

摘要

本計畫針對靜電濾材之過濾特性進行研究，濾材分別選擇兩種市售靜電濾材、兩類市售活性炭靜電混合濾材以及三型界面活性劑處理之帶電濾材 (Surfactant-Pretreated Filter, SPF)。三型界面活性劑處理濾材則分別為利用 sodium dodecyl sulfate (SDS)、sodium oleate (SO) 及 dimethyl dioctadecyl ammonium (DDAB) 離子性界面活性劑調理聚丙烯濾材。同時針對不同之實驗變因探討濾材之過濾效率，主要包括氣膠大小 (0.05-0.5 μm)、表面風速 (10、30、50、100 cm/s)、氣膠微粒帶電量 (0、1、2、3、4)、氣膠種類、相對濕度 (RH30%及 70%) 及不同載負量下過濾效率的變化。

實驗結果發現，靜電濾材與複合性在 0.3 μm 下時穿透率大約為 15~20%，而 SPF 濾材(0.01M 濃度下前處理)在 0.3 μm 下穿透率大約是在 45~60%，此三大類濾材之最大穿透粒徑均在 0.1~0.2 μm 。比較不同實驗因子對過濾效能影響，可以發現隨著表面風速的增加(10-100 cm/s)氣膠微粒之穿透率會隨之上升；在不同氣膠微粒的比較，整體而言固體氣膠微粒之穿透率要較油滴氣膠來的低，而就固體氣膠微粒之界電係數進行比較，發現當氣膠微粒之界電係數較大時其穿透率較界電係數小者來得小；就氣膠微粒之帶電數(1, 2, 3, 4)不同來比較，可以發現當氣膠微粒之穿透率會隨氣膠帶電量之增加而下降，同時可以發現當氣膠微粒較小時，此一趨勢又更為顯著；在比較不同相對濕度下對於穿透率之影響，可以發現當相對濕度較高時，市售靜電濾材之穿透率會明顯的上升，不過就 SPF 帶電濾材而言，卻沒有發現此一現象；由於 SPF 濾材是利用界面活性劑來調理濾材使其帶電，因此在計畫即於每種界面活性劑選取三個濃度進行比較，結果顯示隨著調理濃度之增加氣膠微粒之穿透率隨之下降，表示濃度增加導致濾材表面之電場增加。載負實驗部分發現在 50 g/m^2 的載負過程中，五種濾材之穿透率仍隨著載負量之增加而上升，同時濾材之壓降均未有明顯之上升，表示在此一載負的過程中濾材之濾餅均尚未形成。

Abstract

This work investigated the filtration characteristic of the electret filters. Two manufactured electret filters, two activated carbon/electret hybrid filters, and three type surfactant-pretreated filters (SPFs) were examined for the aerosol penetration. Dimethyl dioctadecylammonium (DDAB), sodium dodecyl sulfate (SDS), and sodium oleate (SO) were used to pretreat polypropylene as charged filters. Parameters including aerosol size (0.05-0.5 μm), face velocity (10, 30, 50, 100 cm/s), aerosol charge state, the charge number of aerosol (0, 1, 2, 3, 4), aerosol type, relatively humidity (30 and 70%), surfactant concentration, and aerosol loading were considered to elucidate the effect on the aerosol penetration.

Experimental results indicate that the 0.3 μm -aerosol penetrations through both manufactured electret filters and activated carbon/electret hybrid filters were around 15% to 20%, and through the 0.01M SPFs were in the range of 45% to 60%. The most penetrating size through three kinds electret filters were about 0.1 μm to 0.2 μm . The results also indicate that the aerosol penetration increased with face velocity, the electret filters performed better against solid aerosol than liquid oil aerosol, and the aerosol penetration was lower when the tested aerosol with higher dielectric constant. The aerosol penetration through these electret filters decreased with aerosol charge number increasing, which occurred for the smaller aerosol, especially. The penetrations through the manufactured electret filters were increased with relatively humidity, but the relatively humidity would not affect the penetration through the SPFs. Comparison of different surfactant concentration, the aerosol penetration through the SPFs decreased with increasing the surfactant concentration, indicating the surface charge number of the SPF increased with surfactant concentration. Moreover, the NaCl and DOP penetrations through the electret filters and SPFs increased with the particle deposited. The pressure drop increases slightly during the loading process. This indicates that the filter cake is not formed, so that the particle penetration still increased with particle loading.

目錄

| | |
|--|-----------|
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1-1 研究緣起 | 1 |
| 1-2 研究目的 | 1 |
| 第二章 文獻回顧 | 3 |
| 2-1 室內懸浮微粒 | 3 |
| 2-2 室內懸浮微粒清淨技術 | 5 |
| 2-2-1 靜電濾材 (Electrically Charged Filter) | 5 |
| 2-2-2 界面活性劑調理之帶電濾材 (Surfactant-Pretreated Filter, SPF) | 6 |
| 2-3 過濾理論 | 8 |
| 2-3-1 機械性過濾機制 | 9 |
| 2-3-2 靜電過濾理論 | 11 |
| 2-4 靜電濾材纖維表面帶電量 | 14 |
| 2-4-1 unipolar fiber-帶電濾材之表面電荷 | 14 |
| 2-4-2 line-dipole fiber-帶電濾材之表面電荷 | 15 |
| 2-5 靜電濾材對微粒之過濾效能 | 16 |
| 2-5-1 靜電濾材過濾效率之探討 | 16 |
| 2-5-2 靜電濾材過濾機制之探討 | 17 |
| 2-5-3 不同氣膠成分對帶電濾材過濾效率之影響 | 18 |
| 2-5-4 靜電濾材之載負特性 | 19 |
| 2-5-5 靜電濾材之效能評估 | 19 |
| 2-5-6 不同電量之氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 | 20 |
| 2-5-7 靜電濾材對生物氣膠之過濾效率 | 21 |
| 第三章 執行方法 | 22 |
| 3-1 實驗方法 | 22 |
| 3-1-1 實驗氣膠的產生 | 22 |
| 3-1-2 不同帶電性之氣膠微粒產生 | 22 |
| 3-1-3 靜電濾材種類 | 23 |
| 3-1-4 實驗物種之選擇 | 25 |
| 3-1-5 氣膠微粒穿透率量測 | 25 |
| 3-1-6 氣膠電荷之量測 | 25 |
| 3-1-7 壓降之量測 | 25 |
| 3-1-8 實驗變因 | 25 |
| 3-2 實驗步驟 | 27 |

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 3-2-1 穿透率實驗 | 27 |
| 3-2-2 載負實驗 | 29 |
| 第四章 成果報告 | 31 |
| 4-1 靜電濾材之過濾效率 | 31 |
| 4-1-1 一般靜電濾材之過濾效率 | 31 |
| 4-1-2 靜電纖維與活性碳纖維複合濾材之過濾效率 | 34 |
| 4-1-3 界面活性劑處理之帶電濾材 (SPFs) 之過濾效率 | 38 |
| 4-2 微粒帶電量對過濾效率之影響 | 44 |
| 4-3 表面風速對過濾效率之影響 | 46 |
| 4-4 微粒種類對過濾效率之影響 | 48 |
| 4-4-1 固體氣膠與油滴氣膠過濾效率之比較 | 48 |
| 4-4-2 微粒介電常數對過濾效率之影響 | 53 |
| 4-5 相對濕度對過濾效率之影響 | 57 |
| 4-6 靜電濾材表面電荷之估算 | 59 |
| 4-7 靜電濾材之載負特性 | 61 |
| 4-7-1 帶電濾材之載負特性 | 63 |
| 第五章 結論與建議 | 69 |
| 參考文獻 | 71 |

表目錄

| | |
|---------------|----|
| 表一、 濾材特性表 | 24 |
| 表二、 濾材表面電場 | 59 |
| 表三、 市售濾材表面電荷量 | 59 |
| 表四、 SPF 表面電荷量 | 60 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖一、穿透率實驗系統圖 | 28 |
| 圖二、載負實驗系統圖 | 30 |
| 圖三、M型靜電濾材帶電與不帶電之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 32 |
| 圖四、H型靜電濾材帶電與不帶電之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 32 |
| 圖五、M型靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s) | 33 |
| 圖六、H型靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s) | 33 |
| 圖七、AM型複合性靜電濾材之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 35 |
| 圖八、AH型複合性靜電濾材之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 36 |
| 圖九、AM型複合式靜電濾材帶電單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s) | 37 |
| 圖十、AH型複合式靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s) | 37 |
| 圖十一、DDAB-Pretreated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 40 |
| 圖十二、SO-Pretreated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 40 |
| 圖十三、SDS-Pretreated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 41 |
| 圖十四、DDAB-Pretreated Filter-單一帶電微粒 (負電、NaCl、表面風速 10 cm/s) | 41 |
| 圖十五、SO-Pretreated Filter-單一帶電微粒 (正電、NaCl、表面風速 10 cm/s) | 42 |
| 圖十六、SDS-Pretreated Filter-單一帶電微粒 (正電、NaCl、表面風速 10 cm/s) | 42 |

| | |
|---|----|
| 圖十七、 DDAB-Pretreated Filter 之過濾效率 (小直徑-玻璃纖維濾材、NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 43 |
| 圖十八、 DDAB-Pretreated Filter 之過濾效率 (大直徑-玻璃纖維濾材、NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s) | 43 |
| 圖十九、 微粒帶不同帶電量對過濾效能之影響 (Type M, 10 cm/s) | 45 |
| 圖二十、 微粒帶不同帶電量對過濾效能之影響 (Type H, 10 cm/s) | 45 |
| 圖二十一、 不同風速對過濾效率之影響 (Type M, NaCl 中性帶電微粒) | 46 |
| 圖二十二、 不同風速對過濾效率之影響 (Type H, NaCl 中性帶電微粒) | 47 |
| 圖二十三、 比較油滴與固體氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type M、10 cm/s) | 49 |
| 圖二十四、 比較油滴與固體氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type H、10 cm/s) | 49 |
| 圖二十五、 比較油滴與固體氣膠微粒對複合性靜電濾材過濾效率之影響 (Type AM、10 cm/s) | 50 |
| 圖二十六、 比較油滴與固體氣膠微粒對複合性靜電濾材過濾效率之影響 (Type AH、10 cm/s) | 50 |
| 圖二十七、 比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M DDAB、10 cm/s) | 51 |
| 圖二十八、 比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M SO、10 cm/s) | 51 |
| 圖二十九、 比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M SDS、10 cm/s) | 52 |
| 圖三十、 不同介電常數氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type M、10 cm/s) | 54 |
| 圖三十一、 不同介電常數氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type H、10 cm/s) | 54 |
| 圖三十二、 不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (DDAB、10 cm/s) | 55 |
| 圖三十三、 不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (SO、10 cm/s) | 55 |

| | |
|--|----|
| 圖三十四、 不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (SDS、10 cm/s) | 56 |
| 圖三十五、 市售靜電電濾材在不同相對濕度下之過濾效率 (Type H, NaCl, 10 cm/s) | 58 |
| 圖三十六、 SPF 在不同相對濕度下之過濾效率 (SO, NaCl, 10 cm/s) | 58 |
| 圖三十七、 NaCl 測試氣膠之粒徑分佈圖 | 61 |
| 圖三十八、 DOP 測試氣膠之粒徑分佈圖 | 62 |
| 圖三十九、 NaCl 測試氣膠對 M 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 64 |
| 圖四十、 DOP 測試氣膠對 M 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 64 |
| 圖四十一、 NaCl 測試氣膠對 H 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 65 |
| 圖四十二、 DOP 測試氣膠對 H 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 65 |
| 圖四十三、 NaCl 測試氣膠對 DDAB-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 66 |
| 圖四十四、 DOP 測試氣膠對 DDAB-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 66 |
| 圖四十五、 NaCl 測試氣膠對 SO-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 67 |
| 圖四十六、 DOP 測試氣膠對 SO-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 67 |
| 圖四十七、 NaCl 測試氣膠對 SDS-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 68 |
| 圖四十八、 DOP 測試氣膠對 SDS-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s) | 68 |

第一章 緒論

1-1 研究緣起

隨著工業化社會的發展，人口大量集中在大都市中，人類生活形態各方面都與過去產生相當程度的改變。在日常生活中，一般人約有 90% 的時間是在室內，根據調查顯示，上班族平均每日約有六小時的時間是待在室內，而會抱怨室內空氣品質不良者約佔 66.8% (廖等, 1991)。一份調查文獻指出，美國民眾有 87.2% 之時間是在所謂之「室內環境」(Indoor Environment)，7.2% 之時間在交通工具上，僅 5.6% 時間在「室外環境」(Outdoor Environment) 中活動(Lance, 1996)。因此越來越多的人開始重視室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ)。

室內懸浮微粒即是造成室內空氣品質問題的主要來源之一，室內懸浮微粒會引起呼吸系統疾病，如肺癌、氣喘及過敏等疾病，因此室內懸浮微粒所造成室內空氣品質不良的問題日益受到關注。

一般室內環境中，室內空氣清淨機是用來控制室內懸浮微粒最主要的方法，室內空氣清淨機分為許多種類，其中過濾型空氣清淨機是目前最常用於室內來去除室內環境中之懸浮微粒。近年來採用靜電濾材做為過濾型空氣清淨機的濾材則有越來越多的趨勢，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。因此在本計畫中即是探討目前市面上所販售之靜電濾材其過濾效率，以及在不同的操作變因下對過濾效率之影響。除此之外，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，故在本次計畫中，除探討目前市面上之靜電濾材之過濾效能，將利用界面活性劑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，以提升對室內氣膠微粒之去除效率。

1-2 研究目的

主要研究目的如下：

1. 以界面活性劑製造低成本帶電濾材。
2. 評估帶電濾材之過濾效能。

3. 探討懸浮微粒電荷性對過濾效能影響。
4. 評估不同操作條件之過濾效能。
5. 評估帶電濾材之表面電量。
6. 評估市面上靜電濾材之過濾效能。

第二章 文獻回顧

2-1 室內懸浮微粒

室內氣膠為室內主要空氣污染物之一，成分十分複雜，主要成分包括水、元素碳、無機鹽類、有機物與微生物 (Jones, 1999)。分為兩大部分，分別是微生物氣膠與非微生物氣膠。非生物氣膠方面，主要來源有室內燃燒、吸煙、室內建材、一般日常生活使用物品所產生，且由於家庭窗戶常打開進行自然通風，因此室內懸浮微粒濃度也受到室外空氣的影響。室內燃燒方面，包括烹調煮飯、壁爐燃燒與燒香；吸煙產生之氣膠顆粒主要均小於 $2.5\mu\text{m}$ ，屬於呼吸性懸浮微粒 (Respirable Suspended Particle)，其污染物又分為兩部分，一為經濾嘴吸入呼吸道再排出者稱之為主煙流 (Mainstream Smoke)，另一則是點煙時直接排入空氣者稱為旁煙流 (Sidestream Smoke)；室內建材則有石綿材質，會逸散出含危害性之氣膠顆粒；日常生活之氣膠來源則有，清潔劑、化妝品、髮膠與芳香劑。生物氣膠方面主要種類是病毒、細菌、真菌與原生動物。來源則是地面灰塵、(HVAC) 空調系統、地毯沙發與寵物毛皮上。

室內懸浮微粒含量方面，Su (1996) 研究中指出室內環境中總懸浮微粒約是 $39\sim 66\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，約為室外大氣中之 26-72%。而在室內氣膠之粒徑分佈方面，氣膠顆粒小於 $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) 氣動粒徑約佔 37%之重量百分比，氣膠顆粒在 $2.5\text{-}10\ \mu\text{m}$ 之間佔 26%之重量百分比及大於 $10\ \mu\text{m}$ 則佔 37%之重量百分比 (Kamens et al., 1991)，由此可知細粒徑顆粒 ($\text{PM}_{2.5}$, fine-particle) 佔整體室內懸浮微粒相當大的比重。細粒徑氣膠微粒較易進入呼吸系統內，故對人體健康就有很大的影響，許多呼吸道疾病與慢性的肺病都是因此引起。Li 針對室內 PM_1 與 $\text{PM}_{2.5}$ 進行探討，發現 PM_1 的濃度約為 $25.88\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而 $\text{PM}_{2.5}$ 的濃度約是 $37.60\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，故可知在 $\text{PM}_{2.5}$ 的懸浮微粒中， PM_1 則是佔了最主要的部分，所以 PM_1 之懸浮微粒對人體健康同樣具有很大的影響。

此外在過濾機制中，靜電吸引力主要即是作用在次微米的氣膠微粒 (Chen and Huang, 1998)，因此對於室內次微米懸浮微粒之粒徑分佈，就相當值得我們去進一步瞭解。

Vette et al. (2001) 針對室內懸浮微粒粒徑分佈進行研究，發現在室內次微米懸浮微粒部分，其 count median diameter (CMD) 大約是在 $0.03\text{-}0.09\ \mu\text{m}$ 附近。Koponen et al. (2001) 發現室內次微米氣膠微粒之 CMD 大約是在 $0.05\text{-}0.08$

μm 附近，綜合前述二者之研究可以發現室內次微米氣膠微粒之 CMD 粒徑主要在 0.03-0.09 μm 之間 (ultrafine particle range)。

Dua and Hopke (1996) 針對四種食用油進行探討，實驗結果發現四種油煙氣膠微粒之 CMD 約在 0.168-0.240 μm (GSD 1.6) 附近，許 (2000) 針對油煙氣膠微粒進行研究，發現油煙氣膠微粒 CMD 粒徑約在 0.16-0.26 μm 左右。盧 (2001) 針對目前市面上三種植物性食用油進行研究，發現油煙氣膠微粒之 CMD 粒徑大約在 0.11-0.27 μm 範圍。由上述文獻中，綜合發現室內油煙氣膠微粒主要也是分佈在次微米粒徑中，且其 CMD 粒徑大約在 0.11-0.240 μm 附近。

2-2 室內懸浮微粒清淨技術

由於目前室內污染的問題日益嚴重，現代人對於自身的健康問題較為重視，為避免呼吸道疾病，室內空氣清淨機的使用量有愈來愈高的趨勢，對於室內懸浮微粒的去除，目前可將其分為下列五類：

1. 電子式：可細分為兩類，一為負離子產生器（negative ion generator），一是靜電集塵器（electrostatic precipitator）。負離子產生器是釋出大量負離子使空氣中氣膠微粒帶負電，這些帶電微粒會負著於牆壁或地板達到去除目的（Maloney, 1987）。靜電集塵器是利用空氣通過高壓區，使空氣離子化，再讓微粒流過帶電，以電板來吸附帶電氣膠微粒。
2. 機械式：將氣流通過濾材，讓微粒留滯在濾材上，以得到較乾淨之空氣。濾材主要有濾網、延展性濾材、以及高效率集塵裝置。
3. 混合式濾材（帶電濾材）：將前述電子式與機械式功能合併，稱之為帶電介質濾網（charged media filter）。
4. 活性碳濾網：除具有去除氣膠微粒功能外，可同時去除空氣中臭味及有機污染物。
5. 空調：空調並不是一種清淨空氣之方式，但增加換氣次數，亦可有效稀釋空中氣膠微粒之數目。

上述五種空氣清淨的方式，目前最常用的空氣清淨機為過濾式的空氣清淨機，同時若考量家庭中所裝設的冷氣機大多也是具有過濾效果之室內清淨機，而為了增加過濾式清淨機對懸浮微粒之過濾效率，目前市面上出現了許多商品是以更換清淨機之濾網以增加對懸浮微粒之去除效率，尤以採用靜電濾材（混合式濾材）做為更換濾材有愈來愈多的趨勢，其主要就是因為其具有機械過濾及靜電吸引雙重去除機制的優點。

2-2-1 靜電濾材 (Electrically Charged Filter)

靜電濾材近年大量被應用在空氣過濾科技上，包含口罩、汽車空調、室內空氣及袋濾式集塵，主要原因在於其具有高微粒去除效率以及低壓損的產生。目前靜電濾材的製造方法主要為電暈放電帶電（corona charging）、摩擦帶電（triboelectric charging）及感應帶電（induction charging）（Brown, 1993）。

目前在製造靜電濾材的方法主要還是以電暈放電的方式使濾材帶電，主要原理是在濾材製造過程中，有一步驟為噴熔的過程，是將原料在高溫情況噴出成為纖維狀，而製造為纖維或不織布濾材，而靜電濾材則是在噴熔過程同時以電暈放電的方式產生大量電荷，使電荷附著在纖維表面，待降溫後及成為帶有電荷之靜電濾材。此一類型靜電纖維就像一個電容器，纖維一邊帶正電，另一邊帶負電，每根纖維均帶有靜電電荷。

靜電濾材對於懸浮微粒的去除機制除了原有的機械過濾機制外，另外還增加了靜電過濾機制，包括介電力（dielectrophoretic force）及庫侖力（Coulombic force）。介電力為靜電濾材能夠誘發中性帶電微粒產生雙極性而被濾材吸引，庫侖力則是存在靜電纖維與帶電微粒間，靜電纖維可以吸引具相反電荷之氣膠微粒，而達到去除的功效。這即是靜電濾材對懸浮微粒有較高之去除效率，尤其是次微米之懸浮微粒（Chen and Huang, 1998）。

2-2-2 界面活性劑調理之帶電濾材 (Surfactant-Pretreated Filter, SPF)

靜電濾材的優點就是大幅提升濾材對懸浮微粒的去除效率，同時具有低壓降的特點，不過其仍是存在一些問題，如市售價格昂貴，以及濾材表面電荷經過一段時間後會自然衰減，造成過濾效率的降低，因此為改善此一問題，本實驗室利用界面活性劑來調理不帶電濾材（Surfactant-Pretreated Filter, SPF）使其成為帶電濾材（Yang and Lee, 2002）。

過去的研究中，界面活性劑調理濾材使其成為帶電濾材通常都是在水的過濾研究中，Pontiè et al. (1997) 利用離子性與非離子性界面活性劑調理薄膜表面，使薄膜表面成為帶有電荷之表面。Kang and Shah (1998) 利用陽離子界面活性劑（dimethyl dioctadecylammonium bromide）處理濾材表面，使濾材成為帶正電之帶電濾材，用來增加對水中帶負電懸浮微粒的過濾效率。

在本實驗室的研究中，界面活性劑處理濾材使其帶電則是應用在空氣的過濾中，一般過去的想法，界面活性劑在水中會會解離，因此可以應用在水的過濾中使濾材帶電，不過在本實驗室的研究中發現，當乾燥情況下，界面活性劑處理濾材仍然會成為帶電濾材，其帶電的可能原理主要如下，在調理的過程中，先配製界面活性劑溶液，當界面活性劑溶於水中時會解離成碳鏈離子團與元素離子，當濾材浸置於界面活性劑溶液中，碳鏈離子團之碳鏈會與聚丙烯濾材表面產生鍵結，因此會附著在濾材表面，當濾材調理後，離開界面活性劑溶

液時，理論上原本在水中解離的元素離子會再與碳鏈離子團結合為原本之界面活性劑，不過由於碳鏈離子團與聚丙烯濾材產生一鍵結力，此一鍵結力會影響碳鏈離子團與原元素離子結合，因此當濾材離開溶液時，附著在濾材上的碳鏈離子團並不會完全與其元素離子結合，所以造成濾材上之界面活性劑有部分僅是碳鏈離子團，因此造成濾材帶電，而且是陽離子界面活性劑使濾材成為帶正電濾材（離子團帶正電），陰離子界面活性劑使濾材成為帶負電之濾材（離子團帶負電）。

2-3 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 (王, 1993)。假設所有纖維 (Fiber) 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 (Hinds, 1982)。

$$E_{\Sigma} = \frac{\text{Number collected on unit length}}{\text{Number geometrically incident on unit length}} \quad [1]$$

根據此一定義，即可利用質量平衡求得單一纖維效率為，

$$E_{\Sigma} = -\frac{\pi d_f (1-\alpha) \ln P}{4L\alpha} \quad [2]$$

其中，

E_{Σ} : Total single fiber efficiency

d_f : Mean fiber diameter

α : Filter packing fraction

L : Filter thickness

P : Penetration

在單一纖維理論中，是假設各不同之過濾機制均為獨立，總單一纖維效率即包含各不同之單一纖維過濾機制，可以下式表示 (Lathrache, 1987; Chen, 1998)：

$$\begin{aligned} E_{\Sigma} &\doteq 1 - (1-E_D) (1-E_{IR}) (1-E_I) (1-E_G) (1-E_P) (1-E_C) (1-E_{IM}) \\ &= 1 - (1-E_m) (1-E_E) \end{aligned} \quad [3]$$

其中，

E_D : 擴散沈積 (diffusion deposition)

E_{ID} : 直接截取 (direct interception)

E_I : 衝擊沈積 (impaction deposition)

E_G : 重力沈積 (gravitational settling)

E_P : 介電力 (dielectrophoretic force)

E_C : 庫倫力 (columbic force)

E_{IM} : 感應力 (image force)

E_m ：機械作用（mechanical capture force）

E_E ：靜電作用（electrostatic capture force）

2-3-1 機械性過濾機制

(1) 擴散理論

擴散沈積機制在氣膠微粒為次微米（submicrometer）微粒時較為明顯及佔優勢，且擴散沈積會隨著表面風速之降低而增加，主要是因為低停留時間讓氣膠微粒與纖維相互作用（Chen, 1998）。

$$E_D = 2.6 \left(\frac{1-\alpha}{K} \right)^{1/3} Pe^{-2/3} \quad [4]$$

$$Pe = \frac{d_f V}{D} \quad [5]$$

$$K = -\left(\frac{1}{2}\right) \ln \alpha - \frac{3}{4} + \alpha - \left(\frac{1}{4}\right) \alpha^2 \quad [6]$$

$$D = \frac{kTC_c}{3\pi\mu d_p} \quad [7]$$

其中，

Pe：為其無因次參數（dimensionless Parameter）佩雷數

K：Kuwabara factor

V：表面風速

D：氣膠擴散係數（aerosol diffusion coefficient）

k：波資曼常數

T：溫度（°C）

C_c ：康寧漢修正因子

μ ：空氣黏滯係數（ 1.81×10^{-4} Pa/sec）

(2) 直接截取（direct interception）

直接截取是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得截取下之現象（Brown, 1993），此一機制在所有過濾機制中唯一不受表面風速的影響。主要影響因子為微粒直徑與纖維直徑 R 值，隨著 R 值上升直接截取現象越明顯（Chen, 1998）。

$$E_{ID} = \left(\frac{1-\alpha}{K} \right) \left(\frac{R^2}{1-R} \right) \quad [8]$$

$$R = \frac{d_p}{d_f} \quad [9]$$

其中，

K : Kuwabara factor

α : Filter packing fraction

d_f : Mean fiber diameter

d_p : Particle diameter

(3) 衝擊沈降 (impaction deposition)

慣性衝擊機制主要發生於氣膠微粒由於受到慣性力作用緣故，在隨著流線前進於纖維附近時，無法很快地隨著流線突然方向而改變方向，因而撞擊到纖維被收集下來，主要影響因子為史脫克數 (stoke number)。

$$E_I = \frac{Stk \cdot J}{2Ku^2} \quad [10]$$

$$Stk = \frac{\rho_p d_p C_c U_0}{18\mu d_f} \quad [11]$$

$$J = (29.6 - 28\alpha^{0.62})R^2 - 27.5R^{2.8} \quad \text{for } R < 0.4 \quad [12]$$

其中，

Stk : 史脫克數

K : Kuwabara factor

U_0 : 表面風速

C_c : 康寧漢修正因子

μ : 空氣黏滯係數 (1.81×10^{-4} Pa/sec)

ρ : Particle density

d_f : Mean fiber diameter

d_p : Particle diameter

(4) 重力沈降 (gravitational settling)

重力沈降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，尤其是水平過濾時重力沈降機制更不明顯，除非是氣膠微粒相當大以及表面風速很低，不過當表面風速大於 10cm/s 時，慣性衝擊之影響就遠較重量沈降重要許多。

$$E_G \approx G(1 + R) \quad [13]$$

$$G = \frac{\rho_p d_p^2 C_C g}{18\mu U} \quad [14]$$

其中，

G：無因次參數

U₀：表面風速

C_C：康寧漢修正因子

μ：空氣黏滯係數（1.81×10⁻⁴ Pa/sec）

ρ：Particle density

d_f：Mean fiber diameter

d_p：Particle diameter

R：d_p/d_f

2-3-2 靜電過濾理論

(1) 庫倫力（columbic force）

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，其單一纖維效率又分為濾材同時帶正負電與濾材僅帶一種電荷，分述如下(Lathrache, 1987)：

