

단위 조작

Unit operation

제 12 장. 흡착, 추출 & 결정화 공정

12.1-3 흡착공정, 흡착평형식, 크로마토그래피

12.5-6 액액 추출공정

12.7 연속식 다단 추출공정

12.11 결정화 공정

12.12 결정화 이론

12.5 액액 추출 공정 : extraction process

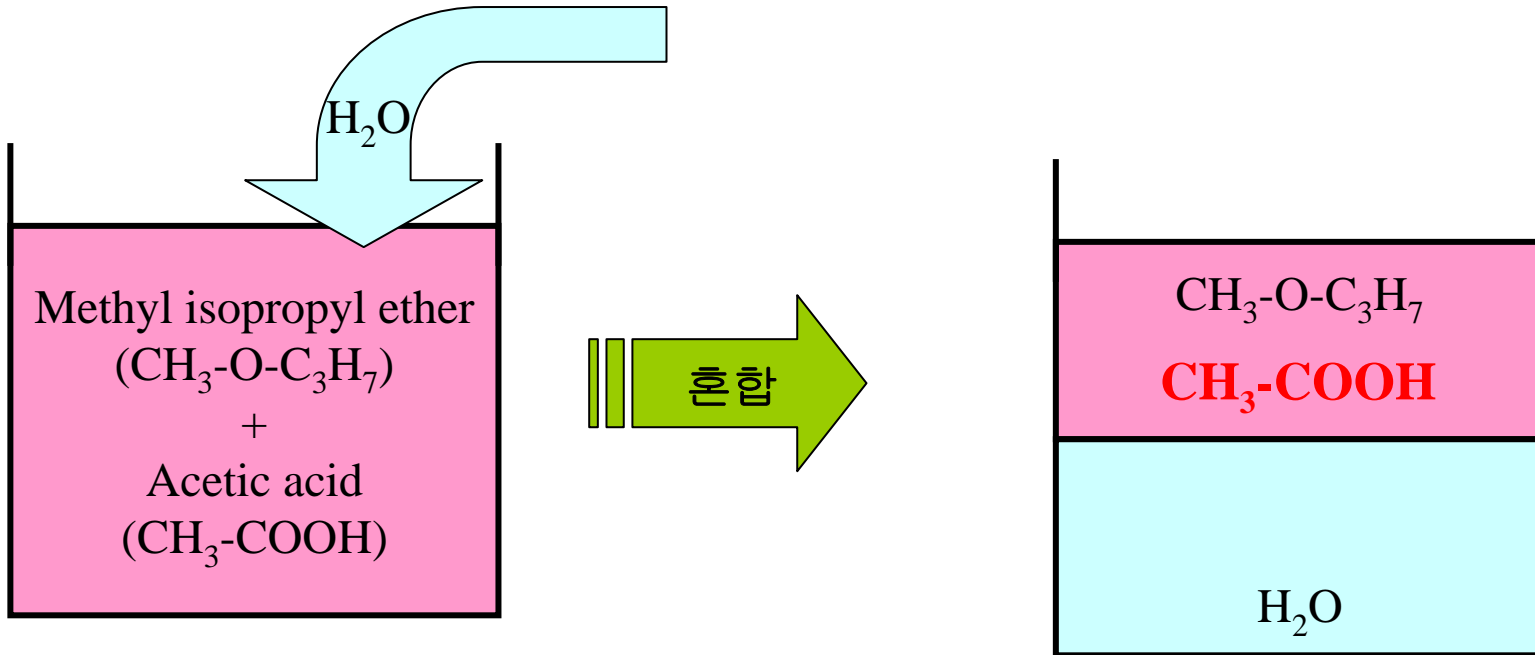
1. 정의: 용매추출이라고도 하며, 물리적 화학적으로 다른 두 액상을 향류 방향으로 접촉시켜 액상 용질이 다른 액상 용매로 녹여서 용질을 분리하는 공정이다.

주로 3 성분으로 되어있고, 액-액상이 평형을 이룬다. 상법칙에 의한 자유도는 3 (온도, 압력, 농도) 이다.

2. 대표적인 공정: 연속식 다단 향류 추출공정을 이용하여 수용액상 (**hydrophilic**) 의 초산을 유기용매 (**hydrophobic**) 로 분리하는 공정, 충전 및 분무탑 등을 사용

3. 응용: i) 고분자 지방산을 식물유로 추출 분리
ii) 수용액상의 니코틴을 유기용매로 추출 분리

액액추출공정



10% 초산 함유한 에테르

평형

4% 초산 함유한 에테르 액상
12% 초산 함유한 수용액상

Question!

How much does it move to the aqueous phase?

12.5B 삼각 평형도: triangular diagram

3개 성분사이의 평형을 나타내는 평형그래프로서 주로 2개의 용매상에서 한 개의 용질에 대한 평형선을 보여준다 (B: 용질, A & C: 용매).

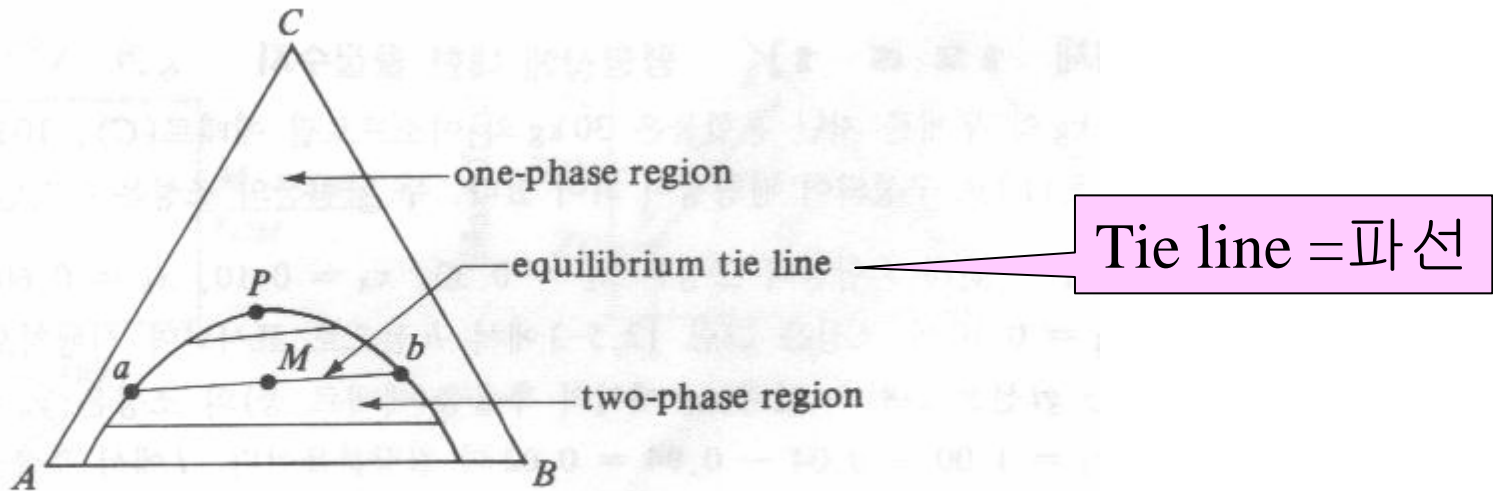


FIGURE 12.5-2. *Liquid-liquid phase diagram where components A and B are partially miscible.*

