

## 화공열역학

1. 자유도(degree of freedom)가 2인 계만을 모두 고르면?

- ㄱ. 삼중점 상태의 물  
ㄴ. 초임계 상태의 물  
ㄷ. 기-액 평형을 이루고 있는 물  
ㄹ. 기-액 평형을 이루고 있는 에탄올 수용액

- ① ㄱ, ㄷ  
② ㄱ, ㄹ  
③ ㄴ, ㄷ  
④ ㄴ, ㄹ

2. 이상기체로 채워진 닫힌계의 가역 공정에서 엔탈피 변화량( $\Delta H$ )에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ①  $\Delta H$ 는 항상 0이다.  
②  $\Delta H$ 는 계의 경로에만 의존한다.  
③ 닫힌계에서는 엔탈피를 정의할 수 없다.  
④ 정압 공정에서  $\Delta H$ 는 계로 유입된 열과 같다.

3. 200 K에서 기체 A가 비리얼(virial) 방정식을 따르며, 제2 비리얼 계수  $B$ 는  $-200 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ 이다. 이 온도에서 기체 A의 몰부피가  $1,000 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ 이 되는 압력[bar]은? (단, 비리얼 방정식은 제2 비리얼 계수만 고려하고, 기체상수  $R = 80 \text{ cm}^3 \text{ bar mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 이다)

- ① 12.8  
② 25.6  
③ 128  
④ 256

4. 다음은 이상기체의 정압 몰열용량( $C_P$ )에 대한 식이다. 일정한 압력에서 이상기체의 온도가  $T_1$ 에서  $3T_1$ 으로 변할 때, 몰엔탈피 변화량( $\Delta H$ )은? (단,  $A$ 와  $B$ 는 상수,  $T$ 는 온도,  $R$ 은 기체상수이다)

$$\frac{C_P}{R} = A + BT$$

- ①  $R(AT_1 + 4BT_1^2)$   
②  $R(2AT_1 + BT_1^2)$   
③  $R(2AT_1 + 2BT_1^2)$   
④  $R(2AT_1 + 4BT_1^2)$

5. 일정한 압력으로 유지되는 피스톤-실린더 장치 내에 초기온도가 300 K인 이상기체 2몰이 밀폐되어있다. 장치 내부로 800 J의 열이 유입될 때, 이상기체의 최종온도[K]는? (단, 정적 열용량은  $\frac{3}{2}R$ 이고, 기체상수  $R = 8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 이다. 가역 공정이고, 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

- ① 320  
② 330  
③ 340  
④ 350

6. 어느 주택에 냉방용량이 30 kW이고 증기-압축 사이클로 작동하는 냉방 시스템을 설치하고자 한다. 이 냉방 시스템의 성능계수는 Carnot 성능계수의 75 %이고, Carnot 사이클로 작동할 경우 응축기 온도( $T_H$ )와 증발기 온도( $T_C$ )의 비율 $\left(\frac{T_H}{T_C}\right)$ 은 1.25이다. 증기-압축 냉방 시스템에 소요되는 전력량[kW]은? (단, 두 사이클은 같은 온도 수준에서 작동한다)

- ① 6  
② 7.5  
③ 10  
④ 24

7. 다음은 25 °C에서 반응식과 표준 반응열( $\Delta H^\circ$ )이다. 1-프로판올( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ )의 연소 반응( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}(\text{l}) + a\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow b\text{CO}_2(\text{g}) + c\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ )에 대한 25 °C에서의 표준 연소열 [ $\text{kJ mol}^{-1}$ ]은? (단, a, b, c는 상수이다)

반응식	$\Delta H^\circ$ [ $\text{kJ mol}^{-1}$ ]
$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}(\text{l}) \rightarrow 3\text{C}(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	200
$\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$	400
$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	280

