이고 출력은 1~5V 그리고 accuracy 는 ± 0.25% 이다. 또한 정격출력 0V ~ 240V, 정격용량 5kVA 의 slidax 를 설치하여 기동 전압을 측정하였고 소비전력량을 측정하기 위하여 교류 단상 2선식 적산 전력계를 사용하였다.

(3) 데이터 처리장치

각 측정점에서 측정된 온도, 압력, 전력 등 측정 데이터를 처리하고 성능을 계산하기 위한 장치로 data acquisition system, 컴퓨터

및 주변기기(프린터, 플로터)로 구성된다. 본 성능시험에서는 data acquisition system 으로 HP 3852A 를 사용하였으며 일정시간 간격으로 읽힌 데이터는 HP-IB 를 통하여 HP9000 series 300 에 기록된다.

4.2 성능시험 방법

(1) 성능시험 종류

냉장고의 성능을 시험하기 위하여 세가지의 시험 즉, 무부하 연속운전시험(no load pull down test), 모의 부하시험(simulated load test) 그리고 제빙시험(ice-making test) 을 수행한다. 시험종류에 관계없이 모든 시험시 적용된 초기 조건과 측정사항은 표 5 와 같다.

표 5 시험초기조건 및 측정항목

초기 조건	주위온도	32.3°C, 60% RH
	냉장고내온도	32.2°C
	냉장고내물온도	26°C
측정 항목	기동전류, 과열도, 압축기 입출구 압력	

① 무부하 연속운전 시험 (no load pull down test)

온도조절기를 분리하여 연속운전 상태로 만든 후 냉장고에 아무런 부하를 주지 않고 시험 순서에 따라 시스템을 가동시킨다. 그리고 냉장실 온도와 냉동실 온도의 시간에 따른 변화를 관측하여 각 실의 온도가 각각 5°C, -15°C에 도달하는데 걸리는 시간을 측정한다.

② 모의부하 시험(simulated load test)

온도조절기의 위치를 강/강에 맞추고 냉장실에 일정온도, 일정량의 물을 넣어 부하를 주고 시스템을 24시간 가동시켜 각 실내 그리고 사이클내의 온도 및 압력의 시간에 따른 변화를 관찰하고 그 때 소요된 전력량을 측정한다.

③ 제빙시험 (ice-making test)

일정규격의 얼음통을 이용하여 일정온도, 일정량의 물을 냉동실에 넣고 제빙과정을 관측한다. 이 때 온도조절기는 강/강에 맞추며 얼음의 온도가 -2.2°C에 도달하는 시간을 측정한다.

(2) 성능시험 순서

① 진공펌프를 압축기 입구측 냉매 주입구와 드라이어 측 냉매 주입구에 연결한 후 사이클 내의 압력이 진공 상태에 도달할 때까지 가동시킨다. 보통 1시간 정도면 진공 상태에 도달한다.

② 진공 상태에 도달한 후 냉매 정량 주입장치를 이용하여 대상 냉매를 액상으로 적정량을 충전한다. 냉매량의 결정은 냉장고를 가동시켜 입출구에서의 압력, 증발 및 응축온도 그리고 사이트글라스에서의 냉매 유동상태를 관찰하여 정한다.

③ 압축기 입출구 압력이 너무 높거나 입구쪽 사이트글라스에 액상유동이 관찰되면 냉매를 조금 빼주고 반대로 압축기 입출구 압력이 너무 낮거나 응축기 출구쪽 사이트글라스에 액상 냉매량이 너무 작을 경우 냉매

를 기체 상태로 조금 더 충전시킨다.

④ 혼합냉매의 경우는 포화 증기압이 낮은 냉매를 먼저 충전시킨다. 즉 R22/R142b를 대상으로 실험할 때는 R142b를 충전한 후 R22를 넣는다.

⑤ 냉매가 충전된 냉장고를 항온·항습조에 넣고 시험조건에 맞게 조내의 온도, 습도를 설정하여 냉장고내 상태(온도 및 습도)가 조내의 상태와 같아지도록 냉장고 문을 열어둔 채로 항온·항습조를 작동시킨다.

⑥ 시험조건을 맞춘 후 냉장고를 가동시켜 기동특성, 운전특성, 사이클 각 위치에서의 상태량(온도, 압력) 등을 측정한다.

⑦ 동일 냉매에 대한 몇가지의 성능시험을 수회 반복 수행하며, 한가지 냉매에 대한 성능시험이 모두 끝나면 냉매의 종류를 바꾸어 ①~⑥을 반복 수행한다.

(3) 데이터처리

시스템의 각 위치에 설치된 온도 및 압력센서로 부터 나오는 아날로그 신호를 HP3852A를 통하여 디지털 신호로 변화시켜 HP9000 series 300에서 출력시킨다.

참 고 문 헌

1. 윤창현외, "Car Cooler용 Compressor 성능시험 장치의개발", KIMM 보고서, 1988
2. ASHRAE Standard 23-78, "Positive Displacement Refrigerant Compressors, Methods of Testing for Rating"
3. ASHRAE Standard 28-78, "Methods of Testing Flow Capacity of Refrigerant Capillary Tubes"
4. K.S.B6365 규격
5. K.S.B6226 규격
6. K.S.CP305 규격 등