

Bubble Column에 있어서의 Gas Hold-up에 미치는 부유물의 영향에 관한 연구

金柱奉* · 孫鎮彥* · 金相烈*

A Study on the Effect of the Solid Suspension to the Gas Hold-up in the Bubble Column

*Joo Bong Kim. · *Jin Un Sohn. · *Sang Yul Kim.

Dept. of Chem. Eng., College of Engineering, Dong-A University

Abstract

The effect of the solid suspension to the gas hold-up in the bubble column was studied where by;
(1) The relation between the gas velocity (U_G) and the gas hold-up ($1-\varphi$) in the independent bubble flow range ($U_G \approx 0 \sim 7$ cm/sec) at different specific gravity of solid suspension and its weight was linear, while in the blow up flow range of bubbles the gas hold-up was constant to the gas velocity.
(2) In the independent bubbles flow range, the relation among the gas hold-up ($1-\varphi$), the specific gravity (ρ) of solid suspension and its weight (W), the gas velocity (U_G) appeared as follows;

$$(1-\varphi) = 0.3567\rho - 3.044W - 0.4726U_G$$

1. 서 론

Bubble column의 연구로서는, 먼저 정지 액탑에 공기를 불어 넣는 기포탑에 관한 실험으로 Verschoor¹⁾, Stein²⁾, Houghton³⁾ 등에 의하여 연구되어 있으며 기액 향류의 경우에는 Schulman²⁾에 의하여 연구되어 있다.

또한 Kato⁵⁾에 의해서도 공기의 유속, 액의 유속, 탑경, 탑높이, distributor의 hole number, distributor의 hole diameter, 기액 향류, 기액 병류등의 변화에 따른 gas hold-up을 측정하여 위의 여러 변수에 관한 상호관계를 해석했다. 본 실험에서는 탑내에 흐르는 액

에 부유물인 고형입자를 넣었을 때, distributor의 hole number와 hole diameter의 변화에 따라 gas hold-up에 미치는 영향을 검토하였으며, 또한 액의 유속을 정지 상태에 두었을 때 부유물인 고형입자의 무게, 비중 및 가스의 유속이 gas hold-up에 미치는 영향과 그들의 함수관계를 검토하였다.

2. 실험

1. 장 치

실험장치는 Fig. 1, 2와 같이 투명한 폴라스틱 판으로 만들어진 다단탑 인데 직경은 $\phi 48$ mm, 탑의 높이 2000 mm이고 25 cm 간격마다 flange로 연결되어 있으며

*東亞工大 化學工學科

그곳에 각자 distributor 을 넣으면 단단으로 사용할 수 있고 그대로 사용하면 단단으로도 쓸 수 있게 만들었다. 특히 Fig. 2는 distributor의 hole number 와 hole

