

中國醫藥大學

碩士論文

編號：IEH-1710

室內停車場多環芳香烴化合物與總揮發性
有機化合物濃度調查研究

**The study of polycyclic aromatic
hydrocarbons and total volatile organic
compounds concentrations in the indoor
parking lot**

所別：環境醫學研究所

指導教授：許惠棕

學生：王雅玲 Wang Ya Ling

學號：9465010

中華民國 九十六 年 七 月

誌謝

論文總算如期完工，只能說自己真是了不起，從踏進做研究的過程中即遭逢許多的困難，但自己還是揮灑著淚水挾帶汗水一路走過來，真的要感謝很多協助我、支持我、唱衰我、扯我後腿的人，你們都是我的貴人，沒有你們的幫忙與破壞就沒有今天這篇論文的產生。在我碩士生涯最重要的貴人莫過於我的指導教授『北極熊』-許惠棕老師，您真的是我踏到環境領域學習的嚮導，感謝您在我要準備換研究領域及休學的兩難中願意讓我有機會留下來與您學習做研究，說實在的我不是一個很聰穎的學生，但你真的很有耐心地協助並開導我完成許多研究上、生活上的疑惑，在與您相處短短一年半的日子中，發現您真的猶如我的家人與朋友，一方面可以提供我做研究上的解惑者，另一方面可與我侃侃而談日常生活瑣事的達觀者；對您只有無限的感激與感恩，有許多的話不是能以筆墨來形容就能表達的，一切盡在不言中，不過最後還是要跟老師您說，老師你人真的很好，是個好老師，最後祝福老師身體健康、學術生涯大放異彩。

論文的能順利完成，誠摯感謝郭錦堂老師、林文印老師在百忙中撥空審查學生的論文，給予學生許多中肯的建議令學生受益良多；此外也要感謝工研院的講話超小聲的謝瑞豪先生出借儀器給我做採樣，不定時地會接到我問問題的電話連環 call，很感謝你細心回答我的疑問。

在碩士生涯研究過程中真的很苦悶，很感謝一路上有梅瑛這位好姐妹的支持鼓勵與相伴，讓我的學習過程增加不少的樂趣，憶起我在進行研究採樣時，遭遇到被驅趕、被罵、偷偷摸摸擺採樣器、數車流量等許多的挫折，都是有你一直在我身旁鼓勵及全力協助我完成採樣，這篇論文才得以順利完成，只能說在這段日子『有妳相伴真好』。另外也要感謝我的好麻吉-慈玲同學，陪同我坐在烏煙瘴氣的停車場及大馬路上數車子及當我的垃圾桶聽我吐苦水，我要告訴遠在澳洲當農婦的妳說~我出運啦!我完成這本論文啦!你回國後我會拿一本給你蓋泡麵的!

當然不會忘記你們呢!就是我那可愛的研究室夥伴們，大胖-耕溥、貴夫人-珮琳、正妹-祖慧、兩光蟲-雯萱、第一名-晏如、諜報員-阿哲、阿呆-軍佑，謝謝你們這些日子來帶給我無數的歡樂與鼓勵。

文末，不免要好好感謝一天沒唸我就會失眠的王爸爸、全力支持我的王媽媽，還有一心想出名的王大弟、沉默寡言的王小弟及可愛的阿公、阿嬤，因為有你們的無私付出及支持，我才能順利完成碩士學位，我想大聲告訴你們『我愛死你們啦!』

2007 仲夏

中文摘要

汽機車交通所排放廢氣為台灣都會地區空氣污染最主要的污染源，主要的污染物質包括懸浮微粒、揮發性有機化合物(VOCs)及多環芳香烴化合物(PAHs)，而台灣地區機動車使用密度高達 566 輛/每平方公里位居世界之冠，故在都會區域設置室內停車場就變得不可或缺，加上停車場大都設置於大樓的地下室或室內，汽機車所排放的污染物質遂無可避免的會累積在停車場中。目前我國室內空氣品質建議值只規定每小時總揮發性有機化合物(TVOCs) 平均值濃度為 3 ppm，並未對人體具有致癌性及致突變性之多環芳香烴類(PAHs)濃度訂定相關管制標準，這對長期待在停車場工作員工會產生健康上的影響。

本研究目的欲瞭解室內停車場相較於室外主要道路，汽車排放的廢氣中所含的 TVOCs 及 pPAHs 濃度現況，以及不同空間構造的室內停車場假日、非假日 TVOCs 及 pPAHs 濃度差異和車流量相關性。我們選取了兩處主要道路與三家密閉式、三家半開放式停車場於假日及非假日，使用即時(Real-Time)的光電氣膠偵測器(Photoelectric Aerosol Sensor, PAS)及攜帶式 ppb 有機溶劑連續偵測器(Parts per Billion VOC Monitor, ppbRAE)進行 pPAHs 與 TVOCs 濃度的監測，並輔以車流量的計數、通風量的量測。

本研究結果發現室內密閉式停車場連續一週之 pPAHs 每日平均濃度

範圍介於 $57.77 \pm 31.06 \sim 114.89 \pm 88.33 \text{ ngm}^{-3}$ 明顯高於兩處主要道路 $1.64 \sim 2.87$ 倍 ($19.43 \pm 22.06 \sim 70.14 \pm 64.4 \text{ ngm}^{-3}$) 及 $2.67 \sim 2.82$ 倍 ($19.8 \pm 16.03 \sim 35.78 \pm 19.68 \text{ ngm}^{-3}$)，顯示室內停車場的污染程度較室外嚴重。另假設密閉式停車場的室內環境與隧道相類似，且 pPAHs 濃度主要是由汽機車所貢獻，將 pPAHs 濃度換算成 Benzo(a)pyrene 可發現密閉式停車場的濃度值範圍高達 $2.70 \sim 5.38 \text{ ngm}^{-3}$ ，與義大利空氣中有害物質容許濃度標準的 1 ngm^{-3} 相較，高出 $2.7 \sim 5.38$ 倍，而在三家半開放式與三家密閉式停車場假日與非假日幾何平均值濃度有統計上顯著性差異；另也發現主要道路與室內停車場假日與非假日平均 TVOCs 濃度值，以密閉式停車場為最高 (1005.67 ± 303.24 、 $1164.55 \pm 289.30 \text{ ppb}$)，但尚未超過室內空氣品質建議值每小時 3 ppm 的標準。此外，pPAHs、TVOCs 與車流量濃度均呈現無顯著相關或弱相關，可能是分別與室內停車場極少有柴油車進出和空間體積有關。

依據結果可發現室內停車場 pPAHs、TVOCs 濃度皆明顯高於主要道路，而室內停車場是停車場員工長期所待之處，其易暴露到汽機車所排放之廢氣中致癌性的 pPAHs 與 TVOCs，因此相關單位有必要定期至室內停車場監測 pPAHs 與 TVOCs 的濃度變化，以維護停車場員工健康安全。

關鍵字: 室內停車場、多環芳香烴化合物、揮發性有機化合物、光電氣膠偵測器、有機溶劑連續偵測器

Abstract

The vehicular traffic exhaust is the main pollution sources in urban region of Taiwan. The main pollutants included suspended particulate matter, VOCs, and PAHs. The vehicle use density reaches as high as 566 car/km² to be situated crown of the world, therefore the parking lot establishment is becoming more important. The parking lot is mostly set up in basement or indoor, pollutants by vehicular traffic exhaust can accumulate at the parking lots unavoidable. The regulation proposing value of indoor air quality, only define the average TVOCs 3 ppm per hour, by no means right PAHs which has mutagenic and carcinogenic properties carries on controlling therefore parking lot attendants who long term stay in workplace health effective caused by vehicular traffic exhaust.

The aim of this study is to compare the indoor parking lot with the roadway, in order to determine TVOCs and pPAHs concentration variation comes from vehicular traffic exhaust, as well as TVOCs and pPAHs concentration variation which are associated with traffic volume on weekend and weekday in different spatial structure parking lots. We have selected two central roadway with three enclosed types, three semi-open style parking lots. At the same time we use Photoelectric Aerosol Sensor (PAS) and portable Parts per Billion VOC Monitor (ppbRAE) to measure pPAHs and VOCs concentration respectively, Traffic volume and ventilation rate were also measured simultaneously .

This study showed that the daily average concentrations of pPAHs for seven consecutive days were in the range 57.77±31.06~114.89±88.33 ngm⁻³. The concentration were higher than two outdoor environments for about

1.64~2.87 times ($19.43 \pm 22.06 \sim 70.14 \pm 64.4 \text{ ngm}^{-3}$) and 2.67~2.82 times ($19.8 \pm 16.03 \sim 35.78 \pm 19.68 \text{ ngm}^{-3}$) respectively. This implies that pollution level in indoor parking lot is more seriously than that of outdoor. Otherwise supposition enclosed type parking lot indoor environment is similar to tunnel, also the pPAHs concentration dominated by vehicular traffic exhausts, conversion the pPAHs concentration to the Benzo(a)pyrene which found enclosed type parking lot concentration as higher as $2.70 \sim 5.38 \text{ ngm}^{-3}$, compares with air quality index of Italian 1 ngm^{-3} higher than 2.7~5.38 times. More over three semi-open style and three enclosed types parking lots on weekend and weekday which pPAHs geometry mean have significant. In respect of average TVOCs concentration in enclosed types parking lots on weekend and weekday that was found in the highest concentration ($1005.67 \pm 303.24, 1164.55 \pm 289.30 \text{ ppb}$), but not yet above average TVOCs 3 ppm per hour of indoor air quality suggestion value. In addition, the relationship between pPAHs, TVOCs concentration and traffic volume observed in indoor parking lots were with low correlation. This may be due to low number of diesel vehicle and spatial volume difference.

As results that found pPAHs, TVOCs concentration of indoor parking lots were higher than the roadway. The parking lot where the attendants stay for a long time, they easily exposure to carcinogenicity pPAHs and TVOCs comes from vehicular exhaust, therefore the relevant units to the government have to regularly monitor pPAHs and TVOCs concentration variation in the parking lots that ensure protecting the health of people working in the parking lot.

Key words: Indoor parking lot, PAHs, VOCs, PAS, ppbRAE

【目 錄】

誌謝	I
中文摘要	III
Abstract	V
目錄	VII
表目錄	X
圖目錄	XII
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與研究動機	1
第二節 研究的重要性	3
第三節 研究目的	4
第二章 文獻回顧	5
第一節 多環芳香烴化合物的特徵	5
第二節 多環芳香烴化合物的形成	9
第三節 PAHs 對人體造成的健康危害	13
第四節 PAHs 吸附於懸浮微粒上的分布狀況	14
第五節 國內外使用 PAS 進行空氣品質調查相關研究	17
第六節 揮發性有機化合物來源及特性	21

第七節	VOCs 之 BTEX 對人體造成的健康危害	23
第八節	室內空氣品質的重要性	25
第三章	研究方法	32
第一節	研究設計	32
第二節	研究採樣規劃	43
第三節	研究架構	44
第四節	研究對象	45
第五節	研究採樣分析設備	46
第六節	車流量的計數	51
第七節	停車場室內通風量之量測	53
第八節	資料統計與分析	57
第四章	研究結果	58
第一節	A2 主要道路與 C1 密閉式停車場 pPAHs 濃度變化趨勢	58
第二節	主要道路與密閉室停車場 pPAHs 濃度描述性統計	60
第三節	三家密閉式與半開放式停車場 pPAHs 濃度描述性統計	65
第四節	假日與非假日半開放式及密閉式停車場 pPAHs 濃度比較 ...	68
第五節	主要道路與半開放式及密閉式停車場 TVOCs 濃度描述	71
第六節	車流量與 pPAHs 濃度相關性	76
第七節	停車場通風設備之描述	82

第五章 討論.....	85
第一節 研究採樣點說明.....	85
第二節 pPAHs 濃度與其它研究比較.....	86
第三節 TVOCs 濃度與其他研究比較.....	91
第四節 車流量與 pPAHs 濃度相關性探討.....	93
第六章 結論與建議.....	94
第一節 結論.....	94
第二節 研究限制.....	96
第三節 應用建議.....	97
參考文獻.....	98
附件一.....	107

【表 目 錄】

表 2-1	16 種 PAHs 之結構式、分子量、物理特性及 USEPA、IARC 國際癌症分	6
表 2-2	國外使用 PAS 進行空氣品質調查相關研究	20
表 2-3	BTEX 之癌症分類與毒性危害	24
表 2-4	各國室內空氣品質建議值	27
表 2-5	各國密閉式停車場通風設備通風量之標準建議值	30
表 3-1	兩處主要道路與六家購物中心附屬停車場採樣點描述	34
表 3-2	ppbRAE PGM-7240 可測量範圍、解析度及反應時間	50
表 3-3	車輛分類	52
表 3-4	AVM-03 風速測量器可測量風速範圍	55
表 3-5	AVM-03 風速測量器可測量溫度範圍	56
表 4-1	Site A-1 連續一週 pPAHs 濃度值	61
表 4-2	Site A-2 連續一週 pPAHs 濃度值	62
表 4-3	Site C-1 連續一週 pPAHs 濃度值	63
表 4-4	連續一週為期八小時經由 PAS 所測到 pPAHs 尖峰濃度	64
表 4-5	三家密閉式停車場 pPAHs 描述性統計	66

表 4-6	三家半開放式停車場 pPAHs 描述性統計	67
表 4-7	三家半開放式停車場假日與非假日 pPAHs 濃度(ngm^{-3})比較....	69
表 4-8	三家密閉式停車場假日與非假日 pPAHs 濃度(ngm^{-3})比較.....	70
表 4-9	主要道路連續一週 TVOCs 描述性統計	72
表 4-10	半開放式與密閉式停車場 TVOCs 描述性統計	73
表 4-11	主要道路車流量.....	77
表 4-12	密閉式停車場車流量	78
表 4-13	半開放式停車場車流量	79
表 4-14	C1 採樣點附近通風口之平均風速值(m/s).....	83
表 4-15	C1 採樣點附近通風口之通風量(米立方公尺/分鐘)	84
表 5-1	不同都市使用 PAS 量測到白天最高一小時 pPAHs 濃度.....	88

【圖目錄】

圖 2-1	大氣氣膠表面粒徑分布圖	15
圖 3-1	A1 主要道路採樣點.....	35
圖 3-2	A2 主要道路採樣點.....	36
圖 3-3	C1 密閉式停車場採樣點	37
圖 3-4	C2 密閉式停車場採樣點	38
圖 3-5	C3 密閉式停車場採樣點	39
圖 3-6	S1 半開放式停車場採樣點	40
圖 3-7	S2 半開放式停車場採樣點	41
圖 3-8	S3 半開放式停車場採樣點	42
圖 3-9	光電氣膠偵測器 PAS2000CE.....	46
圖 3-10	Principle of the Photoelectric Aerosol Sensor	47
圖 3-11	可攜式 ppb 有機溶劑連續偵測器 ppbRAE PGM-7240.....	48
圖 3-12	風速量測器 AVM-03	53
圖 4-1	連續一週 A2 主要道路每日的 pPAHs 濃度變化趨勢	59
圖 4-2	連續一週 C1 密閉式停車場每日的 pPAHs 濃度變化趨勢	59
圖 4-3	S3 半開放式停車場假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布	

.....	74
圖 4-4 S3 半開放式停車場非假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布	
.....	74
圖 4-5 C3 密閉式停車場假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布	75
圖 4-6 C3 密閉式停車場非假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布	
.....	75
圖 4-7 S1 半開放式停車場假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布	
.....	80
圖 4-8 S1 半開放式停車場非假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布	
.....	80
圖 4-9 C2 密閉式停車場假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布	81
圖 4-10 C2 密閉式停車場非假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布	
.....	81

第一章 緒論

第一節 研究背景與研究動機

隨著工業化、都市化的蓬勃發展，所帶來的附加產物是嚴重的空氣污染，而空氣污染物中多環芳香烴化合物 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 及揮發性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 普遍存在於大氣環境中，多數研究證實^(1,2,3) 汽機車引擎排放廢氣為都市區域空氣中 PAHs 與 VOCs 最主要污染來源。隨著現代人對生活品質的需求提升，汽機車為日常生活中不可或缺的交通工具，截至 2007 年 1 月底交通部統計台閩地區機動車輛數高達 20,341,288 輛其中自用小客車輛數已達 5,565,022 輛、輕重型機車分別已達 4,319,812 輛及 9,260,073 輛 (交通部網站，交通統計)⁽⁴⁾，由於臺灣土地面積狹窄、人口密度高及機動車使用密度高達 566 輛/每平方公里佔全世界之首。與歐美各國的機動車輛密度相比是日本的 2 倍，是德國 3.4 倍，是英國的 4 倍，是美國的 20 倍。

相較於國外土地廣闊，停車場大多設置於室外；由於台灣寸土寸金停車場均設置在室內或地下室，而停車場的特徵是有車人士每天必經之地、人來人往及出入車流量相當龐大，相對地汽機車所排放的廢氣中含 PAHs 與 VOCs 濃度也會隨之增高並累積在室內；此外不同的停車場空間型態構造(密閉式、半開放式)及車流量的多寡，對汽機車所排放的 PAHs

與 VOCs 濃度含量是否會受到上述的因素影響而有所差異，勢必要進行環境空氣品質監測以確保大眾健康安全。

然一般空氣品質環境監測都是以高流速(High volume)或低流速(Low volume)空氣採樣器來進行 PAHs 濃度的採集，而以採樣袋或不銹鋼筒(Canister)進行 VOCs 濃度的採集，之後再使用 GC-MS 針對所採集的 PAHs 與 VOCs 樣本進行分析，經常一連串的採樣步驟及分析過程需耗費相當多的時間才能獲得結果；一旦發生了嚴重的空氣污染事件，此傳統的採樣分析方法就無法即時的反應空氣品質狀況及空氣污染變化趨勢給予相關政府單位迅速的資訊而進行有效的控制，故若使用攜帶方便的光電氣膠偵測器(Photoelectric Aerosol Sensor, PAS)及攜帶式 ppb 有機溶劑連續偵測器(Parts per Billion VOC Monitor, ppbRAE)來量測空氣品質，能即時、快速測得到 Particle-PAHs (pPAHs)與 VOCs 的總濃度變化趨勢，隨後施行有效的環境品質管控，以維護民眾健康。

第二節 研究的重要性

停車場是都會區中不可或缺的生活機能之一，相形之下，室內停車場的空氣品質益發重要，因汽機車交通排放的廢氣中之 PAHs 與 VOCs 為台灣都會地區主要的空氣污染來源，而 PAHs 物種其中又以 Benzo(a)pyrene 在 2006 年時被國際癌症研究中心⁽⁵⁾(International Agency for Research on Cancer, IARC)分類從 Group 2A 至 Group 1，亦即此物質被證實對人體具高度致癌性及致突變性。對人體所造成的健康危害最為嚴重，因含有 PAHs 微粒上會藉由呼吸的途徑而進入支氣管中，長期累積下來易導致肺癌，可見在機動車輛密度高居世界之冠的台灣都會區域，大氣中普遍存在含有致癌物質的 PAHs，而目前國內室內空氣品質的法規建議值，只限制每小時總揮發性有機化合物(TVOCs) 平均值濃度為 3ppm，並未對人體具有致癌性及致突變性之多環芳香烴類(PAHs)濃度訂定相關管制標準，且國內外對於停車場室內空氣品質之研究非常有限，究竟這些污染物是否對出入停車場的民眾及長時間待在停車場的員工產生健康上的危害是值得關注的議題。本研究欲探討中部大型商場附屬之停車場內汽車排放的廢氣對空氣品質產生的影響，以供政府相關單位作為停車場職業暴露的管制參考。

第三節 研究目的

- 一、 瞭解目前中部大型購物中心附屬室內停車場的 TVOCs 與總 pPAHs 濃度現況。
- 二、 瞭解中部地區大型購物中心半開放式及密閉式停車場室內 TVOCs 與總 pPAHs 濃度分布之變化趨勢。
- 三、 假日與非假日室內停車場內 TVOCs 總 pPAHs 濃度變化是否會受到車流量變化的影響。



第二章 文獻回顧

第一節 多環芳香烴化合物的特徵

多環芳香烴化合物及其衍生物分子結構式是由兩個或兩個以上不飽和的雙鍵苯環相互鍵結而成的碳氫化合物，PAHs的物理特性包含，蒸氣壓為 10^{-4} ~ 10^{-11} mmHg，具有高熔點、高沸點的特性，苯環數愈多，分子量愈大(表2-1)，在室溫下PAHs是以氣態及固態這兩種形式廣泛存在於大氣中，屬於半揮發性的有機物質(semi-volatile organic compounds, SVOC)，其揮發性會隨著分子量的增加而減少。PAHs最初是以氣態方式存於大氣中，其分子量低者較易揮發，在常溫下之蒸氣壓會大於 10^{-6} mmHg，故是以蒸氣形態存在。而PAHs存在於固態相的原因通常有凝結(condensation)及吸附(adsorption)兩種機制(Brostrom and Loevblad, 1991)⁽⁶⁾；分子量較高之PAHs(五環以上)，其蒸氣壓在常溫下小於 10^{-6} mmHg，因此容易被吸附於粒徑小於 $10\ \mu\text{m}$ 之微粒上⁽⁷⁾。

近年來由於多數研究^(8,9,10)皆證實PAHs及其衍生物具有致癌性及致突變性，特別是苯環數4~7環的PAHs，因苯環數大於五以上的PAHs易附著在懸浮微粒上，會藉由人體呼吸的途徑進入到支氣管中，長期累積下來會導致癌症的產生(Grimmer, 1983)⁽¹¹⁾。因PAHs普遍存在於大氣中及具高度致癌性，美國環保署⁽¹²⁾公佈了16種PAHs加以規範。

