

# 第一章 前言

## 第一節 研究動機

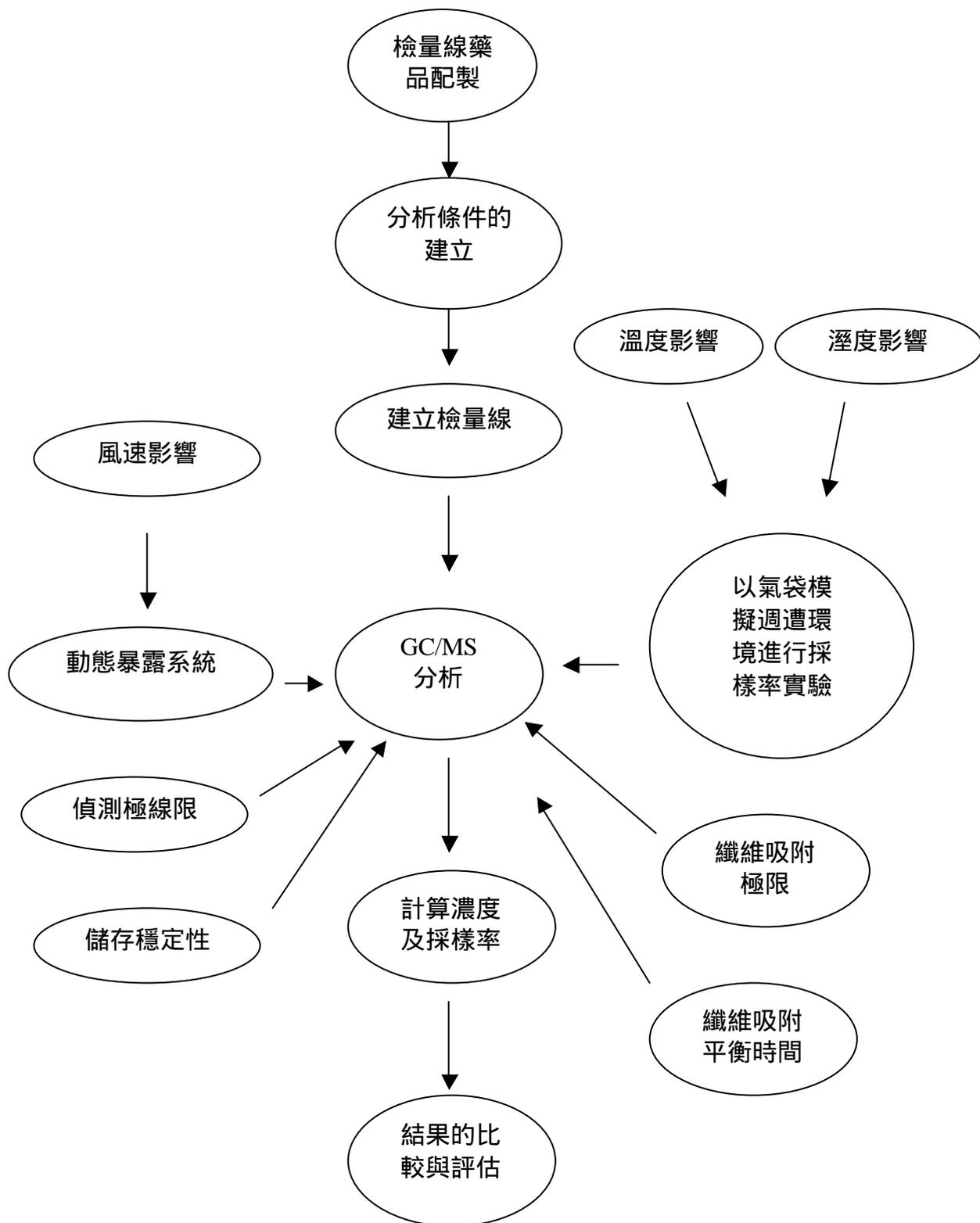
室內環境中使用的物質，如裝潢的建築物料、油漆、清潔劑等，都為揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds,VOCs)的來源<sup>(1,2,3)</sup>。而一些揮發性有機物質對人體所產生的危害或致癌性也漸漸地被研究者證實<sup>(4)</sup>，而室內環境中低濃度揮發性有機物的暴露也懷疑與病態建築症候群(Sick Building Syndrome,SBS)有關<sup>(5,6)</sup>，因此評估揮發性有機物的暴露，對保護大眾健康而言是非常重要的。過去檢測 VOCs 的方法<sup>(7,8,9)</sup>，較為繁雜且耗時，因此本研究利用 Solid Phase Microextraction (SPME)進行對 VOCs 的偵測，針對室內環境中的揮發性有機化合物的暴露，發展適合低濃度、短時間的評估技術。



## 第二節 研究目的

本研究針對室內空氣中揮發性有機污染物的評估，以固相微萃取設備為基礎，設計被動式採樣器，希望能有效採集低濃度之苯、甲苯、乙苯、及二甲苯蒸氣。

### 第三節 研究架構



## 第二章 文獻探討

近年來研究顯示人們平均一天花超過 80% 的時間待在室內工作或休息<sup>(10)</sup>，所以室內工作場所和居住環境的室內空氣品質被大眾更為重視<sup>(11)</sup>。在過去的研究中，Norback et al. (1990) 針對六個學校中 VOCs，呼吸性粉塵與 SBS 做了三個項目的相關性研究<sup>(12)</sup>。而在瑞典方面 total VOC 和 CO<sub>2</sub> 被用來測量其空氣品質，而研究者 Gusten 及 Strindehag (1995) 研究顯示室外污染源扮演一個影響室內空氣品質的主要角色，並且清掃等活動也可能暫時性的增加了教室裡污染物的含量<sup>(13)</sup>。

不良室內空氣品質造成的症狀被世界衛生組織定義為病態建築物的症狀 (Sick Building Syndrome, SBS)<sup>(6)</sup>，包括頭痛、噁心、對眼睛的刺激、呼吸系統黏膜影響、疲倦、疲勞、不舒服<sup>(5)</sup>。在辦公室裡不良的空氣品質產生不舒服的感覺，可能減少工作效率並且增加了曠職的頻率；相反的，改進空氣品質可以使產率的增加<sup>(14)</sup>。

一般而言，對室內空氣影響較大的污染來源包括：燃燒、環境性煙霧（即二手煙）、建築與裝潢材料、含揮發性有機物之室內日常用品、污染的室外空氣及其他等<sup>(15)</sup>，而室內環境 VOCs 的主要來源為建築材料、家具裝潢、清洗化學品、乾的清淨劑、油漆、膠水、化妝品、紡織品、及抽煙等<sup>(1,16)</sup>。此外，室外環境 VOCs 的來源，也可能影響室內空氣中之 VOCs<sup>(17)</sup>。

## 第一節 揮發性有機化合物

### 2.1.1 定義

揮發性有機化合物（簡稱 VOCs）是指包含各種在室溫下揮發的有機化合物。在一般的室內環境中，有著一百種以上的 VOCs，其中包括許多的物質如：甲醛、苯、甲苯、乙苯等<sup>(4,5,18,19,20,21)</sup>。