- ① -2,520  
② -2,320  
③ -2,280  
④ -2,120
8. 다음은 일정한 온도와 압력에서 성분 A와 B로 구성된 용액의 몰엔탈피  $H$  [ $\text{J mol}^{-1}$ ]를 구하는 식이다. 성분 A의 무한희석(infinite dilution) 상태에서 성분 A의 부분 몰엔탈피(partial molar enthalpy) [ $\text{J mol}^{-1}$ ]는? (단,  $x_A$ 는 성분 A의 몰분율이다)

$$H = 400 - 120x_A - 10x_A^3$$

- ① 250  
② 270  
③ 280  
④ 400
9. 성분 A와 B로 구성된 용액에서 성분 A의 몰분율은 0.2이고, 성분 A와 B의 부분 몰부피는 각각  $55\text{ cm}^3\text{ mol}^{-1}$ ,  $17.5\text{ cm}^3\text{ mol}^{-1}$ 이다. 순수한 물질 A와 B의 몰부피는 각각  $57.5\text{ cm}^3\text{ mol}^{-1}$ ,  $18\text{ cm}^3\text{ mol}^{-1}$ 일 때, 용액  $1,000\text{ cm}^3$ 를 만드는 데 필요한 순수한 물질 A와 B의 부피 [ $\text{cm}^3$ ]의 합은? (단, 혼합 과정에서 온도와 압력은 일정하고, 두 성분의 반응 및 증발은 없다고 가정한다)
- ① 1,000  
② 1,018  
③ 1,036  
④ 1,054

10. 용액 1몰의 과잉 깁스 에너지(excess Gibbs energy,  $G^E$ )가  $G^E = aT \ln T + aT + b$ 로 표현될 때, 일정한 압력과 조성에서 용액의 과잉 엔탈피( $H^E$ )를 나타낸 것은? (단, a와 b는 상수, T는 온도이다)
- ①  $-aT + b$   
②  $aT - b$   
③  $(aT + a) \ln T + aT + 2a + b$   
④  $(aT - a) \ln T + aT - 2a + b$

11. 이상기체 1몰의  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$ 와 같은 것은? (단, P는 압력, T는 온도, V는 부피, S는 엔트로피, R은 기체상수이다)
- ①  $\frac{R}{V}$   
②  $-\frac{R}{V}$   
③  $\frac{P}{R}$   
④  $-\frac{P}{R}$

12. van der Waals 상태방정식( $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$ )에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, P는 압력, T는 온도, V는 몰부피, R은 기체상수, a와 b는 상수이다)

ㄱ. a와 b는 물질의 종류와 무관한 상수이다.  
ㄴ. 기체 분자의 크기와 분자 간 상호작용을 고려한 상태 방정식이다.  
ㄷ. 임계온도보다 낮은 온도영역에서 실제기체의 거동을 완벽하게 예측한다.  
ㄹ. van der Waals 상태방정식으로 계산한 임계점에서의 압축인자(Z)는 0.375이다.

- ① ㄱ, ㄴ  
② ㄱ, ㄷ  
③ ㄴ, ㄹ  
④ ㄷ, ㄹ

13. 잔류 성질(residual property)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?  
(단, 임의의 열역학적 성질에 대하여  $M^R$ 은 잔류 성질,  $M$ 은 실제기체의 성질,  $M^{ig}$ 는 이상기체의 성질이다)

- ① 잔류 성질  $M^R = M - M^{ig}$ 로 정의된다.
- ② 잔류 성질은 압축인자( $Z$ )를 이용하여 계산될 수 있다.
- ③ 열역학적 성질값은 실제기체가 이상기체보다 더 크므로 잔류 성질은 항상 0보다 크다.
- ④ 실제기체의 성질 변화를 예측하기 위해 이상기체로 가정하여 성질 변화를 계산하고 잔류 성질로 보정한다.

