

기포탑내에서의 몇가지 용액에 대한 가스 호울드업 (I)

김 주 봉 · 손 진 언 · 김 상 열

동아대학교 공과대학 화학공학과

(접수 74. 1. 10.)

Gas hold-up to Several Aqueous Solution in Bubble Column (I)

Joo-Bong Kim · Jin-Un Sohn · Sang-Yul Kim

Department of Chemical Engineering, College of Engineering

Dong-A University, Busan, Korea

요 약

기포탑에서 다공판의 구멍의 크기를 여러가지로 변화시키고 또 용질의 농도를 변화시킨 무기전해액 및 여러유기물액체에 대하여 “가스 호울드업”를 측정하였다.

실험결과로 부터 비중, 용액의 표면장력, 다공판의 구멍의 크기, 가스유속 및 “가스호울드업”사이의 상관성을 수식화했다.

Abstract

Gas hold-up was measured for several aqueous solutions of inorganic electrolytes and organic liquids at various hole sizes of perforated plate and various concentrations of solutes. From experimental results, correlations were formulated among specific gravity, surface tension of solution, hole size of perforated plate, gas flow rate and gas hold-up in bubble column.

서 론

지금까지 기포탑내의 가스호울드업에 관해서는 여러

가지 관점에서 많이 연구되어 있으며¹⁾⁻³⁾ Verschoor⁴⁾은 물과 유기용매내의 기포탑을 통한 작은 기포에 대한 보고가 있으며, 최근에 와서 Kato⁵⁾등에 의하여 다공판을 통한 기포의 직경을 측정하여, 표면장력, 용액의

비중, 다공판의 구멍의 직경 및 가스유속사이의 상호관계를 밝히고 있다.

본 실험은 용액의 종류에 따라, 표면장력, 비중, 다공판의 구멍면적의 비(ϵ) 및 가스유속을 변화시켜서 각각 그때의 가스호울드업을 측정 하였고 그결과에서 표면장력이 유사한 용액을 구분하고 무차원군에 의하여 이들 상호관계를 규명하여 보고한다.

실 험

1. 실험장치

이미 발표한 바와⁶⁾ 같은 투명한 플라스틱 관으로 만들어진 기포탐으로서, 직경 50 mm 높이 500 mm 이고 아래부분에 Table 1. 과 같은 종류의 다공분산판을 삽입하여 실험을 하였다.

Table 1. Perforated plate used for experiment

Material	Hole diameter of distributor	Ratio of hole area (%)
Aluminium	0.3mm	0.285
"	0.7mm	0.992
"	1.0mm	2.463

2. 실험재료

실험에서 사용된 용액의 종류는 Table 2. 와 같다.

Table 2. Properties of the used liquids

Sort of liquid	concentration	density (g/cm ³)	surface tension (dyne/cm)
Ammonium chloride	1 M	1.02	72.75
	0.1 M	1.002	71.60
	0.01M	0.9995	73.74
Sodium carbonate	1 M	1.097	71.83
	0.1 M	1.012	64.04
	0.01M	1.000	57.10
Sodium sulfate	1 M	1.072	71.83
	0.1 M	1.008	72.76
	0.01M	1.000	72.38
Sodium nitrate	1 M	1.047	59.01
	0.1 M	1.008	55.61
	0.01M	1.000	57.54

Sodium oxalate	0.1 M	1.017	69.67
	0.01M	1.002	66.41
Glycerine	10%	1.022	63.03
	20%	1.050	57.48
	30%	1.062	61.65
n-Propanol	25%	0.975	27.44
	50%	0.930	25.21
	95%	0.816	25.51
Acetic acid	25%	1.020	36.73
	50%	1.023	31.24

3. 실험방법

이미 발표한 바와⁶⁾ 같이 압축기로 부더의 공기를 유량계를 통하여 용액이 들어있는 기포탐의 아래쪽 다공분산판에서 유입시켜 기포의 상승에 따른 가스 호울드업은 용액의 종류, 농도, 표면 장력에 따라 각각 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 용액의 종류 농도 및 표면장력에 따른 가스 호울드업

Fig. 1. 에 나타난 바와 같이 염화암모늄 용액에서는 다공판의 구멍수 및 구멍직경이 일정할때 농도의 변화 (표면장력은 거의 일정)에 따른 가스유속에 대한 가스 호울드업은 거의 같다. 이것은 Fig. 1. 에서 염화암모늄의 3 가지 용액들의 표면장력이 거의 같은 값을 가지고 있기 때문이다.