1. 濾材帶兩種電荷（dipole fiber）

$$E_C = \left(\frac{1 - \alpha}{K} \right)^{1/8} \frac{\pi e \sigma N_C}{1 + 2\pi N_C^{1/4}} \quad [15]$$

$$N_C = \frac{Z_p \sigma}{(1 + \varepsilon_f) U \varepsilon_0} = \frac{neC\sigma}{3\pi\mu d_p (1 + \varepsilon_f) U \varepsilon_0} \quad [16]$$

2. 濾材帶一種電荷（unipolar fiber）

$$E_{C,U} = \frac{\pi N_{CU}}{1 + N_{CU}^{1/2} \times \alpha} \quad [17]$$

$$N_{C,U} = \frac{neCQ}{3\pi^2 \mu d_p d_f U \varepsilon_0} \quad [18]$$

其中，

N_C, N_{C,U}：為無因次參數

α：filter packing fraction

K : Kuwabara factor
 e : 單位基本電荷 (1.6×10^{-19} C)
 Z_p : 氣膠微粒之電移動度
 d_p : 氣膠微粒之粒徑
 d_f : Fiber diameter
 ϵ_0 : 真空介電常數 (8.8544×10^{-19} C²/Nm)
 ϵ_f : 纖維之介電常數
 U : 表面風速
 C : 康寧漢修正因子
 μ : 空氣黏滯係數 (1.81×10^{-4} Pa/sec)
 Q : 表面電荷量

(2) 介電力 (dielectrophoretic force)

無帶電氣膠微粒與帶電濾材之相互吸引力稱之為庫輪吸引力，其單一纖維效率同樣分為濾材同時帶正負電與濾材僅帶一種電荷，分述如下 (Lathrache, 1987) :

1. 濾材帶兩種電荷 (dipole fiber)

$$E_{P,U} = \left(\frac{1-\alpha}{K} \right)^{2/5} \frac{\pi N_P}{1 + 2\pi N_P^{2/3}} \quad [19]$$

$$N_P = \frac{(\epsilon_p - 1)\sigma^2 d_p^2 C}{3(\epsilon_p + 2)\epsilon_0 (1 + \epsilon_f)^2 d_f \mu U} \quad [20]$$

2. 濾材帶一種電荷 (unipolar fiber)

$$E_{P,U} = \left(\frac{1-\alpha}{K} \right)^{1/4} \frac{\pi N_{PU}}{1 + 2.5 N_{PU}^{1/2}} \quad [21]$$

$$N_{PU} = \frac{(\epsilon_p - 1)Q^2 d_p^2 C}{3(\epsilon_p + 2)\epsilon_0 \pi^2 d_f^3 \mu U} \quad [22]$$

其中，

$N_P, N_{P,U}$: 為無因次參數
 α : filter packing fraction
 K : Kuwabara factor
 e : 單位基本電荷 (1.6×10^{-19} C)
 Z_p : 氣膠微粒之電移動度
 d_p : 氣膠微粒之粒徑
 d_f : Fiber diameter

ε_0 : 真空介電常數 ($8.8544 \times 10^{-19} \text{ C}^2/\text{Nm}$)

ε_f : 纖維之介電常數

ε_p : 氣膠微粒之介電常數

U : 表面風速

C : 康寧漢修正因子

μ : 空氣黏滯係數 ($1.81 \times 10^{-4} \text{ Pa/sec}$)

(3) 感應力 (Image force)

感應力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，其吸引力遠較庫輪力與介電力來得低，除非是氣膠微粒之帶電量非常高，方可除顯出其吸引力 (Wang, 2001)。其單一纖維效率如下式所示：

$$E_{IM} = \frac{2}{(2 - \ln \text{Re})^{1/2}} (N_{IM})^{1/2} \quad [23]$$

$$N_{IM} = \frac{(\varepsilon_p - 1)Q_p^2}{12\pi^2 \varepsilon_0 d_p (1 + \varepsilon_f) U \mu d_f^2} \quad [24]$$

其中，

N_{IM} : 為無因次參數

d_p : 氣膠微粒之粒徑

d_f : Fiber diameter

ε_0 : 真空介電常數 ($8.8544 \times 10^{-19} \text{ C}^2/\text{Nm}$)

ε_f : 纖維之介電常數

ε_p : 氣膠微粒之介電常數

Re : 雷諾數

2-4 靜電濾材纖維表面帶電量

長久以來，對於靜電濾材表面電荷的估算都沒有一個可以實際量測的儀器可以用來量測濾材纖維的表面電荷，因此只能利用實驗的結果進而估算出靜電濾材纖維的表面電荷量。

2-4-1 unipolar fiber-帶電濾材之表面電荷

Romay et al. (1998) 利用簡單的物理模式來推估靜電濾材的表面電荷，主要的基礎在於靜電濾材上，被庫侖力吸引而去除的氣膠微粒量是與靜電纖維的表面電場有相關的，因此在其模式中，是假設氣膠微粒之穿透率是被圓柱狀靜電纖維上之庫侖力所吸引，其中圓柱狀靜電纖維是將濾材上所有纖維視為一直線的圓柱纖維，其建立之方程式及如下式所示，

$$E = \frac{Ud_f \rho_f \ln(1/P_C)}{4WZ_p}, \quad [25]$$

$$P_C = \frac{P_{moc}}{P_{mo}} \quad [26]$$

其中，

E：為有效表面電場

U：為表面風速

d_f ：纖維直徑

ρ_f ：纖維密度

Z_p ：氣膠微粒之電移動度

W：濾材之單位重量(kg/m^2)

P_C ：由庫侖力所造成之氣膠微粒穿透率

P_{moc} ：單一帶電微粒的總穿透率（包含庫侖力、介電力及機械力吸引）

P_{mo} ：中性帶電微粒的總穿透率（包含介電力及機械力吸引）

靜電纖維表面所產生之不均勻電場E可由下式表示之(Brown, 1993; Wang, 2001)，

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r} \quad [27]$$

其中，

Q：為纖維電荷（C/m）

r：纖維半徑

ϵ_0 ：真空介電常數 ($8.8544 \times 10^{-19} \text{ C}^2/\text{Nm}$)

而公式 27 可轉換成公式 28，可明確的表示出先帶電量的估算方法。

$$Q = 2\pi\epsilon_0 r E \quad [28]$$

所以綜合公式 25 與 28 即可估算出濾材之表面電荷。本計畫中，利用界面活性劑調理之帶電濾材即是屬於此類之單一帶電濾材。

2-4-2 line-dipole fiber-帶電濾材之表面電荷

Line-dipole fiber 帶電濾材是表示濾材纖維上同時具有正電荷與負電荷，而目前市面上的靜電濾材多是屬與此一類型的靜電濾材。而其表面電荷的估算同樣是利用 Romay et al. (1998) 所發展出來之公式先估算表面電場，再利用此類靜電纖維之不均勻電場公式 (Wang, 2001) 估算出纖維之表面電荷，公式如下：

$$E = \frac{\sigma d_f^2}{4\epsilon_0(1 + \epsilon_f)r^2} \quad [29]$$

其中，

σ ：電荷密度 (C/m^2)

d_f ：纖維直徑

ϵ_0 ：真空介電常數 ($8.8544 \times 10^{-19} \text{ C}^2/\text{Nm}$)

ϵ_f ：濾材之介電常數

r：纖維半徑

所以綜合公式 25 與 29 即可估算出此類濾材之表面電荷。

2-5 靜電濾材對微粒之過濾效能

2-5-1 靜電濾材過濾效率之探討

靜電濾材對於氣膠微粒之過濾機制除一般濾材原有之機械沉降機制，另外增加了靜電吸引機制，有許多文獻利用實驗伴隨理論探討帶電濾材之靜電吸引機制，Baumgartner and Löffler (1986) 為瞭解靜電濾材之效能，以靜電濾材與玻璃纖維濾材進行比較，實驗之粒徑範圍在 0.01~10.0 μm 間，是以 DMA 做為篩選粒徑之儀器，穿透率之量測則是以光散射粒徑分析儀分別量測濾材前後之微粒數目，結果顯示在表面風速 10 cm/s 及壓降 20 Pa 下，靜電濾材之效率遠較玻璃纖維濾材高，此外在短時間之操作下，靜電濾材收集微粒之機制主要為靜電吸引力，要在較長之操作時間下，機械過濾機制才會慢慢顯現出來，這應是待濾餅形成後，又形成另一層之濾材，此時濾材已不是靜電濾材，因此過濾機制就轉成機械過濾機制。

Lathrache and Fissan (1987) 針對兩種不同之帶電濾材與帶不同電荷之氣膠微粒進行過濾實驗，其粒徑範圍在 0.02~1.0 μm ，其結果顯示，靜電濾材之穿透率大小主要受到微粒帶電之影響，其次為表面風速之影響，當氣膠微粒帶電荷時穿透率較低，不帶電荷時微粒過濾機制僅依賴其粒徑大小，無靜電吸引力故穿透率較高，而表面風速愈低穿透率愈低，不過此情形僅出現於粒徑小於 0.5 μm 時，此時會有擴散沈降之現象，因此當粒徑大於 0.5 μm 時，表面風速對穿透率之影響就不明顯。

Brown (1990) 探討庫倫力 (coulomb force)、介電力 (di-electrophoretic force) 及感應 (與 image force) 力之大小，以主要是利用 TSI 8160 作為濾材測試功能之機器，以卡里遜噴霧器作為氣膠產生器，實驗氣膠為食鹽，其粒徑範圍在分別是 0.01~0.6 μm 之間，其中性電荷是以 Kr-85 中和微粒電性，帶電微粒則是由 DMA 所流出之氣膠微粒，結果顯示當氣膠微粒相當時小 (0.01 μm)，介電力是可以忽略的，而主要作用力為庫倫力與感應力；當氣膠微粒在接近 0.6 μm 時，介電力的效用是最大的，在所有之去除機制中，粒徑 0.3 μm 均為最大穿透率。

Romay et al. (1998) 針對庫倫力與介電力之過濾行為進行探討，利用卡里遜噴霧劑產生實驗氣膠再以 DMA 來篩分粒徑，主要粒徑範圍在 0.05~0.5 μm ，氣膠之帶電性是利用 Charge Conditioner 來控制，氣膠之穿透率是以兩台

CNC 來量測前後氣膠流，並以差壓計量測靜電濾材之壓降。結果顯示在次微米微粒下靜電收集機制十分明顯，庫侖力在較大微粒時較不明顯，同時隨著粒徑之減小，庫侖力就越明顯。介電力則是在較大微粒時較明顯，同時隨著粒徑之增大，介電力就越明顯。

2-5-2 靜電濾材過濾機制之探討

過去許多文獻中，利用數值模擬或是實驗結果來建立靜電力（庫侖力或介電力）之單一纖維效率與其無因次參數的關係式。Pich et al (1987) 以實驗結果與單一纖維過濾效率比較，探討庫侖力在帶電濾材過濾中之影響。Brown (1981) 針對帶電微粒與靜電濾材 (line-dipole fiber) 之吸引力，利用實驗數據與模擬之曲線 fitted，發現在 N_C (無因次參數) 範圍在 0.1~10.0 間時，其庫侖力單一纖維效率與其無因次參數之關係式為 $E_C=0.57N_C^{0.83}$ ，同時針對不帶電微粒與靜電濾材之吸引力進行研究，利用實驗數據與電腦模擬之曲線 fitted，發現在 N_O (無因次參數) 範圍在 0.1~100.0 間時，其介電力單一纖維效率與其無因次參數之關係式為 $E_O=0.47N_O^{0.40}$

Romay et al. (1998) 同樣是以單一帶電微粒與靜電濾材 (line-dipole fiber) 進行過濾實驗，利用實驗數據來求得靜電濾材之靜電力單一纖維效率之公式，其與之前 Brown 所提出之公式不同，其並非以 N_C 作為主要影響因子，僅將 (Z_p/U) ，其中 Z_p 為氣膠微粒之電移動度； U 為通過濾材之表面風速) 做為影響因子，得到之單一纖維效率 $E_C=a (Z_p/U)^b$ 。同時以不帶電微粒與靜電濾材進行過濾實驗，利用實驗數據來求得靜電濾材之單一纖維效率之公式，如同之庫侖作用力一樣，假設在次微米微粒下靜電吸引力在過濾機制中是最主要且最大的，將總單一纖維效率視為介電力之單一纖維效率，其與之前 Brown 所提出之公式不同，其並非以 N_p 作為主要影響因子，僅將 (Cd_p^2/U) 做為影響因子，得到之單一纖維效率 $E_O=c (Cd_p^2/U)^d$ ， a 、 b 、 c 、 d 則由實驗數據模擬可得。

Kanaoka et al. (1985) 利用帶電與不帶電氣膠微粒與靜電濾材 (charged fiber) 進行實驗，利用實驗結果來模擬出靜電力單一纖維效率與其無因次參數之關係式。實驗結果發現，庫侖力單一纖維與其無因次參數之關係式為 $E_C=0.067N_C^{3/4}$ ，同時發現介電力單一纖維與其無因次參數之關係式為

$$E_0=0.06N_0^{2/5}。$$

2-5-3 不同氣膠成分對帶電濾材過濾效率之影響

Tennal (1991) 利用 BES (bis-Ethylhexyl Sebacate) 油狀液滴氣膠作為實驗物種，探討帶電濾材對油滴氣膠之過濾效率，結果發現帶電濾材對於中性電荷之油滴氣膠之過濾效率相當好，初始穿透率約為 0.058，其非帶電濾材是已載負過油滴氣膠之帶電濾材，其穿透率上升至 0.6，主要差異即是在靜電吸引力的部分。

Lehtmäki and Heinonen (1994) 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，分別為引擎廢氣微粒、Arizona Road dust 及香菸氣膠，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，尤以廢氣微粒與香菸氣膠之情形最為明顯，而對於 Arizona Road dust 之測試氣膠其壓降由 0 增至 109 Pa 後，靜電濾材過濾效率改變不大，表示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，但對於不同氣膠微粒其過濾效率仍不盡相同。

Barrett (1998) 主要針對不同材質之濾材以及固體微粒與液體微粒探討過濾效能，主要是以 TSI model 8130 與 8110 自動濾材測試器，來做濾材穿透率以及壓差實驗，實驗氣膠主要 NaCl 與 DOP，濾材種類為玻璃纖維、摩擦帶電濾材、Fibrillated poly-propylene film、Electrostatic charged polypropylene BMF、advanced electret media AEM (N、R、P)，結果顯示，纖維之孔徑為濾膜一主要的特性，玻璃纖維濾材為小孔徑，摩擦帶電濾材、Fibrillated polypropylene film 為大孔徑，BMF、AEM 為中型孔徑，對應上濾膜之密度，玻璃纖維濾材最快形成濾餅、BMF、AEM 其次，摩擦帶電濾材、Fibrillated polypropylene film 為大孔徑最慢形成濾餅。玻璃纖維濾材（非靜電濾材，表面無帶電）雖其效能不佳，但對於 DOP 負載卻可保持一定之穿透率；摩擦帶電濾材、Fibrillated polypropylene film，有極佳之初始過濾效能，但由於帶電量高，會使得穿透率上升速度較快；BMF、AEM 具有中度電量，具有極佳效能，對於穿透率上升

速度也不會太高。基本上對於 DOP 液滴之去除效率皆不如固態氣膠，由於 DOP 油滴會在濾材表面溶解，使得帶電濾材表面電荷消失。

在過去的文獻中，雖有探討不同成份之氣膠微粒對帶電濾材過濾效能之影響，不過除了油滴氣膠對帶電濾材過濾效能有較完善的解釋，一般有機或無機氣膠微粒並無明確的解釋，因此，在本次計畫中針對不同氣膠成份，探討其影響過濾效率之主要原因。

2-5-4 靜電濾材之載負特性

Walsh(1996, 1997, 1998)針對靜電濾材之載負特性進行探討，利用 MAGE 作為氣膠產生源，產生單一粒徑分佈氣膠來源，主要實驗之粒徑範圍在於 0.46~1.40 μm ，量測氣膠粒徑則是以 API 氣膠粒徑分析儀來量測，其中實驗所採用氣膠為帶一均勻分佈電荷，產生之氣膠與一稀釋空氣混和形成氣膠流，再通過一管柱，內置實驗濾材，通過濾紙前後之氣膠流以 LSP，在濾紙前後同時以壓力轉換器測定濾紙所產生之壓降，最後表面風速是以一幫浦抽氣所控制。另外為探討濾餅形成後之過濾現象，另以一先過濾一段時間後之濾材再以另一氣膠微粒進行實驗。結果顯示，在載負實驗方面，當表面風速愈大時，不論是壓降或是穿率透均愈大，但當表面風速為 0.8 m/s 時，其穿透率卻小於表面風速較低者，主要原因是慣性作用所造成。而當相對濕度愈高，微粒穿透率愈高。帶電 (Boltzmann equilibrium) 與不帶電氣膠對先載負之濾材之過濾效率無明顯之差異。

2-5-5 靜電濾材之效能評估

在評量濾材過濾之效能時，通常會考量兩點，一為濾材之去除效率，當氣膠微粒之穿透率 P 越低其過濾效果就越佳；另一即是濾材之載負特性，當壓降上升的越慢，表示濾材可載負之時間越長。因此，綜合以上兩點，在評量濾材之效能時，常會以特性常數 (quality factor, QF) 來判斷濾材效能之好壞。

$$QF = \frac{-\ln P}{\Delta p} \quad [25]$$

其中，

P：微粒之穿透率

Δp ：濾材壓降

由公式 25 即可看出，當穿透率高以及壓降低時，QF 值會越大，就是濾材之效能越佳。Mermelstein (2001) 以不鏽鋼濾材外加電場作為帶電濾材，而分別比較 7 種不同孔隙大小之不鏽鋼濾材之過濾效能，其結果發現利用此種濾材在高表面風速下對於小粒徑之微粒 (fine and ultrafine particle) 有極高之去除率，此類濾材空隙較一般纖維濾材來的大，隨著氣懸微粒之載負，其壓降並不會有太大之上升，因此可知此類之帶電濾材具有極高之過濾效能。

在本計畫中，欲瞭解帶電濾材對室內空氣清淨機效能之提升，因此帶電濾材本身之效能是相當值得探討，特性常數 QF 即是一個可用來評估過濾效能的特性參數。

2-5-6 不同電量之氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響

在一般環境中氣膠微粒所帶之電荷應是處在在一個中性帶電 (neutrally charged)，也就是氣膠微粒帶電總和是接近於零，但單一氣膠極可能帶有多個電荷，因此，帶多電荷之氣膠微粒對靜電濾材之過濾效能就相當值得探討。

Kanaoka et al. (1987) 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 10 cm/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。

Fjeld (1988) 利用 DMA 與氣膠微粒帶電器來控制測試氣膠之帶電量，分

別比較帶 1-20 個電荷之 0.5 μm 氣膠微粒對靜電濾材與不帶電濾材之穿透率，結果顯示當微粒帶電量由 0 增加至 20 時，其對靜電濾材之穿透率隨著下降 2 個 order，而對於不帶電濾材，比較帶 0 與 9 個電荷之穿透率，其穿透率於 90% 下降至 52%，下降幅度與靜電濾材相比並不高，可知帶多電荷微粒更凸顯出靜電濾材過濾效能。

Chen (1998) 改良 Vibrating Orifice Aerosol Generator (VOAG) 單一粒徑分佈氣膠產生器，使其可以控制微粒帶電量，不過其是控制微粒整體帶電量，並無控制單一微粒之帶電量，根據其對靜電濾材穿透率量測之實驗結果，隨著帶電量之上升，微粒之穿透率出現大幅之下降。根據上述文獻之實驗結果，微粒帶電量之增加對於靜電濾材過濾效能是有相當之助益。

2-5-7 靜電濾材對生物氣膠之過濾效率

Shi (1998) 利用靜電濾材對細菌進行過濾實驗，結果發現在三次實驗中，對於細菌之去除效率分別為 91%、95% 及 96%，去除效率相當之高，不過其收集方法是將細菌收集於培養皿上，有可能會造成誤差。在其文中提到一般細菌生物氣膠大小在次微米與微米之間，而且一般均是帶負電，因此，以靜電濾材來收集細菌類生物氣膠，即可達到相當高之去除效率。

Lin and Li (2001) 針對 4 種生物氣膠比較靜電濾材與光觸媒濾材之去除效能，4 種生物氣膠分別是 *E. Coli*、*B. Subtillis*、*Veast* 及 *Pen. Citrinum*，結果發現靜電濾材對於生物氣膠之去除效率較光觸媒濾材之效率來的好，在其文中是以生物氣膠之殘存率 (survival fraction) 來做說明，生物氣膠在靜電濾材上之殘存率大約為 0.005~0.4 之間，光觸媒濾材之殘存率為 0.3~0.9 之間，且當相對濕度越高時對於生物氣膠去除效果越差。

第三章 執行方法

3-1 實驗方法

3-1-1 實驗氣膠的產生

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 (Polydisperse) 氣膠微粒。噴霧器產生之氣膠微粒相對濕度相當高，為得到乾燥之氣膠微粒，將氣膠流通入一擴散式乾燥器 (Diffusion Dryer, Model 3062, TSI Inc)，其主要構造為網孔狀金屬網柱，外圍是包覆填充矽膠，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。

在實驗的過程，所需的實驗氣膠必須為單一粒徑分佈 (Monodisperse) 的氣膠，使多粒徑分佈成為單一粒徑分佈主要是利用 DMA (Differential Mobility Analyzer, Model 3071, TSI Inc) 篩分氣膠粒徑。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 (Analyzer Voltage) 調整出一固定電壓值，將進入 DMA 之多粒徑分佈 (Polydisperse) 氣膠篩分出單一粒徑 (Monodisperse) 的氣膠。

3-1-2 不同帶電性之氣膠微粒產生

(1) 單一帶電與不同電量

本計畫中欲探討帶不同電量微粒對過濾效率之影響，由前一部份氣膠微粒的產生方法中，主要要是利用 DMA 篩分出單一粒徑分佈之氣膠微粒，其是利用電場與不同電移動度篩分，其中由於是負電電極，因此僅帶正電微粒可流出，且為帶一個正電之氣膠微粒。微粒本身之電移動度除與粒徑大小有關，另也與氣膠微粒上所攜帶之電荷數有關，DMA 可利用調整電壓值將 polydisperse 微粒篩選為 monodisperse 氣膠微粒，若將進流氣膠控制為 monodisperse 微粒，則調整電壓值即可篩選出帶不同電荷數氣膠微粒。Fjeld (1988) 使用 PSL 標準氣膠微粒 (monodisperse)，使其流入 DMA，在利用 DMA 將氣膠微粒篩選出分別帶 1、2、3 及 4 個電荷之氣膠微粒。在本計畫中即是利用此一方式得到帶不同電荷之微粒。

(2) 中性電荷

帶中性電荷主要是利用氣膠電荷中和器 (Neutralizer, Model 3077, TSI Inc) 將由 DMA 流出之單一帶電微粒中和成中性帶電，主要原理是利用 Kr-85 放射線物質，來中和氣膠微粒之帶電，主要原理是利用 Kr-85 在衰變過程中釋放出

之 β 粒子極少量 γ 射線將空氣分子解離成正、負離子，藉由這些離子與帶電微粒相互作用，使微粒帶電情況形成一穩態分佈，稱之為波茲曼電荷分佈（Boltzmann Equilibrium Charge Distribution），此時微粒中包含正電、負電及不帶電微粒，而總電荷為零。波耳茲曼分佈可用下式來表示：

$$f_n = \frac{\exp(-n^2 e^2 / dpkT)}{\sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(-n^2 e^2 / dpkT)}$$

其中，

k：波耳茲曼常數

T：絕對溫度

3-1-3 靜電濾材種類

計畫中將探討一般市面上之帶電濾材，以及利用界面活性劑所調理形成之帶電濾材。在本計畫中選取目前市面上最受歡迎的兩種室內靜電濾材，分別為M型與H型靜電濾材，另外市售之混合濾材為同時具有去除微粒及室內有機物污染物之功能，其中去除微粒部分即是混合濾材中之靜電纖維部分，因此在本計畫中，同時選取市面上兩種混合濾材進行實驗，分別為AM型與AH型活性碳靜電混合濾材。

在界面活性劑調理濾材（SPF）部分，本計畫中利用三種界面活性劑來調理濾材，分別為sodium dodecyl sulfate（SDS，陰離子）、sodium oleate（SO，陰離子）及dimethyl dioctadecylammonium bromide（DDAB，陽離子），不帶電之濾材則選取聚丙烯及玻璃纖維濾材來進行調理。陽離子界面活性劑可將濾材調理成帶正電濾材，而陰離子界面活性劑可將濾材調理成帶負電濾材。調理濾材方式首先配置界面活性劑溶液，再將濾材進至界面活性溶液中約15分鐘，待界面活性劑留置於濾材表面後放置於烘箱中，於105°C的環境下將濾材烘乾，在放置於25°C的環境下，完成調理程序，其中界面活性劑會留置於濾材上，主要是由於界面活性具有一個或多個碳鏈，碳鏈具有極性會與有機濾材表面形成極性鍵，而留滯於濾材表面。全部濾材特性說明於表一。

表一 濾材特性表

| 種類 | 濾材種類 | 濾材厚度 | 濾材單位面積重量 (g/m ²) | 纖維平均直徑 (μm) | 填充率 |
|--|---|-------------|------------------------------|----------------|-------|
| Type M | Polypropylene | 0.9 | 61.0 | 17.6 | 0.068 |
| Type H | Polypropylene | 1.2 | 63.7 | 20.0 | 0.069 |
| Type AM | Polypropylene/ Active Carbon | 1.0/0.5 | 306.3 | 17.6/8000 | ND |
| Type AH | Polypropylene/ Active Carbon/ Polypropylene | 0.9/0.6/0.2 | 198.4 | 20.0/7000/20.0 | ND |
| Untreated 0.01M DDAB Pretreated | Polypropylene | 5.0 | 165.05 | 30.1 | 0.033 |
| 0.01M SO Pretreated | Polypropylene | 5.0 | 209.36 | 30.2 | 0.033 |
| 0.01M SO Pretreated | Polypropylene | 5.0 | 186.15 | 30.1 | 0.033 |
| 0.01M SO Pretreated | Polypropylene | 5.0 | 180.95 | 30.1 | 0.033 |

^a 濾材纖維大小是利用電子顯微鏡觀測得知

3-1-4 實驗物種之選擇

在氣膠微粒的選擇上，可區分為兩大部分，一部份為固體氣膠微粒，另一為液態油滴氣膠。固體氣膠微粒分別選取 NaCl 與 Al_2O_3 ，選取這兩種氣膠的原因是其介電常數的差距較大分別為 5.9 及 9.6，可以用來比較介電常數對靜電濾材過濾效能之影響。而油滴氣膠微粒分別選取 DOP (dioctyl phthalate, 有毒) 與 DEHS (di-2-ethylhexyl-sebacate, 無毒) 兩種油滴氣膠，而選用油滴氣膠主要是用來與固體氣膠比較其對過濾效率的影響。

3-1-5 氣膠微粒穿透率量測

氣膠微粒之穿透率是利用兩台氣膠微粒計數器 (CPC, Condensation Particle Counter, Model 3025, TSI Inc) 同時量測濾材前端與後端的氣膠微粒數目，藉此即可得到氣膠微粒對濾材之穿透率。CPC 之原理是使氣膠通過一充滿正丁醇飽和蒸氣之管子，在 37°C 下與飽和正丁醇蒸氣混和，此混和氣體再通過一溫度為 10°C 之管子，讓正丁醇凝結於氣膠表面，微粒因而長大至可計數之範圍，再利用光偵測器可得到氣膠微粒之數目，其偵測範圍為 $10^{-2}\sim 10^5$ particles/cm³，可量測之粒徑範圍在 5~1000 nm，其量測之時間可每 3 秒記錄一次數據，故可得到接近即時的數據結果。

