

[1] Draw Lewis diagrams and predict the geometries of the following molecules. State which are polar and which are nonpolar. (5 × 2점 = 총 10점)

- (a) ONCl
- (b) O<sub>2</sub>NCl
- (c) XeF<sub>2</sub>
- (d) SCl<sub>4</sub>
- (e) CHF<sub>3</sub>

The NOCl molecule is bent and polar; the O<sub>2</sub>NCl molecule is (nearly) trigonal about the N and polar; the XeF<sub>2</sub> molecule is linear and non-polar; the SCl<sub>4</sub> molecule has a seesaw geometry and is polar; the CHF<sub>3</sub> molecule is (nearly) tetrahedral and polar.

[2] PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>에 대한 다음 질문에 답하라. (총 10점)

- a) 동일한 전자쌍 구조 (고립전자쌍을 포함한 구조) 를 갖는 화학종은? (5점)
- b) 가장 작은 ∠FPF각을 갖고 있는 화학종을 구하고 각 원자의 형식전하 (formal charge)를 구하시오. (2점)
- c) 극성 화학종을 모두 찾으시오.(3점)

답.

a) PF<sub>2</sub><sup>-</sup>와 PF<sub>4</sub><sup>+</sup>임. 왜냐하면 PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>는 각각 4, 3, 5, 4개의 전자쌍을 중심원자가 갖고 따라서 각각의 전자쌍의 구조는 정사면체, 평면삼각형, 삼각쌍별, 정사면체가 되므로.

b) PF<sub>4</sub><sup>-</sup>임. 왜냐하면 a항의 전자쌍의 구조를 토대로 분자구조를 고려하면 ∠FPF각은 PF<sub>2</sub><sup>-</sup>의 경우 <109.5°, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>의 경우 <120°, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>의 경우 <120°와 <90°의 두 가지, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우 109.5°기 되므로. PF<sub>4</sub><sup>-</sup>에서 형식전하는 F는 0, P는 -1.

c) PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>임. a항의 전자쌍의 구조를 토대로 분자구조를 고려하면 구부러진 구조(PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>)나 시소형 구조(PF<sub>4</sub><sup>-</sup>)를 갖는 경우가 극성을 띠기 때문임.

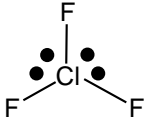
[3] 다음에 답하라. (총 10점)

(a)  $\text{ClF}_3$ 의 가능한 분자 구조들을 그리고 그 중 가장 안정한 구조는 어느 것인지 설명하라.(5점)

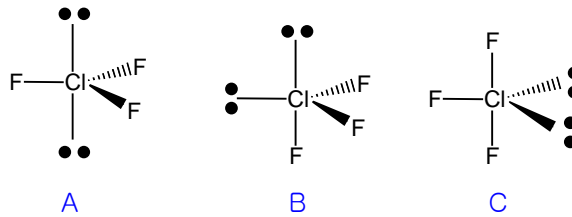
(b) 물 분자의  $\text{H-O-H}$  각도는  $104.5^\circ$  이다. OH 결합의 dipole moment가 1.52D 라면 물분자의 dipole moment는 대략 얼마로 추정할 수 있는가? (5점)

(답)

$\text{ClF}_3$ 의 중심 원자 Cl 주변에 5 쌍의 전자쌍 (2쌍의 비공유 전자쌍과 3 쌍의 공유 전자쌍)이 있음.



3 가지 가능한 분자 구조



# $90^\circ$ lone pair-lone pair repulsion:	0	1	0
# $90^\circ$ lone pair-bonding pair repulsion:	6	3	4

$90^\circ$  lone pair-lone pair repulsion  $>$   $90^\circ$  lone pair-bonding pair repulsion  $>$   $90^\circ$  bonding pair-bonding pair repulsion

$\therefore$  C가 가장 안정하고 분자 모양은 distorted T shape를 갖는다.

