

# 科技部補助

## 大專學生研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 地下停車場顆粒態 PAHs 暴露量估計與風險分析 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 蔡妍儀  
學生計畫編號： MOST 104-2815-C-040-063-E  
研究期間： 104年07月01日至105年02月28日止，計8個月  
指導教授： 陳詩潔

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學公共衛生學系（所）

中華民國 105年02月26日

# 地下停車場顆粒態 PAHs 暴露量估計與風險分析

指導老師：陳詩潔老師

學生：蔡妍儀

## 摘要

本研究探討室內停車場機動車場產生之顆粒態 PAHs(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)濃度特性分析。採樣期間為 2015 年 7 月 30 星期四至 2015 年 8 月 4 日星期二共計 6 天，平日時段為 17-20 時，假日時段為 13-16 時，在台中市某運動用品量販店室內停車場，使用直讀式儀器 Grimm 1.108 和 PAH-Sensor，每 6 秒紀錄一次顆粒態 PAHs 濃度，採樣點共設置 11 個點；問卷施測時間為 2015 年 8 月 13 日星期四及 2015 年 8 月 14 日星期五，時段皆為該日下午 13-16 時，問卷題目分為(1)填寫者的基本資料、(2)交通工具及汽油種類、(3)停留頻率、(4)滿意度。停車場假日測得濃度均高於平日，且在 B1(密閉式)停車場濃度較 1F(半開放式)高，在各採樣點中，在離賣場入口較近的區域為民眾停車之首選，因此濃度在停車場中也較高。將採得之 16 個粒徑區間合併成 0.23-1.0  $\mu\text{m}$ 、1.0-3.0  $\mu\text{m}$ 、3.0-10.0  $\mu\text{m}$  和 10.0-20.0  $\mu\text{m}$ ，無論平假日、戶外道路及停車場內皆以 0.23-1.0  $\mu\text{m}$  小粒徑比例為最高，最多占 55%。紀錄當日進入停車場之車流量與濃度做分析，可得知車流量多造成當日顆粒態 PAHs 濃度高，因此民眾應避免在假日車流量高之時段進入停車場，會導致自身暴露在高濃度的顆粒態 PAHs，對健康造成影響。而風險評估結果，致癌性皆小於可接受風險值  $10^{-6}$ ，非致癌性 HQ < 1，而皆以機車族群暴露風險較高，且假日暴露風險高於平日。

關鍵字：顆粒態 PAHs、室內停車場、粒徑分析、暴露因子、風險。

# 目錄

摘要	1
目錄	2
第一章、前言	3
1.1研究背景	3
1.2研究動機與目的	3
第二章、文獻回顧	4
2.1 多環芳香烴化合物	4
2.1.1 PAHs的特徵	4
2.1.2 PAHs的生成機制及來源	5
2.2 PAHs對健康的危害	6
2.3 機動車排放的顆粒態PAHs的特性	7
2.4機動車產生之顆粒態PAHs粒徑分析	8
第三章、材料與方法	9
3.1停車場實驗設計與流程	9
3.2 儀器原理	14
3.3暴露因子調查	15
3.4 每日暴露量計算	15
3.5非致癌風險估算	16
3.6致癌風險估算	18
3.7蒙地卡羅模擬法	19
第四章、結果與討論	20
4.1戶外道路與停車場內平假日PAHs濃度分析	20
4.2每日各採樣點分析	21
4.3 PAHs粒徑特性分析	22
4.4當日累計車流量與濃度相關性	23
4.5.問卷調查結果	24
4.5.1問卷統整結果	24
4.5.2 ADD參數討論	25
4.6非致癌風險分析	26
4.7致癌風險分析	27
第五章、結論與建議	29
5.1 結論	29
5.2 建議	29
第六章、參考文獻	30
附錄一、採樣過程溫濕度	33
附錄二、問卷資料	34

# 第一章、前言

## 1.1 研究背景

根據交通部統計處統計國人自用小客車擁有數從民國87年每戶擁有車輛數為1.4輛，其中1輛(66%)、2輛(26.3%)、3輛(5.7%)、4輛以上(2%)，至民國103年以增加為每戶擁有車輛為1.5輛，而1輛(57.1%)、2輛(33.2%)、3輛(7.5%)、4輛以上(2.2%)。103年底資料顯示，全台機動車輛高達6,205,246輛，約為87年底總數(4,433,195輛)的1.4倍，機動車數量增加，停車場的使用率也跟著增加。由於台灣地小人稠，停車場型態逐漸由平面式轉為地下停車場及立體式停車場，後兩者雖有效改善空間不足之問題，但其密閉式空間機動車排放廢氣累積於停車場內，而Baek等(1991)、Fernandes等(1999)和Schwela等(2000)研究皆指出機動車引擎排放廢氣為都市區域空氣中多環芳香烴(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)與VOCs 最主要污染來源。其中PAHs中的BaP、IND、DBA、BaA、CHR、BbF與BkF根據美國環保署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)和國際癌症研究中心(International Agency for Reserch on Cancer, IARC)顯示人類具有可能致癌性。因此本研究選定台中市某運動用品量販店之停車場，在停車場內1F及B1各別設置5個採樣點，分別為4個角及正中間，及停車場入口的戶外道路設置1點，作為背景做比較，測量顆粒態PAHs濃度。

## 1.2 研究動機與目的

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，因機動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(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。而國內對於多環芳香烴研究多為職業暴露之探討，而每日會接觸到的停車場暴露非常少，因此本研究目的為(1)探討戶外道路與停車場顆粒態PAHs濃度分析、(2)針對每日各個採樣點顆粒態PAHs濃度分析、(3)顆粒態PAHs粒徑分析、(4)當日累計車流量與濃度相關性。

## 第二章、文獻回顧

### 2.1 多環芳香烴化合物

#### 2.1.1 PAHs的特徵

多環芳香烴化合物(PAHs)及其衍生物分子結構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，這些苯環以不同方式合併成多個多環芳香烴異構體或衍生物，多為由二環或以上之五碳或六碳芳香烴鍵結而成，具有穩定之化學結構，不易在自然環境中分解，為非極性物質具高沸點、高熔點且在水中溶解度低PAHs。

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，它們會藉由蒸發(evaporation)、揮發(volatilization)、溶解(dissolution)、乾/濕沉降(dry/wet deposition)和吸附(adsorption)等作用在空氣、土壤河水體之間進行傳輸作用(transportation)(Gaga and Ari, 2011)。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(Brostroem and Loevblad, 1991)；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(Dias, 1987)。最初形成時是以氣相存在為主，而存在於氣相的PAHs其分子量較低，較易於揮發，氣相PAHs只以蒸氣形態存在。

#### 2.1.2 PAHs的生成機制及來源

主要是由石化物或有機物質在缺氧狀態下因不完全燃燒，所導致之熱分解或熱合成的反應產物。造成PAHs的產生可分為自然因素及人為因素。自然因素包括：火山、森林火災、火山爆發或生物合成等自然界的燃燒活動；人為因素可分成固定性污染源及移動性污染源，固定性污染源：鋼鐵工業燃燒煤礦、燃煤飛灰的排放、石化工業中原油的溢出造成大量PAHs散佈至環境中；移動性污染源：汽機車排放、菸煙(Jones, 2001；Omar et al., 2006)。交通量增加及車輛引擎排放廢氣，已成為PAHs主要來源。Nielsen等人在丹麥哥本哈根研究指出，街道空氣中PAHs含量在週一至週五時，有90%來自交通污染源。尤其柴油引擎PAHs排放

