

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 應用高錳酸鉀濾材於室內空調系統去除室內污染物甲醛之 研究

### 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 96-EPA-Z-041-001-  
執行期間：96年03月01日至96年12月31日  
執行單位：嘉南藥理科技大學職業安全衛生系

計畫主持人：黃小林  
共同主持人：楊心豪  
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：莊珮君  
碩士班研究生-兼任助理：李佩芝  
博士後研究：黃宜靖  
共同主持人：楊心豪  
計畫主持人：黃小林

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97 年 01 月 31 日

96 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」  
成果完整報告

應用高錳酸鉀濾材於室內空調系統  
去除室內污染物甲醛之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 96-EPA-Z-041-001-

執行期間：96 年 3 月 1 日~96 年 12 月 31 日

計畫主持人：黃小林 助理教授

共同主持人：楊心豪 助理教授

計畫參與人員：黃宜靖、莊佩君、李佩芝

執行單位：嘉南藥理科技大學職業安全衛生系

稻江科技暨管理學院環境暨職業衛生學系

中華民國九十六年十二月

## 摘要

一般大樓常採用通風空調 HVAC (Heating, ventilating air conditioning) 系統來維護其室內空氣之品質，典型 HVAC 系統主要利用濾材及 pre-filter 來去除空氣中之塵粒，保障進入室內空氣之品質以維護室內活動之人們的健康，並保護其後的管路不受塵粒之影響，而 heating coil、cooling coil、及 humidifier 則可將進氣調整在一舒適的溫溼度範圍。近年來，由於生活品質的提升，大家對室內空氣品質的要求也越來越高，市面上空氣清靜機的種類也是相當繁多，而室內 HVAC 系統仍然只是用於室內通風與調節溫濕度，對於空氣清淨部分，只有在於懸浮微粒的去除，而且效能通常不是很好，因此本研究計畫預計將目前可行的室內空氣清淨技術應用於 HVAC 系統中，來達到去除室內空氣污染物的目標。

甲醛為室內空氣污染物之主要成分之一，然傳統 HVAC 系統並未考量對室內甲醛的控制，近年來已有多種室內清淨裝置可用來去除甲醛，如活性碳空氣清靜機、臭氧空氣清靜機、光觸媒空氣清靜機與負離子空氣清靜機，而本研究計畫則欲採用一新型態技術「高錳酸鉀濾材」來去除室內甲醛，高錳酸鉀為一強氧化劑，其對於揮發性且分子量低的有機物有良好之分解效能，甲醛即是屬於揮發性且分子量較低之有機物質，因此本計畫即根據此一現象嘗試將高錳酸鉀應用於室內來去除甲醛。

實驗結果顯示，0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為 0.385 (1/hr)。進一步與 0.5 ppb 甲醛之自然衰減係數 ( $0.234 \text{ hr}^{-1}$ ) 比較，可以發現，當使用高錳酸鉀濾材後，甲醛之衰減常數有明顯下降之趨勢，故證實高錳酸鉀濾材對於甲醛有明顯去除之能力。實驗結果顯示當甲醛濃度越高時，高錳酸鉀濾材之去除效能也越高。實驗結果顯示濃度越高之高錳酸鉀濾材對甲醛之去除效能越好。總換氣率與清潔空氣換氣增加，均會提高甲醛之衰減常數，同時當溫度越高時，甲醛之衰減常數也越高，相對濕度越高時，甲醛之衰減常數也越高。

## Abstract

HVAC (Heating, ventilating air conditioning) system is used to keep indoor air quality. The purpose of the traditional HVAC system is providing a comfortable environment and ventilating the indoor air pollutants. Recently, with the quality of life increasing, people have more requests for indoor air quality. Especially, after SARS infecting, the indoor-cleaning technology are paid much attention. But, we found that the HVAC system still stress indoor ventilation, and temperature and humidity adjusting. Therefore, this work tries to apply the feasible air-cleaning technologies to remove the indoor VOCs.

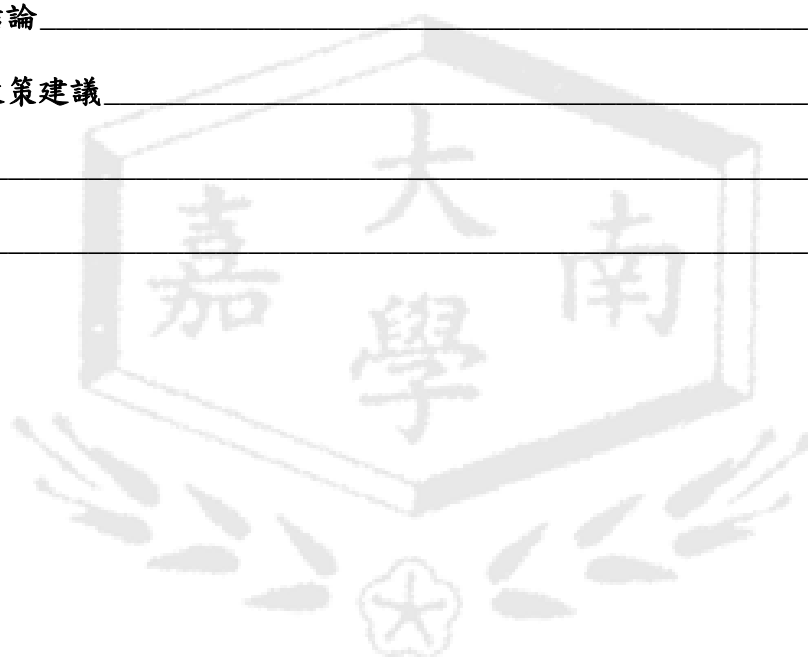
Potassium permanganate is always used to removal organic pollutants in water or underground water, but this technology is very few applied in indoor environment to reduce VOCs. However, potassium permanganate is a strong oxidizer. Therefore, we attempt to removal indoor formaldehyde by using potassium permanganate filter in HVAC system. Therefore, the purpose of this work is to apply potassium permanganate to remove indoor formaldehyde.

Experimental Results implied that the decay constant ( $k_a$ ) of 0.5-ppm formaldehyde with using 0.05 M potassium permanganate filter in HVAC system is about 0.385 (1/hr). Comparing with the nature decay constant ( $k_n$ ) of 0.5-ppm formaldehyde ( $0.234 \text{ hr}^{-1}$ ), when using the potassium permanganate filter in HVAC system, the decay constant is obviously increasing. It is finding that the potassium permanganate filter could remove the formaldehyde significantly. The results also indicated that the decay constant of formaldehyde increased with formaldehyde concentration. And the removal efficiency of the formaldehyde raised with the pretreated concentration of potassium permanganate filter. Moreover, the decay constant of formaldehyde increased with operating temperature and relative humidity.

# 目錄

第一章 緒論	1
1-1 研究緣起	1
1-2 研究目的	3
第二章 文獻回顧	4
2-1 室內污染物來源	4
2-2 室內污染物之危害	6
2-3 室內通風系統 (HVAC system)	9
2-4 室內空氣品質管制標準之制訂	10
2-5 甲醛去除之室內清靜技術	13
2-6 高錳酸鉀於環境工程之應用	14
第三章 研究方法	16
3-1 實驗方法	16
3-1-1 測試系統	16
3-1-2 小型模擬測試箱	17
3-1-3 污染物產生單元	18
3-1-4 污染物量測系統	19
3-1-5 高錳酸鉀濾材控制單元	19
3-1-6 相對濕度控制系統	20
3-1-7 實驗變因	20
3-2 實驗步驟	21
第四章 結果與討論	22
4-1 混和率測試	22
4-2 甲醛在小型 HVAC 系統自然衰減特性	23
4-3 高錳酸鉀濾材對甲醛在 HVAC 系統衰減特性之影響	26

4-4 高錳酸鉀濾材對不同濃度甲醛在 HVAC 系統衰減特性之影響	28
4-5 不同濃度之高錳酸鉀濾材對甲醛衰減特性之影響	30
4-6 高錳酸鉀濾材在不同換氣率下對甲醛衰減特性之影響	32
4-7 高錳酸鉀濾材在不同溫度下對甲醛衰減特性之影響	34
4-8 高錳酸鉀濾材在不同相對濕度下對甲醛衰減特性之影響	35
4-9 室內環境甲醛採樣結果	37
第五章 結論與建議	38
5-1 結論	38
5-2 政策建議	39
參考文獻	40
附錄一	43



## 表目錄

表 1 室內空氣品質建議值	11
表 2、高錳酸鉀濾材特性	20
表 3、測試腔室之混和率	22



## 圖目錄

圖 1、典型之 HVAC 系統配置簡圖	9
圖 2、HVAC 系統圖	16
圖 3、小型 HVAC 模擬腔室	17
圖 4、0.5ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性(TACH=0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	24
圖 5、1.0 ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性(TACH=0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	24
圖 6、2.0 ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性(TACH=0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	25
圖 7、0.5 ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性(TACH=1.0 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	25
圖 8、0.5 ppb 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(TACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	27
圖 9、1.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(TACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	28
圖 10、2.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(TACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	29
圖 11、0.5 ppm 甲醛在使用 0.01 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	30
圖 12、0.m ppb 甲醛在使用 0.1 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	31
圖 13、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 1.0 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr <sup>-1</sup> )	33
圖 14、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr <sup>-1</sup> , fresh ACH=0.36 hr <sup>-1</sup> )	33



圖 15、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材與溫度 45<sup>0</sup>C 下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>) \_\_\_\_\_ 34

圖 16、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材與相對濕度 70%下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>) \_\_\_\_\_ 36



# 第一章 緒論

## 1-1 研究緣起

近年來政府環保單位對於空氣污染問題的改善不餘遺力，成果也相當顯著。但由於經濟發展與社會結構的改變，使得人們的生活型態也產生巨大變化。人們待在室內環境，包括公共場所、居家環境、學校、辦公室、工廠...等的時間多超過 80%。根據國內研究民眾活動模式型態之調查報告更指出各年齡層之民眾處於不同室內環境的比例均大於 90% 以上，而待在室外之時間僅佔 6% 左右(蘇惠貞，2002)。過去政府對於空氣品質的維護與改善皆是著重在室外空氣污染，但近年來國內外的研究調查皆指出室內環境存在許多不同的污染物且可能會引起人體不良的健康效應。加上國內都市化的結果，人口密度高，居住空間狹小且建築設計對於室內通風較為忽視，導致長時間使用冷氣空調，在通風不良的情形下室內空氣品質狀況愈來愈惡化。近二十來國內在許多民間團體及學者的教育宣廣下，室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ)的問題已變成民眾關心的主要課題之一。

自從 1970s 年代開始，長期待在室內的民眾身體開始出現一些不適的徵狀，對於室內空氣品質的抱怨情形愈來愈多。1982 年世界衛生組織(WHO)針對民眾待在建築物卻屢屢出現的一些不適徵狀的現象首度描述為「病態建築物症候群」(Sick-Building Syndrome, SBS)，它並不是一種疾病。這些不適症狀包括眼睛不適、鼻塞、流鼻水、咳嗽、喉嚨不適、呼吸短促、胸部不適、皮膚不適、頭痛、嗜睡、疲倦與精神無法集中，通常只要離開該室內環境，症狀會逐漸消失(Lahtinen et al., 1998)。到目前為止，病態建築物症候群似乎為一多因子的症狀，引發的真正原因尚未十分清楚。其中有相關研究指出工作壓力、工作滿意度、作業環境設施等為引起 SBS 的重要因子。許多個人因素也與 SBS 有關，例如先天性過敏、氣喘、其他疾病，甚至在性別上，女性比男性容易出現 SBS 徵狀(Brasche et al., 2001)。對於國內之建築與居住型態而言，空間較歐美國家窄小，室內通風考量較缺乏。處在亞熱帶及急速都市化的結果，全年使用冷氣空調時間長，加上台灣地區氣候溼度較高，使國內室內空氣品質不良的問題更加嚴重。而造成室內空氣品質不良的空氣污染物有許多種類，如環境二手煙、氬氣、生物性污

染物、揮發性有機物、可呼吸性微粒、甲醛、殺蟲劑、以及主要由燃燒行為產生的碳氧化物和氮氧化物等。

一般大樓常採用通風空調 HVAC (Heating, ventilating air conditioning) 系統來維護其室內空氣之品質，典型 HVAC 系統主要利用濾材及 pre-filter 來去除空氣中之塵粒，保障進入室內空氣之品質以維護室內活動之人們的健康，並保護其後的管路不受塵粒之影響，而 heating coil、cooling coil、及 humidifier 則可將進氣調整在一舒適的溫溼度範圍。近年來，由於生活品質的提升，大家對室內空氣品質的要求也越來越高，市面空氣清靜機的種類也是相當繁多，尤其前幾年 SARS 的流行，造成民眾對室內空氣清靜機更是重視，不過在民眾關注在室內空氣清靜機的同時，我們發現室內 HVAC 系統仍然只是用於室內通風與調節溫濕度，對於空氣清淨部分，只有在於懸浮微粒的去除，而且效能通常不是很好，因此本研究計畫預計將目前可行的室內空氣清淨技術應用於 HVAC 系統中，來達到去除室內空氣污染物的目標。

