

論文の内容の要旨

論文題目 「静電誘導帯電方式における一流体
水噴霧ノズルの比電荷特性に関する研究」

学位申請者 吉田 哲雄

キーワード: 静電噴霧 誘導帯電 一流体ノズル 液膜分離点 比電荷

本研究の背景は、浮遊粉じんの洗い落とし(除塵)を対象とした課題である。特に、建築物の解体工事やダンプ走行、トンネル掘削現場等において発生する浮遊粉じんの除去は人体の健康面において重要である。今日までに多くの対策が施されてきたが、決定的な解決には至っていない。飛散した浮遊粉じんの除去を実施するにあたり、本研究は静電噴霧により帯電した微小な水滴(霧状の水粒子)に粉じんが付着して除塵する(粉じん洗い落とし)技術の端緒を開くことにあった。静電噴霧は、帯電した水滴が静電気力(クーロン力)を伴って霧(水粒子)に分裂する現象である。本研究の実用面では、これまでに流量が比較的多い一流体ノズル(1.0 L/min の流量)を用いて、誘導帯電方式による水噴霧が粉じんの洗い落とし効果に有効であることを見出してきた。また、本研究では他の背景として消防防災分野への適用がある。そこでは、静電噴霧が未燃焼材料部分への水付着量を増加させることが可能であること、通常散水において困難な部位(燃焼材料の裏面側や入り組んだ部位)への水付着効果を有すること、煙の除去に効果があることを見出してきた。一般に、一流体ノズルは二流体ノズルに比べて放水流量が多く、広範囲に放水が可能となる他、設備コストを抑えられる利点がある。しかし、一流体ノズルの誘導帯電方式に関する研究報告は従前より少なく、特にノズルの仕様に基づいた静電誘導電極の設計に関しては不明であった。

申請者は、一流体ノズルで生成した水粒子の比電荷(水粒子に静電気を帯電させた際の水単位質量あたりの電荷量:C/kg)を高めるため、ノズル先端に配置する誘導電極について基本設計に関する知見を見出す必要があると考えた。本研究の目的は液膜分離点(ノズルの噴出口から放出する液膜が水粒子に分裂する位置)と誘導電極の相対的な配置について、比電荷を増大させる設計指針を見出すことである。具体的には、まず一流体ノズルの代表的な中空円錐ノズルについて、液膜分離の位置を探るために可視化とプローブ測定(触針法)の双方から評価した。次に、噴霧角度の外縁に沿わせた環状の誘導電極を設計して、液膜分離位置と誘導電極の配置が比電荷特性に与える影響を実験により明らかにした。

本論文は全4章にて構成しており、以下に各章ごとの概略を示す。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。まず、静電噴霧の代表的な方式について特徴と先行研究の詳細について整理した。次に、本研究の目的と研究課題を提案し、その評価に関する実験の概略を示した。

第 2 章では、液膜分離点を評価するにあたって液膜分離点の測定方法について述べた。本研究では液膜分離点を評価するため、高速度カメラを用いた可視化とプローブ測定(触針法により液膜に流れる電流の有無の判定)を用いて検討した。まず、噴霧の可視化ではノズル噴出口から放出する液膜が微粒化する様子を定性的に把握することができた。次に、プローブ測定(触針法)では液膜分離点が静電誘導帯電の無い状態で 7.0 mm、静電誘導帯電の有る状態で 8.0 mm であった。本章ではこれらの特性について論じた。

第 3 章では、液膜の外側に配置する誘導電極と液膜分離点の相対位置が比電荷特性に影響を及ぼす主なパラメーターとなることを明示した。まず、比電荷は印加電圧に依存して増加し、比電荷が 10^{-4} C/kg 程度であることを確認した。さらに、誘導電極を液膜分離点近傍に配置すると、比電荷が高まることがわかった。次に、比電荷の増加に適した誘導電極を製作して、評価を行った。その結果、液膜分離点において、誘導電極が液滴に接触しない電極系とすることで比電荷が高くなることが判明した。噴霧の水粒子径は、静電誘導の有無での変化は見られなかった。ただし、静電誘導時は帯電した小さな水粒子が斥力により互いに反発して、静電微粒化の促進に伴って開放空間中に飛散されることを確認した。水粒子の比電荷は、理論最大帯電量(レイリー限界)に対して 7~8 %程度であった。この値は、一流体中空円錐噴霧ノズルを用いた先行研究と比べて約 2 倍の値となった。このことから、比電荷を高めるためのノズルの設計指針を示すことができた。

第 4 章では、各章を総括して述べ、今後の研究課題に関する本研究の知見を述べた。

今後、本研究が社会に与える影響として、一流体ノズルの静電誘導帯電方式における比電荷は誘導電極を配置する位置と液膜分離点の相対的な位置関係に依存する。本成果は比較的流量の多い一流体ノズルを用いた静電誘導帯電方式を設計する上での工学的な設計指針を示した。建築・土木現場で発生する浮遊粉じんの洗い落としをする分野に応用するにあたって、静電噴霧ノズルの開発をする上で重要な知見の一つを明示できたと考える。また、消火・消煙効果も十分に期待できることから新たな消防機器としての発展も大いに期待できる。人命救助の観点から社会に広く普及できる産業応用に繋がると考える。