量占總排放量的2/3(Nielsen et al., 1999)。Harrison等人(1996)的研究中証實英國伯明罕及Zagreb等都會區在大氣含有PAHs懸浮微粒主要由汽機車排放佔了44-93%，同時更指出88%BaP是由交通共聚所排放的，意即可以BaP做為交通排放廢氣中PAHs濃度指標成分。王雅玢(1998)研究發現，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。Liu等人(2015)在上海隧道進行了PAHs之量測發現隧道出口PAHs濃度明顯高於入口( $p < 0.01$ )，而環數集中在2-3環為主；在其他隧道研究，顆粒態PAHs以4環為主，例如flu、anthene、pyrene (Ancelet et al., 2011; El Haddad et al., 2009; Ho et al., 2009)，或者五環如benzo[ghi]perylene、benzo[k]fluoranthene (Chen et al., 2013)。

英國詳細評估2010年大氣中16種USEPA公布之多環芳香烴排放量達621噸，B[a]P為3.23噸(NAEI, 2013)。其中自然排放森林火災、火山爆發和其他自然燃燒事件，估計為2.88噸，相對於人為B[a]P排放：住宅和商業燃燒(76%)、工業燃燒(6.7%)、公路運輸(4.3%)、金屬產量(3.4%)、垃圾焚燒(1.0%)、和其他來源(8.4%)(Brown, 2013)。

## 2.2 PAHs對健康的危害

不少PAHs已被界定為致癌物，人類第一起致癌研究發現，為英國醫生Pott(1775)觀察到從事清掃煙囪的男性罹患陰囊癌的比例高於一般人，提出煤油燃燒後的產物有致癌性的看法。而PAHs化合物當中致癌性強度以為BaP最具代表性，在國際癌症中心的動物實驗中發現以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、生殖系統等危害；此外給予公倉鼠吸入BaP，則會發生上呼吸道(鼻、喉、支氣管)及上消化道(咽、食道、前胃)的乳突狀癌與鱗狀細胞癌。二十世紀初，瀝青中之致癌物被鑑定為多環芳香烴(PAHs)。1930年時，第一種無取代基之PAH- Dibenzo[a,h]anthracene (DBA) 被發現可使實驗動物產生腫瘤病變。而1933年Benzo[a]pyrene由焦油中分離出，經證明具致癌活性。1976年國際上已確認具致癌性的PAHs至少有三十種以上，成為目前世界已知的致癌化學物最龐大的一群。從動物實驗中發現，PAHs中具致癌性的，以四至七環的PAHs，如Pyr、BaA、CHR、BbF、BkF、BeP、BaP、IND、DBA及BghiP較具有致癌性，其中致癌性強度以為BaP最具代表性，它已被證實具有致變性與致突變性(Grimmer et al., 1983)。

以BaP對實驗動物施以皮膚塗抹，以每週塗抹200 µg之BaP於皮膚上，持續24週後會使小鼠產生鱗狀細胞癌、乳頭狀瘤，其產生腫瘤率高達66%，證明BaP明顯的具有致癌及致突變的毒理反應，因此BaP常被用為PAHs的毒性指標(Nisbet et al., 1992)。經由動物實驗得知，當PAHs的環數較多時，較易引起老鼠的惡性腫瘤，而二至三環的則不會(Gernot,1983)，因此微粒上之PAHs對人體健康的影響，要比氣相的PAHs為大。

人類曝露於PAHs或NPAHs之下，主要攝入是經由皮膚黏膜及呼吸道，可導致眼與呼吸器官的急性刺激、神經症狀等。長期曝露基因複製過程中將會產生錯誤，若為生殖細胞的基因複製產生錯誤，則將造成後代之突變；對於器官細胞，其原有功能將會喪失，甚至不正常的增殖，進而發展成為癌症。多環芳香烴對人體健康的影響，取決於暴露的時間長短、暴露期間的濃度高低、多環芳香烴的毒性、暴露途徑(如吸入、攝入、皮膚接觸)，短期暴露在多環芳香烴環境下已被報導將會引起哮喘、肺功能受損和心臟冠狀動脈栓塞(ACGIH, 2005)。相對的高濃度職業暴露在含有多環芳香烴混和物的環境，會導致眼睛刺激、噁心、嘔吐、腹瀉等症狀，多環芳香烴混和物也會引起皮膚刺激、發炎(Unwin et al, 2006)。Anthracene、benzo(a)pyrene和naphthalene為直接刺激皮膚之化合物，而前兩者為動物與人體皮膚過敏反應之主因(IPCS, 2010)。

### 2.3機動車排放的顆粒態PAHs的特性

車輛所產生的污染可分直接排放與間接排放兩種，直接排放的污染物稱為一次污染物(Primary Pollutants)，包括一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、粒狀污染物(PM)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、鉛(Pb)及臭味(Oder)等。間接產生的污染物稱為二次污染物(Secondary Pollutants)，這是由碳氫化合物與氮氧化物在大氣中受到太陽光直接照射，發生一連串光化學反應所產生，包括臭氧、甲醛及一些有機性高氧化物等(潘一誠, 2002)。

在都市內，大量的顆粒態PAHs主要來城市地表灰塵直接接觸機動車輛引擎排放的廢氣 (Martuzevicius et al., 2011; Mostafa et al., 2009)，尤其是重型、柴油引擎機動車輛，因此在高交通流量的道路上會發現高濃度的PAHs。汽車引擎排放之懸浮微粒，其成分為三種包括硫化物、鉛、碳，主要是以碳成分為主，硫化物及鉛占的比例比較少，由以上研究結果顯示機動車輛排放之微粒以碳成分為主

(Ikeda et al.,1998)，微粒上碳成分能攜帶PAHs，並且具有阻止PAHs光解之能力，延長PAHs在大氣中停留時間，對人體而言致癌風險隨之增加(簡維政，1996)。表一為不同國家於交通排放的PAHs濃度分佈研究。大多數探討的為16種PAHs，停車場內大於主要道路邊的濃度，最大影響因素是通風系統的強度不夠，導致有空調系統的停車場仍被視為密閉式的環境。

Jonathan等人(2001)進行隧道試驗，針對汽油引擎排放之氣懸浮微粒進行分析，發現其粒徑主要分佈於0.1-0.18 $\mu\text{m}$ 。簡淑美(2005)二行程機車引擎排氣中，絕大部分集中於細微粒，其中致癌性最強之三種PAHs(BbF、BaP、DBA)，各自所佔的比例BbF(0.21%-2.49%)、BaP(0.36%-3.93%)、DBA(1.04%-3.45%)，BbF、BaP、DBA隨著粒徑變小其濃度有增加的趨勢，而四行程機車引擎粒徑尺寸不同，分佈百分比以5.6-18 $\mu\text{m}$ 之微粒範圍是以Flu所佔比例最高，粒徑也是以細微粒為主，致癌性最強之三種PAHs(BbF、BaP、DBA)所占百分比範圍，BbF(1.28%-4.81%)、BaP(0.06%-2.35%)、DBA(0.02%-0.08%)。

