

11.1-3. boiling point calculation

헥산-옥탄 계의 증기압 데이터를 이용하여,

a) 압력 P=1atm 에서 x-y 상평형도를 그리시오.

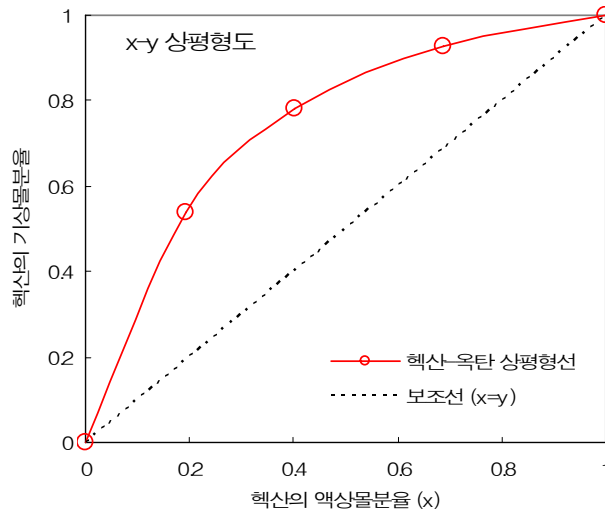
교재 704 쪽에서 라울의 법칙을 이용하면, 이성분계에 대하여 전체압력

$$P = P_A^{vap} x_A + P_B^{vap} x_B$$

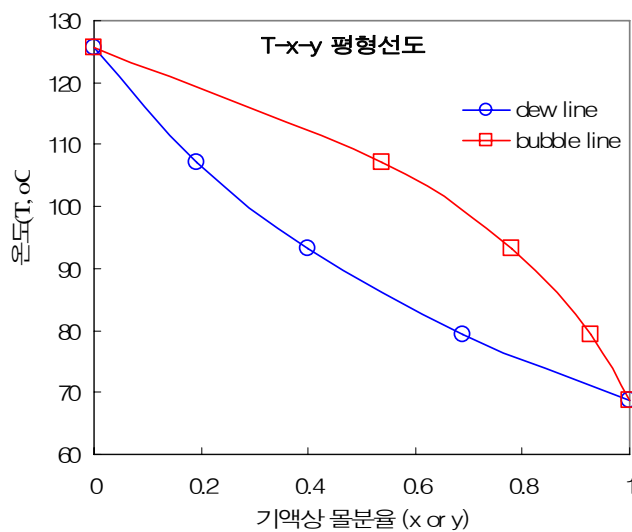
$$\text{where } x_B = (1 - x_A)$$

이다. 따라서 $x_A = \frac{(P - P_B^{vap})}{(P_A^{vap} - P_B^{vap})}$ 이다. 또한 라울의 법칙에 의하여, $y_B = \frac{P_A^{vap}}{P} x_B$ 이다.

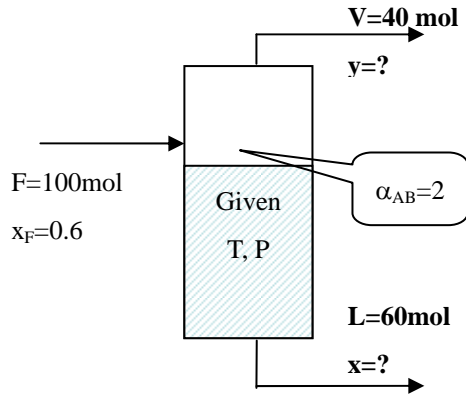
윗식을 이용하고 주어진 표로부터 헥산에 대한 기액상 몰분율을 구하여 엑셀로 그리면 다음과 같다.



b) boiling point 그림은 T-x-y 상평형도로서 x-T 그림과 y-T 그림을 한 그래프에 표현하면 된다.



