

嘉南藥理大學 107 年度 研究計畫成果報告

計畫名稱：學校學習場域室內空氣品質調查與改善：
子計畫 4-室內空氣中氣狀汙染物之吸附去除機構探討

■重點(整合型)研究計畫

□與業界廠商合作之研究計畫

執行期間：107年5月23日至12月31日

總計畫主持人：賴振立

本(子)計畫主持人：陳世雄

中華民國 107 年 12 月 31 日

(一)摘要

室內空氣污染物指室內空氣中常態逸散，經長期性暴露足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質，包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、細菌、真菌、粒徑小於等於 10 微米之懸浮微粒(PM₁₀)、粒徑小於等於 2.5 微米之懸浮微粒(PM_{2.5})、臭氧及其他經主管機關指定公告之物質，隨著經濟的發展，揮發性有機化合物 (VOC) 的污染已成為危害人體健康的公害。目前各種室內空氣污染物控制技術中包含生物性污染物、粒狀污染物、及氣狀污染物，目前針對生物性污染物、粒狀污染物已有各種方法的適用條件及解決方式，但針對氣狀污染物目前仍以吸附法為主要的發展方向。本研究將探討氣狀污染物在不同溫度下活性炭之吸附行為，研究中利用氣體吸附模式及碳材孔隙擴散模式，分別探討吸附劑吸附不同溫度及不同濃度下之平衡及吸脫/脫附動力行為，並進行實驗驗證與室內廢氣處理性能之探討。

(二)研究動機與研究問題

改善室內空氣品質之措施有控制源頭、改善通風、空氣淨化等 3 種。任何污染問題之處理(含室內空氣品質)最好在還沒發生之前先作好預防工作，倘若室內空氣品質已經產生問題就要儘速加以控制。因此，改善室內空氣品質的第一步即為污染源頭控制；源頭無法有效控制時則需改善室內通風，以降低室內空氣污染物並改善室內溫溼度；通風無法有效提供室內足夠新鮮空氣時則需使用空調系統強制通風換氣。除了有效控制源頭、改善通風之外，室內空氣污染物只能藉由物理、化學或生化等淨化技術加以移除，達到污染物淨化室內空氣之目的。我國於 100 年 11 月 23 日公布實施之「室內空氣品質管理法」[1]，第 3 條定義：室內空氣污染物指室內空氣中常態逸散，經長期性暴露足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質，包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、細菌、真菌、粒徑小於等於 10 微米之懸浮微粒(PM₁₀)、粒徑小於等於 2.5 微米之懸浮微粒(PM_{2.5})、臭氧及其他經主管機關指定公告之物質；另又公告 9 項室內空氣品質標準[2]如表 1。

污染物之物理型態、化學性質及生物特性，與處理技術之採用具有極大之相關性[3-6]，故表 1 中 9 項指標可大略分為 4 大類型，簡要說明如下：

- 1.粒狀污染物：包含懸浮微粒及生物粒子，懸浮微粒又分為粒徑小於等於 10 微米(μm)之 PM10 及粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之 PM2.5，也包含部分微生物；這些懸浮微粒可隨著呼吸作用進入呼吸系統，而對呼吸道有所危害。
- 2.生物污染物：主要為微生物，以細菌、真菌、病毒、寄生蟲等各種不同的型態普遍存在於自然界中，有些微生物會引起過敏、感染、毒性效應，對人體甚至有致命的殺傷力。
- 3.揮發性有機物：包含總揮發性有機化合物(TVOC (TVOC (TVOC)、甲醛(HCHO)。大多數揮發性有機物質物質具皮膚或呼吸道刺激性，有些則對中樞神經有影響，會引起眼睛、呼吸道不適，甚至頭痛、暈眩、疲勞、視力失常等症狀，而有多種物質已被證實為致癌物質。甲醛濃度高時有刺鼻的氣味，且會導致眼部及呼吸道出現刺激。
- 4.其他氣狀污染物：二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)及臭氧(O₃)。二氧化碳濃度過高時，除了會造成呼吸費力或困難感，亦會產生頭痛、嗜睡、反射減退、倦怠等症狀，因此若發生在辦公室，會降低員工工作效率。於一氧化碳在與血液中的血紅素結合，將阻礙血紅素與氧氣結合，使得體內組織細胞氧氣供應不足，而呈現中毒現象。長期暴露於一定程度的一氧化碳濃度中，會呈現頭暈、頭痛、呼吸困難、頻尿、口渴、體重減輕、失眠、易怒等慢性中毒症狀。臭氧為一刺激性氣體，可刺激眼睛及呼吸道，造成咳嗽、胸部不舒服等症狀，可能因而加重氣喘及呼吸道疾病等敏感族群之症狀。

表1 室內空氣品質標準

污染物種類	標準值		
	量測時間	標準值	單位
二氧化碳(CO ₂)	8 小時值	1000	ppm
一氧化碳(CO)	8 小時值	9	ppm
甲醛(HCHO)	1 小時值	0.08	ppm
總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種苯類及烯類之總和)	1 小時值	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m ³
		1000	CFU/m ³
真菌(Fungi)	最高值	但 I/O Ratio ≤ 1.3	
粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮微粒(PM ₁₀)	24 小時值	75	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之懸浮微粒(PM _{2.5})	24 小時值	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
臭氧(O ₃)	8 小時值	0.06	ppm

