

충전탑에서의 흡수에 의한 물질전달과 수력학적 특성 연구

강성진, 박치균, 길성재, 이경학, 김장호*

(주)전전엔텍 기업부설연구소

(jhkim@jet21c.com*)

The Study of Absorption and Hydraulic Character in Packing Column

Kang Sung Jin, Park Chi Kyun, Kil Sung Jae, Kyong Hak, Kim Jang Ho*

JEONJIN ENTECH Ltd. Research Institute

(jhkim@jet21c.com*)

서론

환경보호와 화학공학의 에너지 절약 측면에서 고성능 충전탑을 사용하고 있다. 충전탑에 사용하고 있는 충전물의 재료는 플라스틱, 금속, 세라믹 등으로 되어 있으며 모양은 격자형으로 1970년대부터 사용되고 있다. 많이 사용되고 있는 충전물 종류로는 VSP-Ring, NSW-Ring, Hiflow-Ring, Hackette, Top-Packing, Envi-Pac 등이 있고, 사용범위는 환경과 화학공업의 열물질전달 공정에서 정류, 증류, 흡수, 탈착과 액-액 추출 등에 사용되고 있다. 과거 사용되고 있는 Intalox-saddle, Rashing-Ring, Pall-Ring 등의 재래적 충전물은 압력손실, 물질전달, 에너지 절약 측면에서 현재 새롭게 개발되어 사용되고 있는 충전물로 인하여 사용이 감소되고 있다.

새로운 충전물을 산업에 적용하기 위해서는 실험을 통한 압력손실, 액체함량, 물질전달, 부하한계값을 규명하는 것이 중요하다. 산업에 사용되고 있는 재래적 충전물의 scale-up 문제를 새로운 충전물을 사용함으로써 물질분리기술에 효과적으로 충전이 가능하게 되었다. 또한 지금까지 충전탑 직경 1m 이상은 사용에 문제가 있었으나, 현재는 규칙적이고 기하학적인 형상으로 된 새로운 충전물을 사용함으로써 충전탑 직경 6m에서 11m까지 제작이 가능하였다.

충전탑 내에서 물질전달 실험에서 가스부하 인수 F_v , 액체부하인수 U_L , 가스확산계수 D_g 로써 가스상의 체적물질 전달계수 $\beta_v \cdot a_e$ 를 구하였으며, 본 연구에서는 gas와 액체 역류 흐름에 의한 수력학적 동특성과 물질전달 실험결과를 나타내었다.

본론

1. 실험 시스템 및 장치

본 연구는 가스상으로부터 건조 압력손실, 가스-액상으로부터 수력학적, 동력학적, 물질전달에 관련된 각각 다른 시스템 : $\text{NH}_3\text{-Air}/\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3\text{-Air}/\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{SO}_2\text{-Air}/\text{NaOH}$ 를 선택하여 실험하였다. 실험에서 사용된 충전탑의 직경은 각각 0.22m, 0.3m, 0.45m 로써 충전탑 높이 $H=0.7\sim 2\text{m}$, 충전물 직경은 25, 50mm, 액체분배량(허용밀도) $B=15\sim 2800 \text{ L/m}^2$ 의 다기관을 사용하였다.

실험에서 발생하는 Sclae-up 문제를 개선하기 위하여 사용한 액체 분배기는 다기관을 통해서 구멍수를 조절하여 실험을 하였으며, 충전탑 윗부분에 설치하였다. 실험에서 사용된 충전물은 Table 1에 나타내었으며, 서로 다른 충전물을 충전한 후 직경과 높이를 다르게 하여 실험 시스템에서 액체함량, 확산계수, 고유압력손실 등을 측정하였다.

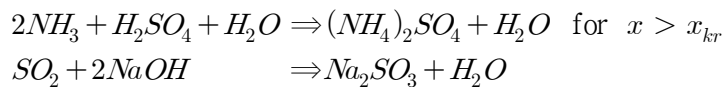
Table 3. Investigated packing

Packing	NOR-PAC PVDF	Hiflow PP	Hiflow Metal
Hight	27 mm	50 mm	28 mm
Diameter	27 mm	50 mm	25 mm
Thickness	2 mm	1.5 mm	0.4 mm

2. 물질전달과 수력학적 특성 고찰

실험시스템의 선택은 가스상과 액상에서 물질전달 저항 특성을 조사하기 위한 실험으로서, 물질전달 특성은 충전탑 내에서 역류하여 흐르는 공기는 하부에서 상부로 통과하는 가스속도 U_G 와 상부에서 하부로 흘러내리는 액체부하 U_L 로서 수력학적 특성을 조사하였다.

