

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氣懸微粒穿透毛細管之特性探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-040-004-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

計畫主持人：賴全裕

共同主持人：陳志傑

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

氣懸微粒穿透毛細管之特性探討

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 94-2211-E-040-004-
執行期間：94年8月1日至 95年7月31日

計畫主持人：賴全裕助理教授
共同主持人：陳志傑教授
計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

中文摘要

在台灣高濕度的環境中使用微粒自動偵測器進行空氣中懸浮微粒的採樣，若不能有效的降低濕度，所偵測的微粒樣本因會含有水分，將會高估懸浮微粒測值，不能代表真正的懸浮微粒的質量濃度。微粒樣本平衡系統 (Sample Equilibration System, SES) 為一般大氣採樣廣泛使用之吸水系統裝置，其主要優點為能藉由全氟磺酸聚合物(Nafion)吸收水氣，控制進入微粒偵測器氣流的相度濕度，降低微粒的含水量，使微粒自動偵測器所測得的微粒質量濃度更具有代表性。但不同微粒粒徑通過 Nafion 管時，會造成微粒沈積在 Nafion 內壁及進氣口處，易低估懸浮微粒質量濃度。

根據氣膠技術理論，影響 Nafion 微粒沈積損失的主要變項有氣懸微粒粒徑大小、Nafion 管徑大小、管壁的厚度、進氣口的型態、排列方式、與氣流的大小…等，本研究將建置測試系統，主要選擇酒石酸鉀鈉(Potassium Sodium Tartrate Tetrahydrate)、氯化鈉(Sodium Chloride)和水泥作為挑戰氣懸微粒。以微粒電移動度掃描分徑器 (Scanning Mobility Particle Sizer)、氣動粒徑微粒偵測器 (Aerodynamic Particle Sizer) 進行氣膠濃度、粒徑分佈之測試，以定量輸出霧化器(Constant Output Atomizer)、超音波霧化噴嘴(Ultrasonic Atomizing Nozzle) 和粉塵分散器 (Solid Particle Dispenser) 產生所需之挑戰氣膠，以 Kr-85 中和挑戰氣膠至波茲曼分佈。並根據上述影響因子配合實驗室進行採樣評估，探討各個變項對微粒沈積的影響，進而研發最佳化(高去水效率及低微粒沈積損失)的去水系統，提升大氣氣懸微粒的質量濃度量測的精準度。

關鍵詞：吸濕、全氟磺酸聚合物、氣膠、毛細管

Abstract

Taiwan is located in a subtropical area, the warm weather and high moisture climate all affect the monitoring of ambient particle mass concentration. Without proper dehumidifier, the automate particle monitors can not collect accurate samples, due to particle contain water. In order to overcome this circumstance, the Sample Equilibration System (SES) with Nafion is widely used to absorb humidity. In this manner, the sampling mass concentration of ambient particle becomes more precise and representative. However, shortcomings have been observed as the SES system is used to reduce particle hygroscopicity: aerosol particles with high inertial force impact to the edge of Nafion tube, moreover, particles deposit on the inner surface of Nafion tube due to diffusion.

Base on the theory of aerosol research, of all particle size, Nafion inner diameter, thickness and collocation of Nafion tube, and sampling velocity are possible parameters that can affect the aerosol deposition of Nafion tubing. In the study, a constant output aerosol generator, ultrasonic atomizing nozzle and Solid Particle Dispenser (PALAS) was used to generate challenge aerosol particles (Potassium Sodium Tartrate Tetrahydrate, Sodium Chloride and cement). A radioactive source, Kr-85, was used to neutralize the challenge particles to the Boltzmann charge equilibrium. An Aerodynamic Particle Sizer (APS), Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) was used to measure the number concentrations and size distributions of the challenge aerosol. In addition, the study will compare the above operation parameters and develop a high efficiency dehumidifier in the future.

Keywords: hygroscopicity, Nafion, aerosol, capillary

1-1 研究背景

早期有針對環境空氣或排放管道的污染物進行手動式的採樣檢測，延伸至今有自動連續檢測方法將其替代。不同的檢測原理，在檢測時將考量不同的干擾因子，最普遍會影響採樣結果的就是水氣。另外，因台灣處於高濕度的環境中，使用微粒自動偵測器進行大氣中懸浮微粒的

採樣，若不能有效的降低空氣濕度，所偵測的微粒樣本將會含有水分，也因此而高估懸浮微粒測值，故不能代表真正的懸浮微粒的質量濃度。有鑑於此，一般建議可在微粒自動偵測系統前，先令欲偵測的氣懸微粒通過能有效去除水氣之系統，以避免上述情況發生。樣本平衡系統 (Sample Equilibration System, SES, Rupprecht & Patashnick Co. Inc., USA)，或稱為去水系統。此去水系統為具離子交換作用的 Nafion 毛細管所構成，Nafion 為美國杜邦公司所研發的一種離子交換膜。主要優點為能藉由 Nafion 物質的特性，使得待測氣懸微粒通過 Nafion 毛細管時，潮濕氣懸微粒中的氫離子得以與 Nafion 的磺酸根離子交換，故可控制進入測試系統裡氣懸微粒的水氣含量，進而控制含氣懸微粒氣流之相度濕度降低至 10%，使得自動偵測器所測得的微粒質量濃度更具有代表性。但是，大氣中不同粒徑氣懸微粒進入 Nafion 內管時，因為微粒衝擊機制引發沈積的損失，氣懸微粒在 Nafion 管的內壁時，亦會因為微粒的擴散機制造成沈積損失，以致於低估懸浮微粒質量濃度。故如何評估、減少去水系統造成氣懸微粒沈積損失率，實為刻不容緩事宜。

1-2 研究目的

本研究將評估市售去水系統造成微粒沈積的損失率，另外，根據氣膠技術的理論，影響 Nafion 微粒沈積損失的主要變項有：氣懸微粒的粒徑大小、Nafion 管徑的大小、Nafion 管壁的厚度、進氣口的型態與排列方式、氣流的大小...等，將根據上述影響因子作為本研究的主要操作變項，配合實驗室探討各個變項對微粒沈積的影響，進而研發最佳化（高去水效率及低微粒沈積損失率）的去水系統，對提升量測大氣氣懸微粒質量濃度的精準度將有極大的貢獻。

2 文獻探討

2-1 氣流通過毛細管的微粒穿透率

當微粒大小範圍為 0.5~15 μm ，流量為 5 L/min 時，毛細管內徑大於 45 μm ，長度小於 30 mm，微粒的穿透率最高。而且，微粒在穿透毛細管時，其微粒稀釋濃度與粒徑大小無關，即慣性衝擊與重力沈降過濾機制，在這種狀況下將不扮演重要的角色(Mitchell et al., 1990)。

只要微粒濃度不會過高而影響到流量，微粒的穿透率將取決於微粒初始濃度。Burton et al.(1993a), Clement(1995)發現在靠近毛細管進口處的衝擊沈積，可假設與毛細管的長度與外界壓力有關，但未針對毛細管的長度、管徑，與微粒的穿透率之間建立決定性的結果。

