

기포탑에 있어서 Spiral Wire의 충전효과에 관한 연구

金 雨 植 · 金 海 星 · 張 浩 相*

延世大學校 理工大學 化學工學科

(접수 1975. 1. 14)

A Study on the Effect of Spiral Wires packed in a Bubble Column

Woo Sik Kim, Hae Sunge, Kim and Ho Sang Chang*

Department of Chemical Engineering, College of Engineering,
Yonsei University, Seoul 120, Korea

(Received January 14, 1975)

요 약

본 연구에서는 반연속식 기포탑에 spiral wire를 충전시켜 기액계면적을 증가시켰으며, spiral wire의 size에 따른 gas hold-up와 기액계면적의 변화를 관찰함으로써 그 충전 효과를 규명하였다. 본 연구의 결과에 의하면 spiral wire의 optimum size는 직경=6mm와 피치/직경의 비=2로 주어지며 이 경우에 충전계의 기액계면적은 비충전계 보다 4배로 향상되었다.

Abstract

Spiral wires were packed into a bubble column to increase the gas-liquid interfacial area and the effect of packing was investigated by measuring the changes in the gas hold-up and the gas-liquid interfacial area. The optimum size of spiral wire turned out to be 6mm in diameter with the ratio of pitch to diameter of two. Under the optimum conditions, the interfacial area for the packed bubble column became four times as large as that for the column without spiral wires.

1. 서 론

기액계 물질전달 장치로 이용되고 있는 기포탑은 기

상의 합체현상과 액상에서의 역혼합 현상으로 인하여 그 물질전달 속도가 현저하게 감소된다는 점이 문제점^{1,2,3,7,8,9)}으로 지적된 바 있다. 이와 같은 문제점을 해결하고 물질전달 속도를 증가시키고자 Voyer &

* 延世大學校 産業大學院(The Graduate School of Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea)

Miller²⁾는 기포탑 내에 cylindrical screen 으로 충전시켜 기액계면적을 증대시켰으며, Mashelkar & Sharma⁴⁾는 raschig ring, intalox saddle, pall ring 으로 충전시킴으로써 기액계면적을 증가시켰을 뿐만 아니라 역혼합현상을 저지시키는데 좋은 성과를 얻은 바 있다. 본 연구에서는 spiral wire 를 충전물로 선택하여 그 dimension 에 따른 redistribution effect 와 retarding effect 를 고찰함으로써 spiral wire 의 충전효과를 규명하고 비충전계와 충전계의 기액계면적을 비교함으로써 물질전달 속도에 대한 spiral wire 의 효용성을 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험장치

본 실험을 수행하기 위하여 Fig.1과 같은 장치를 제작 사용하였다. 공기압축기에서 압축된 공기는 압력계와 니들밸브를 통과하면서 적당한 유량으로 조절된 후 홀딩탱크로 보내진다. 여기에서 유속의 요동을 방지하고 정상상태를 유지한 다음 rotameter를 통과시켜 기포탑 하부에 있는 gas chamber로 도입된다. 위 실험에서 사용한 기포탑은 직경 75mm, 높이 900mm의 투명 acryl수지 원통이며, 그 하부에 0.7mm 두께의 stainless steel로 제작한 공경 1.2mm, 공수 6개의 다공관을 부착하였다.

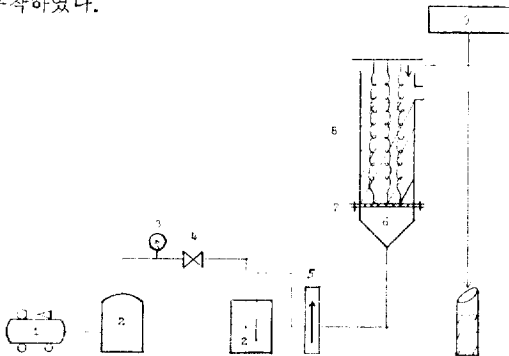
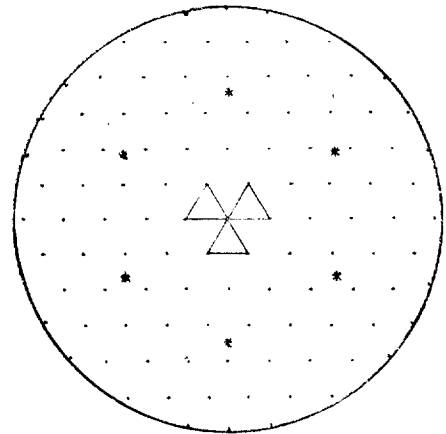


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

1. Compressor
2. Holding Tank
3. Pressure Gauge
4. Needle Valve
5. Rotameter
6. Gas Chamber
7. Perforated Distributor
8. Bubble Column
9. Distilled Water



* Air inlet holes

Fig. 2. Top view of distributor (Plate).