본 연구시스템에서 먼저 물질전달 실험의 경우 암모니아(NH_3) 농도는 0.05 kmol/kmol 보다 작은 임계농도에서 가스상 물질전달이 효율적으로 일어남으로서 물질 전달 저항이 적게 발생하였다. 두 번째 물질전달 실험에서 측정된 SO_2 농도는 임계 농도보다 클 경우에는 확산 성분의 분자흐름이 나타나지 않으므로 임계농도는 유체흐름에 관계되어짐을 알 수 있다. 따라서 실험되어진 물질전달 시스템에서 NH_3 는 H_2SO_4 , SO_2 는 $NaOH$ 에 흡수된다.



이때 발생하는 액체상의 물질전달 저항은 무시될 수 있다. 충전탑에 충전물 25mm NSW-Ring 및 50mm Hiflow-Ring을 충전높이 1m 충전하여 가스부하 인수 F_V 의 함수로서 가스만을 통과시켰을 때, 여기에서 발생하는 압력손실은 식 (1)로 얻어지며 Fig. 1에 나타내었다.

$$\Delta P / H = \Psi \frac{1 - \epsilon}{\epsilon^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p \cdot K} \quad (1)$$

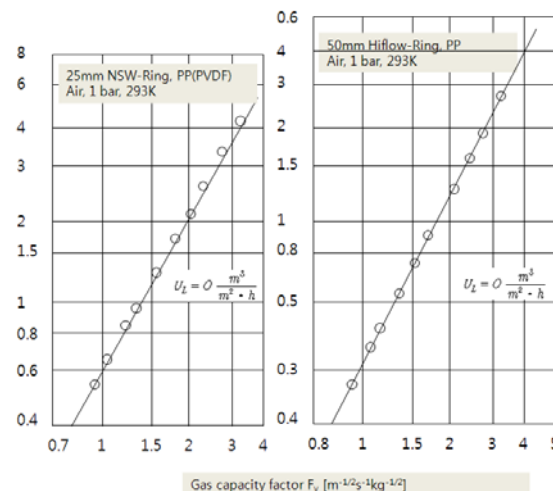


Fig. 1. Pressure Drop for Gas Capacity Factor unwetted NSW-Ring and Hiflow-Ring

충전탑 내에 액체분배기에서 분배된 액체가 충전층에 흘러내릴 때 충전층 내에 압력손실은 식 (2)으로 계산되어 나타낼 수 있으며, 관수되지 않은 충전층에 대한 건조 압력손실은 식 (3), (4)의 관계식에서 나타내어진다.

$$\frac{\Delta P}{H} = \psi_L \frac{[1 - (\epsilon - h_L)]}{(\epsilon - h_L)^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p \cdot K} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta P/H}{\Delta P_0/H} = \frac{\psi_L(1 - (\epsilon - h_L)) \cdot \epsilon^3}{\psi(\epsilon - h_L)^3 \cdot (1 \cdot \epsilon)} \quad \text{for } U_L < U_V \quad (3)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_0} = \frac{\psi_L}{\psi} \left(1 + \frac{h_L}{1 - \epsilon}\right) \cdot \left(1 - \frac{h_L}{\epsilon}\right)^{-3} \quad (4)$$

Table 2는 실험된 시스템을 나타내었고, 실험 결과는 충전탑 상부에서 분배되는 액체 분배가 균일하게 됨으로서 정류공정에서 분리효율이 증가됨을 알 수 있다.