曾有研究探討在內管管徑單位為公厘的毛細管，於無風狀況下其入口孔徑大小與採樣的關係 (Davies, 1968; Agarwal and Liu, 1980)，但至今並未使用在描述微粒進入毛細管的行為模式上。然而，Mitchell et al. (1990)則提出微粒粒徑大小的篩選，對於微粒進入毛細管的結果無關。對任何毛細管或細縫而言，都會有氣懸微粒的沈積，而最終總是會形成堵塞 (Morewitz, 1982)，而這種微粒沈積與堵塞，與氣懸微粒的濃度以及中斷微粒穿透率的機制有關(Clement, 1995)。是以本研究將針對上述探討所針對的議題進行氣懸微粒的大小、Nafion 管徑的大小、管壁的厚度、進氣口的型態與排列方式、氣流的大小...等研究，配合實驗室和現場採樣，探討各個變項對微粒沈積和去移除水分的影響，進而研發最佳化（高去水效率及低微粒沈積損失）的去水乾燥系統。

3 研究方法

評估現今市售的 Nafion 管及選用適當材質、管徑大小、管壁厚薄...等參數製作毛細管（模擬現今使用的 Nafion 管），探討在各種不同操作條件下(如不同流量...等操作變項)，改變流經毛細管的氣流大小及進氣口型態的不同，對移除氣流與微粒中水分及隨時間負載特性，以利得知最佳化毛細管的設計及操作參數，進而推估毛細管使用的壽命期限。

3-1 進行步驟

3-1-1 毛細管的製作--相同管壁厚薄，不同管內徑大小

現今實際使用的 Nafion 毛細管尺寸，其內徑尺寸有 0.086 in.(2.18 mm)、0.06 in.(1.52 mm)、0.042 in.(1.07 mm)，實際長度為 12 in.(30.48 cm)。自製毛細管的材料，以方便取得的市售不鏽鋼細管為主。不鏽鋼細管除方便取得外，價格便宜也是一大優點。再者，尺寸亦較其他材質(如銅管)齊全，於實驗時挑選尺寸較不容易造成太多困擾。為比較不同管徑大小的毛細管對微粒沈積率的影響，選擇市面上三種最接近目前使用之 Nafion 毛細管尺寸並將之裁剪為 15 cm，其內徑尺寸有 A. 2.1 mm、B. 1.6 mm、C. 1.3 mm，如圖一所示。

3-1-2 毛細管氣流流量設定

在毛細管的流速部份，參考一般使用情形，將控制在 1~5 L/min 之間。而實驗時將比較 1、3、5 L/min 等不同的流速對微粒沈積造成的變化。為了增加實驗系統的穩定性，系統中所有的流量均以質流控制器監控 (Mass Flow Controller, Hastings Instrument, Hampton, VA) 來控制與監視，並以紅外線皂泡計 (Gilian Instrument Co. west caldcoell, NT) 進行流量的校正。

3-1-3 壓降量測

毛細管在負載微粒的壓力變化，主要藉由傾斜式壓力計 (Manometer) 以量測其所造成的靜壓差，或可以利用壓力轉換器 (Pressure Transducer, The OMEGA PX164-010D5V)，經電腦擷取卡的讀取，紀錄壓力資料。其量測結果如圖二所示。可以發現自製不鏽鋼毛細管，其壓降隨著管子內徑縮小而增加。但 nafion 管之內徑為 0.06 in.(1.52 mm)，比不鏽鋼管 A. 2.1 mm、B. 1.6 mm 小，但比 C. 1.3 mm 大。然而確有最高的壓損，遠比 A、B、C 三不鏽鋼管都來的高。推測為其內壁粗糙度遠比不鏽鋼管高，所以增加氣流通過時之阻力所導致。

3-1-4 測試氣懸微粒之選擇

實驗主要選用酒石酸鉀鈉 (Potassium Sodium Tartrate Tetrahydrate, $C_4H_4KNaO_6 \cdot 4H_2O$) 為挑戰氣懸微粒。

3-1-5 完成微粒穿透率評估系統

微粒穿透毛細管的測試系統，為一壓克力測試腔，此測試系統構造包括(1)微粒產生裝置、(2)靜電中和裝置、(3)測試腔、(4)增濕裝置及(5)微粒質量濃度量測裝置，如圖三所示。以下簡單說明各單元構造及功用。

在多粒徑分佈氣懸微粒的產生方面，由於截至目前為止，尚未有一台氣膠產生器可以同時產生包含上述粒徑範圍的氣懸微粒，因此必須利用不同產生原理的儀器來產生次微米粒徑以及微米粒徑的測試微粒。首先以定量輸出霧化器 (Constant Output Atomizer, Model 3075, TSI Inc., St. Paul, MN, U.S.A.) 產生次微米多粒徑的氣懸微粒。其原理是使高壓空氣經一直徑為 0.343 mm 的微孔並以高速射出，根據伯努利 (Bernoulli) 原理，高速區的氣壓較低，因此液體被吸入低壓區，藉著前述之高速空氣柱將液體破碎成微小的液滴。由於設計上的關係，較大的液滴會因為慣性衝擊的作用而被截取下來，並流入儲液容器中，只有較微小的液滴可經 90 度的轉彎而離開霧化器。噴霧器所建議使用的空氣壓力為 35 psi (可視需要調整)，所產生的液滴粒數中位粒徑 (Count Medium Diameter, CMD) 約為 0.3 μm ，幾何標準偏差 (Geometric Standard Deviation) 小於 1.9。微粒粒徑的大小主要是藉著調整溶液中不揮發性溶質所佔的體積分率決定。

至於較大粒徑範圍 (微粒粒徑大於 1 μm) 的微粒的產生方式，是利用超音波霧化噴嘴 (Ultrasonic Atomizing Nozzle, Model 8700-60MS & Model 8700-120MS, Sono-Tek Inc., Ponghkeepsie, NY, U.S.A.) 把注射式唧筒幫浦送入的液體破碎成微小的液滴，經過將其稀釋或乾燥後，即成為所需的測試用氣懸微粒。超音波霧化噴嘴之原理是藉著電擊傳送器 (Piezoelectric Transducer) 將電能轉換成機械能以產生高頻率的音波，再藉此音波將送入的液體破碎成為小的顆粒，待其乾燥後，即為所需的測試微粒。其所形成的液滴粒徑分佈受噴嘴的頻率、液體的

表面張力及液體密度的影響，而噴嘴的頻率為決定液滴粒徑的最主要因子。本系統中所使用的噴嘴頻率為 120 KHz，而其產生的液滴之粒徑中位數約為 20 μm 。一般來說，經由超音波霧化噴嘴所產生的液滴之粒徑分佈可視為一對數常態分佈，而經過乾燥後所型成的氣懸微粒亦可假設為一對數常態分佈。經液滴乾燥後所型成的微粒大小，除了受到液滴大小的影響之外，液滴之中不揮發性溶質所佔的比例也是一主要的決定因子，其間的關係可用下列式子表示之：

$$D_p = (C + I)^{1/3} \times D_d \quad (1)$$

其中，

D_p ：微粒粒徑 (μm)

C ：不揮發性溶質在溶液中的體積分率 (Vol./Vol.)

