サブミクロンじんあいのろ過*

新 津

靖**

緒 言

集じん装置は機能上多くの型式に分けられるが、衛生、精密工業および薬品、食品工業などで問題となるような、サブミクロン領域の微細じんあいの除去用となると、フィルタが代表的なものである。しかも新しいフィルタ素材が開発されるにつれて性能は向上し、現在最も信頼度の高いものの一つとなっている。

ここでは主としてフィルタの基本形態である繊維充てん層を中心として、実用的見地からのろ過性能について、現在まで行なってきた研究の概略を述べる。

1. フィルタによるろ過作用

フィルタにおけるろ過機構に関係する要素は多数あり、これらを全部考慮した厳密な性能解析はなかなか困難であるが、Langmuir¹⁾に始まって、多くの人々によって漸次解明されつつある。このうち、最も基本的な慣性、拡散、さえぎりの3作用を考えると、これらが集じん効率に及ぼす影響は、定性的に図1²⁾に示すような傾向をもつことが知られている。すなわち図の3本の実線がそれぞれ単独の作用を表わし、これらを合成した鎖線が、総合的なろ過性能を表わすことになる。

この鎖線はろ過風速に対して山形を示し、あるろ過風速において透過率が最大、すなわち集じん効率が最低となる。山の右側は、高風速によって衝突効果が大きくきいてくる範囲であるが、ろ過風速が高くなれば当然圧力損失は増し、実用的でなくなる。したがって、山の左側が実用範囲となるが、とくにサブミクロンじんあいを対象とする場合には、もともと慣性力が小さく、逆に拡散係数が大きいので、低風速ろ過の効果的であることがわかる。

このように、ろ過性能の一般的傾向は解析的にわかるが、フィルタの最終的な性能判定はどうしても実験を必要とし、以下著者の行なった実験結果によって、具体的に示すことにする。

2. 計測方法

サブミクロン領域の微細粒子に対する集じん性能の試験には、いろいろむずかしい点がある。

まず、じんあい量の検出には、最近では光散乱の性質を利用した方法がよく使われ、電子計器の発達とともに大いに性能が改善されており、著者はROYCO社製の光散乱式粒子計数器を用いた。その性能、問題点などについては、すでに別報³⁾で詳述したが、機構を簡単に述べると、白色光源からの光が、 1.98mm^2 の感光域を通る1個ずつのじんあい粒子に当たって発する散乱光を、光電子増倍管で検出し、パルスの大きさによって15段階の粒子径範囲に分け、各粒径範囲の粒子数を記録させるものである。したがって粒子径別の個数集じん効率を得られるが、この場合、粒子径別に分類して記録されるために、その値は重量効率と同じになる。

つぎに問題は、試験用粒子とその供給法であるが、この研究では球形固体粒子で、粒径の一様性ですぐれているDow Chemical社のポリスチレン・ラテックス標準粒子懸濁液を希釈して噴霧し、供給管路の途中で水分を蒸発させ、粒子のみをフィルタに供給して行なった。

3. 繊維充てん層のろ過性能

3.1 ガラス繊維充てん層

フィルタ材の基本的な性能は繊維充てん層である。理論解析と比較検討するために、断面が円形であること、異なった繊維径のものが入手しやすいことなどを考慮して、まずガラス繊維を用いて実験した⁴⁾。図2, 3, 4, 5に、それぞれパラメータを変えて、集じん効率の特性を

図1 ろ過機構の3作用が透過率に及ぼす影響

* 昭和42年2月20日 受理

** Yasushi Niitsu 大阪大学工学部

図2 ガラス繊維充てん層フィルタにおいて繊維径が集じん効率に及ぼす影響

図3 ガラス繊維充てん層フィルタにおけるろ過風速が集じん効率に及ぼす影響

図6 ガラス繊維充てん層フィルタの単独繊維集じん効率における理論計算値と実験値の比較

図4 ガラス繊維充てん層フィルタにおける粒子径と集じん効率との関係

図5 ガラス繊維充てん層フィルタにおける充てん率の集じん効率に及ぼす影響

求めた結果の一部を示す。

繊維充てん層において、フィルタ材の特性を表わすものは繊維径、充てん率およびフィルタ厚さであり、一方ろ過条件としては、粒子径とろ過風速がある。これらの諸要素が集じん効率に与える影響を、前掲の図からみると、集じん効率を向上させるには、(1) 繊維を細く、(2) 充てん率を大きく、(3) フィルタを厚く、(4) ろ過風速を低くすればよいことがわかり、またじんあい粒子が小さいほど捕集しにくくなることはもちろんである。中でも繊維径の影響が最も大きく、サブミクロンじんあいまで捕集しようとするれば、繊維をとくに細くしなければならない。