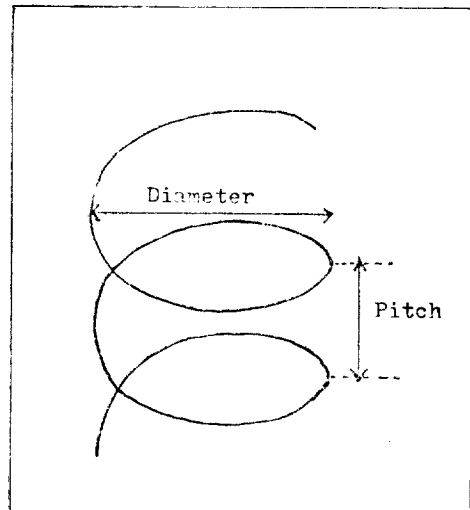


Fig. 3. Diameter and pitch of spiral circle.

또한 기포탑 내에 spiral wire 를 충전시키기 위하여 탑 상하로 판을 고정시킨 다음 각 판에 spiral wire 를 고정시키기 위한 고리를 고착시켰다.

이 고리는 Fig.2와 같이 spiral circle 의 직경과 동일한 변으로 이루어진 정삼각형 배열방식으로 판상에 고정하였으며, 상기 고리에 spiral wire 를 걸고 전체 plate 에 균일하게 충전되도록 하였다. 즉 spiral circle 의 직경에 따라 정삼각형 변의 길이가 달라지고 고리

의 배열이 달라지는 바 본 실험에서는 2mm, 4mm, 6mm, 8mm 각각에 맞는 distributor 4종을 만들어 사용하였다, spiral wire는 직경 0.4mm의 stainless steel로 제작하였고 각 spiral circle의 직경과 "핏치"에 따라 3000여개를 만들어 사용하였으며 그 기하학적 구조는 Fig. 3과 같다.

2-2. 실험방법

본 실험에서 기상으로는 공기, 액상으로는 증류수를 사용하였으며 기포탑내에 증류수를 채우고 압축공기를 도입시켜 반연속식으로 접촉시켰다. 기포탑 내에서의 gas hold-up은 Fig. 4와 같이 h_o 까지 증류수를 채우고 공기를 도입시켰을때 익류되는 증류수의 양을 측정하는 익류법(overflow method)으로 측정하였으며 다음과 같은 방법으로 계산하였다¹⁰⁾.

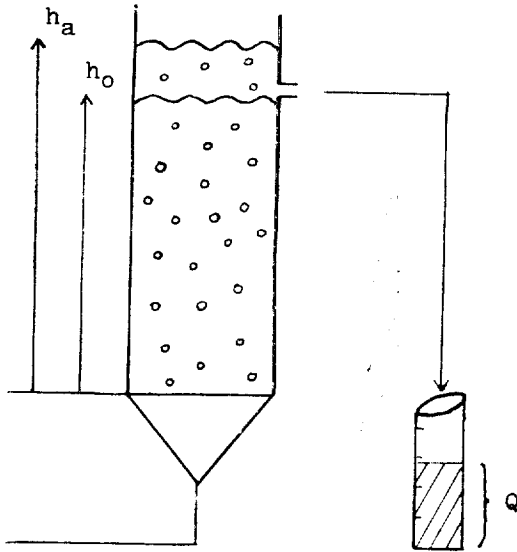


Fig. 4. Overflow method for gas hold-up measurement.

mass balance:

$$\rho h_a S(1-\phi') = \rho h_o S(1-\phi) + \rho Q \quad (1)$$

$$\phi' = \frac{h_a - h_o}{h_a} = \frac{h_a - h_c}{h_a} \quad (2)$$

(2)식에서 h_a 를 구하여 (1)식에 대입하면

$$\phi = \frac{Q}{S \cdot h_o} = \frac{4Q}{\pi D^2 h_o} \quad (3)$$

또한 superficial gas velocity와 bubble average rising velocity는 다음의 식으로 계산하였다¹⁰⁾.

a) superficial gas velocity:

$$U_G = V_o / S \quad (4)$$

b) average rising velocity of bubble:

$$U_R = U_G / \phi \quad (5)$$

2-3. Spiral circle의 size

기포탑 내에 spiral wire를 충전시키면, 생성된 기포는 spiral circle의 직경 및 핏치에 따라서 적당한 크기로 재분산되며, 그 상승속도가 감소하게 된다. 이때, 재분산된 기포의 크기는 spiral circle의 핏치에 영향을 받는다. 따라서, 충전계의 gas hold-up은 spiral circle의 직경 및 핏치에 대응하므로 본 실험에서는 그 gas hold-up을 측정함으로써 spiral circle의 size에 따른 충전효과를 고찰하였다.

