

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

室內化學污染物分析與測定策略發展(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2320-B-002-176-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學公共衛生學院環境衛生研究所

計畫主持人：林嘉明

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期中進度報告

室內空氣污染物特性、所致健康影響及其控制之研究：

室內化學污染物分析與測定策略發展 (1/2)

DEVELOPMENT OF LESS-POLLUTANT (HEALTHY) INCENSE-
CHARACTERIZATION OF AEROSOL EMISSION FROM SMOLDERING
INCENSE

計畫編號：NSC 91—2320—B002—176

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：林嘉明 國立台灣大學環境衛生研究所

計畫參與人員：姚永濤、王亦凱、黃耀琦 國立台灣大學環境衛生

研究所

中文摘要

近年因建築技術的發達及生活型態的改變，人類的活動漸趨室內化，室內微環境的空氣品質與人類健康的關係愈形密切，故提出計畫預計分年達成：室內化學物種與危害鑑定；主要化學危害污染物即時偵測技術開發並應用於暴露評估；規劃及測試採樣策略、開發及示範適當的採樣策略。

第一年研究對象為台北市某磚造 5 層樓使用循環式中央空調設備的辦公大樓，隨機抽樣選取 26 間辦公室，於民國 91 年 10 月至 11 月間，使用直讀式儀器即時監測室內微環境的 CO₂、溫度、相對濕度、通風量及總有機化合物 (TVOCs)，其中有 6 天併

行監測室外環境。另外使用主動式採樣設備採集分析各房間空氣中的 13 種揮發性有機物。

結果發現 TVOCs、CO₂ ppm、室溫、相對濕度等各變項有時序起落的變化。雖然 65% 的房間的實測通風量均能滿足預期稀釋 CO₂ 的需求通風量，但是 82% 的辦公室之溫濕度條件並沒有全日維持在舒適區，而且 CO₂ 出現蓄積現象，午後各房間之累積係數在 $1.4 \times 10^{-3} \sim 6.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ，人員活動量大及密度影響室內二氧化碳的濃度。此外，做為外源性污染指標物的 trimethylbenzenes 在室內的濃度可以由通風量解釋 42%-82 %。因此認為循環式中央空調因新鮮空氣的供應不全，無法及時調節室內的溫、濕度以

及稀釋 CO₂ 之所需，即使通風量表面上足夠仍無法提供舒適的環境。

另外，為方便採樣三甲基苯 (trimethylbenzene, TMB) 在研究室發展以固相微萃取纖維 (30 μ m polydimethylsiloxane SPME) 進行被動式採樣。在控制的實驗條件下採 26ppm 及 52ppm (1,3,5 - TMB, 1,2,4 - TMB, 1,2,3 - TMB) 的混合物參考氣體，然後熱脫附，GC/MS 進行分析，以測試脫附條件、採樣率、儲存的穩定性。採樣後以 250°C 熱脫附 1 分鐘，獲得平均採樣率為：1,3,5-TMB $5.88 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ；1,2,4-TMB $6.24 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ；1,2,3-TMB $6.14 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，儀器偵測極限接近 0.128ng。儲存穩定性在乾冰床約為 80% 可儲放一小時。認為採樣率穩定，即使在 25ppm 的濃度下，採樣時間低達 5 分鐘，纖維仍可以採集到足夠分析的量。

關鍵詞：辦公大樓空調、二氧化碳、通風量、揮發性有機化合物、固相微萃取、三甲基苯、被動式採樣

Abstract

The recent development of architects as well as the change of life style leads human spending more times on indoor activities. As a result, the indoor air is getting concern with human health. Thus this project is aimed at identifying chemical species of indoor air pollutants and their hazard, developing real time sampling technique for major chemical pollutants and its application on exposure assessment, and demonstrating the appropriate sampling strategies for indoor pollutants.

In the first year study, twenty-six rooms in a bricked office building of five stories, in which the HVAC system with recirculation of indoor air was equipped, were randomly sampled. During the period between 10/2002 and 11/2002, the microenvironment in each room was monitored on a daily basis by using the real-time direct reading instruments for CO₂, temperature, relative humidity, ventilation rate and total volatile organic compounds (TVOCs). The outdoor

microenvironment in parallel to the indoor environment was also monitored in six rooms. In addition, 13 VOCs were also determined by active sampling incorporated with GC/MS analysis.