表 2-1 16 種 PAHs 之結構式、分子量、物理特性及 USEPA、IARC 國際癌症分類

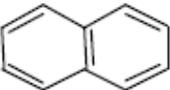
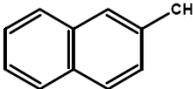
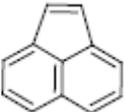
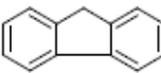
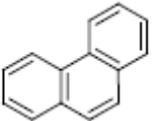
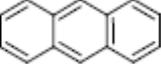
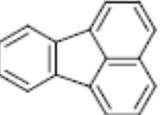
化合物	縮寫	結構式	分子量	熔點(°C)	沸點(°C)	USEPA ^a	IARC ^b
Naphthalene	Nap		128	81	218	C	-
2-Methylnaphthalene	-		142	34.6	241	-	-
Acenaphthylene	AcPy		152	93	270	D	-
Fluorene	Flu		165	117	294	D	3
Phenanthrene	PA		178	101	340	D	3
Anthracene	Ant		178	216	340	D	3
Fluoranthene	FL		202	111	383	D	3

表 2-1 16 種 PAHs 之結構式、分子量、物理特性及 USEPA、IARC 國際癌症分類(續)

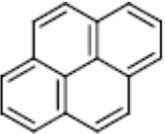
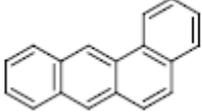
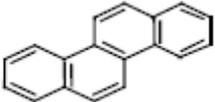
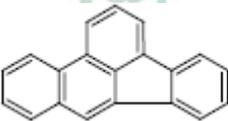
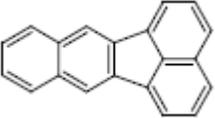
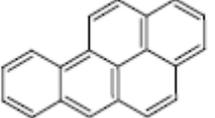
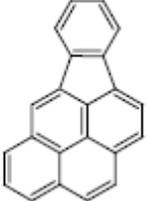
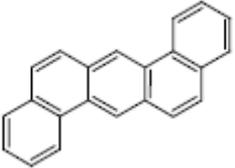
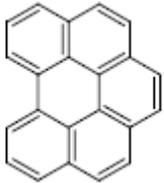
化合物	縮寫	結構式	分子量	熔點(°C)	沸點(°C)	USEPA	IARC
Pyrene	Pyr		202	156	404	D	3
Benz[a]anthracene	BaA		228	162	400	B2	2B
Chrysene	CHR		228	256	448	B2	2B
Benzo[b]fluoranthene	BbF		252	168	481	B2	2B
Benzo[k]fluoranthene	BkF		252	217	481	B2	2B
Benzo[a]pyrene	BaP		252	177	496	B2	1
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	IND		276	-	534	B2	2B

表 2-1 16 種 PAHs 之結構式、分子量、物理特性及 USEPA、IARC 國際癌症分類(續)

化合物	縮寫	結構式	分子量	熔點	沸點	USEPA	IARC
Dibenz[a,h]anthracene	DBA		278	270	535	B2	2A
Benzo[ghi]perylene	BghiP		276	278	542	D	3

^a美國環保署(IRIS)的癌症分類：

A 類-人類致癌物 (Human carcinogen)

B 類-人類可能致癌物 (Probable human carcinogen)

B1-表示人體研究資料不足

B2-表示動物實驗資料充分，但人體實驗研究資料不足或缺乏

C 類-也許是人類致癌物(Possible human carcinogen)

D 類-無法分類(Not classifiable)

E 類-證據顯示非致癌物(Evidence of noncarcinogenicity)

^b國際癌症中心(IARC)的癌症分類：

1 類-流行病學研究證明係致癌物；人類致癌物

2A 類-流行病學資料有限，但是動物實驗充份；人類可能
(Probable)致癌物

2B 類-流行病學資料不足，但動物實驗資料充分；或流行病學
資料有限，但是動物實驗不足；也許是(Possible)人類致癌物

3 類-物質資料不足不能判別其致癌性；無法分類

4 類-目前資料可認定為非致癌物；證據顯示非致癌物

第二節 多環芳香烴化合物的形成

PAH 的主要的來源是碳氫化合物經由不完全燃燒及裂解(pyrolysis)而來，造成 PAH 的產生又可分為自然因素及人為因素。自然因素包括：森林火災、火山爆發；人為因素又可分為固定性污染源及移動性污染源，其中固定性污染源包含：工業製程廢氣之排放、廢棄物的燃燒、家庭烹調、拜香、蠟燭的燃燒...等，而移動性污染源則包含汽機車交通污染源之排放、抽菸(Jones, 1994；Omar et al., 2006)⁽¹³⁾，其中人為因素又以汽機車交通污染源之排放為都市區域最主要的 PAHs 來源。

(一) 自然因素：

1997 年因印尼森林大火造成的煙霧形成嚴重霾害事件(Hazy episode)導致鄰近的國家如馬來西亞、新加坡等地的能見度相當低及嚴重空氣污染。Abas 等人(2004)⁽¹⁴⁾研究指出在 1997 年吉隆坡霾害期間所量測大氣中 PAHs 濃度是一般晴朗天氣時的八倍。

2005 年東南亞地區，馬來西亞首都吉隆坡受到因印尼峇臘森林大火所發生的霾害事件造成吉隆坡嚴重的空氣污染及能見度低。當時空氣污染指標(Pollutants Standard Index,PSI)高達 401 表示對健康「有害」，也使得當地居民的上呼吸道疾病發生率偏高，氣喘發病率增加 150%，當地能見度低於三百公尺。

(二) 人為因素：

1. 固定性污染源

工廠及工業製程廢氣之排放也是PAHs污染來源之一，Fang等人(2005)⁽¹⁵⁾在中台灣工業區附近的東海大學進行周界PAHs採樣，其研究發現細粒徑(PM_{2.5})及粗粒徑(PM_{2.5-10})上所含的總PAHs的濃度分別為108 ngm⁻³及164.98ngm⁻³。Pyy等人(1997)研究⁽¹⁶⁾針對焦煤廠(Coke plant)員工進行長達7年的研究發現，在工作過程暴露到Benzo[a]pyrene濃度可因製程技術的改良從2.5μgm⁻³下降至0.3μgm⁻³。林昌億(2003)⁽¹⁷⁾探討都市焚化爐拆爐作業員暴露到PAHs之結果發現其所暴露到的Total-PAHs平均濃度分別為，清爐床(噴砂前)：24,026 ngm⁻³、搭架：18,126 ngm⁻³、噴砂：18,493 ngm⁻³、清爐床(噴砂後)：17,717ngm⁻³、爐床整修：12,613 ngm⁻³、濾袋清潔檢查：12,843 ngm⁻³、監工：10,772 ngm⁻³，高暴露族群為清潔爐體、搭架作業、噴砂作業等前置清爐工作階段。米孝萱(1998)⁽¹⁸⁾研究顯示，工廠鍋爐污染源排放總PAHs以大型鍋爐最低為3.10 mgL⁻¹、小型鍋爐最高為27.0 mgL⁻¹另有研究⁽¹⁹⁾指出焦煤廠產生之PAHs 可由烘箱開口及電上方之蓋子洩出並且擴散至周界大氣中，其排放係數為15 g ton⁻¹ (Trenholm and Beck, 1978)。賴順安(1999)⁽²⁰⁾研究是以燃料來表示總PAHs排放係數，則焦煤、重油及電力之鋼鐵廠煙囪排放係數分別為4350 μgkg⁻¹、6050 μg L⁻¹及2670 μgKw⁻¹h⁻¹。

2. 移動性污染源

移動性污染源中是以機動車輛所排放之 PAHs 為都市區域大氣中主要的污染源，機動車輛排放的廢氣中所含 PAHs 有兩種來源：一為油品本身所含之 PAHs；二是油品燃燒不完全所產生之 PAHs。另有研究⁽²¹⁻²²⁾發現機動車輛所排放廢氣中之 PAHs 含量與油品中之 PAHs 含量成正比相關，此外機動車輛所排放的廢氣中之 PAHs 佔 50%以上是由燃燒不完全的過程中而來，且車輛行駛速度愈快，其排放廢氣中所含 PAHs 濃度愈高。

Harrison 等人(1996)研究⁽²³⁾結果顯示，在英國伯明罕(Birmingham)地區，周界大氣中的含有 PAHs 懸浮微粒主要由汽機車排放佔了 44-93%，另外研究報告中也提及柴油與汽車引擎若未加裝觸媒轉換器(catalytic converters)，其 PAH 排放率會相當地高。Rogge 等人(1993)研究⁽²⁴⁾發現，沒加裝觸媒轉換器的柴油貨車及房車每公里所排放的 PAH 濃度比起有裝設觸媒轉換器的房車，分別高出 4 倍、25 倍。王雅玢(1994)研究⁽²⁵⁾發現，鄰近交通流量高之地區其大氣中 PAHs 濃度高於郊區 10 倍之多，Mi(1996)研究⁽²⁶⁾結果顯示引擎在四種不同的運轉(惰轉、40km/hr、80km/hr 及 120km/hr)條件下所排放的 PAH 濃度會隨著運轉速度的增加而增高；此外汽車引擎使用 95 無鉛汽油及高級汽油其 BaP 的平均排放係數分別為 2.92 及 2.47 $\mu\text{g}/\text{km}$ 。朱聰智(1997)研究⁽²⁷⁾結果顯示

汽機車在四種不同轉速下(820rpm、1600rpm、2200rpm、2800rpm)對其 PAH 的排放量分別為 4.19 $\mu\text{g}/\text{min}$ 、26.9 $\mu\text{g}/\text{min}$ 、25.1 $\mu\text{g}/\text{min}$ 、37.8 $\mu\text{g}/\text{min}$ ，雖然在 1600rpm 及 2200rpm 其排放量並無顯著性的差異，但在高轉速其 PAH 的排放量有明顯增加的現象，Tsai 等人(2004)⁽²⁸⁾研究發現高速公路收費站員工經由車流量而暴露到 Total PAH 及 Total BaP_{eq} 分別可解釋的變異量為 76%及 62%；另外依據迴歸結果發現測量車流量比起直接測量 PAH 能節省人力、成本也能直接有效估計收費站員工暴露到 PAH 的濃度情形。由上述文獻可發現機動車輛排放之 PAHs 普遍存在於大氣中並嚴重危害人體健康。



第三節 PAHs 對人體造成的健康危害

PAHs 是由碳氫化合物燃燒不全所產生，其物種含有二千多種，種類相當繁多，其人類第一起致癌性研究發現，為英國醫師 Pott (1775)⁽²⁹⁾ 發表從事清掃煙囪之男性工人罹患陰囊癌比例會高於一般人。另有研究⁽³⁰⁾ 發現瀝青及煤焦油之煉製過程，會產生致癌性物質 Benzo(a)pyrene (BaP)，使得 BaP 與 PAHs 物種成為受關注的環境致癌性物質。在動物實驗研究⁽⁵⁾ 方面，發現若以 BaP 注射幼鼠及成鼠會引起肝腫瘤、肺腫瘤、前胃腫瘤、淋巴結締組織腫瘤 (lymphoreticular tumor)、生殖系統等危害；此外若給予公倉鼠 BaP 的吸入，則會發生上呼吸道(鼻、喉、支氣管)及上消化道(咽、食道、前胃)的乳突狀癌(papillomas)與鱗狀細胞癌(squamous-cell carcinomas)。

由於 PAHs 具高度致癌性及致突變性，美國環保署(USEPA)有列出 16 種 PAHs 進行規範及癌症分類，而國際癌症中心(IARC)也對 PAHs 進行癌症分類(見表 2-1)。

第四節 PAHs 吸附於懸浮微粒上的分布狀況

(一) 懸浮微粒形成機制

PAHs 經由污染源排放出來之後，透過結核(Nucleation)、凝結(Coagulation)、吸附 (Adsorption) 等機制存在於大氣中之懸浮微粒上。而懸浮微粒的來源主要可以分為自然與人為兩類，自然來源包括：(1)火山運動、(2)岩石風化、(3)海洋飛沫、(4)花粉及(5)大氣運轉，如濃霧、雨等；最主要的人為來源有：(1)人類活動，如機械研磨；(2)燃燒，如焚化爐、露天燃燒等；(3)工業活動，如鍋爐各種燃料之燃燒；(4)交通工具排放等(Frederica, 1980；賴臆雯，2000)⁽³¹⁾。

懸浮微粒粒徑大小可區分為三類，其形成機制如下：(1)粒徑在 $0.1\mu\text{m}$ 以下，主要是由高溫蒸氣凝結而成的原發性微粒，因其不穩定，所以易與其他微粒互相凝聚，故其在大氣中的滯留時間較短；(2)粒徑在 $0.1\sim 2\mu\text{m}$ 之間，主要是由大氣中的氣體，經化學變化轉變成低揮發性的蒸氣，最後再形成液滴，在大氣中平均的滯留時間從 1 星期至數個月，直到被雨水沖刷而除去；(3)粒徑在 $2\mu\text{m}$ 以上，主要是由風揚塵粒、海洋飛沫、火山爆發與工廠排放所造成，在大氣中以沉降方式除去。一般又將上述的一、二類合稱為細微粒(Fine Particle)，第三類通稱為粗微粒(Coarse Particle)，形成過程如圖 2-1 所示，圖 2-1 為氣膠之分布、來源、產生機制以及去除機制(Frederica, 1980；陳佳玫，2003)⁽³²⁾。

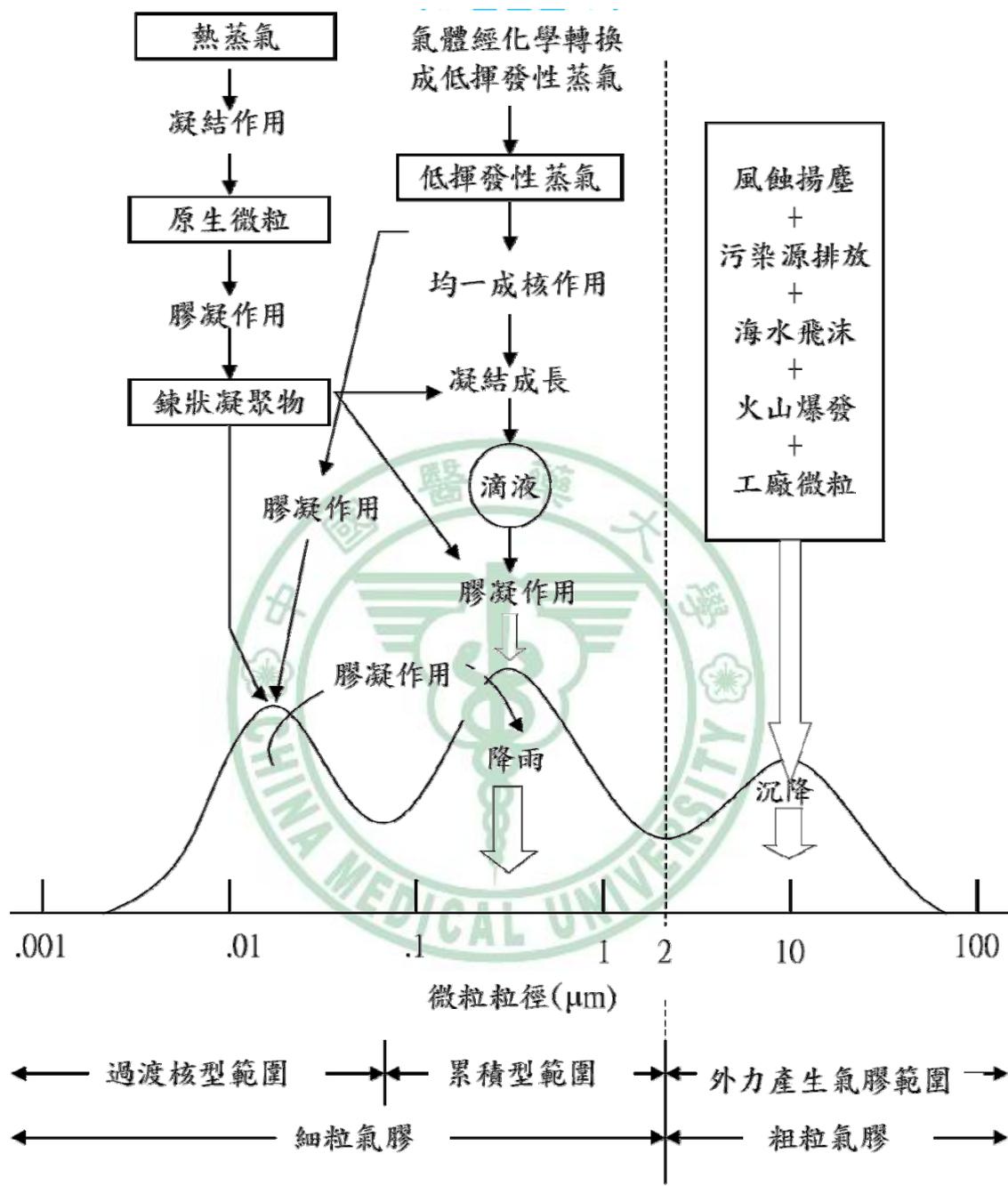


圖 2-1 大氣氣膠表面粒徑分布圖(Frederica, 1980)⁽³³⁾

(二) 懸浮微粒對人體健康的影響

微粒是造成台灣都會地區空氣品質惡化的主要污然物並廣泛存在於空氣中，若是長期暴露於高懸浮微粒的環境中對人體健康會產生影響，然不同粒徑大小的微粒會沉積在呼吸系統不同的部位上所造成的健康危害也會有所差異，依據美國NAPCA(National Air Pollution Control Administration) 所制定的粒狀物空氣品質標準中指出，粒狀物依粒徑大小在鼻咽部、氣管及支氣管、肺泡等三個部位之沉積效率有所不同。其中粒徑大於 $10\mu\text{m}$ 的微粒幾乎可以完全沉積在鼻咽管，只有極少部份才有機會進入肺泡；而粒徑在 $2-5\mu\text{m}$ 的微粒約 10% 以下沉積於之氣管，約 20% 沉積於肺泡；粒徑小於 $2\mu\text{m}$ 的微粒主要沉積於肺泡組織中。

另李俊璋⁽³⁴⁾於 1982 年研究中指出空氣中懸浮微粒對人體健康的影響主要有三項：(1)對主支氣管產生作用，造成纖毛麻痺、支氣管黏膜過度分泌、黏液腺增生，引起可逆性支氣管痙攣，抑制呼吸，並蔓延至細支氣管；(2)粒徑較小之微粒，對末梢支氣管有強烈影響，且低濃度的微粒即可造成明顯的反應，並可能形成急性支氣管炎、細支氣管擴張、肺水腫或支氣管纖維化等症狀。(3)粒徑 $1\mu\text{m}$ 以下之微粒特別容易達到細微肺泡組織，促使肺部的巨噬細胞明顯增加形成肺氣腫並破壞肺泡。

第五節 國內外使用 PAS 進行空氣品質調查相關研究

光電氣膠偵測器 Photoelectric Aerosol Sensor(PAS)是一測量大氣中粒徑大小約為 $1\mu\text{m}$ 微粒的 Total pPAHs 濃度之儀器，國外多位學者使用此類儀器進行交通污染源排放之 Particle-bound PAHs 濃度採集(表 2-2)發現 PAS 能以半定量方式量測空氣中的 pPAHs 濃度。

依據 Dubowsky 等人(1999)⁽³⁵⁾與 Childers 等人(2000)研究⁽³⁶⁾，整理歸納出使用 PAS 偵測 pPAHs 濃度之優缺點。

■ PAS 儀器的優點：

1. 攜帶方便及操作簡單，是最能有效偵測到含四環或四環以上的固態 PAHs 濃度，因苯環數多的比起苯環數少之 PAHs，其光電閾值(photoelectric threshold)較低，比起氣態之 PAHs 較易被儀器吸附進行分析。
2. 特別適合偵測交通污染源所排放之 PAHs。由於汽車所排放的微粒粒徑大小範圍界於 $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ ，質量中位數(mass median)為 $0.02\mu\text{m}$ (US EPA, 1993)⁽³⁷⁾，並富含高分子量之 PAHs，因儀器所吸附的微粒粒徑約為 $1\mu\text{m}$ ，故儀器採集之 PAHs 與交通源相關之 PAHs 有相當好的一致性。
3. 此儀器最大的特性是偵測燃燒污染源時，可以有效地提供即時(real-time)之 pPAHs 濃度，此外也能解決污染源之時間的變動和鑑

定，這是傳統採樣分析方法無法達到之處。

■ PAS 儀器的缺點：

1. 很難進行校正(Calibration)，由於個別的 PAHs 物種之反應以及微粒特性不同，因污染源的構成不同與微粒的性質是需要完全不同之校正方式，故本儀器無法進行外部的校正(externally calibration)，只能提供半定量(semi-quantitative)之濃度量測。
2. 不能區分個別 PAH 化合物種類的濃度，只能得到上百種 pPAHs 構成之總 Particle-bound PAHs 濃度。

許多研究是使用 PAS 儀器進行各種燃燒污染所產生 pPAH 之量測，如進行典型的燃燒污染源所產生之 PAH 大量吸附在微粒表面上的濃度量測結果，與 PAS 偵測到訊號是呈現高度的相關性($r^2=0.998$)，當在比較 PAS 偵測器與傳統方法分析 PAHs 濃度時，發現此兩種分析方式具有中至高之相關性，對於油爐產生的 PAH 濃度時呈現高度相關性 ($r^2=0.99$, $p=0.05$)；對汽機車所排放之 PAH 濃度呈現中度相關性($r^2=0.84$, $p=0.05$)，對室內微環境空氣中的 PAH 呈現高度相關性($r^2=0.985$, $n=12$)，對抽菸所排放的 Benzo(a)pyrene 呈現中度相關性($r^2=0.88$, $n=20$)。

雖然國內使用 PAS 偵測 pPAHs 濃度的研究相當有限，且國外相關研究篇幅也很少，但依據現有的國外研究結果^(35,36,38,39)均指出，PAS 此

儀器具有快速分析 pPAHs 濃度特點以及與傳統方式進行燃燒污染源分析時兩者間具有中至高度的相關性優勢，故本研究使用 PAS 儀器進行停車場空氣採樣分析，以探討 pPAHs 濃度與交通流量的相關性。