답)  $\mu(\text{H}_2\text{O}) = 2\mu(\text{OH}) \cos(104.5^\circ/2) = 1.86\text{D}$

[4] 끓는 점 (Boiling point)은  $\text{HF} > \text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl}$ 의 순서로 측정되었다. (총 10점)

(a) 네 분자 중 그 화학결합의 이온결합성(ionic character)가 큰 것부터 나열하라. (2점)

(b) 분자간 분산력(London force)이 큰 것부터 나열하라. (2점)

(c) 분자간 dipole-dipole의 상호작용이 큰 것부터 나열하라. (2점)

(d) (a)-(c)의 결과로부터, 네 분자의 끓는점의 순서에 대해 설명하라. (4점)

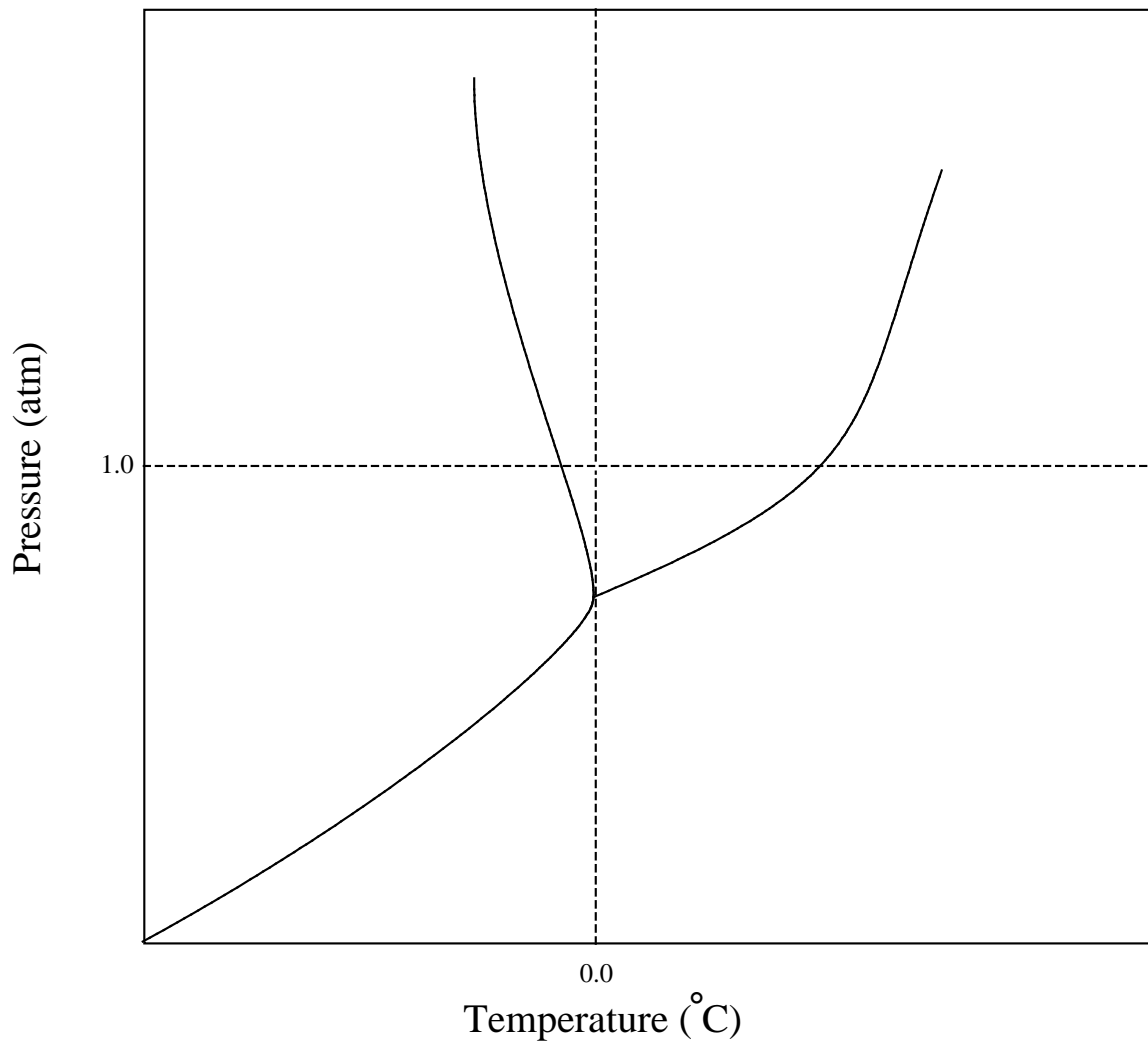
답: (a)  $\text{HF} > \text{HCl} > \text{HBr} > \text{HI}$