As results, TVOCs, CO₂, temperature, and relative humidity in the indoor microenvironments demonstrated various patterns of diurnal fluctuations. Of 65% rooms, the measured ventilation rates complied with the requirement for diluting CO₂ to the level of 650 ppm. But, 82% offices were not able to maintain room temperature and relative humidity at comfortable zone day wide. The cumulative phenomenon of CO₂ in a day occurred in several rooms and the cumulative coefficients ranged from 1.4×10^{-3} to $6.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ based on the dataset measured in afternoon. The level of CO₂ increased with intensity of personal activity and population density in a room. Trimethylbenzenes (TMBs) as indicators of pollutants of outdoor origin positively associated with ventilation rates. In conclusion, HVAC system in the office building with energy conservation mind restricts the fresh air supply so that it cannot efficiently regulate temperature, humidity and CO₂ to meet the requirements for health and comfort, even if the ventilation rate by appearance complies with the ventilation requirements.

In addition, the SPME fiber of 30 μ m polydimethylsiloxane functioning as a passive sampler was applied to collect the reference TMBs, for thermal desorption and GC/MS analysis. The optimized condition for thermal desorption, the sampling rates and the storage stability were validated. As samples were desorbed at 250 °C for 1 min, the sampling rates in average with coefficient of variance within 10% were $5.88 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ for 1,3,5 - TMB, $6.24 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ for 1,2,4 - TMB and $6.14 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ for 1,2,3 - TMB. The instrument detection limits were close to 0.128 ng. The recovery rates for samples stored at -70°C for an hour were close to 80%. In conclusion, the SPME fiber can collect enough amount of TMB for GC/MS analysis even the sampling time is as short as 5 minutes.

Keywords: air conditioning of office building, carbon dioxide, ventilation rate, volatile organic compounds, trimethylbenzene (TMB), solid phase microextraction (SPME), passive sampling

背景與研究目的

大氣中的新鮮空氣是維持生命與健康所必要，因此大部分的研究著重大氣的污染。近年因建築技術的發達及生活型態的改變，人類的活動漸趨室內化，室內微環境的空氣變化與人類健康關係愈形密切，而且已經有報導把空氣相關疾病以及病態建築症候群症歸咎於室內空氣污染物。其中要因之一的化學污染，以往本土較少作有系統性的研究。

本計畫依據相關文獻的檢討，假設：封閉式建築物空氣品質惡化之源可能尚有人體之外共通的重要化學物來源；以二氧化碳為指標的人體污染可能不足於解釋人在封閉式建築的不舒適；人在封閉式建築物表現的不舒適感可能同時受空調狀況、換氣量、其他化學物（刺激、窒息、臭味）等的交絡影響；個人在封閉式建築物的化學暴露可能是變動而且接近於對數常態分佈，配合此特質需要有適當的採樣策略。

為驗證上述假設，以及支援子計畫（1）室內空氣污染物所影響的健康效應流行病學研究暴露資料之需，本研究計畫預定分年達成下列目的：分析及鑑定室內化學污染物的物種及危害，發展主要室內空氣污染物即時偵測技術及被動式採樣；應用即時偵測技術，並且調查及檢驗室內換氣、二氧化碳、化學污染物三者的關係，尋求可能的代表性污染指標；發展適當的採樣策略，以利評估室內化學物暴露評估的情境。

研究方法

研究對象

選擇政府機關學校有多數人聚集辦公的大樓，篩選：（1）近期曾經裝潢或最近一年剛遷入的建築，或（2）一直沒有大改變的建築，或（3）具有空調系統的或完全不用空調（機械通風但無空氣調節或者純採用自然換氣）的建築。

第一年選擇台北市某磚造5層樓，使用循環式中央空調設備的辦公大樓。大樓內共有47間隔間，做為主管及事物單位的辦公場所。將長時間有人使用的47間房間，依房間內人數分成三組，分別為>20人的3間、10~20人的7間和<10人的37間。以分層方式隨機抽樣，並設統計信賴度為90%，分別從各層中抽出3間、7間和16間，共計26間辦公室，作為調查及環境採樣分的對象