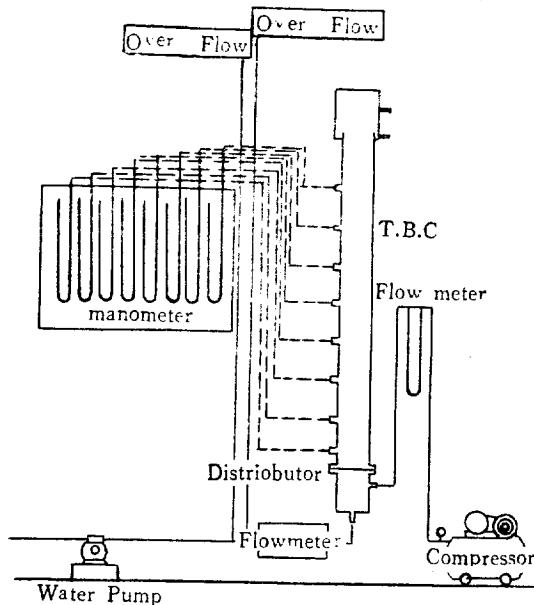


Fig. 1 Schematic Apparatus for Experiment

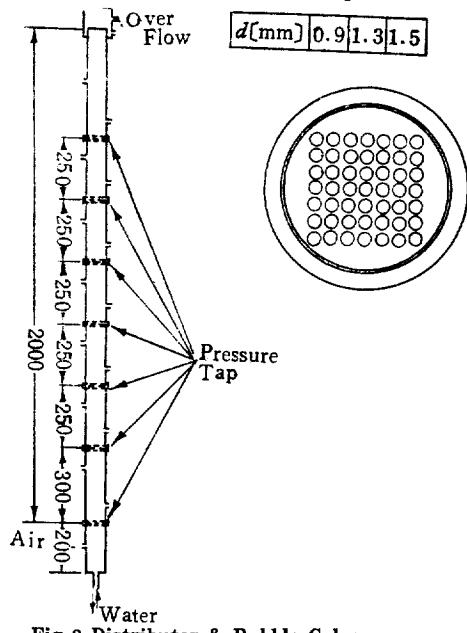


Fig. 2 Distributor & Bubble Column

diameter 등을 표시한 것이다.

2. 실험방법

압축기로 부터 나온 공기를 flow meter로 통해서 column의 하부에 있는 distributor에 불어넣어 기포를 상승시키고, 원심펌프에서 나온 물을 탑내에 흐르게 한다.

또한 탑내에 부유물로서 폴리염화비닐 입자를 넣어 공기와 물이 혼합되어 기포를 만들 때, 이 기포의 압력과 물이 단독으로 정지했을 때의 압력을 각자 manometer에서 측정한다. 또한 물의 속도를 정지상태에 두고 부유물의 무게를 변화시키거나 혹은 부유물의 비중을 변화시켰을 때의 공기의 속도와 gas hold-up 을 알파와 같이 측정했다.

3. 결론

액의 hold-up 을 φ , 탑의 전용적을 V , 그중 액과 기포가 차지하는 용적을 각자 V_L , V_G 라 하면 gas hold-up $(1-\varphi)$ 은 다음과 같다.

$$(1-\varphi) = \frac{V_G}{V} = (V - V_L/V) \quad (1)$$

지금 탑의 단면적을 A 라 하면

$V = Al$, $V_L = Al_L$, $V_G = Al_G$ 이므로 (1) 식은 다음과 같이 된다.

$$(1-\varphi) = \frac{l_G}{l} = (l - l_L)/l \quad (2)$$

한편 탑 상부에서의 길이 l 점에서의 정압과 대기압과의 차를 액만이 흐를 때 ΔP_{LV} , 기액혼상류 일때 ΔP_{MV} 라 하면, 각기 다음과 성립한다.

$$\Delta P_{LV} = lP_{LG}/g_c + \Delta P_{LF}$$

$$\Delta P_{MF} = l_L P_{LG}/g_c + \Delta P_{MF} \quad (1)$$

여기에서 ΔP_{LF} 은 액이 흐를 때의 마찰손실, ΔP_{MF} 은 기액혼상류의 비가역(非可逆) 변화에 의한 압력 손실이다.

본 실험에서는

$$(\Delta P_{LV} - \Delta P_{MV}) \gg |\Delta P_{LF} - \Delta P_{MF}| \quad (5)$$

이므로 (3), (4), (5)식에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$(1-\varphi) \approx (\Delta P_{LV} - \Delta P_{MV})gc/l\rho_{LG} \quad (6)$$

N 을 단위 용적당에 대한 기포의 수라 하고 기포군의 평균상승 속도를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$U_c = vN (\pi/6)\delta^3 \quad (7)$$

탑내의 가스의 용적을 구하면

$$Al(1-\varphi) = AlN(\pi/6)\delta^3 \quad (8)$$

의 관계식이 성립하므로 (7)식과 (8)식을 결합시키면

$$v = U_G / (1 - \varphi) \quad (9)$$

이 성립한다. Fig. 9에서

$$U_G = 5, W = 10g \text{ 일 때}$$

$$(1 - \varphi) = 0.61 \rho^{-3.044} \quad (10)$$

을 얻을 수 있고

또한 $(1 - \varphi) = 0.2, \rho = 1.4$ 일 때

$$U_G = 1.71 W^{0.4726} \quad (11)$$

이 된다. (10)식과 (11)식을 결합시키면

$$(1 - \varphi) = 0.3567 \rho^{-3.044} W^{-0.4726} U_G \quad (12)$$

이 성립된다.