#### 2.4機動車產生之顆粒態PAHs粒徑分析

機動車輛顆粒態PAHs粒徑分析主要分佈於0.1-1 $\mu\text{m}$ ，含量則是以IND、DBA為主，在此研究中提出PAHs分子量大小與粒徑尺寸之間的相關性並不大(Marr et al.,1999)，Zielenska等人(2004)針對機動車輛進行懸浮微粒中PAHs的成分分析，其結果顯示PAHs集中於4-6環中，顆粒態PAHs粒徑分析呈現隨機分佈，波峰為0.1-0.18 $\mu\text{m}$ 、0.18-0.32 $\mu\text{m}$ 、0.32-0.56 $\mu\text{m}$ 。



表一、國外交通排放的PAHs濃度分佈

References	地點	地點類型	PAHs 採樣時間 與種類	車位數或車 流量(輛/天)	PAHs濃度 (ng m <sup>-3</sup> )
Li et al. (2014)	中國 廣州	密閉式停 車場	2006/8-2006/11 <sup>a</sup>	>1500 <sup>c</sup>	84.6±27.7 <sup>e</sup>
Li et al. (2014)	中國 廣州	半開放停 車場	2006/8-2006/11 <sup>a</sup>	>300 <sup>c</sup>	291±135 <sup>e</sup>
Vukovic et al. (2014)	塞爾 維亞	密閉式停 車場	2011/5 <sup>a</sup>	619 <sup>d</sup>	16.43-30.25 <sup>f</sup>
Vukovic et al. (2014)	塞爾 維亞	半開放停 車場	2011/5 <sup>a</sup>	304 <sup>d</sup>	13.56-23.32 <sup>f</sup>
Chetwittayach an et al. (2002)	泰國	主要道路	2001/3 <sup>b</sup>	71850 <sup>d</sup>	88-195 <sup>g</sup> (PM6:00-AM7:00)
Chetwittayach an et al. (2002)	日本	主要道路	2000/8 <sup>b</sup>	29500 <sup>d</sup>	36-186 <sup>g</sup> (PM6:00-AM7:00)

<sup>a</sup>16 US EPA priority PAHs

<sup>b</sup>11 PAHs(Nap、Phen、Fl、Pyr、Chr、B[a]A、B[b]F、B[k]F、B[a]P、D[ah]A、B[ghi]P)

<sup>c</sup>車位數

<sup>d</sup>車流量(輛/天)

<sup>e</sup>平均值±標準差

<sup>f</sup>著在PM10顆粒上的11種PAHs(Nap、Phen、Fl、Pyr、Chr、B[a]A、B[b]F、B[k]F、B[a]P、D[ah]A、B[ghi]P)  
每日平均值

<sup>g</sup>一小時最高濃度

## 第三章、材料與方法

### 3.1 停車場實驗設計與流程

本研究採樣地點為台中市某家運動用品量販店，在2015年7月30日星期四至8月4日星期二共六天，期間包含四天平日及兩日週休假期，採樣架構如圖1，考慮平日假日及車流量高峰時段不同，將平日、假日的採樣時段設計在適合之高峰時段如表一所示。採樣點平面圖如圖2(A)、(B)所示，停車場1樓為11萬9千×7萬公尺面積達833平方公里，B1為12萬8千×6萬2千公尺面積達7936平方公里；地下停車場有1樓及B1兩個樓層共有10個採樣點，分別設置5個採樣點在四個角落及樓層中心點，並額外設置採樣點1在緊鄰入口的道路上，作為戶外道路背景濃度，採樣時依序採樣點編號從1採到11，每個採樣點停留10分鐘，後續的資料分析，會將特定採樣點十分鐘的結果以平均值來表示該採樣點的濃度。

11個採樣點的環境如表二所示，採樣點1為停車場入口處旁的主要道路，擁有雙向共四個車道；停車場1樓有採樣點2-6共5個採樣點，採樣點2為停車場入口的汽車停車票卡取票口，擁有兩個取票柵欄，採樣點3為1樓無對外窗戶之採樣點，在賣場入口的正對面，採樣點4為1樓停車場的中心點，採樣點5為停車場出口處，兩個車道皆有兩個汽車票卡投票口，1樓及B1的汽車皆由此出停車場，採樣點6為汽車由1樓下B1的單車道，此車道在戶外露天環境，所以採樣點6被外界環境影響大；B1有採樣點7-11共5個採樣點，採樣點7為B1上樓的電梯及樓梯處，採樣點8為採樣點7的正對面，採樣點9為B1樓層的中心點，採樣點10為汽車從1樓經露天車道下B1的入口，採樣點11為B1經室內車道上1樓的出口。

此停車場的抽氣系統再採樣期間只有18時有開啟10分鐘，抽氣口位置如圖2(A)、(B)所示，1樓停車場空間定義為半開放室停車場，因停車場四面牆有三面皆有對外窗戶，且1樓有1個汽車入口、汽車出口、向下至B1的出口、機車入口、機車出口，停車場汽車車位數466個，機車車位數226個。

另外，同時記錄戶外道路、地下停車場採樣當時的車流量及溫濕度。戶外道路利用攝影機記錄10分鐘車流量，而停車場內，則利用停車場入口處的LED面板顯示當日累積車輛數加以記錄，停車場內共記錄三筆累積車流量數據，將在停車場內採樣前記錄第一筆，採樣一個半小時後也就是1樓採樣玩的時間記錄第二筆，最後B1採樣結束記錄第三個小時的第三筆。溫濕度則是採樣當時在各採樣點

使用溫溼度計記錄，共有11筆溫濕度數值。

採樣方法以Grimm 1.108微粒分析儀搭配攜帶式PAH-sensor Model 130為本次採樣儀器，並將儀器架設在高1.5公尺處假設為人口鼻高度，採樣資料設定為每6秒輸出一筆資料，量測資料皆儲存在Grimm 1.108之記憶卡中，經由電腦軟體將量測之資料由記憶卡轉出，再進行採樣後的數據分析。

