

충전물의 젖은 면적의 측정법

崔 雄* · 金 宗 植**

The Determination of Wetted Area of Packing Materials

Choi, Ung* · Kim, Jong-sick**

* Dept. of Chem. Eng., Seoul National Univ.

** Dept. of Chem. Eng., Youngnam Univ.

Abstract

The Present work was undertaken for the purpose of observing wetted area of packing materials in the packed columns. Studies were made on two kinds of Raschig rings by using a dyestuff.

The schematic diagram of experimental apparatus is shown in Fig. 1-A and the specifications of Raschig rings are listed in Table 1.

The gas rate and viscosity of the liquid had no significant effect on wetted area.

The effects of liquid rate and surface tension of the liquid used are as follows :

$$\frac{a_w}{a_t} = k' L^{\frac{1}{2}} \sigma^m$$

$$k' = 0.824 \quad m = -0.96 \text{ for 17-mm rings}$$

$$k' = 0.368 \quad m = -0.65 \text{ for 27-mm rings}$$

The values of a_w/a_t varied with the packing height to the -0.05 power for all packing materials.

1. 서 론

물질전달조작을 하는 충전탑에 있어서는 물질전달계수를 직접 측정하기가 매우 힘이 들므로, 종래에는 물질전달계수와 유효접촉면적을 곱한 물질전달합성계수($k_G a$ 또는 $k_L a$)로서 측정 연구되어 왔으나, 물질전달계수와 유효접촉면적은 원래 각각 그 성질이 다르므로 계의 변수에 대하여서도 서로 다른 상관관계식을 가질 것이다.

그리하여 근래에는 물질전달계수 k_G 또는 k_L 와 유효접촉면적 a 를 분리하여 연구하는 경향이 있다¹⁻⁶⁾

실제에 있어서 물질전달이 일어나는 유효접촉면적과 거의 같은 충전물의 젖은 면적을 Grimley⁷⁾는 전기전

방법으로 Weisman⁸⁾과 Shulman⁹⁾, Sherwood 및 Pigford¹⁰⁾ 등은 충전탑에서 측정되는 합성계수를 비교하여 간접적으로 구하는 방법 등을 썼으나, 본연구에서는 충전물의 젖은 면적을 직접 관찰하고 정확히 측정하기 위하여 염색적 방법^{4, 11, 12, 13)}을 사용하였으며, 염료액에 의한 충전물의 착색면적을 젖은 면적으로 간주하였다. 충전물(Packing materials)로는 Raschig 링을 사용하였고 밀도, 점도, 표면장력 등의 변수와 공기 및 액의 유속 등의 영향을 조사하여 상관관계식을 유도하여 충전탑 내에서의 물질전달조작의 현상을 더 확실히 구명하려고 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

충전탑은 그 내부의 유동상태를 관찰하기 위하여 두

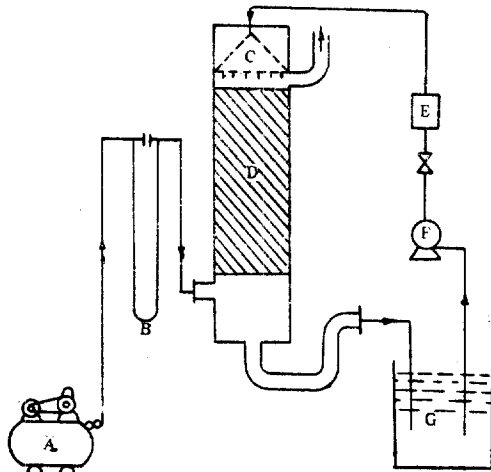
*서울대 工大 化工科 **嶺南대 化工科

계 7-mm, 내경 135-mm, 높이 350-mm 인 유리관을 여러 개 포개서 만들었으며, 상부와 하부에서는 공기 및 액의 공급구와 배출구를 철판으로 연결하였다. 그 실험장치의 배치는 그림 1-A 와 같다.

액의 분배기(distributor)는 액을 고르게 분배시키기 위하여 Fujita¹²⁾와 Hikita¹³⁾씨가 실험한 것보다 Nozzle 수를 훨씬 더 많게 동관(내경 1-mm, 길이 15-mm) 122 개를 그림 1-B 와 같이 정삼각형 배열로 배치하였다. 충전물은 Table 1 에서 표시한 것과 같이 종이 및 Ceramic 로 된 Raschig 링을 사용했으며 종이링은 고급 켄트지를 직경과 높이가 똑 같게 하고, 이중으로 원통형으로 말아서 겹치는 부분에 폴칠을 하여 만들었다.