I ：不純物質在溶液中的體積分率 (Vol./Vol.)

D_d ：液滴粒徑 (μm)

微粒的性質可以是固體（如：氯化鈉、酒石酸鉀鈉等）亦可以是液體（如：玉米油、DOP 等）。此外在各儀器的適用範圍內，仍可藉著調整溶液濃度以產生計數中位粒徑不同之微粒分佈。其次，由於剛產生的氣懸微粒往往帶有相當高的電量，因此為了使實驗結果不受到微粒帶電的影響以及提高實驗系統的穩定程度，所以在各個產生器下方放置一放射源 25 mCi Kr-85 中和液滴上的帶電，使其達到所謂的波茲曼電量平衡 (Boltzmann Charge Equilibrium) 的狀態。其半衰期為 10 年，用來中和微粒帶電的原理，是利用其衰變的過程中所釋放出的能量將空氣分子解離成正、負離子之後，再藉著這些離子附著到帶電微粒的表面，以達到中和的目的。其中和的情況可以藉著測試腔底部所架設的氣膠電流計 (Aerosol Electrometer, Model 3068, TSI Inc., St. Paul, MN, U.S.A.) 以監測之。氣膠電流計主要的構造是一個位於法拉第杯內的濾紙以及一個電流計，氣懸微粒所帶之電荷量在微粒被收集於濾紙時，可使法拉第杯感電，再利用電流計量測得到電流值，進一步換算成氣膠的帶電量。藉此來偵測氣懸微粒的帶電量，以觀察測試腔內的氣懸微粒是否真正達到電荷平衡的狀態。

在氣懸微粒的量測上亦如微粒的產生一般，也無法利用單一量測儀器來量測，因此必須使用不同的偵測儀器來分別量測微米 (1~10 μm) 與次微米 (<1 μm) 之奈米粒徑 (Nanometer Particle) 範圍的氣懸微粒。而在氣懸微粒貫穿率結果的呈現上，也將以兩台儀器所量測的結果合併來表示。主要的量測儀器有：微粒電移動度掃描分徑器 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS, Model 3934, TSI Inc., St. Paul, MN, U.S.A.)、氣動微粒分徑器 (Aerodynamic Particle Sizer, APS, Model APS 3310A, TSI Inc., St. Paul, MN)。SMPS 包括靜電分徑儀 (Electrostatic Classifier Model 3080L, TSI Inc., St. Paul, MN) 和凝結核微粒計數器 (Condensation Particle Counter Model 3022A, TSI Inc., St. Paul, MN) 兩部儀器。靜電分徑儀利用微粒電移動度的不同以區分微粒的粒徑；凝結核微粒計數器的原理是讓微粒通過一充滿正丁醇飽和蒸氣的管子，在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下與飽和正丁醇蒸汽混合，此混合氣體通過一溫度為 10 $^{\circ}\text{C}$ 的管子，使正丁醇凝結於微粒表面，微粒因而長大至可偵測的範圍，再利用光偵測器可得知微粒的數目，CPC 偵測微粒濃度的範圍為 $10^1 \sim 10^7$ particles/cm³，所量測的粒徑範圍是 7 nm~3 μm 。

本實驗中對於微米粒徑範圍的氣懸微粒粒徑，與數目濃度大小是利用氣動微粒分徑器 (APS) 測量，其測量原理是利用微粒被加速的難易來區分微粒的大小。而其作法是引導微粒通過一加速流場後穿越兩道平行的雷射光束，偵測其通過兩道雷射光之時間 (Time of Flight, TOF) 以計算出氣懸微粒的氣動粒徑 (Aerodynamic Diameter, D_{ae})。其所能測量的粒徑範圍在 0.8 ~ 30 μm 。實驗中系統測試腔內流場控制為靜流狀態 (Calm Air)，流速小於 0.1 m/s，如圖二所示。在圖三之實驗結果中，由於為了配合毛細管氣流流量之設定，故先後量測不同流量採樣下，系統產生之微粒濃度。

4 結果與討論

針對實驗所需之挑戰氣懸微粒，其 1、3、5 L/min 不同採樣流量之挑戰氣膠微粒粒徑分佈圖，如圖四所示，微粒之粒徑分佈變化不大。而在初步毛細管貫穿率實驗中發現，參看圖五至圖七，由於採樣流量變大，對不同粒徑大小之氣膠採樣效率，以較大之氣膠微粒採樣穿透率較差，對 15 μm 之氣膠微粒約只有 50 %~70 % 之採樣效率。

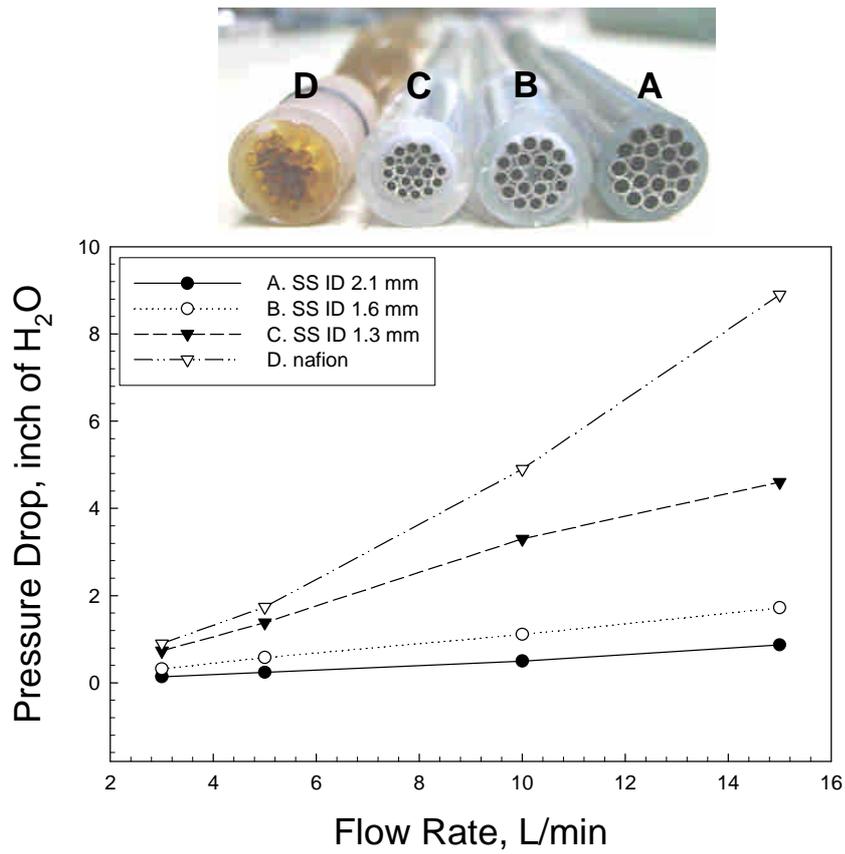
為了加強比較不鏽鋼毛細管對不同氣膠微粒之沈積率，及不同管徑厚度、採樣表面風速之變化所造成不同程度之影響，以及測試對奈米粒徑之微粒沈積率，實驗第二步重新製作毛細

