15. 가 스 흡 수

경남대학교
화학공학부
김 학 준

가스흡수(gas absorption) : 기체 혼합물 중의 어느 특정한 성분을 적당한 용매에 용해시켜 끌어내는 조작

가스흡수의 목적 : 혼합가스 중의 유용성분의 회수, 불필요하거나 유해한 성분의 제거

가스흡수 이론 : 기액평형에서의 가스의 용해도와 경막을 통한 용해속도가 기초(저온도일수록 가스의 용해도 큼)

예) 물을 용매로 하는 경우 : NH_3, HCl과 같이 극히 녹기 쉬운 것부터 SO_2, CO_2와 같이 중간 정도의 용해도인 것, N_2, O_2와 같이 거의 용해되지 않는 것까지 실로 광범위

15-1 가스흡수의 평형과 물질수지

15-1-1 동 반 가 스

동반가스(carrier gas) : 가스흡수에서 가스 혼합물 중의 피흡수가스 이외의 가스이며, 흡수의 목적에 관계없는 가스=> 동반가스의 양은 일정 불변이므로 흡수성분의 물질수지에서 이 동반가스의 양을 기준

15-1-2 헨리의 법칙

헨리의 법칙(Henry's law) :

「일정 온도에서 액체 내에 용해되어 있는 가스의 증기압은 액상에서의 그 성분의 농도에 비례한다.」

또는 「일정 온도에서 일정량의 용매에 용해되는 가스의 질량은 가스의 기상에서의 분압에 비례한다.」

$$C = Hp \tag{15.1}$$

외에 $p = H'C$, $p = Kx$, $y = mx$

p : 기상 중의 1성분의 분압, C : 액상에서의 그 성분의 농도(가스의 용해도)

H : 비례상수로서 실험적으로 구해지는 헨리의 상수(H', K, m 등도 헨리의 상수)

[kmol/m^3·atm] => p, C의 단위에 따라 달라지므로 주의

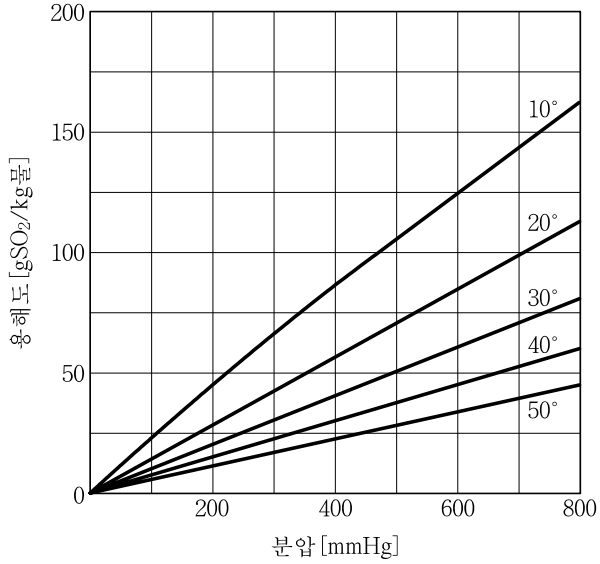


그림 15-1 SO_2의 용해도

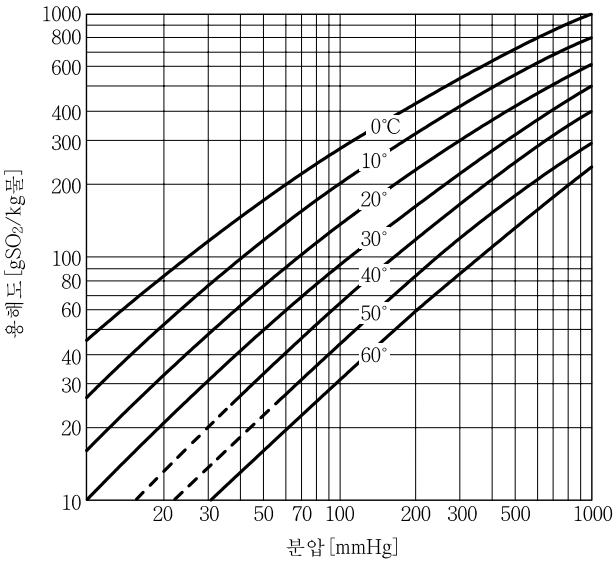


그림 15-2 NH_3의 용해도

15-1-3 가스흡수의 물질수지

흡수탑에서의 액유량 : L [kmol/h], 가스유량 : G [kmol/h], 피흡수성분 A의 몰분율을 각각 x, y

탑 전체에 대한 A 성분의 물질수지 :

$$\underset{\text{원료가스 중의 } A\text{의 몰수}}{G_1y_1} - \underset{\text{배출가스중의 } A\text{의 몰수}}{G_2y_2} = \underset{\text{나가는 액중의 } A\text{의 몰수}}{L_1x_1} - \underset{\text{들어가는 액중의 } A\text{의 몰수}}{L_2x_2} \tag{15.2}$$

