

# 充 填 流 動 塔 的 發 達

姜 雄 基\*

## 緒 論

流動層은 氣固系나 液固系를 莫論하고 層 內에서의 熱 傳達이 좋고, 固體의 混合이 빠르고, 固體輸送이 便利 함으로 固體를 取扱하는 化學 工業, 金屬工業 全般에 걸쳐 넓게 利用 되고 있다. 그러나 普通의 流動塔, 特 히 氣固系의 流動塔은, 그 操業이 不安定하고, 壁影響 등으로 設計條件을 定하기가 어렵고, 固體의 連續輸送 操業時에는 short-circuit가 일어날 可能性이 많은 등의 不利한 點이 있는 것이다. 이러한 現象은 流動塔(特 히 氣固系)이 氣泡相(bubble phase)와 粗密相(dense phase)으로 되어 있다는 最近의 理論<sup>1)</sup>으로 說明할 수 있을 것이다. 卽, 流動層內의 氣泡은 裝置의 한 가운데로 通過하려고 할 것이고, 氣泡끼리 붙어서 上昇途中 점점 더 큰 氣泡이 될 것이므로, 氣體入口인 塔下部에서 氣體分布를 均一하게 한다 하더라도 塔上部에서는 不均一한 流動層이 되는 것이라 생각 할 수 있다.

이러한 不利한 點을 없애기 위하여 最近에는 流動層 속에 多孔板<sup>2)</sup>, 同筒板<sup>3,3,4)</sup>, 金綱板<sup>5,6)</sup>, 防害板<sup>7)</sup> 등을 넣는 方法이 發達했으며, 또한 充填物을 流動層에 넣어서 操業하는 充填流動塔이 發達한 것이다.

充填流動塔이라 함은 球(solid sphere), 圓筒(solid cylinder), Raschig ring, Berl saddle, 金綱圓筒(screen cylinder) 등을 채워둔 充填塔 속에서 固體粒자를 流動시키는 裝置를 말하는 것으로, 流動層 操業이 比較的으로 安定해 지고, 塔 높이의 制限을 받지 않으며 巨視的 均一性(macroscopic smoothness)을 갖는 流動 操業이 되는 것이 그 特徵이라 할 수 있다. 이에 關한 研究는 主로 美國 Argonne 原子力 研究所와 加國의 國立研究院 研究所에서 進行되었으며 Argonne에서는 球, 圓筒 等 充填物을, 加國研究所에서는 金綱圓筒을 主로 使用하였다.

## 固 型 充 填 流 動 塔

Gabor 等 Argonne 研究所 研究員들은 Uranium 原子 爐 燃料의 處理 및 再處理 工程中 弗化反應에 充填 流動型의 裝置를 利用하였다.<sup>8,9)</sup> 卽, 圓筒型 充填物인 Uranium Oxide 周圍에 非活性 固體粒자를 流動시켜,

\* 原子力研究所 研究官

流動充填塔으로 操業하였는데, 이로서 普通의 充填塔 操業에 比해서, 反應熱 除去, 物質傳達 等이 顯著히 增加되었다고 한다.

그 後 이러한 固型 充填流動層에 關한 여러가지 基礎의 인 研究—氣體混合<sup>10)</sup>, 固體混合<sup>11,12)</sup>, 熱傳達<sup>13,14,15)</sup>—가 活潑해 졌다. 이러한 研究의 結果로 미루어 보아 一般의 充填流動層의 混合特性은 普通의 流動層에 比해서 總括的인 混合(overall mixing)은 減退되나 部分的으로는 같은 程度의 混合을 하고 있다고 말할 수 있다. 또한 充填流動層은 巨視的 均一性(macroscopic uniformity)을 維持하므로 손 쉽게 理論的인 模型을 適用할 수 있고 scale up도 可能하다는 利點을 지니고 있다. 卽, 固體 및 氣體混合에 있어서는 擴散模型을 세울 수 있음이 그 特徵이라 하겠다.

Fig. 1은 擴散模型으로서 얻은 固體擴散系數의 實測值들을 圖示한 例인데, 이 實測值들은 固體의 平均速度가 氣體速度에 比例함을 假定한 模型(方程式1)과 잘 一致함을 볼 수 있다.<sup>12)</sup>

$$D = 0.0558 D_p K \left[ \frac{V - V_{mf}}{V_{mf}} \right] \quad (1)$$

但  $D$  = 擴散系數,  $\text{ft}^2/\text{sec}$

$D_p$  = 充填物 直徑,  $\text{ft}$

$K = F \cdot V_{mf}$ ,  $\text{ft}/\text{sec}$

$F$  = 流動層體積 / 氣泡體積

$V$  = 氣體速度

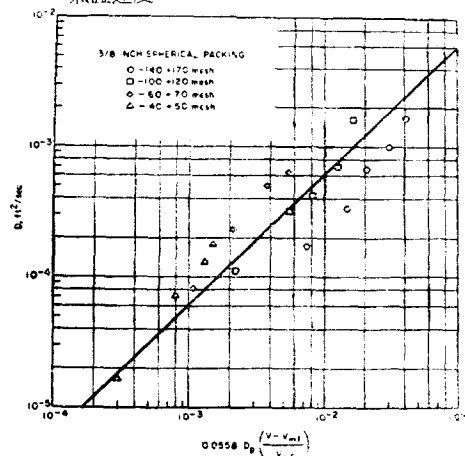


Fig. 1. General correlation of lateral solids mixing in a fluidized-packed bed<sup>12)</sup>

