

충전물의 표면갱신율과 유효계면 면적

이 봉 회 · 이 원 국*

한국과학원 화학공학과

(접수 1980. 5. 13)

Fractional Rate of Surface Renewal and the Effective Interfacial Area of Packing Materials

Bong-Hee Lee and Won Kook Lee*

Department of Chemical Engineering,
Korea Advanced Institute of Science, Seoul 131, Korea

(Received May 13, 1980)

요 약

충전탑 내의 흡수현상과 충전물의 기하학적 형태가 흡수현상에 미치는 영향을 규명하기 위하여 $K_2CO_3-KHCO_3$ 완충용액에 NaOCl 을 촉매로 사용하여 CO_2 를 흡수시키는 pseudo-first order reaction 이 이용되었다. 실험에 사용된 충전물로는 폴리 프로필렌으로 제작된 1/4", 3/8", 1/2" 의 half Raschig ring 과 half square 가 이용되었다.

k_L 및 a 를 구하기 위하여 Danckwerts plot method 를 이용했으며, 표면갱신율과 H.T.U. 및 a 에 대하여 다음과 같은 경험 및 반경험식을 얻었다.

$$S=1.35 V^{0.385} \frac{a_t}{(1-\epsilon)^2}$$

$$J_p=0.03 (Re)^{-0.87} \frac{(a_t \cdot d)^{1/2}}{(1-\epsilon)^2}$$

$$\frac{a}{a_t}=0.203 Re \cdot J_p$$

여기서 J_p 는 아래와 같이 정의된 factor 이다.

$$\left[(Sc)^{1/2} (Gr)^{-1/6} \left(\frac{d}{H_L} \right) \right]^{3/2} \equiv J_p$$

* Department of Chemical Engineering, University of Missouri-Columbia, Columbia, Missouri 65201, U.S.A.

위의 식들은 다른 문헌의 데이터들과 비교 검토되었고 비교적 잘 일치됨을 알 수 있었다.

Abstract

In order to predict the performance of a packed column and the effect of the shape of various packing materials on the performance, a system, where carbon dioxide is absorbed chemically into the K_2CO_3 - $KHCO_3$ buffer solution containing $NaOCl$ as catalyst, was employed for the study. In this experiment, $1/4''$, $3/8''$, $1/2''$ -half Raschig ring and half square made of poly-propylene were used as packing materials.

k_L and a were determined from experimental data by Danckwerts-plot method. The empirical and semi-empirical equations for the fractional rate of surface renewal, height of transfer unit and effective interfacial area were obtained as:

$$S = 1.35 V^{0.385} \frac{a_i}{(1-\epsilon)^2}$$

$$J_p = 0.03 (Re)^{-0.87} \frac{(a_i \cdot d)^{1/2}}{(1-\epsilon)^2}$$

$$\frac{a}{a_i} = 0.203 Re \cdot J_p$$

where J_p is defined as

$$\left[(Sc)^{1/2} (Gr)^{-1/6} \left(\frac{d}{H_L} \right) \right]^{3/2} \equiv J_p$$

These equations were examined with the data from other investigators as well as this work, and found good agreements between them.

1. 서 론

충전탑에서 기체의 흡수현상을 규명하기 위한 노력은 꽤 오래전부터 있어왔다. 특히 흡수효율을 증가시키기 위하여 여러가지의 충전물들이 제안되어 왔으며 현재까지도 새로운 형태의 충전물들이 고안되고 있다.

그러나 충전탑의 효율을 결정하는 인자인 유계면적, 면적, a , 이나 물질전달계수, k_L , 의 값은 탑내의 유체흐름이 매우 복잡할뿐 아니라 흡수속도에 영향을 미칠 것으로 기대되는 인자들이 많기 때문에 정확한 값을 예측하기가 무척 곤란하다. 이와같은 난점을 안고 있으면서도 일찍부터 a 나 k_L 을 규명하기 위한 방법들이 제안되어 왔

으며 이들 중 특히 dye-technique,^{13,14)} H.T.U. method,¹⁷⁾ naphthalene의 vaporization method¹⁶⁾ 등을 이용하여 wetted area, a_w , 를 결정하고 이렇게 결정된 a_w 로 부터 a 의 값을 추측하였다.

그러나 Danckwerts¹⁾ 는 그가 제안한 이론인 Danckwerts' surface renewal model에 일차반응이 수반되는 화학흡수를 이용하여 a 및 k_L 을 직접 분리하여 얻는 방법을 제시했으며 그 이후 Danckwerts 이론에 입각한 흡수실험이 많이 시행되고 있다.

한편, 이와는 별도로 기체흡수장치의 가장 간단한 형태의 하나인 wetted wall column에서의 흡수현상을 규명하기 위한 이론을 충전탑에 적용시키며 충전탑의 흡수현상을 해석하기 위한

노력^{4,8,9}도 있었으나 이때 역시 a 나 a_w 의 값은 경험식을 이용하여 예측하였다.