여기서 순용매의 몰수를 L' [kmol/h], 동반가스의 몰수를 G' [kmol/h]로 하면,

$L'=L(1-x)$, $G'=G(1-y)$,

L'와 G = 일정

$$G'\left(\frac{y_1}{1-y_1}-\frac{y_2}{1-y_2}\right)=L'\left(\frac{x_1}{1-x_1}-\frac{x_2}{1-x_2}\right) \tag{15.3}$$

(기상중의 A 성분의 감소량) = (액상중의 A 성분의 증가량)

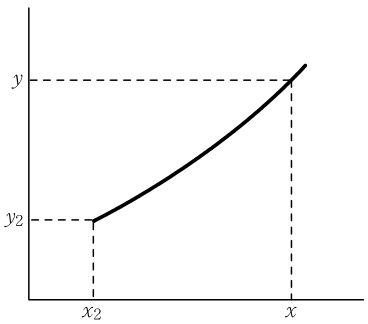


그림 15-3 흡수조작선

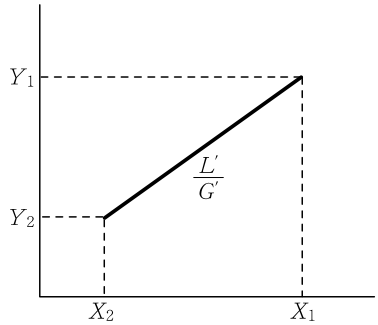


그림 15-4 흡수조작선

흡수조작선의 방정식 :

$$\frac{y_1}{1-y}-\frac{y_2}{1-y_2}=\frac{L'}{G'}\left(\frac{x_1}{1-x_1}-\frac{x_2}{1-x_2}\right) \tag{15.4}$$

음미 : L'/G'는 일정하므로 x를 알면 y가 결정

일반적으로 $1 \gg y, 1 \gg x$

$$y-y_2=\frac{L'}{G'}(x-x_2) \tag{15.5}$$

15-1-4 흡수조작의 최적유량

L'/G'의 비 :

$$\frac{L'/G'}{m}=\frac{L'}{mG'}=1\sim 2 \tag{15.7}$$

m : 평형곡선을 거의 직선으로 본 기울기

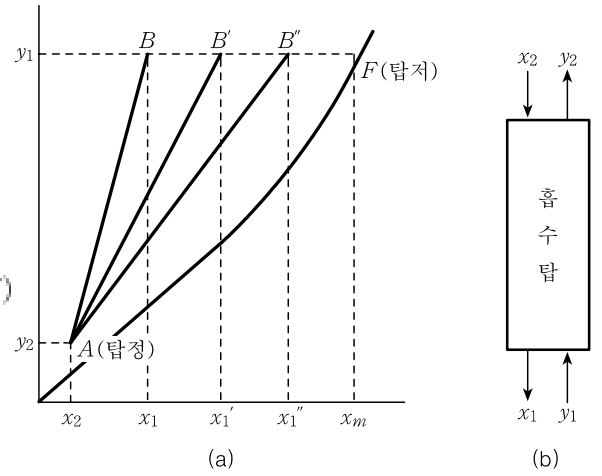


그림 15-5 조작선과 최적 유량

15-2 가스흡수의 이동속도

15-2-1 이중경막설(two-film theory)

기상과 액상과의 경계면 부근에서 엷은 경막이 존재하여 물질은 이 두 경막 내를 분자확산에 의해서 이동 => 경막은 확산에 대해서 큰 저항

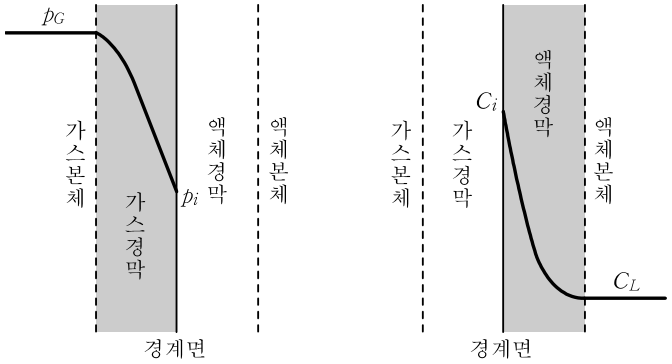


그림 15-6 기체측과 액체측의 물질이동과정

15-2-2 물질이동계수(mass transfer coefficient)