### 2.1.2 VOCs 對健康的影響

對於暴露在 VOCs 的環境中，可能會對健康造成急性或慢性的不良影響，也會抑制中樞神經系統<sup>(4,5,22)</sup>。而在高濃度的環境中，VOCs 可導致眼睛、鼻子和喉嚨不適，甚至頭痛、暈眩、視力失常及其他多種傷害<sup>(5,22)</sup>。有多種可於室內測量到的 VOCs，已被公認為人類或動物的致癌物質，如：苯、甲醛等<sup>(4,5,22)</sup>。而在 VOCs 及其混合物的毒理學研究尚未足夠，所以最審慎安全的做法是盡量減少與其接觸<sup>(4,5)</sup>。

### 2.1.3 減少室內揮發性有機化合物的方法 <sup>(15,20,21)</sup>

- 潛在的 VOCs 源頭裝設通風設備。
- 避免在密封而沒有通風設備的空間內使用油漆、黏合劑、清潔劑及其他含 VOCs 產品。
- 保持室內空氣流通。
- 在可能出現揮發性的有機化合物的地方安裝抽氣設施。
- 新廈落成後，宜稍待一段日子才遷進，以免受到有害的揮發性有機化合物所影響。

## 第二節 Sick Building Syndrome

### 2.2.1 病態建築物症候群(SBS) 定義

指因生活在以機器調節室內空氣的建築內而產生的各種病徵，但這些病徵是難以用客觀標準量度<sup>(6,20,21,23,24,25)</sup>。發生此症狀的建築物通常是密閉的、沒有可開啟的窗戶但具有空調系統，因此該類建築大廈被稱為「sick building」，而該症候群則稱為 Sick Building Syndrome (SBS)。

1997 年，WHO 世界衛生組織發表「病屋症候群」的警告，吸入過多從裝潢的建材中散發出來的化學物質，將對人體健康造成毒害，其中以具致癌性的甲醛最為嚴重<sup>(5,28,30)</sup>；1998 年，日本國立醫療食品研究所的調查結果發現，因住屋化學物質釋放量濃度過高，許多住家的室內空氣污染比室外高達 7-8 倍<sup>(29,30)</sup>；台大醫學院的研究發現，台灣居家環境中苯的濃度是美國洛杉磯的 2.5 倍<sup>(30,81)</sup>。

愈來愈多國家的購屋者注重室內空氣污染，如游離甲醛、揮發性有機化合物 (VOC) 對人體健康的危害<sup>(5,28,30)</sup>。有些室內建材或裝潢材料含有高濃度的甲醛及揮發性有機化合物 (VOC) 等有害成份，使用此類材料後，會逐漸釋放出有害的污染物到空氣中，造成室內空氣污染

<sup>(1,30)</sup>。

## 2.2.2 病態建築物症候群的成因

導致上述病徵出現的具體原因現時還未能完全確定。這主要是因為目前常用的空氣測試方式無法証實這些建築內的空氣污染程度已超出了安全標準。可是，仍然有理由相信，這些症狀跟建築物內的空氣有密切關係。值得注意的是，患者離開這些建築之後，病徵往往很快便自動消失了。<sup>(4,30)</sup>

下列的室內環境最容易產生病態建築物症狀：<sup>(1,30,31-38)</sup>

- 過高或過低的相對濕度。
- 過低的空氣流通量。
- 真菌和細菌的存在。
- 二手煙。
- 揮發性有機化合物、甲醛和一氧化碳的存在。

## 2.3.3 病態建築物症候群的影響

病態建築物症候群的影響包括：眼、鼻、喉有疼痛、刺痛、乾澀的感覺；口乾舌燥；聲音沙啞；失聲。皮膚乾燥、紅腫、疼痛、灼痛；精神委頓；倦怠；記憶力衰退；無法專注；頭痛；暈眩；作悶；嘔吐；莫名其妙的過敏反應，例如流眼淚、流鼻水和近乎哮喘的徵兆。<sup>(4,22,30)</sup>

### 第三節 偵測 VOCs 的方法

現行在揮發性有機化合物的分析方法以主動式的採樣方法為主，例如在 NIOSH 1500, 1501, OSHA07<sup>(7,8,39,80)</sup>方法中提到以活性碳管搭配採樣幫浦來收集所欲採集的物质，經脫附後以 GC-FID 儀器偵測；在美國 EPA 亦於 1988 年公告不銹鋼筒採樣氣相層析質譜儀偵測之分析方法 (TO-14, EPA-600/4-84-04)<sup>(40,44)</sup>；國內環保署則於民國 83 年公告空氣中揮發性有機化合物檢驗方法 - 以不銹鋼筒採樣氣相層析質譜偵測法 (NIEAA715.10A)<sup>(9,40,41)</sup>。不銹鋼筒採樣方法為將已先抽至  $10^{-2}$  mmHg 真空度之不銹鋼採樣筒以瞬間吸入或固定流速採集方式收集空氣中揮發性有機化合物，利用冷凍捕集方式濃縮一定量的空氣樣品再經熱脫附至氣相層析注入口前端再次冷凍聚焦，最後注入氣相層析質譜儀 (GC/MS) 中測定樣品中揮發性有機化合物的含量。而其干擾因素可能來自不正確操作、清洗不完全或分析系統的污染，而樣品中過量的水氣將會對分析造成干擾，且實驗室在分析樣品時，應完全隔離有機溶劑之干擾。在儀器設備方面也需使用較大、笨重的裝備，和多種儀器設備的前置作業後才能進行採樣的工作。

除了主動式採樣之外，VOCs 的偵測亦可使用包括市售 SKC 575-002 Passive Sampler 和 3M 3520 OVM 等被動式採樣器<sup>(42,43)</sup>。然而上述這些過程需要大量的儀器設備，或複雜的分析步驟，增加了時間、成本及人力等方面。

## 第四節 BTEX 四物質的暴露及危害

揮發性有機化合物中的苯、甲苯、乙苯及二甲苯通稱為 BTEX。大氣環境中 BTEX 的分佈非常廣泛，例如汽機車排放的廢氣、工業製程與油漆、溶劑、傢俱製造、建築材料、汽油添加劑、及香菸點燃所釋放出的氣體等，都是環境中 BTEX 化合物污染的來源。<sup>(45, 46, 47, 48, 49)</sup>

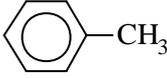
### 2.4.1 BTEX 的特性、用途、暴露危害

#### 2.4.1.1 苯 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

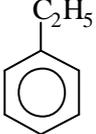
苯的化學結構式為 ，是許多化學物質的成分，用於墨水、油漆和塑膠的溶媒，是石油組成之一，亦是許多其他石油產物的組成元素，氣味閾值約 2ppm<sup>(5,22)</sup>，毒性反應的產生主要是吸入所引起，因其脂溶性高，所以其主要標的組織之一為中樞系統<sup>(5,22)</sup>，症狀有頭痛、噁心和昏睡。暴露於 3000ppm 苯中會引起快感，之後會昏睡、疲倦、噁心和嘔吐<sup>(5,22)</sup>。暴露 7500ppm 30~60 分鐘，可能因呼吸麻痺而死。苯進入肺會引起化學性肺癆或肺水腫<sup>(5,22)</sup>，慢性接觸會影響造血系統，主要影響骨髓中血球的形成；白血症已知和苯暴露有關，包含有貧血和血小板減少。

(表 2.4.1.1)<sup>(5,22)</sup>

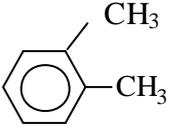
#### 2.4.1.2 甲苯 Toluene (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)