由於目前針對生物性污染物、粒狀污染物已有各種方法適用方法及解決方式，

但針對氣狀污染物處理目前仍以活性碳材吸附去除法為主要的發展方向。因此本研究將探討氣狀污染物在不同溫度下活性碳之吸附行為，研究中利用氣體吸附模式及碳材孔隙擴散模式，分別探討吸附劑吸附不同溫度及不同濃度下之平衡及吸脫/脫附動力行為，並進行實驗驗證與室內廢氣處理性能之探討。

探討氣狀污染物在不同溫度下活性碳之吸附行為時，在設計及選擇活性碳吸附應用程序時，必須考慮不同吸附溫度下之活性碳吸附能力 (adsorption capacity)、等溫吸附線 (adsorption isotherm) 與吸附平衡與動力關係。上述設計參數皆可在實驗室進行一連串的實驗求得，但這些實驗往往必須花費很多時間、人力成本及實驗本身有一定之誤差。如何藉由吸附劑構造及吸附質物化特性，直接推估氣狀污染物在活性碳吸附劑中不同操作條件下之吸附能力、等溫吸附線及吸附與動力關係，是重要的研究主題。

(三)文獻回顧與探討

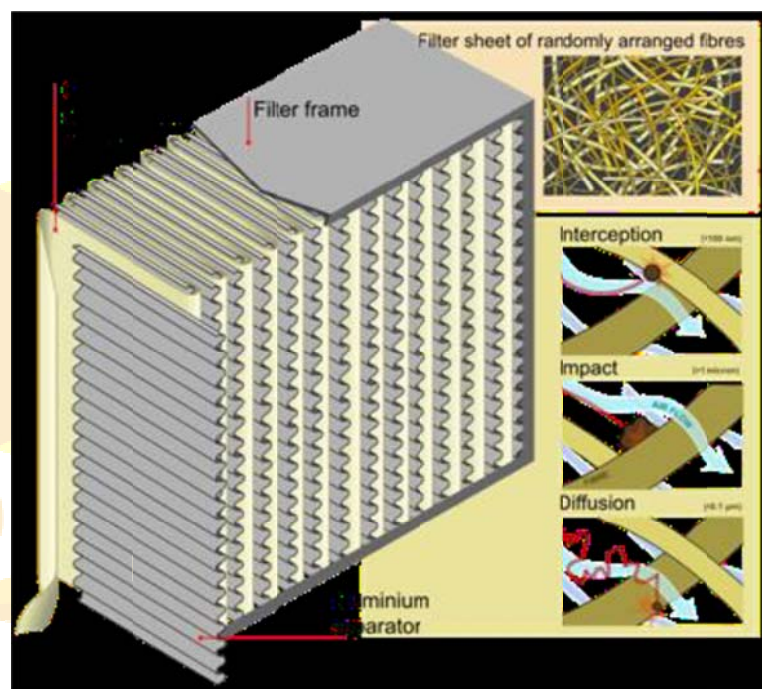
室內空氣淨化技術之發展早期室內空氣改善技術著重在粉塵微粒，其技術由「物理性過濾、捕捉」，到近期使用的讓粒子帶電，來增加被捕捉效力。漸漸的，開發解決室內氣狀污染物的技術，技術的演進由單獨的吸附，轉為光觸媒分解，到最新結合二者。近期由於新興疾病的不斷的發生(SARS、新流感)，開始注重生物性污染物的防治，技術的演進由紫外燈，到應用光催化技術，最新結合殺微生物功能的複合式濾材。

(1)纖維過濾技術：

即我們一般常說的過濾網，此技術應用交錯細密的各式纖維形成阻絕空氣中粒狀污染物的屏障。此種技術為最常見的技術，因為其成本較低，但是每種濾網皆有其灰塵負載量，一旦超出負載量便會失去效果，或是堵塞後造成風壓增大風量減小，因此需不斷更換。

(A)初級濾網：通常由粗玻璃纖維、動物毛髮、植物纖維、或塗佈黏性物質(微粒物的附著劑)的合成纖維以低密度填充，或由作成裂縫的鋁箔組成。平板濾網可以有效捕集大尺寸微粒，但僅能除去少部份可進入呼吸系統的微粒子。褶疊式或延伸表面濾網之構造使過濾面積增大，允許使用較細纖維與增加填充密度而不會降低風量，對於可進入呼吸系統的微粒子，其捕集效率比平板濾網高。當濾網密度越高越厚，則清淨效果越好，但空氣通過之阻力會增加。

(B)高效率濾網：根據濾網效率的高低，可將機械式濾網分類為普通濾網、高效率濾網及超效率濾網。常用的組合是初級濾網加上高效率濾網，初級濾網用於過濾較大灰塵，而細小灰塵則由高效率濾網清除。高效率濾網(High Efficiency Particle Arrest, 簡寫 HEPA，如圖 1)發展的緣由為早期針對原子研究時，用以清除空氣中受輻射污染的微粒子，以保護研究人員的安全。HEPA 的全稱是 High Efficiency Particulate Air，也就是高效率的空氣顆粒過濾器的簡稱。這種過濾器能在額定風量下過濾掉 99.97%的 0.3 微米顆粒，這東西看起來很神奇，實際卻是非常成熟的產品。