기상중의 A 성분이 가스 본체에서 가스 경막을 통해서 경계면에 도달하는 속도는 추진력 :

$$N_A = k_G A(p_G - p_i) \tag{15.8}$$

여기서 N: 물질이동속도 [kmol/h]

p_G : 가스 본체에서의 A 성분의 분압 [atm]

p_i : 경계면에서의 그 성분의 분압 [atm]

A : 기액의 접촉면적 [m^2]

k_G : 가스경막 물질이동계수 [$kmol/m^2 \cdot atm \cdot h$]

액측의 이동속도식은 추진력 :

$$N_A = k_L A(C_i - C_L) \tag{15.9}$$

여기서 C_i : 경계면에서의 A 성분의 농도 [$kmol/m^3$]

C_L : 용액 본체에서의 그 성분의 농도 [$kmol/m^3$]

k_L : 용액경막 물질이동계수 [$kmol/m^2 \cdot kmol/m^3 \cdot h$)]

정상상태의 흡수에서

$$N_A = k_G A(p_G - p_i) = k_L A(C_i - C_L) \tag{15.10}$$

총괄물질이동계수(over-all mass transfer coefficient) :

$$N_A = K_G A(p_G - p^*) = K_L A(C^* - C_L)$$

p^* : 액체 본체 중의 A 성분의 농도 C_L과 평형이 되는 이론상의 분압(헨리의 법칙에 의해 $p^*=HC_L$)

C^* : 가스 본체 중의 분압 p_G와 평형이 되는 이론상의 액농도 ($p_G=HC^*$)

K_G : 기상분압기준 총괄물질이동계수(over-all mass transfer coefficient), 단위는 [kmol/m^2·h·atm]

K_L : 액상농도기준 총괄물질이동계수, 단위는 [m/h]

$$N_A = k_G A(p_G - p_i) = k_L A(C_i - C_L) = K_G A(p_G - p^*)$$
$$= K_L A(C^* - C_L) \qquad (15.12)$$

기상분압기준과 액상농도기준의 총괄물질이동계수 K :

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{Hk_L}, \quad \frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_L} + \frac{H}{k_G} \qquad (15.13)$$

여기서 H는 Henry의 상수이다.

기상의 분압과 액상의 농도를 각각 몰분율 y와 x로 표현할 경우

$$N_A = k_y A(y - y_i) = k_x A(x_i - x) = K_y A(y - y^*) = K_x A(x^* - x) \qquad (15.12')$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{1}{Hk_x}, \quad \frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{H}{k_y} \qquad (15.13')$$

15-2-3 용량계수

충전층의 외관상 체적당 유효표면적 a [m^2/m^3]을 사용하면

$$N_A = K_G a(p_G - p^*) = K_L a(C^* - C_L) \qquad (15.14)$$

여기서 $K_G a$ [kmol/m^3·h·atm] 또는 $K_L a$ [1/h] : **용량계수**(volumetric coefficient)

115-3 흡수탑장치

15-3-1 충전탑과 충전물

가스흡수장치 : **충전탑**(packed tower) => 탑의 크기는 지름 1~1.5m, 높이 16~7m 정도

편류(channeling) : 액은 탑벽에 가까운 곳을 유하하려는 경향 => 탑지름이 클수록 일어나므로 높은 탑에서는 충전탑을 2단으로 나누고, 도중에서 액의 재분포를 함

충전물(증류탑장치 참고) 조건

① 단위 체적당 중량이 작을 것
② 단위 체적당 유효면적이 클 것
③ 정체량(hold up)이 적을 것
④ 액이나 가스의 분포가 균일할 것
⑤ 가스의 압손실이 적을 것
⑥ 공간율(void, 공극 대 외관상 용적의 비)가 클 것
⑦ 내식성·내열성·기계적 강도가 우수할 것
⑧ 가격이 저렴할 것

15-3-2 충전층에서의 기액의 향류

범람속도(flooding velocity) : 가스와 액이 향류 접촉하는 경우, 가스의 유속이 어느 한도 이상이 되면 액의 유하가 방해되고 마침내 액은 가스에 동반되어 같은 방향으로 흐르게 되는 한계속도