Fig. 2. 에서 식초산용액은 ϵ 가 일정한 경우에 농도 변화에 따른 가스유속의 증가를 알 수 있고 동시에 묽은 용액일 수록 표면장력이 증가 하는 것과 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 3, 4 및 5 는 탄산나트륨 용액의 구멍면적비가 각각 0.03 ϕ , 5 \times 5; 0.07 ϕ , 7 \times 7 및 0.1 ϕ , 8 \times 8에서의 U_G 와 가스호울드업 사이의 관계를 나타낸 것으로, 구멍면적비가 적을 때 (Fig. 3. 의 경우)는 농도가 묽을 수록 표면장력이 증가하고 농도변화에 따라 U_G 에 대한 가스호울드업이 상당한 큰 차이를 나타내다가 농도가 묽어짐에 따라 ϵ 이 커질수록 (Fig. 4. 의 경우) U_G 에 대한 가스 호울드업 차가 점차로 적어져서 Fig. 5. 의 경우에는 가스 호울드업이 농도 및 표면장력변화에 관계 없이 거의 같게 될을 알 수 있다.

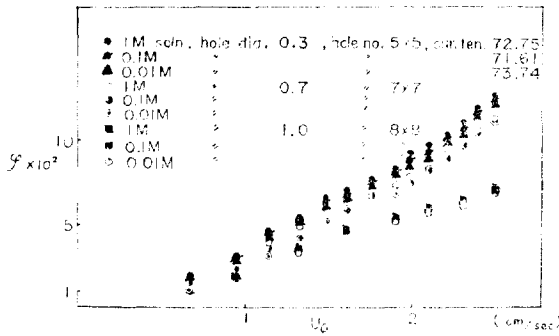


Fig. 1. ϕ vs. U_G (ammonium chloride solution)

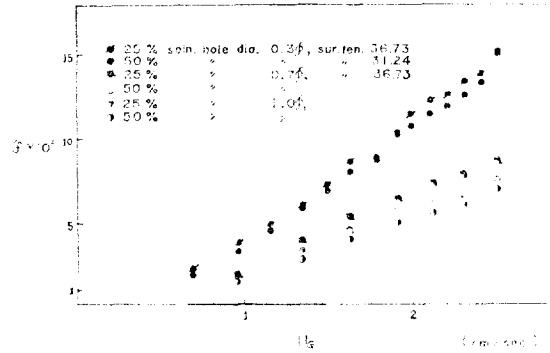


Fig. 2. ϕ vs. U_G (acetic acid solution)

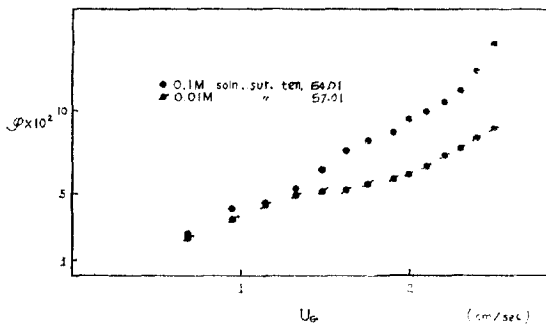


Fig. 3. ϕ vs. U_G (sodium carbonate solution, hole dia. 0.3, hole no. 5x5)