평형선/조업선

공급점 또는 조업점에서 평형선과의 차이는 곧 농도차이고, 물질전달에 있어 구동력 (driving force) 을 의미함

$$N_A = K_y (y_A^* - y_A)$$

물질전달
flux

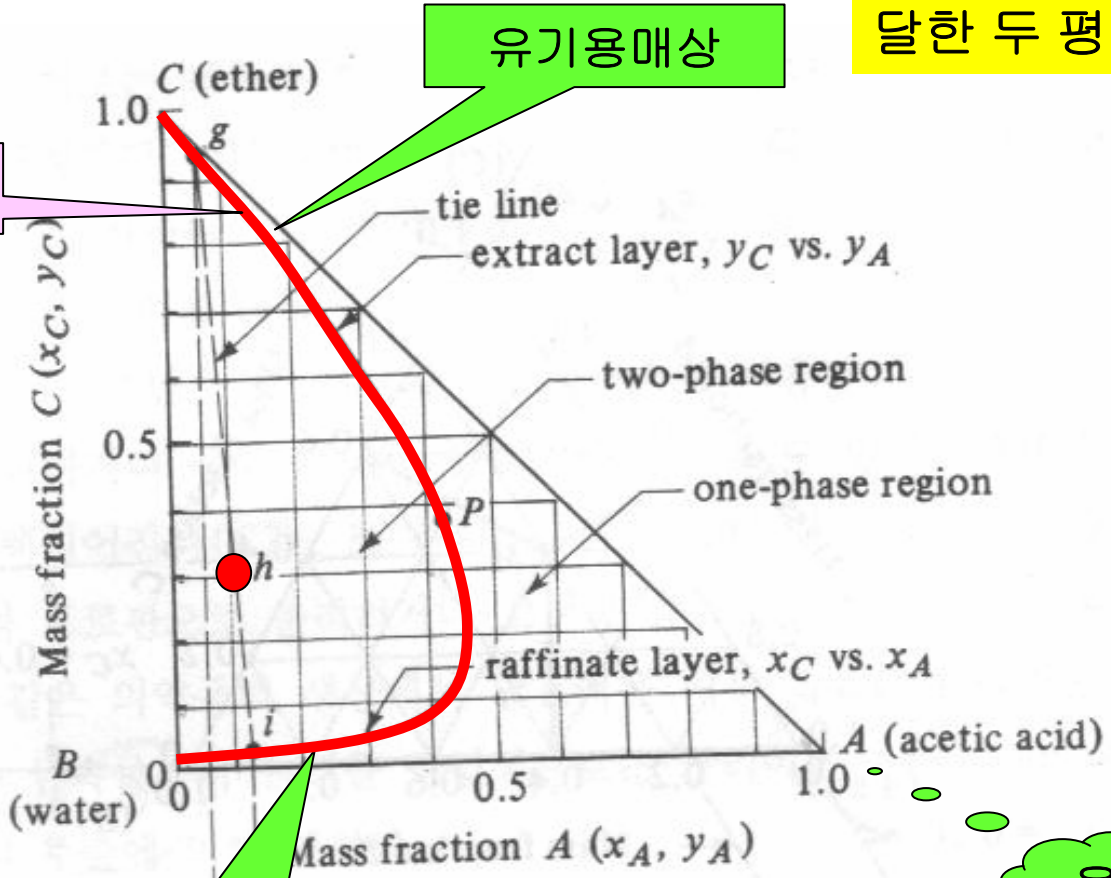
물질전달
계수

평형농도

공급 농도
또는
실제농도

예제 12.5-1 액액 평형 조성은?

초산 10%, 에테르 30% 그리고 물 60% 을 혼합하였을 때, 평형에 도달한 두 평형상의 조성은?



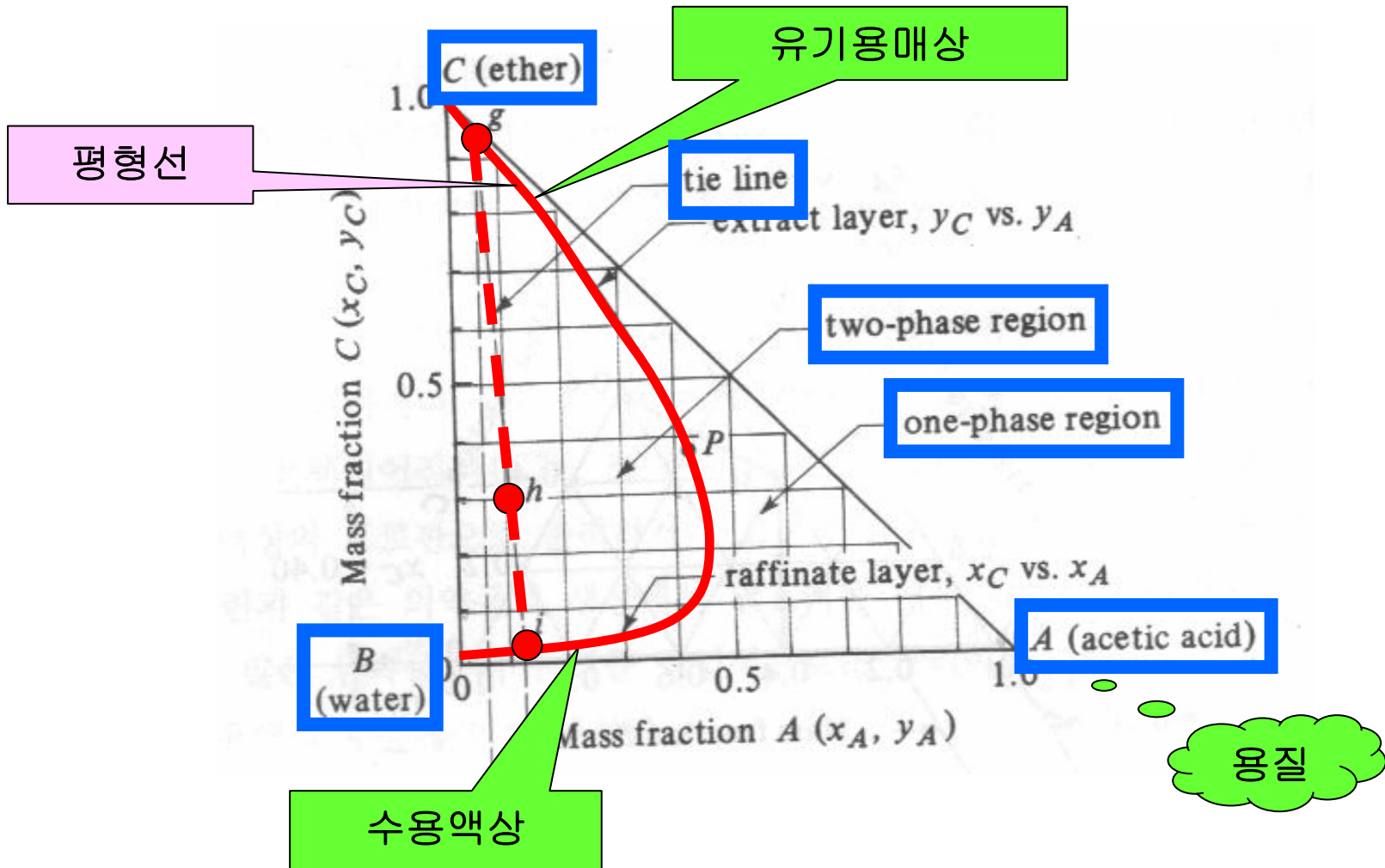
평형선

유기용매상

수용액상

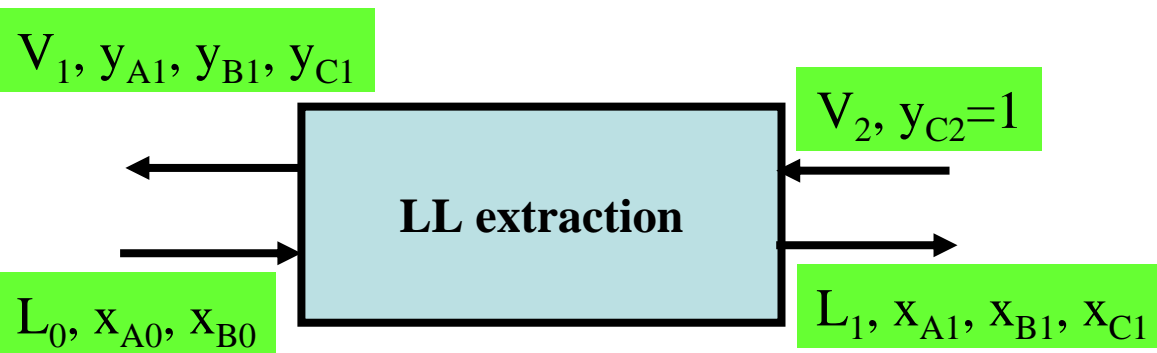
용질

예제 12.5-1 액액 평형 조성은?



12.5C 단단 평형 추출

(A+B) 혼합물로부터 용매 C 를 주입하여 용질 A 를 분리하려고 한다. 단단 평형추출시 유출되는 두 액상의 유량과 농도를 삼각평형도로부터 구하시오.

