

2장 연습문제

2.1 20°C에서 물에 대한 상대적 증기압 $P/P_0=0.9$ 대한 곡률 반경을 계산하라. 평평한 표면으로부터 물의 증발과 대비하여 입자 접촉점에서 목(neck)으로부터 물의 증발에 대한 내포된 의미는 무엇인가?

a) 곡률 반경은 Kelvin식으로 구할 수 있다.

$$\ln \frac{P}{P_0} = \frac{2\gamma V_{mol}}{rRT}$$

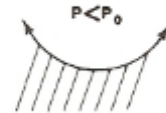
$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} = P/P_0 = 0.9 \rightarrow P_0 > P$$

$$R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$\gamma = 73\text{mN/m} = 0.073 \text{ N/m}$$

$$T = 273 + 20 = 293 \text{ K}$$

$$V_{mol} = 18 \text{ ml/mol (STP로 가정)}$$



$$r = \frac{2 \times 0.073 \text{ N/m} \times 18 \text{ ml/mol}}{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \times 293 \text{ K} \times \ln 0.9}$$

$$= -10.2 \text{ nm (음의 곡률)}$$

b) P/P_0 는 평면 위의 증기압에 대한 상대적인 곡면의 증기압으로 위의 경우 $P/P_0 = 0.9$ 로 $P_0 > P$ 인 경우이다. 따라서 곡면이 음의 곡률을 갖는 경우에 물의 증기압이 Flat한 경우의 증기압에 비해서 낮으며, 응축이 일어난다는 것을 의미한다.

2.2 온도가 20°C일 때 유리 표면 위의 물방울의 적심각은 16°이다. 만일 20°C에서 $\gamma_{SV} = 300\text{mN/M}$ 이라면, 계면 장력 γ_{SL} 을 추정하라.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV}\cos\theta \text{에서}$$

$$300 = \gamma_{SL} + 73\cos 16^\circ$$

$$\gamma_{SL} = 230\text{mN/m}$$

2.3 물은 20°C에서 유리를 완전히 적시지 않는다. 60°C까지 온도 증가 시 적심은 향상되겠는가? 위의 계산 시 무엇이 가정되었는가?

온도가 올라가면 입자들의 응집 에너지가 약해지고, 표면에너지가 작아지기 때문에 물의 표면 장력은 약해진다. 따라서 60°C로 가열시 적심각은 작아지고 적심은 향상된다.

위의 문제 계산시 유리와 공기 사이의 계면 장력 γ_{SV} 및 유리와 물 사이의 계면장

력 γ_{SL} 는 온도에 따라 변하지 않는다고 가정했다.

2.4 만일 문제 2.2의 표면이 $\gamma_{SV}=30\text{mN/m}$, $\gamma_{SL} = 30\text{mN/m}$ 인 왁스 막으로 먼저 피복된다면, 물에 의한 적심은 향상되겠는가?

$\cos\theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$ 에서 $\frac{30-30}{\gamma_{LV}}$ 이므로 $\cos\theta=0$ 이 된다. 따라서 θ 의 값은 90° 가 되어 커지고 적심은 저하된다.

2.5 실린더형 모세관($R_c = 1\mu\text{m}$)안의 에틸 알콜의 모세관 흡인을 계산하라. $\cos\theta = 1$ 을 가정하라.

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV}\cos\theta}{R_c}$$

20°C 에틸 알콜의 $\gamma_{LV} = 0.023 \text{ N/m}$, $R_c = 1\mu\text{m}$, $\cos\theta = 1$

$$\Delta P = \frac{2 \times 0.023\text{N/m} \times 1}{1 \times 10^{-6}\text{m}} = 46000 \text{ N/m}^2 = 46000\text{Pa} = 46\text{kPa}$$

2.6 20°C에서 동일한 모세관에서 물과 에틸 알콜에 대한 상대적인 이동 속도를 계산하라.

$$\nu = \frac{\gamma_{LV}\cos\theta}{\eta} \frac{R_c}{4L}$$

위의 식으로 물과 에틸 알콜의 평균 층류 속도를 구할 수 있다.

물과 에틸 알콜에 대한 상대적인 이동 속도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\nu_w}{\nu_e} = \frac{\frac{(\gamma_{LV})_w \cos\theta_w}{\eta_w} \cdot \frac{R_c}{4L}}{\frac{(\gamma_{LV})_e \cos\theta_e}{\eta_e} \cdot \frac{R_c}{4L}}$$

($\cos\theta_w = \cos\theta_e = 1$ 이라 가정하고, 물의 점도를 $1.005 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ 라 하면 \Rightarrow 이 가정은 굳이 하지 않고 상기 식만을 사용해도 무관함)

$$\frac{(\gamma_{LV})_w \cdot \eta_e}{(\gamma_{LV})_e \cdot \eta_w} = \frac{0.073 \cdot \eta_e}{0.023 \cdot \eta_w} = \frac{0.073 \cdot \eta_e (\text{mPa} \cdot \text{S})}{0.023 \cdot 1.005\text{mPa} \cdot \text{S}} = 3.16 \eta_e$$

2.7 $0.1\mu\text{m}$ 의 반경을 지닌 기공 안으로 수은 침투를 위한 압력은 얼마인가? 25°C와 적심각 140° 를 가정하라.

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV}\cos\theta}{R_c} = \frac{2 \times 474\text{mN/m} \times \cos 140^\circ}{0.1 \times 10^{-6}\text{m}} = -7262101321 \text{ mN/m}^2 = -7.3 \text{ MPa}$$

(여기서 -의 의미는 자발적으로 침투는 어렵고, 외부에서 상기의 압력을 주어야 침투

가 가능하다는 것을 의미함)

2.8 $R_c = 2 \mu\text{m}$ 를 지닌 압축 성형용 형틀의 모세관 흡인과 $R_c = 1.3 \mu\text{m}$ 를 지닌 물레용 형틀의 모세관 흡인을 계산하고 비교하라. 완전한 적심과 25°C 를 가정하라.

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV}\cos\theta}{R_c}$$

완전한 적심이므로 $\theta = 0^\circ$, 따라서 $\cos\theta = 1$

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV}}{R_c}$$

25°C 에 $\gamma_{LV} = 72\text{mN/m}$ (액체를 물로 가정 \Rightarrow 가정하지 않고, 그대로 놓고 풀어도 무관함.)

a) $R_c = 2 \mu\text{m}$

$$\Delta P = \frac{2 \times 0.072 \text{ N/m}}{2 \times 10^{-6} \text{ m}} = 72000 \text{ N/m}^2 = 72\text{kPa}$$

b) $R_c = 1.3 \mu\text{m}$

$$\Delta P = \frac{2 \times 0.072 \text{ N/m}}{1.3 \times 10^{-6} \text{ m}} = 110769 \text{ N/m}^2 = 110.8\text{kPa}$$

위의 결과를 보면 모세관 반경이 작을수록 모세관 흡인이 커지는 것을 알 수 있다.