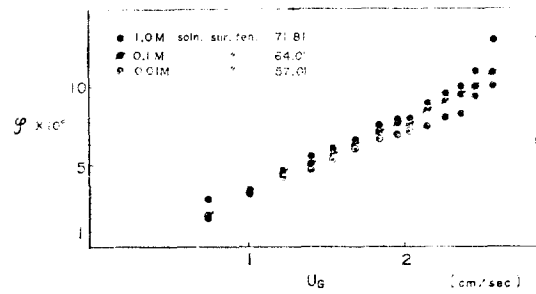


Fig. 4. ϕ vs. U_G (sodium carbonate solution, hole dia. 0.7, hole no. 7x7)

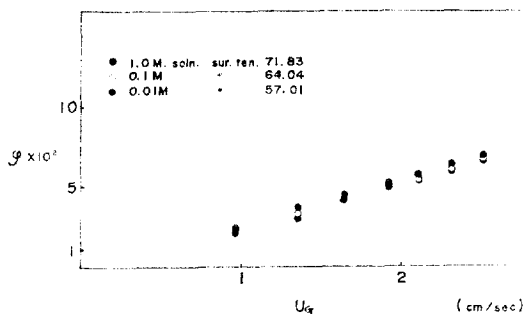


Fig. 5. ϕ vs. U_G (sodium carbonate solution, hole dia. 1.0; hole no. 8x8)

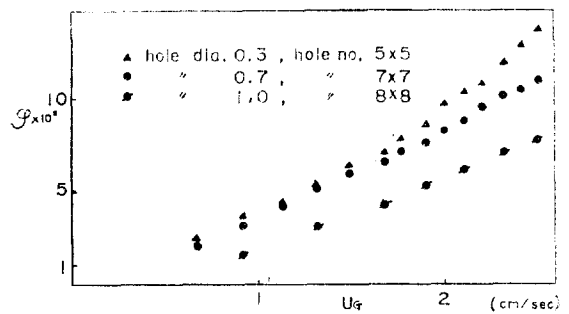
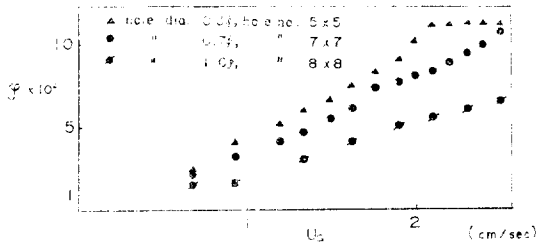
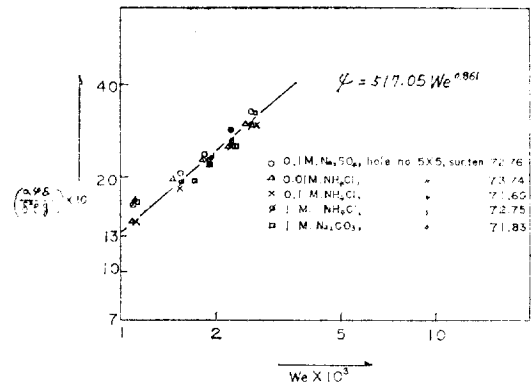
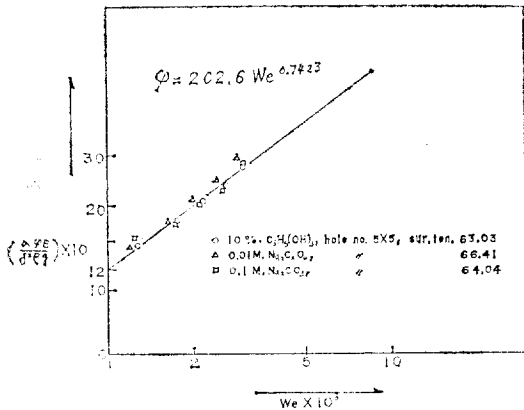
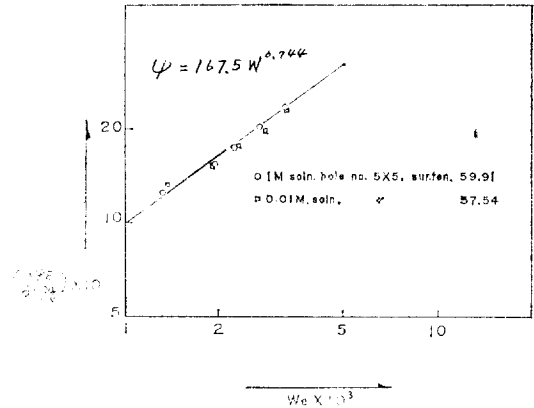
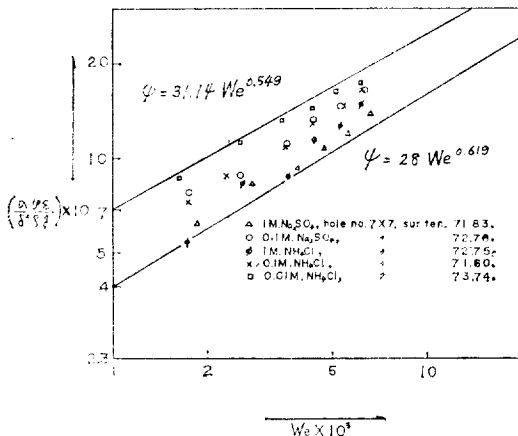


