

《報文》 HWAHAK KONGHAK Vol. 19, No. 4, August 1981, pp.269—280
(Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers)

電解質溶液 氣泡塔에서의 氣體滯留量 및 軸方向混合에 관한 研究

咸榮敏 · 崔青松* · 都東瑩
高麗大學校 工科大学 化學工學科
(접수 1981. 7. 20)

Gas Hold-up and Axial Dispersion in a Bubble Column of Electrolyte Solutions

Yeong Min Hahm, Cheong Song Choi*, and Dong Sup Doh
*Department of Chemical Engineering,
Korea University, Seoul 132, Korea*
(Received July 20, 1981)

要 約

電解質特性이 氣體滯留量과 軸方向混合에 어떠한 影響을 미치는지에 關하여 考察하였다. 實驗은 直徑이 5.4 cm 인 氣泡塔에서 1.3~9.7 cm/sec의 氣體流速範圍와 0.5~2.1 cm/sec의 液體流速範圍에서 行하여졌다. 0.001N~0.1N로 變化시킨 電解液에서 電解液의 特性을 나타내는 이온세기와 氣體流速 및 液體流速으로 氣體滯留량을 나타내었다. 한편, 層流範圍와 亂流範圍의 各 흐름영역에서 混合程度와 그 傾向은 상당한 차이를 나타내는데 層流領域에서 亂流範圍로 벗어나는 대략적인 氣體의 轉移速度는 最小相對速度로부터 決定할 수 있으며, 이 轉移速度도 또한 이온세기로 相關지어 나타내었다.

ABSTRACT

Gas hold-up and liquid phase axial dispersion coefficient have been measured in a bubble column of 5.4cm diameter in which ionic solutions(in the range of concentration of 0.001 N to 0.1 N) were employed in order to determine the effects of ionic strength on the objective parameters.

The gas velocity corresponding to minimum relative velocity is important in determining

*Department of Chemical Engineering, Sogang University, Seoul 121, Korea

the ultimate bubbly flow regime, which is transited to turbulent flow. This transition gas velocity, V_{gt} , is correlated with ionic strength of electrolytes.

Effects of gas velocity(1.3~9.7cm/sec), liquid velocity(0.5~2.1cm/sec) and especially ionic strength on axial dispersion of liquid and gas phase hold-up are determined.

In the turbulent flow regime, the dispersion coefficient was found to be strongly affected by gas and liquid velocity, however, in the case of bubbly flow regime, the coefficient was not much affected by fluid velocities.

1. 序 論

裝置가 簡單하고 設置費와 運轉費가 比較的 적은 氣體-液體의 接觸反應器로서의 氣泡塔은 機械的 攪拌裝置가 必要없으며, 液相의 滯留時間을 伸縮性있게 變化시킬 수 있다는 利點 등으로 吸收塔 및 탈수탑의 反應器 등으로서 化學工業에 널리 利用되고 있다.

最近에 氣泡塔은 biological materials에 낮은 shear stressing을 주는 物質傳達 特性和 混合度가 좋기 때문에 biotechnology, 特히 廢水處理과 連續醱酵工程의 氣-液 反應器로서 더욱 더 關心이 쏠리고 있는 實情이다. 이는 連續醱酵裝置 등에서 轉換率이 낮은 境遇에는 從前의 탱크攪拌器가 가장 効果적인 反應器가 되나 轉換率이 큰 境遇에는 氣泡塔과 分散모델형의 反應器가 바람직스럽기 때문이다.¹⁾

이와같이 工業적으로 널리 應用되고 있는 氣泡塔의 設計와 運轉條件에 必要한 데이터를 提供할 수 있도록 많은 研究者들은 氣泡塔의 動的 現象 및 傳達現象 등에 關한 反應器의 履歷(Performances)을 糾明하기 爲해 많은 努力을 하여 왔으며, 이들의 實驗은 대부분 순수액체에서 遂行되었다. 그렇지만 化學工業은 물론 特히 요즘 주목받고 있는 環境工學이나 生化學工業 등에서 널리 使用되고 있는 氣泡塔은 순수액체에 電解質이 첨가되어 있거나 化學反應이 일어나는 경우가 대단히 많으며 이때 電解液에서 분산되는 氣泡의 거동이 매우 重要하게 된다.

Marruchi 등²⁾과 Zieminski 등³⁾도 순수액체에

電解質이 포함되어 있을 경우, 이 電解液이 氣泡의 크기와 합체현상에 매우 重要한 影響을 미친다고 發表한 바 있다. 實際로 순수액체에서 行한 거의 모든 實驗데이터가 再現性이 작고, 研究者들의 實驗結果가 서로 一致되지 못하고 있는 것은 正確하게 定義되지 못한 液體속에 少量 포함되어 있을지도 모르는 不純物⁴⁾이나 電解質의 影響때문이다.

Siemes와 Bochers⁵⁾는 氣體의 流速이 1.5cm/sec 보다 큰 層流範圍(bubbly flow regime)에서 氣泡크기는 氣體流速에 거의 無關하다고 하였는데 이는 이 範圍에서 氣泡의 上昇速度가 一定해서 氣泡群의 密度는 氣體流速에 거의 比例的增加를 가져와 氣體滯留量이 直線的으로 增加하게 됨을 뜻한다. 그렇지만 이 範圍를 벗어나서 氣體流速을 더 크게 할 境遇, 氣泡들 사이의 無秩序한 衝突로 因해 합체현상이 생기게 되는데 이러한 합체로 氣泡의 크기는 더 커져서 氣泡들의 上昇速度는 層流範圍에서 보다 더 빨라지게 되므로 結果적으로 氣體의 슬러깅(slugging)에 의한 液體의 攪亂程度는 激烈하게 된다. 氣泡의 이러한 합체가 開始되는 즉 슬러깅이 시작되는 氣體의 流速은 탭직경은 물론 流體의 物理的 特性和도 깊은 關係가 있을 것은 分明하다. 特히 電解液에서의 氣泡舉動은 대체로 공기-물系의 系보다 훨씬 安定해서 공기-물系에서보다 電解液에서의 氣體滯留量은 현저하게 增加될 뿐만 아니라 氣泡의 합체가 시작되는 氣體流速도 커지게 될 것으로 豫想할 수 있다. 따라서 物理的 特性이 순수액체와 거의 비슷하더라도 순수액체에서 얻어진 結果式은 電解質이 포함되어 있는 電