表 2-2 國外使用 PAS 進行空氣品質調查相關研究

文獻來源	研究地點	採樣/分析方式	研究結果
Agnesod et al., (1996) ⁽³⁸⁾	義大利	PAS1022 i High-flow sampler Low-flow sampler GC/MS	PAS 得到 Total particle- bound PAHs 的濃度值 (ngm ⁻³) 與高流速及低流速採樣器所測得之 PAHs 含四環以上的 10 種 PAHs 濃度值呈現好的相關性(分別為 r ² =0.78、r ² =0.82)
Dubowsky et al., (1999) ⁽³⁵⁾	美國	PAS1022i Daily activity journals -	在都會區、半都會區及鄉村量測到室內濃度 PAH 主要是由室外交通污染源而來，另於非假日時都會區(31 ngm ⁻³) PAH 的幾何平均濃度分別是半都會區(19 ngm ⁻³)將近 2 倍、鄉村(8 ngm ⁻³)之 3 倍多。
Childers et al., (2000) ⁽³⁶⁾	美國	PAS1002 i PAS2000 PAS2000CE Low -volume sampler GC/MS	當飛機執行飛行相關的活動時，使用整合採樣分析方式所測得到之總 PAH 濃度高於一般周界大氣的 10-25 倍，而 PAS 所測得之 PAH 濃度也有相同的趨勢。另 PAS 儀器能提供周界大氣之總 PAH 濃度半定量時間 profile 及迅速即時之 pPAHs 濃度。
Dunbar et al., (2001) ⁽³⁹⁾	美國	PAS2000 video-taping -	使用柴油燃料的巴士及貨車所排放 particle-bound PAHs 量遠高於房車，此外使用直讀式的 PAS 能有效估計不同汽車種類貢獻大氣中的 PAH 濃度。
Chwtwittayachan et al., (2002) ⁽⁴⁰⁾	日本 泰國	PAS2000CE HV-500-5S GC/MS	PAS 得到 Total particle- bound PAHs 的濃度值與 GC/MS 所測得的 11 種 PAH 的濃度值呈現好的相關性(r ² =0.7957)。 日本及泰國這兩個城市只除了早上七點尖峰時刻因為車流量急遽增加所測得的 total pPAHs 濃度有些微的不同外(日本 186ngm ⁻³ 、泰國 195 ngm ⁻³)，其他時段的 total pPAHs 時間變動趨勢是相類似的(假日低於非假日)。

第六節 揮發性有機化合物來源及特性

揮發性有機化合物在大氣中主要來源是由人為排放因素所造成，包含汽機車廢氣排放、天然氣逸散、石油精煉廠之排放、石油燃料燃燒及工業製程所使用之原物料等；一般 VOCs 之排放來源又可分為移動性污染源與固定性污染源。而 VOCs 中主要與移動性污染源有關的是芳香族類之苯(Benzene)、甲苯(Toluene)、乙苯(Ethylbenzene)及二甲苯(xylene)，合稱為 BTEX 其來源包含車輛尾氣排放、油氣逸散及蒸發；固定性污染源則包含工廠及工業製程所使用的原物料等。

(一) 移動性污染源排放之 VOCs

Bae(2004)⁽⁴¹⁾等人研究顯示在道路旁的鞋攤室內 Benzene、Toluene、*m/p*-xylene、*o*-xylene 之平均濃度分別為 0.732、6.777、4.080、1.302 mgm⁻³，主要的來源是由室內所使用擦鞋之有機溶劑與室外的汽機車排放之廢氣所貢獻。依據日本環境省(Japan Ministry of Environment,2003)⁽⁴²⁾調查發現日本地區周界大氣中 85%之 Benzene 主要是由汽車所貢獻。Clarke & Ko(1996)⁽⁴³⁾研究指出在英國都市區域中 VOCs 最大的貢獻源是由汽機車排放而來，汽機車排放的 VOCs 占總 VOCs 排放量之 48%。

(二) 固定性污染源

固定污染源之來源可分為不完全燃燒、製程排放、油品揮發、溶劑使用及生物使用等。當燃料燃燒、露天燃燒及自然界中物質燃燒不完全

時會產生 VOCs；煉油與石化廠的製程作業排放出 VOCs 以及高科技產業工業製程使用的原物料排放；另外加油站及石化油氣都可能逸散出 VOCs；印刷、油漆、瀝青鋪設、建築塗裝、實驗室使用大量有機溶劑，及文具如白板筆、修正液皆可能產生 VOCs 逸散至大氣中⁽⁴⁴⁾。Jo & Song(2001)研究⁽⁴⁵⁾影印店的員工比起其它職業別的員工(停車場、交通警察、服務站、地下門市)所暴露到 Toluene 濃度值為最高。



第七節 VOCs 之 BTEX 對人體造成的健康危害

根據國際癌症中心(IARC)⁽⁵⁾之研究結果及勞工安全衛生研究所之物質安全資料表(Material Safety Data Sheet, MSDS)⁽⁴⁶⁾將 BTEX 會對人體造成的健康影響歸納如表 2-3。

另外，亦有許多相關研究指出 VOCs 對人體健康有害。在南韓對於職場中的員工(收費服務站)會暴露到汽機車所排放之 VOCs 進行調查發現⁽⁴⁵⁾，個人在工作後吸入到 Benzene 濃度與其它研究比較，明顯發現從事服務站工作的員工吸入 Benzene 的濃度($41.0 \mu\text{gm}^{-3}$)為南韓家庭主婦($10.9 \mu\text{gm}^{-3}$)的 3.8 倍，高於美國洛杉磯居民($1.9 \mu\text{gm}^{-3}$)的 21.5 倍以及美國紐澤西居民($12.0 \mu\text{gm}^{-3}$)的 3.4 倍。

Pearson 等人(2000)研究⁽⁴⁷⁾發現孩童暴露到從汽機車所排放出來的空氣污染物與孩童血癌與其他孩童癌症有密切的相關性。而 Smith(1996)研究⁽⁴⁸⁾中指出習慣性吸入 Toluene 或 Xylenes 可能會導致大腦功能紊亂，舉凡語言、視力、聽力、肌肉控制和協調都會受到影響，也會產生肝臟及腎臟的傷害；除此之外，Gerin 等人(1998)報告⁽⁴⁹⁾也發現個人暴露到 Toluene 或 Xylenes 會增加罹患胃腸腫瘤與惡性淋巴腫瘤的風險。

表 2-3 BTEX 之癌症分類與毒性危害

污染物	IARC/US EPA 癌症分類	毒性危害
苯 (Benzene)	Group 1 Class A	<ul style="list-style-type: none"> ● 造成白血球、紅血球及血小板的形成受損 ● 可能影響骨髓 ● 長時間低濃度暴露會損害神經系統 ● 重複長期接觸會使皮膚發炎、乾燥鱗狀及起水泡 ● 引起白血球癌症 ● 引起女性月經不規則 ● 使高暴露者染色體不正常 ● 慢性中樞神經系統受損，記憶力喪失、睡眠不安、意志力不集中和動作不協調
甲苯 (Toluene)	Group 3 -	<ul style="list-style-type: none"> ● 長期暴露影響聽力 ● 引起皮膚炎(皮膚紅、癢、乾燥)
乙苯 (Ethylbenzene)	Group 2B Class D	<ul style="list-style-type: none"> ● 長期暴露會產生血液、肝及腎臟之影響
二甲苯 (xylene)	Group 3 -	<ul style="list-style-type: none"> ● 反覆或長期暴露可能引起皮膚炎(乾燥、龜裂) ● 肝臟和腎臟損害

第八節 室內空氣品質的重要性

據研究⁽⁵⁰⁾顯示人類一天的時間約有 90%時間是待在室內(住家、辦公室)，因此室內空氣品質的好壞與民眾的健康息息相關。若室內空氣品質不佳，則會影響到室內之民眾健康，輕者會影響工作效率，重者則會產生「病態建築症候群」(Sick Building Syndrome ,SBS)。然一般室內空氣品質維持是以中央空調系統及空氣污染防治設備為主，室內停車場為一密閉式環境，其溫、溼度及通氣量等條件會受限於建築結構，所以空氣品質比起一般室外環境則會惡劣許多，國內黃小林(2007)⁽⁵¹⁾等人在地下停車場九個採樣點使用安德森六階生物採樣器進行生物性氣膠的採樣，結果發現不管是細菌或真菌生物氣膠濃度皆超過室內品質建議值，這也顯示地下停車場室內空氣品質不良，這對頻繁出入停車場的民眾及長期待在停車場工作之員工會產生健康危害，可見地下停車場室內空氣品質之維護是相當重要。

■ 室內空氣品質法規

行政院於 94 年 12 月 30 日制定了室內空氣品質建議值，其項目涵括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、臭氧及總揮發性有機化合物等污染物平均濃度值，相較於國外會因國情、文化、環境等差異，各國訂定的室內環境空氣品質項目也會有所不同(表 2-4)。而地下停車場是一個密閉式室內環境，相對地室內空氣品質及通風量是值得關注，然國外有研究⁽⁵²⁾

是針對密閉式停車場室內通風量進行調查，並制訂出通風設備通風量標準建議值(表 2-5)，以供參考。但國內現行的室內空氣品質法規只有建築技術規則建築設備編第 102 條⁽⁵³⁾對室內機械通風設備通風量進行規範，其條文明確指出汽車庫、蓄電池間自然送風及機械排風所需樓地板面積每平方公尺通風量為 35 m³/h，除此並未對其他停車場空氣品質指標以及會對人體產生高度致癌性及致突變性的 PAHs 訂定相關的濃度建議值加以規範管制，這也是本研究與國內相關單位值得探究之處。



表 2-4 各國室內空氣品質建議值

	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	HCHO (ppm)	TVOC (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	O ₃ (ppm)	溫度 (°C)	溼度 (%)	PAHs (µg/m ³)	來源
台灣	A : 600 ^c B : 1,000 ^c	A : 2 ^c B : 9 ^c	0.1 ^b	3 ^b	A : 60 ^d B : 150 ^d	100 ^d	A : 0.03 ^c B : 0.05 ^c	A : 15-18 ^b			環保署
	5,000 ^c	35 ^c	1 ^c				0.1 ^c			0.2 ^c	勞工安全衛生法
WHO	920	9 ^c	0.08 ^a	0.3mg/m ³			0.05 ^a				
美國	1,000	9 ^c	0.1 ^a				0.05 ^f	夏 : 25.5-27 冬 : 20-24.5	20-60		ASHRAE62R
美國			0.3 ^c				0.3 (15min)				ACGIH
美國	5,000 ^c	50 ^c					0.1 ^c			0.2 ^c	OSHA
香港		26.2 ^b 8.7 ^c					0.8 ^b				室內空氣品質 暫定規範
南韓	1000	10									

表 2-4 各國室內空氣品質建議值(續)

	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	HCHO (ppm)	TVOC (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	O ₃ (ppm)	溫度 (°C)	溼度 (%)	PAHs (µg/m ³)	來源
日本	3,500	10 ^b	0.08 ^a	0.3 ^c	150		0.05 ^c	17-28	40-70		HASS102
新加坡	1,000 ^c	9 ^c	0.1 ^c	3	150 ^g		0.05 ^c				辦公室規範
歐洲		87.5 52.4 ^a 26.2 ^b 8.7 ^c	0.08				0.07-0.1 ^b 0.05-0.06 ^c				CEN PREN1752
瑞典	1,000	2	2	0.05-1.3							
澳洲		9 ^c	0.1 ^g								NHMRC
加拿大	3,500	25 ^b 11 ^d	0.1			0.1 ^b	0.12		50		住宅室內空氣品質 指導方針
英國	5,000 ^c	50 ^c					0.1 ^c	夏：25-27 冬：15.5-20			

A：第一類場所 B：第二類場所 a：30 分鐘平均值 b：小時平均值 C:8 小時平均值 d:日平均值 e:最大值 f:長期暴露 g:最大值(ceiling)

第一類場所：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。

第二類場所：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。

資料來源：謝挺蘊(2003)⁽⁵⁴⁾



表 2-5 各國密閉式停車場通風設備通風量之標準建議值

	Time(hrs)	CO (PPM)	Ventilation
ASHRAE	8	9	7.6 L/s · m ²
	1	35	(1.5 cfm/ft ²)
ICBO	8	50	7.6 L/s · m ²
	1	200	(1.5 cfm/ft ²)
NIOSH/OSHA	8	35	—
	Ceiling	200	—
BOCA	—	—	6 ACH
SBCCI	—	—	6-7 ACH
NFPA	—	—	6 ACH
ACGIH	8	25	—
Canada	8	11/13	—
	1	25/30	—
Finland	8	30	2.7 L/s · m ²
	15 minutes	75	(0.53 cfm/ft ²)
France	Ceiling	200	165 L/s · m ²
	20 minutes	100	(350 cfm/ft ²)
Germany	—	—	3.3 L/s · m ² (0.66 cfm/ft ²)

表 2-5 各國密閉式停車場通風設備通風量之標準建議值(續)

	Time(hrs)	CO (PPM)	Ventilation
Japan/South Korea	—	—	6.35-7.62L/s · m ² (1.25-15 cfm/ft ²)
Netherlands	0.5	200	
Sweden	—	—	0.91 L/s · m ² (0.18 cfm/ft ²)
U.K.	8 15 minutes	50 300	6-10 ACH

BOCA : Building Officials and Code Administrators International Inc. ◦

ICBO : International Conference of Building Officials , 國際建築立法協會。

SBCCI: Southern Building Code Congress International , 美國南部建築規範協會。

NFPA : National Fire Protection Association , 美國國家消防協會。

Available from: Krarti M, Ayari A.(2001)⁽⁵²⁾

第三章 研究方法

本研究參考國外使用 Reai-time 儀器進行空氣監測的相關研究^(35,39,40)，研擬本研究架構，藉以探討室內停車場 pPAHs 與 TVOCs 濃度變化趨勢及 pPAHs 與 TVOCs 濃度與車流量相關性，此章節分成研究設計、研究採樣規劃、研究架構、研究對象、研究採樣分析設備、車流量計數、停車場室內通風量之量測、資料統計與分析加以說明。

第一節 研究設計

本研究欲瞭解周界大氣與中部地區大型購物中心附屬停車場室內空氣品質，遂選取台中市地區人潮聚集及車輛出入頻繁的兩處主要道路以及六家大型購物中心附屬停車場，進行空氣中的 pPAHs 與 TVOCs 濃度監測，以下就採樣點地理位置描述：

主要道路與停車場所在位置依據我國都市計畫法第 34 與 35 條⁽⁵³⁾可將其區分為住宅區、商業區及住商混合區(表 3-1 採樣地點位置描述)。

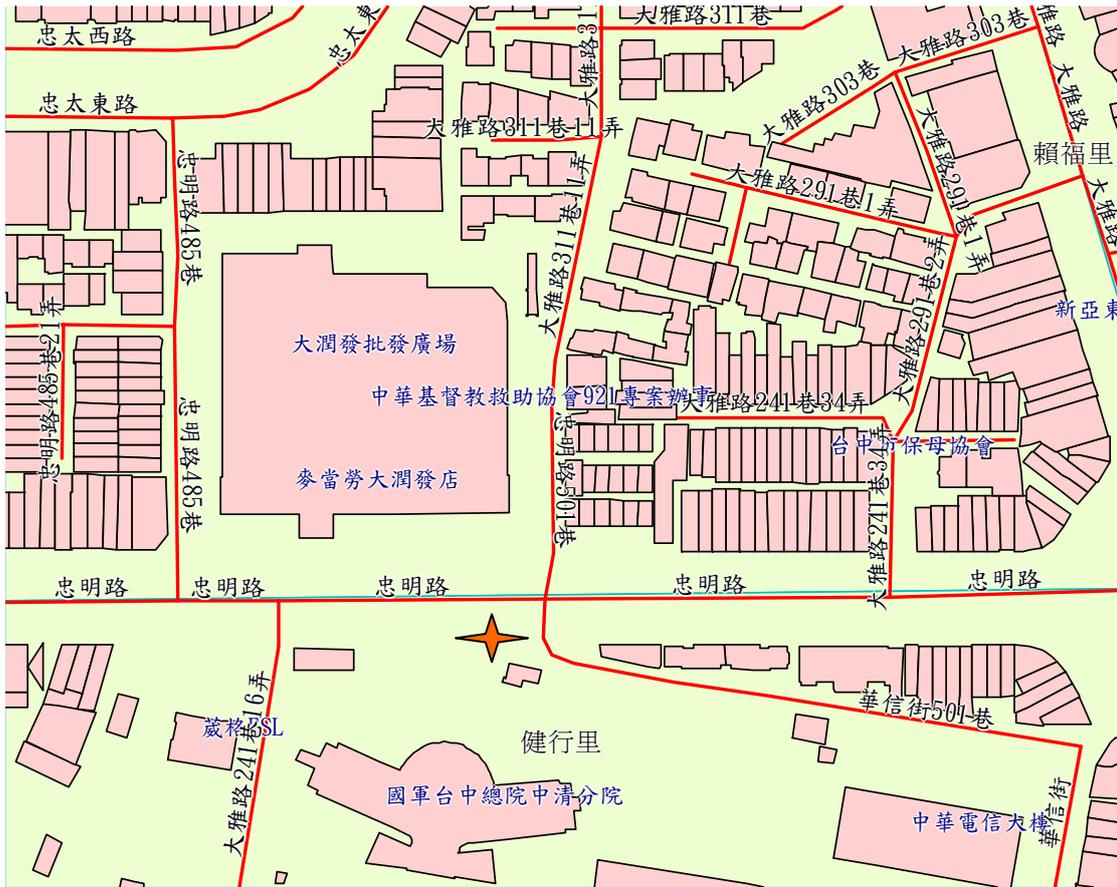
一、 兩處主要道路：選取此兩處的主要目的是要與室內停車場之 pPAHs 與 TVOCs 濃度相比較。A1 為上下班尖峰時刻交通流量大的四線道(30 米)之主要道路(圖 3-1)；A2 為某家密閉式停車場出入口相對的兩線道(15 米)之主要道路(圖 3-2)，進行空氣品質監測及車流量的計數。

二、 六家大型購物中心附屬停車場：依照室內停車場不同空間型態選取三家密閉式的停車場(圖 3-3，3-4，3-5)；另三家為半開放式型態的停車場(圖 3-6，3-7，3-8)，進行空氣品質採樣及車流量的計數，其目的是比較 pPAHs 與 TVOCs 濃度是否會隨著汽車排放而長期累積在停車場中，以及不同空間型態的室內停車場及車流量多寡的是否會影響 pPAHs 及 TVOCs 濃度分布的趨勢變化。



表 3-1 兩處主要道路與六家購物中心附屬停車場採樣點描述

編號	地點周圍描述	空間型態	採樣點代表性			採樣時間
			住宅 類型	商業 類型	混合 類型	
A1	位在忠明路上鄰近大雅路，旁有醫院、幼稚園及住宅區	交通繁忙的主要道路			✓	為期一週連續八小時 2007/3/27~2007/4/2
A2	位在育才北路上鄰近五權路，旁有教會，四周商家林立	交通繁忙的主要道路			✓	為期一週連續八小時 2007/5/3~2007/5/9
C1	位在育才北路上鄰近三民路，四周商家林立	密閉式停車場		✓		為期一週連續八小時 2007/4/10~2007/4/16
C2	位在文心路上，旁為住商混合區	密閉式停車場			✓	區分假日與非假日 2007/4/5、2007/4/17
C3	位在崇德路上，旁為住商混合區	密閉式停車場			✓	區分假日與非假日 2007/4/26、2007/4/27
S1	位在青海路上，旁為住商混合區	半開放式停車場			✓	區分假日與非假日 2007/4/6、2007/4/9
S2	位在大墩路上，旁為住商混合區	半開放式停車場			✓	區分假日與非假日 2007/4/22、2007/4/23
S3	位在中港路與文心路交界處週遭均是商業大樓	半開放式停車場		✓		區分假日與非假日 2007/4/25、2007/4/29