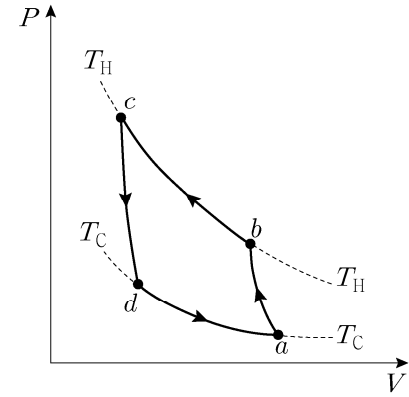
14. 성분 A와 B로 구성된 이성분계가 300 K, 0.3 bar에서 기-액 평형 상태에 있다. 성분 A의 활동도계수  $\gamma_A$ 에 대하여  $\ln(\gamma_A) = \frac{10}{7}(x_B)^2$ 을 만족하고,  $x_A = 0.3$ 일 때, 기체상에서 A의 몰분율은? (단, 기체상은 이상기체이고, 해당 온도에서 물질 A의 포화 증기압은 0.2 bar이다.  $x_A$ 와  $x_B$ 는 액체상에서 성분 A, B의 몰분율이고,  $\ln 2 = 0.7$ 로 계산한다)

- ① 0.2
- ② 0.4
- ③ 0.6
- ④ 0.7

15. 초기에  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ 가 각각 2몰, 1몰, 1몰 존재하는 계에서  $3\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 8\text{H}_2(\text{g}) + 4\text{CO}(\text{g})$ 의 반응이 일어난다. 반응이 일어나는 동안 각 성분의 몰분율을 반응진척도(extent of reaction,  $\varepsilon$ )를 이용하여 옳게 나타낸 것은? (단, 반응 전 초기 상태에서  $\varepsilon = 0$ 이고,  $y_i$ 는 성분  $i$ 의 기체상에서의 몰분율이다)

- ①  $y_{\text{CH}_4} = \frac{2+3\varepsilon}{4-6\varepsilon}$
- ②  $y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1-2\varepsilon}{4-6\varepsilon}$
- ③  $y_{\text{H}_2} = \frac{4-8\varepsilon}{4+6\varepsilon}$
- ④  $y_{\text{CO}} = \frac{4\varepsilon}{4+6\varepsilon}$

16. 그림은 작동 유체가 이상기체인 Carnot 냉동 사이클의 압력( $P$ )–부피( $V$ ) 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단,  $T_H$ 와  $T_C$ 는 각각 고온 열저장고와 저온 열저장고의 온도이다)



- ①  $a \rightarrow b$  공정은 온도가  $T_C$ 에서  $T_H$ 로 상승하는 단열압축 공정이다.
- ②  $c \rightarrow d$  공정은 온도가  $T_H$ 에서  $T_C$ 로 감소하며 열을 방출하는 공정이다.
- ③  $d \rightarrow a$  공정에서 출입하는 열의 크기는  $b \rightarrow c$  공정에서 출입하는 열의 크기보다 작다.
- ④ Carnot 냉동 사이클의  $T_H$ 와  $T_C$ 가 각각  $35^\circ\text{C}$ 와  $7^\circ\text{C}$ 라면 이 사이클의 성능계수는 약 10이다.

17. 이상기체로 이루어진 닫힌계의 엔트로피 변화량( $\Delta S$ )에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 계가 비가역 공정을 거쳐 초기상태로 돌아오면  $\Delta S$ 는 0이다.
- ② 가역 단열 공정에서 계에 가해진 일은 계의 엔트로피를 변화시키지 않는다.
- ③ 가역 공정에서 계의 온도가  $T$ 로 유지되면서 열  $Q$ 가 유입될 때,  $\Delta S$ 는  $\frac{Q}{T}$ 이다.
- ④ 정적 공정에서 계의 온도가  $T_1$ 에서  $T_2$ 로 변화할 때,  $\Delta S$ 는 온도비  $\frac{T_2}{T_1}$ 에 비례한다.