解液에서는 適用될 수 없음은 自明하다.^{6,7)} 그렇지만 實際로 電解液을 使用하여 氣體滯留량이나 흐름의 動的現象에 關係 體系있게 實驗한 것은 많지 않으나 Akida,⁷⁾ Yoshida,⁸⁾ Braulick⁹⁾ 및 Reith¹⁰⁾ 등은 電解液에서의 氣體滯留량이 순수계에서보다 단순히 크다고만 指摘했을 뿐 그 定量的인 關係는 提示하지 못하였다.

본 實驗에서는 증류수에 몇가지 電解質을 小量(最大 0.74%) 加하여 密度, 粘度 및 表面張力 등을 별로 크게 變化시키지 않는 狀態에서 이들이 氣體滯留量, 氣泡의 相對速度 및 液相의 混合特性에 미치는 影響에 關하여 考察함을 目的으로 하였다. 電解液에서의 氣體滯留량을 이온세기($I = \frac{1}{2} \sum m_i Z_i^2$)라는 매개변수를 사용하여 相關시켰으며, 氣體滯留량과 混合特性에 미치는 液體流速의 影響에 關해서도 檢討하였다. 特히 氣泡의 합체가 본격적으로 일어나는 즉 層流領域(bubbly flow regime)을 벗어나 亂流(turbulent flow)의 흐름형태로 轉移되기 시작하는 氣體의 流速을 氣泡의 最小相對速度로부터 決定할 수 있으며 흐름형태사이의 경계를 뚜렷하게 결정짓기는 매우 어려우나 흐름領域을 대략적으로 區分짓는 이러한 氣體의 轉移速度는 또한 電解液의 이온세기로 相關되었다.

2. 實 驗

(1) 實驗裝置

Fig. 1에 나타난 바와 같이 氣泡塔은 內徑이 5.4 cm 이고 높이가 110 cm 인 아크릴 수지의 원통관으로 만들었다. 기체분산판의 기공은 0.4mm이며 기공수는 24 개로 하였으며 實驗裝置에서 나타나는 모든 연결은 염화비닐 튜브로 배관하였다.

공기압축기에서 나온 공기는 oil catcher와 정제기를 통과하면서 oil, 먼지, 수분 및 공기중에 있는 CO₂ 가스를 分離, 除去한 後 니들(needle)밸브와 流量計로 空氣流量을 調節하고 solenoid 밸브를 거쳐 塔下部의 가스 chamber와 분산판을 통해 氣泡塔內로 들어간다. 한편 液體는 溶液탱크에서 펌프로 自動水位調節器가 附

着된 定頭(constant head)탱크로 올려 보내서 밸브와 流量計로 塔內에 注入되는 液體의 流量을 一定히 하였다. 기체의 공압속도는 1.3~9.7cm/sec, 액체의 공압속도 범위는 0.5~2.1 cm/sec로 하였으며, 이때 氣體와 液體의 流量은 보정된 流量計로 측정하였다. 液相과 氣相의 흐름을 순간적으로 차단하기 위하여 塔하부의 入口에 solenoid 밸브를 附着시켰다. 이들 solenoid 밸브들은 같은 電源에 連結시켜 同時に 動作하도록 하였다.

(2) 實驗方法

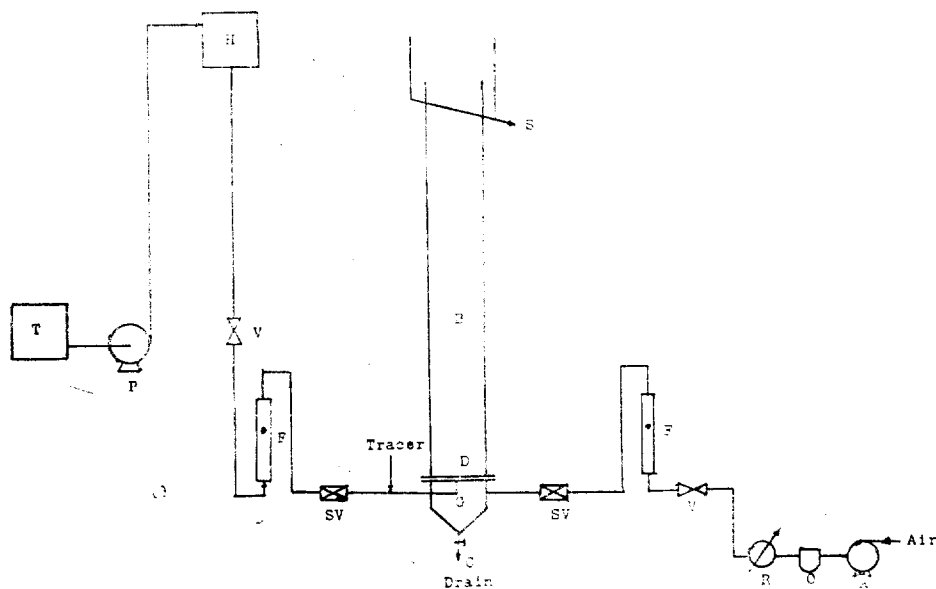
氣體滯留량은 液體의 體積膨脹率로부터 산출하였으며, 滯留時間分布曲線은 比色法에 依한 濃度測定으로 얻었다. Tracer 로는 流體의 物理的特性이 비슷하고 不活性한 0.004g/cc 의 methylene blue dye 를 使用하였으며, 流體의 흐름이 정상상태에 到達하였을 때 tracer 1 cc 를 순간적으로 塔下部에 있는 분사점에 注入시키고 이 注入時間을 time = 0 로 하여 塔上部에서 流出되는 液體를 一定한 時間間隔으로 mixing cup method에 依해 sampling 하여 分光光度計(SP-ELECTRONIC 20)로 吸光度를 測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

(1) 氣體滯留量(gas hold-up)

電解液에서의 氣體滯留량이 공기-물系에서 보다 크다는^{7~10)} 事實은 電解質의 特性이 氣體滯留量에 重要的 影響을 끼친다는 것을 意味한다.

