

열 펌프(HEAT PUMP)

李 相 龍*

1973년 에너지 파동이후에 에너지를 좀 더 효율적으로 사용하는 방법이 여러가지로 강구되고 있다. 그 한가지 방법으로 Heat Pump의 사용을 들 수 있다. Heat Pump는 선진국에서 이미 오래전에 개발 시판되어 있으나 국내에서는 아직 별로 관심을 쏟지 않고 있다. 이에 본 실험실에서는 국내 우수한 전기제품메이커인 D전선의 도움을 얻어서 Heat Pump를 실험용으로 제작하여 간단한 실험을 행하였다. 다음은 위에서 행한 실험의 내용을 간추려 본 것이다.

1. 열펌프(Heat Pump)의 개요

Heat Pump는 저온의 열원에서 고온의 장소에 열을 공급하는 장치이다.

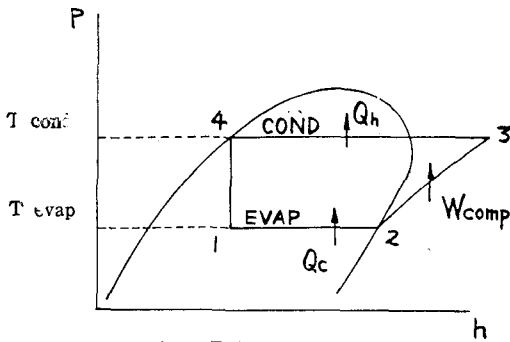


그림 1 P-h 선도

그림 1에서 보면 알 수 있듯이 W_{comp} 는 Compressor 일이고 Q_c 는 낮은 온도의 열원에서 흡수하는 열량이고, Q_h 는 온도가 높은 장소로 방출하는 열량이다.

공기조화기(Air-Conditioner)는 Q_c 를 이용하는 것이고 Heat Pump는 Q_h 를 이용하는 것임

로 결국 작동원리는 동일한 것이다.

따라서 Air-Conditioner를 Heat Pump로 사용할 때에는 단순히 냉매의 유동방향을 바꾸어주면 되는 것이다.

Air-Conditioner와 Heat Pump의 성능 계수(c. o. p.)는 다음과 같이 정해진다.

$$(C. O. P.)_{Air-Cond} =$$

$$\frac{\text{저온의 열원에서 흡수한 열량}}{\text{동력(전력) Input}} \quad (1)$$

$$(C. O. P.)_{Heat Pump} =$$

$$\frac{\text{고온의 장소에 방출한 열량}}{\text{동력(전력) Input}} \quad (2)$$

그림 1과 같이 이상적인 경우는 성능계수는 다음과 같다.

$$(C. O. P.)_{Air-Cond} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2} \quad (3)$$

$$(C. O. P.)_{Heat Pump} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2} \quad (4)$$

2. 실험의 개요

Heat Pump는 단순히 냉매의 유동방향만을 바꾸어 주면 되므로 본 실험용 Heat Pump는 D전선의 기존 Air-Conditioner에 4way Valve를 부착해서 냉매의 유동방향을 바꿀수 있도록 개조하였다.

선진국에서는 이미 Heat Pump에 적합한 4way valve가 시판되고 있으나, 국내에서는 구하기 어려운 사정 때문에 여기서는 유압용 4way valve를 사용하였다.

Heat Pump의 내부회로는 다음과 같다.

실험의 방법은 Heat Pump의 Outdoor Coil 및 Indoor Coil을 지나는 공기의 온도, 습도, 풍량을 측정하기 위해서 각각의 흡입 및 토출측에 Duct를 설치하여 Duct 내에서 측정치를 얻었고, 또한

* 正會員, 韓國科學院

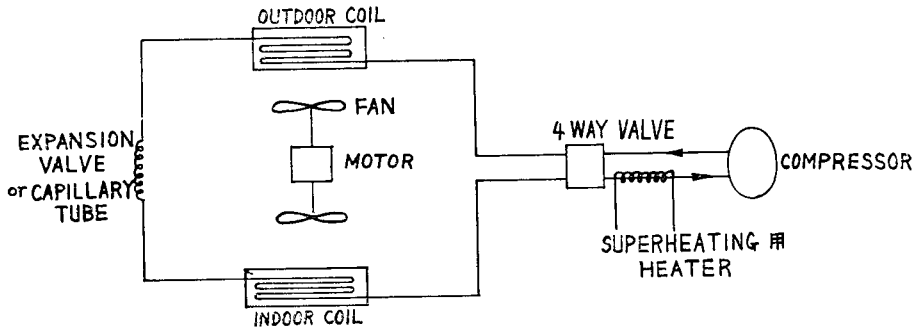


그림 2 냉방기장 : COMPRESSOR→4 WAY VALVE→OUTDOOR COIL→EXPANSION VALVE→
INDOOR COIL→4WAY VALVE→COMPRESSOR
난방기장 : COMPRESSOR→4WAY VALVE→INDOOR COIL→EXPANSION VALVE→
OUTDOOR COIL→4WAY VALVE→COMPRESSOR

Heat Pump 내부의 각 부분의 온도를 측정하였다. 실험장치에 쓰인 Heat Pump는 4way valve를 제외하고는 D전선의 1Hp의 Compressor를 사용하는 Air-conditioner의 부분품을 그대로 사용한 것이고, 실험을 위한 측정기구는 다음과 같은 것을 사용했다.

