

기계공학부, 2022\*\*\*\*, 2학년, \*\*\*

## [ 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) 질량보존식을 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 포화증기 상태의 수증기가 단열 팽창 밸브를 통과해서 0.3 MPa 이 되었을 때, 밸브를 통과한 후의 수증기의 상태를 정량적으로 결정하시오. (수치에 근거하여)

[풀이]

$$q + h_1 = h_2 + w$$

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

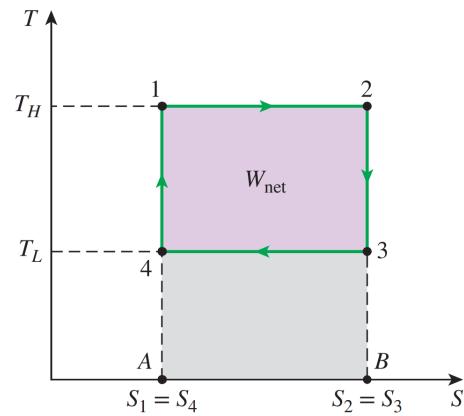
$$h_{g,\text{sat}} @ 300 \text{ kPa} = 2724.9 \text{ kJ/kg} < h_2 \Rightarrow \text{과열증기}$$

$$\text{과열증기} \quad \blacktriangleleft$$

## [ 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]

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

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

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

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

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

$$= \frac{1}{\frac{353.15}{298.15} - 1} = 5.42090909 \approx 5.42$$

$$0.156 ; 5.42 \quad \blacktriangleleft$$

## [ Q11 ]

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

[풀이]

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

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} = 543.15 \left( \frac{3000}{500} \right)^{\frac{1-1.25}{1.25}}$$

$$= 379.56794956 \approx 379.57 \text{ K} = 106.42^\circ \text{C}$$

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

$$W_{12} = m \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} = \frac{m R (T_2 - T_1)}{1-n}$$

$$= \frac{(5)(0.2870)(379.57 - 543.15)}{1-1.25} = 938.9492000$$

$$\approx 938.949 \text{ kJ}$$

[LATEX]

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

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

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

[ Q12 ]

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

[풀이]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[ Q13 ]

정상유동의 150 kPa의 열 혼합기 안에서 70°C의 물과 15°C의 물을 혼합해 45°C가 될 때, 70°C의 물과 15°C의 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]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

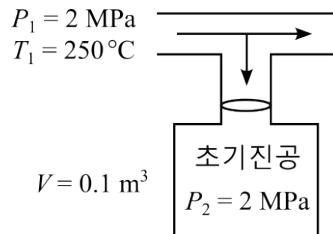
$$yh_1 + h_2 = (y+1)h_e$$

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

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

[ Q14 ]

아래 그림의 단열된 파이프와 밸브로 연결된 탱크에 대하여 (a) 질량보존식과 에너지 보존식을 구하시오. (b)  $a$ 에서 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]

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

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

$$\Rightarrow m_i h_i = m_2 u_2$$

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

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

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 최초온도 300K와 최종압력 100kPa에서 최종온도 400K 최종압력 700kPa으로 변할 때 (a) 공기표에서 얻은 상태량의 값으로 엔트로피 변화를 구하시오. (b) 평균 비열을 이용해 엔트로피 변화를 구하시오.

[풀이]

$$\begin{aligned} ds &= \frac{c_p}{T} dT - \frac{R}{P} dP \\ s_2 - s_1 &= \int_1^2 \frac{c_p}{T} dT - \int_1^2 \frac{R}{P} dP \\ &= s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1) - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= 1.99194 - 1.70203 - (0.2870) \ln \frac{700}{100} \\ &= -0.2685662128 \approx -0.269 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= c_{p,\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= (1.009) \ln \frac{400}{300} - (0.2870) \ln \frac{700}{100} \\ &= -0.2682050017 \approx -0.268 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

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