

[Q1-4]

아래 열역학 용어들을 영어로 쓰시오.

- 공학 열역학 : engineering thermodynamics
- 임계점 : critical point
- 잠열 : latent heat
- 열역학적 평형 : thermodynamic equilibrium

[Q5-8]

아래 열역학 용어들을 정의를 쓰시오.

- 내부에너지 : 시스템 내부의 미시적 에너지의 총합
- 압축성 인자 : 실제기체가 이상기체로부터 벗어난 정도를 나타낸 인자
- 밀폐계에서 에너지 보존 법칙

$$\Delta E = Q - W$$

시스템의 에너지 변화량은 같은 시간동안 시스템이 받은 순열과 시스템이 한 순일의 차이이다.

-깁스의 상법칙(Gibbs' phase rule) : 시스템의 열역학적 상태를 결정하기 위한 자유도의 수를 계산하는 법칙

$$f = c - p + n$$

- f : 독립적 강성적 성질의 수
- c : 시스템에 존재하는 성분의 수
- n : 조성과 무관한 성질의 수

[Q9]

23°C을 화씨(°F)로 환산하시오.

$$23^{\circ}\text{C} = f^{\circ}\text{F}$$

$$f = 32 + 23 \times \frac{9}{5} = 73.4000 \approx 73.40$$

$$23^{\circ}\text{C} = 73.40^{\circ}\text{F}$$

[Q10]

건고한 용기에 초기온도 20°C, 초기압력 180 kPa의 이상기체 12 kg가 270°C, 250 kPa로 변했을 때, 추가된 기체의 질량을 구하시오.

[Solution]

$$\begin{aligned} V &= \text{const.}, \quad T_1 = 20^{\circ}\text{C}, \quad P_1 = 180 \text{ kPa} \\ m_1 &= 12 \text{ kg}, \quad T_2 = 270^{\circ}\text{C}, \quad P_2 = 250 \text{ kPa} \\ T_1 &= (20 + 273.15) \text{ K} = 293.15 \text{ K} \\ T_2 &= (270 + 273.15) \text{ K} = 543.15 \text{ K} \\ PV &= mRT, \quad \frac{V}{R} = \frac{mT}{P} = \text{const.} \\ \frac{m_1 T_1}{P_1} &= \frac{m_2 T_2}{P_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_2 - m_1 = \frac{m_1 T_1 P_2}{T_2 P_1} - m_1 \\ &= \frac{(12)(293.15)(250)}{(543.15)(180)} - 12 = -3.004633465 \\ &\approx -3.005 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\Delta m = -3.005 \text{ kg} \quad \blacktriangleleft$$

기체는 추가된 것이 아니라 유출되었다.

[Q11]

체적이 0.57015 m³의 견고한 용기에 300 kPa의 물이 1 kg 들어있다. 이때 (a) 물의 상태, (b) 내부 에너지를 구하시오. (c) 압력이 500 kPa로 상승했을 때 열전달량을 구하시오

[Solution]

$$V = 0.57015 \text{ m}^3 = \text{const.}, \quad m = 1 \text{ kg} = \text{const.},$$

$$P_1 = 300 \text{ kPa}, \quad P_2 = 500 \text{ kPa}$$

$$v = \frac{V}{m} = 0.57015 \text{ m}^3/\text{kg} = \text{const.}$$

$$v_f = v_f @ 300 \text{ kPa} = 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = v_g @ 300 \text{ kPa} = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f < v < v_g \Rightarrow \text{wet vapor}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.57015 - 0.001073}{0.60582 - 0.001073} \\ &= 0.9418576746 \approx 94.2\% \end{aligned}$$

$$(a) \quad \text{wet vapor ; } x = 94.2\% \quad \blacktriangleleft$$

$$u_{f1} = u_f @ 500 \text{ kPa} = 639.54 \text{ kJ/kg}$$

$$u_{fg1} = u_{fg} @ 500 \text{ kPa} = 1921.2 \text{ kJ/kg}$$

$$u_1 = u_{f1} + x u_{fg1}$$

$$= 639.54 + (0.9418576746)(1921.2)$$

$$= 2449.036964 \approx 2449 \text{ kJ/kg}$$

$$U_1 = m u_1 = (1)(2449.036964) = 2449.0 \text{ kJ}$$

$$(b) \quad U = 2449.0 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

When P is 500 kPa, it is superheated vapor.