甲醛為室內空氣污染物之主要成分之一，然傳統 HVAC 系統並未考量對室內甲醛的控制，近年來已有多種室內清淨裝置可用來去除甲醛，如活性碳空氣清靜機、臭氧空氣清靜機、光觸媒空氣清靜機與負離子空氣清靜機，而本研究計畫則欲採用一新型態技術「高錳酸鉀濾材」來去除室內甲醛，過去研究中高錳酸鉀多被用來去除地上或地下水體中之有機污染物(Yan et al., 1999；盧等，2002；Huang et al., 2002)，然高錳酸鉀極少被使用於室內有機物染物之去除，不過事實上高錳酸鉀為一強氧化劑，其對於揮發性且分子量低的有機物有良好之分解效能，甲醛即是屬於揮發性且分子量較低之有機物質，因此本計畫即根據此一現象嘗試將高錳酸鉀應用於室內來去除甲醛。故本研究計畫即是利用高錳酸鉀濾材於 HVAC 系統以去除甲醛，評估高錳酸鉀濾材對甲醛之去除效能。

## 1-2 研究目的

本計畫中主要之研究目的分述如下：

1. 建立小型之 HVAC 系統。
2. 探討高錳酸鉀濾材在 HVAC 系統中對於甲醛之去除效率。
3. 探討在不同條件下（包含換氣率、溫溼度、氣流速度、甲醛濃度等），高錳酸鉀濾材對甲醛之去除特性。
4. 進行室內甲醛之採樣，以評估室內甲醛對人體之健康風險。



## 第二章 文獻回顧

### 2-1 室內污染物來源

#### (1) 揮發性有機物

住宅區及商業區揮發性有機物來源有外氣滲入、燃燒負產物、吸煙、烹煮、建材、裝潢、油漆、家具、日常用品及生物排放等等。燃燒天然氣不完全可能會含有脂肪族碳氫化合物如甲烷、乙烷等。燃燒木材、燒香會釋放出多環的芳香烴化合物（PAHs）。室內吸煙也會造成揮發性有機物的排放。建材是室內揮發性污染物主要來源之一，不論是在建材本身或是在裝潢過程中所使用的有機物，包括塗料、黏著劑、填縫劑、溶劑皆會慢慢釋放出揮發性有機污染物。

家中牆壁若粉刷油漆，則會因為使用有機溶劑或其他的添加劑而造成大量的有機污染物揮發出來，近年來使用水溶性塗料以大大降低有機溶劑的使用。家具本身能釋放出污染物外，其往往經過處理塗上防蟲或亮光漆等有機物，因此也會產生揮發性有機物。日常生活用品如立可白、清潔劑、髮膠、香水、芳香劑、殺蟲劑等都會增加室內揮發性有機物濃度。室內擺有植物、或是一些微生物皆會釋放出揮發性有機物。

#### (2) 室內懸浮微粒

室內懸浮微粒可分為非生物性氣膠與生物氣膠，非生物性氣膠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。

生物氣膠的組成包括了細菌、真菌、病毒、花粉、昆蟲等有生命的物體和不具生命

的植物、動物的碎片以及微生物的代謝產物等(ACGIH)。這些微細的顆粒廣泛地在室內、辦公室、學校、醫院等地存在，並且造成急性的疾病、感染及過敏反應，其重要性隨著人們對它們的了解而與日俱增(Salem 及 Gardner, 1994)。例如流行性感冒、病態建築症候群、退伍軍人症等，都是大家耳熟能詳，與生物氣膠相關的疾病。



## 2-2 室內污染物之危害

### (1) 揮發性有機物

#### 1. 醛類、酮類及醚類

甲醛為常見之室內揮發性有機物，甲醛對人體健康的影響，主要取決於室內甲醛的濃度和暴露時間，由國外實驗結果顯示，暴露在低濃度的甲醛環境下( $\geq 0.25$  mg/m<sup>3</sup>)會使人的眼睛、鼻子、喉嚨受到刺激。吸入甲醛會造成呼吸道刺激及肺功能減弱。甲醛也可能具有生殖毒性，在動物實驗中也顯現其致癌性。甲醛為人體正常代謝副產品，在體內迅速分解成甲酸，接著分解為二氧化碳及水。甲醛會導致基因突變，已在多種基因突變測試中獲得證實(Ulsamer, 1982)，主要效應包括 DNA 單股斷裂、DNA-protein 錯接及染色體異常等。

另外，幾乎所有的醚類化合物，包括甲基(methyl)、乙基(Ethyl)及丁基(Butyl)醚均有麻醉的效果，其對黏膜的刺激會導致肺部的水腫、嘔吐、頭痛及噁心等。暴露在高濃度的酮類化合物如丙酮、甲基乙基酮及甲基異丁基酮會造成昏迷、噁心、頭痛、頭昏眼花、黏膜的刺激及身體喪失協調性(coordination)。

#### 2. 脂肪族及芳香族碳氫化合物

丙烷及較高碳數的烷類碳氫化合物會抑制中樞神經的作用，該化合物群的氣體會造成黏膜的輕微刺激(Elkins, 1959)。未飽和的碳氫化合物如乙烯及異戊二烯(isoprene)會造成輕微的麻醉效果。其他環狀的碳氫化合物(環己烷、甲基環基烷)造成的效應與一般脂肪族碳氫化合物相似。

芳香族碳氫化合物如苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯及萘等對黏膜組織是強烈的刺激物、也會引起肺部水腫、肺炎，並對眼睛、皮膚及呼吸系統的刺激，另外多環的芳香烴化合物有許多屬於致癌物質(NAS, 1972)。而苯乙烯具神經毒性，並引起疲勞、頭痛及記憶力喪失，且可能是致癌物，苯則已被證實為致癌物。

### 3. 含氯有機化合物及醇類

含氯有機化合物除了會引起眼睛、皮膚及呼吸系統的刺激外，並會造成肝臟和腎臟功能性及破壞性的傷害(Anderson and Scott, 1981)，另外有數種含氯的有機物疑似為致癌物或以證實為致癌物。酚、甲酚、五氯酚及其他的酚類化合物會造成需多有害的生理現象如嘔吐、吞嚥困難、腹瀉、顫抖、抽搐及頭痛。長期的暴露會導致肝臟及腎臟的嚴重傷害。而醇類化合物除了有麻醉的作用外，並會造成與酚類化合物相同的症狀。攝入甲醇會對視神經造成破壞，嚴重會導致失明。

#### (2) 室內懸浮微粒

目前為止台灣對於空氣中之粒狀污染物標準均以質量濃度進行規範，例如週界空氣品質標準為PM10日平均濃度 $125\text{ mg/m}^3$ ，而在作業場所中之可呼吸性厭惡粉塵則是訂定八小時日時量平均容許濃度 $5\text{ mg/m}^3$ 為標準。然而愈來愈多之流行病學證據顯示，即使暴露在低於 $100\text{ mg/m}^3$ 濃度下之患有心肺疾病老年人之死亡率有增加的趨勢，此外也會增加小孩子呼吸道相關疾病之發病率(Schwartz and Dockery, 1992; Oberdorster, 2001)。因此即使符合現行法規標準，仍然無法有效避免降低暴露微粒導致健康危害之風險。近年來相關微粒之毒理研究也相繼探討微粒暴露與健康危害之關係，文獻(Seaton, 1995; Oberdorster et al., 1995)指出實際上細小粒徑之氣膠與健康風險值間有較強的劑量-效應關係(dose-response relationship)，若分析飛灰成分可以發現細小粒徑氣膠含有毒物質之濃度明顯高於大粒徑氣膠(Davison, et al., 1974)。而由動物實驗結果來看，在相同重量下，細微粒之數目濃度及總表面積皆遠高於大粒徑氣膠，因此細小微粒在生物體內所產生的毒性效應遠大於相同組成份及相同重量之大粒徑氣膠(Lison et al., 1997; Osier and Oberdorster, 1997)。

過去許多文獻皆發現許多呼吸道疾病與肺病都是由室內懸浮微粒所引起，尤其是有機性成分或是表面負著有有機成分之氣膠微粒，這些微粒對人體健康有相當大之影響。在許多的報告中都相信，中國女性肺癌之罹患率相當高，造成主因是由於中國人喜歡熱炒食物，熱炒的同時會產生大量的含碳有機物化合物，這些含碳有機氣膠多數為多環芳香烴(PAHs)，產生原因是在高溫 $260^{\circ}\text{C}$ 下，造成蔬菜油的變質(Siegmann, 1996)。有些物質在燃燒後可能會帶有毒性，在過去有關拜香的研究中，燃燒後可能會產生致突變



物質、致癌物質，如 Naphthalene、Fluorene、Pyrene、Benzo[g、h、i] Perylene，而且在氣膠表面可能會吸附許多化學物質，如多環芳香族（PAH）、二氧化硫等；關於蚊香的研究中，燃燒一克蚊香產生之燃煙中含有 10.94 ppm 之甲醛、7.43 ppm 之乙醛及 3.97 ppm 之丙烯醛，氣膠微粒上則含有甲醛 45.4  $\mu\text{g}$ 、乙醛 5.1  $\mu\text{g}$ 、丙烯醛 11.9  $\mu\text{g}$ ，並且產生 39.53-61.67  $\mu\text{g}$  之總 PAHs，其中固態之 PAHs 佔 18.07~27.19  $\mu\text{g}$ (李，1996；張，1996)。加熱電蚊香，再加熱後會釋放出亞列寧、甲苯、二丁基煙基甲苯等危害性物質，其中亞列寧只會在粒狀物中發現，其含量更是蚊香的 200-400 倍(劉，1997)。香煙在點燃後，會產生尼古丁，焦油，這些物質都是具有毒性以及致癌性。



## 2-3 室內通風系統 (HVAC system)

一般大樓常採用通風空調 HVAC (Heating, Ventilating Air-conditioning) 系統來維護其室內空氣之品質，典型 HVAC 系統主要包括的組成空氣控制單元 (Air handling units, AHU) 大約分為下列單元，(1) 進氣口 (outside air intakes, plenums, and ducts, outdoor air)；(2) 濾網及預濾網 (filters and prefilters)；(3) 加熱及冷卻管線 (heating and cooling coils)；(4) 鍋爐，用來提供蒸氣或熱水給加熱管線 (chiller and boiler, to supply hot and chilled water to the coils)；(5) 冷卻水塔 (cooling towers)；(6) 增濕器或除濕器 (humidifier or dehumidifier)；(7) 進氣風管 (supply fans)；(8) 進氣風管 (supply ducts)；(9) distribution ducts, boxes, plenums；(10) 制音器及調節閘 (damper)；(11) 回風管 (return air plenums or ducts)；(12) 回風管 (return fan)；(13) 排風口 (exhaust outlets) 等，通風空調利用濾材及 pre-filter 來去除空氣中之塵粒，保障進入室內空氣之品質以維護室內活動之人們的健康，並保護其後的管路不受塵粒之影響，而 heating coil、cooling coil、及 humidifier 則可將進氣調整在一舒適的溫溼度範圍 (Bluyssena, 2003)。

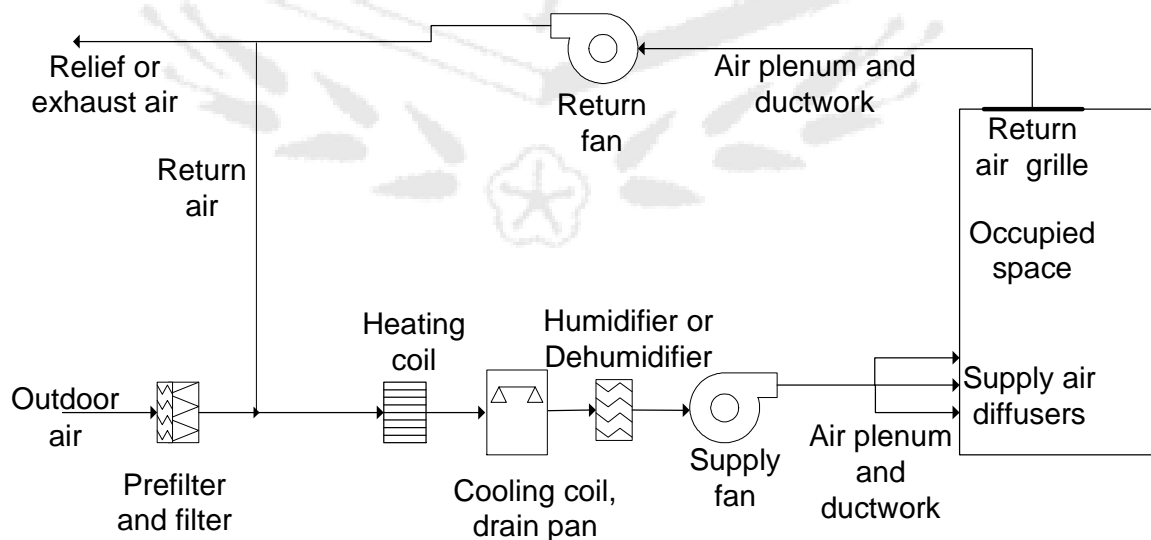


圖 1、典型之 HVAC 系統配置簡圖

## 2-4 室內空氣品質管制標準之制訂

由於室內空氣品質日益受到重視，世界各國都紛紛提出室內空氣品質之相關標準或建議值，綜合國際上目前室內空氣品質標準：

二氧化碳：多數國家標準值介於 800 至 1,000 ppm 之間，其中以澳洲及香港為嚴格。

總揮發性有機物：多數國家標準值介於 200 至 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間，其中以挪威、日本及 WHO 較為嚴格。