$V_{mf}$  = minimum fluidization에서의氣體速度  
또한 Gabor等<sup>13)</sup>은 熱傳達에 있어서도 擴散模型을 써서  
實驗値와 比較 하였는데 理論과 實驗이 잘 一致됨을  
보았고 式 2와 같은 結果를 얻었다.

$$\frac{k_e}{\rho C_p} = (0.0075) + 0.0558 D_p \left[ \frac{V - V_{mf}}{V_{mf}} \right] \quad (2)$$

但  $k_e$  = effective bed thermal conductivity, B. t. u/(hr)  
(sq. ft)(°F/ft)  
 $\rho$  = density of fluidized particle, lb/cu. ft.  
 $C_p$  = heat capacity B. t. u/lb°F

### 金網圓筒 充填 流動塔

Sutherland等<sup>16)</sup>은 Raschig rings, Berl saddles, spherical balls, screen cylinders(金網圓筒)들을 充填物로  
使用하여 流動層의 壓力差, 最低 流動速度, 流動層의  
팽창, 熱傳達 등에 關한 基礎的인 觀察을 하였다. 研究  
의 結果, 特히 總流動層 容積 5% 以下밖에 占有하  
지 않는 金網圓筒을 使用했을 경우 流動層은 均一하고  
安定한 操業이 됨을 보았으며, 이 充填物이 앞으로 크  
게 利用 될 수 있을 것임을 指摘하였다. 그 後 金網圓  
筒 充填流動層에 關하여, 固體粒子 分別<sup>17,18)</sup>, 觸媒反  
應<sup>19,20)</sup>, 鐵礦石의 直接 還元<sup>21)</sup>, 固體混合<sup>22)</sup>, 氣體混合<sup>23)</sup>,  
壓力變動<sup>24)</sup>等, 多方面에 걸친 研究가 進行되었다.

一般의으로 이러한 金網圓筒 充填을 한 流動層은 氣  
固系 流動層이라 하더라도 aggregative fluidization (bu-  
bble이 存在하는 경우)과 particulate fluidization(普通  
의 液固系 流動層과 같이 bubble이 생기지 않는 경우)의

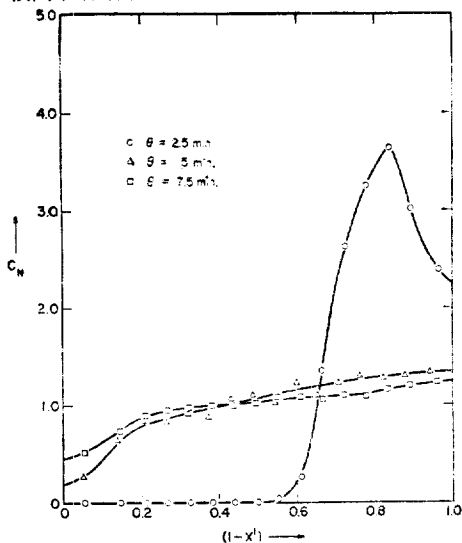


Fig. 2. Typical longitudinal mixing curves for an unpacked fluidized bed,  $V/V_{mf}=1.5$ ; bed height=90cm; column diameter=5cm, where  $C_N$ =normalized concentration,  $\theta$ =time after impulse,  $X'$ =dimensionless length from the top of the bed

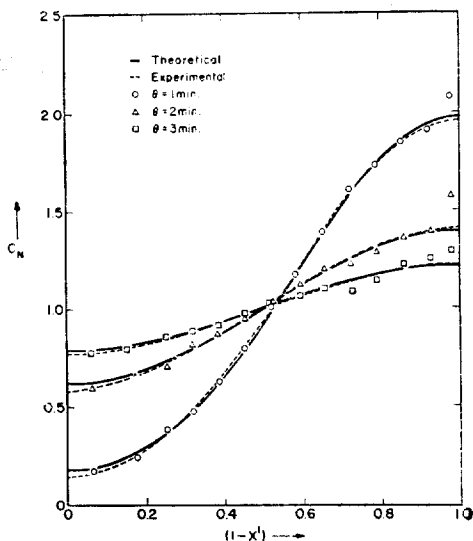


Fig. 3. Typical longitudinal mixing curves for a screen cylinder packed fluidized bed, 14 mesh, 1/2" screen packing;  $V/V_{mf}=8.0$ ; bed height=102cm; column diameter 5cm

두 性質을 함께 지니고 있는 것이 特徵이며 particulate  
한 性質은 氣體流速이 커질 수록 顯著하게 된다. 또  
한 氣泡의 크기는 充填物의 크기에 正比例 할 것임이  
指摘 되어 있다. 特히 流動層內의 混合 狀況은 良好한  
部分的인 混合(local mixing)을 하고 全體의으로 巨視  
의 均一性을 주며 擴散模型이 잘 맞는다.

