

열 역 학

2020년도 국가공무원 5급(기술) 공개경쟁채용 제2차시험

응시번호 :

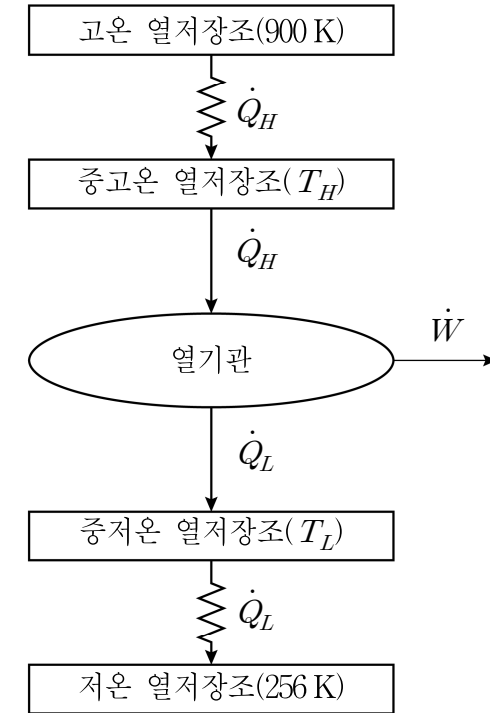
성명 :

제 1 문. 그림과 같이 고온(900 K) 및 중고온(T_H) 열저장조와 저온(256 K) 및 중저온(T_L) 열저장조로 구성된 동력발생 시스템이 있다. 두 온도 T_H 와 T_L 사이에서 작동하는 열기관은 가역 Carnot 열기관이다. 고온 열저장조와 중고온 열저장조 사이 그리고 중저온 열저장조와 저온 열저장조 사이에서는 유한한 온도차에 의한 비가역 열전달이 일어난다. 단위 시간당 공급열량 및 방출열량은 다음 주어진 식과 같이 온도차에 비례한다.

$$\dot{Q}_H = k_1(900 - T_H), \quad \dot{Q}_L = k_2(T_L - 256)$$

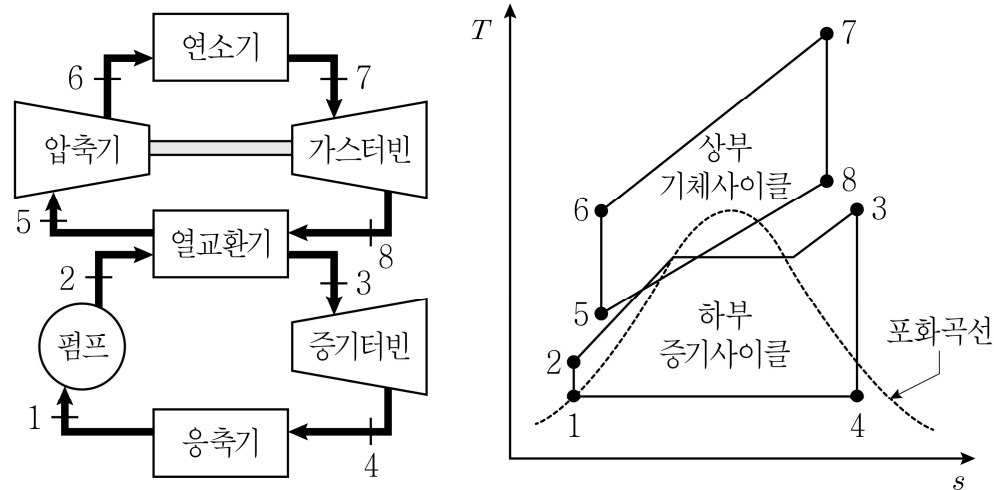
여기서 $k_1 = k_2 = k$ 로 상수이다.

온도 T_H 가 높아져 900 K가 되면 단위 시간당 공급열량이 0이 되므로 열기관의 출력일률이 없다. 온도 T_H 가 낮아져 T_L 과 같아지면 열효율이 0이 되므로 열기관의 출력일률이 없다. 따라서 출력일률이 최대가 되는 온도 T_H 가 존재한다. 물음에 답하시오. (총 10점)



- 1) 열전달 과정이 가능하기 위해 T_H 와 T_L 이 만족해야 하는 조건을 기술하시오. (2점)
- 2) T_L 을 T_H 의 함수로 나타내시오. (2점)
- 3) 출력일률을 T_H 의 함수로 나타내고, 출력일률이 최대일 때 T_H 와 T_L 의 값을 구하시오. (4점)
- 4) 출력일률의 최댓값과 출력일률이 최대일 때 열효율을 구하시오. (2점)

제 2 문. 다음에 주어진 그림과 온도-엔트로피($T-s$) 선도처럼 상부에 이상적 Brayton 사이클을 사용하고, 하부에 이상적 Rankine 사이클을 사용하는 기체-증기 복합사이클(combined gas-vapor cycle)을 고려한다. 상부 기체사이클에서 방출되는 모든 열은 열교환기를 통해 하부 증기사이클에 공급된다.