11.2-1. 기 액계의 단단 접촉



위 공정은 flash 공정으로 간주할 수 있으며, 펜탄에 대한 성분물질수지식을 세우면,

$$F \cdot x_F = V \cdot y + L \cdot x \quad (11.2-1-1)$$

이고, 모르는 미지수는 y 와 x 이다. 하지만, 기액상 평형이고, 상대휘발도를 알고 있으므로,

$$\alpha_{AB} = \frac{y/x}{(1-y)/(1-x)}$$

상대휘발도식을 y 에 대하여 정리하면,

$$y = \frac{\alpha_{AB} x}{1 + (\alpha_{AB} - 1)x} \quad (11.2-1-2)$$

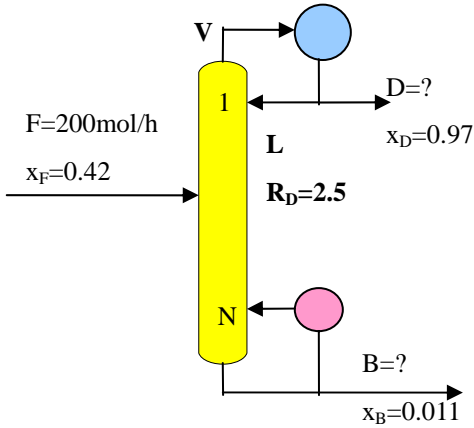
식 (11.2-1-2)을 식 (11.2-1-1) 에 대입하면,

$$F \cdot x_F = V \cdot \frac{\alpha_{AB} x}{1 + (\alpha_{AB} - 1)x} + L \cdot x$$

위식은 x 에 대한 2차 방정식으로 표현되며, “MS-exel>도구>해찾기” 기능을 사용하면 쉽게 x 값을 구할 수 있다. 구한 액상 몰분율 $x = 0.535$ 이고, 따라서 기상 몰분율은 식 (11.2-1-2) 에 의하여 $y = 0.697$ 이다.

즉, 60% 펜탄은 flash 공정을 통하여 69.7% 순도에서 기상으로 유출되고, 액상으로는 53.5% 의 순도를 갖는다.

11.4-2. McCabe-Thiele 방법을 이용한 증류탑의 평형단수 구하기



풀이: 주어진 값들을 증류탑 그림과 함께 명시하였다. 구해야 할 값은 a) 탑상부 증류액 유량 (D), b) 탑하부의 유량 (B), c) 이론단수, d) 원료가 주입되는 공급단의 단수를 구하는 것이다.

a) 탑상부 증류액 유량 (D):

이 증류탑 총괄물질수지식과 헤파탄에 대한 성분물질수지식으로부터

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B}, \rightarrow D = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B} \cdot F$$

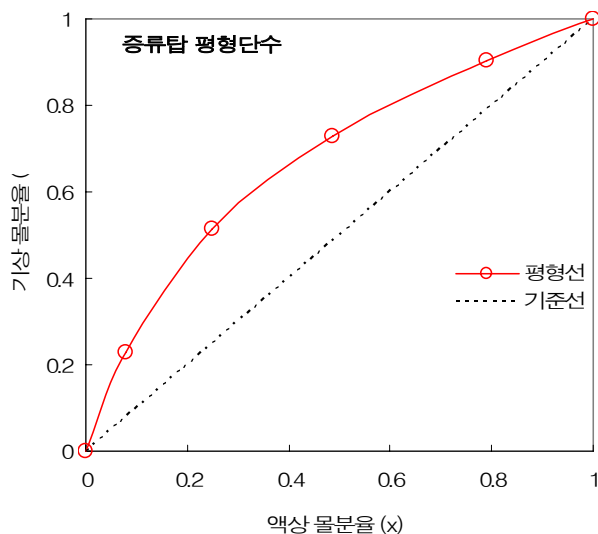
따라서 $D=85.3 \text{ mol/h}$.

b) 총괄물질 수지식으로부터 $B=F-D=114.7 \text{ mol/h}$.

c) 이론단수를 구하기 위한 순서는 다음과 같다.

