<学位論文紹介>

粒子の衝突板による分離

宇 敷 建 一*

Ken-ichi Ushiki

1. 研究を始めた動機

本論文は平板帯（リボン）を基本形状とする1枚または多数の衝突板を用いた気流中の固体粗粒子および液滴の捕集、分級およびサンプリングに関する研究である。

衝突板の列を気流に対して斜めに配置し、方向転換を大きくしたルーバー形式は粗粉集塵に使用されており、2, 3の報告があった。しかし、分級機としての研究はほとんど見当らず、工業的な篩分けと機械力による遠心風力分級機の中間の粒子径範囲の分級機としてのルーバ形式の利用が、当初の研究テーマとなった。

一方工業プロセスには液滴を伴う工程が数多く見られ、しかもその気流中からの分離は、後続プロセスの機器の腐食や触媒の劣化の防止および塩害や降雨その他の環境衛生の点で重要となってきており、研究の重点を次第に液滴分離機としての設計方針の確立や性能および分離機構の解明に移した。

液滴分離の研究には液滴の信頼できる測定が不可欠である。労力は要するが簡便でもっとも信頼度が高く、かつもっとも広範に用いられているスライドガラス法を採用した。この方法で正しく液滴径分布を求めるには、サンプリング効率の値と液滴径の相関が必要である。しかし、その研究は少なく流れモデルの妥当性に問題があり、実験的検証も充分なされておらず、さらに実用上問題となる重力の影響を定量的に検討した報告は見当らなかった。そこで、リボンによる粒子捕集の研究を行なった。

2. 研究遂行上感じたこと困ったことなど

リボンによる粒子捕集の研究では、最初実験結果と理論値にかなり差異があった。種々の見地からその原因究明を試みたが、苦心の末捕集粒子の再飛散とダクト内の

粒子の濃度分布に起因することがわかった。もともと再飛散防止のためリボンサンプラー捕集面にグリスを塗布していたが、それでも捕集粒子量を相当小さくせねばならないことが判明したのである。その結果捕集粒子の秤量などの誤差が問題となり、1つの条件で数回測定を行ないその平均を用いることにした。また、低風速ではダクト内に多少粒子濃度分布が存在し、1つの条件毎に濃度分布を測定することになった。この結果実測と理論は良好に一致し嬉しかったが、多大な労力を要する実験となってしまった。

一方ルーバーによる水滴分離実験ではスライドガラスを用いたサンプリングを行なった。ここでは気流をノズルで加速してサンプリングを行ないサンプリング効率を高めたが、スライドガラス捕集面の処理法が問題となった。シリコンオイルを用いた油膜法では、水滴の径が小さくそのオイル中への溶解による粒子径変化が顕著であって使用できず、セラチン膜被覆スライド法を採用した。しかし、最初のサンプリングは捕集水滴の痕跡ができず、長時間露出してみたり膜の組成や作り方を種々変えてみたり四苦八苦したが、結局気流が高湿度で若干室温より高温であるためサンプラーへ水分の凝縮が生じ、膜が破壊されていたらしいということになった。サンプリング直前にサンプラーを加温することによってうまく水滴痕跡ができるようになったときは大変嬉しかった。

3. 主な成果

Fig. 1はリボンの気流に対する傾斜角 β を変化させた場合の衝突効率 η_c の計算値および測定値を示すが、両者の一致は良好である。図の横軸はリボン全幅と粒子直径を基準とした慣性パラメータ β の2倍の平方根である。 β の値が小さくなると、リボン幅は同一であっても気流をさえぎる投影幅が小さくなって粒子はリボンへ衝突しやすくなるように思われるが、リボン表面での気流の方向転換が総体として小さくなるためこの影響は打ち消され、全体として β の衝突効率に与える影響は小さい。し

昭和55年5月7日受付

* 京都大学工学部化学工学教室（〒606 京都市左京区吉田本町）
TEL 075-751-2111

Fig. 1 Relation between inertial collection efficiency and $\sqrt{2\Psi}$ with a ribbon inclined to the flow

Fig. 2 Calculated inertial and gravitational collection efficiencies with a ribbon perpendicular to the flow (Upward and downward flow)

かし、 β が小さい場合にはリボン前縁近くに気流が鋭く反転する部分があるため、慣性パラメータのかなり小さい粒子でもある程度リボンへ衝突する。

Fig. 2 は上昇流および下降流での慣性重力捕集効率 η_{gt} の計算結果である。パラメータの F_r [$\equiv (\text{風速})^2 / \{(\text{重力加速度}) \cdot (\text{リボン半幅})\}$] は慣性パラメータを重力パラメータで除した比に相当し、その値が大きければ慣性が支配的、小さければ重力が支配的となる。冷水塔や吸収塔その他種々の上昇流型の気液接触装置では多くの場合数 m/sec 以下の低風速であるが、たとえば幅 2 cm のリボンサンプラーを用いる場合 3 m/sec では F_r の値は 100、1 m/sec では F_r は 10 であって、図から重力の影響がかなり顕著なことがわかる。

