

環保署/國科會空污防制科研計畫期末報告

室內空氣清淨技術與成效評估 —子計畫二：活性炭空氣清淨機 對室內揮發性有機物去除效能評估

計畫總主持人：李慧梅
子計畫主持人：李家偉
協同主持人：洪崇軒
研究助理：呂事勳

計畫編號：91-EPA-Z-327-003-
執行單位：國立高雄第一科技大學
環境與安全衛生工程系

中華民國九十二年四月

目錄

節次	頁次
圖目錄.....	iii
表目錄.....	iv
附表目錄.....	iv
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
第一章 前言.....	3
第二章 研究方法.....	7
2-1 空氣清淨機特性調查.....	8
2-2 代表性測試機種、濾材及吸附質之選定.....	8
2-3 佈置環境艙室進行初步模擬及測試.....	10
2-4 空氣清淨機 CADR 測試.....	10
2-5 VOCs 再釋出作用評估.....	12
第三章 結果與討論	
3-1 環境艙室進行初步模擬及測試.....	14
3-2 空氣清淨機對甲苯之去除效率評估.....	15
3-2-1 不同機型空氣清淨機對甲苯之去除效率評估.....	15
3-2-2 不同機型空氣清淨機之甲苯去除 CADR 值.....	18
3-2-3 溫度對於甲苯去除效率之影響.....	19
3-2-4 溼度對於甲苯去除效率之影響.....	20
3-3 空氣清淨機對甲醛之去除效率評估.....	21
3-4 空氣清淨機 VOCs 再釋出作用評估結果.....	22
第四章 結論與建議.....	25
第五章 參考文獻.....	26

圖目錄

	頁次
圖 1-1 CADR 測試濃度變化圖.....	5
圖 2-1 研究流程.....	7
圖 2-2 環境控制艙室配置圖.....	9
圖 2-3 空氣清淨機 CADR 測試實驗流程圖.....	11
圖 2-4 已吸附 VOCs 至飽和之空氣清淨機 VOCs 再釋出實驗流程圖.....	12
圖 3-1 艙室甲苯濃度自然衰減圖.....	14
圖 3-2 僅具活性碳初濾網之空氣清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 8 小時).....	15
圖 3-3 僅具活性碳初濾網之空氣清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 16 小時).....	16
圖 3-4 具有吸附濾材之空氣清淨機 B 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 0-8 小時).....	16
圖 3-5 具有吸附濾材之空氣清淨機 B 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 24-32 小時).....	17
圖 3-6 僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機 C 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 4 小時).....	17
圖 3-7 不同型式空氣清淨機之 CARD 變化比較圖.....	18
圖 3-8 高溫 (35°C) 操作下, 清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 8 小時).....	19
圖 3-9 不同操作溫度下, 清淨機 A 去除甲苯 CADR 變化圖.....	20
圖 3-10 高濕 (RH 85%) 操作下, 清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖 (累積操作時間 4 小時).....	21
圖 3-11 清淨機 A 去除甲醛濃度變化圖(累積操作時間 6 小時).....	22
圖 3-12 甲苯吸附飽和空氣清淨機污染再釋出實驗.....	24

表目錄

	頁次
表 2-1 測試之吸附型空氣清淨機基本資料.....	8

附圖及附表目錄

	頁次
附圖 1 甲苯檢量線.....	I
附圖 2 甲醛檢量線.....	I
附表 1 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯實驗之結果.....	II
附表 2 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯實驗之結果（一）.....	III
附表 3 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯實驗之結果（二）.....	IV
附表 4 空氣清淨機 C 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯實驗之結果.....	V
附表 5 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯之 CADR 值.....	VI
附表 6 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯之 CADR 值（一）.....	VI
附表 7 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯之 CADR 值（二）.....	VI
附表 8 空氣清淨機 C 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲苯之 CADR 值.....	VI
附表 9 高溫操作下（35°C），空氣清淨機 A 去除甲苯實驗之結果....	VII
附表 10 高濕操作下（85%），空氣清淨機 A 去除甲苯實驗之結果... VIII	
附表 11 高溫操作下（35°C），空氣清淨機 A 去除甲苯之 CADR 值. IX	
附表 12 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲醛實驗之結果.....	IX
附表 13 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下 去除甲醛之 CADR 值.....	X
附表 14 甲苯吸附飽和空氣清淨機污染再釋出實驗之結果.....	X

中文摘要

空氣污染所導致的環境污染與身體健康危害的問題，已普遍受到民眾的關切，民眾購買室內空氣清淨機的數量急遽增加，各類產品不斷問市，然而缺乏其效能評估。本研究乃是利用控制環境條件，於不鏽鋼艙室（Chamber）中進行活性碳吸附空氣清淨機對揮發性有機物去除效率之研究，探討不同機型、不同環境因子及不同吸附材質對揮發性有機物去除之影響，並評估其再釋出作用及其對健康之影響，同時對國內活性碳空氣清淨機標準檢驗方法之建立提供基本參考資料。吸附型空氣清淨機之效能可利用控制環境條件下於艙室中進行評估，其標準方法之建立，可參考美國 AHAM AC-1 並加以改良，以有效處理風量（clean air deliver rate, CADR）來評估吸附型空氣清淨機去除揮發性有機物之效能。由甲苯吸附實驗結果顯示，僅具活性碳初濾網之空氣清淨機，在使用初期具有去除揮發性有機物之效能，但在使用短時間之後即無法再降低室內揮發性有機物濃度。具有活性碳初濾網及吸附濾材之空氣清淨機，其 CADR 較僅具活性碳初濾網之空氣清淨機高出很多，揮發性有機物去除效果明顯較好。在相同操作條件下，室內溫度愈高，空氣清淨機之 CADR 值愈低。僅具活性碳初濾網之空氣清淨機對甲醛吸附效果不佳。於室內高溫及高濕條件下，若未及時更換已吸附飽和之濾網，空氣清淨機將形成一室內揮發性有機物污染來源，形成危害人體健康之潛在因子，尤其在高濕度條件下之污染最需加以防範。

關鍵字：活性碳空氣清淨機，艙室技術，揮發性有機物

英文摘要

People are indoors about 90% of the time, and indoor air pollutant concentrations often substantially exceed outdoor levels--creating a staggering healthcare cost in Taiwan. There is a big market for air cleaner in Taiwan. However, The widely varying designs of air cleaner make it especially difficult to compare models. The purpose of this study is to evaluate the VOCs removal efficiencies of different air cleaners with carbon filters using controlled environmental chamber. Several experimental parameters including filter type, temperature, humidity and VOCs species have been examined.

The CADR (clean air deliver rate) indicates volume of filtered air delivered by an air cleaner. The results show that it is appropriate to use CADR as an indicator for evaluations of VOCs removing efficiencies between models. Under the testing condition of 30 ppm of toluene in the chamber, the air cleaner with carbon pre-filter can capture some toluene in beginning, but the toluene can pass through the carbon pre-filter after operation time of 16 hours. Another air cleaner with carbon pre-filter and multi-adsorbent filter shows higher efficiency to trap VOCs.

The CARD tests for air cleaner with carbon pre-filter shows poor efficiency to trap formaldehyde. Under higher temperature and humidity conditions, the indoor air quality and human health risk should be concerned due to the re-emissions of VOCs from air cleaners.

Key words: VOCs, air cleaner, chamber technology, CADR

一、前言

空氣污染所導致的環境污染與身體健康危害的問題，已普遍受到民眾的關切，由於人們一般日常生活的活動空間，在居家、辦公室、娛樂場所、公共設施、交通工具內等空間室內環境中所佔的時間，佔相當大之比例，故室內空氣品質之好壞，對於人體健康之影響十分重要。在各類室內空氣污染物中，揮發性有機毒性物質對人體可能產生長期之健康危害，但其反而最容易被忽視，也是最需要解決問題之一。台灣地區一年中使用冷氣機時間較長，長時間生活在密閉室內亦易發生通風不良，加上氣候溼度較大，使得室內空氣污染問題更為嚴重，因此如何改善室內空氣污染，確保空氣品質，實乃保護健康之重要課題。有鑑於此，民眾購買室內空氣清淨機的數量急遽增加，各類產品不斷問市，然而其效能評估資訊缺乏，甚至是否具有危害健康之副作用也無從得知。目前市售空氣品質清淨機以去除粒狀污染物為主，即使一般所謂活性炭吸附空氣清淨機，或因流速過快致使吸附效率不佳，或因材質不良而吸附效能低，更有因沒有定期更換濾材而造成二次公害衍生之虞。故對目前活性炭空氣清淨機去除 VOCs 之效能，有必要建立標準方法加以評估，更進而謀求改善之道，以維護國民健康。

目前市售空氣清淨機在去除臭味及 VOCs 上以吸附法最為普遍。吸附作用 (Adsorption) 係藉由流體和固體表面之接觸而去除有機物或其他物質。一般將吸附現象依其機制區分為物理吸附及化學吸附。化學吸附是藉靜電力或形成電子對，此種吸附現象之能量變化與化學反應之能量變化相若。物理吸附時，吸附質與吸附劑間無電子的交換或共用，組成亦無改變。物理吸附與氣體分子在固體表面的液化現象相似，二者藉凡得瓦爾結合。影響吸附能力因子相當多，主要為吸附劑特性（比表面積、孔隙大小分佈、活性炭之官能基及極性等）、吸附質特性（分子大小、官能基及極性等）及環境因子（溫度、溼度、吸附質濃度、進流流量等）。依 Ruthven [1984] 研究指出因吸附為放熱反應，溫度升高不利於吸附作用。相對溼度大，則活性炭飽和吸附量愈低，因相對溼度影響質傳區長度，質傳區愈長則愈易貫穿 [Carter & Wyzynski, 1983; John et al., 1985]。吸附劑之種類繁多，空氣清淨機最常用的吸附系統是以活性炭做為吸附劑，一般傳統上所使用的活性炭為粉末狀或顆粒狀，近年來活性炭纖維 (Activated Carbon Fibers, ACF) 使用亦日漸普遍。沸石亦是常用之空氣清淨機吸附劑，沸石是由四面體 SiO_4 及 AlO_4 所組成，其間以氧連接的晶體結構，由於堆積方式不同而形成各種不同的沸石。[張, 2000]

目前國內空氣清淨機檢測標準有 CNS 7620「空氣清潔機檢驗法」，此法之是參考日本 JIS C 9615 所製訂，此標準主要系針對粉塵，而非臭味及揮發性有機污染物。國

際間採用的空氣清淨機測試方法有 AHAM AC-1 (The U.S. Association of Home Appliance Manufacturers)、ASHRAE 52.2、JIS C 9615 及 JEM 1467，其中 AHAM AC-1 為測量空氣清淨機濾網及送回風設計所造成的整體清淨效果，並以 CADR (clean air delivery rate) 量化表示，藉比較不同空氣清淨機間 CADR 差異即可知其性能優劣，此為歐美廠商較廣泛採用的空氣清淨機性能測試方法[劉、江 2000]。AHAM AC-1 為美國家電製造協會所定之空氣清淨機測試標準，主要目的為測試空氣清淨機對粉塵、香煙粒子、花粉三種測試粒子之清淨能力，並將清淨能力以 CADR 表示，讓消費者及廠商清楚明瞭空氣清淨機之性能。假設於體積大小為 V 之完全密閉空間內，即無滲透及外洩風量，且無粉塵產生源，則粉塵濃度的質量守恆方程式為

$$\frac{d\bar{C}}{dt} = -K_n \bar{C} - \frac{Q(C_{in} - C_{out})}{V} \quad (1)$$

式中 C =粉塵濃度 Q =清淨機運轉風量
 K_n =自然沉降常數 V =測試空間大小

定義：清淨機效率 $\eta = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}}$

清淨機短循環係數 $E_d = \frac{C_{in}}{C}$

則式(1)可簡化成 $\frac{d\bar{C}}{dt} = -\left[K_n + \frac{\eta E_d Q}{V}\right]\bar{C}$

解上式可得粉塵平均濃度變化的特性方程式

$$C_t = \bar{C}_i e^{-kt}$$

當清淨機無運轉時 $K=K_n$

清淨機運轉時 $K = K_n + \frac{\eta E_d Q}{V} = K_a$

$$CADR = (K_a - K_n) \times V = \eta E_d Q$$

故 CADR 為考慮清淨機效率 η 及短循環係數 E_d 兩項因素後，所得之空氣清淨機有效處理風量。因清淨機效率及短循環係數不易計算求得，故藉由實驗方式及統計方法先將 K_a 、 K_n 求得 (圖 1-1)，再帶入即可求得清淨機有效處理風量 (即為 CADR)。

