

# 단위조작 (unit operation)

## 제 10 장

상분리 공정 : 상평형과 흡수탑

# 10. 2 상평형과 상분리

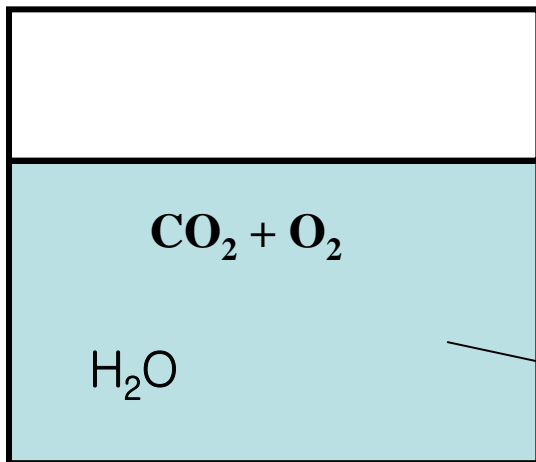
서로 다른 두 상이 존재할 때 이 두상간의 평형이 존재한다.

1. 평형상태에서 두 상의 용질농도를 예측해야 함.

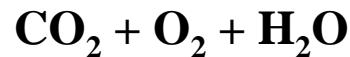
2. 상법칙:  $F = C - P + 2$

F: freedom degree, C: component number, P: phase number

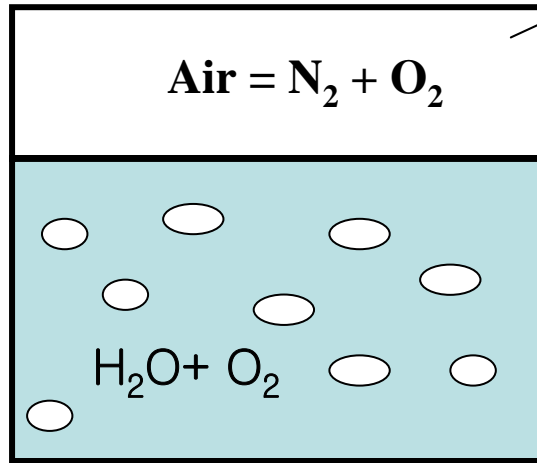
$$F = C - P + 2 = 3 - 2 + 2 = 3$$



If the pressure, temperature and liquid mole fraction are given, thermodynamic properties are determined in this system.



# 10.2 선형 평형식



$P=1 \text{ atm}$   
 $T=298 \text{ K}$

$p_A=4.38 \times 10^4 \text{ atm} \cdot x_A$

$p_A$  :  $O_2$  pressure in vapor phase

$x_A$  :  $O_2$  mole fraction in liquid phase

물속의 용존 산소량은 얼마인가?

**i 성분에 대한 선형 평형식:  $y_i = K \cdot x_i$**

# 분리공정에서 사용하는 기호들

- x: liquid mole fraction
- y: vapor mole fraction
- L: mass flowrate of Liquid phase
- V: mass flowrate of Vapor phase
- N: Number of stages
- k: mass transfer coefficient
- A, B, C ... : components