상기 실험에 사용한 spiral circle의 size는 Table 1과 같다.

Table. 1. Size of spiral wire.

spiral wire의 길이	900mm (stainless steel)
spiral wire의 직경	0.4mm
Spiral circle의 직경 (I. D.)	2mm, 4mm, 6mm, 8mm
spiral circle의 핏치와 직경의 비	1, 2, 3, 4, 4.5

3. 실험결과 및 고찰

3-1. Spiral wire의 충전효과

Spiral wire의 충전효과를 규명하기 위하여, 비충전계와 충전계의 superficial gas velocity(4~20cm/sec)에 대한 gas hold-up을 측정하고, 그 결과를 Fig. 5, 6, 7, 8, 및 9에 각각 도시하였다.

Figure 5는 비충전계에 있어서 superficial gas velocity에 대한 gas hold-up을 도시한 것이다.

Figure 6에서 $D=2mm$ 인 경우에는 redistribution effect는 좋으나 retarding effect가 너무 격렬하여 분산된 기포가 재회합되므로 충전효과가 한정된다.

그러므로 $D=2mm$ 인 경우의 gas hold-up은 비충전계와 유사하였다.

Figure 7은 $D=4mm$ 경우로 P/D ratio가 증가함에 따라서 gas hold-up이 증가하는데 $P/D=3$ 이상이 되면 더 이상 증가하지 않는다.

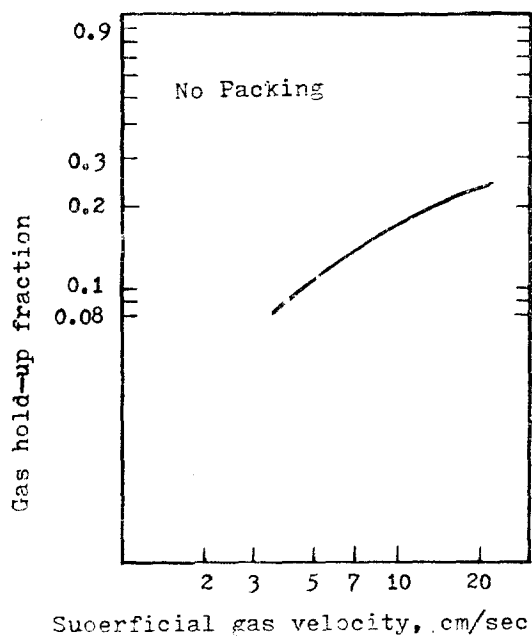


Fig. 5. Relationship between the gas hold-up and superficial gas velocity in unpacked column.

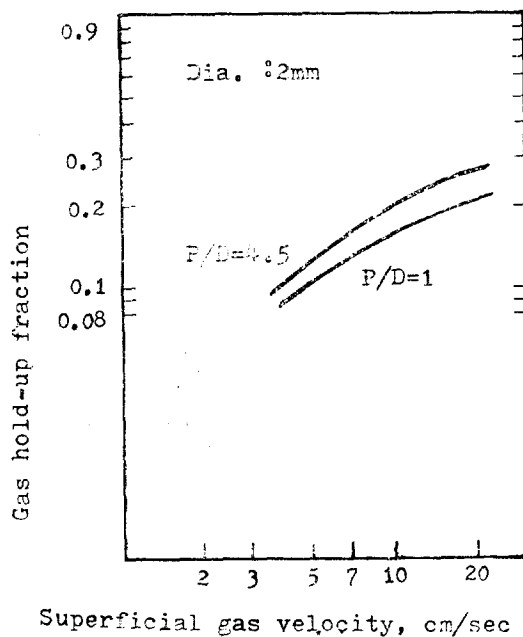


Fig. 6. Relationship between the gas hold-up and superficial gas velocity with spiral circle of 2mm-diameter.

