

2016년도 제53회 변리사 2차 국가자격시험 문제지

교 시	시험과목	시험시간	수험번호	성 명	향후일정 안 내
2교시	열역학	120분			

【 문제-1 】 (30점)

공기표준 동력사이클 중 Carnot 사이클과 동등한 효율로 작동 가능한 이론적인 사이클 중의 하나는 Stirling 사이클이다. 등온 압축 전 상태가 T_1, V_1, P_1 이고, 압축비가 γ 이고, 최고온도가 T_3 인 Stirling 사이클에 대하여 아래의 질문에 답하시오. (단, 비열 등 모든 물성치는 일정하다고 가정한다.)

- (1) 이상적인 Stirling 사이클의 P-V 및 T-S 선도를 도식하고, 각 과정을 간략히 설명하시오. 또한, 각 상태에서의 온도, 체적, 압력을 $T_1, V_1, P_1, T_3, \gamma$ 로 나타내시오. (10점)
- (2) 이상적인 Stirling 사이클의 열효율, η 을 유도하시오. (10점)
- (3) 실제의 Stirling 사이클의 효율은 Carnot 사이클의 효율에 미치지 못한다. 이에 대한 여러 가지 요인 중 하나는 재생기의 효율 (유용도)이 100% 보다 작기 때문이다. 만약 재생기의 효율 (유용도)이 ϵ 일 경우, 이 Stirling 사이클의 효율, η' 을 구하시오. (이때 작동유체의 기체상수와 정적비열은 각각 R 과 C_v 이고, 비열비는 $k \equiv C_p/C_v$ 이다.) (10점)

【 문제-2 】 (20점)

광활한 사막의 나무에 매달려 있는 풍선이 있다. 풍선 내에 공기 1 kg이 들어 있다(기체상수 $R = 287 \text{ J/kg K}$, 비열비 $k = 1.4$). 초기 상태 풍선 내의 공기 온도는 $T_{b1} = 310 \text{ K}$, 압력은 $P_{b1} = 200 \text{ kPa}$ 이다. 풍선 주위의 공기의 온도는 $T_a = 330 \text{ K}$ 이며, (풍선+주위공기)시스템은 고립시스템으로 가정한다.

어느 일정 시간이 지나는 동안 풍선 내부 공기의 온도는 $T_{b2} = 315 \text{ K}$ 으로 상승하였다. 주위 공기에서 풍선 내부 공기로의 열전달량은 $Q_{12} = 4500 \text{ J}$ 이

열역학 4-1 [2교시]

라고 한다. 풍선 내부 공기는 이상기체로 가정하고 폴리트로픽 과정을 겪는다고 할 때 아래의 질문에 답하시오.

- (1) 풍선의 초기 체적 V_{b1} 은 얼마인지 구하시오. (2점)
- (2) 폴리트로픽 과정으로 풍선에 가해진 열전달량을 $Q_{12} \equiv mc_n(T_2 - T_1)$ 으로 정의한다고 하면, 이때, 폴리트로픽 비열 c_n 을 정적비열 c_v , 비열비 k , 폴리트로픽 지수 n 으로 표현하시오. 그리고 c_n 과 n 을 각각 구하시오. (8점)
- (3) 풍선의 최종 체적 V_{b2} 를 구하시오. (2점)
- (4) 풍선의 엔트로피 변화량 ΔS_b , 주위의 엔트로피 변화량 ΔS_a , 전체 고립 시스템의 엔트로피 변화량(ΔS_{tot})을 구하고, 열역학 제2법칙에 위배되지 않는지 논하시오. (8점)

【 문제-3 】 (30점)

온도 25°C 인 액체 Dodecane ($C_{12}H_{26}$)을 25°C 인 120% 이론공기량 (산소와 질소의 몰 비율 = 1 : 3.76)으로 압력 0.1 MPa 하에서 연소시키고자 한다. 이때 연소 생성물은 CO_2 , H_2O , O_2 와 N_2 라 가정할 때, 아래의 질문에 답하시오.

