

# 「環保署/國科會空污防制科研合作計畫期末報告」

總計畫：辦公大樓與醫院室內空氣品質評估對空氣傳染疾病  
之影響及其管理策略研究

子計畫一：大樓空氣品質之評估及其對疾病影響之案例分析

計畫主持人：中國醫藥大學 職業安全與衛生系 蔡詩偉 副教授

計畫共同主持人：中山醫學大學 公共衛生系 林文海 副教授

計畫編號：NSC 93-EPA-Z-039-001

執行期限：93/05/01~93/12/31

連絡方式：404 台中市學士路 91 號

TEL：(04)2205-3366 ext 3338 FAX: (04)2202-3481

Email: shihwei@mail.cmu.edu.tw

中華民國九十四年一月二十五日

## 中文摘要

人類的活動在室內的時間遠多於在室外活動的時間，因此近年來室內空氣污染物所可能引發的健康效應問題，持續受到重視。室內空氣污染可能起因於室外空氣污染物的擴散、或來自室內的可能污染源。大氣污染物的擴散涉及多種大氣環境條件，而室內污染物的累積，也與建築材料、空間規劃、傢俱或辦公用品和人類活動型態等多項因素有關。造成室內空氣品質不佳的原因非常多，除了不適當的通風條件外，其他如：物理、化學、生物等因素也都被懷疑與室內空氣品質不良有關。以化學污染物為例，包括：一氧化碳、甲醛、臭氧，及其他可能由生活用品、建材、及辦公用品所釋放的有機化合物，皆可能是造成黏膜刺激、頭痛、目眩、鼻塞、腹瀉、腹痛和不正常胸悶等症狀的原因。

為了提昇室內空氣之品質，並提供環保署等政府相關單位研議相關管理策略的參考，本計畫以醫院及一般辦公大樓空氣品質之評估及其對疾病影響之案例分析為研究目的。本計畫以市售 3M 被動式採樣器、研究者所自行設計的固相微萃取被動式採樣器(SPME diffusive sampler)及 MiniRAE PID 直讀式儀器在大樓室內環境中進行化學性污染物的量測(以尼古丁、甲醛、苯、甲苯、乙苯、及二甲苯為指標污染物)、空氣中之生物氣膠(包括真菌及細菌)部份，則使用慣性衝擊方式收集；此外，亦分析在大樓室內活動人員之健康及疾病狀態、求醫行為及生活品質，以了解其與室內空氣品質及空調設施效能之關係。

本研究的結果顯示，在醫學中心之各採樣點皆檢測出甲苯(0.082~0.118 ppb)，同時大部份的採樣點亦檢測出甲醛(11.99~15.46 ppb)，乙苯及二甲苯則只出於少部份樣本，至於苯及尼古丁則未測出；一般辦公大樓亦同樣測出甲苯(0.088~0.118 ppb)及甲醛(12.49~16.89 ppb)，至於乙苯、二甲苯、苯及尼古丁則皆未測出。生物氣膠部份，一般辦公大樓之細菌量與其作業時間有關(如：中午休息時間濃度略降)(最大濃度約 55 CFU/m<sup>3</sup>)，但真菌則無明顯之變化(最大濃度約 280

CFU/m<sup>3</sup>)；醫學中心之細菌(最大濃度約 95 CFU/m<sup>3</sup>)與真菌濃度(最大濃度約 380 CFU/m<sup>3</sup>)的變化則依採樣點特性之不同而有不一樣的變化趨勢(如:感染科護理站的細菌量明顯較其他單位高)。

本研究亦將各類真菌依照菌類形態學，於光學顯微鏡下加以鑑定，分類種類包括 *Aspergillus*、*Alternaria*、*Cladosporium*、*Fusarium*、*Penicillium*、yeasts 及其他菌種等。鑑定結果顯示，在醫學中心的病房中，普遍以 yeasts 的濃度最高，其次為 *Penicillium* 及 *Aspergillus*，且不同真菌其濃度隨時間變化的趨勢皆類似；另一方面，於一般辦公大樓的採樣鑑定結果則顯示，除了 *Alternaria* 未被檢出外，*Aspergillus*、*Cladosporium*、*Fusarium*、*Penicillium*、及 yeasts 等皆普遍存在於各樣本中，然而不同真菌其濃度隨時間變化的情形與醫學中心的病房不同，並未觀察到一致的變化趨勢。此外，不同採樣地點所獲得的結果，不同真菌之間的濃度高低關係也皆不同。

本研究配合分析大樓活動人員之健康及疾病狀態、求醫行為及生活品質資料後發現：大樓員工暴露室內污染程度對其健康與工作效率均具有統計相關、員工對通風與空調系統設計不良的抱怨亦與工作效率有關。此外，由於醫學中心細菌與真菌濃度均較辦公大樓為高，因此未來有必要將生物性污染源列為評估醫療院所室內空氣品質的要素之一。

關鍵字：室內空氣污染、室內空氣品質評估、管理策略

## Abstract

Indoor air quality (IAQ) is very important because people spend more than 80% of time indoors. Indoor air pollutants might come from ambient air pollutants which dispersed indoors or simply due to the factors indoors, such as interior design and human activities. Poor ventilation system is usually blamed for the bad IAQ. However, the real causes still need more investigations.

In order to improve the indoor air quality and also to propose a strategy for the management of IAQ for the EPA, Taiwan, the research project “Indoor air quality management – effects on airborne diseases and strategy for management” is designed which includes the current study: “Indoor Air Quality -- Evaluation, and Its Effects on Airborne Disease”. For this research, sampling and analysis of chemical factors (nicotine, formaldehyde, benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes as indicative pollutants) and bioaerosol (including fungi and bacteria) were performed in a general office building. Besides, samples from outpatient center and in-patient rooms in the hospital were also taken. Data regarding health status, health records, and quality of life were collected for the people working in the building and hospital mentioned above.

The results showed that toluene were found from all the samples collected in a medical center while formaldehyde were also found from most of the samples. Ethyl benzene and xylenes were found only from several samples while benzene and nicotine were not detected. From the office building, toluene and formaldehyde were detected while ethyl benzene, xylenes, benzene, and nicotine were all not found. For bioaerosols, the concentrations of bacteria were time-dependent while the concentrations of fungi remained constant in the office building. On the other hand, the concentrations of bacteria and fungi in a medical center were characteristic dependent. Besides, there were dose-dependent between indoor air quality and SBS as well as work performance among medical and office staff. Workers with SBS seemed to have higher rate of absence from work and lower ability of work performance. Based on the findings, the levels of bacteria and fungi were both higher in the medical center compared to the office building. Therefore there is a necessity that the criteria of control for biohazard should be established.

Keywords: Indoor Air Pollutants, Indoor Air Quality, Management Strategy

# 目錄

	頁碼
中文摘要	2
Abstract	3
一、前言	4
二、方法	6
本計畫研究方法簡介	9
量測對象的選擇	10
採樣方法	11
三、結果	14
健康狀態、求醫行為及生活品質調查	14
化學污染物調查	21
生物氣膠採樣調查	26
四、結論與建議	32
五、參考文獻	33
附表	35

## 一、 前言

人類的活動在室內的時間遠多於在室外活動的時間，因此近年來室內空氣污染物所可能引發的健康效應問題，持續受到重視。室內空氣污染可能起因於室外空氣污染物的擴散、或來自室內的可能污染源。大氣污染物的擴散涉及多種大氣環境條件，而室內污染物的累積，也與建築材料、空間規劃、傢俱或辦公用品和人類活動型態等多項因素有關。造成室內空氣品質不佳的原因非常多，而目前綜合的說法是不適當的通風系統，但真正的原因卻還不清楚，包括物理、化學、生物等因素都被懷疑與室內空氣品質不良有關。

造成室內空氣污染的原因，化學性污染物是無法被排除的，包括：一氧化碳、甲醛、臭氧，及其他可能由生活用品、建材、及辦公用品所釋放的有機化合物，皆可能是造成黏膜刺激、頭痛、目眩、鼻塞、腹瀉、腹痛和不正常胸悶等症狀的原因；此外，尼古丁亦常被用來當做評估二手煙暴露、及室內空氣污染的指標。

自發生 SARS 傳染病以來，由於嚴重影響病人及其家屬之健康，因此醫院之室內空氣品質受到大家的重視；另一方面，台灣亦曾發生因為室內空氣品質不良，而造成醫院急診室醫護人員感染結核病的案例。醫療院所是一個工作性質複雜的就業場所，擁有 200 多種不同職責的員工，採購 10,000 種以上的物品材料，除了提供醫療保健服務外，也有食物、洗衣、機器維修、廢棄物處理等服務，甚至也有自己的發電和熱能供應單位，因此可能遭遇的健康危害非常的廣泛 [張錦文 1991]。在所有的健康危害因子中，醫院的病患及各樣生物性檢體所產生的生物性危害因具有「感染性」，是醫療作業場所中衛生安全裡最重要的一環，所以院內醫療單位於照護病患的同時，也應注意如何使患者及工作人員免於受到感染，並做好防護工作，才能提供患者及院內工作人員安全有保障的醫療及工作環境 [台北市政府勞工局 1994]。

醫院中的生物性危害因子可能經由空氣、皮膚接觸或醫療器具等媒介對患者及工作人員造成危害，而生物氣膠 (bioaerosols) 就是生物性危害因子之一。所

謂生物氣膠，乃泛指懸浮於空氣中的生物微粒，此包含病毒、細菌、革蘭氏陰性菌之內毒素(Endotoxin)、真菌、黴菌毒素、病毒等。從過去的相關文獻中得知，在不同環境，生物氣膠來源、物種不同，則生物彼此的先天差異，如繁殖、生命週期、存活率等生物特性並不相同，無庸置疑地，生物氣膠濃度也會有所差異 [Griffiths 1994]。美國政府工業衛生師協會(ACGIH)於 1986 年強調「生物氣膠總菌落濃度若超過 10,000 cfu/m<sup>3</sup>，須立刻採取補救措施。」及「任何種類之真菌濃度若超過 500 cfu/m<sup>3</sup>，此建築物內可能有污染源[Griffiths 1994]。

生物氣膠對人體的健康危害主要可分為三類：感染 ( Infection )、過敏 ( Allergy ) 與毒性 ( Toxicity ) [張靜文 1999]。有些生物氣膠具感染性，常見的如存在於醫療院所空氣中的肺結核桿菌及高樓水塔與空調系統中的退伍軍人菌、引起支氣管、頸椎、鼻竇等部位黴菌病 Aspergillosis 的黴菌 *Aspergillus spp.* 等 [Andersen 1996; Husman 1996]。空氣中常見的生物性過敏原主要為細菌或真菌孢子[Solley 1980]所引起之過敏性疾病，如過敏性肺炎 ( hypersensitivity pneumonia ) 過敏性氣喘 ( allergic asthma ) 等[Gravesen 1979]。除「感染」與「過敏」外，生物的代謝產物或其細胞壁中某些成分可造成人體中毒，他們被稱為「微生物毒素」。常見的有細菌內毒素 ( endotoxins )、細菌外毒素 ( exotoxins ) 與黴菌毒素 ( mycotoxins )。微生物毒素被認為是造成農業工作環境中職業性呼吸疾病與棉紡織工廠工人發燒症狀 ( cotton mill fever ) 的原因之一 [蘇慧貞 1997]。