管，並有系統的進行奈米、微米級微粒之沈積率實驗。圖八及圖九陳列了九種毛細管管徑變化之組合，共有 A 至 I 等九種毛細管。比較不同管徑大小、不同毛細管跟數、不同表面風速，不同管徑厚度之組合。由結果中發現，採樣流量變大，表面風速變大，較大之氣膠微粒採樣沈積率提高，對奈米微粒之沈積率較差，主要是因為對較大微粒之沈積率主要是應用機械力收集，而風速提高會增加收集效率；對於奈米級較小微粒則應用擴散機制，風速之增高，反而不利於較小微粒之擴散沈積，如圖十至十二結果可以應證。由於此種結果，對於研究又另外展開了一個新的研究課題，並且已經獲致初步結果，並已著手申請專利中，故某些較佳的實驗結果暫時並未陳列。

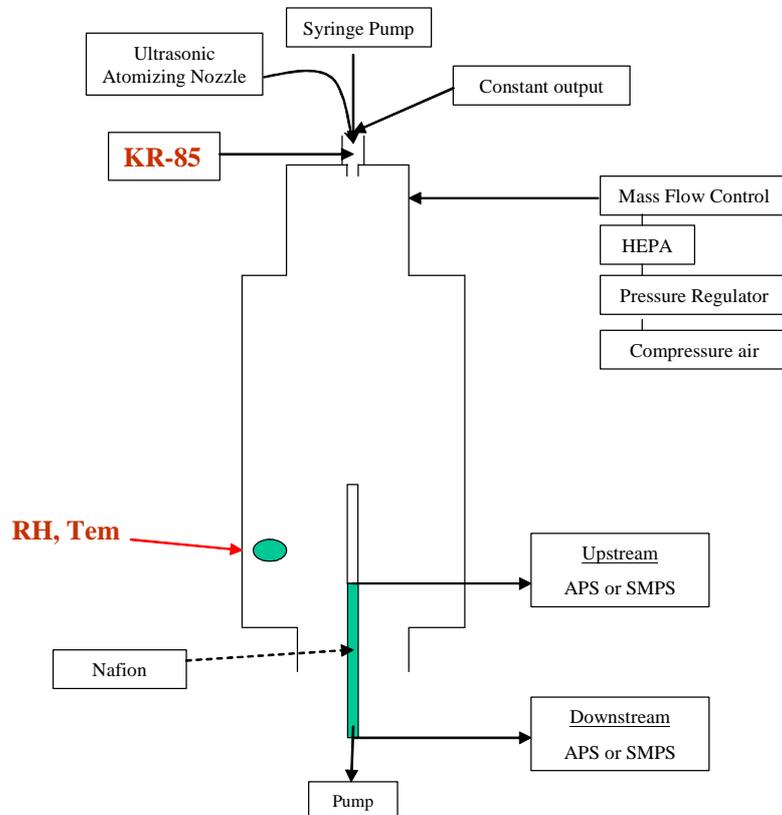


圖一：不銹鋼毛細管與 nafion 管之尺寸示意圖。

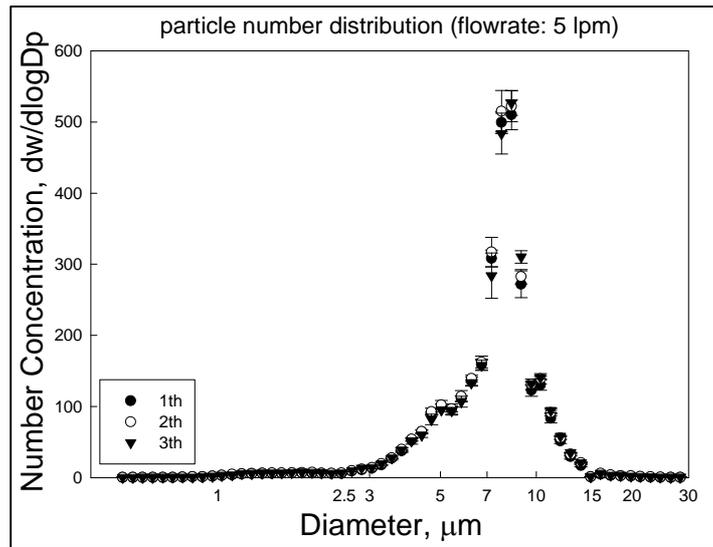
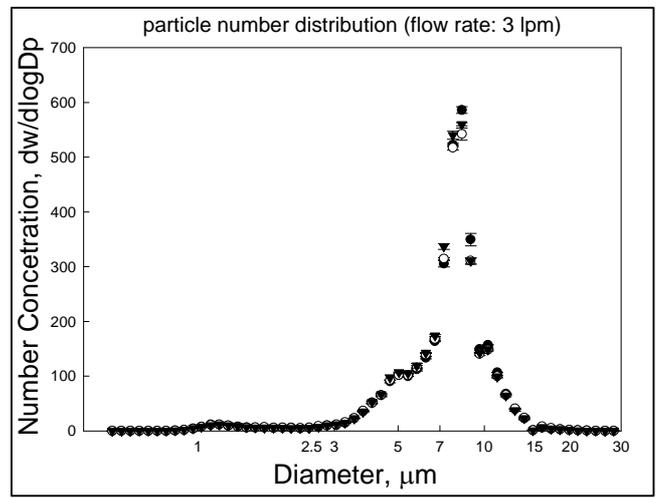
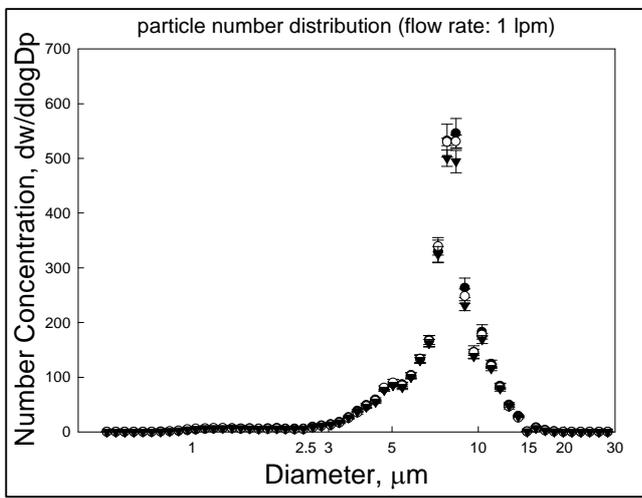
Pressure Drop of Stainless Capillary Tube