- Thermocouple: Copper-Constantan을 사용하였으며, 이것은 본 실험실에서 Calibration을 행한 것을 사용한 것이다.
- Potentio-Meter: Leed & Northrup 8686 Millivolt Potentiometer
- Digital Voltmeter: Simpson 2700 Digital system
- Digital Thermometer: United systems Corporation 582C Digital Thermometer -22~199F Range
- A. C. Ampere Meter: Yokogawa Electric Works, Ltd 0~30A Range
- 풍속계 : Air Velocity Indicator, 「flore」 Bacharach Industrial Inst. CO. 0~300m/min
- 전습구온도계
- Selector Switch: Leed & Northrup, 16 point 用
- Cold junction 用 보온병 또한 Superheating을 위해서 Compressor Suction에 Heater를 부착했다.

3. 실험결과 및 분석

이상과 같은 실험장치를 행한 실험결과를 정리해 보면 다음과 같다.

앞에서 보듯이 실험은 Cooling과 Heating의 경우에 대해서 모두 행하여졌으나, 여기서는 Heating의 경우, 즉 Heat Pump로 사용할 경우에 대해서만 결과를 분석하고자 한다.

• Indoor Coil 측 :

흡입공기엔탈피 $\dots h_A = 40.4 \text{ Btu/lb}$

토출공기엔탈피 $\dots h_B = 47.1 \text{ Btu/lb}$

(싸이크로메트릭 차-트에서)

난방능력 (Heating Capacity) $Q_{\text{heating}} = \rho AV \Delta h$

$\rho = 0.075 \text{ lb/ft}^3$ (공기밀도)

$A = 0.7343 \text{ ft}^2$ (Duct 단면적)

$V = 9.62 \text{ ft/sec}$ (토출공기속도)

$\Delta h = h_B - h_A$

$Q_{\text{heating}} = 0.075 [\text{lb/ft}^3] \times 0.7343 [\text{ft}^2]$

$\times 9.62 [\text{ft/sec}] \times (47.1 - 40.4) [\text{Btu/lb}]$

$\times 3600 [\text{sec/hr}] = 12778.7 [\text{Btu/hr}]$

• Outdoor Coil 측

흡입공기엔탈피 $\dots h_C = 38.6 \text{ Btu/lb}$

토출공기엔탈피 $\dots h_D = 35.8 \text{ Btu/lb}$

외부에서 받아들이는 열량 $Q_{\text{outdoor}} = \rho AV \Delta h$

$\rho = 0.075 \text{ lb/ft}^3$ (Indoor Coil의 경우와 같이 놓고 계산)

$A = 2.56 \text{ ft}^2$ (Duct 단면적)

열 펌 프 (HEAT PUMP)

		HEATING	COOLING
INDOOR COIL 측	흡입 공기 온도 (F)	82.35	80.8
	흡입 공기 습도 (%)	78.5	74
	토출 공기 온도 (F)	107.75	69.1
	토출 공기 습도 (%)	37	93
	토출 DUCT 단면적 (ft ²)	0.7343	0.7343
	토출 공기 속도 (ft/sec)	9.62	9.84
	INDOOR COIL 냉매 입구 온도 (F)	146.3	56.2
	INDOOR COIL 냉매 출구 온도 (F)	119.8	78.06
OUTDOOR COIL 측	흡입 공기 온도 (F)	79.74	84.3
	흡입 공기 습도 (%)	80	71
	토출 공기 온도 (F)	71.9	105.7
	토출 공기 습도 (%)	100	37
	토출 DUCT 단면적 (ft ²)	2.56	2.56
	토출 공기 속도 (ft/sec)	3.87	3.80
	OUTDOOR COIL 냉매 입구 온도 (F)	65	145.41
	OUTDOOR COIL 냉매 출구 온도 (F)	65	87.1
COMPRESSOR	SUCTION 부분 온도 :		
	HEATER 통과 前 (F)	102.92	92.6
	HEATER 통과 後 (F)	107.87	100.22
	DISCHARGE 부분 온도 (F)	202.5	178.8
· 전력 INPUT	INPUT VOLTAGE (V)	117.9	115.3
	INPUT CURRENT (A)	15.8	13.3
실내 온도	(F)	81.5	81.0

$V = 3.87 \text{ ft/sec}$ (토출 공기 속도)

$$\Delta h = h_c - h_d$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{\text{outdoor}} &= 0.075 [\text{lb/ft}^3] \times 2.56 [\text{ft}^2] \times 3.87 \\ & [\text{ft/sec}] \times (38.6 - 35.8) [\text{Btu/lb}] \times 3600 \\ & [\text{sec/hr}] = 7489.8 [\text{Btu/hr}] \end{aligned}$$

