行政院國家科學委員會專題研究計畫　成果報告

薄膜濾材應用於氣膠過濾之特性研究

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC92-2218-E-041-006-
執行期間：92 年 11 月 01 日至 93 年 07 月 31 日
執行單位：嘉南藥理科技大學職業安全衛生系

計畫主持人：黃小林

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中　華　民　國 93 年 10 月 29 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

薄膜濾材應用於氣膠過濾之特性研究
Filtration Characteristics of Aerosol through Membrane Filter Media

計畫編號：NSC 92-2218-E-041-006
執行期限：92 年 11 月 1 日至 93 年 7 月 31 日
計畫主持人：黃小林　　嘉南藥理科技大學職業安全衛生系

一、中文摘要

從氣流中收集細小微粒，使用濾材進行過濾是最有效及可靠的方法之一。本研究於實驗室中自行製作不織布及聚碸樹脂有機多孔性薄膜複合濾材，並利用卡里遜噴霧器產生氣膠，再經由微粒電移動度掃瞄分徑器（Scanning Mobility Particle Sizer）同時量測濾材前端與後端的氣膠微粒數目，及使用差壓計量測過濾前後之壓降，以評估薄膜濾材的氣膠過濾效能。

實驗結果顯示不織布對於次微米氣膠之穿透率為 24%-51%；但在不織布表面覆蓋一層有機薄膜後，微粒穿透率明顯下降。本研究使用 15%、20%、25%三種不同重量濃度之聚碸樹脂高分子溶液製造而成的聚碸樹脂薄膜之氣膠微粒穿透率分別在 27%、18%及 8%，同時整體穿透率在 16%-27%、8%-18%及 1%-8%之間，這是由於有機薄膜具有之多孔性結構以及同時高分子薄膜帶電所致。另，次微米粒徑範圍之氣膠，其最大穿透粒徑由不織布之 0.1 μm 降低至複合材料之 0.05 μm，此顯示此複合材料在小粒徑範圍之布朗擴散去除機制作用低於其他粒徑範圍之機械去除機制。同時當表面風速增加時，其微粒穿透率會隨之上升，而此一類型之薄膜對於固體氣膠與油滴氣膠之過濾效率是相近的。此研究結果有助於瞭解多孔性薄膜濾材之氣膠過濾機制，並將薄膜濾材應用在空氣微粒清淨領域。

關鍵字: 薄膜濾材、過濾、氣膠、聚碸樹脂

二、Abstract

Filtration is one of the most effective and reliable methods for the collection of small size particulate matters from gas stream. The polysulfone-nonwoven composite filter made from porous organic membrane and nonwoven matrix was used to study the filtration efficiency of aerosols in this study. Polydisperse aerosols were generated from a Collison Atomizer. The aerosols were accounted by Scanning Mobility Particle Sizer and the pressure gradient was measured by the pressure transducers. Thereafter, the filtration efficiency of the composite filter was determined by the difference of the numbers of the aerosols and the difference of pressure after filtration.

The results showed that the aerosol penetration rates of nonwoven matrix were ranged from 24% to 51%. However, tl I aerosol penetration rates decreased significantly after coating porous organic polysulfone membrane on nonwoven matrix. The aerosol penetration rates of the three composite filters coating with the polysulfone concentrations of 15 wt%, 20 wt%, and 25

wt%, respectively, were 27%, 18%, and 8%, respectively. The overall aerosol penetration rates of the three composite filters were 16%~27%, 8%~18%, and 1%~8%, respectively. It indicated that the performance of the composite filters was better than that of nonwoven matrix filters owing to their capability of trapping the aerosols by the porous structure and attracting the aerosols by the positive charge on the surface of polysulfone membrane. The most penetration particle size (MPPS) of aerosols shifted from 0.1 μm to 0.05 μm after coating polysulfone membrane on nonwoven matrix. The results presented that the effect of Brownian diffusion in removing small size of aerosols was reduced in the composite filters. Additionally, it found that the aerosol penetration rates of the composite filters for solid and oily aerosols increased with increasing surface velocity. This study could help us to understand the filtration mechanism of the composite filters, and furthermore the composite filters can be applied to the the field of aerosol removal in the future.