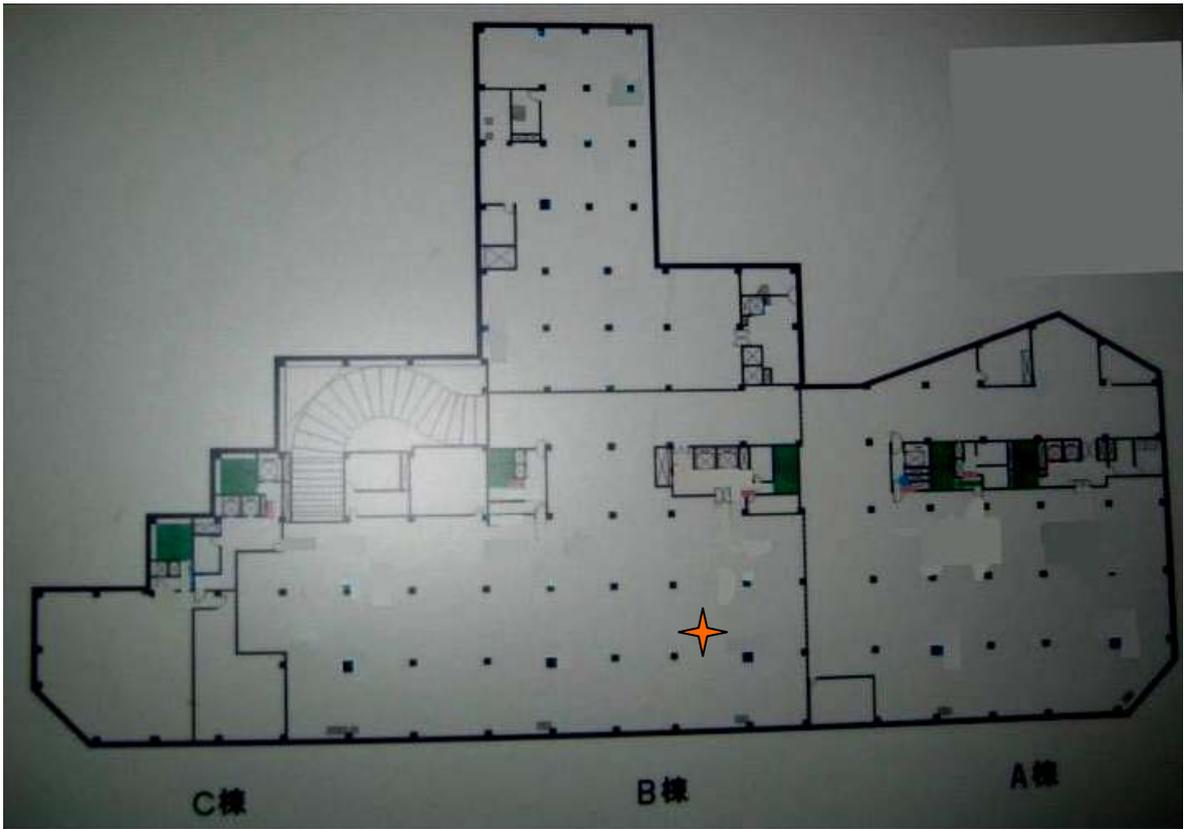
★ - 採樣點

圖 3-1 A1 主要道路採樣點



★ 採樣點

圖 3-2 A2 主要道路採樣點



★-採樣點

圖 3-3 C1 密閉式停車場採樣點

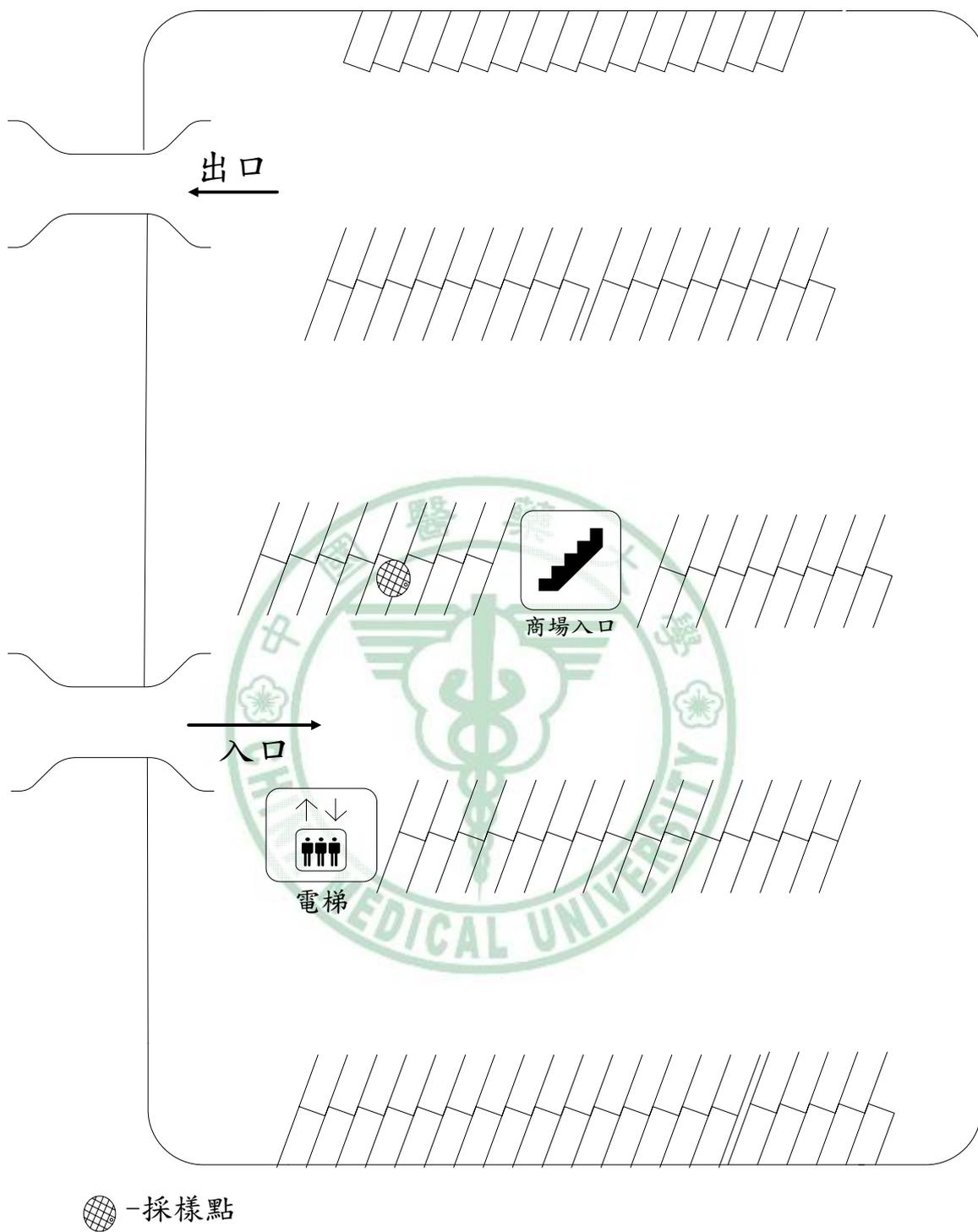


圖 3-4 C2 密閉式停車場採樣點

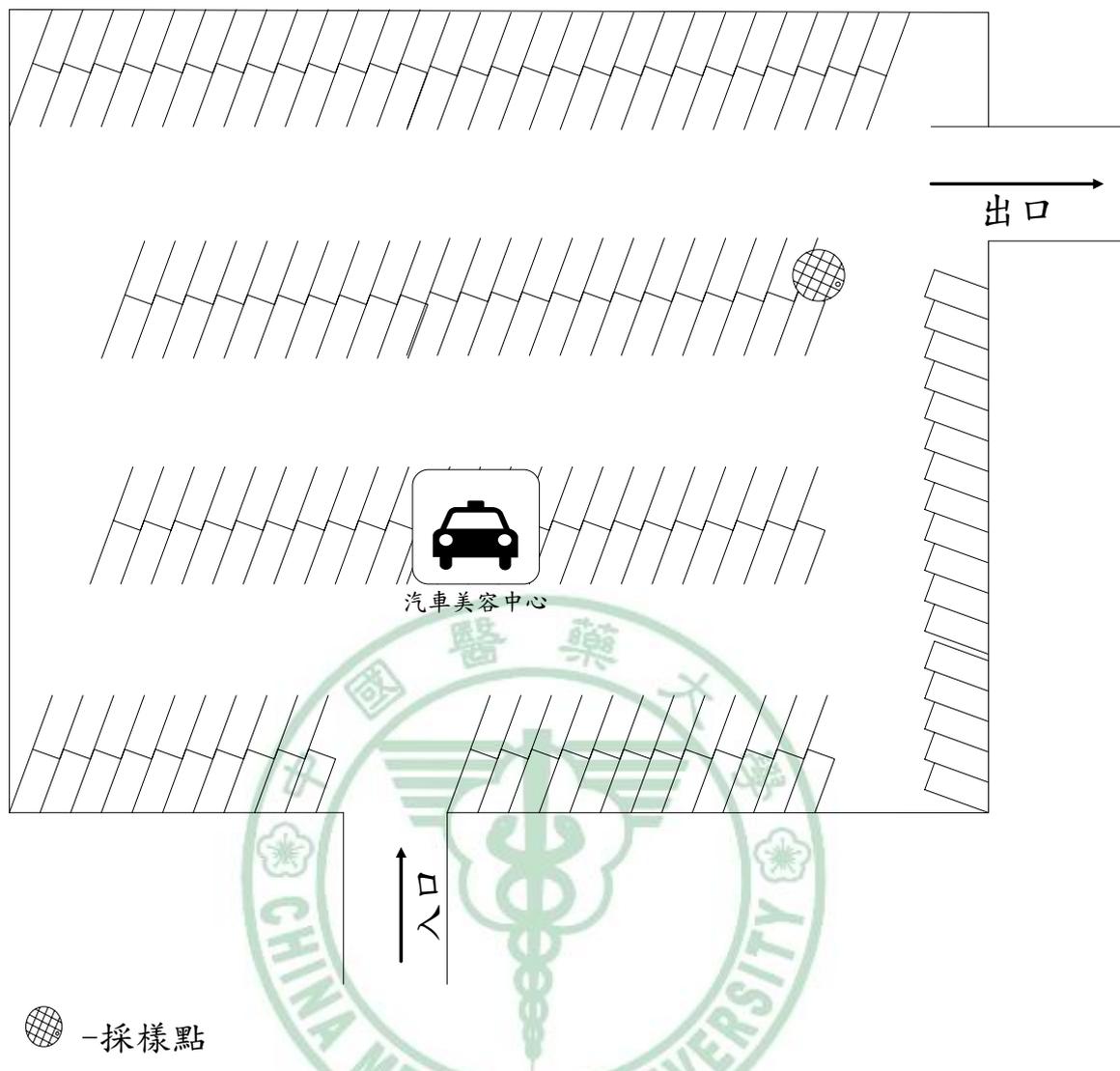
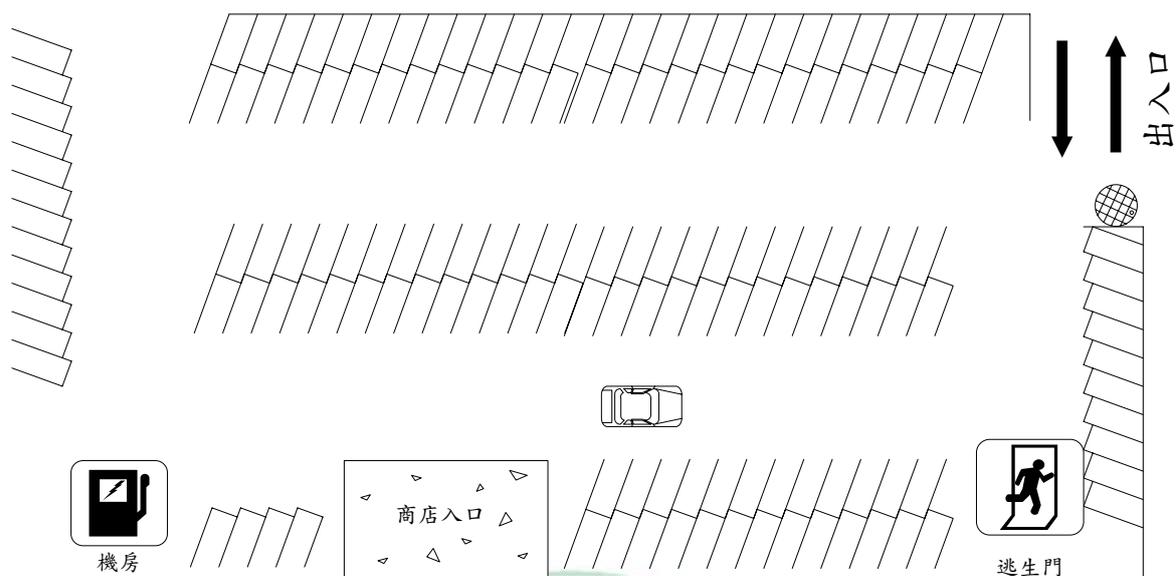


圖 3-5 C3 密閉式停車場採樣點



採樣點

圖 3-6 S1 半開放式停車場採樣點



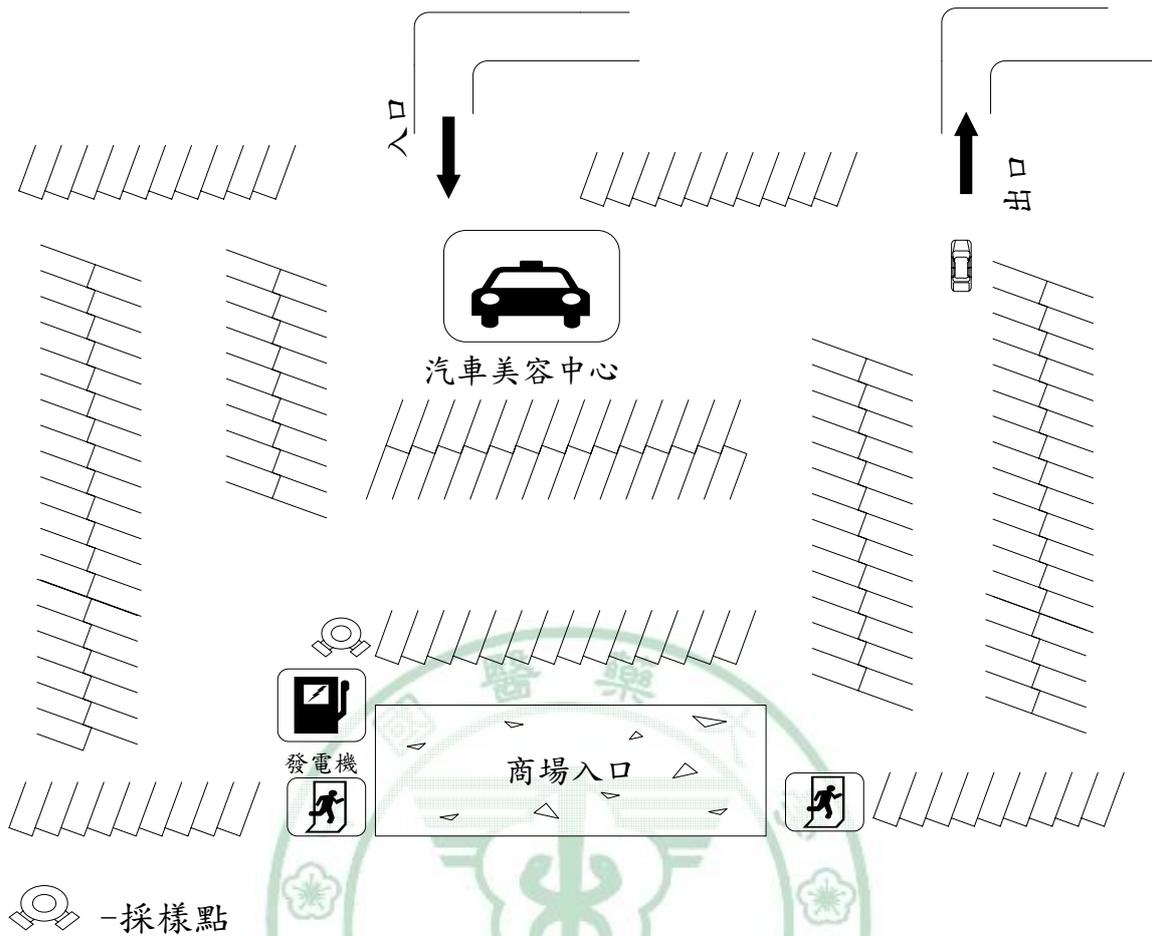


圖 3-7 S2 半開放式停車場採樣點

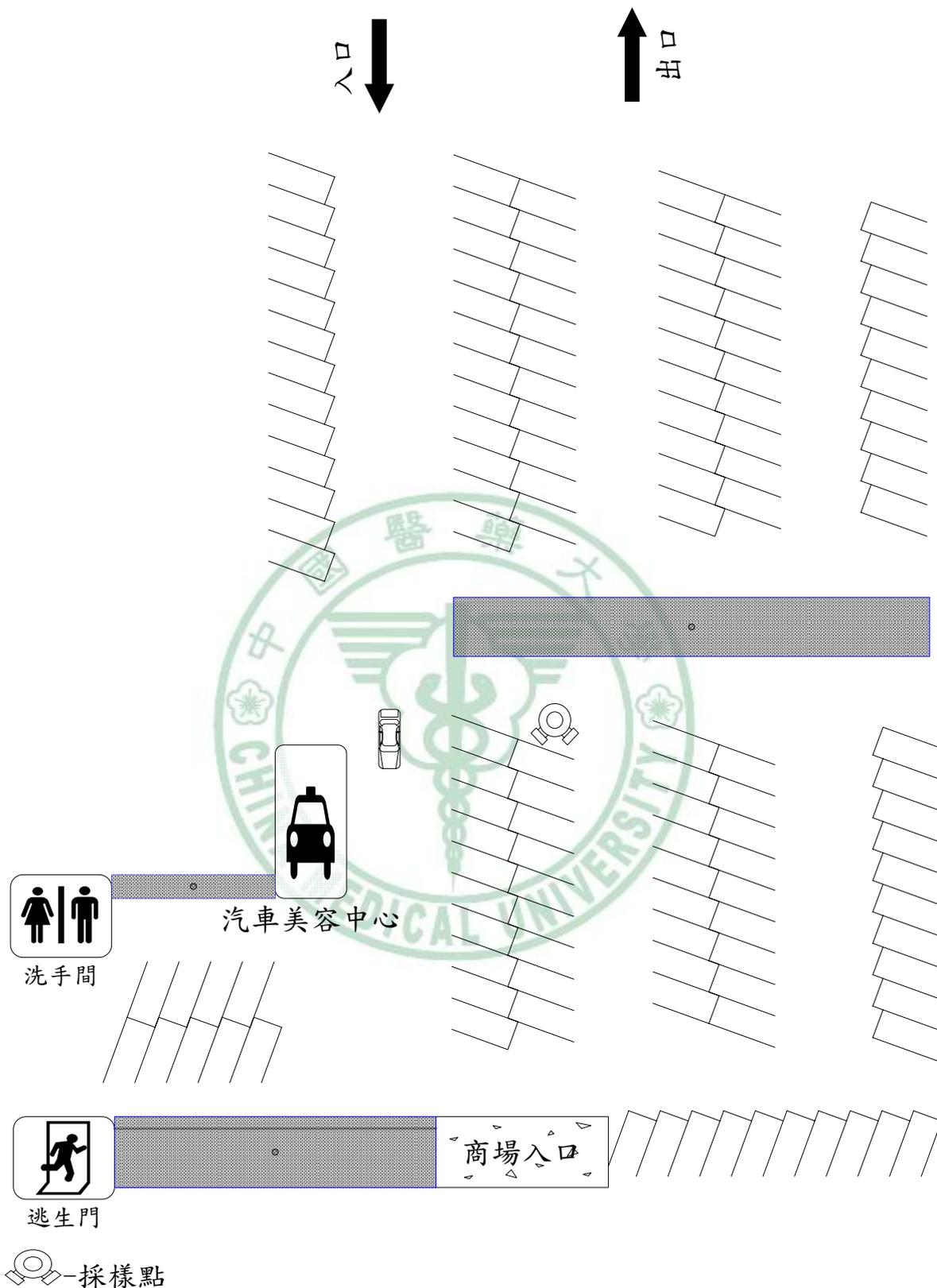


圖 3-8 S3 半開放式停車場採樣點

第二節 研究採樣規劃

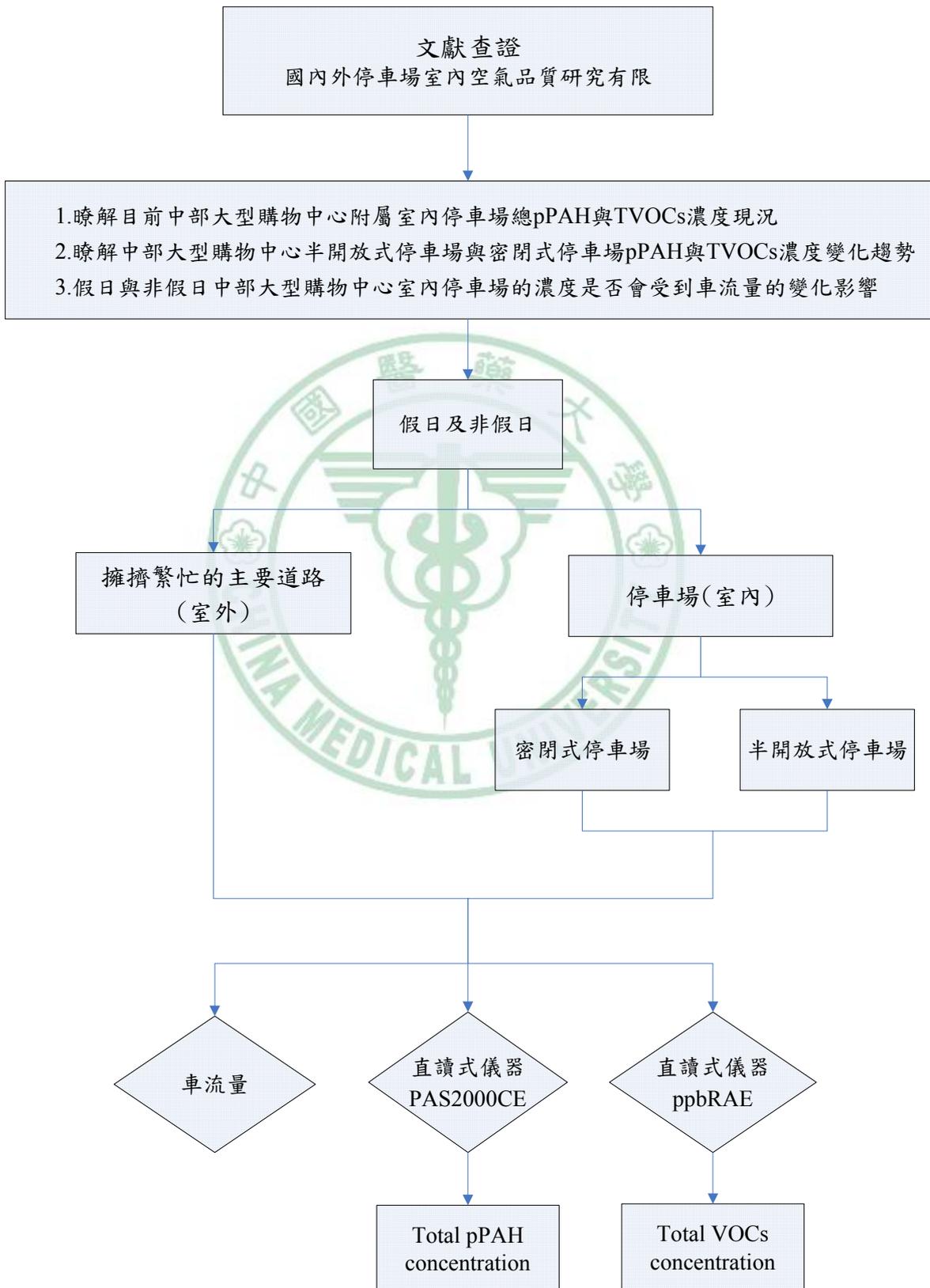
本研究參考國外相關研究^(35,39,40)，於兩處主要道路與六家室內停車場進行 pPAHs 與 TVOCs 濃度的空氣監測及車流量的計數，在 Real-Time PAS2000CE 與 ppbRAE 儀器個別只有一台的限制條件下，本研究的採樣規劃分別描述如下：