본 연구에서는 k_L 을 예견하기 위하여 Danckwerts' surface renewal model에서 제안된 표면갱신을, S 에 대한 경험식을 유도했으며, 또한 wetted wall column에 대한 이론을 충전탑에 적용시켜, H_L 및 a 를 규명하기 위한 반경험식을 유도하였다. 특히 각각의 식들은 충전물의 형태와 크기가 k_L 및 a 에 미치는 영향을 고려하는데 중점을 두어 충전물의 형태설계 및 직접 industry에서 충전탑을 설계하는데 도움을 주고자 하였다.

2. 이론적 고찰

(1) 충전탑의 Modelling

충전탑은 그 내부에 채워진 충전물의 모양이나 크기가 다양할뿐 아니라, 탑내의 유체흐름이 복잡하여 수학적 이론을 세워 흡수현상을 해석하기가 무척 곤란하니 충전물 자체를 간단한 기하학적 모양으로 가정하면 흡수현상의 이론적 규명이 가능해진다. 또한 이와같은 개념으로 유도된 이론식을 각종 충전물에 대한 실험치에서 경험적으로 얻은 형상인자(shape factor)로 보정하여 주면 일괄적으로 가정된 기하학적 모양의 충전물에 대하여 모양이나 크기를 고려한 반경험식을 유도할 수 있다.

수학적 modelling의 첫째 단계로 우선 충전탑내의 모든 충전물을 가장 일반적으로 사용되어 온 Raschig ring의 표면적을 기준으로 하여 다음과 같은 가정을 세웠다.

즉 어떤 충전물이 Raschig ring과 같은 표면적을 갖고 있으면 이에 해당되는 Raschig ring의 규정직경인 " d "의 높이를 갖고며, 수평면에 대하여 수직한 평판형태의 충전물로 보고, 충전탑은 모두 이러한 충전물로 충전되어 있다고 가정한다. 또한 이때 각각의 평판너비를 " b "라 가정하고 " N "을 단위부피당 차지하고 있는 충전물의 갯수로 정의하면 단위 부피당 충전물의 표면적은

$$a_t = 2 N b d \quad (1)$$

로 표시할 수 있다.

여기서 두번째의 가정을 세워보면; 모든 평판들은 액체가 흐를때 너비 b 에 대하여 임의의 fraction인 " f "만큼 적셔진 상태를 유지하게 되며 모든 평판들은 같은 f 의 값을 갖고 wetted area는 모두 기체와 접촉한다고 가정하면 단위 부피당 wetted area는

$$a_w = 2 N f b d \quad (2)$$

로 표시될 수 있다.

한편 흡수현상을 고려하기에 비교적 쉬운 wetted wall column에 대한 Pigford²⁰의 이론을 전개하여 보면,

$$k_L = \sqrt{\frac{6}{\pi}} \sqrt{\frac{D F}{Z B_F \rho}} \quad (3)$$

$$H_{L,w} = \sqrt{\frac{\pi}{6}} \sqrt{\frac{B_F Z F}{\rho D}} \quad (4)$$

으로 정리될 수 있으며, $B_F = (3 \mu \Gamma / \rho^2 g)^{1/3}$ 을 (4)식에 대입하여 정리하면,

$$H_{L,w} = \sqrt{\frac{\pi}{6}} \sqrt{\frac{Z F}{\rho D}} \sqrt[6]{\frac{3 \mu \Gamma}{\rho^2 g}} \quad (5)$$

이 된다.

(5)식을 충전탑에 적용시키기 위하여 Z 대신 d 를 치환하고 차원분석을 하여 다시 정리하면,

$$\frac{H_L}{d} = \sqrt{\frac{\pi}{24}} \left(\frac{\mu}{\rho D} \right)^{1/2} \left(\frac{3 \nu^2}{4 g d^3} \right)^{1/6} \left(\frac{4 \Gamma}{\mu} \right)^{2/3} \quad (6)$$

이 되며, 여기서 Γ 는 단위 wetted perimeter당 액체질량속도이고 충전탑의 단위 cross section당 wetted perimeter는 충전탑의 단위 부피당 wetted area와 같은 값이므로

$$\Gamma = \frac{L}{a_w} \quad (7)$$

가 되어, (7)식을 (6)식에 대입하면

$$\frac{H_L}{d} = 0.345 \left(\frac{\mu}{\rho D} \right)^{1/2} \left(\frac{g d^3}{\nu^2} \right)^{-1/6} \left(\frac{4 L}{\mu a_w} \right)^{2/3} \quad (8)$$

로 된다. 그러나 (8)식에서 a_w 는 그값을 이론적으로 규명할 수 없기 때문에 (1)식과 (2)식을 이용하여 a_w 대신 $f a_t$ 를 대입하고 f 에 관하여 다시 정리하면

$$f = \left[0.345 (Sc)^{1/2} (Gr)^{-1/6} (Re)^{2/3} \left(\frac{d}{H_L} \right) \right]^{3/2} \quad (9)$$