$$dq = du \quad (\text{in isochoric process})$$

$$\left. \begin{aligned} P_2 &= 0.5 \text{ MPa} \\ v &= 0.57015 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned} \right\} u_2 = 2883.0 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q &= m(u_2 - u_1) = (1)(2883.0 - 2449.036964) \\ &= 433.963036 \approx 434.0 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$(c) \quad Q = 434.0 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

[Q12]

마찰이 없는 피스톤 실린더에 0.5 MPa, 350°C의 질소 (N₂)가 들어있다. 일정한 압력을 유지하면서 240°C로 냉각되었다. (a) 이때의 열전달량과 (b) 용기에 한 일을 구하시오. (비체적은 사용할 수 없음)

$$R = 0.297 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (\text{N}_2)$$

$$c_p = 1.039 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (\text{N}_2)$$

[Solution]

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.5 \text{ MPa}, \quad T_1 = 350^\circ\text{C}, \quad T_2 = 240^\circ\text{C} \\ q &= c_p \Delta T = c_p (T_2 - T_1) = (1.039)(350 - 240) \\ &= 114.29000 \approx 114.3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$(a) \quad q = 114.3 \text{ kJ/kg} \quad \blacktriangleleft$$

$$\begin{aligned} w &= P \Delta v = R \Delta T = R(T_2 - T_1) = (0.297)(240 - 350) \\ &= -32.67000 \approx -32.7 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$(b) \quad w = -32.7 \text{ kJ/kg} \quad \blacktriangleleft$$

[Q13]

마찰이 없는 피스톤 실린더에 200 kPa, 120°C의 이상기체가 600 L의 용기에 들어있다. 온도가 일정하게 유지되면서 체적이 200 L로 변해서 압축될 때, 용기에 한 일을 구하시오.

[Solution]

$$P_1 = 200 \text{ kPa}, \quad T = 120^\circ\text{C} = \text{const.}, \quad Z = 1$$

$$V_1 = 0.6 \text{ m}^3, \quad V_2 = 0.2 \text{ m}^3, \quad m = \text{const.}$$

$$T = (120 + 273.15) \text{ K} = 393.15 \text{ K}$$

$$mRT = PV = \text{const.}$$

$$mRT = P_1 V_1$$

$$P = \frac{mRT}{V} = \frac{P_1 V_1}{V}$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= (200)(0.6) \ln \frac{0.2}{0.6} = -131.8334746$$

$$\approx -131.8 \text{ kJ}$$

$$W = -131.8 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

[Q14]

300 g의 물이 초기압력이 500 kPa, 초기온도 145°C에서 170°C로 일정한 압력을 유지하며 변한다. (a) 최초상태와 최종상태를 구하시오. (b) 열전달량을 구하시오. (c) 위 변화량을 T - v 선도에 나타내시오. (답을 구하는 과정에서 알아낸 모든 값들을 적당히 표현하시오.)

[Solution]

$$m = 0.3 \text{ kg}, \quad P = 500 \text{ kPa} = \text{const.}$$

$$T_{\text{sat}} @ 500 \text{ kPa} = 151.8^\circ\text{C} > T_1 = 145^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \text{compressed liquid at state 1}$$

$$T_{\text{sat}} @ 500 \text{ kPa} = 151.8^\circ\text{C} < T_2 = 170^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \text{superheated vapor at state 2}$$

(a) compressed liquid \rightarrow superheated vapor \blacktriangleleft

$$c_p = 4.22 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad \dots \quad (\text{Table A-3})$$

$$\begin{aligned} Q &= c_p m \Delta T = c_p m (T_2 - T_1) = (4.22)(0.3)(170 - 145) \\ &= 31.65000 \approx 31.7 \text{ kJ} \end{aligned}$$

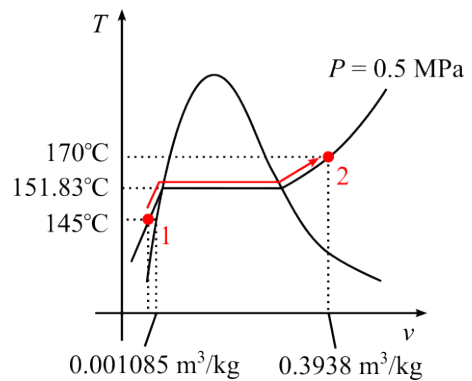
$$(b) \quad Q = 31.7 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

$$v_1 \approx v_{f, \text{sat}} @ 145^\circ\text{C} = 0.001085 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$T [^\circ\text{C}]$	$v [\text{m}^3/\text{kg}]$
Sat. (151.83)	0.42503
170	v_2
200	0.37483

