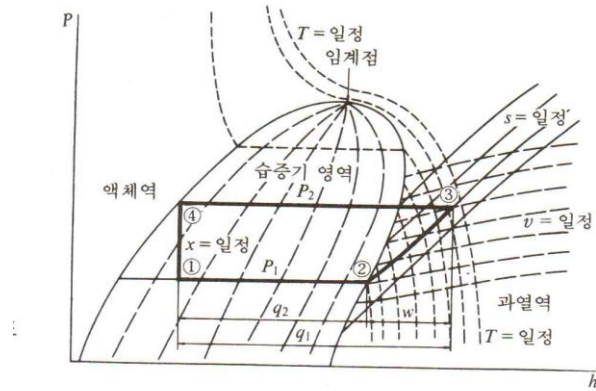


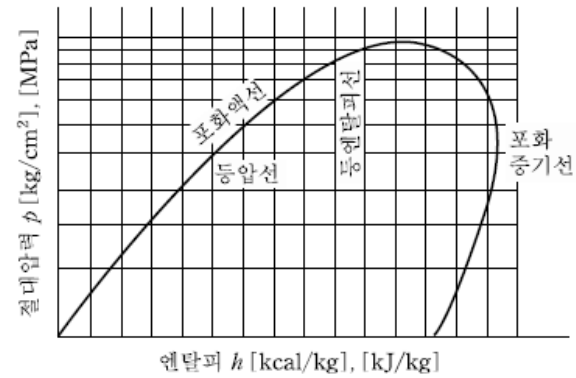
[4차 : 냉동사이클]

1. 냉매의 상태변화 및 P-h 선도

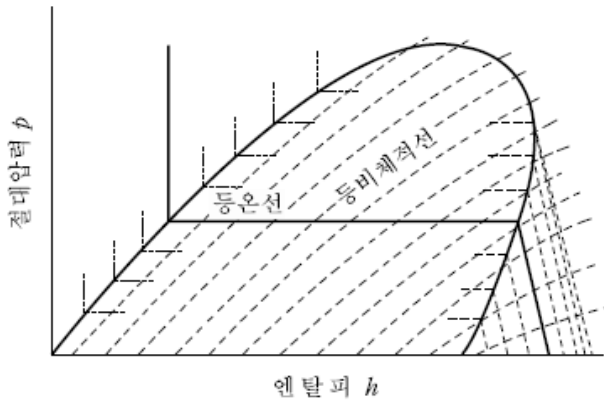
- 증발과정(증발기) → 압축과정(압축기) → 응축과정(응축기) → 팽창과정(팽창밸브)