電解質溶液에서의 이온의 종류가 氣體滯留量에 미치는 影響을 考察하기 위하여 이들 濃度を 0.01N 로 一定히 하고 氣體流速에 따른 氣體滯留량의 關係를 Fig. 2에 나타내었다. 여기에서 보는 바와 같이 氣體滯留량은 음이온에 依한 것 보다도 양이온의 反子價에 依한 影響이 훨씬 뚜렷함을 알 수 있다. Fig. 3에는 염화제 2철의 濃度を 0.1 N 로 一定히 하고 液體流速과 氣體流速에 따라 氣體滯留량의 關係를 나타내었으며, Fig. 4는 염화제이철의 濃도가 0.001N,



A : Air Compressor
C : Cock
F : Flowmeter
H : Constant Head Tank
P : Liquid Pump
S : Sampling Tube
T : Solution Tank

B : Bubble Column
D : Gas Distributor
G : Gas Chamber
O : Oil Catcher
R : Air Refiner
SV : Solenoid valve
V : Valve

Fig. 1. Schematic flow diagram

0.01 N, 및 0.1N에서 滯留量에 對한 氣體流速의 影響을 tap-water의 境遇와 比較하였다. 여기에서 보는 바처럼 같은 氣體流速에서 濃度增加에 따라 氣體滯留量이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에 나타낸 염화제이철을 포함해서 一般的으로 電解液에서의 氣滯體留量은 tap-water系에서보다 높은데 그 理由는 氣-液界面에서의 정전기적 전위(electrostatic potential)에 依해 氣泡의 크기가 작게 되어 氣泡들이 안정(stable)하게 되기 때문이다.^{2,8,9)} 다시말해서 電解液에서 氣泡의 表面膜層(surface film layer)에 Gibbs에 依한 이온들의 다른 surface excess 값 때문에 電荷를 띠게 되며, 같은 電荷를 띤 氣泡들 사이의 靜電氣的 反撥(electrostatic repulsion)로 인해 물에서 보다 훨씬 합체하기가 어려

워져서 結果的으로 물에서의 평균 기포크기보다 작게 되어 電解液에서의 氣體滯留量은 커지게 된다.

한편 氣體滯留量의 液體流速에 關한 影響을 Fig. 5에 나타내었다. Bischoff¹¹⁾와 Argo¹²⁾ 등이 밝힌 다른 문헌에서는 液體流速이 氣體滯留量에 커다란 影響을 미치지 않는다고 하였으나 Fig. 5에서 보면 낮은 氣體流速에서는 그들의 結果와 마찬가지로 液體流速의 變化에 關係없이 거의 一定하고 氣體流速에만 相關되나 다소 높은 기체유속(보통 5 cm/s 보다 큰)에서는 液體流速이 增加함에 따라 滯留量은 減少한다. 그러나 Fig. 5의 점선으로 나타낸 바와 같이 큰 氣體流速에서도 液體流速이 큰 境遇에는 液體流速의 變化에 따르는 氣體滯留量의 減少率이 훨씬 작아져 다시 一定하게 된다. 이러한 理由는 塔內

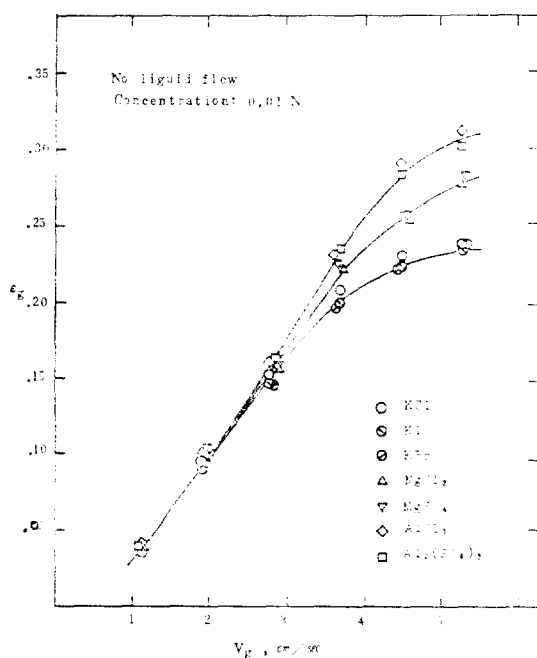


Fig. 2. Gas hold-up as function of superficial gas velocity for various ionic solutions

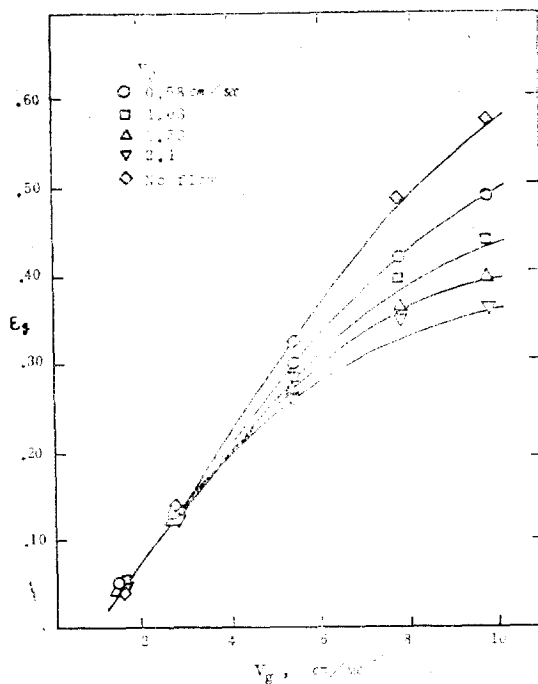


Fig. 3. Effect of gas and liquid superficial velocity on gas hold-up (0.1N ferric chloride solution)