甲苯的化學結構式為 ，主要用於油漆、清潔劑和去污劑的溶媒，也是某些黏膠的揮發性成分<sup>(5,22)</sup>。持續的吸入黏膠氣體會導致吸入大量的甲苯，會大量接觸到甲苯的行業是石油業。主要暴露途徑為吸入，自肺擴散到血液接著進入中樞<sup>(5,22)</sup>；只有少量會透過皮膚吸收，吸入症狀與苯的症狀相似，有欣快感、昏睡、頭痛、噁心和虛弱<sup>(5,22)</sup>；在高濃度下，如接觸到黏膠氣體可能造成精神錯亂、昏迷、肺水腫及呼吸停止，接著因心率不整而死；IDLH 值為 2000ppm<sup>(5,22)</sup>。  
(表 2.4.1.2)<sup>(5,22)</sup>

#### 2.4.1.3 乙苯 Ethylbenzene (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>)

乙苯化學結構式為 ，無色液體，味道為具刺激性和芳香味，沸點：136.2 (760mmHg)，熔點：-95，分子量：106.16，而其主要用途為：1. 使用在合成橡膠上的製造，作為稀釋的溶劑，汽車航空油料的組成，纖維素醋酸酯的製造。2. 使用在製造苯乙烯時的先導物。3. 供作醇酸樹脂的溶劑用及二乙基苯、乙醯苯、乙基苯磺酸、丙烯氧化物等之化學中間體。4. 汽油中油汽回收物質。皮膚接觸到乙基苯液體會導致紅斑及發炎<sup>(5,22)</sup>；長期暴露在乙基苯蒸氣下會導致官能障礙，增加深層反射，刺激上呼吸道，血液不正常及肝膽障礙<sup>(5,22)</sup>；僅吸入少量亦可能造成嚴重的傷害，因其低黏度及表面張力易導致在肺部廣大面積的瀰散作用<sup>(5,22)</sup>。(表 2.4.1.3)<sup>(5,22)</sup>

#### 2.4.1.4 二甲苯 Xylene (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>)

二甲苯化學結構式為 ，廣泛用於去漆劑、清潔劑、墨水 and 去污劑的溶媒<sup>(5,22)</sup>，包括：鄰、間、對-二甲苯等三種異構物。二甲苯的三種異構物有相同的毒理性值，暴露的主要途徑是吸入<sup>(5,22)</sup>，影響中樞而引起頭痛、昏睡、暈眩、瞌睡及意識不清；高濃度約 11000ppm 下可能致死；二甲苯也是一種皮膚和眼睛的刺激劑，皮膚的慢性接觸可能會導致去脂、龜裂、乾燥、皮膚炎；IDLH 值為 10000ppm<sup>(5,22)</sup>。(表 2.4.1.4)<sup>(5,22)</sup>

## 第五節 暴露容許濃度

如表 2.5 所示，由於苯對人類的致癌性已經被證實，八小時時量加權 TWA NIOSH 訂為 0.1ppm；OSHA 訂為 1ppm；ACGIH 訂為 10ppm；台灣勞委會則訂在 10ppm。在甲苯方面，NIOSH 和我國勞委會都訂為 100ppm，OSHA 則訂在 200ppm，在 ACGIH 則針對皮膚接觸訂為 50ppm。在乙苯方面，四個單位皆為 100ppm。鄰二甲苯八小時 TWA 也皆為 100ppm。<sup>(7,8,80)</sup>

## 第六節 被動式採樣器

### 2.6.1 定義

所謂被動式採樣是靠物理現象的擴散或滲透原理，以一定之速率採集大氣中之氣體或蒸氣<sup>(50,51,52,53)</sup>。

### 2.6.2 被動式採樣器優點<sup>(50,51,52,53,54,55,56,57)</sup>

#### ➤ 成本低

被動式採樣器係利用自然之物理現象，不需藉助動力採樣泵，因此可減少採樣泵設備費，亦可省去校正及維修採樣泵之麻煩。

#### ➤ 不需校正採樣泵之流速

只需準確的記錄採樣時間，因此具使用容易之優點。

#### ➤ 體積輕巧

較不妨礙配戴者之活動，故適合於個人採樣。

#### ➤ 成本低，適於個人採樣

可用於大規模之流行病學調查採樣。

被動式採樣係利用擴散原理或滲透原理，或同時利用兩種原理。滲透原理係指污染物通過薄膜(membrane)，而擴散係指污染物於空氣中或擴散腔中質量之輸送<sup>(50,51,52,53)</sup>。本研究應用的理論以擴散式原理為主，針對擴散式理論的介紹如下：

### 2.6.3 擴散原理

穩定狀況下，污染物所呈現的質量傳送率，可用費氏第一定律 (Fick's First Law) 來表示<sup>(50,51,52)</sup>。

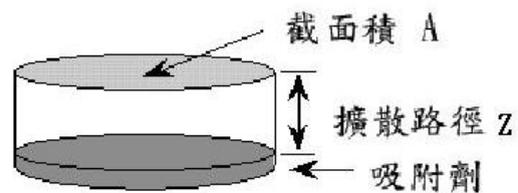
$$J = -DA(dC/dZ)$$

J: 質量傳送率 (ng/sec)

D: 擴散係數 (cm<sup>2</sup>/sec)

A: 擴散路徑的截面積 (cm<sup>2</sup>)

dC/dZ: 擴散路徑上，濃度改變的瞬間 (ng/cm<sup>3</sup>/cm)



當採樣器之形狀固定，且擴散係數(D)已知，則可計算出採樣率。

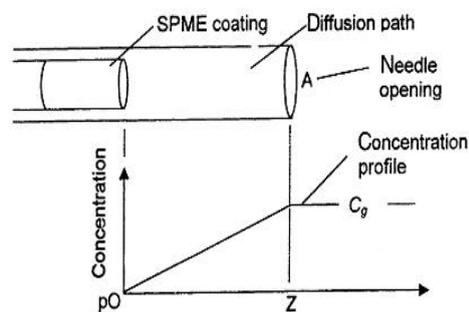
$$R = D(A/Z)$$

R: 理論採樣率

D: 擴散係數 (cm<sup>2</sup>/sec)

A: 擴散路徑的截面積 (cm<sup>2</sup>)

Z: 擴散路徑長 (cm)



## 2.6.4 影響因素

被動式採樣器於使用時之影響因素可分為兩大類<sup>(50,51,52,53)</sup>：

### 1. 採樣器之物理型狀：

即採樣器截面積、長度及兩者之比值。此項因素主要影響採樣率；截面積與長度比不同之採樣器，其反應時間不同、受界面風速影響之程度亦不相同。

### 2. 吸附劑之物理及化學性質：

- 捕集效率。
- 脫附效率。
- 捕集物之穩定性。
- 干擾物等。

## 第七節 固相微萃取 SPME

### 2.7.1 優點<sup>(51-57,60)</sup>

- 免溶劑
- 成本少
- 體積小
- 操作簡單
- 省時
- 包含採樣、萃取、濃縮及樣品注入
- FIBER可重複使用

依照分析物極性大小和性質來選擇所需的fiber

由於 SPME 不需使用有機溶劑萃取,因此可避免一般方法中使用過多的溶劑,而對環境造成的污染或者對人員的健康危害;而且 SPME 設備簡單和輕巧,不像過去熱脫附或不銹鋼筒對於揮發性有機物的採樣需要許多裝置,因此使用上更加的方便,且具有重複使用的特點。