在一般的室內環境，空氣中的細菌主要起源於人體。空氣中細菌濃度的高低，並不一定會對健康造成直接、明顯的傷害，但卻暗示：許多人的存在、許多人為活動或是通風效率不良均會造成空氣中生物氣膠的改變 [Li 1992]。醫院環境因其作業特性之需求，對於室內環境及空氣品質的要求均高，特別是中央空調系統的控制、維持與清潔，以及室內環境空氣生物氣膠的濃度限制也較其他類型建築物嚴格許多 [吳佩芝 1998]。理想的通風和空調系統除了可以提舒適的工作環境，最主要在於改善室內的空氣品質，減低空氣中微生物的濃度，對生物氣膠有效的控制，使在室內活動者免於受到生物氣膠的暴露 [Lacey 1994]。

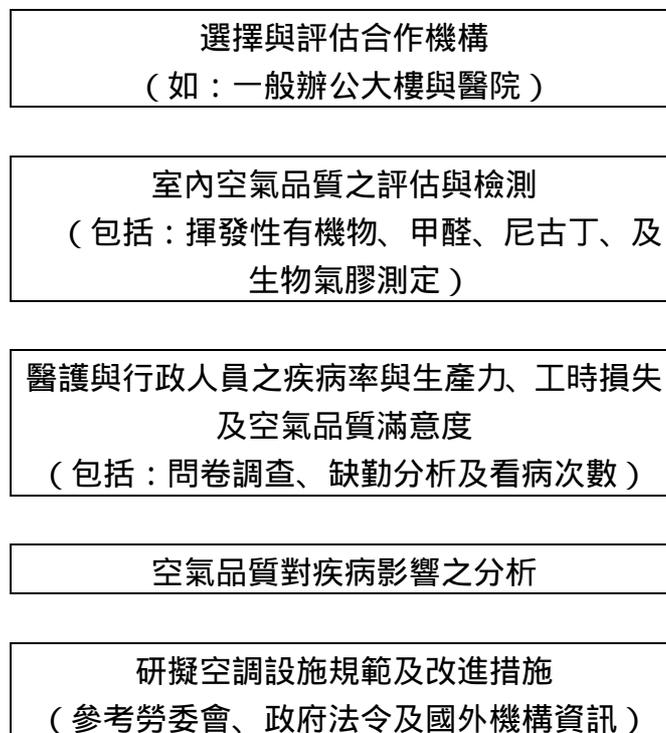
溼度為微生物生長最重要的外在條件之一，此乃基於生物特性使然，已有許多研究結果可加以證實，以真菌孢子為例，其細胞最外層存在有一層疏水性細胞壁，主要用以抵抗孢子在傳送中的環境壓力，當抵達適當的地點(高溼度)時，便開始繁衍生殖 [Li 1992]。台灣屬多溼的氣候(相對溼度大於 70 %)，比起美國與歐洲均有偏高的趨勢，恰好提供生物氣膠良好的生存環境，因此台灣室內生物氣膠的危害程度應有程度以上，此點亦可對台灣真菌的一連串研究中獲得印證，因此適當的、合理的溼度控制，以減少生物氣膠的危害性，此觀念在台灣應受重視 [Li 1992]。

針對台灣的室內空氣品質問題，過去已有學者進行非常多的研究，其中針對醫療院所的調查結論發現包括：二氧化碳、懸浮微粒、及生物氣膠等之濃度常常超過國外所建議之標準，因此建議各醫療院所應建立其通風量及人數密度與污染物濃度之相關性，以維護良好的醫院室內空氣品質 [李芝珊 2000]。

綜合以上所述，室內空氣品質的良窳與公眾健康有非常重要的關係，而如何改善台灣之室內空氣品質仍有很大的努力空間。因此，本計畫執行單位提出了「辦公大樓與醫院室內空氣品質評估對空氣傳染疾病之影響及其管理策略研究」之整合型計畫，以期可以對環保署等政府相關單為提供適當的管理策略建議，而本子計畫則以「大樓空氣品質之評估及其對疾病影響之案例分析」為研究重點。本子計畫在室內環境中(包括：一般辦公大樓、醫院)進行化學性污染物(包括：揮發性有機物、甲醛、尼古丁)、及生物氣膠的評估，同時與另一個子劃配合「大樓室內空氣品質調控設施規範之研擬及成本效益分析」，利用問卷分析在該室內活動人員之健康狀態、求醫行為及生活品質，以了解其與室內空氣品質及空調設施效能之關係。希望透過整合型計畫的執行，提供空調系統設計的參考與理想之管理策略，以有效提昇室內空氣品質、保障民眾的健康。

## 二、方法

總計畫執行之流程步驟簡述如下:



### 本計畫研究方法簡介

本研究應用生物氣膠採樣分析技術對室內之生物性空氣污染物進行評估；同時，亦利用被動式採樣器對包括：揮發性有機物、甲醛、及尼古丁等室內化學性污染物進行分析；並使用直讀式儀器，監測現場揮發性有機物之濃度變化。至於CO<sub>2</sub>、溫度、及濕度等資料，則由本整合型計劃之另一個子計劃「大樓室內空氣品質調控設施規範之研擬及成本效益分析」負責收集。本子計劃對於室內環境之採樣點，皆與「大樓室內空氣品質調控設施規範之研擬及成本效益分析」子計劃一起配合考量，共同選擇適當之樣本採集點。

除了生物氣膠及空氣中化學性污染物的採樣分析外，包括：在室內環境活動人員之健康狀態、求醫行為及生活品質等的調查，則由本整合型計劃之另一個子

計劃「大樓室內空氣品質調控設施規範之研擬及成本效益分析」，利用問卷訪視方式執行，以了解其與室內空氣品質及空調設施效能之關係。

### 量測對象的選擇

配合本整合型計畫的宗旨在於探討室內空氣品質管理對空氣傳染疾病之影響，所以在測量對象選擇的規劃上，分別選擇具有較高空氣傳染病風險的建築(如醫院)，及較低空氣傳染病風險的建築(如一般辦公大樓)，而研究中配合測量的兩棟建築物皆採中央空調系統設計(其中，醫院的採樣測量包括病房區及護理站；一般辦公大樓的採樣測量則區分為一般民眾洽公區以及內部員工辦公區)。

### 採樣方法

#### (一)、生物氣膠採樣

本研究所使用的採樣儀器為默克採樣器 (MAS100 Merck air sampler)，其利用慣性衝擊原理，將空氣中的微生物採集在培養基上，採樣之標準流量為 100 L/min，本研究每次採樣時間為五分鐘。採樣時，分別使用 Malt Extract Agar (MEA) 及 Trypticase Soy Agar (TSA) 二種培養基採集真菌及細菌，其為美國政府工業衛生師協會 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 推薦使用的廣用性培養基。

採樣後將真菌樣本於室溫 (約 25 ) 下培養 48 小時，細菌樣本則放入恆溫培養箱中約 (30 ) 培養 24 小時。培養後計數菌落生成數 (Colony Forming Unit, CFU)，並將 CFU 經正孔校正表校正後，將數值除以採樣體積換算成生物氣膠濃度，單位為每立方公尺菌落生成數 (CFU/m<sup>3</sup>)，即是  $CFU \times 1000 (L/m^3) \div (100 L/min \times 5 min)$ 。MEA 培養基上的各類真菌則依照菌類形態學，於光學顯微鏡下加以鑑定分類，主要包括 Aspergillus、Alternaria、Cladosporium、Fusarium、Penicillium、yeasts 及其他菌種。

## (二)、化學性空氣污染物採樣

一般空氣污染物採集時所使用的採樣幫浦，由於難免造成噪音，因此在室內環境(包括：一般辦公大樓及醫療院所等)中使用時，有無法避免的困擾。相對於主動式空氣採樣，被動式採樣(passive sampling)則具有方便、輕巧、無噪音、且被採樣者接受度高等許多優點，因此本研究以市售及研究主持人所自行製備之被動式採樣器進行室內環境中揮發性有機物、甲醛、及尼古丁的分析。

揮發性有機物(VOCs)使用 3M Organic Vapor Monitor 3500 進行採樣。3M 3500 採樣器藉由活性碳吸附有機物質，可適用於長時間或短時間的 VOCs 採樣 [3M 2000]，可分析的揮發性有機物種類包括: acetone, acetonitrile, acrylonitrile... 等近一百種(如附表一所示)。3M 3500 的使用非常簡單，只需要在現場將採樣器打開，記錄採樣時間即可。採樣完畢、攜回實驗室後，以 CS<sub>2</sub> 脫附，再用 GC-FID 偵測。分析得到污染物的質量後，只需配合查閱廠商所提供不同物質的採樣率(如附表一所示)，即可計算所採集物質之濃度。

室內環境中甲醛使用 3M Formaldehyde Monitor 3721 進行採樣。與 3M 3500 一樣，3M Formaldehyde Monitor 3721 只需要在現場將採樣器打開，記錄採樣時間即可。3M Formaldehyde Monitor 3721 含有 sodium bisulfite 與甲醛反應，攜回實驗室後，以不含甲醛之去離子水脫附，加入 chromotropic acid 進行呈色反應，並以分光光度計(spectrophotometer)進行偵測，其八小時採樣之偵測極限可達 0.03 ppm。

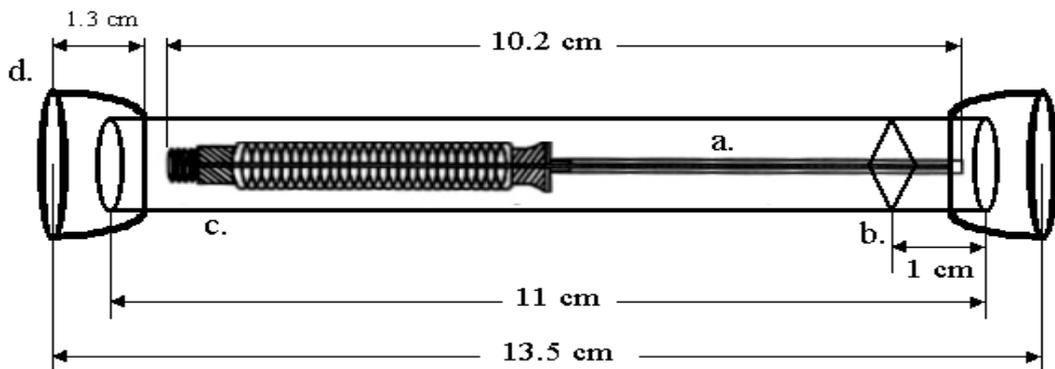
室內尼古丁蒸氣的分析，採用研究主持人所自行發展之尼古丁時量加權平均採樣分析方法，以固相微萃取技術(solid-phase microextraction ; SPME)進行偵測。固相微萃取技術，是以表面包覆一層靜相之熔融矽纖維為吸附劑，將纖維與樣本(可為空氣樣本或水樣)接觸後，使分析物與纖維表面之靜相達成平衡分布後，再將纖維插入色層分析儀之注射部，讓分析物進行熱脫附，再進行色層分析 [Pawliszyn 1997]。由於 SPME 完全不需任何有機溶劑萃取，因此可避免溶劑對環境造成汙染，而且設備簡單，不像熱脫附(thermal desorption)一樣需要許多裝

置，使用方便，靈敏度高，當然也方便於自動化的操作，而纖維更可以重覆使用一百次左右[Pawliszyn 1997]。固相微萃取的應用層面很廣，本研究主持人亦已利用 SPME 發展出多種採樣分析技術[Tsai 2002, 2003(1), 2003(2), 2004]。