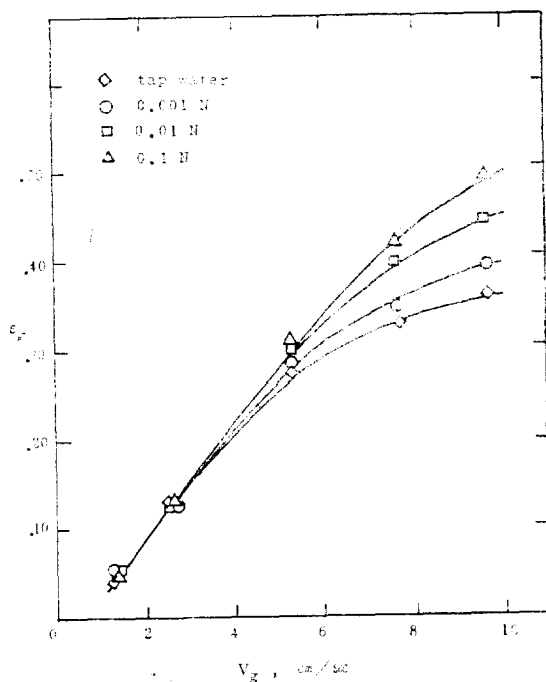


Fig. 4. Effect of superficial gas velocity and ferric chloride concentration on gas hold-up ($V_L = 0.58 \text{ cm/sec}$)

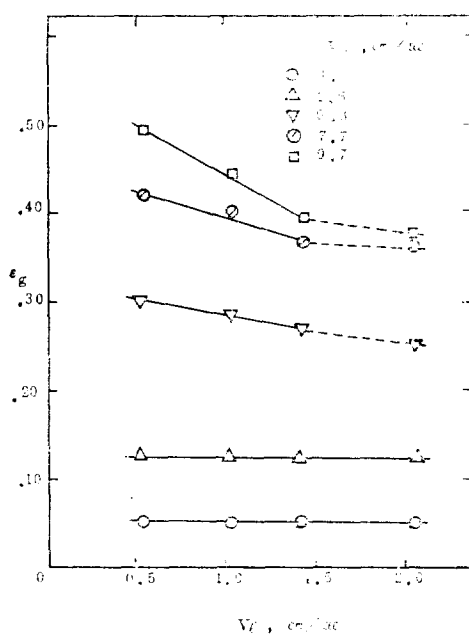


Fig. 5. Effect of gas and liquid superficial velocity on gas hold-up (0.1N ferric chloride solution)

에서 기포들이 균一하게上昇하는 層流範圍에서는 液體流速에 關係없이 液相의 흐름형태를 變化시키지 못하고 다만 氣體流速이 增加함에 따라 塔內의 氣泡들의 密度만 增加되어 滯留量은 增加하나 氣體流速이 더 增加되어 氣泡들이 攪拌 狀態를 벗어나 氣泡들이 합체하기 시작하면, 즉 합체현상에 따라 塔內의 core 부분에서 氣泡 크기가 커져서 벽쪽에서보다 기포의 上昇速度가 크게 되어 液相의 흐름형태가 복잡하게 되는데 이러한 狀態에서 液體의 速度가 커지면 液相의 攪亂程度는 더 커져서 氣泡들의 합체현상을 促進시키게 되므로 滯留量은 液體流速이 增加함에 따라 減少하게 된다. 一定한 氣體流速에서 液相의 攪亂程度가 最大로 되면, 기포합체에 미치는 液體速度의 影響은 일정하게 되어 그 以上の 液體流速에서는 氣體滯留량이 變化하지 않는 것으로 思料된다. 따라서 圖 2 철의 경우 약 5cm/sec 보다 큰 氣體流速과 1.5cm/sec 보다 낮은 液體流速範圍에서는 液體流速이 增加함에 따라 滯留量은 減少한다. 이와같은 現象은 FeCl_3 이외에 본 실험에서 使用한 AlCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, MgSO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 , KI , KBr , KCl , 및 NaCl 등의 다른 電解液에서도 같은 경향을 나타내었다.

이들 電解液의 0.001 N~0.1 N 濃度範圍에서 電解質의 特性을 나타내는 電解液의 原子價와 濃度の 影響을 이온세기, I 로 表示하여 Fig. 6에 나타내었다. 液體流速이 0.58cm/sec 이고 氣體流速이 7.7 cm/sec 인 경우에 電解液에서의 氣體滯留量이 이온세기에 따라서 점선으로 表示된 증류수에서보다 더욱 커짐을 보여 주고 있다. 이는 두개의 氣泡를 連續의으로 합체시키는 裝置에서 實驗한 Lessard 등¹³⁾과 직접적으로 比較는 할 수 없으나——왜냐하면 이들의 實驗이 氣泡群 (Swarm bubbles) 에서 行한 것이 아니므로——대략적으로 그들의 기포합체정도는 이온세기가 增加할 수록 작아진다는 事實과 같은 傾向을 나타내는 것이다. 또한, 電解液에서 氣體滯留量에 關한 定量的인 關係가 그동안 提示된 것이 별로 없었으나, 最近에 Hikita 등¹⁴⁾은 電解液에서의 氣體滯留量은 순수에서보다 이온세기에 따라 $10^{0.04147}$