로 표시될 수 있다. 또한 비가역 일차반응이 수반되는 화학흡수의 경우 a_w 는 a 와 같은 값으로 볼 수 있으므로^{13,15)}

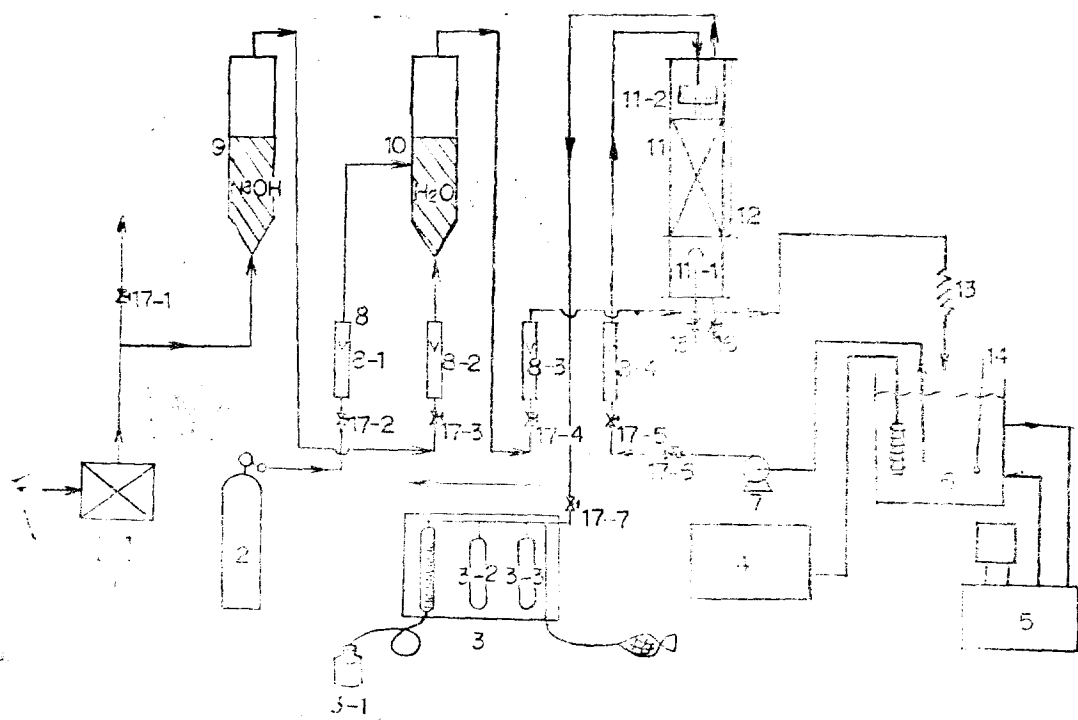
$$f = \frac{a}{a_i} \quad (10)$$

로 바꿔 쓸 수 있다. 그러나 (9)식에서 우변의 H_L 값 역시 실험에 의하여 결정되는 값이므로

(9)식 자체로는 직접 충전탑에 적용시킬 수 없게 된다. 따라서 f 나 H_L 을 나타낼 수 있는 새로운 식이 필요하게 되며, 충전탑에서 f 의 값을 별도로 고려하여 보면 일반적으로,

$$f = \phi(\text{physical properties of liquid, liquid flow rate, shape factor}) \quad (11)$$

로 나타낼 수 있고 액체의 유속 및 물리적 성질



- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. air compressor | 8-3 air+CO ₂ -rotameter |
| 2. CO ₂ Cylinder | 8-4 liquid-rotameter |
| 3. Orsat analyzer | 9. CO ₂ -removal column from air |
| 3-1 sat'd NaCl sol'n | 10. humidifier |
| 3-2 sat'd KOH sol'n | 11. packed column |
| 3-3 sat'd FeSO ₄ sol'n | 11-1 gas distributor |
| 4. cooler | 11-2 liquid distributor |
| 5. constant temp. circulator | 12. vertical bob |
| 6. feed tank | 13. height-regulator of output liquid line |
| 7. feed pump | 14. thermometer |
| 8. rotameters | 15. output liquid sampler |
| 8-1 CO ₂ -rotameter | 16. input gas sampler |
| 8-2 air-rotameter | 17. needle valves |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

이 흡수에 미치는 영향을 동시에 고려하기 위하여 이들을 Reynolds 수로 한데 묶어 표시하면,

$$f = \phi'(Re, \text{shape factor}) \quad (12)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 (9)식과 (12)식을 비교하여 보면 양변이 둘다 Re 의 함수를 포함하고 있으므로 (9)식에서 Re 항과 상수항을 (12)식으로 이항시켜 새로운 함수를 정의하면,

$$\left[(Sc)^{1/2} (Gr)^{-1/6} \left(\frac{d}{H_L} \right) \right]^{3/2} \equiv J_p \\ = \phi''(Re, \text{shape factor}) \quad (13)$$

으로 되어 H_L 을 표시할 수 있으며 (13)식에서 얻은 J_p 의 값을 (9)식에 치환하면,

$$f = 0.203 Re \cdot J_p \quad (14)$$

가 되어 f 의 값, 즉 a/a_t 의 값을 얻을 수가 있게 된다.