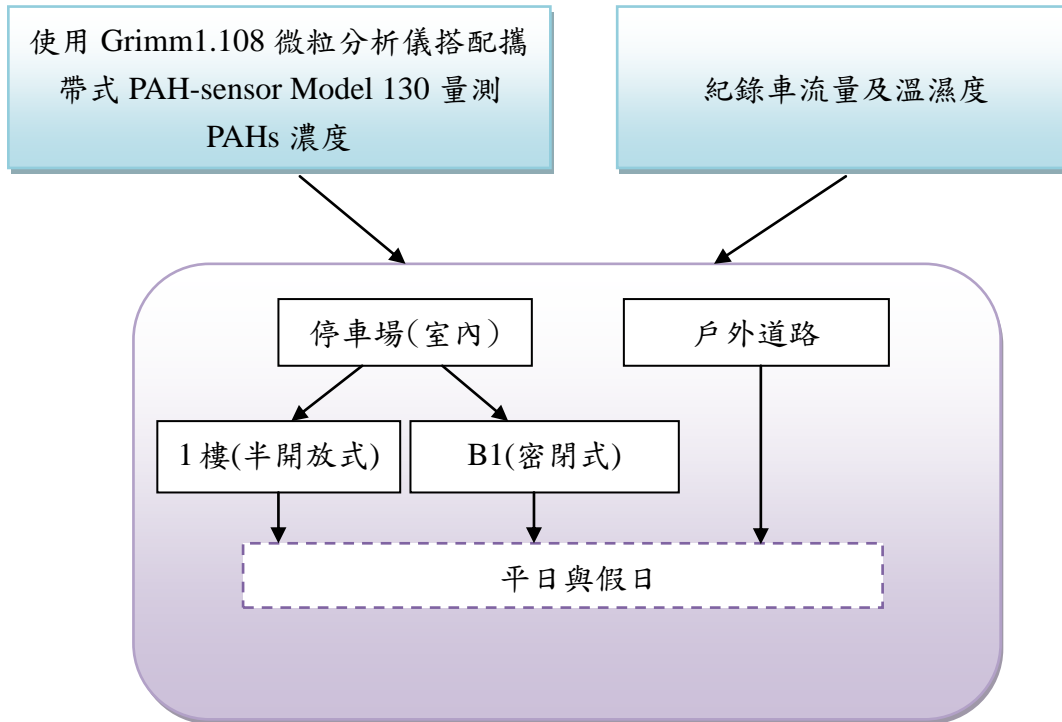


圖 1、研究架構與流程

表一、採樣日期規劃

時間	平日 (採樣時段 17:00-20:00)				假日 (採樣時段 13:00-16:00)	
	星期四	星期五	星期一	星期二	星期六	星期二
日期	7/30	7/31	8/3	8/4	8/1	8/2

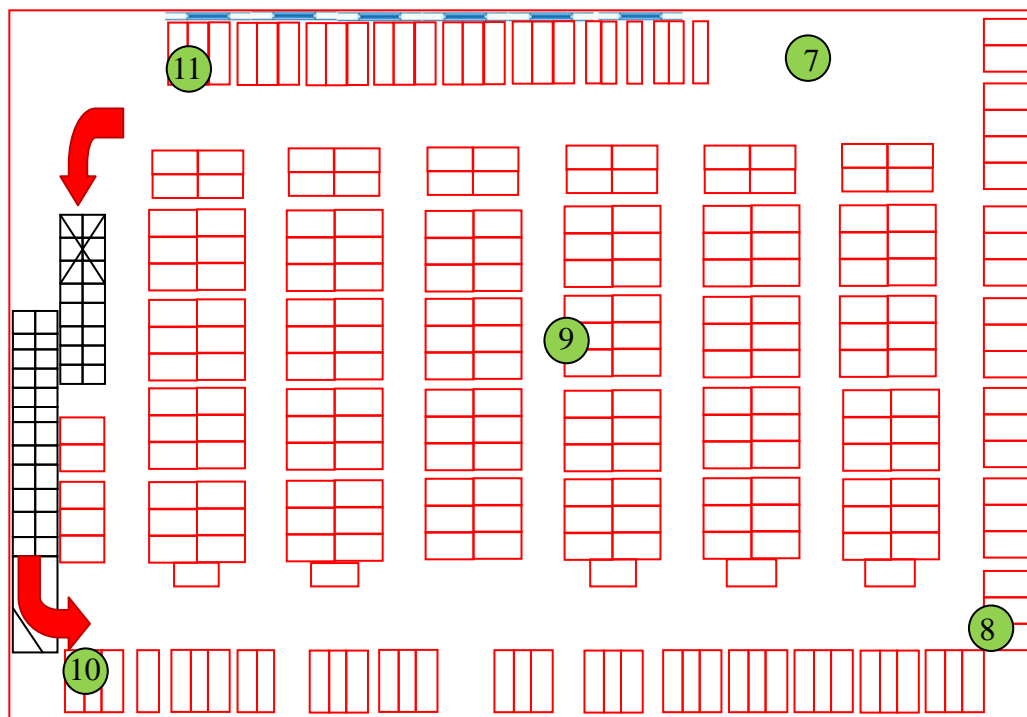
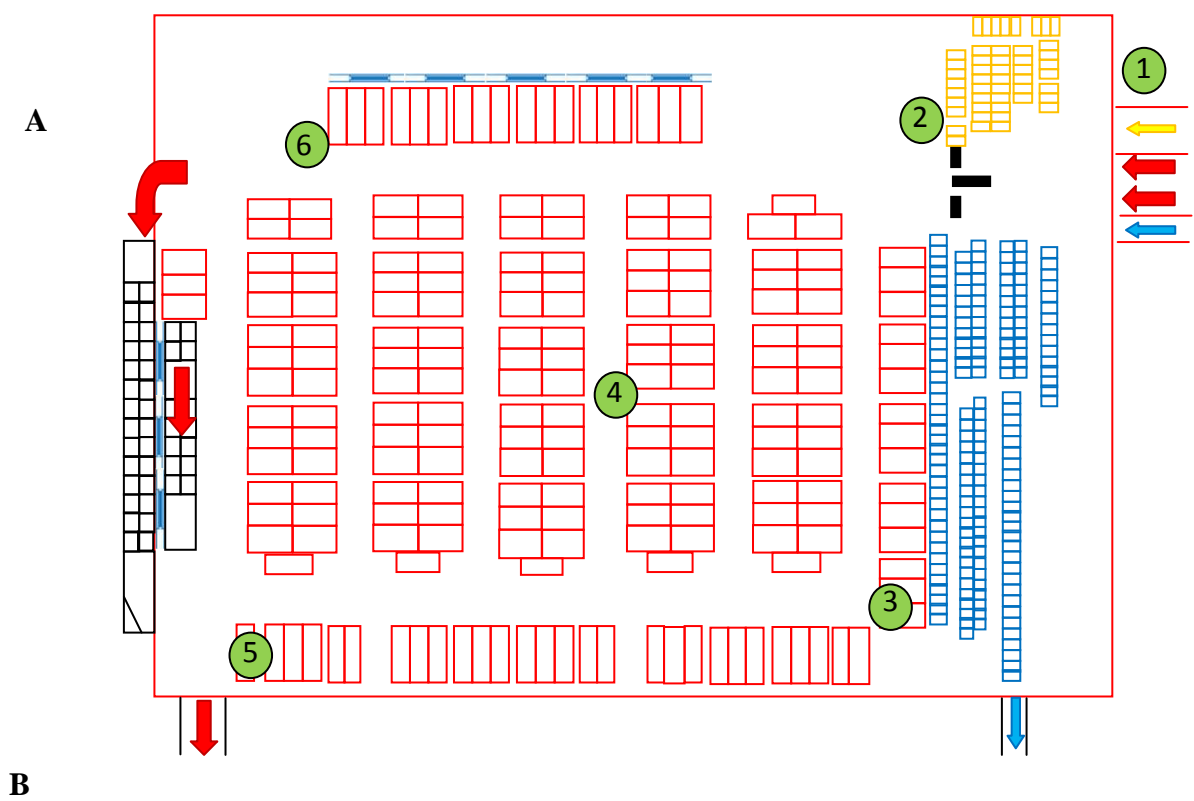