실험방법은 물탱크의 염료액을 실온(약 25°C)에서 Valve 를 통하여 Rotameter 를 거친 후 충전물보다 6 cm 높은 데에 있는 nozzle plate 를 통하여 흐르게 하였다.

매 실험마다 15 분간 충전탑에 액체를 유입하고 액체를 충분히 펌 후 탭 하부로부터 80°C 의 열풍을 불



A: Compressor
B: Manometer
C: Distributor
D: Packed Column
E: Rotameter
F: Pump
G: Water tank

Fig. 1-A. Experimental Apparatus

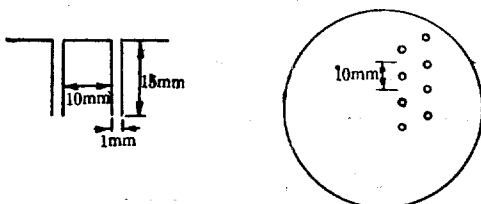


Fig. 1-B Nozzle and Nozzle Plate

Table 1. Packing Materials used

ring 직경	ring 두께	염료액	젖은 면적
17-mm, 27-mm Paper Raschig ring	0.6mm	적색염료 0.005% Rhodamin B	착색된 부분과 착색되지 않은 부분을 잘라서 측정
27-mm Ceramic Raschig ring	2.5mm	적색염료 0.05% Fuchsin	착색된 부분과 착색되지 않은 부분의 넓이를 직접 측정

어넣어 충전물을 건조하여 그 착색된 넓이를 모든 ring 에 대하여 종이 Raschig 링에 있어서는 잘라서 측정하고 Ceramic 링은 투명한 Section Paper 로 관찰 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-a. 공기유속의 영향

27-mm 종이링을 30 cm 높이로 충전시킨 탑에 표면장력 $\sigma=64.15$ dyne/cm, 점도 $\mu=0.82$ c. p. 밀도 $\rho=1.001$ g/cm³ 인 액을 공급하고 공기유속을 변화시킨 결과, 그림 2 에서 보는 바와 같이 a_w/a_t 는 어떤 점(loading Point) 이하에서는 무관계하다.

이것은 Mayo¹¹⁾, Hikita¹³⁾의 결과와도 일치한다.

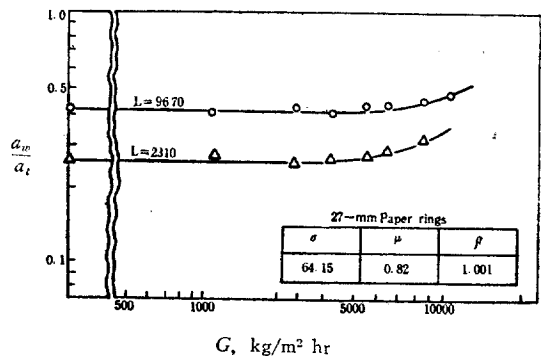


Fig. 2. Effect of Gas Rate on Wetted Area

3-b. 액유속의 영향

종이 및 Ceramic Raschig 링에 대하여 액유속 L (kg/m².hr)과 a_w/a_t 의 관계를 그림 3~6 과 같이 log-log 좌표에 Plot 하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$a_w/a_t = k L^{1/3} \dots \dots \dots (1)$$

k 는 링의 크기와 액의 물리적성질에 관한 비례상수이다. 종이 및 Ceramic Raschig 링은 두께가 서로 다르고 또 표면상태도 다름에도 불구하고 a_w/a_t 의 값은 거의 일치하였다.

따라서 Ceramic 링에서 착색된 부분의 면적을 눈금으로 직접 구하는 것은 상당한 시간이 걸리므로 종이

량만으로 계속 실험하여도 큰 오차가 일어나지 않음을 알았다.

3-C. 점도의 영향

액의 점도를 변화시키기 위하여 glycerine 수용액을 사용하여 점도 μ 를 1.72~3.13 c.p.로 변화시켜서 실험하여 얻은 결과, 그림 3은 점도 0.82 c.p.에서의 실험치와 거의 비슷하였으며, 본 실험의 점도범위에서는 점도의 영향을 무시할 수 있다.