(2) Danckwerts의 표면갱신설

Danckwerts¹¹⁾가 제안한 표면갱신설에 따르면 시간 θ 와 $\theta + d\theta$ 사이에 전체계면에 대하여 농도 A^0 를 갖는 새로운 액체성분으로 대체되는 계면의 비율(표면 갱신율)은 $se^{-s\theta/d\theta}$ 의 분포를 갖는다고 정의하였으며 이때 물질전달계수, k_L ,은

$$k_L = \sqrt{DS} \quad (15)$$

로 표시된다. 또한 Danckwerts의 이론을 일차 반응이 수반되는 화학흡수에 도입할 경우 평균 흡수속도는

$$(\bar{R}a/A^* \sqrt{D})^2 = a^2 k_L + (k_L a)^2 / D \quad (16)$$

로 된다. (16)식은 측매를 사용하여 k_L 의 값을 변화시킬 수 있으며, 각각의 k_L 에서 $\bar{R}a$ 를 측정하여 좌변을 종축으로 잡아 그래프상에 도시하면 기울기로 부터 a 를 결정할 수 있고 절편으로부터 k_L 을 구할 수 있으며 각 경우의 확산계수를 측정하면 k_L 로부터 s 의 값을 분리하여 낼 수 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

(1) 실험장치

Fig. 1에 나타나 있는 실험장치 제통도를 설명하면, 우선 cooler(4)와 constant temperature circulator(5)에 의하여 일정한 온도로 유지된

feed tank(6) 중의 액체를 펌프(7)를 이용하여, 충전탑(11)상단 내부의 액체분산기(11-2)를 거쳐, 충전탑내에 골고루 분산시켰으며, 액체의 유량을 조절하기 위하여 valve(17-6)과 valve(17-5)를 설치하였다. 충전탑을 거쳐나온 하단의 액체는 다시 feed tank에 재순환 되며 이때 하단의 액체가 기체와 함께 방출되는 것을 방지하기 위하여 액체의 액면을 항상 하단의 어느 높이까지 유지시켰으며, 이를 위해 액체출구의 파이프높이를 임의로 조절할 수 있는 장치(13)을 만들었다.

한편 공기압축기(1)에 의하여 압축된 공기의 일부는 valve(17-1)을 통하여 대기중으로 다시 배출시키고 나머지 일정량을 가성소오다 용액이 채워져 있는 탱(9)에 보내어 공기와 함께 들어오는 CO_2 를 미리 제거시킨 다음 가습탑(humidifier)(10)으로 주입시켰다. 또한 CO_2 는 실린더(2)에서 속도제어장치(regulator)를 거쳐 유량이 조절된 다음 가습탑으로 주입시켜 공기와 혼합시켰으며 이렇게 혼합된 기체는 다시 한번 유량이 조절된 다음 시료채취 valve(16)로부터 CO_2 의 농도를 검사한 후 충전탑 하부의 기체분산기(11-1)에 주입시켰다. 충전탑을 통과한 기체와 액체의 약간량을 valve(17-7)과 valve(15)를 통하여 채취한 다음 흡수속도와 액체의 액성을 검사하였다.

(2) 실험방법

본 실험에서 사용된 충전물은 플리 프로필렌으로 제작된 1/4", 3/8", 1/2"-half Raschig ring과 -half square로서 이들 충전물의 특성은 Table 1과 같다.

또한 본 실험에 도입된 액체는 $K_2CO_3-KHCO_3$ 완충용액으로서 OCI^- 이온의 측매작용으로 CO_2 와는 pseudo first order reaction^{7,14)}을 일으키며, 이때의 반응속도상수, k_1 은 Pohorechi¹¹⁾에 의하여 제안된 식을 이용하여 구하였고 k_1 을 변화시키기 위하여 OCI^- 의 농도를 변화시켰다. 각각의 충전물에 대하여 액체의 유속을 변화시켜 가며 같은 실험을 반복하여 k_L 및 a 를 구하였다. 아울러 본 연구에서의 실험조건은 Table 2