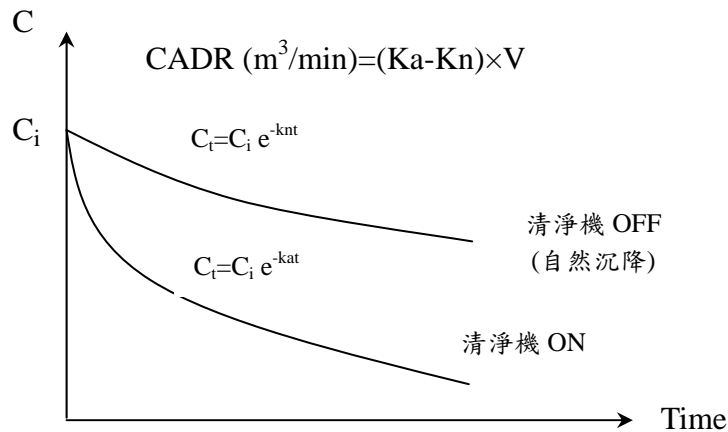


圖 1-1 CADR 測試濃度變化圖

Niu 等[1998]利用大型環境控制艙室 (Environmental Chamber) 將 AHAM AC-1 延伸用於評估空氣清淨機去除 VOCs 之研究，其基本原理與 AC-1 相同，但對於艙室吸附及再釋出 VOCs 之效應特別加以量化，此研究並針對七個國家生產之空氣清淨機共 27 台加以測試，結果發現所有的機型去除甲苯之 CADR 值均遠遜於其去除粉塵之 CADR 值，即使有加裝活性碳濾材之空氣清淨機對於甲苯之去除效果亦不佳，由此結果可知目前空氣清淨機普遍存有對 VOCs 去除不佳之問題。此研究同時指出利用大型環境控制艙室評估空氣清淨機去除 VOCs 之效率具有許多優點，包含在溫度及溼度的控制上較為容易且穩定，且相對於其他測試方法不需要連續清淨測試系統內之進氣。

環境艙室技術 (Environmental Chamber Technology) 能提供控制外在環境因子設定之系統 (如：溫度、溼度、通風量、背景濃度、光照度等)，在這模擬實驗系統內，藉由控制某些環境因子，達到研究其他變量 (如：排放係數) 之目的。目前艙室技術環境控制設施在國外已廣為應用於室內空氣污染源評估、人體暴露和健康風險評估、職業衛生、空氣污染化學等方面之研究，其優點為能真實地模擬環境，減少環境變異的不確定性，使得變數能有效的加以控制，其在環保及衛生之研究上極為有用。近年來艙室技術應用在室內空氣污染的實例包含：

- (1) 空氣清淨機效能評估檢測 [Niu, 1998]
- (2) 空氣污染物人體暴露評估實驗[Rudell *et al.*,1997； Linn *et al.*,1997；Beckett *et al.*,1995]
- (3) 建築材料及家具逸散空氣污染相關研究 [Zhang *et al.*,1999；De Bortoli *et al.*,1999；Zhu *et al.*,1998；Schmidt *et al.*,1998；Chao *et al.*,1997；Zhang *et*

al.,1996 ; Liles *et al.*,1996 ; Crump *et al.*,1996 ; Sollinger *et al.*,1993 ; Spiker *et al.*,1992]

(4) 逸散空氣污染物相關研究 [Guo *et al.*, 2000 ; Groah *et al.*, 1998 ; Leigh *et al.*,1997]

(5) 污染物排放係數及特性之推估[Lawless *et al.*,1996 ; Zhang *et al.*,1996]

(6) 空氣污染模擬[Dillon *et al.*,1998 ; Peixoto *et al.*,1997 ; Van Loy *et al.*, 1997 ; Zhang *et al.*,1996 ; De Bortoli *et al.*,1996 ; Chow *et al.*,1994 ; Hayter *et al.*,1993]

(7)室內空氣污染控制技術[Zhang *et al.*,1996]

基於以上對室內空氣污染特性、空氣清淨原理與技術、空氣清淨機檢測標準及環境艙室技術之綜合描述，本研究以大型環境艙室作為空氣清淨機測試實驗地點，針對市售空氣清淨機，研究其 VOCs 去除效率，在不同的 VOCs 及環境因子下（如：溫度、溼度、通風量等），配合室內模式之推導驗證，探討目前空氣清淨機對於 VOCs 去除之效能，更進一步提供消費者在選購及維護空氣清淨機之參考，同時對於國內建立空氣清淨機標準測試方法（尤其是氣態污染物之去除效率評估）提供經驗與技術，對民眾健康之維護及環境品質之提昇，亦有相當正面之效益。

二、研究方法

本研究之主要目的為探討活性碳空氣清淨機對揮發性有機物之去除效率評估，整體研究架構圖 2-1 所示。

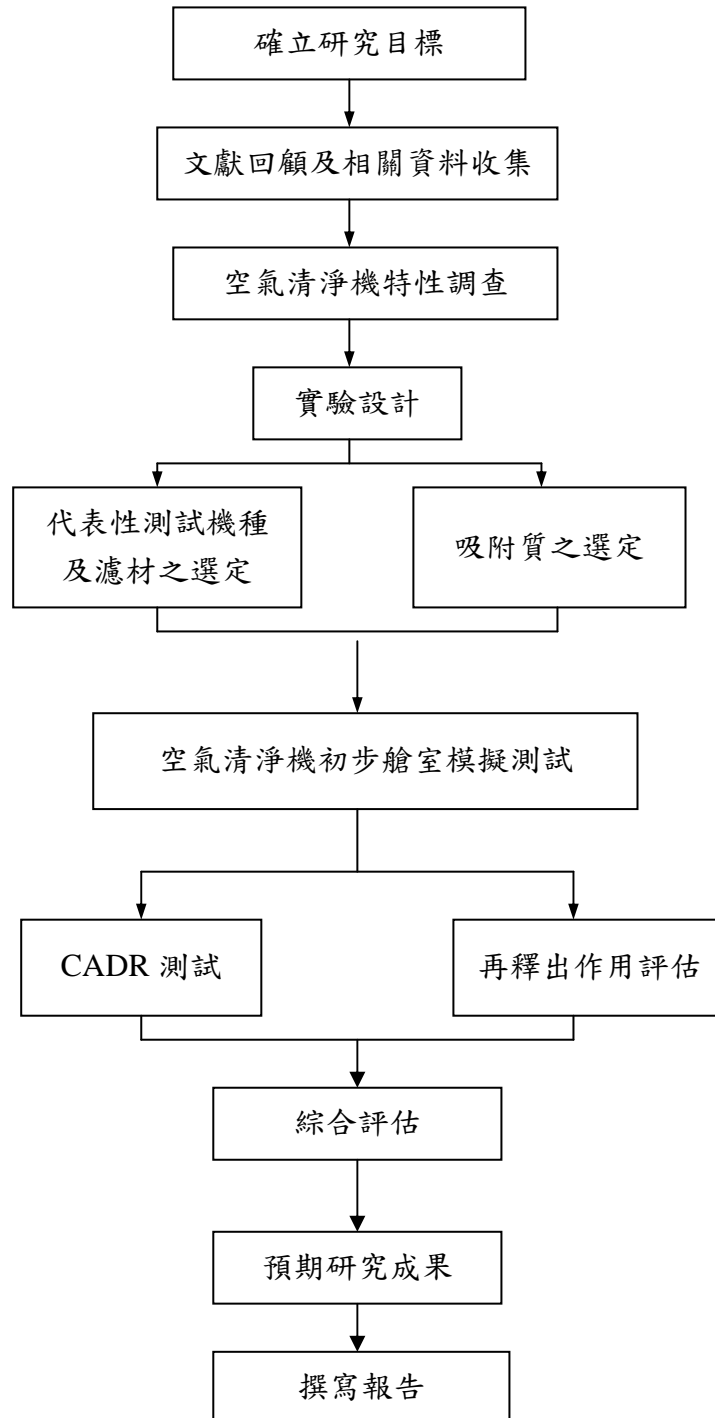


圖 2-1 研究流程

2-1 空氣清淨機特性調查

本研究與總計畫下之其它子計畫進行國內市售空氣清淨機之調查，調查項目包括空氣清淨機之類型、適用範圍、輸出入風量及風速、除污效能、除污原理、使用濾材及操作維護等基本資料。

2-2 代表性測試機種、濾材及吸附質之選定

本研究就上述初步調查結果，選定具有活性碳濾材之空氣清淨機加以更深入之評估，並考量市場普遍性、取得容易性及濾材使用之差異，選定代表性測試機種至少三種進行實驗。本研究測試之吸附型空氣清淨機共三型（其編號為清淨機 A,B 及 C），其基本資料如表 2-1 所示。本研究擬選用之吸附質為甲苯、甲醛等。其主要考量因素為：室內常見之空氣污染物、吸附質所含之官能基特性、吸附質之分子結構、對人體健康之影響及分析技術之可行性。

表 2-1、測試之吸附型空氣清淨機基本資料

清淨機 編號	吸附/過濾材	初濾網 尺寸 (cm)	初濾網 厚度 (cm)	量測風 速 (m/s)	出風口 截面積 (cm ²)	量測出 風量 (m ³ /hr)	空氣交 換率 (hr ⁻¹)	製造廠商提 供之適用坪 數
A	活性炭初濾網 HEPA	120×15	0.5	6	80	172	2.8	5~10 坪
B	活性炭初濾網 HEPA 吸附濾材(含活 性碳、過錳酸 鉀、沸石)	120×15	0.5	6	130	280	3.8	6~12 坪
C	初級織布濾網 活性炭濾網 抗菌濾網	24×30	0.5	5.7	55	113	1.7	6~10 坪

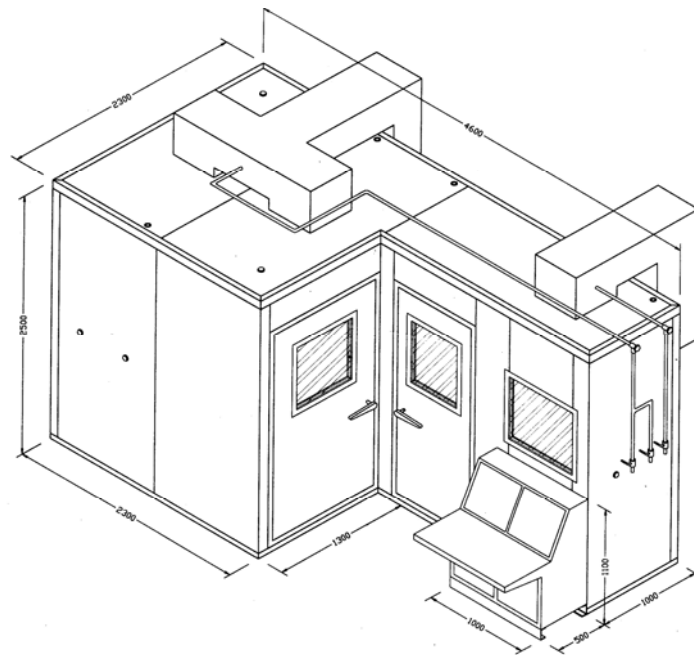
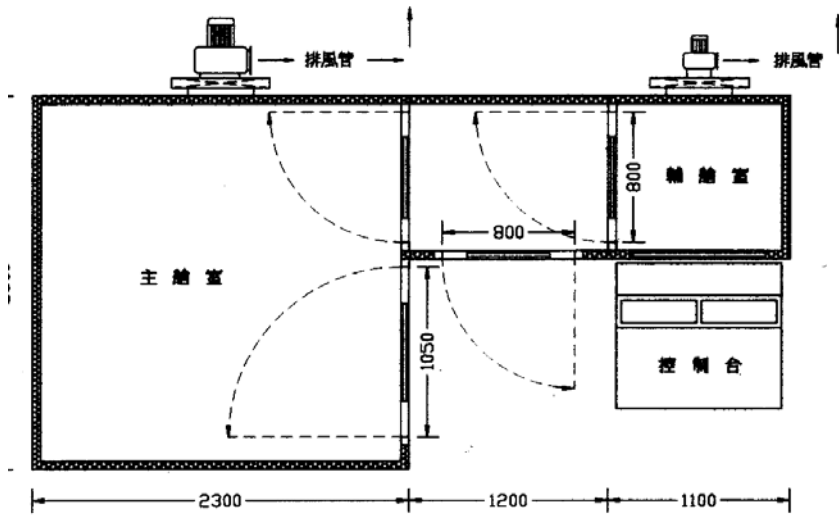