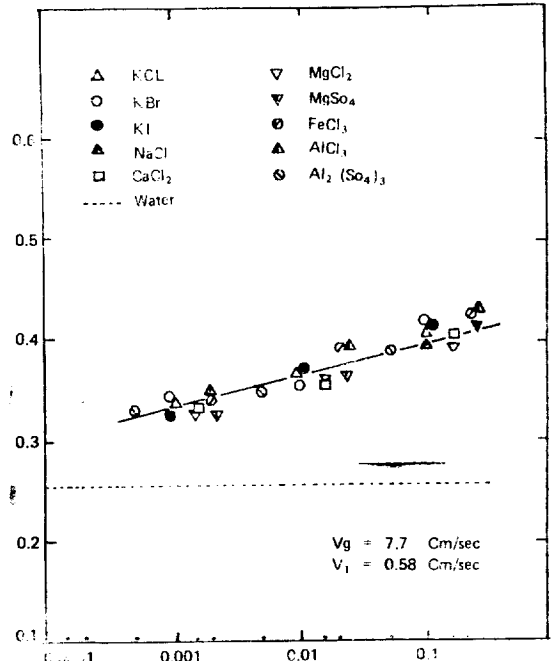


Fig. 6. Gas hold-up as function of ionic strength

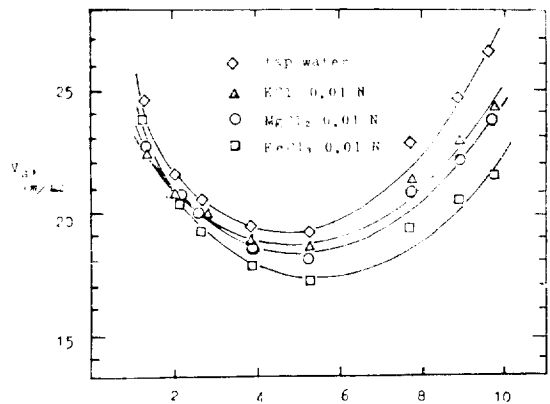


Fig. 7. Relative gas velocity as function of superficial gas and liquid velocity (0.1N ferric chloride solution)

배 ($I < 1.0$ gmole/l 인 경우에)가 크다고 발표하였다. 본 실험의 $I \leq 0.2$ gmole/l 의 範圍에서 Hikita의 $f = 10^{0.04147}$ 의 값은 거의 1이 되며 이것은 이 範圍에서 氣體滯留量에 미치는 電解質의 影響이 거의 없음을 意味한다. 이는 본 실험

형의 氣體滯留量에 관한 結果와 比較가 되는 것으로서 이러한 差異는 그들과 濃度範圍도 다르지만 무엇보다도 그들의 기체분산(single nozzle) 및 탑직경(10cm) 등이 본 실험에서와 다르기 때문인 것 같다.

以上에서 살펴 본 氣體滯留量의 相關關係를 IBM 370 computer의 TSP로 Regression하여 다음과 같은 關係式을 얻었다.

$$\varepsilon_g = 0.0453[V_g]^{(0.3917-0.047V_L+1.016)} \quad (1)$$

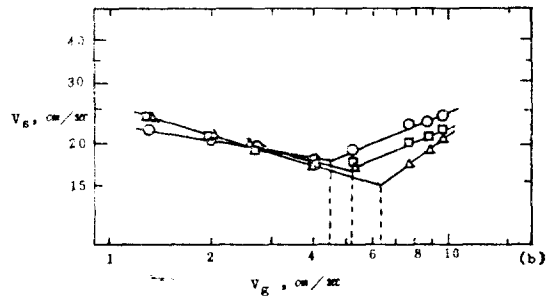
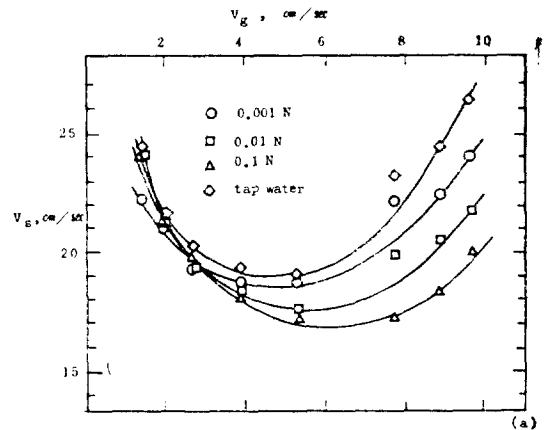
이때, 결정계수는 0.98로서 相關關係가 좋으며 상대오차는 0.025이다.

(2) 氣泡의 相對速度

氣相과 液相사이의 相對速度, V_s 는 다음과 같은 식으로부터 얻을 수 있다.

$$V_s = \frac{V_g}{\varepsilon_g} - \frac{V_L}{1 - \varepsilon_g} \quad (2)$$

Fig. 7에 0.1 N 濃度の 염화제 2철 電解液에서의 相對速度를 一定한 液體流速에서 氣體의 공탐속도에 對해 圖示하였다. 相對速度의 最小值를 나타내는 氣體流速은 Fig. 3에서의 氣體滯留量에 對한 氣體流速의 기울기가 減少하기 시작하는 氣體流速과 대략 비슷함을 알 수 있는데 이는 相對速度가 最小가 될 때까지 氣泡의 相對速度는 氣泡群의 密度增加에 따르는 氣泡의上昇을 방해하는 억제효과 때문에 減少하지만 이보다 큰 氣體流速에서는 氣泡들의 합체에 의한 氣泡크기의 增加로 말미암아 相對速度는 氣體流速이 높아짐에 따라 점점 커지게 된다. 그러므로 一般的으로 最小相對速度에 對應되는 氣體流速 以上の 흐름형태는 層流範圍를 벗어나 亂流 흐름(turbulent flow)에 해당한다고 말할 수 있다. Fig. 7에서도 볼 수 있는 바와 같이 層流範圍에서의 相對速度는 液體流速 變化에 따라 큰 영향을 받지 않으며, 相對速度가 最小가 되는轉移氣體流速도 6~7cm/s로 대략 비슷하나 氣體와 並流로 흐르는 亂流흐름에서는 일정 기체유속에서의 液體速度가 커지면 氣泡의 相對速度도 增加됨을 알 수 있다. 이러한 理由는 앞서 氣體滯留量의 境遇에서도 언급했듯이 亂流흐름 領域에서 液體速度가 커지면 液相의 攪亂程度는 더 심하게 되어 氣泡들의 합체를 促進시킴에 따라