Table 1. Characteristics of Packing Materials

packing materials		half Raschig ring			half square		
nominal size	[inch]	1/4	3/8	1/2	1/4	3/8	1/2
height	[cm]	0.680	1.015	1.285	0.630	0.945	1.265
outside diameter	[cm]	0.615	0.890	1.215	—	—	—
inside diameter	[cm]	0.285	0.610	0.885	—	—	—
width	[cm]	—	—	—	0.620	0.955	1.30
width	[cm]	—	—	—	0.660	0.910	1.30
wall thickness	[cm]	0.165	0.140	0.165	0.130	0.150	0.180
total surface area	[cm ²]	1.419	3.096	5.356	1.912	4.073	7.449
packing density	[#/cm ³]	5.943	1.185	0.810	3.982	1.502	0.605
volumetric surface area	[cm ² /cm ³]	8.434	5.837	4.338	7.613	6.118	4.504
void fraction	[—]	0.525	0.688	0.715	0.54	0.618	0.70
equivalent diameter for Raschig ring	[cm]	0.5	0.71	1.0	0.58	0.8	1.14

Table 2. Operating Condition

[K ₂ CO ₃]	0.6~0.5	gmole/l
[KHCO ₃]	0.25~0.45	gmole/l
[KCl]	1.94±0.03	gmole/l
[NaOCl]	0~0.25	gmole/l
pH of solution	10.2~10.01	
liquid viscosity	1.201~1.342	c.p.
liquid density	1.17~1.19	g/cm ³
liquid temperature	21±0.5°C	
room temperature	24±1°C	
CO ₂ partial pressure of inlet gas	0.1 atm.	
total pressure	1 atm.	
packing height	55 cm	
gas velocity	165.6 cm ³ /sec.	
superficial liquid velocity	0~1.5 cm/sec.	

에 나타나 있고 초기조건으로 $[K_2CO_3]=0.6 \pm 0.02$ g-mole/l, $[KHCO_3]=0.25 \pm 0.01$ g-mole/l, $[KCl]=1.94 \pm 0.03$ g-mole/l 의 농도로 용액을

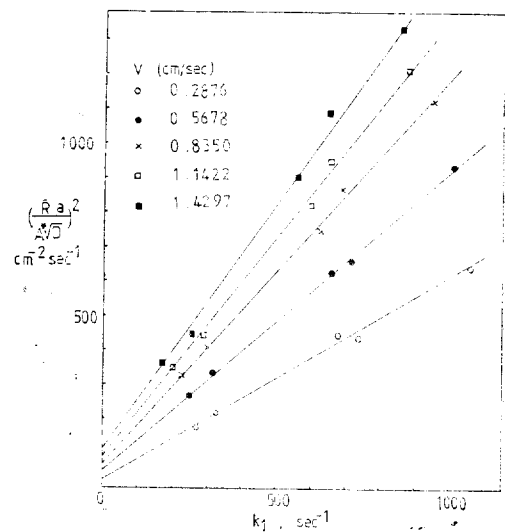


Fig. 2. Danckwerts plot for 1/2 inch half Raschig ring at various liquid flow rates

만들어 액체로 사용하였으며 KCl 은 액체의 물리적 성질을 일정하게 유지시키기 위하여 첨가된 것이다.

4. 결 과

일차반응을 수반하는 흡수속도식 (16)을 이용하여 액체의 유속을 변화시켜 가며 각각의 충전물에 대하여 a 및 k_L 의 값을 얻었고 k_L 로부터 (15)식을 이용하여 표면갱신율, S ,의 값을 얻었다.

Fig. 2는 a 및 k_L 을 구하기 위한 Danckwerts' plot의 한 예이다.

(1) 표면갱신율, S 에 대한 결과

각각의 충전물에 대하여 얻어진 표면갱신율, S 의 값을 superficial liquid velocity, V 와 충전물의 형상인자로서 a_t 및 공극율, ϵ 를 각각 log-log 그래프에 도시하여 아래와 같은 경험식을 얻었다.

$$S = 1.35 V^{0.385} \frac{a_t}{(1-\epsilon)^2} \quad (17)$$

위의 식에 대하여 본 실험에서의 데이터와 다른 문헌의 데이터를 Fig. 3에서 비교하였다.

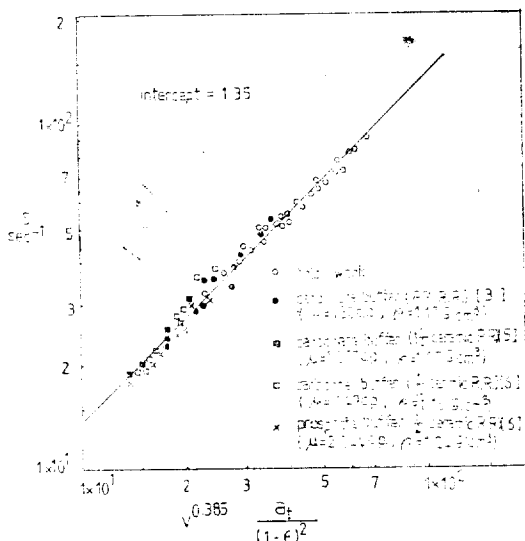


Fig. 3. The results from this work and other investigators' fitted to Eq. (17) for the surface renewal rate.