SPME 技術最重要的關鍵在於熔融矽纖維與樣本之間的反應，所以設計採樣器的主體時，考慮只使用針頭與纖維部份(Fiber Assembly; 見圖一)，將之置於適當長度與管徑之鐵弗龍管(Teflon tubing)中，加以固定，製成被動式採樣器(見圖二)(如此也可避免採樣時被針頭戳傷)。準備好之被動式採樣器，密封於保存瓶內，使用前取出，黏上夾子，即可夾於領口，進行個人呼吸區的暴露評估。



圖一、 SPME 的 Fiber Assembly(from Supelco catalog)



圖二、 被動式採樣器的雛型 [Tsai 2002, 2003(1), 2004]

「尼古丁時量加權平均採樣分析方法」為研究主持人完成的研究計劃，利用不同濃度的暴露測試求得以 SPME 所設計之尼古丁蒸氣採樣器的採樣率，配合本子計劃之執行，量測室內尼古丁蒸氣之濃度。與前述 3M 3500 及 3M 3721 一樣，SPME 被動式採樣器的使用非常簡單，只需要在現場將採樣器打開，記錄採樣時間即可。採樣完畢、攜回實驗室後，直接插入 GC 的樣本注入口進行偵測即可。分析得到污染物的質量後，只需配合研究主持人由「尼古丁時量加權平均採樣分析方法」所獲得之採樣率，即可計算所採集之尼古丁蒸氣濃度。

### 三、結果

#### 健康狀態、求醫行為及生活品質調查

表一為兩種工作場所室內空氣污染原因之比較，不論是醫學中心或是辦公大樓皆有一半以上的人認為所工作的環境有地毯、地板蠟味道及不良的通風與空調系統也感到物品、垃圾囤積過多；且辦公大樓有 74.1% 的人認為事務機產生的味道（如影印機、印表機、電腦、傳真機）為主要污染原因之一，而醫學中心則有 75.5% 的人認為地毯、地板蠟味道為主要空氣污染原因之一。

表一、 兩種工作場所室內空氣污染原因之比較

	醫學中心 n ( % )	辦公大樓 n ( % )	P 值
a. 裝潢建材溢散的物質或家具的味道	112 ( 45.2 )	52 ( 31.5 )	0.013
b. 地毯、地板蠟味道	188 ( 75.5 )	85 ( 51.2 )	< 0.001
c. 不良的通風與空調系統	170 ( 69.4 )	121 ( 75.2 )	0.540
d. 事務機產生的味道（如影印機、印表機、電腦、傳真機）	112 ( 45.0 )	126 ( 74.1 )	< 0.001
e. 室內潮濕霉味或有黴菌班	87 ( 35.0 )	67 ( 40.4 )	0.740
f. 物品、垃圾囤積	150 ( 60.2 )	88 ( 53.3 )	0.018
g. 室內工作人數太多	123 ( 49.6 )	83 ( 49.7 )	0.854
h. 體味( 包括化妝品氣味、香水味)	132 ( 52.8 )	83 ( 50.3 )	0.9
i. 有人抽菸	129 ( 52.2 )	55 ( 33.0 )	0.05
j. 室內熱源（咖啡機、微波爐）	77 ( 31.2 )	29 ( 17.4 )	0.012
k. 使用化學物品（如修正液、黏著劑、芳香劑、防腐劑、消毒劑）	156 ( 62.4 )	86 ( 51.2 )	0.003
l. 廁所味道	160 ( 64.3 )	80 ( 47.9 )	0.008
m. 水管漏水或牆壁滲水	99 ( 39.6 )	38 ( 22.9 )	0.002
n. 烹飪食物味、油煙味	64 ( 25.6 )	28 ( 16.8 )	0.078
o. 殺蟲劑或蚊香	40 ( 16.1 )	22 ( 13.3 )	0.603
p. 室外污染的影響（如：鄰近工廠、施工、道路、餐廳等）	69 ( 27.6 )	54 ( 32.7 )	0.262
q. 其他_____	6 ( 6 )	5 ( 12.5 )	0.185

表二為兩種工作場所員工高樓症候群盛行率之比較，辦公大樓及醫學中心分別有 73.3%及 69.2%的員工感到易疲倦、打瞌睡，兩種工作場所皆有 60%以上的人有頭暈、頭痛及心情憂鬱與腰痠背痛之症狀。

表二、 兩種工作場所員工高樓症候群盛行率之比較

症狀	醫學中心 n ( % )	辦公大樓 n ( % )	P 值
易疲倦、打瞌睡	173 ( 69.2 )	121 ( 73.3 )	0.005
頭暈、頭痛	167 ( 67.6 )	108 ( 65.9 )	0.477
眼睛乾、癢、刺痛、流淚	129 ( 51.4 )	109 ( 66.1 )	0.015
皮膚不舒服	114 ( 45.4 )	65 ( 39.6 )	0.509
喉嚨乾、癢、痛	130 ( 51.8 )	93 ( 57.1 )	0.643
鼻塞、流鼻水	122 ( 49.0 )	83 ( 51.2 )	0.465
呼吸不順暢 ( 急促、喘不過氣 )	79 ( 32.1 )	57 ( 35.2 )	0.498
精神不易集中	144 ( 57.8 )	92 ( 56.8 )	0.776
心情憂鬱	154 ( 61.8 )	102 ( 63.4 )	0.016
咳嗽、打噴嚏	129 ( 51.6 )	98 ( 59.0 )	0.002
喘鳴	38 ( 15.1 )	20 ( 12.3 )	0.151
噁心、嘔吐、胃不適	86 ( 34.3 )	57 ( 35.0 )	0.169
胸悶	78 ( 31.2 )	66 ( 40.7 )	0.167
腰痠背痛	173 ( 69.2 )	127 ( 75.6 )	0.013
其他_____	8 ( 10.1 )	0 ( 0 )	0.283

表三呈現室內空氣污染程度與高樓症候群之相關性，隨著空氣污染的程度輕重兩種工作場所之員工感到有高樓症候群之症狀比例越高，呈現劑量與效應之關聯性，其中較明顯之症狀有易疲倦、打瞌睡；心情憂鬱；眼睛乾、癢、刺痛、流淚及腰痠背痛較明顯。

表三、 室內空氣污染程度（20-30）與高樓症候群之相關性

症狀	輕度 n (%)	中度 n (%)	重度 n (%)	P 值
易疲倦、打瞌睡	51 (45.5)	161 (76.7)	82 (88.2)	< 0.001
頭暈、頭痛	45 (40.9)	151 (72.6)	79 (84.9)	< 0.001
眼睛乾、癢、刺痛、流淚	44 (39.6)	122 (57.5)	72 (77.4)	< 0.001
皮膚不舒服	20 (18.2)	93 (43.9)	66 (71.0)	< 0.001
喉嚨乾、癢、痛	34 (30.9)	112 (53.1)	77 (82.8)	< 0.001
鼻塞、流鼻水	37 (33.0)	108 (51.7)	60 (66.7)	< 0.001
呼吸不順暢（急促、喘不過氣）	16 (14.7)	66 (32.0)	54 (58.1)	< 0.001
精神不易集中	29 (26.9)	131 (62.7)	76 (80.9)	< 0.001
心情憂鬱	37 (33.9)	142 (67.9)	77 (83.7)	< 0.001
咳嗽、打噴嚏	36 (32.1)	119 (56.4)	72 (77.4)	< 0.001
喘鳴	7 (6.4)	21 (9.9)	30 (32.3)	< 0.001
噁心、嘔吐、胃不適	19 (17.3)	75 (35.7)	49 (53.3)	< 0.001
胸悶	21 (18.9)	75 (35.7)	48 (52.7)	< 0.001
腰痠背痛	62 (54.4)	162 (76.4)	76 (82.6)	< 0.001
其他_____	1 (3.4)	1 (1.9)	6 (28.6)	< 0.001

表四為室內空氣污染程度對人體健康與工作效率之影響隨著空氣污染的程度輕重員工抱怨空氣品質者越多，也會影響其工作表現其中員工抱怨室內空氣品質污染與其發生源有統計相關性，而會請假者在重度室內空氣污染組略高，亦會影響其工作效率。

室內空氣污染程度判定是依照受訪者對該工作區域中各個污染發生源所認定的污染程度進行加總，將所有受訪者加總分數將其個人之工作環境區分為輕、中、重度污染程度。當受訪者認定其工作環境具有重度污染時，可能對身體上出現之各種狀況特別在意，因此心理上的感受掩蓋真正生理上的症狀；表三中，空氣污染的程度與高樓症候群之症狀所呈現劑量與效應之關聯性，可能受到個人的主觀意識而影響其效應。

表四、室內空氣污染程度對人體健康與工作效率之影響

	輕度 n(%)	中度 n(%)	重度 n(%)	P 值
員工抱怨空氣品質				<0.001
從未	39(34.5)	34(16.0)	7(7.5)	
很少	43(38.1)	68(32.1)	21(22.6)	
偶爾	28(24.8)	85(40.1)	39(41.9)	
經常	3(2.7)	25(11.8)	26(28.0)	
因空氣污染而請假				0.561
有	0(0.0)	2(0.9)	1(1.1)	
無	116(100.0)	211(99.1)	93(98.9)	
因空氣污染而影響工作表現				<0.001
從未	86(74.8)	119(55.9)	27(29.0)	
很少	23(20.0)	69(32.4)	34(36.6)	
偶爾	3(2.6)	22(10.3)	27(29.0)	
經常	3(2.6)	3(1.4)	5(5.4)	

表五顯示高樓症候群程度對人體健康與工作表現之相關性，其中員工表示會因高樓症候群症狀的嚴重程度而影響其工作表現亦有較高感冒症狀及就醫次數，兩者呈現劑量與效應關聯性。

表五、高樓症候群程度（5-15）對人體健康與工作表現之相關性

	輕度 n(%)	中度 n(%)	重度 n(%)	P 值
因上述症狀而休息				0.004
有	3(2.2)	13(8.0)	15(12.9)	
無	136(97.8)	150(92.0)	101(87.1)	
因上述症狀而影響工作表現				<0.001
從未	87(64.0)	30(18.5)	13(11.0)	
很少	39(28.7)	96(59.3)	40(33.9)	
偶爾	8(5.9)	34(21.0)	53(44.9)	
經常	2(1.5)	2(1.2)	12(10.2)	
最近有類似感冒的症狀				<0.001
有	27(18.6)	57(35.2)	67(56.8)	
無	118(81.4)	105(64.8)	51(43.2)	
過去一年曾有呼吸系統症狀而就醫				<0.001
有	36(25.2)	69(43.1)	64(54.2)	
無	107(74.8)	91(56.9)	54(45.8)	

表三中呈現空氣污染的程度與高樓症候群之症狀具有劑量與效應之關聯性，可能因為個人主觀因素所影響，因此，以整個工作區域為單位，將該空氣品質區分為優或劣，再進行統計分析；表六顯示工作環境中空氣品質之優劣與高樓症候群症狀中易疲倦、打瞌睡；眼睛乾、癢、刺痛、流淚；喉嚨乾、癢、痛及胸悶此四種症狀在統計上有顯著意義，空氣品質劣之工作環境之症狀表現高於空氣品質劣之工作環境。