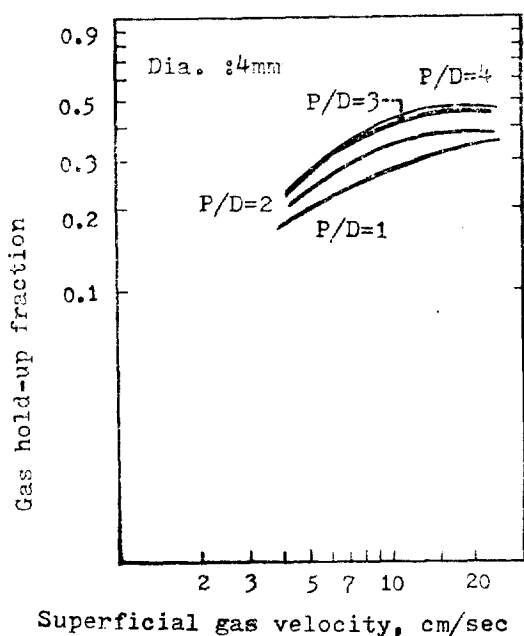


Fig. 7. Relationship between the gas hold-up and superficial gas velocity with spiral circle of 4mm-diameter.

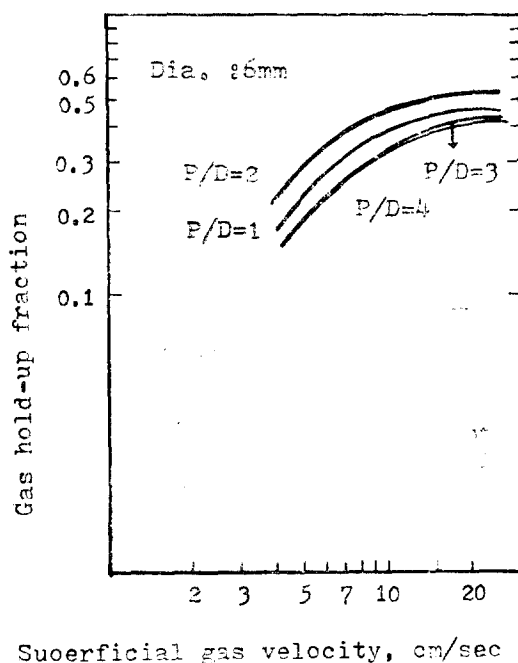


Fig. 8. Relationship between the gas hold-up and superficial gas velocity with spiral circle of 6mm-diameter.

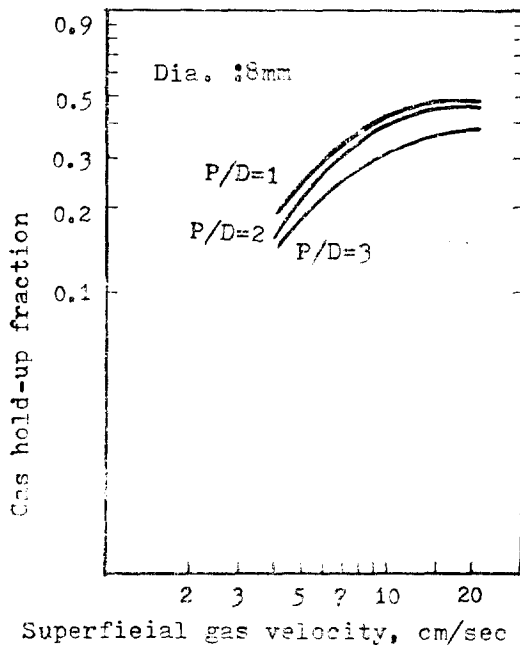


Fig. 9. Relationship between the gas hold-up and superficial gas velocity with spiral circle of 8mm-diameter.

Figure 8은 $D=6\text{mm}$ 의 경우로 $P/D=2$ 에서 최대 gas hold-up을 가지는데, 이와같은 현상은 $D=6\text{mm}$, $P/D=2$ 에서 redistribution effect와 retarding effect가 균형을 이루기 때문이다.

Figure 9는 $D=8\text{mm}$ 의 경우로 P/D 가 증가함에 따라서 오히려 gas hold-up이 감소한다.

상기의 결과를 종합하면 spiral wire의 충전효과는 spiral circle의 직경 및 spiral wire의 핏치에 따라 생기는 redistribution effect와 retarding effect에 의하여 결정된다고 사료되는 바, 서로 대응하지 않는 size는 충전효과가 저하되며, 특정 직경에 대하여 특정의 핏치로 대응될 때 가장 우수한 충전효과를 얻을 수 있다.

이와같은 현상을 확실히 규명하기 위하여 spiral circle의 size에 따른 rising velocity를 Figs. 10, 11, 12, 13, 14 및 15에 도시하였다.