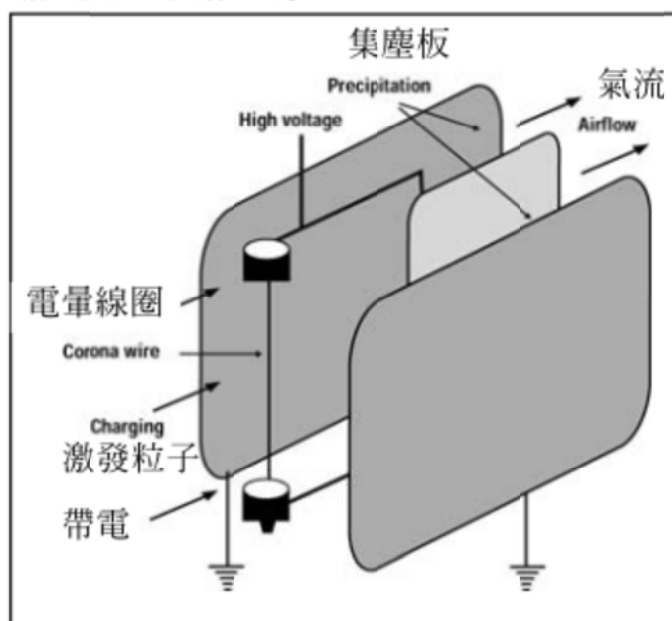


圖一、高效率濾網(High Efficiency Particle Arrest)結構示意圖

靜電集塵技術：

靜電集塵技術為進階的灰塵清淨技術，其特點為對細微粒特別有效，因此通常會置於初級濾網之後搭配使用，其效果隨集塵板積塵量增大而降低，但此系統在經過定期維護後即恢復其原來的效能。是利用電場捕集帶電粒子(原理如圖 2)。通常是靜電集塵器(electrostatic precipitator)或靜電濾網(Electret filter)。

靜電集塵技術之原理



圖二、利用電場捕集帶電粒子之結構示意圖

(A)靜電集塵器：靜電集塵器是以排列之帶電平板捕集微粒子；靜電濾網是帶電介質濾網(charged-media filters)纖維捕集微粒子。使用靜電集塵器與靜電濾網時，大都特意先將空氣微粒子離子化(使帶電荷)，以得到更高捕集效率。靜電集塵器一般設計為使用 12kv 離子化器使灰塵帶正電，再以 6kv 之收集板將灰塵收集，收集板之板距及大小，使電壓足以收集灰塵但不產生臭氧。臭氧為一相當不穩定之有害氣體，離子化器之適當設計及維修可降低臭氧產生。

氣流中較大之粒子其慣性較大，通過收集板電場之時間不夠長，而不能被收集於收集板上，而極小之粒子可能被氣體分子撞擊而形成阻力。氣流通過收集板之速度越慢，則收集完成之機率越高，靜電集塵器須使氣流均勻通過，以獲得最高效率。若提高離子化器與收集板之伏特數，則可能產生過多臭氧，減少伏特數則降低效率。收集板間距越小則灰塵至收集板之距離縮小，收集效率增加。但間距小，將使清潔維修困難，且易有短路發生。

(B)靜電濾網：靜電濾網是一種纖維狀的空氣過濾材料，通常採用聚丙烯或聚酯類塑膠合成纖維，它的每根纖維均含有靜電電荷。但是就整個材料而言，基本上還是保持中性的，這種纖維就像是一個小電容器，纖維的一邊帶正電，另一邊則是負電，由於纖維的導電性很差，因此正負電並不會中和，所以其電荷是可耐久的。

靜電濾網的應用非常廣泛，除了空氣清淨機之外，呼吸道的保護器具、精密設備的保護、吸塵器和空調機等均常使用。靜電濾網由於有電荷作用，對於細小微粒特別有效果，但其除塵效果受到空氣通過濾紙速度影響很大，通常在0.25m/s以下，捕集效率才能高於90%。靜電濾網使用初期效率非常好，但是隨著捕集量(loading)增加，其效率會快速降低，因此必須定期更換濾網。

(3)負離子技術：負離子採用高壓尖端放電產生(如圖3)，此技術並不能真正的除去空氣中的灰塵，而是藉由使經過電極附近的粒子帶電，而帶電粒子對空氣中的粒子具有凝聚作用，使其聚集成為較大的粒子進而沈降下來。使用過負離子發生器的環境通常會發現室內表面的粒狀物特別多，此即為負離子清淨空氣的作用。離子產生器之除塵原理是使空氣中的微粒子帶電而被附著在牆壁、地板、桌面、布料、人員等表面上。有些離子清淨機裝置有微粒收集器，將帶電微粒吸回機組內。此外，電離可加強附聚作用，使小粒子聚集成大粒子增加沉澱率。微生物以灰塵為營養物質並於其上生長繁殖，定期清理不但可去除屋內灰塵亦可清除附著於灰塵上的微生物。負離子除了具有除塵的效果之外，還可增加人體的健康舒適感覺。此外，負離子帶有能量，與細菌結合時，造成細菌結構的改變或能量的轉移，致細菌死亡而不再形成菌種，故空氣中的負離子有殺菌作用。

生物污染物淨化技術

(1)化學處理技術：化學處理技術係藉由氣-液接觸，藉化學藥劑抑制微生物產生，氧化(oxidation)、消毒或其它反應以破壞微生物之生化反應，達到降低空氣致病性之目的。