Fig. 6. ϕ vs. U_G (glycerine solution, 10%)

Fig. 7. ψ vs. U_G (glycerine solution, 20%)Fig. 8. $\left(\frac{\sigma \phi \varepsilon}{\delta^2 \rho g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (hole diameter 0.3)Fig. 9. $\left(\frac{\sigma \phi \varepsilon}{\delta^2 \rho g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (hole diameter 0.3)Fig. 10. $\left(\frac{\sigma \phi \varepsilon}{\delta^2 \rho g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (sodium nitrate solutions at hole diameter 0.3)Fig. 11. $\left(\frac{\sigma \phi \varepsilon}{\delta^2 \rho g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (hole diameter 0.7)

2. 다공판의 구멍면적의 비에 따른 가스 호을 드임

각실험결과에서 전반적으로, U_G 에 대한 가스 호을 드임은 ε 값이 적을 수록 증가하고 더욱 Fig. 6, 7에서 나타난 바와 같이 농도가 일정한 용액을 ε 의 변화에 따라서 표시한 결과는 위의 고찰과 잘 일치 되고 있는 것을 알 수 있다.

또한 표면장력이 유사한 B group ($\sigma=63.03-66.41$)에서 Fig. 9, 12 및 15에 나타난 결과를 관찰하면 ε 의 변화에 따른 $\left(\frac{\sigma \phi \varepsilon}{\delta^2 \rho g}\right) \times 10^3$ 과 $We \times 10^3$ 과의 사이에 직선적인 관계가 성립되고 ε 이 증가하면 위의 관계에서 절편이 감소하는 것을 알 수 있다.

3. 몇 가지 파라미터와 가스 호울드업과의 상관관계

무기염용액에 있어서는 가스 호울드업에 영향을 주는 가장 중요한 인자는 표면장력이며, 표면장력이 유사한 용액들을 3 group (A group=57.01~59.01, B group=63.03~66.41, C group=71.6~73.4)으로 나누어서 가스 호울드업에 영향을 주는 무차원군(dimensional groups)인 $\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) \times 10$ 과 $We \times 10^3$ 사이에 직선관계가 있는 것을 Fig. 8~16에 나타내었으며 구체적으로, Fig. 8, 9 및 10에서는 ϵ (구멍수 5×5 ,

구멍직경 0.3ϕ)이 일정한 경우, (log-log plot 상에서 관찰 할때) 직선의 절편(A group 12, B group 12, C group 13.2)이 클수록 표면장력도 증가하는 것을 알 수 있다.