図6は前述のろ過機構に關係する基本的な3要素を解

析し、単独繊維に対する捕集効率を計算した結果と、実験結果から引き直した値とを対比して示したものである。図中の実線は1:1の対応で、定性的にはよく合っている。しかし解析の中でも、とくに拡散の考え方には問題を含んでおり、今後これがもっと解明され、さらに静電気など、他の要素の影響も加えてゆけば、定量的にもっとよく合う結果が得られるものと考えている。

一方、圧力損失は、(1)ろ過風速およびフィルタ厚さに比例し、図7に示すように、(2)充てん率の1.2~1.4乗に比例し、(3)繊維径の2乗に反比例する。

したがって繊維の細いことが、前述のように、集じん効率を高くする最大のポイントであり、同時にまた圧力損失増大の主要素となることは避けられない。

3・2 綿繊維充てん層

この型式のフィルタは、汚染大気中のばい煙が紡績工場に侵入し、糸を汚損するという問題の、安価で簡単な解決策として、著者が10年ほど前に開発したものである⁵⁾。綿繊維は断面扁平なりボン状のものが、よじれた形をしており、この層は円形断面の素材に比べて、同一容積のフィルタ材のもつ表面積が大きく、適度の弾性と曲がりくねった形状が、微小空間を維持しやすいという、ろ過に適した条件を備えている。しかも紡糸不能な下級綿、いわゆる落綿のほうが繊維が細くて短く、ろ過に適している点も有利である。また脱脂綿では効率が低下するところを見ると、天然綿の綿ろうが重要な役割を果たしているようである。

綿繊維のろ過性能に対する実験結果の一例として、図8にろ過風速と集じん効率の関係を示す。このときの綿繊維の平均直径が 18μ であったにもかかわらず、前述のガラス繊維における 8.4μ をしのぐような高い効率をもっている。

図7 ガラス繊維充てん層フィルタの圧力損失に対する充てん率の影響

4. ウレタンフォーム・フィルタのろ過性能

通気性をもったウレタンフォームが、フィルタとしてよく用いられるようになってきた。これは図9の写真に示すような三次元網状の複雑な骨格組織をもったものであるが、単位面積中に見える気ほうの数を用いれば、よくフィルタとしての特性を代表させることが、各種の実験からわかった。たとえば図10に示すように、ろ過風速とフィルタ厚さを一定としたとき、集じん効率は気ほう数に比例するという簡単な関係がえられる。

このほかサブミクロン領域のじんあいに対しては、粒子径に比例して、またろ過風速に逆比例して集じん効率が上昇するという性質がわかったので、これらの特性を用いて集じん効率に関する計算図表⁶⁾を作製したが、こ

図8 綿繊維充てん層フィルタにおける集じん効率

図9 ウレタンフォームの顕微鏡写真

図10 ウレタンフォームにおける気ほう数と集じん効率の関係

図 11 ウレタンフォームの集じん効率計算図表

図 12 ウレタンフォームの圧力損失計算図表

れを図11に示す。この図から、任意の気ほう数と厚さをもったウレタンフォームについて、使用条件が与えられれば、図の矢印に従って、その条件における集じん効率を簡単に求めることができ、また逆に所要のろ過条件が与えられれば、その要求を満たすウレタンフォームを簡単に選択することもできる。

図12は圧力損失に関する計算図表で、この図によって圧力損失を求めることができる。さらに図11、12を併

用すれば、気ほう数を数える代わりに、もっと測定の簡易なるろ過風速、圧力損失、フィルタ厚さを測り、図12から気ほう数を求め、つぎにこれらの数値を図11に用いて集じん効率を求めるというような、便利な使い方もできる。繊維充てん層においては、細い繊維を用いることが集じん効率向上の要点であったが、この場合は気ほうを小さくすることが最大のポイントになる。しかし現在入手できるのはせいぜい1,500個/cm²とまりであるため、これを圧縮して小さな気ほうと同様の効果をあげようと試みた。図13はいろいろな気ほう数と厚さのウレタンフォームを、いずれも3mmまで加熱圧縮して使用した場合、圧力損失と集じん効率の関係を示したものである。図中の各種プロットが1本の曲線上にあることから、気ほう数と圧縮率をどう組み合わせても、効率を上げようとするれば、圧力損失の大きくなることは避けられない。

つぎに同量のフィルタ材料を用いた場合、圧縮することの得失について考える。いま図14において、曲線Aは圧縮しないいろいろの厚さの状態での性能を示し、曲線Bはそれぞれの厚さのものを、圧縮率を変えて3mmまで圧縮した場合の性能を示す。両曲線上の同種のプロットは、それぞれ同量のウレタンフォームに相当するが、いずれも矢印の方向に性能が移動して、集じん効率が上がると同時に、圧力損失も高くなってゆき、そのこう配が順次小さくなってゆくところから、過