表六、工作環境整體空氣品質優與劣區域其高樓症候群症狀之比較

症狀	工作環境整體空氣品質*		P 值
	優 n ( % )	劣 n ( % )	
易疲倦、打瞌睡	207 ( 65.9 )	87 ( 76.3 )	0.04
頭暈、頭痛	198 ( 63.1 )	77 ( 67.5 )	0.392
眼睛乾、癢、刺痛、流淚	161 ( 51.3 )	77 ( 67.5 )	0.003
皮膚不舒服	124 ( 39.5 )	55 ( 48.2 )	0.105
喉嚨乾、癢、痛	154 ( 49.0 )	69 ( 60.5 )	0.036
鼻塞、流鼻水	143 ( 45.5 )	62 ( 54.4 )	0.105
呼吸不順暢 ( 急促、喘不過氣 )	95 ( 30.3 )	41 ( 36.0 )	0.262
精神不易集中	169 ( 53.8 )	67 ( 58.8 )	0.363
心情憂鬱	183 ( 58.3 )	73 ( 64.0 )	0.283
咳嗽、打噴嚏	158 ( 50.3 )	69 ( 60.5 )	0.061
喘鳴	40 ( 12.7 )	18 ( 15.8 )	0.415
噁心、嘔吐、胃不適	100 ( 31.8 )	42 ( 36.8 )	0.332
胸悶	92 ( 29.3 )	52 ( 45.2 )	0.002
腰痠背痛	214 ( 68.2 )	86 ( 75.4 )	0.146
其他	7 ( 2.2 )	1 ( 0.9 )	0.361

\*利用問卷中「工作環境整體空氣品質」之問題，將工作區域區分為空氣品質優及劣 ( 只要有人認定該區之環境整體空氣品質不好或很不好時，則將該區域列入空氣品質劣 )

表七中，工作環境中空氣品質之優劣與員工抱怨空氣品質、因空氣污染而影響工作表現、因高樓症候群症狀而休息、因高樓症候群症狀而影響工作表現在統計上有顯著意義；空氣品質劣之工作環境相較於優之環境其員工對空氣抱怨頻率為多，並因空氣品質而影響工作表現；空氣品質劣之工作環境之員工具較高比例因高樓症候群症狀而休息、因高樓症候群症狀而影響工作表現。

表七、工作環境整體空氣品質優與劣區域其人體健康與工作效率之影響

	工作環境整體空氣品質		P 值
	優 n(%)	劣 n(%)	
員工抱怨空氣品質			<0.001
從未	72(23.4)	8(7.3)	
很少	105(34.1)	27(24.8)	
偶爾	102(33.1)	50(45.9)	
經常	29(9.4)	24(22.0)	
因空氣污染而請假			0.795
有	2(0.6)	1(0.9)	
無	308(99.4)	112(99.1)	
因空氣污染而影響工作表現			0.008
從未	179(58.1)	53(46.9)	
很少	93(30.2)	33(29.2)	
偶爾	28(9.1)	24(21.2)	
經常	8(2.6)	3(2.7)	
因高樓症候群症狀而休息			<0.001
有	14(4.6)	17(15.2)	
無	292(95.4)	95(84.8)	
因高樓症候群症狀而影響工作表現			0.049
從未	106(34.4)	24(22.2)	
很少	129(41.9)	46(42.6)	
偶爾	63(20.5)	32(29.6)	
經常	10(3.2)	6(5.6)	
最近有類似感冒的症狀			0.908
有	111(35.7)	40(35.1)	
無	200(64.3)	74(64.9)	
過去一年曾有呼吸系統症狀而就醫			0.554
有	121(39.3)	48(42.5)	
無	187(60.7)	65(57.5)	

## 化學污染物調查

### (1) 二氧化碳濃度監測

表八為某醫學中心及辦公大樓室內二氧化碳之濃度。室內通風情況良好時，空氣污染物濃度可以被稀釋，當通風不良時，污染物質會累積而增加其濃度，二氧化碳濃度可代表通風情況之優劣。

表八、某醫學中心及辦公大樓室內二氧化碳之濃度

	8 小時平均濃度 <sup>a</sup> (ppm)	24 小時平均濃度 <sup>a</sup> (ppm)	定期檢測* (ppm)
<b>醫學中心</b>			
11C 護理站	NA	NA	801
7B 護理站	922	829	841
5B 護理站	975	909	1015
15C 護理站	NA	NA	824
12C 護理站	609	590	750
8A 感染科護理站	718	755	817
3A 神經外科加護病房	811	745	726
11E 護理站	NA	NA	NA
5A 血液透析室	715	609	793
9E 護理站	535	552	NA
10B 護理站	1065	871	809
6E 呼吸道加護病房	695	674	NA
<b>辦公大樓</b>			
1F 大廳辦公室	676	NA	NA
1F 承保三組	1024	NA	NA
2F 承保一組	825	NA	NA
3F 承保二組	788	NA	NA
6F 醫療費用一組	760	NA	NA

<sup>a</sup> 以 YES-206 CO<sub>2</sub> 測定器連續監測之濃度

\*定期檢測：環境檢測公司使用 ALNOR Model 8610 CO<sub>2</sub> 測定器直接測定之數據

## (2)尼古丁採樣分析方法的建立[阮珮華 2004]

本研究中室內尼古丁蒸氣的分析，採用研究主持人所自行發展之尼古丁時量加權平均採樣分析方法，以固相微萃取技術(solid-phase microextraction；SPME)進行偵測。

空氣中尼古丁含量的偵測(包括氣狀及粒狀)，為評估二手煙暴露常用的方法。研究主持人曾測試包括: PDMS 100  $\mu\text{m}$  (Polydimethylsiloxane)、PDMS/DVB 65 $\mu\text{m}$  (PDMS/divinylbenzene)及 CAR/PDMS 75 $\mu\text{m}$  (Carboxen/PDMS)等三種纖維對尼古丁蒸氣之採集效果，結果發現 PDMS 100 $\mu\text{m}$  最適於研究所需。

SPME 被動式採樣器對尼古丁的採集測試方面，首先將纖維置入鐵弗龍管中組裝成被動式採樣器(如:圖二)，然後利用空氣採樣袋和動態標準氣體製造系統製備已知濃度的尼古丁蒸氣，進行相關之驗證，並以氣相層析質譜儀(gas chromatography/mass spectrometer；GC/MS)進行樣本的脫附與分析。

尼古丁的採樣分析方法建立研究發現，儀器偵測極限為 0.29ng、方法偵測極限為 0.76ng。測試的尼古丁蒸氣濃度範圍在 0.5(TWA)~4mg/m<sup>3</sup>(8TWA)、暴露時間 10~90min，溫度 4、25 及相對濕度為 6%~80%下，實驗採樣率為  $(10.45\pm 5.99)\times 10^{-2}$  cm<sup>3</sup>/min。此外，暴露濃度、時間、溫度及溼度的變化，對實驗採樣率並不會造成變化。

本研究中關於大樓空氣品質中尼古丁蒸氣採樣分析，即依據上述結論，以  $(10.45\pm 5.99)\times 10^{-2}$  cm<sup>3</sup>/min 為採樣率進行採樣，並以 GC/MS 進行分析。

### (3)化學污染物濃度監測

表九與表十為醫學中心及辦公大樓中化學物質之濃度，其中在醫學中心各單位均檢測出來甲苯，大部分單位檢測出甲醛，12C 護理站亦有乙苯及二甲苯，至於苯、尼古丁均未檢測出。在辦公大樓內檢測出甲苯、及甲醛外，其他化學物質均未檢測出。

表九、某醫學中心-化學性物質現場採樣濃度\*

	苯 <sup>a</sup> (ppb)	甲苯 <sup>a</sup> (ppb)	乙苯 <sup>a</sup> (ppb)	二甲苯 <sup>a</sup> (ppb)	尼古丁 <sup>b</sup> (ppb)	甲醛 <sup>c</sup> (ppb)
11C 護理站	-	0.089	-	-	-	12.305
7B 護理站	-	0.090	-	-	-	12.05
5B SICU	-	0.108	-	-	-	-
15C 護理站	-	0.085	-	-	-	-
12C 護理站	-	0.118	0.094	0.089	-	11.998
8A 感染科護理站	-	0.083	-	-	-	-
3A 神經外科加護病房	-	0.096	-	-	-	-
11E 護理站	-	-	-	-	-	12.447
5A 血液透析室	-	0.092	-	-	-	12.57
9E 護理站	-	0.095	-	-	-	-
10B 護理站-1	-	0.083	-	-	-	13.082
10B 護理站-2	-	0.082	-	-	-	13.545
6E 呼吸道加護病房-1	-	0.087	-	-	-	15.461
6E 呼吸道加護病房-2	-	0.089	-	-	-	-

\* 以被動式採樣器針對空氣中特定化學物質(苯、甲苯、乙苯、二甲苯、尼古丁、甲醛)進行24小時連續採樣。

<sup>a</sup> 使用 3M 3500 Organic Vapor Monitors 進行區域採樣，檢量線範圍：苯 0.022~3.551 ppb；甲苯 0.020~3.256 ppb；乙苯 0.021~3.385 ppb；二甲苯 0.020~3.323 ppb。

<sup>b</sup> 使用 SPME fiber(SUPELCO 57300-U)進行區域採樣，檢量線範圍：7.122~712.272 ppb。

<sup>c</sup> 使用 3M 3721 Formaldehyde Monitors 進行區域採樣，檢量線範圍：10.389~155.854 ppb

表十、某辦公大樓-化學性物質現場採樣濃度<sup>\*</sup>

	苯 <sup>a</sup> (ppb)	甲苯 <sup>a</sup> (ppb)	乙苯 <sup>a</sup> (ppb)	二甲苯 <sup>a</sup> (ppb)	尼古丁 <sup>b</sup> (ppb)	甲醛 <sup>c</sup> (ppb)
1F 大廳辦公處-1	-	0.089	-	-	-	16.894
1F 大廳辦公處-2	-	0.088	-	-	-	13.739
2F 承保一組 辦公室 1-1	-	0.101	-	-	-	-
2F 承保一組 辦公室 1-2	-	0.097	-	-	-	-
2F 承保一組 辦公室 2-1	-	0.092	-	-	-	14.875
2F 承保一組 辦公室 2-2	-	0.095	-	-	-	-
2F 電話服務中心-1	-	0.116	-	-	-	-
2F 電話服務中心-2	-	0.118	-	-	-	12.499
3F 承保二組-1	-	0.101	-	-	-	-
3F 承保二組-2	-	0.099	-	-	-	-
6F 醫療費用一組 辦公室 1-1	-	0.101	-	-	-	14.722
6F 醫療費用一組 辦公室 1-2	-	0.105	-	-	-	14.536
6F 醫療費用一組 辦公室 2-1	-	0.111	-	-	-	15.459
6F 醫療費用一組 辦公室 2-2	-	0.107	-	-	-	15.938

<sup>\*</sup>以被動式採樣器針對空氣中特定化學物質(苯、甲苯、乙苯、二甲苯、尼古丁、甲醛)進行24小時連續採樣。

<sup>a</sup>使用 3M 3500 Organic Vapor Monitors 進行區域採樣,檢量線範圍:苯 0.022~3.551 ppb; 甲苯 0.020~3.256 ppb; 乙苯 0.021~3.385 ppb; 二甲苯 0.020~3.323 ppb。