충전제에서의 rising velocity는 기포의 redistribution effect와 retarding effect의 척도로써, 기포의 크기가 작고, retarding rate가 크면 rising velocity는 감소하며, 기포의 크기가 크고 retarding rate가 작으면 그 rising velocity는 증가한다.

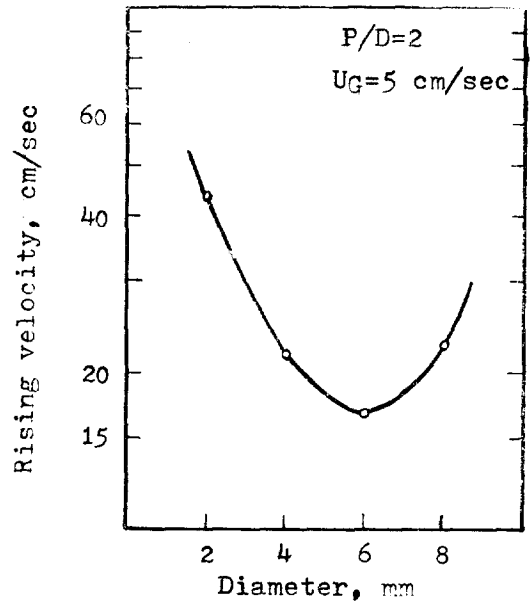


Fig. 10. Relationship between rising velocity and diameter of spiral circle at superficial gas velocity, 5cm/sec.

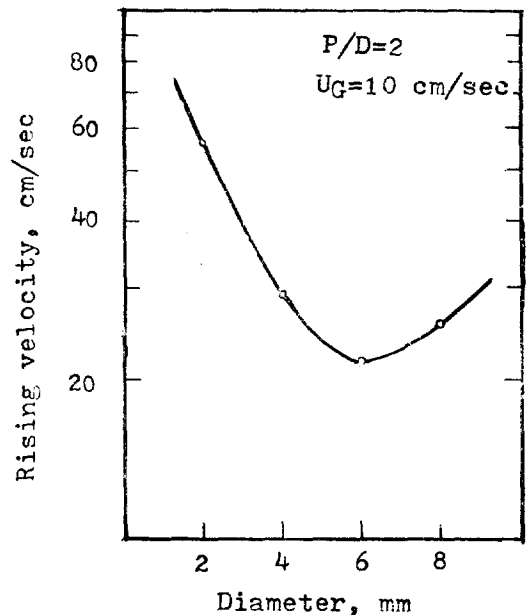


Fig. 11. Relationship between rising velocity and diameter of spiral circle at superficial gas velocity, 10cm/sec

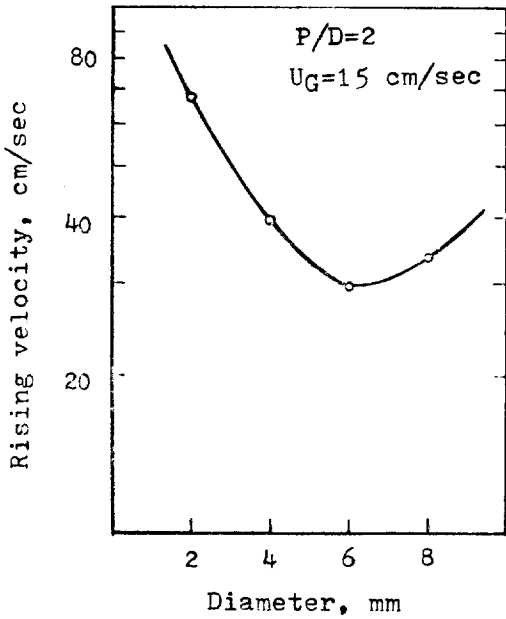


Fig. 12. Relationship between rising velocity and diameter of spiral circle at superficial gas velocity, 15cm/sec.