## 2.7.2 應用原理

SPME 的採樣技術係利用擴散原理，將欲分析的物質吸附在纖維上，之後再進行脫附，並以色層分析儀分析。利用擴散原理的被動式採樣器，必須符合費氏第一定律（Fick's First Law）的兩個假設<sup>(51, 52, 53, 54, 55)</sup>：(圖 2.7.2)

- 採樣器開口的濃度與空氣中濃度相同。
- 採樣介質表面上有害物出現濃度為零。

## 2.7.3 SPME 架構

SPME 的裝置區分為 Fiber 和 Holder 兩部份。Holder 為支撐 fiber 的主要結構，而 fiber 則可根據研究物質的不同，做不同的選擇更換。

SPME fiber 的裝置主要由兩個部分組成<sup>(52,53)</sup>：(圖 2.7.3)

- needle(不鏽鋼管組成)
- fiber

needle的功能為：

- 保護纖維，避免在操作中碰觸而損毀。
- 使纖維能順利插入GC或HPLC的注射孔中。

#### 2.7.4 SPME 的纖維

SPME的纖維是利用熔融的矽纖維，在表面裹附一層具吸附性的不同聚合物，附著在一金屬絲狀物上，不使用時則縮入needle中，以受到保護。研究者在選擇時依研究物質的極性或非極性特性，選擇適合的纖維，進而達到採樣的最好效果<sup>(52,53)</sup>。由表2.7.4可以了解更多不同固相微萃取纖維的類型。

#### 2.7.5 SPME 被動式採樣器的基本資料<sup>(52, 53)</sup>

採樣器開口面積(A)為  $0.00086\text{cm}^2$

擴散路徑長 (Z) 為 0.3cm

(圖 2.7.5)

## 2.7.6 擴散係數的計算

擴散係數計算公式<sup>(58)</sup>：

$$D_{AB} = \frac{0.00143 \times T^{1.75}}{PM_{AB}^{1/2} [(\sum v)_A^{1/3} + (\sum v)_B^{1/3}]^2}$$

$D_{AB}$ : the binary diffusion coefficient of analyte in air in  $\text{cm}^2/\text{s}$  at T

T: temperature, K

$M_A$ : and  $M_B$  are molecular weight, g/mol

$M_{AB} = 2[(1/M_A) + (1/M_B)]^{-1}$

P: the external pressure, bar

$\sum v$ : the summation of atomic diffusion volumes, unitless

i: all the contributing species

A: air

B: the analyte

依據以上的理論介紹和擴散係數換算，可計算本研究中 SPME 被動式採樣器對 BTEX 四種物質的理論採樣率。

如表 2.7.6.1 中所示，苯的擴散係數為  $D=0.0907\text{cm}^2/\text{sec}$ 、理論採樣率為  $0.0156\text{cm}^3/\text{min}$ 。如表 2.7.6.2 中所示，甲苯的擴散係數為  $D=0.0816\text{cm}^2/\text{sec}$ 、理論採樣率為  $0.0140\text{cm}^3/\text{min}$ 。如表 2.7.6.3 中所示，乙苯的擴散係數為  $D=0.0746\text{cm}^2/\text{sec}$ 、理論採樣率為  $0.0128\text{cm}^3/\text{min}$ 。如表 2.7.6.4 中所示，鄰二甲苯的擴散係數為  $D=0.0746\text{cm}^2/\text{sec}$ 、理論採樣率為  $0.0128\text{cm}^3/\text{min}$ 。

### 2.7.7 影響固相微萃取的萃取因素<sup>(51-57,60)</sup>

- 吸附時間、溫度。
- 脫附時間、溫度。
- 添加溶劑。
- 添加鹽類。
- 磁石攪拌。
- 酸鹼度。
- 纖維的選擇。

### 2.7.8 固相微萃取的應用方面

近年來SPME應用方面，從過去的文獻中已經成功應用在食品、農藥、環境分析(水、土壤、空氣)等方面<sup>(59,61-78)</sup>。

- 水中微量芳香族化合物。
- 多環芳香族碳氫化合物。
- 空氣中有機污染物。
- 咖啡因。
- 魚體中有機金屬。
- 藥品分析。
- 偵測血液和尿液中的一些成分等。

## 第三章 材料與方法

### 第一節 藥品試劑

苯 Benzene : Merck

甲苯 Toluene : 99.96% TEDIA,US.

乙苯 Ethylbenzene : TEDIA,US.

鄰二甲苯 o-Xylene : 99% TEDIA,US.

二硫化碳 Carbon Disulfide (low benzene) : TEDIA,US.

### 第二節 儀器

氣相層析儀 GC :PE-AutoSystem XL

質譜儀 Mass: PE-Turbo Mass

### 第三節 設備與材料

1. 注射針幫浦：Havard Syringe Pump , model 11 , USA
2. 暴露腔：42cm(L), 14cm(OD.), 13cm(ID.)玻璃圓柱管,慶發玻璃
3. 氣體混合瓶:(含玻璃篩之氣體洗滌瓶 screw cap bottle) 500ml, SCHOTT®
4. 加熱帶：5' x 2', 120v/52w, BriskHeat® Flexible Electric Heating Tape
5. 加熱腔：15cm(L), 2.5cm(OD.)玻璃圓管, 東光玻璃
6. 空氣壓縮機 automatic silent compressor : 50/24, Werther international
7. 熱線風速計：KANAMOX®, Japan
8. 浮子氣體流量計 rotameter : glass, 65mm, GILMONT®
9. 紅外線氣體流量計：mini-BUCK CALIBRATOR® primary gas flow calibrator
10. 鐵弗龍管 Teflon tubing, NALGENE®, USA
11. 零級空氣機 Zero Air Generator : Whatman® 76-818 , USA
12. 乾燥管 water vapor trap : 1/8", SUPELCO®
13. 掌上型列印式溫濕度計：TRACEABLE® Digital Hygrometer /Thermometer
14. 定量瓶 volumetric flask : 10, 25mL, glass, IWAKI®, Japan

15. 固相微萃取萃取纖維 SPME fiber : SUPELCO® 57318
16. 固相微萃取手動裝置 SPME holder : SUPELCO® 57330-U
17. 固相微萃取採樣裝置 SPME sampling stand/4mL vial puck :  
SUPELCO® 57333-U, ( 含電磁攪拌器 stir plate )
18. 氣體採樣袋 sampling bag : 29.9cm x45.7cm, 10L, SKC® 231-08,  
USA
19. 微量注射針 syringe : 10 µL, glass, Hewlett Packard, USA
20. 氣密式注射針 gas-tight syringe : 10mL, glass, Hewlett  
Packard, USA
21. 吹風機 : 110v/1000w, MINOYA®, HK.
22. GC 管柱 : DB-1701 管徑 0.25MM 全長 30M SUPELCO®
23. 取樣瓶 vial : 4mL, glass, KIMAX®, Mexico ( 含 PTFE 中空螺蓋  
與墊片 )