<sup>b</sup>使用 SPME fiber(SUPELCO 57300-U)進行區域採樣,檢量線範圍:7.122~712.272 ppb。

<sup>c</sup>使用 3M 3721 Formaldehyde Monitors 進行區域採樣,檢量線範圍:10.389~155.854 ppb

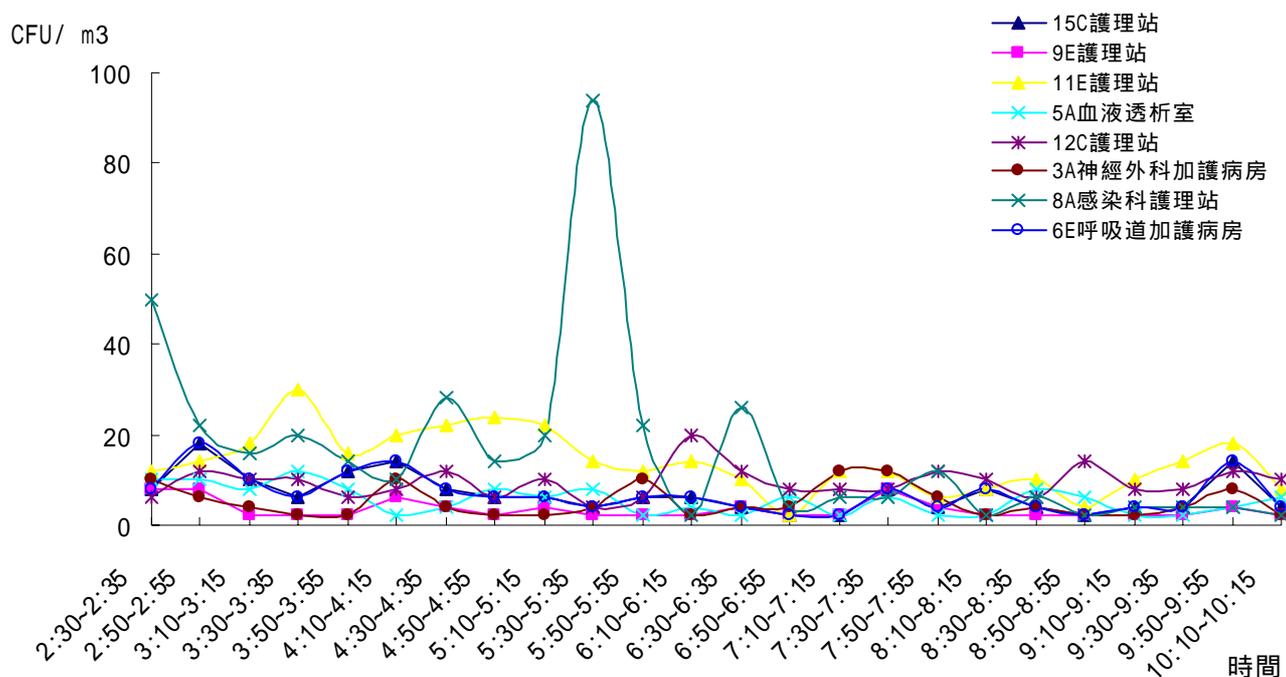
甲苯在室內主要來源為油漆、清漆、亮光漆、除鏽劑、粘著劑、溶劑為主的清潔劑、及消毒劑等。人類暴露 100ppm 之甲苯後會抱怨空氣品質不佳，並改變體溫、改變對噪音的敏感度、刺激鼻子及下呼吸道，慢性暴露甲苯的人在一些認知表現上的分數會比較低；長時間的暴露不一定會完全恢復，有些人的中樞神經可能因結構性損害而不可回復。

甲醛在室內主要來源為室內裝潢材料（如地毯、貼牆紙、地板、壁飾）所放置的傢俱（如桌椅等常含有黏著劑、油漆、染料）等。長期吸入低劑量甲醛可以引起慢性呼吸道疾病、結膜炎、咽喉炎、哮喘、支氣管炎等慢性疾病。

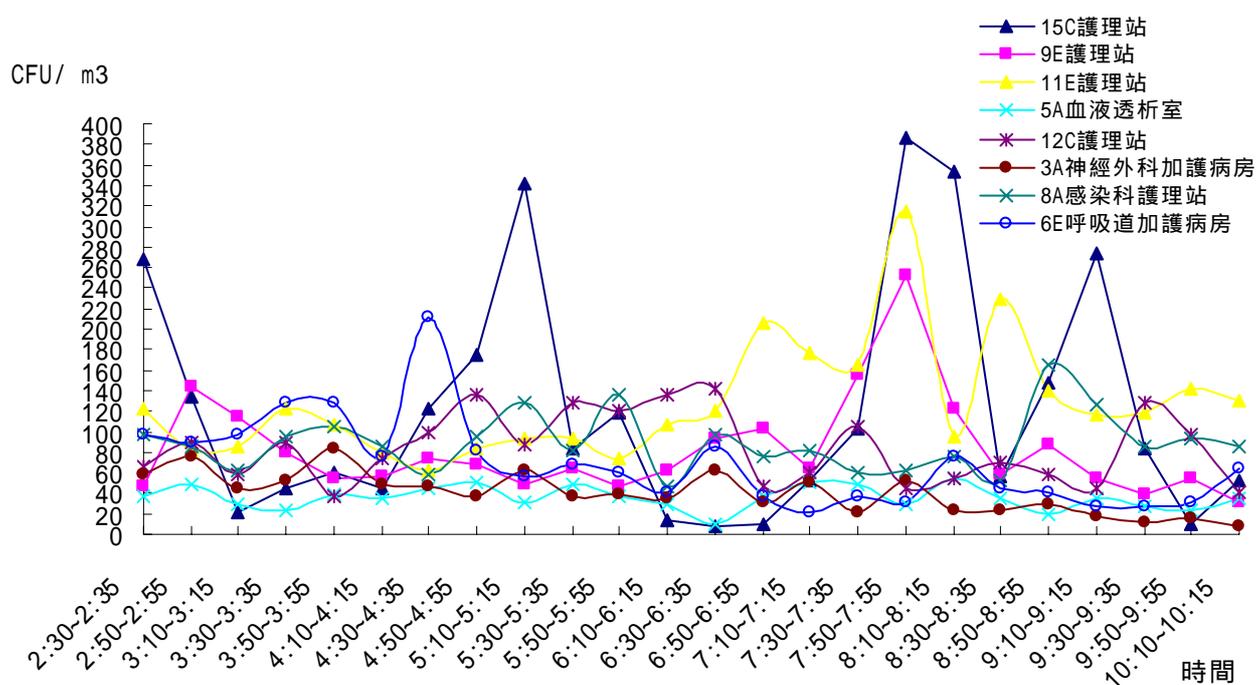
室內空氣污染物會因室外空氣的進入而稀釋其濃度，但當通風不良時，室內空氣污染物會在室內累積而增加其濃度。新蓋之高樓大廈多以採用節約能源政策的密閉式建築，空氣交換率低，對人體有害的化學物質，在不通風的環境中不斷循環，使吸入者產生頭痛、鼻子過敏、眼睛發紅，打噴嚏、流鼻水等「高樓症候群」(Sick Building Syndromes)。

## 生物氣膠採樣調查

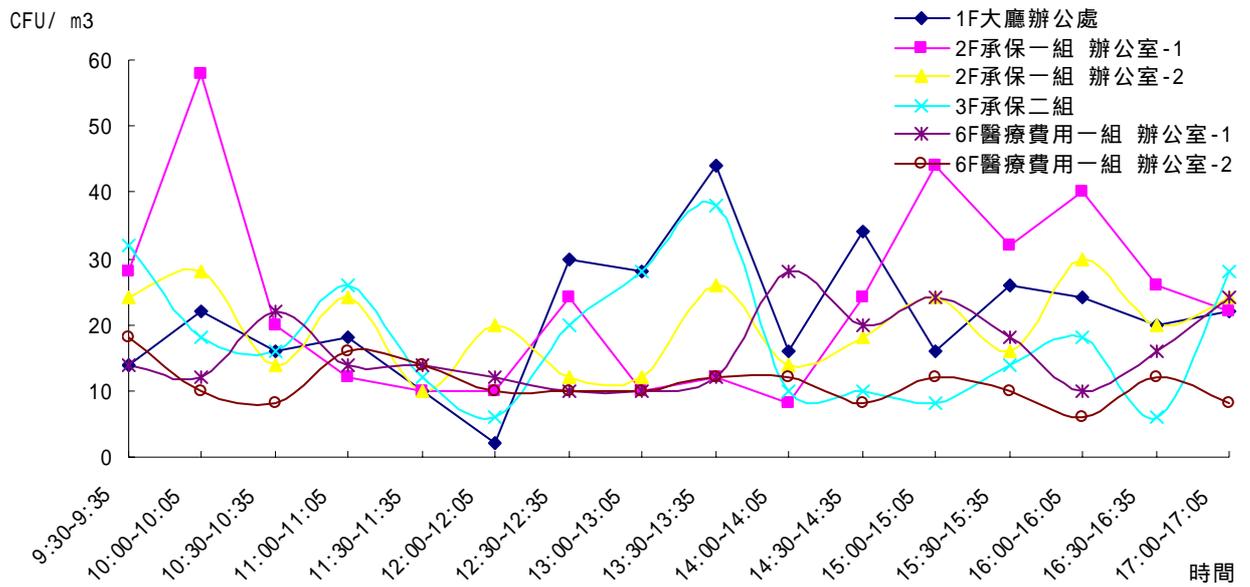
圖三~圖六為生物氣膠採樣調查的結果。其中，圖三為某醫學中心 12 個單位之細菌濃度分佈以 8A 感染科護理站細菌濃度較高，不論細菌或真菌醫學中心之濃度皆高於辦公大樓。



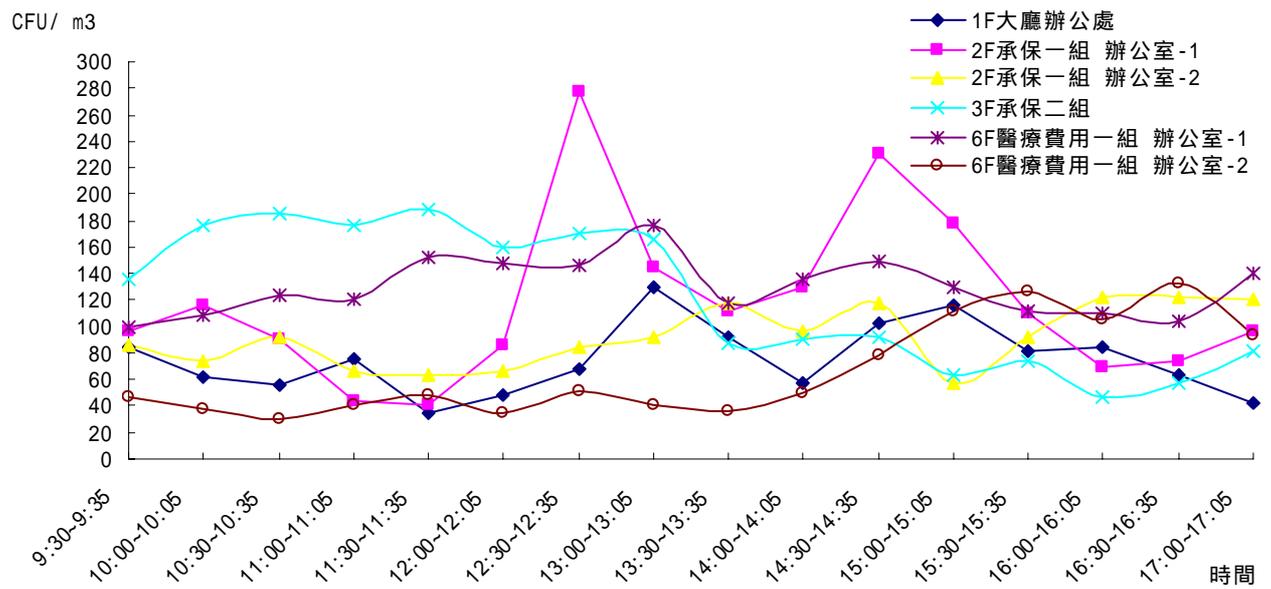
圖三、某醫學中心-細菌濃度 (CFU/m<sup>3</sup>)<sup>a</sup>



