超小型サイクロンの性能*

井伊谷 鋼一** 中 井 愛***

Performance of a Micro-Cyclone

by

Koichi IINOYA

(Department of Chemical Engineering, Kyoto University, Kyoto)

and Aishi NAKAI

(Research Institute for Production Development, Kyoto)

Performance of a micro-cyclone, mainly its pressure drop and collection efficiency, has been measured, using monodisperse aerosol by means of a Sinclair-LaMer generator. Even in a micro-cyclone, the modified pressure drop is found as proportional to the square of inlet velocity in its wide range. Over 90 % collection efficiency is obtained for one-micron particles (particle density is about 1 g/cm³) at the normal inlet velocity (20 m/sec), and for 0.25 micron particles at 50 m/sec inlet velocity too. The collection efficiency can be correlated to the inertia parameter with a modified factor of particle size for all experimental conditions.

(Received Jan. 21, 1969)

1 はじめに

サイクロンは構造が簡単で設置費が安い¹⁾ため、各方面において広く使用されてきたが、効率²⁾があまり高くない欠点をもつ。これに対してサイクロンを極端に小型³⁾にすることによってどの程度捕集効率が向上するかはよくわかっていない。むやみに小さくしても意味がないとも考えられているが、われわれは試作した超小型サイクロンの性能を測定してみたところ興味深い結果を得たのでここに報告する。

2 実験装置および方法

サイクロンの形状ならびに寸法を Fig. 1 に、実験装置のフローシートを Fig. 2 に示す。Sinclair-LaMer 形式の単分散粒子発生装置よりステアリン酸粒子を発生させて、約 10 l/min の清浄空気と混合槽内で充分に混合し、これを供試エアロゾルとする。エアロゾルは粉じん濃度計高濃度側を通してサイクロン入口に導き、サイクロンより同粉じん濃度計の低濃度側を通り、さらにろ紙とガラスオリフィスを通して真空ポンプによって吸引される。なお、ここで使用した粉じん濃度計(柴田化学器械工業株式会社)は光散乱を利用した相対濃度測定器である。ガラスオリフィスは湿式ガスメータによって検定したものである。ろ紙にはミルポアフィルタを使用した⁴⁾が、単にオリフィスな

Fig. 1. A micro-cyclone.

らびに真空ポンプの保護のためであり特別の意味はない。サイクロンの圧力損失は水または水銀マノメータを用いて求めた。

3 実験結果および考察

3.1 圧力損失

サイクロンの圧力損失は入口速度頭の何倍にあたるかによって表わされることが多い。すなわち

$$\Delta p = F \times \frac{1}{2g} \gamma u_i^2 \quad (1)$$

この場合サイクロンを真空ポンプの吸引側、すなわち負圧で使用しており、サイクロン内は大気圧に比べ

* 原稿受理 昭和44年1月21日

** 正会員 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町

*** 生産開発科学研究所 京都市左京区下鴨森本町

Fig. 2. Flow sheet of experimental apparatus.

て相当な減圧下にある。したがって、実測圧力損失 Δp_m は見掛け圧力損失とでもいうべきもので、前述の速度頭のガス比重量 γ の値を標準状態に補正することが望ましい。この補正は次式によって与えられる。

$$\Delta p_s = \Delta p_m \frac{\gamma_s}{\gamma} = \Delta p_m \frac{P_s T}{P T_s} \quad (2)$$

Fig. 3 に示すように実測の Δp_m と u_i の関係は(1)式のように u_i の2乗に比例していない。(2)式によって補正を行なった Δp_s と u_i の関係は2乗に正確に比例している。サイクロンをかなりの圧力範囲で使用する場合でもこのような補正を行なえば圧力損失は入口流速の2乗に比例することがわかる。一方、サイクロンの形状より圧力損失係数 F を推定する略算式が数多く報告されているが、その代表的な井伊谷および First の式より F を計算してみると12および10となり、

Fig. 3. Relation between inlet velocity u_i and pressure drop Δp .