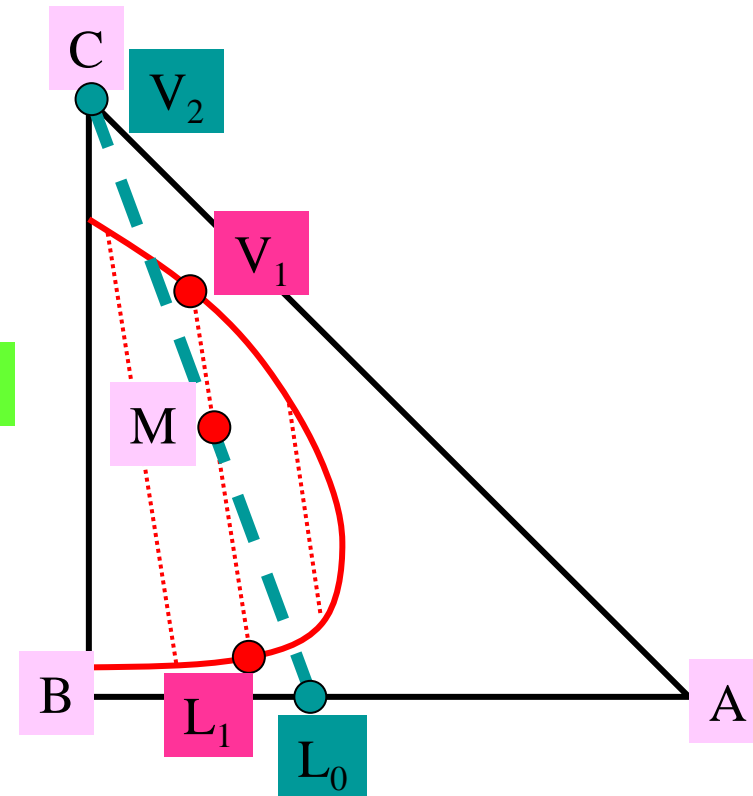


M 점의 조성은?

$$L_0 + V_2 = M$$

$$A: L_0 \cdot x_{A0} + V_2 \cdot y_{A2} = M \cdot x_{AM}$$

$$C: L_0 \cdot x_{C0} + V_2 \cdot y_{C2} = M \cdot x_{CM}$$

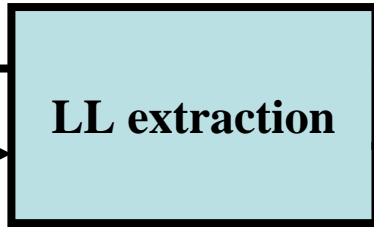


12.5C 단단 평형 추출 예제

$V_1, y_{A1}, y_{B1}, y_{C1}$

$V_2=40\text{kg}$
 $y_{C2}=1$

$L_0=40\text{kg}$
 $x_{A0}=0.5,$
 $x_{B0}=0.5$

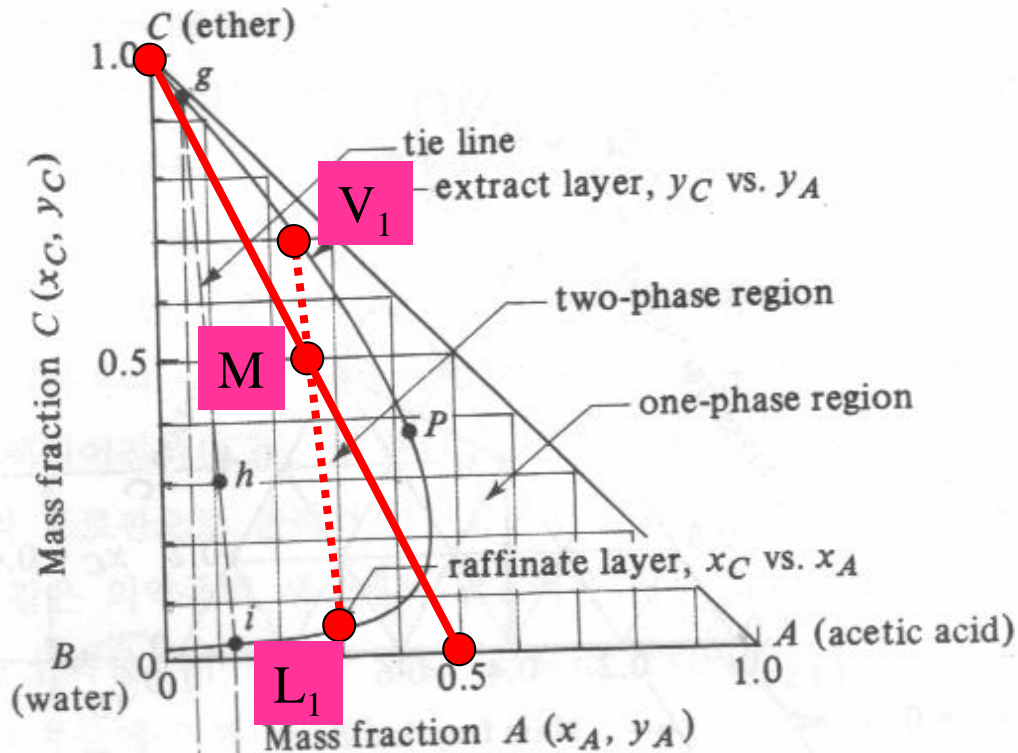


$L_1, x_{A1}, x_{B1}, x_{C1}$

$$L_0 + V_2 = M = 80\text{kg}$$

$$A: \frac{L_0 \cdot x_{A0} + V_2 \cdot y_{A2}}{M} = x_{AM}$$

$$C: \frac{L_0 \cdot x_{C0} + V_2 \cdot y_{C2}}{M} = x_{CM}$$



11월 21일 월요일 오후 3시

화학공학자의 업무란 무엇인가?

화학공장 현장에서의 공정들...

화학공정의 운전과 설계...

2005년 화학공학과 가을학기 세미나
대림엔지니어링 및 SimSci 에서 일하신 전문가 초청

12.6 다단 향류 추출장치 1

평판 추출탑

교반 추출탑

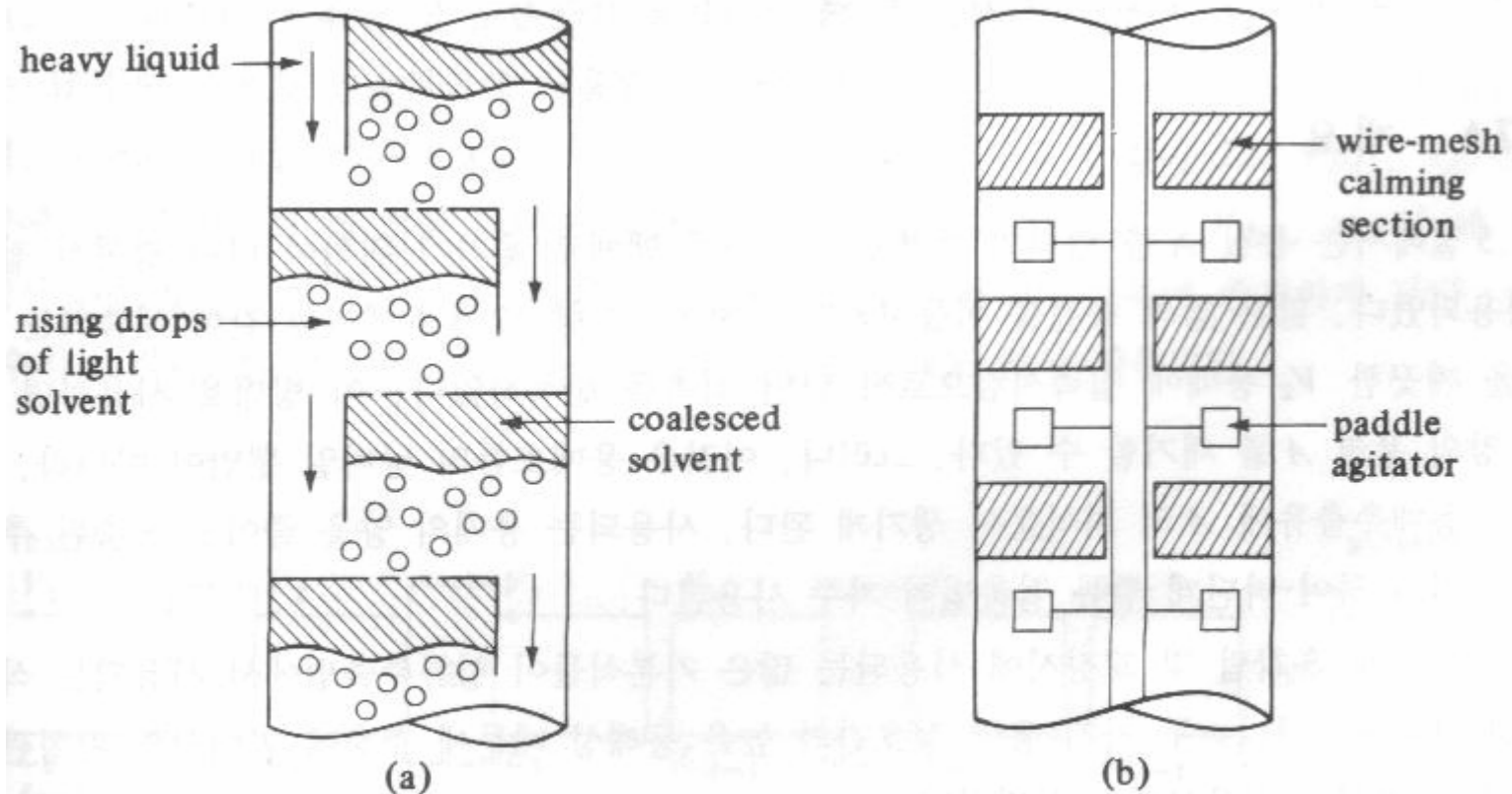


FIGURE 12.6-2. Extraction towers: (a) perforated-plate or sieve-tray tower, (b) agitated extraction tower.