圖四、某醫學中心-真菌濃度 (CFU/m<sup>3</sup>)<sup>a</sup>



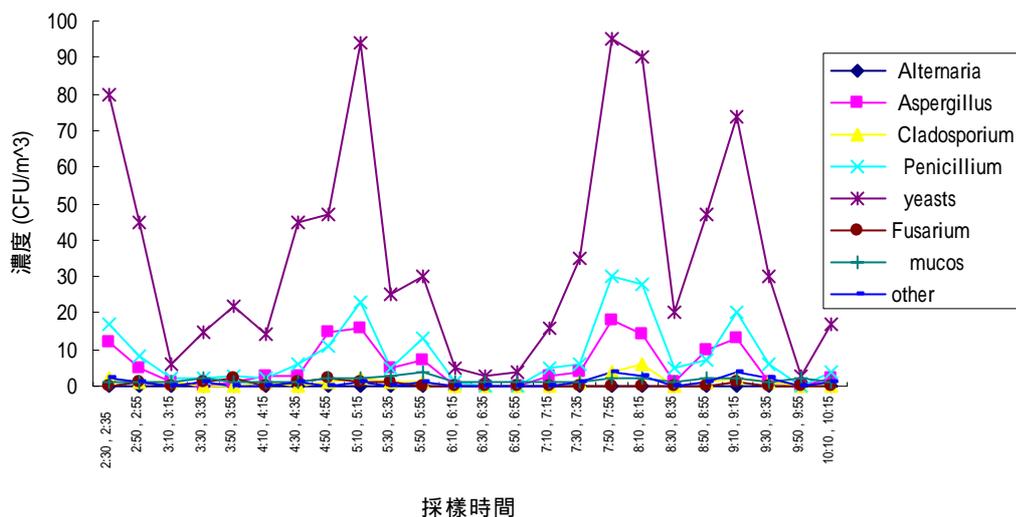
圖五、某辦公大樓-細菌濃度 (CFU/m<sup>3</sup>)<sup>a</sup>



圖六、某辦公大樓-真菌濃度 (CFU/m<sup>3</sup>)<sup>a</sup>

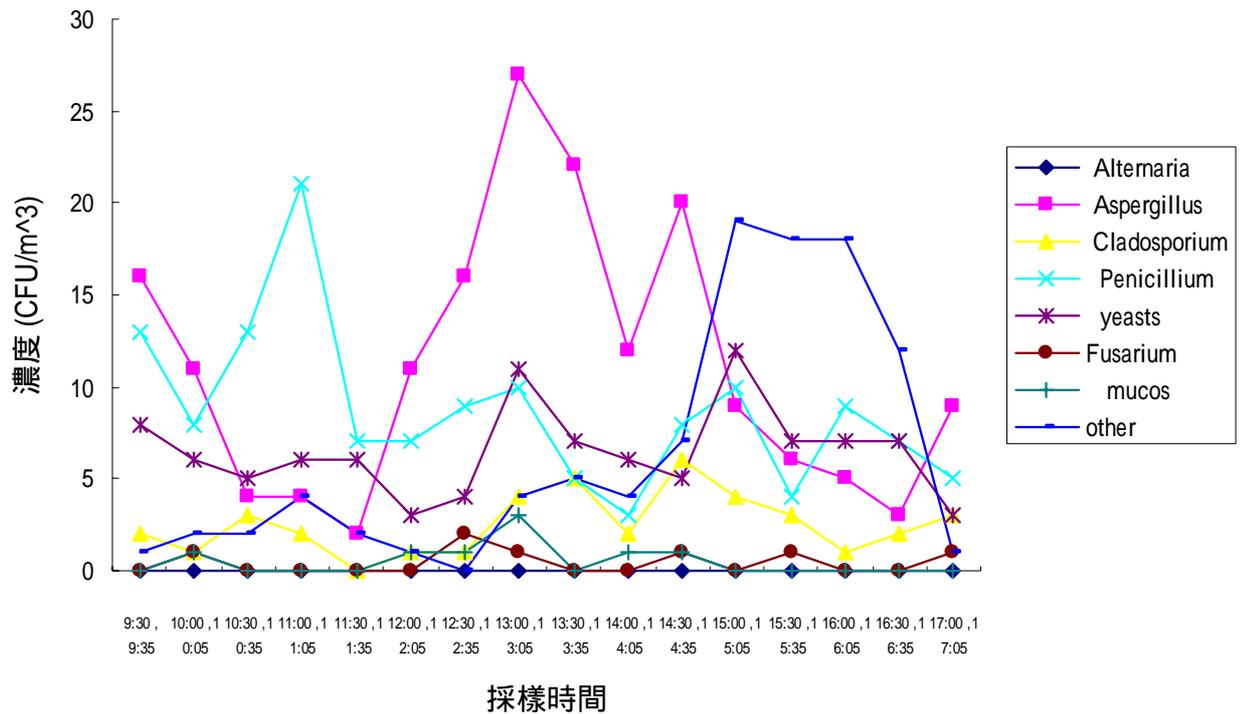
<sup>a</sup>圖三~六 使用 MAS100 Merck air sampler 進行生物氣膠採樣，以標準流量 100 L/min 採樣五分鐘，採集真菌及細菌分別以 Malt Extract Agar ( MEA ) 及 Trypticase Soy Agar ( TSA ) 二種培養基。培養後計數菌落生成數 ( Colony Forming Unit, CFU )，將 CFU 經正孔校正表校正後，把數值除以採樣體積換算成生物氣膠濃度 ( CFU/m<sup>3</sup> )。圖三中醫學中心之感染科護理站在下午有明顯增加細菌量，而 15C 護理站則有較高真菌濃度。至於在辦公大樓之細菌量與其作業時間有關中午休息時間則略降，但真菌則無明顯之變化趨勢。

本研究亦將各類真菌依照菌類形態學，於光學顯微鏡下加以鑑定，分類種類包括 Aspergillus、Alternaria、Cladosporium、Fusarium、Penicillium、yeasts 及其他菌種等。鑑定結果顯示，如圖七，在醫學中心的病房中，普遍以 yeasts 的濃度最高，其次為 Penicillium 及 Aspergillus，且不同真菌其濃度隨時間變化的趨勢皆類似。



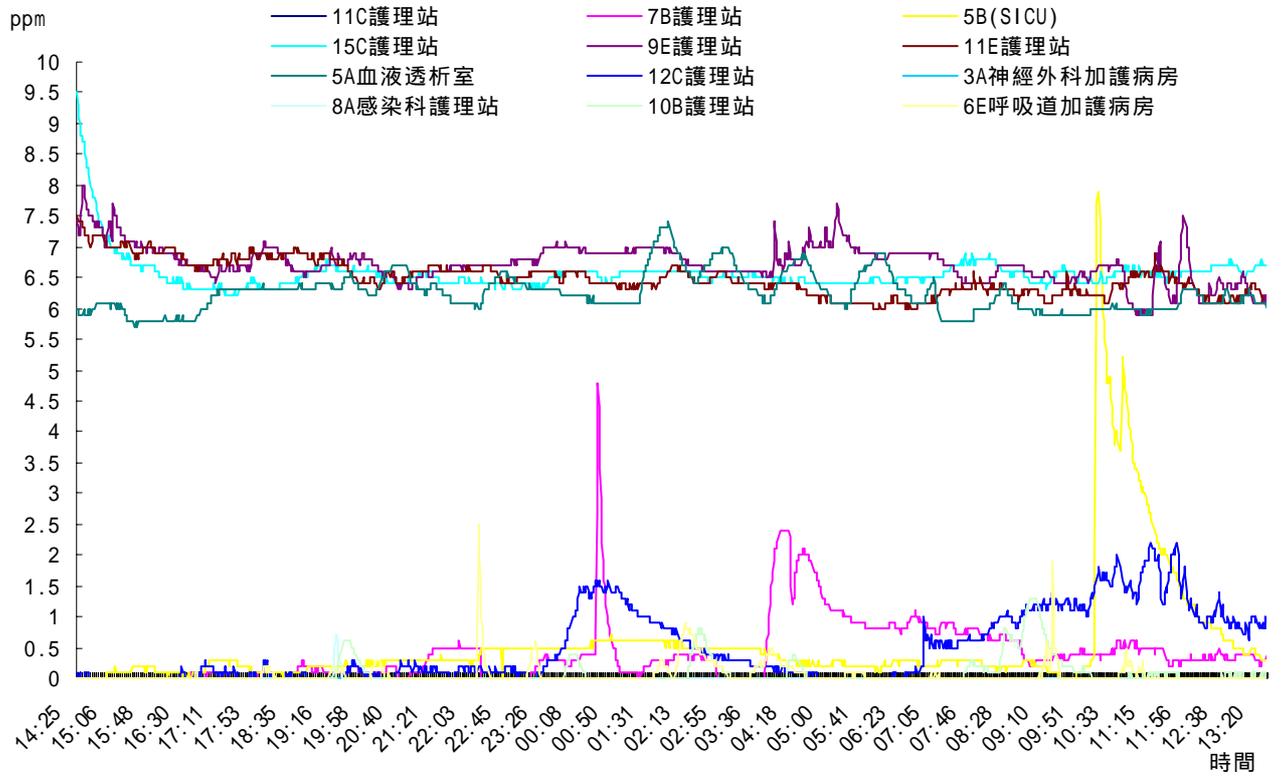
圖七、真菌鑑定結果(醫學中心病房)

另一方面，於一般辦公大樓的採樣鑑定結果則顯示(如:圖八)，除了 Alternaria 未被檢出外，Aspergillus、Cladosporium、Fusarium、Penicillium、及 yeasts 等皆普遍存在於各樣本中，然而不同真菌其濃度隨時間變化的情形與醫學中心的病房不同，並未觀察到一致的變化趨勢。此外，不同採樣地點所獲得的結果，不同真菌之間的濃度高低關係也皆不同。

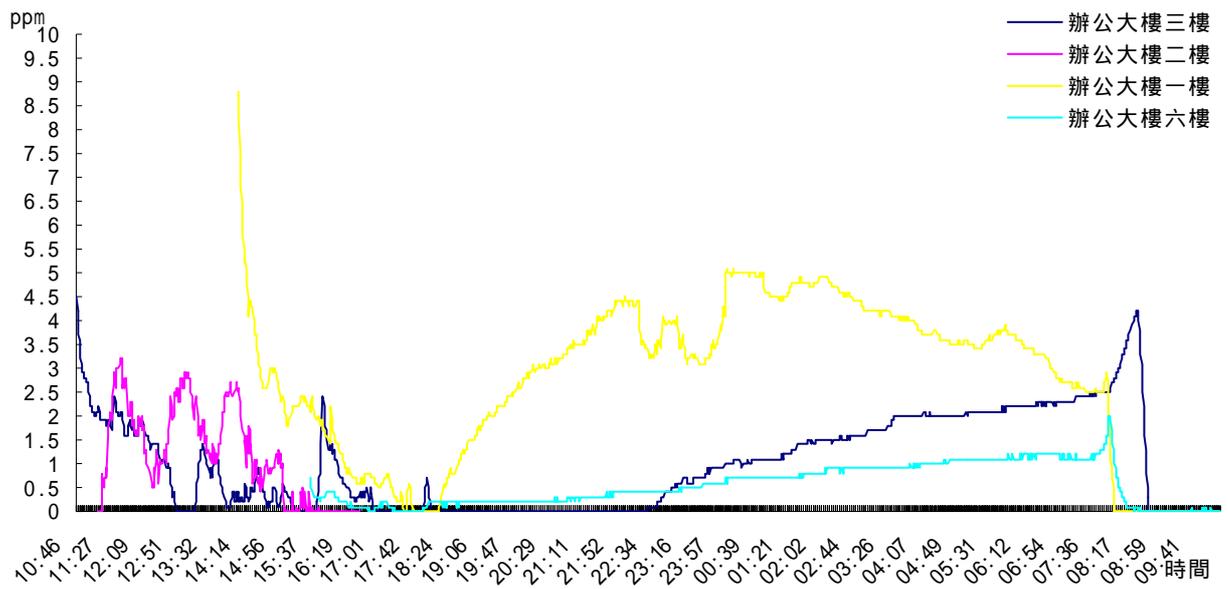


圖八、真菌鑑定結果(一般辦公大樓)