Keywords: Membrane filter; Filtration; Aerosol; Polysulfone resin

三、前言

近年來有愈來愈多之流行病學或毒理學的研究皆顯示次微米以下粒徑之微粒對人體產生之健康危害皆大於大粒徑微粒。從氣流中收集細小微粒，使用濾材進行過濾是最有效及可靠的方法之一。對於過濾技術來說，一般較常使用之空氣過濾濾材主要有三種形式，纖維性(fibrous)、編織性(fabric)及薄膜(membrane)，其中目前又以纖維性之濾材最為瞭解且應用最廣，而其也是最早用來進行空氣採樣用之濾材形式。而本研究則是希望多瞭解其他形式之濾材，因此將於實驗室中自行製作有機高分子薄膜式濾材來探討氣膠過濾之特性。

四、研究目的

本研究主要之研究目的如下：

1. 於實驗室製作不同孔徑之高分子薄膜濾材。
2. 探討不同孔徑之薄膜的微粒穿透率。
3. 探討不同型態氣膠微粒之微粒穿透率
4. 評估不同操作條件下之微粒穿透率。

五、文獻探討

在薄膜濾材部分，其可分成兩種形式，一是 Nuclepore 薄膜，如聚碳酸鹽薄膜(polycarbonate pore filter)，其具有一系列平行單一孔徑之通道；另一種則是具有不同孔洞大小且濾材內部為彎曲通道之薄膜濾材。目前薄膜濾材主要還是應用在製成薄膜濾紙用來收集微粒，其除可秤重外亦可進一步作化學分析而獲得供多資訊[1]。薄膜濾材過濾特性探討之文獻並不如纖維濾材多且大多針對具單一孔徑通道之 Nuclepore 薄膜進行探討。在薄膜濾材之過濾效能研究方面，Spurny et al.[2]針對 5μm 之聚碳酸鹽薄膜(Nuclepore 薄膜)在表面風速為 5cm/sec 下進行硒氣膠及焦磷酸氣膠過濾研究，其中在氣膠粒徑為 0.05 μm 為其最易穿透粒徑。Spurny et al.[3]探討薄膜濾材之過濾機制，經實驗證明顯示擴散沈積及慣性衝擊收集為主要微粒收集機制。Montassier et al.[4]則使用三種 Nuclepore 薄膜進行放射性氣膠收集效率的比較研究，結果指出 MF 薄膜濾材在高流量下具有高收集效率，最適合進行放射性氣膠之收集及分析。陳等[5]則針對市面上常用的薄膜濾材，包含聚碳酸鹽、混和纖維素酯及聚醯胺纖維三種材質進行酒石酸甲鈉(PST)氣膠過濾之負載特性探討，結

果顯示薄膜濾材之負載曲線隨著濾材材質、孔徑、孔隙度與負載微粒呈現不同現象。Larbot et al.[6]利用陶瓷薄膜(CAF)進行空氣淨化之研究，結果指出表面風速與薄膜厚度兩因子強烈影響過濾效率，表面風速增加或厚度減少將降低 NaCl 及 DOP 微粒之收集效率，經實驗陶瓷薄膜可當作 HEPA 或 ULPA 濾材來使用。

由於有機化合物聚合而成之高分子薄膜濾材，不僅具有各種不同大小的分離孔徑，且能承受較大壓力，並提供高過濾速度的特性，利用此種薄膜來做過濾或純化相當有效且經濟。PSF 為聚碸樹脂(Polysulfone)的縮寫，是非結晶樹脂，比重約 1.24，淡棕色透明，透光率 80%-90%。聚碸是一種強韌的樹脂，機械強度頗高，而且在零下 100℃到 160℃的廣泛範圍保持其卓越的機械強度。聚碸的熱變形溫度(18.6 kg-cm/cm 下)為 175℃，在高溫的尺寸安定性非常優越，並具有最高的耐蠕變性。其對酸鹼也有高度耐水解性，並具有 FDA 等級。因此本研究將嘗試於實驗室進行高分子聚合反應製作聚碸樹脂之多孔性之薄膜，進行次微米至奈米粒徑範圍之過濾特性探討，期高分子薄膜濾材能有效應用於氣膠之控制。

六、研究方法

1. 過濾理論

濾材之過濾機制與氣體流率、濾材結構及氣膠特性有關。薄膜濾材之微粒過濾機制可分成下列幾種[7,8]：

(1)擴散機制：為次微米（submicrometer）微粒時較為明顯及佔優勢。氣膠主要擴散沈積在薄膜濾材表面以及孔洞內部管壁之區域。

(2)慣性衝擊沈降（inertial impaction deposition）：此機制主要發生於氣膠微粒受到慣性力作用緣故。

(3)直接截取及篩分（direct interception and sieving）：指氣膠微粒隨著氣流流動時，無受到任何外力之影響下，隨流線前進而與薄膜孔洞之管壁接觸得截取下之現象。