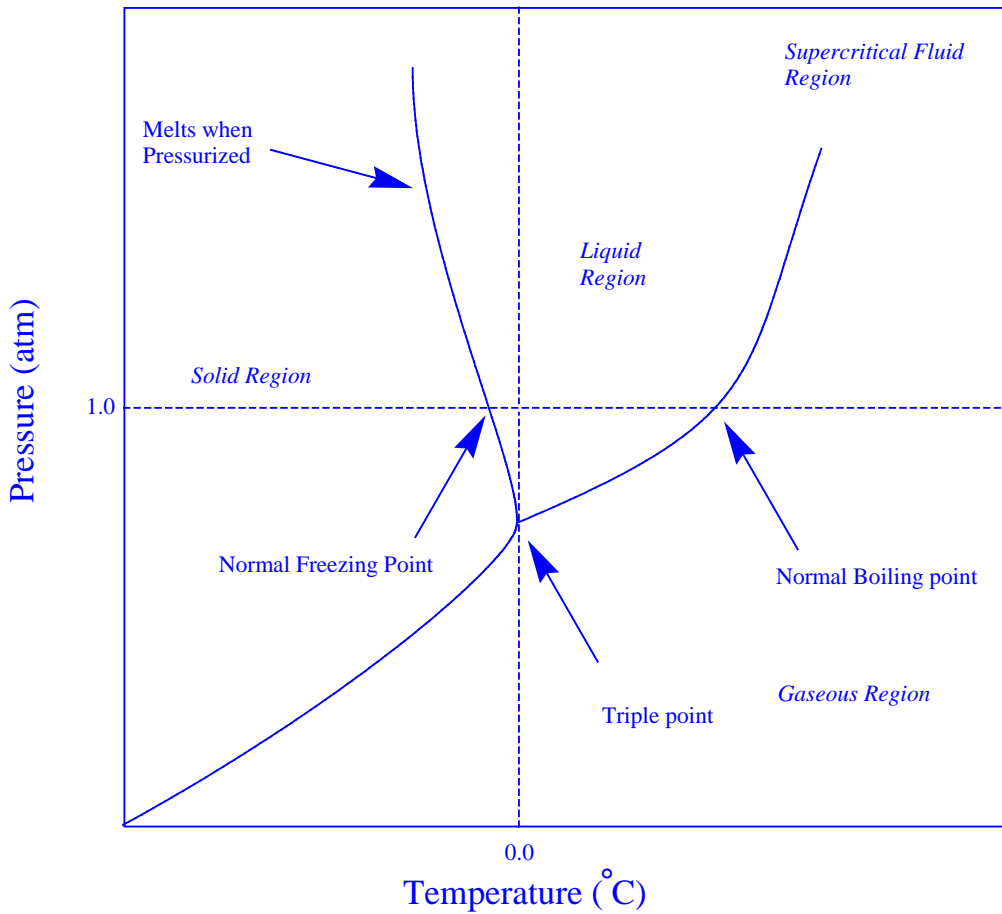
(b)  $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} > \text{HF}$

(c)  $\text{HF} > \text{HCl} > \text{HBr} > \text{HI}$

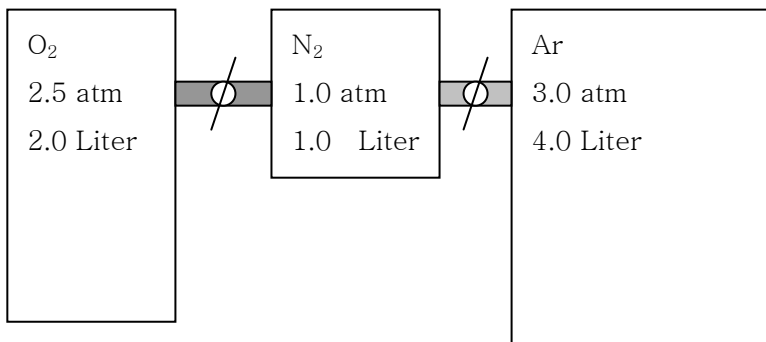
(d) HF가 가장 끓는 점이 높은 이유는 수소결합 때문이고 나머지의 경우는 London힘이 dipole-dipole상호작용보다 더 큰 효과를 주기 때문임.

