

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

幾丁聚醣應用於纖維濾材過濾氣膠之效能研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-041-009-

執行期間：93年08月01日至94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 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

幾丁聚醣應用於纖維濾材過濾氣膠之效能研究

Study on the Performance of Aerosol Filtration Using Fibrous Filter Modified by KITOSAN

計畫編號：NSC 93-2211-E-041-009

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 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調理幾丁聚醣前處理之帶電濾材，並利用卡里遜噴霧器產生多粒徑分佈氣膠，以電移動度分析儀 (Differential Mobility Analyzer) 篩出單一粒徑分佈氣膠微粒，再經由氣膠微粒計數器 (Condensation particle counter) 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，以評估幾丁聚醣前處理濾材之微粒穿透率。

實驗結果顯示不帶電濾材對於次微米氣膠之最大穿透率為 82%；1.0wt%、1.5wt% 與 2.5wt% 之幾丁聚醣前處理濾材之穿透率分別是 65%、63% 及 57%，整體穿透率相比，當處理幾丁聚醣後，微粒穿透率明顯下降。利用表面電場計量測濾材表面電荷，當處理幾丁聚醣後，濾材表面電場有明顯上升現象，故總和兩者結果可知，幾丁聚醣處理濾材的確可使濾材帶電。另，氣膠微粒之最大穿透粒徑由不帶電濾材之 0.3 μm 降低至幾丁聚醣前處理濾材之 0.12 μm 。同時當表面風速增加時，其微粒穿透率會隨之上升，此一類型之帶電濾材對於固體氣膠有較低之微粒穿透率，同時相對濕度之變化對於此型帶電濾材之微粒穿透率影響不大。此研究結果有助於進一步開發新型態之帶電濾

材，並將其應用在空氣微粒清淨領域。

關鍵字：帶電濾材、過濾、氣膠、幾丁聚醣、穿透率

二、ABSTRACT

Filtration is one of the most effective and reliable methods for the collection of small size particulate matters from gas stream. The chitosan-pretreated filters were applied to investigate the filtration efficiency of aerosols in this work. Polydisperse aerosols were generated from a Collison Atomizer. Then, the polydisperse aerosol was electrically classified using a Differential Mobility Analyzer to obtain monodisperse aerosol. A condensation particle counter measured the upstream and downstream aerosol concentrations and the pressure gauge measured the pressure drop. Thereafter, the filtration efficiency of the chitosan-pretreated filter was determined by the difference of the numbers of the aerosols and the difference of pressure after filtration.

The results demonstrate that the aerosol penetrations through the chitosan-pretreated filters were lower than that through the untreated filter. The maximum aerosol

penetration through the untreated, 1.0wt%, 1.5wt% and 2.5wt% chitosan-pretreated filters were around 82%, 65%, 63%, and 57%. The electric field measured by an electrofieldmeter of the chitosan-pretreated filter was larger than that of untreated filter obviously. These findings imply that pretreatment with chitosan made the filters charged. The most penetration particle size (MPPS) of aerosols shifted from 0.3 μm to 0.12 μm after coating chitosan on the filter. Additionally, aerosol penetrations through the chitosan-pretreated filters raised with the face velocity. Chitosan-pretreated filter performed better against solid aerosol than against liquid aerosol. RH has no effect on penetration through the chitosan-pretreated filters. The results of the study show that pretreatment with chitosan decreases the aerosol penetration through the filter and provides a good reference to develop a new aerosol control technology for air filtration.

Keywords: Electret filter, Filtration, Aerosol, Chitosan, Penetration

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。近年來靜電濾材成為市場上過濾濾材選擇上的主流，主要原因在於靜電濾材對於懸浮微粒有高的去

除效率，同時過濾時壓力損失低。

不過由於市面上的帶電濾材其價格較一般普通濾材高得許多，而且目前帶電濾材之表面上電荷經過一段時間後會逐漸衰減，因此本計畫將利用天然生物性高分子幾丁聚醣調理一般未帶電纖維濾材，使其成為帶有電荷之帶電濾材，降低帶電濾材之價格，並增加表面帶電之時間，以提升對氣膠微粒之去除效率。