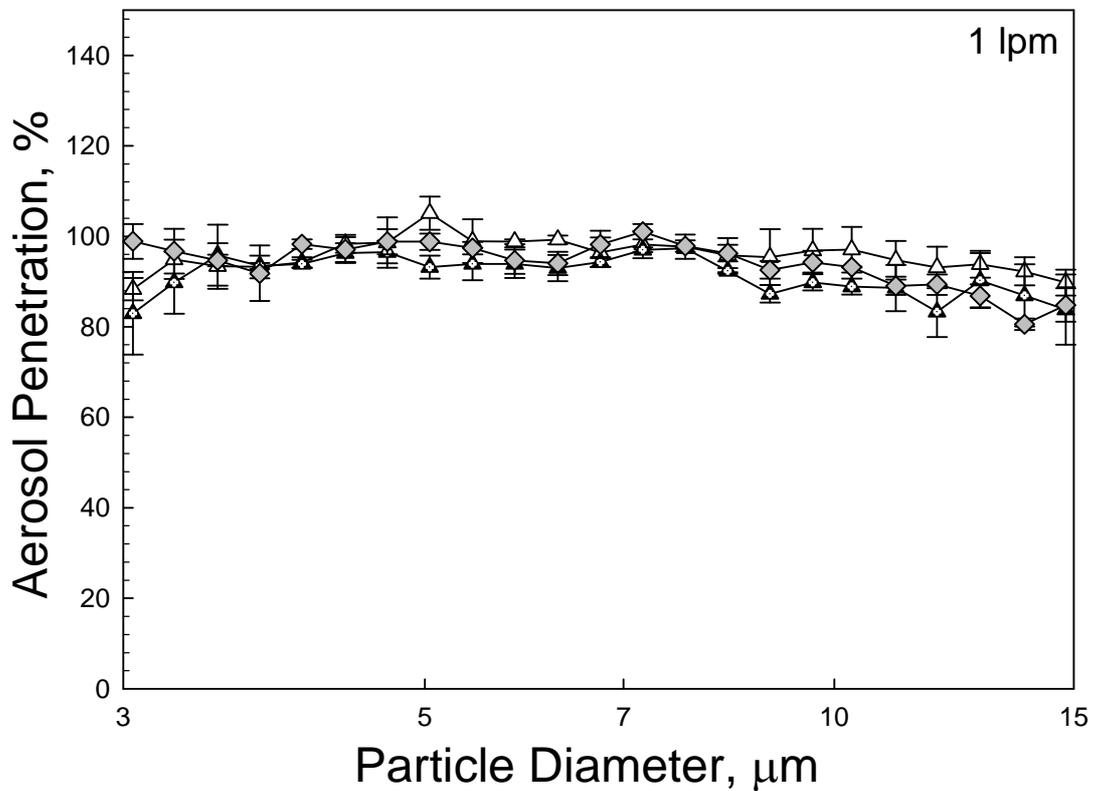
圖二：不銹鋼毛細管與 nafion 管之示意圖及壓降量測。



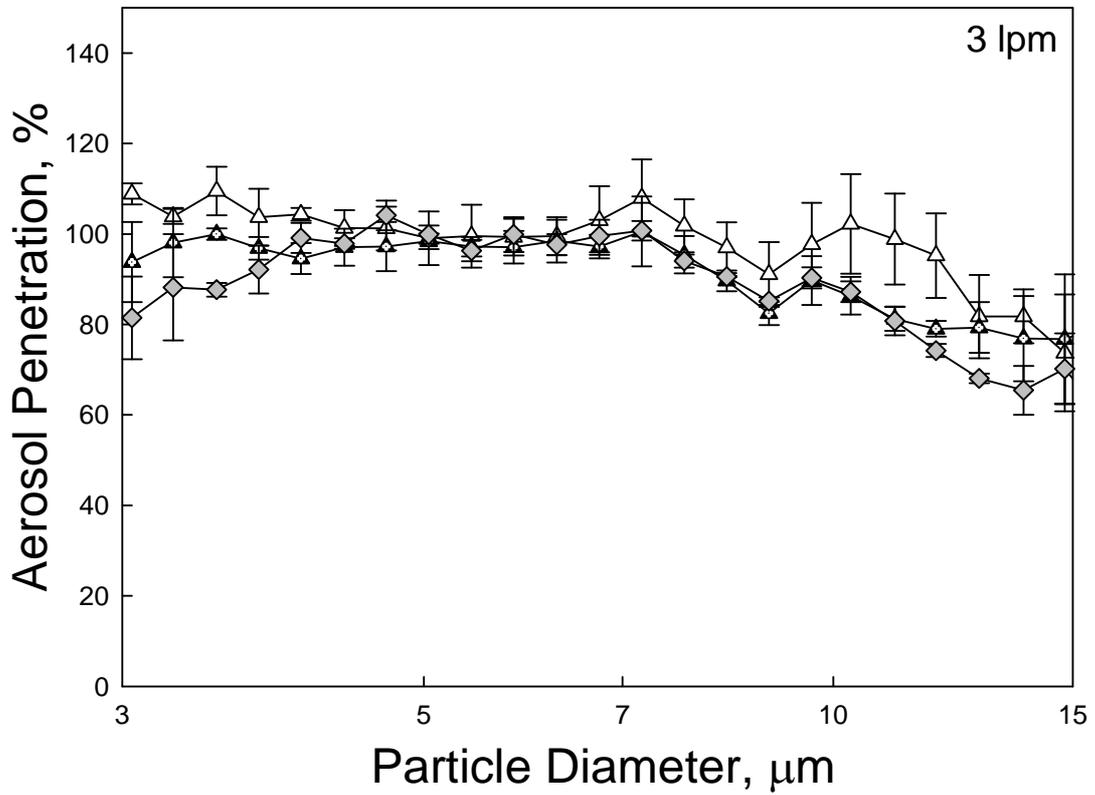
圖三 實驗系統設置示意圖



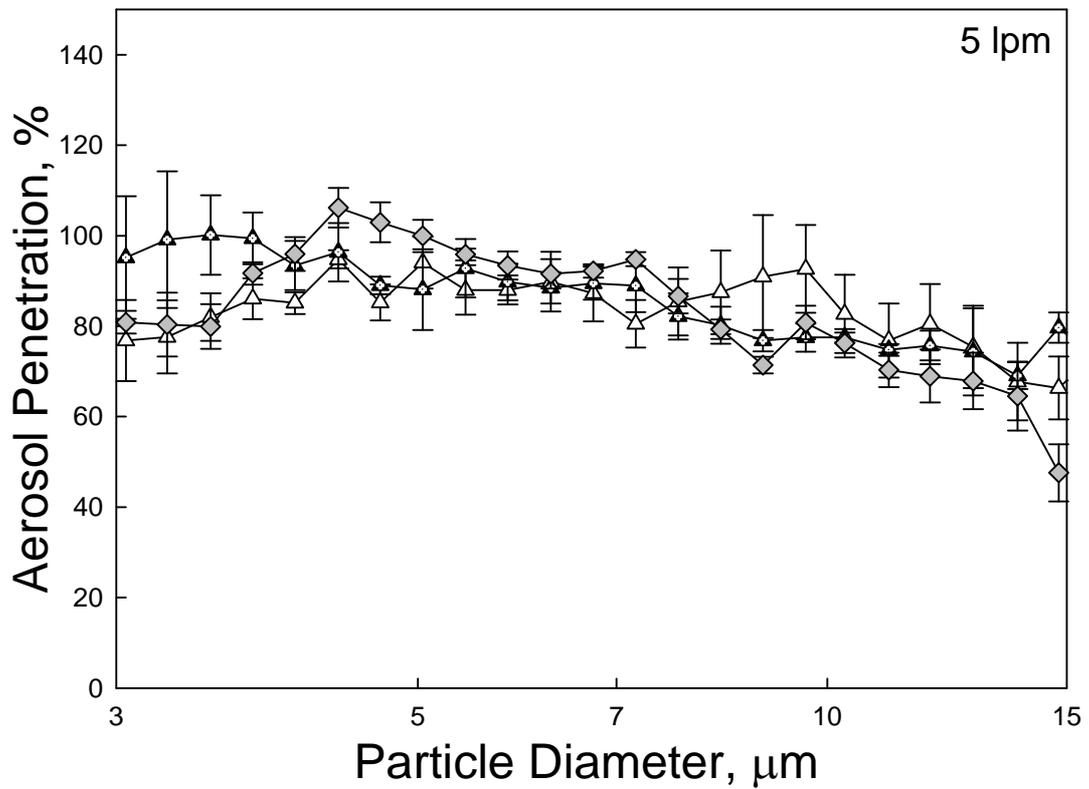
圖四：1、3、5 L/min 不同採樣流量之挑戰氣膠微粒粒徑分佈圖。



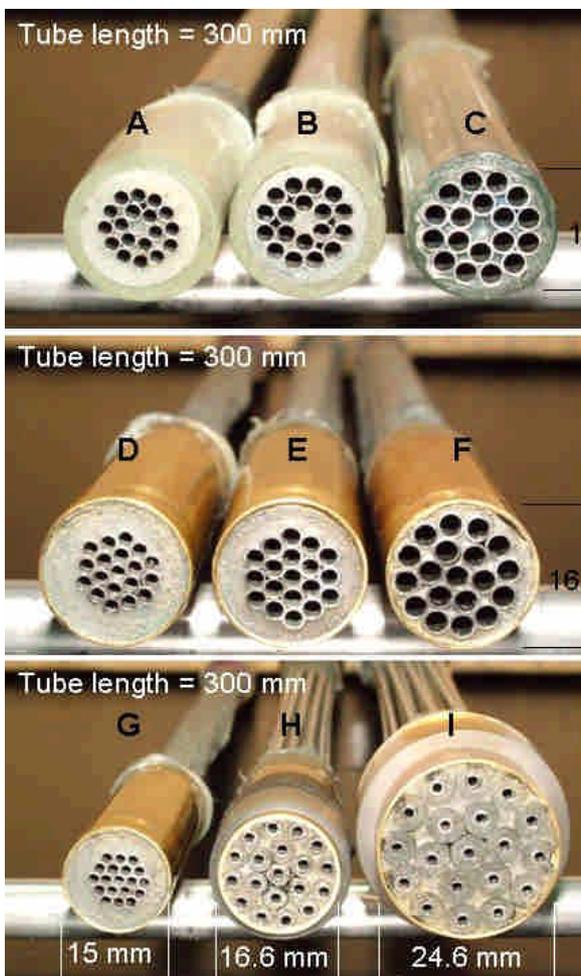
圖五：在採樣流量 1 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率。



圖六：在採樣流量 3 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率。



圖七：在採樣流量 5 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率。



	A	B	C
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	18	18	18
Air flow rate, L/min	1	1	1
Face velocity, cm/s	69.7	46.1	26.7

	D	E	F
