

# PHYSICAL CHEMISTRY

MIDTERM EXAM (20/4/2021) Dept. Chem. & Bio. Eng., Korea Univ.  
(TAKE-HOME EXAM)

Prof. D. J. Ahn

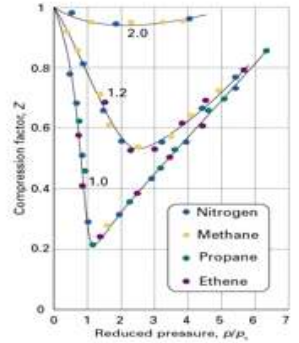
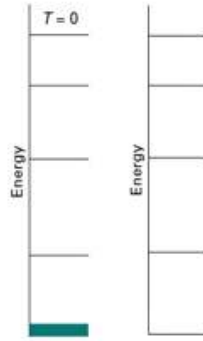
1(30). 다음 물음에 답하시오.

(a:5) 온도  $T$ 가 0K 일 때 입자들의 에너지 준위 확률 분포는 [그림 1]과 같다. 온도가 0K에서 증가하여 무한히 상승할 때 이에 따른 입자 에너지 준위 확률 분포 변화를 설명하고, 확률 분포를 [그림 a]에 직접 나타내시오.

(b:10) Ideal Gas와 Real Gas를 비교하여 설명하시오. 또, Real Gas의 경우에 대해 Lennard-Jones potential의 개념에 근거하여 Compression factor( $Z$ )의 변화를 설명하시오.

(c:5) 가역과정(reversible process)을 정의하시오.

(d:10) [그림 2]의 그래프가 묘사하는 것이 무엇인지 지칭하고, 이것의 장단점을 설명하시오. (그림 2의 파라미터 값은  $T_r$ 을 의미함)



2(20). 다음 질문에 답하시오.

(a:5) Lennard-Jones potential 식을 나타내고, 각 항이 나타내는 의미를 정의하시오. 또한 이들의 합인 potential energy( $\Phi$ )의 의미를 서술하시오.

(b:7) 진공 상에서 제일 안정적인 상태를 가지는 분자 거리( $r$ )와 에너지를 산소와 질소에 대하여 각각 구하시오.

	$(\epsilon/k_B)/K$	$r_0/pm$
$O_2$	91.85	391.9
$N_2$	113.27	365.4

( $k_B = 1.381 \times 10^{-23} J/K$ )

(c:8) 두 산소 분자 사이의 Potential energy-Separation의 관계로부터, Force-Separation의 관계식을 구하시오. 또한, 각각을 아래에 직접 도시하시오.



3(20).  $dU = TdS - PdV$ 와  $H(\equiv U + PV)$ ,  $A(\equiv U - TS)$ ,  $G(\equiv H - TS)$  정의들 및 Maxwell Relation을 활용하여 답하시오.

(a:4)  $dU$ ,  $dH$ 를 다음의 parameter로 표현하시오:  $C_v$ ,  $C_p$ ,  $\mu$ ,  $\pi_T$  (폴이과정 포함)

(b:4)  $P(V_m - b) = RT$ 를 만족하는 기체에 대하여  $\alpha$  (expansion coefficient),  $\kappa_T$  (isothermal compressibility)를 구하시오.

(c:6)  $\pi_T$  (internal pressure)의 의미를 설명하고, (b)기체에 대하여  $\pi_T$ 를 구하시오. (아래  $\pi_T$  표현식 유도)

(d:6)  $\mu$  (Joule-Thomson coefficient)의 의미를 설명하고, (b)기체에 대하여  $\mu$ 를 구하시오. (아래  $\mu$  표현식 유도)

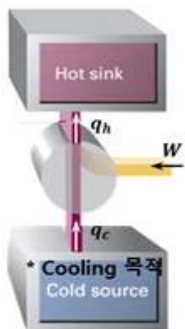
$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P ; \kappa_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T ; \pi_T = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P ; \mu = -\frac{1}{C_p} \left( V - T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right)$$

4(20). Virial EOS  $PV_m = RT(1 + B/V_m + C/V_m^2 + \dots)$ 를 만족하는 기체( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{N}_2$ )들을 이용하여 Linde 장치를 설계하고자 한다. (여기서,  $n=1 \text{ mol}$ ,  $B=\beta/RT$ ,  $C=D=\dots=0$ ,  $C_{p,m}=\text{Constant}$ 로 가정,  $\beta$ 는 [표 1]참조,  $R=0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$ )

(a:6) 열역학 1, 2 법칙들을 모두 활용하여 [그림 3] 공정의 가능성을 판단하시오.