甲醛：多數國家標準值介於 100 至 400 ppb 之間，其中以新加坡、荷蘭及澳洲較為嚴格。

細菌數：多數國家標準值介於 500~1999CFU/ $\text{m}^3$ ，其中以新加坡及香港較為嚴格。

反觀國內對於室內空氣品質相關標準訂定的研究起步相對較晚。針對污染物質而言，僅在勞工安全衛生法規中的「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」中對甲醛、一氧化碳、二氧化碳...等有所規範；然而此規範主要係針對勞工之作業環境來訂定。反觀一般家庭住宅、辦公大樓和公共場所等室內空氣品質並未有所規定。國內最早於民國七十六年由國立陽明大學毛義方教授針對國內建築環境改變及室內環境品質之惡化而進行「台灣地區室內公共場所空氣品質標準之建立」的研究。其參考世界各國之室內空氣品質標準或建議值及空氣品質對於人體健康之影響，進而提出國內第一個公共場所基本室內空氣品質指標及污染物標準供相關單位進行訂定室內供氣品質規範之參考。經過多年，由於國內都市化快速、建築結構巨大的變化，面對日趨複雜之不同建築或場所室內環境來說，當時訂定之標準恐無法有效管制目前的室內空氣品質，加上分析及檢測的儀器改良及技術的精進，使得當時提出之管制建議需要進一步研究與調整。

行政院環保署於八十八年委託國立成功大學針對國內室內空氣進行評估及提出本土化之室內空氣品質標準建議草案，內容含括不同季節和室內環境(辦公室及住宅)之管制標準。八十九年環保署同樣委託國立成功大學進行研究，研究報告更進一步針對本土之辦公及公共建築室內空氣品質標準分別提出 A 特優級及 B 一般級兩個建議值之兩階段實行之建議值草案。直到去年在民間團體及多位學者之催生下，環保署終研擬完成「一般場所室內空氣品質參考標準建議值」草案，分別針對室內的二氧化碳、一氧化碳、甲醛、揮發性有機物及細菌等五種污染物的濃度，設定標準建議值，並於去年十一月二十四日邀集各縣市環保機關及民間機關團體召開標準草案公聽會，以廣納各界意見，並送

消保會審查，進而在 2006 年 12 月正式公告國內室內空氣品質建議值，自此，國內室內空氣品質之管制已邁向新的里程碑。國內室內空氣品質建議值如表 1 所示：

表 1 室內空氣品質建議值

項目	建議值			單位
	第 1 類	第 2 類	建議值	
二氧化碳(CO <sub>2</sub> )	8 小時值	第 1 類	600	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳(CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	9	
甲醛 (HCHO)	1 小時值		0.1	ppm (體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時值		3	ppm (體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m <sup>3</sup> (菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m <sup>3</sup> (菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於 10 μm 之懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	24 小時值	第 1 類	60	μg/m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
		第 2 類	150	
粒徑小於等於 2.5 μm 之懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )	24 小時值		100	μg/m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
臭氧(O <sub>3</sub> )	8 小時值	第 1 類	0.03	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	0.05	
溫度 (Temperature)	1 小時值	第 1 類	15 至 18	°C(攝氏)

說明：

- 一、為改善及維護室內空氣品質，維護國民健康及生活環境，特訂定本建議值。
- 二、本建議值勞工作業場所依室內空氣污染物濃度標準外，其他室內場所空氣污染物及濃度如上表所示。
- 三、本建議值之各項意義如下：
  - (一) 1 小時值：指 1 小時內各測值之算術平均或 1 小時累計採樣之測值。
  - (二) 8 小時值：指 8 小時內各測值之算術平均或 8 小時累計採樣之測值。

(三) 24 小時值：指 24 小時內各測值之算術平均或 24 小時累計採樣之測值。

(四) 最高值：依檢測方法所規範採樣方法之採樣分析值。

四、本建議值所稱第 1 類及第 2 類適用場所如下：

(一) 第 1 類：指對室內空氣品質有特別需求場所，包括學校及教育場所、兒童遊樂場所、醫療場所、老人或殘障照護場所等。

(二) 第 2 類：指一般大眾聚集的公共場所及辦公大樓，包括營業商場、交易市場、展覽場所、辦公大樓、地下街、大眾運輸工具及車站等室內場所。

五、中央各目的事業主管機關及地方政府改善室內空氣品質得另訂較嚴格之標準值。



## 2-5 甲醛去除之室內清靜技術

李家偉等(2003)針對活性碳空氣清淨機評估去除甲苯及甲醛之效能，實驗於環境測試箱內進行，實驗時間為 2 小時，分別進行未開機實驗、開機實驗、VOCs 再釋出試驗，甲苯、甲醛起始濃度為 30.0 ppm，溫、濕度分別為 25°C、50%。實驗結果顯示，甲苯之去除效率為 66~80%，CADR 值 0.3-2.0 m<sup>3</sup>/min；甲醛之去除效率為 16.6%，CADR 值 0.01 m<sup>3</sup>/min。同時針對甲苯進行溫度(35°C、50%) 對去除效率之影響及 VOCs 再釋出試驗，發現高溫時甲苯去除效能較差，去除率為 60%，CADR 值 0.25 m<sup>3</sup>/min。VOCs 再釋出試驗指出，高濕度狀況下，吸附飽和之活性碳濾網容易將甲苯釋出形成污染。

謝靜佩(2003)採用臭氧空氣清淨機評估去除甲苯及甲醛之效能，實驗於環境測試箱內進行，實驗時間為 8 小時，分別進行未開機實驗、開機實驗、環境測試箱未密閉衰減，甲苯、甲醛起始濃度為 1.0 ppm，溫、濕度為 25 ± 5°C、60 ± 5%。實驗結果顯示，甲苯去除率為 3.50-16.54%；甲醛去除率為 1.77-34.38%。

Niu et al.(1998)利用 27 台活性碳及負離子空氣清淨機，評估去除 PM10 及甲苯之可行性，實驗於環境測試箱內進行，實驗時間為 2 小時，分別進行未開機實驗、開機實驗、VOCs 再釋出試驗，甲苯起始濃度為 20-50 ppm，溫、濕度分別為 23°C、60%。實驗結果顯示，空氣清淨機對於 PM10 去除率較佳 CADR 值 342-3914 L/min；甲苯較差 CADR 值 11-330 L/min。同時指出溫、濕度等環境因子都是影響效率之關鍵因子，並對艙室吸附及再釋出 VOCs 效應量化。

Zhang et al. (2003)利用光觸媒空氣清淨機評估去除甲醛及甲苯之效能，實驗分成兩種方式進行，分別於測試箱內進行實驗及模式模擬，甲醛之實驗時間為兩小時，甲醛起始濃度為 1.8 ppm，溫、濕度分別為 25 ± 1°C、40 ± 5%。甲苯之實驗時間為八小時，甲苯起始濃度為 7.6 ppm，溫、濕度分別為 25 ± 1°C、50%。實驗結果顯示，甲醛之去除效率為 70~80%；甲苯去除效率為 35~40%。Esswein et al.(1994)利用臭氧空氣清淨機評估去除甲醛之之效能，實驗於環境測試箱內進行，實驗時間為 1.5 小時，分別進行未開機實驗、開機實驗，甲醛起始濃度為 2.5 ppm，溫度為 21°C。實驗結果顯示，臭氧空氣清淨機對於甲醛之去除效率不佳。

## 2-6 高錳酸鉀於環境工程之應用

近十年來，高錳酸鉀常被應用於飲用水和廢水處理上，高錳酸鉀為一強氧化劑，可用以分解有機物(如酚類)及一些有毒之無機物(氰鹽)，亦可用於氧化鐵、錳、硫化氫，控制味與臭和殺死藻類(環訓所，2003)。當高錳酸鉀溶於水時會轉成紫色帶有光澤，反應後有二氧化錳產生會使溶液呈現黑色或紅棕色。經高錳酸鉀氧化後會形成的產物有二氧化碳、水。

Yan et al.(1999)曾使用高錳酸鉀氧化處理地下水中之氯乙烯，顯示其降解速率頗高，高錳酸鉀對反二氯乙烯較順二氯乙烯具有較高的反應速率。Yan et al.(2000)亦曾探討利用高錳酸鉀氧化三氯乙烯(TCE)的動力學與機制，發現若 TCE 的氧化過程為二階反應，其反應速率常數  $k$  值約為  $0.67 \pm 0.03 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$ 。徐等人(2002)使用高錳酸鉀氧化現地受 TCE 污染之場址，其污染面積約  $500 \text{ m}^2$ ，從監測井的結果顯示使用高錳酸鉀整治受 TCE 污染之場址有明顯的去除效果。盧等人(2002)利用高錳酸鉀處理受苯胺污染之地下水，苯胺初始濃度為  $1 \times 10^{-3} \text{ M}$  條件下，高錳酸鉀反應濃度為  $3.2 \times 10^{-3} \text{ M}$  時，苯胺之去除率於反應時間一分鐘時即可達到 50%。研究中加入黏土礦物( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$  及  $\text{SiO}_2$ )來測定各黏土礦物對苯胺之吸附能力，發現其對苯胺之吸附量約在 5% 以內。而高錳酸鉀氧化苯胺的系統中，加入 50 g/L 之  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$  及  $\text{SiO}_2$ ，並不影響高錳酸鉀氧化苯胺的作用能力。Lu et al., (2003) 指出 TCE/ $\text{KMnO}_4$  莫爾比(molar ratio)從 2 到 10，氧化速率隨著莫爾比的增加而增加。雖然  $[\text{TCE}]/[\text{KMnO}_4]$  之理論劑量是 0.5 才能完全降解 TCE，但實驗結果發現仍需要至少四個莫爾的  $\text{KMnO}_4$  去分解 TCE。Huang et al. (2002) 曾進行  $\text{KMnO}_4$  氧化 TCE 之管柱試驗，結果顯示，氯離子的回收率可達約 100%，並探討  $\text{H}^+$  與  $\text{MnO}_2$  對污染區間的衝擊。高錳酸鉀淋洗溶解相 TCE 之水相介質，TCE 有明顯降低、流出液中 pH 下降(自 6.7 降至 2.0)及產生大量  $\text{MnO}_2$  沉澱。

然高錳酸鉀極少被使用於室內有機物染物之去除，不過事實上高錳酸鉀為一強氧化劑，其對於揮發性且分子量低的有機物有良好之分解效能，甲醛即是屬於揮發性且分子量較低之有機物質，因此本計畫即根據此一現象嘗試將高錳酸鉀應用於室內來去除甲醛。





### 第三章 研究方法

#### 3-1 實驗方法

##### 3-1-1 測試系統

圖 4 為室內 HVAC 之模擬系統，包含有測試腔室、光觸媒處理單元、靜電濾材處理單元、以及風扇與幫浦。光觸媒與靜電濾材處理單元是用以處理空氣污染物之單元，風扇與幫浦則是用以維持此一通風系統之穩定的通風以及換氣率。在實驗室系統中，總氣體流率為  $Q_t$ ，而其包含有循環氣體流率(recirculation airflow rate for,  $Q_1$ )以及乾淨空氣流率(makeup airflow rate,  $Q_2$ )，其中本計畫為了使操作條件較為簡單，更容易進行效能評估，外部空氣是選擇無污染物的乾淨空氣進行測試。在實驗中可以改變總氣體流率或是變化循環氣體與乾淨空氣之比例來進行探討，在本研究中，對於氣體流率此一變因，我們以總 ACH ( $Q_t/V$ , total air change per hour, total ACH)以及乾淨空氣 ACH ( $Q_2/V$ , fresh ACH)來進行探討。