- i) 주어진 실험데이터로부터 평형선을 그린다.
- ii) 상부작업선을 구하고 그림으로 그린다.
- iii) 공급선을 그린다.
- iv) 하부 작업선을 그린다 (공급선과 상부작업선이 만나는 점과 하부 농도값 (x_B, x_B) 을 연결),
- v) 수평과 수직선으로 평형선과 작업선사이에서 평형단수를 그린다.

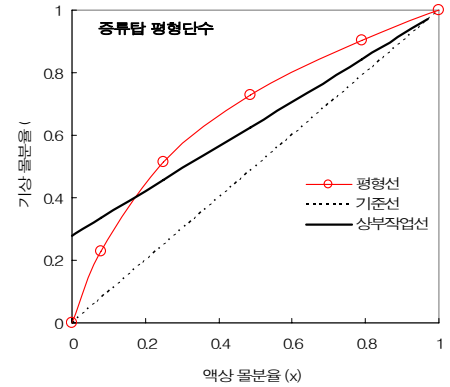
i) 주어진 평형데이터로부터 헤파탄에 대한 평형선은 다음과 같이 엑셀을 사용하여 그릴 수 있다.



ii) 상부조업선은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y_{n+1} = \frac{R_D}{R_D+1}x_n + \frac{x_D}{R_D+1} \rightarrow y = \frac{2.5}{2.5+1}x + \frac{0.97}{2.5+1}$$

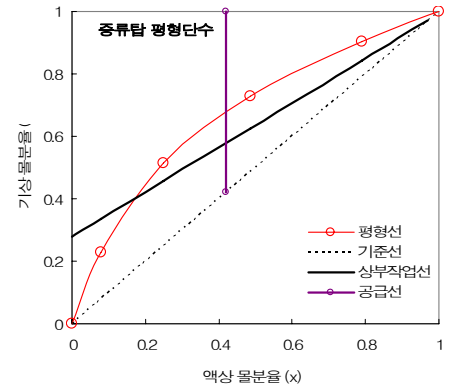
윗그림의 기액상 물분율 그래프에 상부조업선을 추가하면,



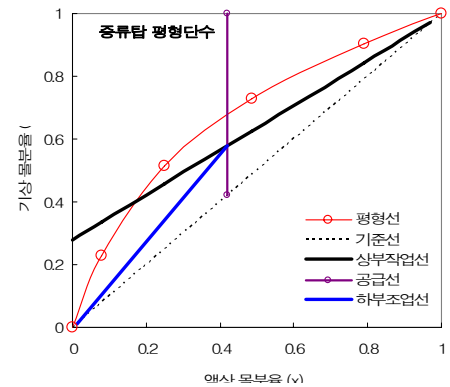
iii) 공급선은 공급단에서의 질량보존식을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_f}{1-q}$$

액화율 $q=1$ 이므로, $y = \infty x + \infty$ 이다. 기울기가 무한대인 이 그래프를 위 그래프에 추가시키면

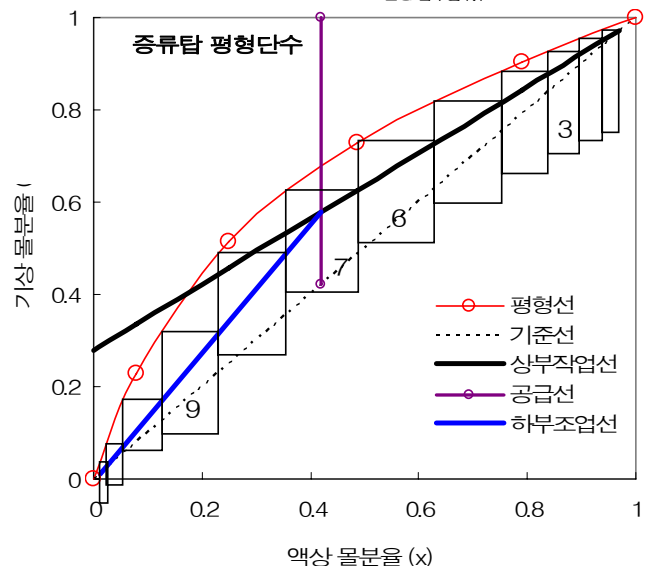


iv) 하부 작업선은 공급선과 상부작업선이 만나는 점과 하부 농도 값 (x_B, x_B) 을 연결한다.



v) 수평과 수직선으로 평형선과 작업선사이에서 평형단수를 그린다. 그림에서 12개의 이론평형단수를 구할 수 있다.

d) 원료가 주입되는 공급단은 상탑에서부터 7번째 단이다. 즉, 공급단은 7단이다.