3-1-6 氣膠電荷之量測

氣膠電荷是利用氣膠微粒電流計 (AE, Aerosol Electrometer, Model 3068A, TSI Inc) 量測，其主要構造為一位於法拉第杯內之濾紙及一電流計，氣膠微粒所攜帶之電荷量在微粒被收集於濾紙上，可使法拉第杯感電，再利用電流計可量測出電流值，可經換算為氣膠所攜帶之電量總和。利用此設備可以量測出過濾前後之氣膠微粒所攜帶之電荷，進而比較帶電濾材對帶電微粒之去除效果。

3-1-7 壓降之量測

隨著過濾時間的增加，濾材的壓降隨之增加，而壓降之量測主要是利用差壓計紀錄濾材之壓降，在將隨著時間變化之壓降紀錄下來，觀察濾材壓降變化情形。

3-1-8 實驗變因

(1) 濾材帶電性

一般市面上之帶電濾材其表面帶電均是固定，而利用界面活性劑所調理之帶電濾材其表面帶電性則可利用界面活性劑之不同來控制，以陰離子界面活性劑可將濾材調理成帶負電之濾材，陽離子界面活性劑則可將濾材調理為帶正電之濾材。

(2) 微粒帶電性

欲探討帶電濾材對帶不同電性之氣膠微粒之靜電吸引力，因此可將氣膠微粒之帶電性分為四種，分別為帶正電之氣膠微粒，帶負電之氣膠微粒，不帶電之氣膠微粒及帶波茲曼電性分佈之氣膠微粒，分別探討其被靜電吸引之作用力。

(3) 表面風速

由於在計畫中欲探討帶電濾材對空氣清靜機效能之提升，而其中最主要之因素就在於帶電濾材之靜電吸引力，故在探討靜電吸引力時需將其他機械作用力排除，因此就需要控制表面風速，其太大或太小均會使得機械作用力之影響增加，所以需將表面風速控制在一定的範圍內。

(4) 相對濕度

在不同相對濕度 (RH) 下，水氣的多寡可能會造成濾材結構上之改變，因此相對濕度的控制就相當的重要，不同相對濕度會使得濾材之去除效能改變。除此之外，在不同相對濕度下，是否會使得界面活性劑所調理之帶電濾材其表面電性的傾向有所改變，這是一個相當值得探討之問題。在本計畫中分別選取 RH 為 30% 與 70% 進行比較。

(5) 載負重量

觀察在不同的載負重量下，靜電濾材之過濾效率的變化情形，觀察濾餅形成的情形，同時也觀察油滴氣膠是否也會在濾材表面形成濾餅。

(6) 壓降量測

目的可比較在不同壓降下，微粒在靜電濾材下之過濾情形。

(7) 氣膠成份

控制氣膠成分之不同，主要目的是想瞭解不同氣膠成分對穿透率之影響。

(8) 粒徑範圍

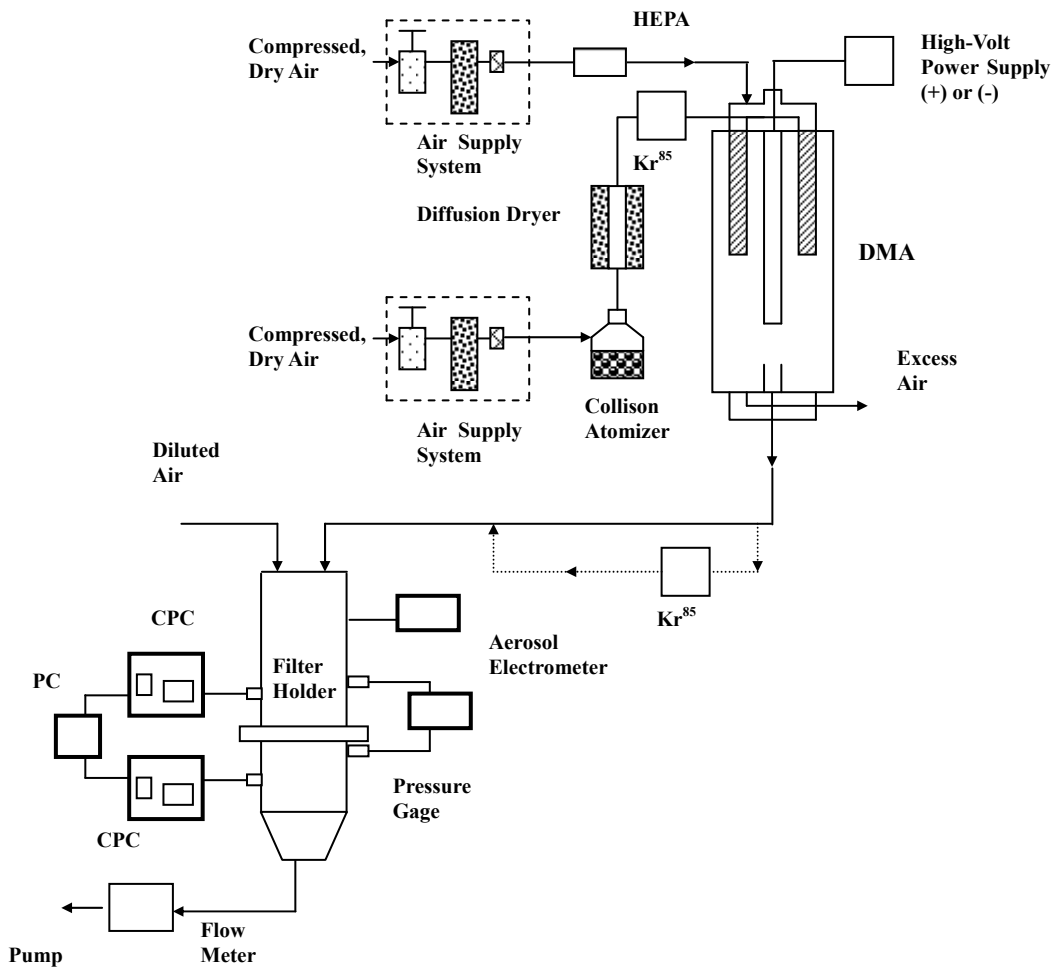
主要是訂於 0.05~0.5 μm ，主要原因是氣膠微粒在次微米粒徑下，靜電吸引力最顯著。

3-2 實驗步驟

3-2-1 穿透率實驗

微粒穿透率之量測主要是利用 2 台 CPC 分別量測進流與出流之氣膠微粒數目，以下為實驗進行之步驟：

1. 卡理遜噴霧器產生多粒徑分佈氣膠，流進一乾燥管，方可得到乾燥之氣膠微粒。
2. 調整 DMA 外部電壓值，可篩選出所要之微粒粒徑（ $0.05\sim 0.5\ \mu\text{m}$ ）。
3. 由 DMA 流出之氣膠微粒為正電微粒，若要產生其他電荷微粒則以下列步驟進行。
 - 3-1. 帶負電微粒，需更改 DMA 之 power supply 為正電，即可得到帶負電微粒。
 - 3-2. 帶中性電荷，DMA 流出之氣膠流入一電性中和器，及可使氣膠微粒達到中性電荷分佈。
4. 測試氣膠流入一混合室，以稀釋空氣將氣膠微粒完全混合。
5. 氣膠流過濾材主要是利用真空幫浦將氣膠微粒抽引過來，流量由流量計控制。
6. 氣膠流過濾材，即完成過濾程序，即分別在流過前後量測氣膠微粒數目，即可計算出微粒之穿透率。
7. 此外若要控制微粒帶電量，則在第 3 與第 4 步驟中加入一個步驟，利用調整 DMA 電壓，使微粒帶不同電荷。

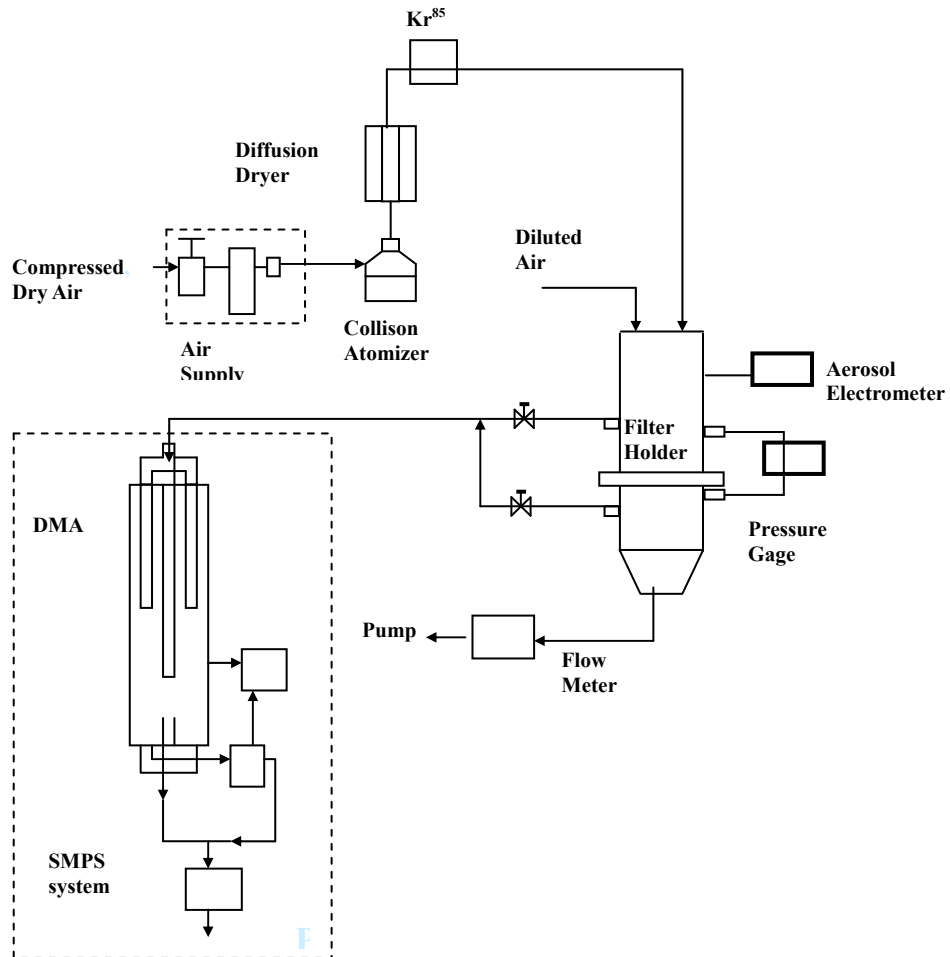


圖一、穿透率實驗系統圖

3-2-2 載負實驗

在此一部份實驗主要是要瞭解在不同微粒載負下，氣膠微粒穿透率與壓降改變情形。同時為瞭解實際環境中之過濾情形，在此部分實驗選取多粒徑分佈氣膠微粒進行實驗，而選取標準則是如文獻回顧 2-1-1 與 2-1-2 中所述，分別選取固體氣膠微粒 CMD 於 $0.08\ \mu\text{m}$ 與油滴氣膠 CMD 於 $0.18\ \mu\text{m}$ ，來進行載負實驗。實驗步驟分別如下：

1. 卡理遜噴霧器產生多粒徑分佈氣膠，流進一乾燥管，方可得到乾燥之氣膠微粒。
2. 帶中性電荷，DMA 流出之氣膠流入一電性中和器，及可使氣膠微粒達到中性電荷分佈。
3. 測試氣膠流入一混合室，以稀釋空氣將氣膠微粒完全混合。
4. 氣膠流過濾材主要是利用真空幫浦將氣膠微粒抽引過來，流量由流量計控制。
5. 在固定時間量測濾材被載負之重量。
6. 同時量測此時氣膠微粒穿透率與濾材壓降。



圖二、載負實驗系統圖

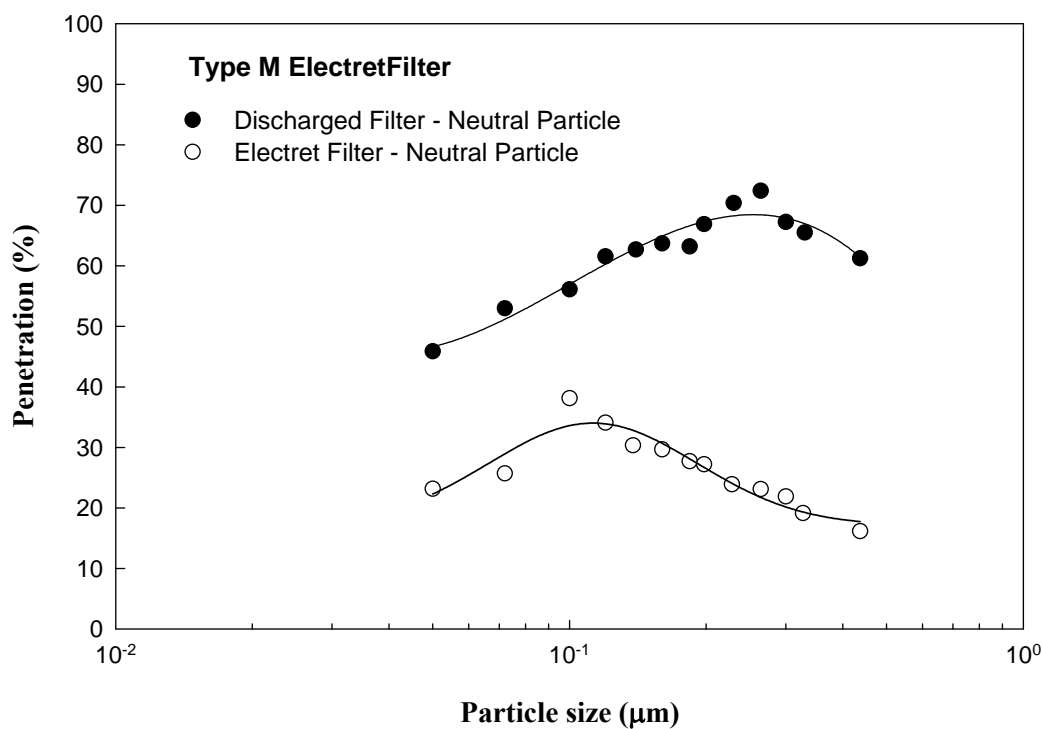
第四章成果報告

4-1 靜電濾材之過濾效率

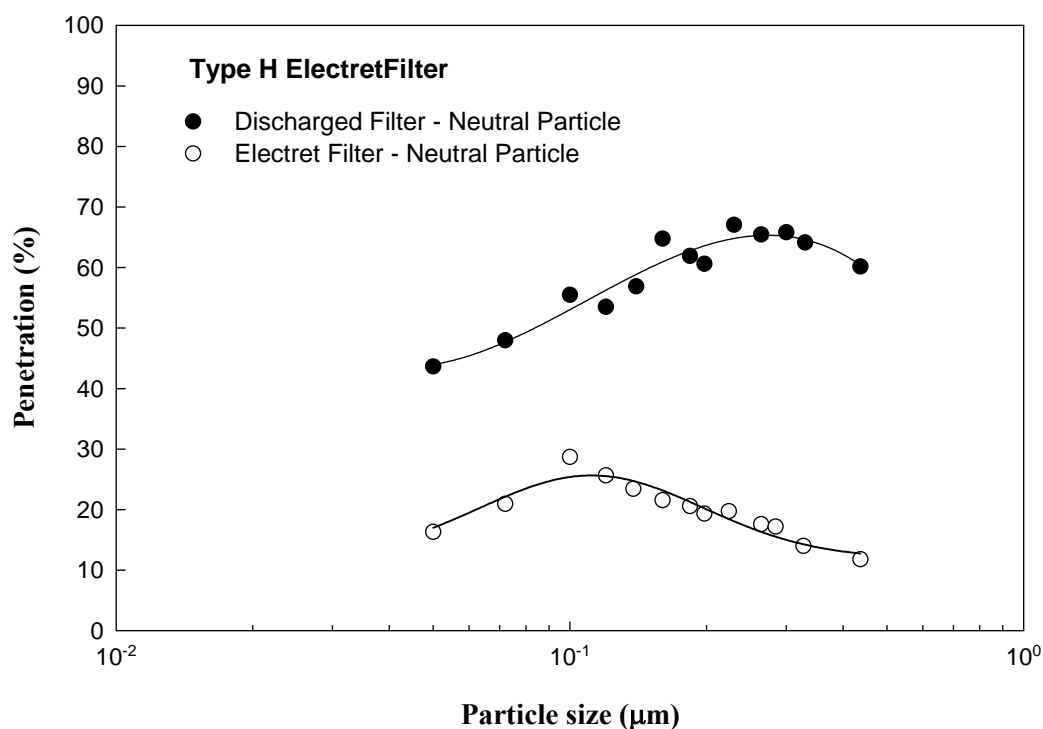
4-1-1 一般靜電濾材之過濾效率

在本計畫中選用兩種靜電濾材進行實驗，同時為瞭解當濾材表面上沒有電荷時其過濾效率，因此根據文獻（Chen and Huang, 1998）中所提到，將靜電濾材浸置於異丙醇溶液中可以將濾材表面之電荷其除，圖三及圖四分別為以中性帶電之 NaCl 氣膠微粒在表面風速 10 cm/s，測試 M 型與 H 型靜電濾材帶電與不帶電情形下之過濾效率。由實驗結果可知，兩種靜電濾材最大穿透粒徑均是在 0.1 μ m，而當去除濾材表面電荷後最大穿透粒徑均是在 0.3 μ m 附近，這與 Romay et al. (1998) 之實驗結果是相同的。比較去除電性前後，在氣膠微粒大於 0.1 μ m 後，隨著測試氣膠粒徑的增大，兩條曲線間的穿透率差距越來越大，主要原因為存在於中性帶電微粒與靜電濾材間之吸引力為介電力與機械力，而不帶電濾材與中性帶電之懸浮微粒間其作用力僅是機械力，因此兩者之間的差距即是介電力所造成，而介電力即是隨著粒徑越大其吸引力就越強，因此造成當粒徑越大，穿透率差距越大。若以一般評斷濾材效率的粒徑 0.3 μ m 做比較，M 型與 H 型靜電濾材在 0.3 μ m 粒徑下之穿透率分別為 22%與 18%，也就是說在 0.3 μ m 粒徑下，其過濾效率分別為 78%與 82%。

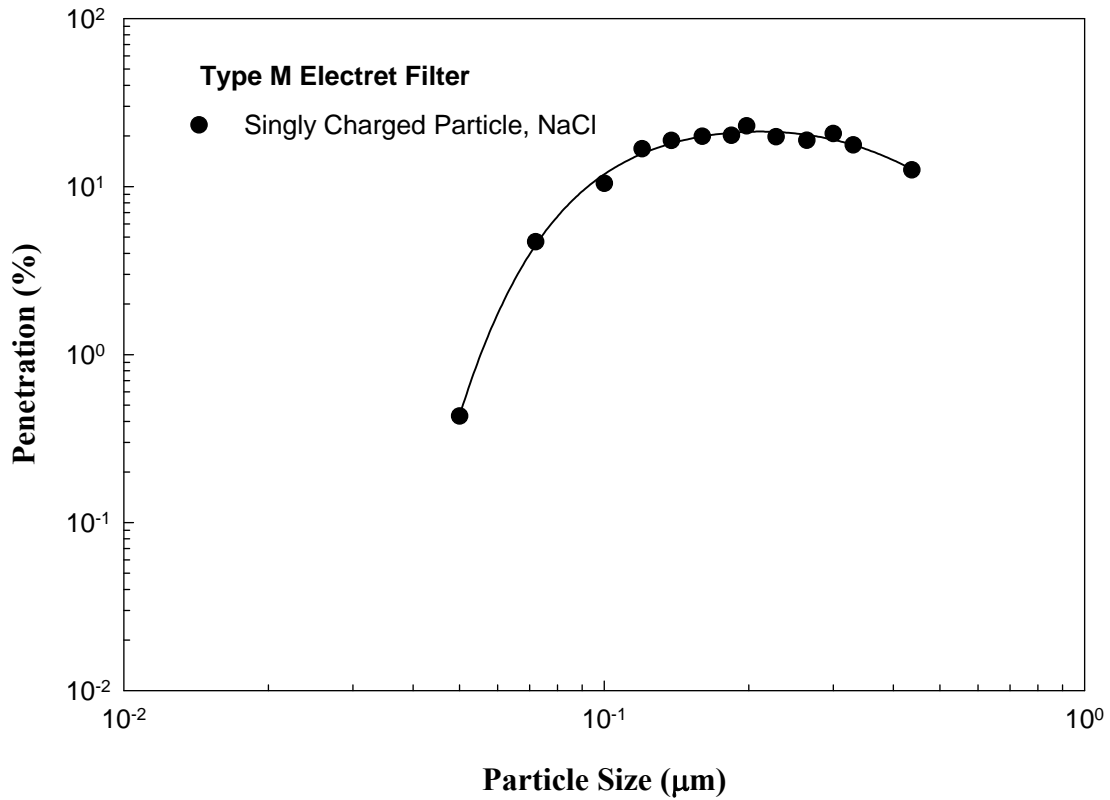
圖五及圖六分別利用單一帶電之 NaCl 微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 M 型與 H 型靜電濾材之過濾效率，由實驗結果可知，兩類靜電濾材之最大穿透粒徑均在 0.3 μ m，此與過去文獻結果是相符合的(Kanaoka et al., 1985; Romay et al., 1998)。同時可以發現當測試氣膠小於 0.1 μ m 時，氣膠微粒之穿透率相當的小，隨著測試氣膠粒徑的增大，其穿透率也急遽上升，主要原因在於單一帶電微粒與靜電濾材間之作用力為庫侖力，其特性即是隨著氣膠微粒粒徑增大而作用力減少，同時主要作用粒徑範圍在氣膠微粒小於 0.1 μ m。若以一般評斷濾材效率的粒徑 0.3 μ m 做比較，M 型與 H 型靜電濾材在 0.3 μ m 粒徑下之穿透率分別為 20%與 16%。



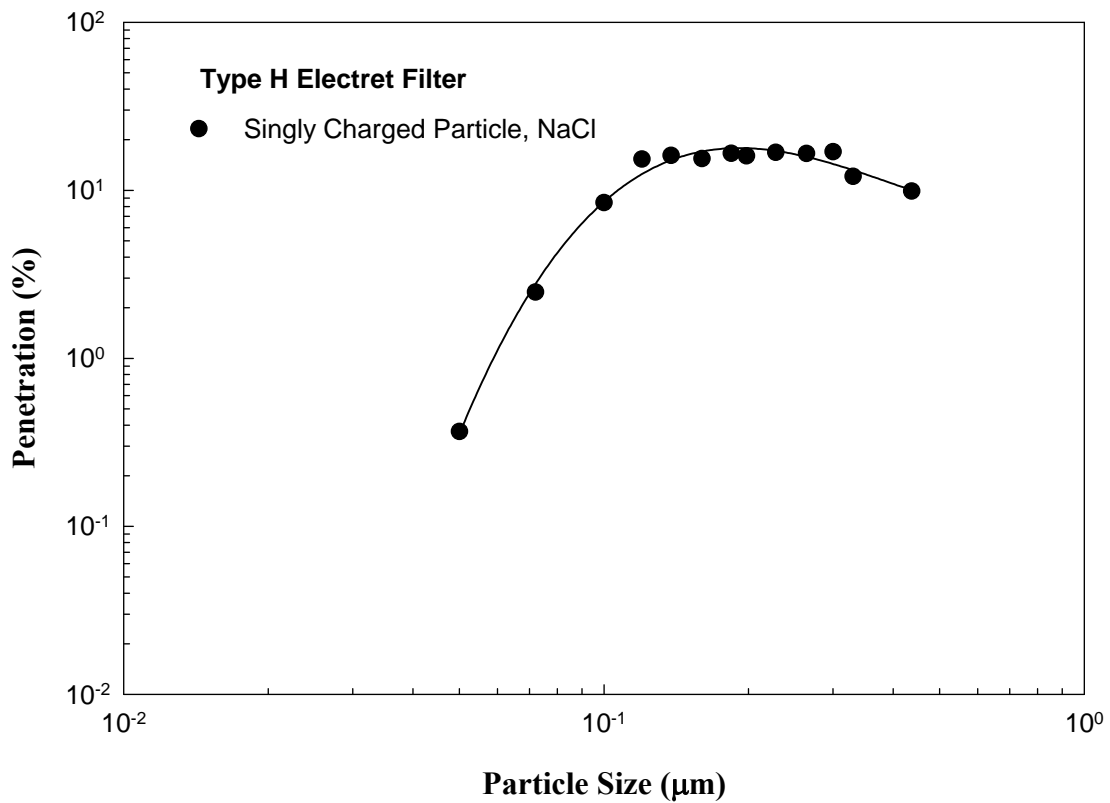
圖三、M 型靜電濾材帶電與不帶電之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



圖四、H 型靜電濾材帶電與不帶電之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



圖五、M型靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s)



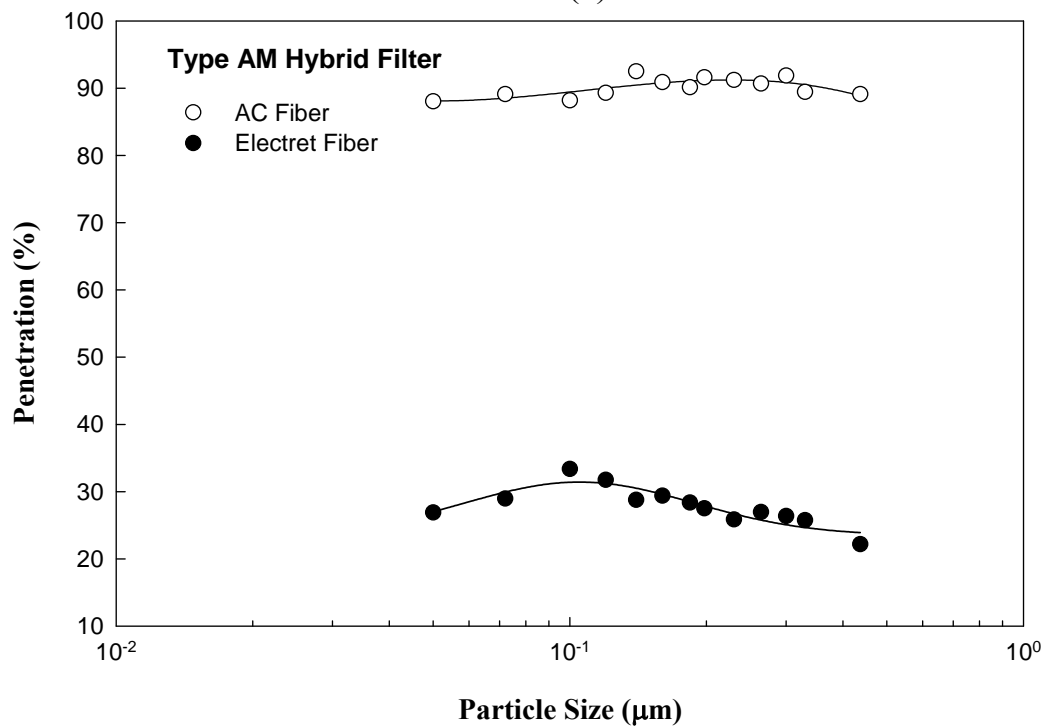
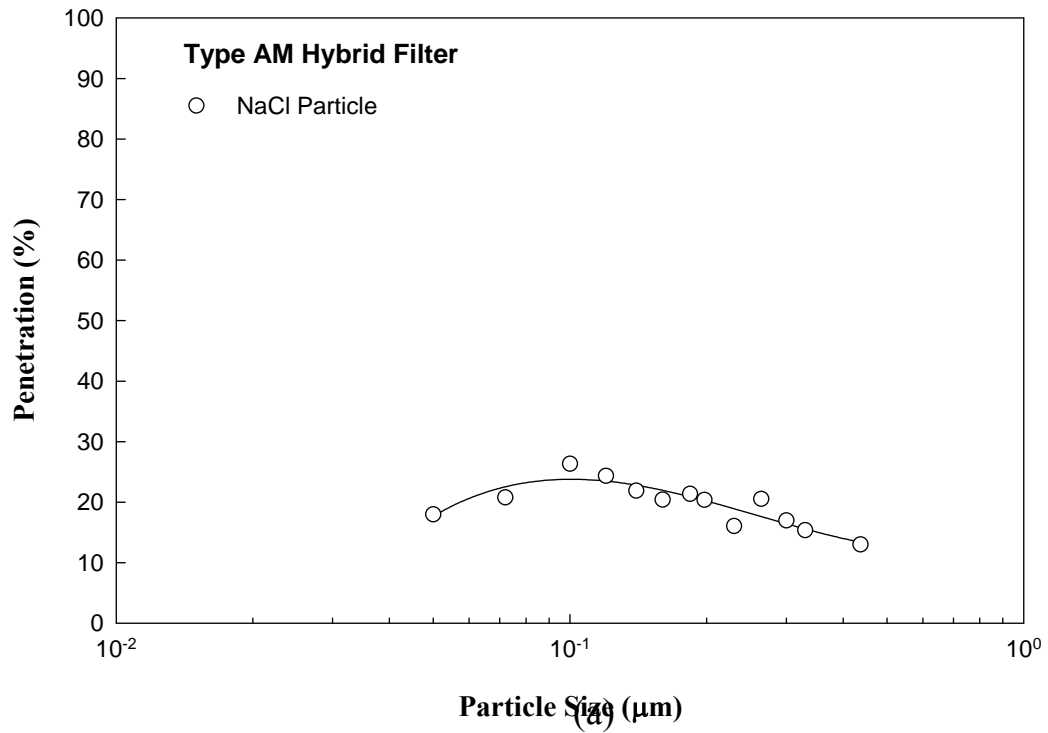
圖六、H型靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s)