圖 2-2 環境控制艙室配置圖

2-3 佈置環境艙室進行初步模擬及測試

本計畫擬採用之暴露艙室（如圖 2-2），不鏽鋼暴露艙室主艙內部大小為 2.3m(L)×2.3m(W)×2.7m(H)，輔艙內部大小為 1.0m(L)×1.0m(W)×2.3m(H)。艙室內之溫濕度及通風量均可經由冷氣機、增溼機、空氣加熱器及自動控制系統控制在適當範圍內，進入艙室之空氣由變頻式抽風機控制其進入風量，吸入空氣經由初濾網、HEPA（High Efficiency Particulate Air）濾網及活性碳吸附槽，以去除空氣中之微粒及有機物。艙室通風採全換氣式（Single Pass），清潔之空氣由艙室頂進入而由艙室底部排出，排氣不再進行循環。艙室設有兩道氣密式不鏽鋼門與艙室外之控制室相通，由於此項特殊的雙門設計，將可減少操作或研究人員進入艙室所引起的空氣對流。操作人員在艙外控制室內進行艙室調控，艙外控制室內有氣體濃度偵測裝置（THC）及其他控制設施，以監控艙室內氣體濃度、溫度、溼度及通風排氣系統。艙室內氣體可經 Teflon 管由空氣採樣泵抽送至採樣袋或活性碳吸附管柱，經熱脫附系統脫附後以 GC-FID 分析 VOCs。艙室內環境因子如溫度、溼度及通氣量等資料，連同氣體濃度監測數據均送致電腦加以連續記錄及分析。由於艙室為不鏽鋼製，將可減少 VOCs 移除效應。艙室設有管線可連通艙室外標準氣體產生設備相連，以使艙室內 VOCs 濃度達到測試所需濃度條件。空氣清淨機可於濃度達到設定濃度時啟動，由於艙室採無塵密閉設計，將可避免外氣干擾而造成實驗誤差。艙室具有多種環境控制模式，將可進行不同環境條件下空氣清淨機之測試。

2-4 空氣清淨機 CADR 測試

本研究於艙室中，在不同環境因子控制下（如溫溼度等），進行空氣清淨機去除 VOCs 之 CADR（Clean Air Delivery Rate）之量測，量測方法係參考 AHAM AC-1 方法進行，本研究擬將其延伸到空氣清淨機 VOCs 清淨能力之測試。本研究擬選用之 VOCs 為甲苯、甲醛等。清淨機測試過程中環境之溫濕度達設定值後，注入定量 VOCs 於艙室內，並啟動空氣清淨機。室內空氣取樣方法為於 120 分鐘內每隔 5-15 分鐘紀錄 VOCs 濃度值，經統計方法計算遞減常數 K 值及評估測試誤差，最後計算 CADR 值。

空氣清淨機 CADR 測試實驗流程

1. 調整艙室之環境條件至實驗所需。
2. 置入待測試之空氣清靜機，並確認清靜機可正常運作。
3. 以採樣管採集艙室內之空氣樣本，以確認艙室內 VOCs 之背景濃度。
4. 注入定量之 VOCs 於艙室內。
5. 啟動清靜機以去除艙室內之 VOCs，並以採樣管定時採集艙室內之 VOCs 濃度。
6. 分析所採集之樣本，以了解艙室內 VOCs 濃度之變化情形。
7. 由實驗之結果，計算 CADR 值。

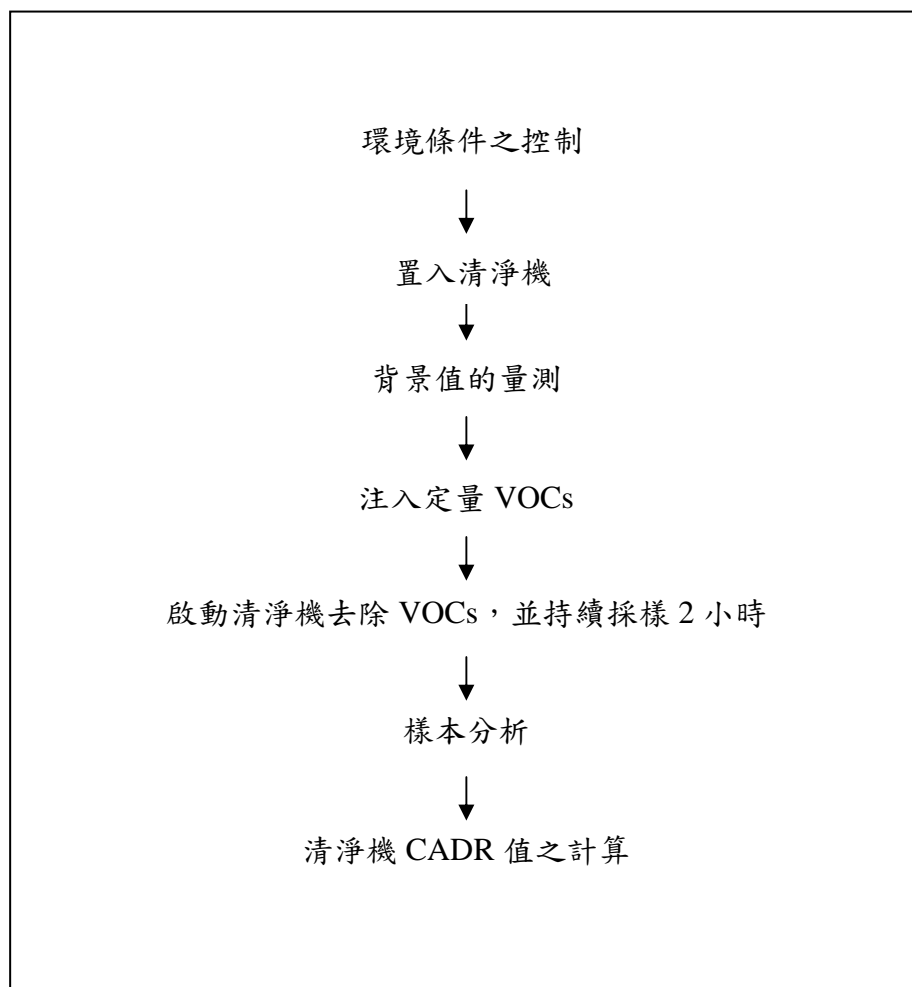


圖 2-3 空氣清淨機 CADR 測試實驗流程圖

2-5 VOCs 再釋出作用評估

本研究擬於環境艙室中，在不同環境因子控制下（如溫溼度等）進行空氣清淨機吸附 VOCs 飽和後 VOCs 再釋出作用評估。此部份實驗設施與 CADR 測試相似。於空氣清淨機吸附 VOCs 達飽和後，停止空氣清淨機運轉，並啟動環境艙室進氣設施，引入乾淨空氣，將環境艙室內殘餘之 VOCs 稀釋趕出艙室。當艙室內 VOCs 濃度降到與引入外氣 VOCs 濃度相當時，再關閉環境艙室進氣設施。當艙室環境因子穩定後，啟動已吸附飽和之空氣清淨機，持續監測艙室內 VOCs 再釋出作用，最後期能計算出再釋出量佔吸附量總量之百分比。

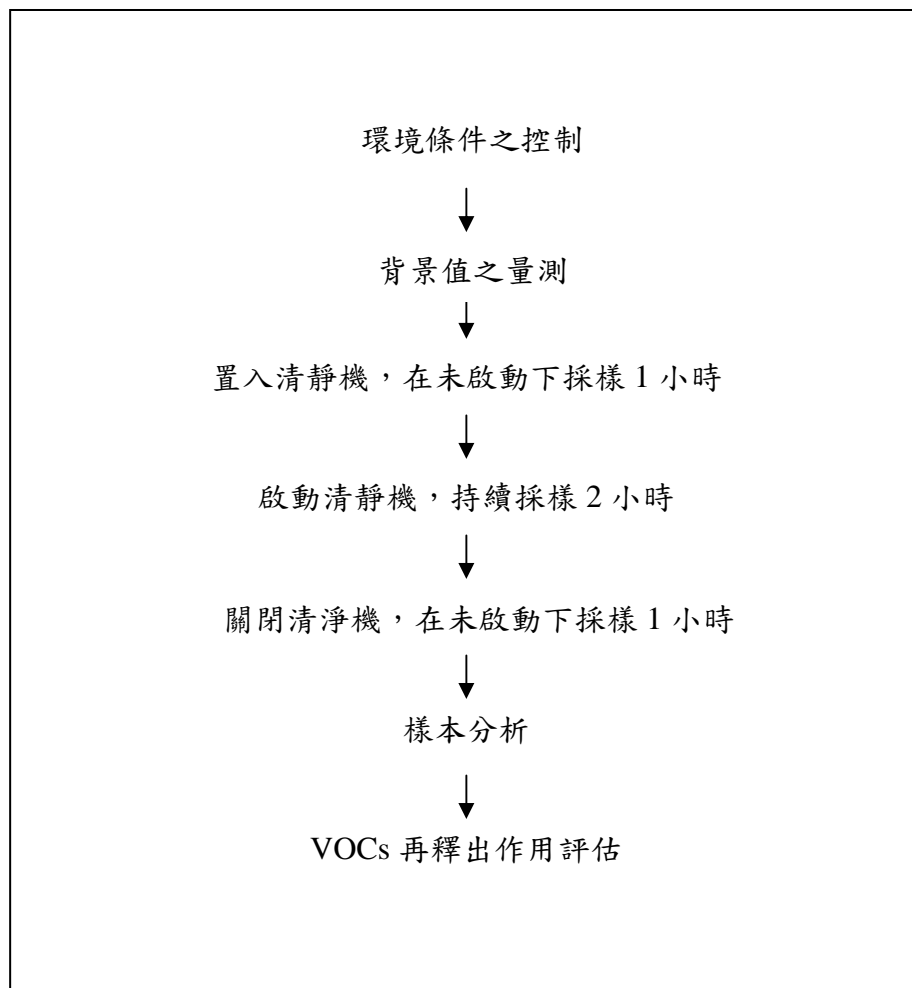


圖 2-4 已吸附 VOCs 至飽和之空氣清淨機 VOCs 再釋出實驗流程圖

已吸附 VOCs 至飽和之空氣清淨機 VOCs 再釋出實驗流程

1. 調整艙室之環境條件至實驗所需。
2. 採集艙室內之氣體樣本，以量測艙室內 VOCs 之背景濃度。
3. 置入已吸附 VOCs 飽和之空氣清淨機。
4. 將未啟動之清淨機置入於艙室內，每隔 5-15 分鐘採集艙室內之氣體樣本持續 1 小時，以量測艙室內 VOCs 濃度變化。
5. 啟動清淨機，每隔 5-15 分鐘量測艙室內 VOCs 濃度變化持續 2 小時。
6. 關閉清淨機，使其靜置 1 小時，每隔 5-15 分鐘採集艙室內之氣體樣本，量測艙室內 VOCs 之濃度變化。

三、結果與討論

3-1 環境艙室進行初步模擬及測試

由於艙室環境中無法達到完全密閉，再加上 VOCs 在艙室中之化學反應作用及與艙室內壁之沉降吸著作用，艙室中 VOCs 濃度在混合初期達到最高濃度後，會隨時間之增加而遞減，其衰減速率若太快，則會造成後續空氣清淨機效率評估實驗工作上之困難，故吾人需量測 VOCs 在艙室中無空氣清淨機使用條件之衰減速率，以評估艙室密閉性、化學反應及沉降吸著作用對艙室中 VOCs 濃度衰減之綜合效應。環境艙室模擬以甲苯為測試氣體，溫度及相對溼度分別設定為 25°C 及 50%，定量甲苯於密閉艙室揮發混合後，其濃度起始值為 30 ppm。實驗結果顯示（圖 3-1），在艙室密閉條件下，艙室中甲苯濃度在 2 小時內之濃度衰減並不快，前一小時仍可維持 30 ppm 左右，第 2 小時起濃度略有開始下降，但 2 小時終了艙室甲苯平均濃度仍達 25 ppm，顯示艙室密閉性良好，化學反應及沉降吸著作用對艙室中甲苯濃度衰減之綜合效應亦不強，此結果將有利於後續空氣清淨機效率評估實驗工作之進行。