一般而言，吸收液氧化劑特性濃度對微生物之去除及破壞效率影響顯著，常見之氧化劑有次氯酸鈉(漂白水)、二氧化氯及過氧化氫水溶液(雙氧水)，以氧化破壞(消毒)微生物。

(2)光觸媒技術：光觸媒技術是空氣淨化中一個較新的領域，其可在常溫下反應，將室內的有害氣體及異味氣體經過不可逆的反應，分解為無臭無害的產物。另外，其對於空氣中的微生物亦會藉由破壞微生物外膜而將其殺滅。對大腸桿菌、黃色葡萄球菌等具有殺菌功效。在殺菌的同時還能分解由細菌屍體上釋放出的有害物質。此處僅討論光觸媒針對處理室內空氣中微生物之作用機制。

光觸媒殺滅微生物的機制有：

- (A)光觸媒經 UV 光激發後產生之高氧化物質直接對微生物的細胞膜脂質破壞，造成細胞膜流動性不佳，喪失細胞膜傳遞物質之能力。
- (B)光觸媒可導致蛋白質變性喪失功能。
- (C)光觸媒產生之自由基亦會造成 RNA 有 hydroxylation 現象，造成影響蛋白質的製造。

這些機制都會造成抑制微生物繁殖或直接造成其死亡，此部分並不需要完全分解微生物才能有抑制及殺滅的效果。再者 UV 光源對微生物照射後，可造成其 DNA 遺傳物質結構產生不可逆之破壞(特定鹼基型成 Dimer，破壞雙股螺旋結構)，可增加殺滅微生物的效果。

(3)紫外光技術：紫外線波長介於 10nm~400nm，由此可知紫外光波長能量較高，且具有一定穿透力。因此在紫外光照射下，可破壞微生物的遺傳因子 DNA，進而阻止微生物之繁衍。

揮發性有機物淨化技術

(1)吸收技術：吸收法為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時，藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液，使污染物質分離而去除，以達到淨氣的效果。

吸收可區分為物理吸收與化學吸收 2 種，亦可稱之為洗滌。化學吸收主要是利用吸收劑與氣體污染物產生反應而予以去除；而物理吸收主要是藉由氣體在液體中的溶解度，而達到去除空氣污染物的目的。通常化學吸收可藉升高操作溫度、壓力來增加反應速率，不過同時卻降低了物理吸收的速率；物理吸收在較低溫操作下可達到較佳的去除效果。一般而言，化學吸收可使污染物濃度趨近於零排放，而物理吸收只能把污染物濃度降低至某程度，因此化學吸收在某些氣體污染物的控制及應用上相當重要。常用化學吸收劑有：

- (A)次氯酸鈉溶液：次氯酸鈉吸收液之控制揮發性有機物具一定效果。處理高濃度時，次氯酸鈉溶液(有效氯)濃度約為 500~2,000 ppm；而處理較低濃度臭氣時，使用次氯酸鈉溶液濃度約 50~500 ppm。以各項氧化劑之性能言，次氯酸鈉最便宜，效果亦佳，最常使用。
- (B)二氧化氯溶液：二氧化氯溶液之反應機制與次氯酸鈉吸收液類似，作用濃度亦可參考，其控制揮發性有機物亦具一定效果。
- (C)過氧化氫溶液(雙氧水)：過氧化氫水溶液之反應機制具有相當強的氧化活性，

與臭氧類似，因此極易與其他分子反應，然由於其自身分解為水之特性，可用為化學洗滌藥劑，以氧化揮發性有機物。當遇到細菌、黴菌或有毒化學物質及揮發性有機物時，都能立即產生氧化反應，分解有害物質，可用來淨化空氣或飲水之消毒。

(D)亞硫酸氫鈉溶液：亞硫酸氫鈉可將醛類轉化為磺酸酯鹽(如 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{SO}_3\text{Na}$)而去除。

一般常採用之處理設備平台有化學洗滌塔及化學濾網 2 種，說明如下：

(A)化學洗滌技術：與前述水洗除塵之水洗塔同，僅是將以化學吸收劑作為洗滌液，同樣常用之設計值參考前述。

(B)噴灑式吸收反應技術：將化學吸收劑直接噴灑於空氣中，可中和污染氣體或是將污染物質包裹起來從空氣中消除。但使用此種技術需特別注意，由於在空間中的人員有可能會吸入化學吸收劑，因此其化學對人員毒性的研究便很重要。

(2)吸附處理技術：吸附(adsorption)是一種發生在氣-固相或液-固相間的介面化學現象(圖 4)；固體利用本身具有之表面力，對流體中的物質產生親和力作用，使其附著於固體表面上。利用此現象，以使用內部比表面積較大的多孔性固體粒子(吸附劑)來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度以提高吸附效率。現今主流的方式是想辦法捕捉室內的有害氣體及異味氣體。一般捕捉這些氣體常用的吸附材料有活性炭、矽膠、氧化鋁、沸石等。吸附作用分為物理吸附和化學吸附。物理吸附主要依靠凡德瓦力，吸附速率快，無選擇性，但是不穩定，容易脫附。化學吸附主要依靠化學鍵力，有選擇性，不易脫附。對於沸點高於常溫的室內的有害氣體及異味氣體，比如苯等，一般不會發生化學吸附，主要以物理吸附為主，而對於沸點低於常溫的 VOC，比如甲醛，主要以化學吸附為主。

(四)研究方法與步驟

本研究實驗所選用的吸附劑為粒狀活性炭、活性炭纖維。吸附質為揮發性有機物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 主要以芳香族碳氫化合物 (苯) 及沸點低於常溫的 VOC(甲醛)兩大類化合物為代表，此類有機物常存在環境中，具有低沸點、易揮發及高毒性等特點。實驗方式為碳吸附床法能將吸附劑完全浸於含