(b:6) 노즐을 통과하는 기체의 압력이 급격히 감소할 경우 각 기체들의 온도변화에 대해 설명하고, 냉매로 사용할 수 있는 기체(들)을 선택하시오. ([표 1]의 data 사용)

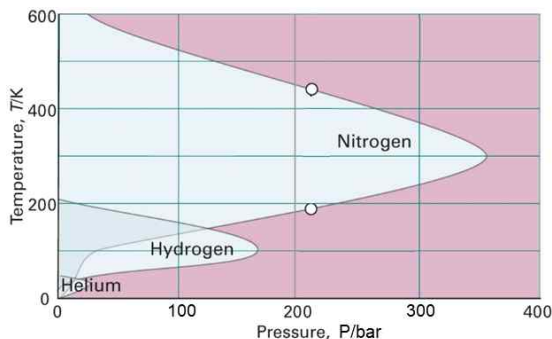
(c:8) 선택된 기체(들)을 사용하는 Linde 장치([그림 5])의 작동원리를 설명하시오.



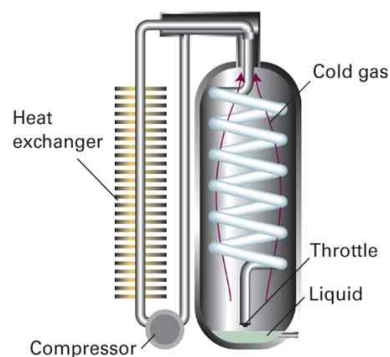
[그림 3]

[표 1]

	$\beta/10^{-3}(\text{L}^2\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-2})$			$V_m/10^{-3}(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1})$		
	100K	273K	373K	100K	273K	373K
$\text{H}_2$	-16.4	306.9	477.5	82.2	224.5	306.7
$\text{He}$	93.5	268.8	345.9	82.8	226.1	308.9
$\text{CO}_2$	-	-3181.1	-2209.9	81.5	222.6	304.1
$\text{N}_2$	-1313.0	-235.2	189.8	82.1	224.0	306.1



[그림 4]



[그림 5]

5(30). Ideal gas를 활용하여 온도  $400^\circ\text{C}$ 와  $100^\circ\text{C}$ 사이에서 소형 Carnot cycle이 다음과 같이 운용되고 있다.

1단계 공정:  $(P_1, V_1, T_1)$ 에서  $(P_2, V_2, T_2)$ 로 isothermal expansion

2단계 공정:  $(P_2, V_2, T_2)$ 에서  $(P_3, V_3, T_3)$ 로 adiabatic expansion

3단계 공정:  $(P_3, V_3, T_3)$ 에서  $(P_4, V_4, T_4)$ 로 isothermal compression

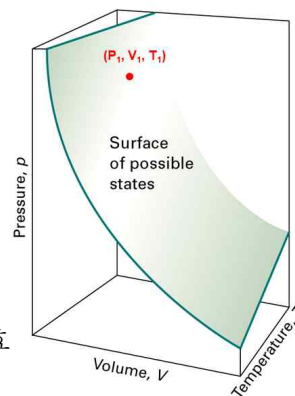
4단계 공정:  $(P_4, V_4, T_4)$ 에서  $(P_1, V_1, T_1)$ 으로 adiabatic compression

(여기서,  $V_1=40 \text{ ml}$ ,  $V_2=80 \text{ ml}$ ,  $V_3=100 \text{ ml}$ ,  $V_4=50 \text{ ml}$ )

(a:5) 각 공정단계(1~4)의 개형을 우측 [그림 6]의 공간에 개략적으로 나타내시오.

(b:15) 주어진 공정조건을 활용하여, 각 공정단계 및 전체 cycle에 대해  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta H$  값 및 공정의 효율을 구하시오.

(c:10) 위 공정을 역방향으로 운용할 때 발생하는 상황을 설명하고, 이 때 공정의 효율을 구하시오.



[그림 6]

※ 총점 120점