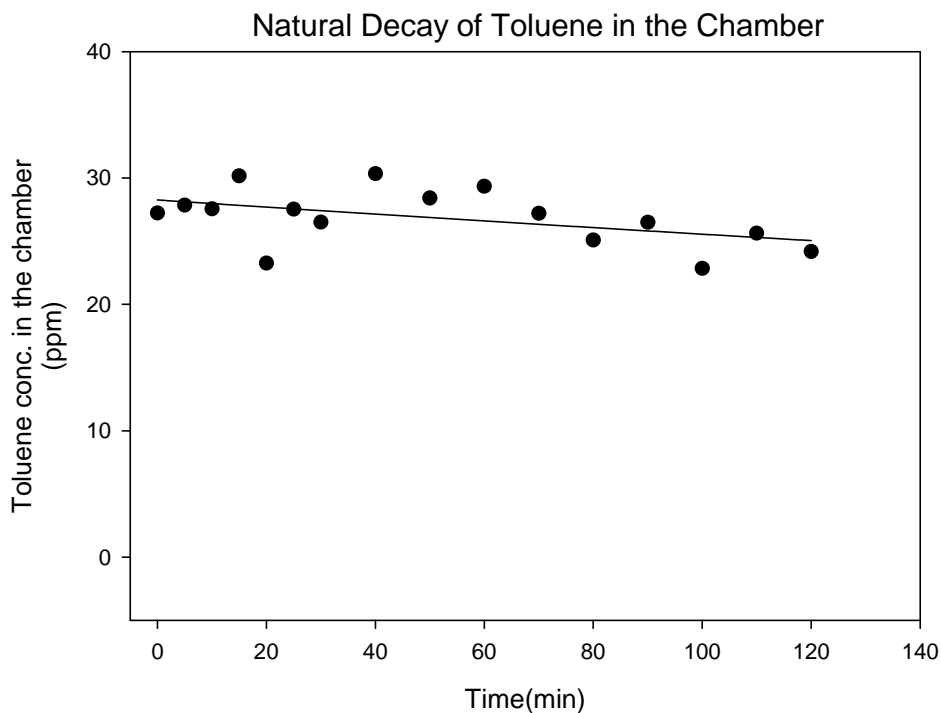


圖 3-1、艙室甲苯濃度自然衰減圖

3-2 空氣清淨機對甲苯之去除效率評估

3-2-1 不同機型空氣清淨機對甲苯之去除效率評估

吾人針對選定之空氣清淨機進行測試，以測試其在不同累積使用時間後之 CADR 變化量，環境艙室模擬以甲苯為測試氣體，溫度及相對溼度分別設定為 25°C 及 50%，定量甲苯於密閉艙室揮發混合後，其濃度起始值為 30 ppm，每批次實驗時間為 2 小時，於艙室甲苯濃度穩定後，啟動空氣清淨機，啟動後每隔 5-15 分鐘量測艙室內甲苯濃度變化。2 小時批次實驗結束後，關閉空氣清淨機並進行清艙，以清潔空氣排除艙室內未被吸附之甲苯。清艙後，即可再次置入定量甲苯，於艙室甲苯濃度穩定後，再次啟動空氣清淨機，進行下一回合之批次實驗。

◆ 空氣清淨機 A

選定僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機（編號 A）進行測試之結果如圖 3-2 至 3-3 所示。累積操作時間 2 小時後，艙室甲苯濃度由 30 ppm 降至 5 ppm；累積操作時間 8 小時後，在啟動之兩小時中，艙室甲苯濃度由 30 ppm 降至 12 ppm；經累積 16 小時操作（共 8 批次實驗）後，空氣清淨機出現劣化現象，累積操作時間 14-16 小時之中，艙室甲苯濃度僅能由 30 ppm 降至 25 ppm。

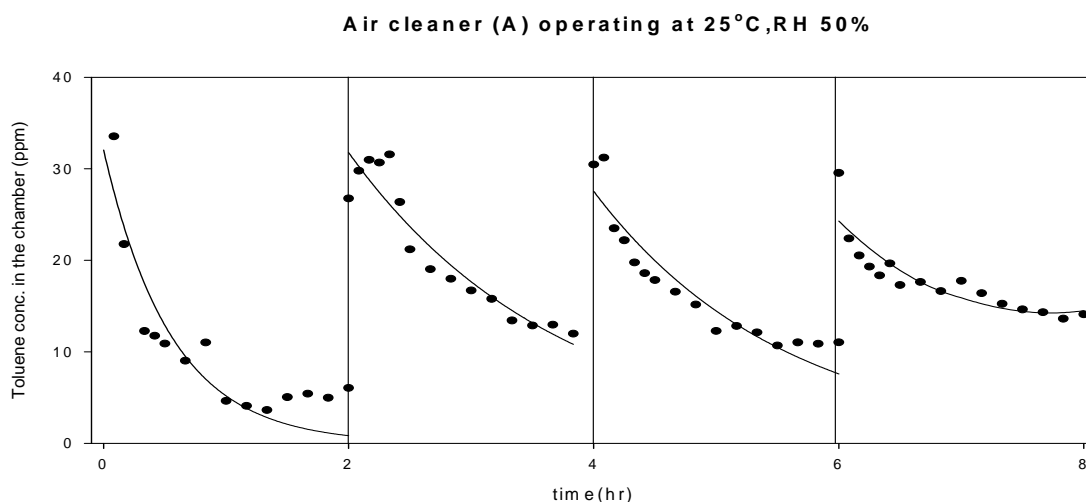


圖 3-2、僅具活性碳初濾網之空氣清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 8 小時)

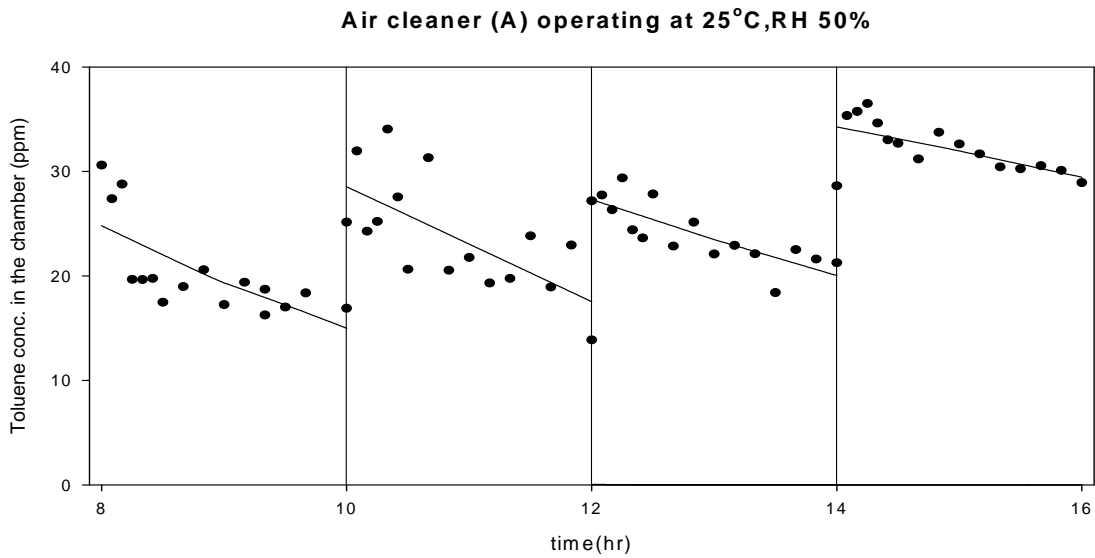


圖 3-3、僅具活性碳初濾網之空氣清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 16 小時)

◆ 空氣清淨機 B

選定具有活性碳初濾網及吸附濾材之空氣清淨機（編號 B）進行測試之結果如圖 3-4 至 3-5 所示。圖 3-4 顯示累積操作時間 0-8 小時之濃度變化，累積操作時間 20 分鐘後，艙室甲苯濃度由 30 ppm 降至 3 ppm 以下，1 小時後更降至 1ppm 以下；經累積 32 小時操作後（共 16 批次實驗，累積操作時間 8-24 小時之圖型因與 0-8 小時之濃度變化相似故予以省略），圖 3-5 顯示其吸附效能尚未出現降低現象，表示此空氣清淨機吸附量尚未達飽和，編號 B 之空氣清淨機為受測三種活性碳吸附型空氣清淨機中去除甲苯效率最高且吸附量最大者。

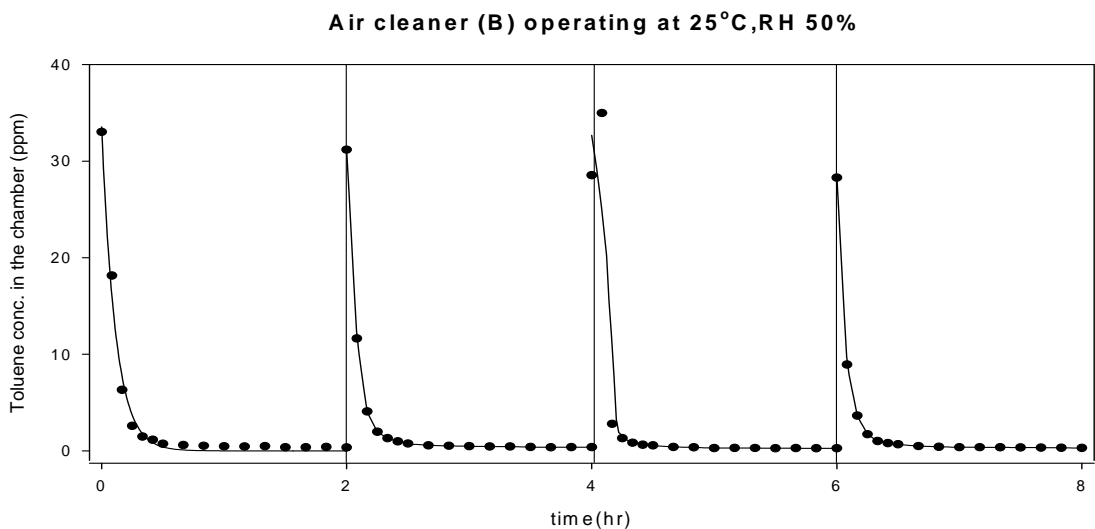


圖 3-4、具有吸附濾材之空氣清淨機 B 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 0-8 小時)

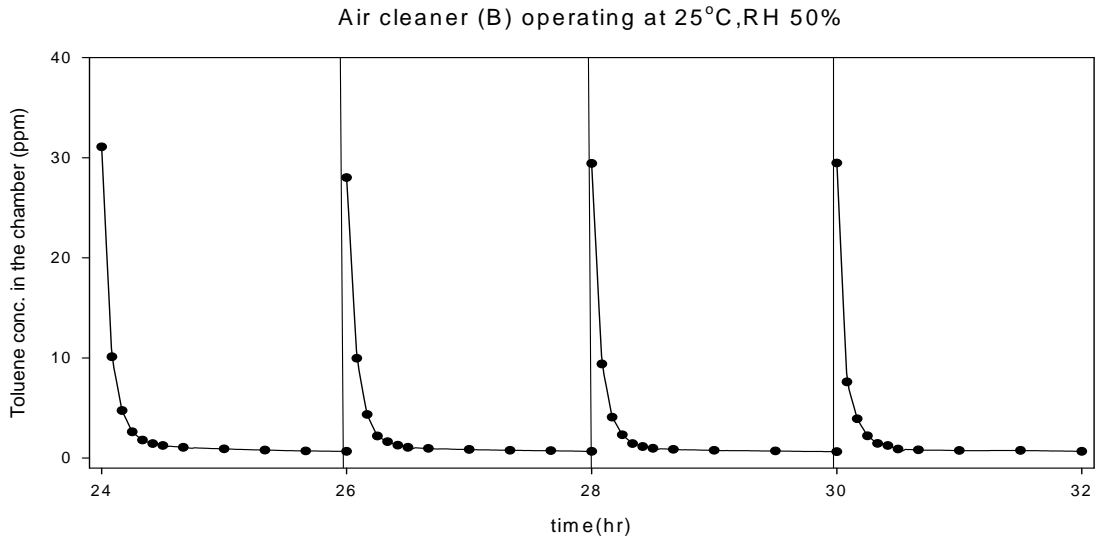


圖 3-5、具有吸附濾材之空氣清淨機 B 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 24-32 小時)

◆ 空氣清淨機 C

選定第二種僅具有活性炭初濾網之空氣清淨機 (編號 C) 進行測試之結果如圖 3-6 所示。圖 3-6 顯示累積操作時間 4 小時(共 2 批次實驗)後, 艙室甲苯濃度僅能由 35 ppm 降至 30 ppm, 顯示此空氣清淨機吸附量已近飽和, 編號 C 之空氣清淨機累積操作時間 4 小時後即無吸附甲苯之能力, 為受測三種活性炭吸附型空氣清淨機中去除甲苯效率最低者。

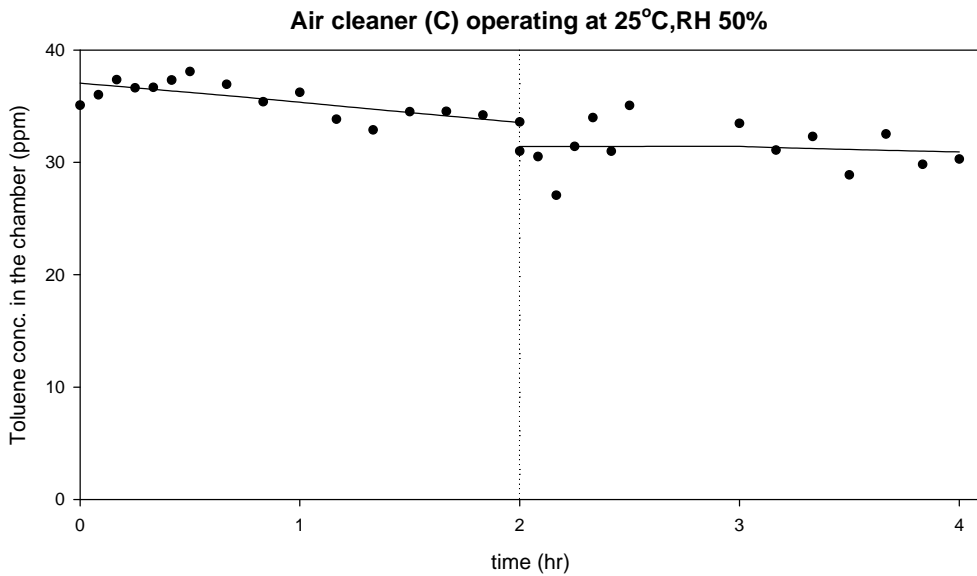


圖 3-6、僅具有活性炭初濾網之空氣清淨機 C 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 4 小時)