11.4-4. 11.4-2 문제에서와 같은 증류탑에 대하여 최소 환류비 (R_{min}) 와 최소단수를 구하시오.

a) 최소환류비란 상부조업선이 공급선과 평형선이 만나는 지점을 지날때의 기울기를 말한다. 최소환류비일때, 조업단수는 무한대가 되므로, 조업은 항상 최소환류비보다 커야 한다. 공급선이 평형선과 만나는 점을 그래프에서 읽어보면, 점 Q (0.42,0.68) 임을 알 수 있다. 따라서 탑상부의 물분율 점 Q (0.97,0.97) 과 점 P 를 연결한 선이 최소환류비일 때 상부조업선이다. 최소환류비 조업선의 기울기를 식으로 나타내면,

$$\frac{R_{min}}{R_{min} + 1} = \frac{0.97 - 0.68}{0.97 - 0.42} = 0.527$$

따라서 최소환류비는

$$R_{min} = 1.115$$

b) 최소단수란, 조업선이 대각선의 기준선과 같아질 때 얻을 수 있는 단수이다. 즉, 조업선은 점 (x_D, x_D) 과 점 (x_B, x_B) 를 잇는 선이다. 이때 단수를 엑셀에서 그려보면, 옆의 그림과 같다.

그림에서 단수를 세어보면, 최소단수는 8단이다.

c) 최소단수를 이론적으로 구하는 방법이 있는데, 평균 상대 휘발도를 구하여 다음식을 이용한다.

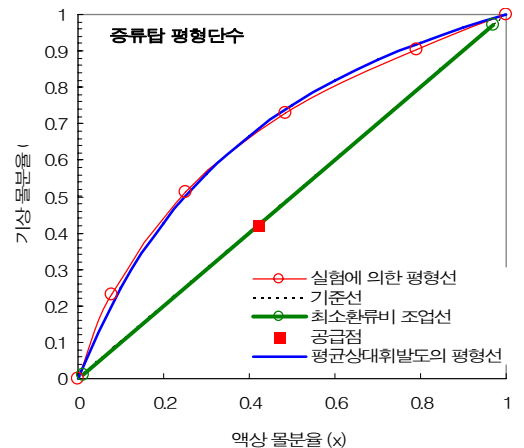
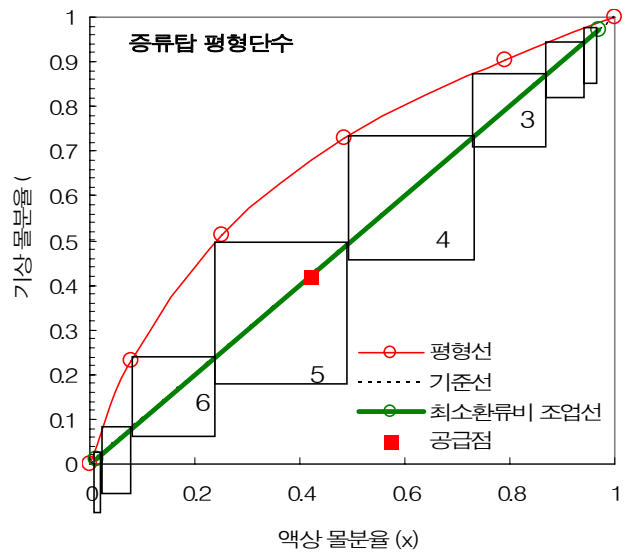
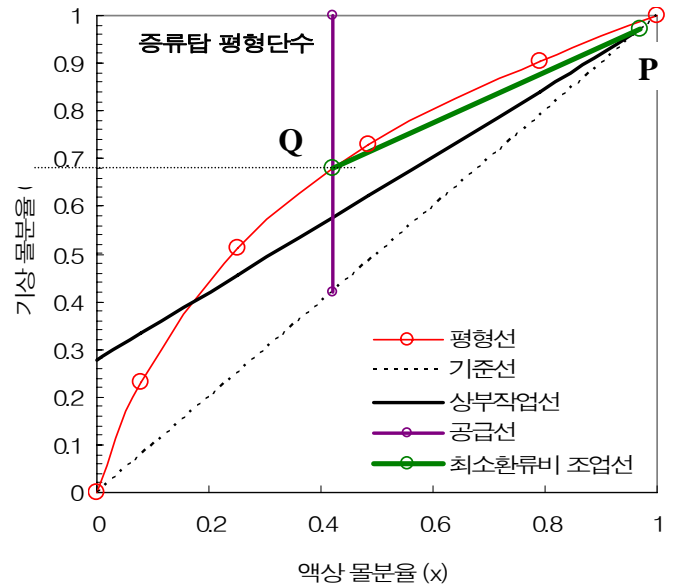
$$N_{min} = -\frac{\ln\left(\frac{x_D}{1-x_D} \cdot \frac{1-x_B}{x_B}\right)}{\ln \alpha_{av}} \quad (11.4-4-1)$$