· 전력 Input

$$W_{\text{input}} = VI$$

$$V = 117.9 \text{ Volt (전압)}$$

$$I = 15.8 A_{\text{mpere}} \text{ (전류)}$$

$$\therefore W_{\text{input}} = 117.9 [V_{\text{olt}}] \times 15.8 [A_{\text{mpere}}] \times 3.413 \\ [\text{Btu/hr/Watt}] = 6357.8 [\text{Btu/hr}]$$

여기서 W_{input} 는 Compressor Input (W_{comp}) 와 Fan-Blower Motor Input (W_{fan}) 로 크게 나눌 수 있으며, 그외에 Superheating 用 Heater, 4way Valve 등에 소요되는 전력도 여기에 포함된다. 즉 W_{input} 는 이 Heat Pump System 에 들

어가는 총 전력량을 의미하는 것이다.

따라서 앞에서 계산한 값으로 Heat Balance 를 계산해 보면,

$$\begin{aligned} Q_{\text{outdoor}} + W_{\text{input}} - Q_{\text{heating}} &= 7489.8 + 6357.8 \\ &- 12778.7 = 1068.9 [\text{Btu/hr}] \end{aligned}$$

가 되어 꼭 맞지 않는데, 이는 앞서 말한바와 같이 W_{input} 는 Compressor 소비전력 이외의 다른 소비전력을 포함하기 때문이며, 또한 Heat Pump 작동중에 생기는 Condensate (응축수) 의 영향과 Heat Pump 자체 및 Duct Insulation 을 하지 않은 것도 Heat Balance 가 꼭 맞지 않는 원인이 된다.

· 성능계수 (c. o. p) :

$$\begin{aligned} \text{c. o. p} &= \frac{\text{난방능력}}{\text{총소비전력}} \\ &= \frac{12778.7 \text{ Btu/hr}}{6357.8 \text{ Btu/hr}} = 2.01 \end{aligned}$$

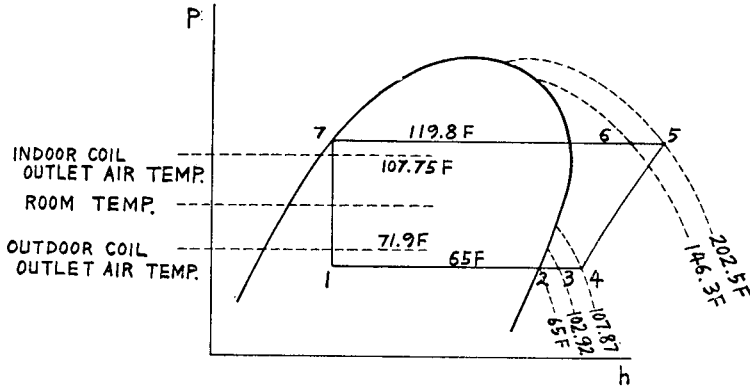


그림 3

- 1: OUTDOOR COIL 入口
- 2: OUTDOOR COIL 出口
- 3: COMPRESSOR SUCTION (HEATER 통과 前)
- 4: COMPRESSOR SUCTION (HEATER 통과 後)
- 5: COMPRESSOR DISCHARGE
- 6: INDOOR COIL 入口
- 7: INDOOR COIL 出口

Heat Pump 내부의 각 부분의 온도를 측정 한 결과를 P-h 선도상에서 추정하면 다음과 같다.

그림에서 2~3과 5~6사이에는 4way Valve를 지나가는 부분으로 여기서 열교환이 많이 이루어지게 되어서 자동적으로 Superheating의 효과가 나타나게 되었다.

이상에서 Heat Pump에 관한 간략한 실험 결과를 기술하였는데, 여기서 수반되는 오차는 주로 다음의 요인에 기인될 것으로 믿어진다.

1. Heat Pump의 성능을 제대로 측정하기 위해서는 Indoor Coil 및 Outdoor Coil의 흡입과 토출 부분의 온도, 습도를 일정하게 유지하여야 한다. 예컨대 습도 1%의 오차는 냉방능력이나 난방능력을 계산하는데 결과적으로 10% 정도의 오차를 나타내게 된다.

2. Duct를 완전히 절연체로 절연하고, 또한 Duct의 흡입구와 토출구가 서로 영향을 받지 않

아야 한다.

3. 풍량을 측정하는데 좀더 잘 Calibrate된 풍속계를 사용하여야 한다.

4. Heat Pump의 전기 Power 入力を 일정하게 유지하여야 한다.

5. Heat Pump 내부의 각 부분의 온도는 Piping의 표면온도를 측정하였으나, 실질적으로는 Thermocouple Well을 설치해서 냉매의 온도를 측정하도록 해야 한다.

이와 같은 점들을 고려하면, Heat Pump의 개략적인 특성을 알아볼 수 있다.

좀더 성능이 좋고 저렴한 Heat Pump를 제작하기 위해서는 Heat Pump用 4way Valve가 우선 개발되어야 하며, 그 외에 Heat Exchanger를 비롯한 내부를 가장 Optimum하게 설계해야 할 것이다.