3-2-2 不同機型空氣清淨機之甲苯去除 CADR 值

由不同時間艙室內甲苯濃度之變化，可以計算空氣清淨機在不同累積操作時間之 CADR 值之變化情形。空氣清淨機 C 去除甲苯之效率最低，在累積操作時間 2 小時後，其 CADR 僅為 $0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ ；累積操作時間 4 小時後，此空氣清淨機之 CADR 已接近 0，即已無吸附甲苯之能力。而僅具有活性炭初濾網之空氣清淨機（編號 A）及具有活性炭初濾網及吸附濾材之空氣清淨機（編號 B）之 CADR 值經實驗計算比較結果如圖 3-7 所示，空氣清淨機 A 之 CADR 值隨累積操作時間之增加而減少，經 16 小時操作後，其 CADR 值由最初之 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 降至接近 0，顯示此空氣清淨機吸附量已達飽和。而具有活性炭初濾網及吸附濾材之空氣清淨機 CADR 值經實驗計算結果顯示，累積操作時間 32 小時後，此空氣清淨機之 CADR 未出現減少，其 CADR 仍保持在最初 $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右，顯示其吸附能力尚未劣化。

由於空氣清淨機 B 具有活性炭初濾網、HEPA 濾材及吸附濾材，故擁有最佳吸附效能。過去傳統型式之空氣清淨機，如空氣清淨機 A 及空氣清淨機 C，僅具有活性炭初濾網，其或許具有除塵及保護 HEPA 濾材之功能，但對於揮發性有機物之去除效果並不佳。

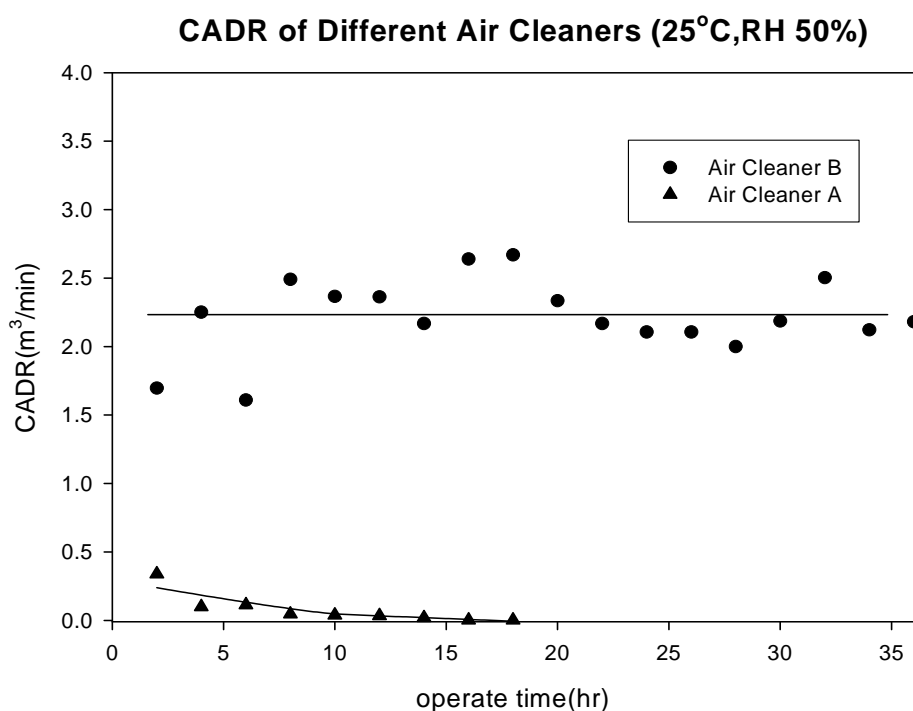


圖 3-7、不同型式空氣清淨機之 CADR 變化比較圖

3-2-3 溫度對於甲苯去除效率之影響

為瞭解高溫對於 CADR 之影響，選定僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機(編號 A) 進行溫度對於甲苯去除之影響測試，測試溫度及相對溼度分別設定為 35°C 及 50%，其濃度起始值為 30 ppm，每批次實驗時間為 2 小時，於艙室甲苯濃度穩定後，啟動空氣清淨機，啟動後每隔 5-15 分鐘量測艙室內甲苯濃度變化。圖 3-8 顯示累積操作時間 2 小時後，艙室甲苯濃度由 30 ppm 降至約 7 ppm，其 CADR 值為 0.28 m³/min，此空氣清淨機之 CADR 值隨累積操作時間之增加而減少，累積操作時間達 8 小時後，其 CADR 值已趨近於 0。

由上述結果與操作溫度為 25°C 之結果比較，顯示溫度對甲苯之去除效率有影響，在相同操作條件下，室內溫度愈高，其 CADR 值愈低，即表示其甲苯去除效率越低(圖 3-9)。

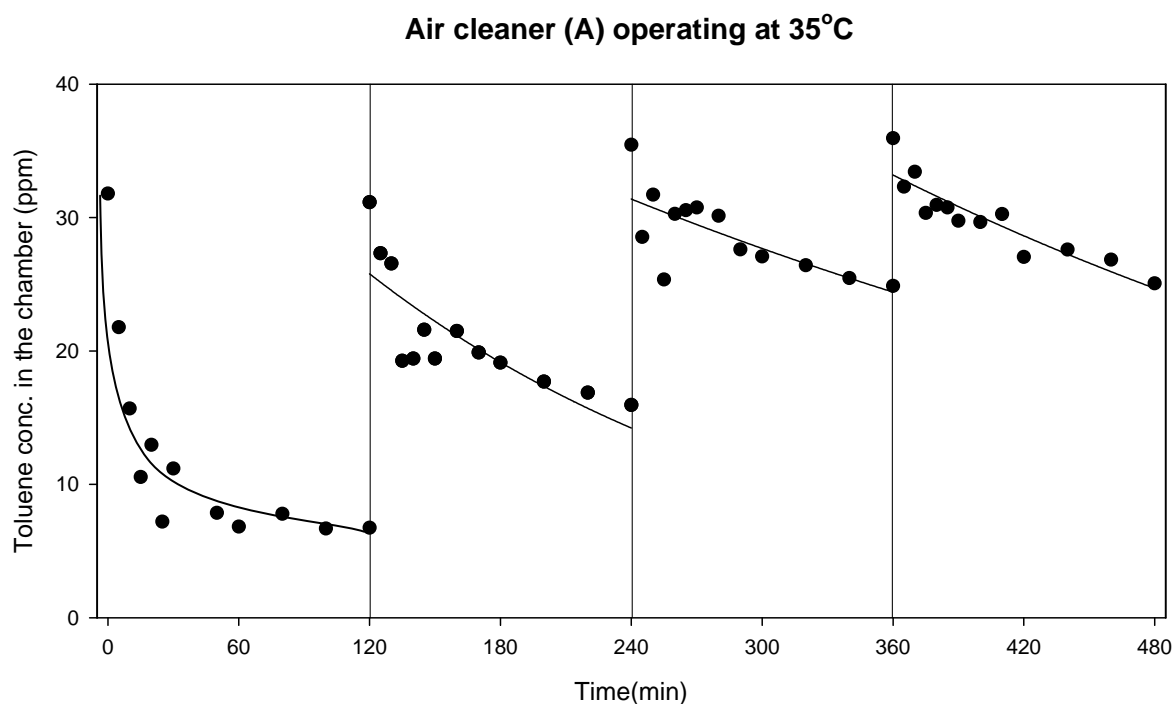


圖 3-8 高溫 (35°C) 操作下，清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 8 小時)

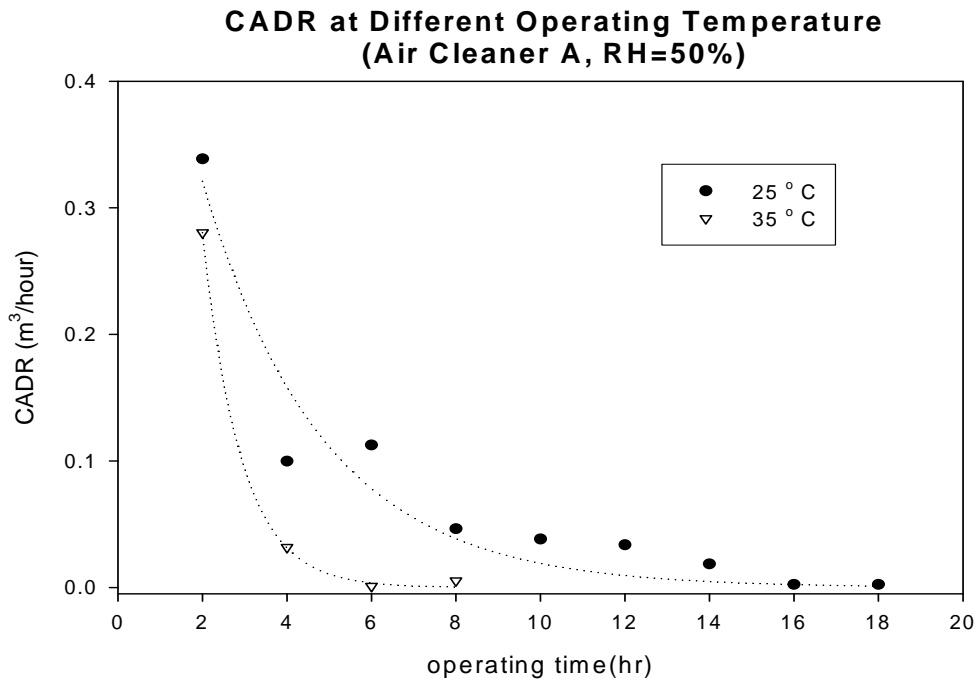


圖 3-9 不同操作溫度下，清淨機 A 去除甲苯 CADR 變化圖

3-2-4 溼度對於甲苯去除效率之影響

選定僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機(編號 A)，進行溼度對於去除甲苯之影響測試，測試溫度為 25°C，相對溼度則為 85%，實驗方法與前述”溫度對於甲苯去除效率之影響”相同。圖 3-10 顯示累積操作時間 2 小時後，艙室甲苯濃度由 38 ppm 降至 32 ppm，而其 CADR 值則小於 0.01 m³/min，在累積操作 4 小時後，此時空氣清淨機幾乎已無任何作用。

和相對溼度為 50%之結果互相比較，可發現溼度對於甲苯之去除效率有極大之影響，在高濕條件下，清淨機對於甲苯之去除效率不佳。

Air cleaner (A) operating at RH 85%

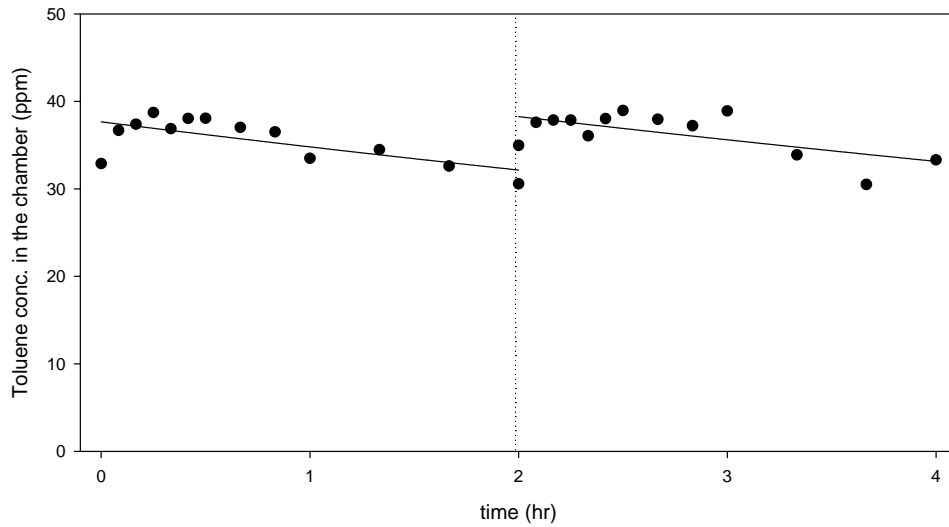


圖 3-10 高濕 (RH 85%) 操作下，清淨機 A 去除甲苯濃度變化圖(累積操作時間 4 小時)