四、研究目的

本研究主要之研究目的如下：

1. 進行天然生物性高分子幾丁聚醣胺基官能機之化學修飾後調理濾材，使纖維濾材成為另一種形式之帶電濾材，並評估調理後之纖維濾材帶電量。
2. 探討不同濃度調理之濾材對過濾效能之影響。
3. 探討不同型態之氣膠微粒（固態與液態）之過濾效能。
4. 評估不同操作條件下（表面風速、相對濕度等）之過濾效能。

五、文獻探討

近年之纖維性濾材發展，因靜電可以增加過濾效能，因此帶電濾材之研究成果較多。其中在帶電濾材過濾機制探討方面，Romay et al.[1]針對庫倫力與介電力之過濾行為進行探討，主要粒徑為 0.05-0.5 μm ，結果顯示在次微米微粒下靜電收集機制十分明顯，庫倫力在較大微粒時較不明顯，隨著粒徑之增加，庫倫力就越不明顯，此時介電力成為主要之靜電收集機制，亦即隨著粒徑之增加，偶極力就越明顯。

Lehtmäki and Heinonen[2]利用靜電濾材分別對三種不同之氣膠微粒進行穿透率

及壓降測試，結果顯示在不同粒徑下氣膠微粒之去除效率曲線會隨著壓降之增加而有下降之現象，同時不同氣膠微粒之過濾特性均不相同。雖靜電濾材之過濾效能已較非帶電濾材來的高，但在不同環境下，去除之微粒種類不同，處理效率仍有很大之差異。Kanaoka et al.[3]利用兩台 DMA 控制氣膠微粒之帶電量，比較不同帶電量微粒對靜電濾材之穿透率，在表面風速 0.1 m/s 時，帶 2 個正電之微粒穿透率為 1.62×10^{-4} ，帶 3 個正電之微粒穿透率為 1.83×10^{-5} ，可發現帶 3 個正電之氣膠微粒對濾材穿透率較低，換言之，當微粒帶電量較高時，靜電濾材之效能更高。Ackley[4]探討在高相對濕度下對靜電濾材過濾效率之影響，研究中針對三種靜電濾材進行研究，研究結果發現在高相對濕度時靜電濾材之過濾效能有明顯下降之趨勢。

本計畫為改善過去靜電濾材之缺點，即利用天然生物性高分子幾丁聚醣調理一般未帶電纖維濾材，使其成為帶有電荷之帶電濾材，降低帶電濾材之價格，並增加表面帶電之時間，以提升對氣膠微粒之去除效率。

幾丁聚醣取製於天然高分子(甲殼綱動物外殼、真菌細胞壁等)，其具有一些相當好的性質，例如與生物體細胞具有良好組織互容性 (histocompatibility)，不會排斥、無毒性 (non-toxicity)、具生物分解性 (biodegradability)、生物活性 (biological function)，且分子結構之可變性大，包括聚合鍵結方式及聚合長度等。因此，近年來幾丁聚醣天然高分子已廣泛運用在環境保護、醫療用品、機能保健食品、紡織抗菌、化妝品、農業、化學工業等領域[5]。幾丁聚醣除可應用於廢水處理外，也有利用幾丁聚醣來加強輔助薄膜過濾來去除二價重金屬，例如在 pH 為中性的溶液下， Cu^{2+} 去除效果較佳，而在酸性範圍，重金屬之去除效率提升 6~10 倍 [6]。另有研究將鋁與幾丁聚醣製成交聯之複合基質薄膜，可將 50mg/L Cu^{2+} 降至 1mg/L 以下[7]

六、 研究方法

1. 過濾理論

過濾是一相當複雜之程序，在說明濾材對氣膠微粒之收集效率時，通常以單一纖維效率 (Single-Fiber Efficiency) 作為估算濾材之捕集效率[8]。假設所有纖維之直徑相同，且與氣流方向垂直，則將單一纖維所收集到之粒數與在同一纖維上理論可收集的微粒數比，即稱為單一纖維效率[8]。根據此一定義，即可利用質量平衡求得單一纖維效率為，

$$E_{\Sigma} = -\frac{\pi d_f (1-\alpha) \ln P}{4L\alpha} \quad (1)$$

其中，

E_{Σ} : Total single fiber efficiency

d_f : Mean fiber diameter

α : Filter packing fraction

L : Filter thickness

P : Penetration

濾材之過濾機制與氣體流率、濾材結構及氣膠特性有關。纖維濾材之微粒過濾機制可分成下列幾種[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纖維濾材表面以及內部纖維區域。
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 (direct interception)：指氣膠微粒隨著氣流流動時，無受到任何外力之影響下，隨流線前進而與纖維接觸被攔截之現象。
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：