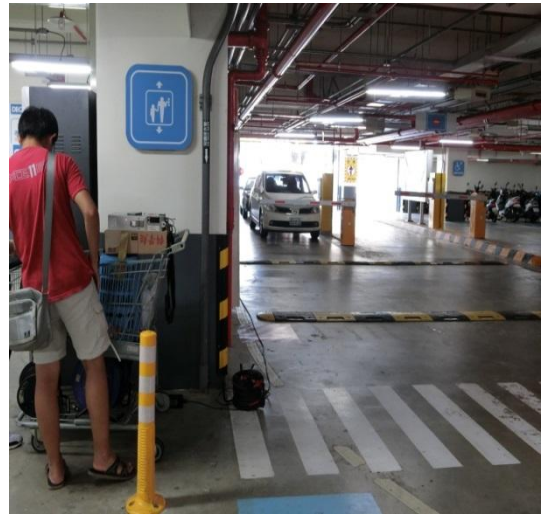
圖 2(A)、停車場 1 樓採樣點示意圖(採樣點 1-6，採樣點 1 為戶外道路)。

圖 2(B)、停車場 B1 採樣點示意圖(採樣點 7-11)。

採樣點 1



採樣點 2



採樣點 3



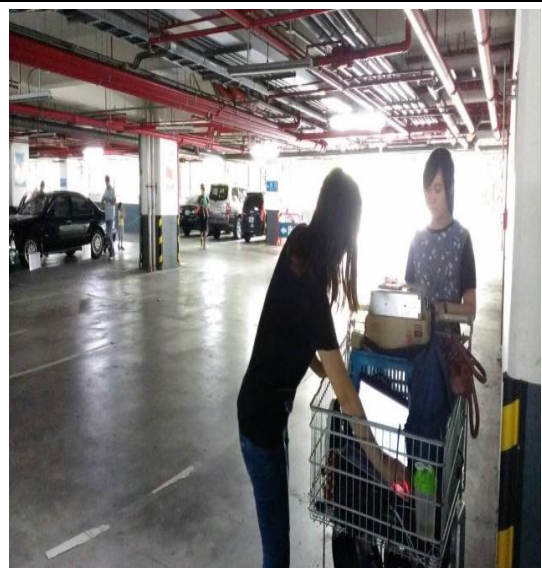
採樣點 4



採樣點 5



採樣點 6



<p style="text-align: center;">採樣點 7</p> 	<p style="text-align: center;">採樣點 8</p> 
<p style="text-align: center;">採樣點 9</p> 	<p style="text-align: center;">採樣點 10</p> 
<p style="text-align: center;">採樣點 11</p> 	

表二、11 個採樣點實際圖

### 3.2 儀器原理

本研究採樣之儀器為 Grimm1.108 微粒分析儀(圖 3(A))搭配攜帶式 PAH-sensor Model 130(圖 3(B))。Grimm1.108 微粒分析儀為直讀式儀器，體積小，重量只有 2.5 公斤，內置充電電池，可連續採樣 7 小時，且不受顆粒物顏色的影響，自動、精確的流量控制，流速為 1.2 L/min，便於在電腦上自動監測和數據下載。微粒分析儀利用光譜散射技術藉由半導體雷射光當作光源，當微粒通過雷射光所散射的訊號呈 90 度反射收集至二極管，通過二級管訊號以分析器將訊號分類到不同粒徑，故 Grimm1.108 微粒分析儀主要來偵測粒徑分布和質量濃度。便於在電腦上自動監測和數據下載。PAH-sensor Model 130 使用準分子燈通過光電作用使顆粒物質帶電，將這些物質收集在過濾器上，用靜電計測量電荷流，可測得總顆粒態 PAHs 質量濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。兩台儀器搭配所量測粒徑範圍為 0.3- $>20\mu\text{m}$ ，分別為 0.23-0.3、0.3-0.4、0.4-0.5、0.5-0.65、0.65-0.8、0.8-1、1-1.6、1.6-2、2-3、3-4、4-5、5-7.5、7.5-10、10-15、15-20 和  $>20\mu\text{m}$  共 16 種粒徑區間。

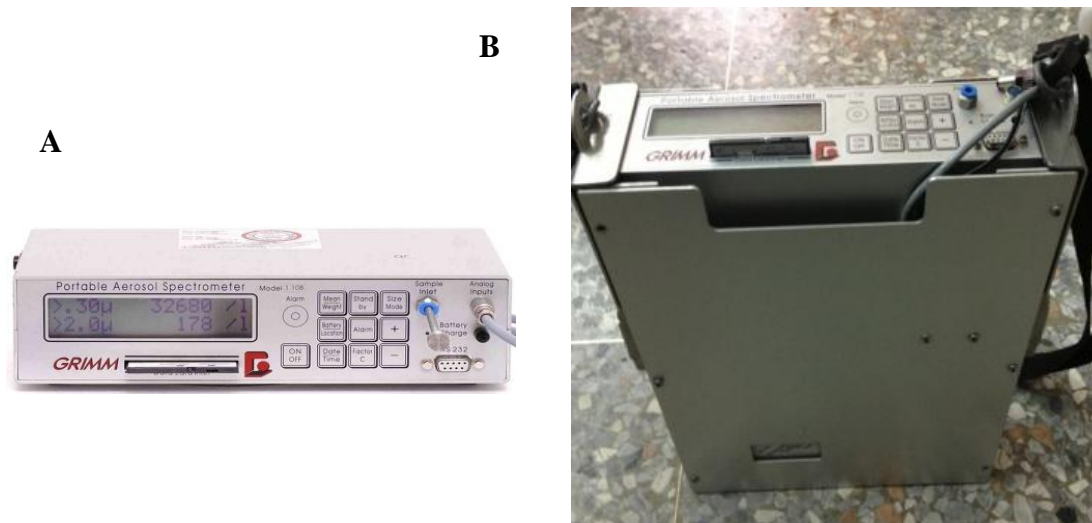


圖 3、(A) Grimm1.108 微粒分析儀採樣器與(B)PAH-sensor Model 130

### 3.3 暴露因子調查

本研究以問卷及空氣採樣來探討地下停車場中 PAHs 所造成的影響。研究問卷施測時間為 2015 年 8 月 13 日星期四及 2015 年 8 月 14 日星期五兩日，發放時段為該日下午 13-16 時，其中問卷方面如(附表二)，總共詢問了四個主題，包含：(1)填寫者的基本資料、(2)交通工具及汽油種類、(3)停留頻率及(4)滿意度。從這些主題中我們想要了解，問卷者的平均體重和汽車及機車族群在室內停車場所暴露到的 PAHs 頻率及期間，進而從這些暴露到的因子去討論，室內停車場所帶來的 PAHs 風險的危害。