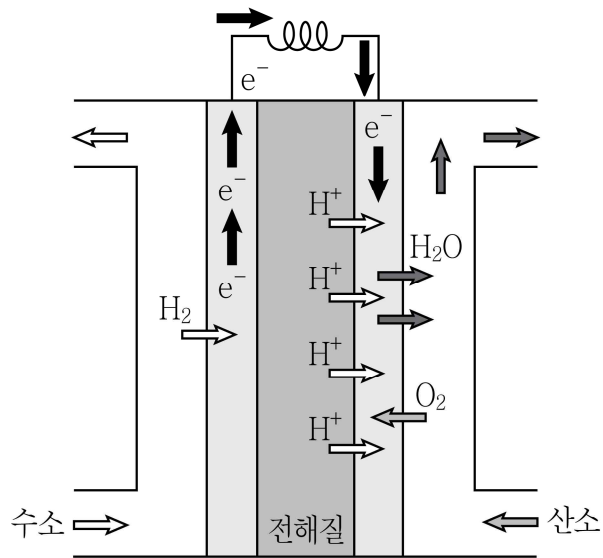
사이클	상태	P (kPa)	T (K)	h (kJ/kg)
증기사이클	1	5		137.8
	2	5000		144.8
	3	5000	723	3317.2
	4	5		2079.4
기체사이클	5	P_L	400	
	6	$8P_L$		
	7	$8P_L$	1400	
	8	P_L		

기체사이클에서 고온부에 공급되는 열을 Q_{in} , 순일(net work)을 W_g , 그리고 방출되는 열을 Q_x 라고 한다. 증기사이클에서의 순일을 W_s 라고 한다. 기체 및 증기 사이클의 열효율을 각각 η_g 및 η_s 라고 하면, $\eta_g = W_g/Q_{in}$ 과 $\eta_s = W_s/Q_x$ 로 나타낼 수 있다. 기체사이클의 기체는 정압비열이 $C_p = 1.0 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ 이고 비열비(k)가 1.4로 일정한 이상기체로 가정하며, T 를 절대온도(K)로 할 때 단위 질량당 엔탈피는 $h = C_p \cdot T(\text{kJ/kg})$ 로 계산된다. 증기사이클은 물을 작동유체로 사용한다. 물음에 답하시오. (총 15점)

- 주어진 복합사이클의 열효율 η_{cc} 를 η_g 와 η_s 만을 이용하여 나타내시오. (3점)
- 상부 기체사이클과 하부 증기사이클의 열효율을 각각 구하시오. (6점)
- 열교환기에서의 에너지 보존을 고려하여 증기와 기체의 질량비(증기질량/기체질량)를 구하시오. (3점)
- 기체사이클의 작동유체 단위 질량(1 kg)에 대해 복합사이클의 공급열 Q_{in} 과 방출열 Q_c 를 계산하고, 계산된 값을 이용해 복합사이클의 열효율을 구하시오. 이러한 과정으로 구해진 열효율의 값과 1)의 결과식에 의한 값을 비교하시오. (3점)

제 3 문. 다음은 298 K 등온에서 작동하는 이상적 수소/산소 연료전지의 모형도이다. 생성물이 액체상태의 물인 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이고, 298 K에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성엔탈피 ($\Delta H_{f,298}^0$) 및 생성 Gibbs 자유에너지($\Delta G_{f,298}^0$)는 각각 -285.8 kJ/mol , -237.1 kJ/mol 이며, Faraday 상수는 96485 C/mol 이다. 물음에 답하시오.

(총 15점)



- 1) 연료 전극(Anode)에서의 반응식과 산소 전극(Cathode)에서의 반응식, 전체 (총괄)반응에서의 반응식을 각각 기술하시오. (3점)
- 2) 수소를 매초 1몰(mol)씩 공급할 때, 기전력(EMF, Electromotive Force)과 전류를 각각 구하시오. (4점)
- 3) 등온 운전이 유지되기 위해 주위로 전달되는 열과 연료전지의 열효율을 각각 구하시오. (2점)
- 4) 만약 산소 대신에 공기를 연료전지의 산소 공급원으로 사용한다면, 이때의 전기적 일과 기전력 및 열효율을 각각 구하시오. (단, 공기는 이상기체이고, 산소의 몰분율은 21 %이며, 반응에 필요한 충분한 공기가 공급되어 질소를 제외한 전체(총괄)반응식은 동일하다) (6점)

제 4 문. 다음은 반데르발스(van der Waals) 상태방정식이다. 물음에 답하시오.

(총 10점)

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

- 1) 상수 a 와 b 를 구하는 수학적인 방법을 설명하시오. (단, 상수 a 와 b 를 구하는 과정을 모두 기술할 필요는 없다) (3점)
- 2) 압력의 미분 dP 를 다른 변수의 미분으로 나타내시오. (3점)
- 3) 압력의 미분 dP 가 완전미분(exact differential)임을 증명하시오. (2점)
- 4) $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P$ 를 표현하는 식을 유도하시오. (2점)

인사혁신처 시험출제과장