

**모든 문제의 계산과정을 답안지에 자세히 명시할 것!!!**

**1. 다음에 답하시오. (45).**

a) 다음 영문은 열역학 (thermodynamics) 에 대한 백과사전에서의 정의를 의미한다. 이 문장을 해석하시오 (5).

Study of the relationships among heat, work, temperature, and energy. Any physical system will spontaneously approach an equilibrium that can be described by specifying its properties, such as pressure, temperature, or chemical composition. If external constraints are allowed to change, these properties generally change.

열역학이란 열, 일, 온도 그리고 에너지 사이에서 관계들에 관한 학문이다. 어떤 물리적계는 이 계의 물성치를 결정할 수 있는 것 (예로서 압력, 온도 또는 조성) 에 의해서 설명될 수 있는 평형으로 자발적으로 움직이게 된다. 만일 외부 요인들에 의하여 변화가 가능한 조건이 되면, 이들 물성치들은 일반적으로 변한다.

b) 화학공학에서 다루는 열역학에서 주로 배우게 될 주제들 (열역학 1 법칙, 열역학 2 법칙, 깁스자유에너지, 상평형) 에 대한 의미와 이들 주제들사이의 관계를 설명하고, 궁극적으로 열역학이 어떻게 응용되는지 설명하시오 (15).

열역학 1법칙이란 에너지보존법칙에 관한 것으로, 어떤 주어진 전체 계의 총 에너지는 소멸하지 않는 것을 의미한다. 예로서 어떤 닫힌계에 대하여 내부에너지 변화량은 이 계를 유출입하는 일과 열의 변화량과 같다.  
 $\Delta U = Q - W$ .

열역학 2법칙은 주어진 전체 계의 무질서도 (entropy) 는 감소하지 않는다는 것이다. 이것은 우주의 탄생 이래 지속적으로 팽창하고, 진화하는 자연의 법칙을 의미하기도 한다.

열역학 1법칙과 2법칙을 통합하여 어떤 계의 평형을 정의할 수 있는 Gibbs free energy ( $G=H-TS$ ) 는 엔탈피 (H) 에서 무질서도 (S) 에 해당하는 에너지를 뺀 것을 의미한다. 즉, 깁스자유에너지가 최소화되기 위하여 엔탈피는 최소로 엔트로피는 최대가 되어야 하며, 바로 이때를 평형상태라고 정의되고 가장 안정한 상태가 된다.

상평형이란 평형의 일종으로 어떤 물질 (혼합물 또는 화합물) 에 대하여 고상, 액상 그리고 기상 사이의 평형을 말한다. 예로서 어떤 온도와 압력에서 기액상 평형을 이루는 화합물의 깁스자유에너지는 각 상에서 같은 값을 갖으며, 이 깁스에너지는 주어진 온도와 압력에서 최소값을 갖는다.

결국 화학공학에서 배우는 열역학의 핵심은 열역학 1, 2 법칙을 통하여 깁스에너지를 정의하고, 깁스에너지로부터 상평형에 대한 개념을 이해함으로써 주어진 온도, 압력, 그리고 조성에서 예상되는 평형상태의 특성에 관하여 배우는 학문이다. 이러한 화공열역학은 다음과 같은 곳에서 응용된다.

1. 화학/생물 분자에 관한 기본 물성치에 관한 정보구축 (database: KDB, NIST, DIPPR)
2. 물성치 예측모델 개발 및 물성치 예측
3. 상평형의 이론적 접근
4. 활동도 (액상내 실질 농도) 예측
5. 공정설계, 합성, 개발 등에 응용

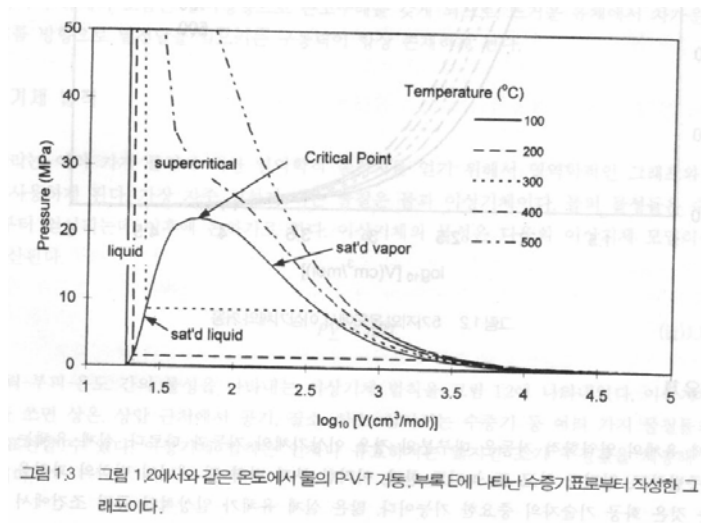
c) 고전열역학과 현대열역학에 대하여 비교 설명하고, 관련된 주요 과학자들을 열거하시오 (5).