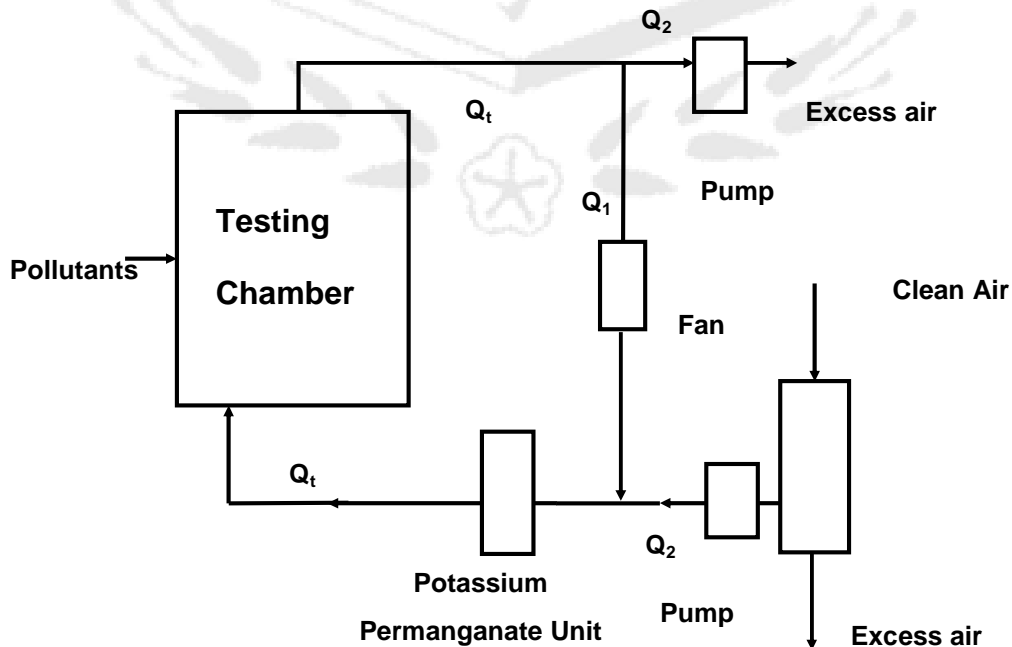


圖 2、HVAC 系統圖

在實驗條件上，我們選取兩個不同濕度(RH=30%與 70%)，以及三種不同總換氣率 (total ACH=0.5, 1, and 2 hr<sup>-1</sup>)進行探討。以及選取兩個 Fresh ACH (0.18 and 0.36 hr<sup>-1</sup>)進行比較。在相對濕度選取上，是根據在室內空調系統中，由於冷房的開啟會導致相對濕度降低，因此沒有選取較高的相對濕度，而是採用較合適的 RH=30%與 70%。而在換氣率選擇上，美國疾病管制局曾建議，在一般辦公建築物換氣率為 1-2.5 (1/hr)，美國冷凍空調協會(AHSRAE Standard 62-2001)訂定住家室內最低換氣率為 0.35 (1/hr)，因國內尚無相關規範，故參考與上述建議值與法規標準，選定與其相近之區域。

### 3-1-2 小型模擬測試箱

圖 3 為本計畫所設計之小型 HVAC 模擬測試腔室，其大小為 80×80×80 cm<sup>3</sup>，圖中上半部則為 HVAC 的通風管線，其截面積約是 6×6 cm<sup>2</sup>。為進一步了解整體系統是否設計良好，我們利用二氧化碳及氣膠微粒來對於系統混和率進行測試，若混和率大於 80 % 則可認定此一腔室為混和均勻之測試系統。



圖 3、小型 HVAC 模擬腔室

測試腔之混和率測試方法是利用追蹤氣體濃度衰減方法來測試。混合率計算方法如 [1]式

$$\eta_{mix} = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [C_a(t_i) - C(t_i)] \times (t_i - t_{i-1})}{\sum_{i=1}^n [C(t_i) \times (t_i - t_{i-1})]} \right\} \times 100\% \quad [15]$$

其中  $\eta_{mix}$  為混合程度 (%) ;  $t_i$  為第  $i$  個採樣時間 ;  $C_a(t_i)$  為追蹤氣體出口濃度 ;  $C(t_i)$  則是完全混合情形下，追蹤氣體濃度，而  $C(t_i)$  可用 [2] 式求得：

$$C(t_i) = C_0 e^{-nt} \quad [2]$$

其中  $C_0$  為在  $t=0$  時的追蹤氣體濃度 ;  $n$  : 模擬箱換氣率。

### 3-1-3 污染物產生單元

室內環境中可被測得的揮發性有機物種類很多，本研究將選擇室內環境中出現頻率較高且危害性較大的甲醛作為實驗物種。此一 VOC 物種亦被美國冷凍空調協會 (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) 選為室內六類 VOC 污染物 (aromatic, aldehyde, alkane, ketone, alcohol, chlorocarbon) 在測試空氣濾清器時之代表性污染物 (VanOsdell, 1994)。甲醛為常見之室內揮發性有機物，由實驗結果顯示，暴露在低濃度的甲醛環境下 ( $\geq 0.25 \text{ mg/m}^3$ ) 會使人的眼睛、鼻子、喉嚨受到刺激。吸入甲醛會造成呼吸道刺激及肺功能減弱。甲醛也可能具有生殖毒性，在動物實驗中也顯現其致癌性。甲醛為人體正常代謝副產品，在體內迅速分解成甲酸，接著分解為二氧化碳及水。甲醛會導致基因突變，已在多種基因突變測試中獲得證實 (Ulsamer, 1982)，主要效應包括 DNA 單股斷裂、DNA-protein 錯接及染色體異常等。

甲醛氣體之產生乃利用曝氣法製造：利用 4 g 之甲醛溶入 150 ml 之蒸餾水中，經攪拌後使其完全溶解，倒入 200 ml 定量瓶中，加入蒸餾水至 200 ml，配製所需之甲醛溶液。再藉由 pump 之動力通入空氣，將甲醛氣體從甲醛溶液中帶出，和稀釋氣體混合

後進入測試箱中。稀釋氣體與甲醛氣體混合之比例不同，就能產生不同濃度之甲醛氣體。待測試箱內甲醛氣體濃度穩定 10-20 分鐘後，即可進行實驗。

### 3-1-4 污染物量測系統

甲醛之採樣分析係採用英國 PPM 儀器公司所製造的甲醛分析儀「FORMALDEMETER 4」直讀式測定儀進行檢測。整個儀器可分成三大部分：

1. 採樣系統：將採樣口朝向欲採樣地點，按下 sample 鍵後幫浦開始進行抽氣，每次固定抽取 10 ml 氣體經由採樣口進入到內部電極區。
2. 燃料槽(fuel cell)偵測器：氣體接著被導入燃料槽中，此時甲醛在白金電極上氧化而產生電流，在燃料槽中因氧化而產生最大電流所需的時間約 7-11 秒。因燃料槽的靈敏度稍微會隨時間有所變化，因此要定期做校正，正常燃料槽使用期限約五年。
3. 電子倍增器和顯示器：甲醛氧化產生之電流經由一感應器而將電子訊號放大，而後再轉換成數字型訊號由顯示儀板顯示。

此儀器濃度偵測範圍在 0.05-50 ppm；三位數的液晶顯示器，非常容易讀值。正常反應時間在一分鐘內，數據取得快速。僅使用一個 9 伏特電池可以偵測到 1250 個樣品，非常的經濟方便。因為是使用電化學原理測試，所以是屬於一高精密度的儀器。儀器使用之前必須先進行校正，先將儀器本體、溫度計及標準氣體置於採樣場所一小時以上，待儀器和標準氣體與室溫達平衡後，參照標準氣體上所附的溫度及濃度表，調整儀器之甲醛讀數至設定值即完成校正。

### 3-1-5 高錳酸鉀濾材控制單元

本研究所採用之高錳酸鉀濾材為自行條理所產生之濾材，將不織布濾材浸置於高錳酸鉀溶液中，本計畫中選用之不織布濾材為厚度 5 mm 之聚丙烯濾材，待高錳酸鉀載負於不織布纖維表面後，將其取出後烘乾，即成為實驗中所使用之高錳酸鉀濾材，同時在研究中選用三種不同濃度（0.01 M、0.05 M 與 0.1 M）之高錳酸鉀溶液來條理濾材，進

而比較不同濃度之高錳酸鉀濾材對甲醛之去除能力。高錳酸鉀濾材特性如表 2 所示。

表 2、高錳酸鉀濾材特性

	厚度(mm)	單位重量(g/cm <sup>2</sup> )
未處理濾材	5.0	0.0152
0.01 M 高錳酸鉀濾材	5.0	0.0163
0.05 M 高錳酸鉀濾材	5.0	0.0177
0.1 M 高錳酸鉀濾材	5.0	0.0190

### 3-1-6 相對濕度控制系統

一壓縮空氣經由 HEPA 過濾微粒得到乾淨空氣後，導入一曝氣槽曝氣並增濕，之後得到高相對濕度之氣體，而後再與另一股經 HEPA 過濾之乾空氣進行混合，在濕度計 (Q-Trak Plus, Model 8554, TSI, USA) 監測下，一直調整到實驗所需的相對濕度為止。

### 3-1-7 實驗變因

實驗中，將比較在不同之變因下對甲醛去除效率之影響，以獲得操作之最適條件。

#### 1. total ACH：（總換氣率）

本計畫針對不同之 total ACH 進行比較，以瞭解在不同之 total ACH 下對污染物衰減之影響，本計畫選取 0.5、1.0 及 2.0 (1/hr) 三個不同之 total ACH 進行比較。

#### 2. fresh ACH：（乾淨空氣換氣率）

本計畫針對不同之 fresh ACH 進行比較，以瞭解在不同之 fresh ACH 下對污染物衰減之影響，也就是不同之循環空氣與乾淨空氣比率對污染物衰減之影響，本計畫選取 0.18 與 0.36 (1/hr) 三個不同之 total ACH 進行比較。

### 3. 揮發性有機物

室內環境中可被測得的揮發性有機物種類很多，本研究將選擇室內環境中出現頻率較高且危害性較大的甲醛作為實驗物種，同時評估在不同濃度(0.05 ppm、0.1 ppm 與 0.2 ppm)下，對去除效率之影響。

### 4. 溫度

評估在不同測試溫度下(25<sup>0</sup>C 與 40<sup>0</sup>C)，對於高錳酸鉀濾材去除甲醛效率之影響。

### 5. 相對濕度

比較在不同相對濕度(30%與 70% )下對於甲醛去除效率之影響。

## 3-2 實驗步驟

整體實驗步驟如下：

1. 將實驗物種灌入小型模擬腔室中，使其濃度達到一定固定量。
2. 將小型模擬系統啟動，開始進行循環空氣、抽出腔內污染空氣及灌入乾淨空氣。
3. 在系統啟動後，開始定時量測腔內污染物濃度變化。
4. 實驗進行分為有污染物處理單元及無處理單元進行實驗。
5. 系統大約進行三小時實驗後，關閉系統。
6. 依據濃度變化即可估算出污染物之衰減常數。

## 第四章 結果與討論

### 4-1 混和率測試

在進行實驗之前，我們必須先測試模擬箱的混合率程度是否達到均勻混合的要求，若混合程度不足時則需加裝混合風扇來幫助模擬箱內部混合，以確保實驗時不會有局部高濃度微粒的情形。而測試方法是利用追蹤氣體濃度衰減方法來測試。混合率計算方法如[1]式：

$$\eta_{mix} = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [C_a(t_i) - C(t_i)] \times (t_i - t_{i-1})}{\sum_{i=1}^n [C(t_i) \times (t_i - t_{i-1})]} \right\} \times 100\% \quad [1]$$

其中  $\eta_{mix}$  為混合程度 (%)； $t_i$  為第  $i$  個採樣時間； $C_a(t_i)$  為追蹤氣體出口濃度； $C(t_i)$  則是完全混合情形下，追蹤氣體濃度，而  $C(t_i)$  可用[2]式求得

$$C(t_i) = C_0 e^{-nt} \quad [2]$$

其中  $C_0$  為在  $t=0$  時的追蹤氣體濃度； $n$ ：模擬箱換氣率。

表 3、測試腔室之混和率

CO2 test	Beginning Concentration			Mixing Level	
	(ppm)	Temp (°C)	RH (%)	ACH (1/hr)	(%)
1	3392	25.4	66.3	1.0	96.4
2	4438	25.9	67.4	1.0	96.6

本計畫以  $CO_2$  氣體當作追蹤劑，再用  $CO_2$  偵測儀 Q-TRAK 進行連續偵測，每 30 秒偵測一次出口端的  $CO_2$  濃度，再由[1]式與[1]式進行計算。混合率測試結果如表 3 所示，二氧化碳混合率分別為 96.4%與 96.6%，懸浮微粒之混和率約是 85.6%，皆有達到 ASTM D5116-97 對於一個混和良好的測試箱之要求混和率(80%以上)，故本模擬測試腔可視內