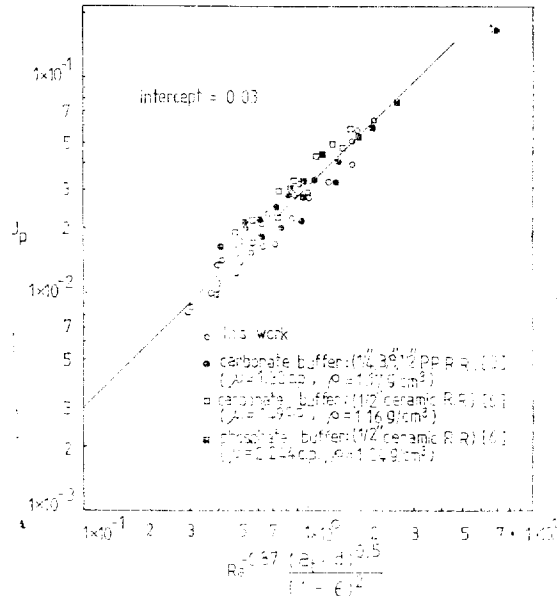


Fig. 4. The results from this work and other investigators' fitted to Eq. (18) for J_p .

(2) Factor, J_p 에 대한 결과

(13)식에서 정의된 J_p 에 대하여 Reynolds 수와 충전물의 형상인자로서 a_t , d 및 공극율, ϵ 로 결과(1)에서와 같은 방법에 의하여 아래와 같은 식을 얻었다.

$$J_p = 0.03 (Re)^{-0.87} \frac{(a_t \cdot d)^{1/2}}{(1-\epsilon)^2} \quad (18)$$

(18)식은 무차원항으로 이루어진 식으로서 Fig. 4에서 본 실험의 데이터와 다른 문헌의 데이터를 비교 하였으며, (18)식에 의하여 예견된 J_p 의 값을 (14)식에 대입하여 a 의 값을 결정할 수 있었다.

5. 고 찰

본 실험의 몇가지 충전물에 대한 kLa 데이터와 다른 문헌의 kLa 데이터를 superficial liquid velocity, V 에 대하여 도시하여 Fig. 5에서 비교하였다.

Fig. 5에서 (1), (2), (3), (4)를 비교할 경

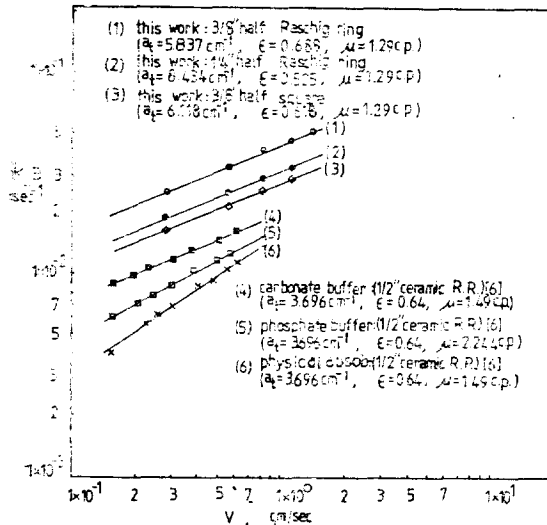


Fig. 5. Comparison of kLa in this work with others' data.

우 a_t 의 증가는 일반적으로 kLa 의 증가를 가져 온다고 알려져 왔지만 (1)로 부터 공극율이 kLa 에 커다란 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, (1), (2), (3), (4)와 (5)의 비교로 부터 점도의 증가는 kLa 의 감소를 가져 온다는 사실을 알 수 있다.

또한 (1), (2), (3), (4), (5)의 화학흡수와 (6)의 물리흡수를 비교할 경우 액체의 유속에 대한 kLa 의 영향은 물리흡수 쪽이 더 예민하나 같은 유속에서 kLa 의 값은 화학흡수 쪽이 더 큰 것을 알 수 있다. 이와같은 물리흡수와 화학흡수의 차이는 Puranik,¹⁵⁾ Danckwerts,⁶⁾ Chang,³⁾ Onda¹²⁾ 등에 의하여 제안된 이론과 부합된다.