(a) linear graph

(b) logarithmic graph

Fig. 8. Relative gas velocity as function of superficial gas velocity and ferric chloride concentration ($V_L = 1.03 \text{ cm/sec}$)

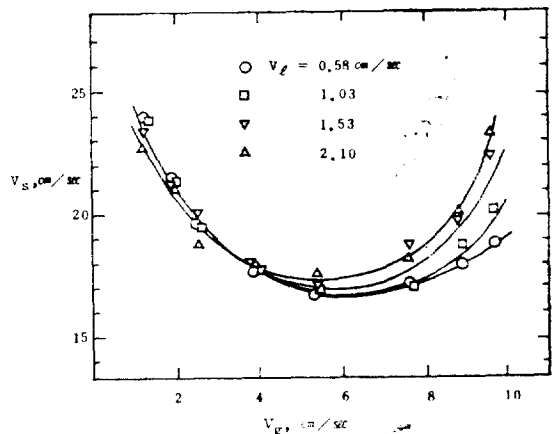


Fig. 9. Relative gas velocity as function of superficial gas velocity for ionic solutions ($V_L = 1.03 \text{ cm/sec}$)

氣泡의 上昇速度가 더욱 커지기 때문이다.

또한 液體流速이 1.03 cm/sec 인 염화제이철 電解液에서 濃度を 變化시켰을 때, 氣體流速에 對한 上昇速度變化를 Fig. 8에 나타내었다. 亂流範圍의 一定한 氣體流速에서 濃度の 增加에 따라 相對速度가 낮아짐은 당연하며 tap water의 相對速度는 이들 염화제 2철 電解液보다 높다. 層流흐름의 상한치를 대략 나타내주는 最小相對速度에 對應되는 氣體流速을 좀더 뚜렷하게 나타내기 위해 Fig. 8(b)와 같은 양대수좌표로 변환시켰으며, 여기에서 나타난 이 轉移速度는 濃도가 커짐에 따라 약 4.3cm/sec에서 6.3cm/sec 정도로 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 氣體流速變化에 對한 相對速度變化에 對하여 1.03cm/sec의 液體流速과 0.01N 濃度에서 염화제이철, 염화마그네슘, 염화칼륨 그리고 tap water의 境遇를 比較하였다. Fig. 8에서처럼 層流흐름을 벗어난 範圍에서 電解液보다 tap-water의 相對速度가 높으며, 이온의 原子價가 增加할수록 기포의 相對速度는 낮아진다.

氣泡의 相對速度에 關하여 以上에서 살펴본 바와 같이 氣體의 轉移速度는 液體流速變化에는 별로 큰 影響을 보이지 않으나, 原子價와 濃도가 增加할수록 다시말해 이온세기가 增加할수록 더 높은 氣體流速에서 層流흐름으로부터 亂流의 흐름으로 轉移된다고 말할 수 있다. 이러한 相關關係를 Fig. 10에 圖示하였으며 이를 다음과 같은 相關式으로 表示할 수 있다.

$$V_{st} = 7.267[I]^{0.090} \quad (3)$$

이때, 결정계수는 0.86이며 상대오차는 0.32이다.

(3) 軸方向 混合

Fig. 11에 나타난 바와같이 염화제 2철 電解液의 液體流速이 2.10cm/sec 인 境遇에 분산 모델¹⁵⁾로부터 얻어진 軸方向分散係數는 濃도에 對한 影響이 뚜렷하지 않는데, 이같은 傾向은 본 實驗에서 行한 다른 電解液의 境遇에도 비슷한 結果를 나타낸다. 앞에서 언급된 氣體流速이 轉移速度보다 작은 層流範圍에서의 軸方向分散係

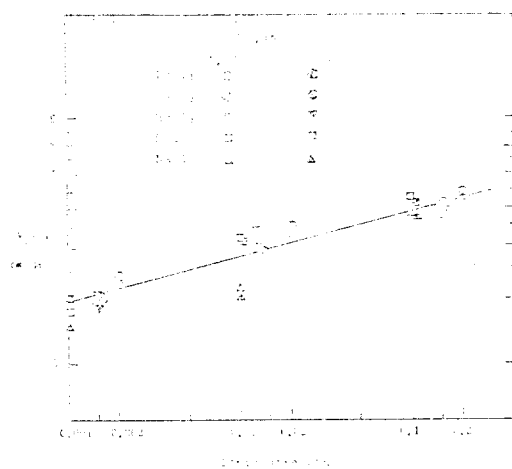


Fig. 10. Relationship between transition gas velocity and ionic strength

數는 氣體流速變化에 거의 비슷한 낮은 값을 가지나, 亂流의 흐름형태로 轉移되면 氣體流速 增加에 따라 급격하게 增加함을 Fig. 12에서도 確認할 수 있다. Fig. 11와 12에서 보는 바처럼 層流흐름의 낮은 기체유속범위에서 軸方向分散係數는 氣體速度 增加에 따라 다소 減少하는 傾向이 있음을 볼 수 있으며 이는 앞서 氣泡의 相對速度에 關해 얻어진 結果와 같이 이 領域에서의 氣泡는 一定한 크기로 形成되어서 秩序整然하게 上昇되고 단지 氣泡生成頻度만 氣體流速 增加에 比例하므로 전체 氣泡塔內에는 氣泡群의 密度가 크게 되어 일종의 充填效果(packability)가 커짐에 따라 液相의 混合程度는 증가되지 않고 다소 낮아지는 것으로 說明될 수 있다. 이러한 現象은 氣泡塔에서 液相의 軸方向分散係數가 전체적으로 기체유속에 따라 增加한다는 Deckwer¹⁵⁾ 등의 實驗結果와는 相反되는 것이다. 한편, 亂流의 흐름형태로 轉移되면 氣泡의 生成頻度는 一定하게 되는 대신 氣泡의 크기는 氣體流速의 增加에 따라 커지게 되어 氣泡의 上昇速度가 增加하며, 이때 氣泡들의 합체와 깨짐이 함께 일어나 液相의 내부 순환흐름을 크게 해서 軸方向混合이 심하게 일어난다고 할 수 있다. 그리고 Fig. 12에서 液體流速이 클수록 軸方向分散係數도 커지나 亂流範圍에서 그 影響이 뚜렷하