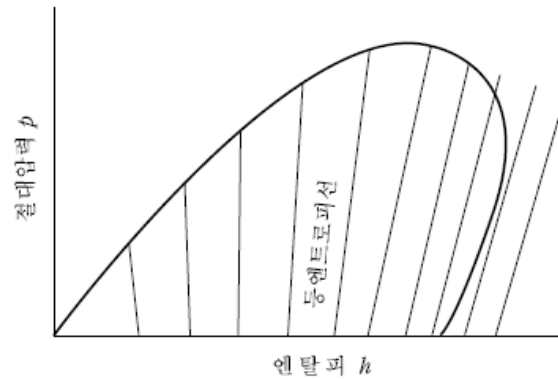
P-h 선도



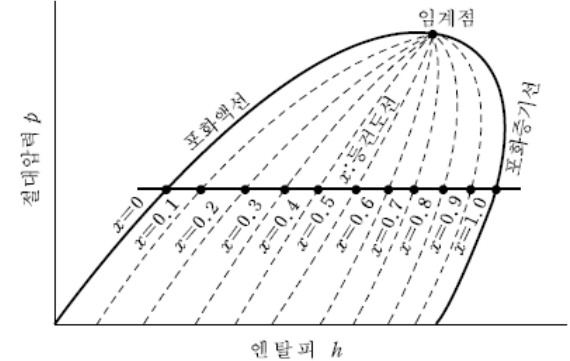
[그림3-1] 포화액선, 포화증기선, 등압선 및 등엔탈피선



[그림3-2] 등온선 및 등비체적선



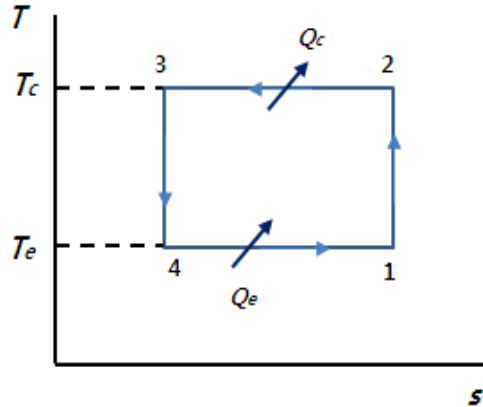
[그림3-3] 등엔트로피선



[그림3-4] 등건도선

2. 역카르노(Carnot) 냉동사이클

- 저열원과 고열원의 온도가 각각 동일하게 운전되는 경우 가역사이클보다 높은 성능을 갖는 냉동사이클은 존재하지 않는다.
- 고열원과 저열원이 각각 고열원이 각각 동일한 온도에서 운전되는 모든 가역 냉동사이클의 성능은 동일하다.



1→2 : 저온에서 단열압축

2→3 : 등온압축(고온에서 Q_c 방출)

3→4 : 고온에서 단열팽창

4→1 : 등온팽창(저온에서 Q_e 흡수)

T-s 선도

- 응축기의 열량(방출열량), $Q_c = T_c(S_2 - S_3)$

- 증발기의 냉동효과, $Q_e = T_e(S_1 - S_4) = T_e(S_2 - S_3)$

- 유효일(에너지), $W = Q_c - Q_e$

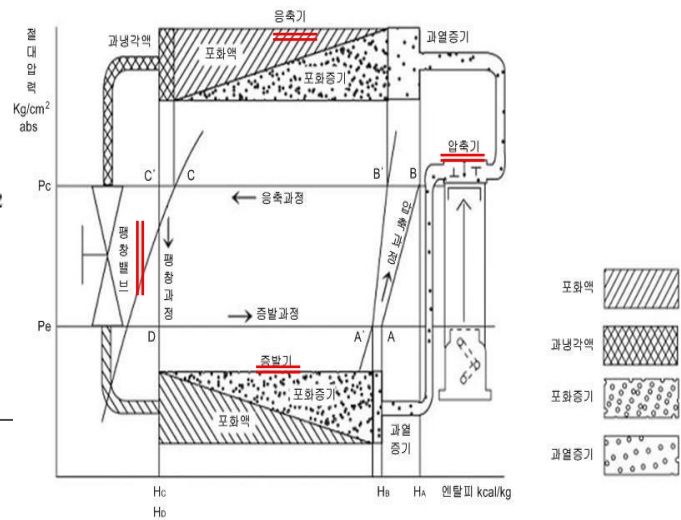
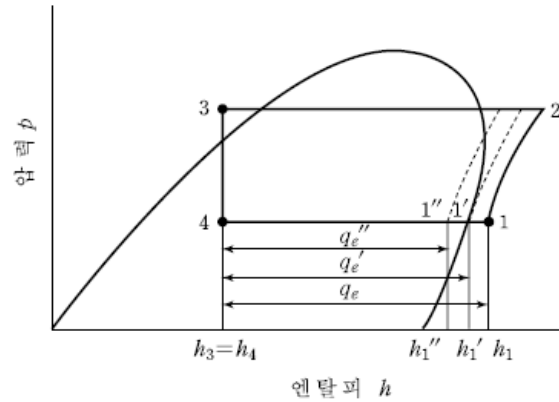
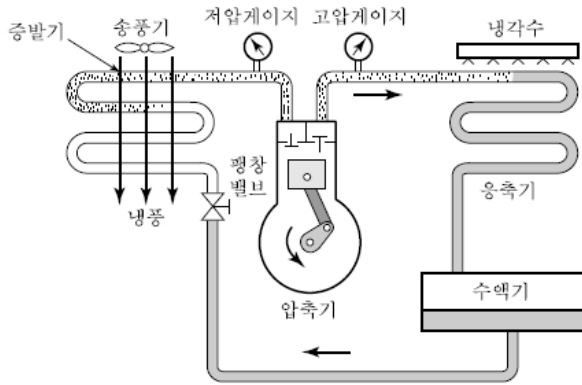
- 성적계수, $COP_{c,carnot} = \frac{Q_e}{W} = \frac{T_e}{T_c - T_e}$

☞ 열펌프 성적계수, $COP_{h,carnot} = \frac{Q_c}{W} = \frac{T_c}{T_c - T_e} = 1 + \frac{T_e}{T_c - T_e}$