# 교재 바로잡아야 할 곳

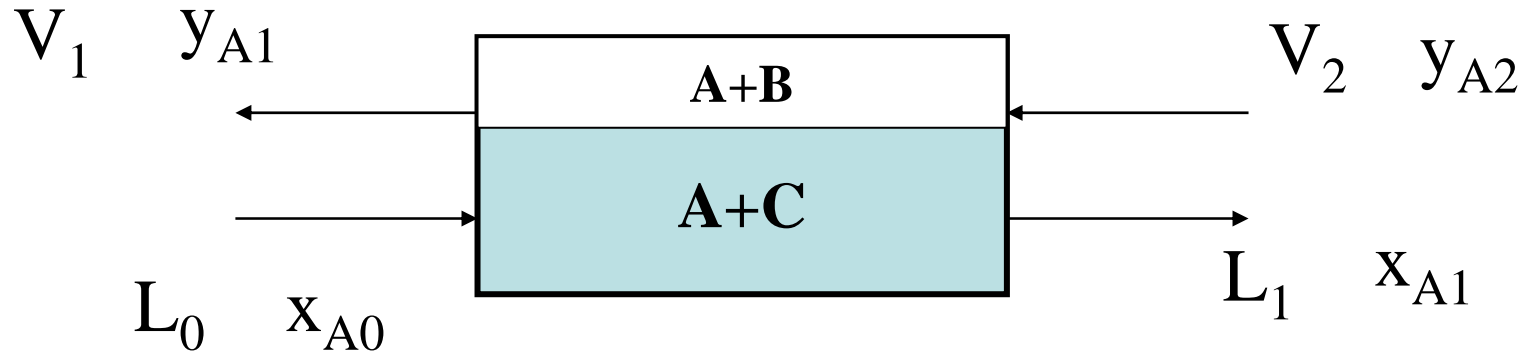
1. 651쪽: 예제 10.3-2

30.0kmol H<sub>2</sub>O/hr → 30.0kmol air/hr

2. 655쪽: 본문 10.4C

P 점은  $x_{AG}, x_{AL}$  → P 점은  $(y_{AG}, x_{AL})$

# 10.3 흡수탑 단단 평형 접촉



A: 용질, B: 기상 불활성 물질, C: 용매

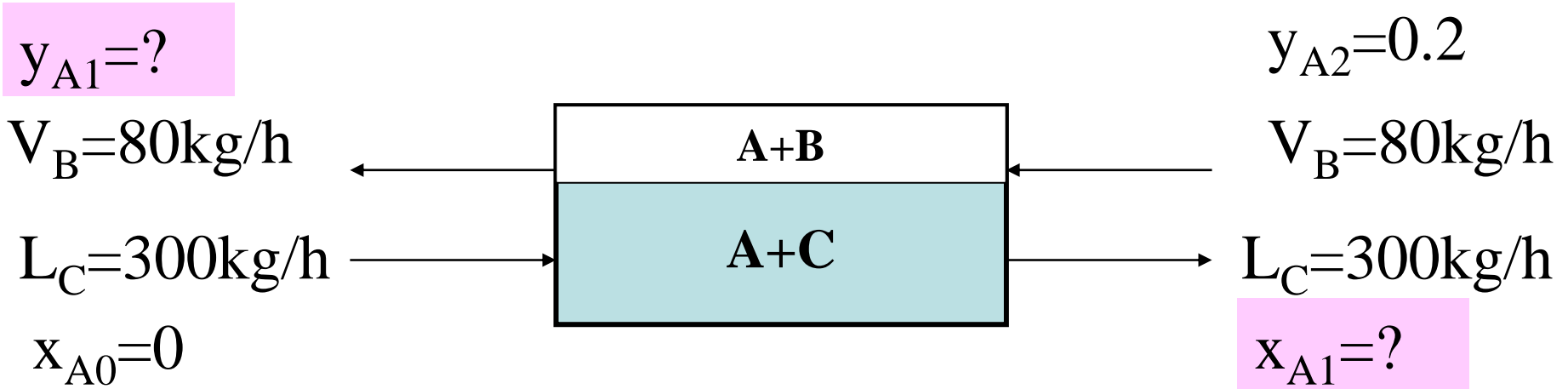
$$\text{mass balance: } L_0 + V_2 = L_1 + V_1$$

$$\text{partial mass balance: } L_0 x_{A0} + V_2 y_{A2} = L_1 x_{A1} + V_1 y_{A1}$$

$$\text{absorption relation: } L_0(1 - x_{A0}) = L_C, V_2(1 - y_{A2}) = V_B$$

흡수탑 공정에 대한  
특수 관계식

# 예제 10.3-1 흡수탑 단단 평형 접촉 (1/3)



A: CO<sub>2</sub>, B: air, C: H<sub>2</sub>O

$$\text{mass balance: } L_0 + V_2 = L_1 + V_1$$

$$\text{partial mass balance: } L_0 x_{A0} + V_2 y_{A2} = L_1 x_{A1} + V_1 y_{A1}$$

$$\text{absorption relation: } L_0(1 - x_{A0}) = L_C, V_2(1 - y_{A2}) = V_B$$

흡수탑 공정에 대한  
특수 관계식

# 예제 10.3-1 흡수탑 단단 평형 접촉 (2/3)

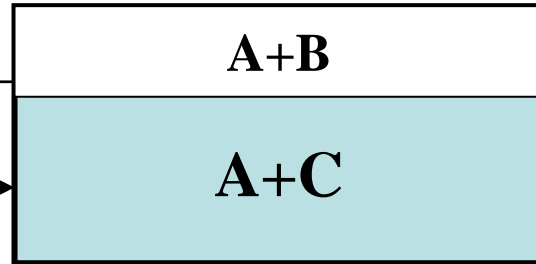
A: CO<sub>2</sub>, B: air, C: H<sub>2</sub>O