4-1-2 靜電纖維與活性碳纖維複合濾材之過濾效率

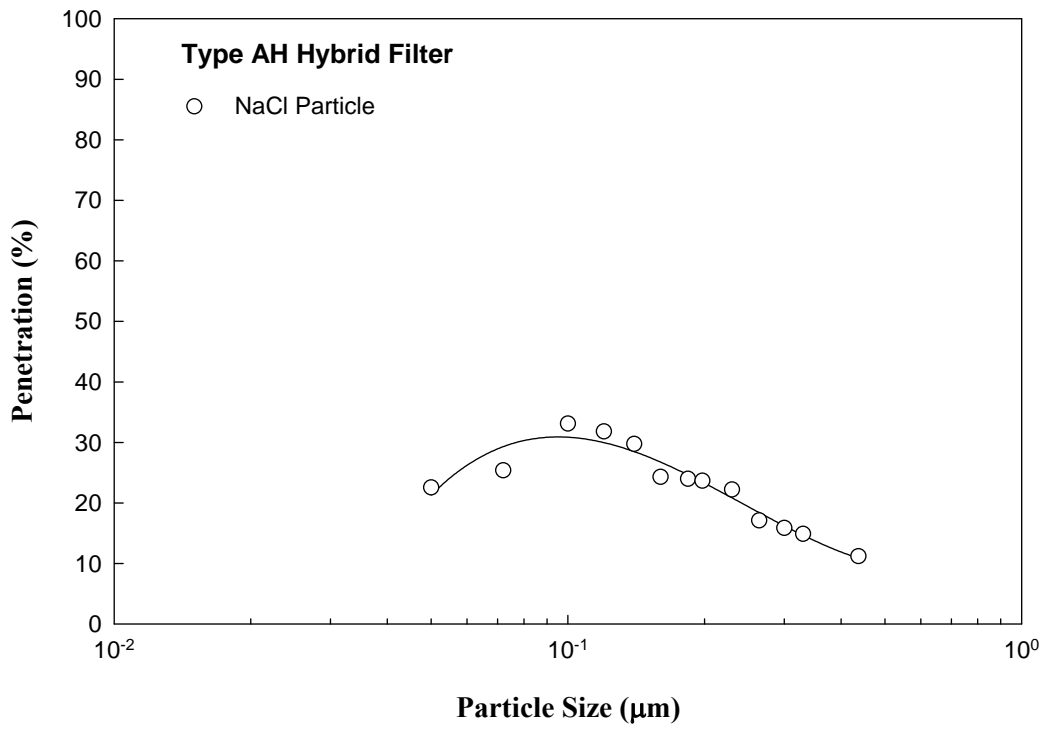
圖 7a 與圖 8a 分別是利用中性帶電之 NaCl 氣膠微粒在表面風速為 10cm/s 下，分別測試 AM 型與 AH 型複合式活性碳靜電濾材之穿透率，由結果可以發現，最大穿透粒徑均是在 0.1 μ m 附近，實驗結果與純淨電濾材之結果相似。同樣以 0.3 μ m 粒徑做比較，AM 型與 AH 型複合濾材在 0.3 μ m 粒徑下之穿透率分別為 18%與 14%，換算成效率分別是 82%及 86%，去效率均相當高。

不過令人感到好奇的部分，在於複合性濾材是由帶電聚丙烯纖維與活性碳纖維組合而成，是那一個部分是對氣膠微粒具有較高的去除效率，以及每一部份對氣膠微粒去除的貢獻都是我們必須要瞭解的。AM 型複合性濾材可分為兩層第一層為帶電聚丙烯纖維層（靜電濾材層），第二層為活性碳纖維層，圖 7b 即是此兩層以中性帶電之 NaCl 氣膠在表面風速為 10cm/s 下的穿透率，由圖中可以發現，活性碳纖維對於氣膠微粒的去除效率相當低，穿透率在 90% 附近，主要原因是活性碳濾材層其孔洞相當大，主要去除機制僅有布朗擴散沉降機制，而靜電濾材層對於氣膠微粒的穿透率在 0.3 μ m 時大約為 25%，故可瞭解在複合式濾材中去除氣膠微粒主要是利用其中靜電濾材部分，活性碳濾材用途在於去除室內環境中之有機污染物，對於氣膠微粒之去除貢獻並不大。就 AH 型複合性濾材而言，其可分為三層，第一層為靜電濾材層，第二層為活性碳濾材層，最後一層仍是靜電濾材層，由圖 8b 所示，氣膠微粒對於活性碳濾材部分之穿透率約在在 85~93%間，隨著粒徑增加而上升，其原因與 3M 濾材是相同的，均是濾材孔洞太大。氣膠微粒在另兩層靜電濾材上之穿透率分別是在 25%與 50%，主要差別在於濾材的厚度，第一層為 0.9mm 而第三層為 0.2mm，因此造成其去除效率的差別。

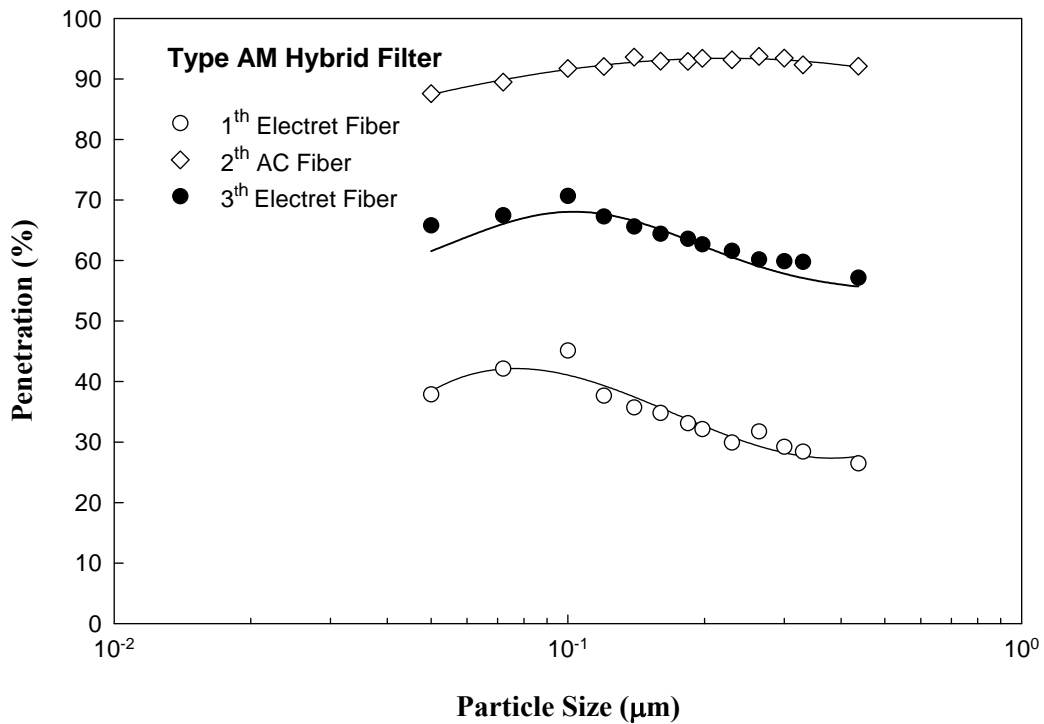
圖九及圖十分別利用單一帶電之 NaCl 微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 AM 型與 AH 型複合式靜電濾材之過濾效率，由實驗結果可知，兩類靜電濾材之最大穿透粒徑均在 0.3 μ m，此與過去文獻結果語境電濾材之結果相似。同樣是在測試氣膠小於 0.1 μ m 時，其氣膠微粒之穿透率相當的小，隨著測試氣膠粒徑的增大，其穿透率也急遽上升，因此更可以證明，在複合式靜電濾材中，對於氣膠微粒再過濾上的貢獻度上，主要是由其中之靜電濾材所貢獻。因此圖九與圖十中穿透率曲線所代表的即是由庫倫力所造成的現象。若以一般評斷濾材效率的粒徑 0.3 μ m 做比較，M 型與 H 型靜電濾材在 0.3 μ m 粒徑下之穿透率分別為 16%與 27%。



(b)
圖七、AM 型複合性靜電濾材之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)

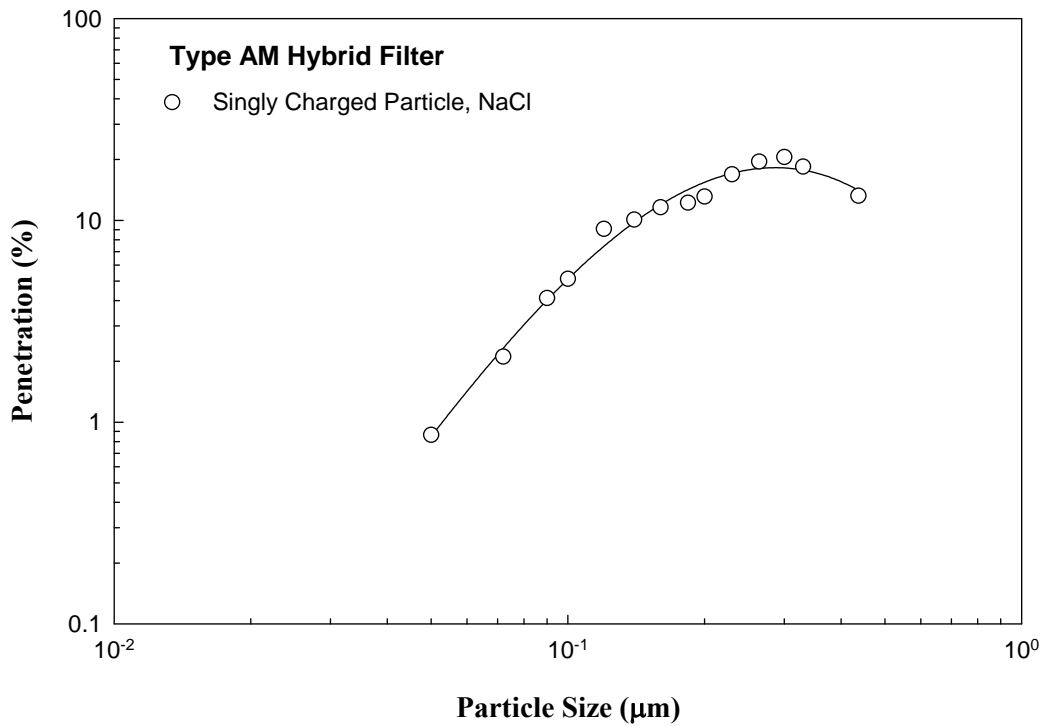


(a)

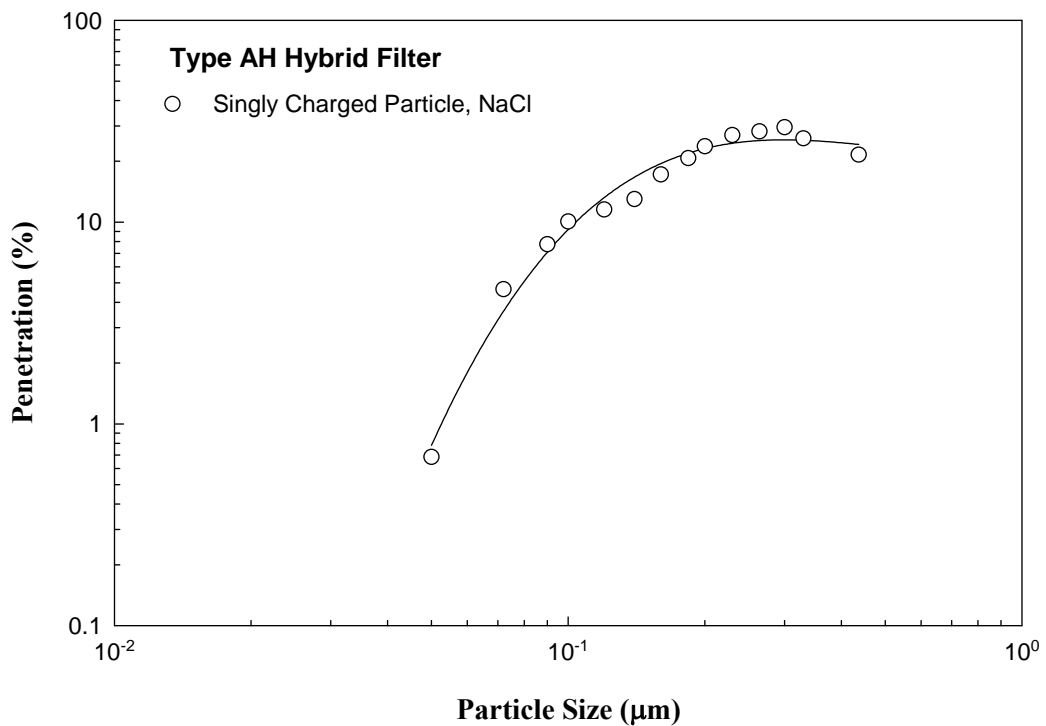


(b)

圖八、AH 型複合性靜電濾材之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



圖九、AM 型複合式靜電濾材帶電單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s)



圖十、AH 型複合式靜電濾材-單一帶電微粒之過濾效率 (表面風速 10 cm/s)

4-1-3 界面活性劑處理之帶電濾材 (SPFs) 之過濾效率

在界面活性劑調理濾材 (SPF) 部分，本計畫中選用三種不同界面活性劑 DDAB，SO 及 SDS 別別調理聚丙烯濾材，使其成為帶電濾材，在過濾效率實驗部分，每種界面活性劑選取三個濃度進行實驗，分別是 DDAB (0.005、0.01、0.02M)、SO (0.01、0.05、0.08M) 及 SDS (0.01、0.05、0.08M)。在濃度的選取上 DDAB 得濃度取得較低，主要原因在於 DDAB 的分子量為其他兩種界面活性劑的兩倍多，同時 DDAB 具有兩個碳鏈，因此其附著在聚丙烯濾材才上之能力遠叫其他二者來的高，所以 DDAB 濃度選取較低的濃度。

在過濾實驗之前，首先必須確定濾材在處理界面活性劑後，是否會造成濾材阻塞或是特性改變，因此必須先進行測試實驗，比交處理前後之濾材其表面風速與壓降的關係，實驗結果發現處理前後的曲線幾乎是重疊的，因此我們可以確認處理前後濾材的特性是幾乎沒有改變的，因為濾材的壓降受到濾材厚度、纖維直徑及濾材孔隙率等因素的影響，所以當壓降沒有明顯變化時，我們可以認定其濾材基本結構是沒有改變的，不過當界面活性劑處理後之濾材可以發現其濾材重量是明顯增加的，那麼為何其基本結構沒有改變呢，主要可能是界面活性劑在附著於濾材纖維上時，是形成一層細微之界面活性劑膜在纖維表面，因此對於濾材纖維直徑及孔隙度均沒有明顯的改變，只是使得纖維密度增加而造成整體濾材重量增加。

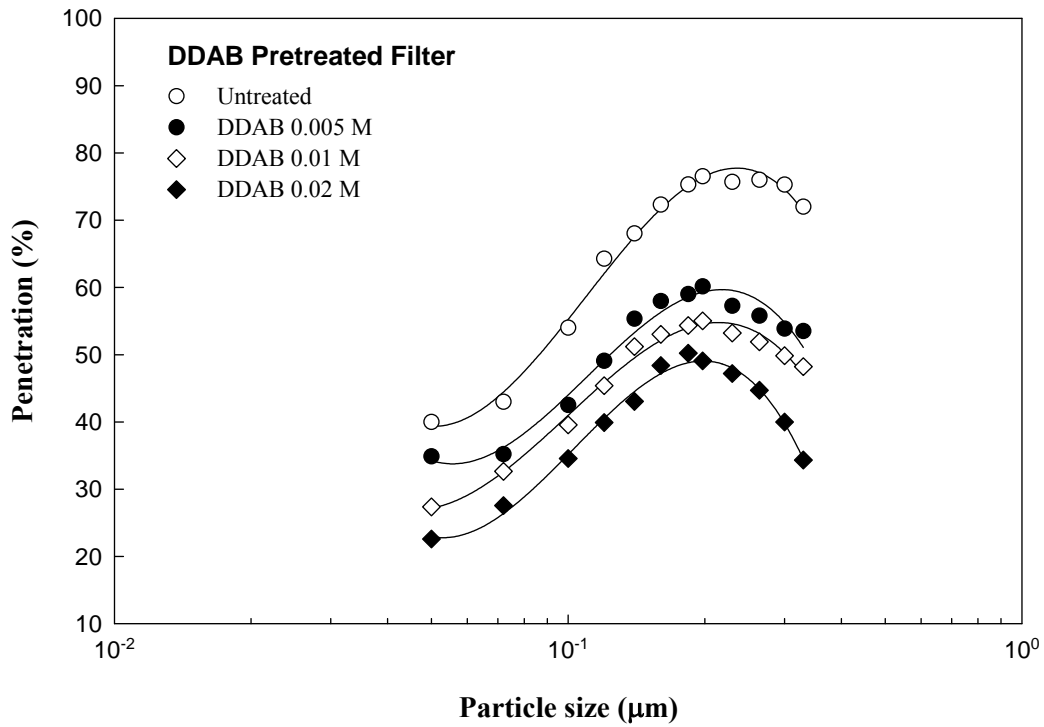
圖十一、十二及十三分別是中性帶電 NaCl 微粒在表面風速 10 cm/s，測試三類 SPFs 在不同濃度處理下之過濾效率。實驗結果發現 SPFs 最大穿透粒徑均在 0.2 μm 附近，而未處理之不帶電濾材最大穿透粒徑則是在 0.3 μm 附近，這與一般的帶電濾材實驗結果也是相當類似。同時隨著處理界面活性劑濃度的增加，其微粒之穿透率則隨之下降，代表的是當界面活性劑處理濃度增加時，其所造成之表面電荷也隨之增加。若以 0.3 μm 作為判斷指標，三種 SPFs 及未處理濾材在 0.3 μm 之穿透率分別如下，DDAB 前處理濾材之 0.3- μm 粒徑穿透率分別為 54%、46%及 40% (0.005、0.01、0.02M)；SO 前處理濾材之 0.3- μm 粒徑穿透率分別為 51%、47%及 41% (0.01、0.05、0.08M)；SDS 前處理濾材之 0.3- μm 粒徑穿透率分別為 64%、60%及 55% (0.01、0.05、0.08M)；未處理濾材之 0.3- μm 粒徑穿透率為 75%。

在 2-2-2 節中，我們知道界面活性劑帶電主要原因在於濾材表面附著之界面活性劑中，有一部份僅是其碳鏈離子團，因此造成濾材帶電，由實驗結果發現，當界面活性劑濃度增加時，過穿透率減少，過濾效率增加，也就是帶電量

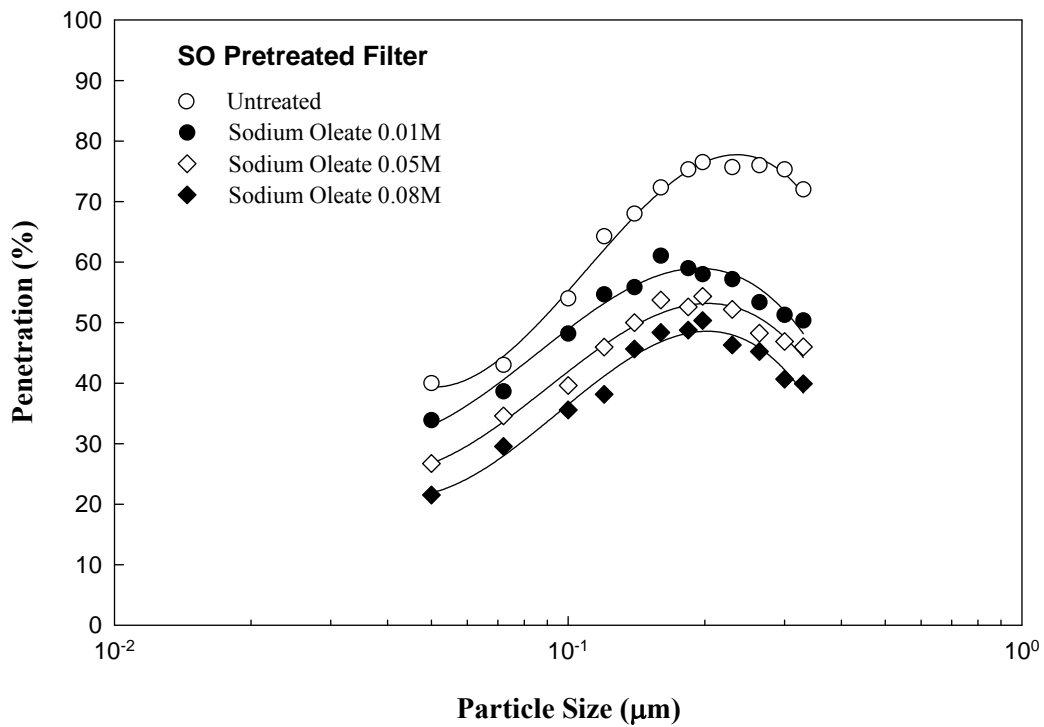
之增加，因此可以發現，當界面活性劑濃度增加時，其帶濾材上之碳鏈離子團的量也隨之增加，造成果率效率的增加。同時以 0.01M 界面活性劑濃度來做比較，可以發現 DDAB 得微粒穿透率最低（46%），其次為 SO（51%），最後為 SDS（64%），造成此一現象主要原因在於 DDAB 具有兩個碳鏈，而 SDS 與 SO 僅具有一個碳鏈，因此在碳鏈離子團與聚丙烯濾材間之作用力是 DDAB 最大，因此其附著在濾材表面之碳鏈離子團也會來的最多，因此其表面帶電量最大。而單就 SO 與 SDS 來做比較，同樣是具有一個碳鏈，但是其穿透率差別相當大，主要原因在於這兩種界面活性劑其親水性的差別，SO 之 HLB 質大約在 18 附近，而 SDS 之 HLB 值約是 40 左右，因此兩者在水中 SDS 親水性較強，也就是說 SO 之疏水性較強，而其碳鏈離子團與聚丙烯濾材之鍵結力即是疏水基與濾材之間的鍵結力，因此可以發現 SO 與濾材間的鍵結力較 SDS 來的大，因此造成 SO 之碳鏈離子團附著於濾材表面的量較 SDS 高，使得其帶電量較高。

圖十四、十五及十六分別利用單一帶電之 NaCl 微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 0.01M SPF 帶電濾材之過濾效率，由於 DDAB 處理之濾材為帶正電，因此其氣膠微粒選擇為帶負電之單一帶電微粒，而 SO 與 SDS 處理濾材為帶負電，其氣膠微粒則是選擇為帶正電微粒。由實驗結果可知，三類靜電濾材之最大穿透粒徑均在 0.3 μm ，此與過去文獻結果是相符合的（Kanaoka et al., 1985; Romay et al., 1998）。同時可以發現當測試氣膠小於 0.1 μm 時，氣膠微粒之穿透率相當的小，隨著測試氣膠粒徑的增大，其穿透率也急遽上升，主要原因在於單一帶電微粒與靜電濾材間之作用力為庫侖力，其特性即是隨著氣膠微粒粒徑增大而作用力減少，同時主要作用粒徑範圍在氣膠微粒小於 0.1 μm 。若以一般評斷濾材效率的粒徑 0.3 μm 做比較，DDAB、SO、SDS-SPFs 在 0.3 μm 粒徑下之穿透率分別是 40%、44%及 51%。

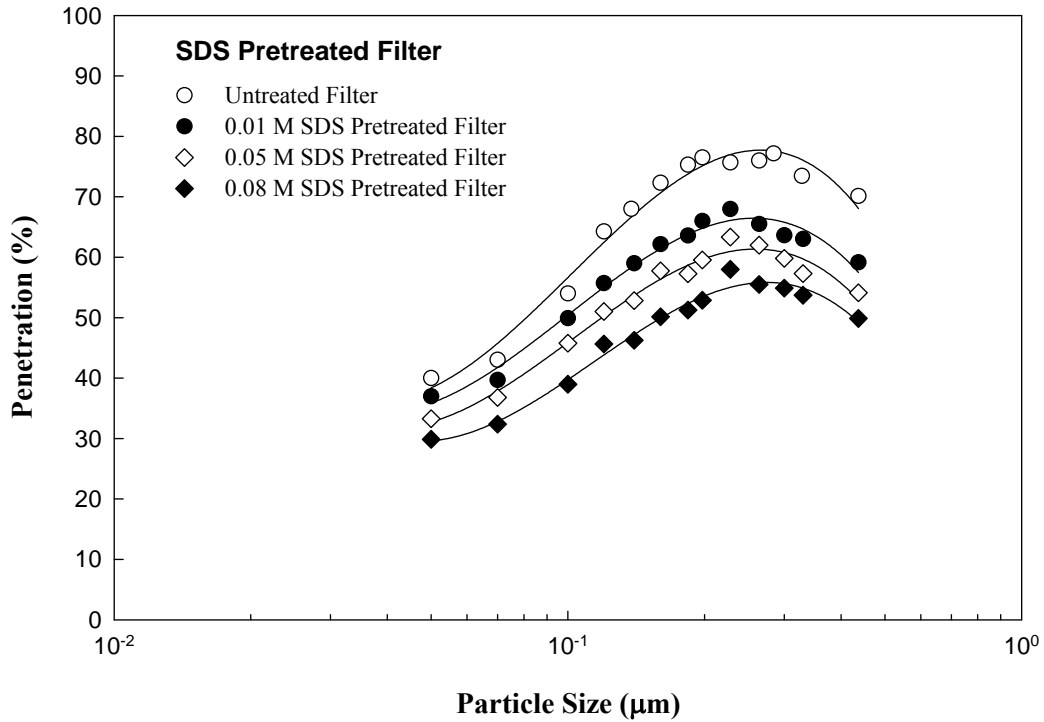
圖十七與圖十八為利用中性帶電 NaCl 微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 0.01M DDAB 處理兩類玻璃纖維濾材（R 與 Y），可以發現在處理界面活性劑後，其微粒穿透率明顯較未處理前來得低，表示在玻璃纖維濾材上，幫處理界面活性劑後，同樣會使得濾材帶電，同時可以發現其最大穿透粒徑也是在 0.2 μm 附近，與前述之 SPFs 相同，就 0.3- μm 粒徑穿透率而言，R 型在處理前後分別是 58%與 38%，Y 型在處理前後分別是 70%與 54%。