### 3.4 每日暴露量計算

暴露公式為  $ADD=(\Sigma C*IR*EF*ED)/(BW*AT)$ ，ADD 是每日可容許暴露量 (mg/kg-day)。其所包含的參數如表三所示，C 為採樣所得到的數據，可分為(1)問卷中填寫交通工具為機車所暴露的濃度 C(m)、(2)問卷中填寫交通工具為汽車所暴露的濃度 C(c)、(3)平日採樣所得濃度、(4)假日採樣所得濃度，其中機車族暴露濃度取自於採樣點 2~6 的平均，汽車族暴露濃度取自於採樣點 2~11 的平均，IR 取自 ICRP66(ICRP,1994)，EF、ED 及 BW 都為問卷所整理出來的數據。而 ADD 會以問卷中受訪者所填寫的交通工具分為機車族群與汽車族群來探討，也因為採樣時間有分為平日與假日，所以依時間也分為平日濃度和假日濃度來討論，由於問卷發放時間沒有分平日與假日，所以暴露頻率(EF)依平日和假日的車流量來估算每月平日和假日所進出的頻率。本研究對於暴露量以(1)平日機車族 ADD、(2)平日汽車族 ADD、(3)假日機車族 ADD、(4)假日汽車族 ADD 四個族群做討論。



表三、風險方程式參數

參數	定義	單位
C(m)	機車族群所暴露的濃度(daily exposure level for inhalation)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
C(c)	汽車族群所暴露的濃度(daily exposure level for inhalation)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
IR	呼吸率(inhalation rate)	( $\text{m}^3/\text{min}$ )
EF	暴露頻率(exposure frequency)	(min/year)
ED	暴露期間(exposure duration)	(year)
BW	體重(body weight)	(kg)
AT	平均暴露到癌症風險的時間(averaging time for carcinogenic)	(year)
CSF	吸入癌症的斜率因子(inhalation carcinogenic slope factor)	(mg/kg-day)

### 3.5 非致癌風險估算

非致癌的暴露風險公式為  $HQ=ADD/RfD$ ，HQ(Hazard Quotient，危害商數)為探討 PAHs 經由吸入後所造成的非致癌風險值。在非致癌風險的計算上，以 RfD(mg/kg-day)當參考劑量來計算風險值，由動物實驗得知。取自 USEPA 中 4 種 PAHs 的風險參考劑量，此四種 PAHs 分別為 NaP、Acp、Flu、Ant，如表四所示。

表四、PAHs 非致癌參考值

化合物	RfD(mg/kg-day)
NaP	$2 \times 10^{-2}$
Acp	$6 \times 10^{-2}$
Flu	$4 \times 10^{-2}$
Ant	$3 \times 10^{-1}$

非致癌風險公式以危害商數 (Hazard Quotient，HQ)所表示：

$$HQ = \frac{ADD \text{ (mg/kg-day)}}{RFD \text{ (mg/kg-day)}} \quad (1)$$

$$ADD \text{ (mg/kg-day)} = \frac{C \cdot IR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (2)$$

其中 HQ 非致癌危害商數因為參數單位互相消除，故無單位表示。ADD 為

每日容許劑量(mg/kg-day), C 為採樣所得到的濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), IR 為呼吸率( $\text{m}^3/\text{min}$ ), EF 為暴露頻率(min/year), ED 為暴露期間(year), BW 為體重(kg), AT 為平均暴露到癌症風險的時間(year)。再經由 USEPA(美國環保署)中 NaP、Acp、Flu、Ant 的風險參考值, 代入公式 (1) 中計算, 推算出 HQ 非致癌危害商數。

公式中 ADD(Average Daily Dose)為每日容許劑量(mg/kg-day), 暴露於多個化學物質之 HQ 相加可得危害指數 HI(Hazard Index), 公式如下

$$\text{HI} = \sum \text{HQ}$$

當  $\text{HI} < 1$  時表示該化學物質在評估後並無非致癌的風險存在, 所以非致癌風險可以被忽略掉; 相反的, 如果  $\text{HI} > 1$  暴露到此化學物質後, 有非致癌的風險存在。

### 3.6 致癌風險估算

本研究致癌風險分為(1)平日機車族、(2)平日汽車族、(3)假日機車族、(4)假日汽車族，四個方面來討論。然而研究採樣的濃度為  $\Sigma$ PAHs，故無法了解各別 21 種 PAHs 的比例，所以採用 Wen-Jhy Lee et al.(1995)在交通源中的 PAHs 特徵，從中算出 21 種 PAHs 百分比例，如表 5.2，再將採樣中平日、假日所得到的濃度及機車、汽車族群所暴露的濃度分別乘上 21 種 PAHs 的百分比例，相乘得到的值為各項顆粒態 PAHs 濃度。

在毒性當量因子 TEFsbapeq 中，研究採用了 Nisbet and LaGoy(1992)和 Malcom and Dobson(1994)的值，如表 5.2，從 21 種 PAHs 中的 TEFsbapeq 分別乘上各項顆粒態 PAHs 濃度，所得出的值為(1)平日機車族、(2)平日汽車族、(3)假日機車族、(4)假日汽車族之毒性當量 BaPeq( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，每項討論因子中的 21 種 BaPeq 加總為各因子的 PAHs 的毒性濃度。

研究採用致癌風險公式如下：

$$\text{HQ} = \frac{\text{CBaPeq} * \text{IR} * \text{EF} * \text{ED}}{\text{BW} * \text{AT}} * \text{CSF} \quad (3)$$

公式中 HQ 為致癌危害商數，CBaPeq 為 21 種 BaPeq 加總的 PAHs 毒性濃度，由表五帶入本研究所測量之總 PAHs 濃度，IR 為呼吸率( $\text{m}^3/\text{min}$ )，EF 為暴露頻率( $\text{min}/\text{year}$ )，ED 為暴露期間( $\text{year}$ )，BW 為體重( $\text{kg}$ )，AT 為平均暴露到癌症風險的時間( $\text{year}$ )，再將 CSF(癌症斜率子)( $\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$ )平均值為 3.14、標準差為 1.8 代入(3)中計算，求得致癌危害商數。USEPA 針對致癌性風險訂出一般民眾可允許暴露到致癌風險物質的危害風險建議值為  $10^{-6}$ 。

表五、21 種 PAHs 毒性當量因子 TEFsbapeq 及 21 種 PAHs 個別百分比

縮寫	Nisbet and LaGoy(1992)	Malcom and Dobson(1994)	Lee et al. (2011)	百分比 <sup>b</sup> %
Nap	0.001	0.001	0.001	87.112%
AcPy	0.001	0.001	0.001	3.869%
Acp	0.001	0.001	0.001	6.909%
Flu	0.001	0.001	0.001	0.857%
PA	0.001	0.001	0.001	0.212%
Ant	0.01	0.01	0.01	0.477%
FL	0.001	0.001	0.001	0.198%
Pyr	0.001	0.001	0.001	0.087%
CYC		0.1	0.1 <sup>a</sup>	0.011%
BaA	0.1	0.1	0.1	0.016%
CHR	0.01	0.01	0.01	0.008%
BbF	0.1	0.1	0.1	0.007%
BkF	0.1	0.1	0.1	0.006%
BeP		0.01	0.01 <sup>a</sup>	0.005%
BaP	1	1	1	0.008%
PER		0.001	0.001 <sup>a</sup>	0.009%
IND	0.1	0.1	0.1	0.091%
DBA	1	1	1	0.019%
BbC				0.034%
Bghip	0.01	0.01	0.01	0.055%
COR		0.001	0.001 <sup>a</sup>	0.010%

<sup>a</sup> 來自於 Malcom and Dobson(1994)