[5] During General Chemistry class, you are fast asleep and dream of the possibility of life as we know it on a planet light years away. A plain and crude **phase diagram** of a clear abundant substance (molecular compound) belonging to this planet is provided below. Label the following chart as completely as possible and point to a feature(s) that indicates this imaginary substance may be real, and earthly. (총10점)





[6] 다음의 세 개의 용기의 밸브를 열어 기체들이 모두 섞이면 각각 기체의 분압과 전체압력은 어떻게 변하는가? 단, 용기들을 연결한 튜브 (회색 부분) 의 부피는 무시하라. (총 10점)



답:  $V = 7.0$  Liter

$$n = (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3) / RT = n_1 + n_2 + n_3$$

$$P = (RT/V) * (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3) / RT = (5 + 1 + 12) / 7 = 2.6 \text{ atm} - \text{전체압력}$$

$$P(\text{O}_2) = (RT/V) \cdot (P_1 V_1) / RT = 5/7 = 0.71 \text{ atm}$$

$$P(\text{N}_2) = (RT/V) \cdot (P_2 V_2) / RT = 1/7 = 0.14 \text{ atm}$$

$$P(\text{Ar}) = (RT/V) \cdot (P_3 V_3) / RT = 12/7 = 1.71 \text{ atm}$$

[7] Elemental chlorine was first produced by Carl Wilhelm Scheele in 1774 using the reaction of pyrolusite ( $\text{MnO}_2$ ) with sulfuric acid and sodium chloride:



Calculate the minimum mass of  $\text{MnO}_2$  required to generate 5.32 L of gaseous chlorine, measured at a pressure of 0.953 atm and a temperature of 33 °C. (총10점)

4.30 Using the ideal gas law for chlorine gives its number of moles as

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(0.953 \text{ atm})(5.32 \text{ L})}{(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(306.15 \text{ K})} = 0.2018 \text{ mol}$$

This is also the chemical amount of  $\text{MnO}_2$  reacting, because one mole of  $\text{MnO}_2$  generates one mole of  $\text{Cl}_2$ . The mass is then found by multiplying by the molar mass of  $\text{MnO}_2$ ,  $86.937 \text{ g mol}^{-1}$ , to give 17.5 g  $\text{MnO}_2$ .

[8] The air over an unknown liquid is saturated with the vapor of that liquid at 25 °C and a total pressure of 0.980 atm. Suppose that a sample of 6.00 L of the saturated air is collected and the vapor of the unknown liquid is removed from that sample by cooling and condensation. The pure air remaining occupies a volume of 3.75 L at -50 °C and 1.00 atm. Calculate the vapor pressure of the unknown liquid at 25 °C. (총10점)

5.62 The chemical amount of air that was present in the 6.00 L portion of air mixed with the vapors of the unknown can be computed because its physical state after purification is fully described

$$n_{\text{air}} = \frac{PV}{RT} = \frac{(1.000 \text{ atm})(3.75 \text{ L})}{(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(223.15 \text{ K})} = 0.2048 \text{ mol}$$

Now, compute the pressure that this chemical amount of air exerted as part of the 6.00 L mixture

$$P_{\text{air}} = \frac{n_{\text{air}}RT}{V}$$
$$P_{\text{air}} = \frac{(0.2048 \text{ mol})(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(298.15 \text{ K})}{6.00 \text{ L}} = 0.835 \text{ atm}$$

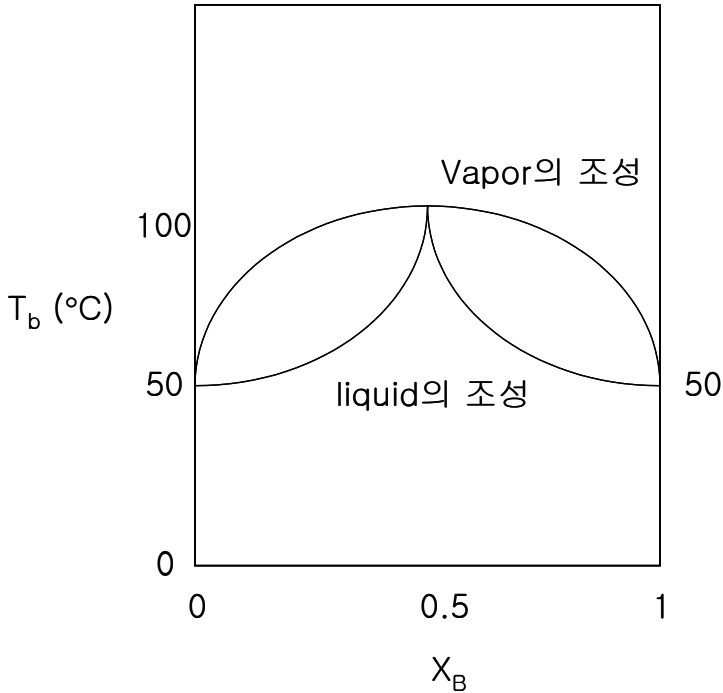
But the total pressure above the unknown was 0.980 atm. By Dalton's law