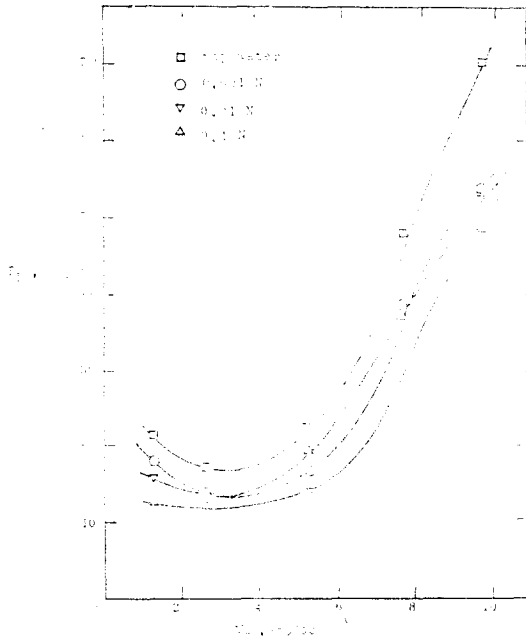


Fig. 11. Axial dispersion coefficient as function of superficial gas velocity and ferric chloride concentration ($V_L = 2.10 \text{ cm/sec}$)

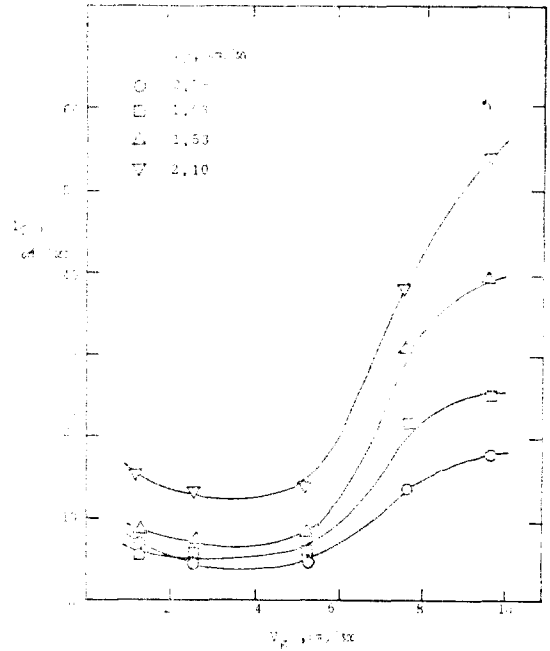


Fig. 12. Axial dispersion coefficient as function of superficial gas velocity (0.01N ferric chloride solution)

계 값을 알 수 있다. 이를 염화제 2철 0.01 N 농도의 경우에 대해 Fig. 13에 다시 나타내었다. 보통 내부순환흐름을 크게 해서 軸方向混合을 일으키는 중요한 두가지 요인을 들면, 氣體速度가 큰 경우에 탑내부 core 부근의 氣泡들은 [합체되어 上昇速度가 벽쪽기포의 상승속도보다 相對的으로 커짐에 따라 液相의 흐름이 순환되는 것과 液體流速이 增加할 때 液相의 無秩序한 渦流(eddies)도 커짐에 따라 순환되는 인자로 나누어 생각할 수 있다. Fig. 13에서 氣體流速이 낮은 層流範圍에서는 液體流速이 增加할수록 液相의 渦流影響은 層流흐름의 氣泡에 의한 抑制效果때문에 軸方向混合程度는 다소 적게 增加되나 亂流의 範圍로 轉移되어 氣體流速이 增加되면 앞에서도 언급한 바와같이 기포합체로 인한 혼합때문에 軸方向分散係數는 큰 값을 가지며, 이와함께 液體流速이 增加될수록 渦流程度도 增加되어 軸方向混合이 더욱 커지게 되는 것으로 思料된다. 그러나 氣泡塔에서의 液相의 軸方向

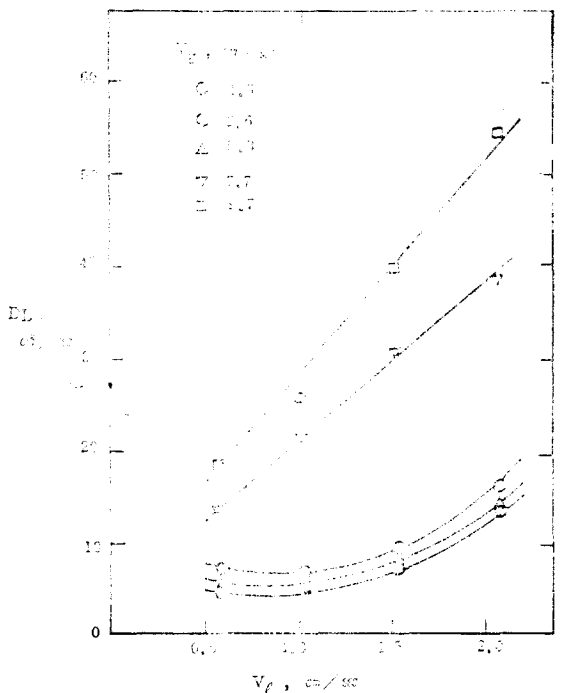


Fig. 13. Axial dispersion coefficient as function of superficial liquid velocity (0.01N ferric chloride solution)

混合에 미치는 液體流速의 영향에 관한 다른 논문의 實驗結果들은 서로 잘 일치되지 않아서, Bischoff¹¹⁾와 Tadaki¹⁷⁾ 등은 液體流速變化에 無關하다고 發表하였고 대부분 軸方向混合은 氣體流速과 塔직경에만 관계한다고 하였으며^{16, 18, 19, 20, 21)} 한편 Eissa 는 1971년²²⁾에 액체유속에 따라 軸方向分散係數는 減少한다고 하였다가 1975²³⁾에는 液體流速 증가에 따라 軸方向分散係數도 增加한다고 서로 相反된 實驗結果를 發表하였으나 그 理由는 밝히지 않았다.