## PID 有機蒸氣採樣分析結果



圖九、某醫學中心-有機氣體濃度 (ppm) \*



圖十、某辦公大樓-有機氣體濃度 (ppm) \*

\*圖九~十 使用光離子化有機氣體偵測器 (PID : PGM-76,RAE systems,USA ) 對該區域之有機氣體進行連續監測。

#### 四、結論與建議

本研究的結果顯示，在醫學中心之各採樣點皆檢測出甲苯(0.082~0.118 ppb)，同時大部份的採樣點亦檢測出甲醛(11.99~15.46 ppb)，乙苯及二甲苯則只出於少部份樣本，至於苯及尼古丁則未測出；一般辦公大樓亦同樣測出甲苯(0.088~0.118 ppb)及甲醛(12.49~16.89 ppb)，至於乙苯、二甲苯、苯及尼古丁則皆未測出。生物氣膠部份，一般辦公大樓之細菌量與其作業時間有關(如:中午休息時間濃度略降)(最大濃度約 55 CFU/m<sup>3</sup>)，但真菌則無明顯之變化(最大濃度約 280 CFU/m<sup>3</sup>)；醫學中心之細菌(最大濃度約 95 CFU/m<sup>3</sup>)與真菌濃度(最大濃度約 380 CFU/m<sup>3</sup>)的變化則依採樣點特性之不同而有不一樣的變化趨勢(如:感染科護理站的細菌量明顯較其他單位高)。

本研究亦將各類真菌依照菌類形態學，於光學顯微鏡下加以鑑定，分類種類包括 *Aspergillus*、*Alternaria*、*Cladosporium*、*Fusarium*、*Penicillium*、*yeasts* 及其他菌種等。鑑定結果顯示，在醫學中心的病房中，普遍以 *yeasts* 的濃度最高，其次為 *Penicillium* 及 *Aspergillus*，且不同真菌其濃度隨時間變化的趨勢皆類似；另一方面，於一般辦公大樓的採樣鑑定結果則顯示，除了 *Alternaria* 未被檢出外，*Aspergillus*、*Cladosporium*、*Fusarium*、*Penicillium*、及 *yeasts* 等皆普遍存在於各樣本中，然而不同真菌其濃度隨時間變化的情形與醫學中心的病房不同，並未觀察到一致的變化趨勢。此外，不同採樣地點所獲得的結果，不同真菌之間的濃度高低關係也皆不同。

本研究配合另一計畫分析大樓活動人員之健康及疾病狀態、求醫行為及生活品質資料後發現：大樓員工暴露室內污染程度對其健康與工作效率均具有統計相關。員工對通風與空調系統設計不良的抱怨亦與工作效率有關。由於醫學中心細菌與真菌濃度均較辦公大樓為高，因此未來有必要將生物性污染源列為評估醫療院所室內空氣品質的要素之一。

## 五、參考文獻

3M Technical Data Bulletin, Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide, 2000/06/01.

Andersen K, Morris G, Kennedy H: Aspergillosis in immunocompromised paediatric patients: associations with building hygiene, design and indoor air. *Throax* 1996; 51: 256-261.

Gravesen S: Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy* 1979; 34: 135-154.

Griffiths, W.D., DeCosemo, G.A.L.: The Assessment of Bioaerosols: A Critical Review. *Journal of Aerosol*

Pawliszyn, J. *Solid-Phase Microextraction- Theory and Practice*; Wiley-VCH: New York, 1997.

Husman T: Health effects of indoor – air microorganisms. *Scand J Work Environ Health* 1996; 22: 5-13.

Li, C.S., Kuo, Y.M.: Airborne Characterization of Fungi Indoors and Outdoors. *Journal of Aerosol Science* 1992; 23(1): 667-670

Lacey, J., Dutkiewicz, J.: Bioaerosols and Occupational Lung Disease. *Journal of Aerosol Science* 1994; 25(8): 1371-1404

Solley GO, Hyatt RE: Hypersensitivity pneumonitis induced by *Penicillium* species. *J Allergy Clin Immunol* 1980; 65(1): 65-70.

Tsai, S.W. and T.A. Chang (2002): Time-weighted average sampling of airborne n-valeraldehyde by the solid-phase microextraction device. *Journal of Chromatography A*. **954**, 1-2, 191-198.

Tsai, S.W. and K.K. Wu (2003): Determination of ethylene oxide by solid-phase microextraction device with on-fiber derivatization. *Journal of Chromatography A*. **991**, 1-11.

Tsai, S.W. and C.M. Chang (2003): Analysis of aldehydes in water by solid-phase microextraction with on-fiber derivatization. *Journal of Chromatography A*. **1015**, 43-150.

Tsai, S.W., Tsai, S.T., Wang, V.S. and J.S. Lai (2004) Laboratory and field validations of a solid-phase microextraction device for the determination of ethylene oxide. *Journal of Chromatography A*. **1026**: 25-30.

台北市政府勞工局：安全衛生實務手冊(醫療保健服務業)。台北，台北市政府勞工局勞工檢查所，1994。

李芝珊：醫療機構作業環境空氣品質調查輔導計畫，台北市政府，2000。

吳佩芝、蘇慧貞、黃金鳳：醫療作業環境空氣中生物性及化學性因子暴露評估—以一大型教學醫院之調查為例。中華衛誌 1998；17(2)：93-102。

阮珮華、高國源、蔡詩偉，2004，”以固相微萃取技術發展尼古丁蒸氣之被動式採樣器”，2004 工業衛生學術研討會，高雄。

張錦文、譚開元、黃佳經：醫院管理。台北，水牛圖書出版，1991。

張靜文：空氣中生物性危害與呼吸防護(下)。北市衛生 1999；46：19-22。

蘇慧貞、黃金鳳、林亮吟：作業環境之生物性氣膠危害:文獻探討及臺灣地區高暴露行業之初步調查。勞工安全衛生研究季刊 1997；2(3)：1-13。

## 附表一:

## Tech Data Bulletin — Organic Vapor Monitors (continued)

page 7 of 11

	Sampling Rate (cc/min)	Recommended Sampling Time (Hrs.)	Capacity (mg)	Recovery Coefficient	Calculation Constant A (mg/m <sup>3</sup> )	Calculation Constant B (ppm)
* Acetone (c)	40.1	2	7	0.91 (j)	24.9	10.60
Acetonitrile (c)	48.2	2	0.5	1.02 (e)	20.7	12.36
Acrylonitrile	43.8	8	1.4	1.04 (e)	22.8	10.62
Allyl Alcohol	40.4	8	5	0.74 (d)	24.8	10.42
Allyl Chloride	35.1	8	3	0.86	28.5	9.10
* n-Amyl Acetate	26.0	8	>25	0.98	38.5	7.22
* n-Amyl Alcohol (1-Pentanol)	31.2		24	0.96 (d)	32.1	8.89
s-Amyl Alcohol	31.2		>25	0.98 (d)	32.1	8.89
* Benzene	35.5	8	22	0.97	28.2	8.82
Benzyl Chloride	27.2	8	>25	0.89	38.8	7.10
Bromoform	29.3	8	>25	1.02	34.1	3.30
* 1-Bromopropane	31.7	(m)	(m)	1.02	31.5	6.27
* 1,3-Butadiene (c)	42.8	(m)	(m)	0.75 (d)	23.4	10.66
n-Butyl Acetate	31.6	8	>25	1.07	31.8	6.66
* s-Butyl Acetate	28.6	8	>25	0.98	35.0	7.36
t-Butyl Acetate	29.4	8	23	0.98	34.0	7.16
Butyl Acrylate	27.3	8	>25	1.06	36.6	6.99
* n-Butyl Alcohol	34.3	8	21	0.95 (d)	29.2	9.62
s-Butyl Alcohol	34.8	8	19	0.89 (d)	28.7	9.48
t-Butyl Alcohol	35.2	8	15	0.74	28.4	9.37
* Butyl Cellosolve	28.2	8	>25	0.91 (d)	35.5	7.34
* Butyl Cellosolve Acetate	24.3		>25	0.90	41.2	6.28
Butyl Glycidyl Ether	27.0	8	25	0.93	37.0	6.96
* p-tert-Butyltoluene	20.7	8	25	1.07	48.3	7.97
Camphor	21.4	8	>25	0.92	46.7	7.60
Carbon Disulfide (c)	42.8	8	2.7	0.76 (h)	23.4	7.60
Carbon Tetrabromide	26.6	8	>5	0.99 (h)	37.6	2.77
* Carbon Tetrachloride	30.2	8	>25	0.95	33.1	5.26
* Cellosolve	32.4	8	>25	0.84 (d)	30.9	8.37
* Cellosolve Acetate	26.6	8	>25	0.73	37.6	6.96
* Chlorobenzene	29.3	8	>25	0.96	34.1	7.41
* Chlorobromomethane	34.4	8	18	0.90	29.1	5.49
Chloroform	33.5	8	21	0.95	29.9	6.11
Chloroprene	32.2				31.1	8.68
o-Chlorostyrene	26.0	8	>25	0.78	38.5	6.78
* 2-Chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane (HCFC 124)	35.8		5	0.87 (f)	27.9	5.00
o-Chlorotoluene	27.3	8	>25	0.92	36.6	7.07
* Cumene	24.5	8	>25	1.01	40.8	8.30
* Cyclohexane	32.4	8	13	1.02	30.9	8.97
* Cyclohexanol	29.5	8	22	1.02 (d)	33.9	8.27
* Cyclohexanone	28.9	8	22	0.85	34.6	8.62
* Cyclohexene	32.3	8	21	0.99	31.0	9.21
Cyclopentadiene	39.5				25.3	9.36

(c) 3M 3520 Organic Vapor Monitor Recommended

(d) Methylene Chloride

(e) 50% Dimethylformamide in carbon disulfide

(f) Isopropanol

(g) Acetonitrile

(h) Toluene

(j) Refrigerate and/or expedite for analysis to help ensure accurate results.

