

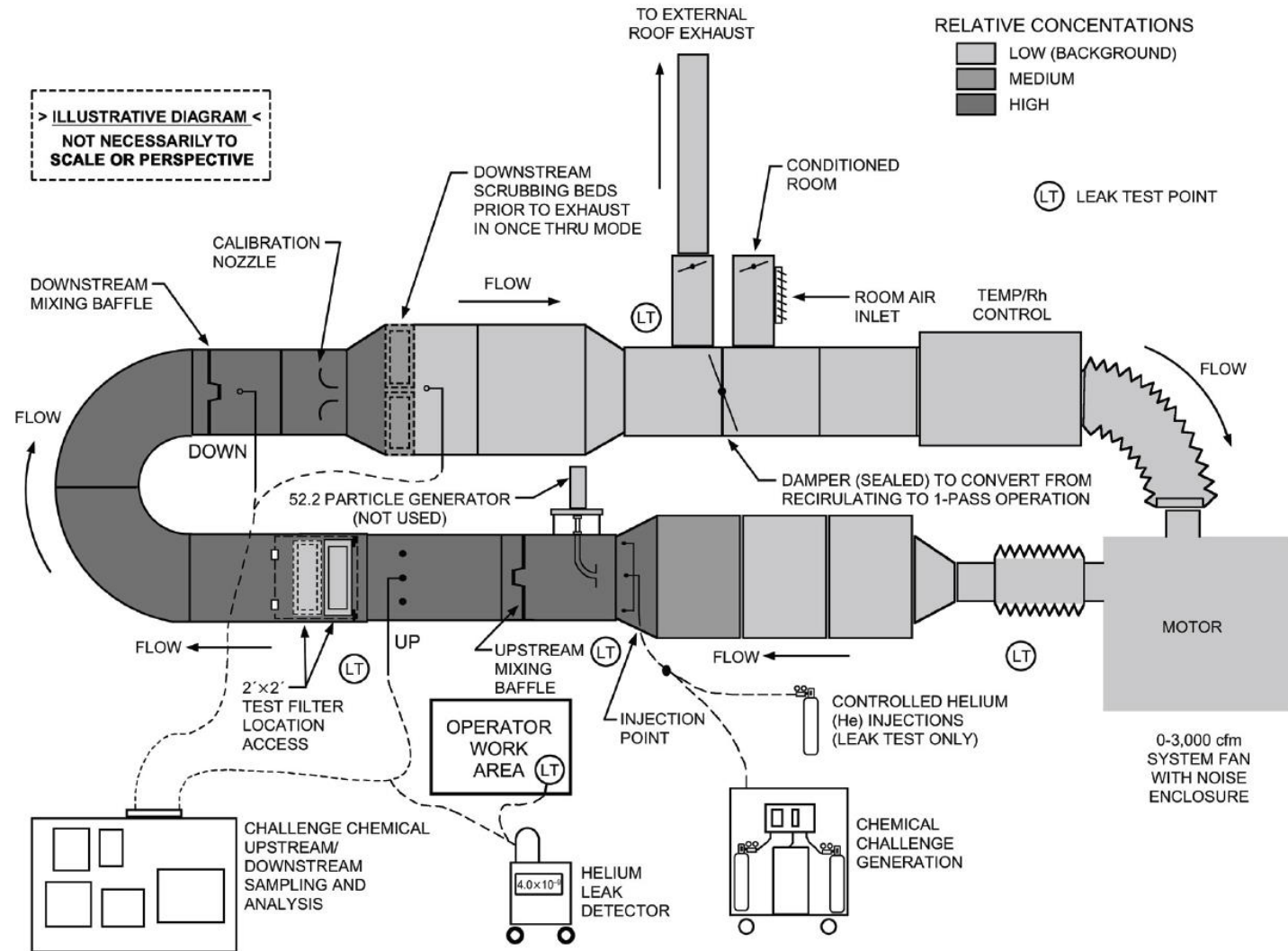
高效濾網容塵量對碳排之影響

測試系統簡介&運轉能耗分析

林迪 博士
國立台北科技大學 潔淨技術研發中心

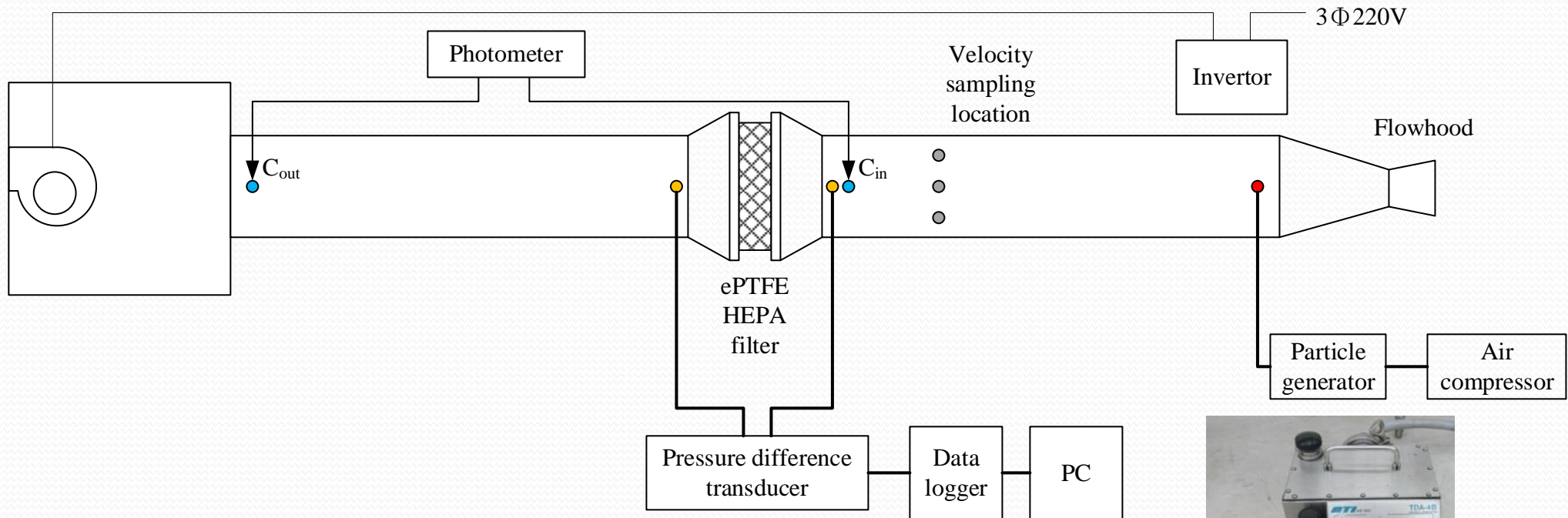
系統介紹

- 容塵量測試手法與測試器材
 - PAO & KCl
- 測試結果與分析



Ref. ASHRAE 145.2 & 52.2

實驗方法(PAO)



實驗方法

- 將待測PTFE過濾器經電子磅秤量取初始重量後，放置到測量位置
- 啟動離心風機，使用變頻器控制風機轉速，以維持入風口的額定風量
- 在風管上游利用煙霧產生器以Laskin噴嘴釋放濃度 $50\mu\text{g}/\text{L}$ 的PAO煙霧
- 壓差每上升 50Pa 時，使用氣溶膠光度計測量風管上下游PAO濃度，當壓差急速上升時，改為每上升 100Pa 量測一次，每次記錄數據為12筆取其平均值，得知當下HEPA過濾器的穿透率，經計算後得知當下的效率
- 最終壓差上升至 500Pa 時，擷取與記錄的實驗數據整理，並用電子磅秤量測HEPA過濾器實驗前後的重量，以計算該階段所附著的容塵量