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	1	1	1
Face velocity, cm/s	66.0	43.7	25.3

	G	H	I
I.D., mm	1.3	1.3	1.3
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	1	1	1
Face velocity, cm/s	66.0	66.0	66.0

圖八：不銹鋼毛細管之尺寸及操作變項示意圖（一）。

	A	B	C
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	18	18	18
Air flow rate, L/min	3	3	3
Face velocity, cm/s	209.1	138.3	80.1

	A	B	C
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	18	18	18
Air flow rate, L/min	5	5	5
Face velocity, cm/s	348.5	230.5	133.5

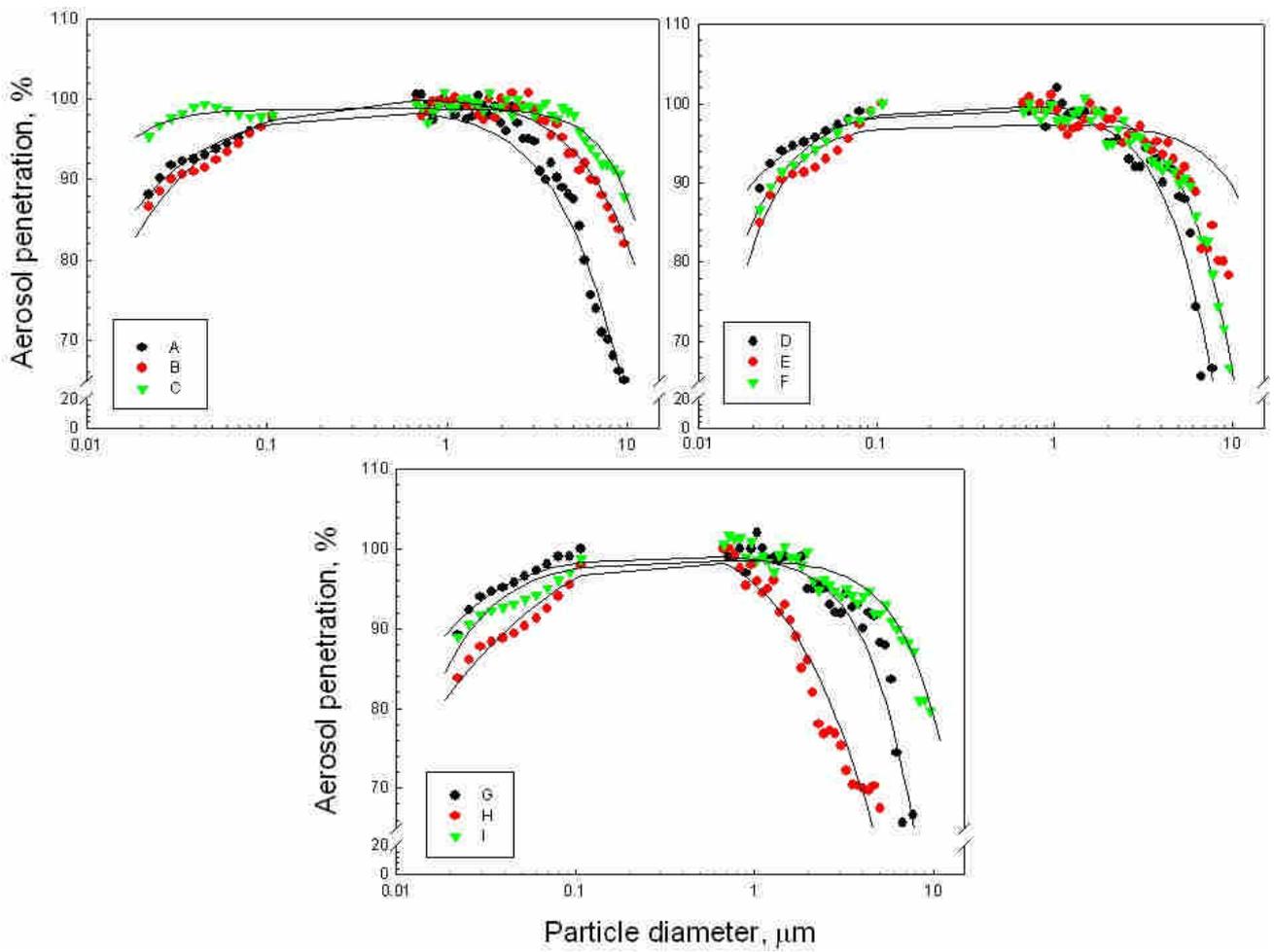
	D	E	F
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	3	3	3
Face velocity, cm/s	198	131.1	75.9