고전열역학은 Clausius, Kelvin, Joule, Helmholtz, Gibbs 등이 19세기 말경에 완성한 학문으로 주로 물질의 거시적 세계를 다룬다. 현대열역학은 통계양자역학을 기본으로 Prausnitz 등이 주창한 것으로 물질의 미시적 세계 즉 분자수준의 이해를 통한 물질의 열역학적 특성을 이해하려는 학문이다.

d) 에너지의 여러 형태가 존재하는데 이들을 열거하고, 관련식을 쓰고, 설명하시오 (5).

에너지는 운동에너지, 위치에너지, 일, 열, 내부에너지 등이 있으며, 운동에너지는 속도  $v$  로 움직이는 질량  $m$  의 물체에 대하여  $E_{kinetic} = \frac{1}{2}mv^2$  와 같이 표현된다. 위치에너지는 질량  $m$  을 갖는 물체가 높이  $h$  에 놓여있을 때, 중력가속도  $g$  에 의해서 갖는 에너지  $E_{potential} = mgh$  로서 정의된다. 일에너지는 수축팽창일 ( $W_{EC}=P\Delta V$ ) 및 축일 ( $W_s$ ) 등이 존재한다. 열에너지 ( $Q$ ) 는 열로서 변화된 에너지를 의미하며, 온도의 변화로서 측정할 수 있다.

e) 다음그림은 물에 대한 PVT 선도이다. 각 용어들을 설명하고, 어느 한 등온선을 예를 들어 물의 P-V 거동을 설명하시오 (10).

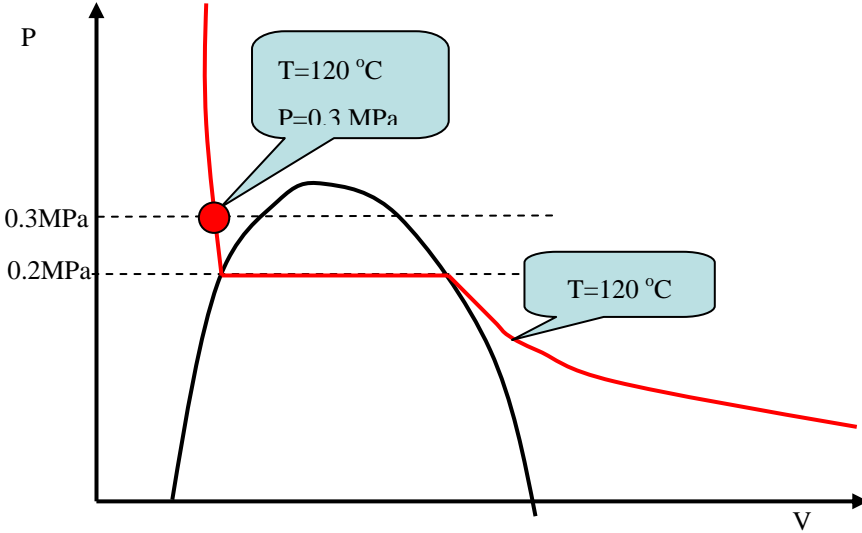


그림의 x 축은 비체적 (단위 몰당 부피) 그리고 y 축은 압력으로서 주어진 온도에서 부피변화에 따른 압력의 변화를 도식화하고 있다. 산모양의 둥근 포화선은 임계점 (critical point) 을 중심으로 왼쪽은 포화액체 (saturated liquid) 선과 포화 기체 (saturated vapor) 로서 구성되어 있다. 같은 온도에서 비체적이 적은 쪽이 액상이므로, 이 포화선을 기준으로 왼쪽은 액상이며, 오른쪽은 기상이다. 임계점 이상 온도에서의 유체는 초임계유체 (supercritical fluid) 라고 한다. 화학공정에서는 주로 임계점 이하에서 조업하는 것이 일반적이다.

그림에서 온도가 300°C 로 주어졌을 때 등온선을 살펴보면, 액상에서는 압력이 큰 쪽으로 감소해도 부피는 크게 증가하지 않고, 기상에서는 압력이 감소하면서 부피가 크게 증가한다. 이 온도에서는 기액상 평형이 존재하며, 이러한 평형에서 액상과 기상은 서로 다른 비체적을 갖으며 공존한다.

2. 120°C, 0.3 MPa 물이 어떤 상태 (증기, 액체 또는 혼합상태) 로 존재하는지 다음 순서에 따라 판별하시오. 단, 교재 부록의 수증기표에 의하면, 120°C 에서의 포화압력은 0.2 MPa 이다 (10).

1) 물에 대하여 온도 120 °C 에서의 등온선이 포함된 PVT 선도를 그리시오.