이것을 식으로 표현하던 (1)~(3)과 같다.

$$\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) = 517.05 We^{0.861} \quad (1)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) = 202 We^{0.7422} \quad (2)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) = 167.5 We^{0.744} \quad (3)$$

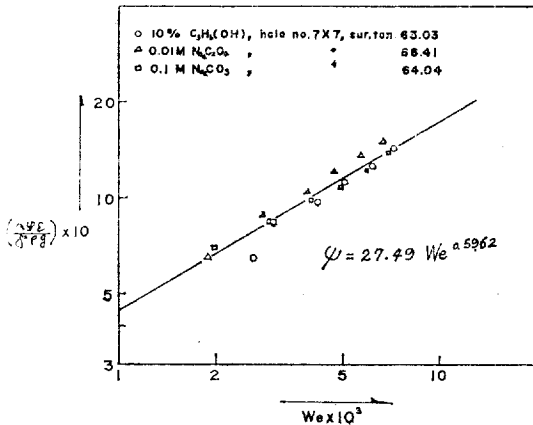


Fig. 12. $\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (hole dia. 0.7ϕ)

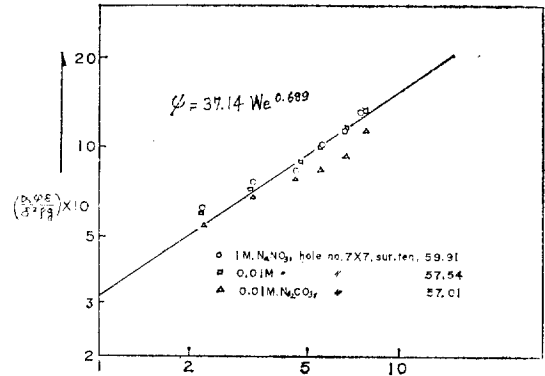


Fig. 13. $\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, (hole dia. 0.7ϕ)

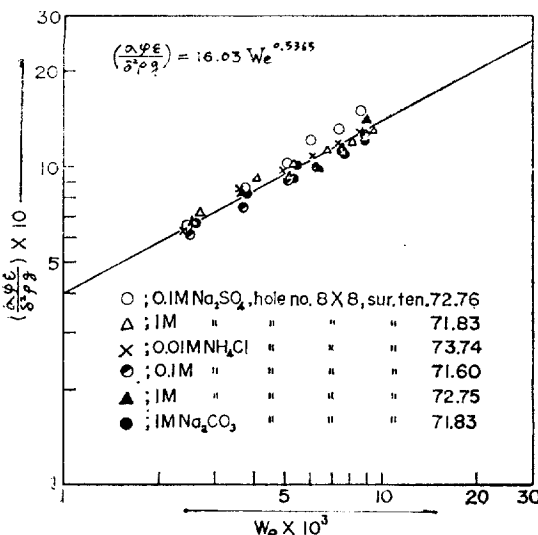


Fig. 14. $\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) \times 10$ vs. $We \times 10^3$, (hole dia. 1.0ϕ)

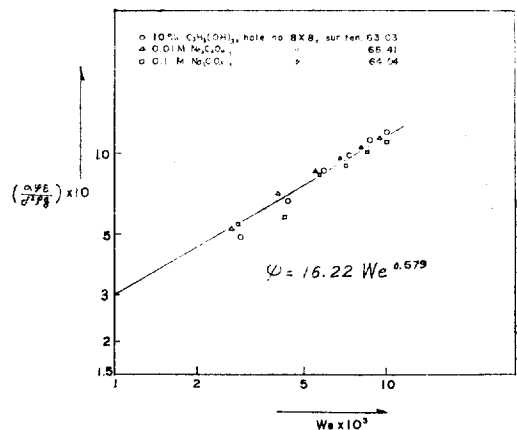


Fig. 15. $\left(\frac{\sigma\phi\epsilon}{\rho^2 g}\right) \times 10$ vs. $We \times 10^3$, (hole dia. 1.0ϕ)