평균 상대휘발도를 구하기 위하여

각 실험데이터에서 상대 휘발도를 구한다. $\alpha_{12} = \frac{y_1/x_1}{(1-y_1)/(1-x_1)}$

x	0	0.08	0.25	0.485	0.79	1
평형데이터	0	0.23	0.514	0.73	0.904	1
상대휘발도		3.435065	3.17284	2.870943	2.503165	

평균상대휘발도는 $\alpha_{av} = 3.0$ 이고, 평균상대휘발도로 구한 평형선은 옆 그림에 나타내었다. 실험값과 많은 차이가 없음을 알 수 있다. 이 평균 상대휘발도를 이용하여 식 (11.4-4-1) 으로부터 최소이론단수를 구하면, $N_{min} = 7.3$ 이다.



11.5-1. 머프리 효율과 단의 실제수

머프리 효율 $E_M = 0.5$ 이므로 실제 평형선은 조업선과 이론적 평형선 사이 길이의 반이다. 즉,

$$E_M = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = 0.5 \tag{11.5-1-1}$$

a) 먼저 상부조업선의 값과 하부조업선의 y 값을 찾거나 그래프에서 읽는다.

조업선	x	0	0.08	0.25	0.485	0.79	1
상부조업선	y_{n+1}				0.623571	0.841429	1
하부조업선	y_{n+1}	0	0.1	0.35			

b) 조업선 (y_{n+1}) 과 이론적 평형선 (y_n^*) 과의 중간지점 (y_n) 을 구한다. 식 (11.5-1-1) 으로부터 실제

평형선을 구하면, $y_n = y_{n+1} + E_M(y_n^* - y_{n+1})$ 이다. 이 값은 아래표에 나와있다.

	x	0	0.08	0.25	0.485	0.79	1
이론적 평형선	y^*	0	0.23	0.514	0.73	0.904	1
조업선	y_{n+1}	0	0.1	0.35	0.623571	0.841429	1
실제 평형선	y_n	0	0.165	0.432	0.676786	0.872714	1

c) 실제 평형선과 조업선 사이를 수직과 수평으로 연결하여 실제 단수를 구한다.

엑셀그림에서 보듯이 20단의 실제 단수가 나온다. 실제 공급단은 11번째 단이다. 즉, 우리가 원하는 97% 순도의 hexan을 얻기 위하여 단효율이 50% 밖에 되지 않기 때문에, 12단이 아닌 20단의 증류탑이 필요하다.

d) 총단효율은

$$E_0 = \frac{\text{이론단수}}{\text{실제단수}} = \frac{12}{20} = 0.6$$

이다.