3-d. 표면장력의 영향

액의 표면장력 σ (dyne/cm)이 감소하면 액은 충전물의 표면에 쉽게 퍼지기 때문에 젖은 면적이 증가한다.

액에 계면활성제(Postopal 600)를 혼합하여 표면장력을 30~65 dyne/cm로 변화시켰을 때 표면장력 외에는 액의 점도, 밀도 등의 변화는 일어나지 않았으며 그림 4, 5, 6 등을 볼 때 17 및 27-mm 링에서 평행의 직선이 되었으며 다음과 같은 식을 만들 수 있다.

$$a_w/a_i = k' L^{\frac{1}{2}} \sigma^m$$

여기서 k' 및 m 은 링의 크기에 따라 결정되는 정수이다.

이상에서 젖은 면적에 대하여 큰 영향을 주는 것은 액 질량속도 L , 표면장력 σ 및 링의 크기 d 임을 알았다. 그림 7은 $L=10,000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ 일 때 a_w/a_i vs. σ 를 log-log 라표에 plot 한 것이며, 링의 크기에 따라 경사가 다름을 알 수가 있다. 그 직선의 경사가 (2) 식에 있는 σ 의 지수 m 이다.

17 및 27-mm의 각 링에 대한 k' 는 0.824, 0.368이고 m 는 -0.96, -0.65이다. 즉 링의 크기가 작으면 a_w/a_i 가 작고 액의 표면장력의 영향이 크다.

3-e. 충전층의 높이의 영향

35 cm 높이 유리관 3개를 포개서 27-mm 링을 110 cm 충전시켜 세 가지 액유속에 대하여 취하여 a_w/a_i 의 값을 충전층의 상부로부터 10 cm 간격으로 거리 Z 에

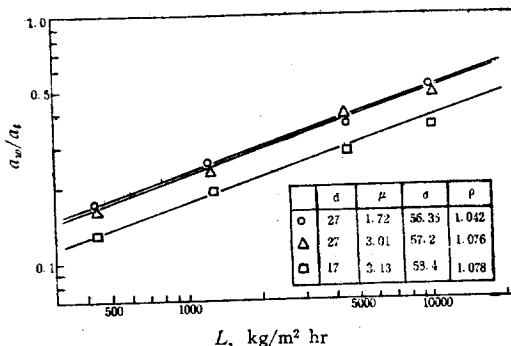


Fig. 3. Effect of Liquid Rate and Viscosity on Wetted Area for 17, 27-mm Paper Raschig Rings

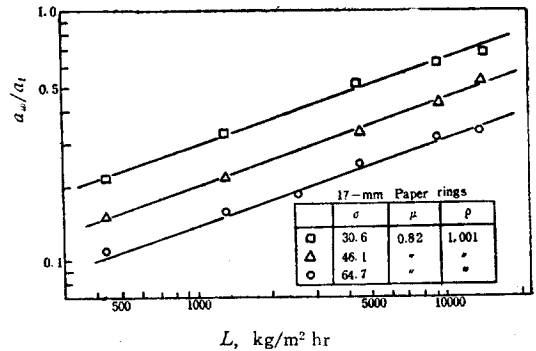


Fig. 4. Effect of Liquid Rate and Surface Tension on Wetted Area for 17-mm Paper Rings

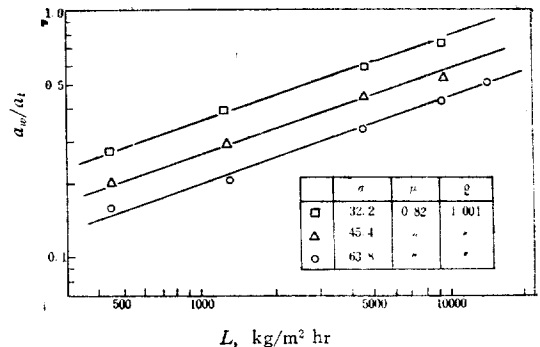


Fig. 5. Effect of Liquid Rate and Surface Tension on Wetted Area for 27-mm Paper Rings