*風管尺寸為
600*600mm

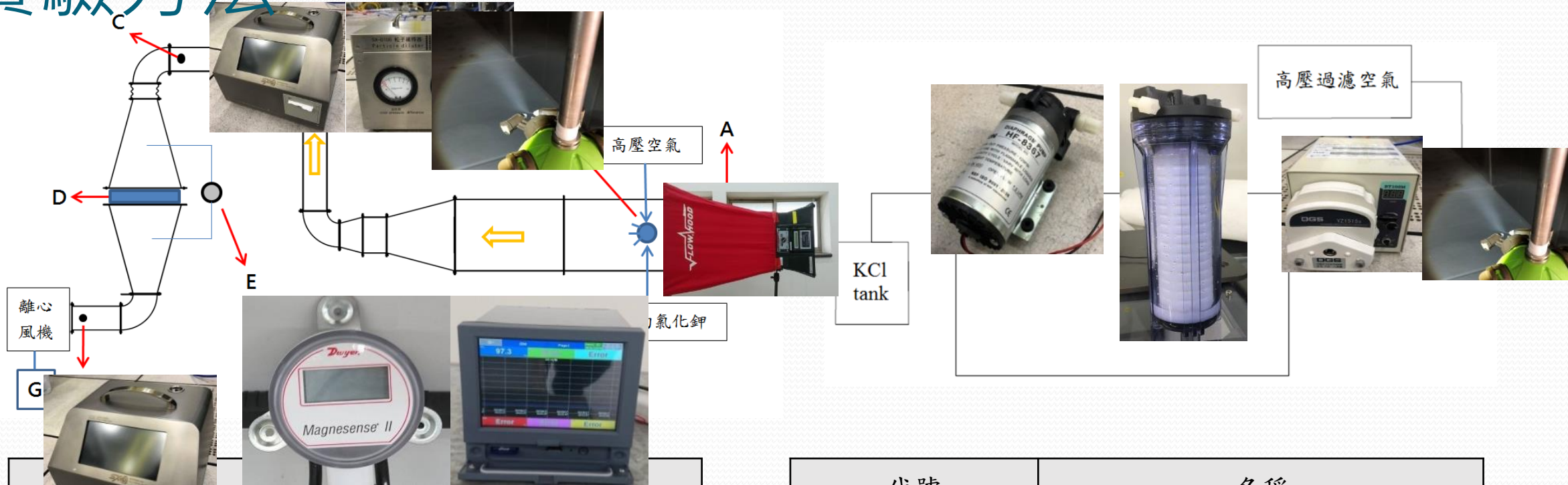
實驗方法

- 將待測PTFE過濾器經電子磅秤量取初始重量後，放置到測量位置
- 啟動離心風機，使用變頻器控制風機轉速，以維持入風口的額定風量
- 開啟二流體乾霧加濕器的氣側(空壓機氣閥的調壓閥調至3 kgf/cm²)再開水側系統(水泵浦、蠕動泵浦轉速調製7.6 r.p.m.，使水側流量維持4.18ml/min) 和無紙紀錄器開始記錄壓差數值
- 每過兩小時記錄一次上下游的粒子計數器，以及每過30分鐘檢查風量有無變化，如有變化便調升變頻器頻率，以維持入風口風量。當壓差急速上升時，改為10分鐘調一次頻率
- 當HEPA 到達臨界點500Pa時，擷取與記錄的實驗數據整理，並用電子磅秤量測HEPA過濾器實驗前後的重量，以計算該階段所附著的容塵量



*風管尺寸為600*600mm
方型風管和直徑200mm
圓形風管

實驗方法



代號	名稱
B	二流體乾霧加濕器
C	粒子計數器(上游)
D	PTFE濾網放置處
E	壓差計、無紙紀錄器

代號	名稱
F	粒子計數器(下游)
G	變頻器、離心風機
H	蠕動泵浦
I	0.1 μ m PTFE水濾芯
J	水泵浦

實驗設備



氣溶膠光度計

- 型號：ATI 2H
- 動態範圍：0.00005~120 $\mu\text{g/L}$
- 準確度：1%
- 再現性：0.5%
- 取樣頻率：1 CFM (28.3 L/min)



粒子計數器

- 型號：SX-L310S
- 製造商：蘇州市蘇信淨化設備廠
- 量測粒徑範圍：0.3~1.0 μm
- 流量誤差： $\pm 5\%$



風罩式風量計

- 型號：ADM-850
- 量測範圍：100 ~ 2000 CFM (2830~56600 L/min)
- 讀值： ± 7 cfm (± 198.1 L/min)
- 精度： $\pm 3\%$



粒子稀釋器

- 型號：SX-D100
- 製造商：蘇州市蘇信淨化設備廠
- 稀釋倍數範圍：1:70~100 ($@ \geq 0.3 \mu\text{m}$)
- 採樣流量：2.83L/min



煙霧產生器

- 型號：ATI TDA-4B
- 氣溶膠濃度：100 $\mu\text{g/L}$ @*810CFM (22923 L/min)
- Source Air：最小2.65CFM (74.995L/min)/噴嘴@ 20/23 psig
- 氣溶膠類型：多分散性粒子(冷流體)



