

【 문제-1 】 (30점)

아래 표와 같은 냉매 물성치를 이용하여, 이상적인(ideal) 증기압축식 냉동사이클에 대한 다음 물음에 답하시오.

| 상태               | 온도[°C] | 압력[kPa] | 건도 | 엔탈피[kJ/kg] | 엔트로피[kJ/kg · K] |
|------------------|--------|---------|----|------------|-----------------|
| 포화증기<br>(압축기 입구) | -20    | 399.6   | 1  | 271.89     | 1.0779          |
| 포화액<br>(응축기 출구)  | 32.31  | 2000    | 0  | 110.21     | 0.4038          |
| 포화액              | -20    | 399.6   | 0  | 28.24      | 0.1154          |
| 과열증기             | 40     | 2000    | -  | 295.49     | 1.0099          |
| 과열증기             | 60     | 2000    | -  | 320.62     | 1.0878          |
| 과열증기             | 80     | 2000    | -  | 343.22     | 1.1537          |

- (1) 압축기 출구에서 온도와 엔탈피를 구하시오. (4점)
- (2) 증기압축식 냉동사이클의 성능계수(COP)를 구하시오. (6점)
- (3) 증기압축식 냉동사이클의 팽창밸브에서 냉매 1 kg당 발생하는 엔트로피 생성량(entropy generation, kJ/kg · K)을 구하시오. (6점)
- (4) 증기압축식 냉동사이클에서 팽창밸브 대신 단열, 가역적으로 작동하는 팽창기(expander)를 사용하는 경우에 얻을 수 있는 성능계수(COP)를 구하고, 대부분의 실제 증기압축식 냉동사이클에서 팽창기를 적용하지 않는 이유를 설명하시오. (14점)

【 문제-2 】 (20점)

저압( $P_L$ )과 고압( $P_H$ ) 사이에서 작동하는 압력비  $r_p (= P_H/P_L)$ 인 공기 브레이튼 (Brayton) 사이클에서 단열 압축기와 단열 터빈의 등엔트로피 효율(isentropic efficiency)이 모두  $y$ 이다( $\eta_{\text{comp}} = \eta_{\text{turbine}} = y$ ). 압축기 입구온도  $T_1$ 은 300 K이며, 사이클의 최고온도  $T_{\text{max}}$ 는 입구온도의 4배( $T_{\text{max}} = 4T_1$ )인 경우에 대하여 다음 물음에 답하시오. (단, 공기는 이상기체로 기체상수  $R$ 은 0.287 kJ/kg · K, 정압비열  $C_p$ 는 1.004 kJ/kg · K이다.)

- (1)  $y = 1$ 인 경우에 이상기체의 물성치 관련식으로부터 사이클의 열효율( $\eta_{\text{thermal}}$ )을  $R$ ,  $C_p$ ,  $r_p$ 의 함수로 유도하고,  $r_p = 5$ 인 경우에 대해 열효율 값을 구하시오. (8점)
- (2) 사이클의 열효율이 0이 되는  $y$ 를  $R$ ,  $C_p$ ,  $r_p$ 의 함수로 표시하고,  $r_p = 5$ 인 경우에 대해  $y$  값을 구하시오. (12점)

【 문제-3 】 (30점)

열기구(hot air balloon)는 뜨거운 공기로부터 부력을 얻는 장치로 구피(envelope)와 바스켓(basket)으로 구성되며 공기를 가열하는 버너, 연료탱크 등이 탑재된다. 지면에 계류중인 열기구의 구피 내부 체적은  $V=3,000\text{ m}^3$ , 내부 공기 초기 온도는  $T_1=40\text{ }^\circ\text{C}$ 이고, 구피, 바스켓, 버너, 연료탱크, 탑승원 등 열기구 시스템 질량은  $m=490\text{ kg}$ 이다. 지표면에서 대기압은  $P_0=100\text{ kPa}$ , 외기온도는  $T_0=15\text{ }^\circ\text{C}$ , 공기 기체상수는  $R=0.287\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ , 정압비열은  $C_p=1.004\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ , 중력가속도는  $g=9.8\text{ m/s}^2$ 인 경우 다음 가정을 이용하여 물음에 답하시오.

- 가정 1. 대기는 이상기체이며 외기 온도는 고도와 관계없이 일정하다.  
 가정 2. 구피 내부 체적은 일정하며 외부로 열손실이 없고 내부 공기는 이상기체로 온도와 압력이 균일하다.  
 가정 3. 구피 내부 압력은 외부 압력과 동일하다.  
 가정 4. 연소하는 동안 연료의 질량변화는 무시한다.  
 가정 5. 열기구 시스템 체적은 구피 내부 체적으로 대표한다.

- (1) 버너로 구피 내부 공기를 가열할 때 열기구가 지면에서 이륙하기 시작하는 구피 내부 공기온도( $T_2$ )를 구하시오. (6점)
- (2) 프로판 가스를 연료로 사용하는 버너의 연료소비량이  $\dot{m}_{fuel} = 5\text{ g/s}$ 인 경우 구피 내부 공기온도가 초기상태  $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ 부터  $T_3 = 70\text{ }^\circ\text{C}$ 가 될 때까지 걸리는 시간을 구하시오. (단, 프로판 분자량은  $M = 44.1\text{ kg/kmol}$ 이고 표의  $h_f^\circ$ 는 각 물질의 생성엔탈피이다. 프로판은 완전 연소하며, 가열되는 공기의 질량은 초기상태의 구피 내부 공기질량으로 가정한다.) (10점)

| 물질                    | $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ | $\text{CO}_2(\text{g})$ | $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| $h_f^\circ$ (kJ/kmol) | $-241.8 \times 10^3$           | $-393.5 \times 10^3$    | $-104.7 \times 10^3$             |

- (3) 높이( $z$ )에 따라 대기의 밀도가 변하는 경우 대기압에 대한 다음 식을 유도하시오. (4점)

$$P(z) = P_0 \exp\left(-\frac{gz}{RT}\right)$$

- (4) 구피 내부 온도가  $70\text{ }^\circ\text{C}$ 일 때 지면으로부터 도달할 수 있는 열기구의 높이를 구하시오. (10점)

【 문제-4 】 (20점)

개방시스템에 대한 에너지식이 다음과 같다. 공기압축기 입구상태가  $T_i = 310\text{K}$ ,  $P_i = 100\text{kPa}$ , 출구상태가  $T_e = 310\text{K}$ ,  $v_e = 0.31\text{ m}^3/\text{kg}$  일 때 다음 물음에 답하시오. (단, 공기는 이상기체로  $R = 0.287\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ , 운동에너지와 위치에너지를 무시한다.)

$$q + \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) = \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) + w$$

- (1) 가역 등온과정으로 압축할 때 압축기 소요일(kJ/kg)과 방출열(kJ/kg)을 구하시오. (12점)
  
- (2) 물음 (1)과 동일한 압력까지 비가역 등온과정으로 압축할 때 압축기 소요일이 162 kJ/kg인 경우 방출열(kJ/kg)과 엔트로피 생성량(kJ/kg · K)을 구하시오. (8점)