(k) Trichloroethylene

(m) See technical bulletin

\* Laboratory verified sampling rate

附表一(續):

Tech Data Bulletin — Organic Vapor Monitors (continued) page 8 of 11

<i>continued</i>	Sampling Rate (cc/min)	Recommended Sampling Time (Hrs.)	Capacity (mg)	Recovery Coefficient	Calculation Constant A (mg/m <sup>3</sup> )	Calculation Constant B (ppm)
Cyclopentane (c)	36.2	1	5	1.02	27.6	9.63
* n-Decane	23.1		>25	1.06	43.3	7.44
* Diacetone Alcohol	28.2	8	>25	0.94 (d)	35.5	7.46
* o-Dichlorobenzene	27.8	8	>25	0.87	36.0	5.98
* p-Dichlorobenzene	27.8	8	>25	0.74	36.0	5.98
1,1-Dichloroethane	33.2	8	13	0.92	30.1	7.44
* 1,2-Dichloroethylene	36.2	6	10	0.96	29.4	7.17
Dichloroethyl Ether	26.1	8	>25	0.95	38.3	6.55
1,1-Dichloro-1-nitroethane	28.5				35.1	5.96
* 1,1-Dichloro-2,2,2-trifluoroethane (HCFC-123)	30.9				32.4	5.17
Dicyclopentadiene	23.6	8	>25	0.96	42.4	7.84
Diethyl Ketone	32.7	8	24	0.98	30.6	6.68
* Diisobutyl Ketone	24.6	8	>25	1.03	40.7	6.99
Dimethylacetamide	32.0	8	>25	0.84 (d)	31.3	6.77
Dimethyl Formamide	36.5	8	>25	0.85 (d)	28.2	9.42
p-Dioxane	34.5	8	21	0.91	29.0	8.04
Dipropylene Glycol Methyl Ether	25.3	8	23	0.82	39.5	6.52
Dipropyl Ketone (4-Heptanone)	27.8	8	25	0.86	36.0	7.70
Divinyl Benzene	23.3	8	20	0.47	42.9	8.06
* n-Dodecane	21.5		>25	1.09	46.5	6.68
Enflurane	28.3	8	8	0.88	35.3	4.68
Epichlorohydrin	29.6	8	20	0.85	33.8	8.93
* 1-Ethoxynonfluorobutane (HFE-7200)	24.1		>25	0.82 (k)	41.5	3.84
* Ethyl Acetate	34.5	6	20	0.99	29.0	8.04
Ethyl Acrylate	32.2	8	>25	0.93	31.1	7.58
* Ethyl Alcohol (c)	43.7	1	3.5	0.98 (g)	22.9	12.14
Ethyl Benzene	27.3	8	24	0.96	36.6	8.44
* Ethyl Bromide	36.4	8	6	0.94	27.5	6.18
Ethyl Butyl Ketone	28.0	8	>25	0.88	35.7	7.65
Ethylene Chlorohydrin	33.9	8	11	0.82 (d)	29.5	6.96
* Ethylene Dibromide	29.6		21	0.93	33.8	4.40
* Ethylene Dichloride	33.2	8	16	0.98	30.1	7.44
Ethyl Ether (c)	36.8	4	12	0.96	27.2	8.96
Ethyl Formate	38.8	8	8	0.85	25.8	8.51
Furfural	34.3	8	>25	0.62 (d)	29.2	7.42
Furfuryl Alcohol	30.6	8	>25	0.71 (d)	32.7	8.14
* Gasoline	30.5	8	>25	0.94	32.8	7.49
Glycidol	37.1				27.0	8.90
Halothane	30.2	8	10	1.07	33.1	4.10
* n-Heptane	28.9	8	>25	1.04	34.6	8.44
Hexachlorobutadiene	22.9				43.7	4.09
Hexachlorocyclopentadiene	22.1				45.2	4.06

(c) 3M 3520 Organic Vapor Monitor Recommended  
 (d) Methylene Chloride  
 (e) 50% Dimethylformamide in carbon disulfide  
 (f) Isopropanol  
 (g) Acetonitrile  
 (h) Toluene

(i) Refrigerate and/or expedite for analysis to help ensure accurate results.  
 (k) Trichloroethylene  
 (m) See technical bulletin  
 \* Laboratory verified sampling rate

附表一(續):

Tech Data Bulletin — Organic Vapor Monitors (continued)

1000  
page 9 of 11

<i>continued</i>	Sampling Rate (cc/min)	Recommended Sampling Time (Hrs.)	Capacity (mg)	Recovery Coefficient	Calculation Constant A (mg/m <sup>3</sup> )	Calculation Constant B (ppm)
Hexachloroethane	26.7	8	25	0.95	37.5	3.87
* n-Hexane	32.0	8	24	1.07	31.3	8.87
* Hexane Isomers	32.0	7	24	1.03	31.3	8.87
Isoamyl Acetate	27.2	8	>25	0.97	36.8	6.90
* Isoamyl Alcohol	32.3	8	22	0.95 (d)	31.0	8.59
* Isobutyl Acetate	31.0	8	25	1.02	32.3	6.79
* Isobutyl Alcohol	35.9	8	19	0.93 (d)	27.9	9.19
Isobutane (Forane)	28.3		7	0.88	35.3	4.68
Isocetyl Alcohol	25.1	8	23	0.80	39.8	7.48
Isopar G	24.4		>25	0.98	41.0	7.42
* Isophorone	21.7	8	>25	0.75	46.1	8.15
Isopropoxyethanol	29.5	8	23	0.92	33.9	7.96
Isopropyl Acetate	31.7	7	15	0.96	31.5	7.55
* Isopropyl Alcohol (c)	39.4	(m)	(m)	0.96 (g)	25.4	10.33
Isopropyl Ether (c)	31.2	8	21	1.03	32.1	7.67
Isopropyl Glycidyl Ether	29.1	8	23	0.97	34.4	7.23
* Mesitylene	26.3	8	>25	1.05	38.0	7.73
* Mesityl Oxide	31.2	8	>25	0.89	32.1	7.98
1-Methacynonfluorobutane (HFE-7100)	25.3		18	0.85 (k)	39.5	3.87
* Methyl Acetate (c)	37.0	2	3	0.92	27.0	8.92
Methyl Acrylate	35.8	8	11	0.87	27.9	7.93
Methylal (c)	37.9	1	10	0.97	26.4	8.48
Methyl Amyl Ketone	27.9	8	24	0.98	35.8	7.67
Methyl Bromide (c)	40.9				24.4	6.30
* Methyl t-Butyl Ether (MTBE)	30.8	8	17	0.98	32.5	9.01
* Methyl Butyl Ketone	29.7	8	24	1.00	33.7	8.22
* Methyl Cellosolve	36.3	8	>25	0.78 (d)	27.5	8.85
* Methyl Cellosolve Acetate	29.0	8	>25	0.65	34.5	7.14
* Methyl Cyclohexane	28.9	7	20	1.03	34.6	8.62
Methyl Cyclohexanol	25.3	8	>25	0.83	39.5	8.46
* Methylene Chloride (c)	37.9	(m)	(m)	0.87	26.4	7.60
* Methyl Ethyl Ketone	36.3	8	18	0.91 (i)	27.5	9.34
Methyl Formate (c)	45.0	1	0.5	0.76 (d)	22.2	9.05
5-Methyl-3-heptanone	26.4	8	24	0.83	37.9	7.22
Methyl Iodide	36.7				27.2	4.69
Methyl Isoamyl Ketone	28.0	8	>25	1.01	35.7	7.65
Methyl Isobutyl Carbinol	29.2	8	21	0.81	34.2	8.19
* Methyl Isobutyl Ketone	30.0	8	>25	0.99	33.3	8.14
Methyl Isopropyl Ketone	32.8	8	24	0.91	30.5	8.65
Methyl Methacrylate	31.8	8	>25	0.98	31.4	7.68
* Methyl Propyl Ketone	33.0	8	24	0.93	30.3	8.60
1-Methyl-2-pyrrolidinone	28.8			0.81 (d)	34.7	8.56
* alpha-Methyl Styrene	25.0	8	25	1.02	40.0	8.28

(c) 3M 3520 Organic Vapor Monitor Recommended  
 (d) Methylene Chloride  
 (e) 50% Dimethylformamide in carbon disulfide  
 (f) Isopropanol  
 (g) Acetonitrile  
 (h) Toluene

(i) Refrigerate and/or expedite for analysis to help ensure accurate results.  
 (k) Trichloroethylene  
 (m) See technical bulletin  
 \* Laboratory verified sampling rate

附表一(續):

Tech Data Bulletin — Organic Vapor Monitors (continued) 1040  
page 10 of 11

<i>continued</i>	Sampling Rate (cc/min)	Recommended Sampling Time (Hrs.)	Capacity (mg)	Recovery Coefficient	Calculation Constant A (mg/m <sup>3</sup> )	Calculation Constant B (ppm)
* Naphtha(VM&P)	33.2	8	24	0.92	30.1	7.36
Naphthalene	24.6	8	>25	0.42	40.7	7.75
* n-Nonane	24.6	8	>25	1.09	40.7	7.75
* n-Octane	26.6	8	25	1.05	37.6	8.05
* n-Pentane (c)	36.3	3	12	0.98	28.3	9.60
2,4-Pentanedione	31.7		>25	0.81	31.5	7.70
* Perchloroethylene	28.3	8	>25	1.03	35.3	5.21
Phenyl Ether	20.3	8	>25	0.90	49.3	7.08
Phenyl Glycidyl Ether	22.2	8	19	0.73	45.0	7.33
* n-Propyl Acetate	30.1	8	25	1.00	33.2	7.95
* n-Propyl Alcohol	39.7	6	8	0.85 (d)	25.2	10.25
* Propylene Dichloride	30.6	8	20	1.02	32.7	7.07
* Propylene Glycol	32.4	8	>25	0.86 (d)	30.9	8.37
Monomethyl Ether (PGME)						
* Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate (PGMEA)	25.2		>25	1.01	39.7	7.34
* Propylene Oxide (c)	37.7	8	2	0.97	26.5	11.17
n-Propyl Nitrate	33.3	8	25	1.02	30.0	6.99
Resorcinol	25.8				38.8	8.61
Stoddard Solvent	24.3	8	21	0.98	41.2	6.99
* Styrene	28.9	8	>25	0.88	34.6	8.12
1,1,1,2-Tetrachloro-2,2-difluoroethane (c)	27.5				36.4	4.36
1,1,2,2-Tetrachloro-1,2-difluoroethane (c)	28.2				35.5	4.25
1,1,2,2-Tetrachloroethane	28.4	8	>25	0.92	35.2	5.13
* 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC 134a)	37.1		2	0.61 (f)	27.0	6.46
Tetrahydrofuran	37.2	8	15	1.01	26.9	9.11
* Toluene	31.4	8	>25	1.00	31.8	8.45
* 1,1,1-Trichloroethane (Methyl Chloroform)	30.9	(m)	>25	1.00	32.4	5.93
* 1,1,2-Trichloroethane	29.7	8	>25	0.96	33.7	6.17
* Trichloroethylene	31.1	8	>25	1.01	32.2	5.98
1,2,3-Trichloropropane	27.4	8	>25	0.99	36.5	6.05
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane (c)	29.1	1	11	0.92	34.4	4.48
Vinyl Acetate	35.8	8	9	0.98 (i)	27.9	7.93
Vinyl Bromide	37.0				27.0	6.18
* Vinyl Chloride (c)	40.8				24.5	9.59
* 4-Vinyl-1-cyclohexene	27.9	8	>25	1.01	35.8	8.10
Vinylidene Chloride	35.1	8	4	1.00	28.5	7.19
Vinyl Toluene	25.1	8	>25	0.86	39.8	8.24
* Xylene	27.3	8	>25	0.97	36.6	8.44

(c) 3M 3520 Organic Vapor Monitor Recommended  
 (d) Methylene Chloride  
 (e) 50% Dimethylformamide in carbon disulfide  
 (f) Isopropanol  
 (g) Acetonitrile  
 (h) Toluene

(i) Refrigerate and/or expedite for analysis to help ensure accurate results.  
 (k) Trichloroethylene  
 (m) See technical bulletin  
 \* Laboratory verified sampling rate