4. 고 찰

(1) Fig. 3, 4, 5 와 같이 부유물의 무게를 각각 $W = 10g., 15g.$ 및 $20g.$ 에 대해서 비중을 변화시켰을 때의 영향을 gas의 유속과 gas hold-up로 plot 하면 독립기

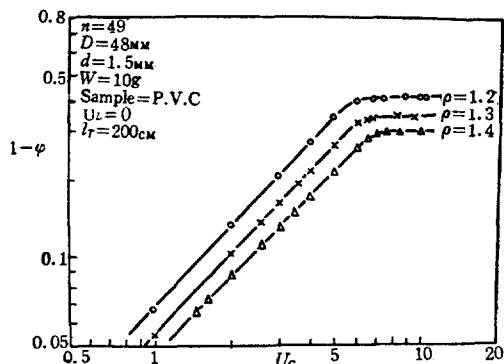


Fig. 3 $(1 - \varphi)$ vs U_G at Different Specific Gravity of 10g. of Solid Suspension

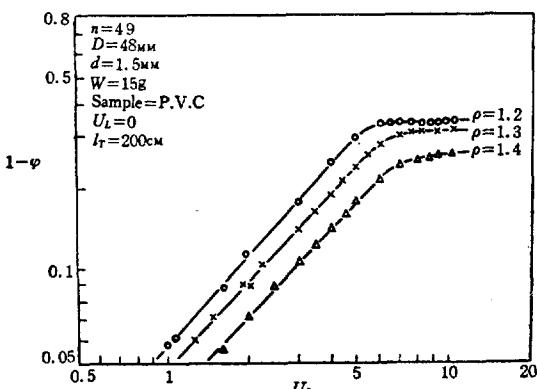


Fig. 4 $(1 - \varphi)$ vs U_G at Different Specific Gravity of 15 g. of Solid Suspension

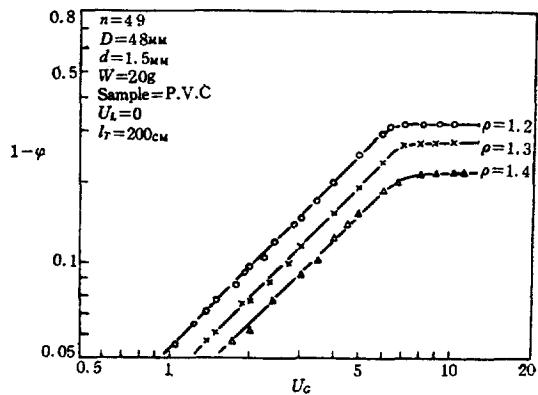


Fig. 5 $(1 - \varphi)$ vs U_G at Different Specific Gravity of 20 g. of Solid Suspension

포군의 범위($U_G = 0 \sim 7 \text{ cm/sec}$)에서는 gas의 유속과 gas hold-up 사이에는 직선적인 관계가 성립하고 그 이상의 범위(blow up-flow range 나 gas agitating-flow range)에서는 가스의 유속에 관계없이 gas hold-up은 평형 상태가 되어 일정한 값을 나타냄을 알았다.

(2) Fig. 6, 7, 8은 부유물의 비중을 각자 $\rho = 1.2, 1.3$ 및 1.4 에 대해서 무게를 변화시켰을 때의 영향을 gas 유속과 gas hold-up로 plot 한 것인데 독립기포군의 범위($U_G = 0 \sim 7 \text{ cm/sec}$)에서는 부유물의 무게의 경우와 똑같이 직선적인 관계가 성립하고 그 이상의 범위(blow up-flow range 와 gas agitating-flow range)에서도 역시 평형 상태로서 가스의 유속에 영향을 받지 않고 일정한 값을 가지는 것을 알았다.