	D	E	F
I.D., mm	1.3	1.6	2.1
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	5	5	5
Face velocity, cm/s	330	218.5	126.5

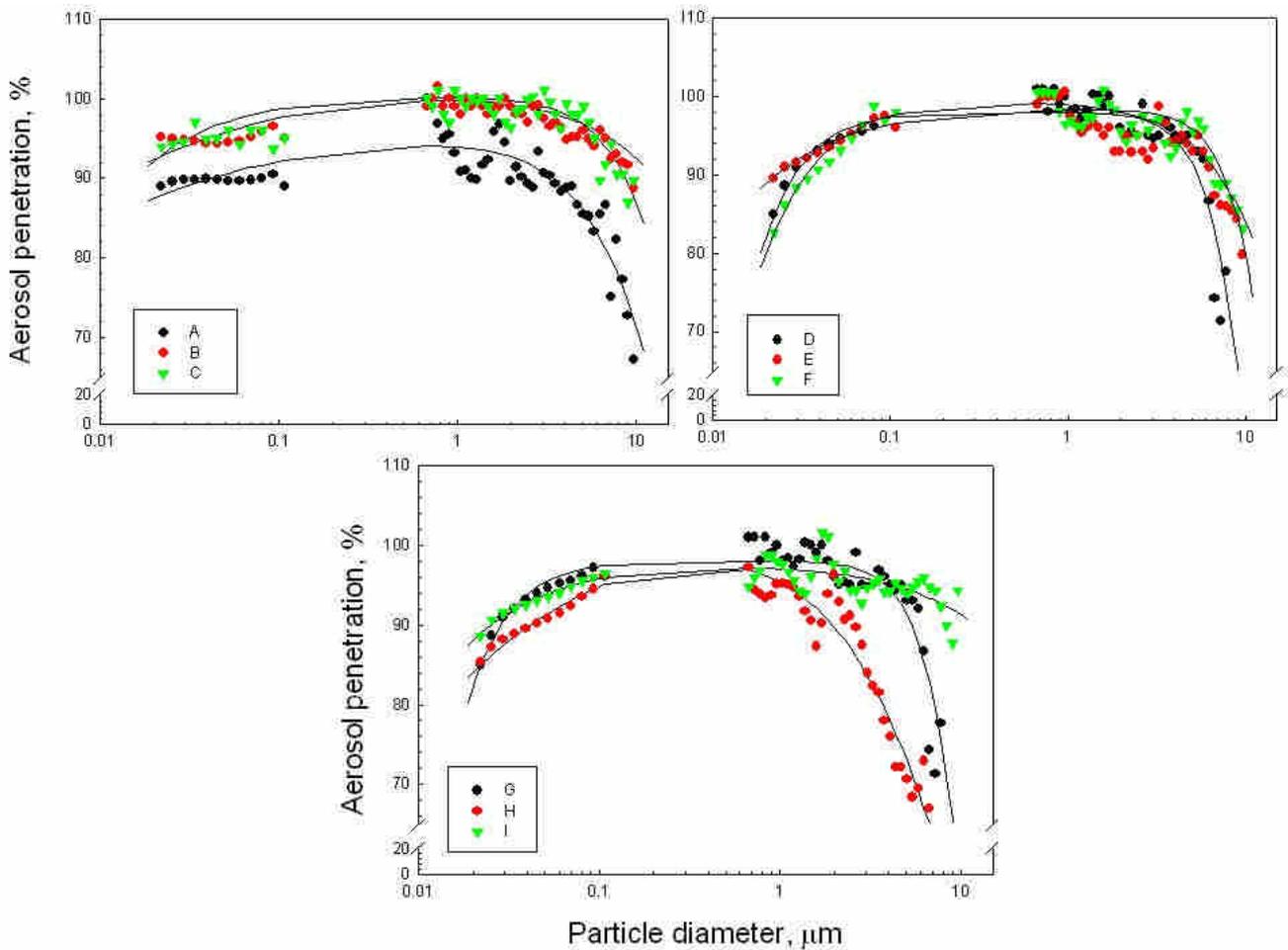
	G	H	I
I.D., mm	1.3	1.3	1.3
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	3	3	3
Face velocity, cm/s	198	198	198

	G	H	I
I.D., mm	1.3	1.3	1.3
Tube Number	19	19	19
Air flow rate, L/min	5	5	5
Face velocity, cm/s	330	330	330