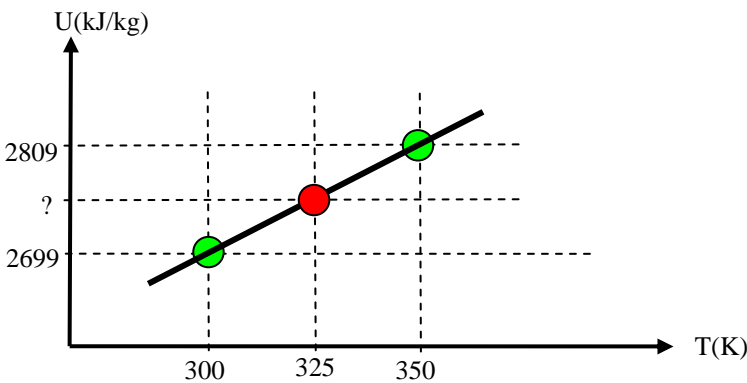
2) 주어진 온도와 압력은 앞서 그린 등온선에서 어디에 위치하는지 표시하고, 이에 따라 물의 상태를 판별하시오.

**위 그림에서 보듯이 포화선 왼쪽에 위치하므로 액체상태의 물이다.**

3. P=5MPa, T=325K 상태에 있는 2kg 수증기에 대하여, 선형 내삽법 (linear interpolation method) 을 사용하여 내부에너지를 구하려고 한다. 단, 수증기표로부터 다음 정보를 얻을 수 있었다 (15).

P=5MPa, T=300K	에서	U=2699 kJ/kg
P=5MPa, T=350K	에서	U=2809 kJ/kg

1) 선형 내삽법 (linear interpolation method) 을 이용할 때, 상기의 정보를 이용하여 온도에 따른 단위질량당 내부에너지를 그래프로 표현해 보시오.



- 2) 그래프상에서 그려진 좌표값과 기울기를 구하는 식을 이용하여 온도 325K 에서 단위질량당 내부에너지를 구하는 식을 유도하시오.

$$\frac{2809 - 2699}{350 - 300} = \frac{y - 2699}{325 - 300}$$

$$y = 2.2 \times 25 + 2699$$

$$y = 2754 \text{ kJ / kg}$$

- 3) 온도 325K 에서 내부에너지는 얼마인가?

**전체 내부에너지  $U = 2\text{kg} \times 2754 \text{ kJ/kg} = 5508 \text{ kJ}$**

4. 어떤 닫힌계에 공기와 이소옥탄 기체가 섞이지 않은 상태로 있다. 압력은 대기압상태이고, 온도  $T = 25^\circ\text{C}$  이다. 공기와 이소옥탄의 평균분자량은 각각,  $(M_w)_{air} = 28.8 \text{ g / mol}$ ,  $(M_w)_{isooctane} = 114 \text{ g / mol}$  이다 (15).

- 1) 공기의 질량밀도를 구하시오. 단, 기체상수  $R = 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ .

**밀도는 이상기체방정식으로부터**

$$PV = \frac{W}{M_w} RT$$

**이므로**

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{P \cdot M_w}{R \cdot T}$$

**공기밀도는  $1.178 \frac{\text{g}}{\text{l}}$  이다.**

- 2) 이소옥탄의 질량밀도를 구하시오.

**이소옥탄의 밀도는  $4.663 \frac{\text{g}}{\text{l}}$  이다.**

- 3) 두 기체가 섞이지 않은 상태로 있다면, 어떤 기체가 바닥으로 깔려있겠는가? 또한 그 이유는 무엇인가?

**밀도가 큰 이소옥탄이 바닥에 깔려 있을 것이다.**

5. 기체상의 반응  $A \rightarrow 2B$  이 부피가  $0.1 \text{ m}^3$  인 원형 금속탱크에서 일어난다. 초기의 압력과 온도는 각각  $0.05 \text{ MPa}$ ,  $400 \text{ K}$  이다. A 성분중의 50% 가 반응된 후 온도가  $350 \text{ K}$  로 떨어졌다. 반응 후 최종압력이 얼마인지 다음 순서에 따라 구하시오. 단, 이상기체로 가정하고, 기체상수

$$R = 8.314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \text{ 이다 (15).}$$

- 1) 성분 A 만 존재하는 초기상태에서 성분 A 의 몰수를 구하시오.

$$PV = n_{A,init} RT$$

$$n_{A,init} = \frac{PV}{RT} = \frac{0.05 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot 0.1 \text{ m}^3}{8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot 400 \text{ K}} = 1.5035 \text{ mol}$$

- 2) 성분 A 의 50% 가 반응된 후 탱크내 성분 A 와 B 에 대한 각각의 몰수와 총 몰수를 구하시오.

남은 성분 A 의 몰수는  $n_A = n_{A,init} \times 0.5 = 0.7515mol$  이고,

생성된 성분 B 의 몰수는  $n_B = n_{A,init} \times 0.5 \times 2 = 1.5035mol$  이므로 나중상태의 총몰수는  $n = n_A + n_B = 2.255mol$  이다.

3) 최종 압력을 구하시오.

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{2.255mol}{1} \cdot \frac{8.314Pa \cdot m^3}{mol \cdot K} \cdot \frac{1}{0.1m^3} \cdot \frac{350K}{1} = 65625Pa = 0.0656MPa$$

6. 본 과목에 있어서 수업내용, 수업방법, 수업태도 등에 보완할 점이 있다면 무엇입니까 (5) ?