二流體乾霧加濕器

- 型號：AKIMist® "E"
- 噴嘴：03C
- 噴嘴材質：PTFE
- 噴霧流量(當氣壓0.3MPa時)：2.4 ℓ/hr



蠕動泵浦

- 型號：C9ES-DG100M
- 泵頭型號：YZ1515X
- 外部介面控制：
0~5V與4~20mA、0~10V



水泵浦

- 型號：HF-8367
- 利用其1.2公升/分鐘的流量來當作我們飽和氯化鉀溶液循環過濾的動力來源。



變頻器

- 型號：SJ200
- 連接於離心風機，利用其頻率的變換調整風機的轉速，控制風管內的風速。



PTFE水濾芯

- 型號：PTFE-A01-10EN
- 在飽和氯化鉀溶液的循環過濾系統中，唯一一個過濾的介質，由PTFE濾膜構成，濾除精度為0.1 μ m。



壓差計、無紙紀錄器

- 利用壓差計量測上下游的壓阻，再利用無紙紀錄器記錄每一時段的量測值。

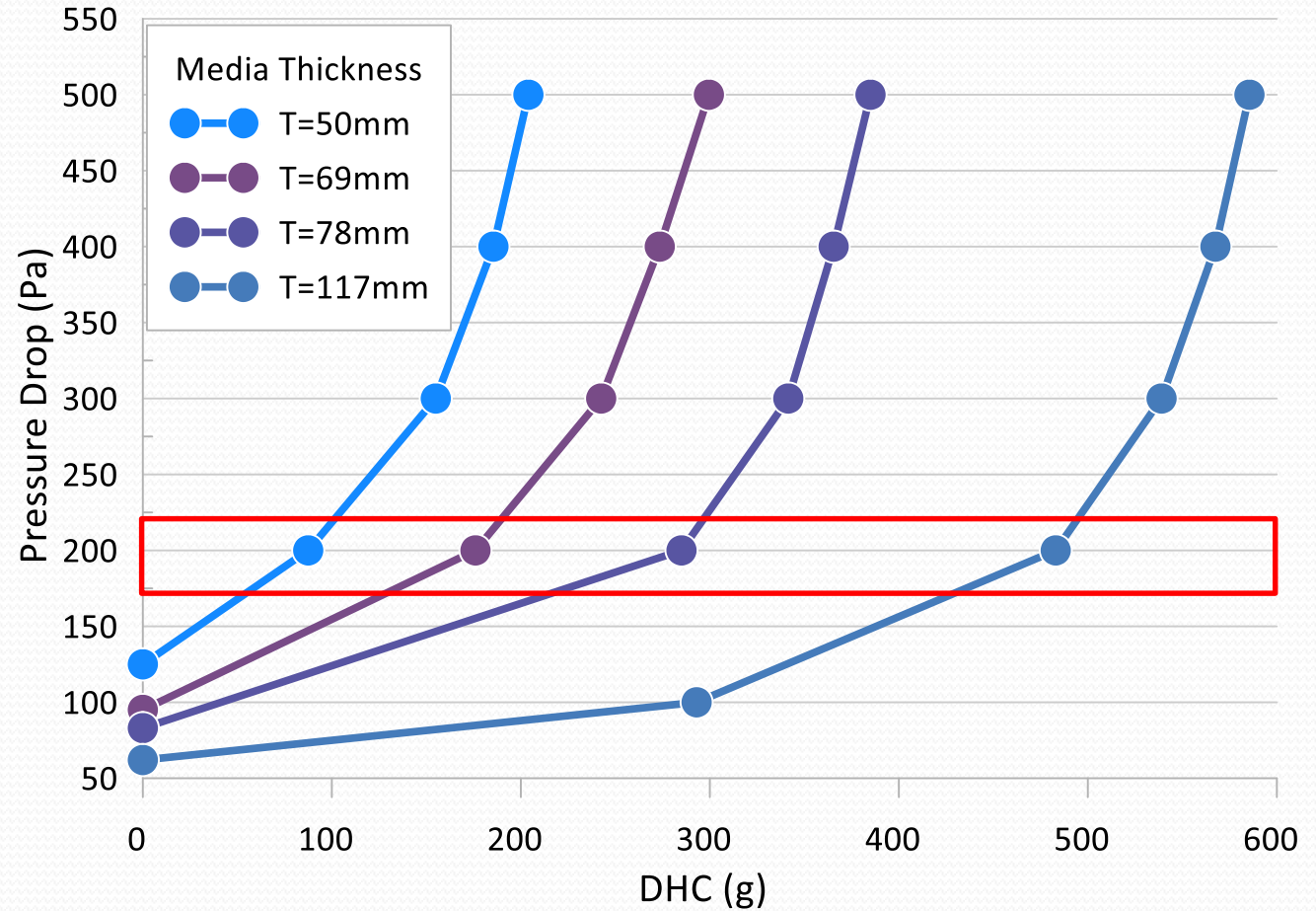
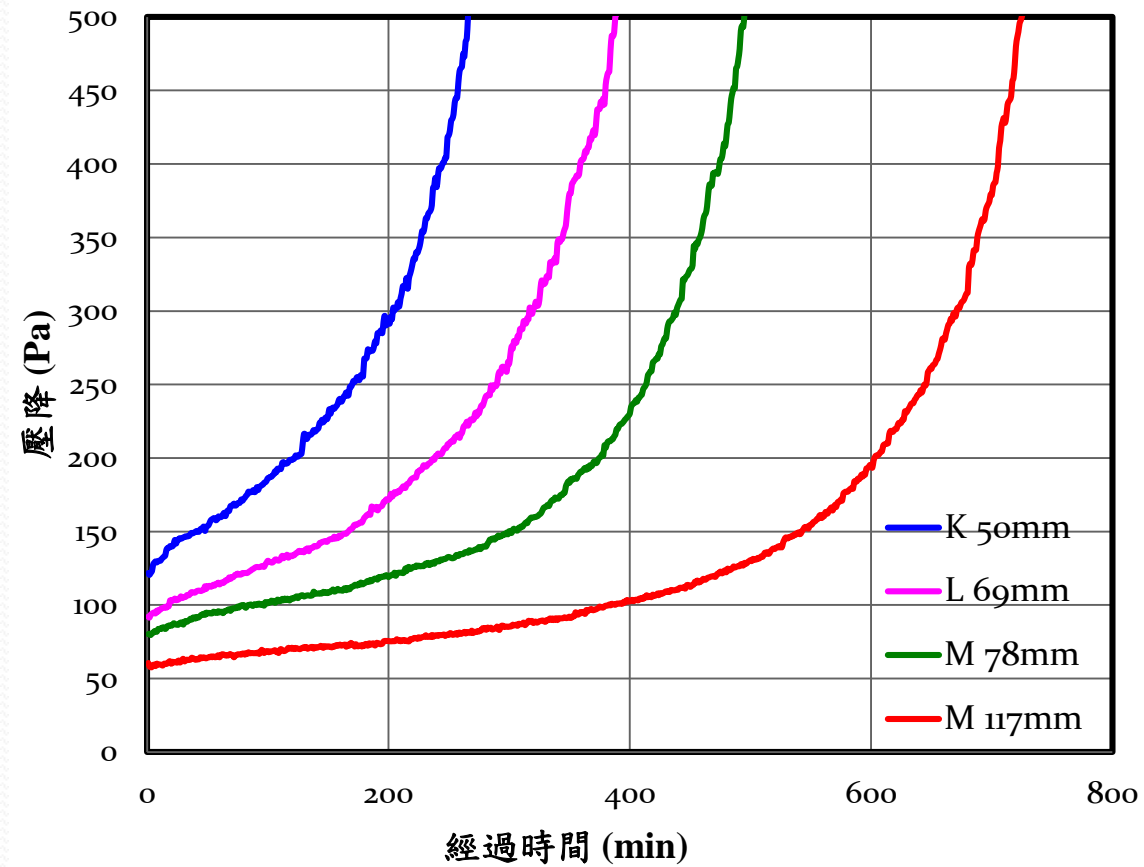


磅秤、砝碼

- 型號：HXW-7515K
- 秤量：15Kg
- 感度：0.5Kg

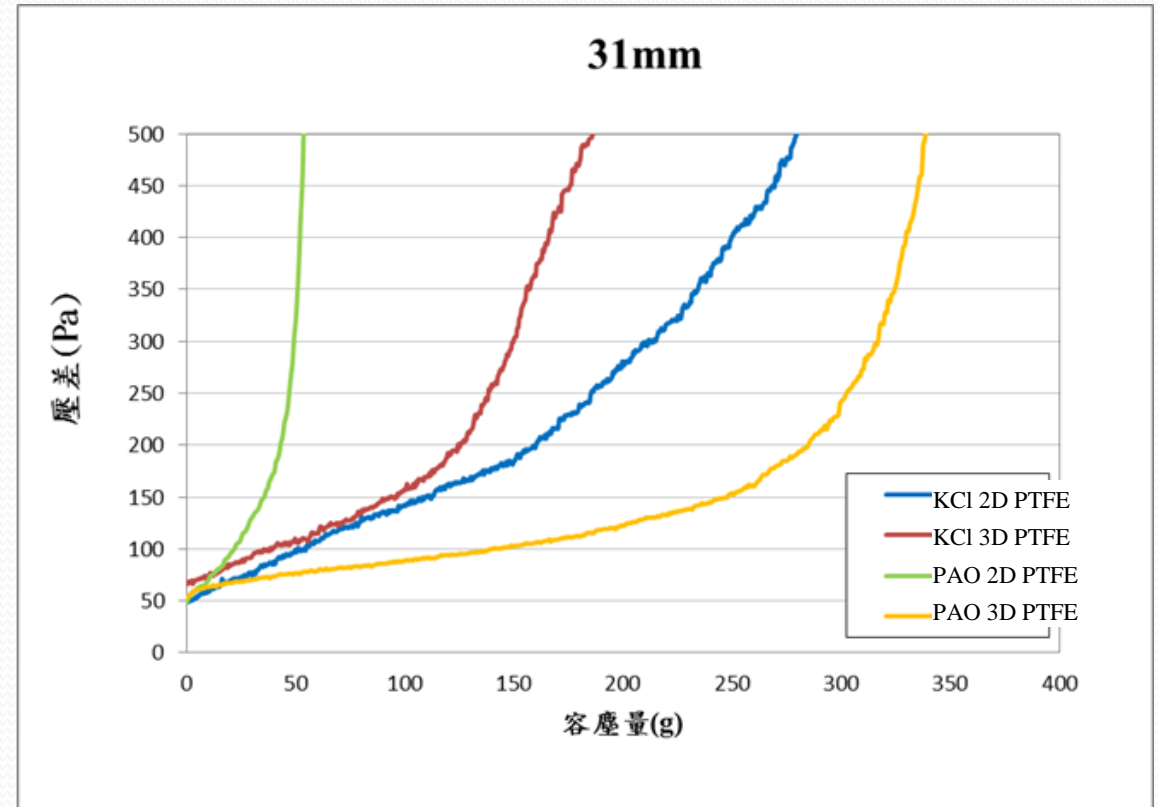
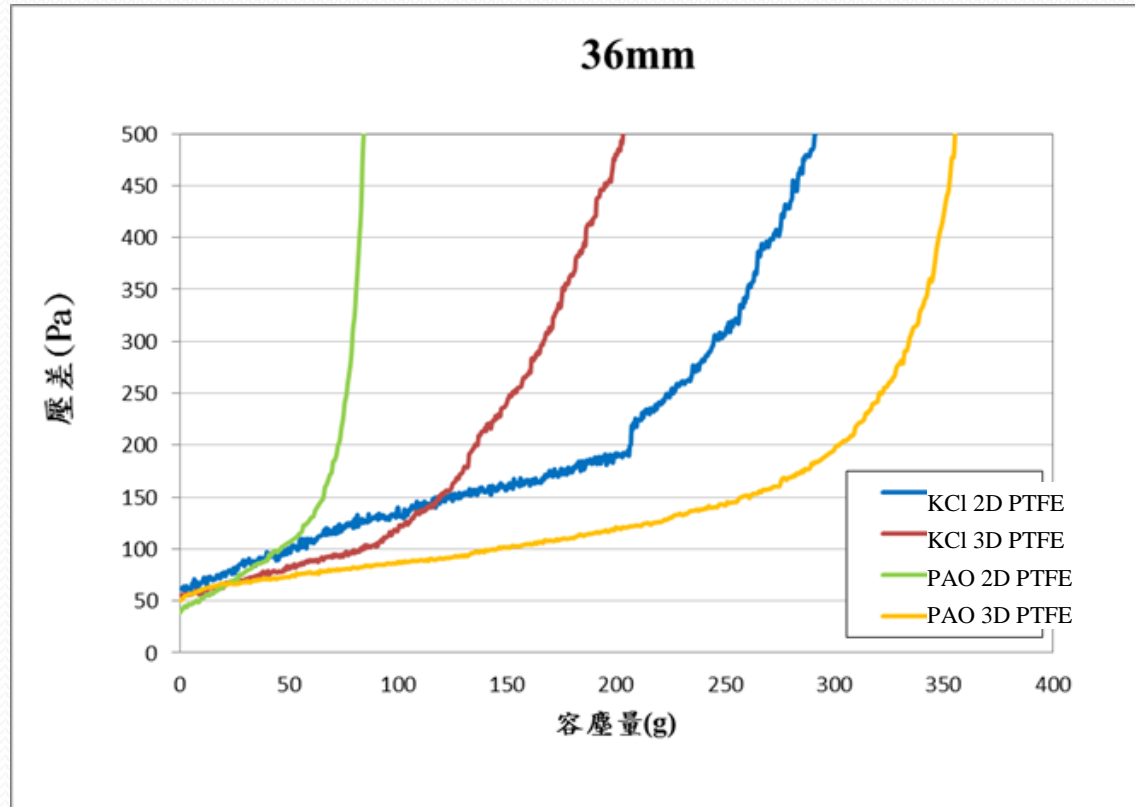
用於量測HEPA實驗前後的重量，判定其容塵量，實驗前也會利用砝碼校正其誤差。