18. 이상기체가 느린 유속으로 압축기에 유입되어 압축 공정을 거친 후, 단열된 노즐을 통해 초기 압력과 온도 조건으로 돌아가면서 최종 속도  $400 \text{ m s}^{-1}$ 로 팽창된다. 압축 공정에서  $170 \text{ kJ kg}^{-1}$ 의 일이 가해졌을 때, 압축 공정에서 방출되는 열의 크기 [ $\text{kJ kg}^{-1}$ ]는? (단, 정상상태 흐름 공정이고, 압축기에 유입되는 지점에서 이상기체의 운동에너지는 무시하며, 위치에너지의 변화와 마찰에 의한 손실은 없다)

- ① 10  
② 90  
③ 130  
④ 170

19. 화학 반응의 평형에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단,  $T$ 는 온도,  $R$ 은 기체상수,  $\Delta H^\circ$ 는 반응의 표준 엔탈피 변화,  $\Delta G^\circ$ 는 반응의 표준 깁스 에너지 변화,  $\mu_i$ 는 물질  $i$ 의 화학포텐셜(chemical potential)이다)

- ① 표준상태에서  $\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = -\frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$ 가 성립한다.  
② 정반응이 발열 반응이면 온도가 증가함에 따라 평형상수는 증가한다.  
③ 평형상태의 닫힌계에서 온도와 압력이 일정할 때, 전체 깁스 에너지는 최소이다.  
④ 물질 A, B, C의 화학반응  $A + B \rightarrow C$ 가 평형에 도달했을 때,  $-\mu_A - \mu_B + \mu_C = 0$ 이 성립한다.

20. 이상기체와 그 혼합물에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단,  $P$ 는 압력,  $V$ 는 부피,  $R$ 은 기체상수,  $C_P$ 는 정압 열용량,  $C_V$ 는 정적 열용량,  $y_i$ 는 성분  $i$ 의 기체상에서의 몰분율이다)

- ㄱ. 이상기체의 Joule-Thomson 계수는 0이다.  
ㄴ.  $C_P$ 와  $C_V$ 가 온도 의존성이 없을 때, 가역 단열팽창 공정에서  $P(V)^{C_P/C_V}$ 는 항상 일정하다.  
ㄷ. 단원자 기체 분자의  $C_P$ 는 온도 의존성이 있다.  
ㄹ. 혼합 과정에서 엔트로피 변화량은  $\Delta S_{mix} = R \sum_i (y_i \ln y_i)$ 이고,  $\Delta S_{mix} > 0$ 이다.

- ① ㄱ, ㄴ  
② ㄴ, ㄷ  
③ ㄷ, ㄹ  
④ ㄱ, ㄴ, ㄹ

21. 환산온도  $T_r = 1.2$ , 환산압력  $P_r = 0.6$ 인 조건에서 기체 A의 압축인자( $Z$ )는 압력에 대한 비리얼(virial) 방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 비리얼 방정식은 제2 비리얼 계수만 고려하고, 제2 비리얼 계수가 Pitzer 상관관계식을 따른다고 할 때, 기체 A의 압축인자는? (단, 해당 온도, 압력 조건에서 제2 비리얼 계수에 대한 Pitzer 상관관계식의  $B^0$ 와  $B^1$ 은 각각  $-0.23$ ,  $0.06$ 이고, 기체 A의 이심인자(acentric factor)는  $0.2$ 이다)

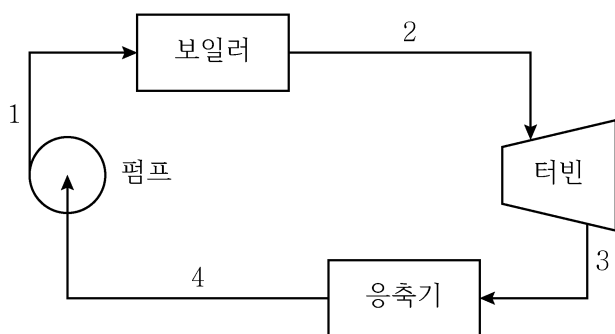
- ① 0.564  
② 0.891  
③ 0.986  
④ 1.014

22. 이상기체로 채워진 피스톤-실린더 장치 내부를 계라고 할 때, 계에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 가역 공정을 가정하고, 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

- ㄱ. 피스톤을 단열압축할 때, 계의 내부에너지 변화량은 가해진 일과 같다.  
 ㄴ. 피스톤을 고정하고 실린더를 가열할 때, 계의 내부에너지 변화량은 계에 가해진 열과 같다.  
 ㄷ. 피스톤을 고정하지 않고 실린더를 가열할 때, 계의 내부에너지 변화량은 계에 가해진 열보다 작다.