圧力損失係数 $F_s=20.5$ よりかなり低い値となる。なおサイクロン入口における Re_i 数を求めてみると $10^3 \sim 10^4$ 程度で乱流範囲となっている。

3・2 捕集効率

実験結果より粒子径をパラメータとし、捕集効率 η を入口速度 u_i に対してプロットすると Fig.4 になる。これより普通のサイクロン入口速度 (約 20 m/sec) でもサイクロンを小型にすることによって 1μ 程度のダスト粒子 ($\rho_p=1.0 \text{ g/cm}^3$) を約 90 % の効率で捕集できるし、高速 (50 m/sec) にすれば 0.25μ の粒子を 90% も捕集できて、高速になっても効率の低下がないことがわかる。よって、このような小型サイクロンを並列に多数設置するような設計ができれば高性能マルチクロンとしての実用化が期待される。

一方、サイクロンの捕集機構として従来の考え方では慣性力のみが支配的であると考えられてきた。しかし本実験結果について捕集効率 η を慣性パラメータ $\Psi = \frac{\rho_p u_i D_p^3 C_m}{18 \mu D}$ に対してプロットしても粒子径によって別々の曲線となる。そこで η を $\Psi/(D_p/D)$ または Ψ/N_{sc} に対してプロットするとほぼ1本の曲線にまと

Fig. 4. Relation between inlet velocity and collection efficiency.

Fig. 5. η and $\Psi/(D_p/D)$ (log-normal distribution).

まり、さらに対数正規グラフにプロットすると Fig.5 のようにだいたい1本の直線となる。この場合他の因子として粒子濃度の影響も考えられるが、粒子の拡散現象を捕集機構の一つとして考慮する必要があるのかもしれない。とにかくサイクロンの捕集機構に対し一つの問題点を提起しているものと考えられる。

4 結 論

試作超小型サイクロンの性能を測定した結果、次の結論を得た。

(1) サイクロンをかなりの圧力範囲で使用する場合においても補正を行えば、圧力損失は入口流速の2乗に正確に比例することを確認した。

(2) サブミクロン粒子でもサイクロンを超小型にし、高速とすることによってかなりの効率で捕集できる。

(3) サイクロンの捕集機構は従来慣性のみが支配的であると考えられていたが、別に粒子径の影響をも考慮する必要があるものと認めた。

Nomenclature

C_m	: Cunningham correction factor	
D	: Cyclone diameter	(cm)
D_p	: Particle size	(μ)
F	: Coefficient of pressure drop	(-)
g	: Gravitational acceleration	(cm/sec ²)
N_{sc}	: Schmidt number	(-)
P	: Absolute pressure	(Kg/cm ²)

Δp	: Pressure drop	(mmH ₂ O=Kg/m ²)
Re	: Reynolds number	(-)
T	: Absolute temperature	(°K)
u_i	: Cyclone inlet velocity	(m/sec)
Ψ	: Inertia parameter	(-)
γ	: Specific weight of gas	(Kg/m ³)
η	: Collection efficiency by weight	(%)
μ	: Viscosity of gas	(g/cm sec)
ρ_p	: Density of particle	(g/cm ³)
Suffix		
s	: Standard state	
m	: Measured state	
i	: Inlet	

(昭和43年10月5日 第6回粉体に関する討論会にて講演)

参 考 文 献

- 1) American Petroleum Institute, Cyclone Dust Collectors, p. 18 (1955).
- 2) 井伊谷鋼一, “集塵装置”, p. 144 (1963) 日刊工業新聞社
- 3) 上岡 豊, 日本機械学会論文集, **20**, No. 93, 353 (1954).
- 4) 井伊谷鋼一, “集塵装置”, p. 86 (1963) 日刊工業新聞社
- 5) 井伊谷鋼一, “集塵装置”, p. 139 (1963) 日刊工業新聞社
- 6) 井伊谷鋼一, “集塵装置”, p. 137 (1963) 日刊工業新聞社
- 7) 宗像 健ほか, 化学工学協会九州大会要旨集, p. 77 (1968).
- 8) Hendrik Johan, Staub, **25**, Nr. 11, 486 (Nov. 1965).