## 第四節 分析方法

### 3.4.1 GC/MS 分析條件

Injector: 250

Detector: 260

Column: DB 1701

Solvent delay: 2.2 min

載流氣體流速: 0.05ml/min

fiber 熱脫附時間: 5min

分析管柱溫度設定條件: 起始溫度 40

40 for 10mins

40 /min 上升到 100

100 for 2.5mins

Total 15min

Selected Ion Recording(SIR)模式偵測 m/z: 78、91

## 第五節 檢量線的配製

以理論採樣率推算 SPME 被動式採樣器於 BTEX 濃度皆為 0.1ppm 的環境下採樣一小時之採集量，並由此配製適當之標準溶液。研究中所製備之檢量線的濃度範圍為  $3.52 \times 10^{-4} \mu\text{g/L}$ ~ $3.46 \times 10^{-6} \mu\text{g/L}$ 。

## 第六節 偵測極限

### 儀器偵測極限

將空白樣本，重複分析七次。將所得面積值平均，取三倍標準差除上檢量線斜率，之後計算出本實驗儀器偵測極限。

### 方法偵測極限

取檢量線最低濃度之溶液 1  $\mu\text{L}$  打入 GC-MS 中，重複分析七次。將所得面積值平均，取三倍標準差除上檢量線斜率，之後計算出本實驗方法偵測極限。

## 第七節 纖維的選擇

文獻指出<sup>(79)</sup>，測試 75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS、65  $\mu\text{m}$  CW/DVB、100  $\mu\text{m}$  PDMS 及 85  $\mu\text{m}$  PA. 等四種纖維對 VOCs 的吸附效果，結果發現 75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS 對揮發性有機化合物有較佳之親和力，因此本研究即選用 75  $\mu\text{m}$  Carboxen-PDMS 為測試的纖維。

## 第八節 纖維之脫附效率

將纖維插入含有 2ml ( $3.52 \times 10^{-2} \mu\text{g/L} \sim 3.46 \times 10^{-2} \mu\text{g/L}$  BTEX) 溶液的 4ml vial 中，頂空萃取 5min 後，以前述的條件分析；分析結束後隨即將纖維再插入 GC 注射口進行第二次分析，並以兩次之結果計算脫附效率。脫附效率為第一次脫附面積減去第二次脫附面積所得面積除上第一次脫附面積而得。

## 第九節 採樣率評估

本研究以空氣袋採樣及動態標準氣體製造系統製備低濃度之 BTEX 蒸氣，以進行採樣器之相關的評估。

### 3.9.1 動態標準氣體製造系統

如圖 3.9.1 所示，在系統中空氣以零級空氣機淨化後，利用 syringe pump 注入 BTEX 溶液，經氣化並與空氣混合後，獲得已知濃度之標準蒸氣。之後再將製備的 SPME 纖維採樣器插入暴露腔中進行暴露的動作，分別進行 10 到 60 分鐘之間的吸附。再將纖維取出到 GC-MS 進行分析。

### 3.9.2 空氣採樣袋

將 BTEX 溶液以注射針注入空氣採樣袋，然後導入已淨化之空氣八升，製備已知濃度之蒸氣。之後將纖維插入空氣帶中進行不同時間的暴露，再將纖維取出到 GC-MS 進行分析。

### 3.9.3 溫度的影響

同上述氣袋之步驟，將氣袋置入 4 °C 的冰箱中，以評估低溫對採樣率的影響。

### 3.9.4 溼度的影響

同上述氣袋之步驟，但於 8L 空氣中加入 153 $\mu$ l 之純水，並加以氣化，使相對溼度成為 80%<sup>(52)</sup>。

### 3.9.5 採樣器製作

如圖 3.9.5 所示，採樣器全長 13.5cm，重約 8.73g，固相微萃取之萃取纖維為主體。因採樣時的碰撞或其他因素可能會造成 SPME fiber 損傷，所以本研究取外部 11cm 長、內徑 3/8 吋的鐵弗龍套管。另外管中放入墊片以固定 fiber 在管內的位置而墊片離開口為 1cm。在採樣完成前後，將開口以鐵弗龍蓋子蓋緊密封，以避免乾淨的纖維或採得的分析物遭受到污染<sup>(51,52)</sup>。

## 第十節 樣本儲存穩定性

取 12 支 75  $\mu$ m CAR/PDMS 纖維分別暴露於 10ppm BTEX 5 分鐘後，以夾鏈袋密封，並放入 4 °C 冰箱中冷藏保存。隨後分別於第一天、第三天、第五天及第七天，各分析三支，以評估樣本儲存穩定性。

## 第十一節 纖維吸附極限

### 3.11.1 BTEX 四種物質共存時的纖維吸附極限

製備 BTEX 四種物質共存且濃度為 0.0352~0.0346  $\mu\text{g/L}$  的溶液後，取 2ml 置於 4ml 的 vial 中進行頂空萃取，萃取時間分別為 10、20、30、40、50、60、70、80、90 分鐘，吸附完後再以 GC/MS 進行分析，觀察纖維吸附的極限。

### 3.11.2 BTEX 四種物質各別存在時的纖維吸附極限

同上述步驟，但分別測試纖維對單一物質之吸附極限。

## 第四章 結果

### 第一節 分析條件

如圖 4.1 所示，在本研究的分析條件下所呈現的層析圖譜。苯的滯留時間為 2.34 分鐘；甲苯 4.04 分鐘；乙苯 7.68 分鐘；鄰二甲苯 10.02 分鐘。

### 第二節 偵測極限

如表 4.2 所示，在偵測極限方面，本研究利用空白樣本建立檢量線所推算之儀器偵測極限分別為：0.33 pg(苯)、0.53 pg(甲苯)、0.35 pg(乙苯)及 0.35 pg(鄰二甲苯)。而在方法偵測極限方面，本研究以檢量線最低濃度重複分析七次所計算出來的結果為苯 0.21ng、甲苯 0.026ng、乙苯 0.0028ng、鄰二甲苯 0.159ng。

### 第三節 纖維的脫附效率

如表 4.3 所示在纖維脫附效率方面，本研究將樣本插入 GC 注射口中，250 條件下脫附五分鐘，其脫附效率達 100%。

## 第四節 採樣率的評估

### 4.4.1 氣袋實驗採樣率- 25 、相對溼度 10%

圖 4.4.1.1 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為苯之實驗採樣率 $(7.61 \pm 0.96) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.1.2 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為甲苯之實驗採樣率 $(6.82 \pm 0.67) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.1.3 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集乙苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為乙苯之實驗採樣率 $(6.87 \pm 0.56) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.1.4 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集鄰二甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為鄰二甲苯之實驗採樣率 $(6.61 \pm 0.47) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

#### 4.4.2 氣袋實驗採樣率- 4 、相對溼度 10%

圖 4.4.2.1 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為苯之實驗採樣率 $(7.68 \pm 0.39) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.2.2 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為甲苯之實驗採樣率 $(7.07 \pm 0.88) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.2.3 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集乙苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為乙苯之實驗採樣率 $(7.58 \pm 0.86) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.2.4 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集鄰二甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為鄰二甲苯之實驗採樣率 $(7.82 \pm 0.89) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