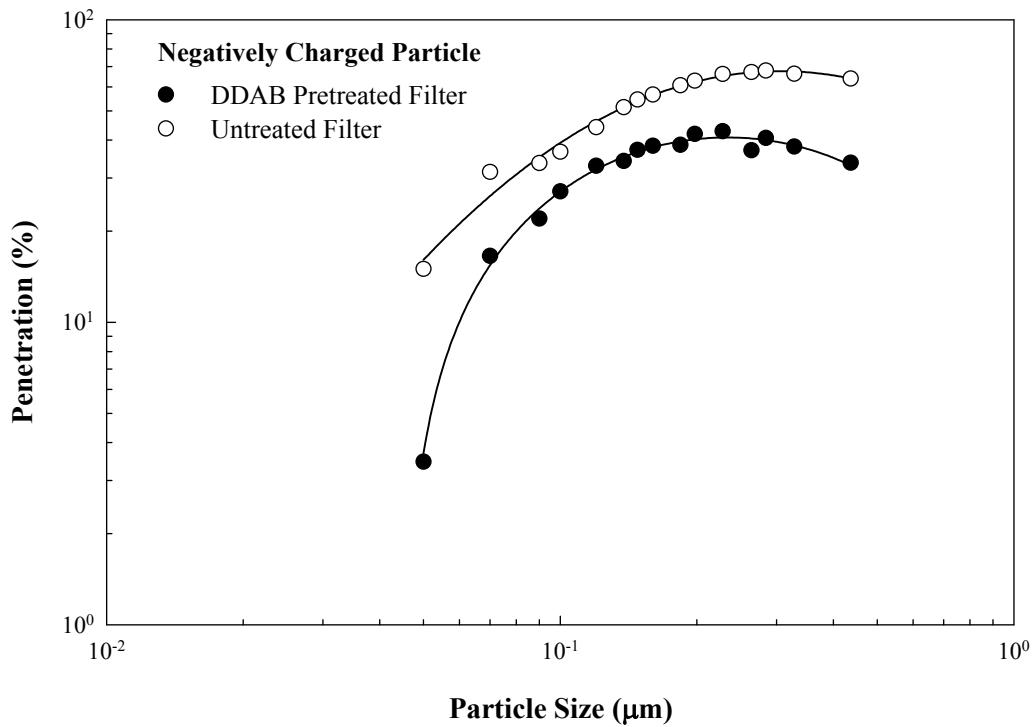
圖十一、 DDAB-Pretreated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



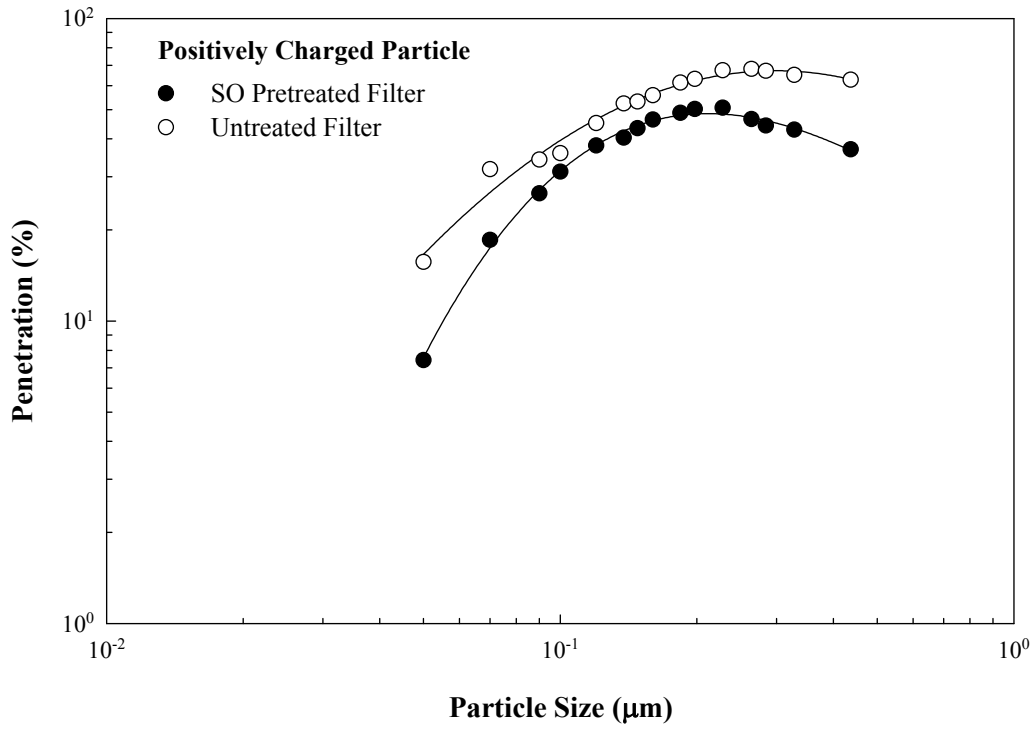
圖十二、 SO-Pretreated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



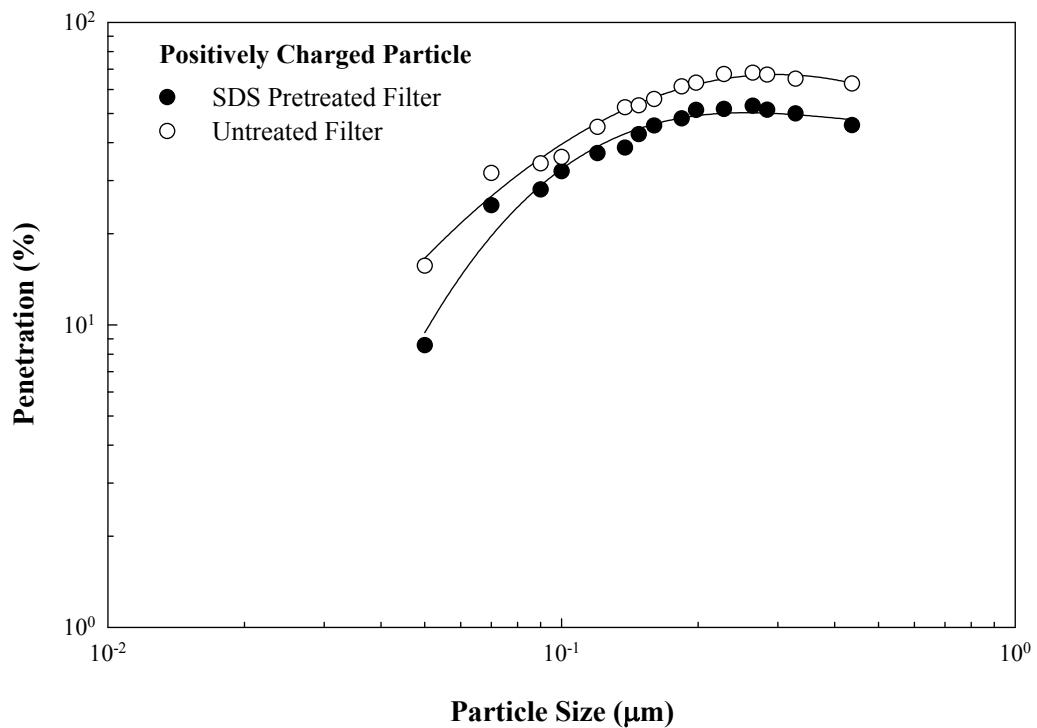
圖十三、 SDS-Pre-treated Filter 在同濃度下之過濾效率 (NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)



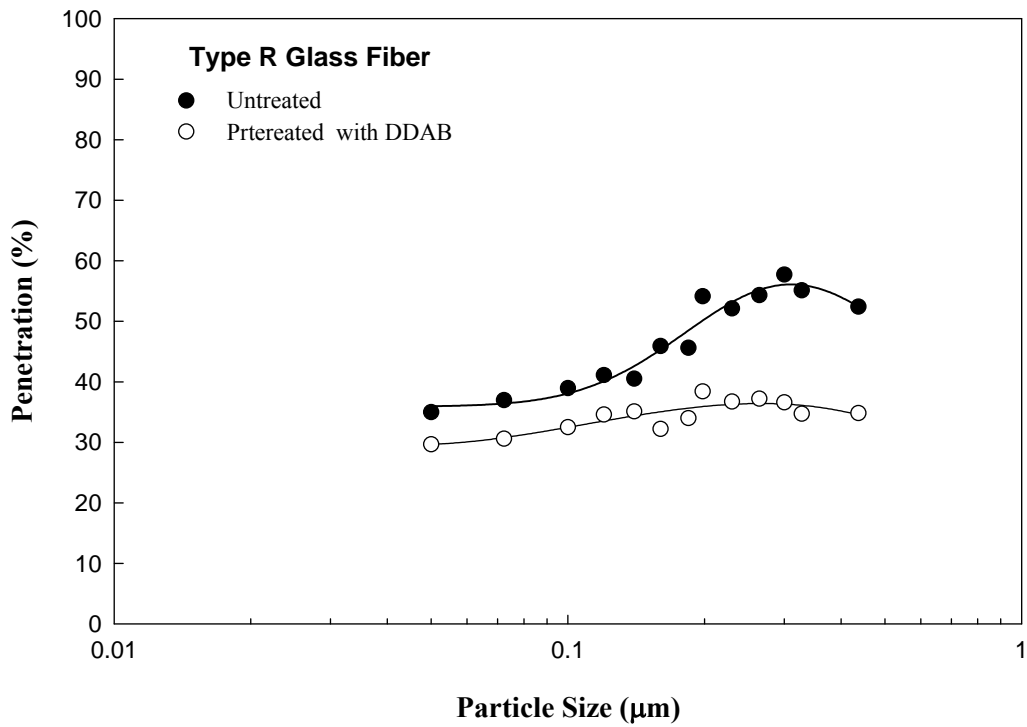
圖十四、 DDAB-Pre-treated Filter-單一帶電微粒 (負電、NaCl、表面風速 10 cm/s)



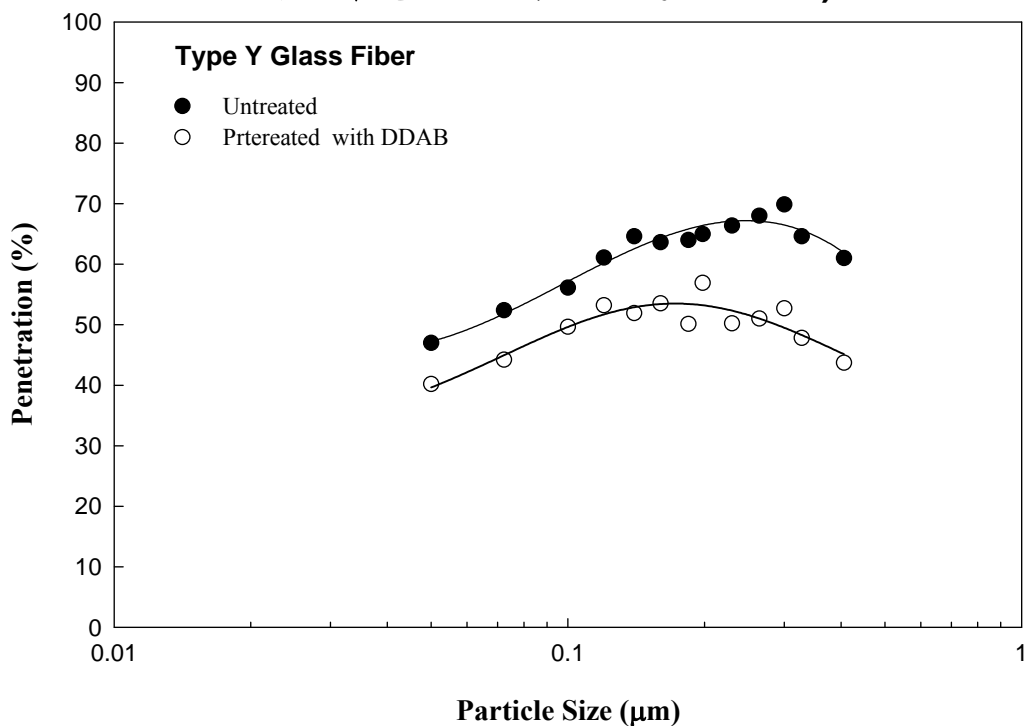
圖十五、SO-Pretreated Filter-單一帶電微粒 (正電、NaCl、表面風速 10 cm/s)



圖十六、SDS-Pretreated Filter-單一帶電微粒 (正電、NaCl、表面風速 10 cm/s)



圖十七、 DDAB-Pretreated Filter 之過濾效率 (小直徑-玻璃纖維濾材、NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)

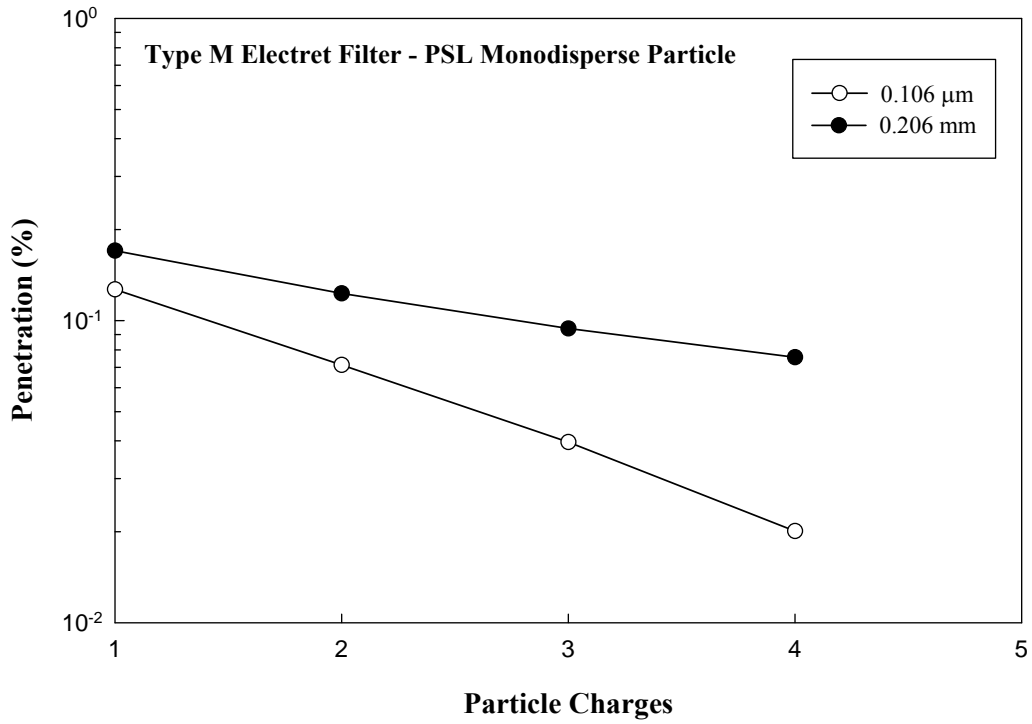


圖十八、 DDAB-Pretreated Filter 之過濾效率 (大直徑-玻璃纖維濾材、NaCl 中性帶電微粒、表面風速 10 cm/s)

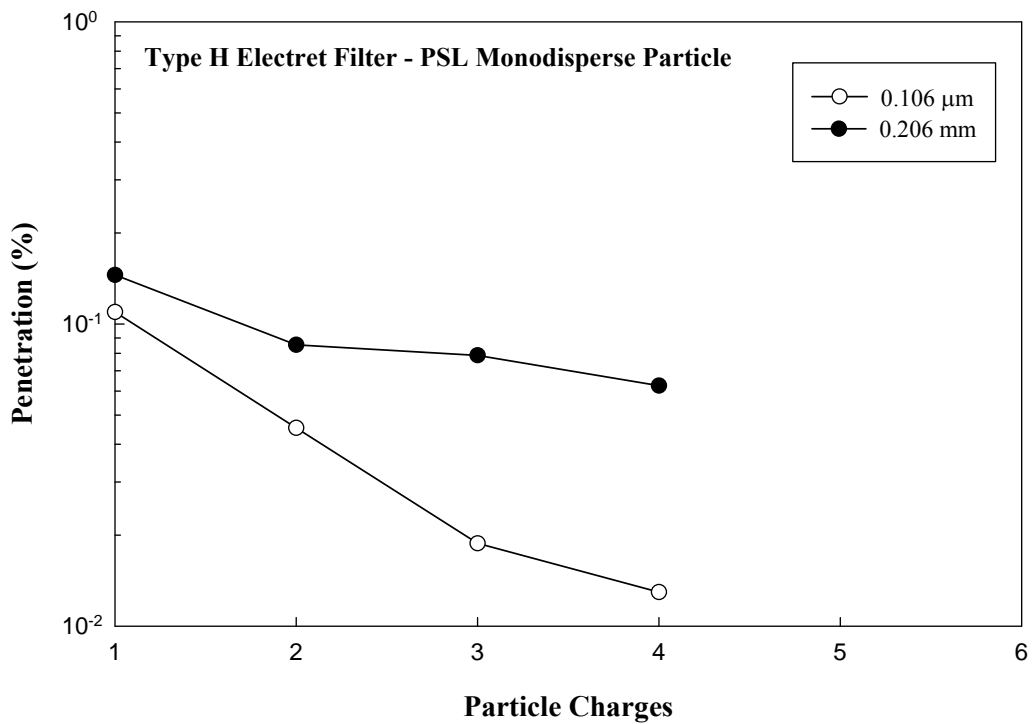
4-2 微粒帶電量對過濾效率之影響

在微粒帶電量的實驗部分，利用 PSL monodisperse 測試氣膠來進行實驗，主要是利用 PSL 測試氣膠本身即是單一粒徑分佈，因此當其流入 DMA 後，DMA 是利用氣膠微粒之電移動度來篩分氣膠，而微粒之電移動度受到其本身粒徑及帶電量影響，PSL 測試氣膠本身即是單一粒徑分佈，因此其粒徑為固定，而氣膠流入 DMA 前，會先流經一電性中和器，使氣膠微粒呈波茲曼電性分佈，即是微粒帶電量總和為零，微粒會帶有 ± 1 、 ± 2 、 ± 3 、 ± 4 ...等微粒，因此利用調整電移動，即可篩分出帶不同電量之氣膠微粒。

在此一部份中，分別選取 0.106 及 0.206 μm PSL 氣膠微粒進行實驗，利用 DMA 分別篩選微粒帶 1-4 電荷來進行實驗，圖十九與圖二十分別為利用帶不同電荷之 0.106 與 0.206 μm 之 PSL 單一粒徑分佈之氣膠微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 M 型與 H 型靜電濾材之過濾效率，由實驗結果可以發現，氣膠微粒之穿透率隨著氣膠微粒帶電量增加而下降，這主要是由於帶電量的增加，使得微粒與靜電纖維之間的作用力增加，而導致微粒被濾材攔除量增加，而比較 0.106 μm 與 0.206 μm 兩條曲線，可以發現 0.106 μm 曲線隨著帶電量增加穿透率下降的幅度較 0.206 μm 曲線來的大，主要造成原因在於帶電微粒與靜電纖維間之作用力為庫倫吸引力，就文獻中提出以及在本計畫研究所發現，庫倫吸引力會隨著粒徑增加而減低其作用力，因此 0.106 μm 氣膠微粒與靜電纖維之間作用力較 0.206 μm 氣膠微粒與靜電纖維作用力來得大，同時隨著帶電量增加，0.206 μm 氣膠微粒與靜電纖維間庫倫力增加幅度也不會有 0.106 μm 氣膠微粒與靜電纖維間庫倫力來的大，所以造成此一現象。



圖十九、微粒帶不同帶電量對過濾效能之影響 (Type M, 10 cm/s)

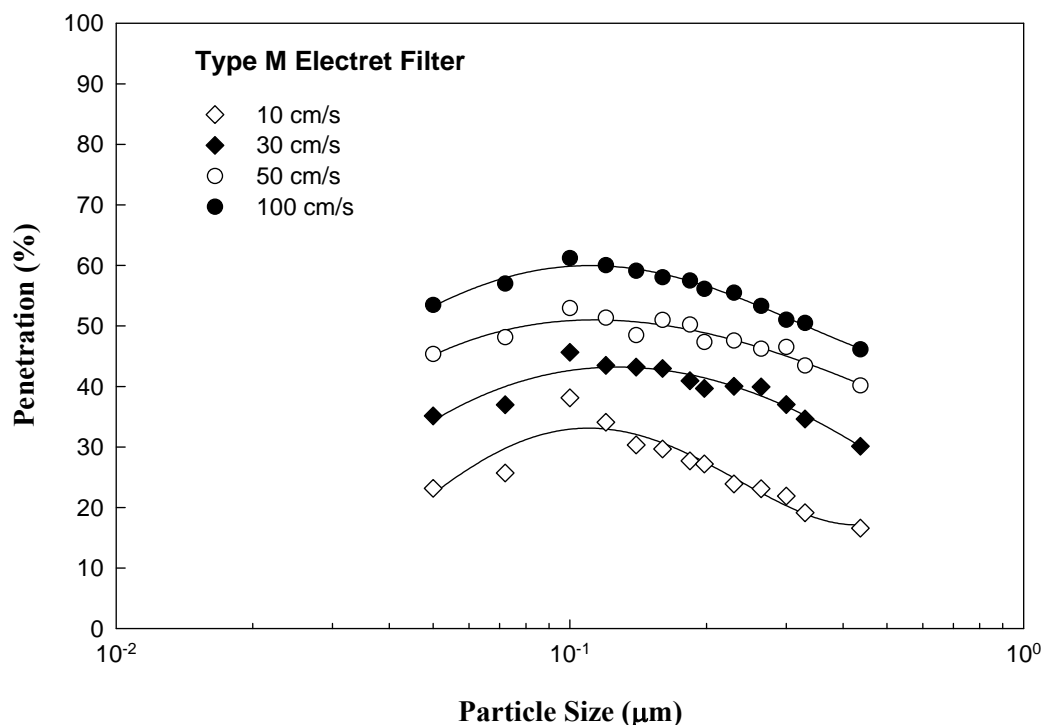


圖二十、微粒帶不同帶電量對過濾效能之影響 (Type H, 10 cm/s)

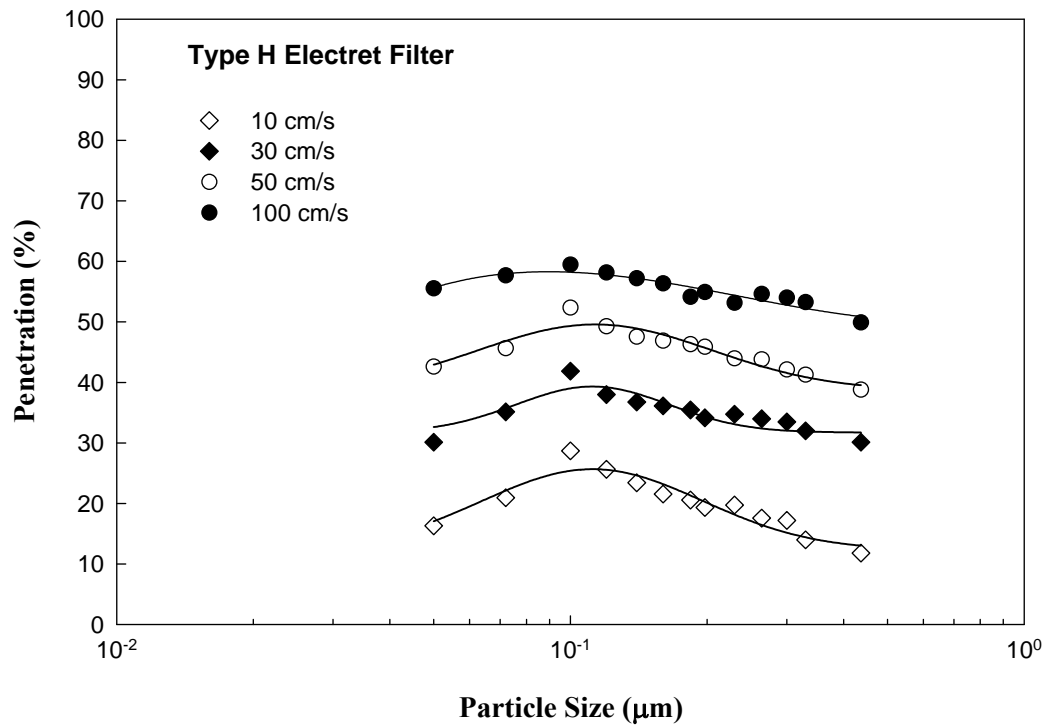
4-3 表面風速對過濾效率之影響

在此一部份實驗中，針對不同表面風速進行實驗，在過去文獻中可以發現，一般針對濾材測試表面風速均是設定在 10 cm/s 附近，不過由於目前室內環境中所使用之空氣清淨機流量較大，因此在表面風速的選取上，必須選擇較大的表面風速，所以在本此次計畫中分別選取 10、30、50、100 cm/s 作為測試的表面風速。

圖二十一與二十二分別為中性帶電 NaCl 氣膠微粒在 4 個不同表面風速下，測試 M 型與 H 型靜電濾材，由實驗結果可以發現在兩種靜電濾材同時可以發現，隨著表面風速增加，氣膠微粒的穿透率也隨之上升，在 M 型靜電濾材上，由表面風速 10 cm/s 上升至 100 cm/s，其穿透率也由 22% 上升至 51%，H 型靜電濾材上，由表面風速 10 cm/s 上升至 100 cm/s，其穿透率也由 18% 上升至 54%，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纖維間接觸的時間，因此造成作用力下降。在過去文獻中也同樣發現隨著表面風速上升其氣膠微粒穿透率會隨之增加 (Kanaoka et al., 1985; Romay et al., 1998; Chen and Huang, 1998)。



圖二十一、不同風速對過濾效率之影響 (Type M, NaCl 中性帶電微粒)



圖二十二、不同風速對過濾效率之影響 (Type H, NaCl 中性帶電微粒)

4-4 微粒種類對過濾效率之影響

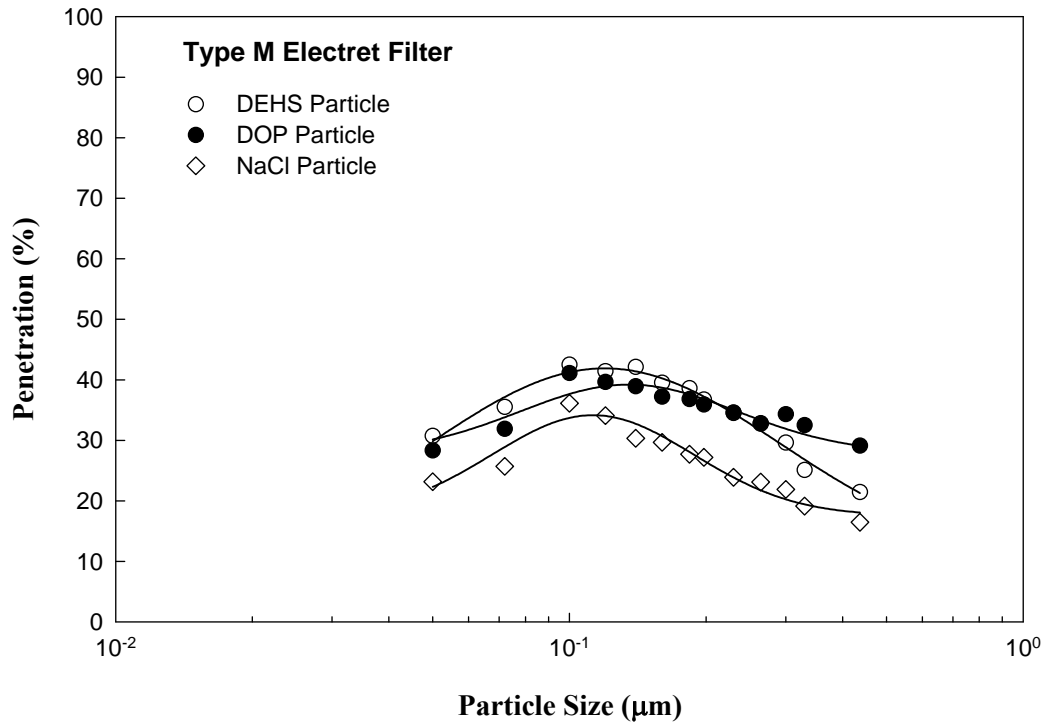
4-4-1 固體氣膠與油滴氣膠過濾效率之比較

在此一部份實驗中，欲探討固體氣膠微粒與油滴氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響，因此選取兩種油滴氣膠 DEHS（無毒）與 DOP（有毒），與 NaCl 固體氣膠微粒進行比較。