$$P_{\text{unknown}} = 0.980 - 0.835 = 0.145 \text{ atm}$$

[9] 순수한 액체 A와 B의 끓는점은 똑같이 50 °C 이고 이 둘은  $X_B = 0.5$ 에서 끓는점이 100 °C 인 azeotrope를 형성한다고 하자 (실제로는 이러한 상황은 존재하지 않는다). (총 15점)

(a) A와 B의 혼합 용액의 끓는 점( $T_b$ )을 B의 mole fraction ( $X_B$ ) 에 대해 plot하라. Vapor의 조성 and liquid의 조성에 해당하는 곡선이 어떤 것인지 그림에 표시하시오. (5점).

답)



(b) 이 혼합용액이 이상 용액으로부터 deviation을 보이는 이유는 무엇인가? (5점)

답) A와 B 사이의 인력이 A와 A 사이의 인력과 B와 B 사이의 인력보다 강하기 때문.

(c) A가 0.75 mol, B가 0.25 mol 섞여있는 혼합용액을 분별 증류하면 결국 두 가지의 용액으로 분리되는데, 이 중 한가지 물질로만 이루어진 순수한 물질이 몇 mol인가? 그리고 그 물질은 A 인가 B 인가? (5점)

답) 시작점에서의  $X_B = 0.25$  이다. 따라서, 분별 증류 후에는  $X_B = 0$  인 (즉  $X_A = 1$  인) 순수 물질과  $X_B = 0.5$ 인 Azeotrope 으로 분리된다. Azeotrope의  $n_B/(n_A+n_B) = 0.50$ 이고  $n_B = 0.25$  mol 이므로 azeotrope의  $n_A = 0.25$  mol 이다. A의 처음 몰수는 0.75 mol 이므로 순수한 A 는  $0.75 \text{ mol} - 0.25 \text{ mol} = 0.50 \text{ mol}$  이다. 이 순수한 물질은 A 이다.

[10] 300 K에서 순수한 벤젠(benzene,  $C_6H_6$ )의 증기압은 0.1355 atm이고 순수한 헥센(n-hexane,  $C_6H_{14}$ )의 증기압은 0.2128 atm이다. 벤젠 (몰질량 =  $78.11 \text{ g mol}^{-1}$ ) 과 헥센 (몰질량 =  $86.18 \text{ g mol}^{-1}$ ) 각각을 50.0g 씩 섞어서 두개의 혼합용액을 만들었고, 이 용액이 이상적인 행동을 한다고 가정하자.

(총10점)

(a) 300 K에서 가지는 용액의 전체 증기압을 구하라 (5점)

(b) 300 K에서 용액과 평형을 이루는 증기에서 벤젠의 mole fraction을 구하라. (5점)

답: (a)  $X_b = 0.525$ ,  $X_h = 0.475$

$$\text{thus, } P = P_b + P_h = 0.525 \times 0.1355 + 0.475 \times 0.2128 = 0.172 \text{ atm}$$

$$(b) X_b \text{ in the vapor} = P_b/P = (0.525 \times 0.1355)/0.172 = 0.413$$

[11] 아래 문제에 답하십시오. (총15점)

(a) 298 K, 1 기압에 있는 2.00 mol 의 아르곤 기체에 일정부피 (constant volume)에서 열이 전달되자 최종 온도가 338 K가 되었다. 아르곤은 단원자 기체이며 이상기체에 가깝다고 가정할 때, 전달된 열은 몇 joule이며  $\Delta E$ 는 얼마인가? (5점) ( $R = 8.315 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