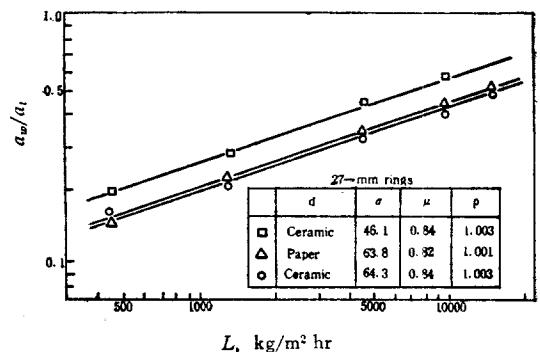


Fig. 6. Effect of Liquid Rate and Surface Tension on Wetted Area for 27 mm Paper and Ceramic Rings

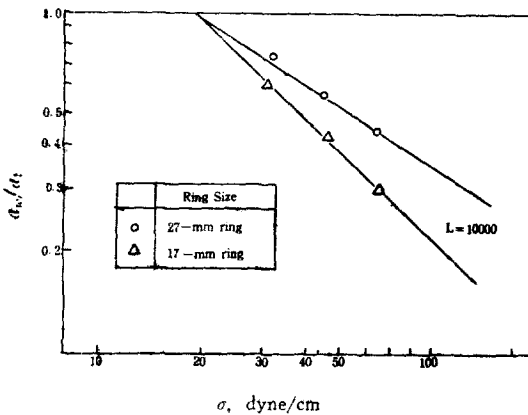


Fig. 7. Fractional Wetted area vs Surface Tension at $L=10000$

대하여 plot 하면 그림 8과 같이 된다.

a_w/a_t 는 Z 의 -0.05 승에 비례한다.

3-f. nozzle의 영향

충전층의 상층부의 젖은 면적은 주로 탑 상층부의 액분포의 상태에 관계된다. Table 2에서 27-mm ring의 a_w/a_t 은 탑 상층부의 액분포가 좋은 경우(nozzle수가 많을 때) 상층부의 a_w/a_t 은 크나, Z 가 증가 할수록 (탑 하부로 갈수록) 감소한다.

Nozzle수가 적은 경우 탑 상층부의 a_w/a_t 은 적어지나 Z 가 증가하면 증가하게 된다. 탑 상층부의 액분포의 영향은 탑의 상층부에만 영향이 있고 탑 전체에는 큰 영향이 없다.

Table 2. Effect of Number of Nozzles at $L=7700$

($\sigma=63.2$, $\mu=0.82$, $\rho=1.001$)

Nozzle 수	bed				전체평균
		상 층	중 층	하 층	
122	a_w/a_t	0.46	0.405	0.39	0.418
84	"	0.42	0.39	0.38	0.397
56	"	0.376	0.39	0.404	0.39
42	"	0.34	0.385	0.41	0.379

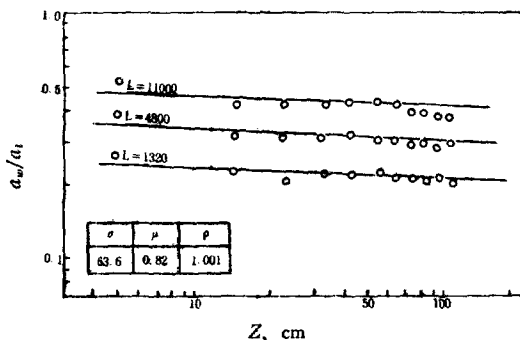


Fig. 8. Effect of Packed Height on Wetted Area for 27-mm Rings

3-g. 링의 내면 및 외면의 젖은 면적의 비

Table 3에서 Raschig 링의 내면과 외면의 젖은 면적의 비는 4:6이며, 젖은 면적의 내면과 외면을 비교하여 보면 액유속, 링의 크기, 표면장력의 변화에 관계되며 점도에는 아무런 영향이 없었다.

Table 3. Ratio of a_i/a_w and a_o/a_w

($\sigma=64.2$, $\mu=0.82$, $\rho=1.001$)

d	L	420	1320	3750	5910	1100	15750
		a_i/a_w	a_i/a_w	a_i/a_w	a_i/a_w	a_i/a_w	a_i/a_w
17-mm rings	a_i/a_w	0.36	0.36	0.37	0.42	0.41	0.42
	a_o/a_w	0.64	0.64	0.63	0.58	0.59	0.58
27-mm rings	a_i/a_w	0.38	0.43	0.41	0.43	0.44	0.44
	a_o/a_w	0.62	0.57	0.59	0.57	0.56	0.56

3-h. 탑내 각 위치의 영향

Bed의 중심부와 외측부의 젖은 면적을 상층, 중층, 하층, 세 부분으로 나누어 측정하기 위하여 내경 13.5 cm 탑에, 링을 30 cm 충전시켜 실험하였으며, bed의 외측부란 유리관의 벽에서 중심쪽으로 3 cm 간격 사이를 말하고 그 이외의 내부를 중심부로 하였다. 상, 중, 하층은 충전물의 높이 10 cm 간격을 말한다. 결과는 Table 4에서 얻은 것과 같이 27-mm 링은 17-mm 링보다 Z 가 증가할수록, 즉 탑 하부로 갈수록 외측부의 젖은 면적이 크다.