$y_{A1}=?$

$V_B=80\text{kg/h}$

$L_C=300\text{kg/h}$

$x_{A0}=0$



$y_{A2}=0.2$

$V_B=80\text{kg/h}$

$L_C=300\text{kg/h}$

$x_{A1}=?$

*partial mass balance:*  $L_0 x_{A0} + V_2 y_{A2} = L_1 x_{A1} + V_1 y_{A1}$

$L_0 = \frac{L_C}{1 - x_{A0}}$

$V_2 = \frac{V_B}{1 - y_{A2}}$

$L_1 = \frac{L_C}{1 - x_{A1}}$

$V_1 = \frac{V_B}{1 - y_{A1}}$

주어진 성분 물질 수지식에서 모르는 변수는?



# 예제 10.3-1 흡수탑 단단 평형 접촉 (3/3)

A: CO<sub>2</sub>, B: air, C: H<sub>2</sub>O

$$y_{A1} = 0.1998$$

$$y_{A2} = 0.2$$

$$V_B = 80 \text{ kg/h}$$

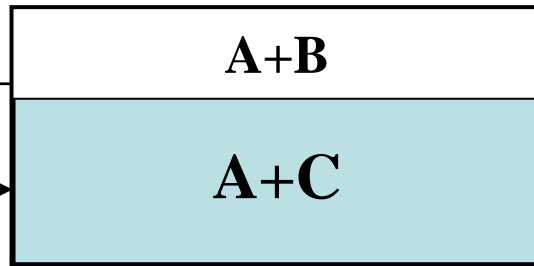
$$V_B = 80 \text{ kg/h}$$

$$L_C = 300 \text{ kg/h}$$

$$L_C = 300 \text{ kg/h}$$

$$x_{A0} = 0$$

$$x_{A1} = 0.000141$$



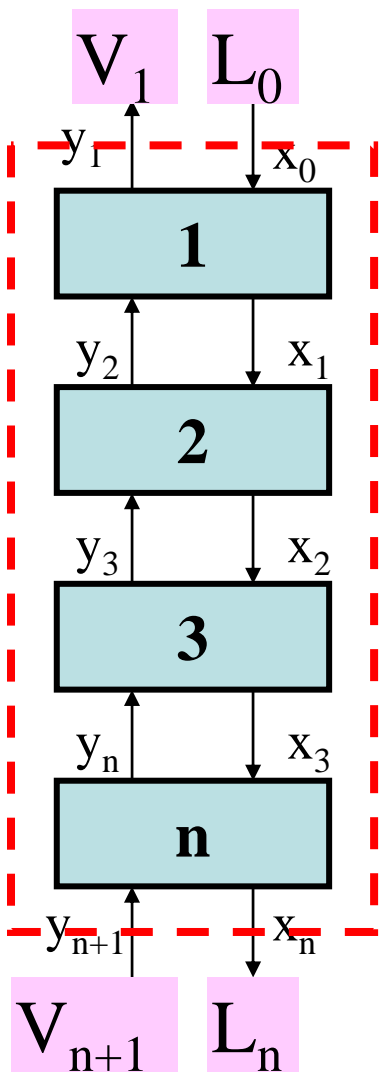
$$\frac{L_C}{1-x_{A0}} x_{A0} + \frac{V_B}{1-y_{A2}} y_{A2} = \frac{L_C}{1-x_{A1}} x_{A1} + \frac{V_B}{1-y_{A1}} y_{A1}$$

$$\frac{300}{1-0} \cdot 0 + \frac{80}{1-0.2} \cdot 0.2 = \frac{300}{1-x_{A1}} x_{A1} + \frac{80}{1-y_{A1}} y_{A1}$$

변수 2개:  $x_{A1}, y_{A1}$

식수 2개: 1개 (질량보존식) + 1개 (상평형식)

# 10.3 흡수탑 다단 평형 접촉



mass balance :  $L_0 + V_{n+1} = L_n + V_1$

partial mass balance :  $L_0 x_0 + V_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + V_1 y_1$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{V_1 \cdot y_1 - L_0 \cdot x_0}{V_{n+1}}$$