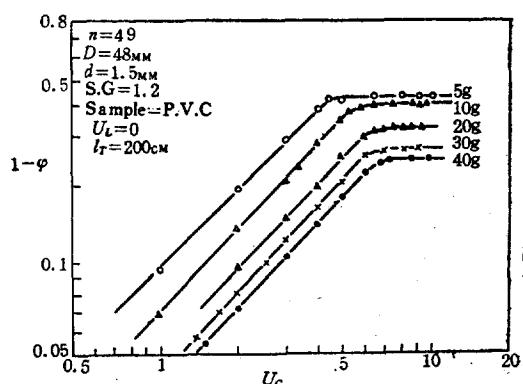


Fig. 6 $(1 - \varphi)$ vs U_G at Different Weight of Solid Suspension (S.G.; 1.2)

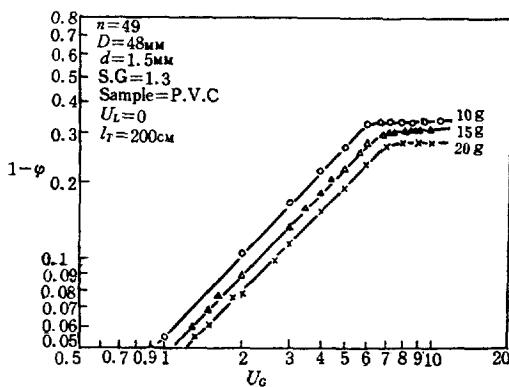


Fig. 7 $(1-\phi)$ vs U_G at Different Weight of Solid Suspension (S.G.; 1.3)

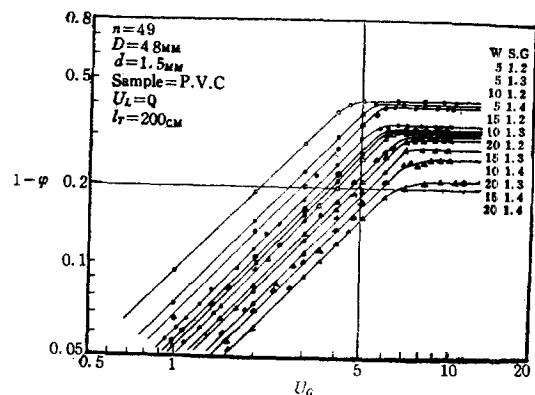


Fig. 9 $(1-\phi)$ vs U_G at Different Weight and Specific Gravity of Solid Suspension

$$U_G = 1.71 \bar{W}^{0.4726} \quad (11)$$

또 (10)식과 (11)식에서 다음과 같은 관계식 (12)을 얻었는데 이 식은 독립기포군의 범위 ($U_G=0 \sim 7\text{cm/sec}$) 안 균일층에서만 성립한다.

$$(1-\phi) 0.3567 \rho^{-3.044} \bar{W}^{-0.4726} U_G \quad (12)$$

(4) Fig. 10, 11은 기포의 평균상승 속도와 U_G 와의 관계를 부유물의 무게와 비중의 변화에 따라 표시한 것인데 Fig. 10과 Fig. 11을 종합한 Fig. 12에서 관찰된 결과를 보면 부유물의 무게나 비중에 대해서 독립기포

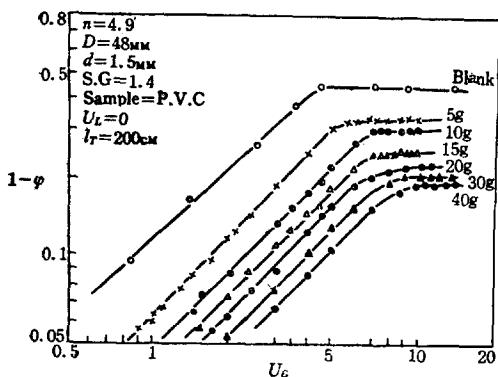


Fig. 8 $(1-\phi)$ vs U_G at Different Weight of Solid Suspension (S.G.; 1.4)

(3) Fig. 9는 부유물의 무게와 비중에 대한 실험결과 (Fig. 3-8)를 종합한 것이다. 이 Fig. 9에서 $U_G=5\text{ cm/sec}$, $W=10\text{g}$ 로 일정하게 두고 독립기포군의 범위 ($U_G=0 \sim 7\text{cm/sec}$)에서 gas hold-up ($1-\phi$)과 부유물의 비중 ρ 와의 관계를 Fig. 13에 표시 하였다. 여기서 구한 식은 다음과 같다.

$$(1-\phi) = 0.61 \rho^{-3.044} \quad (10)$$

또한 $(1-\phi)=0.2$, $\rho=1.4$ 로 두고 똑같은 범위에서 공기의 유속 U_G 와 부유물의 무게 W 와의 관계를 역시 Fig. 13에 나타내었다. 여기서 U_G 와 W 와의 관계를 구하면 다음과 같다.