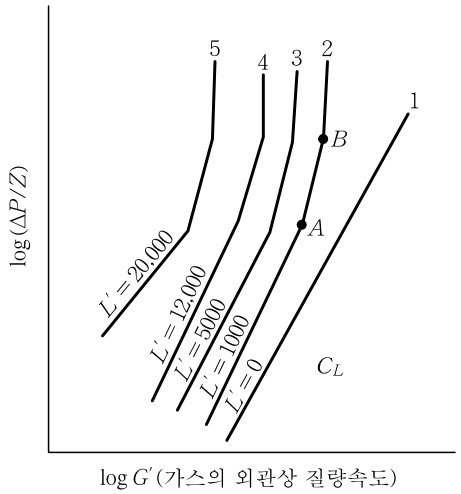
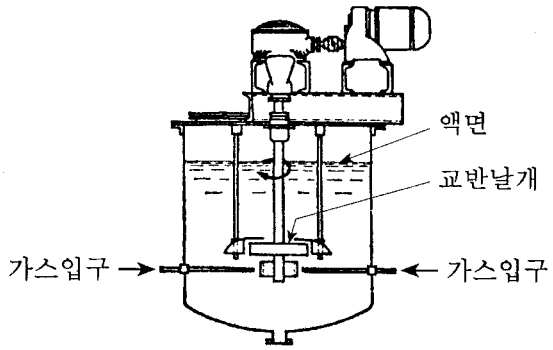


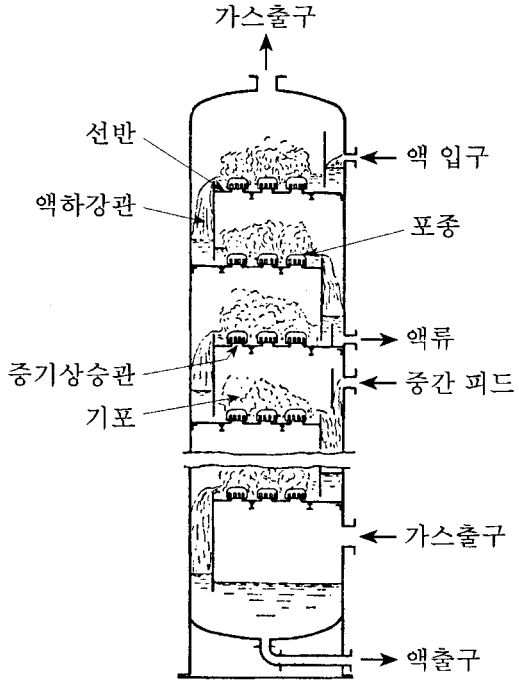
그림 15-8 기액접촉의 압손실

15-3-3 가스 흡수탑장치

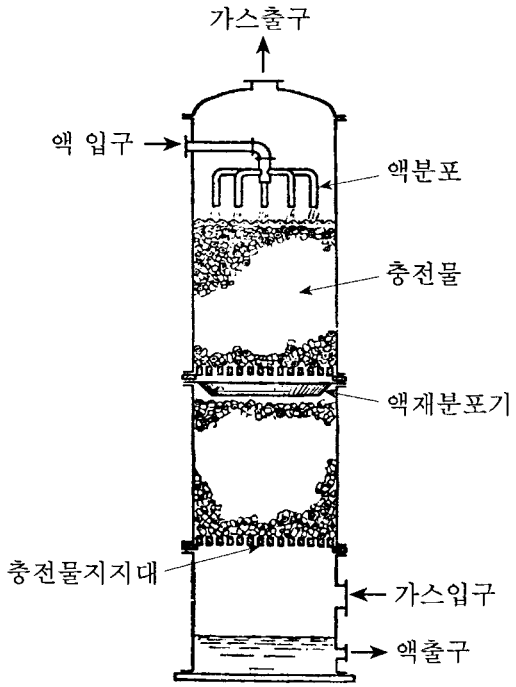
스크러버(scrubber) : 가스 혼합물 중의 불필요한 성분을 물 등으로 세정과 제거하는 일종의 흡수장치
방산탑(stripper) : 스크러버와 반대로 일단 용매에 흡수된 가스를 재차 용액에서 분리시키기 위해 수증기나 공기, 기타 가스를 용액에 불어넣는 장치



(a) 교 반 조



(b) 포 종 탑



(c) 충 전 탑

그림 15-9 교반조, 포종탑과 충전탑의 흡수장치