

* $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{ K}$

* $R_{\text{Air}} = 0.287\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

* $\kappa_{\text{Air}} = 1.4$

* $c_v = 0.7175\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

* $c_p = 1.0045\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

* 이상기체의 폴리트로픽 과정에서 :

$$Pv^n = C_1, Tv^{n-1} = C_2, TP^{\frac{1-n}{n}} = C_3$$

* 문제에서 요구한 질량보존식과 에너지 보존식을 쓸 때 문제의 조건을 적용하지 않은 기본식을 쓰시오. (하첨자 i, e 적용 등)

[Q1-4]

아래 열역학 용어들을 영어로 쓰시오.

-열효율 : thermal efficiency

-C.O.P. : coefficient of performance

-비가역상태 : irreversible

-등엔트로피 과정 : isentropic process

[Q5]

Kelvin-Planck 서술을 정의하시오.

단한 과정에서 작동하는 열기관이 하나의 열원으로부터 열을 전달받아 정미일을 생산해 내는 것은 불가능하다.

[Q6]

카르노의 원리 1번을 서술하시오.

두 열원 사이에서 작동하는 모든 실제 열기관들의 열효율은 같은 열원 사이에서 작동하는 카르노 기관의 열효율을 넘을 수 없다.

[Q7]

정상상태, 단일류, 개방시스템일 때 단위질량 당으로 표현한 (a) 열역학 제 1법칙, (b) 2법칙에 대한 식과 (b) 질량 보존식을 쓰시오.

(a) $q + h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i = h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e + w \quad \blacktriangleleft$

(b) $s_e = s_i + \sum \frac{q_k}{T_k} + \theta \quad \blacktriangleleft$

(c) $\dot{m}_i = \dot{m}_e \quad \blacktriangleleft$

[Q8]

0.6 MPa의 포화액 상태의 수증기가 단열 팽창 밸브를 통과해서 0.3 MPa이 되었을 때, 밸브를 통과한 후의 수증기의 상태를 정량적으로 수치에 근거하여 결정하시오.

[풀이]

$$q + h_1 = h_2 + w$$

$$h_1 \approx h_{f@600\text{ kPa}} = 670.38\text{ kJ/kg} = h_2$$

$$h_{2f} = h_{f@300\text{ kPa}} = 561.43\text{ kJ/kg}$$

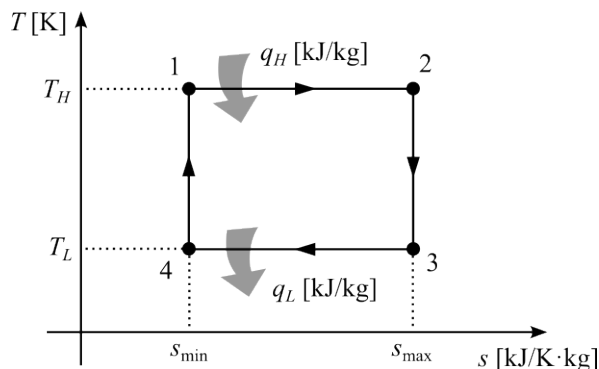
$$h_{2g} = h_{g@300\text{ kPa}} = 2724.9\text{ kJ/kg}$$

$$h_{2f} < h_2 < h_{2g} \Rightarrow \text{습증기}$$

[Q9]

카르노 사이클의 정의를 서술하고 $T = T_H$, $s = s_{\min}$ 으로 시작하는 카르노 사이클을 T - s 선도에서 카르노 선도를 나타내시오. (단, 열원의 온도와 각 과정에서 열전달, 모든 물리량의 단위, 4개의 상태점을 순서대로 표시하시오)

두 개의 가역 단열과정과 두 개의 가역 등온과정으로 이루어진 사이클 상에서 작동하는 이상적인 열기관



[Q10]

80°C의 열원과 25°C의 열원 사이에서 작동하는 카르노 열기관의 효율과 그 역과정 상에서 작동하는 카르노 열펌프의 성능 계수를 구하시오.

