

화공열역학

문 1. 내부가 진공 이중벽인 보온병에 미지근한 물을 반만 채우고 밀봉하였다. 보온병은 이상적으로 완벽하게 단열되어 있으며, 물은 보온병 외부로 전혀 새어 나오지 않는다고 가정한다. 보온병 내부를 열역학적 계(system)라고 할 때, 계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 해당 계는 물리적으로 닫힌계라고 볼 수 있다.
- ② 열의 출입이 불가능한 이상적인 단열계이다.
- ③ 물질은 통과하지 못하는 계이다.
- ④ 일의 출입이 불가능한 계이다.

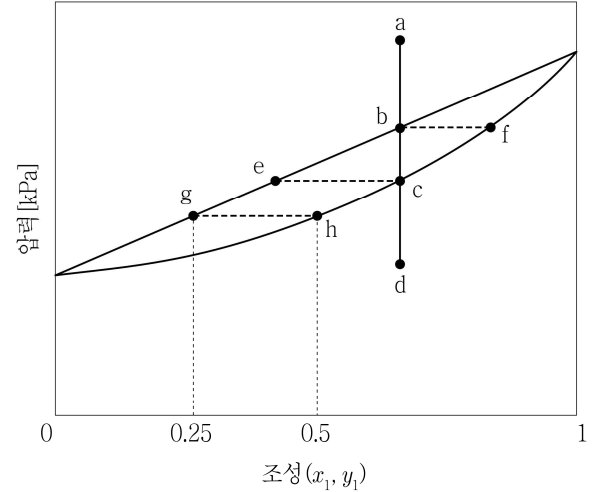
문 2. 냉동 시스템이 2 kW의 동력으로 작동하고 있으며, 냉동되는 속도는 5 kJ s^{-1} 라고 한다. 이 냉동 시스템의 성능계수는?

- ① 0.4
- ② 2.5
- ③ 5.0
- ④ 10.0

문 3. 이상기체로 간주되는 여러 기체 성분들을 혼합시킨다. 혼합 후 혼합물의 열역학적 성질이, 같은 온도와 압력에 있는 혼합 전 순수성분들의 성질에 그 성분의 몰수를 곱한 값의 합과 같은 것은?

- ① A (헬름홀츠에너지)
- ② H (엔탈피)
- ③ S (엔트로피)
- ④ G (깁스에너지)

문 4. 그림은 일정한 온도에서 2성분계 혼합물에 대한 기액 상평형 $P-x_1-y_1$ 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, P 는 압력, x_1 은 액체상에서의 성분 1의 몰분율, y_1 은 기체상에서의 성분 1의 몰분율이다. 점 b, c, d는 점 a로부터 내려오는 수직선 위에 위치하며, 수평 점선들은 각각 서로 다른 압력에서의 연결선(tie line)이다)



- ① 점 a에 있는 과냉각 액체가 점 b에 도달하면 포화액체가 되며, 점 b는 기포점을 나타낸다.
- ② 점 b에서 점 c로 이동하면서 증기의 양은 증가하고, 액체의 양은 감소하며, 점 c는 이슬점을 나타낸다.
- ③ 점 g에서 성분 2의 액체상에서의 조성(x_2)은 0.5이다.
- ④ 점 c에 있는 포화증기가 점 d로 이동하면 과열증기 상태가 된다.

문 5. 성질이 유사한 화합물 A와 화합물 B 사이에 2-매개변수 대응 상태의 원리가 적용되어 똑같은 크기의 압축인자를 갖는다. 화합물 A가 390 K와 70 atm에 있을 때, 화합물 B의 온도(T_B)와 압력(P_B)의 값을 바르게 연결한 것은? (단, 표에서 T_C 는 화합물의 임계온도이고, P_C 는 화합물의 임계압력이다)

화합물 \ 구분	T_C [K]	P_C [atm]
A	130	35
B	150	50

	T_B [K]	P_B [atm]
①	450	100
②	338	49
③	300	150
④	250	130

- 문 6. (가) ~ (라)에서 정적 몰열용량 C_V 와 정압 몰열용량 C_P 에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, T 는 온도, P 는 압력, V 는 몰부피, S 는 몰엔트로피, U 는 몰내부에너지, R 은 기체 상수이다)

(가) 균질유체에서 $C_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V$ 의 관계가 성립한다.