3-3 空氣清淨機對甲醛之去除效率評估

選定僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機(編號 A)進行甲醛去除效率測試，測試條件與甲苯去除效率相同，溫度及相對溼度分別設定為 25°C 及 50%，定量甲醛於密閉艙室揮發混合後，其濃度起始值為 30 ppm，每批次實驗時間為 2 小時，於艙室甲醛濃度穩定後，啟動空氣清淨機，啟動後每隔 5-15 分鐘量測艙室內甲醛濃度變化。圖 3-11 顯示累積操作時間 2 小時後，艙室甲醛濃度僅由 30 ppm 降至約 20 ppm，其 CADR 值僅為 0.01 m³/min，此空氣清淨機之 CADR 值隨累積操作時間之增加而減少。累積操作時間達 6 小時後，艙室甲醛濃度下降幅度很小，顯示此空氣清淨機吸附量已達飽和。其 CADR 值已趨近於 0。由上述甲醛去除效率測試結果顯示，初濾網對甲醛之去除效率遠低於對甲苯之去除效率，顯示僅具活性碳初濾網之空氣清淨機對甲醛吸附效果不佳。

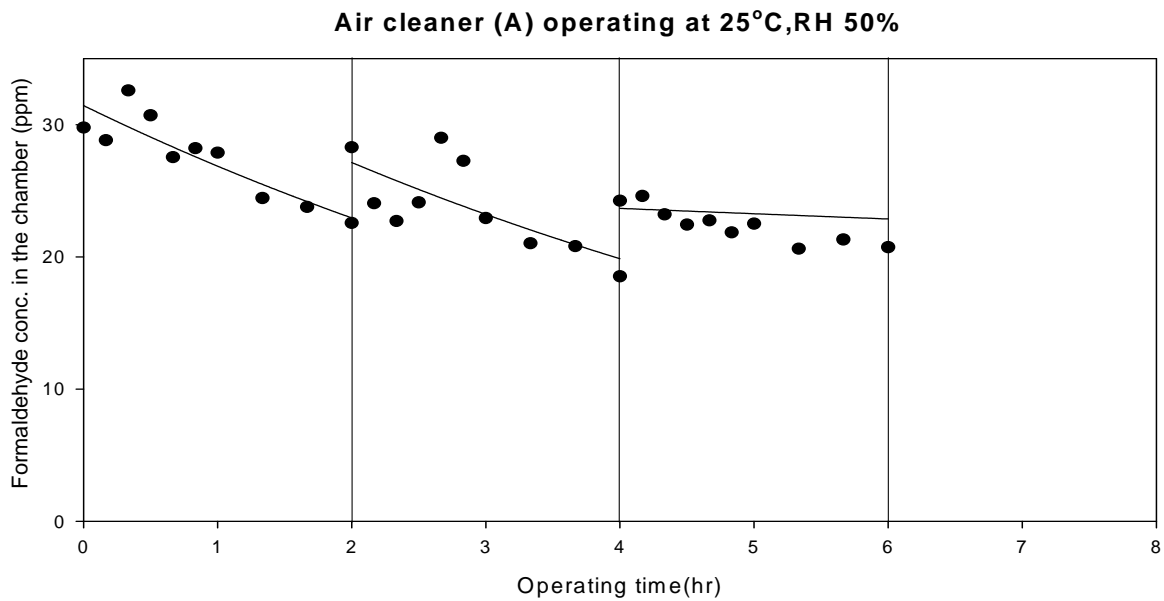


圖 3-11 清淨機 A 去除甲醛濃度變化圖(累積操作時間 6 小時)

3-4 空氣清淨機 VOCs 再釋出作用評估結果

本研究選定僅具有活性碳初濾網之空氣清淨機(編號 A)進行 VOCs 再釋出測試，將已飽和吸附甲苯之空氣清淨機，分別置於不同之環境因子下，以模擬吸附材濾網劣化後再使用時 VOCs 之再釋出作用，測試結果如圖 3-12 所示。

於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下，飽和吸附之空氣清淨機置於密閉艙室內，在未啟動條件下，1 小時後艙室內濃度升高至 1.8 ppm，隨後啟動空氣清淨機，艙室內濃度增加並於 3-5 ppm 範圍內小幅度變化，操作 2 小時後艙室內濃度為 4.9 ppm，隨後再關閉空氣清淨機，持續監測 1 小時後艙室內濃度達到 5.1 ppm。經由質量平衡計算，空氣清淨機啟動後 2 小時後，共釋出甲苯達 211.9 mg。

於溫度 35°C，相對溼度 50% 條件下，飽和吸附之空氣清淨機置於密閉艙室內，在未啟動條件下，1 小時後艙室內濃度升高至 7.4 ppm，隨後啟動空氣清淨機，艙室內濃度增加並於 10-17 ppm 範圍內變化，操作 2 小時後艙室內濃度為 15.0 ppm，隨後再關閉空氣清淨機，持續監測 1 小時後艙室內濃度達到 16.3 ppm。空氣清淨機啟動後 2 小時後，共釋出甲苯達 648.6 mg。

於溫度 25°C，相對溼度 85% 條件下，飽和吸附之空氣清淨機置於密閉艙室內，在未啟動條件下，1 小時後艙室內濃度升高至 11.0 ppm，隨後啟動空氣清淨機，艙室內濃度迅速增加並於 35-45 ppm 範圍內變化，操作 2 小時後艙室內濃度升高至 43.7 ppm，隨後再關閉空氣清淨機，持續監測 1 小時後艙室內濃度為 42.5 ppm。空氣清淨機啟動後 2 小時後，共釋出甲苯達 1889.5 mg。

由以上結果顯示綜合分析，甲苯吸附已達飽和狀態之空氣清淨機，於溫度 25°C、相對溼度 50% 條件條件下，即使未啟動，清淨機仍能釋放少量甲苯，啟動後再釋放吹出甲苯之現象更加明顯。清淨機啟動後室內濃度會有上下微幅變化，此現象應為再釋出及再吸附之交互作用所致。若提高艙室溫度至 35°C 下，無論靜置或啟動，清淨機釋放之甲苯均較溫度 25°C 為高，若將相對溼度提高至 80% 條件下，無論靜置或啟動，再釋放甲苯之量更大幅增加。因此，於室內高溫及高濕條件下，若未及時更換已吸附飽和之濾網，空氣清淨機將形成一室內揮發性有機物污染來源，尤其在高濕度條件下之污染情形最為明顯。

由以上結果顯示，於一般室內環境因子的變化範圍下，溼度對已達飽和狀態之空氣清淨機之污染物之脫附現象影響較溫度為大，相對溼度對吸附作用有負面之影響，溼度愈大，吸附貫穿之時間愈早，吸附量減少，一般而言，水分子吸附在活性碳上之主要機制並不同於有機蒸氣之吸附機制，主要是靠活性碳表面之錯氧化合物及已吸附的水汽分子，這些吸附中心子(Adsorption centers) 會與水汽形成氫鍵鍵結，造成不可逆之化學性吸附，進而造成已吸附之有機氣體脫附之現象。

國內氣候較為潮濕，夏季或雨季相對溼度經常在 80% 以上，吸附型空氣清淨機之使用，若無空調系統之配合，以降低室內相對溼度，則空氣清淨機之吸附效果不但不彰，空氣清淨機反將形成一污染來源，因此建立本土性空氣清淨機檢測標準實有其必要性，尤其測試之環境因子一定要考量國內高濕之環境條件，不能完全參照國外之檢測方法，否則無法對消費大眾提供正確之選購參考，同時對室內揮發性有機污染之控制亦無大大助益。

VOCs re-emission tests

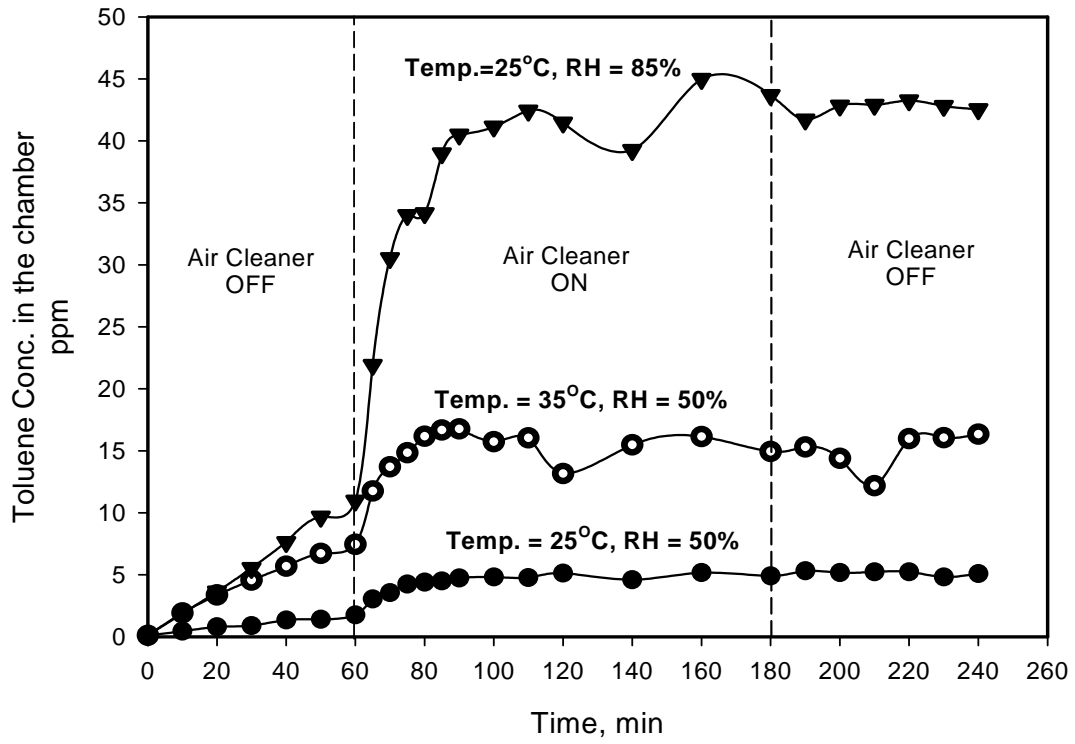


圖 3-12 、甲苯吸附飽和空氣清淨機污染再釋出實驗

四、結論與建議

1. 吸附型空氣清淨機之效能可利用控制環境條件下於艙室中進行評估，其標準方法之建立，可參考美國 AHAM AC-1 並加以改良，以 CADR 來評估吸附型空氣清淨機去除揮發性有機物之效能。
2. 由甲苯吸附實驗結果顯示，僅具活性碳初濾網之空氣清淨機，在使用初期具有去除揮發性有機物之效能，但在使用短時間之後即達到飽和，無法再降低室內揮發性有機物濃度。具有活性碳初濾網及吸附濾材之空氣清淨機，其 CADR 較僅具活性碳初濾網之空氣清淨機高出很多，室內濃度降低較快，使用時限較長，揮發性有機物去除效果明顯較好。
3. 室內溫度對甲苯之去除效率有影響，在相同操作條件下，室內溫度愈高，空氣清淨機之 CADR 值愈低，即表示其甲苯去除效率越低。
4. 室內濕度對活性碳空氣清淨機去除甲苯之效率有顯著的影響，在高溼下操作之空氣清淨機對於甲苯之去除效率不佳。
5. 僅具活性碳初濾網之空氣清淨機對甲醛吸附效果不佳，活性碳初濾網對甲醛之去除效率遠低於對甲苯之去除效率。
6. 於室內高溫及高濕條件下，若未及時更換已吸附飽和之濾網，空氣清淨機將形成一室內揮發性有機物污染來源，形成危害人體健康之潛在因子，尤其在高濕度條件下之污染最需加以防範。
7. 建立本土性空氣清淨機檢測標準實有其必要性，尤其測試方法之環境因子一定要考量國內高濕之環境條件，不能完全參照國外之檢測方法，否則無法對消費大眾提供正確之資訊。