[풀이]

$$T_H = 80 + 273.15 = 353.15000 \approx 353.15\text{ K}$$

$$T_L = 25 + 273.15 = 298.15000 \approx 298.15\text{ K}$$

$$\eta_{\text{rev}} = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$= 1 - \frac{298.15}{353.15} = 0.15574119 \approx 0.156$$

$$\text{COP}_R = \frac{Q_H}{W} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{298.15}{353.15}} = 6.420909091 \approx 6.421$$

$$0.156; 6.421 \quad \blacktriangleleft$$

[Q11]

초기 압력 3 MPa, 초기 온도 270°C 인 질량이 5 kg 인 공기가 $n = 1.25$ 인 폴리트로픽 과정에 의해 부피가 4.2배로 팽창한다. 이때 (a) 최종 온도 [°C], (b) 과정에서 공기가 한 일, (c) 총 엔트로피 변화를 구하시오.

[풀이]

$$T_1 V_1^{n-1} = T_2 V_2^{n-1}, \quad V_2 = 4.2 V_1$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{4.2 V_1} \right)^{n-1} = 543.15 \left(\frac{1}{4.2} \right)^{1.25-1} \\ = 379.4088538 \approx 379.41 \text{ K} = 106.26^\circ\text{C}$$

(a) 106.26°C ◀

$$W_{12} = m \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} \\ = \frac{(5)(0.2870)(379.41 - 543.15)}{1 - 1.25} = 939.8676000 \\ \approx 939.868 \text{ kJ}$$

(b) 939.868 kJ ◀

$$\Delta S = m \left(c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) \\ = (5) \left(0.7175 \ln \frac{379.41}{543.15} + (0.287) \ln(4.2) \right) \\ = 0.772265698 \approx 0.772 \text{ kJ/K}$$

(c) 0.772 kJ/K ◀

[Q12]

초기 압력 3 MPa, 초기 온도 350°C, 초기 속도 50 m/s 인 수증기가 터빈을 통과해 최종압력은 0.1 MPa 인 습증기가 되었다. 이때의 건도는 92%이며 최종속도는 180 m/s 이다. 질량유량은 2 kg/s 이며 손실열은 15 kW 이다. (a) 에너지 보존식과 질량 보존식, (b) 축 일, (c) 시간 당 엔트로피의 변화량을 구하시오.

[풀이]

$$\dot{Q} + \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) = \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_i \right) + \dot{W} \\ \dot{m}_i = \dot{m}_e$$

(a) ▲

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{Q} + \dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) + \dot{W}$$

$$T_{\text{sat}} @ 3 \text{ MPa} = 233.85^\circ\text{C} < T_1 = 350^\circ\text{C} \Rightarrow \text{과열증기}$$

$$h_1 = h_{@3 \text{ MPa}, 350^\circ\text{C}} = 3116.1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2f} = h_f @ 100 \text{ kPa} = 417.51 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2fg} = h_{fg} @ 100 \text{ kPa} = 2257.5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{2f} + x_2 h_{2fg} = 417.51 + (0.92)(2257.5) \\ = 2494.41000 \approx 2494.410 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W} = \dot{Q} + \dot{m} \left(h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} \right) \\ = -15 + (2) \left(3116.1 - 2494.41 + \frac{50^2 - 180^2}{2} \times 10^{-3} \right) \\ = 1198.48000 \approx 1198.480 \text{ kW}$$

(b) 1198.480 kW ◀

$$s_1 = s_{@3 \text{ MPa}, 350^\circ\text{C}} = 6.7450 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{2f} = s_f @ 100 \text{ kPa} = 1.3028 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{2fg} = s_{fg} @ 100 \text{ kPa} = 6.0562 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_{2f} + s_2 h_{2fg} = 1.3028 + (0.92)(6.0562) \\ = 6.874504000 \approx 6.875 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) = (2)(3600)(6.875 - 6.745) \\ = 936.000000 \approx 936.000 \text{ kJ/K}$$

(c) 936.000 kJ/K ◀

[Q13]

정상유동의 150 kPa 의 열 혼합기 안에서 70°C 의 물과 15°C 의 물을 혼합해 45°C 가 될 때, 70°C 의 물과 15°C 의 물의 질량유량의 비율을 y 라고 하자. ($y > 1$) 이때 (a) 질량 보존식과 에너지 보존식을 구하시오. (b) y 에 대한 식을 유도하고 y 의 값을 구하시오.