(나) 균질유체에서

$C_P - C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$ 의 관계가 성립한다.

(다) 비압축성 유체에서 $C_P - C_V = R$ 의 관계가 성립한다.

(라) 조성이 서로 다른 여러 성분으로 구성된 이상기체 혼합물의 C_P 값은 각 성분의 C_P 값의 산술 평균이다.

- ① (가), (나) ② (가), (라)
③ (나), (다) ④ (다), (라)

- 문 7. 320 K, 500 kPa의 물이 단열펌프를 지나 8,000 kPa로 방출된다. 320 K에서 포화액체 물의 비부피는 $1,000 \text{ cm}^3 \text{ kg}^{-1}$ 이며, 이송되는 동안 비부피는 변하지 않는다. 펌프의 효율이 25 %라면, 단열 압축공정에 필요한 펌프의 일[kJ kg⁻¹]은? (단, 이 과정에서 운동 에너지와 위치에너지의 변화는 무시한다. $1 \text{ J} = 1 \text{ MPa cm}^3$ 이다)

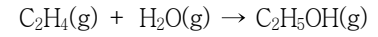
- ① 7.5
② 15.0
③ 20.0
④ 30.0

- 문 8. 다음은 고정된 온도와 압력에서 성분 1과 성분 2로 구성된 용액의 몰부피 $V [\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1}]$ 를 구하는 식이다. 성분 1의 몰분율(x_1)이 0.1일 때, 성분 1의 부분몰부피(partial molar volume)[$\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1}$]는?

$$V = 100 + 50x_1 - 20x_1^2 - 10x_1^3$$

- ① 약 109
② 약 120
③ 약 130
④ 약 146

- 문 9. 500 K, 1 bar에서 주어진 반응의 표준 깁스에너지 변화(ΔG^0)가 $4,980 \text{ J mol}^{-1}$ 일 때, 그 반응의 $\ln K$ 는? (단, K 는 반응의 평형 상수이고, 기체상수 R 은 $8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 이다)



- ① -2.0
② -1.2
③ 1.2
④ 2.0

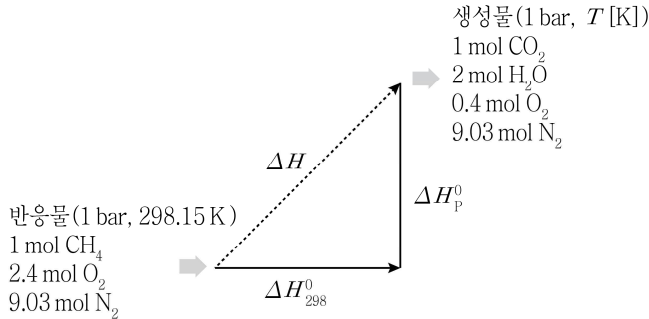
- 문 10. 유량이 10 kg s^{-1} 인 수증기가 100 m s^{-1} 의 속도로 압축기로 들어가서 압축기 입구 압력의 3배로 압축되었다가 다시 노즐로 들어가서 압축기 입구 조건(온도 및 압력)과 같은 상태로 팽창되면서 500 m s^{-1} 의 속도로 방출된다. 이 과정이 정상상태, 단열 조건에서 일어날 때, 압축기에서 필요한 동력[kW]은? (단, 압축기 입구와 노즐 출구의 높이차는 없다고 가정한다)

- ① 120
② 240
③ 1,200
④ 2,400

- 문 11. 표준 반응열에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 표준 반응열에서 표준 상태는 고체, 액체, 기체와 상관없이 1 bar 압력을 기반으로 한다.
② 음수의 표준 반응열을 갖는 반응은 흡열반응이다.
③ 화학 반응식의 각 화학양론계수들이 두 배가 되면 표준 반응열도 두 배가 된다.
④ 표준 반응열을 계산하기 위해 표준 생성열을 이용할 수 있다.