- (1) 이 연소과정에 대한 완전 연소 반응식을 세우고, 연소 생성물 각각에 대한 몰 분율 (y_i , mole fraction)을 구하시오. (5점)
- (2) 이 완전 연소과정에 대한 단열화염온도 (adiabatic flame temperature, $T_{P,ad}$)를 구하시오. (이때, 반응물과 생성물의 비열은 아래 표에 제시된 바와 같이 각각 일정하다고 가정한다.) (10점)
- (3) 위의 (2)에서 구한 높은 온도에서는 연소 생성물 중 질소와 산소가 반응하여 질소산화물의 발생이 가능하다. 만약 이때 발생할 수 있는 대표적인 질소산화물인 NO 에 대한 화학평형식이 $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ 일 경우, 단열화염 온도에서의 NO 의 몰 분율 (y_{NO})을 구하시오. (이때, 온도에 따른 평형상수는

아래 표에 제시되어 있고, 일반적 화학반응 $\nu_A A + \nu_B B \rightleftharpoons \nu_C C + \nu_D D$ 에 대한 평형상수 K 의 정의는 다음과 같다.) (10점)

$$K \equiv \frac{y_C^{\nu_C} y_D^{\nu_D}}{y_A^{\nu_A} y_B^{\nu_B}} \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\nu_C + \nu_D - \nu_A - \nu_B}, \quad P_o = 0.1 \text{ [MPa]}$$

[가정] 이 과정은 평형상태 하에 있고, 생성된 질소산화물의 양이 매우 작아서, 위의 (1)에서 구한 “연소 생성물의 몰 분율”은 변하지 않는다.

- (4) 위의 단열화염온도에서의 NO 의 양을 줄이고자, 연소과정 중 적절한 냉각기구를 활용하여 연소 온도를 낮추려고 한다. 위의 (3)에서 구한 “ NO 의 몰 분율”의 10%가 될 수 있는 연소 온도 ($T_{p,0.1}$)를 예측하시오. (5점)

물질	형성엔탈피, $\overline{h_f^o}$ [kJ/kmol]	비열, $\overline{C_p}$ [kJ/kmol K]	분자량 [kg/kmol]
물 (g), H_2O	-241,826	41.4	18
이산화탄소, CO_2	-393,522	54.2	44
Dodecane (l), $C_{12}H_{26}$	-350,000	376.0	170
산소, O_2	0	34.8	32
질소, N_2	0	32.8	28

$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$	
온도 [K]	평형상수 $\ln(K)$
800	-27.4
1000	-18.7
1200	-15.1
1400	-12.5
1600	-10.5
1800	-9.03
2000	-7.82
2200	-6.84
2400	-6.02
2600	-5.32
2800	-4.72
3000	-4.2

열역학 4-3 [2교시]

【 문제-4 】 (20점)

순수물질의 상평형상태에서는 온도와 압력이 일정하다. 이때, Gibbs 함수 (Gibbs 자유에너지)는 평형의 판단기준을 정의하는 데 특히 중요한 상태량이다. Gibbs 함수는 $g = h - Ts$ 로 정의되며, 엔탈피와 엔트로피를 동시에 고려한 자유에너지로 이해할 수 있다.

- (1) 순수물질의 기체-액체 2상 평형상태에서 Gibbs 함수는 액상과 기상에서 서로 같음을 유도하시오. 즉 $g_f = g_g$ 임을 보이시오. (단, 다음 관계식을 이용하시오.) (8점)

$$Tds = dh - vdP$$

- (2) 위 (1)의 결과와 $dg = vdP - sdT$ 관계식을 이용하여 순수물질의 기체-액체 상평형에 적용될 수 있는 다음과 같은 Clapeyron 식을 유도하시오. (12점)

$$\frac{dP}{dT} = \frac{s_{fg}}{v_{fg}} = \frac{h_{fg}}{Tv_{fg}}$$