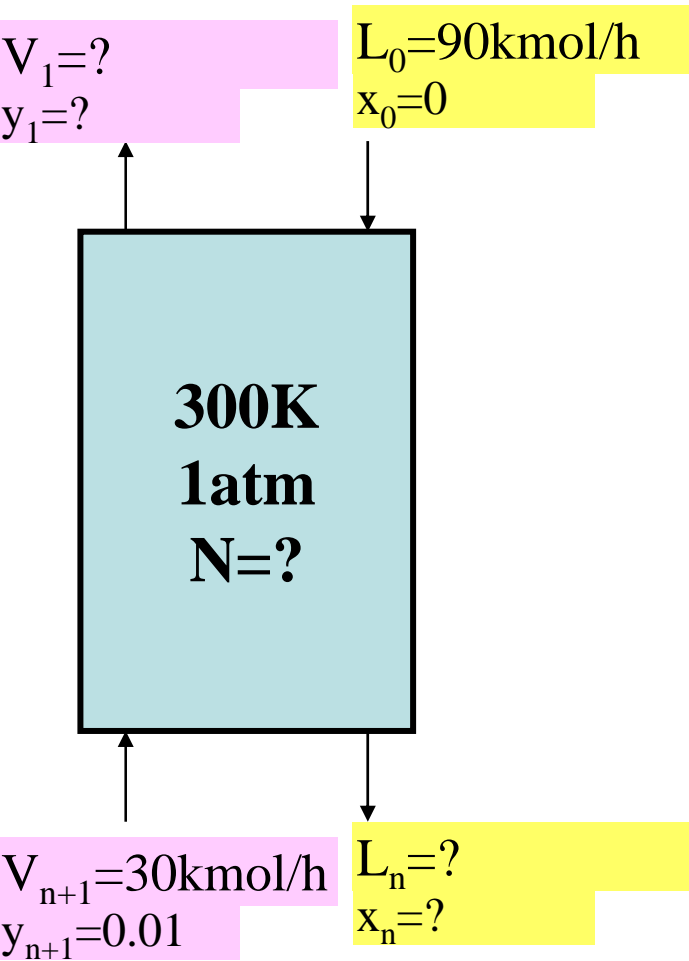
Operating line  
작업선

$$y_{n+1} = Hx_n$$

Linear equilibrium line  
선형 평형선

각단은 평형선과 작업선 사이에서 조업된다.

# 예제 10.3-2 아세톤 흡수탑



$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{V_1 \cdot y_1 - L_0 \cdot x_0}{V_{n+1}}$$

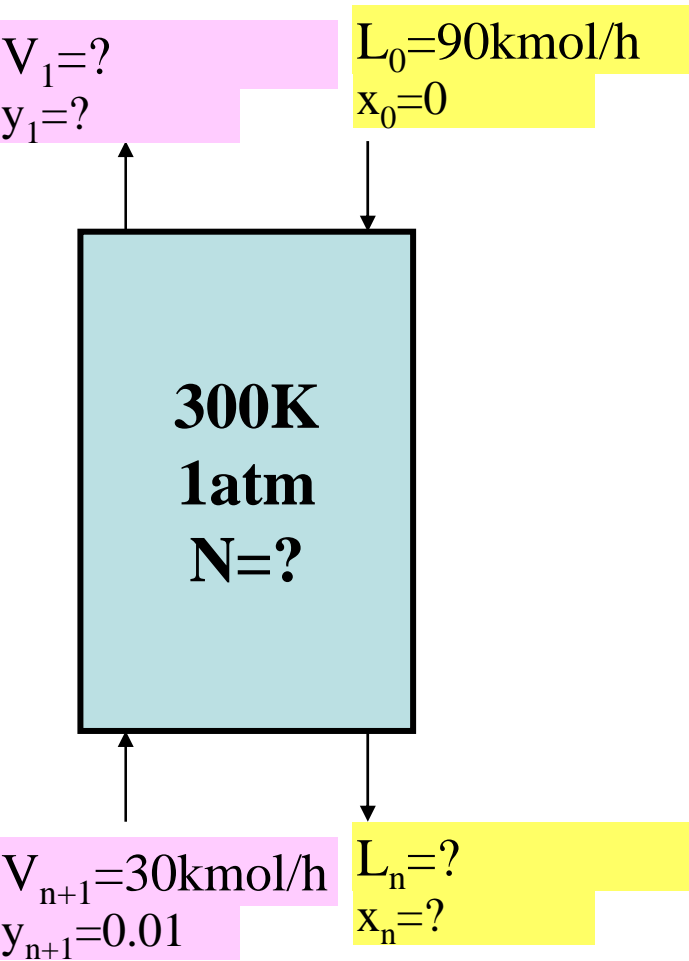
$$y = 2.53x$$

Operating line  
작업선

Linear equilibrium line  
선형 평형선

유입되는 아세톤 기체의 90% 를 회수하기 위한 단수는?