微粒與濾材帶電以三種方式影響過濾：

- (1). 帶電氣膠微粒與帶電濾材之相互吸引力稱之為庫倫吸引力 (Coulombic force)。
- (2). 無帶電氣膠微粒與帶電濾材之相互吸引力稱之為介電力 (dielectrophoretic force)。
- (3). 感應力 (Image force) 是指帶電微粒對不帶電濾材之間之吸引力，基本上感應力在靜電吸引力中並不重要，其吸引力遠較庫倫力與介電力來得低。

2. 濾材種類

本計畫將幾丁聚醣配置為水溶液，將不帶電濾材 (聚丙烯濾材) 浸置於溶液中約 1 分鐘，再將其取出烘乾，即為本計畫中之測試濾材。本計畫為進一步瞭解不同幾丁聚醣濃度所條理濾材之表面帶電特性，故選取 3 個幾丁聚醣重量濃度進行調理，作法為將幾丁聚醣溶於醋酸溶液，配製之重量濃度分別為 1.0wt%、1.5wt% 及 2.5wt%。

3. 氣膠微粒生成系統

圖一即為本研究之測試系統圖。本研究分別選取食鹽 (NaCl) 與油滴 (DOP) 做為測試氣膠，實驗氣膠的生成是利用卡里遜噴霧器 (Collison Atomizer, Model 3076, TSI Inc) 所產生，其可將溶液霧化成液滴，產生多粒徑分佈氣膠微粒。之後通入一擴散式乾燥器，使水分經由擴散方式被矽膠吸收，進而產生乾燥之氣膠微粒。實驗所需氣膠為單一粒徑分佈，則利用 DMA (Differential Mobility Analyzer, Model 3080, TSI Inc) 將多粒徑分佈篩分為單一粒徑分佈。DMA 的主要原理乃是利用電移動度 (Electrical Mobility)，其利用外部可調整電壓控制出口氣膠粒徑，可使用 DMA 外部旋轉鈕調整出

一固定電壓值，將進入 DMA 之多粒徑分佈氣膠篩分出單一粒徑的氣膠。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，包含有氣膠微粒計數器 (CPC, Condensation Particle Counter, Model 3022, TSI Inc)、濾材握持器、壓差計 (Pressure Gage, Model 2000, Dwyer Instruments 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濃度變化，即可獲得氣膠微粒之穿透率。同時利用壓差計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)。

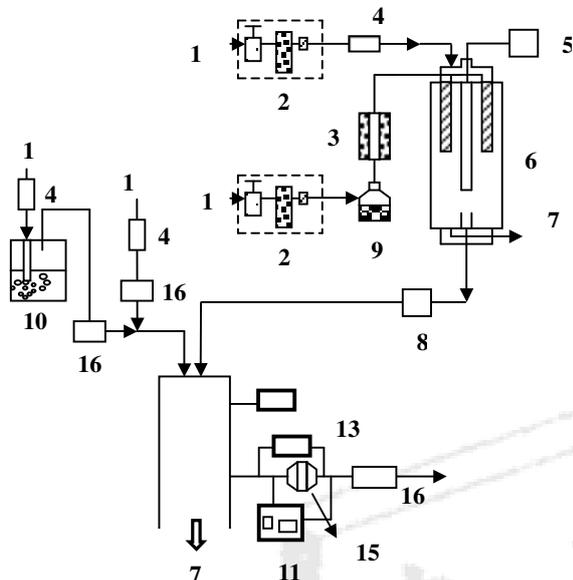
5. 相對濕度調節系統

本計畫為比較在不同相對濕度下對微粒穿透率之影響，故選取兩個相對濕度來進行比較，在相對濕度的調節上，是利用一乾空氣與濕空氣混合，來得到預期之相對濕度，而濕空氣是利用一曝氣槽來產生之，整體相對濕度是利用一濕度計來進行量測 (Q-Trak Plus, Model 8552, TSI Inc.)。本研究選取之相對濕度分別為 30% 與 70%。