部為完全混合狀態。

## 4-2 甲醛在小型 HVAC 系統自然衰減特性

本研究計畫在開始進行高錳酸鉀濾材對甲醛去除效能之評估實驗前，先進行甲醛在小型 HVAC 系統中之自然衰減實驗，本研究計畫所定義之自然衰減為在未加裝任何去除設備時，污染物之一階衰減常數。而衰減常數之定義為加裝去除設備後，其操作時污染物之一階衰減常數。在本研究中自然衰減主要來自通風換氣稀釋，壁面吸附等機制。

圖 4 為 0.5 ppm 甲醛在測試艙內未使用高錳酸鉀時濃度衰減變化 ( $TACH=0.5\text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18\text{ hr}^{-1}$ )，自然衰減常數 ( $K_n$ )是  $0.234\text{ (hr}^{-1}\text{)}$ ；圖 5 為在 1.0 ppm 甲醛在測試艙內未使用高錳酸鉀時濃度衰減變化 ( $TACH=0.5\text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18\text{ hr}^{-1}$ )，自然衰減常數 ( $K_n$ )是  $0.245\text{ (hr}^{-1}\text{)}$ ；圖 6 為在 2.0 ppm 甲醛在測試艙內未使用高錳酸鉀時濃度衰減變化 ( $TACH=0.5\text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18\text{ hr}^{-1}$ )，自然衰減常數 ( $K_n$ )是  $0.251\text{ (hr}^{-1}\text{)}$ 。由實驗結果可知，在未進一步使用高錳酸鉀濾材時，三個濃度之甲醛自然衰減常數約在  $0.234\text{--}0.251\text{ (hr}^{-1}\text{)}$ 間，不同濃度甲醛自然衰減常數差異不大，不過濃度越高者其衰減有較高之現象，主要原因在於其濃度高，在測試之 HVAC 系統中分子數較多，因此在自然衰減的過程中，壁面吸附之現象較明顯。

另進一步比較增加 HVAC 系統之總換氣率對甲醛自然衰減之影響，圖 7 即是 0.5 ppm 甲醛在測試艙內未使用高錳酸鉀，同時增加總換氣率至  $\text{ACH}=1.0\text{ hr}^{-1}$  時濃度衰減變化 ( $TACH=1.0\text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18\text{ hr}^{-1}$ )，其自然衰減常數 ( $K_n$ )是  $0.371\text{ (hr}^{-1}\text{)}$ 。結果可知，增加總換氣率對於甲醛自然衰減有明顯增強之現象，此一部份主要是增加循環時，壁面吸附之現象較明顯。



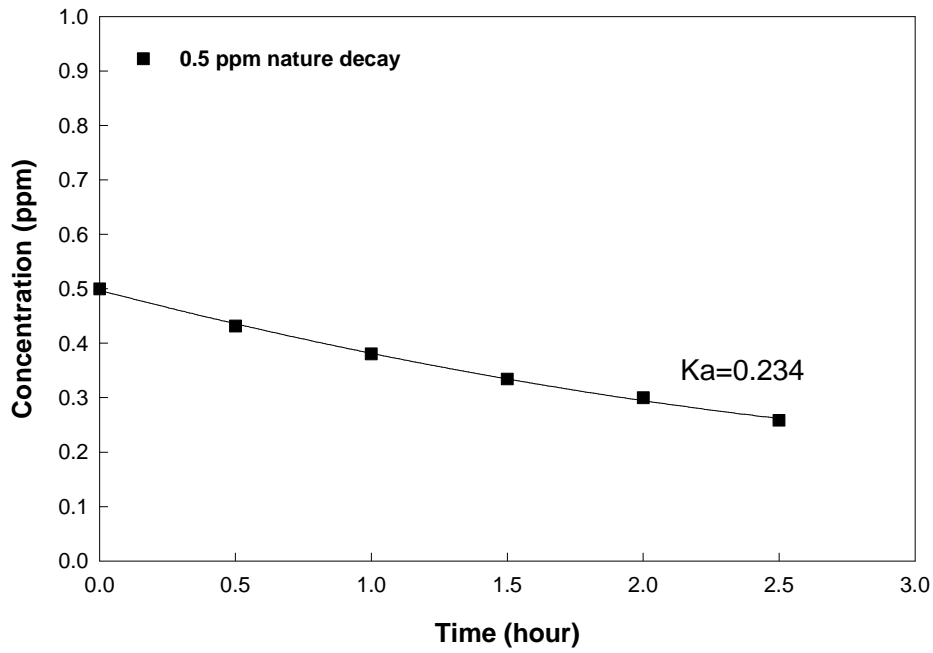


圖 4、0.5ppb 甲醛在 HVAC 系統之自然衰減特性( $TACH=0.5 \text{ hr}^{-1}$ ，fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

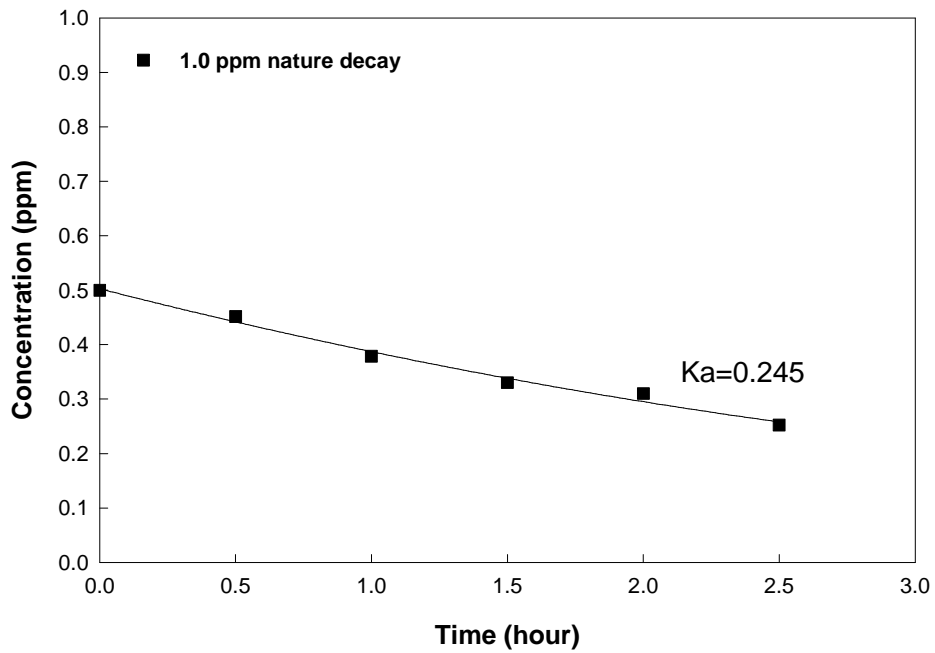


圖 5、1.0 ppb 甲醛在 HVAC 系統之自然衰減特性( $TACH=0.5 \text{ hr}^{-1}$ ，fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

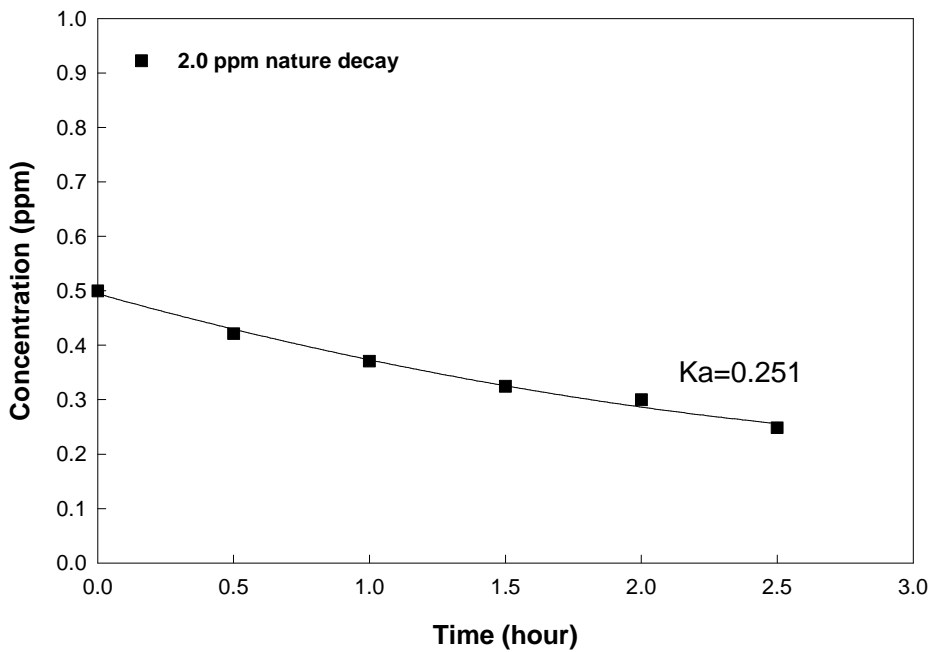


圖 6、2.0 ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性( $TACH=0.5 \text{ hr}^{-1}$ ， $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

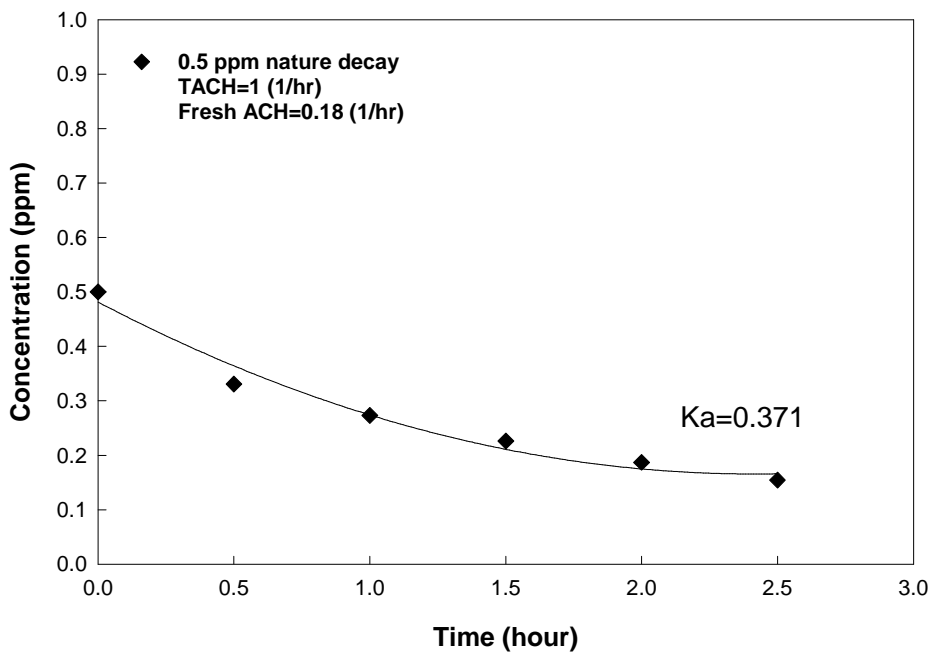


圖 7、0.5 ppb 甲醛在 HAVC 系統之自然衰減特性( $TACH=1.0 \text{ hr}^{-1}$ ， $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

### 4-3 高錳酸鉀濾材對甲醛在 HVAC 系統衰減特性之影響

本研究計畫主要利用高錳酸鉀濾材針對室內甲醛進行控制，圖 8 即是 0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH} = 0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為 0.385 (1/hr)。進一步與 0.5 ppm 甲醛之自然衰減係數 ( $0.234 \text{ hr}^{-1}$ ) 比較，可以發現，當使用高錳酸鉀濾材後，甲醛之衰減常數有明顯下降之趨勢，主要原因在於高錳酸鉀( $\text{KMnO}_4$ )為強氧化劑，可將甲醛進行分解，因此在 HVAC 系統中，甲醛不斷循環經過高錳酸鉀濾材，與其反應，因此可明顯達到去除甲醛之效果，故經由數據證實，高錳酸鉀濾材對於甲醛有明顯去除之能力。在其去除機制部分，高錳酸鉀氧化甲醛後，主要會形成  $\text{MnO}^2$  或是  $\text{Mn}^{2+}$  等物質，而甲醛為先形成甲酸，進一步再分解為水與二氧化碳，不過此一部份仍為推論過程，由於本研究計畫經費問題，因此在採樣過程中利用直讀式儀器，進行採樣分析，在未來若進一步以 GC-MS 分析，應可完全推斷出其反應機制。

進一步將圖 8 之結果與 0.5 ppm 甲醛之自然衰減結果比較，可以發現使用高錳酸鉀濾材對於甲醛去除之能力上較增加總換氣濾材得高，主要原因在於高錳酸鉀可直接分解甲醛，而增加總換氣率只是利用增加壁面吸附來去除甲醛。