調查

在此辦公大樓工作人員的健康狀況調查以及日常活動調查（dairy activity record）等有關的設計、資料收集與分析由子計畫（一）執行，建立健康調查模式，並結合本子計畫（二）實測室內主要污染物之結果進行主要污染物的暴露評估以及劑量-反應（dose-response）分析。

另外，本計畫訪查（walk-through survey），收集及查核建築物特性（包括空調）、人員活動、污染的可能來源等資料，做成記錄。按照訪查記錄，判別最壞的作業地點（或部門）作為預定採樣的場所。判別準則為：（1）空間密閉性；（2）單位樓版面積的人數；（3）可能污染來源的種類與數目。

即時偵測

應用以電化學或輻射能吸收為基礎的即時偵測技術以及儀器設備，執行建築物室內微環境空氣條件及污染物的時序變化量測。

本年度採即時偵測的項目包括 CO₂、溫度、相對濕度、通風量及總有機化合物 (TVOCs)。

CO₂、溫度及濕度的測量是選擇 Q-TRAK IAQ Monitor Model 8551, TSI Incorporated, U.S.A.，同時測量。

個別房間通風量使用風量計 (Model 8372/73 AccuBalance Plus Air Capture Hood) 直接測量。空氣經過風罩以位於流量感應歧管主要中心的熱薄片做測量。量測時以秒為單位，每秒記錄 5 次取其平均值為每秒記錄，現場量測時間訂為 10 秒。將房間內所有進氣口風量總和視為總通風量。風量計使用前需先校準，校準方式是以標準狀態 (21.1 °C, 760 mmHg) 來校準現場溫度及壓力以調整所測得之現場實際通風量。

總揮發性有機化合物的測量使用直讀式的儀器 PPB VOC Monitor

(PGM-7240, RAE SYSTEMS, U.S.A.)。該儀器的 UV 光將有機蒸汽光離子化

(photon-ionized)，再使用 photon-ionization detector (PID) 量化濃度。該儀器的誤差為 ± 20 ppb 或 ± 10% 的讀值。儀器校準，利用零點校準和 isobutylene 50,000 ppb 來進行校準。校準時流率為 500 cc/min。現場測量的時段為執行日期當日的 8:00~17:00，每分鐘記錄一次。

採樣分析

考量病態建築症候群症的一部分即時反應症狀，可能與末端神經刺激有關，則優先要考慮採樣的是具有刺激及/或異味的化合物，這些可能包括氨、氮氧化物、硫氧化物、臭氧、低分子量脂肪族醛、以及芳香族等易揮發性化合物 (VOC)。這些可能污染物的採樣分析方法除參考標準的採樣分析方法之外，併行發展固相微萃取技術或者以化學衍生技術測量之應用。

本計畫第一年使用標準活性炭管對十三種揮發性有機化合物(包括 toluene、ethylbenzene、m-xylene、styrene、

bromobenzene、1,3,5-trimethylbenzene、1,2,4-trimethylbenzene、p-isopropylbenzene、1,2,3-trimethylbenzene、n-butylbenzene、1,2,4-trichlorobenzene、naphthalene 及 1,3,5-trichlorobenzene。進行固體吸附採樣、熱脫附、GC/MS 分析，另外針對 trimethylbenzene, TMB) 併行發展應用固相微萃取技術之被動式採樣。

為方便採樣 TMB 本研究第一年同時探討以固相微萃取纖維 (solid phase microextraction, SPME) 進行三甲基苯的被動式採樣。在溫度 25.1 ± 0.6 °C，相對溼度為 66 ± 5%，流量率為 1360 ± 38 ml/min 時，以注液法產生 26 ppm 及 53 ppm 三甲基苯同分異構物 (1,3,5-TMB, 1,2,4-TMB, 1,2,3-TMB) 的混合物參考氣體，選擇固相微萃取纖維 (30 μm polydimethylsiloxane SPME) 進行採樣，然後熱脫附，GC/MS 進行分析，以測試脫附條件、採樣率、儲存的穩定性。