6. 濾材表面電荷之量測

本計畫利用天然生物性高分子幾丁聚醣處理濾材，主要目的即是使其帶電，故本計畫必須可以量測濾材表面之帶電量，本計畫以一表面電場計 (electrofieldmeter, EFM 022, Wolfgang Warmbier Instruments Inc.)，

可以直接量測出濾材表面電場之大小，來證明濾材經天然生物性高分子幾丁聚醣處理後的确會帶有電荷，此一電場計可以量測濾材表面一公分處之電場大小。



1. Compressed Dry Air; 2. Air Supply System; 3. Diffusion Dryer; 4. HEPA; 5. High-Volt Power Supply (-); 6. DMA; 7. Exhaust Air; 8. Kr85; 9. Collision Atomizer; 10. Saturator; 11. CPC; 12 Aerosol Electrometer; 13. Pressure Gage; 14. PC; 15. Filter Holder; 16. Flow Meter

Figure 1. Diagram of the experimental system.

七、 結果與討論

1. 不帶電濾材之穿透率

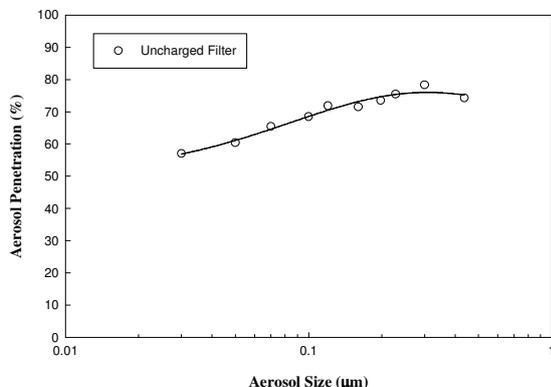


Figure 2. Aerosol penetration through the uncharged filter at face velocity of 0.1 m/s.

圖二為利用中性帶電之 NaCl 微粒在表面風速為 0.1 m/s 下，測試不帶電濾材之氣膠微粒穿透率，實驗結果顯示在實驗的粒徑範圍中，氣膠微粒之穿透率約是在 57%-82% 間，最大之穿透粒徑約是在 0.3 μm，其穿透率即為 82%。

2. 幾丁聚醣前處理濾材之穿透率

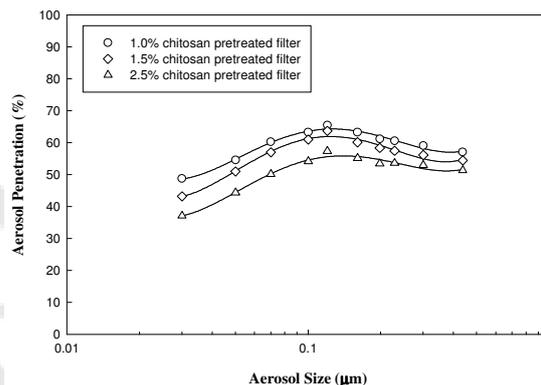


Figure 3. Penetration through the filters pretreated by different chitosan concentrations (1.0wt%, 1.5wt%, and 2.5wt%) at face velocity of 0.1 m/s.

圖三為利用中性帶電 NaCl 微粒在表面風速 0.1 m/s 下，測試三個不同幾丁聚醣濃度 (1.0wt%、1.5wt% 及 2.5wt%) 前處理濾材之氣膠微粒穿透率，結果顯示此一型態之濾材之最大穿透粒徑約為 0.12 μm，三個幾丁聚醣前處理濾材 (1.0wt%、1.5wt% 及 2.5wt%) 之最大穿透率則分別為 65%、63% 及 57%，進一步將實驗結果與圖二中未處理濾材之實驗結果相比，可以發現當濾材以幾丁聚醣處理後，濾材之微粒穿透率明顯的下降了，同時最大穿透粒徑也下降了，過去文獻[1]顯示不帶電濾材之最大穿透粒徑約是在 0.3 μm，這與本計畫之實驗結果是相符的，而帶電濾材之最大穿透粒徑約是在 0.1-0.2 μm 之間[1, 10]，因此當濾材處理幾丁聚醣後其微粒穿透率下降之原因極有可能是由於濾材表面帶有電荷，為了證明此一現象，本計畫利用一表面電位計來量測濾材