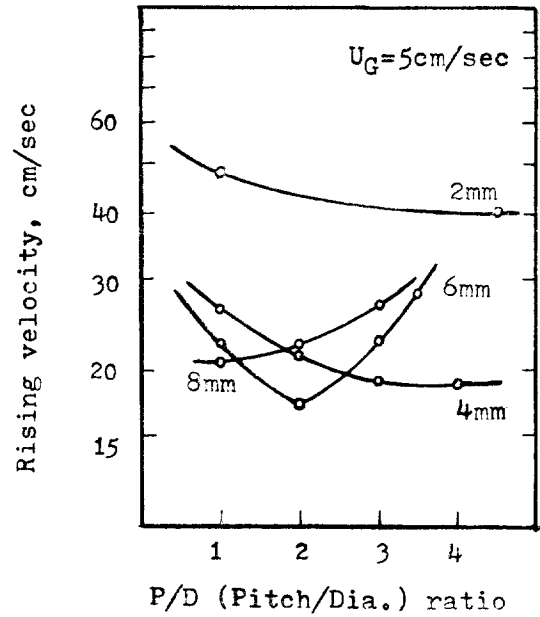


Fig. 13. Relationship between rising velocity and P/D ratio at superficial gas velocity, 5cm/sec.

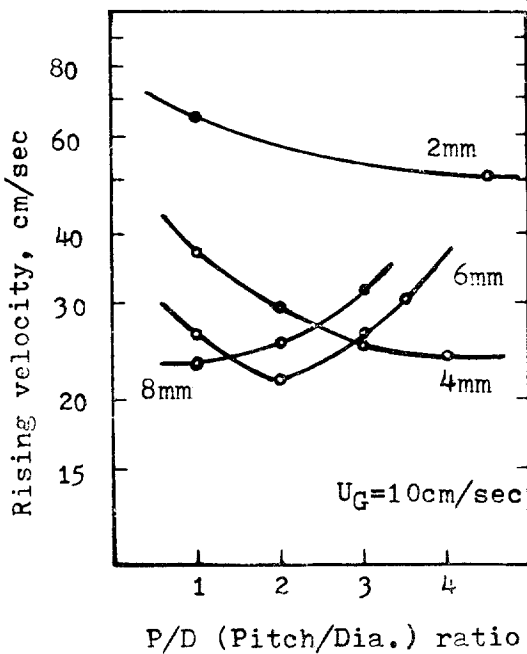


Fig. 14. Relationship between rising velocity and P/D ratio at superficial gas velocity, 10cm/sec.

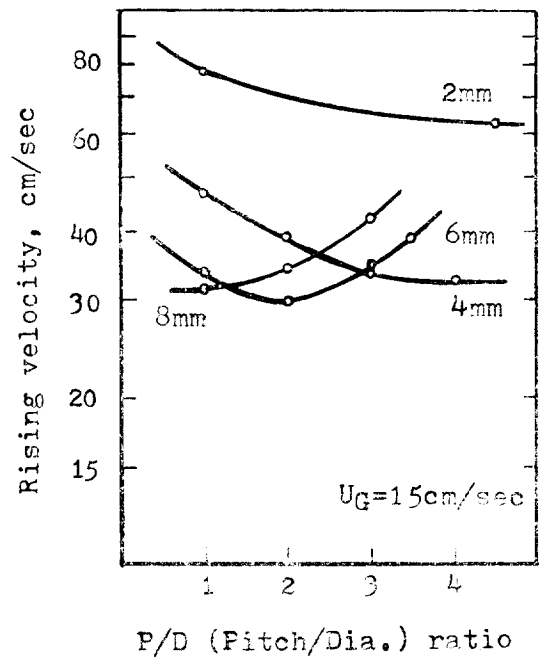


Fig. 15. Relationship between rising velocity and P/D ratio at superficial gas velocity, 15cm/sec.

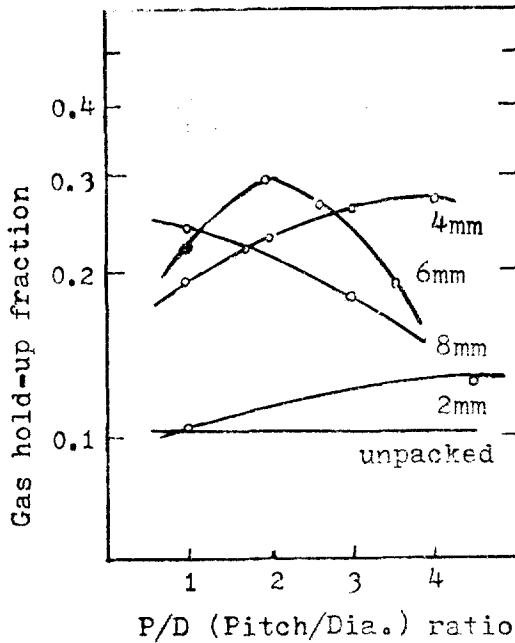


Fig. 16. Effect of packing size on gas hold-up at superficial gas velocity, 5cm/sec.