# 예제 10.3-2 아세톤 흡수탑



1. 아세톤 성분 물질수지식:

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1} + L_0 \cdot x_0 = V_1 \cdot y_1 + L_n \cdot x_n$$

$$L_n = L_0 + V_{n+1} \cdot y_{n+1} \cdot 0.9$$

$$V_1 = V_{n+1} \cdot (1 - y_{n+1}) + V_{n+1} \cdot y_{n+1} \cdot 0.1$$

2. 기 액상 유량 계산:

$$30 \cdot 0.01 + 90 \cdot 0 = V_1 \cdot y_1 + L_n \cdot x_n$$

$$L_n = 90 + 30 \cdot 0.01 \cdot 0.9 = 90.27$$

$$V_1 = 30 \cdot (1 - 0.01) + 30 \cdot 0.01 \cdot 0.1 = 29.73$$

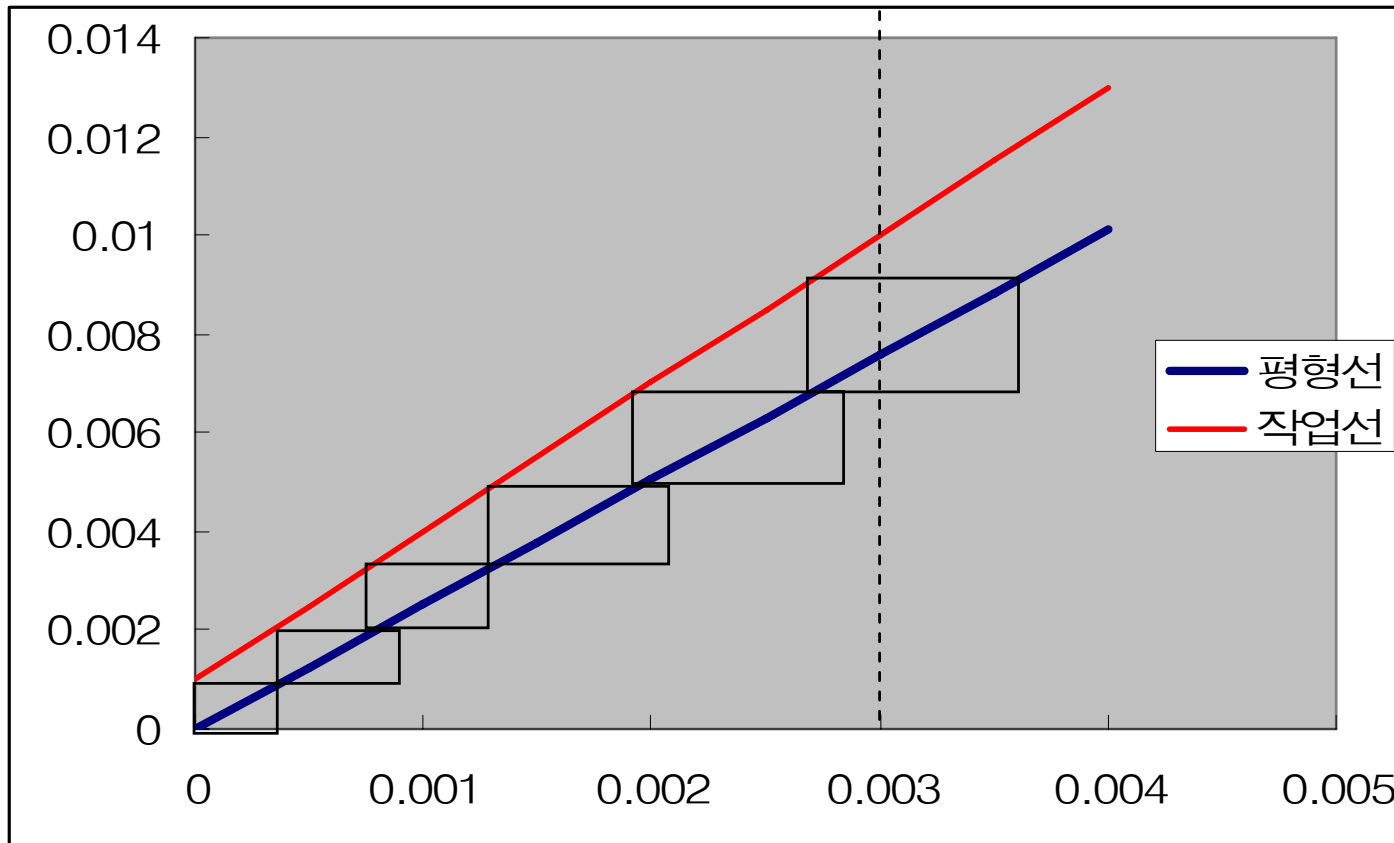
3. 기액상 몰분율 계산:

$$x_n = \frac{L_{An}}{L_n} = \frac{0.27}{90.27} = 0.003$$

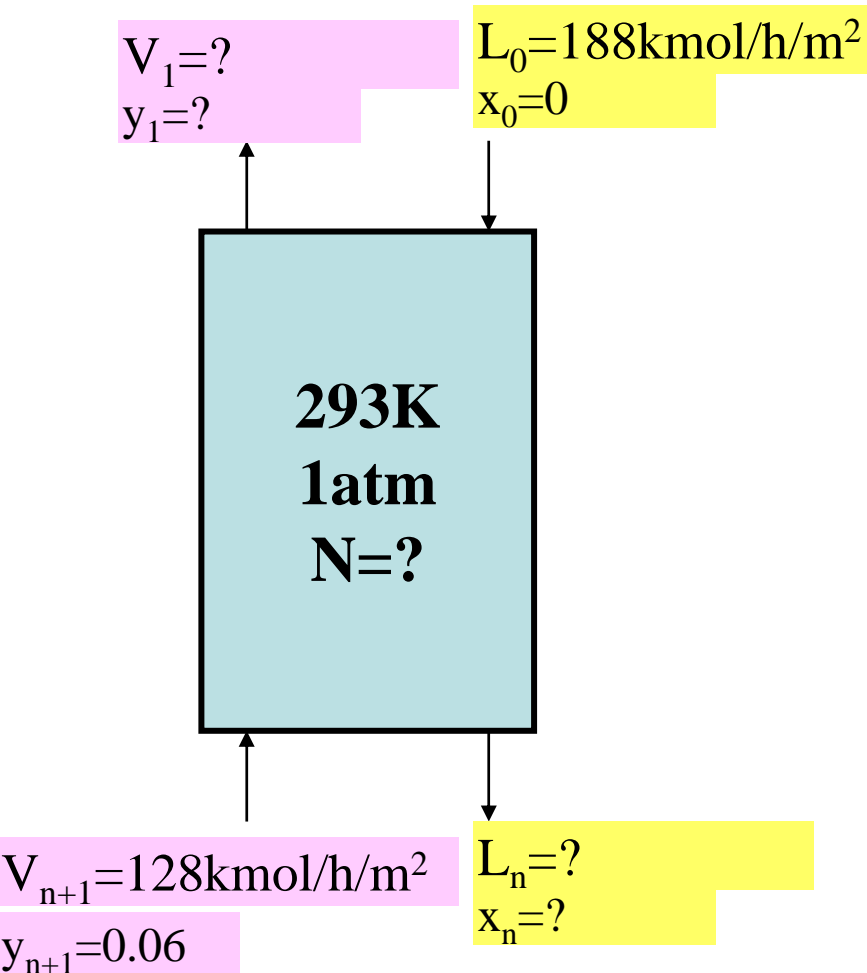
$$y_1 = \frac{V_{A1}}{V_1} = \frac{0.03}{29.73} = 0.00101$$

# MS excel 을 이용한 평형단수 구하기

(그리는 순서는 <흡수탑\_평형단수 계산 순서.doc> 참조)



# 전산실습 과제 1



- 문제 10.6-3 (p699): 293K, 1 atm 상태의 공기중에 암모니아가 함유된 기체를 흡수탑 상부에 물을 분사하여 분리하려 한다. 암모니아의 기액평형데이터는 부록 A.3-22 (p962) 에 나와 있다.
- 99%의 암모니아를 제거하기 위한 이론단수를 ms Excel 을 이용하여 구하시오.