之表面電場，實驗結果顯示未處理之濾材表面電場約是 1.0×10^2 V/m，而三個幾丁聚醣前處理濾材（1.0wt%、1.5wt%及 2.5wt%）之表面電場約是 1.2×10^3 V/m、 1.5×10^3 V/m 及 2.1×10^3 V/m，由此一結果即可得知，當濾材以幾丁聚醣前處理後的確可以使不帶電濾材成為表面帶有電荷之帶電濾材，同時比較三個不同濃度之幾丁聚醣前處理濾材之實驗結果，更可發現濃度越高之前處理濾材之表面電場越高，同時其微粒穿透率也愈低。

3. 不同氣膠種類對幾丁聚醣前處理濾材之穿透率之影響

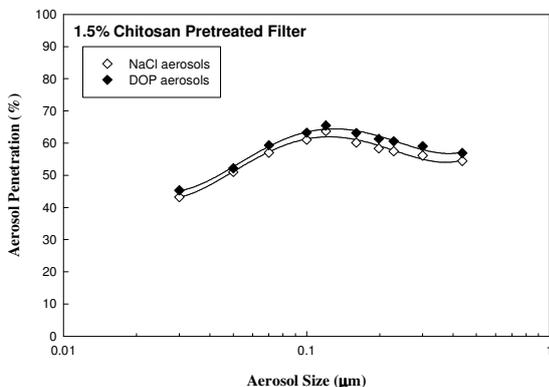


Figure 4. Penetration through the 1.5wt% chitosan pretreated filter against NaCl and DOP aerosols at face velocity of 0.1 m/s.

圖四為在表面風速 0.1 m/s 下，測試 1.5wt%之幾丁聚醣前處理濾材在使用 NaCl 與 DOP 之氣膠微粒穿透率，實驗結果發現，1.5wt%之幾丁聚醣前處理濾材對於 NaCl 氣膠微粒之最大穿透率在於 63%，而對於 DOP 氣膠微粒之穿透率為 65%，故可知此類帶電濾材對於 NaCl 氣膠微粒有較佳之去除效率，這與過去研究中，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[11]之結果是相類似的。

4. 不同風速對幾丁聚醣前處理濾材之穿透率之影響

圖五利用中性帶電 NaCl 微粒測試 1.5wt%之幾丁聚醣前處理濾材在在表面風速為 0.05 m/s 與 0.1 m/s 下之氣膠微粒穿透率，結果顯示在 0.05 m/s 風速下，整體穿透率約是在 37%-56%；在 0.1 m/s 表面風速下，整體穿透率約是在 43%-63%，相互比較下，可知在 0.05 m/s 風速下之微粒穿透率明顯小於在表面風速為 0.1 m/s 之微粒穿透率。主要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。

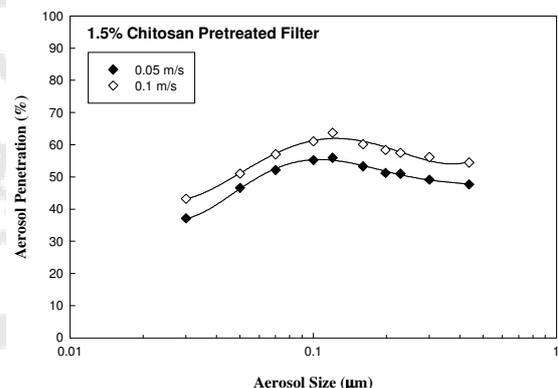


Figure 5. Penetration through 1.5wt% chitosan pretreated filter at different face velocity (0.05 and 0.1 m/s).