12.6 다단 향류 추출장치 2

총전/분무 추출탑

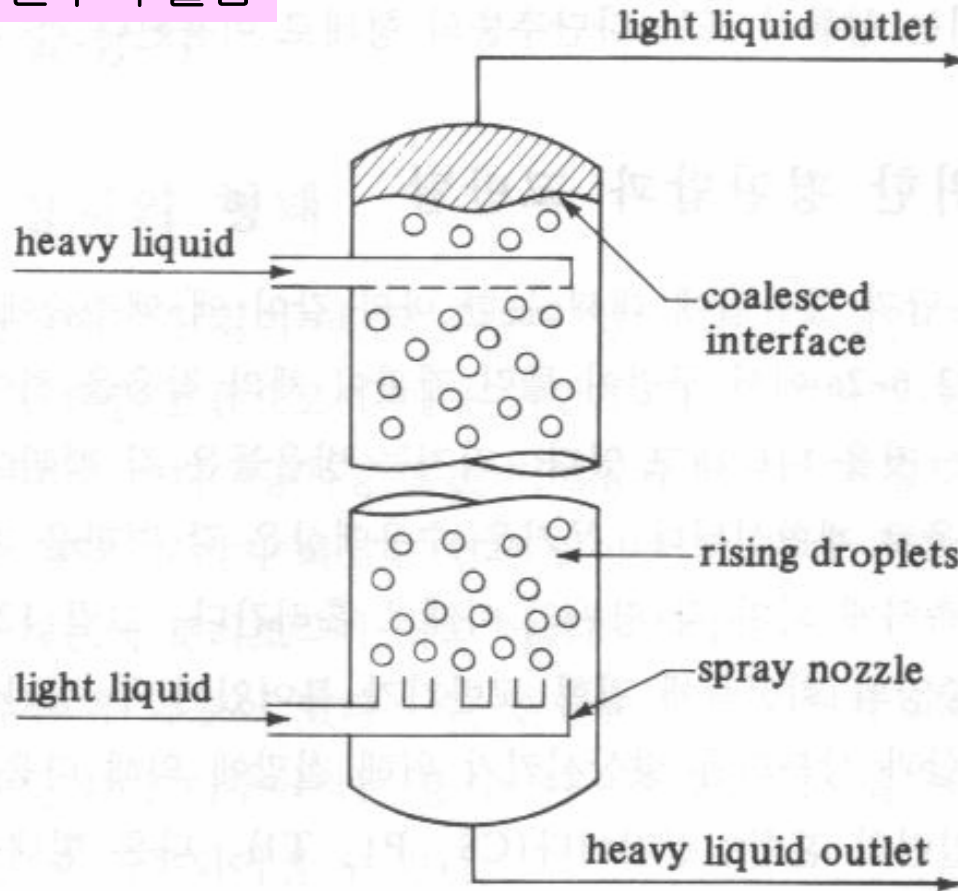
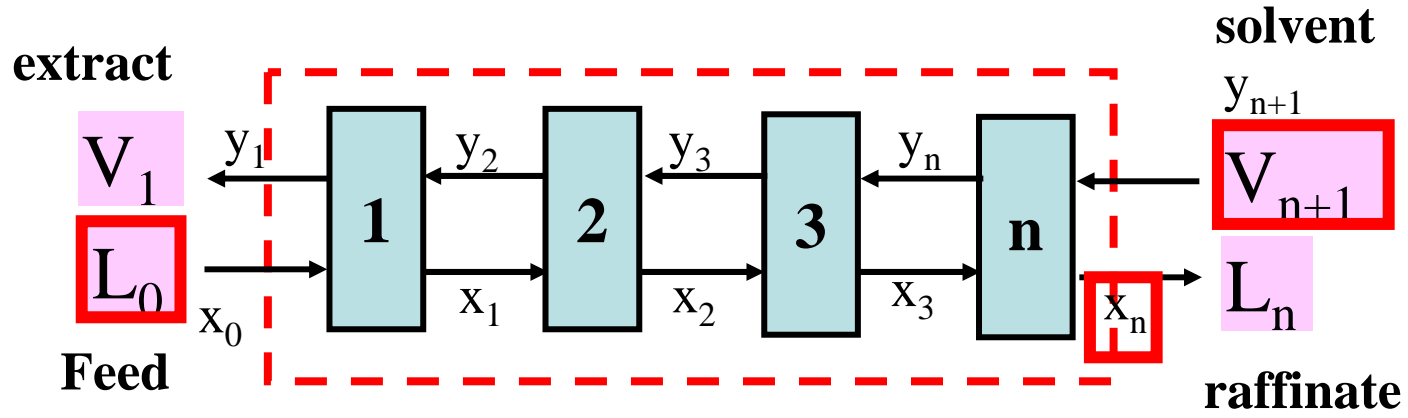
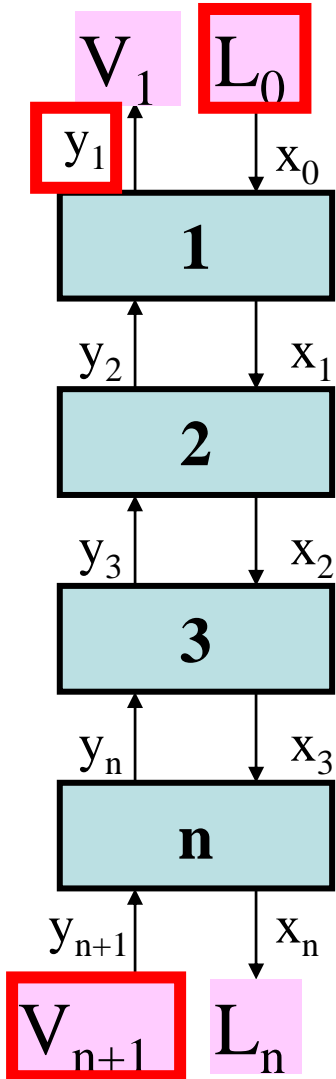


FIGURE 12.6-3. Spray-type extraction tower.

흡수탑

12.7 다단 향류 추출

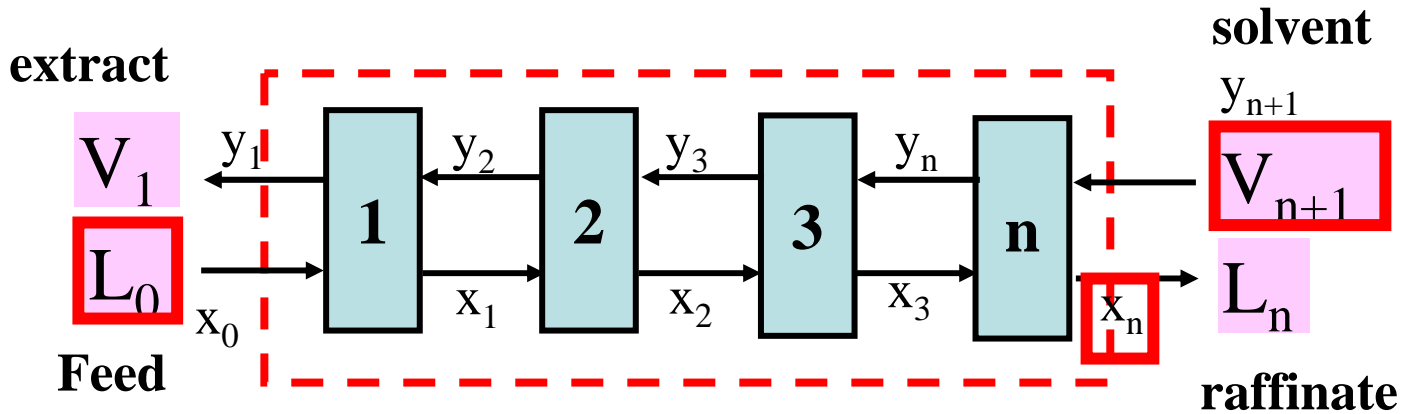
추출 공정



알고 있는 값: $L_0, x_0, V_{n+1}, y_{n+1}, x_{An}$

총괄물질수지식: 1개
 성분물질수지식: 3개 (용질 A, 용매 C, ~~수용액: B~~)

12.7 다단 향류 추출



총괄물질수지식: 1개

성분물질수지식: 2개 (용질 A, 유기 용매 C)

$$L_0 + V_{n+1} = L_n + V_1 = M$$

$$L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)} = L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

$$L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)} = L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1} = M \cdot x_{CM}$$

삼각평형도와 물질수지식: 예제 12.7-1

알고 있는 값:

$$L_0 = 200 \text{ kg/h}, x_{A0} = 0.3, x_{B0} = 0.7$$

$$V_{n+1} = 600 \text{ kg/h}, y_{C(n+1)} = 1.0$$

$$x_{An} = 0.04$$

문제: 추출물 L_n 과 추출잔류물 V_1 은 얼마인지 삼각평형도를 이용하여 구하시오.