(4)重力沈降（gravitational settling）：主要受到表面風速與粒徑大小影響，基本上對過濾效率而言，重力沈降之貢獻量相當低。

(5)靜電力沈降：

由於薄膜濾材具有良好之絕緣體，因此濾材表面能夠帶有相當高之電荷。微粒與薄膜濾材帶電以兩種方式影響過濾：

(一)微粒於較遠距離處被薄膜濾材吸引或排斥，最主要原因是由於二者帶電彼此因庫侖力(coulombic force)作用之故。

(二)微粒附著於薄膜濾材表面，這是由於偶極作用力(dipolar force)吸引之故。

2. 濾材種類

本研究中聚碸樹脂薄膜濾材之製造將採用濕式相轉換法，將 polysulfone (Udel P-3500, Amoco Performance Products Inc.)溶於 NMP (N-methyl -2-pyrrolidinone)中配成鑄膜液，再以刮刀刮在不織布上，然後浸在水槽中，將 NMP 置換出來成膜。而本研究將配置三種不同重量濃度之聚楓碸樹脂來塗抹在不織布濾材上形成複合濾材，分別為 15%、20%、25%，理論上高分子濃度愈高，形成的孔洞應該愈小，故可比較不同孔洞大小對過濾的影響。

3. 氣膠微粒生成系統

本研究分別選取食鹽（NaCl）與油滴（DEHS）做為測試氣膠，在測試氣膠生成部分是利用卡里遜噴霧器 (Collison Atomizer, Model 3076, TSI Inc)產生多粒徑分佈之氣膠微粒，先通過一乾燥器 (silica gel) 將水分吸收，產生乾燥之氣膠微粒。在本研究中測試氣膠 NaCl 固體氣膠選取為中位數粒徑 0.080 μm 及 GSD 為 1.614，油滴氣膠為中位數粒徑 0.180 μm 及 GSD 為 1.609。產生之多粒徑分佈氣膠流入一 Kr-85 電性中和器 （Neutralizer, Model 3077, TSI Inc），使氣膠微粒成為中性帶電之氣膠微粒，以避免微粒帶電造成實驗之誤差，在利用氣膠電荷儀（Aerosol Electrometer, Model 3068A, TSI Inc）以確認流過測試腔之氣膠電荷為中性帶電。

4. 過濾效率量測系統

在氣膠微粒穿透率量測部分，包含有濾材握持器、微粒電移動度掃瞄分徑器（SMPS, Scanning Mobility Particle Sizer, Model 3934, TSI Inc）、壓差計（Pressure Gage, Model 2000, Dwyer Instru- ments Inc）及流量計，將實驗濾材放置於握持器上，使實驗氣膠流過濾材，同時量測濾材前端與後端之氣膠粒徑分佈與濃度變化，即可獲得氣膠微粒之穿透率。同時利用壓差劑量可以量測到濾材過濾時之壓降。而測試時之表面風速則是利用控制流過濾材之氣膠流之流量，可以分別得到實驗所需之測試表面風速 (0.05 與 0.1 m/s)。Figure1 即是本研究之測試系統圖。