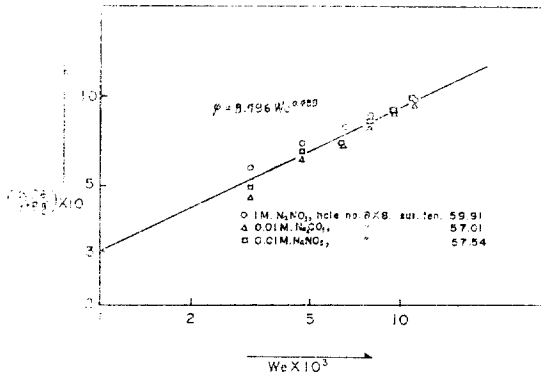


Fig. 16. $\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right)$ vs. $We \times 10^3$, correlation between gas hold-up of some solutions weber number (hole diameter 1.0φ)

구멍직경 0.7φ, 구멍수 7×7 인 경우에는 Fig. 11 과 같이 식 (4), (5) 사이의 직선관계가 나타나며

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 31.14 We^{0.549} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 28.0 We^{0.549} \quad (5)$$

Fig. 12 및 13에서는 식 (6)과 (7)에 가깝게 근접하는 관계를 알 수 있다.

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 27.49 We^{0.5962} \quad (6)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 37.14 We^{0.682} \quad (7)$$

Fig. 14, 15 및 16에서는 구멍직경 1.0φ, 구멍수 8×8 인 경우로서 (8), (9), (10)과 같이 직선관계가 성립된다.

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 16.03 We^{0.5365} \quad (8)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 16.22 We^{0.579} \quad (9)$$

$$\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) = 8.796 We^{0.489} \quad (10)$$

결론

1. 무기염용액에서는 가스 호울드업이 표면장력에 큰 영향을 받으며 표면장력이 증가하면 가스 호울드업도 증가하며 표면장력이 거의 같은 경우에는 가스 호울드업도 같아진다.

2. 표면장력이 유사한 용액끼리 3 group으로 나누어 각각의 $\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) \times 10$ vs. $We \times 10^3$ 는 Fig. 8~16과 같이 직선적인 관계이며 ε이 같은 경우에는 위의 관계식에서 절편이 클 수록 표면장력이 증가하는 경향이 있음을 알았다.

3. 표면장력이 유사한 용액에 대해서는 ε이 작은 수록 가스 호울드업이 증가하나, ε이 큰 경우(구멍직경 1.0φ, 구멍수 8×8)에는 가스 호울드업에 거의 영향을 주지 않는다.

Nomenclature

δ : Hole diameter (cm)

ρ : Density of liquid (g/cm³)

g : Gravitational acceleration (cm/sec²)

σ : Surface tension of liquid (dyne/cm)

φ : Average gas hold-up (— — — —)

ε : Ratio of hole area of distributor (— — — —)

$We = \frac{U_G^2 \delta \rho}{\varepsilon^2 \sigma}$; Weber number (— — — —)

φ : $\left(\frac{\sigma\phi\bar{\varepsilon}}{\delta^2\rho g}\right) \times 10$ (— — — —)

Reference

- 1) G. Houghton, A. M. Mcleam and P. D. Ritchie : *Chem. Eng. Sci.*, **7**, 40(1957)
- 2) V. G. Gleim, I. K. Shelomov and B. R. Shildlovski : *J. Appl. Chem. USSR*, **32**, 1069(1959)
- 3) K. Koide, T. Hirahara and H. Kuboda : *Kagaku Kogaku*, **30**, 712(1966)
- 4) H. Vershoor : *Trans. Inst. Chem. Eng. (London)*, **28**, 52(1950)
- 5) K. Koide, S. Kato, Y. Tanaka and H. Kubota, *J. Chem. Eng. (Japan)* **1**, 51(1968)
- 6) J. B. Kim, J. U. Sohn and S. Y. Kim : *HWAH-AK KONGHAK* **9**, 31(1971)