VOC 氣體中，達到沒有氣膜阻力的狀況，並使單位時間吸附質供應量遠大於單位時間吸附量，藉以探討吸附劑顆粒上的吸附行為。

實驗前先將吸附劑以 105°C 烘乾 24 hrs，稱取約 0.3g 左右，放入直徑 0.3 cm、長 12 cm 的玻璃管內，兩端以不吸附 VOC 之玻璃棉填充固定之。之後打開 VOC 氣體產生設備，使產生之 VOC 達到預設之濃度且平衡後，通入管柱中進行實驗，實驗前後並監測其濃度變化。

吸附劑吸附 VOC 飽和後，即進行熱脫附實驗，以判斷吸附劑之 VOC 吸附量。進行的方式主要係將吸附管以加熱帶加溫至 350 °C 間，控制通入定流量之零級乾燥空氣，尾端並以氣體採樣袋收集脫附出之氣體。採樣袋中之氣體以氣相層析儀配合火燄離子化偵測器(GC/FID, HP 6890)分析其濃度，經由濃度、熱脫附流量及收集時間之計算即可得到吸附劑之吸附量。

動力實驗的方式，類似於上述吸附平衡實驗，惟進行吸附動力實驗時，吸附僅至預先設定的時間，而非平衡時間，同時流量也儘量調大，期使單位時間吸附質供應量遠大於單位時間吸附量。獲得不同吸附時間下所得之吸附量時，即可連成一吸附動力曲線。在脫附動力方面，則先將吸附劑通以預設濃度之 VOC，使達到平衡後，再通以同流量之零級乾燥空氣至預定脫附時間，然後轉至加熱脫附(同吸附平衡實驗中描述)以收集仍留在吸附劑中未脫附出來的部份，即可得到在不同脫附時間下脫附量的大小，脫附動力曲線即可由不同時段下得到的脫附量繪製而成。

等溫吸附曲線建立

因解釋等溫吸附之模式有 Freundlich 方程式、Langmuir 方程式，茲將公式各係數求法說明如下：(1) Freundlich 方程式 Freundlich 依恒溫吸附實驗結果提出恒溫吸附經驗式，其吸附方程式如下：

$$q_e = k \times C_f^{\frac{1}{n}}$$

上式中， C_f 為平衡濃度 (mg/ppm)， q_e 為平衡濃度 (C_f) 下的吸附容量 (mg/g)，而 k 與 n 則為常數。當 n 大於 1 時為有利性吸附，當 n 小於 1 時為不利性吸附，而當 n 等於 1 時則為直線吸附。在使用時經常取其對數形式，

$$\text{即: } \log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_f$$

以 $\log q_e$ 對 $\log C_f$ 作圖，可得一直線，斜率為 $1/n$ ，截距為 $\log k$ ，由實驗結果

即可得 k 與 n 之值。(2) Langmuir 方程式 Langmuir 提出等溫吸附理論，此一理論假設：(a) 固體表面具有均勻的無數吸附位置，每個吸附位置只能吸附一個分子，(b) 各吸附位置對被吸附物之親和力相同，(c) 固體表面單分子層吸附最大吸附容量為單層之飽和吸附容量，(d) 吸附之分子不會脫附。由以上假設，得其吸附方程式如下：

$$q_e = \frac{abC_f}{1 + aC_f}$$

上式中， C_f 為平衡濃度 (mg/ppm)， q_e 為平衡濃度 (C_f) 下之吸附容量 (mg/g)，而 a、b 則為常數。上式亦可以寫成另一形式之等溫吸附方程式，即：

$$q_e = \frac{1}{ab} \times \frac{1}{C_f} + \frac{1}{b}$$

Langmuir 方程式可以較佳的反映出低濃度至高濃度中的等溫吸附曲線。

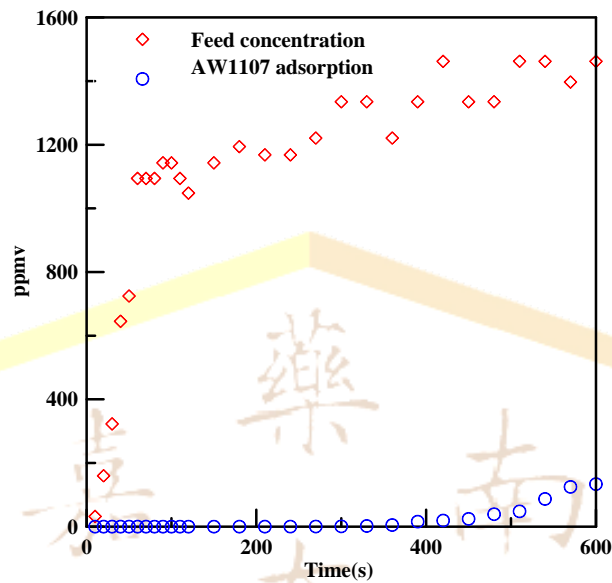
(五) 結果與討論

吸附為一溶質之濃縮現象，利用此現象，以使用內部比表面積較大之多孔性固體粒子（吸附劑）來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度，以提高吸附效率。以吸附原理處理 VOCs 或惡臭物質，一般常用粒狀活性炭或活性炭纖維。