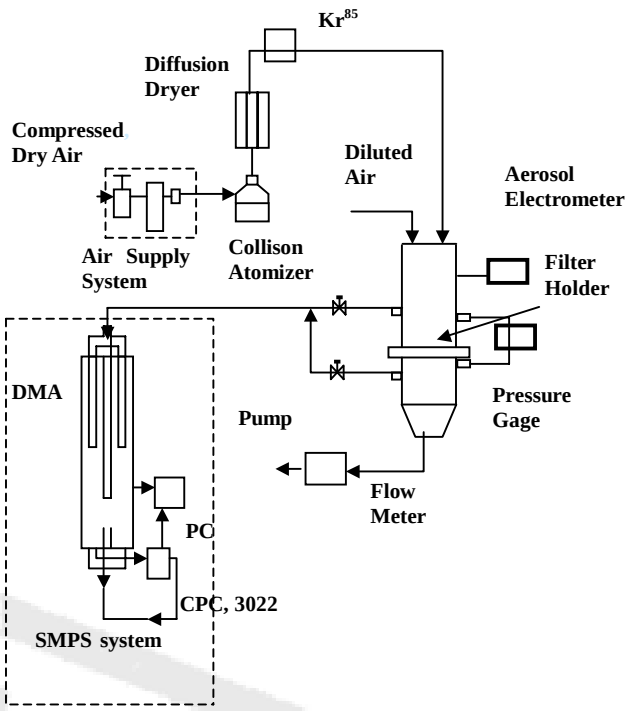

Figure 1. Schematic diagram of the experimental system

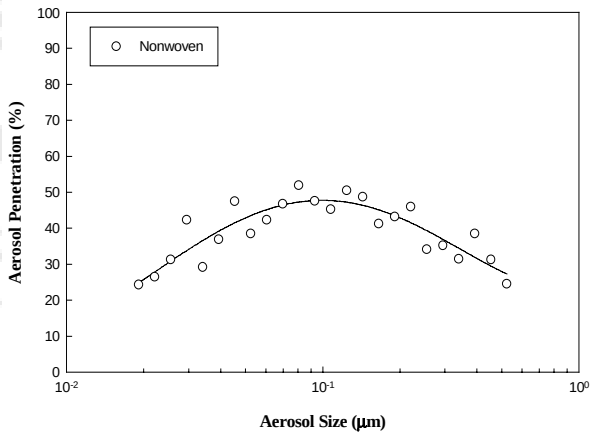

Figure 2. Aerosol penetration through the nonwoven at face velocity of 0.1 m/s.

七、結果與討論

1. 不織布薄膜之穿透率

Figure 2 為利用中性帶電之 NaCl 微粒在表面風速為 0.1 m/s 下，測試不織布濾材之氣膠微粒穿透率，此一不織布濾材為之後調理聚碸樹脂薄膜之基底，因此在進行實際評量聚碸樹脂薄膜之前，首先必須瞭解此一基底之微粒穿透率大小。結果顯示此一不織布濾材之最大穿透粒徑在 0.1 μm 附近，穿透率大約是 51%，而整體的氣膠微粒穿透率大約在 24%~51%間，由過去研究可知一般非帶電纖維濾材之最大穿透粒徑約是在 0.3 μm 附近，而帶電濾材之最大

穿透粒徑約是在 0.1 μm 以下，因此我們猜測此一不織布濾材可能是表面帶有電荷的，因此在實驗過程中，我們利用一電場計來量測濾材之表面電場，解過顯示此一不織布濾材之表面電場約是 3.1×10^3 V/m，的確不織布的表面是帶有電荷的。

2. 聚碸樹脂薄膜濾材之穿透率

Figure 3 為利用中性帶電之 NaCl 微粒在表面風速為 0.1 m/s 下，測試 15%重量濃度製成之聚碸樹脂薄膜之氣膠微粒穿透率，結果顯示最大穿透粒徑約在 0.05-0.06 μm 之間，穿透率大約為 27%，而整體穿透率約是在 16%-27%之間。由實驗結果可知當塗抹一層聚碸樹脂在不織布濾材上之後，其氣膠微粒之穿透率有明顯下降之現象。若以 0.3 μm 之微粒來比較，塗抹 15%聚碸樹脂薄膜之穿透率大約為原來不織布濾材穿透率之 50%，而造成此一現象主要原因就是在於塗抹此一層聚碸樹脂後，改變原有濾材之結構，包含薄膜的孔徑下降，整體薄膜的厚度增加。除此之外，薄膜的表面電荷也可能改變，經由量測可知，15%聚碸樹脂薄膜之表面電荷大約是 1.9×10^4 V/m，此一表面電場明顯大於原有不織布濾材之表面電場，表面電荷增加主要的原因在於聚碸樹脂薄膜製作過程中，因為刮膜摩擦造成表面帶電，因此會使薄膜表面電場增加。

3. 不同濃度聚碸樹脂薄膜濾材之穿透率

Figure 4 為利用中性帶電之 NaCl 微粒在表面風速為 0.1 m/s 下，測試 15%、20%及 25%重量濃度製作而成之聚碸樹脂薄膜之氣膠微粒穿透率。結果顯示三個不同濃度調理的聚碸樹脂薄膜，最大穿透粒徑均在 0.05-0.06 μm 附近，穿透率分別在