另，若以目前室內空氣品質標準之草案規定來看，室內甲醛濃度建議值為 0.1 ppm，而以實驗所設定之 0.5 ppm 甲醛初始濃度進行評估，若要達到法規所建議之適宜濃度，在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時，約需 2.3 小時之處理即可達到法規所建議之適合活動之室內甲醛濃度。

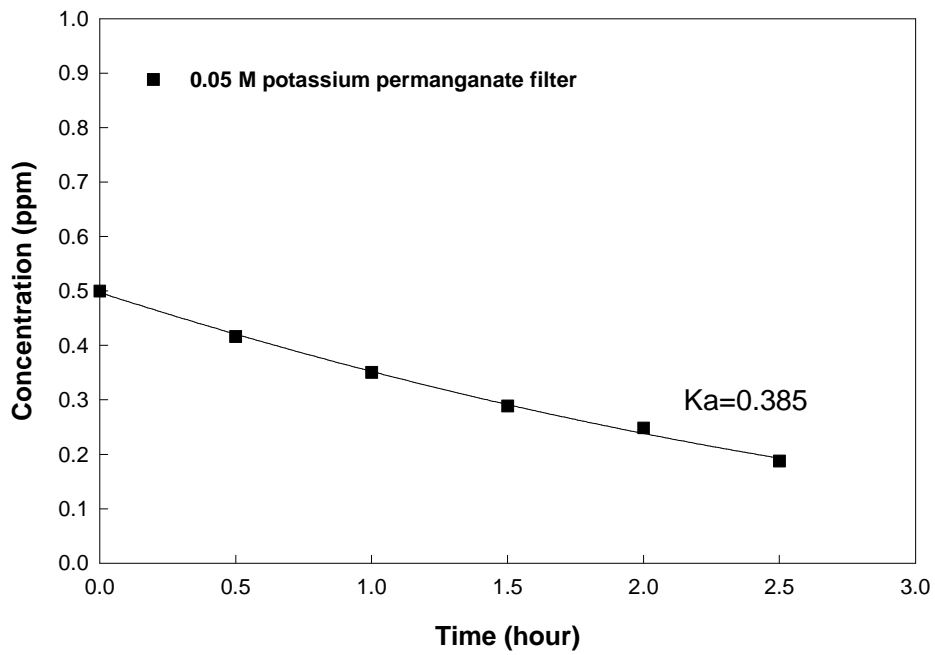


圖 8、0.5 ppb 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  
 $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

#### 4-4 高錳酸鉀濾材對不同濃度甲醛在 HVAC 系統衰減特性之影響

進一步，本研究計畫比較高錳酸鉀濾材對不同濃度之甲醛衰減特性之影響，圖 9 為 1.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為 0.412 (1/hr)。圖 10 為 2.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為 0.441(1/hr)。由結果可知，當甲醛濃度越高時，高錳酸鉀濾材之去除效能也越高，主要原因在於，當濃度越高之甲醛在 HVAC 系統循環時，較多之甲醛分子與高錳酸鉀接觸，因此可已有較佳之衰減現象。不過在實際上，甲醛在室內濃度大約在 0.5 ppm 附近，故可知實際應用時，高錳酸鉀濾材之效能並不如對高濃度甲醛來的好，這也是室內空氣清淨技術在處理濃度污染物時所招遭遇的最大困難。

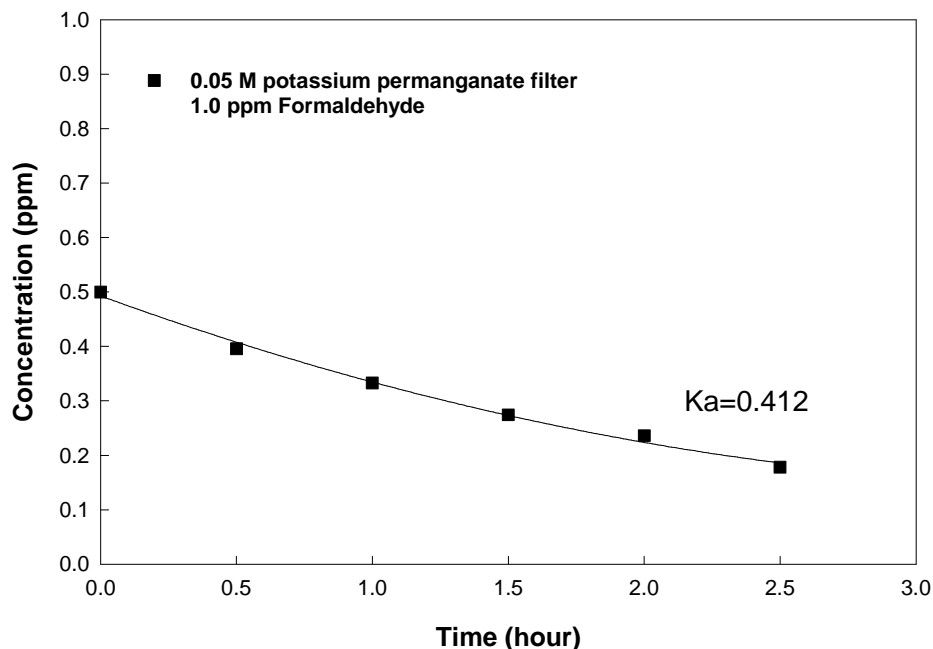


圖 9、1.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

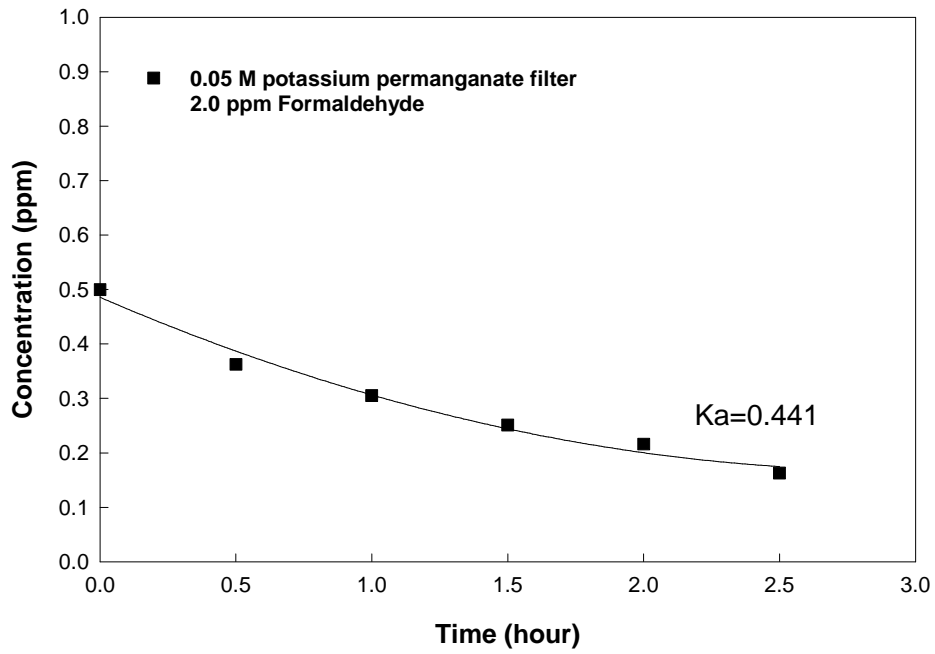
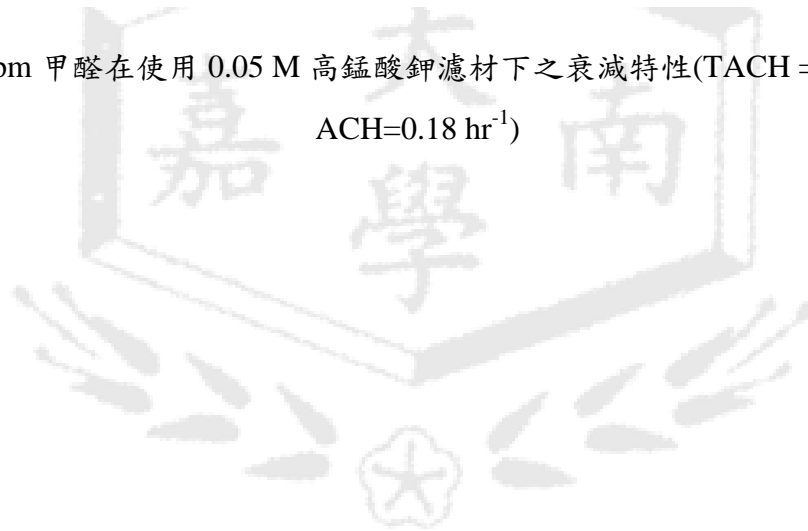


圖 10、2.0 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$  , fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )



#### 4-5 不同濃度之高錳酸鉀濾材對甲醛衰減特性之影響

本研究除利用 0.05 M 高錳酸鉀去除甲醛外，另利用 0.01 M 與 0.1 M 高錳酸鉀濾材去除甲醛，圖 11 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.01 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為  $0.351(1/\text{hr})$ 。圖 12 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.1 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $ACH=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為  $0.412(1/\text{hr})$ 。進一步結合 4-4 節中之結果，故可知，在越高濃度之高錳酸鉀濾材系統中，甲醛之衰減常數越高，也就是說越高濃度之高錳酸鉀濾材對甲醛有較高之去除效能，主要原因在於越高濃度之高錳酸鉀濾材上有較多之高錳酸鉀分子，因此甲醛在 HVAC 系統中循環時，會有更高機會與高錳酸鉀分子接觸，因而被其分解之。不過使用越高濃度之高錳酸鉀濾材，其成本也越高，這是必須在未來研究中，由成本與效益間找出一最適合之操作濃度。

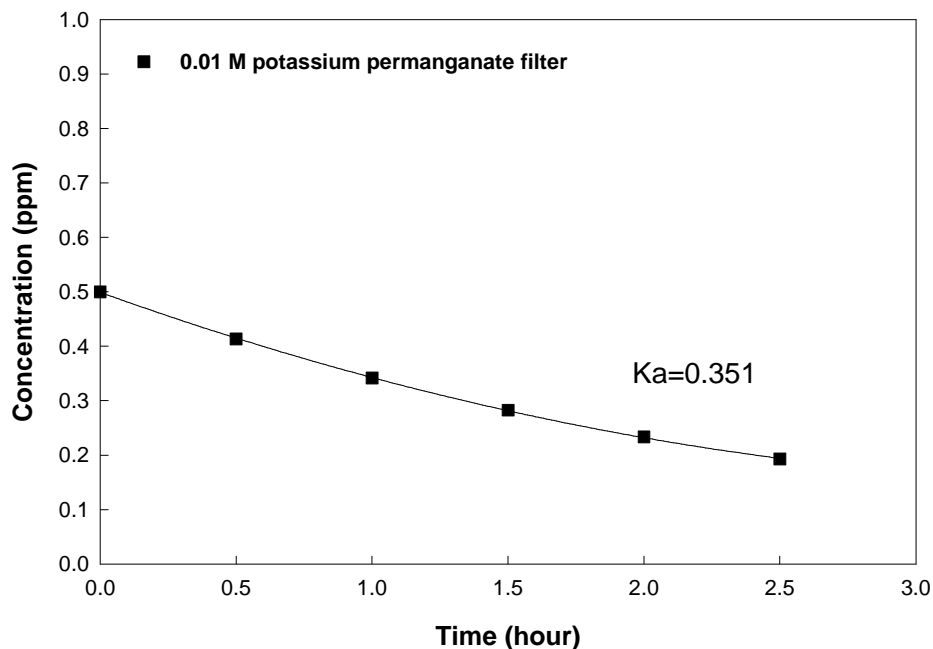


圖 11、0.5 ppm 甲醛在使用 0.01 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性( $\text{total ACH} = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $\text{ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )

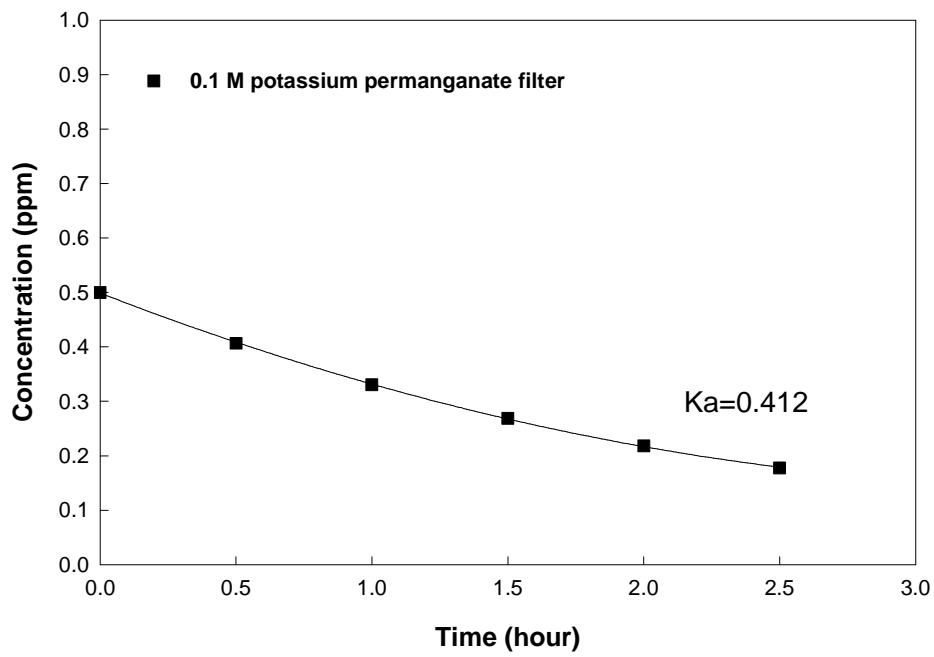


圖 12、0.5 ppm 甲醛在使用 0.1 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>)