- 一、 兩處主要道路：進行為期一週 pPAHs 與 TVOCs 濃度的量測，採樣時間為連續八小時，主要是將兩台儀器 PAS2000CE 及 ppbRAE 固定置放主要道路旁的建築物外牆，離地約 1.5 公尺處，進行汽機車排放之廢氣濃度採集，兩台儀器設定皆以間隔每兩分鐘分別進行 pPAHs 與 TVOC 濃度資料的記錄，並在採樣同時輔以人工方式計算每十五分鐘車流量。
- 二、 六家室內停車場：採樣點的選定是則依照其不同空間型態，分別將 PAS2000CE 及 ppbRAE 固定置放在停車場車汽車必經的道路上，分別在假日與非假日進行空氣監測，每次採樣時間為連續八小時，兩台儀器設定以間隔每兩分鐘進行 pPAHs 與 TVOCs 濃度資料的記錄，儀器放置離地 1.5 公尺處，並在採樣同時以人工方式計算每十五分鐘車流量。

當上述各個採樣點採樣完畢後，會將採樣濃度資料藉由 RS-232 傳輸線從 PAS2000CE 及 ppbRAE 儀器內部記憶體傳輸到電腦中存檔分析。

第三節 研究架構

本研究架構如下：



第四節 研究對象

停車場為一密閉式室內空間，車流量出入頻繁相當大，其所排放之廢氣中含有大量的污染物，其中更是以多環芳香烴化合物與揮發性有機化合物對人體產生的致癌性及致突變性最大，故本研究的標的污染物為交通污染源所排放 pPAHs 與 TVOCs 濃度。

- (一) Total pPAHs 濃度：本研究使用 Real-time 的 PAS2000CE 儀器於周界與室內停車場量測由汽車排放廢氣中所含之 pPAH 濃度。
- (二) TVOCs 濃度：本研究使用 Real-time 的 ppbRAE 儀器於周界與室內停車場量測由汽車排放廢氣中所含之 TVOCs 濃度。



第五節 研究採樣分析設備

一、光電氣膠偵測器(PAS2000CE)

本研究所使用儀器設備是由德國製造 EcoChem Messtechnik GmbH 所製造的 PAS2000CE(如圖 3-1)，於交通繁忙的主要道路及大型購物中心附屬室內停車場進行 Real-Time total pPAHs 濃度的空氣採集。

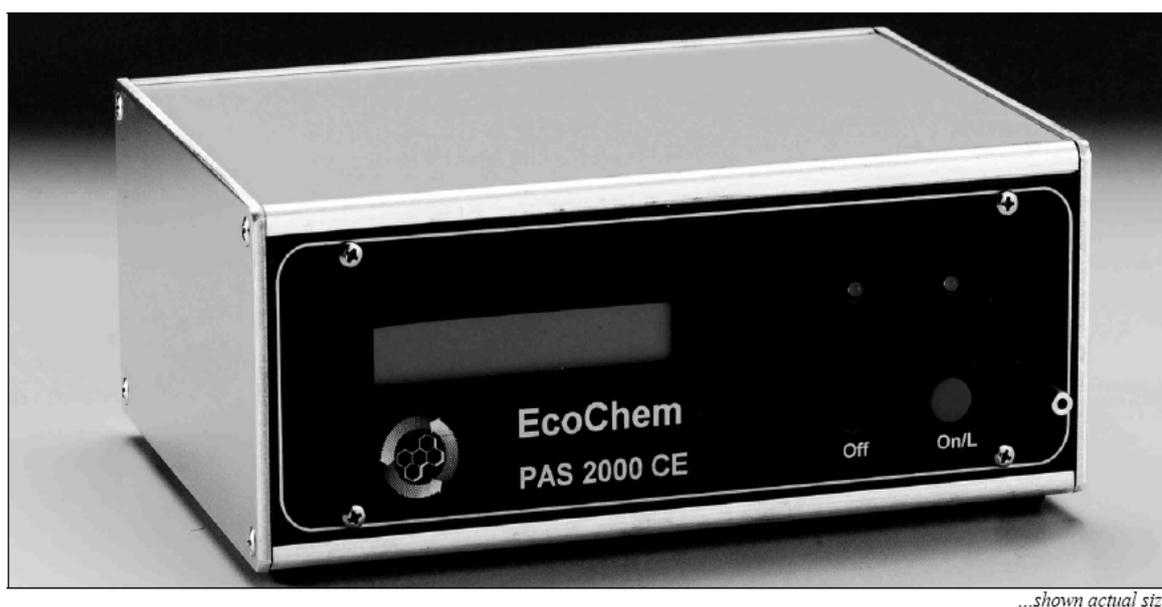


圖 3-9 光電氣膠偵測器 PAS2000CE

二、光電氣膠偵測器的原理

此儀器是針對微粒(particle)進行光致電離化(Photoionization)。當一極小微粒(ultrafine particles, diameter limit~1 μ m)光子能量($h\nu$)大於光電閾值函數，微粒即會釋放出光電離子，再經由光子輻射 (Photoemission)之後原來的微粒即會變成帶有正電的粒子(如圖 3-2 所示)。

粒子本身不具有光子輻射的能力，但粒子表面上若吸附多環芳香烴化合物 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 就很容易經由 KrBr-excimer 紫外線燈所提供 207nm 波長照射進行光致電離化，產生訊號。

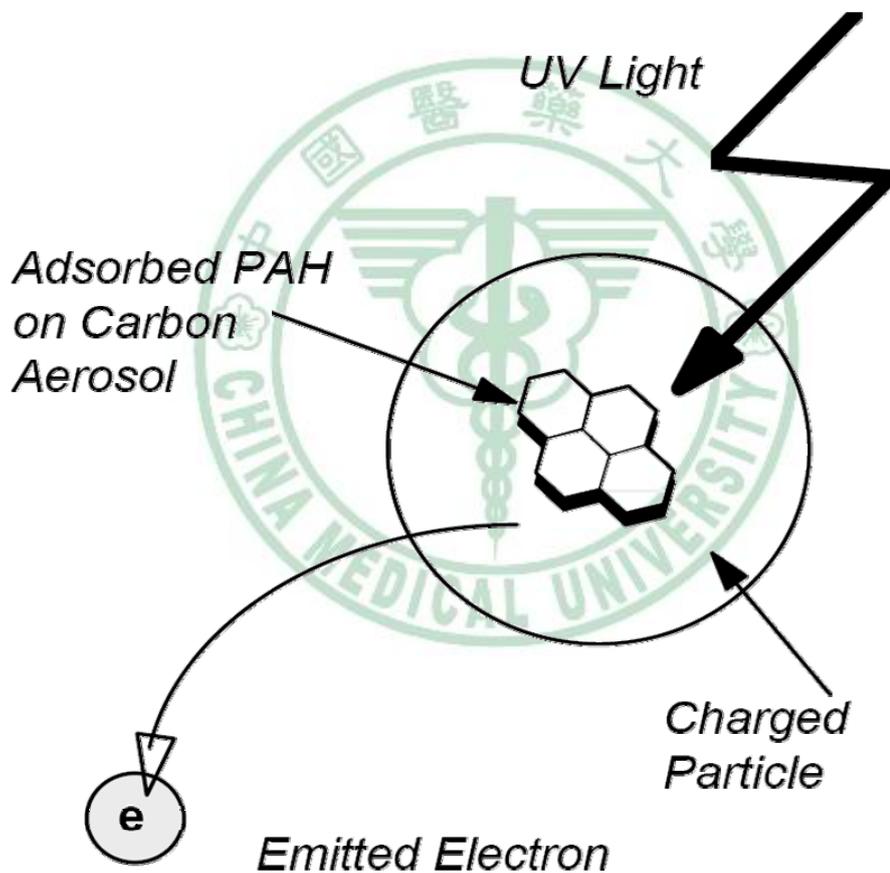


圖 3-10 Principle of the Photoelectric Aerosol Sensor

三、可攜式 ppb 有機溶劑連續偵測器(ppbRAE)

本研究所使用的 ppbRAE PGM-7240 儀器(圖 3-3)是由美國 RAE Systems Inc.製造，採樣時放置在 PAS2000CE 儀器旁進行同步採樣，於交通繁忙的主要道路及大型購物中心附屬室內停車場進行 Real-Time total TVOC 濃度的空氣採集。在儀器正式採樣前有送往儀器公司進行一次完整的氣體偵測器校正(詳見附件一)，另在每次停車場採樣進行前，偵測器會使用 10ppm isobutylene 標準氣體進行測量校正(Span calibration)，以測定每次採樣測量值之變異是否在 10%以下，以避免系統誤差產生。



圖 3-11 可攜式 ppb 有機溶劑連續偵測器 ppbRAE PGM-7240

四、可攜式 ppb 有機溶劑連續偵測器(ppbRAE)的原理

此儀器是由雙通道之光離子偵測器(Photo-ionization detector)及高能量光源之無電極放射燈管(Electrodeless discharge lamp)所組成，當揮發性有機氣體進入到偵測器中，通過 lamp 時會被光離化(photo-ionized)釋放出電子產生電流。雙通道之偵測器座落在儀器之 Chamber 中，第一個通道初步讓離子化之氣體產生電流，第二通道是量測離子化之氣體加上從紫外線燈強度從金屬表面釋放光電輻射的電子電流。此種雙通道之構造可讓儀器鑑定離子化之氣體濃度精確到 ppb 的範圍且不用頻繁的進行校正；無電極放射燈管之標準 lamp 為 10.6eV lamp，此操作條件下可獲得揮發性有機氣體最佳的解析度及敏感度(表 3-2)。



表 3-2 ppbRAE PGM-7240 可測量範圍、解析度及反應時間

Gas Monitor	Range	Resolution	Response Time
	0-9999 ppb	1 ppb	< 5 sec
VOCs	10.0-99.9 ppm	0.1 ppm	< 5 sec
	100-2000 ppm	1 ppm	< 5 sec

Available from: RAE Systems Inc.



第六節 車流量的計數

本研究是參考 Chen 等人(2003)⁽⁵⁶⁾之台灣隧道內車輛排放 VOCs 研究的車輛分類方式及美國環保署「控制車輛排放有害污染物」技術文件⁽⁵⁷⁾，將車輛分類為汽油車及柴油車，以人工方式進行車流量的計數(表 3-3)。車流量的計數，是由採樣人員在採樣點手持計數器計算通過採樣點的車輛數，統計時間為每個採樣點進行連續八小時車流量計數，每十五分鐘將車流量計數結果謄寫於記錄表上；採樣完成，將資料統整後鍵入電腦存檔備份。



表 3-3 車輛分類

車 種	種 類	內 容
	機車	普通輕重型機車
汽油車	房車	小客車、計程車
	箱型車	休旅車、3.49 噸以下的貨車
柴油車	大型貨車	曳引車、巴士、垃圾車、消防車、垃圾車、油罐車及 3.5 噸以上的貨車
	柴油休旅車、房車	現代 TUCSON、福斯 T5、福斯 GOLF



第七節 停車場室內通風量之量測

本研究是使用 Prova Instruments Inc. 製造之風速量測器 AVM-03(如圖 3-4)進行密閉式停車場室內機械排風的出風口之風速量測，採樣方式為採樣人員在 pPAH 採樣地點附近每處出風口進行連續三天，每天三次、每次取三次平均值，以風速計平行貼近出風口處靜止四秒後測量風速，所獲得之風速讀值(m/s)以人工謄寫於記錄表上，採樣完畢後，將資料鍵入電腦存檔。



圖 3-12 風速量測器 AVM-03

一、風速量測器 AVM-03 之特點

此儀器的特點為靈敏度準確、分離式風扇可邊測邊讀、低消耗電流(6mA)、最大溫度值可鎖定及風速讀值可鎖定，儀器可測量風速範圍(表 3-4)及溫度範圍(表 3-5)。



表 3-4 AVM-03 風速測量器可測量風速範圍

單位	範圍	解析度	最小風速	風速量測時間	準確度
m/s	0.0-45.0	0.1	0.3	大約 0.6	±3% or 0.1
ft/min	0-8800	10	60	大約 1.2	±3% or 10
knots	0.0-88.0	0.1	0.6	大約 1.2	±3% or 0.1
Km/hr	0.0-140.0	0.1	1.0	大約 2.2	±3% or 0.1
mph	0.0-100.0	0.1	0.7	大約 1.4	±3% or 0.1

m/s:公尺/秒 ft/min:呎/分 knots:節 Km/hr 公里/小時 mph:哩/小時

資料來源：AVM-03 風速量測器操作手冊



表 3-5 AVM-03 風速測量器可測量溫度範圍

單位	範圍	解析度	準確度
°C	0.0-60.0	0.1	±0.8
°F	32.0-140.0	0.1	±1.5

資料來源：AVM-03 風速量測器操作手冊



第八節 資料統計與分析

空氣採樣資料在 pPAHs 濃度取得方面是使用 PAS2000CE 儀器所附的 Airquel 軟體讀取，而 TVOCs 資料則是使用 ppbRAE 儀器所附之 ProRAE-Suite 軟體下載濃度資料後存檔，所得資料數據皆以 Excel 軟體建檔後，使用此軟體進行初步的敘述性統計，並以 Crystal Ball 2000 瞭解資料是呈現何種分布狀況，再依據資料分布狀況及變項性質選擇適當之統計方法，另外本研究使用 Pearson 相關係數分析車流量與 pPAHs、TVOCs 濃度的相關性，以及假設變異數不等的 t 檢定分析三家半開放式或三家密閉式停車場其假日與非假日組內的 pPAHs 濃度值是否有顯著性差異的結果。



第四章 研究結果

第一節 A2 主要道路與 C1 密閉式停車場 pPAHs 濃度變化趨勢

在 A2 主要道路與 C1 密閉式停車場連續一週每天每小時使用 PAS200CE 儀器所量測到 pPAHs 濃度變化趨勢(圖 4-1，4-2)，可看出 A2 主要道路假日 pPAHs 濃度高於非假日的現象，C1 密閉式停車場則是非假日 pPAHs 濃度高於假日的現象。



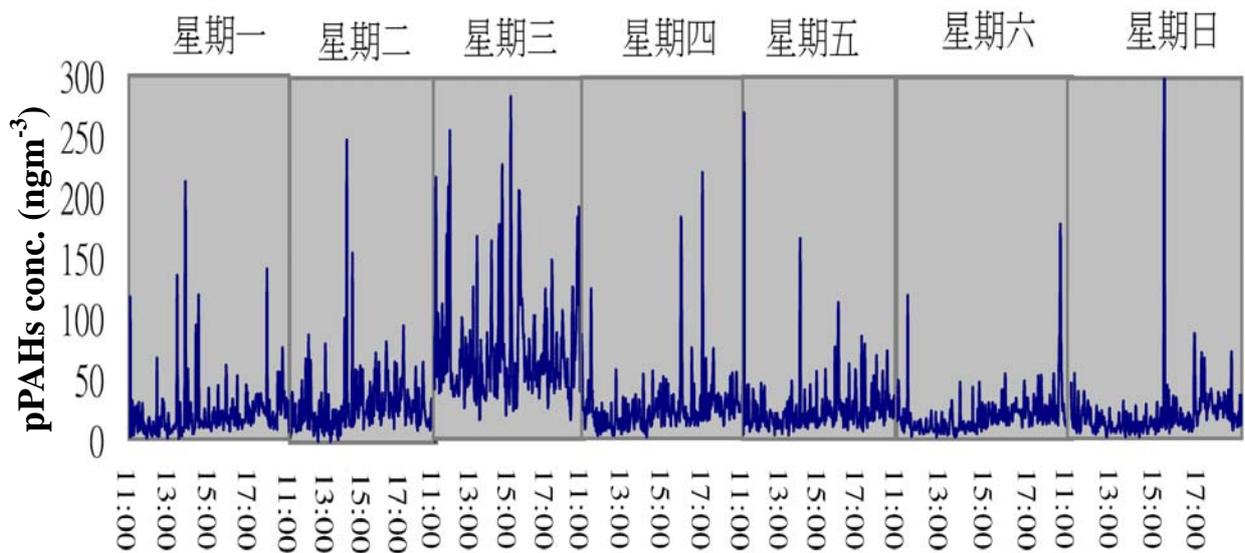


圖 4-1 連續一週 A2 主要道路每日的 pPAHs 濃度變化趨勢

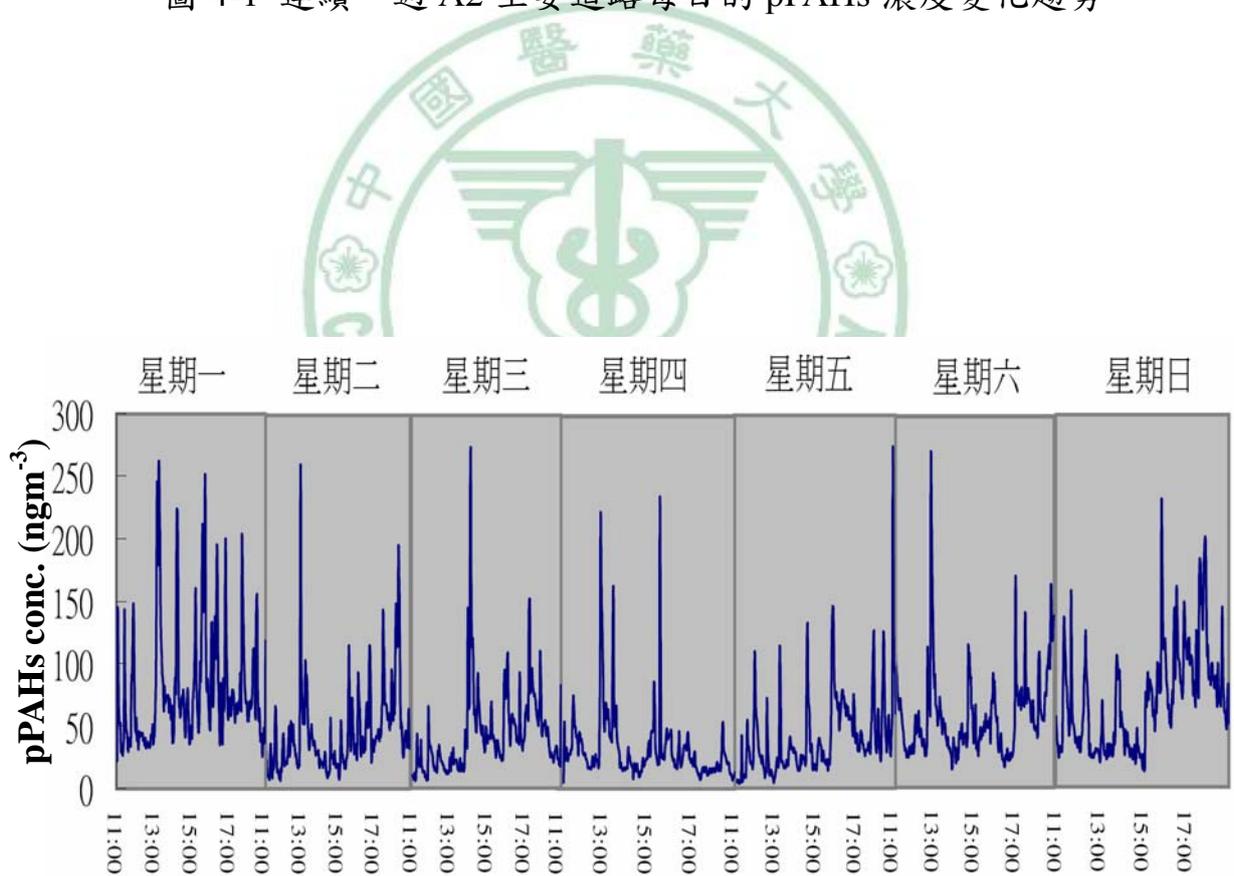


圖 4-2 連續一週 C1 密閉式停車場每日的 pPAHs 濃度變化趨勢

第二節 主要道路與密閉室停車場 pPAHs 濃度描述性統計

在兩處主要道路與密閉式停車場，於每處採樣點均回收 1680 筆的資料，比較主要道路與密閉式停車場空氣採樣值發現在密閉式停車場之每日平均 pPAHs 濃度值，範圍介於 $57.77 \pm 31.06 \sim 114.89 \pm 88.33 \text{ ngm}^{-3}$ 高於兩處主要道路 A1 的 $19.43 \pm 22.06 \sim 70.14 \pm 64.41 \text{ ngm}^{-3}$ 與 A2 的 $19.8 \pm 16.03 \sim 35.78 \pm 19.68 \text{ ngm}^{-3}$ (如表 4-1, 4-2, 4-3)，另外在 A1 與 A2 主要道路連續一週一天中濃度最高的一小時(表 4-4)分別為 $132.40 \pm 167.69 \text{ ngm}^{-3}$ (8AM)、 $45.50 \pm 28.83 \text{ ngm}^{-3}$ (11AM)，在 C1 密閉式停車場則為 $211.67 \pm 148.12 \text{ ngm}^{-3}$ (2PM)，經由上述可證實密閉式停車場室內 pPAHs 濃度範圍分別高於 A1 周界大氣 1.64~2.87 倍及 A2 周界大氣 2.67~2.82 倍，這也表示密閉式停車場室內 pPAHs 濃度相較於周界大氣不良許多。