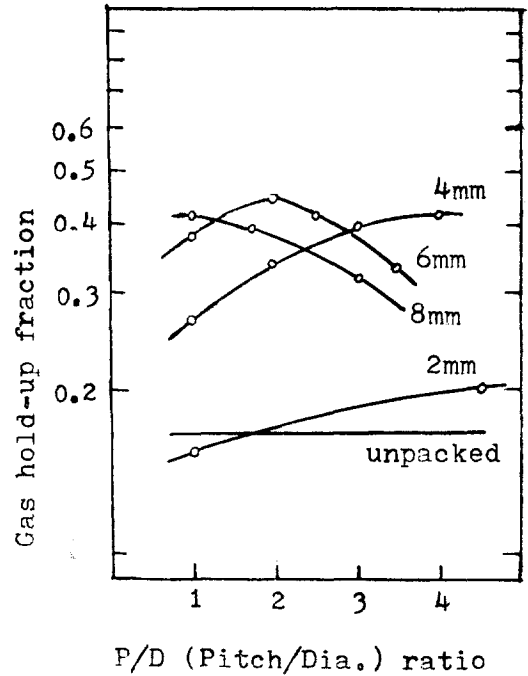


Fig. 17. Effect of packing size on gas hold-up at superficial gas velocity, 10cm/sec.

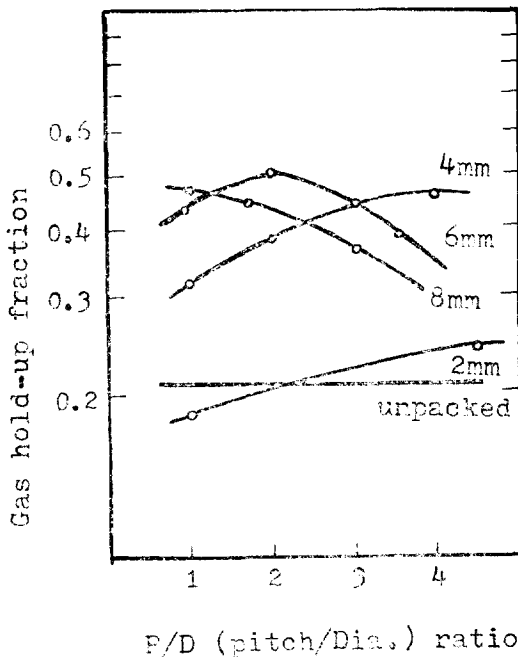


Fig. 18. Effect of packing size on gas hold-up at superficial gas velocity, 15cm/sec.

Figures 10, 11, 및 12는 $P/D=2$ 인 경우, 직경의 변화에 대한 rising velocity를 도식한 것으로 $D=6\text{mm}$ 에서 최소치를 가지며 그 충전효과가 가장 크다는 것을 나타내고 있다.

Figures 13, 14 및 15는 rising velocity와 D 및 P/D 의 관계를 도식한 것으로 가장 충전효과가 큰 spiral circle의 optimum size는 $D=6\text{mm}$, $P/D=2$ 임을 보여준다.

Figures 16, 17 및 18에서 gas hold-up과 spiral circle size와의 관계를 종합함으로써, 가장 충전효과가 큰 optimum size ($D=6\text{mm}$, $P/D=2$)를 확인하였고, 비 충전제와 충전제를 비교함으로써 후자의 gas hold-up은 전자의 2.5~3배로 그 충전효과가 탁월하였다.

또한, optimum size의 spiral wire로 충전시킨 경우 voidage fraction은 98% 이상인데 이는 Voyer & Miller²⁾의 97%, Marshalkar & Sharma⁴⁾의 73~93% 보다 좋았다.

3-2. Spiral wire의 충전효과와 물질전달 속도

선정된 optimum size로 충전시킨 물질전달계는 기억

계면적이 증가함으로 그 물질전달 속도가 증가하는데, 이는 spiral wire의 충전에 의하여 합체현상을 일으키는 기포를 분쇄시켜 기액계면적을 증가시키며 그 상승 속도를 감소시켜 bubble의 residence time을 증가시키기 때문이다.