<sup>b</sup> 採用 Wen-Jhy Lee et al.(1995)在交通源中的 PAHs 特徵

### 3.7 蒙地卡羅模擬法

本研究計算每日可容許的濃度(ADD)及危害商數 HQ，都使用了 2000.2 Crystal Ball software，進行蒙地卡羅模擬。蒙地卡羅模擬法(Monte Carlo method)是一種用來評估不確定性分析機率理論的方法，以隨機取樣(Random Sampling)從剛開始給定的集合中不按順序隨機選取其中數值，模擬風險的機率分布情形，進而達到推估風險範圍的目的。蒙地卡羅模擬法是一種基於大數法則的實證方法，當實驗的次數越多，它的平均值也越能趨近於理論值(本研究以一萬次為主)。

## 第四章、結果與討論

### 4.1 戶外道路與停車場內平假日 PAHs 濃度分析

圖 2 為本研究採樣點在平假日的顆粒態 PAHs 平均濃度，將平假日的濃度分樓層來呈現，由於 1F 有三面皆有窗戶以及兩個出入口雙車道，將一樓視為半開放式停車場，而 B1 型態則為三面皆牆壁的密閉式停車場，濃度高至低依序為，最高為 B1 停車場假日的濃度  $33.26 \pm 12.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第二為戶外道路平日  $27.49 \pm 20.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第三為戶外道路假日  $25.76 \pm 6.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第四為 1F 停車場假日  $22.66 \pm 6.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第五為 B1 停車場平日  $22.53 \pm 11.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最低為 1F 停車場平日  $20.13 \pm 8.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且停車場內假日濃度均高於平日，而 B1 戶外道路 1F。

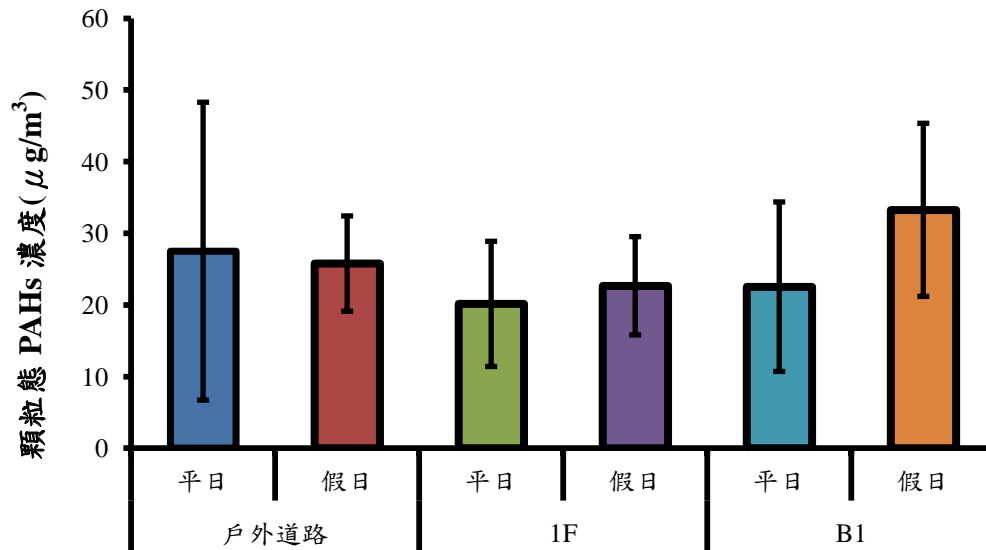


圖 2、戶外道路與停車場內平假日 PAHs 濃度分析

王雅玲(2007)用光電氣膠偵測器(PAS2000CE)測量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，依照室內停車場不同空間型態選取三家密閉式的停車場，進行空氣中的pPAHs與TVOCs濃度監測，密閉式停車場pPAHs濃度 $36.57 \pm 33.21$ 至 $115.67 \pm 83.10 \text{ ng}/\text{m}^3$ ，而半開放式停車場pPAHs濃度 $9.21 \pm 9.52$ 至 $54.77 \pm 75.66 \text{ ng}/\text{m}^3$ ，密閉式停車場的顆粒態PAHs濃度值高於半開放式停車場；且三家密閉室停車場，除了一家停車場正好在週年慶導致平日顆粒態PAHs濃度高於假日外，其於兩家平日顆粒態PAHs濃度均低於假日，三家半開放式停車場中，兩家假日顆粒態PAHs濃度高於平日，另一家為平日顆粒態PAHs濃度高於假日。

## 4.2 每日各採樣點分析

圖 3 為各採樣點的每日平均濃度，結果顯示 1F 停車場的 PAHs 平均濃度在採樣點 2、3 個濃度較高，分別為  $16.94 \pm 2.72$  至  $31.37 \pm 9.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $14.65 \pm 1.75$  至  $30.36 \pm 13.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，採樣點 2 為汽機車入口處，採樣點 3 為 1F 停車場無對外窗戶處，導致濃度最高。B1 停車場在採樣點 7、10、11 濃度明顯較高，分別為  $16.89 \pm 4.02$  至  $46 \pm 15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $13.68 \pm 4.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  至  $30.48 \pm 9.72$ 、 $24.42 \pm 8.85$  至  $44.8 \pm 14.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，採樣點 7 為民眾搭乘電梯往賣場之處，民眾大多優先把汽車停在靠近此處，採樣點 10、11 則為汽車從 1F 停車場往 B1 停車場的入口處及從 B1 停車場往 1F 停車場出口，皆為汽車必經之路，導致顆粒態 PAHs 累積於此。