此外 pPAHs 濃度資料使用 Anderson-Darling value 進行適合度檢定，發現資料的分布呈現 Lognormal、Extreme value、Gamma、Weibull 的無嚴重極端值之非常態分布。

表 4-1 Site A-1 連續一週 pPAHs 濃度值

	pPAHs concentration (ngm⁻³)						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Median	54.00	47.50	46.00	27.00	29.00	30.00	11.00
Mean	63.09	70.14	59.27	45.09	48.63	41.27	19.43
Std Dev	34.06	64.41	43.46	52.38	66.61	33.94	22.06
10 percentile	29.04	18.96	20.09	9.00	7.68	12.69	4.00
90 percentile	106.15	140.73	111.84	96.16	107.05	80.08	41.22
Distribution	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal
Anderson-Darling	2.98	2.20	1.0153	1.3951	0.8780	1.5416	2.0260

表 4-2 Site A-2 連續一週 pPAHs 濃度值

	pPAHs concentration (ngm ⁻³)						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Median	20.00	15.50	15.00	15.00	17.00	29.00	21.00
Mean	24.13	19.8	19.11	21.2	19.74	35.78	26.12
Std Dev	15.60	15.93	16.03	19.22	16.19	19.68	20.78
10 percentile	9.51	6.25	5.74	5.82	6.17	16.22	8.33
90 percentile	43.22	38.18	37.3	42.38	34.67	60.59	50.15
Distribution	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	Extreme value	lognormal	lognormal
Anderson-Darling	1.48	0.79	0.57	1.15	1.27	1.30	1.37

表 4-3 Site C-1 連續一週 pPAHs 濃度值

	pPAHs concentration (ngm ⁻³)						
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Median	60.50	68.00	48.00	94.50	78.00	51.00	55.00
Mean	82.97	79.85	59.55	114.89	101.24	57.77	59.10
Std Dev	76.80	44.46	43.72	88.33	77.23	31.06	34.66
10 percentile	22.22	35.48	20.69	38.03	33.79	26.68	21.26
90 percentile	166.87	138.96	111.35	218.14	191.72	97.06	106.61
Distribution	lognormal	gamma	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	Weibull
Anderson-Darling	1.04	1.64	0.16	0.32	1.75	0.51	1.52

表 4-4 連續一週為期八小時經由 PAS 所測到 pPAHs 尖峰濃度

Highest average 1 hour pPAHs concentration (ngm ⁻³)							
	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
A-1	109.3±55.89 (8AM)	132.40±167.69 (8AM)	80.53±50.17 (8AM)	86.13±87.69 (8AM)	92.53±135.32 (8AM)	67.55±78.17 (7AM)	35.5±40.25 (7AM)
A-2	30.87±14.46 (6 PM)	40.27±51.43 (6PM)	31.40±76.18 (3PM)	28.60±22.38 (5PM)	28.70±31.87 (2PM)	45.50±28.83 (11AM)	35.47±36.26 (3PM)
C-1	129.5±100.75 (6PM)	106.83±65.91 (1PM)	97.3±62.01 (6PM)	211.67±148.12 (2PM)	179.23±33.35 (6PM)	85.53±35.08 (6PM)	104.67±32.56 (5PM)

第三節 三家密閉式與半開放式停車場 pPAHs 濃度描述性統計

三家密閉式停車場，空氣資料採樣值，C1 總共回收 1680 筆資料其假日與非假日平均 pPAHs 濃度值分別為 58.59 ± 33.39 、 $87.49 \pm 70.12 \text{ ngm}^{-3}$ 、C2 回收 465 筆資料其平均 pPAHs 濃度值分別為 115.67 ± 83.10 、 $56.52 \pm 38.80 \text{ ngm}^{-3}$ 、C3 回收 480 筆資料其平均 pPAHs 濃度值分別為 65.29 ± 98.00 、 $36.57 \pm 33.21 \text{ ngm}^{-3}$ ，只有假日 C1 的資料型態是呈現 gamma 分布，其他均呈現 lognormal 分布，在適合度檢定部分只有 C1 的 Anderson-Darling value 是 < 1.5 ，另兩家之檢定值則 > 1.5 (表 4-5)。

三家半開放式停車場，空氣採樣值，S1 回收 480 筆資料假日與非假日平均 pPAHs 濃度值分別為 54.77 ± 75.66 、 $49.27 \pm 32.18 \text{ ngm}^{-3}$ 、S2 回收 477 筆資料假日與非假日平均 pPAHs 濃度值分別為 44.77 ± 22.76 、 $9.21 \pm 9.52 \text{ ngm}^{-3}$ 、S3 回收 480 筆資料假日與非假日平均 pPAHs 濃度值分別為 13.18 ± 8.20 、 $18.40 \pm 12.50 \text{ ngm}^{-3}$ ，資料型態只有 S3 是屬於 Extreme value 分布，其他均呈現 lognormal 分布。適合度檢定部份，假日 S1 與假日 S2 的 Anderson-Darling value 是 > 1.5 ，其餘檢定值皆 < 1.5 (表 4-6)，由上述可發現密閉式停車場的 pPAHs 濃度值高於半開放式停車場。

表 4-5 三家密閉式停車場 pPAHs 描述性統計

	pPAHs concentration (ngm ⁻³)					
	Enclosed parking lot (C1)		Enclosed parking lot (C2)		Enclosed parking lot(C3)	
	Weekend (n=480)	Weekday (n=1200)	Weekend (n=225)	Weekday (n=240)	Weekend (n=240)	Weekday (n=240)
Median	52.00	67.00	81.00	44.00	28.00	25.00
Mean	58.59	87.49	115.67	56.52	65.29	36.57
Std Dev	33.39	70.12	83.10	38.80	98.00	33.21
10 percentile	23.86	27.68	41.0	21.02	9.00	10.02
90 percentile	102.94	168.37	214.74	103.33	145.62	73.14
Distribution	gamma	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal
Anderson-Darling	1.08	1.47	4.67	2.42	12.10	1.50

表 4-6 三家半開放式停車場 pPAHs 描述性統計

	pPAHs concentration (ngm ⁻³)					
	Semi-open parking lot (S1)		Semi-open parking lot (S2)		Semi-open parking lot (S3)	
	Weekend (n=240)	Weekday (n=240)	Weekend (n=239)	Weekday (n=238)	Weekend (n=240)	Weekday (n=240)
Median	38.00	33.00	6.00	38.00	11.00	16.00
Mean	49.27	54.77	9.21	44.77	13.18	18.40
Std Dev	32.18	75.66	9.52	22.76	8.20	12.50
10 percentile	19.22	8.54	2.15	21.59	5.37	7.44
90 percentile	88.55	120.72	19.10	73.78	23.3	30.74
Distribution	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	lognormal	Extreme value
Anderson-Darling	6.05	0.66	2.49	0.67	0.67	1.01

第四節 假日與非假日半開放式及密閉式停車場 pPAHs 濃度比較

不管密閉式或是半開放式停車場所測得之 pPAHs 濃度，均是呈現右偏之 lognormal 分布，所以使用幾何平均值比起算數平均值來呈現資料相對地會較低，也較能代表室內環境採樣之濃度值。比較三家半開放式停車場假日 pPAHs 幾何平均濃度值發現 S1 濃度最高($41.25 \pm 1.81 \text{ ngm}^{-3}$)依序為 S3($11.19 \pm 1.77 \text{ ngm}^{-3}$)、S2($6.41 \pm 2.34 \text{ ngm}^{-3}$)；非假日 Total pPAHs 幾何平均濃度值分別為 S2($39.91 \pm 1.62 \text{ ngm}^{-3}$)、S1($32.11 \pm 2.81 \text{ ngm}^{-3}$)、S3($3.31 \pm 1.38 \text{ ngm}^{-3}$)；在比較三家密閉式停車場假日 pPAHs 幾何平均濃度值 C1($68.27 \pm 2.02 \text{ ngm}^{-3}$)、C2($46.6 \pm 1.86 \text{ ngm}^{-3}$)、C3($27.07 \pm 2.17 \text{ ngm}^{-3}$)，非假日 pPAHs 幾何平均濃度值發現 C2 濃度為最高($93.94 \pm 1.91 \text{ ngm}^{-3}$)依序為 C1($50.28 \pm 1.74 \text{ ngm}^{-3}$)、C3($36.2 \pm 2.96 \text{ ngm}^{-3}$)。

此外，將原始資料執行 Log-transformed 後，使用假設變異數不等的雙尾 t-test 檢定進行分析，發現不管是三家半開放式或三家密閉式停車場其假日與非假日組內的 pPAHs 濃度值有顯著性差異(表 4-7、4-8)。

表 4-7 三家半開放式停車場假日與非假日 pPAHs 濃度(ngm^{-3})比較

Location	n	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Geometric mean	Geometric Standard deviation
weekday							
S1	240	3	1127	54.77	75.66	32.11*	2.81
S2	238	10	205	44.77	22.76	39.91*	1.62
S3	240	3	127	18.40	12.50	3.31*	1.38
weekend							
S1	240	13	987	49.27	32.18	41.25*	1.81
S2	239	1	439	9.21	9.52	6.41*	2.34
S3	240	2	52	13.18	8.20	11.19*	1.77

*假設變異數不等的雙尾 t 檢定 $p < 0.05$

表 4-8 三家密閉式停車場假日與非假日 pPAHs 濃度(ngm^{-3})比較

Location	n	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Geometric mean	Geometric Standard deviation
weekday							
C1	1200	5	782	87.49	70.12	68.27*	2.02
C2	240	15	556	56.52	38.80	46.60*	1.86
C3	240	4	1029	36.57	33.21	27.07*	2.17
weekend							
C1	480	11	267	58.59	33.39	50.28*	1.74
C2	225	30	896	115.67	83.10	93.94*	1.91
C3	240	5	1625	65.29	98.00	36.20*	2.96

*假設變異數不等的雙尾 t 檢定 $p < 0.05$

第五節 主要道路與半開放式及密閉式停車場 TVOCs 濃度描述

TVOCs 濃度量測總共只回收了一處主要道路、兩家半開放式停車場、一家密閉式停車場。在主要道路連續一週採樣期間由於假日遭逢下雨的狀況，而未進行主要道路 TVOCs 濃度的量測，故非假日平均濃度值範圍介於 $23.96\pm 26.85\sim 46.50\pm 61.05$ ppb (表 4-9)。

所測得之兩家半開放式停車場 S2 與 S3 假日及非假日 TVOCs 濃度值依序分別 56.00 ± 79.55 、 200.00 ± 127.81 ppb， 347.90 ± 243.58 、 102.83 ± 61.21 ppb，然一家密閉式停車場假日及非假日 TVOCs 濃度值則分別為 1005.67 ± 303.24 、 1164.55 ± 289.30 ppb (表 4-10)。由上述可看出密閉式停車場的平均 TVOCs 濃度值為最高，高於兩家半開放式停車場與一處主要道路。

另外，也比較半開放式與密閉式停車場每十五分鐘車流量與 TVOCs 的相關性，從圖 4-1、4-2、4-3、4-4 可看出，無論是半開放式或密閉式停車場之車流量與 TVOCs 的相關性呈現無顯著性相關和弱相關。

表 4-9 主要道路連續一週 TVOCs 描述性統計

	TVOCs concentration (ppb)						
	Monday (n=240)	Tuesday (n=240)	Wednesday (n=233)	Thursday (n=238)	Friday (n=238)	Saturday (n=0)	Sunday (n=0)
Median	4.00	13.00	16.00	14.00	62.30	-	-
Mean	23.96	27.67	29.08	24.45	46.50	-	-
Std Dev	26.85	31.56	31.00	26.85	61.05	-	-
10 percentile	0.41	0.35	0.50	0.41	6.74	-	-
90 percentile	65.66	75.32	78.01	65.66	142.35	-	-
Distribution	gamma	gamma	gamma	gamma	weibull	-	-
Anderson-Darling	10.88	2.90	3.42	2.88	1.87	-	-

-代表無量測值

表 4-10 半開放式與密閉式停車場 TVOCs 描述性統計

	TVOCs concentration (ppb)					
	Semi-open parking lot (S2)		Semi-open parking lot (S3)		Enclosed parking lot(C3)	
	Weekend (n=240)	Weekday (n=238)	Weekend (n=240)	Weekday (n=246)	Weekend (n=249)	Weekday (n=261)
Median	25.50	167.00	249.00	90.50	1161.00	944.00
Mean	56.00	200.00	347.90	102.83	1164.55	1005.67
Std Dev	79.55	127.81	243.58	61.21	289.30	303.24
10 percentile	0.72	86.33	126.86	43.62	815.58	714.99
90 percentile	151.61	352.72	640.27	178.97	1533.04	1333.20
Distribution	gamma	gamma	lognormal	lognormal	Extreme value	logistic
Anderson-Darling	1.03	0.46	1.04	0.26	0.96	3.75

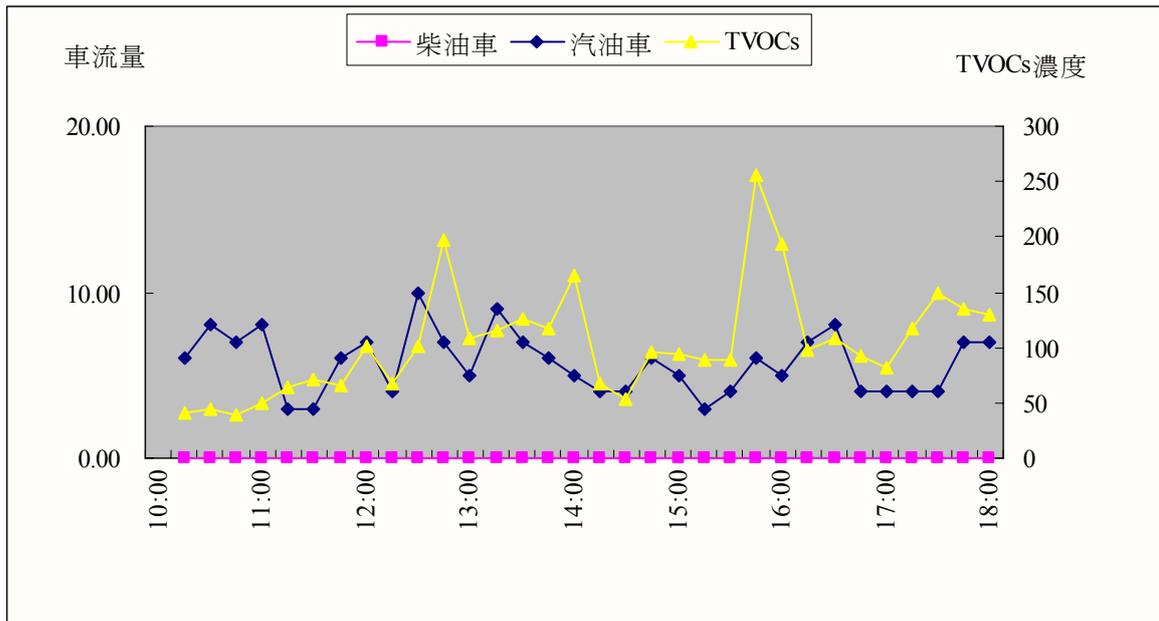


圖 4-3 S3 半開放式停車場假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布圖

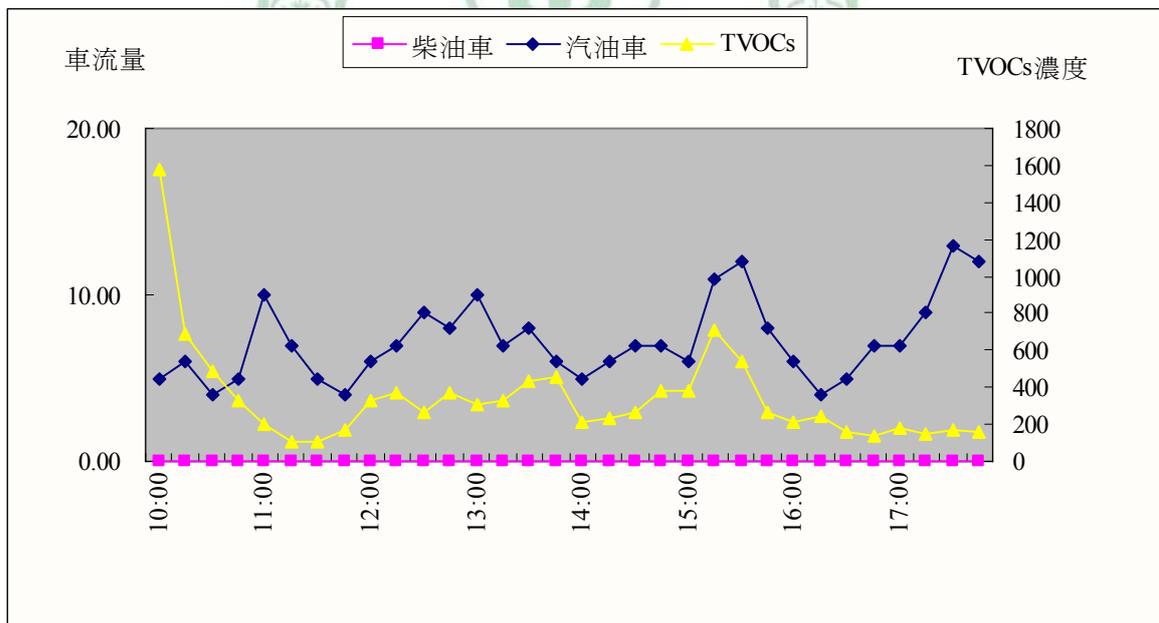


圖 4-4 S3 半開放式停車場非假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布圖

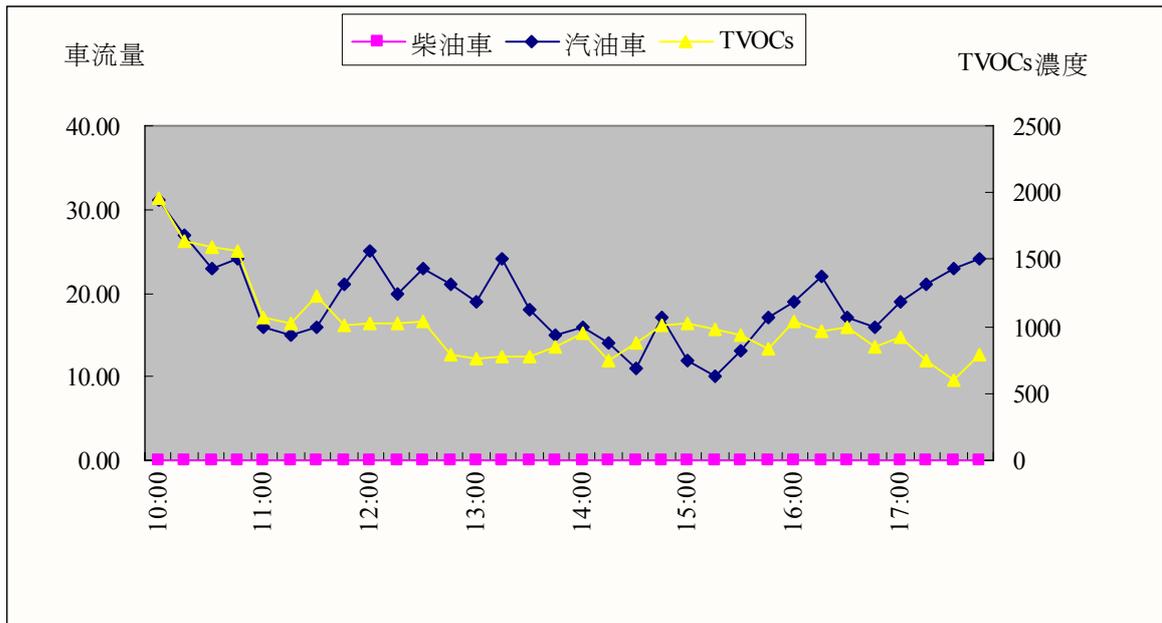


圖 4-5 C3 密閉式停車場假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布圖

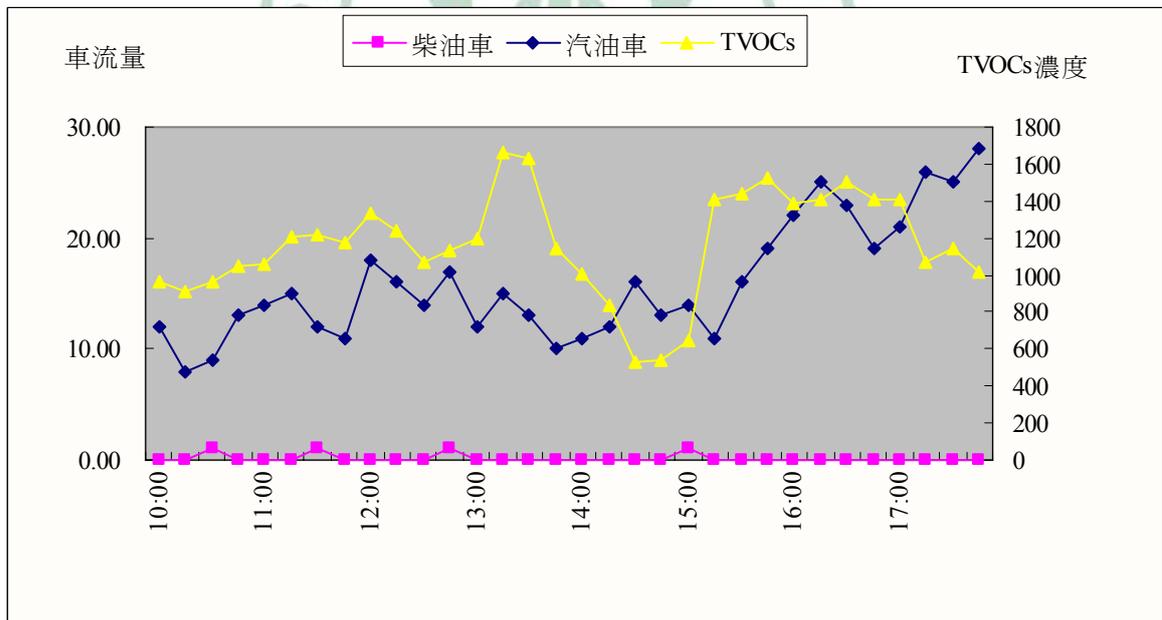


圖 4-6 C3 密閉式停車場非假日每十五分鐘車流量與 TVOCs 濃度分布圖

第六節 車流量與 pPAHs 濃度相關性

A1、A2 主要道路的假日與非假日總車流量分別為 12,603 輛/天、16,443 輛/天，11,583 輛/天、10,635 輛/天(表 4-11)，可看出 A1 車流量明顯高於 A2。另外三家密閉式與半開放式停車場其假日與非假日每天平均車流量(詳見表 4-12、4-13)，可發現在密閉式停車場部份，C1 車流量非假日(1074 輛/天)高於假日(861 輛/天)，其他兩家 C2 與 C3 假日(868 輛/天、609 輛/天)與非假日車流量(827 輛/天、514 輛/天)則呈現假日車流量高於非假日的現象；至於在半開放式停車場車流量方面，三家停車場 S1、S2 及 S3 車流量都是假日(675 輛/天、738 輛/天、232 輛/天)高於非假日(449 輛/天、632 輛/天、178 輛/天)的狀況。