Table 4. Effect of Location in Packed Columns

($\sigma=64.1$, $\mu=0.82$, $\rho=1.001$)

d	bed						
		상 층		중 층		하 층	
		중심부	외측부	중심부	외측부	중심부	외측부
17-mm rings	5900	0.286	0.258	0.232	0.215	0.203	0.197
	9500	0.343	0.335	0.312	0.294	0.30	0.298
27-mm rings	3160	0.38	0.352	0.31	0.307	0.28	0.312
	4800	0.402	0.361	0.33	0.314	0.294	0.296
	8000	0.481	0.44	0.402	0.403	0.391	0.415

4. 결 론

(1) 젖은 면적 a_w 는 기체유속(loading Point 이하), 및 액의 점도에 별로 영향을 받지 않는다.

(2) 젖은 면적 a_w 는 액유속 및 표면장력에 대하여 민감하며 다음과 같은 식이 성립한다.

$$a_w/a_t = k' L^{1/3} \sigma^m$$

$$17\text{-mm ring} : m = -0.96, k' = 0.824$$

$$27\text{-mm ring} : m = -0.65, k' = 0.368$$

(3) 충전층의 높이(Z)에 대하여는 a_w/a_t 가 Z 의 -0.05 승에 비례한다.

(4) Raschig ring 자체의 내면은 외면보다 적게 젖으며 내면과 외면의 젖은 면적의 비는 4 : 6 정도이다.

(5) nozzle 수는 상층부에만 영향이 있고 탑 전체에는 큰 영향이 없다.

기 호 설 명

a ;	Effective interfacial area of packings	[m^2/m^3]
a_i ;	inside Wetted area of packings	["]
a_o ;	outside Wetted area of packings	["]
a_t ;	Total surface area of Packings	["]
a_w ;	Wetted area of packings	["]
d ;	Diameter of packings	[cm]
G ;	Gas rate	[kg/m^2 hr]
k, k' ;	Constants for Eqs. (1) and (2)	
k_G ;	Overall mass transfer coefficient on gas phase basis	[$kg\text{-mole/hr}\cdot m^2\cdot atm$]
k_L ;	Overall mass transfer coefficient on liquid phase basis	[m/hr]
L ;	Liquid rate	[$kg/m^2\cdot hr$]
m ;	Exponent for Eq. (2)	
Z ;	Packed height	[cm]
ρ ;	Density of liquid	[g/cm^3]
μ ;	Viscosity of liquid	[c. p.]
σ ;	Surface tension of liquid	[dyne/cm]

참고 문헌

1. Fujita, S. et al ; *Chem. Eng. (Japan)*, 20, 113 (1956)
2. Onda, K. et al : *Chem. Eng. (Japan)*, 25, 820 (1961)
3. Onda, K. et al : *A. I. Ch. E. Journal*, 5, 235 (1959)
4. Hikita, H. et al : *Chem. Eng. (Japan)*, 24, 2 (1960)
5. Shulman, H. H. et al : *A. I. Ch. E. Journal*, 1, 253 (1955)
6. Yoshida, F. et al : *Ind. Eng. Chem.*, 50, 365 (1958)
7. Grimley : *Trans. Inst. Chem. Eng. (London)*, 23, 233. (1945)
8. Weisman and Bonilla : *Ind. Eng. Chem.*, 42, 1099 (1950)
9. Shulman and De Gouff : *Ind. Eng. Chem.*, 44, 1915 (1952)
10. Sherwood and Pigford : "*Absorption & Extraction*," 2nd ed p. 227 (1952)
11. Mayo, Hunter and Nash : *J. Soc. Chem. Ind.* 54, 375T (1935)
12. Fujita and Sakuma : *Chem. Eng. (Japan)*, 18, 64 (1954)
13. Hikita, H. et al : *Chem. Eng. (Japan)*, 20, 528 (1956)