문 12. 그림과 같이 메테인(CH_4)을 20%의 과잉 산소를 사용하여 도달할 수 있는 최고 온도 조건에서 연소시킬 때, 과정별 엔탈피 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 시스템 전체의 운동에너지 및 위치에너지 변화는 무시할 수 있으며, 축일(shaft work)은 없다)



① 문제에 주어진 메테인 연소 반응에서 도달할 수 있는 최고 온도를 얻기 위한 조건은 단열적으로 반응이 완결되는 것이다.

② $\Delta H_{298}^0 = \Delta H_{f298, \text{CO}_2}^0 + 2\Delta H_{f298, \text{H}_2\text{O}}^0 - \Delta H_{f298, \text{CH}_4}^0 - 2\Delta H_{f298, \text{O}_2}^0$ 로 정의된다.

(단, $\Delta H_{f298, i}^0$ 는 298.15 K에서 반응에 참여하는 성분 i 의 표준 생성 엔탈피이다)

③ $\Delta H_P^0 = \left(\sum_i n_i \langle C_{P,i}^0 \rangle_H \right)_P (T - 298.15) - \left(\sum_i n_i \langle C_{P,i}^0 \rangle_H \right)_R (T - 298.15)$ 이다.

(단, $\langle C_{P,i}^0 \rangle_H$ 는 엔탈피를 계산할 때 주어진 온도 구간에서 성분 i 의 평균 열용량이다. 아래첨자인 P와 R은 생성물과 반응물을 의미한다)

④ $\Delta H_{298}^0 = -\Delta H_P^0$ 이다.

문 13. 카르노(Carnot) 기관의 사이클(순환)을 구성하는 각 단계를 순서대로 바르게 나열한 것은?

(가) 계는 온도가 T_H 인 고온 열저장고와 접촉을 유지하면서 가역 등온 과정을 거치는 동안에 고온 열저장고로부터 일정량의 열을 흡수한다.

(나) 온도가 T_H 로 유지되는 고온 열저장고와 초기 온도가 동일한 계가 가역 단열 과정을 거쳐서 그 온도가 저온 열저장고의 온도와 같은 T_C 로 내려간다.

(다) 온도가 T_C 로 유지되는 저온 열저장고와 초기 온도가 동일한 계가 가역 단열 과정을 거쳐서 그 온도가 고온 열저장고의 온도와 같은 T_H 로 상승한다.

(라) 계는 온도가 T_C 인 저온 열저장고와 접촉을 유지하면서 가역 등온 과정을 거쳐서 저온 열저장고에 일정량의 열을 방출하고 원래의 상태로 되돌아간다.

- ① (나) - (가) - (다) - (라)
 ② (나) - (다) - (가) - (라)
 ③ (다) - (가) - (나) - (라)
 ④ (다) - (나) - (가) - (라)

문 14. 1 kW의 동력을 생산하기 위해 제작된 열기관이 있다. 600 K의 수증기를 열원으로 사용하고 300 K의 주위로 열을 버린다. 열기관의 효율을 최대치의 80%로 운전할 때, 한 시간 동안 주위로 버리는 열량[kWh]은?

- ① 1.0
 ② 1.5
 ③ 2.0
 ④ 2.5

문 15. 터보 제트 기관에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 압축 일을 줄이기 위해 확산기를 이용한다.
 ② 축방향 흐름 압축기는 압축 일을 행하며, 연료는 연소실로 분사되어 연소된다.
 ③ 방출압력까지의 나머지 팽창은 노즐에서 이루어지며, 여기에서 기관에 대한 기체의 속도는 유입되는 공기속도 이상의 수준까지 증가된다.
 ④ 압축과 팽창 과정이 가역 단열 과정이라면, 터보 제트 기관의 사이클은 Otto 사이클을 따른다.