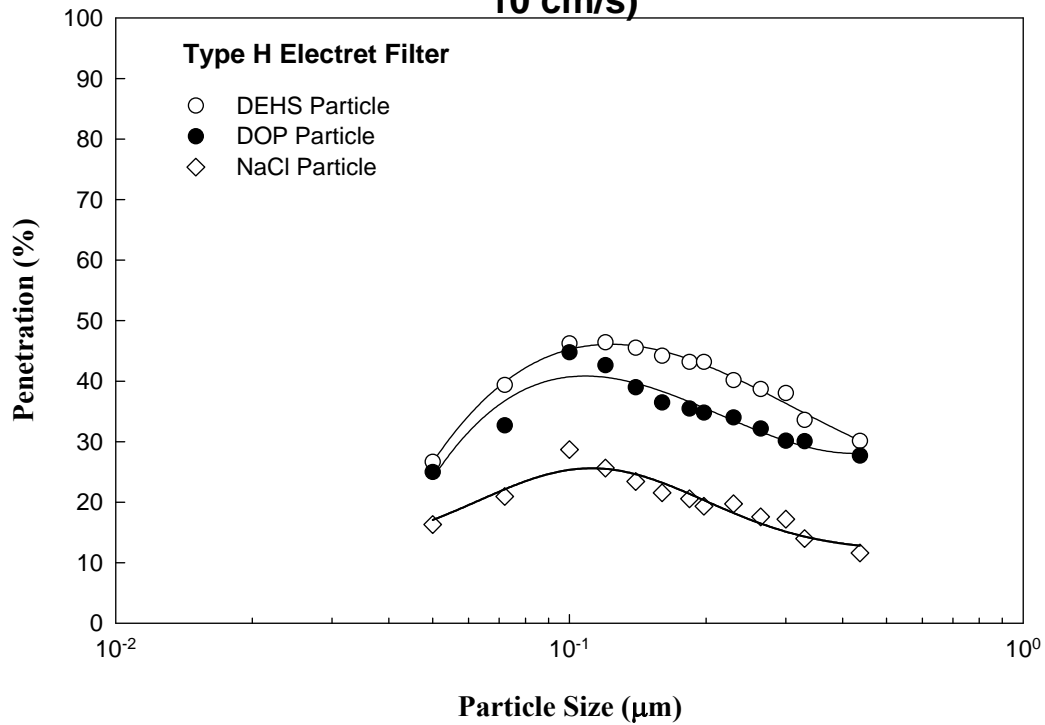
圖二十三與圖二十四分別為三種氣膠微粒在表面風速 10cm/s 下，測試 M 型與 H 型靜電濾材之過濾效率，結果發現固體氣膠微粒之穿透率較油滴氣膠微粒之穿透率來的低，以 0.3- μm 粒徑穿透率來說明，M 型靜電濾材在 NaCl、DEHS 及 DOP 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 20%、30%及 38%，H 型靜電濾材在 NaCl、DEHS 及 DOP 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 18%、33%及 30%，主要原因在於油滴氣膠在靜電濾材上會溶解因而覆蓋在靜電纖維上，造成濾材之表面電場下降，所以靜電濾材對於固體氣膠微粒有較好的過濾效率。

圖二十五與圖二十六分別為利用 NaCl 及 DEHS 氣膠微粒在表面風速 10cm/s 下，測試 AM 型與 AH 型複合式靜電濾材之過濾效率，結果發現固體氣膠微粒之穿透率較油滴氣膠微粒之穿透率來的低，以 0.3- μm 粒徑穿透率來說明，AM 型複合式靜電濾材在 NaCl 及 DEHS 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 16%及 36%，AH 型複合式靜電濾材在 NaCl 及 DEHS 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 16%及 24%，其主要造成原因與靜電濾材是完全相同，同樣是由於油滴氣膠在靜電濾材上會溶解因而覆蓋在靜電纖維上，造成濾材之表面電場下降，雖然複合式濾材中有一層活性碳纖維，這一層活性碳濾材並沒有對油滴氣膠微粒有較高的去處效果。

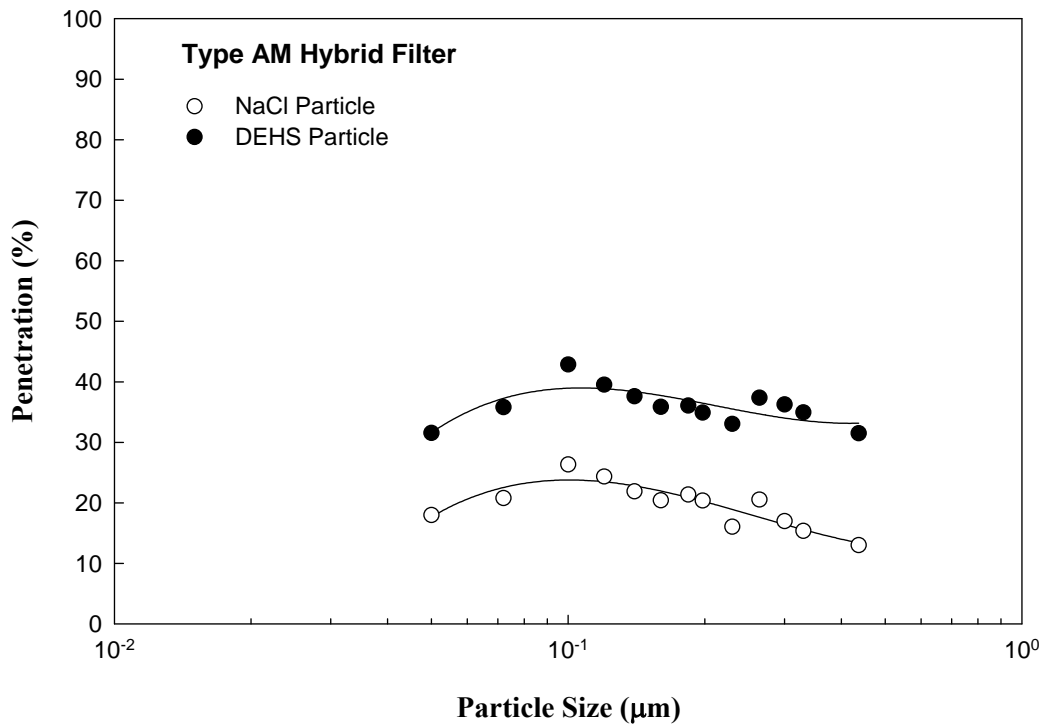
圖二十七、圖二十八與圖二十九分別為三種氣膠微粒在表面風速 10cm/s 下，測試三種 0.01M SPF 帶電濾材之過濾效率，結果發現同樣是固體氣膠微粒之穿透率較油滴氣膠微粒之穿透率來的低，以 0.3- μm 粒徑穿透率來說明，DDAB 處理濾材在 NaCl、DEHS 及 DOP 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 46%、51%及 52%，SO 處理濾材在 NaCl、DEHS 及 DOP 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 51%、57%及 357%，SDS 處理濾材在 NaCl、DEHS 及 DOP 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 64%、65%及 66%。主要原因仍然是油滴氣膠在靜電濾材上會溶解因而覆蓋在帶電纖維上，造成濾材之表面電場下降，故可知 SPF 帶電濾材對於固體氣膠微粒有較好的過濾效率。



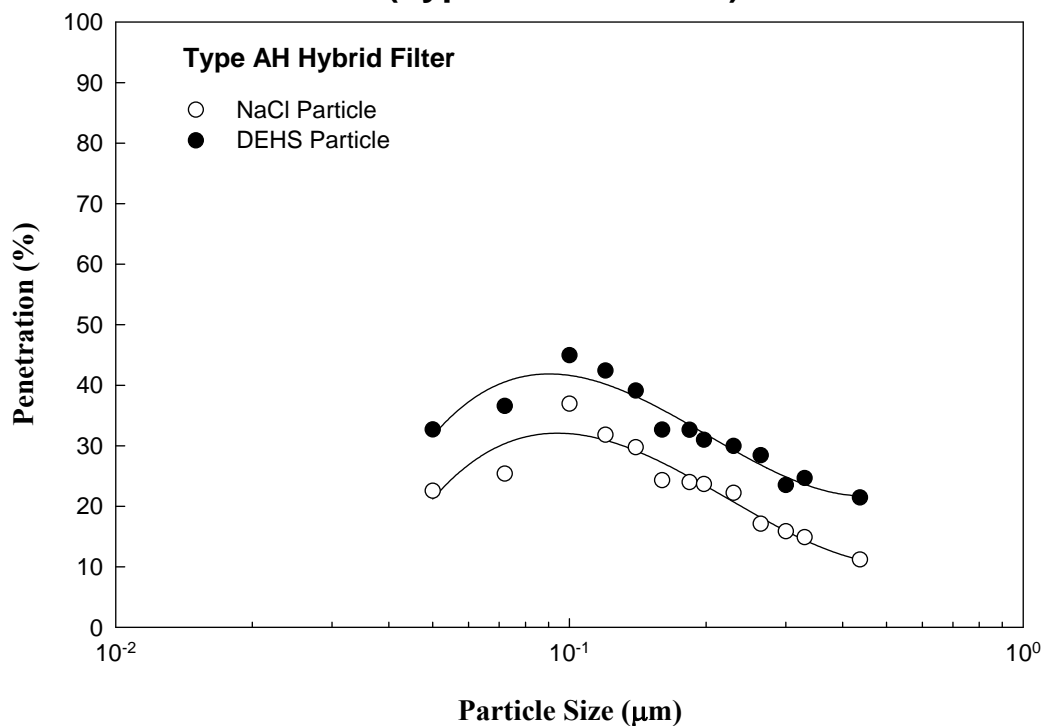
圖二十三、比較油滴與固體氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type M、10 cm/s)



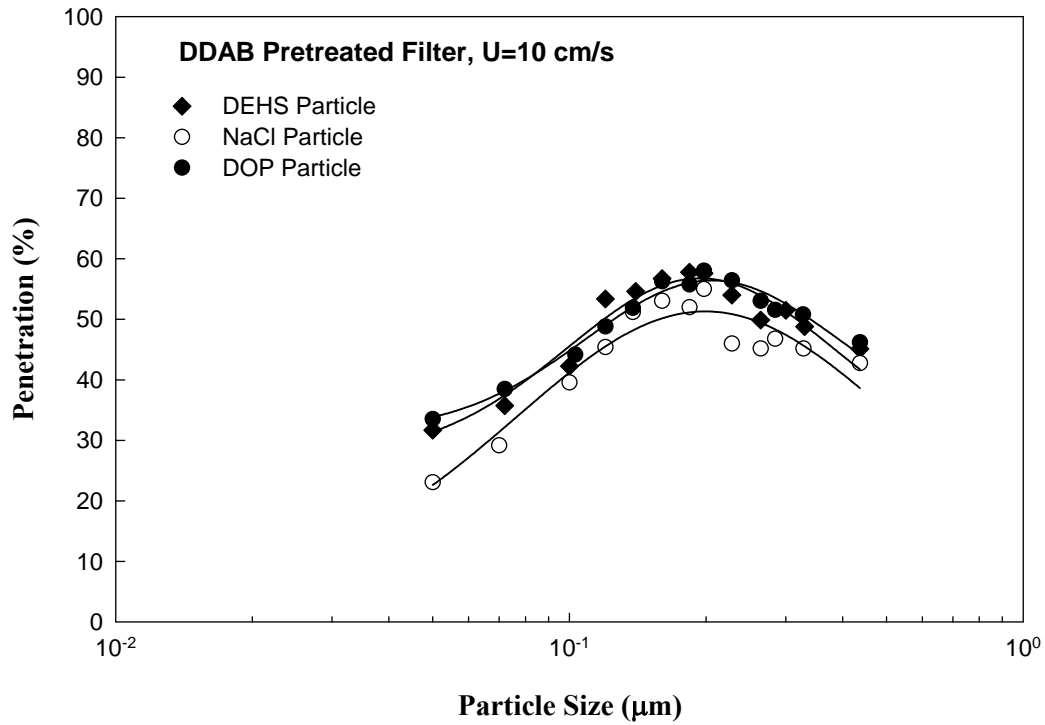
圖二十四、比較油滴與固體氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type H、10 cm/s)



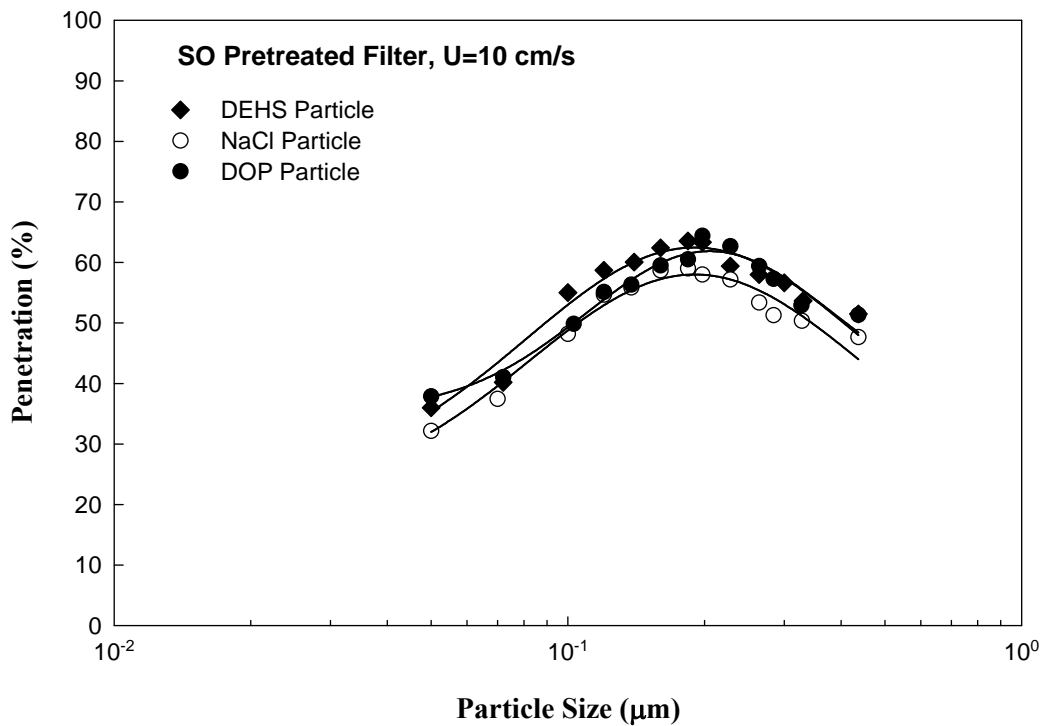
圖二十五、比較油滴與固體氣膠微粒對複合性靜電濾材過濾效率之影響
(Type AM、10 cm/s)



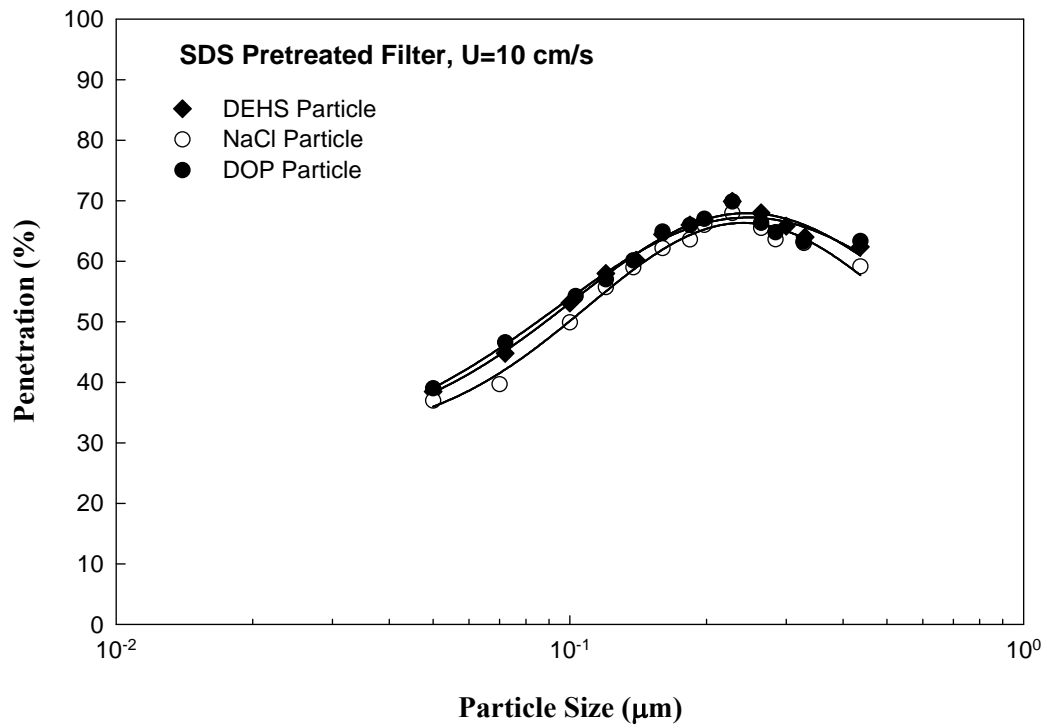
圖二十六、比較油滴與固體氣膠微粒對複合性靜電濾材過濾效率之影響
(Type AH、10 cm/s)



圖二十七、比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M DDAB、10 cm/s)



圖二十八、比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M SO、10 cm/s)



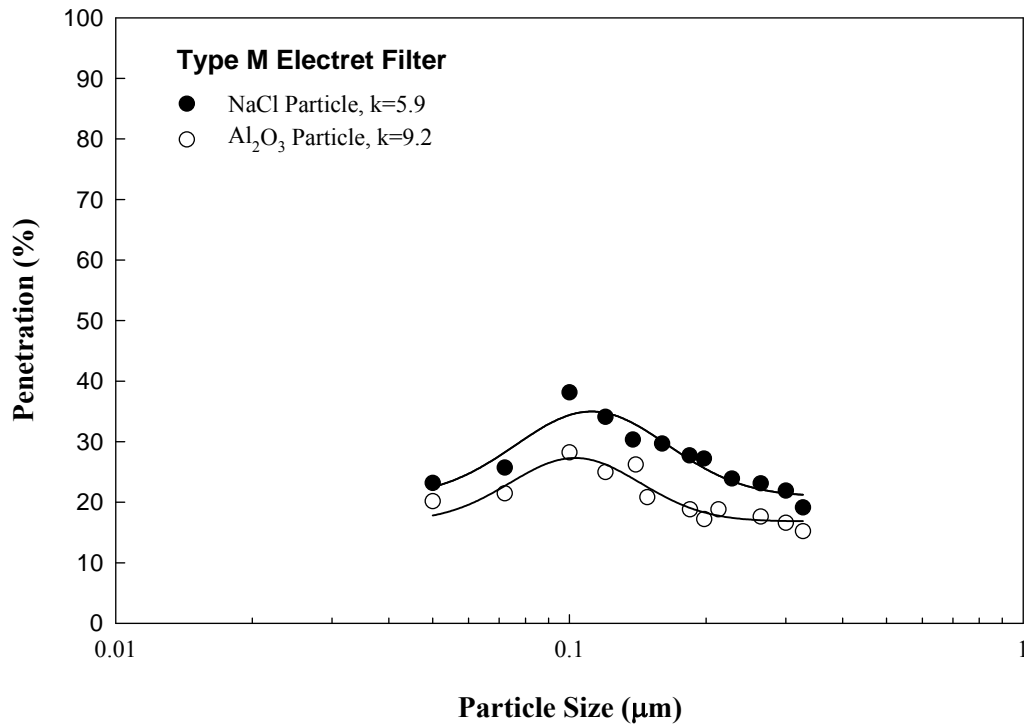
圖二十九、比較油滴與固體氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (0.01M SDS、10 cm/s)

4-4-2 微粒介電常數對過濾效率之影響

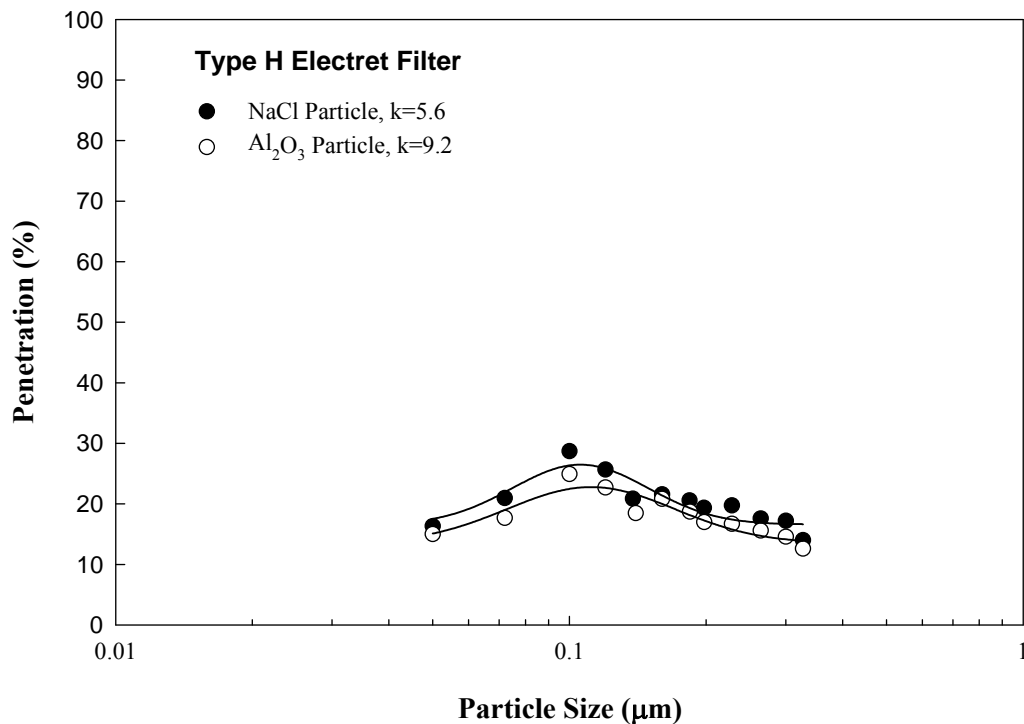
在 4-2-1 節中，我們已經針對不同氣膠種類（固體與油滴）進行比較，在本節中即是針對同是固體氣膠微粒，但是其各自的介電常數不同，來進行比較。在不同介電常數下對靜電濾材過濾效率的影響，因為在介電力單一纖維過濾理論中，其無因次參數會受到氣膠微粒介電常數的影響，所以在本章節中，才想要來探討介電常數對過濾效率影響的程度。

在本章節中，氣膠微粒分別選取 NaCl（介電常數， $k=5.9$ ）與 Al_2O_3 （ $k=9.2$ ），來進行比較。圖三十與圖三十一分別為兩種中性帶電微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試 M 型與 H 型靜電濾材之過濾效率，由實驗結果可以發現， Al_2O_3 之氣膠微粒穿透率較 NaCl 之穿透濾材得低，M 型靜電濾材在 NaCl 及 Al_2O_3 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 22% 及 17%，H 型靜電濾材在 NaCl 及 Al_2O_3 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 18% 及 15%。故可知當氣膠微粒之介電常數較高時，其被靜電濾材誘發產生雙極性而被去除的機會較大，也就是說，當微粒介電常數較大時其與靜電纖維間之介電力較大。

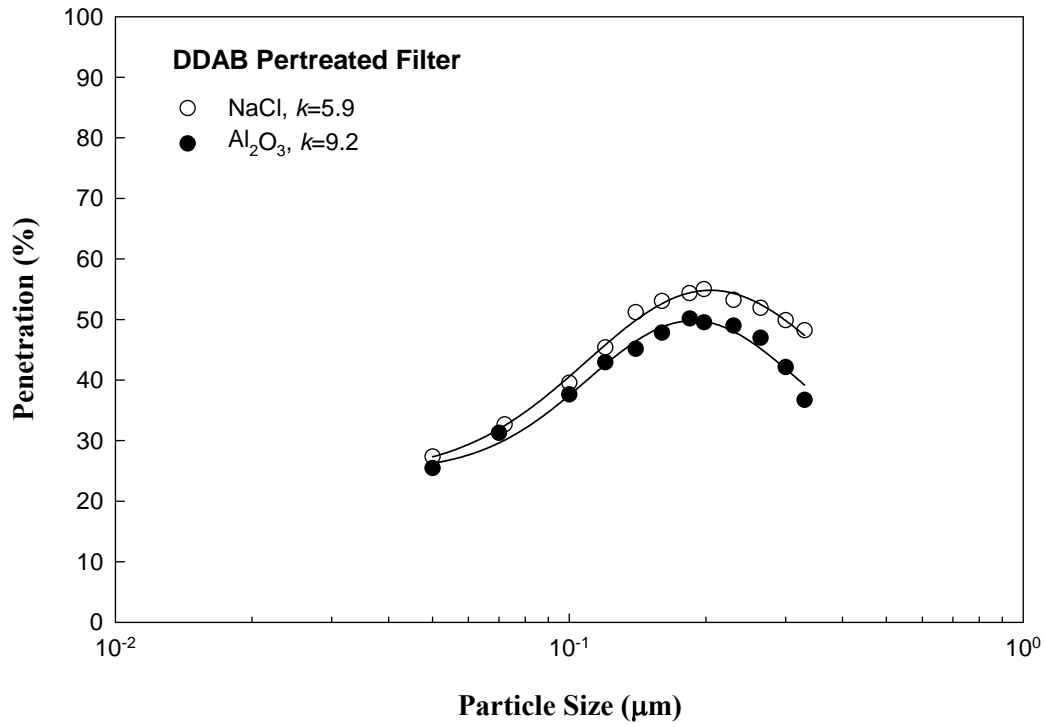
圖三十二、及圖三十三與圖三十四分別為兩種中性帶電微粒在表面風速 10 cm/s 下，測試三種 0.01M SPF 帶電濾材之過濾效率，由實驗結果可以發現，同樣 Al_2O_3 之氣膠微粒穿透率較 NaCl 之穿透濾材得低，DDAB 處理之濾材在 NaCl 及 Al_2O_3 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 49% 及 43%，SO 處理之濾材在 NaCl 及 Al_2O_3 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 51% 及 47%，SDS 處理之濾材在 NaCl 及 Al_2O_3 測試氣膠之 0.3- μm 粒徑穿透率分別是 64% 及 60%。同樣可以發現當氣膠微粒之介電常數較高時，過濾效率較佳。也就是說，當微粒介電常數較大時其與靜電纖維間之介電力較大。



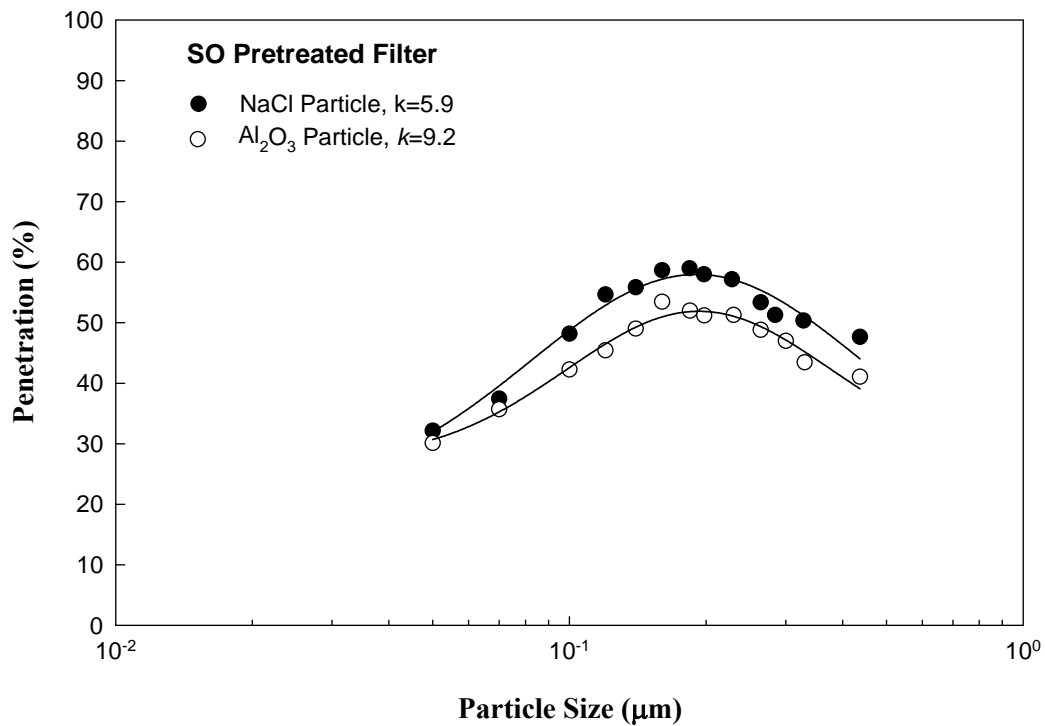
圖三十、不同介電常數氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type M、10 cm/s)



