局所および層極底部における空間率変動および圧力変動などを詳細に調べ、脈動流動層に関してこれまでに報告された層膨張率その他の層全体として生ずる諸効果を検証するだけでなく、さらに表2のような結果を得ている。この表2に示したように、所与の操作条件で動的流動化を行なう場合、脈動周波数を適切に選ぶことによって、層底部の粒子ホールドアップを減少させて分散板付近に生じやすい不動粒子群の掃除作用があり粒子凝集防止に利用できること、また、スタートアップ時から直ちに半径（水平）方向に均一に流動化を促進させる効果が強い、この時点でチャンネリングなどが生じてガスの偏流に陥りやすい微粉流動層を均一流動化させやすいこと、また、ガス流量が比較的小さい領域で、通常はaggrigativeな流動化状態しか実現できない気系流動層内に粒子およびガスの共振現象を生じさせてほぼ均一分散に近い状態になる周波数が存在することを見いだした。さらに、脈動周波数が比較的低い領域では気泡発生タイミングが水平方向に均一になり、層上部においても直径のほぼ等しい気泡群が水平方向に均等な状態で上昇しやすくて気泡合体頻度が低下し気泡成長が抑圧され

る効果があることもわかった。このように、層内の気泡の状態が、外部から強制的に加えた圧力変動波（脈動）などで容易に制御されて、層内全域に流動化状態の均一性が促進するため、ガス分散板の圧損失を極度に低減してもガスの偏流が防止でき安定な流動化状態が維持できることを見いだした。

以上のように動的流動化は、流動化ガスに外部から脈動を加え合わせるという簡単な方法で層内の流動化状態をかなり自由に制御できるので、通常の流動層の流動化状態を改善したり、未知の可能性とか効果などを期待できる有望な新しい操作方法であるといえよう。

引用文献

- 1) R. D. Morse: *Ind. Eng. Chem.*, **47**, 1170 (1955)
- 2) L. Massimilla *et al.*: *C. E. P. Sympo. Sers.*, No. 62, 62 (1967)
- 3) M. Kobayashi *et al.*: *C. E. P. Sympo. Sers.*, No. 105, 66 (1971)
- 4) H. W. Wong *et al.*: *The Chem. Eng. J.*, **2**, 104 (1971)
- 5) 加藤, 森, 稔: 化学工学協会第37年会要旨集, 第2分冊, p. 143 (1972)
- 6) 加藤, 北野, 稔: 化学工学協会第6回秋季大会要旨集, p. 225 (1972)

ス ラ ッ ギ ン グ 流 動 層*

山 崎 量 平**

一般に、流動層で反応を行わせるとき、スラッシング状態は好まれないが、それでも、このスラッシングが研究の対象となっているのは次の二つの理由によるものと思われる。その一つは、スラッシングは比較的、容易に起こることであろう。すなわち、幾分、小さい塔径の装置で、層高を高めにとると、層はこの状態になることがよくあり、また、塔径の大きい実規模の流動層でも、垂直方向に仕切り板、パイプなどを入れている場合には、このような挿入物間で、スラッシングが起りやすい。そのため、どのような条件で、スラッシングになるかというスラッシング発生限界を知る必要が生じてくる。

他の理由は、スラッシング状態は通常の流動状態より

も記述しやすい、または把握しやすい面を有しているということであろう。すなわち、通常の流動状態では、気泡の大きさは、それが上昇する過程で、合体して大きくなってゆくわけであるが、これに関する理論・モデルをたてるのはかなり難かしいことである。これに対して、スラッシングの場合には、気泡の大きさが塔径程度になれば、それ以後、合体はしなくなり、気泡径が均一になり、かつ、層の挙動はかなり周期的になる。このために、気泡に関する記述はずっと容易になると思われる。このことは、特に、装置のスケール・アップに際して、重要な意味をもつものと思われる。

本稿では、スラッシング・ベッドの運動をモデル化するための第一段階として、スラッグの周期的な運動に着目し、スラッグの発生頻度、上昇速度、発生位置および圧力変動の実測から、この周期性に以下のような検討を