#### 4.4.3 動態暴露系統實驗採樣率 - 25 、風速 50 fpm

圖 4.4.3.1 所示,為使用動態暴露系統進行暴露評估的結果,以”固相微萃取纖維採集苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中,採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析,得迴歸線斜率即為苯之實驗採樣率 $(7.11 \pm 0.51) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.3.2 所示,為使用動態暴露系統進行暴露評估的結果,以”固相微萃取纖維採集甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中,採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析,得迴歸線斜率即為甲苯之實驗採樣率 $(5.99 \pm 0.85) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.3.3 所示,為使用動態暴露系統進行暴露評估的結果,以”固相微萃取纖維採集乙苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中,採樣量隨著時間與濃度增加而上升。在以線性迴歸分析,得迴歸線斜率即為乙苯之實驗採樣率 $(7.40 \pm 0.54) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.3.4 所示,為使用動態暴露系統進行暴露評估的結果,以”固相微萃取纖維採集鄰二甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中,採樣量隨著時間與濃度增加而上升。在以線性迴歸分析,得迴歸線斜率即為鄰二甲苯之實驗採樣率 $(7.74 \pm 0.66) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

#### 4.4.4 氣袋實驗採樣率- 25 、相對溼度 80%

圖 4.4.4.1 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為苯之實驗採樣率 $(9.02 \pm 0.78) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.4.2 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為甲苯之實驗採樣率 $(9.57 \pm 0.62) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.4.3 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集乙苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為乙苯之實驗採樣率 $(7.98 \pm 0.51) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

圖 4.4.4.4 所示，為使用空氣袋進行暴露評估的結果，以”固相微萃取纖維採集鄰二甲苯之量”對”暴露時間與濃度”之作圖中，採樣量隨著時間與濃度增加而上升。再以線性迴歸分析，得迴歸線斜率即為鄰二甲苯之實驗採樣率 $(8.25 \pm 0.48) \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{min}$ 。

#### 4.4.5 實驗採樣率的結果比較

##### 4.4.5.1 苯蒸氣的採樣率

由圖 4.4.5.1 所示，觀察苯在四個狀態下所呈現的實驗採樣率。

##### 4.4.5.1.1 溫度對苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和溫度變化(4 °C, 10% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.95)。所以溫度對於苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.1.2 濕度對苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和濕度變化(25 °C, 80% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.44)。所以濕度對於苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.1.3 風速對苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和風速變化(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm, 50FPM)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.66)。所以風速對於苯採樣率並不會影響。

經由這四個狀態所得苯的實驗採樣率為 $(7.46 \pm 0.63) \times 10^{-3}$  mL/min。

#### 4.4.5.2 甲苯蒸氣的採樣率

由圖 4.4.5.2 所示，觀察甲苯在四個狀態下所呈現的實驗採樣率。

##### 4.4.5.2.1 溫度對甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.2 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和溫度變化(4℃, 10% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異( $p=0.85$ )。所以溫度對於甲苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.2.2 濕度對甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.2 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和濕度變化(25℃, 80% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，有統計上的顯著差異( $p=0.017$ )。所以 80%濕度下對於甲苯採樣率是會有所影響。

##### 4.4.5.2.3 風速對甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.2 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和風速變化(25℃, 10% R.H., 0.1ppm, 50FPM)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異( $p=0.47$ )。所以風速對於甲苯採樣率並不會影響。

經由這四個狀態所得甲苯的實驗採樣率為 $(6.61 \pm 0.87) \times 10^{-3}$  mL/min。

#### 4.4.5.3 乙苯蒸氣的採樣率

由圖 4.4.5.3 所示，觀察乙苯在四個狀態下所呈現的實驗採樣率。

##### 4.4.5.3.1 溫度對乙苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和溫度變化(4 °C, 10% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.49)。所以溫度對於乙苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.3.2 濕度對乙苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和濕度變化(25 °C, 80% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.23)。所以濕度對於乙苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.3.3 風速對乙苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.1 所示，將一般條件下(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm)和風速變化(25 °C, 10% R.H., 0.1ppm, 50FPM)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異(p=0.54)。所以風速對於乙苯採樣率並不會影響。

經由這四個狀態所得乙苯的實驗採樣率為 $(7.22 \pm 0.71) \times 10^{-3}$  mL/min。

#### 4.4.5.4 鄰二甲苯蒸氣的採樣率

由圖 4.4.5.4 所示，觀察鄰二甲苯在四個狀態下所呈現的實驗採樣率。

##### 4.4.5.4.1 溫度對鄰二甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.4 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和溫度變化(4℃, 10% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異( $p=0.25$ )。所以溫度對於鄰二甲苯採樣率並不會影響。

##### 4.4.5.4.2 濕度對鄰二甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.4 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和濕度變化(25℃, 80% R.H., 0.1ppm)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，有統計上的顯著差異( $p=0.034$ )。所以 80%濕度下對於鄰二甲苯採樣率是會有所影響。

##### 4.4.5.4.3 風速對鄰二甲苯蒸氣採樣的影響

由圖 4.4.5.4 所示，將一般條件下(25℃, 10% R.H., 0.1ppm)和風速變化(25℃, 10% R.H., 0.1ppm, 50FPM)的條件下之斜率進行統計檢定，結果這兩個條件下之採樣率，並沒有統計上的顯著差異( $p=0.18$ )。所以風速對於鄰二甲苯採樣率並不會影響。

經由這四個狀態所得鄰二甲苯的實驗採樣率為 $(7.39 \pm 0.84) \times 10^{-3}$  mL/min。

從前述不同環境下的影響因素，所得到的實驗採樣率與本研究所推算出的理論採樣率方面是有差異的，其大約所呈現的結果約為理論採樣率的 50%。所以在針對不同的揮發性有機物進行採樣時，應先了解以固相微萃取設備所做出來的採樣率結果為考量，避免造成不正確的採樣率的估算。