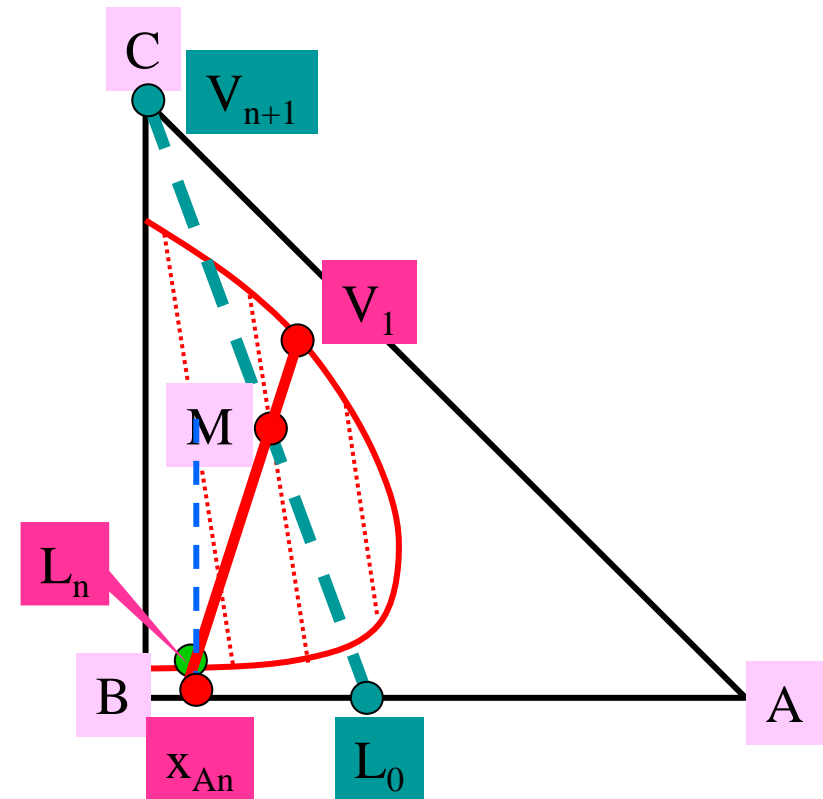
구하는 순서:

1. Feed 점 M 을 구한다 (x_{AM}, x_{CM}).
2. Feed 선을 긋는다.
3. 주어진 x_{An} 을 이용하여 x_{An} 과 평형선이 만나는 점을 찾는다.
4. 이점과 M 점을 잇는 직선을 긋고, 추출공정 양쪽에서의 평형농도 ($x_{An}, y_{A1}, x_{Cn}, y_{C1}$) 를 구한다.
5. V_1 과 L_n 을 구한다.

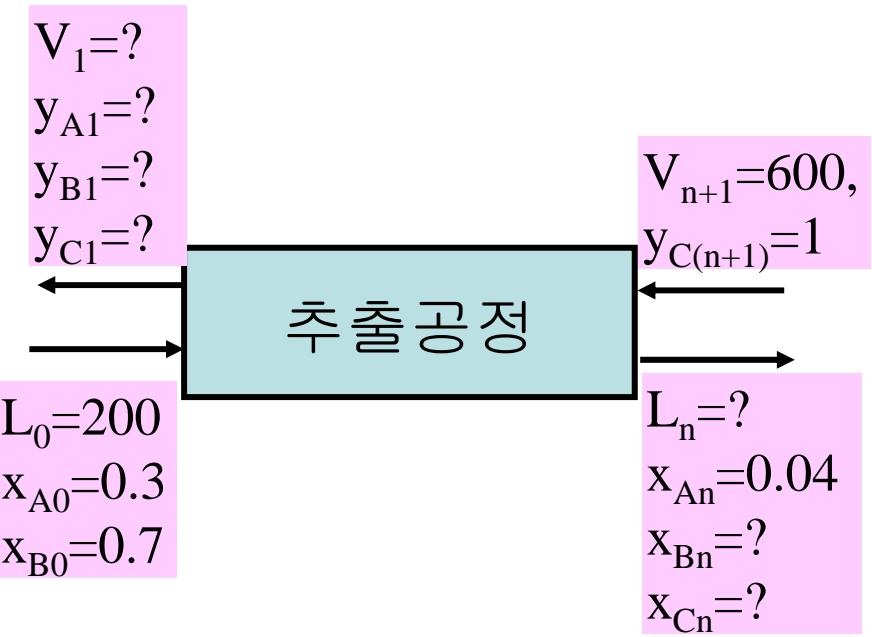


$$L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)} = L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

$$L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)} = L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1} = M \cdot x_{CM}$$



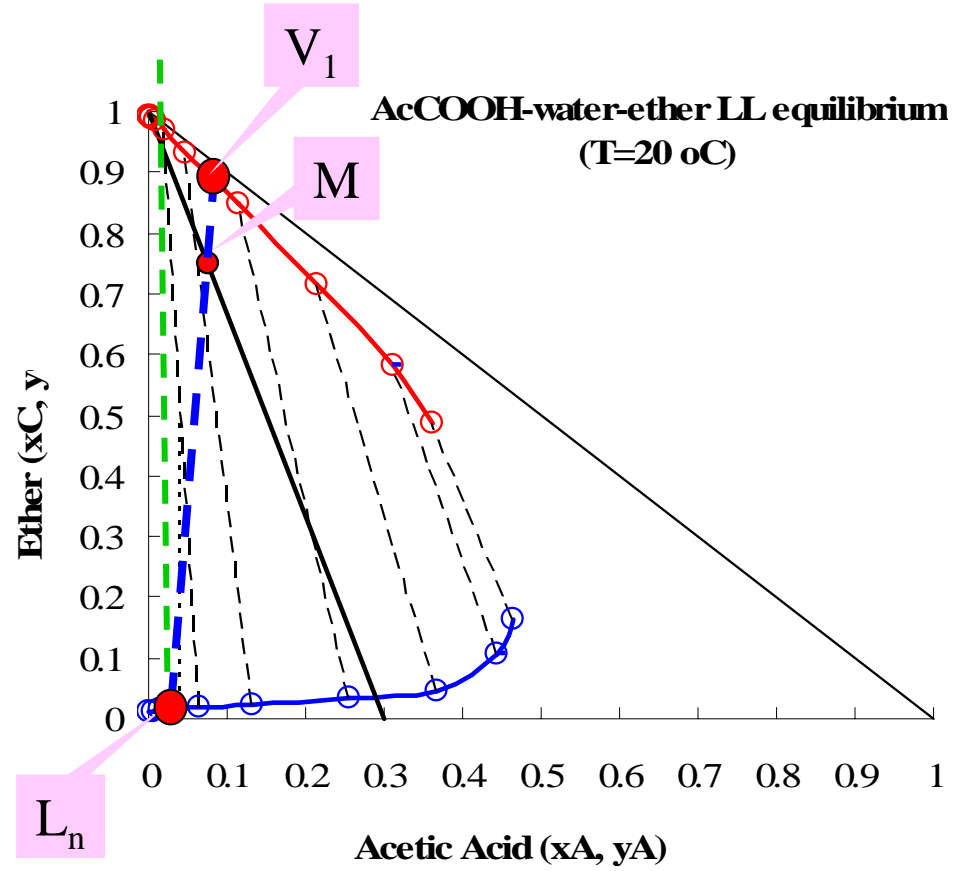
삼각평형도와 물질수지식: 예제 12.7-1



$$L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)} = L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

$$L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)} = L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1} = M \cdot x_{CM}$$

- 구하는 순서:
1. Feed 점 M 을 구한다 (x_{AM}, x_{CM}).
 2. Feed 선을 긋는다.
 3. 주어진 x_{AN} 을 이용하여 x_{AN} 과 평형선이 만나는 점을 찾는다.
 4. 이점과 M 점을 잇는 직선을 긋고, 추출공정 양쪽에서의 평형농도 ($x_{An}, y_{A1}, x_{Cn}, y_{C1}$) 를 구한다.
 5. V_1 과 L_n 을 구한다.



12.7: 추출공정 평형 단수계산

예제 12.7-2

알고 있는 값:

$$L_0 = 150 \text{ kg/h}, x_{A0} = 0.3, x_{B0} = 0.7$$

$$V_{n+1} = 450 \text{ kg/h}, y_{C(n+1)} = 1.0$$

$$x_{An} = 0.1$$

문제: 평형단수는 몇단인가?