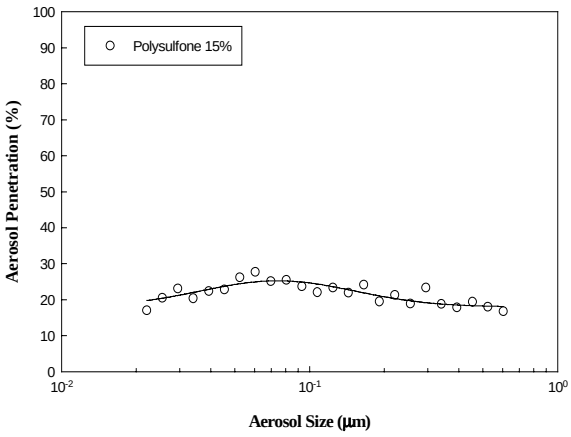

Figure 3. Penetration through membeance fabricated by 15 wt% polysulfone solution at face velocity of 0.1 m/s.

27%、18%及 8%，同時整體穿透率在 16%-27%、8%-18%及 1%-8%之間。由結果可知當處理濃度便高後，整體微粒穿透率明顯的下降。同時我們量測其薄膜之壓降，結果顯示在表面風速為 0.1 m/s 時，15%、20%及 25%之聚碸樹脂薄膜之壓降分別是 15、20 及 24 cmH_20。由此可知當處理濃度變高時，壓降也隨之上升。主要可能之原因就在於高分子濃度愈高，形成的孔洞應該愈小，因此造成壓降上升，而孔洞變小也是就造成微粒穿透率下降之因素之一。同時更進一步量測薄膜之表面電荷也可發現 15%、20%及 25%重量濃度製作之聚碸樹脂薄膜之表面電場大約是 1.9×10^4 V/m、2.3×10^4 V/m 及 2.9×10^4 V/m。此一結果顯示塗抹更高濃度之聚碸樹脂會使得薄膜表面電場更高，這也是造成穿透率隨著塗抹濃度增加而下降的因素。

4. 不同風速對聚碸樹脂薄膜濾材之穿透率之影響

Figure 5 為利用中性帶電之 NaCl 微粒在表面風速為 0.05 及 0.1 m/s 下，測試

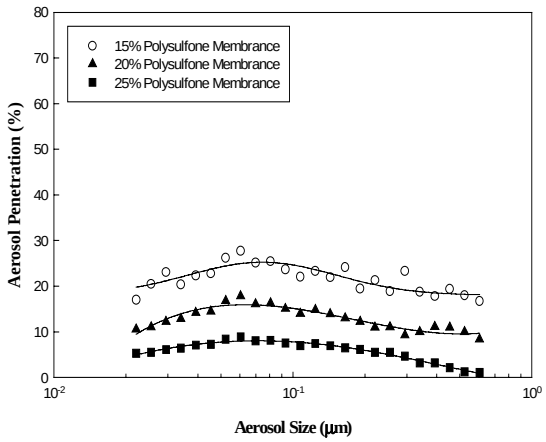

Figure 4. Penetration through membeances fabricated by 15 wt%, 20 wt%, and 25 wt% polysulfone solution at face velocity of 0.1 m/s.

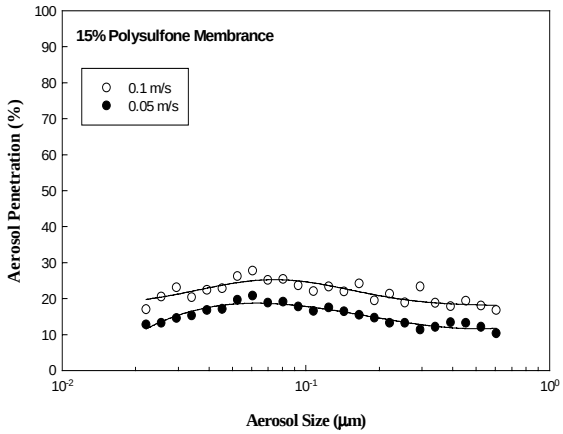

Figure 5. Penetration through membeance fabricated by 15 wt% polysulfone solution at face velocity of 0.1 and 0.05 m/s.