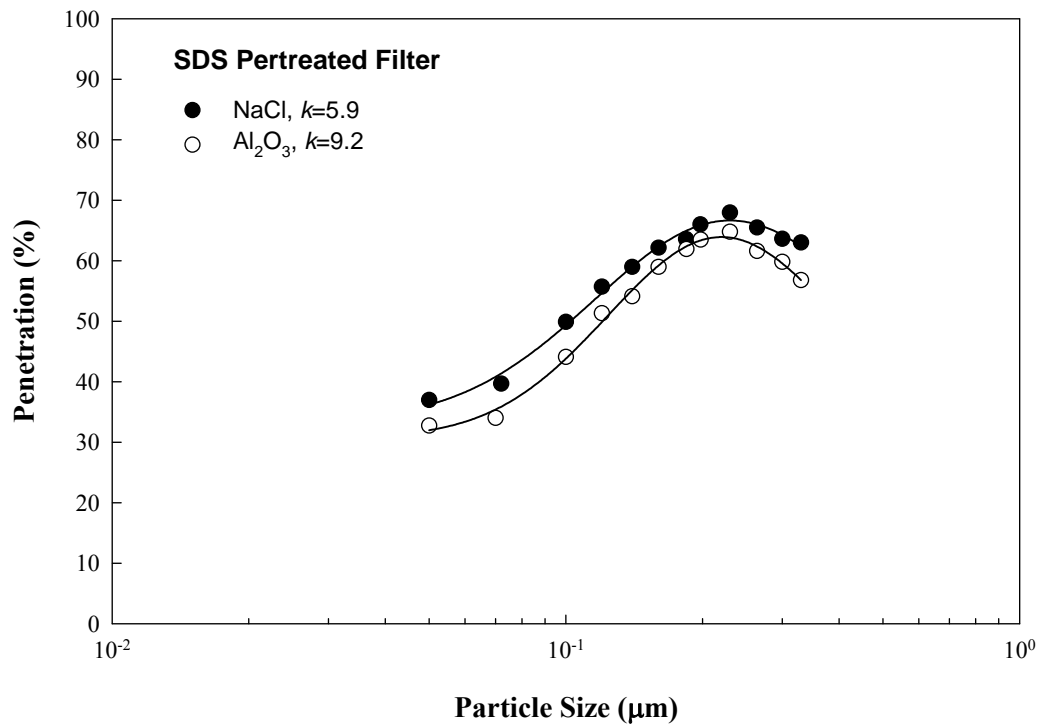
圖三十一、不同介電常數氣膠微粒對靜電濾材過濾效率之影響 (Type H、10 cm/s)



圖三十二、不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (DDAB、10 cm/s)



圖三十三、不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (SO、10 cm/s)



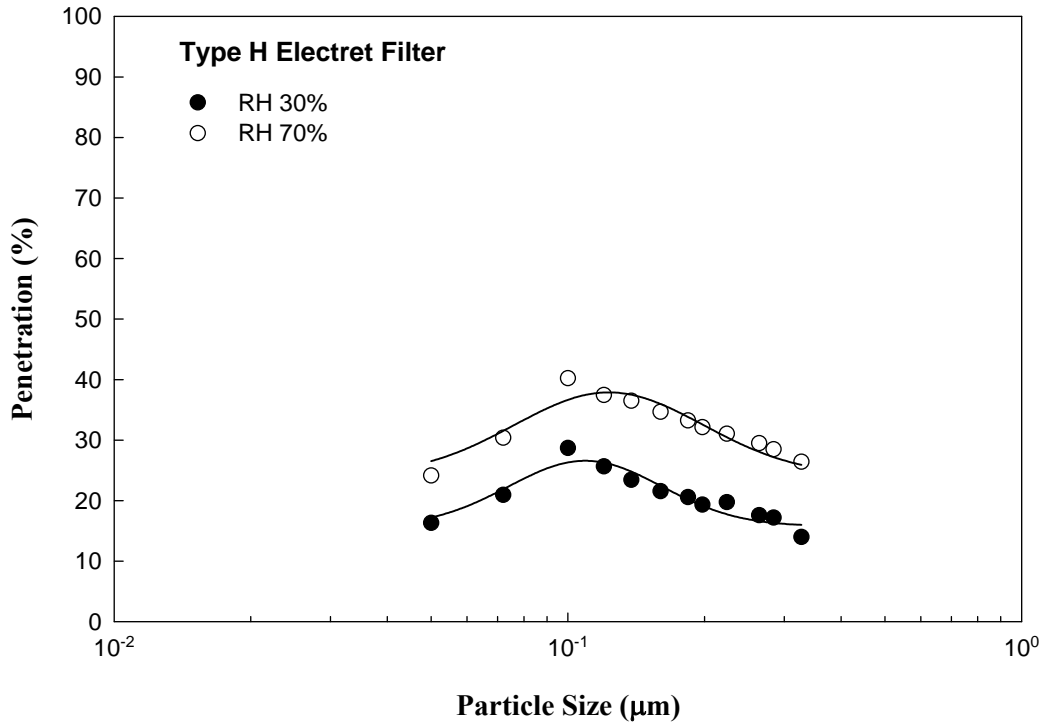
圖三十四、不同介電常數氣膠微粒對 SPF 過濾效率之影響 (SDS、10 cm/s)

4-5 相對濕度對過濾效率之影響

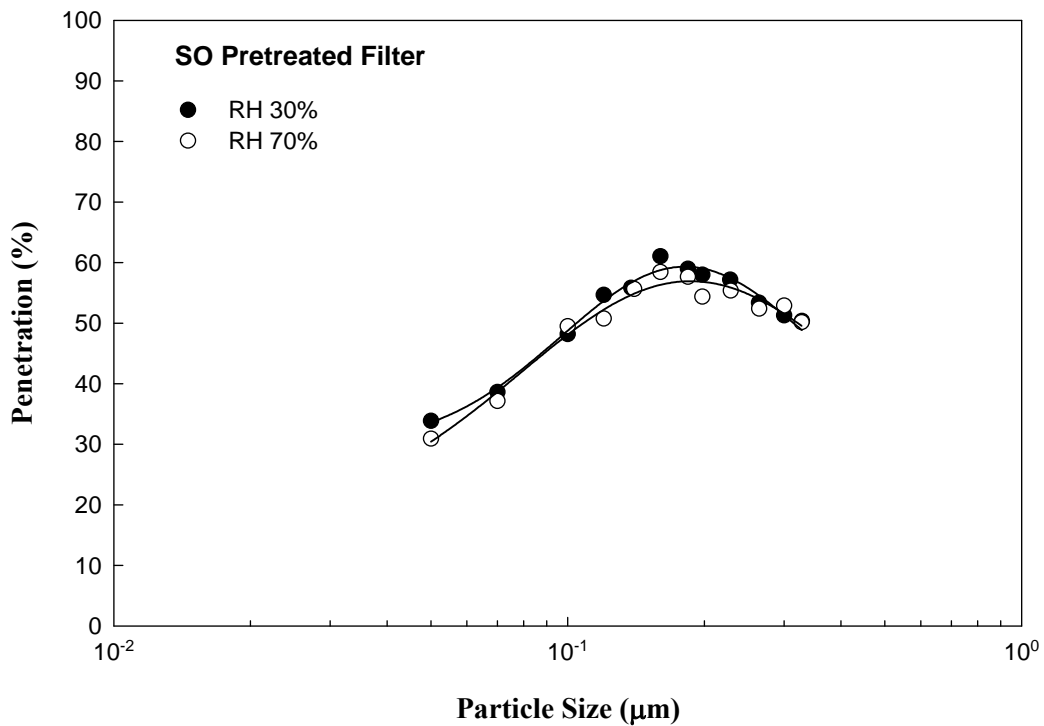
在本章節中，欲探討在不同之相對濕度下，對靜電濾材過濾效率的影響，因此在此部分實驗中選取相對濕度 (RH) 70%與 30%進行比較，在高濕度部分，由於測試氣膠為 NaCl，其在 RH73%附近時會產生潮解現象，使得粒徑增大，因此僅選擇 RH70%作為測試濕度，在濾材選擇上，為了比較兩種不同方法所製造的靜電濾材受到濕度的影響，因此分別選擇 H 型市售靜電濾材，以及 SO 前處理之帶電濾材，進行實驗。

圖三十五為中性帶電 NaCl 微粒在 RH70%及 30%與表面風速 10 cm/s 下，測試 H 型靜電濾材之過濾效率，結果發現，在 RH70%時氣膠微粒之穿透率較 RH30%時來得高，主要原因可分為兩個部分，一為在過去文獻中提到，在高相對濕度時，水氣會改變靜電濾材結構導致過濾效率下降，另一解釋為水分子具有高度極性，極有可能會干擾靜電濾材表面上之電場，造成去極化的效果，導致過濾效率下降。

圖三十六為中性帶電 NaCl 微粒在 RH70%及 30%與表面風速 10 cm/s 下，測試 SO 處理之帶電濾材之過濾效率，結果發現，在 RH70%時氣膠微粒之穿透率與 RH30%時幾乎是相同的，此與利用電暈放電所製造之靜電濾材結果完全不同，主要原因在於界面活性劑調理之帶電濾材，是由於結構中具備離子性的電荷分離所造成，並不會受到水分子干擾其表面電場，因此，SPF 帶電濾材之過濾效率並不會受到濕度改變的影響。



圖三十五、市售靜電電濾材在不同相對濕度下之過濾效率 (Type H, NaCl, 10 cm/s)



圖三十六、SPF 在不同相對濕度下之過濾效率 (SO, NaCl, 10 cm/s)

4-6 靜電濾材表面電荷之估算

在本章節中，利用 Romay et al. 所建立之方程式（方程式 25），首先估計帶電濾材之表面電場，再利用方程式 27 與 29 分別估計單一帶電濾材表面電荷（ $Q, C/m$ ）與 line-dipole fiber 靜電濾材之表面電荷（ $\sigma, C/m^2$ ），在本計畫中界面活性劑處理之帶電濾材屬於單一帶電濾材，市售靜電濾材則是屬於 line-dipole fiber 靜電濾材，由於無法估算出之相同表面電荷量，因此在比較濾材表面電荷時，將採用濾材表面電場來比較。

根據實驗數據以及濾材特性代入方程式 25 及 26 即可估算出帶電濾材之表面電場，表二即是兩種市售濾材與三種 SPF 帶電濾材之表面電場。

表二、 濾材表面電場

| 濾材種類 | 表面電場 E (V/m) |
|------------------------------|--------------|
| M 型靜電濾材 | 201774 |
| H 型靜電濾材 | 181591 |
| 0.01M DDAB-Pretreated Filter | 118670 |
| 0.01M SO-Pretreated Filter | 101091 |
| 0.01M SDS-Pretreated Filter | 87005 |

由表二即可發現，市售 2 種靜電濾材之表面電場較 3 類 0.01M SPF 帶電濾材之表面電場，不過 SPF 帶電濾材可以利用增加界面活性劑之濃度來提升 SPF 之表面電場。

將市售靜電濾材所推估之表面電場代入方程式 29 中，即可推估出其表面電荷量，表三即是市售靜電濾材之表面電荷。

表三、 市售濾材表面電荷量

| 濾材種類 | 表面電荷量 σ (V/m ²) |
|---------|------------------------------------|
| M 型靜電濾材 | 4.46×10^{-6} |
| H 型靜電濾材 | 4.02×10^{-6} |

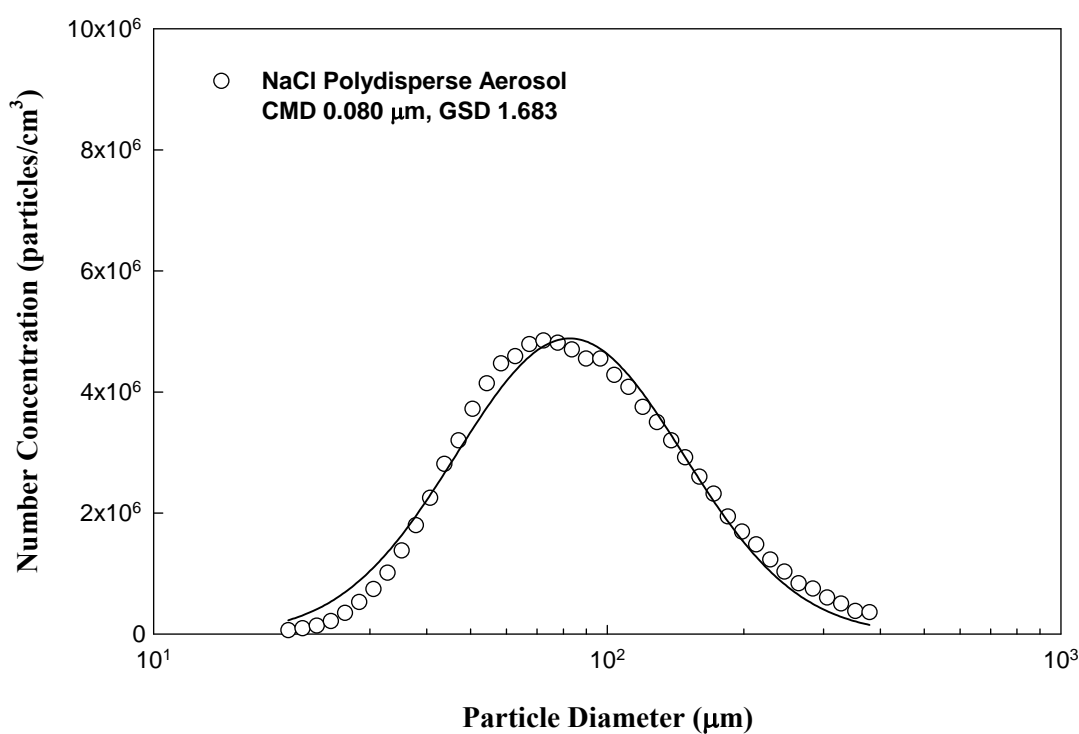
將 0.01M SPF 所推估之表面電場代入方程式 27 中，即可推估出其表面電荷量，表四即是 SPF 之表面電荷。

表四、 SPF 表面電荷量

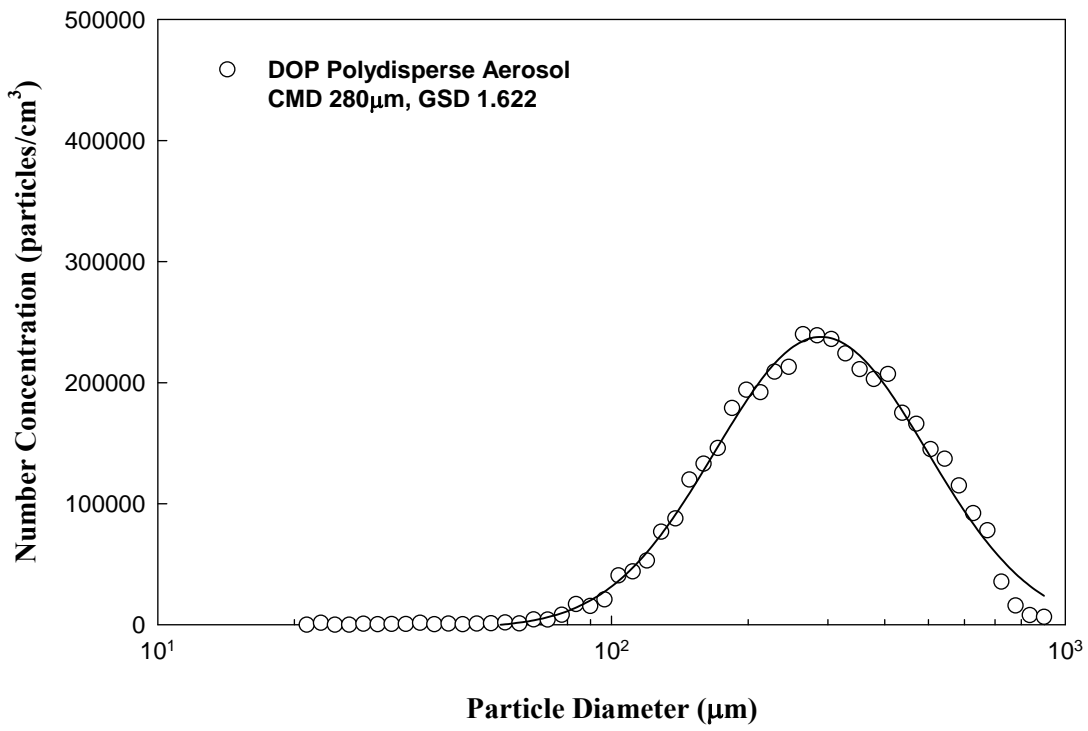
| 濾材種類 | 表面電荷量 Q (V/m) |
|------------------------------|------------------------|
| 0.01M DDAB-Pretreated Filter | 9.89×10^{-11} |
| 0.01M SO-Pretreated Filter | 8.42×10^{-11} |
| 0.01M SDS-Pretreated Filter | 7.27×10^{-11} |

4-7 靜電濾材之載負特性

在濾材載負特性的實驗部分，如何選取測試氣膠的粒徑範圍是一個相當重要的課題，在 2-1 節中，可以瞭解一般次微米懸浮微粒之中位數粒徑範圍在 0.03-0.09 μm ，而油滴氣膠微粒之中位數粒徑在 0.11-0.24 μm ，因此本計畫在載負實驗中測試粒徑的選取即是在此一範圍中，而實際選取則是參考美國粉塵口罩之測試規範（42 CFR Part 84），其中規定固體氣膠微粒（NaCl）中位數粒徑為 $0.075 \pm 0.020 \mu\text{m}$ 及 $\text{GSD} < 1.86$ ，另外油滴氣膠(DOP)中位數粒徑為 $0.185 \pm 0.020 \mu\text{m}$ 及 $\text{GSD} < 1.66$ ，因此在本計畫中測試氣膠 NaCl 固體氣膠選取為中位數粒徑 0.080 μm 及 GSD 為 1.683，油滴氣膠為中位數粒徑 0.180 μm 及 GSD 為 1.622。圖三十七與圖三十八為 NaCl 與 DOP 測試氣膠之粒徑分佈。



圖三十七、 NaCl 測試氣膠之粒徑分佈圖



圖三十八、 DOP 測試氣膠之粒徑分佈圖

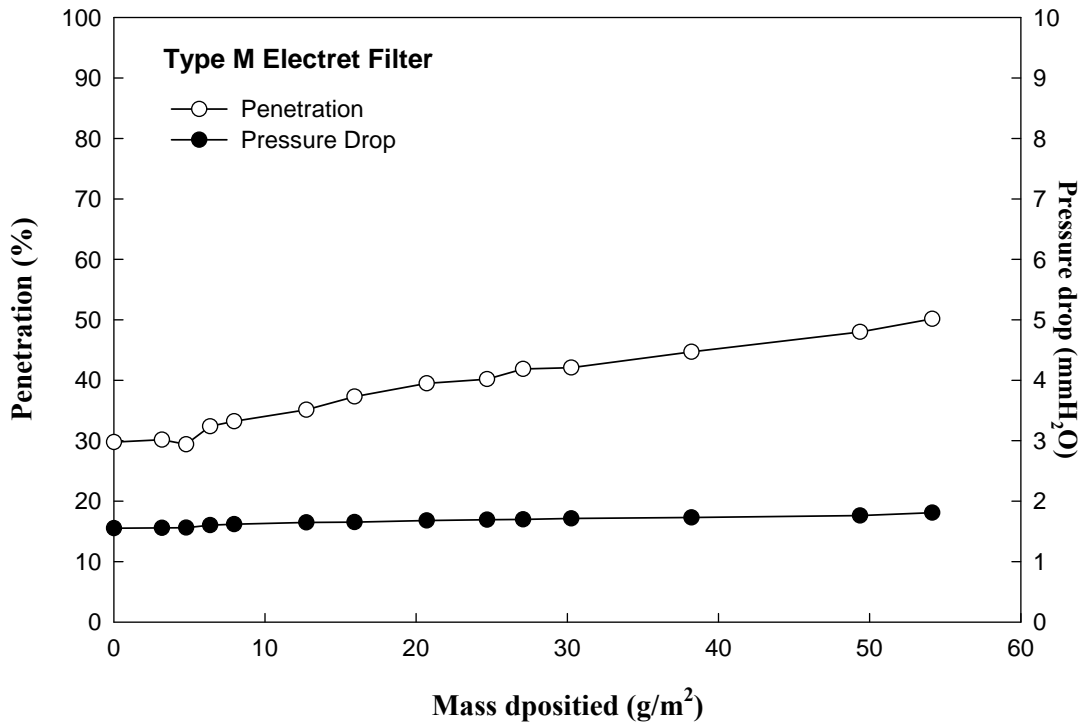
4-7-1 帶電濾材之載負特性

在本節的實驗中，設定的氣膠載負量為 50g/m^2 ，主要原因為跟去過去研究中當濾材載負量達到 50g/m^2 時，已可觀察到濾材之阻塞點，因此在兩種靜電濾材與三種 0.01M SPF 之載負實驗中，僅觀測至氣膠微粒載負到 50g/m^2 。

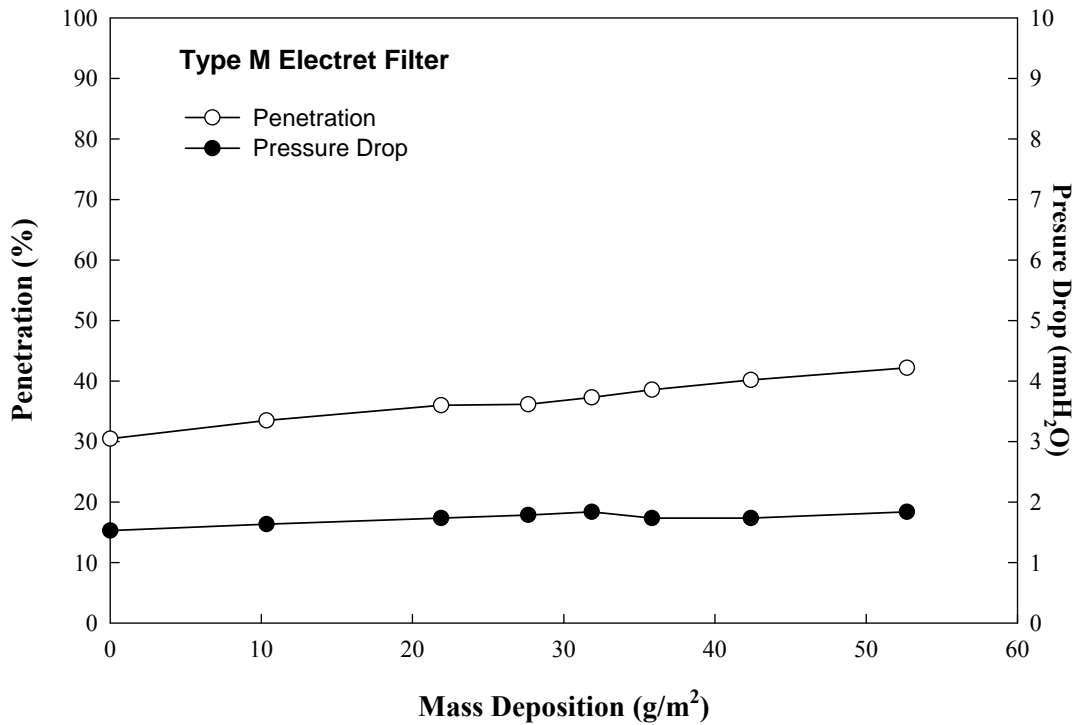
圖三十九與四十分別為中性帶電 NaCl 與 DOP 氣膠微粒在表面風速 10cm/s ，在 M 型靜電濾材上之載負圖形，由實驗結果可以發現，固體 NaCl 氣膠與油滴 DOP 氣膠均是隨著載負重量的增加，穿透率仍是上升的趨勢，而壓降隨著載負重量的增加並沒有明顯的改變。故可瞭解固體氣膠微粒在靜電濾材上尚未形成濾餅，應該還要增加載負量，才能觀測到的濾餅的形成。而對於油滴氣膠而言，過去部分研究發現油滴會溶解在濾材表面 (Barrett and Rousseau, 1998)，因此不會形成濾餅。圖四十一與圖四十二則是中性帶電 NaCl 與 DOP 氣膠微粒在表面風速 10cm/s ，在 H 型靜電濾材上之載負圖形，其試驗結果與在 M 型靜電氣膠相當類似。

圖四十三與四十四分別為中性帶電 NaCl 與 DOP 氣膠微粒在表面風速 10cm/s ，在 0.01M DDAB 處理之帶電濾材上之載負圖形，實驗結果可知，固體 NaCl 氣膠與油滴 DOP 氣膠載負現象均是隨著載負重量的增加，穿透率仍是上升的趨勢，同時壓降並沒有隨著載負量的增加而有明顯的改變。因此可知固體氣膠微粒在靜電濾材上尚未形成濾餅，應該還要增加載負量，才能觀測到的濾餅的形成。同時對於油滴氣膠而言，過去部分研究發現油滴會溶解在濾材表面 (Barrett and Rousseau, 1998)，因此不會形成濾餅，因此在穿透率變化上是符合過去文獻所說明的現象，而壓降部分可能還要再增加載負量才能除到明顯的變化。圖四十五與圖四十六則是中性帶電 NaCl 與 DOP 氣膠微粒在表面風速 10cm/s ，在 0.01M SO 處理之帶電濾材上之載負圖形，其試驗結果與在 DDAB 處理之帶電氣膠相當類似，同樣是隨著載負重量的增加，穿透率仍是上升的趨勢，同時壓降並沒有隨著載負量的增加而有明顯的改變。圖四十七與圖四十八則是中性帶電 NaCl 與 DOP 氣膠微粒在表面風速 10cm/s ，在 0.01M SDS 處理之帶電濾材上之載負圖形，其試驗結果與在 DDAB 與 SO 處理之帶電氣膠相似，同樣是隨著載負重量的增加，穿透率仍是上升的趨勢，同時壓降並沒有隨著載負量的增加而有明顯的改變。

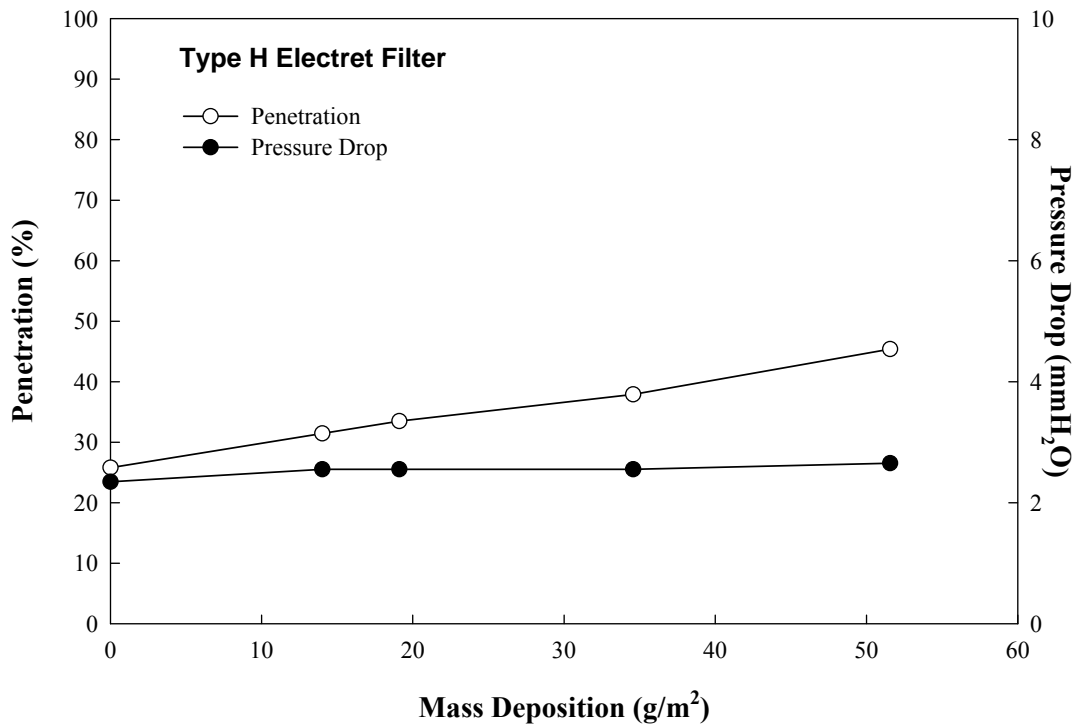
綜合以上五種帶電濾材之載負結果可以發現，在 50g/m^2 的載負量時，並無法觀測到濾餅的形成，而在過去文獻中， 50g/m^2 的載負量即可觀測到濾餅的形成，主要原因在於計畫中所採用之測試氣膠粒徑太小，因此必須增加器將微粒載負量，才能觀察到濾餅的形成。