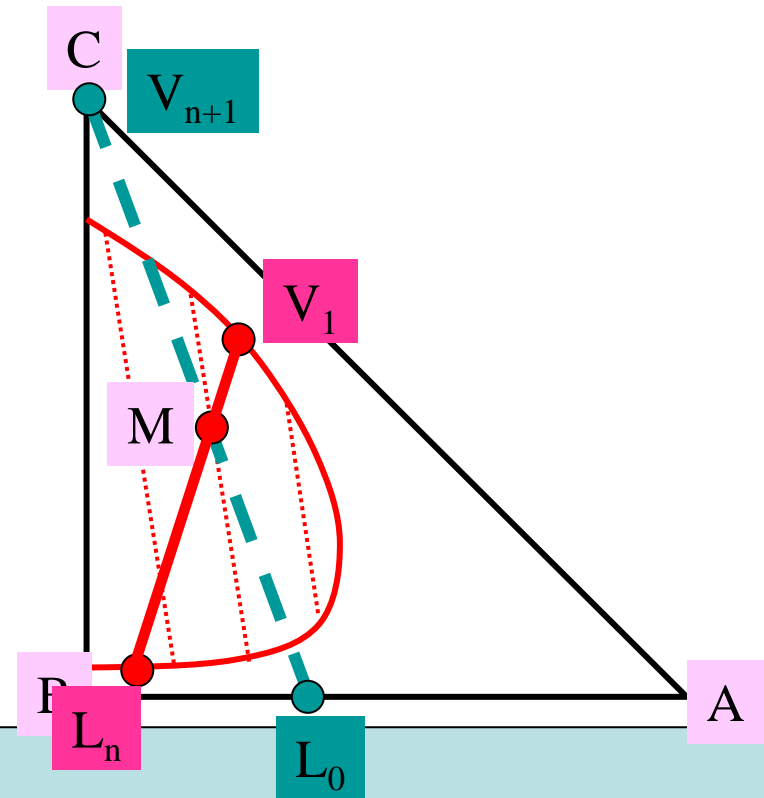
구하는 순서:

1. V_1 과 L_n 을 구한다 (예제 12.7-1).
2. P (or Δ) 점을 구한다.
3. L_0 에서 L_n 까지 조업선과 파선을 연결하여 단수를 구한다.



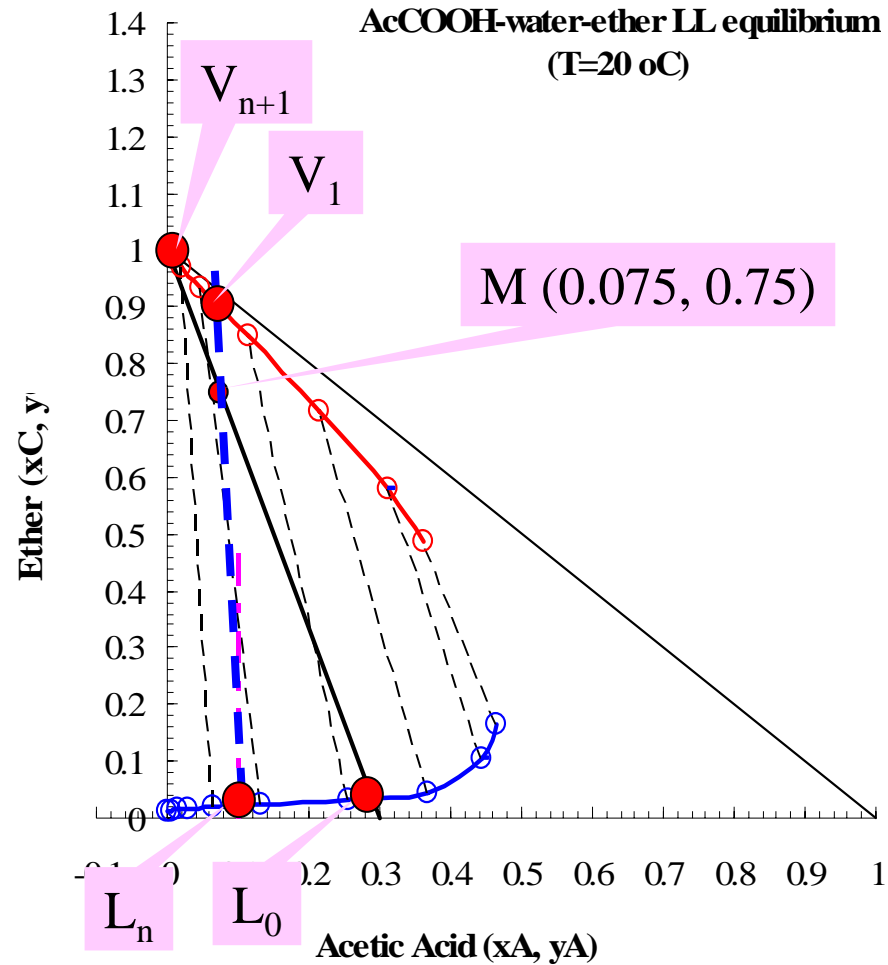
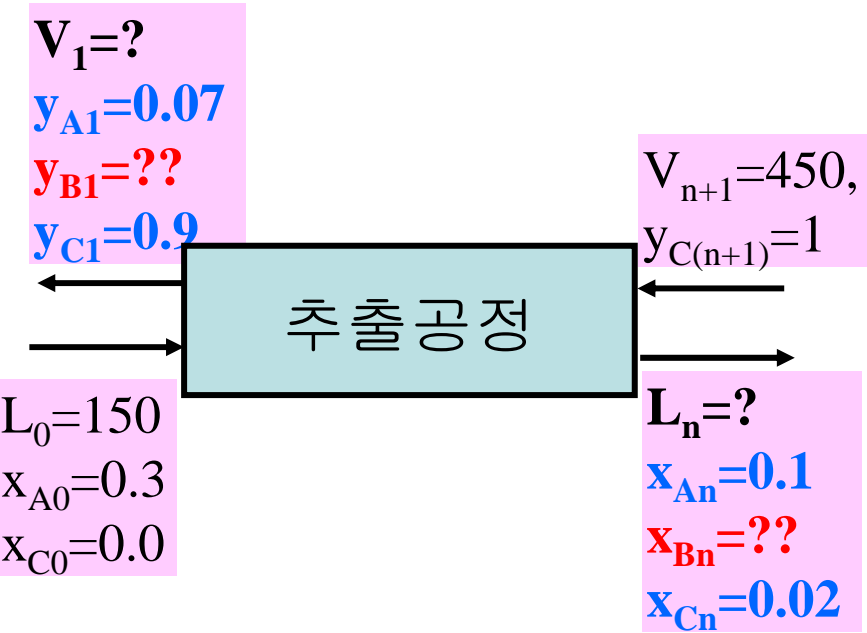
$$L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)} = L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

$$L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)} = L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1} = M \cdot x_{CM}$$



12.7: 추출공정 평형 단수계산

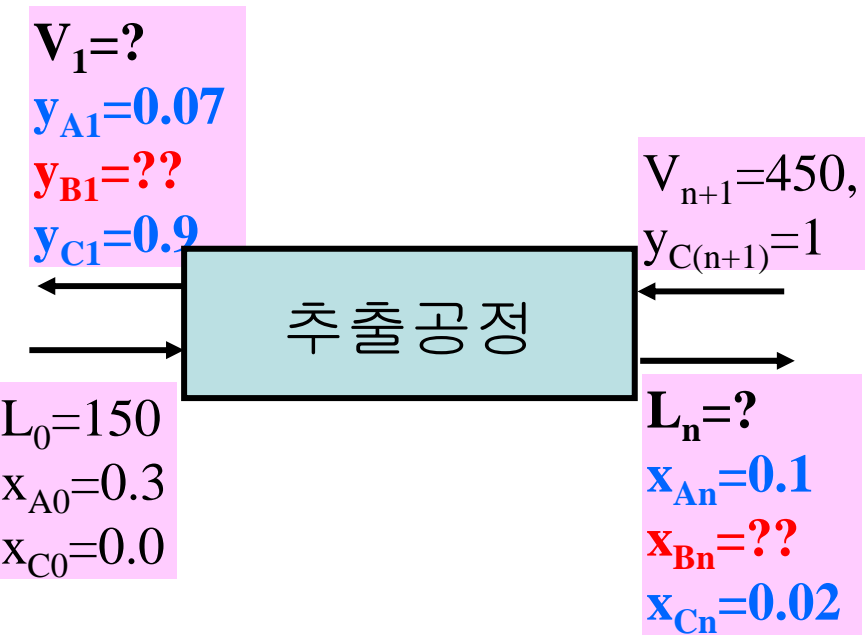
예제 12.7-2



V_1 - L_n 구하는 순서:

1. Feed 점 M 을 구한다 (x_{AM} , x_{CM}).
2. Feed 선을 긋는다.
3. 주어진 x_{AN} 을 이용하여 x_{AN} 과 평형선이 만나는 점을 찾는다 (L_n).
4. 이점과 M 점을 잇는 직선을 긋고, 추출공정 양쪽에서의 평형농도 (x_{An} , y_{A1} , x_{Cn} , y_{C1}) 를 구한다 (V_1).
5. V_1 과 L_n 을 구한다.