Fig. 3 はルーバー液滴分離機の羽根形状およびブローダウン流量の有無を変えた場合の水滴部分捕集効率 η の測定結果で、分離に重要な 90% 以上の高捕集効率の部分を拡大している。横軸は入口風速と羽根間隙基準の慣性パラメータの平方根 $\sqrt{\Psi}$ である。

Fig. 3 Effects of blade shape and 10% blow down flow on partial collection efficiencies

Fig. 4 Particle impact efficiency of louver blade row

ブローダウンの無い場合には、断面 V 字形の羽根は平板羽根に比べて部分捕集効率はかなり高く、たとえば前者で 0.4 のとき後者では約 2 倍となった。しかも図には示していないが圧力損失は V 字形羽根の方が小さく、平板のはほぼ 75% であった。一方約 10% のブローダウン流量による部分捕集効率の増加は平板羽根の場合は顕著で、たとえばブローダウンの無いときに 0.4 であったのが約 2 倍となったが V 字形羽根では影響は見られなかった。このため、平板と V 字形羽根の捕集効率の差はほとんど無くなった。したがってブローダウンの不要な V 字形羽根がすぐれている。

Fig. 4 は平板羽根列が入口気流方向となす角 α の部分捕集効率曲線におよぼす影響を示している。ここで羽根に衝突するまでは固体粒子であっても液滴であってもその挙動にあまり差異はないことに着目し、篩分けしたアクリルビーズ、石松子、超大形カスケードインパクトで分級したフライアッシュの粒子径や性質の異なる 14 種類の単分散固体粒子を試料として用い、羽根にグリスを

塗布して再飛散を防止した場合の捕集効率を測定した。図から $\alpha=4^\circ$ が捕集効率最大であることがわかる。また図には示していないが、圧力損失は α の値が小さい程低い。しかし、 4° から 2° になってもほとんど影響はない。したがって $\alpha=4^\circ$ が最適設計条件と考えられる。

4. 研究の応用分野

リボンによる粒子捕集の研究の成果は、種々の液滴を伴う工程たとえば液滴分離機、冷水塔、調温調湿用エアワッシャ、湿式集じん機、海水淡水化装置、吸収塔、蒸発器、蒸留塔などでの液滴測定はもちろん、粉じんを伴う諸操作（たとえば集じん、分級など）における凝集粉じんの測定、あるいはリボンを高速で円周上を強制的に運動させる、たとえば大気浮遊粉じんをサンプリングす

る「ローターロッドサンプラー」、含じん気流中の物体の摩耗、飛行機の翼への雲粒の衝突などに関する基礎研究として役立つであろう。

一方ルーバー液滴分離機についてであるが、前述のように工業プロセスでは、液滴を伴う工程は数多く、それらの液滴を放置すれば、降雨や塩害、機器の腐食、歩留の低下、後続プロセスの触媒被毒、コンデンサーその他の伝熱部のスケール、環境の悪化などを生じ、その分離は重要である。本論文で取り上げたルーバー分離機は $10\mu\text{m}$ 以下の微細液滴の捕集には適さないが、処理能力が高く安価である他、目詰りがないので固体粒子や不溶成分を伴う場合にも使用できしかも寿命が長いので用途は広いと思っている。

（学位授与は1980年1月 京都大学）

レオナルド・ダ・ヴィンチ「マドリッド手稿」より

挽き臼の回転運動

これは、馬を使ってくるみを挽き、挽き臼の下からそれを集めて圧搾機で油を搾り、この搾ったくるみ油を火の上で掻き回して、1日六樽即ち4桶の油を生産する方法である。これは次のようにして行なわれる。馬が[挽き臼の]ローラーを回転してくるみを砕くと、その間に同時に落ち樋mは上下に動いてくさびmを打つ。またこれと同時に図で示したように、くるみは火にかけた鍋sのなかで攪拌される。さてくさびがそれ以上入らなくなったならば、落ち樋mをその上についた吊輪で掛け金に引っかけて、動力と接続しないようにする。次に第二の落ち樋nを外して動力と接続させ、くさびがとれて装置全体がゆるむまで、何度もくさびnの上を打たせる。この装置は、上に描いた図のようになっている。装置を締めくるさびはaであり、それをゆるませる逆形くさびはbである。

〔(岩波書店版マドリッド手稿による) 転載を許可下さった岩波書店に謝意を表します。〕

オリーブの実を挽き
集めて[挽き臼の]ロ
ーラーの下にそえる
方法。

(小浜弘幸)