15%重量濃度製作之聚碸樹脂薄膜之氣膠微粒穿透率。結果顯示在 0.05 m/s 風速下，整體穿透率約是在 10%-20%，明顯小於在表面風速為 0.1 m/s 之微粒穿透率。主要原因為次微米氣膠微粒在靜電濾材過濾時，主要作用力為靜電吸引力與擴散沉降，這兩種作用力均會受到表面風速影響，隨著表面風速上升作用力減少。因為表面風速上升會減少氣膠微粒與靜電濾材間接觸的時間，因此造成作用力下降。

5. 不同氣膠種類對聚碸樹脂薄膜濾材之穿透率之影響

Figure 6 為利用中性帶電之 NaCl 固體微粒與 DEHS 油滴微粒在表面風速為 0.1 m/s 下，測試 15%重量濃度製作之聚碸樹脂薄膜之氣膠微粒穿透率，結果顯示兩者穿透率均是在 16%-27%之間，故可知此一類型之薄膜對於固體與油滴液體氣膠過濾效果並無明顯之差別，而在過去研究中，一般靜電濾材對於油滴氣膠之過濾效果是略低於固體氣膠的[9]，不過在本研究中聚碸樹脂之帶電薄膜卻沒有此一現象。

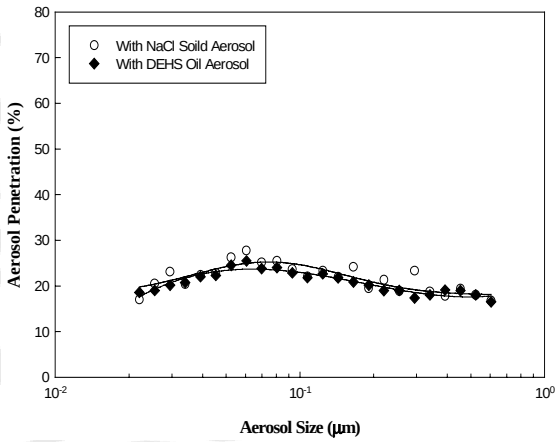

Figure 6. Penetration through membeance fabricated by 15 wt% polysulfone solution with NaCl and DEHS aerosol at face velocity of 0.1 m/s .

八、計畫成果自評

本計畫已完成原先計畫書規劃之工作目標及內容。研究成果顯示於實驗室自製聚碸樹脂高分子薄膜濾材對於次微米尺度之微粒具有高達 99%之過濾效果，比一般市面薄膜採樣濾材來得好。綜合本計畫，研究結果有助於瞭解多孔性薄膜濾材之氣膠過濾機制，並可將聚碸樹脂薄膜濾材應用在空氣微粒清淨或採樣領域。由於高分子薄膜種類相當多，本計畫初步先針對聚碸樹脂薄膜作探討，未來將繼續嘗試製作

具有不同物化性質之高分子薄膜進行次微米微粒過濾之研究探討。

九、參考文獻

1. Cohen, B.S., and S.V. Hering, Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants. 8th Edition, ACGIG, Cincinnati, Ohio(1995).
2. Spurny, K.R., J.P. Lodge, Jr., E.R. Frank, and D.C. Sheesley, “ Aerosol Filtration by Means of Nuclepore Filters: Structural and Filtration properties, “ Enviromental Science and Technology, 10, pp. 453-464(1969).
3. Spurny, K., and J. Pich,” The Separation of Aerosol Particles by Means of Membrane Filters by Diffusion and Inertial Impaction, “ International Journal of the Air and Waste Pollution, 8, pp. 193 (1964).
4. Montassier, N., L. Dupin, and D. Boulaud, “ Experimental Study on the Collection Efficiency of Membrane Filters, “ Journal of Aerosol Science, 27(Suppl. 1), pp. S637-S638 (1996).
5. 陳威宇，陳志傑，戴秀華，薄膜濾材的負載特性研究，一九九九年國際氣膠研討會，台北(1999)。
6. Larbot, A., M. Bertrand, S. Marre and E. Prouzet, “ Performance of Ceramic Filters for Air Purification, “ Sep. Puri. Technology, 32, pp. 81-85(2003).
7. Spurny, K.R., Advances in Aerosol Filtration. Lewis Publishers(1998).
8. Wang, C.S., “ Electrostatic Forces in Fibrous Filters-A Review, Powder Technology, 118, pp. 166-170(2001).
9. Martin, S.B., and E.S. Moyer, “ Electrostatic Respirator Filter Media: Filter Efficiency and Most Penetrating Particle Size Effects,” Appl. Occup. Environ. Hyg., 15, pp. 609-617(2000).