DHC測試結果



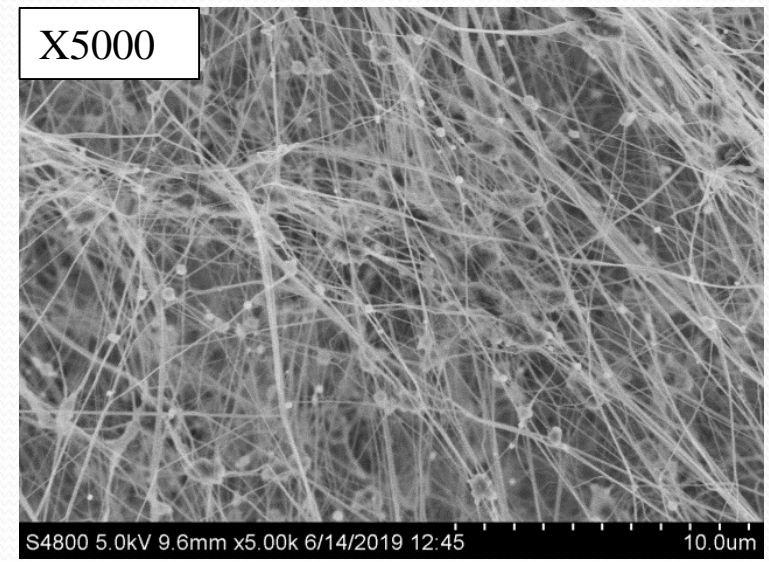
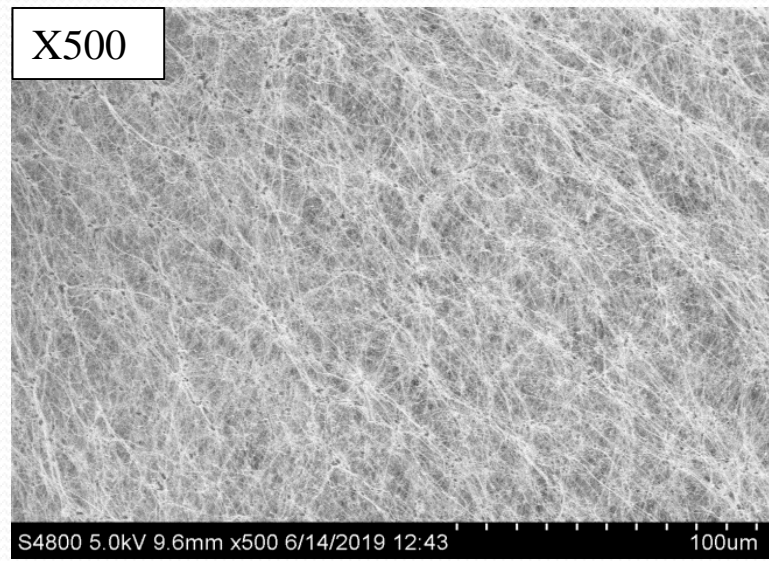
	50mm	69mm	78mm	117mm
Unit Pressure Drop [Pa/g]	0.857	0.596	0.410	0.285

DHC測試結果



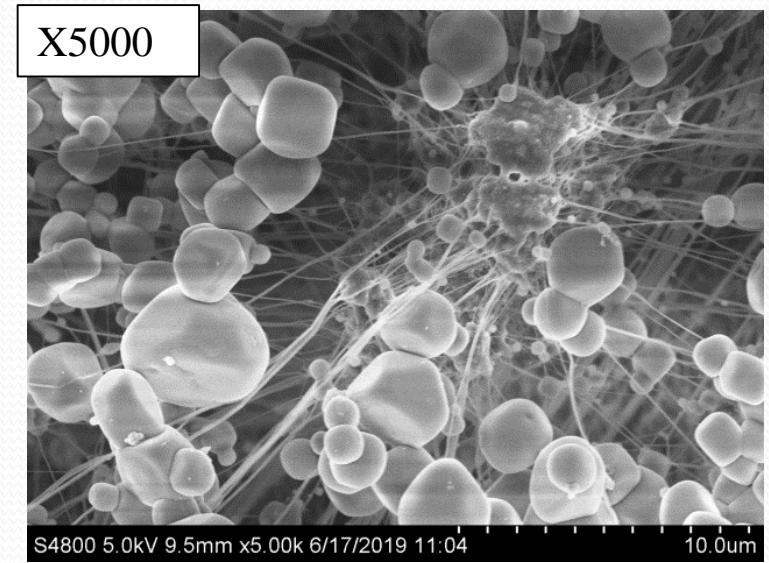
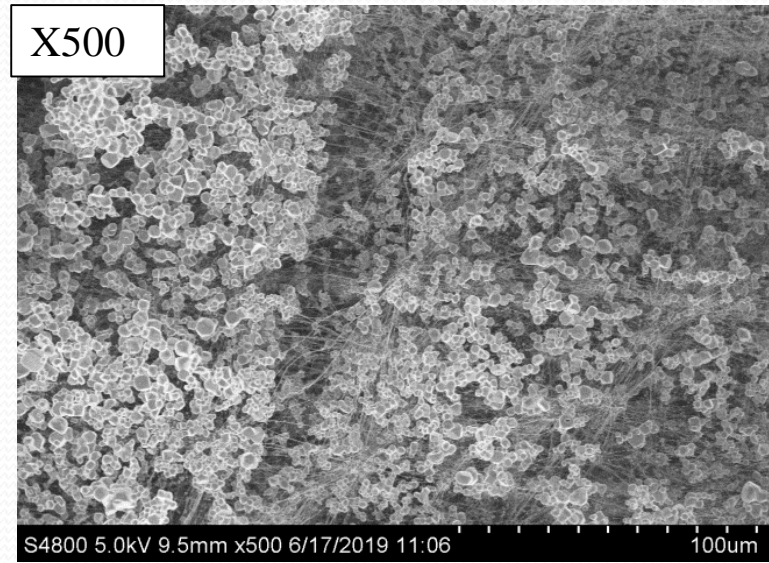
SEM測試結果