#### 4-6 高錳酸鉀濾材在不同換氣率下對甲醛衰減特性之影響

本研究計畫進一步比較總換氣率與清潔空氣換氣率對甲醛衰減之影響。圖 13 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材，總換氣率  $1.0 \text{ hr}^{-1}$  時( $\text{TACH} = 1.0 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $\text{ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為  $0.598(1/\text{hr})$ 。將結果與總換氣率仍是  $0.5 \text{ hr}^{-1}$  之實驗結果相比，可知甲醛之衰減常數明顯之上升，主要原因是總換氣率增加，會大幅增加甲醛與高錳酸鉀濾材接觸之次數，當總換氣率增加，循環次數也會大幅增加，而使得接觸機會明顯增加，因此造成甲醛衰減常數大幅增加。

另，圖 14 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.1 M 高錳酸鉀濾材，清潔空氣換氣率  $0.36 \text{ hr}^{-1}$  時( $\text{TACH} = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ , fresh  $\text{ACH}=0.36 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為  $0.689(1/\text{hr})$ 。與 4-4 節結果相比，可知當清潔空氣換氣率增加時，甲醛之衰減常數也是明顯增加，不過此一機制與總換氣率增加對甲醛去除之機制並不相同，增加總換氣率會增加甲醛與高錳酸鉀之接觸機會，但增加清潔空氣換氣率，則是將清潔空氣導入，將甲醛污染物直接經由換氣而移出。故可知，若是增加乾淨空氣之換氣率也是對污染物去除之一良好之控制方法。

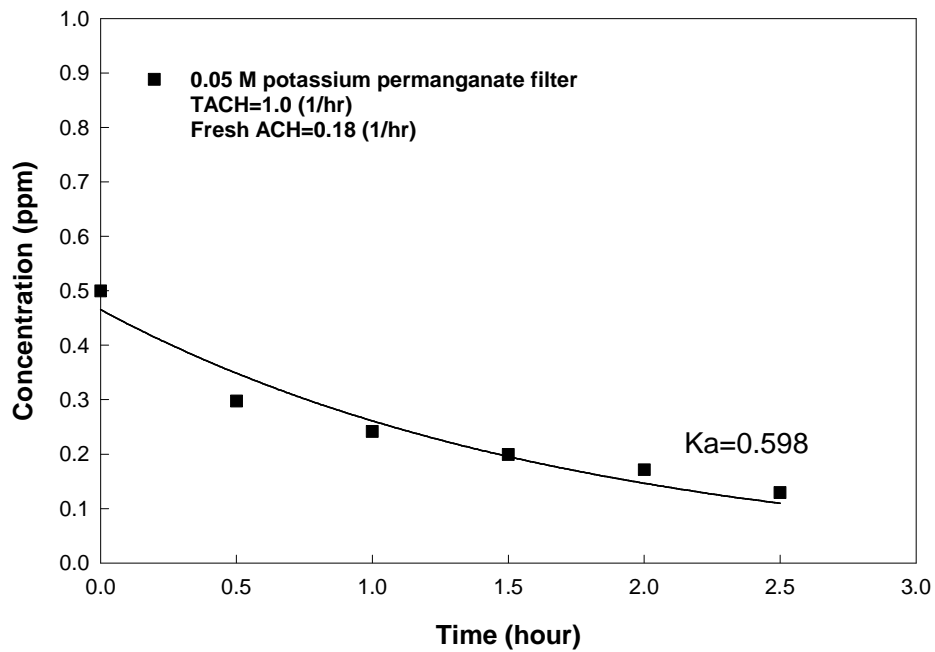


圖 13·0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 1.0 hr<sup>-1</sup>, fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>)

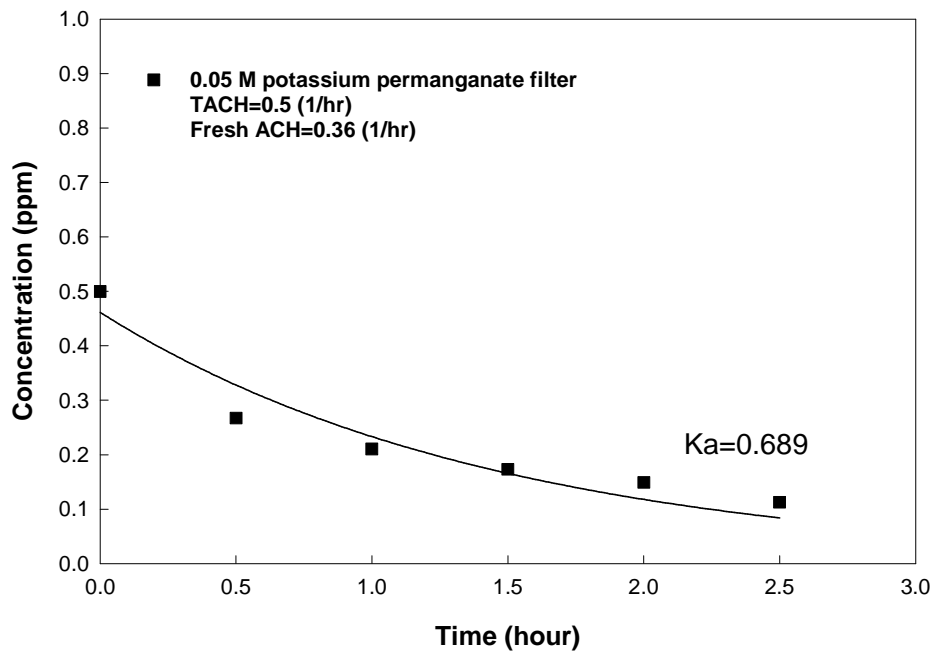


圖 14·0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup>, fresh ACH=0.36 hr<sup>-1</sup>)

#### 4-7 高錳酸鉀濾材在不同溫度下對甲醛衰減特性之影響

本研究計畫進一步比較溫度率對甲醛衰減之影響。圖 15 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材，溫度為 45°C 時(TACH = 0.5 hr<sup>-1</sup>, fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>)之衰減特性，其衰減常數(Ka)為 0.475(1/hr)。在 4-4 節中，一般之控制實驗溫度均是設在 20°C，其衰減常數為 0.385(1/hr)，將兩結果相互比較，可知當溫度越高時，甲醛之衰減常數也越高，主要是在高錳酸鉀與甲醛反應時，較高之溫度會增強其氧化反應，增加其反應速度，因此會造成衰減常數上升。

不過在實際情況時，一般室內溫度並不會達到如此高溫，而且溫度太高，會造成室內人員不適，因此在實際應用上仍是以室溫為最佳是操作溫度。

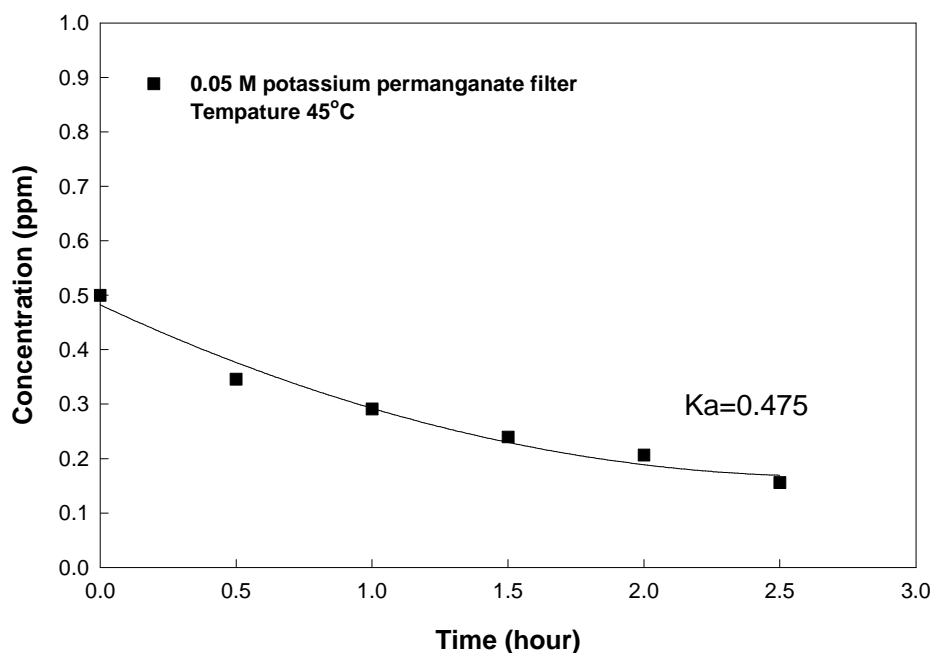


圖 15、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材與溫度 45°C 下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup>, fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>)

#### 4-8 高錳酸鉀濾材在不同相對濕度下對甲醛衰減特性之影響

本研究計畫進一步比較相對度率對甲醛衰減之影響。圖 16 為 0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材，相對濕度為 70% 時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH} = 0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為  $0.501(1/\text{hr})$ 。在 4-4 節中，一般之控制實驗濕度均是設在 30%，其衰減常數為  $0.385(1/\text{hr})$ ，將兩結果相互比較，可知當相對濕度越高時，甲醛之衰減常數也越高，主要原因在於相對濕度越高時，水氣會在高錳酸鉀表面形成一水膜層，而甲醛與高錳酸鉀在進入水膜中之反應速度是較快的，這也是過去此一技術多應用於水污染與土染污染控制之主因，在有水的環境下，高錳酸鉀對甲醛之去除能力是較佳的，因此，可知在較高相對濕度之環境下，高錳酸鉀對甲醛之去除能力是較佳的。

此一現象與觸媒形式之濾材對甲醛之能力恰是向反的，觸媒形式濾材在高相對濕度下，水氣同樣會在觸媒表面形成水膜，但此一現象反而會阻礙催化現象之發生。台灣為一高相對濕度環境，使用觸媒形式濾材均是在高濕度環境下使用，因此效能會受到限制，若是採用高錳酸鉀濾材在台灣高濕度的環境中，其對甲醛之去除效能反而會更好。

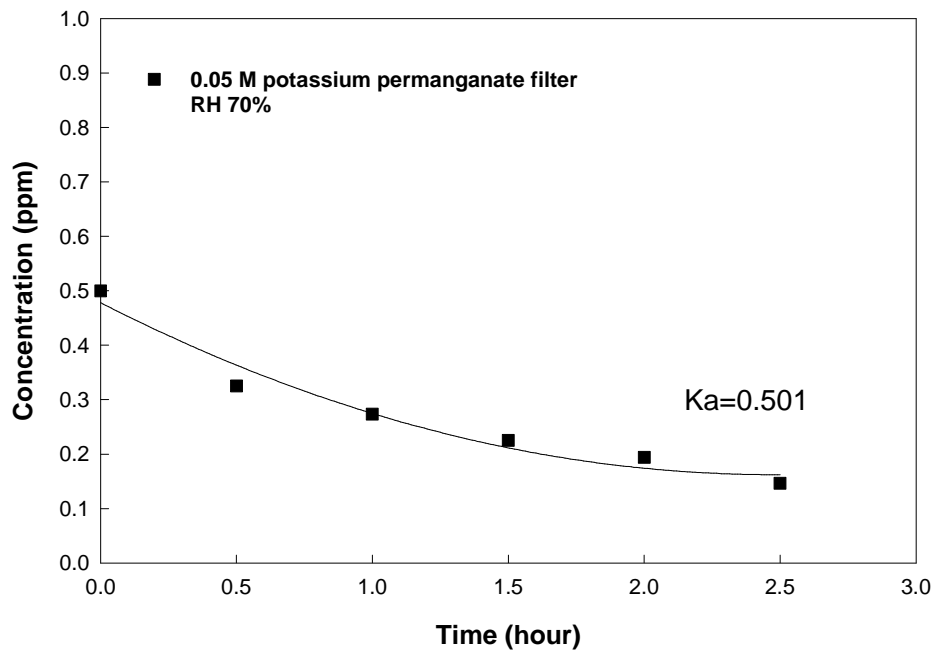


圖 16、0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材與相對濕度 70% 下之衰減特性(total ACH = 0.5 hr<sup>-1</sup> , fresh ACH=0.18 hr<sup>-1</sup>)