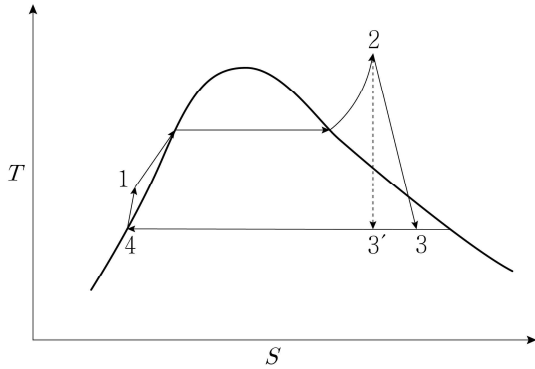
문 16. 어떤 기체 1 mol이 피스톤에 의해 실린더 내에 밀폐되어 있다. 다음의 표와 같이 이 기체가 4단계의 열역학적 순환과정을 거친다고 할 때, (가)와 (나)에 들어갈 양[J]을 바르게 연결한 것은? (단, ΔU^t 는 기체의 총 내부에너지 변화, Q 는 열, W 는 일이다. Q 와 W 는 주위로부터 기체로 전달되는 경우에 양(+)의 값을 갖는다. 열역학적 순환과정에서 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시하며, 축일은 없다)

단계	ΔU^t [J]	Q [J]	W [J]
1 → 2	200	5,000	()
2 → 3	(가)	-1,800	()
3 → 4	()	-500	100
4 → 1	3,000	()	(나)
1 → 2 → 3 → 4 → 1	()	()	-2,500

(가) (나)

- ① -2,800 2,800
 ② -3,600 2,800
 ③ -2,800 3,200
 ④ -3,600 3,200

- 문 17. 그림은 수증기로 작동되는 Rankine 순환 공정의 온도-엔트로피 ($T-S$) 선도이며, 표는 0.01 MPa에서 포화액체 상태에 있는 물의 열역학적 성질이다. $P_1 = P_2 = 10.01$ MPa이고, $P_3 = P_4 = 0.01$ MPa이며, 터빈과 펌프의 효율이 각각 0.7과 0.8일 때, 1지점에서의 엔탈피 [kJ kg^{-1}]는? (단, $1 \text{ kJ} = 10^{-3} \text{ MPa m}^3$ 이다)



압력 $P[\text{MPa}]$	비부피 $V^L[\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}]$	비엔탈피 $H^L[\text{kJ kg}^{-1}]$	비엔트로피 $S^L[\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}]$
0.01	0.001	191.8	0.65

- ① 191.8
② 199.8
③ 201.8
④ 204.3

- 문 18. 정상 끓는점(normal boiling point)에서 물의 기화 엔탈피 변화는 40.7 kJ mol^{-1} 이다. 이 조건에서 2 mol의 물이 기화할 때, 물의 엔트로피 변화 [J K^{-1}]는?

- ① 약 109
② 약 218
③ 약 407
④ 약 814

- 문 19. 초기온도와 초기압력이 각각 300 K와 P_1 인 이상기체를 가역적으로 압축시키는 단힌계를 고려하자. 이 기체를 $P_2 (= 2P_1)$ 까지 등온 압축시킬 때 필요한 일과 같은 크기의 일을 사용하여 동일한 초기 조건에 있는 기체를 단열 압축시킨다면, 기체의 온도변화(ΔT)는? (단, 기체의 정적 열용량(C_V)은 기체상수 R 과 같다. 압축과정에서 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시하며, 축일은 없다)