Table 2. Test Conditions for Packing Studies

Symbol	$\frac{d_s}{m}$	$\frac{H}{m}$	$\frac{N}{1/m^3}$	B	
				$1/m^2$	TYP
▽	0.22	1.2	38,300	2,315	1
▼	0.3	1.4	39,917	122	1
●	0.45	2.0	36,639	1,350	1
●				155	1
△				400	1
△				730	1
▲				24,00	2
○	0.3	1.37	40,790	15	1

실제로 액체 함량은 난류범위에서도 압력손실 $\Delta P/\Delta P_0$ 가 일정하게 된다. 가장 적합한 조건은 각 시스템에서 실험한 결과는 식 (5)로 결정되고, 충전물 상수 C_p 도 구해지며, 이러한 결과에 의해서 식 (6)이 유도된다.

$$\Delta P/NTU_V = C_p \cdot F_V^2 \cdot Sc_V^{2/3} \quad (5)$$

$$\frac{(\Delta P/NTU_V) \cdot Sc_V^{-2/3}}{F_V^2} \approx C_p \equiv const \quad (6)$$

Fig. 2에서는 식 (6)의 결과를 나타내었으며, 과부하 이하에서는 대수 그래프의 기울기 $n=2$ 로 증가됨을 나타내었다.

결과적으로 전달단위높이는 식 (7)로 계산되며, 체적물질 전달계수는 액상의 저항력을 고려하여 식 (8)에 의해서 결정되어 진다. 결론적으로 실험 결과에서 전체 전달단위높이를 구할 수 있다.

$$HTU_V = (\Delta P/NTU_V)/(\Delta P/H) \quad (7)$$

$$HTU_{OV} = HTU_V + (m_{yx} \cdot \frac{V}{L}) \cdot \left(\frac{u_L}{\beta_V \cdot \alpha_e}\right) \quad (8)$$

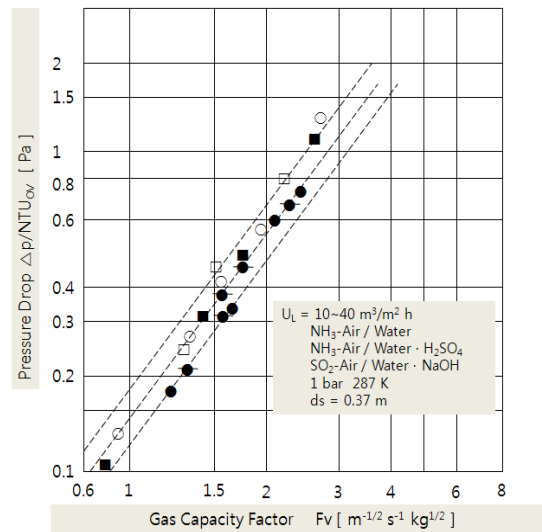


Fig. 2. Specific Pressure Drop for Gas Capacity Factor in Three System

결론

충전탑에 충전되는 충전물에서 지름이 다른 격자형을 충전하여 각각 다른 물질전달 시스템으로 실험하여 나타난 결과에서 효율적인 유체역학, 물질전달, 수력학, 동적특성을 연구하여 과거에 사용하던 재래식 충전물과 비교해 보면,

- 1) 높은 부하상태에서 물질전달이 발생하는 경우, 압력손실이 적게 발생됨으로서 충전탑 운전에 필요한 소요동력이 적게 든다.
- 2) 열에 민감한 혼합물질을 효과적으로 분리함으로써 흡수, 탈착, 추출, 정류, 증류 공정에 효과적으로 이용될 수 있다.

따라서 본 연구결과를 근거로 정밀화학과 환경보호분야에 사용하기 위한 충전탑의 설계, 시공, 운전이 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This work was supported by the Global Leading Technology Program of the Office of Strategic R&D Planning(OSP) funded by the Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea. (10042424) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Research and Development for Regional Industry(R0000495)

참고문헌

1. Adisorn Aroonwial, Amornvadee Veaqab and Paitoon Tontiwachwuthikul, Behavior of the Mass-Transfer Coefficient of Structured Packing in Absorbers with Chemical Reactions, Ind. Eng. Chem. Res., 38, pp. 2044~2050, (1999).
2. Billet, R, "Influence of initial Liquid Distribution on Mass Transfer in Packed Beds", Chinese J. of Chem. Eng., pp. 98~112, (1994).
3. E. F. Wijn, "On the Lower Operating Range of Sieve and Valve Trays", J Chem. Eng., 70, pp. 143~155 (1998).
4. Billet, R and J. Mackowiak, vt-"Verfahrenstechnik" 16(1982) Nr. 2, s. 77/74.