2D PTFE 上游接觸表面



➤ 2D PTFE纖維表面上只殘留約略0.3 μ m粒徑大小的鹽粒。

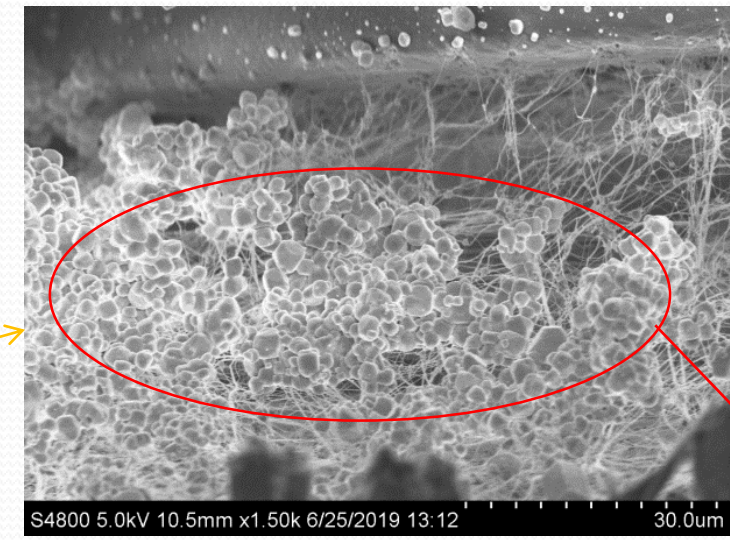
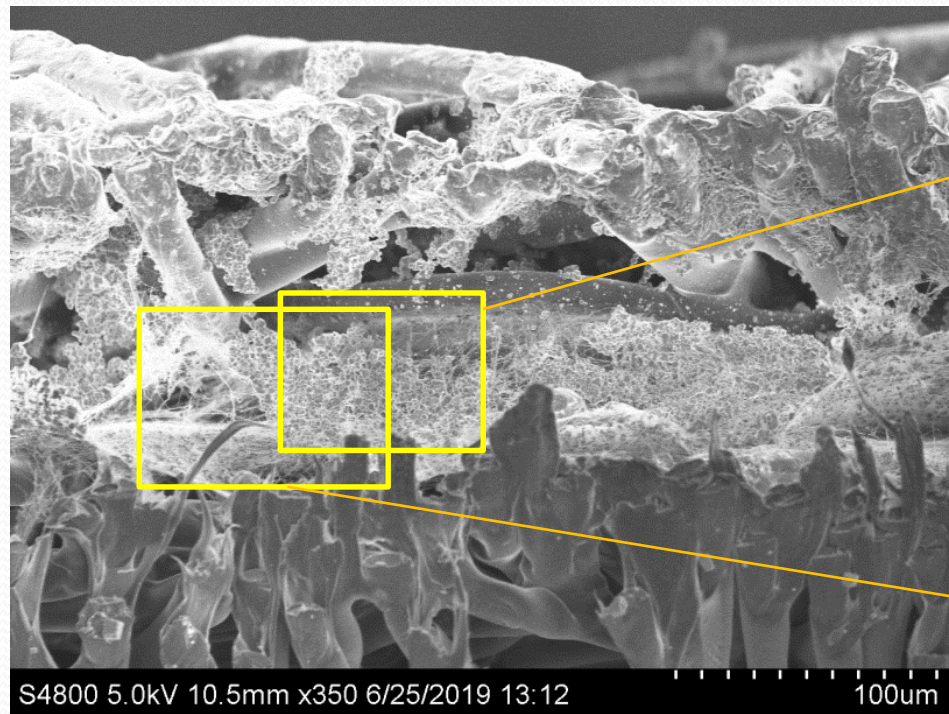
3D PTFE 上游接觸表面