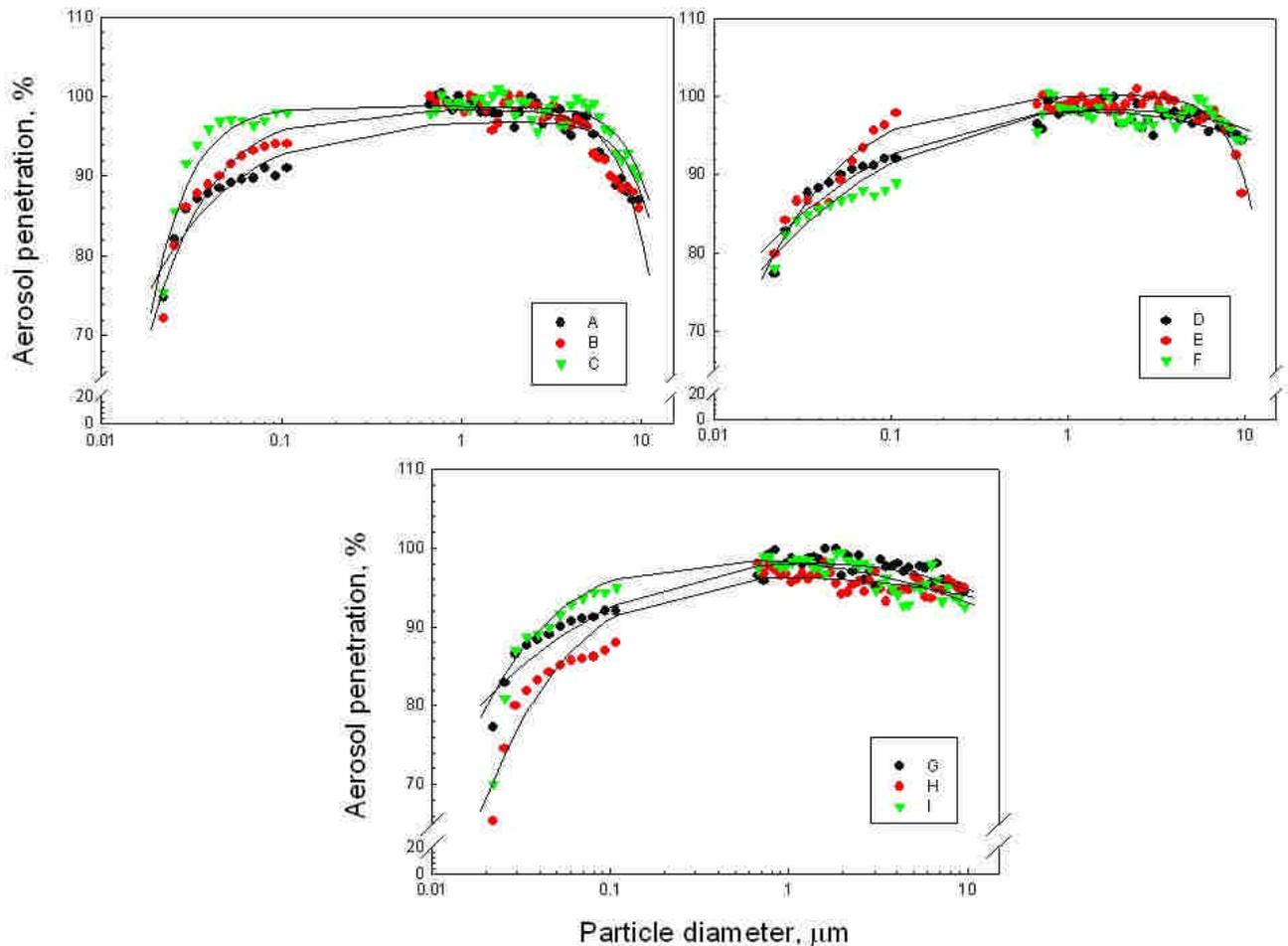
圖九：不銹鋼毛細管之尺寸及操作變項示意圖（二）。



圖十：在採樣流量 1 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率（含奈米粒徑部分）。



圖十一：在採樣流量 3 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率（含奈米粒徑部分）。



圖十二：在採樣流量 5 L/min 下之不同管徑毛細管之氣膠貫穿率（含奈米粒徑部分）。

研究成果自評

(1)完成之工作項目

- 1.1 建構微米與奈米微粒穿透率測試系統。
- 1.2 選用合適的測試微粒物種。
- 1.3 評估現今市售的 Nafion 管對不同微粒粒徑大小的沈積損失率
- 1.4 選用適當材質、管徑大小、管壁厚薄製作毛細管，模擬現今使用的 Nafion 管，以利研發新型的微粒去水系統。
- 1.5 探討在各種不同操作條件下(如不同流量...等操作變項)，對測試微粒的穿透率的影響。
- 1.6 探討改變毛細管氣流進氣口設計型態，測試微粒的穿透率的影響。

(2)對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻。

- 2.1 協助及提供政府訂定大氣自動檢測標準之改善及正確應用方法。
- 2.2 加強大氣空氣污染自動測量實務與學術研究合作，提高國際競爭力，共創雙贏局面。
- 2.3 提供空氣污染自動測量之改良技術，及研發改善技術轉移，提高大氣空氣品質控制科技。
- 2.4 改善發展私校研究環境，整合校際資源，加強學者團隊研究合作。

(3)對於參與之工作人員，預期可獲得之訓練。

- 3.1 研究人力有效整合，加強團隊合作。
- 3.2 鼓勵學者將學術研究成果回饋貢獻於社會。
- 3.3 培養研究人員社會及國際觀，關心環境及影響國際脈動。
- 3.4 訓練實驗室系統架設、氣膠採樣、產生、分析技術與原理能力。
- 3.5 理解大氣空氣污染物控制及採樣技術改良。

參考文獻

- Agarwal J. K. and Liu B. Y. H., 1980; A Criterion for Accurate Aerosol Sampling in Clam Air. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41:191-197.
- Burton A. C., Clement C. F., Mitchell J. P. and Morton D. A. V., 1993a; The Influence of Aerosol Concentration and Pressure on The Penetration of Aerosols through Fine Capillaries. AEA Technology Report AEA-EE-0485, AEA Technology, Winfrith.
- Clement C. F., 1995; Aerosol Penetration through Capillaries and Leak: Theory. *J. Aerosol Sci.*, Vol. 26, No. 3:369-385.
- Davies C. N., 1968; The Entry of Aerosols into Sampling Tubes and Heads. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1:921-932.
- Hinds W. C., 1999; *Aerosol Technology*. Second edition. New York; John Wiley and Sons, Inc. 182-208.
- <http://permapure.com>.
- Lee K. W. and Liu B. Y. H., 1982; Theoretical Study of Aerosol Filtration by Fibrous filter. *Aerosol Sci. Technol.* 1:147-161
- Mitchell J. P., Edwards R. T. and Ball M. H. E., 1990; The Penetration of Aerosols through Fine Capillaries. *Nuclear Technology Publishing*, Vol. 1, No. 2:101-116.
- Morewitz H. A., 1982; Leakage of Aerosols from Containment Building. *Health Phys.* 42(2):195-207.
- Novick V. J., 1990; Aerosol Sampling and Transport Tube Plugging Criteria. Abstract 2C.6 for AAR'91 Am. Assoc. for Aerosol Res., Philadelphia.
- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1985; IAEA Safety Series No. 6.
- Stopford P. J. and Williams M. G., 1991; The Modelling of Aerosol Sampling by Fine Capillaries and Orifices. AEA Technology Report, AEA-D&R 0518, AEA Technology, Harwell.
- Stopford P. J. and Williams M. G., 1992; The Modelling of Aerosol Deposition in ultrafine capillaries. AEA-D&R Report No. 0377, AEA Technology, Harwell.
- The Ionising Radiation Regulations 1985, 1985; UK Statutory Instrument, No. 1333 (HMSO).
- Vaughan E. U., 1978; Simple Model for Plugging of Ducts by Aerosol Deposits. *Trans. Am. Nucl. Soc.* 28:507.
- Williams M. M. R. and Loyalka S. K., 1991; *Aerosol Science Theory and Practice*. Pergamon Press, Oxford.