3. 표준 증기압축 냉동사이클

- 이 사이클은 역카르노 사이클중에서 실현이 곤란한 단열과정 즉 등엔트로피 팽창과정은 교축팽창을 이용하여 실용화한 것으로 **역Rankine Cycle**이라고 한다.
- 증발된 증기가 흡수한 열량은 역카르노사이클에 의하여 증기를 압축하고 고온의 열원에서 방출하는 사이클 사이에 액체와 기체의 두 상으로 변하는 물질을 냉매로 하는 냉동사이클 (증기압축 냉동사이클: 냉동기에서 널리 이용)

(1) 기본 구성 : 압축기(1)→응축기(2)→팽창밸브(3)→증발기(4)→압축기(1)



(과정 설명)

- 1→2(압축기): 저압(P_1)의 포화증기가 단열적으로 P_2 까지 압축(단열압축)
- 2→3(응축기): 고압(P_2)의 증기가 일정한 압력하에서 응축되며 고온의 주위에 열을 방출
- 3→4(팽창밸브): 고압의 포화액체(냉매)가 교축팽창하여 저압의 습증기가 된다.
- 4→1(증발기): 저압의 증기가 일정한 압력하에서 저온의 주위로부터 열을 흡수 (냉동효과: q_e)하여 기화한다.(등압흡수)

(2) 유효일(w)

- 냉매의 순환량 1kg당 냉동효과(증발용량) : $q_e = h_1 - h_4$
- 응축기의 방출열량(응축열량) : $q_c = q_e + Aw = (h_1 - h_4) + (h_2 - h_1) = h_2 - h_3 = h_2 - h_4$
- 압축기에 필요한 일(단열압축) : $Aw = h_2 - h_1$

($\because A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kg}_f \cdot \text{m} : \text{일의 열당량}$)

(3) 성적계수 : $COP = \frac{q_e}{Aw} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$

* 냉동효율, $\eta = \frac{\text{실제시스템의 } COP_c}{\text{이상시스템의 } COP_{ideal} \text{ (역카르노사이클)}} \text{ (엑서지효율)}$

R-717
암모니아

133.8 kcal/kg

467.5 468.5

$s = 2.20$ kcal/kg $^{\circ}C$
 $s = 2.22$

13.77

11.9

압력 p [kg/cm 2]