본 實驗에서 軸方向混合에 미치는 電解質特性에 대한 뚜렷한 경향을 볼 수는 없었으나, 앞서 氣體滯留量과 氣泡의 相對速度에서 밝혔듯이 電解液의 종류와 농도변화는 다만 層流흐름형태에서 亂流의 形態로 轉移되는 氣體流速만을 變化시킬 뿐이라고 말할 수 있다.

軸方向分散係數에 관한 상관관계를 氣體流速이 轉移速度보다 큰 範圍인 亂流領域에서 Regression 하여 얻은 결과식은 다음과 같다.

$$D_L = 4.398[V_g]^{0.857}[V_L]^{0.672} \quad (4)$$

이때, 결정계수는 0.81이며 상대오차는 5.3%였다. 한편 層流範圍에서는 이들의 상관관계가 다소 낮아서 實驗式으로 提示하지 않았다.

4. 結 論

본 實驗結果로부터 얻어진 結論은 다음과 같다.

1. 氣體滯留量을 氣體流速, 이온세기 및 液體流速에 對한 相關式으로 나타내었다.

$$\varepsilon_g = 0.0453[V_g]^{(0.391T - 0.047V_L + 1.016)}$$

2. (가) 層流範圍에서 氣泡의 相對速度는 氣體流速이 增加함에 따라 減少하며 液體流速과 電解液의 種類 및 濃度變化에는 별 影響을 받지 않는다.

(나) 그러나 亂流範圍에서 相對速度는 다음과 같은 傾向이 있다.

1) 液體流速이 커질수록 相對速度는 다소 增加한다.

2) 電解液의 原子價와 濃度가 커질수록 相對速度는 減少한다.

3. 實際 反應器의 흐름형태를 짐작하는 것은

設計 및 運轉條件상에 매우 重要한 것으로서 層流의 흐름형태에서 벗어나는 氣體의 轉移速度는 最小相對速度로부터 決定하는 것이 便利하다. 氣體의 轉移速度를 다음과 같이 이온세기로 關係지었다.

$$V_{gt} = 7.267[I]^{0.09}$$

4. 이온세기로 相關지어진 轉移速度로부터 液相의 흐름형태를 層流와 亂流領域으로 나눌 수 있으며, 亂流範圍($V_g > V_{gt}$)에서의 軸方向分散係數에 관한 相關關係는 다음과 같다.

$$D_L = 4.398[V_g]^{0.857}[V_L]^{0.672}$$

사 용 기 호

D_L : Axial dispersion coefficient of liquid phase, cm^2/sec

I : Ionic strength ($= \frac{1}{2} \sum_i m_i Z_i^2$)

m_i : Molar concentrations of i-th ion, g-moles/liter

V_g : Superficial gas velocity, cm/sec

V_{gt} : Transition gas velocity, cm/sec

V_L : Superficial liquid velocity, cm/sec

V_s : Slip or relative velocity between gas and liquid, cm/sec

Z_i : Valence of the i-th ion

ε_g : Fractional gas hold-up

참 고 문 헌

1. J. Todt, J. Lücke, K. Schügerl and A. Renken, Chem. Eng. Sci., **32**(1977), 369.
2. G. Marruchi and L. Nicodemo, Chem. Eng. Sci., **22**(1967), 1257.
3. S.A. Zieminski and R.C. Whittemore, Chem. Eng. Sci., **26**(1971), 509.
4. J.L. Anderson and J.A. Quinn, Chem. Eng. Sci., **25**(1970), 373.
5. W. Siemes and E. Borchers, Chem. Eng. Sci., **12**(1960), 77.
6. G.A. Hughmark, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **13**(1974), 292.

7. K. Akida and F. Yoshida, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **12**(1973), 76.
8. F. Yoshida and K. Akida, AIChE J., **11** (1965), 9.
9. W.J. Braulick, J.R. Fair and B.J. Lerner, AIChE J., **11**(1965), 73.
10. T. Reith, S. Renken and B.A. Israel, Chem. Eng. Sci., **23**(1968), 619.
11. K.B. Bischoff and J.B. Phillips, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **5**(1966), 416.
12. W.B. Argo and D.R. Cova, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **4**(1965), 352.
13. R.R. Lessard and S.A. Zieminski, I. & E.C. Fund., **10**(1971), 260.
14. H. Hikida, S. Asai, K. Tanigawa, K. Segawa and M. Kitao, Chem. Eng. J., **20**(1980), 59.
15. E. Th. van der Laan, Chem. Eng. Sci., **7**(1958), 187.
16. W.D. Deckwer, R. Burckhart and G. Zoll, Chem. Eng. Sci., **29**(1974), 2177.
17. T. Tadaki and S. Maeda, Kagaku Kokoku, **28**(1964), 270.
18. D.R. Cova, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **13**(1974), 292.
19. W.D. Deckwer, U. Gräser, H. Langeman and Y. Serpeman, Chem. Eng. Sci., **28**(1973), 1223.
20. T. Sekizawa and H. Kubota, J. of Chem. Eng. of Jap., **7**(1974), 441.
21. R. Badura, W.D. Deckwer, H. Warnecke and H. Langemann, Chem. Ing. Tech., **46**(1974), 399.
22. S.H. Eissa, M.M. El-Halwagi and M.A. Salch, I. & E.C. Proc. Des. & Dev., **10**(1971), 31.
23. S.H. Eissa and K. Schügerl, Chem. Eng. Sci., **30**(1975), 1251.