Figure 19에 비충전계와 충전계의 기액계면적을 도시하였는데 Towell의 data¹⁾는 비충전 공기-중류수계에 대하여 photographic method로 측정된 기액계면적이며, 본 연구에서의 기액계면적은 optimum size ($D=6\text{mm}$, $P/D=2$)로 충전시킨 공기-중류수계에 대한 data로서 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$a = \frac{6\phi}{d} \quad (6)$$

충전계에서 기포의 직경을 직접 측정하기가 곤란하여 간접방법으로 측정하였는데, 별도로 acryl 수지 column을 만들어 기포를 발생시키고 유량에 따라 기포의 크기를 조절한 다음 충전계의 기포와 관찰 비교하여 근사하다고 판단될때 acryl column의 기포상태를 촬영하여 평균값을 내어 충전계의 기포직경을 산출하였다. 그 결과 4mm의 값을 얻었다.

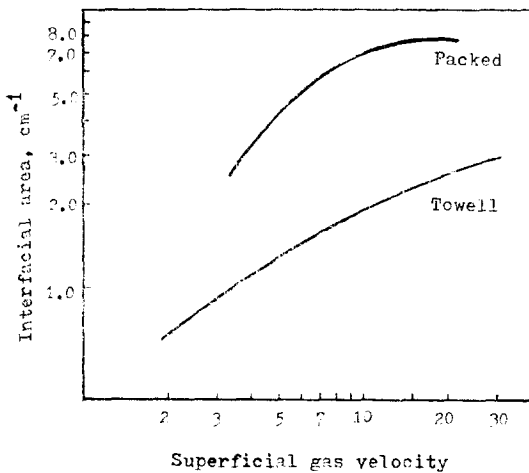


Fig. 19. Interfacial area vs. superficial gas velocity in packed system and Towell's data.

Figure 19에서 알수 있는 바와 같이 충전계의 기액계면적은 비충전계의 약 4배 인바, 따라서 충전계의 물질전달 속도는 비충전계보다 약 4배로 향상된다고 말할 수 있다.

4. 결 론

spiral wire로 기포탐은 충전시키고, 그 충전효과와 물질전달 속도에 관한 효율성을 규명한 결과,

- 1) 충전효과는 spiral circle의 직경과 wire의 핏치가 이던 특정점에서 서로 대응될때 최대가 된다.
- 2) 상기의 최대 충전효과를 주는 spiral circle의 optimum size는 본실험에서 실시한 combination중에서, $D=6\text{mm}$, $P/D=2$ 이다.
- 3) optimum size ($D=6\text{mm}$, $P/D=2$)로 충전시킨 물질 전달계의 기액계면적은 비충전계의 약 4배이다.
- 4) 충전계의 물질전달 속도는 기액계면적이 4배로 증가 하였으므로 비충전계보다 훨씬 클것임으로 spiral wire의 충전효과는 우수하였다.

Notation

- a Interfacial area per unit volume, cm^2/cm^3 .
- D Diameter of spiral circle, mm.
- d Mean diameter of bubble, mm.
- h_a Aerated liquid height, cm.
- h_c Clear liquid height, cm.
- h_o Overflow location, cm.
- N Total number of bubbles.
- P Pitch of spiral circle, mm.
- Q Overflowed liquid quantity, cm^3 .
- S Cross-sectional area of column, cm^2 .
- U_G Superficial gas velocity, cm/sec.
- U_R Average rising velocity of bubble, cm/sec.
- V Volume of column, cm^3 .
- V_o Volumetric gas flow rate at 25°C and 1 atm, cm^3/sec .
- ρ Liquid density, g/cm^3 .
- ϕ Gas hold-up, dimensionless.
- ϕ' Average fraction of hold-up up to the height h_a , dimensionless.

References

1. R. A. Mashelkar, *Brit. Chem. Eng.*, **15** (1970), 1297.
2. R. D. Voyer and A. I. Miller, *Can. J. Chem. Eng.*, **46** (1968), 335.
3. J. E. Buchanan, *AIChE J.*, **17** (1971), 746.
4. R. A. Mashelkar, and M. M. Sharma, *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, **48** (1970), T 162.

5. B.H. Chen, and R. Vallabh, *Ind. Eng. Chem.*, **9** (1970), 121.
6. B.N. Sahay, and M.M. Sharma, *Chem. Eng. Sci.*, **28** (1973), 2245.
7. 徐嘉男, 宮內照勝, 化學工學, **35** (1971), 663.
8. 井上一郎, 海野肇, 化學工學, **36** (1972), 65.
9. 西脇昭雄, 加藤康夫, 化學工學, **36** (1972), 1112.
10. 김준형, "기포탑의 동특성에 관한 연구," 석사학위논문, 연세대학교, 1974.
11. J.T. Davies, "Turbulence Phenomena," Academic Press, New York, 1972.
12. 久保國道, 甲賀國男, 宮內照勝, 化學工學, **34** (1970), 856.