5. 不同相對濕度對幾丁聚醣前處理濾材之穿透率之影響

圖六為利用中性帶電 NaCl 微粒在表面風速 0.1 m/s 下，測試 1.5wt%幾丁聚醣前處理濾材在相對濕度為 30%與 70%下之氣膠微粒穿透率，結果發現前處理濾材在兩個不同相對濕度下，其微粒穿透率幾乎是相同的，其微粒穿透率曲線幾乎是重疊的，顯示不同之相對濕度對此類帶電濾材之微粒穿透率之影響並不明顯。

此一結果與過去研究之成果並不相同，過去之研究均顯示在較高相對濕度下，

靜電濾材之微粒穿透率均是會升高[4]，主要原因在於表面電荷會隨濕度上生而下降[11]。過亦有不相類似之研究成果，Yang and Lee[9]過去利用界面活性劑前處理濾材使其帶電，此類型之帶電濾材在不同相對濕度下，其微粒穿透率幾乎是不受到影響。文中提及其帶電方式為表面電荷是附著（coating）於纖維表面，因此其表面電荷不易被水分子移除，因此本計畫利用幾丁聚醣調理之帶電濾材極有可能亦是由於電荷是介由幾丁濾材覆於纖維表面，因此電荷不隨濕度變化而改變。

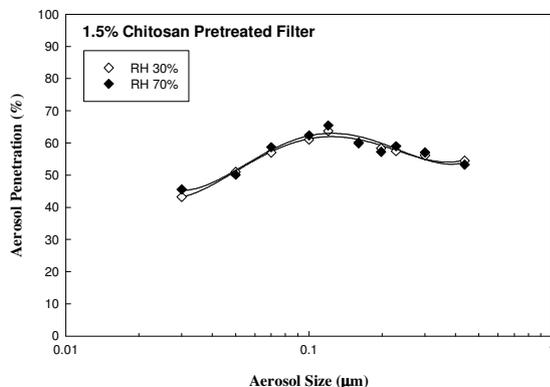


Figure 6. Penetration through 1.5wt% chitosan pretreated filter at different relative humidity (30% and 70%).

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之幾丁聚醣前處濾材的確為一帶有表面電荷之帶電濾材，可降低原有不帶電濾材之微粒穿透率。綜合本計畫，研究結果有助於瞭解帶電濾材之氣膠過濾機制，並可將幾丁聚醣前處濾材應用在空氣微粒清淨領域。本計畫初步先針對幾丁聚醣前處濾材對於物理性氣膠微粒之收集效率作探討，未來將繼續嘗試探討此一類型帶電濾材之載負特性，並進一步研究對於生物性氣膠微粒收集特性。

九、參考文獻

1. Romay, F. J., Liu, B. Y. H., and Chae, S. J. (1998). Experimental Study of Electrostatic Capture Mechanisms in Commercial Electret Filters, *Aerosol Sci. Technol.* 28:224-234.
2. Lehtimäki, M., and Heononen, K. (1994). Reliability of Electret Filters, *Building and Environment.* 29:353-355.
3. Kanaoka, C., Emi, H., Otani, Y., & Iiyama, T. (1987). Effect of Charging State of Particles on Electret Filtration. *Aerosol Science and Technology*, 7, 1-13.
4. Ackley, M. W. (1982). Degradation of Electrostatic Filters at Elevated Temperature and Humidity. *3rd World Filtration Congress*, 169-176.
5. 郭佩芸, (2002) 幾丁聚醣生物基材及滲透蒸發膜之製備, 碩士論文, 台北。
6. Juang, R. S., and Shiau, R. C. (2000). Metal Removal from Aqueous Solutions Using Chitosan-enhanced Membrane Filtration, *J. Membrane Sci.* 165: 159-167.
7. Steenkamp, G. C., Keizer, K., Neomagus, H. W. J. P., and Krieg, H. M. (2002). Copper(II) Removal from Polluted Water with Alumina/Chitosan Composite Membranes, *J. Membrane Sci.* 197: 147-156.
8. Hind, W. C. (1982). *Aerosol Technology*, New York: Wiley.
9. Yang, S. H., and Lee, W. M. G. (2005). Filtration characteristics of a fibrous filter pretreated with anionic surfactants for monodisperse solid aerosols, *J. Aerosol Sci.* 36 (4): 419-437.
10. Martin, S. B., and Moyer, E. S. (2000). Electrostatic Respirator Filter Media:

Filter Efficiency and Most Penetrating Particle Size Effects, *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15: 609-617.

11. Ikezaki, K., Iritani, K., Nakamura, T., & Horj, T. (1995). Charge Stability of TPX Film Electrets. *Journal of Electrostatics*, 35, 41-46.