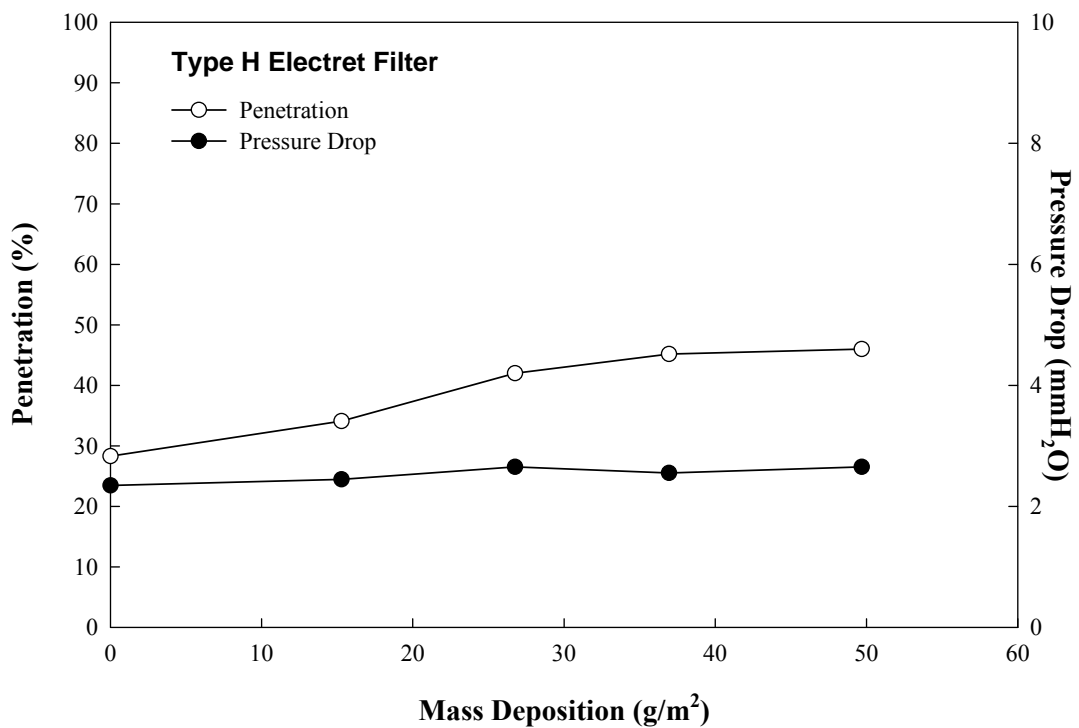
圖三十九、 NaCl 測試氣膠對 M 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



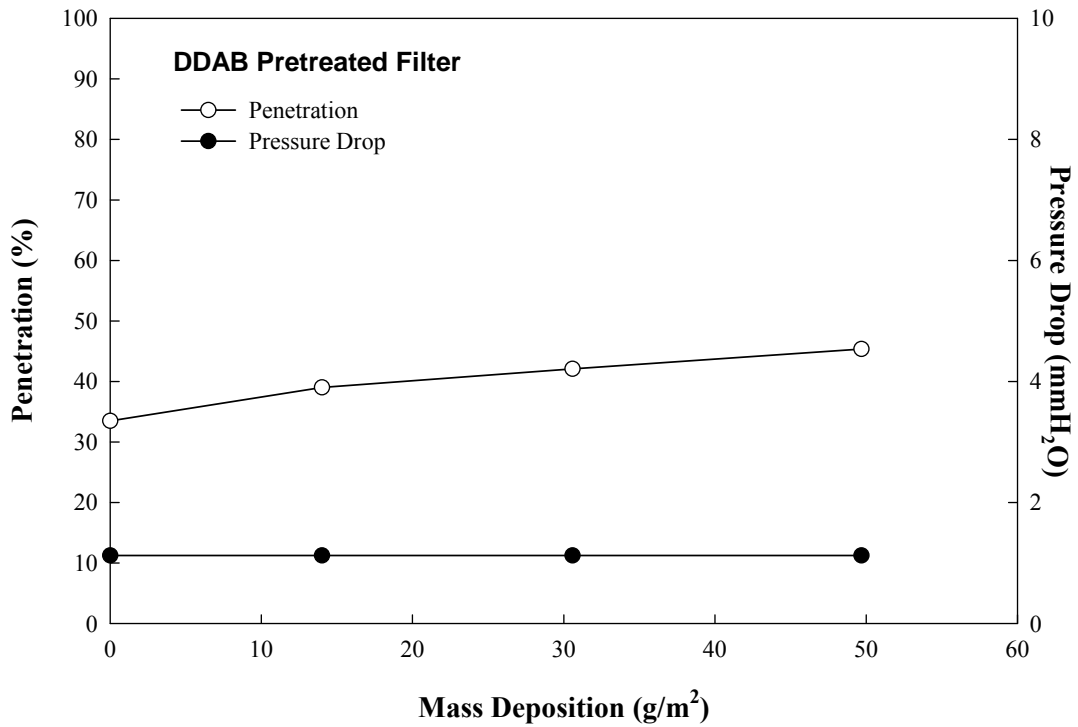
圖四十、 DOP 測試氣膠對 M 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



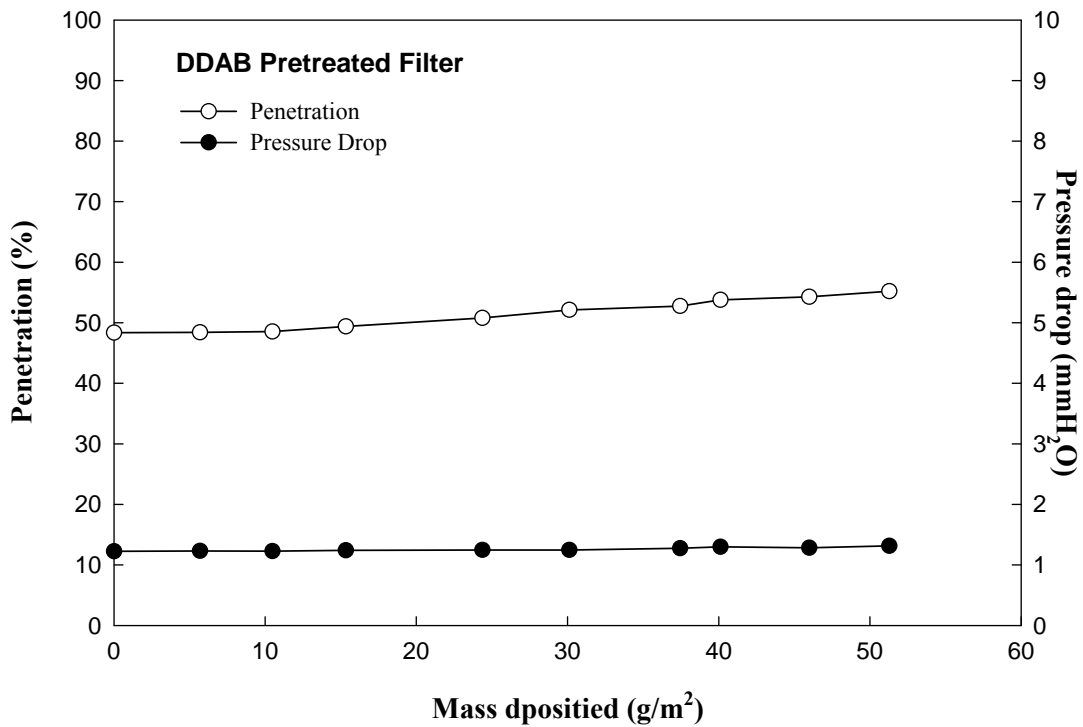
圖四十一、 NaCl 測試氣膠對 H 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



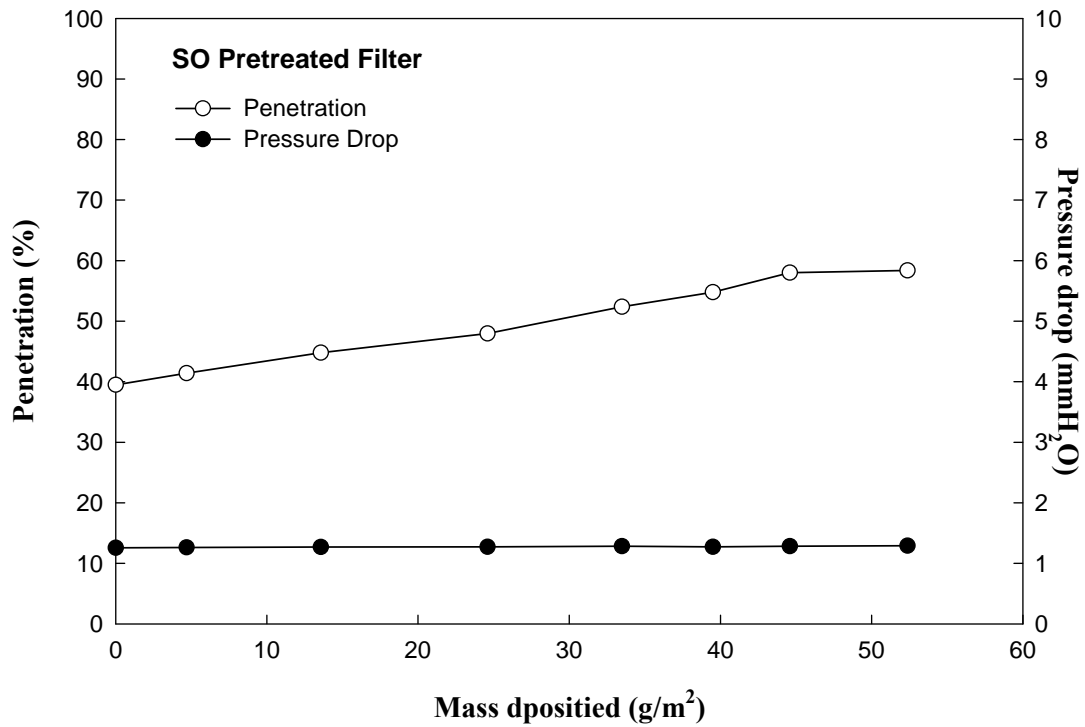
圖四十二、 DOP 測試氣膠對 H 型靜電濾材進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



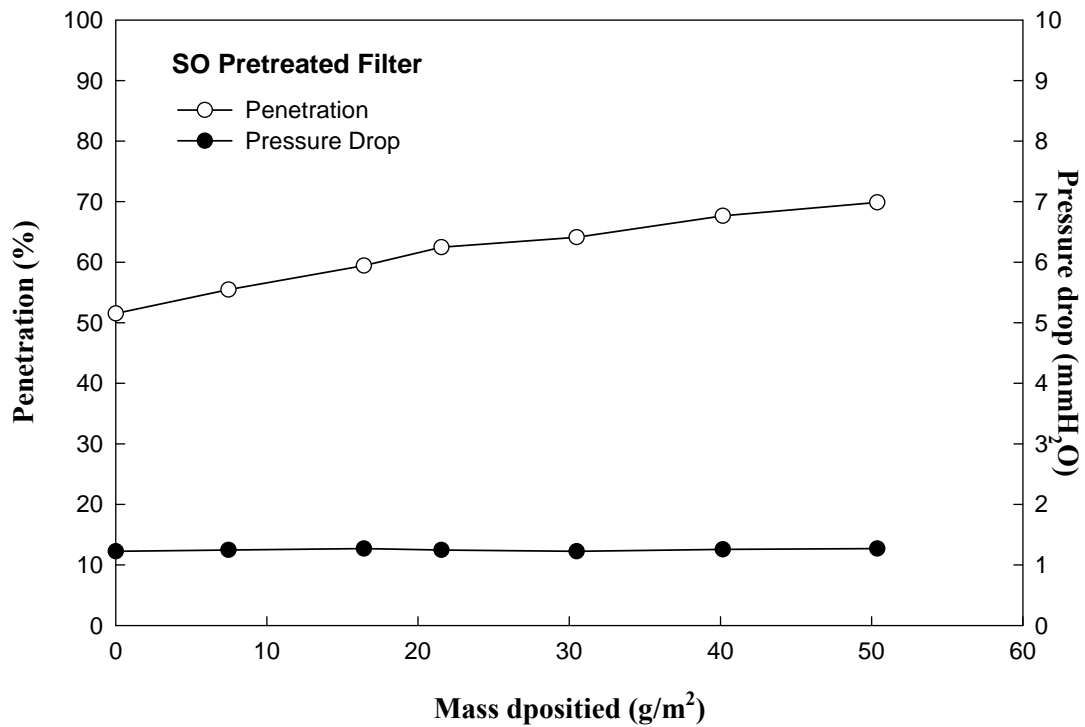
圖四十三、 NaCl 測試氣膠對 DDAB-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



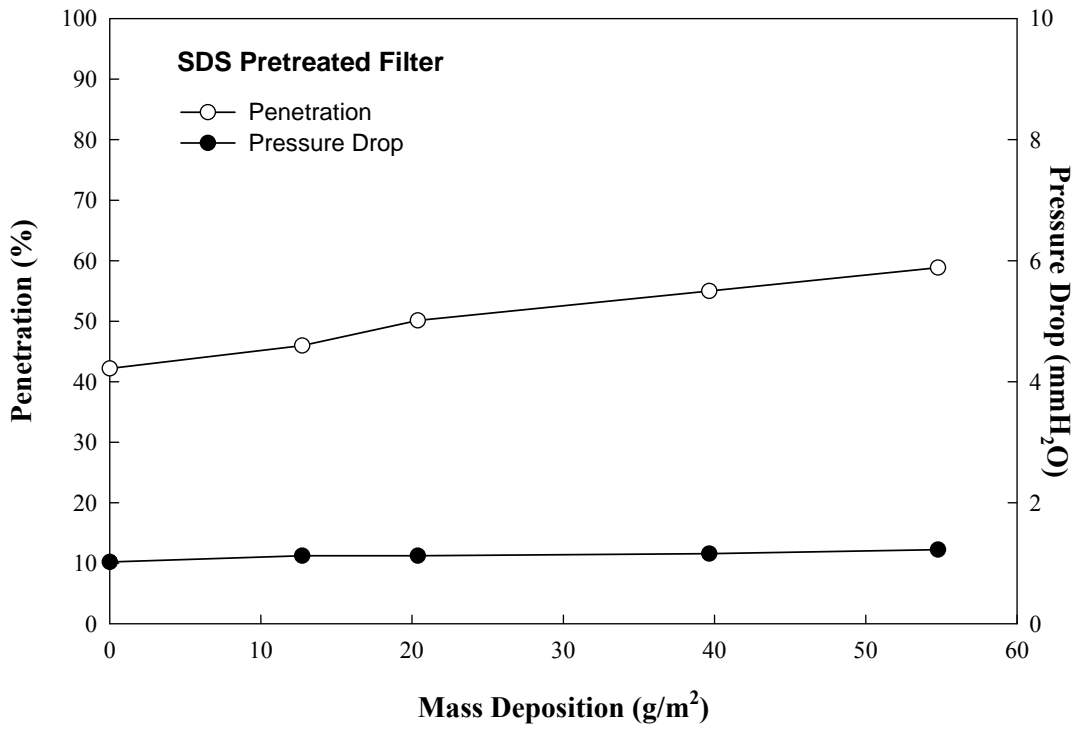
圖四十四、 DOP 測試氣膠對 DDAB-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



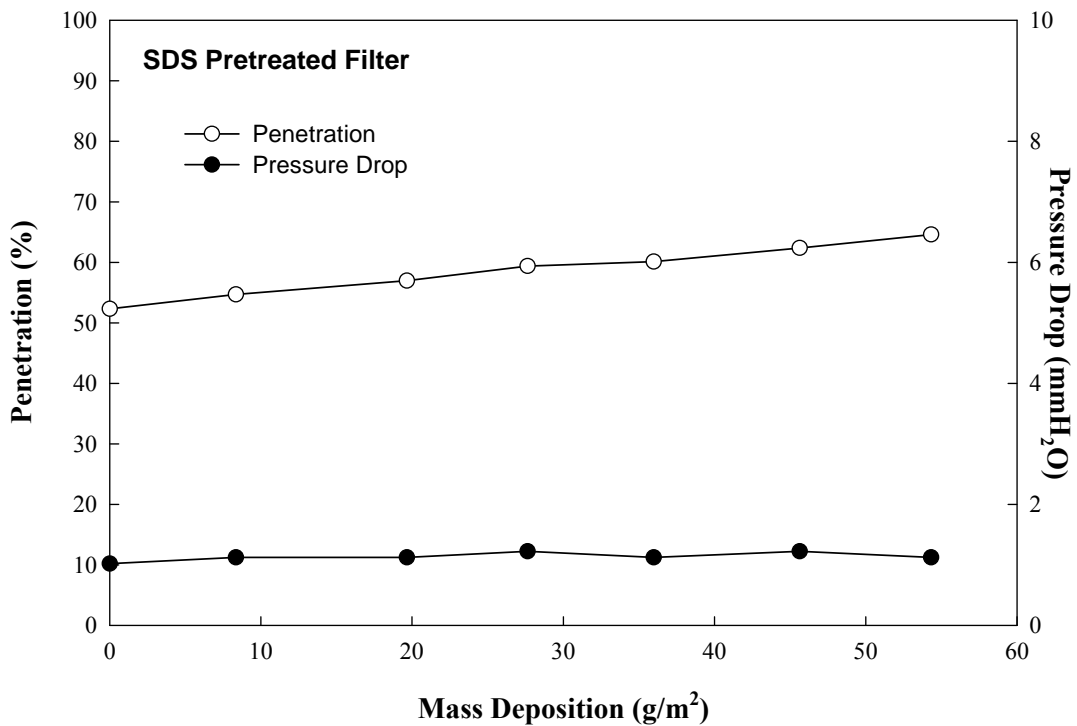
圖四十五、 NaCl 測試氣膠對 SO-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



圖四十六、 DOP 測試氣膠對 SO-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



圖四十七、 NaCl 測試氣膠對 SDS-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)



圖四十八、 DOP 測試氣膠對 SDS-Pretreated Filter 進行載負之載負圖形 (10 cm/s)

第五章 結論與建議

1. 本計畫針對市售兩種靜電濾材(M 與 H 型)、兩種活性炭/靜電複合濾材(AM 與 AH 型)及本實驗室所研發之三種不同界面活性劑(DDAB, SO 及 SDS)調理之帶電濾材(Surfactant-Pretreated Filter, SPF)進行測試, 實驗結果可以發現, 靜電濾材與複合性在 $0.3\ \mu\text{m}$ 下時穿透率大約為 15~20%, 而 SPF 濾材(0.01M 濃度下前處理)在 $0.3\ \mu\text{m}$ 下穿透率大約是在 45~60%, 此三大類濾材之最大穿透粒徑均在 $0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ 。
2. 比較不同濃度的 SPF 帶電濾材, 結果可以發現隨著濃度的增加, SPF 之微粒穿透率也隨之下降, 表示濃度增加會使得濾材表面帶電量增加。
3. 比較不同帶電量氣膠微粒對靜電濾材之過濾效率, 可以發現微粒帶電量越大, 其過濾效率越高。
4. 比較不同風速對過濾效率的影響, 可以發現隨著表面風速由 $10\ \text{cm/s}$ 增加至 $100\ \text{cm/s}$ 時, 氣膠微粒的穿透率隨之上升, 主要是受到靜電力與擴散沉降的影響。
5. 比較油滴氣膠與固體氣膠微粒之過濾現象, 發現靜電濾材對於固體氣膠微粒有較佳的過濾效率。而比較不同介電常數之氣膠微粒過濾現象可以發現, 當氣膠微粒之介電常數越大, 其過濾效率越佳。
6. 比較在不同濕度下靜電濾材之過濾現象, 結果發現, 市售靜電濾材在高相對濕度時, 其過濾效率較差, 主要原因分為兩個部分, 一為在過去文獻中提到, 在高相對濕度時, 水氣會改變靜電濾材結構導致過濾效率下降, 另一解釋為水分子具有高度極性, 極有可能會干擾靜電濾材表面上之電場, 造成去極化的效果, 導致過濾效率下降。SPF 帶電濾材則不會受到相對濕度影響, 主要原因在於界面活性劑調理之帶電濾材, 是由於結構中具備離子性的電荷分離所造成, 並不會受到水分子干擾其表面電場, 因此, SPF 帶電濾材之過濾效率並不會受到濕度改變的影響。
7. 根據實驗結果推算出五種靜電濾材(M 型靜電濾材、H 型靜電濾材、0.01M DDAB-Pretreated Filter、0.01M SO-Pretreated Filter、0.01M SDS-Pretreated Filter) 之表面電場分別是 201774、181591、118670、101091、87005, 結果發現市售靜電濾材之表面電場較 0.01M SPF 之表面電場來的高, 不

過 SPF 帶電濾材之表面可利用增加界面活性劑之濃度來增加其表面電量。

8. 比較在 50g/m² 時，五種靜電濾材之過濾現象，實驗結果發現在 50 g/m² 的載負過程中，五種濾材之穿透率仍隨著載負量之增加而上升，同時濾材之壓降均未有明顯之上升，表示在此一載負的過程中濾材之濾餅均尚未形成。

參考文獻

1. Barrett, L. W., and Rousseau, A. D. (1998). Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 59:532-539.
2. Baumgartner, H. P., and Löffler, F. (1986). The Collection Performance of Electret Filters in the Particle Size Range of 10 nm-10 μm , *J. Aerosol Sci.* 17:438-445.
3. Brown, R. C. (1993). *Aerosol Filtration: An Integrated Approach to the Theory and Applications of Fibrous Filters*, Pergammon Press, Oxford, pp. 120-177.
4. Brown, R. C. (1981). Capture of Dust Particles in Filters by Line-Dipole Charged Fibres, *J. Aerosol Sci.* 12:349-356.
5. Chen, C. C., and Huang, S. H. (1998). The Effects of particle Charge on the Performance of a Filtering Facepiece, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 59:227-233.
6. Daniell, W., Camp, J., and Horstman, S. (1991). Trial of a negative ion generator device in remediating problems related to indoor air quality, *Journal of Occupation Medicine.* 33(6):681-687.
7. Fjeld, R. A., and Owens, T. M. (1988). The Effect of Particle Charge on Penetration in the Electret Filter, *IEEE Transactions on Industry Applications.* 24:725-731.
8. Hedge, A., and Collis, M. D. (1987). Do negative air ions affect human mood and performance, *Ann. Occup. Hyg.* 31:285-290.
9. Hind, W. C. (1982). *Aerosol Technology*, John Wiley and Son, New York.
10. Jones, A. P. (1999). Indoor Air Quality and Health, *Atmospheric Environment.* 33:4535-4564.
11. Kanaoka, C., Emi, H., and Otani, Y., and Iiyama, T. (1987). Effect of Charging State of Particles on Electret Filtration, *Aerosol Sci. Technol.* 7:1-13.
12. Kim, S., Stioutas, C., and Chang, M. (2000). Electrostatic Enhancement of the Collection Efficiency of Stainless Steel Fiber Filters, *Aerosol Sci. Technol.* 32:197-213.
13. Latrache, R., and Fissan, H. J. (1987). Enhancement of Particle Deposition in Filters due to Electrostatic Effects, *Proc. Filtration. Soc.* 418-422.

14. Lance, W. (1996). Indoor Particles: A Review, *Air and Waste Manage. Assoc.* 46:98-126.
15. Li, C. S., and Lin, C. H. (2003). Carbon Profile of Residential Indoor PM1 and PM2.5 in the Subtropical Region, *Atmospheric Environment.* 37:881-888.
16. Lehtimäki, M., and Heononen, K. (1994). Reliability of Electret Filters, *Building and Environment.* 29:353-355.
17. Lin, C. Y., and Li, C. S. (2001). Control Effectiveness of Bioaerosols Using Titanium Dioxide Photocatalyst, the Proceeding of 2001 Conference on Aerosol Science and Technology. 257-260.
18. Maloney, M., Wray, B., DuRant, R., and Smith, L. (1987). Effects of an electronic air cleaner and negative ionizer on the population of indoor mold spores, *Annals of Allergy.* 192-194.
19. Mermelstein, J., Kim, S., and Stioutas, C. (2001). Electrostatically Enhanced Stainless Steel Filters: Effect of Filter Structure and Pore Size on Particle Removal, *Aerosol Sci. Technol.* 36:62-75.
20. Nelson, H., Hirsch, S., Ohman, J., Platts, M. T., Reed, C., and Solomon, W. (1988). Recommendations for the use of residential air-cleaning device in the treatment of allergic respiratory diseases, *J. Allergy Clin. Immunol.* 82(4):661-669.
21. Pich, J., and Emi, H., and Kanaoka, C. (1987). Coulombic Deposition Mechanism in Electret Filters, *J. Aerosol Sci.* 17:29-35.
22. 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.
23. Shi, L., Chen, B., and Wang, Y. (1988). Electret Air Filter Used for Getting Rid of Bacteria, *Electrets, (ISE 6) Proceedings, 6th International Symposium on.* 549-552.
24. Su, W. H. (1996). Indoor air pollution, *Resource, Conservation and Recycling.* 16: 77-91.
25. Tennal, K. B., Mazumder, M. K., and Slag, A. (1991). Effect of Loading with

- an Oil Aerosol on the Collection Efficiency of an Electret Filter, *Particulate Sci. Technol.* 9:19-29.
26. Trottier, R. A., and Brown, R. C. (1990). The Effect of Aerosol charge and filter charge on the Filtration of Submicrometer Aerosols, *J. Aerosol Sci.* 21(1):S689-S692.
 27. Walsh, D., and Stenhouse, I. (1996). Experimental Studies of Electrically Active Fibrous Filter Loading, *Part. Part. Syst. Charact.* 13:47-53.
 28. Walsh, D., and Stenhouse, I. (1997). The Effect of Particle Size, Charge, and Composition on the Loading Characteristics of an Electrically Active Fibrous Filter Material, *J. Aerosol Sci.* 28(2):307-321.
 29. Walsh, D., and Stenhouse, I. (1997). Clogging of an electrically active fibrous filter material : experimental results and two-dimensional simulations, *Powder Technology.* 93:63-75.
 30. Walsh, D., and Stenhouse, I. (1998). Parameters Affecting the loading Behavior and Degradation of Electrically Active Filter Materials, *Aerosol Sci. Technol.* 29:419-432.
 31. Wang, C. S. (2001). Electrostatic Forces in Fibrous Filters-A Review, *Powder Technology.* 118:166-170.
 32. Yang, S. H., and Lee, W. H. G. (2002), Filtration Efficiency of Filter Pretreated with Surfactants, *6th International Aerosol Conference*, 1281-1282.
 33. 廖述良等. (1991). 一般室內空氣污染物與污染源現況之調查研究, EPA-80-F101-09-24, 行政院環保署。
 34. 王秋森. (1993). 氣膠技術學, 國立台灣大學醫學院出版委員會出版, 台北.