五、參考文獻

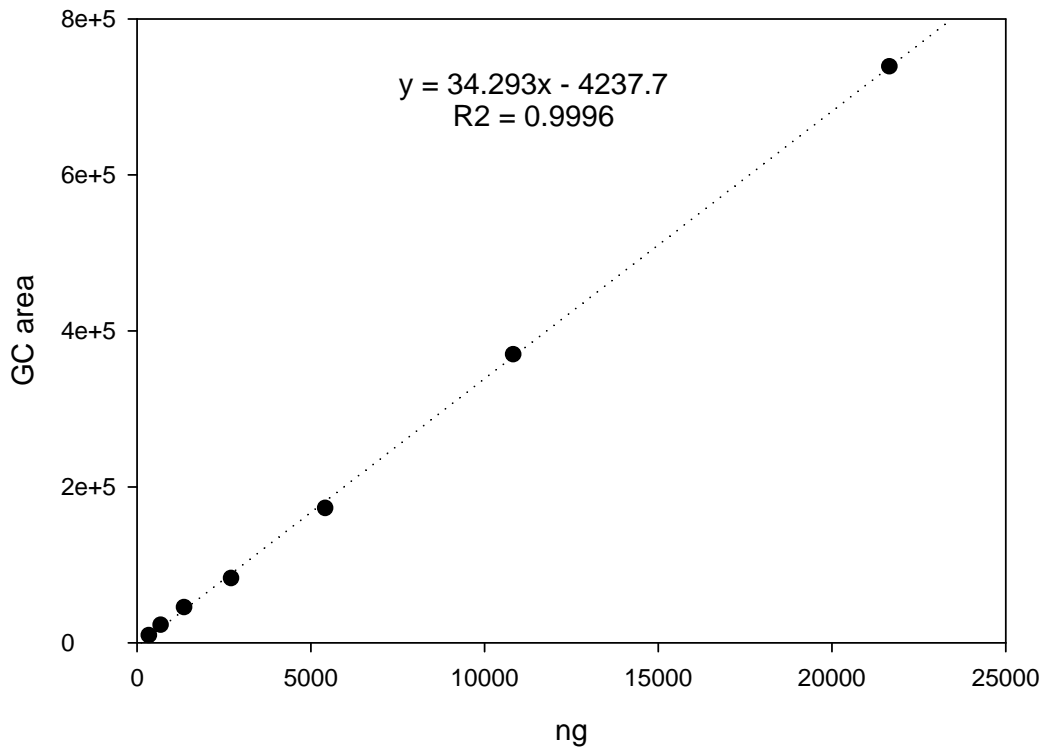
- 張志成，空調環境氣體污染物控制技術，冷凍與空調，2000年8月，pp: 83-91
- 劉德勇、江旭政，空氣清淨機檢測標準及性能測試現況，冷凍與空調，2000年4月，pp: 101-108。
- 中國國家標準 CNS 6873，”室內換氣量之測定法(二氧化碳法)”
- Beckett W.S., Russi M.B., Haber A.D., Rivkin R.M., Sullivan J.R., Tameroglu Z., Mohsenin V., Leaderer B.P., “Effect of Nitrous Acid on Lung Function in Asthmatics: A chamber Study,” *Environmental Health Perspectives*. Vol.103, No.4, pp.372-375, 1995.
- Carter, J.W. and M.L. Wyzynski, The Pressure Swing Adsorption Drying of Compress Air, *Chem. Eng. Sci.*, Vol.138, No.7, pp.1093, 1983.
- Chao C.Y.H., Tung T.C.W., Chan D.W.T., Burnett J., “Determination of Radon Emanation and Back Diffusion Characteristics of Building Materials in Small Chamber Tests,” *Building & Environment*. Vol.32, No.4, pp.355-362, 1997.
- Chow J.C., Watson J.G., Houck J.E., Pritchett L.C., Rogers C.F., Frazier C.A., Egami R.T., Ball B.M., “A Laboratory Resuspension Chamber to Measure Fugitive Dust Size Distributions and Chemical Compositions,” *Atmospheric Environment*. Vol.28, No.21, pp.3463-3481, 1994.
- Crump Derrick R., Chuck Yu., Squire W.F., Richard W., Atkinson, Michael, “Small Chamber Methods for Characterizing Formaldehyde Emission from Particle Board,” ASTM special technical publication. Philadelphia PA. no. 1287, 211-224, 1996.
- De Bortoli Maurizio., Helmut Knoppel., Angelo Columbo., Stylianos Kefalopoulos., “Attempting to Characterize the Sink Effect in a Small Stainless Steel Test Chamber,” ASTM special technical publication. Philadelphia PA. no. 1287, 305-318, 1996.
- Dillon H.K., Rumph P.F., “An Environmental Chamber for Investigating the Evaporation of

- Volatile Chemicals,” American Industrial Hygiene Association Journal. March. Vol.59, No.3, 1998.
- Groah, W.J. Gramp, G.D. Heroux, G.L. Haavik, D.W. (1998) “Two procedural aspects of measuring formaldehyde release from wood panel products using the large chamber. ” Forest Products Journal. September. Vol.48, No.9, pp.75-80.
- Guo H., Murray F., Wilkinson S., “Evaluation of Total Volatile Organic Compound Emissions from Adhesives Based on Chamber Tests,” Journal of the Air & Waste Management Association. Vol. 50, No. 2, pp. 199-206, 2000.
- Hayter A.J., Dowling M.M., “Experimental Designs and Emission Rate Modeling for Chamber Experiments,” Atmospheric Environment. Part A, General Topics. Vol.27A, No.14, pp.2225-2234, 1993.
- JEM 1467.1995',家庭用空氣清淨機',日本電機工業會
- Jianlei Niu, Thomas C.W. Tung, Vera W.Y. Chui. "Using large environmental chamber technique for gaseous contaminant removal equipment test". ASHRAE Transactions, 1998.
- JIS C 9615.1995',空氣清淨機試驗',日本工業標準調查會
- John, L.A., E.B. Sansone and T .S. Farris, The Effect of Moisture on the Adsorption of Chloroform by Activated Carbon, ~m. Ind. Hyg. Assoc., Vol.46, No.1, pp.20-23, 1985.
- Lawless P.A., Smith D.D., Ensor D.S., Sparks L.E., “Large Dynamic Chamber for Characterizing Particulate and VOC Emissions,” ASTM special technical publication. Philadelphia PA. no. 1287, 34-43, 1996.
- Leigh Ivan E., “Novel Mini-Chamber Procedure for Screening Insulation for Emission of Formaldehyde and other VOCs,” ASTM special technical publication. Philadelphia PA. no. 1287, 67-74, 1996.
- Liles W. Terry., Koontz, Michael D., Hoag Michael L., “Comparison of Two Small Chamber Test Methods Used to Measure Formaldehyde and VOC Emission Rates from Particleboard and Medium Density Fiberboard,” ASTM special technical publication. Philadelphia PA. no. 1287, 200-210, 1996.
- Linn W.S., Gong H., Jr., Shamoo D.A., Anderson K.R., Avol E.L., “Chamber Exposures of Children to Mixed Ozone, Sulfur Dioxide, and Sulfuric Acid,” Archives of Environmental Health. Vol.52, No.3, pp.179-187, 1997.
- Peixoto J., Mota M., “Volatile Organic Compounds Evaporation Chamber for the Simulation

- of Gas Effluents in Laboratory Research,” *Biotechnology Techniques*. Vol.11, No.1, pp.1-6, 1997.
- Rudell B., Hansen N., Hansson C., Oestberg Y., “A Mobile Exposure Chamber for Challenge Tests to the Human Respiratory Tract,” *Applied Occupational & Environmental Hygiene*. Vol.12, No.7, pp.465-469, 1997.
- Ruthven, DM., *Principles of Adsorption & Adsorption Process*, John Wiley and Sons, 1984.
- Schmidt C.E., Zdeb T.F., ”Direct Measurement of Indoor Infiltration Through a Concrete Slab Using the US EPA Flux Chamber,” *The 1998 91st Annual Meeting & Exposition of the Air & Waste Management Association*, 06/14-18/98, San Diego, CA, USA, 1998.
- Sollinger S., Levsen K., Wuensch G., “Indoor Air Pollution by Organic Emissions from Textile Floor Coverings. Climate Chamber Studies Under Dynamic Conditions,” *Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere*. Vol.27B, No.2, pp.183-192, 1993.
- Spiker E.C., Hosker R.P., Comer V.J., White J.R., Werre R.W., Jr., “Harmon F.L., Gandy G.D., Sherwood S.I., Environmental Chamber for Study of the Deposition Flux of Gaseous Pollutants to Material Surfaces,” *Atmospheric Environment. Part A, General Topics*. Vol.26A, No.16, pp.2885-2892, 1992.
- Van Loy, Michael D., Lee Victor C., Gundel Lara A., Daisey Joan M., Sextro Richard G., Nazaroff William W., “Dynamic Behavior of Semivolatile Organic Compounds in Indoor Air. 1. Nicotine in a Stainless Steel Chamber,” *Environmental Science & Technology*. Vol.31, No.9, pp.2554-2561, 1997.
- Zhang J.S., Kanabus-Kaminska J.M., Shaw C.Y., “Full-Scale Test Chamber for Material Emission Studies and Indoor Air Quality Modeling,” *ASTM special technical publication*. Philadelphia PA. no. 1287, 58-66, 1996.
- Zhang J.S., Shaw C.Y., Kanabus-Kaminska J.M., MacDonald R.A., Magee R.J., Luszyk E., Weichert H.J., “Study of Air Velocity and Turbulence Effects on Organic Compound Emissions from Building Materials/Furnishings Using a New Small Test Chamber,” *ASTM special technical publication*. Philadelphia PA. no. 1287, 184-199, 1996.
- Zhu Jiping., Zhang Jianshun., Luszyk Eva., Magee Robert J., “Measurements of VOC Emissions from Three Building Materials Using Dmall Environmental Chamber Under Defined Standard Test Conditions,” *The 1998 91st Annual Meeting & Exposition of the Air & Waste Management Association*, 06/14-18/98, San Diego, CA, USA, 1998

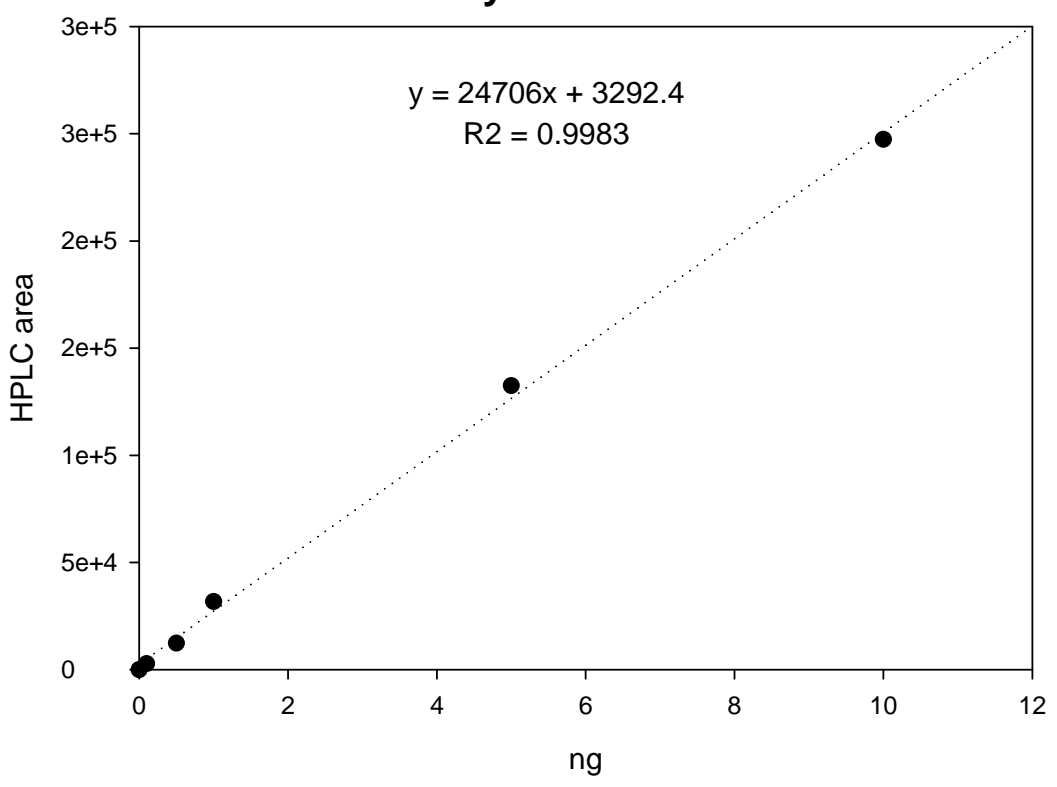
附圖及附表

toluene calibration curve



附圖 1 甲苯檢量線

formaldehyde calibration curve



附圖 2 甲醛檢量線

附表 1 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下去除甲苯實驗之結果

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時	10 小時	12 小時	14 小時	16 小時	18 小時
樣本描述	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)
清靜機尚未啟動下	*	26.75	30.45	29.54	30.61	25.15	27.19	28.64	30.80
清靜機啟動 5 分鐘	33.53	29.78	31.21	22.38	27.40	31.96	27.74	35.35	29.60
清靜機啟動 10 分鐘	21.76	30.96	23.49	20.52	28.79	24.28	26.34	35.75	28.97
清靜機啟動 15 分鐘	*	30.67	22.18	19.30	19.67	25.22	29.38	36.50	29.22
清靜機啟動 20 分鐘	12.26	31.56	19.77	18.34	19.65	34.06	24.42	34.64	28.73
清靜機啟動 25 分鐘	11.75	26.35	18.59	19.65	19.77	27.57	23.64	33.03	27.85
清靜機啟動 30 分鐘	10.89	21.19	17.83	17.29	17.49	20.63	27.85	32.70	26.17
清靜機啟動 40 分鐘	9.01	19.01	16.56	17.61	18.98	31.31	22.86	31.20	26.06
清靜機啟動 50 分鐘	11.01	17.98	15.16	16.63	20.59	20.54	25.15	33.75	25.33
清靜機啟動 60 分鐘	4.64	16.69	12.27	17.74	17.26	21.78	22.10	32.63	26.39
清靜機啟動 70 分鐘	4.10	15.77	12.81	16.40	19.39	19.32	22.93	31.68	26.62
清靜機啟動 80 分鐘	3.63	13.42	12.12	15.23	18.73	19.76	22.12	30.45	25.37
清靜機啟動 90 分鐘	5.04	12.87	10.69	14.62	17.02	23.84	18.41	30.26	25.11
清靜機啟動 100 分鐘	5.42	12.96	11.03	14.32	18.37	18.94	22.52	30.56	26.54
清靜機啟動 110 分鐘	4.98	11.97	10.88	13.61	16.26	22.96	21.61	30.11	26.79
清靜機啟動 120 分鐘	6.04	11.45	11.04	14.09	16.91	13.88	21.27	28.94	26.26