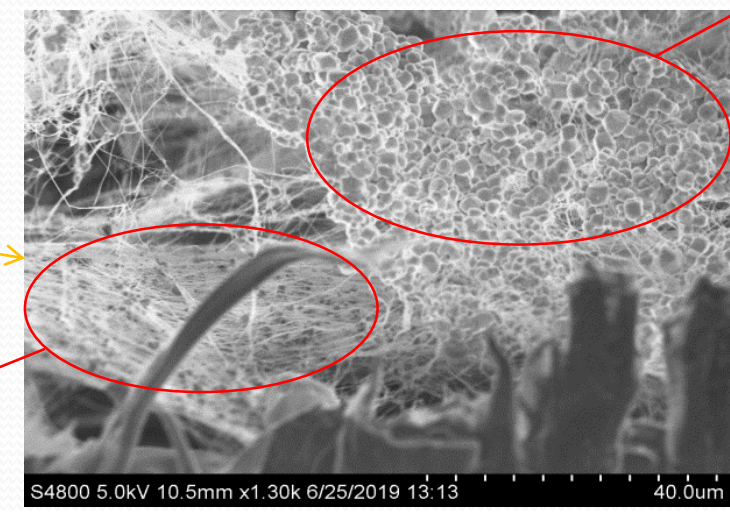
➤ 3D PTFE表面覆蓋著一層大粒徑鹽粒

SEM測試結果

2D PTFE側面



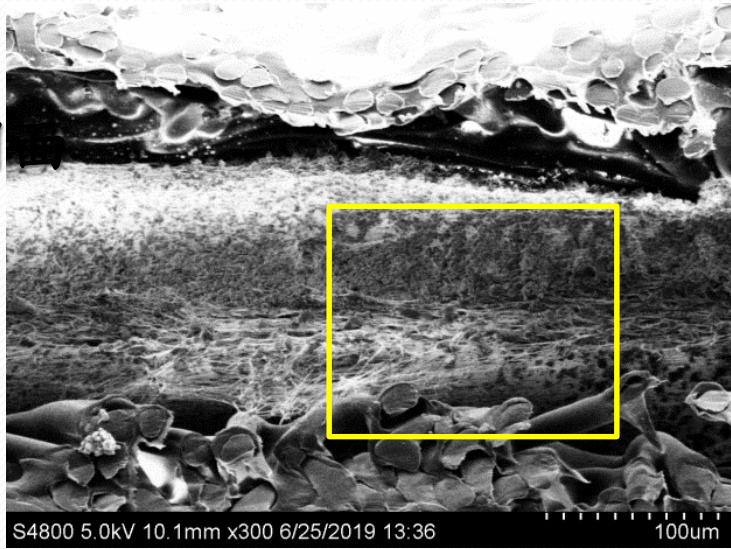
PTFE與
不織布間
為大顆粒
攔截區



明顯看出PTFE薄
膜上並無大顆粒鹽
粒

SEM測試結果

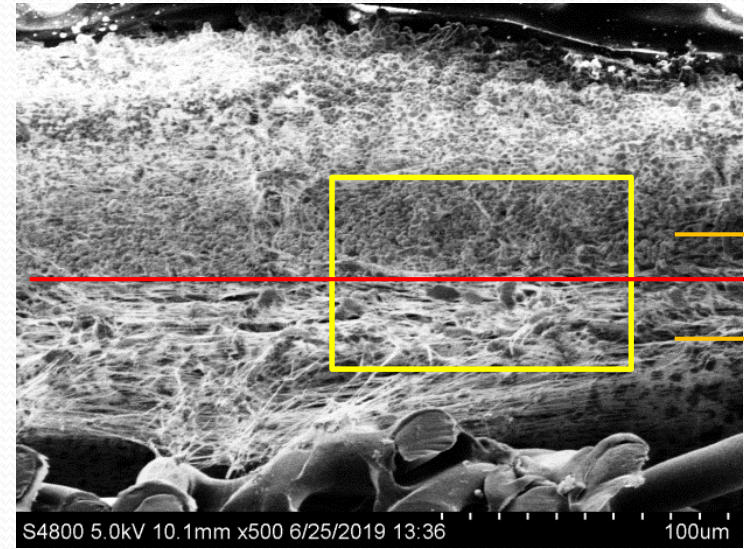
3D PTFE側



上游處

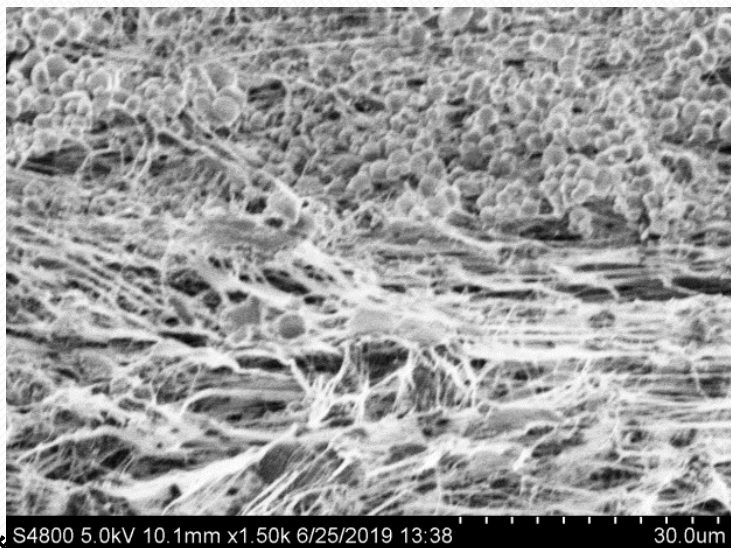


下游處



第一層薄膜

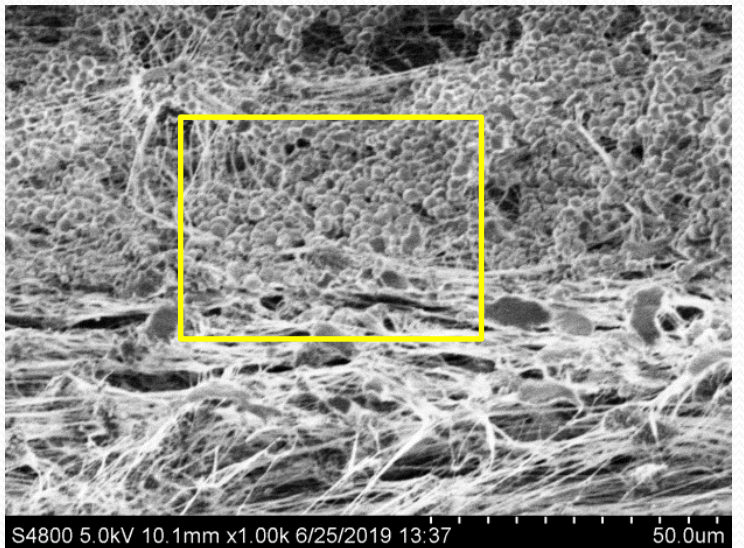
第二層薄膜



上游處



下游處



可以看到第一層 PTFE 薄膜纏繞著許多大顆鹽粒，第二層幾乎沒有鹽粒。

小結

- 2D結構的 PTFE HEPA filter 其容塵量較小，其主因為使用PTFE膜進行表面過濾，當阻塞發生時其壓損上升速率較快。
- 3D結構的 PTFE HEPA filter 其容塵量較大的原因為使用第2層較為蓬鬆之3D結構PTFE膜，減緩微粒在第二層之前形成濾餅狀的結構，達到較高的容塵量。

容塵量對能耗之影響

容塵量對運轉的能耗影響分析

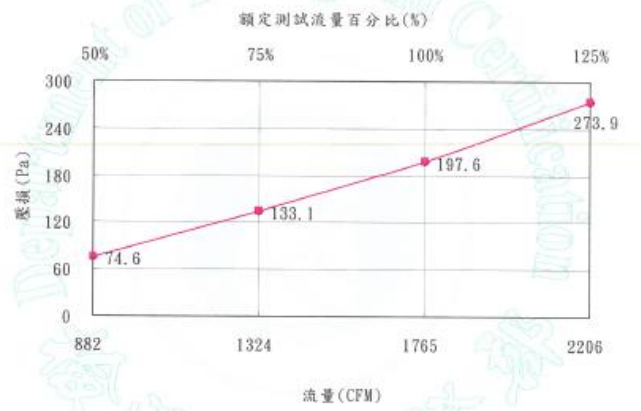
低壓損外氣空調箱濾網更換實測數據

TTRI Test Result

三、測試結果

- (1) 初始壓損：197.6 Pa (20.16 mmH₂O)
- (2) 終端壓損：500 Pa
- (3) 實際尺寸：592 x 592 x 292 mm
- (4) 過濾效率 0.3 μm：99.97%
- (5) 容塵量：2760.6 克
- (6) 流量與壓損關係

2760.6g@500Pa



額定測試流量 百分比(%)	流量		壓損	
	CFM	CMH	Pa	in. H ₂ O
50%	882	1500	74.6	0.30
75%	1324	2250	133.1	0.53
100%	1765	3000	197.6	0.79
125%	2206	3750	273.9	1.10

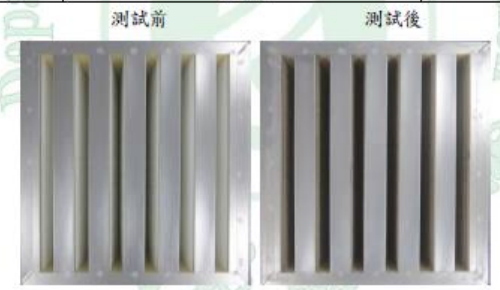
附記: 1.本報告僅對樣品負責, 樣品保留期限為一個月。
Note: This report is only responsible for the submitted sample(s), which will be kept for one month period.
2.本報告非經本檢測及驗證部書面同意, 不得摘錄複製, 但全部複製除外。
This report cannot be reproduced in any way, except in full context, without the prior approval in writing of this Department of Testing and Certification.
3.試驗報告所載事項不得作為公開廣告及商業推銷之用。
The test report should not be used for public advertisement and commercial promotion.

財團法人紡織產業綜合研究所
所長授權核發人:
Authorized by president of
Taiwan Textile Research Institute
紡織所檢測及驗證部 新北市土城區承天路六號
Department of Testing and Certification, Taiwan Textile Research Institute
No.6, Chengtian Rd., Tucheng Dist., New Taipei City 23674, Taiwan (R. O. C.)
Tel : +886-2-22670321 ext. 7107, 7110
+886-2-22698229, +886-2-22698230
Fax : +886-2-22675108, +886-2-22689839

主任 邱勝福

委託者來樣資料				
製造商:				
樣品名稱: V-HEPA FILTER99.97%鋅框-單法蘭 592*592*292mm6V				
顏色:白色		濾網基材:玻璃纖維		
濾網通稱尺寸:592 mm x 592 mm x 292 mm				
測試條件				
額定風量: 3000 CMH	風洞溫度: 25±2°C	風洞濕度: 40±5%	測試氣溶膠: PAO	粉塵種類: ISO AC Fine
濾網實際尺寸(長 x 寬 x 深):592 mm x 592 mm x 292 mm				
試驗項目	試驗結果		試驗方法	
初始壓損(Pa)	233.1		IEST-RP-CC001.5	
初始效率@0.3 μm (%)	99.97		IEST-RP-CC001.5	
容塵量@500 Pa (g)	1312.8			

1312.8g@500Pa

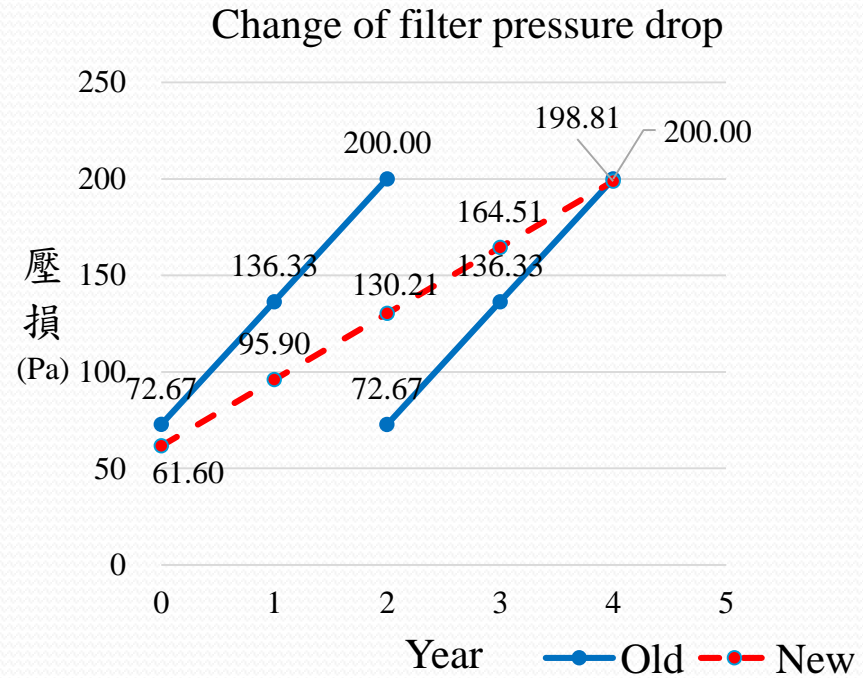
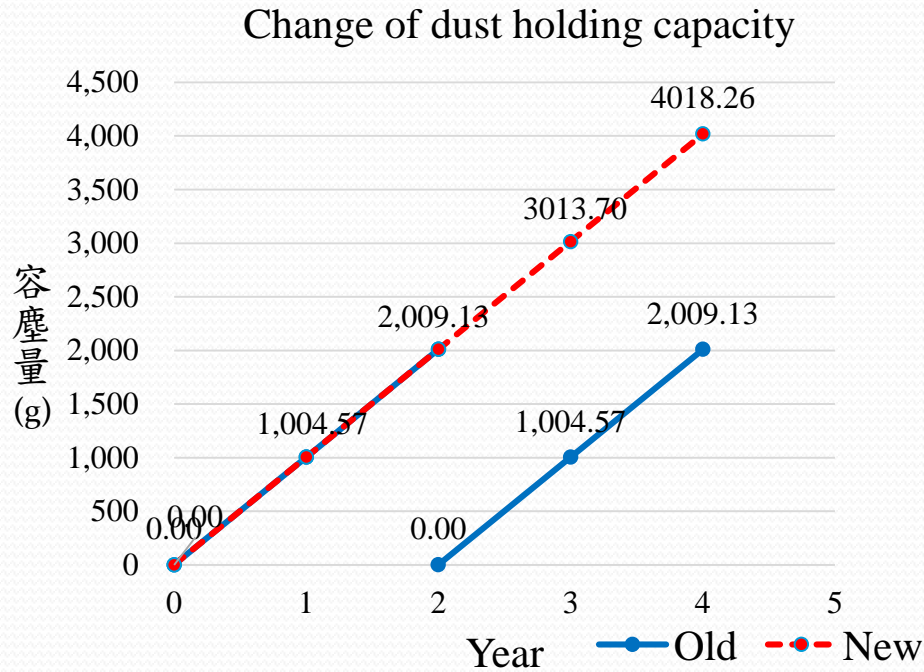


附記: 1.本報告僅對樣品負責, 樣品保留期限為一個月。
Note: This report is only responsible for the submitted sample(s), which will be kept for one month period.
2.本報告非經本檢測及驗證部書面同意, 不得摘錄複製, 但全部複製除外。
This report cannot be reproduced in any way, except in full context, without the prior approval in writing of this Department of Testing and Certification.
3.試驗報告所載事項不得作為公開廣告及商業推銷之用。
The test report should not be used for public advertisement and commercial promotion.