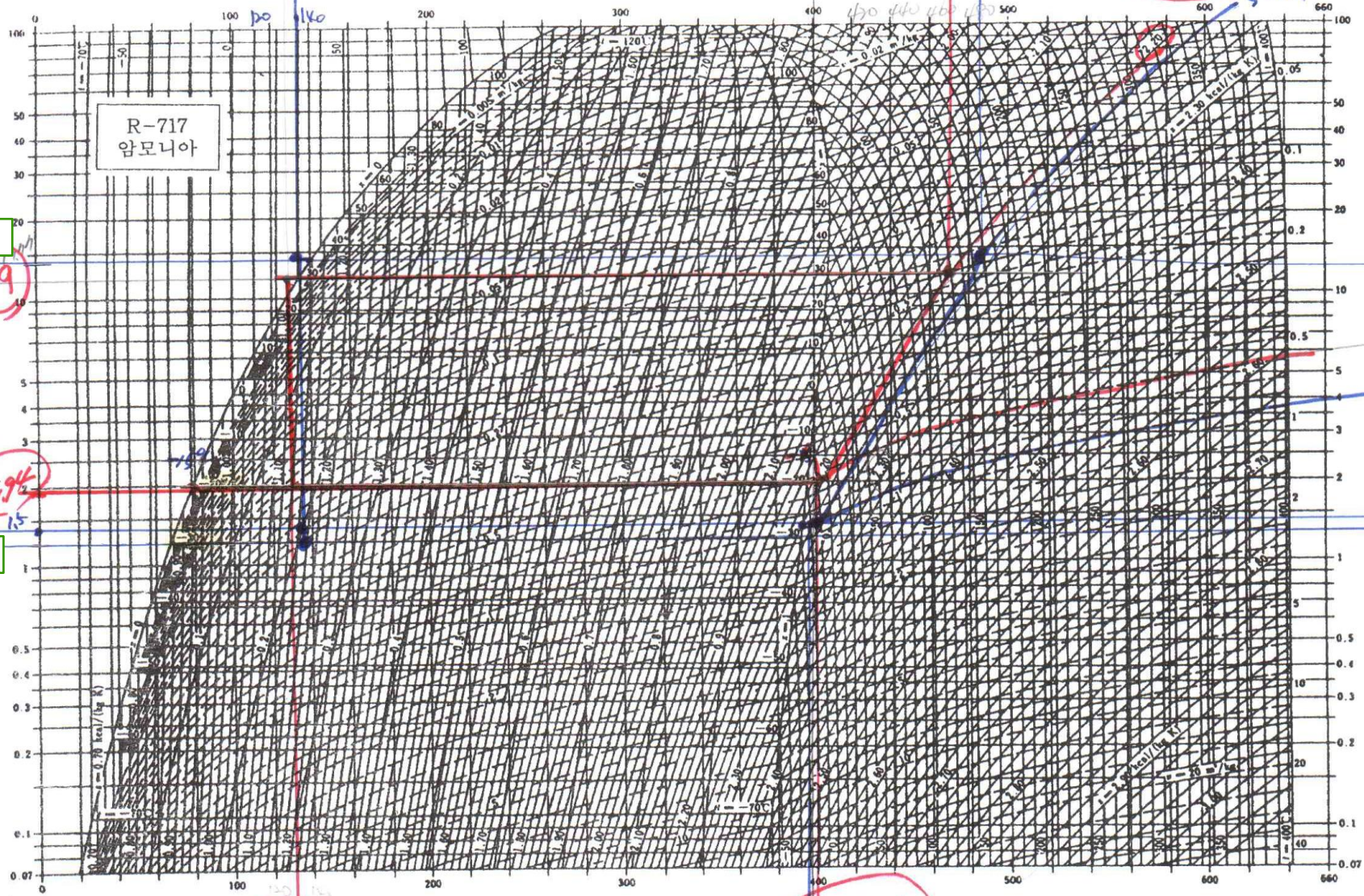
9.4

1.41

12.8

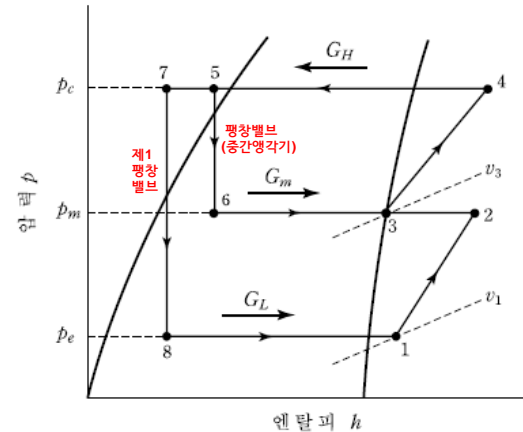
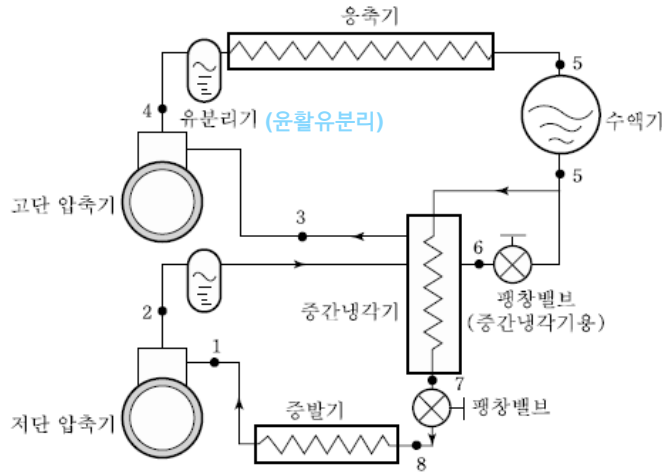
비엔탈피 h [kcal/kg]

578.4



4.2 2단압축 냉동사이클

- 1단 압축기를 사용하면 ① 냉동기의 온도한계의 폭이 넓어지고, ② 냉매의 증발온도가 낮아지면 압축비가 커지고, ③ 압축기 출구의 증기 냉매온도가 높게 되어 체적효율이 저하 되고, 냉동효과가 감소한다.
이와 같은 경우 냉매인 증기의 압축조작을 2-3단 이상 나누어서 한다.