度の圧縮は圧力損失を高くするのみで、集じん効率の向上にはあまり寄与しないことを知る。圧縮することによ

って、フィルタとして使いやすい場合もあるが、やはり気ほうの小さい素材を用いることが、ウレタンフォームにおけるろ過性能改善の基本となる。

いずれにしても、現在市販されているものの程度の気ほう状態では、サブミクロン粒子に対して、必ずしも十分高い集じん効率は期待しえないが、保じん容量が大きく、再生や成形の容易さなど、使用上の利点を多くもっており、プレ・フィルタとしてであれば、いろいろの長所をもっている。

および紙状フィルタのろ過性能を、実用上、直接問題となる圧力損失と集じん効率を座標にしてまとめると図15

図13 圧縮ウレタンフォームのろ過性能

5. 各種フィルタのろ過性能

微細じんあいに対する高性能フィルタとしては、 1μ あるいはそれ以下の細いガラス、アスベスト、ポリステロールなどの繊維を材料として、これを吸取紙状に加工したものが開発され、いずれも 0.3μ のじんあいに対し99%以上の高い個数集じん効率をもっている。

・ 以上著者の研究室で実験した繊維充てん層、ウレタンフォーム、

図14 ウレタンフォームのろ過性能に対する圧縮の影響

図15 各種フィルタのろ過性能比較

のようになる。集じん効率は大気中圧的に数の多い 0.35μ の粒子に対するもので、ろ過風速は紙状フィルタの 2.2cm/s を除き、ほかはいずれも 9cm/s である。合成繊維については目下実験中で、測定値が少ないため、はっきりとは断言できないが、綿繊維と同様に、同一圧力損失に対する集じん効率が、ガラス繊維よりもいくらか高くなっており、これらは静電気や断面形状の影響によるものと考えられる。しかし全体として見渡すと、各種繊維の充てん層とウレタンフォームの特性は1本の帯のように連らなって、いまのところ飛び抜けてすぐれた材料はないようである。

結 論

繊維充てん層およびウレタンフォームを中心として、いままで行ってきた研究結果の概略を述べたが、結論としてつぎのことがいえる。

- i. ウレタンフォームのろ過性能は、著者の作製した計算図表によって、簡単に求めることができる。
- ii. 圧力損失と集じん効率とを座標にして表わしたろ過性能において、ウレタンフォームと繊維充てん層に対

するものが連らなるところから、この両者は同じようなろ過特性をもっているといえる。

iii. 人工的に静電気を帯びさせるとか、断面形状を変えるとか、特別の手段を講じない限り、現在えられる繊維そのままで、とくにすぐれたろ過性能をもつ材料は見当たらない。同一ろ過風速に対し、高い集じん効率を望めば、高い圧力損失を伴うことは避けられず、低風速ろ過が最も基本的な解決策である。

iv. 高い集じん効率をもつフィルタは、保じん容量と再生性に欠け、逆にこれらの能力をもつものは効率が低い。結局フィルタの特質をよく考え、プレ・フィルタと高性能フィルタの2段に分けて、おのおのの長所を生かして使用するのが賢明な方策といえよう。

引用文献

- 1) Langmuir, I.: O. S. R. D. Report, No. 865 (1942)
- 2) Ramskill, E. A. & Anderson, W. L.: *Colloid Science*, 6, 416 (1951)
- 3) 新津靖・吉川暉・酒井寛二: 空気調和・衛生工学, 38, 476 (1965)
- 4) 同上, 40, 613 (1966)
- 5) 新津靖・吉川暉: 衛生工業協会誌, 33, 41 (1959)
- 6) 新津靖・吉川暉・浜名隆: 空気調和衛生工学会秋季学術講演会前刷, 44 (1966)

最近の工業用集塵浣布*

中 尾 善 宣**

は し が き

元来集塵の目的は有価物の回収あるいは作業環境の改善および大気汚染の防止などにある。これに対してフィルター集塵特に浣布集塵は乾式操作としては電気集塵とならんで高性能で重要な装置である。そして浣布は一般に袋状につくのでバッグフィルターとよばれることが多い。しかしその基礎的研究は十分進んでいないようであるし、実用面でも一昔前までの天然繊維の時代から合成繊維の発達した現在まで経験に頼らねばならない事例が多い。これは浣布が非常に複雑な要素から構成され、性能に影響する因子が余りに多いためであろう。今ここで浣布についての現状と最近の問題点をのべてみたいと思う。

* 昭和42年3月30日受理

** Yoshinori Nakao 中尾フィルター工業KK

I. 浣布の選定と取り扱い

工業用集塵浣布は一般に高温すなわち 150°C 以上の状態で使用されるものと、それ以下の温度で用いられるものとに大別されその材質も表1のように多種にわたって

表1 浣布の耐熱性

綿	80℃
ナイロン	90℃
毛	100℃
アクリル	110℃
ポリエステル	150℃
四酸化樹脂	240℃
ガラス	250℃
黒 鉛	1000℃