## 4-9 室內環境甲醛採樣結果

目前訂定「甲醛」室內空氣品質標準的國家有美國、加拿大、瑞典、荷蘭及德國。除美國外，其他四國之標準多訂在 100 ppb（美國則為 200-500 ppb），另根據我國目前訂定之空氣品質標準草案中甲醛之濃度規範為 100 ppb。在相關的報告顯示，當甲醛濃度在 50 ppb 以下時，對人體健康並無妨礙，而 50 至 1500 ppb 會有明顯的嗅覺及神經生理官能症（Neurophysiologic effects）；也有報告指出，接觸 10 ppb 至 2000 ppb 的甲醛濃度時，眼睛會有刺激性的不適感。文獻指出，甲醛的發生與室內傢俱、裝潢物件及烹飪行為會有相關，也和清潔劑等的使用有相當程度的關聯。

根據本研究計畫針對具有 HVAC 空調系統之商業環境（包含餐廳與百貨公司）進行甲醛採樣分析，結果發現，甲醛濃度約在 50-650 ppb 間，餐廳之甲醛濃度超過 100 ppb 之規定範圍，室內甲醛主要來源為室內裝潢之建材、傢俱、抽煙、燃燒活動及外氣影響。在百貨公司中甲醛來源主要也是室內裝潢之建材、傢俱、抽煙、與人為活動所造成。

根據本研究計畫針對具有 HVAC 空調系統之校園環境進行甲醛採樣分析，結果發現，甲醛濃度約在 10-600 ppb 間，於採樣的 10 間教室中有六間教室甲醛濃度超過 100 ppb 之規定範圍，就排放源進行評估，教室室內甲醛主要來源為室內裝潢之建材、桌椅、單槍與人為活動等所造成。

由結果可知目前商業與校園室內甲醛濃度大多均超過法規規定標準，因此實有必要針對排放源與如何進行控制進行更深入之研究。

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

1. 根據混合率之測試結果，此一測試系統之混合率約在 95%，為一混合良好之測試腔。
2. 0.5 ppm、1.0 ppm 與 2.0 ppm 甲醛在測試艙內未使用高錳酸鉀時濃度衰減變化 ( $TACH=0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )，其自然衰減常數 ( $K_n$ )是 0.234、0.245 與 0.251 ( $\text{hr}^{-1}$ )；另增加總換氣率至  $\text{ACH}=1.0 \text{ hr}^{-1}$  時濃度，0.5 ppm 甲醛衰減變化 ( $TACH=1.0 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )，其自然衰減常數 ( $K_n$ )是 0.371 ( $\text{hr}^{-1}$ )。結果可知，增加總換氣率對於甲醛自然衰減有明顯增強之現象。
3. 0.5 ppm 甲醛在使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材時( $TACH = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )之衰減特性，其衰減常數( $K_a$ )為 0.385 ( $1/\text{hr}$ )。進一步與 0.5 ppb 甲醛之自然衰減係數 ( $0.234 \text{ hr}^{-1}$ ) 比較，可以發現，當使用高錳酸鉀濾材後，甲醛之衰減常數有明顯下降之趨勢，故經由數據證實，高錳酸鉀濾材對於甲醛有明顯去除之能力。
4. 甲醛濃度分別在 0.5 ppm、1.0 ppm、2.0 ppm 下，使用 0.05 M 高錳酸鉀濾材進行測試，結果發現甲醛在 HVAC 中之衰減常數( $\text{total ACH} = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )  $K_a$  分別為 0.385、0.415 與  $0.446 \text{ hr}^{-1}$ ，實驗結果顯示當甲醛濃度越高時，高錳酸鉀濾材之去除效能也越高。
5. 甲醛在 0.5 ppm 起始濃度下，使用 0.01 M、0.05 M 與 0.1 M 高錳酸鉀濾材下，甲醛在 HVAC 中之衰減常數( $\text{total ACH} = 0.5 \text{ hr}^{-1}$ ,  $\text{fresh ACH}=0.18 \text{ hr}^{-1}$ )，結果發現，在 0.01 M、0.05 M 與 0.1 M 高錳酸鉀濾材下，甲醛衰減常數  $K_a$  分別為 0.351、0.385 與  $0.412 \text{ hr}^{-1}$ 。實驗結果顯示濃度越高之濾材對甲醛之去除效能越好。
6. 總換氣率增加，可知甲醛之衰減常數明顯之上升，主要原因是總換氣率增加，會大幅增加甲醛與高錳酸鉀濾材接觸之次數；清潔空氣換氣率增加時，甲醛之衰減常數也是明顯增加，而增加清潔空氣換氣率，則是將清潔空氣導入，將甲醛污染物直接經由換氣而移出。
7. 當溫度越高時，甲醛之衰減常數也越高，主要是在高錳酸鉀與甲醛反應時，較高之溫度會增強其氧化反應，增加其反應速度，因此會造成衰減常數上升。
8. 相對濕度越高時，甲醛之衰減常數也越高，主要原因在於相對濕度越高時，水氣會在高錳酸鉀表面形成一水膜層，而甲醛與高錳酸鉀在進入水膜中之反應速度是較快的，因此，可知在較高相對濕度之環境下，高錳酸鉀對甲醛之去除能力是較佳的。
9. 進行甲醛室內採樣，結果發現一般商業室內環境(有 HVAC 系統)甲醛濃度在 50-650

ppb，在一般教室中，甲醛濃度在 10-600 ppb 之間。

## 5-2 政策建議

1. 建議可推廣高錳酸鉀濾材為室內空氣之清淨技術。
2. 建議對於 HVAC 大樓，室內空氣品質進行管制。
3. 建議應對高錳酸鉀濾材對甲醛之機制，進行更完整調查驗證，同時更進一步探討對其他種類室內 VOCs 之控制效能。





## 參考文獻

- Brasche, S., Bullinger, M., Morfeld, M., Gebhardt, H.J. and Bischof, W. (2001). Why do women suffer from sick building syndrome more than men? – Subjective higher sensitivity versus objective causes. *Indoor Air*, 11, 217-222.
- Davison, R. L., Natusch, D. F. S., Wallace, J. R., and Evans, C. A. Jr. (1974). Trace Elements in Fly Ash – Dependence of Concentration on Particle Size. *Environment Science and Technology*, 8, 1107-1113.
- Elkins, H. B. (1959). *The Chemistry of Industrial Toxicity*, 2nd ed., Wiley, New York.
- Huang, K.C., Hoag, G.E., Chheda, P., Woody, B.A., and Dobbs, G.M. (2002). kinetics and mechanism of oxidation of tetrachloroethylene with permanganate, *Chemosphere*, 46, 815-825.
- Lahtinen, M., Huuhtanen, P. and Reijula, K. (1998). Sick building syndrome and psychosocial factors – A literature review. *Indoor Air*, S4, 71-80.
- Lison, D., Lardot, C., Huaux, F., Zanetti, G., Fubini, B. (1997). Influence of Particle Surface Area on the Toxicity of Insoluble Manganese Dioxide Dusts. *Arch. Toxicol.*, 71(12), 725-729.
- NAS. (1972). *Particulate Polycyclic Organic Matter, Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants*, National Academy Press., Washington, D. C.
- Niu, J. L., Tung, T. C.W. and Chui, V. W. Y. (1998). Using Large Environmental Chamber Technique for Gaseous Contaminant Removal Equipment Test. *ASHRAE Transactions*, 104(2), 1289-1296.
- Oberdorster, G. (2001). Pulmonary Effects of Inhaled Ultrafine Particles. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 74, 1-8.
- Oberdorster, G., Gelein, R. M., Ferin, J., and Weiss, B. (1995). Association of Particulate Air Pollution and Acute Mortality: Involvement of Ultrafine Particles? *Inhal. Toxicol.*, 7, 111-124.
- Osier, M., and Oberdorster, G. (1997). Intratracheal Inhalation vs. Intratracheal Instillation: Differences in Particle Effects. *Funda. Appl. Toxicol.*, 40(2), 220-227.
- Salem, H., and Gardner, D. E. (1994). Health aspects of microbial bioaerosol. In *Atmospheric Microbial Aerosols Theory and applications*. Lighthart B and Mohr AJ (eds). Chapman &

- Hall, New York, London.
- Schwartz, J., and Dockery, D. W. (1992). Particulate Air Pollution and Daily Mortality in Steubenville. OH. *Am. J. Epidemiol.*, 125(1), 12-19.
- Seaton, A., Macnee, W., Donaldson, K., and Godden, D. (1995). Particulate Air Pollution and Acute Health Effects. *Lancet*, 345, 176-178.
- Siegmann, K., and Sattler, K. (1996). Aerosol from Hot Cooking Oil, A Possible Health Hazard. *J. Aerosol Sci.*, 27(1): S493-S494.
- Ulsamer, A. G., Gupta, K. C., Cohn, M. S., and Preuss P. W. (1982). Formaldehyde in Indoor Air: Toxicity and Risk. In: *Proceed. 75th Ann. Meet. Air Pollut. Control Assoc.* 16.
- Yan, Y. E., and Schwartz F. W. (2000), Kinetics and Mechanisms for TCE Oxidation by Permanganate, *Environ. Sci. Technol.*, 34, 2535-2541.
- Yan, Y. E., and Schwartz, F. W. (1999). Oxidative Degradation and Kinetics of Chlorinated Ethylenes by Potassium Permanganate, *J. Contam. Hydrol.*, 37, 343-365.
- Zhang Y., Yang, R. and Zhao, R. (2003). A model for analyzing the performance of photocatalytic air cleaner in removing volatile organic compounds, *Atmospheric Environment*, 37, 3395-3399.
- 李建坤(1996)，拜香及蚊香燃燒產生之多環芳香烴化合物，台大職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。
- 李家偉、洪崇軒、呂事勳(2003)，活性碳空氣清淨機對室內揮發性有機物去除效能評估，氣膠科技研討會。
- 徐方成、蔡宇(2002)，TCE 污染場址的高錳酸鉀氧化修復，第一屆海峽兩岸土壤與地下水污染整治研討會，台北。
- 張瑞芸(1996)，採樣分析蚊香燃煙中之脂肪族醛及亞列寧，台大職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。
- 劉美娟(1997)，電文香片釋放物之探討，台大職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。
- 盧明俊、廖志祥、黃吟燕(2002)，以高錳酸鉀處理受苯胺污染之地下水，第一屆海峽兩岸土壤與地下水污染整治研討會，台北。
- 謝靜佩(2003)，臭氧空氣清淨機對室內揮發性有機物之去除效率，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所，台北。
- 蘇慧貞(2002)，室內/室外空氣污染物之國民健康風險評估及管制成本效益分析，行政院環保署報告。

Lu, M.C., Anotai, J. and Huang, Y.Y. (2003). Chemical oxidation of TCE-contaminated groundwater by permanganate, 第一屆土壤及地下水處理技術研討會, 台中。



## 附錄一

本研究計畫已投稿至 11<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate 此一室內空氣研討會，目前摘要已被接受，預計之後要投至國際 SCI 期刊，以下為目前接受摘要內容。

### **Using the potassium permanganate to remove indoor VOCs**

Shinhao Yang<sup>1,\*</sup>, Hsiao-Lin Huang<sup>2</sup>, and Yi-Chin Huang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental and Occupational Health, Toko University

<sup>2</sup>Department of Occupational Safety and Health, Chia Nan University of Pharmacy & Science

<sup>3</sup>Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University

On an average, people spend as much as 90% of their time in indoor environment. Hence indoor air quality has become an increasing important problem. Indoor volatile organic compounds (VOCs) play an important role in indoor air quality because it causes many respiratory diseases. Therefore, more and more air-cleaning technologies have been used to remove the indoor VOCs.

HVAC (Heating, ventilating air conditioning) system is used to keep indoor air quality. The purpose of the traditional HVAC system is providing a comfortable environment and ventilating the indoor air pollutants. Recently, with the quality of life increasing, people have more requests for indoor air quality. Especially, after SARS infecting, the indoor-cleaning technology are paid much attention. But, we found that the HVAC system still stress indoor ventilation, and temperature and humidity adjusting. Therefore, this work tries to apply the feasible air-cleaning technologies to remove the indoor volatile organic compounds (VOCs) and suspended particulates simultaneously.

Potassium permanganate is always used to removal organic pollutants in water or underground water, but this technology is very few applied in indoor environment to reduce VOCs. However, potassium permanganate is a strong oxidizer. Therefore, we attempt to removal indoor formaldehyde by using potassium permanganate filter in HVAC system. Therefore, the purpose of this work is to apply potassium permanganate to remove indoor formaldehyde.