Fig. 2와 Fig. 3은 各各 普通的 流動塔과 金網圓筒을  
充填한 流動塔에서의 軸方向 固體粒子 混合을 流動層  
上部에 濃度 衝擊을 준 後 濃度 變化로서 表示한 것이  
다. 圖에서 알 수 있듯이 普通的 流動層에서는 擴散模  
型이 전혀 成立 되지 않으며 充填 流動層인 경우는 잘  
一致 하고 있다. Scale-up에 關해서는 氣體混合을 中  
心으로 한 研究<sup>23)</sup>가 있는데, 2", 6", 12" column에서  
같은 金網 充填인 경우에는 같은 結果를 주었고 이  
리무어 그대로 scale up 될 수 있음을 알 수 있다.

### 結 言

觸媒反應, 流動焙燒, 乾燥 等 流動層은 넓게 使用  
되었으나, 操業이나 scale up이 不安定 하여 여러가지  
難點이 많았었다. 充填 流動塔은 이러한 難點을 많이  
解消시킨 것으로, 앞으로 이의 利用이 촉당된다.

또한 이러한 充填流動 原理를 適用함으로써, 浮選,  
原子爐의 熱傳達, 固體 粒子輸送 等を改善 할 수 있을  
것으로 생각 되며, 앞으로 이 方面의 研究는 應用을 中  
心으로 行해 지리라 추측된다.

## 參考文獻

- (1) J.F. Davidson and D. Harrison, "Fluidized Particles" Cambridge Univ. Press, 1963
- (2) W. Volk et al, Chem. Eng. Progr. Symp. Series **58** 38, (1962)
- (3) W. Volk et al, Chem. Eng. Progr. **58**, 44 (March, 1962)
- (4) R.H. Overcashier et al, A.I.Ch.E. Journal **5**, 54 (1959)
- (5) W.K. Lewis et al, A.I.Ch.E. Journal **5**, 419(1959)
- (6) R.C. Bailie et al, I.E.C. Fund., **2**, 245(1963)
- (7) L. Massimilla and S. Bracale, Ricerca Sci., **26**, 487 (1956)
- (8) J.D. Gabor, W.J. Mecham and A. A. Jonke, Chem. Eng. Progr. Symposium ser. No. 47 **60**, p.96 (1964)
- (9) W.J. Mecham, J.D. Gabor, and A.A. Jonke, ibid. p.76
- (10) J.D. Gabor and W.J. Mecham, Ind. Eng. Chem. Fund., **3**, 60 (1964)
- (11) J.D. Gabor, A.I.Ch.E. Journal, **10**, 345 (1964)
- (12) ibid., A.I.Ch.E. Journal, **11**, 127(1965)
- (13) J.D. Gabor, B.E. Strangeland and W. J. Mecham, A.I.Ch.E. Journal, **11**, 130 (1965)
- (14) E.N. Zeigler and W.T. Brazelton, Ind. Eng. Chem. Process Design and Development, **2**, 276(1963)
- (15) A.P. Basakov and V.S. Vershinina, Intern. Chem. Eng., **4**, 119 (1964)
- (16) J.P. Sutherland et al, A.I.Ch.E. Journal, **9**, 437(1963)
- (17) J.P. Sutherland and K. Y. Wong, Can. J. Chem. Eng., **42**, 163 (1964)
- (18) C.E. Capes and J.P. Sutherland, I.E.C. Process Design and Development, **5**, 330 (1966)
- (19) T. Ishii and G.L. Osberg, A.I.Ch.E. Journal, **11**, 279 (1965)
- (20) A.E. McIlhinney and G.L. Osberg, Can. J. Chem. Eng., **42**, 232(1964)
- (21) G.L. Osberg and T.A. Tweddle, I.E.C. Process Design and Development, **5**, 87 (1966)
- (22) W.K. Kang and G.L. Osberg, Can. J. Chem. Eng., **44**, 142 (1966)
- (23) B.C. Chen and G.L. Osberg, paper submitted to Can. J. Chem. Eng. (1967)
- (24) W.K. Kang and G.L. Osberg, paper submitted to I. E.C. (1967)