採樣策略

在各建築物內所選定的隔間採樣做多點、低流量率、長時間 (工作時間)、數天 (持續或間隔) 的採樣。

環境測量於 2002 年 10 月 15 日至 2002 年 11 月 21 日之間執行，每週執行三天，每一天針對一間房間做調查。每週調查時間為星期二至星期四，因為考慮經過週休二日後的星期一室內空調狀況、室外環境或人數等可能有異於平日上班時間的狀況；而且星期六、日二天週休，只有少數人會加班，種種情況也異於平常，於是選擇最相似的 3 天進行調查。

進行即時偵測時選擇房間的中間點為儀器設備的置放點，連續即時偵測 8 小時。執行定點採樣時則按照房間人數隨機抽樣樣本數，以人員經常所在位置採坐姿的高度，設定呼吸區的採樣，採樣流率為做 8 小時連續採樣。

資料處理與分析

以上測量所得的資料以 Excel、SPSS

10.0 及 Sigma plot 2000進行資料的處理及分析。包括二氧化碳、室溫及相對濕度的時序變化資料呈現、兩組樣本t檢定、ANOVA分析、相關性及迴歸係數的計算。

期中結果與討論

1.能源節約辦公大樓循環式空調下的室內環境品質及影響因素

結果所見，在此能源節約辦公大樓循環式空調下的室內環境，TVOCs 為 12.03 ± 13.38 ppb、 CO_2 736.1 ± 97.7 ppm、室溫 23.1 ± 1.2 、相對濕度 $58.4 \pm 5.7\%$ ，而且 TVOCs、 CO_2 、室溫、相對濕度等各變項在一天中的時序起落變化各成不同的形式。

雖然 65% 的房間的實測通風量均能達到或超過預期稀釋 CO_2 到 650 ppm 的需求通風量，但是從溫濕度構成舒適環境的觀點判斷，82% 的辦公室只有 1~67% 的時間段會落在夏天的舒適區（相對濕度 30~60% 及溫度 22.5~26.7）；而且 CO_2 出現蓄積現象，一天中有兩個波峰出現，午後之累積係數各房間不等，範圍在 $1.4 \times 10^{-3} \sim 6.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ，活動量大及人員密度高時明顯提升室內二氧化碳的濃度，室內人員密度對事務單位二氧化碳濃度的解釋率為 58.69%。

一天內總揮發性有機化合物（TVOCs）出現的濃度約在 ppb 級，高峰值常出現在上午 12 點以前，下午的濃度比較持平。個別揮發性有機物室內濃度與通風量的關係不明顯，唯做為外源性污染指標物的 1,2,4

trimethylbenzene（1,2,4 TMB）隨著通風量增加，在主管房間通風量對 1,2,4 TMB 濃度的解釋率為 42.09%，在事物單位則為 81.52%。

最終認為循環式中央空因新鮮空氣的供應不全無法及時調節室內的溫、濕度以及稀釋 CO_2 之所需，即使通風量表面上足夠仍無法提供舒適的環境。

2. 三甲基苯被動式採樣之研究發展

為方便外源性污染指標物 trimethylbenzenes（TMBs）的採樣分析，選擇固相微萃取纖維（ $30 \mu\text{m}$ polydimethylsiloxane SPME）對控制環境下的參考氣體進行採樣，然後熱脫附，GC/MS 進行分析，以測試脫附條件、採樣率、儲存的穩定性。採樣後以 250°C 熱脫附 1 分鐘，所獲得平均採樣率分別是：1,3,5-TMB $5.88 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ；1,2,4-TMB $6.24 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ；1,2,3-TMB $6.14 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，三者的變異係數皆小於 10%，儀器偵測極限分別為 $0.128 \mu\text{g/ml}$ 、 $0.133 \mu\text{g/ml}$ 、 $0.128 \mu\text{g/ml}$ 。儲存穩定性在乾冰床約為 80% 可儲放一小時。

認為使用 $30 \mu\text{m}$ polydimethylsiloxane SPME 纖維採集相當於 1PEL(25ppm) 或 2PEL 濃度的 TMB 達 5~25 分鐘，其採樣率無明顯變異，即使在 1PEL 濃度下，採樣時間低達 5 分鐘，纖維仍可以採集到足夠分析的量。