답) 단원자 이상기체의 경우  $c_v = (3/2)R = 12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

$$\text{일정부피이므로 } q_v = n c_v \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (338 \text{ K} - 298 \text{ K}) = 998 \text{ J.}$$

$$\text{또한 } \Delta E = q_v + w = q_v = 998 \text{ J.}$$

(b) 만약 똑 같은 양의 열이 일정압력 (constant pressure)에서 전달되었다면 최종 온도  $T_f$ 와  $\Delta E$ 는 얼마인가? (5점)

답) 단원자 이상기체의 경우  $c_p = (5/2)R = 20.79 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

$$\text{일정압력이므로 } q_p = n c_p \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (20.79 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times \Delta T = 998 \text{ J.}$$

$$\text{즉 } \Delta T = 24 \text{ K, 따라서 } T_f = 298 \text{ K} + 24 \text{ K} = 322 \text{ K.}$$

$$\text{또한 } \Delta E = n c_v \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times 24 \text{ K} = 599 \text{ J.}$$

(c) 위 (b)에서 기체에 가해진 일은 얼마인가? (5점)

답)  $\Delta E = q_p + w$  이다. 즉  $599 \text{ J} = 998 \text{ J} + w$ .  $w = -399 \text{ J}$ . 부호가 음수이므로 기체가 399 J의 일을 외부에 행했다.

[12]  $27.0^\circ\text{C}$ , 10.0 기압 상태의 이상기체 2.00몰이 다음과 같이 1.00 기압으로 팽창할 때 각각의 경우에 대해서 이 기체의 work(w)와 heat(q) 및 내부 에너지 변화(E)를 구하십시오. (단원자 분자로 간주하십시오) (총20점)

(a) 등온 가역 팽창할 때. (isothermal reversible expansion) (5점)

(b) 단열 가역 팽창할 때. (adiabatic reversible expansion) (5점)

(c) 외부 압력 1.00 기압에 거슬러 갑자기 팽창 (비가역 단열 irreversible adiabatic) 할 때.

(10점)



[13] Bomb calorimeter로 25.0°C 1.00 기압의 메탄 기체  $1.00 \times 10^{-3}$  mol을 O<sub>2</sub> 기체와 반응시켜서 이산화 탄소와 물로 완전 연소 시켰다. 이때 측정된 열량은 895 Joule이었다. 다음 물음에 답하시오. (총 10 점)

(a) 이 연소 반응 식을 쓰시오. (2 점)

(b) 이 반응에 대한 내부 에너지 변화 ( $\Delta E_{\text{반응}}$ )을 구하시오 (kJ/mol단위로). (3 점)

(c) 이 반응에 대한 엔탈피 변화 ( $\Delta H_{\text{반응}}$ )을 구하시오 (kJ/mol 단위로). (5 점)

정답



(ii) Bomb calorimeter 로 측정된 열량은  $\Delta E$  이므로,

$$\Delta E = 895 \text{ J} \times 1000 \text{ mol}^{-1} = 895 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(iii)  $\Delta H = \Delta E + (\Delta n_{\text{gas}})RT$

$$= \Delta E + (-2 \text{ mol}) \times 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K}$$

$$= 890 \text{ kJ/mol}$$

[14] 다음 사항 중 옳은 것은 O 표 틀린 것은 X 표 하시오. (각 2 점 = 총 10 점)

(a) Raoult 의 법칙에서 심하게 positive deviation 을 하는 것은 maximum-boiling azeotrope 를 형성할 수 있다.

(b) 일반적으로 휘발성 A-B 두 가지 혼합물로 이루어진 비이상 용액의 경우에, A 가 B 에 비하여 상대적으로 양이 아주 적을 때에는 A 의 증기압이 Raoult 의 법칙을 따른다.

(c) 액체의 표면에 있는 분자는 액체 속에 있는 분자에 비하여 intermolecular potential energy 가 더 높으며 이러한 에너지 차이로 인해서 표면 장력이 생긴다.

(d) 높은 온도에서는 낮은 온도일 때 보다 분자의 운동이 활발하기 때문에 소리의 전파 속도가 커진다

(e) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>는 영어로 phosphorous acid이라고 한다.

정답

(1) X (minimum-boiling 이 옳다) (2) X (Henry's law 를 따른다) (3) O (4) O (5) X (phosphoric acid 가 옳다)