在相對濕度 80%的環境下，實驗採樣率大於 10%的相對濕度。而其可能在於溼度的上升產生水氣的吸附面增加，而使得採樣率上升，這點也是研究中應該注意的地方。

## 第五節 樣本儲存穩定性

### 4.5.1 苯

如圖 4.5.1 所示，在 4℃ 冰箱中儲存兩天後，回收可達 94%。  
而在七天後其回收也可達 93%。

### 4.5.2 甲苯

如圖 4.5.1 所示，在 4℃ 冰箱中儲存兩天後，回收可達 119%；  
在第五天回收可達 118%，而在七天後其回收達 137%。

### 4.5.3 乙苯

如圖 4.5.2 所示，在 4℃ 冰箱中儲存兩天後，回收可達 84%；  
七天後其回收也可達 96%。

### 4.5.4 鄰二甲苯

如圖 4.5.2 所示，在 4℃ 冰箱中儲存兩天後，回收可達 98%  
；七天後其回收可達 68%。

由以上結果顯示，各物質兩天的儲存穩定性為 100 ±0%以上，且  
統計上無顯著差異；七天的儲存則依物質的不同而有不同的結果。

## 第六節 纖維的吸附能力

### 4.6.1 BTEX 四種物質混合時的纖維吸附極限

#### 苯

如圖 4.6.1 所示，在 80 分中時，達到一個最大值，其所呈現的平衡時間大約在 70 分鐘，其吸附量約為 16ng。

#### 甲苯

如圖 4.6.1 所示，在 70 分鐘時呈現一個平衡狀態，其吸附量約為 5.96ng。

#### 乙苯

如圖 4.6.1 所示，在 70 分鐘時呈現一個平衡狀態，其吸附量約為 2.6ng。

#### 鄰二甲苯

如圖 4.6.1 所示，在 70 分鐘時呈現一個平衡狀態，其吸附量約為 3.2ng。

#### 4.6.2 BTEX 四種物質個別存在時的纖維吸附極限

##### 苯

如圖 4.6.2.1 所示，在 70 分達到一個最大的平衡狀態，其吸附量約為 24.9ng。

##### 甲苯

如圖 4.6.2.2 所示，在 70 分達到一個最大的平衡狀態，其吸附量約為 10.3ng。

##### 乙苯

如圖 4.6.2.3 所示，在 80 分達到一個最大值，其吸附量約為 21.48ng。

##### 鄰二甲苯

如圖 4.6.2.4 所示，在 60 分達到一個最大值，其吸附量約為 6.16ng。

從以上結果觀察到物質在個別和混合狀態，其吸附量並不一致。假設於 0.1ppm 的濃度下採樣，吸附極限測試的結果顯示，在混合狀態下，苯可吸附時間約為 60 小時；甲苯則可吸附約 20 小時；乙苯和鄰二甲苯約 10 小時。在個別存下，苯可吸附時間約為 80 小時；甲苯則可吸附約 30 小時；乙苯則可吸附約 70 小時；鄰二甲苯約 20 小時。

## 第五章 結論與建議

本研究以SPME製成之被動式採樣器對室內低濃度揮發性有機化合物進行短時間採樣驗證。結果顯示，對BTEX四物質有低的儀器偵測極限，範圍為0.33~0.53 pg；在方法偵測極限方面，範圍為0.21ng~0.0028ng。以250 熱脫附5分鐘下，其脫附效率約100%的。風速對於BTEX四種物質採樣率並沒有影響 ( $p>0.19$ )；4 ~25 的溫度變化對採樣率沒有影響 ( $p>0.25$ )；80%的濕度對甲苯 ( $p=0.017$ )、和鄰二甲苯 ( $p=0.034$ )採樣率是有影響的，而對於苯和乙苯並沒有影響的。

纖維吸附極限測試顯示，當四種物質共存時，在 0.1 ppm 環境下，可連續採集 10~60 hours(乙苯~苯)。當四種物質個別進行吸附時則，則可以連續採集 20~80 hours(鄰二甲苯~苯)。儲存穩定性方面，各物質在儲存兩天後可回收  $100 \pm 20\%$ 以上。

本研究針對揮發性有機物 BTEX 四種物質，得到的實驗採樣率低於理論採樣率。因此以後針對不同的揮發性有機物進行採樣時，應考慮固相微萃取設備實際的採樣率，如此才不會造成低估實際揮發性有機物的濃度。

此外，本研究選用的吸附纖維為雙極性，吸附材質為兩種性質的物質，其吸附狀況是否影響採樣率的因素是一個值得更深入探討的問題。而在此 SPME 纖維內的擴散路徑和吸附物質的截面積為何，是否同時針對纖維內管壁吸附或者是因為只對單一的面進行吸附所造成的採樣率的影響，也可能是一個問題所在。

上述的結果了解本研究的方法可以在短時間、低濃度情況下，有效採集揮發性有機物，但須注意環境濕度的影響。未來的研究中則可與現行的其他方法進行實驗室與現場平行比對，以確認不同方法的結果是否有一致性。

## 參考文獻

1. Sterling, D.A.:Indoor air and human health. In: Gammage RB,Kaye SB,Jacobs VA, editors. Volatile organic compounds in indoor air; an overview of sources, concentrations and health effects. 1985:387.
2. Samfield, M.M.:Indoor Air Quality data base for organic compounds. EPA-600/13, 1992
3. Srivastava, P.K., Pandit ,G.G., Sharma, S., Mohan Rao, A.M.: Environmental Assessment Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai-400085, India.
4. Chris Kent:基礎毒理學,高立圖書有限公司 2001:192-193.
5. Chris Kent:基礎毒理學,高立圖書有限公司 2001:188-189.
6. Kostianen R.: Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. Atmos Environ 1995;29(6) :693-702.
7. NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 1500,Fourth Edition, 8/15/94.
8. NIOSH Manual of Analytical Methods, Method 1501,Fourth Edition, 8/15/94.
9. 行政院環境保護署. NIEA A715.10A,空氣中揮發性有機化合物 檢測方法 - 不銹鋼採樣筒/氣相層析質譜儀法.
- 10.Robinson, J.,Nelson, W.C.: National human activity pattern survey data base. United States Environmental Protection Agency. Research Triangle Park NC, 1995.
- 11.Montgomery, D.D., Kalman, D.A.: 1989. Indoor/outdoor air quality: Reference concentrations in complaint free residences.Appl. Ind. Hyg. 4, 17-20.
- 12.Norback, D., Torgen, M., Edling, C.: Volatile organic compounds, respirable dust and personal factors related to prevalence and

- incidence of sick building syndrome in primary schools. *Bri. J. Ind. Med.* 1990,47, 733-741.
13. Gusten, J., Strindehag, O.: Experiences of measures taken to improve the air quality in schools. *Air Infiltration Review* 1995,16, 5-8.
  14. Brickus, SRL., Cardoso, J.N., Neto FEDA.: Distributions of indoor and outdoor air pollutants in Rio de Janeiro, Brazil: implications to indoor air quality in bayside offices. *Environ Sci Technol* 1998; 32: 3485-3490.
  15. 陳永仁, 陳文雄: 環境衛生學. 國立空中大學印行: 83-96.
  16. Daisey, J.M., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Brinke, J.T.: Volatile organic compounds in twelve California office buildings: classes, concentrations and sources. *Atmos Environ* 1994; 28(22) : 3557-3562.
  17. Nelson, P.F., Quigley, S.M. : The hydrocarbon composition of exhaust emitted from gasoline fueled vehicles. *Atmos Environ* 1983; 18 1 : 79-84.
  18. 經濟部工業局、工安環保報導 <http://she.moeaidb.gov.tw/index0.htm>
  19. 空氣污染防治專責人員訓練教材, 污染排放特性和排放推估 67-75.
  20. [http://www.hklf.org/Sick%20Building%20Syndrome\\_C.html](http://www.hklf.org/Sick%20Building%20Syndrome_C.html)
  21. <http://ceiba3.cc.ntu.edu.tw/course/564c11/course1.htm>
  22. 行政院勞工委員會, 勞工安全衛生研究所: 物質安全資料表 (苯、甲苯、乙苯、鄰二甲苯等...)
  23. Berglund, B., Johansson, I., Lindvall, T., Lundin, L., Morath, C. : Air quality and symptoms in a sick library. In: R. Perry and P.W. Kirk (Eds.), *Indoor and Ambient Air Quality: Shelper*, London, 1988, 355-364.
  24. World Health Organization (WHO). Indoor air pollutants Exposure and health effects EURO Reports and studies No.78 Report on a Meeting