[풀이]

$$\sum_i \dot{m} = \sum_e \dot{m} \\ \dot{Q} + \sum_i \dot{m}_i h_i = \sum_e \dot{m}_e h_e + \dot{W}$$

(a) ▲

$$\dot{m}_H = y \dot{m}_L, \quad \dot{m}_H + \dot{m}_L = \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_H h_H + \dot{m}_L h_L = \dot{m}_e h_e$$

$$\Rightarrow y \dot{m}_L h_H + \dot{m}_L h_L = (y \dot{m}_L + \dot{m}_L) h_e$$

$$\Rightarrow y h_H + h_L = (y + 1) h_e$$

$$P = 150 \text{ kPa}, \quad T_1 = 70^\circ\text{C}, \quad T_2 = 15^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{sat}} @ 150 \text{ kPa} = 111.35^\circ\text{C} > T_1 > T_e > T_2 \Rightarrow \text{압축액}$$

$$h_1 \approx h_f @ 70^\circ\text{C} = 293.07 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 \approx h_f @ 15^\circ\text{C} = 62.982 \text{ kJ/kg}$$

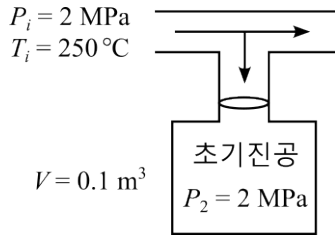
$$h_e \approx h_f @ 45^\circ\text{C} = 188.44 \text{ kJ/kg}$$

$$y = \frac{h_e - h_2}{h_1 - h_e} = \frac{188.44 - 62.982}{293.07 - 188.44} = 1.19906337 \approx 1.199$$

(b) 1.199 ◀

[Q14]

탱크 안은 초기에 진공 상태이며 밸브가 열리고 탱크 내의 압력이 2 MPa 에 도달하는 순간 밸브가 다시 닫힌다. 이때 (a) 질량보존식과 에너지 보존식을 구하시오. (b) a 에서 구한 식을 이용하여 탱크 안으로 유입된 공기의 온도를 구하는 공식을 유도하시오. (단, $u \neq c_v T$, $h \neq c_p T$) (c) 최종 온도를 구하시오.



[풀이]

$$\sum_i m - \sum_e m = (\Delta m)_{CV}$$

$$Q + \sum_i m_j - \sum_e m_j - W = (\Delta E)_{CV}$$

(a) ▲

$$m_i - m_e = m_2 - m_1$$

$$Q + m_i h_i - m_e h_e - W = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$\Rightarrow h_i = u_2$$

$$u_i + P_i v_i = u_2$$

$$u_i + R T_i = u_2$$

$$u_2 - u_i = R T_i$$

$$c_v (T_2 - T_i) = R T_i$$

$$T_2 = \left(\frac{R}{c_v} + 1 \right) T_i$$

$$T_2 = \left(\frac{c_p - c_v}{c_v} + 1 \right) T_i$$

$$T_2 = \left(\frac{c_p}{c_v} \right) T_i$$

$$T_2 = \kappa T_i$$

$$T_2 = (1.4)(250 + 273.15) = 732.41000$$

$$\approx 732.41 \text{ K} = 459.26^\circ \text{C}$$

[Q15]

2 kg의 공기가 최초 온도 300 K와 최초 압력 100 kPa에서 최종 온도 400 K 최종 압력 700 kPa으로 수축할 때 (a) 공기표에서 얻은 상태량의 값으로 총 엔트로피 변화를 구하시오. (b) 평균 비열을 이용해 총 엔트로피 변화를 구하시오.

T [K]	c_p [kJ/kg · K]	s° [kJ/kg · K]
300	1.005	1.70203
400	1.013	1.99194

[풀이]

$$\begin{aligned} \Delta S &= m \left(s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= (2) \left(1.99194 - 1.70203 - 0.287 \ln \frac{700}{100} \right) \\ &= -0.5371324256 \approx -0.537 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

(a) -0.537 kJ/K ◀

$$\begin{aligned} c_{p,\text{avg}} &= \frac{c_{p,\text{@}300 \text{ K}} + c_{p,\text{@}400 \text{ K}}}{2} = \frac{1.005 + 1.013}{2} \\ &= 1.009000 \approx 1.009 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= m \left(c_{p,\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= (2) \left(1.009 \ln \frac{400}{300} - 0.287 \ln \frac{700}{100} \right) \\ &= -0.5364100034 \approx -0.536 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$