@ $P = 0.5 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{170 - 151.83}{200 - 151.83} (0.42503 - 0.37483) + 0.37483 \\ &= 0.3937657276 \\ &\approx 0.3938 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

(c) \blacktriangleright 

[Q15]

마찰이 없는 피스톤 실린더에 0.5 MPa의 초기압력과 300°C의 초기온도로 0.6 kg의 물이 들어있다. 전체질량의 반이 응축될 때까지 일정한 압력으로 냉각된다. (a) 최종상태의 비체적과 최종온도를 구하시오. (b) 용기에 한 일을 구하시오. (c) 위 변화를 P - v 선도에 나타내시오. (답을 구하는 과정에서 알아낸 모든 값들을 적당히 표현하시오.)

[Solution]

$$P = 0.5 \text{ MPa} = \text{const.}, \quad T_1 = 300^\circ\text{C}, \quad m = 2m_{f2}$$

$$x_2 = \frac{m_{f2}}{m} = 0.5 \Rightarrow \text{wet vapor in state 2}$$

$$v_f = v_f @ 500 \text{ kPa} = 0.001093 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = v_g @ 500 \text{ kPa} = 0.37483 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = v_f + x(v_g - v_f)$$

$$= 0.001093 + (0.5)(0.37483 - 0.001093)$$

$$= 0.1879615 \approx 0.18796 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_2 = T_{\text{sat}} @ 500 \text{ kPa} = 151.83^\circ\text{C}$$

$$(a) \quad v = 0.18796 \text{ m}^3/\text{kg}; \quad T = 151.83^\circ\text{C} \quad \blacktriangleleft$$

$$T_{\text{sat}} @ 500 \text{ kPa} = 151.83^\circ\text{C} < T_1 = 300^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \text{superheated vapor in state 1}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 0.5 \text{ MPa} \\ T_1 = 300^\circ\text{C} \end{array} \right\} v_1 = 0.52261 \text{ m}^3/\text{kg}$$

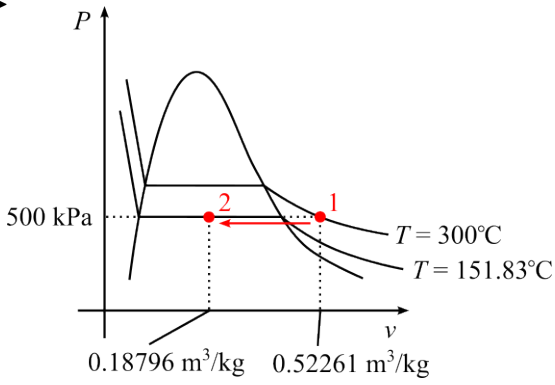
$$W_{12} = mP \Delta v = mP(v_2 - v_1)$$

$$= (0.6)(500)(0.1879615 - 0.52261)$$

$$= -100.39455 \approx -100.4 \text{ kJ}$$

$$(b) \quad W = -100.4 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$

(c) \blacktriangleright



[Q16]

단열된 용기에 0.5 kg의 공기가 3 MPa의 초기압력과 200°C의 초기온도로 존재한다. 최종압력이 800 kPa로 팽창할 때 (a) 최종온도, (b) 용기에 한 일, (c) 열전달량을 구하시오.

[Solution]

단열된 용기이므로 열전달량은 0이다. (c) $Q = 0$ \blacktriangleleft

$$Q = 0, \quad m = 0.5 \text{ kg} = \text{const.}, \quad T_1 = 200^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 3000 \text{ kPa}, \quad P_2 = 800 \text{ kPa}$$

$$\text{let. } \kappa = 1.4$$

$$TP^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = \text{const.}, \quad T_1 P_1^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = T_2 P_2^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = (200 + 273.15) \left(\frac{3000}{800} \right)^{\frac{1-1.4}{1.4}} \\ &= 324.3320826 \approx 324.33 \text{ K} = 51.81^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$(a) \quad T_2 = 51.81^\circ\text{C} \quad \blacktriangleleft$$

$$PV = mRT, \quad V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}, \quad V_2 = \frac{mRT_2}{P_2}$$

$$PV^\kappa = \text{const.}, \quad P_1 V_1^\kappa = P_2 V_2^\kappa$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \kappa} = mR \frac{T_2 - T_1}{1 - \kappa} \\ &= (0.5)(0.2870) \frac{51.81 - 200}{1 - 1.4} = 53.1631625 \\ &\approx 53.2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$(b) \quad W = 53.2 \text{ kJ} \quad \blacktriangleleft$$