* 昭和48年10月23日受理

** Ryohei Yamazaki (正会員) 名古屋大学工学部 化学工学科

図1 スラッグのタイプ

図2 スラッグの挙動

加えた²⁾。

1. スラッグのタイプ

Stewart and Davidson¹⁾によると、スラッキングには図1のA, Bのような二つのタイプがあるといわれている。(A)は液中の気泡と類似したもので、層下部で合体して、塔径ぐらいに大きくなった気泡(スラッグ)が層内をある間隔で上昇するというもの。(B)はスラッグが偏平な界面を有し、(A)よりはずっと遅い速度で上昇し、この速度がスラッグ内を雨下する粒子量によ

図3 f_{ss} と f_{sb} との関係

てきまるといものである。しかし、筆者が観察したスラッグはこのいずれでもなく、(C)に示されるような、いわば、(A), (B)の組み合わせたものである。

すなわち、図2に示されるように変化するスラッグである。

図の①の状態：ほぼ塔径ほどの大きさの気泡(運動スラッグ、以下、ここではD.S.と呼ぶ)の下部に、静止スラッグ(以下、S.S.と呼ぶ)が形成される。このD.S.の上方で小さな気泡が多数みられる。

②の状態：D.S.がある速度で上昇する。D.S.とS.S.との間の領域では、気泡は認められない。

③の状態：D.S.が層上面に達する。この直後、S.S.がD.S.に変わる。あとは、この①、②、③をくりかえす。

2. 実験方法および結果

実験は、まず、スラッグの運動状態を観測するために連続写真撮影を行い、S.S.の発生位置、D.S.の上昇速度、S.S.の発生頻度を求めた。また、圧力変換器によって整流板直上部での圧力の変動も測定した。

これらの中、S.S.の発生頻度 f_{ss} は、S.S.の存在している時間が先行するD.S.の層上面に達するまでの時間に等しいという前述のスラッグの観察より、D.S.の上昇速度 u_b 、S.S.の発生位置 L_0 および静止層高 L_c とから求まる頻度 $f_{sb} (=u_b/(L_0-L_c))$ と同一になるはずである。これを調べたのが図3である。多少のばらつきはあるが、この両者は一致していると思われ、前述のスラッグの観察が妥当であることを意味する。

図4は圧力変動の実測の一例および、その波形をペリオドグラム法によって、周波数解析を行った結果を示している。このように、波はかなり周期的であることがわかる。また、この圧力変動の周波数(図4でパワーが最大になる周波数)が前述のスラッグの発生頻度とほぼ同じになることも認められている。

ま と め

Stewart and Davidson が分類しているスラッグイングのタイプのいずれにも属さないスラッグイングが観察された。

このスラッグの写真測定および圧力変動の実測から、スラッグの周期的運動の周波数は、ほぼ、運動スラッグの上昇速度、静止スラッグの発生位置および静止層高によってきまることが認められた。

使 用 記 号

D_p = 平均粒径	[μ]
D_r = 流動層内径	[cm]
f_{ss} = 静止スラッグの発生頻度	[1/sec]
f_{sb} = $u_b/(L_0 - L_c)$	[1/sec]
L_c = 静止スラッグ発生位置(整流板からの距離)	[cm]
L_0 = 静止層高	[cm]
u_b = 運動スラッグの上昇速度	[cm/sec]

図4 圧力変動のペリオドグラム解析

引 用 文 献

- 1) Stewart, P.B. and Davidson, J.F.: *Powder Technology*, 1, 61 (1967)
- 2) 神保, 山崎, 神田: 化工協会第7回秋季大会講演要旨集(1973)

振 動 流 動 層*

山 崎 量 平**

難流動性の粒子を流動層に用いる場合、一つの流動化促進法として、機械的振動を層に加えるという方法があり、湿潤粉体の乾燥などに、実用化されている。

また、難流動性の粒子に限らず、粒子を低ガス流速で、均一・安定に流動化させる必要がある場合、例えば、ガスの吹き抜けを極力さけたい場合などに、層への加振というこの方法が有用となると思われる。

この振動の効果は例えば、流動層-加熱面間の伝熱係数が増大するという実験結果¹⁻³⁾にうかがうことができる。

しかし、機械的振動が層の運動を活性化させるメカニズムはほとんど不明で、また、これに関する研究もほとんどないというのが現状である。

以下では、振動流動層の特徴を層-加熱面間の伝熱係数、層内に生じる圧力変動に着目して概説してみる。

* 昭和48年10月23日受理

** Ryohei Yamazaki (正会員) 名古屋大学工学部 化学工学科