[그림 3-10] 2단압축 1단팽창 냉동장치도 및 P-h선도

[2단압축 1단팽창 냉동사이클]

(1) 기본구성 : 저압축기 → 중간냉각기 → 고압축기 → 유분리기 → 응축기 → 수액기 → 팽창밸브 → 증발기

- 1→2 : 저압실린더에 의해 건포화증기 1를 중간압력 $P_m = P_2$ 까지 단열압축, 2→3 : 중간냉각기에 의해 등압중간냉각
3→4 : 고압실린더에 의해 단열압축(고압 P_c 까지), 4→5 : 과열증기를 액화냉매로 등압응축(고온에서 q_c 방출)
5→6 : 수액기에서 나온 증기를 중간냉각용 팽창밸브에 의해 중간압력까지 교축팽창, 5→7 : 중간냉각
7→8 : 수액기에서 나온 과냉각액을 팽창밸브에 의해 교축팽창하여 습증기냉매를 만든다.
8→1 : 증발기에 의해 등압에서 저온의 주위로부터 열흡수(냉동효과 : q_e)

(2) 각부의 성능

① 증발기의 냉동효과(냉동능력)

$$Q_e = G_L(h_1 - h_8), \text{ 여기서 : 저압축기측의 냉매순환량 [kg/h]}$$

② 중간냉각기에서 냉각되는 열량

$$Q_m = G_m(h_3 - h_6), \text{ 여기서 : 중간냉각기의 냉매순환량 [kg/h]}$$

③ 중간냉각기로 들어와서 증발기로 가는 냉매액의 과냉각에 필요한 열량

$$Q_{mR} = G_L(h_6 - h_7)$$

④ 중간냉각기로 들어가서 냉각되는 저압축기의 토출가스 냉각에 필요한 열량

$$Q_{mG} = G_L(h_2 - h_3)$$

⑤ 에너지평형 $Q_m = Q_{mR} + Q_{mG}$ 으로부터 중간냉각기의 냉매순환량

$$G_m(h_3 - h_6) = G_L(h_2 - h_3) + G_L(h_6 - h_7) \Rightarrow G_m = G_L \frac{(h_2 - h_3) + (h_6 - h_7)}{(h_3 - h_6)}$$

⑥ 고압축기측의 냉매순환량

$$G_H = G_L \frac{(h_2 - h_7)}{(h_3 - h_6)} \quad (\because G_H = G_L + G_m)$$

$$G_H = G_L + G_m = G_L + G_L \frac{(h_2 - h_3) + (h_6 - h_7)}{(h_3 - h_6)} = G_L \frac{(\cancel{h_3} - \cancel{h_6}) + (h_2 - \cancel{h_3}) + (\cancel{h_6} - h_7)}{(h_3 - h_6)}$$

⑦ 응축기의 응축열량

$$Q_c = G_H(h_4 - h_6)$$

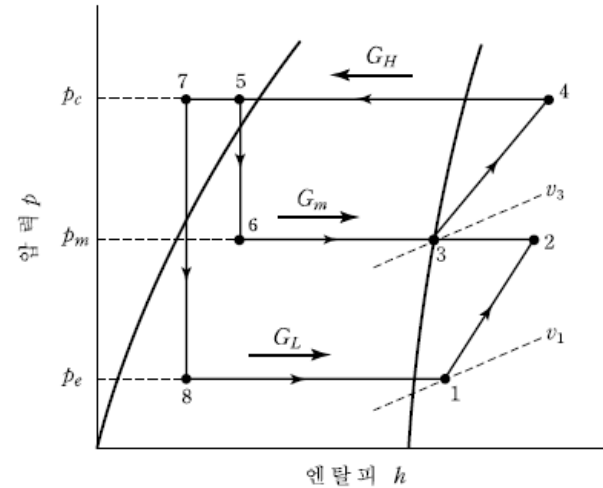
⑧ 압축기 일량, $Aw = Aw_L + Aw_H$

저압축기의 일량 $Aw_L = G_L(h_2 - h_1)$, 고압축기의 일량 $Aw_H = G_H(h_4 - h_3)$

⑨ 중간압력, $P_m = P_2 = \sqrt{P_c P_e} \leftarrow \because \frac{P_m}{P_e} = \frac{P_c}{P_m}$