附表 2 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下去除甲苯實驗之結果 (一)

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時	10 小時	12 小時	14 小時	16 小時	18 小時
樣本描述	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)
清靜機尚未啟動下	33.02	31.17	28.54	28.28	37.56	31.07	30.41	32.38	36.36
清靜機啟動 5 分鐘	18.14	11.63	34.97	8.93	11.16	10.79	11.72	7.89	10.63
清靜機啟動 10 分鐘	6.31	4.07	2.79	3.65	4.41	4.07	4.27	2.17	4.03
清靜機啟動 15 分鐘	2.59	1.96	1.30	1.71	2.17	1.71	2.15	1.32	2.10
清靜機啟動 20 分鐘	1.48	1.30	0.83	1.01	1.35	1.08	1.23	0.86	1.45
清靜機啟動 25 分鐘	1.14	0.97	0.62	0.80	0.99	0.87	1.01	0.64	1.17
清靜機啟動 30 分鐘	0.73	0.75	0.55	0.67	0.86	0.65	0.90	0.53	0.99
清靜機啟動 40 分鐘	0.59	0.57	0.39	0.49	0.64	0.50	0.74	0.46	0.90
清靜機啟動 50 分鐘	0.52	0.52	0.36	0.42	0.57	0.43	0.51	0.37	
清靜機啟動 60 分鐘	0.46	0.48	0.28	0.37	0.51	0.42	0.51	0.33	0.67
清靜機啟動 70 分鐘	0.44	0.44	0.30	0.37	0.46	0.35			
清靜機啟動 80 分鐘	0.47	0.44	0.29	0.36	0.44	0.33	0.45	0.31	0.64
清靜機啟動 90 分鐘	0.36	0.40	0.27	0.34	0.42	0.32			
清靜機啟動 100 分鐘	0.36	0.36	0.28	0.33	0.41	0.32	0.45	0.29	0.54
清靜機啟動 110 分鐘	0.39	0.39	0.27	0.32	0.41	0.30			
清靜機啟動 120 分鐘	0.35	0.38	0.27	0.30	0.37	0.29	0.41	0.27	0.50

附表 3 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下去除甲苯實驗之結果 (二)

累積操作時間	20 小時	22 小時	24 小時	26 小時	28 小時	30 小時	32 小時	34 小時	36 小時
樣本描述	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)	甲苯濃度 (ppm)
清靜機尚未啟動下	33.00	30.26	29.63	31.08	28.01	29.42	29.46	29.72	30.37
清靜機啟動 5 分鐘	8.10	9.57	9.70	10.10	9.96	9.38	7.59	9.86	9.70
清靜機啟動 10 分鐘	3.79	4.40	4.34	4.73	4.35	4.07	3.91	4.17	4.20
清靜機啟動 15 分鐘	2.23	2.42	2.52	2.60	2.18	2.31	2.21	2.38	2.31
清靜機啟動 20 分鐘	1.46	1.53	1.75	1.78	1.62	1.44	1.44	1.65	1.64
清靜機啟動 25 分鐘	1.11	1.44	1.35	1.44	1.28	1.14	1.23	1.15	1.35
清靜機啟動 30 分鐘	0.85	1.03	1.23	1.24	1.06	0.96	0.89	1.17	1.11
清靜機啟動 40 分鐘	0.76	0.92	1.16	1.05	0.95	0.86	0.81	1.08	0.99
清靜機啟動 50 分鐘	0.67								
清靜機啟動 60 分鐘	0.67	0.89	0.94	0.91	0.84	0.76	0.74	0.94	0.97
清靜機啟動 80 分鐘	0.54	0.86	0.84	0.79	0.77				
清靜機啟動 90 分鐘						0.70	0.75	0.79	0.84
清靜機啟動 100 分鐘	0.47	0.79	0.77	0.70	0.73				
清靜機啟動 120 分鐘	0.43	0.65	0.75	0.66	0.66	0.63	0.67	0.71	0.75

附表 4 空氣清淨機 C 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下去除甲苯實驗之結果

累積操作時間	2 小時	4 小時
樣本描述	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)
清靜機尚未啟動下	35.09	31.00
清靜機啟動 5 分鐘	36.01	30.51
清靜機啟動 10 分鐘	37.35	27.07
清靜機啟動 15 分鐘	36.63	31.42
清靜機啟動 20 分鐘	36.67	33.98
清靜機啟動 25 分鐘	37.32	30.99
清靜機啟動 30 分鐘	38.07	35.07
清靜機啟動 40 分鐘	36.95	*
清靜機啟動 50 分鐘	35.39	*
清靜機啟動 60 分鐘	36.22	33.47
清靜機啟動 70 分鐘	33.84	31.08
清靜機啟動 80 分鐘	32.89	32.29
清靜機啟動 90 分鐘	34.51	28.89
清靜機啟動 100 分鐘	34.53	32.52
清靜機啟動 110 分鐘	34.20	29.82
清靜機啟動 120 分鐘	33.59	30.29

*未採樣

附表 5 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50%條件下去除甲苯之 CADR 值

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時	10 小時	12 小時	14 小時	16 小時	18 小時
CADR (m ³ /min)	3.39e-1	0.99e-1	1.13e-1	0.46e-1	0.38e-1	0.34e-1	0.19e-1	2.32e-3	2.32e-3

附表 6 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50%條件下去除甲苯之 CADR 值 (一)

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時	10 小時	12 小時	14 小時	16 小時	18 小時
CADR (m ³ /min)	1.70	2.25	1.61	2.49	2.37	2.36	2.17	2.64	2.67

附表 7 空氣清淨機 B 於溫度 25°C，相對溼度 50%條件下去除甲苯之 CADR 值 (二)

累積操作時間	20 小時	22 小時	24 小時	26 小時	28 小時	30 小時	32 小時	34 小時	36 小時
CADR (m ³ /min)	2.34	2.17	2.11	2.11	2.00	2.19	2.50	2.12	2.18

附表 8 空氣清淨機 C 於溫度 25°C，相對溼度 50%條件下去除甲苯之 CADR 值

累積操作時間	2 小時	4 小時
CADR (m ³ /min)	0.1e-1	0

附表 9 高溫操作下 (35°C)，空氣清淨機 A 去除甲苯實驗之結果

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
樣本描述	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)
清靜機尚未啟動下	31.80	31.15	35.46	35.96
清靜機啟動 5 分鐘	21.77	27.32	28.55	32.32
清靜機啟動 10 分鐘	15.68	26.55	31.71	33.43
清靜機啟動 15 分鐘	10.55	19.26	25.36	30.35
清靜機啟動 20 分鐘	12.96	19.42	30.28	30.93
清靜機啟動 25 分鐘	7.19	21.58	30.55	30.75
清靜機啟動 30 分鐘	11.19	19.42	30.75	29.75
清靜機啟動 40 分鐘	*	21.48	30.12	29.66
清靜機啟動 50 分鐘	7.86	19.89	27.61	30.26
清靜機啟動 60 分鐘	6.82	19.12	27.07	27.05
清靜機啟動 80 分鐘	7.78	17.70	26.42	27.60
清靜機啟動 100 分鐘	6.67	16.88	25.47	26.85
清靜機啟動 120 分鐘	6.75	15.95	24.87	25.07

*未採樣

附表 10 高濕操作下 (85%)，空氣清淨機 A 去除甲苯實驗之結果

累積操作時間	2 小時	4 小時		
樣本描述	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)		
清靜機尚未啟動下	32.88	34.97		
清靜機啟動 5 分鐘	36.68	37.60		
清靜機啟動 10 分鐘	37.40	37.85		
清靜機啟動 15 分鐘	38.73	37.85		
清靜機啟動 20 分鐘	36.89	36.07		
清靜機啟動 25 分鐘	38.06	38.03		
清靜機啟動 30 分鐘	38.06	38.96		
清靜機啟動 40 分鐘	37.03	37.95		
清靜機啟動 50 分鐘	36.52	37.23		
清靜機啟動 60 分鐘	33.50	38.91		
清靜機啟動 80 分鐘	34.48	33.89		
清靜機啟動 100 分鐘	32.60	30.50		
清靜機啟動 120 分鐘	30.57	33.31		

附表 11 高溫操作下 (35°C)，空氣清淨機 A 去除甲苯之 CADR 值

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
CADR (m ³ /min)	0.2804	0.0317	1.0580e-3	5.2900e-3

附表 12 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50% 條件下去除甲醛實驗之結果

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時	
樣本描述	甲醛濃度(ppm)	甲醛濃度(ppm)	甲醛濃度(ppm)	
清靜機尚未啟動下	29.78	28.29	24.25	
清靜機啟動 10 分鐘	28.82	24.05	24.60	
清靜機啟動 20 分鐘	32.59	22.71	23.21	
清靜機啟動 35 分鐘	30.71	24.12	22.44	
清靜機啟動 40 分鐘	27.54	29.01	22.76	
清靜機啟動 50 分鐘	28.22	27.26	21.85	
清靜機啟動 60 分鐘	27.88	22.93	22.51	
清靜機啟動 80 分鐘	24.44	21.03	20.61	
清靜機啟動 100 分鐘	23.77	20.81	21.31	
清靜機啟動 120 分鐘	22.56	18.52	20.73	

附表 13 空氣清淨機 A 於溫度 25°C，相對溼度 50%條件下去除甲醛之 CADR 值

累積操作時間	2 小時	4 小時	6 小時
CADR (m ³ /min)	0.1e-1	0.1e-1	0

附表 14 甲苯吸附飽和空氣清淨機污染再釋出實驗之結果

實驗之環境條件	Temp. =25°C ,RH= 50%	Temp. =25°C ,RH= 85%	Temp. =35°C ,RH= 50%
樣本描述	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)	甲苯濃度(ppm)
靜置清靜機 10 分鐘	0.44	1.86	1.91
靜置清靜機 20 分鐘	0.79	3.63	3.36
靜置清靜機 30 分鐘	0.90	5.54	4.57
靜置清靜機 40 分鐘	1.34	7.63	5.67
靜置清靜機 50 分鐘	1.40	9.68	6.70
靜置清靜機 60 分鐘	1.76	10.97	7.44
清靜機啟動 5 分鐘	3.04	21.92	11.75
清靜機啟動 10 分鐘	3.55	30.53	13.69

清靜機啟動 15 分鐘	4.24	34.00	14.83
清靜機啟動 20 分鐘	4.39	34.16	16.17
清靜機啟動 25 分鐘	4.49	38.99	16.67
清靜機啟動 30 分鐘	4.74	40.49	16.76
清靜機啟動 40 分鐘	4.81	41.15	15.73
清靜機啟動 50 分鐘	4.77	42.43	16.05
清靜機啟動 60 分鐘	5.13	41.47	13.16
清靜機啟動 80 分鐘	4.59	39.25	15.48
清靜機啟動 100 分鐘	5.17	44.99	16.13
清靜機啟動 120 分鐘	4.91	43.68	14.94
靜置清靜機 10 分鐘	5.31	41.71	15.31
靜置清靜機 20 分鐘	5.17	42.84	14.39
靜置清靜機 30 分鐘	5.23	42.89	12.17
靜置清靜機 40 分鐘	5.23	43.26	15.97
靜置清靜機 50 分鐘	4.82	42.81	16.05
靜置清靜機 60 分鐘	5.09	42.55	16.34