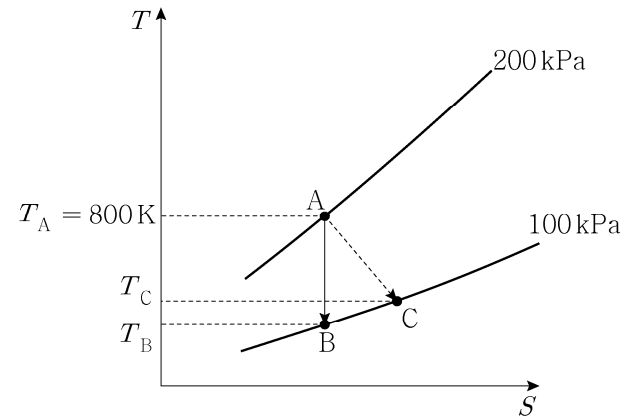
- ① ㄱ  
 ② ㄱ, ㄴ  
 ③ ㄴ, ㄷ  
 ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

23. 그림은 수증기로 작동하는 Rankine 사이클 기관을 나타낸 것이다. 지점 2와 4에서 작동유체의 엔탈피는 각각  $H_2 = 3,400 \text{ kJ kg}^{-1}$ 와  $H_4 = 190 \text{ kJ kg}^{-1}$ 이고, 터빈과 펌프의 효율은 각각 0.9와 0.8이며, 이상적인 조건(등엔트로피 공정)에서 터빈과 펌프의 축일은 각각  $W_{T, ideal} = -900 \text{ kJ kg}^{-1}$ 과  $W_{P, ideal} = 8 \text{ kJ kg}^{-1}$ 이다. 이 기관의 열효율은? (단, 사이클은 정상상태 흐름으로 작동하고, 작동유체의 이송 시 열손실은 없으며, 작동유체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)



- ① 0.20  
 ② 0.25  
 ③ 0.30  
 ④ 0.40

24. 그림은 정상상태 흐름에서 200 kPa, 800 K의 이상기체가 단열된 터빈으로 유입(지점 A)되어 100 kPa의 압력으로 배출(지점 C)되는 공정을 온도( $T$ )-엔트로피( $S$ ) 선도에서 나타낸 것이다. 이때, A→B 공정과 A→C 공정은 각각 이상적인(등엔트로피) 공정과 실제 공정을 나타낸다. 터빈의 효율이 90%일 때, 출구(지점 C)에서 이상기체의 온도[K]는? (단,  $T_i$ 는 지점  $i$ 에서의 온도이고, 이상기체의 정압 열용량( $C_p$ )과 정적 열용량( $C_v$ )은 일정하다.  $\frac{R}{C_p} = 0.32$ ,  $2^{0.32} = 1.25$ 로 계산하고,  $R$ 은 기체상수이며, 이상기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)



- ① 650  
 ② 656  
 ③ 665  
 ④ 674

25. 일정한 온도에서 단일 성분의 기체와 액체가 평형을 이루고 있다. 기체의 잔류 몰부피(residual molar volume,  $V^R$ )가  $V^R = a + bT$ 로 표현될 때, 액체의 플레시티 계수(fugacity coefficient)를 옳게 나타낸 것은? (단,  $a$ 와  $b$ 는 상수,  $T$ 는 온도,  $R$ 은 기체상수,  $P^{sat}$ 은 해당 조건에서 물질의 포화 증기압이다)

- ①  $\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$   
 ②  $\frac{(2a+bT)P^{sat}}{2RT}$   
 ③  $\exp\left(\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}\right)$   
 ④  $\exp\left(\frac{(2a+bT)P^{sat}}{2RT}\right)$