12.7: 추출공정 평형 단수계산 예제 12.7-2



V_1 - L_n 구하는 순서:

1. Feed 점 M 을 구한다 (x_{AM}, x_{CM}).
2. Feed 선을 긋는다.
3. 주어진 x_{AN} 을 이용하여 x_{AN} 과 평형선이 만나는 점을 찾는다 (L_n).
4. 이점과 M 점을 잇는 직선을 긋고, 추출공정 양쪽에서의 평형농도 ($x_{An}, y_{A1}, x_{Cn}, y_{C1}$) 를 구한다 (V_1).
5. V_1 과 L_n 을 구한다.

$$L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)} = L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

$$L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)} = L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1} = M \cdot x_{CM}$$

$$0.1L_n + 0.07V_1 = 600 \times 0.075$$

$$0.02L_n + 0.9V_1 = 600 \times 0.75$$



$$L_n = 102$$

$$V_1 = 498$$

12.7: 추출공정 평형 단수계산

예제 12.7-2

$$V_1 = 498$$

$$y_{A1} = 0.07$$

$$y_{B1} = ??$$

$$y_{C1} = 0.9$$

$$V_{n+1} = 450,$$

$$y_{C(n+1)} = 1$$

추출공정

$$L_0 = 150$$

$$x_{A0} = 0.3$$

$$x_{C0} = 0.0$$

$$L_n = 102$$

$$x_{An} = 0.1$$

$$x_{Bn} = ??$$

$$x_{Cn} = 0.02$$

$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1$$

$$G \equiv L_0 - V_1 = L_1 - V_2$$

$$G \cdot x_{AG} = L_0 \cdot x_{A0} - V_1 \cdot x_{A1}$$

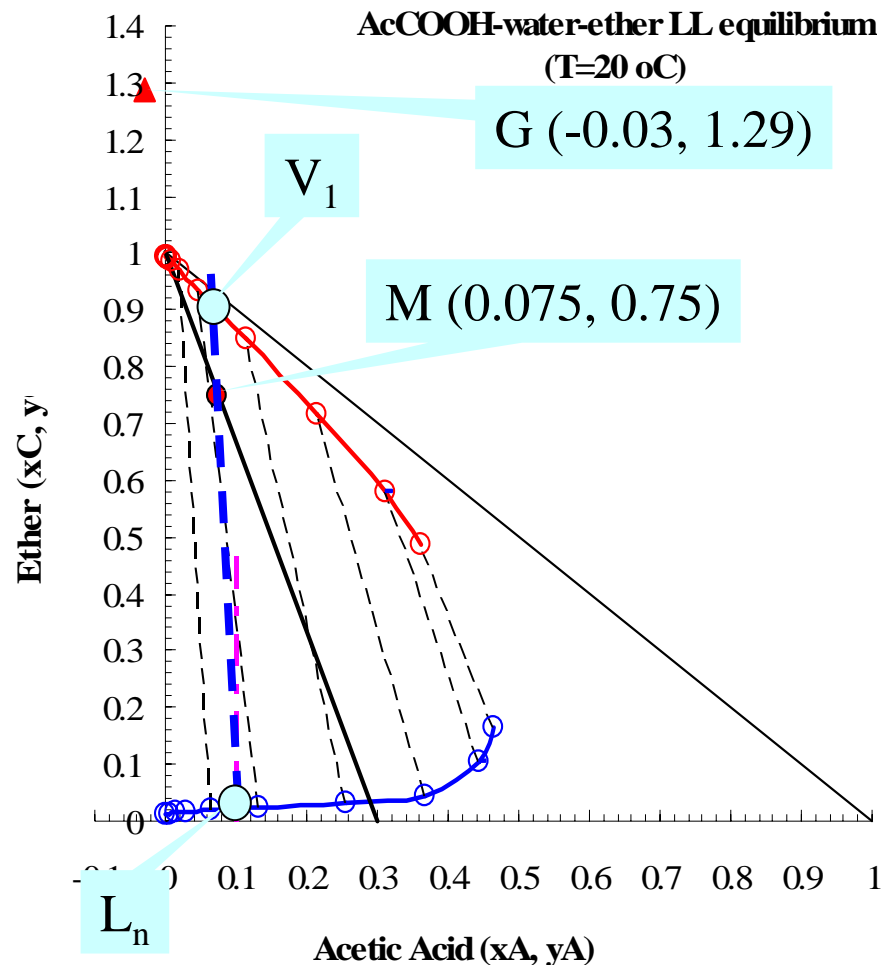
$$G \cdot x_{CG} = L_0 \cdot x_{C0} - V_1 \cdot x_{C1}$$

$$x_{AG} = \frac{L_0 \cdot x_{A0} - V_1 \cdot x_{A1}}{G}$$

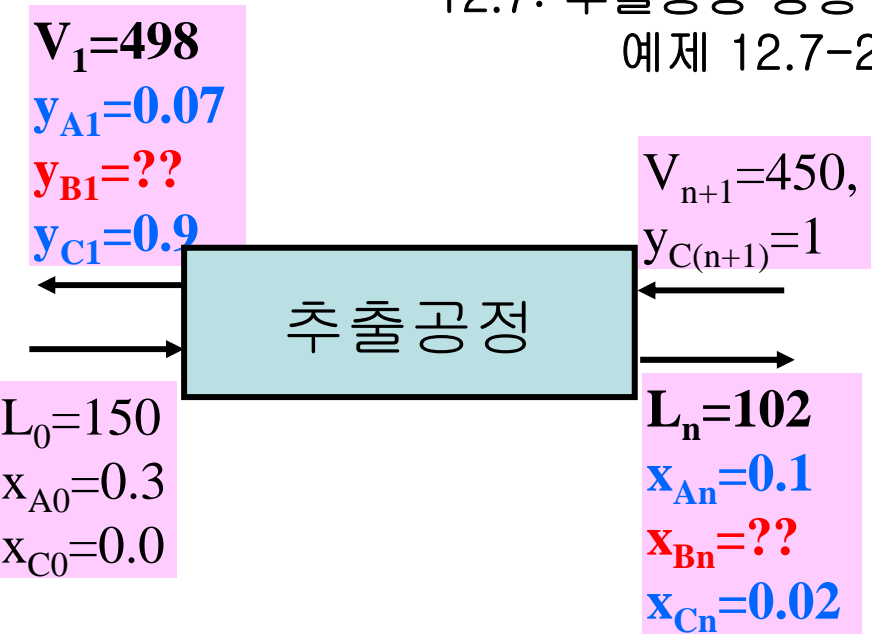
$$x_{CG} = \frac{L_0 \cdot x_{C0} - V_1 \cdot x_{C1}}{G}$$

구하는 순서:

1. V_1 과 L_n 을 구한다 (예제 12.7-1).
2. G (or Δ) 점을 구한다.
3. L_0 에서 L_n 까지 조업선과 파선을 연결하여 단수를 구한다.



12.7: 추출공정 평형 단수계산
예제 12.7-2

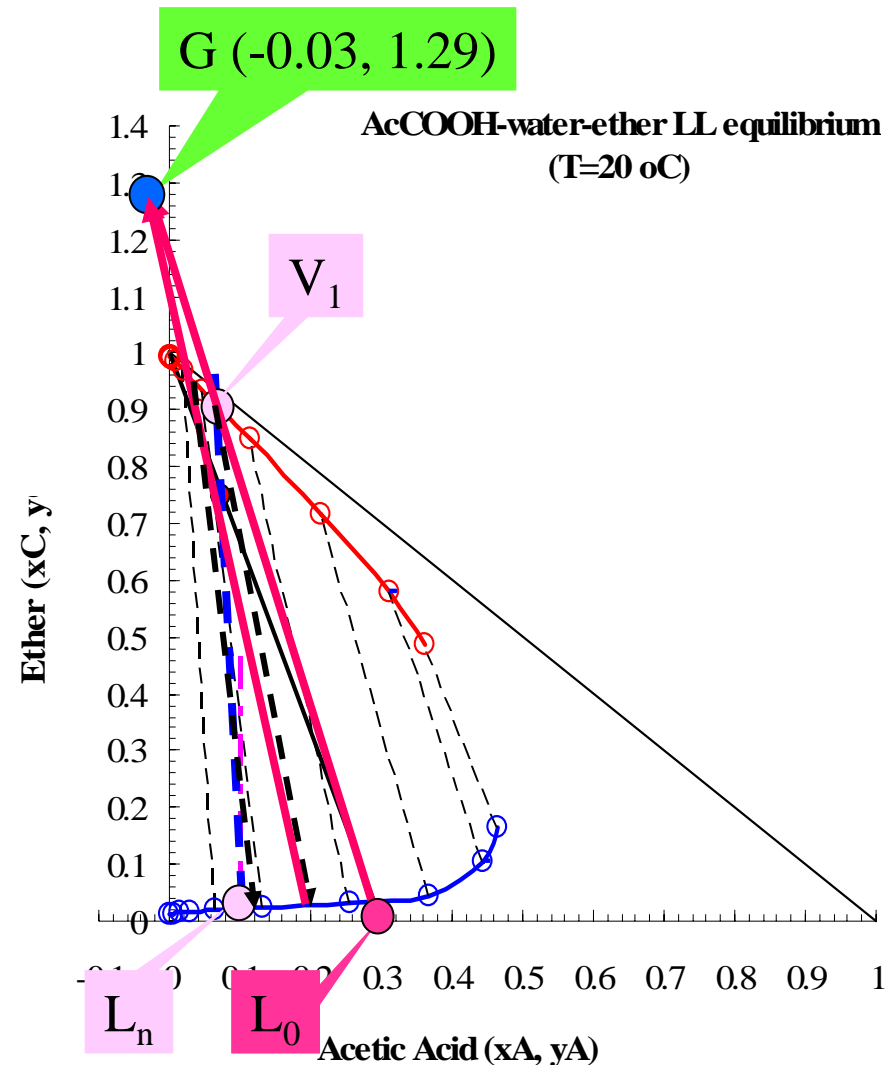


$$x_{AG} = \frac{L_0 \cdot x_{A0} - V_1 \cdot x_{A1}}{G}$$

$$x_{CG} = \frac{L_0 \cdot x_{C0} - V_1 \cdot x_{C1}}{G}$$

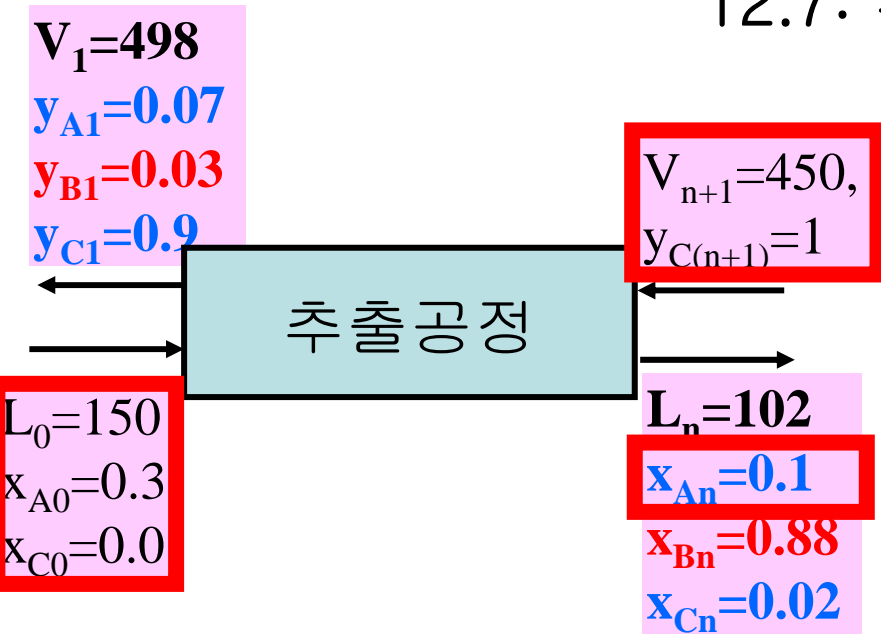
- 구하는 순서:
1. V_1 과 L_n 을 구한다 (예제 12.7-1).
 2. G (or Δ) 점을 구한다.
 3. L_0 에서 L_n 까지 조업선과 파선을 연결하여 단수를 구한다.

약 2.5 단이 나옴



12.7: 추출공정 평형 단수계산 요약

예제 12.7-2

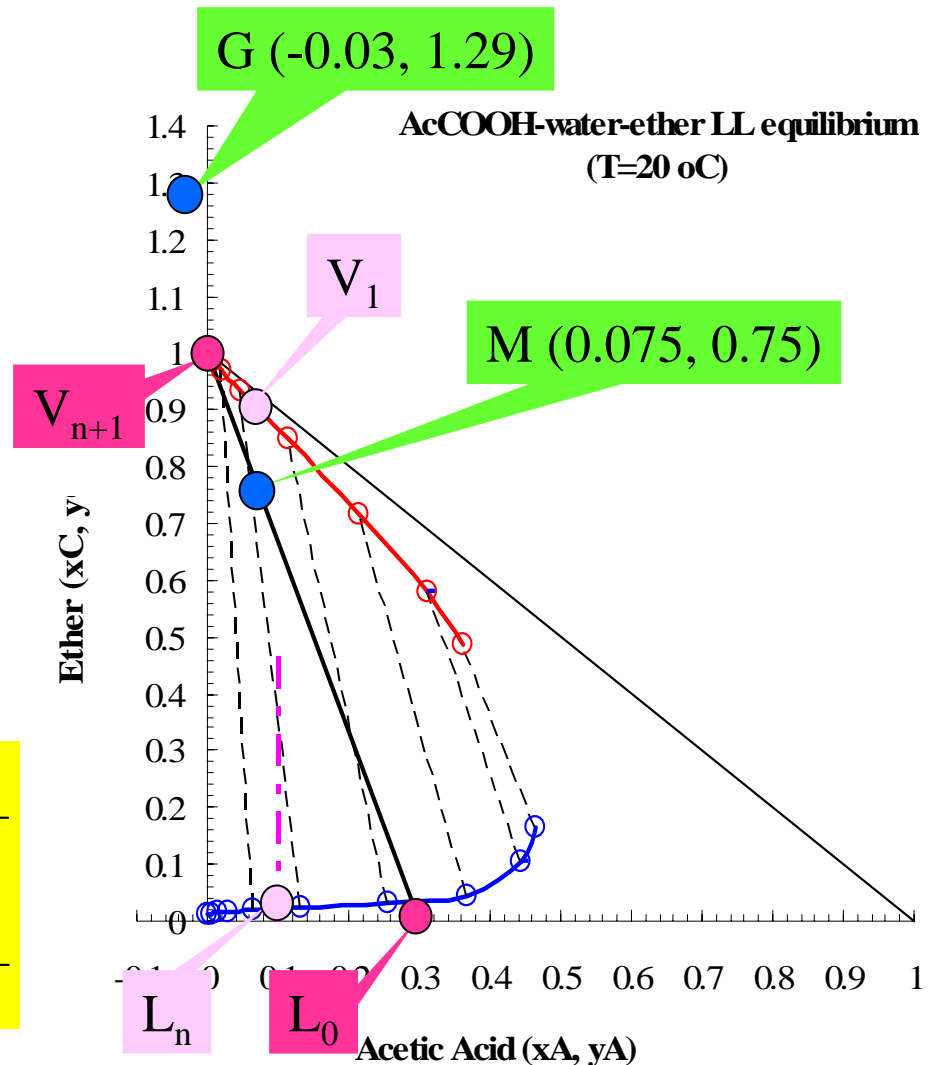


$$x_{AM} = \frac{L_0 \cdot x_{A0} + V_{n+1} \cdot y_{A(n+1)}}{M} = \frac{L_n \cdot x_{An} + V_1 \cdot y_{A1}}{M}$$

$$x_{CM} = \frac{L_0 \cdot x_{C0} + V_{n+1} \cdot y_{C(n+1)}}{M} = \frac{L_n \cdot x_{Cn} + V_1 \cdot y_{C1}}{M}$$

$$x_{AG} = \frac{L_0 \cdot x_{A0} - V_1 \cdot x_{A1}}{G} = \frac{L_n \cdot x_{An} - V_{n+1} \cdot x_{A(n+1)}}{G}$$

$$x_{CG} = \frac{L_0 \cdot x_{C0} - V_1 \cdot x_{C1}}{G} = \frac{L_n \cdot x_{Cn} - V_{n+1} \cdot x_{C(n+1)}}{G}$$



과제 7. Ch. 12 (흡착, 추출 & 결정화)

12.1-1: 평형등온식이... → 평형등온 실험값이...

Langmuir 등온흡착식 사용, 교재 765쪽 참조.
엑셀 사용 ([그래프>추세선추가>선형](#))

12.2-1: 엑셀사용

12.5-3: 평형데이터 이용하여 삼각평형도 엑셀로 그릴 것.

12.7-2: 엑셀사용

12.7-4: (a) 는 풀지말고, (b) 만 푸세요. 엑셀사용.

12.11-2: 결정화 공정 문제

아세트산-물-에테르 삼성분계 LL 평형도
(12.5-3, 12.7-2, 12.7-4 에서 사용)