財團法人紡織產業綜合研究所
所長授權核發人:
Authorized by president of
Taiwan Textile Research Institute
紡織產業綜合研究所檢測及驗證部 新北市土城區承天路6號
Department of Testing and Certification, Taiwan Textile Research Institute
No.6, Chengtian Rd., Tucheng Dist., New Taipei City 23674, Taiwan (R. O. C.)
Tel : +886-2-22670321 ext. 7107, 7110
Fax : +886-2-22675108, +886-2-22689839

主任 高瑞宏

容塵量與濾網壓損變化



Change of dust holding capacity and filter pressure drop

依據測試數據與定風量67,000CMH做推算，MAU Old濾網更換為壓損達到200Pa且兩年一循環做更換歷史經驗，MAU New濾網則有較大的容塵量且有降低的初始壓損，依照原Old濾網容塵量使用極限，推算出New濾網使用壽命可達到約Old約兩倍使用年限，也就是說New濾網可使用達到約4年，比Old濾網使用2年更久。

考慮濾網汰換壽命(實際運轉總耗電量)

濾材	Glass Fiber (250Pa)	Glass Fiber (203Pa)	濾材	Glass Fiber (250Pa)	Glass Fiber (203Pa)
初始時間點(year)	0	0	初始時間點(year)	2	2
終端時間點(year)	2	2	終端時間點(year)	4	4
初始壓損(Pa)	72.7	61.6	初始壓損(Pa)	72.7	130.2
終端壓損(Pa)	200	130.2	終端壓損(Pa)	200	200
總耗電量(kWh)	1,339.0	941.6	總耗電量(kWh)	1,339.1	1,621.5

濾材	Glass Fiber (250Pa)	Glass Fiber (203Pa)
濾網歷經(4year)總耗電量(kWh)	2,678.1	2,563.1
單片年耗電量(kWh)	513.2	386.7

回收年限分析

經由計算比較，兩款不同初始壓損濾網其單片年耗電量相差 $(513.2 - 386.7) = 126.5 \text{ kWh}$ ，節電278元，1片價錢3,700元。
 歷經時間4年，總耗電量相差 $(2,678.1 - 2,563.1) = 114.9 \text{ kWh}$ ，規格250Pa濾網已汰換2次濾網，203Pa濾網汰換1次，節省成本為：
 節省運轉成本： $(2,678.1 - 2,563.1) * 2.2 = 253 \text{ 元}$
 節省材料費： $(7,400 - 3,700) = 3,700 \text{ 元}$
 運轉成本 + 材料費 = 總計節省費用3,953元
 汰換MAU濾網共398片，節省費用為 $3,953 * 398 = 1,573,294 \text{ 元}$

運轉成本試算

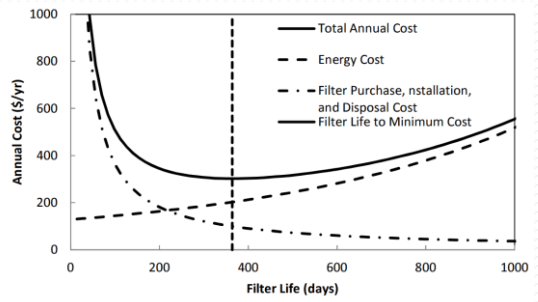
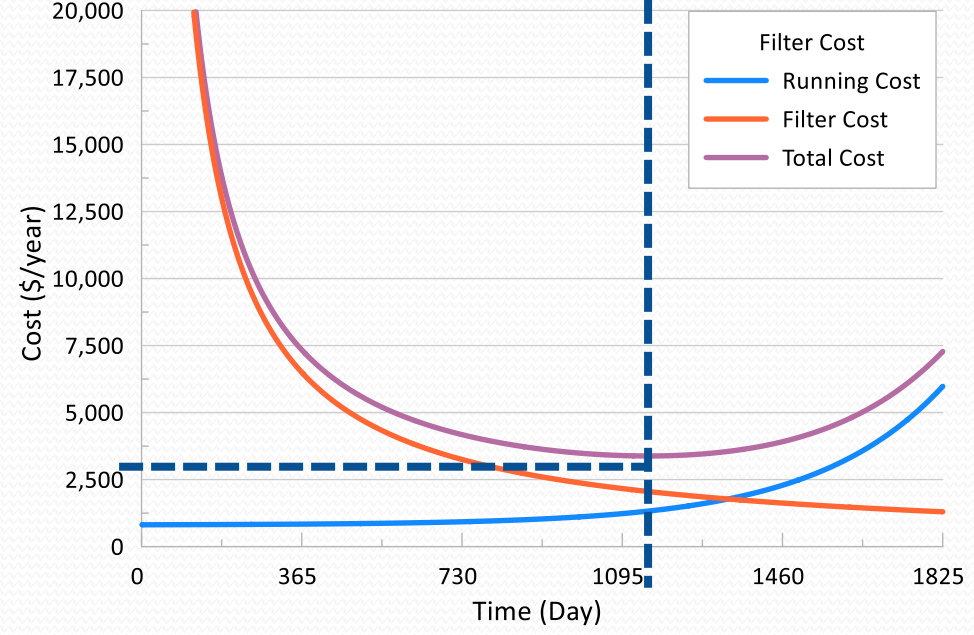
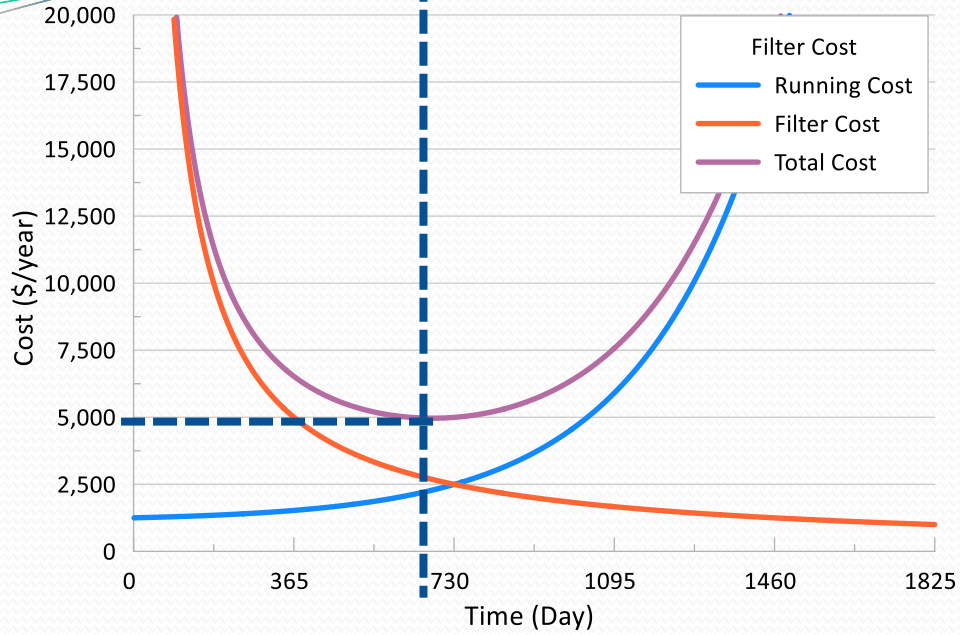
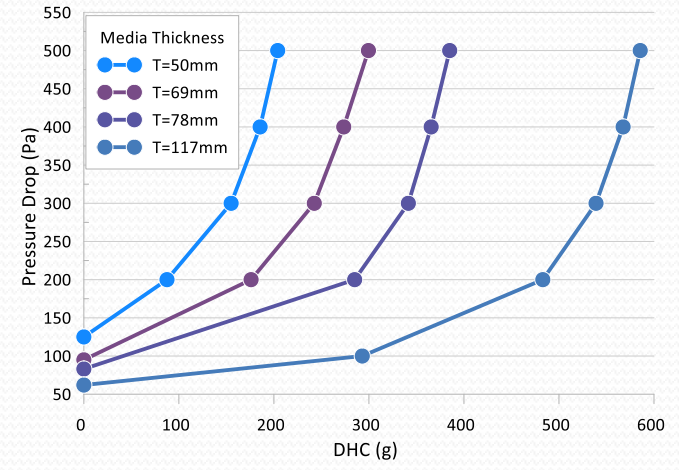