- of the Working Group on Assessment and Monitoring of Exposure to indoor Pollution. WHO Regional Office, Copenhagen. 1983,4.
- 25.Simon, M. J. :The Sick (Library) Building Syndrom, Libr AdmManage Spring, 1990;4: 877-891.
- 26.Clark, Susan M. : Every Breath You take: Indoor Air Quality in the Library,Can Libr J;42 (Dec.1985); 327-334.
- 27.<http://www.trusted.com.tw/20020419008.html#>
- 28.<http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>  
Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals.
- 29.Chan, CC., Lin, SH. ,Her, GR.: Student's exposure to volatile organic compounds while commuting by motorcycle and bus in Taipei City. Journal of the Air & Waste Management Association1993 Sep; 43(9):1231-8.
- 30.<http://twdeco.sina.com.tw/ideas/flooring/2.htm>
- 31.LaRus,James., LaRue,Suzanne.:The Green Librarian, Wilson Libr Bull,65:6 (Feb. 1991), 27-33.
- 32.Brook,B.O., Debroy,J.A., Schimke, R. D.:Indoor Air Pollution: An Edifice Complex, Clinical Toxicology 1991; 315-374.
- 33.Baron,E.J., Peterson,L.R., Finegold, S.M.:Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology, 9th edition, Mosby 1994;222.
- 34.Nester,E.W., Roberts,C. E., Martha,T. N. : Microbiology:ab Human Perspective,Wm, C. Brown Publishers 1995; 449-496.
- 35.韓韶華.熊映美.趙慧瑛.張律音.彭志剛.謝長富.陳瑞青:台北地區空氣中的黴菌及其孢子.中華微免雜誌 1980;13 :309-330.
- 36.蔡文城.顧蕙祺:圖書館空氣中之微生物總含量調查及評估.中國圖書館學會會報 ,民國 84 年 6 月,54 期.

37. Buttner, M. P., Stetzenbach, L. D.: Evaluation of Four Aerobiological sampling Methods for the Retrieval of Aerosolized *Pseudomonas Syringae*, *Appl Environ Microbiol* Apr. 1991; 57(4):1268-1270.
38. 蔡文城: 微生物學, 第二版, 藝軒圖書出版社, 民國 80 年: 413-415.
39. Organic Vapors Method No. 07, OSHA Analytical Laboratory, OSHA.
40. U.S. EPA, May, 1988: The determination of volatile organic compounds in ambient air using SUMMA passivated canisters sampling and gas chromatographic analysis, compendium method TO-14.
41. 行政院環境保護署. NIEA A715.11B, 89 年空氣中揮發性有機化合物檢測方法 - 不銹鋼採樣筒/氣相層析質譜儀法.
42. Xylenes (o-, m-, p-isomers), ethylbenzene Method No. 1002, OSHA Analytical Laboratory, OSHA.
43. Benzene Method No. 1005, OSHA Analytical Laboratory, OSHA.
44. <http://w3.itri.org.tw/cis/home/idb/datanews/mag/41/41-6.htm>
45. 洪益夫: 熱脫附氣象層析儀分析尿液中 BTEX 化合物之研究.
46. 郭錦堂, 許麗秋: 利用固相微萃取量測尿中 BTEX 之技術. *中國醫藥科學雜誌* 2000;1(4):247-254.
47. Seifert, B., Ullrich, D.: *Atmos. Environ.* 21(1987) 395.
48. Holcomb, L.C., Seabrook, B.S.: *Indoor Environ.* 4 (1995) 7.
49. Elke, K., Jermann, E., Begerow, J., Dunemann, L.: Determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in indoor air at environmental levels using diffusive samplers in combination with headspace solid-phase microextraction and high-resolution gas chromatography-flame ionization detection. *Journal of chromatography A* 1998;826 :191-200.
50. 徐敬暉: 被動式採樣器之介紹. *勞工安全衛生簡訊* 1993;5:1-5.

51. Tsai, S.W., Chang, T.A.: Time-weighted average sampling of airborne n-valeraldehyde by a solid-phase microextraction device *Journal of Chromatography A* 2002; 954 :191–198.
52. Tsai, S.W., Wu, K.K. : Determination of ethylene oxide by solid-phase microextraction device with on-fiber derivatization *Journal of Chromatography A* 2003;991: 1–11.
53. Arthur, C. L., Pawliszyn, J. *Anal. Chem.* 1990; 62: 2145.
54. Zhang, Z., Yang, M. J., Pawliszyn, J. *Anal. Chem.* 1994;66: 844.
55. Tsai, S.W., Que Hee, S.S.: A new passive sampler for regulated workplace aldehydes. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1999;14:255-262.
56. Tsai, S.W., Que Hee, S.S.: A new passive sampler for aldehydes. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1999;60:463-473.
57. West, P.W., Reiszner, K.D.: Field test of a permeation type personal monitor for vinyl chloride. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1978;39:645-650.
58. Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling 1988.
59. Llompart, M., Li, K., Fingas, M. *Anal.: Chem.* 1998;70: 2510.
60. Pawliszyn, J.: *Solid Phase Microextraction*; Wiley-VCH: New York, 1997.
61. Potter, D. W., Pawliszyn, J.: *Environ. Sci. Technol.* 1994; 28:298.
62. Chai, M.; Arthur, C. L.; Pawliszyn, J.: *Analyst* 1993;118:1501.
63. Buchholz, K. D., Pawliszyn, J.: *Anal. Chem.* ;1994, 66, 160.
64. Buchholz, K. D., Pawliszyn, J.: *Environ. Sci. Technol.* 1993; 27:2844.
65. Bartak, P., Cap, L.: *J. Chromatogr. A* 1997; 767:171.
66. Young, R., Lopez-Avila, V. J.: *High Resolut. Chromatogr.* 1996,19:247.
67. Dugay, J., Miege, C., Hennion, M. C.: *J. Chromatogr. A* 1998;795:27.
68. Volmer, D. A., Hui, J. P. M. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1998;35:1.
69. Moder, M., Popp, P., Eisert, R., Pawliszyn, J. F.: *J. Anal. Chem.* 1999; 363: 680.

- 70.Hwang, B., Lee, M.: J. Chromatogr. A 2000, 898: 245.
- 71.Ho, W. H., Hsieh, S. J.: Anal. Chim. Acta 2001, 428:111.
- 72.Boyd-Boland, A. A.,Pawliszyn, J. :J. Chromatogr. A 1995; 704:163.
- 73.Barnabas, I. J., Dean, J. R., Fowlis, J. R., Owen, S. P. :J.Chromatogr. A 1995; 705: 305.
- 74.Magdic, S., Boyd-Boland, A. A., Jinno, K., Pawliszyn, J. : J.Chromatogr. A 1996;736: 219.
- 75.Jinno, K., Muramatsu, T., Saito, Y., Kiso, Y.,Magdic, S.Pawliszyn, J. J. :Chromatogr. A 1996;754:137.
- 76.Choudhury, T. K., Gerhardt, K. O., Mawhinney, T. P. :Environ. Sci. Technol. 1996; 30:3259.
- 77.Sng, M. T., Lee, F. K., Lakso, H. A.: J. Chromatogr. A 1997;759:225.
- 78.Valor, I., Molto, J. C., Apraiz, D., Font. G. :J. Chromatogr. A 1997;767:195.
- 79.Lee, J.H., Hwang, S.M., Lee, D.W., Heo, G. S. :Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Tedlar Bag/Solid-phase Microextraction/Gas Chromatography /Mass Spectrometry (SPME/GC/MS) in Ambient and Workplace AirBull. Korean Chem. Soc. 2002;23(3):488-496.
- 80.行政院勞委會標準分析參考方法苯、甲苯、乙苯、二甲苯.
- 81.Chan, C.C., Lin, S.H., Her, G.R.: Office worker's exposure to volatile organic compounds while commuting and working in Taipei city. Atmos. Environ. 1994; 28(14): 2351-2360.