아울러 Fig. 5의 고찰로 부터 충전탑의 흡수 효율에 영향을 미치는 주된 인자는 액체의 유속, 공극율, a_t 및 점도임을 알 수 있다. 그러나 kL 을 규명하기 위하여 S 에 대한 식을 정리할 경우 확산계수, D 의 값은 $D\mu/T = \text{constant}$ 나 이와 유사한 식으로부터 구하게 되므로 점도에 따른 확산계수의 값을 주어진 조건에 따라 결정하여 주된 점도의 영향을 고려하지 않고도 kL 을 예견할 수 있음을 Fig. 3과 Fig. 5의 Danckwerts 데이터, $\mu = 1.49$ c.p.와 $\mu = 2.24$ c.p.의

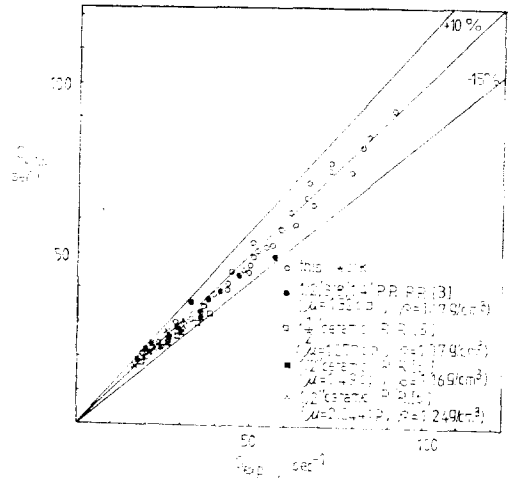


Fig. 6. Comparison of the surface renewal rates predicted by Eq. (17) with the experimental data from this work and literatures

비교로 부터 알 수 있다.

또한 Fig. 6은 (17)식에 의하여 예견된 표면갱신율, S_{pre} ,와 실험에 의하여 결정된 표면갱신율, S_{exp} ,의 일치정도를 비교한 것으로 최대

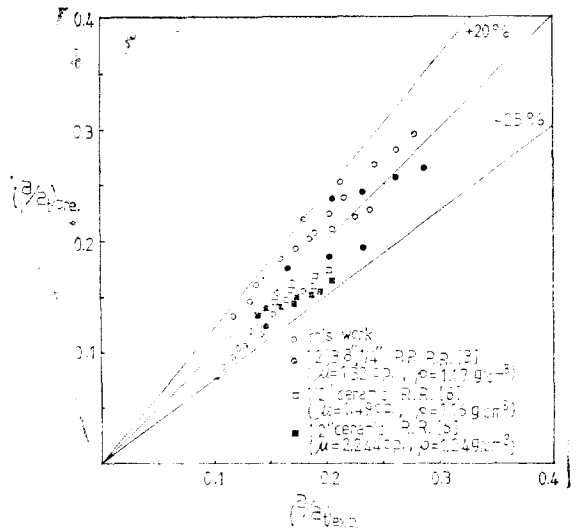


Fig. 7. Comparison of (a/a_t) predicted by J_p Eq. (18) with the experimental data from this work and literatures

오차 +10%, -15% 이내로 일치함을 보여주고 있으며, 평균상대오차의 값은 6.5%로서 좋은 일치를 보여 주었다.

Fig. 7은 a 에 대한 결과로서 (18)식과 (14)식으로 부터 예견된 $(a/a_t)_{pre}$ 값과 실험에 의하여 결정된 $(a/a_t)_{exp}$ 의 비교로서 최대오차 +20%, -25% 이내로 일치함을 보여주고 있으며, 평균상대오차의 값이 13.6%로 나타났다.

그리고 본 연구에서 제안된 식들은 충전물의 형상인자로서 a_t 와 공극율을 같이 고려하였다. 이제까지 충전탑에서 a 를 규명하기 위한 형상인자로는 a_t 나 이와 유사한 인자를 도입하여 고려하였으며 a_t 가 크면 a 가 증가하는 것으로 알려져왔다. 그러나 실제 대부분의 충전물은 a_t 가 크게되면 공극율이 작아지며 공극율이 작고 a_t 가 클 경우 충전탑 내부를 흐르는 액체의 체류량이 크게 되어 기체와 액체가 접촉하면서 물질전달을 일으켜야할 공간을 액체만이 꼭 메운 형태로 흐르기 때문에 a 의 값이 줄어들게 된다. 따라서 충전탑에서 충전물의 형상에 따른 영향을 고려할 경우 a_t 와 더불어 공극율도 같이 고려하여야 함을 알 수 있다.

아울러 본 연구에서 제안된 식의 적용범위는 $v=0\sim 1.5$ cm/sec, $\mu=1.27\sim 2.25$ c.p., $\epsilon=0.52\sim 0.72$, $a_t=1.21\sim 8.4$ cm⁻¹임을 부언하며, 이 이상의 범위는 자료의 부족으로 확인할 수 없었다.

6. 결 론

물질전달계수, k_L ,을 규명하기 위하여 표면갱신율, s ,에 대하여 정리할 경우 k_L 의 값에 큰 영향을 미치고 있는 점도의 영향을 고려하지 않고 단지 액체의 유속과 형상인자 만으로 표시가 가능했으며, wetted wall column에서 흡수현상을 규명하기 위한 이론식을 충전탑에 적용시켜 유도된 이론식에 새로운 인자, J_p ,를 정의하여 도입하므로써 H_L 및 a 를 비교적 간단히 예견할 수 있었다.