Figure 4: Sample filter cost versus operation time curve, Filter 4

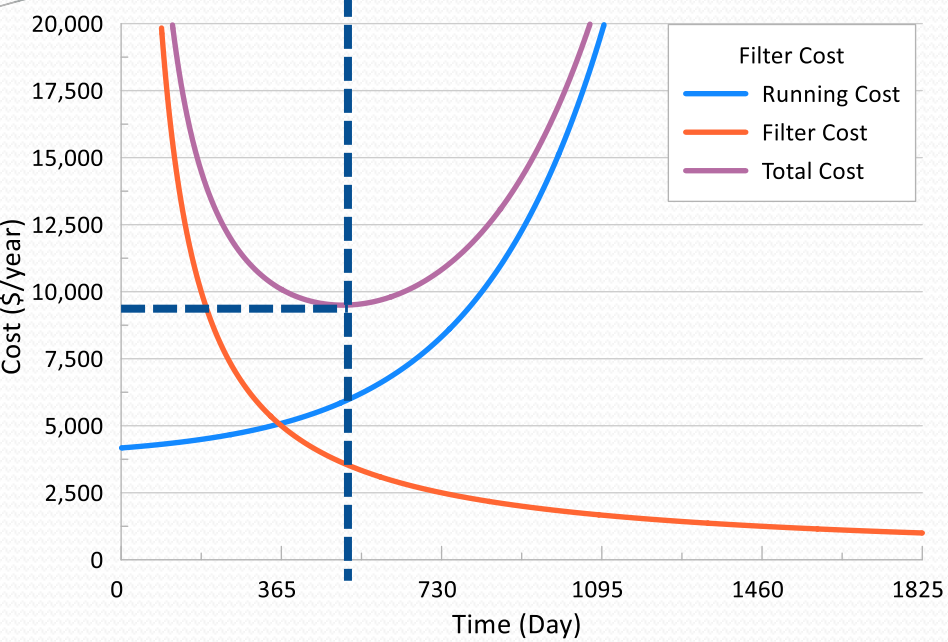
Media Thickness= 50 mm
 Unit Pressure Drop = 0.857 Pa/g
 $PD_{init} = 125$ Pa
 Dust loading = 0.25 g/day
 Filter cost= 5000 NTD/pc
 Fan efficiency = 50%

Media Thickness= 78 mm
 Unit Pressure Drop = 0.41 Pa/g
 $PD_{init} = 83$ Pa
 Dust loading = 0.25 g/day
 Filter cost= 6500 NTD/pc
 Fan efficiency = 50%

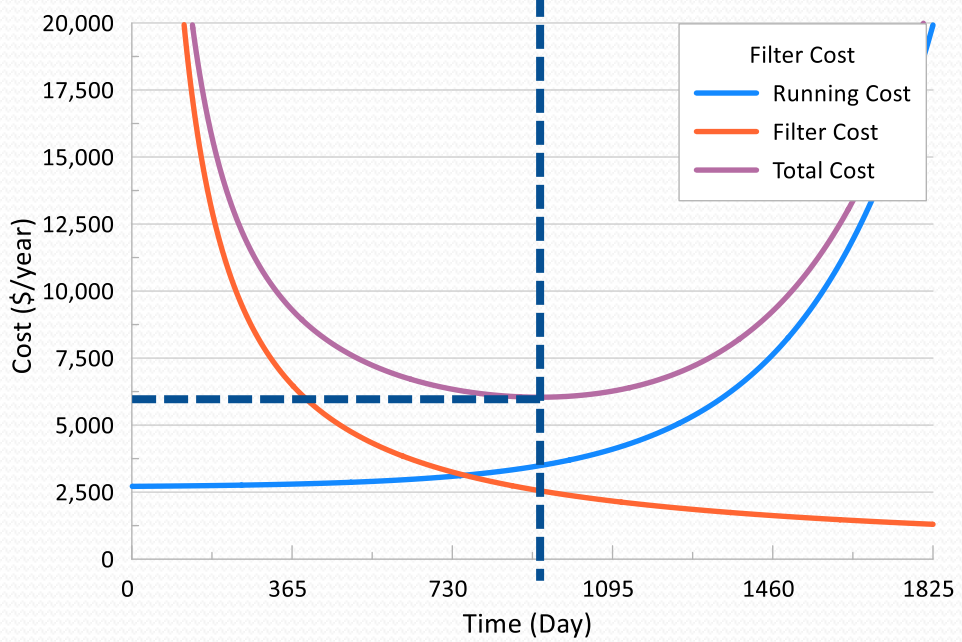
Electricity price : 3 NTD/kWh



運轉成本試算



Media Thickness= 50 mm
 Unit Pressure Drop = 0.857 Pa/g
 $PD_{init} = 125$ Pa
 Dust loading = 0.25 g/day
 Filter cost= 5000 NTD/pc
 Fan efficiency = 50%



Media Thickness= 78 mm
 Unit Pressure Drop = 0.41 Pa/g
 $PD_{init} = 83$ Pa
 Dust loading = 0.25 g/day
 Filter cost= 6500 NTD/pc
 Fan efficiency = 50%

Electricity price : 6 NTD/kWh

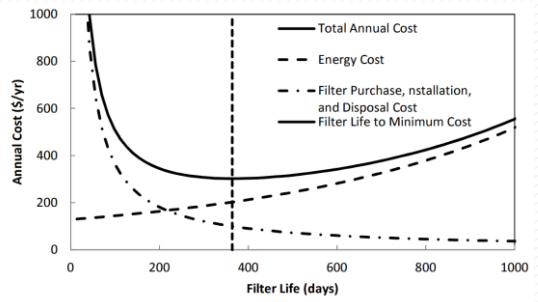
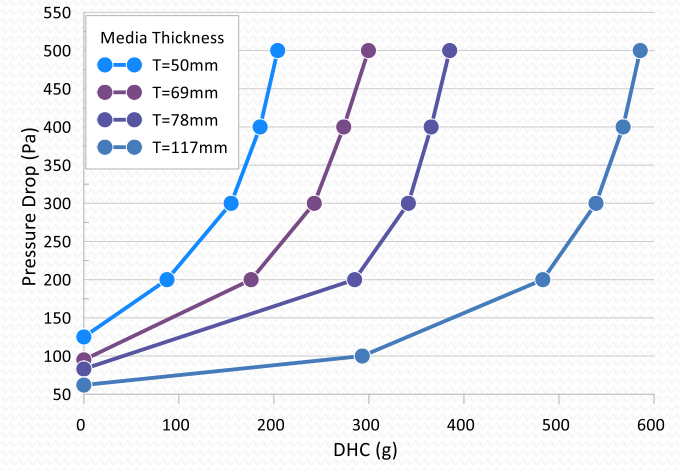


Figure 4: Sample filter cost versus operation time curve, Filter 4



結論

- 空調系統裡面搬運能耗大宗為盤管與濾網的阻力，其中濾網阻力將隨微粒補集量緩慢上升，因此使用初始壓損較低以及容塵量較高(單克壓損 $\Delta P/g$ 較低)的濾網不光可大幅降低空調系統的能耗，也可減少系統維護的耗材成本以及停機維護所造成的產能損失，可同時達到減少碳排與提升企業形象的目的。

參考文獻

- 薛安廷，空氣過濾器效率與容塵量的實驗探討，國立勤益大學冷凍空調與能源系碩士論文，2017
- 黃羽生，探討不同結構PTFE濾網的過濾性能，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士論文，2019
- 王智清，面板廠降低空氣循環運轉阻力與廠務設施節能評估，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士論文，2020
- James Montgomery, Sheldon Green, Steven Rogak, Karen Bartlett, Predicting the Energy Use and Operation Cost of HVAC Air Filters Under Variable-Air-Volume Operation. 11th World Filtration Congress, 2012