

[Q1-4]

아래 열역학 용어들을 영어로 쓰시오.

- 열효율 : thermal efficiency
- C.O.P. : coefficient of performance
- 비가역상태 : irreversible
- 등엔트로피 과정 : isentropic process

[Q5]

Kelvin-Plank 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.

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

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

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

[Q8]

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

[풀이]

$$q + h_1 = h_2 + w$$

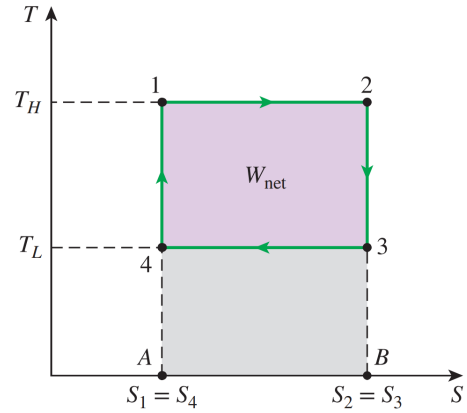
$$h_1 = h_{g,\text{sat}} @ 600 \text{ kPa} = 2756.2 \text{ kJ/kg} = h_2$$

$$h_{g,\text{sat}} @ 300 \text{ kPa} = 2724.9 \text{ kJ/kg} < h_2 \Rightarrow \text{과열증기} \quad \blacktriangleleft$$

[Q9]

카르노 기관의 정의에 대해 서술하고 T-s 선도에 카르노 선도를 나타내시오.

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



[Q10]

80°C의 열원에서 25°C의 열원으로 열이 방출될 때, 카르노 효율과 카르노 냉동기의 성능 계수를 구하시오.

[풀이]

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

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

$$\eta_{\text{rev}} = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{298.15}{353.15} = 0.15574119 \approx 0.156$$

$$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{353.15}{298.15} - 1} = 5.42090909 \approx 5.42$$

$$0.156; 5.42 \quad \blacktriangleleft$$

[Q11]

초기 압력 3 MPa, 초기 온도 270°C인 질량이 5 kg인 공기가 $n = 1.25$ 인 폴리트로픽 과정에 의해 압력이 0.5 MPa이 된다. 이때 (a) 최종 온도, (b) 과정에서 공기가 한 일, (c) 엔트로피 변화를 구하시오.

[풀이]

$$TP^{\frac{1-n}{n}} = \text{const.} \Rightarrow T_1 P_1^{\frac{1-n}{n}} = T_2 P_2^{\frac{1-n}{n}}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} = 543.15 \left(\frac{3000}{500} \right)^{\frac{1-1.25}{1.25}} = 379.56794956 \approx 379.57 \text{ K} = 106.42^\circ\text{C}$$

$$(a) \quad 106.42^\circ\text{C} \quad \blacktriangleleft$$

$$W_{12} = m \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = \frac{(5)(0.2870)(379.57 - 543.15)}{1 - 1.25} = 938.9492000 \approx 938.949 \text{ kJ}$$

$$(b) \quad 938.949 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= mR \left(\frac{\kappa}{\kappa - 1} \ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= (5)(0.2870) \left(\frac{1.4}{1.4 - 1} \ln \frac{379.57}{543.15} - \ln \frac{500}{3000} \right) \\ &= 0.7713795831 \approx 0.771 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

$$(c) \quad 0.771 \text{ kJ/K} \quad \blacktriangleleft$$

[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) 엔탈피의 변화량을 구하시오.

[풀이]

$$(a) \quad \dot{Q} + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) + \dot{W} \quad \blacktriangleleft$$

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

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

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

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

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

$$h_2 = h_{2f} + x_2 h_{2fg} = 417.51 + (0.92)(2257.5)$$

$$= 2494.41000 \approx 2494.410 \text{ kJ/kg}$$

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

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

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

$$(b) \quad 1198.480 \text{ kW} \quad \blacktriangleleft$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 2494.41 - 3116.1$$

$$= -621.69 \text{ kJ/kg}$$

$$(c) \quad -621.69 \text{ kJ/kg} \quad \blacktriangleleft$$

[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]

$$P = 150 \text{ kPa}, \quad T_1 = 70^\circ\text{C}, \quad T_2 = 15^\circ\text{C}, \quad \dot{m}_1 = y\dot{m}_2$$

$$\sum_i m = \sum_e m \Rightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_e$$

$$\cancel{\dot{Q}} + \sum_i \dot{m}j = \sum_e \dot{m}j + \cancel{\dot{W}} \Rightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_e h_e$$

$$(a) \quad \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_e; \quad \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_e h_e \quad \blacktriangleleft$$