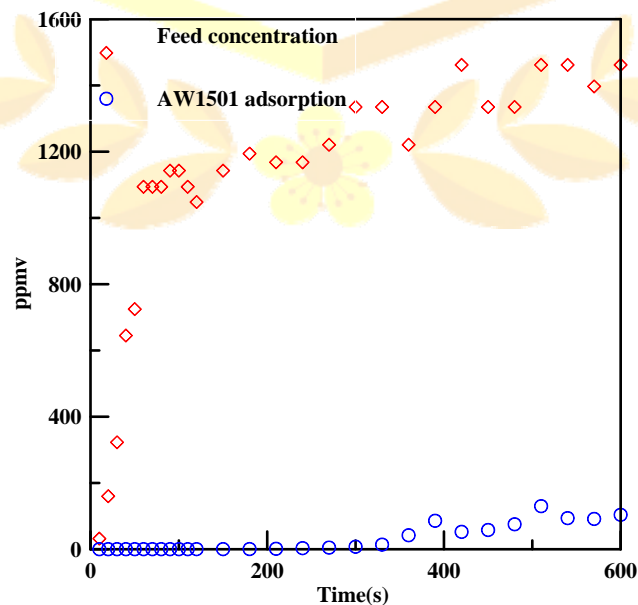
因欲處理之廢氣成份可能極為複雜，故於吸附過程中，可藉活性炭之預行特殊含浸或表面處理，使吸附現象併含複雜之物理及化學反應，以達到去除 VOCs 或除臭效果。若廢氣中含有丁酮時，因丁酮易與活性炭起反應，利用活性炭吸脫附處理時易有碳床著火之危險，必需使用活性炭纖維布（唯活性炭纖維布一般採薄床設計，吸脫附操作容量有限，不適於高濃度廢氣），或是配合流體化設計採用珠狀活性炭吸脫附，藉著珠狀活性炭之流體化流動，將局部熱點 (hotspots) 現象消除，並以高溫氮氣脫附以減少活性炭珠粒著火的危險。

本計畫以 AW1107、A1501 及 AW2002 等三種碳纖維布進行 VOC 吸附去除試驗，其中三種碳布其吸附表面積分別為 1000 m²/g、1500 m²/g、2000 m²/g，VOC

試驗中以甲醇、乙醇、丙醇作為不同揮發性 VOC 氣體並以碳布吸附法作為 VOC 去除之方法，圖一為 AW1107 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗，如圖一所示，於室溫下以 0.5% 甲醇氣體之平均濃度介於 1200-1400 ppmv 以單層之碳布吸附，約 450 秒之吸附時間即吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



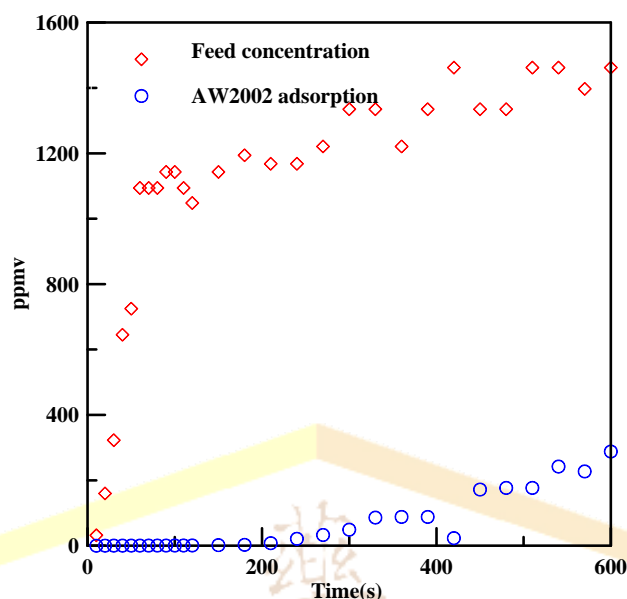
圖一:AW1107 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗



圖二:AW1501 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗

圖二為 AW1501 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗，如圖二所示，於室溫下以 0.5% 甲醇氣體之平均濃度介於 1200-1400 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300

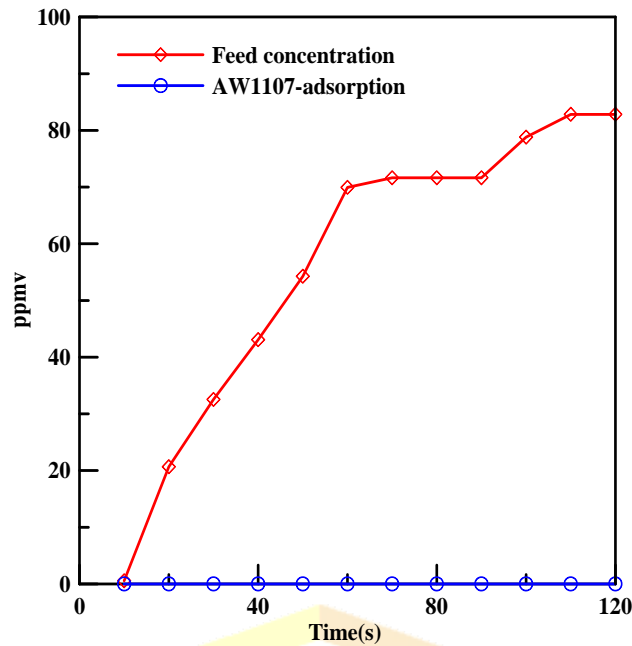
秒之吸附時間即吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖三:AW2002 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗

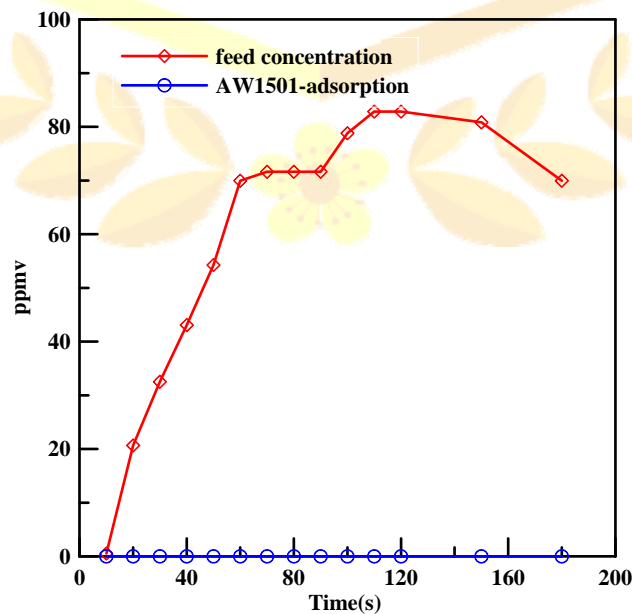
圖三為 AW2002 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗，如圖三所示，於室溫下以 0.5% 甲醇氣體之平均濃度介於 1200-1400 ppmv 以單層之碳布吸附，約 200 秒之吸附時間即吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。由以上三圖可知甲醇分子對於表面積大之碳布反而貫穿時間短，其可能源因為甲醇分子小且孔隙性差異所導致，高孔隙之 AW2002 不利於吸附導致快速貫穿。

圖四為 AW1107 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗，如圖二所示，於室溫下以 2% 乙醇氣體之平均濃度介於 60-100 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間仍未達吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖四為 AW1107 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗

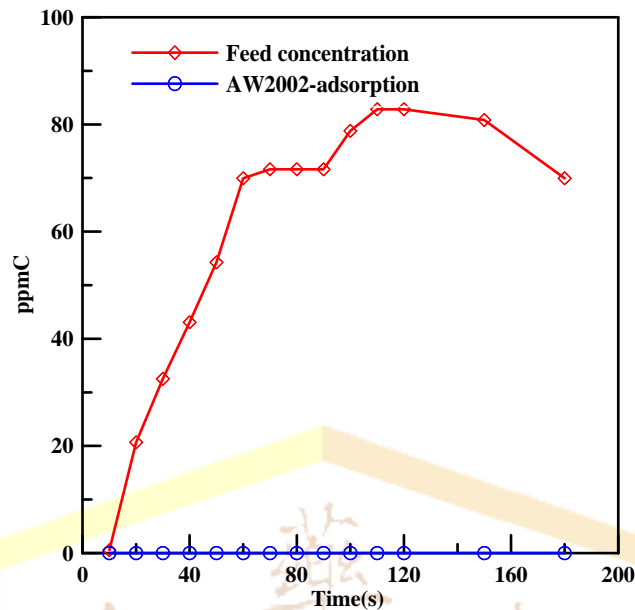
圖五為 AW1501 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗，如圖五所示，於室溫下以 2% 乙醇氣體之平均濃度介於 80 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間仍未達吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖五為 AW1501 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗

圖五為 AW1501 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗，如圖五所示，於室溫下以 2% 乙醇氣體之平均濃度介於 80 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附

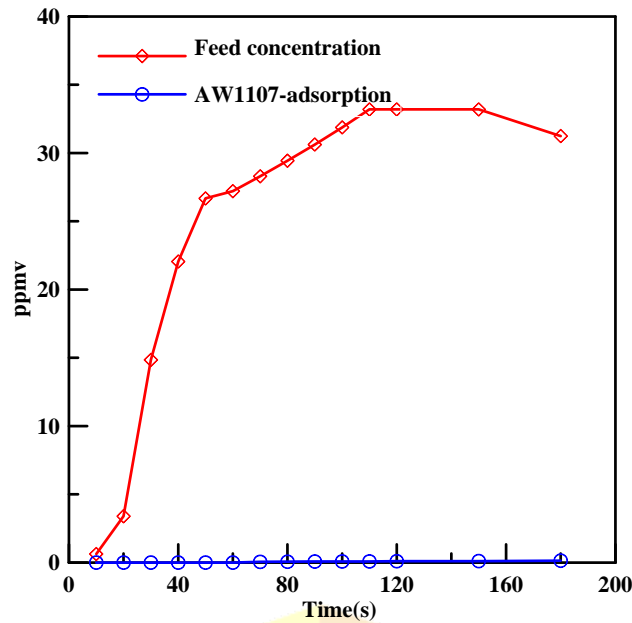
時間仍未達吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖六為 AW2002 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗

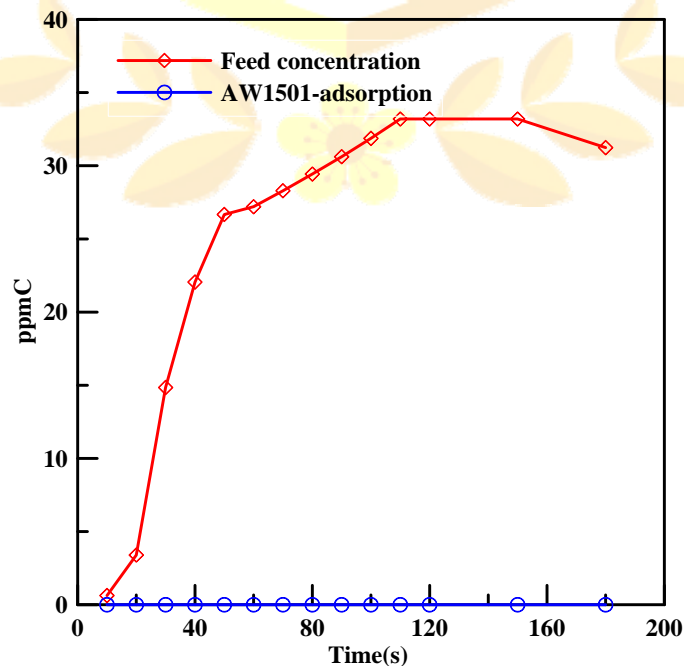
圖六為 AW2002 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗，如圖六所示，於室溫下以 2% 乙醇氣體之平均濃度介於 80 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間即吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。由以上圖 4-6 三圖中可知乙醇分子對於碳布吸附親和力高貫穿時間長，其可能源因為乙醇分子較大具強凡德瓦力易與且孔隙性不同碳布形成較強吸附能力所導致，孔隙不影響其利於吸附貫穿時間。

圖七為 AW1107 碳布於室溫下吸附乙醇揮發性氣體之試驗，如圖七所示，於室溫下以 2% 丙醇氣體之平均濃度介於 30 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間即吸附仍未達達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖七為 AW1107 碳布於室溫下吸附丙醇揮發性氣體之試驗

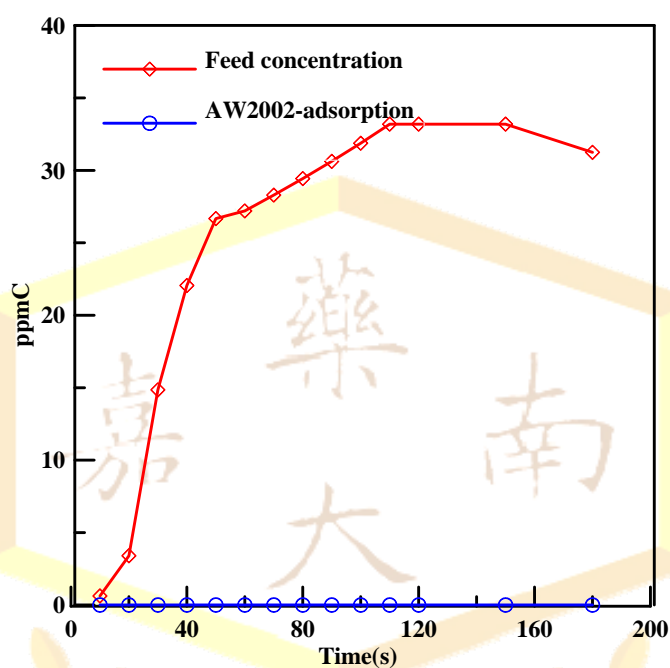
圖八為 AW1501 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗，如圖八所示，於室溫下以 2% 丙醇氣體之平均濃度介於 30 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間即吸附仍未達達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖八為 AW1501 碳布於室溫下吸附丙醇揮發性氣體之試驗

圖八為 AW1501 碳布於室溫下吸附丙醇揮發性氣體之試驗，如圖八所示，於室溫

下以 2%丙醇氣體之平均濃度介於 30 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間仍未吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。圖九為 AW2002 碳布於室溫下吸附甲醇揮發性氣體之試驗，如圖九所示，於室溫下以 2%丙醇氣體之平均濃度介於 30 ppmv 以單層之碳布吸附，約 300 秒之吸附時間仍未吸附達貫穿點，其氣體吸附模式遵循單層吸附行為並可以 Freundlich 等溫吸附線係適用於不均勻表面(heterogeneous surface)的非線性模式加以描述。



圖九為 AW2002 碳布於室溫下吸附丙醇揮發性氣體之試驗

結論:

1. 進流濃度愈大時，活性碳吸附能力愈大但較易達貫穿時間。
2. 活性碳吸附能力愈小。處理較低分子之 VOC 效果差，反之則有較明顯吸附效果。
3. 流速越快，吸附效果較差。由流速與吸附能力之關係可知其相關係數。
4. 各種活性碳對高碳數 VOC 之吸附量分別為低碳數之活性碳 數倍以上之吸附容量。

(六)參考文獻

1. 室內空氣品質管理法及其施行細則 (民國 101 年 11 月 23 日)
2. 中華民國 101 年 11 月 23 日行政院環境保護署環署空字第 1010106229

號令

3. Ramkishore Singh, R.L. Sawhney, I.J. Lazarus, V.V.N. Kishore, Recent advancements in earth air tunnel heat exchanger (EATHE) system for indoor thermal comfort application: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 3, February 2018, Pages 2162-2185
4. Jae-Seung Jung, Jin-Gyu Kim, An indoor air purification technology using a non-thermal plasma reactor with multiple-wire-to-wire type electrodes and a fiber air filter, *Journal of Electrostatics*, Volume 86, April 2017, Pages 12-17
5. Nan Lu, Jingjing Pei, Yixuan Zhao, Ruiying Qi, Junjie Liu, Performance of a biological degradation method for indoor formaldehyde removal, *Building and Environment*, Volume 57, November 2012, Pages 253-258
6. Zhiqiang Kang, Yubo Zhang, Jiannan Dong, Xiaocong Cheng, Guohui Feng, The Status of Research on Clean Air Conditioning System in Hospital Operation Room, *Procedia Engineering*, Volume 205, 2017, Pages 4129-4134