半開放式與密閉式停車場之車流量與 pPAHs 濃度的相關性，可從假日與非假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度，本文僅以 S1 與 C3 呈現分布圖(圖 4-5、4-6、4-7、4-8)，從圖中可看出假日與非假日之車流量與 pPAHs 濃度呈現無顯著性相關或弱相關；另外，無論是半開放式或密閉式停車場車流量大多是以汽油車為主，而柴油車則佔極少數。

表 4-11 主要道路車流量

	交通流量 (車輛/天)					
	主要道路(A1)		主要道路(A2)		密閉式停車場(C1)	
	非假日	假日	非假日	假日	非假日	假日
汽油車	9050	7011	3538	5191	1073	854
柴油車	722	497	243	129	0	2
機車	6671	5095	6854	6263	1	5
總量	16443	12603	10635	11583	1074	861

表 4-12 密閉式停車場車流量

	交通流量 (車輛/天)					
	密閉式停車場(C1)		密閉式停車場(C2)		密閉式停車場(C3)	
	非假日	假日	非假日	假日	非假日	假日
汽油車	1073	854	825	852	510	609
柴油車	0	2	2	16	4	0
機車	1	5	0	0	0	0
總量	1074	861	827	868	514	609

表 4-13 半開放式停車場車流量

	交通流量 (車輛/天)					
	半開放式停車場(S1)		半開放式停車場(S2)		半開放式停車場(S3)	
	非假日	假日	非假日	假日	非假日	假日
汽油車	439	649	625	735	176	232
柴油車	10	26	7	3	0	0
機車	0	0	0	0	2	0
總量	449	675	632	738	178	232

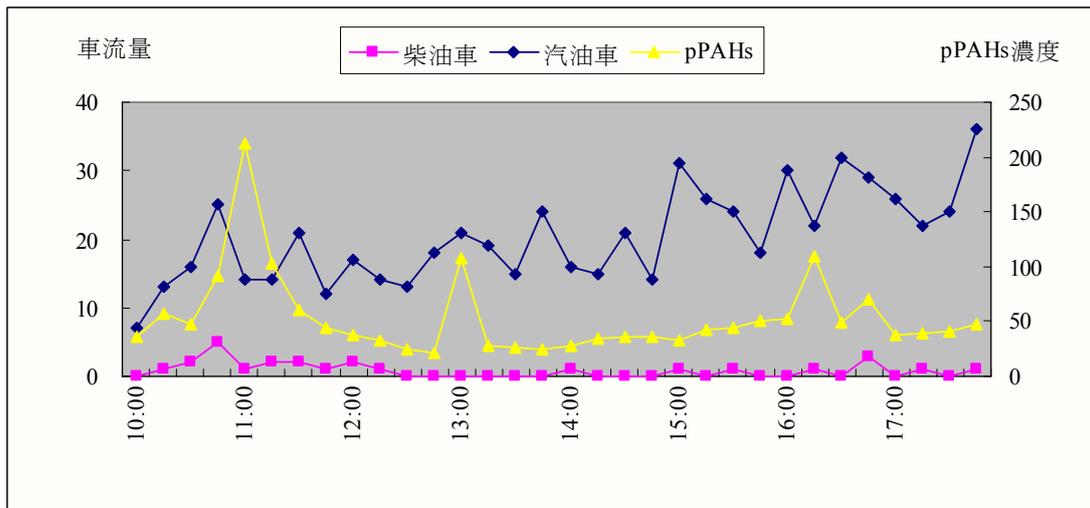


圖 4-7 S1 半開放式停車場假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布圖

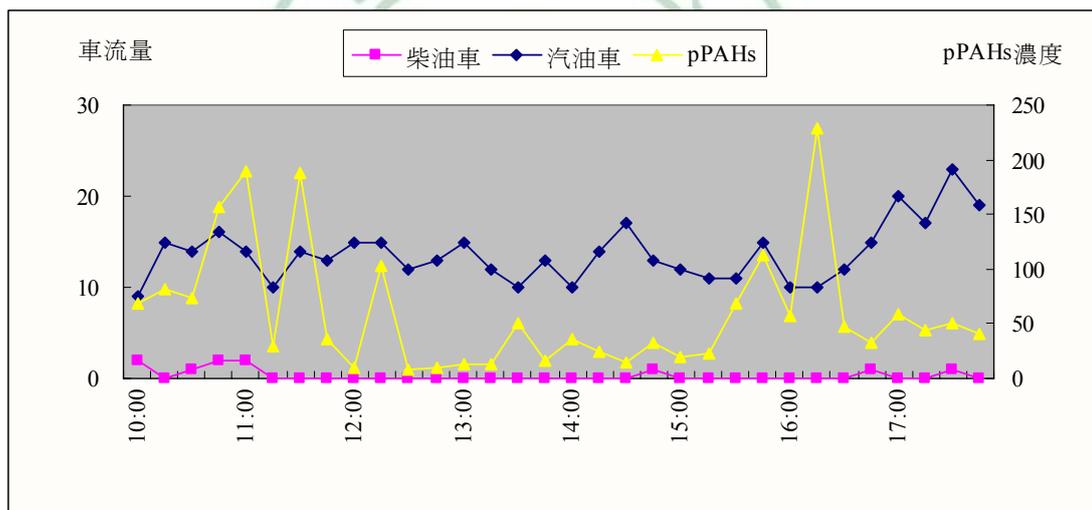


圖 4-8 S1 半開放式停車場非假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布圖

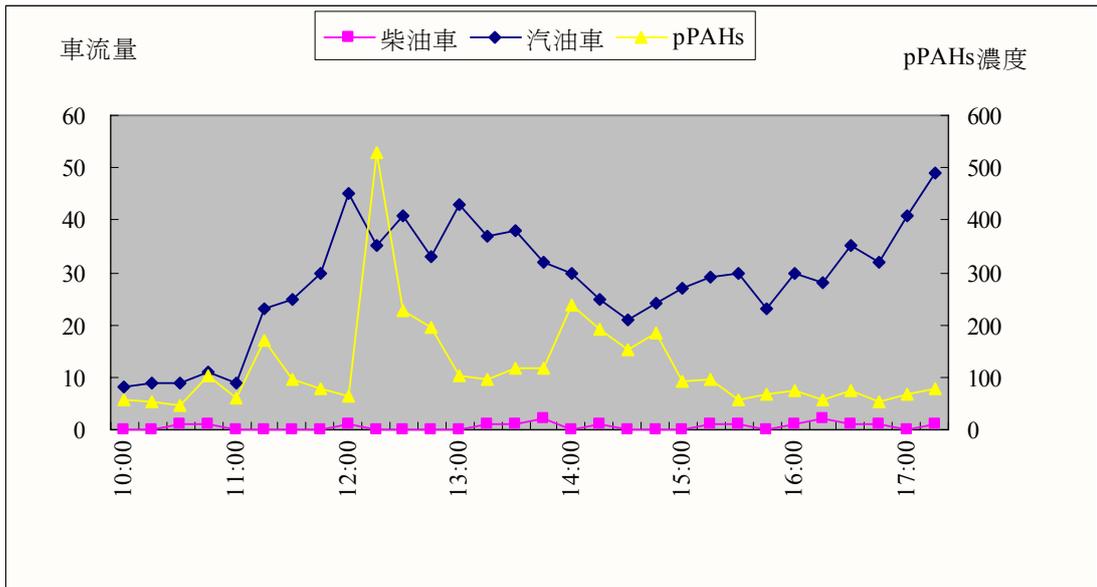


圖 4-9 C2 密閉式停車場假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布圖

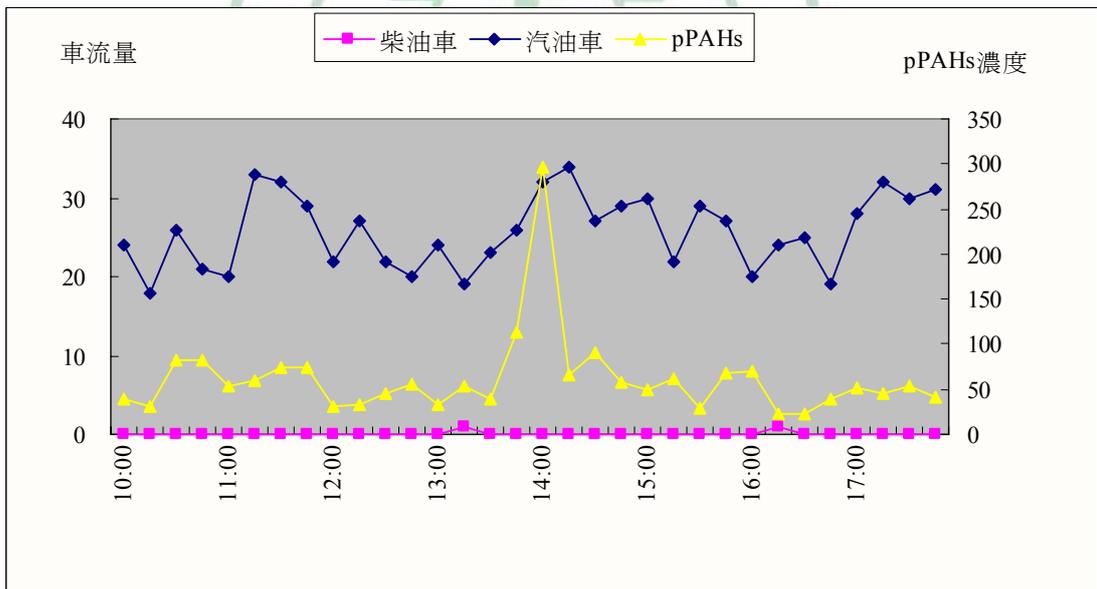


圖 4-10 C2 密閉式停車場非假日每十五分鐘車流量與 pPAHs 濃度分布圖

第七節 停車場通風設備之描述

本研究在採樣期間只選取了一家 C1 密閉式停車場，使用 AVM-03 風速計進行採樣點附近的機械通風口之風速量測，C1 主要的通風設備是空調系統。另，本研究也假設具有空調設備的停車場其換氣量與通風量均是穩定的狀況下，進行為期三天、每天三個時段、每個時段三次的風速量測，量測結果發現在 C1 採樣地點附近通風口的平均風速都為 0 m/s(表 4-14)且通風量皆為 0 米立方公尺/分鐘，另外也詢問了停車場管理人，證實每天營業時間即會啟動空調，其換氣量設定都是固定的，且本研究採樣點附近的空調設備已老舊毀損使用長達 15 年，這也代表採樣點是處在無風的狀態下進行 pPAHs 濃度的測定，因此本研究中風速對採樣濃度的影響不大。另兩家密閉式停車場 C2、C3 的通風設備，C2 並未有任何通風設備，故未考慮風速的影響，C3 則受限人力與時間因素，而未進行量測。

表 4-14 C1 採樣點附近通風口之平均風速值(m/s)

	B 棟電梯 左 B2 區	電梯前面 B3 區	採樣器 下方	採樣器後 方車道	入車道 B3 區	A1 區	A2-A3 區	D2 區 往 B5 的 車道	D25 區	D26 區
6/4										
早	2.43	2.47	0	0	0	0	0	2.37	6.30	4.83
中	2.33	2.30	0	0	0	0	0	2.30	6.30	4.97
晚	1.70	2.07	0	0	0	0	0	2.37	6.30	4.43
6/5										
早	2.40	2.23	0	0	0	0	0	1.97	6.40	4.67
中	2.30	2.37	0	0	0	0	0	2.27	6.20	4.63
晚	2.23	2.37	0	0	0	0	0	2.20	6.13	4.73
6/6										
早	1.83	1.87	0	0	0	0	0	2.43	2.47	4.60
中	1.80	1.83	0	0	0	0	0	1.53	6.17	4.80
晚	1.87	1.70	0	0	0	0	0	1.77	6.27	4.80
平均	2.10	2.12	0	0	0	0	0	2.05	6.24	4.72

表 4-15 C1 採樣點附近通風口之通風量(米立方公尺/分鐘)

	B 棟電梯 左 B2 區	電梯前面 B3 區	採樣器 下方	採樣器後 方車道	入車道 B3 區	A1 區	A2-A3 區	D2 區 往 B5 的 車道	D25 區	D26 區
6/4										
早	6.56	6.67	0	0	0	0	0	6.40	17.01	13.04
中	6.29	6.21	0	0	0	0	0	6.21	17.01	13.42
晚	4.59	5.59	0	0	0	0	0	6.40	17.01	11.96
6/5										
早	6.48	6.02	0	0	0	0	0	5.32	17.28	12.61
中	6.21	6.40	0	0	0	0	0	6.13	16.74	12.50
晚	6.02	6.40	0	0	0	0	0	5.94	16.55	12.77
6/6										
早	4.94	5.05	0	0	0	0	0	6.56	6.67	12.42
中	4.86	4.94	0	0	0	0	0	4.13	16.66	12.96
晚	5.05	4.59	0	0	0	0	0	4.78	16.93	12.96
平均	5.67	5.72	0	0	0	0	0	5.54	16.85	12.74

註:通風量=通風口面積*風速值(m/s)*60

通風口面積:(0.3*0.15m)

第五章 討論

第一節 研究採樣點說明

本研究選取兩處主要道路及六家室內停車場進行 pPAHs 與 TVOCs 濃度的採集，兩處主要道路的選取，一處為上下班尖峰時刻車流量多的主要道路，另一處則是相對某一家密閉式停車場的出入口道路，其目的要比較周界大氣與室內停車場的濃度差異；停車場選取各三家半開放式及密閉式停車場，是想瞭解不同的空間型態是否會影響空氣污染物濃度分布。

礙於 Real-Time PAS2000CE 與 ppbRAE 採樣儀器，個別都只有一台的限制條件下，無法進行室內停車場不同區域同時時間點的空氣濃度監測只能針對各家停車場的採樣點，重複性進行定點式連續八小時空氣濃度監測，此 1 點所測得的濃度值僅能代表該採樣點微環境的污染濃度值；另外，兩處主要道路與室內停車場車流量種類也有所不同，因主要道路車流量包含汽油車、柴油車、機車，而室內停車場車流量主要是以汽車占最多數，機車與柴油車甚少會進入停車場，故在分析車流量與 pPAHs 與 TVOCs 濃度相關性時，會受到車流量種類不同而有所影響。

第二節 pPAHs 濃度與其它研究比較

一、交通繁忙主要道路 pPAHs 濃度與其它研究比較

本研究選取了兩處的主要道路進行量測，發現 A1 主要道路連續一週的平均 pPAHs 濃度測值範圍介於 19.43~70.14 ngm^{-3} ，A2 主要道路平均 pPAHs 濃度值範圍介於 19.11~35.78 ngm^{-3} ，本研究測得之 pPAHs 濃度與 Chetwittayachan⁽⁴⁰⁾等人在日本東京與泰國曼谷的主要道路及一般區域使用 PAS2000CE 量測 pPAHs 濃度相類似。

另外也將兩處主要道路白天平均 pPAHs 濃度最高一小時值與國外相關研究相比較(表 5-1)，發現 A1 pPAHs 濃度 132 ngm^{-3} 與其他都市相類似，然 A2 濃度 46 ngm^{-3} 為最低，這可能是因兩處主要道路開始量測 pPAHs 濃度的時間點不一樣(A1 量測時間為 7AM~6PM，A2 量測時間為 11AM~7PM)，以及道路涵蓋面積不同與鄰近的道路型態不同有關，因 A1 採樣點是四線道(30 米)道路，鄰近台中市交通主要幹道-大雅路，為上下班尖峰時刻交通流量大相較於 A2 採樣點是兩線道(15 米)的道路，鄰近五權路，其道路交通密度相當高；此外在 A1 假日(12,603 輛/天)與非假日(16,443 輛/天)車流量，比起 A2 假日(11,583 輛/天)與非假日(10,635 輛/天)明顯較高，上述可解釋為何 A1 採樣點濃度會高於 A2 採樣點的原因。

另外，本研究與其他研究⁽⁴⁰⁾每日車流總量與每小時最高一小時 pPAHs 濃度，在泰國曼谷地區每日總車流量為 71,850 輛、最高一小時 pPAHs 濃

度 195 ngm^{-3} ，日本東京地區每日總車流量為 29,500 輛、最高一小時 pPAHs 濃度 186 ngm^{-3} ，本研究 A1 主要道路每日總車流量為 16,443 輛、最高一小時 pPAHs 濃度 132 ngm^{-3} 、A2 主要道路每日總車流量為 10,635 輛、最高一小時 pPAHs 濃度 46 ngm^{-3} ，將上述進行每日車流總量與每小時最高一小時 pPAHs 濃度進行相關性分析發現兩者相關性佳($r^2=0.74$)，這也表示 pPAHs 濃度可能是由汽機車所排放貢獻而來。



表 5-1 不同都市使用 PAS 量測到白天最高一小時 pPAHs 濃度

City	Study period	Highest 1 hour pPAHs concentration (ngm ⁻³)	Traffic volume (total cars/day)	Reference
Taichung, Taiwan (A1)	27 March-2 April 2007	132 (8AM)	16,443	This study
Taichung, Taiwan (A2)	3-9 May 2007	46 (11AM)	10,635	This study
Tokyo, Japan	22-29 August 2000	186 (7AM)	29,500	Chetwittayachan et al.(2002) ⁽⁴⁰⁾
Bangkok, Thailand	2-9 March 2001	195 (7AM)	71,850	Chetwittayachan et al.(2002) ⁽⁴⁰⁾
Bastel, Switzerland	6-7 August 1997	252 (11AM)	-	Junker et al. (2000) ⁽⁵⁸⁾
Aosta, Italy	1-22 March 1995	475 (9AM) ^a	-	Agnesod et al. (1996) ⁽³⁸⁾

^a The values were estimated from the average daily profile of total PAHs concentration in the report.