또한 충전물의 형상인자로는 a_t 뿐만 아니라 공극율도 같이 고려되어야 하며, 흡수효율을 증

가시키기 위하여 충전물이 갖춰야 할 조건은 a_t 가 커야 됨은 물론, 액체와 기체가 통과할때 이들이 서로 접촉할 수 있는 충분한 공간을 제공하여 줄 수 있도록 공극율도 커야 한다는 사실을 알 수 있었다.

7. Nomenclature

a	effective interfacial area per unit packed volume.	[cm ⁻¹]
a_t	total surface area of packing material per unit packed volume.	[cm ⁻¹]
a_w	wetted area per unit packed volume.	[cm ⁻¹]
A°	concentration of dissolved gas A in bulk of liquid.	[$\frac{g\text{-mole}}{cm^3}$]
A^*	concentration of dissolved gas A at interface, in equilibrium with gas at interface.	[$\frac{g\text{-mole}}{cm^3}$]
b	width of packing material defined by eq.(1).	[cm]
B_F	thickness of liquid film.	[cm]
d	equivalent diameter of packing material defined by eq. (1).	[cm]
D	diffusivity of dissolved gas A	[cm ² /sec]
f	ratio of a to a_t , defined eq.(2)	
g	gravitational acceleration	[cm/sec ²]
H_L	height of transfer unit, based on liquid film($L/\rho k_L a$).	[cm]
$H_{L,w}$	height of transfer unit for wetted wall column.	[cm]
$H.R.R.$	half Raschig ring.	
$H.S.$	half square.	
J_p	factor defined by eq. (12).	
k_1	first order reaction rate constant.	[sec ⁻¹]
k_L	liquid film mass transfer coefficient.	[cm/sec]
L	superficial mass velocity of liquid.	[g/cm ² ·sec]
N	number of plates per unit	

	packed volume.	[#/cm ³]
<i>p.p.</i>	polypropylene.	
\bar{R}	average rate of absorption over contact time.	[$\frac{\text{g-mole}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$]
<i>S</i>	fractional rate of surface renewal.	[cm ⁻¹]
<i>T</i>	absolute temperature.	[°K]
<i>V</i>	superficial liquid velocity.	[cm/sec]
<i>Z</i>	length of liquid surface.	[cm]
<i>Gr</i>	modified Grashof number.	[gd^3/ν^2]
<i>Re</i>	modified Reynolds number.	[$4L/a_1\mu$]
<i>Sc</i>	Schmidt number.	[$\mu/\rho D$]

Greek symbols

Γ	liquid mass flow per unit perimeter.	[g/cm·sec]
ϵ	void fraction.	
θ	contact time.	[sec]
μ	liquid viscosity.	[g/cm·sec]
ν	kinematic viscosity.	[cm ² /sec]
ρ	density of liquid.	[g/cm ³]
ϕ, ϕ', ϕ''	functions defined by eq. (10), (11), (12).	

8. References

1. P.V. Danckwerts, "Gas-Liquid Reaction," McGraw-Hill, New York, 1970.
2. T.K. Sherwood and R.L. Pigford, "Absorption and Extraction," McGraw-Hill, New York, 1952. p. 266.
3. H.L. Chang, M.S. Thesis, KAIS, Seoul, Korea, 1977.
4. C.H. Lee, M.S. Thesis, KAIS, Seoul, Korea, 1978.
5. P.V. Danckwerts and A.J. Gillham, Trans. Instn. Chem. Engrs., **44**(1966), 142.
6. P.V. Danckwerts and G.E.H. Joostern, Chem. Eng. Sci., **28**(1973), 453.
7. P.V. Danckwerts, A.M. Kennedy and D. Roberts, Chem. Eng. Sci., **18**(1963), 63.
8. J.F. Dividson, Trans. Instn. Chem. Engrs., **37**(1959), 131.
9. J. Bringwater and A.M. Scott, Trans. Instn. Chem. Engrs., **52**(1974), 317.
10. R. Pohorechi, Chem. Eng. Sci., **23**(1968), 1447.
11. R. Pohorechi, Chem. Eng. Sci., **31**(1976), 637.
12. K. Onda, E. Sada and Y. Murase, AIChE J., **5**(1959), 235.
13. K. Onda, E. Sada and H. Takeuchi, J. Chem. Eng'g. (Japan), **1**(1968), 62.
14. K. Onda, H. Takeuchi and Y. Koyanagi, J. Chem. Eng'g. (Japan), **31**(1967).
15. S.A. Puranik and A. Vogelpohl, Chem. Eng. Sci., **29**(1974), 501.
16. H.L. Shulman, C.F. Ulrich and N. Wells, AIChE J., **1**(1955), 247.
17. Weisman and C.F. Bonilla, I. & E. C., **42**(1950), 1099.