- ① $(300) \ln 2$
② $\frac{300}{\ln 2}$
③ $(300R) \ln 2$
④ $\frac{300R}{\ln 2}$

- 문 20. 액체(l)에서 증기(v)로 상전이가 일어나는 2상 계가 있다. 화합물의 포화 증기압(P^{sat})의 온도 의존성을 표현하는 Clapeyron 식으로 옳은 것은? (단, T 는 온도, R 은 기체상수, $\Delta H^{lv} (= H^v - H^l)$ 는 상전이 시 엔탈피(H)의 변화, $\Delta V^{lv} (= V^v - V^l)$ 는 상전이 시 몰부피(V)의 변화, $\Delta Z^{lv} (= Z^v - Z^l)$ 는 상전이 시 압축인자(Z)의 변화이다)

- ① $\frac{d \ln P^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{lv}}{RT^2 \Delta V^{lv}}$
② $\frac{d \ln P^{sat}}{d(1/T)} = -\frac{\Delta H^{lv}}{R \Delta Z^{lv}}$
③ $\frac{d \ln P^{sat}}{d(1/T)} = -\frac{\Delta H^{lv}}{R \Delta V^{lv}}$
④ $\frac{d P^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{lv}}{RT^2 \Delta Z^{lv}}$

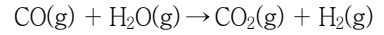
문 21. 순수한 유체의 부피(V)는 온도(T)와 압력(P)의 함수이며 부피 팽창률(β , volume expansivity)과 등온 압축률(κ , isothermal compressibility)은 항상 양의 값으로 온도와 압력의 변화에 대해 일정하다고 가정할 때, 유체의 부피 변화의 비 $\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ 를 계산하는 식으로 옳은 것은?

- ① $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \kappa(T_2 - T_1) - \beta(P_2 - P_1)$
 ② $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \kappa(T_2 - T_1) + \beta(P_2 - P_1)$
 ③ $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \beta(T_2 - T_1) + \kappa(P_2 - P_1)$
 ④ $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$

문 22. 한 발명가가 1 mol의 공기를 이용하여 500 K, 2 bar에서 350 K, 1.4 bar로 상태를 변화시키면서 300 K에 있는 주위로 열을 방출하는 비흐름 공정을 고안했다. 이 공정에서 생성될 수 있는 최대 일[J]은? (단, 공기는 이상기체로 간주하고, $C_P = \frac{7}{2}R$ 이며, R 은 기체상수이고, $\ln(0.7) \approx -0.36$ 으로 계산한다)

- ① $-105R$
 ② $-106R$
 ③ $-107R$
 ④ $-108R$

문 23. 1,000 K, 3 bar에서 다음 반응의 초기 반응물이 1 mol의 CO(g), 1 mol의 H₂O(g), 1 mol의 CO₂(g)일 때, 반응한 CO(g)의 분율은? (단, 혼합물은 이상기체로 가정하며, 주어진 온도와 압력에서 평형상수(K)는 1이다)



- ① $\frac{1}{3}$
 ② $\frac{1}{2}$
 ③ $\frac{2}{3}$
 ④ 1

문 24. van der Waals 상태 방정식 $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ 이 적용되는

기체의 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ 는? (단, U 는 몰내부에너지, V 는 몰부피이다)

- ① a
 ② $\frac{1}{V}$
 ③ $\frac{1}{V^2}$
 ④ $\frac{a}{V^2}$

문 25. 1,700 kPa, 477 K의 포화액체 물이 부분적으로 닫힌 밸브를 지나 100 kPa로 조름팽창될 때, 팽창 후 습윤(wet) 수증기의 질(quality)은? (단, 이 흐름공정에서 유체의 운동에너지와 위치 에너지의 변화는 무시하고, 축일을 생성하지 않으며, 열전달은 없다)

포화압력 P^{sat} [kPa]	포화온도 T^{sat} [K]	포화액체의 엔탈피 H^L [kJ kg ⁻¹]	포화증기의 엔탈피 H^V [kJ kg ⁻¹]
100	373	420	2,680
1,700	477	872	2,800

- ① 0.15
 ② 0.20
 ③ 0.25
 ④ 0.30