二、密閉式停車場 pPAHs 濃度之比較

密閉式停車場所測得之 pPAHs 濃度，均呈現右偏之 lognormal 分布，依據 Waldman 等人(1990)⁽⁵⁹⁾以及 Dubowsky(1999)⁽³⁵⁾等人研究，資料進行對數轉換後，取幾何平均值來呈現停車場資料比起算數平均值會較低，更能代表室內環境採樣之濃度值。

C1 密閉式停車場測得 pPAHs 濃度經由對數轉換後取幾何平均值發現非假日($68.27 \pm 2.02 \text{ ngm}^{-3}$)濃度高於假日($50.28 \pm 1.74 \text{ ngm}^{-3}$) 並有統計上顯著性差異($p < 0.05$)的現象，這可能是因在採樣期間遇到大型購物中心之週年慶，非假日(1074 輛/天)比起假日(861 輛/天)車流量較高所導致。另外從兩家密閉式停車場可以發現假日 pPAHs 濃度高於非假日並有顯著性差異($p < 0.05$)，C2、C3 假日及非假日濃度分別為 $93.94 \pm 1.91 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $46.60 \pm 1.86 \text{ ngm}^{-3}$ ， $36.20 \pm 2.96 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $27.07 \pm 2.17 \text{ ngm}^{-3}$ ，這可能和停車場假日與非假日車流量相關，因 C2、C3 假日平均車流總量分別為 868 輛/天、609 輛/天，明顯高於非假日 827 輛/天、514 輛/天。

根據 Oda 等人(2001)⁽⁶⁰⁾研究位於日本隧道採樣中發現 Benzo(a)pyrene 佔 PPAHs 約為 4.68%，假設密閉式停車場的室內環境與隧道相類似，且 PPAHs 濃度主要是由汽機車所貢獻，將 pPAHs 每日平均濃度範圍 $57.77 \pm 31.06 \sim 114.89 \pm 88.33 \text{ ngm}^{-3}$ 換算成 Benzo(a)pyrene 可發現密閉式停車場的濃度值範圍高達 $2.70 \sim 5.38 \text{ ngm}^{-3}$ 與義大利空氣中有害物質容許濃度

標準⁽³⁸⁾的 1 ngm^{-3} 相較，高出 2.7~5.38 倍，可見室內停車場的 Benzo(a)pyrene 濃度是相當高，這對長期待在停車場工作的員工具潛在性的健康危害。

三、半開放式停車場 pPAHs 濃度之比較

半開放式停車場測得 pPAHs 濃度經由對數轉換後取幾何平均值發現 S1、S3 假日 ($41.25 \pm 1.81 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $11.19 \pm 1.77 \text{ ngm}^{-3}$) 濃度高於非假日 ($32.11 \pm 2.81 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $3.31 \pm 1.38 \text{ ngm}^{-3}$)；反之 S2 則是非假日 ($39.91 \pm 1.62 \text{ ngm}^{-3}$) 濃度高於假日 ($6.41 \pm 2.34 \text{ ngm}^{-3}$)，另外無論是在假日內或非假日三家半開放式停車場 pPAHs 濃度有統計上顯著性差異 ($p < 0.05$) 的現象，從上述也可發現三家半開放式停車場的假日與非假日 pPAHs 濃度從高至低依序排列為 $S1(41.25 \pm 1.81 \text{ ngm}^{-3}, 32.11 \pm 2.81 \text{ ngm}^{-3}) > S2(6.41 \pm 2.34 \text{ ngm}^{-3}, 39.91 \pm 1.62 \text{ ngm}^{-3}) > S3(11.19 \pm 1.77 \text{ ngm}^{-3}, 3.31 \pm 1.38 \text{ ngm}^{-3})$ ，這可能是與各家停車場面積不同有關，三家停車場面積由大至小順序分別為是 $S3 > S2 > S1$ ，由於室內一單位體積的微粒濃度會隨著室內面積增大，而呈現濃度下降的現象，另外也將三家半開放式停車場的面積與假日 pPAHs 濃度進行皮爾森相關性分析發現呈高度負相關 ($r^2 = -0.74$)，這表示室內面積大小會影響 pPAHs 濃度高低變化的可能原因之一。

第三節 TVOCs 濃度與其他研究比較

停車場 TVOCs 濃度的量測，只對一處主要道路、兩家半開放式及一家密閉式停車場進行採樣，是因儀器在進行第一次採樣後，儀器記憶體儲存容量已滿，但傳輸線未事先置放在採樣設備中，故採樣後未能即時將量測值下載下來，礙於時間因素，最後只對上述的場址進行量測。

兩家半開放式停車場 S2 與 S3 假日及非假日 TVOCs 濃度值依序分別為 56.00 ± 79.55 、 200.00 ± 127.81 ppb， 347.90 ± 243.58 、 102.83 ± 61.21 ppb，然一家密閉式停車場假日及非假日 TVOCs 濃度值則分別為 1005.67 ± 303.24 、 1164.55 ± 289.30 ppb，就以上敘述可看出密閉式停車場 TVOCs 濃度為最高，這可能是半開放式停車場與周界空氣相互流通，在室內通風換氣量部分不像密閉式停車場必須完全仰賴空調系統，這也合理反映出密閉式停車場 TVOCs 濃度比起半開放式停車場還要高出許多，但是與我國室內空氣品質建議值⁽⁶¹⁾所規範的每小時平均值 3 ppm 相比較，並未超出法規標準。

本研究發現車流量與 TVOCs 濃度相關性呈現無顯著性和弱相關與 Hsieh 等人(1999)⁽⁶²⁾於台北隧道內監測 VOCs 濃度之研究比較，其研究發現在汽車隧道中總揮發性有機化合物濃度範圍介於 $483.5 \mu\text{g m}^{-3}$ ~ $1032.2 \mu\text{g m}^{-3}$ ，且總揮發性有機化合物濃度會隨著車流量增加而隨之增高；在機車隧道中總揮發性有機化合物範圍介於 $356.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ~ $1961.3 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但總

揮發性有機化合物濃度與車流量並未呈現良好相關性，從上述比較可看出本研究與其他研究結果是相類似的，因停車場與隧道同樣為室內環境，其主要會影響總揮發性有機化合物濃度變動為車流量，可見室內停車場的 TVOCs 濃度並未如想像中的嚴重。



第四節 車流量與 pPAHs 濃度相關性探討

本研究分別在三家半開放式停車與密閉式停車場所量測 pPAHs 濃度與車流量相關性呈現無明顯相關及弱相關性，此結果與 Chetwittayachan⁽⁴⁰⁾等人的研究結果一致，可能原因有二，一是進入購物中心附屬室內停車場大多是以汽油車為主，只除了少量之柴油休旅車外，幾乎不會有柴油車進入，而在停車場裡柴油休旅車又佔極少數；二是當 pPAHs 濃度發生迅速增減的現象時，相對地停車場車流量是固定，因在採樣的期間有觀察到當車子通過採樣點的時候，發現 pPAHs 濃度值有迅速增加而後下降現象，但濃度變化時間不超過儀器所設定 2 分鐘記錄一筆的濃度值。

據 Lee 等人(1995)⁽⁶³⁾研究證實與總 PAHs 濃度相關的交通污染源，是以柴油引擎所排放的總 PAHs 濃度為最高；此外 Weingartner 等人(1997)⁽⁶⁴⁾研究也發現在隧道內無論是重型車輛(heavy-duty vehicles)或柴油車之 pPAHs 排放係數都比輕型(light-duty vehicles)的汽油車輛較高，另 Junker 等人(2000)⁽⁵⁸⁾研究結果顯示重型車輛(heavy-duty vehicles)相較於輕型車輛(light-duty vehicles)與 pPAHs 濃度具強度相關性。相對地，這也可以解釋為何本研究室內停車場 pPAHs 濃度與車流量相關性呈現無顯著性相關和弱相關的原因。

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、本研究於兩處主要道路與一家中部大型購物中心附屬室內停車場進行連續一週 pPAHs 採樣，發現密閉式停車場室內 pPAHs 濃度高於主要道路，密閉式停車場 C1 之每日平均 pPAHs 濃度值範圍介於 $57.77 \pm 31.06 \sim 114.89 \pm 88.33 \text{ ngm}^{-3}$ 高於兩處主要道路 A1 的 $19.43 \pm 22.06 \sim 70.14 \pm 64.41 \text{ ngm}^{-3}$ 與 A2 的 $19.8 \pm 16.03 \sim 35.78 \pm 19.68 \text{ ngm}^{-3}$ 。
- 二、本研究於六家中部大型購物中心附屬室內停車場進行 pPAHs 濃度監測發現三家密閉式停車場假日與非假日幾何平均值濃度，只除了 C1 在採樣期間遇到週年慶呈現非假日 ($68.27 \pm 2.02 \text{ ngm}^{-3}$) 濃度高於假日 ($50.28 \pm 1.74 \text{ ngm}^{-3}$) 情況，其它兩家則是 C2、C3 假日 ($93.94 \pm 1.91 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $36.20 \pm 2.96 \text{ ngm}^{-3}$) 高於非假日 (46.60 ± 1.86 、 $27.07 \pm 2.17 \text{ ngm}^{-3}$) 的情況，這可能與假日與非假日車流量多寡有關；另三家半開放式停車場假日與非假日 pPAHs 的幾何平均值濃度在 S1、S3 假日 ($41.25 \pm 1.81 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $11.19 \pm 1.77 \text{ ngm}^{-3}$) 濃度高於非假日 ($32.11 \pm 2.81 \text{ ngm}^{-3}$ 、 $3.31 \pm 1.38 \text{ ngm}^{-3}$)；反之 S2 則是非假日 ($39.91 \pm 1.62 \text{ ngm}^{-3}$) 濃度高於假日 ($6.41 \pm 2.34 \text{ ngm}^{-3}$)，這可能是與各家停車場體積不同有關。

三、本研究於一家閉式停車場與兩家半開放式停車場於假日及非假日進行 TVOCs 濃度量測發現密閉式停車場假日與非假日濃度值為最高(1005.67±303.24、1164.55±289.30ppb)，這可能是停車場空間結構不同有關，另與我國室內空氣品質建議值⁽⁶⁰⁾所規範的每小時平均值 3 ppm 相比較，雖未超出法規標準，但這也合理反映出密閉式停車場 TVOCs 濃度比起半開放式停車場還要高出許多。

四、本研究發現無論是密閉式或半開放式停車場之車流量與 pPAHs 與 TVOCs 濃度呈現無顯著性相關或弱相關，在 pPAHs 濃度方面可能是因室內停車場很少會有柴油車進入有關；TVOCs 濃度方面則可能是與停車場空間結構不同有關。



第二節 研究限制

- 一、本研究受限於人力與經費無法針對六家停車場進行不同區域的同步採樣，僅能分別以一台 PAS2000CE 與 ppbRAE 儀器定點式置放在停車場特定區域進行 pPAHs、TVOCs 採樣，並只能以 1 個採樣點來代表停車場特定區域之 pPAHs、TVOCs 濃度變化趨勢。
- 二、本研究受限於停車場為私有單位，須經由停車場管理單位同意才能進行室內通風量之量測，本研究只徵求到一家密閉式停車場的主管單位同意進行量測，另兩家密閉式停車場則無法進行量測。因為室內通風條件會影響污染物濃度的分布，而本研究僅能以一家有測量通風量的密閉式停車場來說明微環境受到通風量的影響所呈現 pPAHs 與 TVOCs 濃度變化趨勢，並不能代表全部密閉式停車場的各家實際採樣濃度狀況。
- 三、本研究受限於人力、經費及停車場為私有單位在配合意願不高的條件下，無法對室內停車場員工暴露到 pPAHs 與 TVOCs 濃度進行個人採樣調查，僅能以環境監測採樣濃度來約略瞭解室內停車場員工暴露到 pPAHs 與 TVOCs 濃度現況。

第三節 應用建議

- 一、室內停車場是停車場員工長期所待之處，容易暴露到汽機車所排放之廢氣中致癌性的 pPAHs 與 TVOCs，因此相關單位有必要定期至室內停車場監測 pPAHs 與 TVOCs 的濃度變化，以維護停車場員工健康安全。
- 二、相關單位應於室內停車場建立會對人體產生健康影響之污染指標物質，來當作預警通報系統，一旦發生嚴重空氣污染，得以及時通知民眾與員工疏散。
- 三、後續研究建議在進行停車場環境監測時可以整合 real-time 的 PAS、ppbRAE 採樣儀器與傳統的採樣分析技術，可解決污染物時間、空間變動趨勢外，也可釐清污染物主要組成占多少成份是由那些污染源所貢獻，使得採樣污染物濃度更能代表微環境真實狀況。
- 四、未來要進行室內停車場研究時，建議可探討個人呼吸區採樣濃度、環境監測濃度，以及 8 小時與 24 小時採樣濃度的差異，其結果才能合理反應個人待在室內停車場實際暴露到污染物濃度的情況。

參考文獻

1. Baek SO, Field RA, Goldstone ME, Kirk PW, Lester JN , Perry RA. Review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources fate and behavior. *Water, Air, and Soil Pollution* 1991; 60: 273–300.
2. Fernandes MB, Brickus LS, Moreira JC, Cardoso JN. Atmospheric carcinogens in Rio de Janeiro during the summer of 1998/99: benzo[a]pyrene and benzene. *Reviews on Environmental Health* 1999; 14:145–157.
3. Schwela D. Air pollution and health in urban areas. *Environmental Health* 2000; 15: 13–42.
4. 交通部全球資訊網。 Available from URL: <http://www.motc.gov.tw/> (cited February 28, 2007)。
5. 國際癌症中心網站。 Available from URL: <http://www.iarc.fr/> (cited March 12, 2007)。
6. Brostroem LE, Loevblad G. Deposition of soot related hydrocarbons during long-range transport of pollution to Sweden. *Atmospheric Environment* 1991; 25A:2251-2257.
7. 林淵宗：餐廳廚房排放廢氣及周圍大氣中多環芳香烴化合物之特徵。台南：國立成功大學環境工程研究所碩士論文，2000。
8. Allen JO, Dookeran NM, Smith, KA, Sarofim AF, Taghizaden K, Lafleur AL. Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with Size segregated atmospheric aerosols in Massachusetts. *Environmental Science and Technology* 1996;30: 1023-1031.

9. Caricchia AM, Chiavarini S, Cremisini C, Fantini M, Morabito R, Perini A, Pezza M. PAHs in atmospheric particulate in the area of Italian scientific base in Antarctica. *Water Science and Technology* 1993;27:235-243.
10. Smith KEC, Jones KC. Particles and vegetation: implications for the transfer of particle-bound organic contaminants to vegetation. *The Science of the Total Environment* 2000;246: 207-236.
11. Grimmer G, Naujack KW, Schreider D. Changes in PAH profiles in different areas of a city during the year. In *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons; Chemistry and Biological Effects*. Battelle Press. 1983;107-125.
12. 美國環保署網站。Available from URL: <http://www.epa.gov/>(cited March 12, 2007)。
13. Omar NYMJ, Mon TJ, Rahman NA, Abas MRB. Distribution and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric of Kuala Lumpur, Malaysia. *Science of the Total Environment* 2006;369:76-81.
14. Abas MRB, Rahman NA, Omar NYMJ, Maah MJ, Abu Samah A, Oros DR, et al . Organic composition of aerosol particulate matter during a haze episode in Kuala Lumpur, Malaysia. *Atmospheric Environment* 2004;38:4233-4241.
15. Fang GC, Wu YS, Chen JC, Fu PC, Chang CH, Ho TT, Chen MH. Characteristic study of polycyclic aromatic hydrocarbons for fine and coarse particulates at Pastureland near Industrial Park sampling site of central Taiwan. *Chemosphere* 2005;60:427-433.
16. Pyy L, Makela M, Hakala E, Kakko K, Lapinlampi T, Lisko A, et al.

Ambient and biological monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons at a coking plant. *Science of the Total Environment* 1997;199:151-158.

17. 林昌億：都市焚化爐拆爐作業員工之多環芳香烴碳氫化合物暴露危害評估。台南：國立成功大學醫學院環境醫學研究所碩士論文，2003。
18. 米孝萱：移動性污染源排放多環芳香烴化合物排放量之特徵。台南：國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1998。
19. Trenholm AR , Beck LL. Assessment of hazardous organic emission from slot-type coke oven Batteries. Internal EPA Report, Durham, N.C.1978.
20. 賴順安：鋼鐵廠煙道排放多環芳香烴化合物及金屬元素之特徵。台南：國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1999。
21. Sjogren MH, Li U, Rannug R, Westerholm. Multivariate analysis of exhaust emission from heavy-duty diesel fuels. *Environmental Science & Technology* 1996;30:38.
22. Westerholm R, Egeback KE. Exhaust emission from light-and heavy-duty diesel fuels. *Environmental Health Perspectives* 1994;102:13.
23. Harrison RM, Smith DJT, Luhana L. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham. *Environmental Science & Technology* 1996;30:825-832.
24. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR, Simoneit BRT. Sources of fine organic aerosol. 2 Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. *Environmental Science &*

- Technology 1993;27:636-651.
25. 王雅玟：交通污染源大氣中多環芳香烴化合物特徵之探討。台南：國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1998。
 26. Mi HH, Lee WJ, Wu TL, Lin TC, Wang LC, Chao HR. PAH emission from a gasoline-powered engine. *Journal of Environmental Science and Health*. 1996,31A(8):1981-2003.
 27. 朱聰智：汽機車排放污染源對多環芳香烴化合物排放量之探討。台中：私立中山醫學大學毒理學研究所碩士論文，1998。
 28. Tsai PJ, Shih TJ, Chen HL, Lee WJ, Lai CH, Liou SH. Assessing and predicting the exposures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their carcinogenic potencies from vehicle engine exhausts to highway toll station workers. *Atmospheric Environment* 2004;38:333-343.
 29. Pott P. Chirurgical observations relative to the cataract, the polypus of the nose, the cancer of the scrotum, the different kinds of ruptures, and the mortification of the toes and feet. Hawes L, Clarke W, Collins R. London 1775.
 30. Bjørseth, A. and Ramahl, T. Source and emission of PAH, handbook of polycyclic aromatic hydrocarbons. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel 1983;1.
 31. 賴臆雯：大氣塵粒中多環芳香烴粒徑分布特性之研究。新竹：國立清華大學原子科學系碩士論文，2000。
 32. 陳佳玫：大氣中多環芳香烴化合物特性與來源分析。台中：私立朝陽

科技大學環境工程及管理系碩士論文，2003。

33. Frederica PP. Respirable Particles, Ballinger Publishing Company, New York 1980.
34. 李俊璋：台北市空氣中懸浮微粒物理化學分析及學童肺功能之研究。
台北：國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，1982。
35. Dubowsky SD, Wallace LA, Buckley. The contribution of traffic to indoor concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 1999;9:312-331.
36. Childers JW, Witherspoon CL, Smith LB, Pleil JD. Real-Time and integrated measurement of potential human exposure to particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from aircraft exhaust. *Environmental Health Perspectives* 2000;108:853-862.
37. US Environmental Protection Agency. Motor vehicle-related air toxics study. EPA report no EPA/420/R-93/005. Office of mobile sources, Ann Arbor, MI Available from PB93-182590/XAB, NTIS, Spring-field, VA, 1993.
38. Agnesod G, Maria RD, Fontana M, Zublena M. Determination of PAH in airborne particulate: comparison between off-line sampling techniques and an automatic analyzer based on a photoelectric aerosol sensor. *Science of the Total Environment* 1996;189/190: 443–449.
39. Dunbar JC, Lin CI, Vergucht I, Wong J, Durant JL. Estimating the contributions of mobile sources of PAH to urban air using real-time PAH monitoring. *Science of the Total Environment* 2001;279:1-19.
40. Chetwittayachan T, Shimazaki D, Yamamoto K. A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons

- (pPAHs) concentrations in different urban environments: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand. *Atmospheric Environment* 2002; 36: 2027-2037.
41. Bae H, Yang W, Chung M. Indoor and out door concentration of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadway in Seoul, Korea. *Science of the Total Environment* 2004;323:99-105.
42. Ohura T, Amagai T, Fusaya M. Regional assessment of ambient volatile organic compounds in an industrial harbor area, Shizuoka, Japan. *Atmospheric Environment* 2006; 40: 238-248.
43. Clarke AG, Ko YH. The relative significance of vehicular emissions and other emissions of volatile organic compounds in the urban area of Leeds, UK. *Science of the Total Environment* 1996;189/190:401-407.
44. 邱雅琪：以異辛烷為汽油添加劑對機車引擎揮發性有機物及醛酮化合物排放之影響。台南：國立成功大學醫學院環境醫學研究所碩士論文，2004。
45. Jo WK, Song KB. Exposure to volatile organic compounds for individuals with occupations associated with potential exposure to motor vehicle exhaust and or gasoline vapor emissions. *Science of the Total Environment* 2001;269:25-37.
46. 勞工安全衛生研究所網站。 Available from URL: <http://www.iosh.gov.tw/>(cited May 25, 2007)
47. Pearson RL, Wachtel H, Ebi KL. Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers. *Journal of the Air and Waste Management Association*

- 2000;50:175-180.
48. Smith MT. The mechanism of benzene-induced leukemia : a hypothesis and speculations on the cases of leukemia. *Environmental Health Perspectives* 1996;104:1219-1225.
49. Gerin M, Siemiatycki J, Desy M, Krewski D. Association between sites of cancer and occupational exposure to benzene, toluene, xylenes, and styrene: results of a case-control study in Montreal. *American Journal of Industrial Medicine* 1998;34(2):144-156.
50. Ohura T, Amagai T, Sugiyama T, Fusaya M, Matsushita H. Characteristics of particle matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air in two cities in Shizuoka, Japan. *Atmospheric Environment* 2004;38:2045-2054.
51. 黃小林、林惠萍、卓建文、楊雅婷、黃友擇、郭昭吟：地下停車場生物氣膠濃度分佈與環境因子之相關探討。工業衛生暨環境職業醫學國際學術研討會，2007。
52. Krarti M, Ayari A. Ventilation for enclosed parking garages. *ASHRAE Journal* 2001;2:52-55.
53. 台北市大地工程技師公會網站。 Available from URL: <http://www.pga.org.tw/>(cited May 28, 2007)
54. 謝挺蘊：考量健康風險評估之室內空氣品質指標之研擬。台北：國立台北科技大學環境規劃與管理研究所，碩士論文，2003。
55. 經濟部中部辦公室網。 Available from URL: <http://www.cto.moea.gov.tw/>(cited June 10, 2007)。

56. Chen KS, Lai CH, HO Y T. Source profiles and ozone formation potentials of volatile organic compounds in three traffic tunnels in Kaohsiung, Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2003;53:102-112.
57. U.S. Environmental Protection Agency. Technical Support Document: Control of emission of hazardous air pollutants from motor vehicles and motor vehicles fuels. 2001.
58. Junker M, Kasper M, Roosli M, Camenzind M, Kunzli N, Monn Ch, Theis G, Braun-Fahrlander Ch. Airborne particle number profiles, particle mass distributions and particle-bound PAH concentrations within the city environment of Basel. *Atmospheric Environment* 2000;34:3171–3181.
59. Waldman J, Buckley T, Greenberg A, Butler J, Pietarinen C, Liroy P. Investigation of indoor and outdoor levels of benzo(a)pyrene in a community of older homes. *Polycyclic Aromatic Compound* 1990;3:137-149.
60. Oda J, Nomura S, Yasuhara, Shibamoto T. Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in a roadway tunnel. *Atmospheric Environment* 2001;35:4819–4827.
61. 室內空氣品質資訊網。 Available from URL: <http://www.indoorair.org.tw/>(cited May 1, 2007)
62. Hsieh CC, Chang KH, Kao YS. Estimating the ozone formation potential of volatile aromatic compounds in vehicle tunnels. *Chemosphere* 1999;39:1433-1444.
63. Lee W, Wang Y, Lin T, Chen Y, Lin W, Ku C, Cheng J. PAH characteristics in the ambient air of traffic-source. *Science of the Total*

Environment 1995; 159:185-200.

64. Weingartner E, Keller C, Stahel WA, Burtscher H, Baltensperger U. Aerosol emission in a road tunnel. Atmospheric Environment 1997;31:451-462.