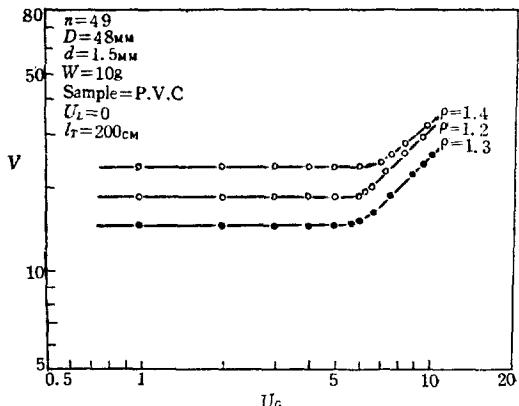


Fig. 10 v vs U_G at Different Specific Gravity of 10g. of Solid Suspension

군의 범위에서는 기포의 평균 상승속도가 가스의 유속에 무관계 하나 그 이상의 범위(blow up-flow range)와 gas agitating-flow range)에서는 가스의 유속이 커짐에 따라 더욱 더 기포의 평균상승 속도가 급격하게 커지고 있음을 알 수 있다. 또한 비중과 무게의 변화에 대한 몇몇 경우에서는 기포의 평균상승 속도가 일치하고 있는 것도 알 수 있다.

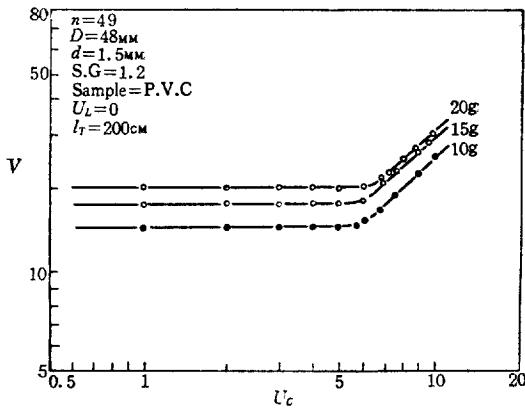


Fig. 11 v vs U_G at Different Weight of Solid Suspension (S.G; 1.2)

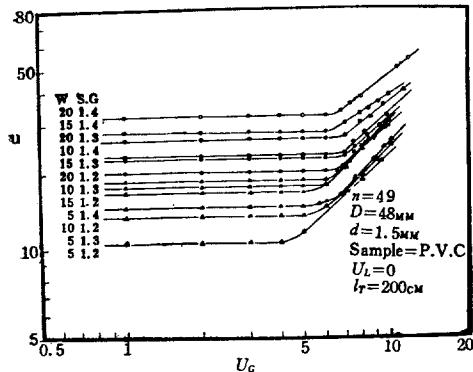


Fig. 12 v vs U_G at Different Weight and Specific Gravity of Solid Suspension

(5) Fig. 14 는 distributor 의 hole diameter 를 변화 시켰을 때 gas hold-up과 공기유속 U_G 와의 관계를 표시한 것인데 구멍의 직경이 클 수록 gas hold-up이 적어

지는 것을 알았다.