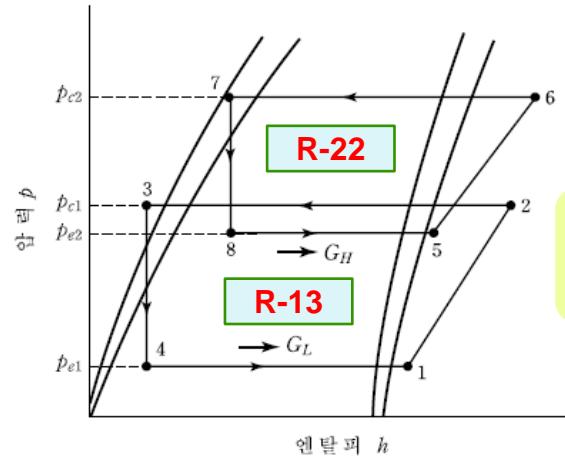
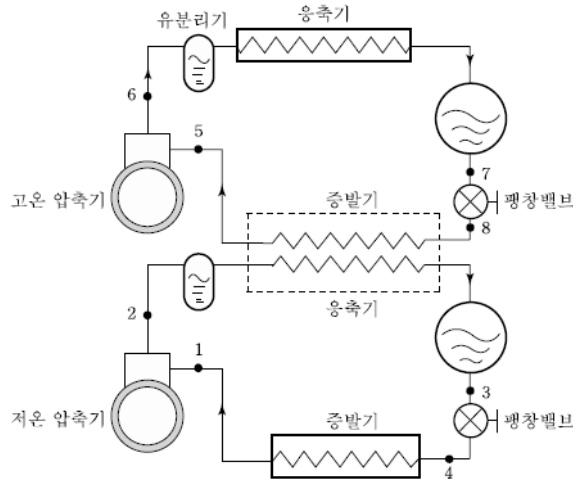
P_e : 저압압축기의 흡입(증발)압력, P_c : 고압압축기의 토출(증발)압력

⑩ 성능계수, $COP = \frac{Q_e}{Aw} = \frac{G_L(h_1 - h_6)}{G_L(h_2 - h_1) + G_H(h_4 - h_3)} = \frac{(h_1 - h_6)}{(h_2 - h_1) + \left(\frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_6}\right)(h_4 - h_3)}$



4.3 2원 냉동사이클(Two Stage Cascade Refrigeration cycle)

주로 -60℃ 이하의 초저온설비에 사용된다. 두가지 냉매를 사용하여 각기 다른 냉동사이클을 구성한다.



- R-13(저온부): 응고점 -181.1℃, 증기점 -81.5℃
 - R-22(고온부): 응고점 -160℃, 증기점 -40.9℃

[그림 3-12] 2원 냉동장치도 및 P-h선도

- 저온부 냉동사이클 1→2→3→4의 응축기(과정 2→3)는 고온부 냉동사이클 5→6→7→8의 증발기(과정 8→5)에 의해 냉각된다.

① 저온부 냉동장치의 냉매순환량, G_L [kg/h] → 저온부의 냉동효과, $Q_c = G_L(h_1 - h_4)$ 로부터 $G_L = \frac{Q_c}{(h_1 - h_4)}$

② 고온부 냉동장치의 냉매순환량, G_H [kg/h]

고온측 냉동장치의 증발기에서 얻는 열량 $G_H(h_6 - h_8)$ 은 저온측 냉동장치의 응축기에서 잃은 열량 $G_L(h_2 - h_3)$ 과 같으므로

$$G_H = G_L \frac{(h_2 - h_3)}{(h_6 - h_8)} = \frac{Q_c(h_2 - h_3)}{(h_6 - h_8)(h_1 - h_4)}$$

③ 압축기 일량

- 저온측 압축기의 일량 $Aw_L = G_L(h_2 - h_1) = \frac{Q_c(h_2 - h_1)}{(h_1 - h_4)}$

- 고온측 압축기의 일량 $Aw_H = G_H(h_6 - h_5) = \frac{Q_c(h_2 - h_3)(h_6 - h_5)}{(h_6 - h_8)(h_1 - h_4)}$

∴ 전체소요동력 $Aw = Aw_L + Aw_H = \frac{Q_c}{(h_1 - h_4)} \left[(h_2 - h_1) + \frac{(h_2 - h_3)(h_6 - h_5)}{(h_6 - h_8)} \right]$

④ 성능계수

$$COP = \frac{Q_c}{Aw} = \frac{(h_1 - h_4)(h_6 - h_8)}{(h_2 - h_1)(h_6 - h_8) + (h_2 - h_3)(h_6 - h_5)}$$