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

$$h_1 \approx h_{f, \text{sat @ 70}^\circ\text{C}} = 293.07 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 \approx h_{f, \text{sat @ 15}^\circ\text{C}} = 62.982 \text{ kJ/kg}$$

$$h_e \approx h_{f, \text{sat @ 45}^\circ\text{C}} = 188.44 \text{ kJ/kg}$$

$$y\dot{m}_2 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (y\dot{m}_2 + \dot{m}_2)h_e$$

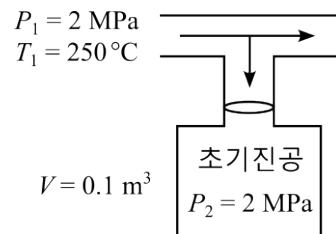
$$yh_1 + h_2 = (y + 1)h_e$$

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

$$(b) \quad 1.199 \quad \blacktriangleleft$$

[Q14]

아래 그림의 단열된 파이프와 밸브로 연결된 탱크에 대하여 (a) 질량보존식과 에너지 보존식을 구하시오. (b) a에서 구한 식을 이용하여 탱크 안으로 유입된 공기의 온도를 구하는 공식을 유도하시오. (단, 최종 계산 전까지 식을 정리하지 말고 $du = c_v dT$, $dh = c_p dT$ 를 사용하지 마시오) (c) 최종 온도를 구하시오.



[풀이]

$$\sum_i m - \cancel{\sum_e m} = (\Delta m)_{\text{CV}} = m_2 - \cancel{m_1} \Rightarrow m_i = m_2$$

$$\cancel{\dot{Q}} + \sum_i \dot{m}j - \cancel{\sum_e \dot{m}j} - \cancel{\dot{W}} = (\Delta E)_{\text{CV}} = m_2 e_2 - \cancel{m_1 e_1}$$

$$\Rightarrow m_i h_i = m_2 u_2$$

$$(a) \quad m_i = m_2; \quad m_i h_i = m_2 u_2 \quad \blacktriangleleft$$

$$m_1 h_1 = m_1 u_2 \Rightarrow h_1 = u_2$$

T [K]	h [kJ/kg]
520.00	523.63
523.15	h_1
530.00	533.98

... (Table A-17)

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{523.15 - 520}{530 - 520} (533.98 - 523.63) + 523.63 \\ &= 526.89025000 \approx 526.890 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

T [K]	u [kJ/kg]
710.00	520.23
T_2	526.89 (u_2)
720.00	528.14

... (Table A-17)

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{526.89 - 520.23}{528.14 - 520.23} (720 - 710) + 710 \\ &= 718.4197219 \approx 718.420 \text{ K} \end{aligned}$$

[Q15]

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

[풀이]

$$ds = \frac{c_p}{T} dT - \frac{R}{P} dP$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{c_p}{T} dT - \int_1^2 \frac{R}{P} dP$$

$$= s^o(T_2) - s^o(T_1) - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= 1.99194 - 1.70203 - (0.2870) \ln \frac{700}{100}$$

$$= -0.2685662128 \approx -0.269 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$(a) \quad -0.269 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad \blacktriangleleft$$

$$c_{p, @300 \text{ K}} = 1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$c_{p, @400 \text{ K}} = 1.013 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$c_{p, \text{avg}} = \frac{c_{p, @300 \text{ K}} + c_{p, @400 \text{ K}}}{2} = \frac{1.005 + 1.013}{2}$$

$$= 1.009000 \approx 1.009 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$s_2 - s_1 = c_{p, \text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= (1.009) \ln \frac{400}{300} - (0.2870) \ln \frac{700}{100}$$

$$= -0.2682050017 \approx -0.268 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$(b) \quad -0.268 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad \blacktriangleleft$$