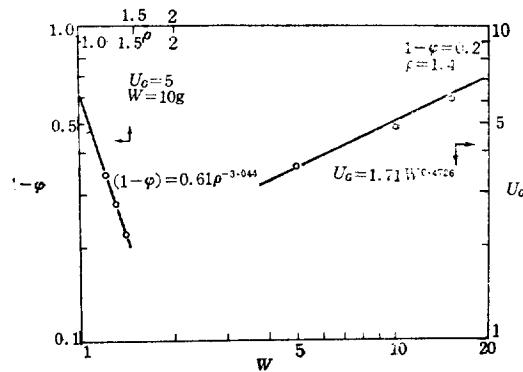


Fig. 13 Plots of $(1-\varphi)$ vs Specific Gravity at $U_G=5\text{cm/sec}$, $W=10\text{g}$, and Plots of U_G vs W at $(1-\varphi)c=0.2$, $\rho=1.4$

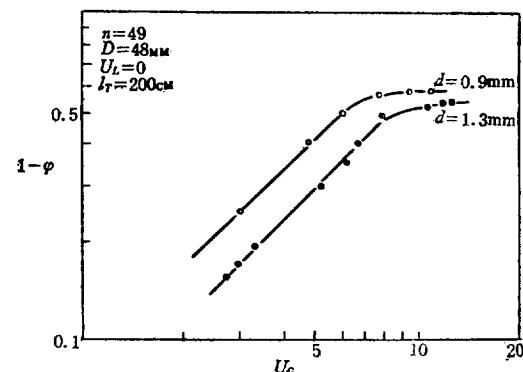


Fig. 14 $(1-\varphi)$ vs U_G at Different Hole Number of Distributor.

5. 결 론

(1) 부유물의 무게에 대한 gas hold-up의 영향은 Fig. 3, 4, 5 와 같이 독립기포군의 범위 ($U_G=0.7\text{cm/sec}$)에서는 gas hold-up과 공기의 유속 U_G 사이에는 직선적인 관계가 성립한다. 그 이상의 범위에서의 gas hold-up은 U_G 에 무관계 하다.

(2) 부유물의 비중에 대한 gas hold-up의 영향은 Fig. 6, 7, 8 과 같이 독립기포군의 범위에서는 gas hold-up과 U_G 사이에 직선적인 관계가 성립하며 그 이상의 범위에서는 gas hold-up이 공기의 유속에 관계없이 일정한 값을 가진다.

(3) 독립기포군의 범위에서는 gas hold-up ($1-\varphi$)과
부유물의 비중 ρ , 부유물의 무게 W 및 공기의 유속
 U_G 사이에는 다음과 같은 관계식의 성립됨을 알았다,

$$(1-\varphi) = 0.3567 \rho^{-3.044} W^{-0.4726} U_G \quad (12)$$

6. NATATION

A ; Cross-sectional area of column	(cm ²)
D ; Column diameter	(cm)
d ; Hole diameter	(cm)
g ; Gravitational acceleration velocity	(cm/sec ²)
g_c ; Gravitational conversion factor (g.cm/Gr. sec ³)	
l ; Column length from the top	(cm)
l_G ; V_G/A	(cm)
l_L ; V_L/A	(cm)
l_T ; Total column length	(cm)
N ; Number of bubble per unit volume (1/cm ³)	
n ; Number of hole	
ΔP_{LV} ; Total pressure drop for liquid flow in the vertical column	(Gr/cm ²)
t ; Liquid temperature	(°C)
U_G ; Gas velocity based on A	(cm/sec)
U_L ; Liquid velocity based on A	(cm/sec)

V ; Column volume	(cm ³)
V_L ; Liquid volume	(cm ³)
v ; Average velocity of bubble rising through a cross-section in a column	(cm/sec)
φ ; Average liquid hold-up per unit volume of the column 1 or l_T	(→)
$(1-\varphi)$; Average gas hold-up per unit volume of the column 1 or l_T	(→)
ρ_L ; Specific gravity of liquid	(→)
ρ ; Specific gravity of solid suspension particles	(→)
W ; Weight of solid suspension particles	(g.)

7. LITERATURE CITED

1. G. Houghton, A. M. Mclean and P. D. Ritchie: *Chem. Eng. Sci.*, **7**, 40(1957).
2. Shulman, H. L. and M. C. Molstad: *Ind. Eng. Chem.*, **42**, 1058 (1950).
3. Stein, N., et al.: *Petrol. Trans.*, AIME, **192**, 233 (1952).
4. Verschoor, H.: *Trans. Inst. Chem. Eng.* (London), **28**, 52 (1950).
5. Kato, Y.: *Kagaku Kogaku* **26**, 1068 (1962).