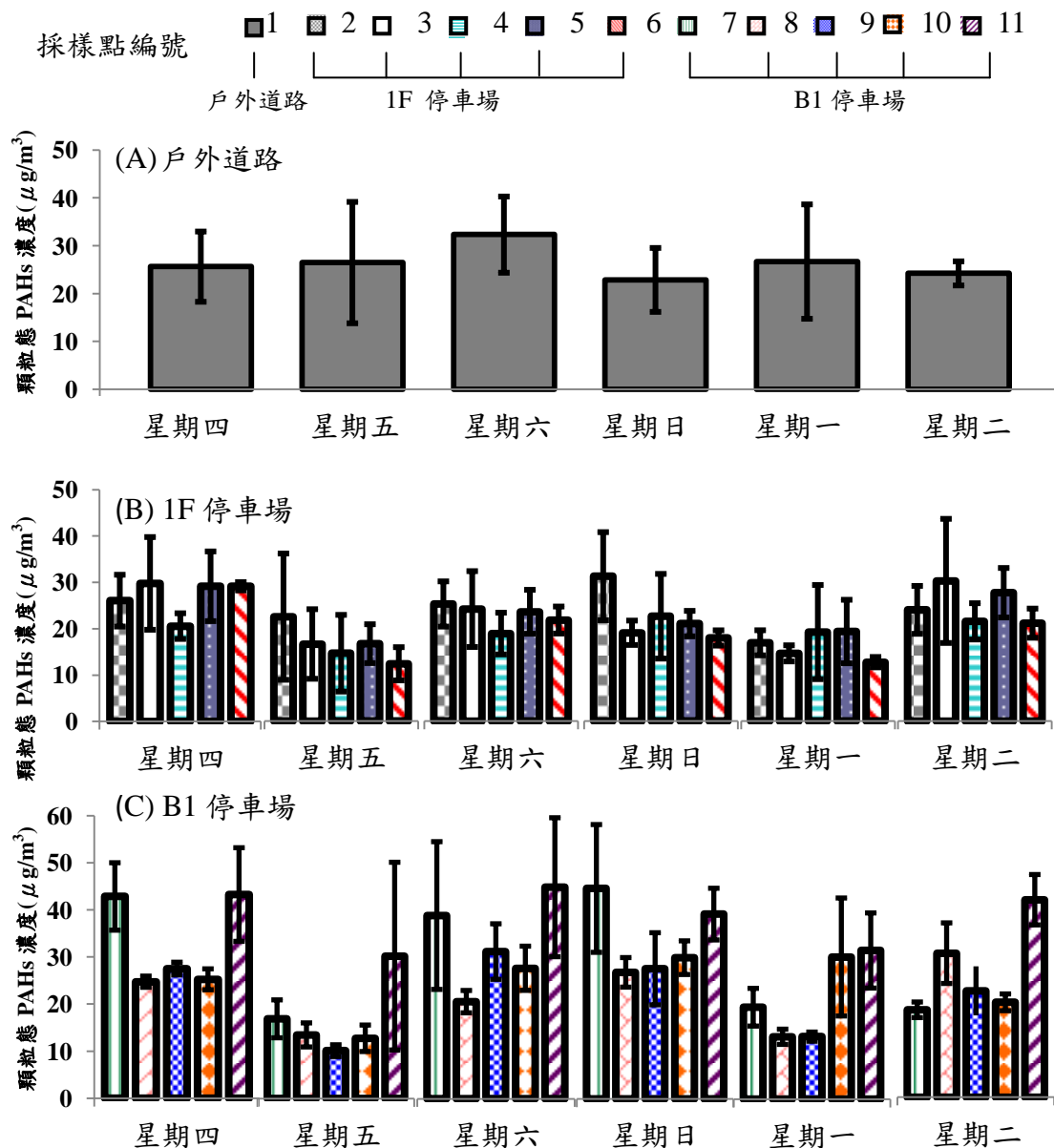


圖 3、每日各採樣點濃度

### 4.3 PAHs 粒徑特性分析

本研究將 16 個粒徑區間合併計算為 0.23-1.0  $\mu\text{m}$ 、1.0-3.0  $\mu\text{m}$ 、3.0-10.0  $\mu\text{m}$  和 10.0-20.0  $\mu\text{m}$ 。粒徑分佈如圖 4 所示，可以得知平日(圖 4 A、C、E)與假日(圖 4B、D、F)在四個區間裡都是 0.23-1  $\mu\text{m}$  為最多，而三種類型分布又以戶外道路平日時的比例為最高，皆為 55%，其次為 1F 平日時，分別為 45%、46%，最低為 B1 平日時，分別為 37%、31%。0.23  $\mu\text{m}$ -1.0  $\mu\text{m}$  的微粒有 80% 能進入人體肺部支氣管內，易殘留於肺泡，對人體肺部造成一定程度的影響。由於溫濕度對顆粒態 PAHs 濃度有影響，附錄一為採樣當下均有記錄 11 個採樣點的溫濕度。

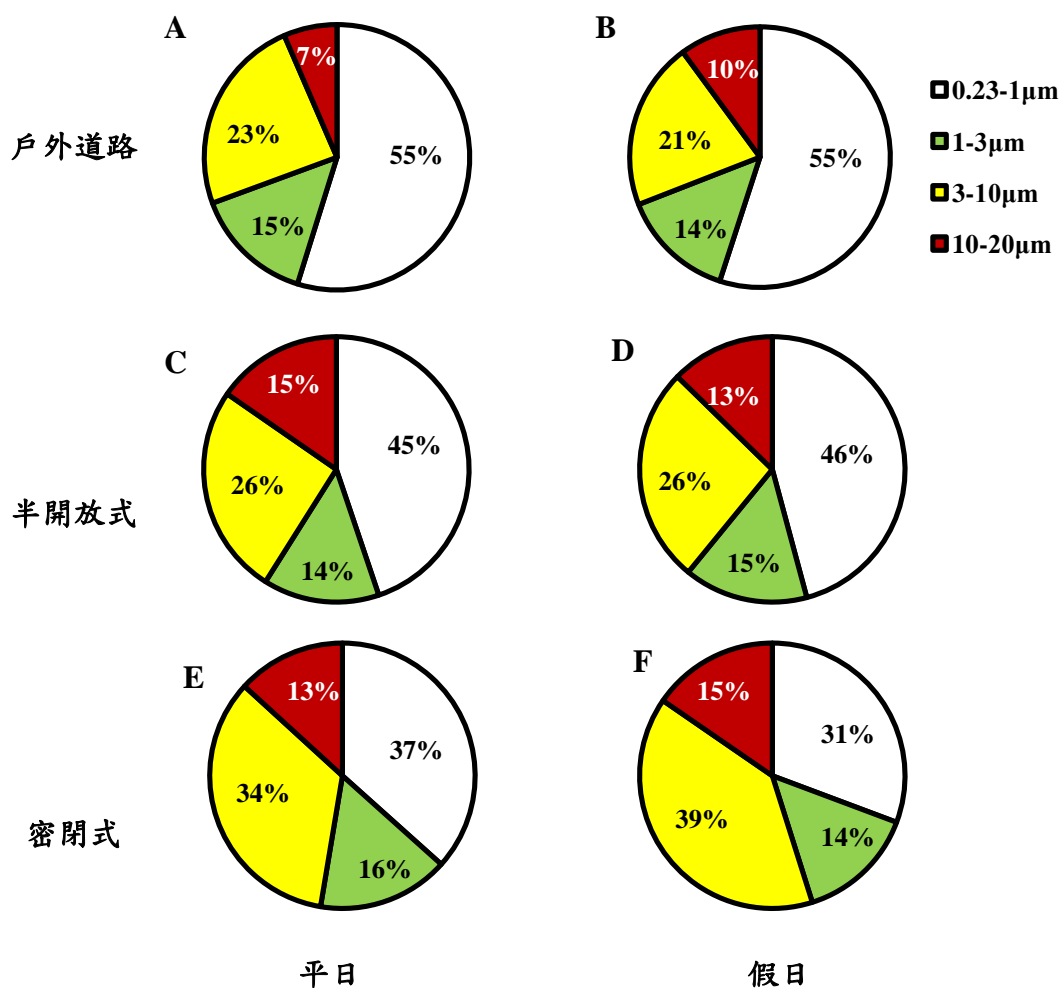


圖 4、平日假日各樓層 PAHs 粒徑分佈圖。

#### 4.4 當日累計車流量與濃度相關性

汽機車排放廢氣為顆粒態 PAHs 的來源，由於汽機車是停車場內主要的空氣污染來源，汽機車進出數量的多寡直接影響停車場內的空氣品質，圖 5(A)呈現當日累計進入停車場之車流量與當日停車場內顆粒態 PAHs 濃度，在星期六及星期日兩天當日累計車流量較高，分別為 1152、1361 輛，而對應之濃度範圍為  $16.35\text{-}39.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $17.22\text{-}38.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。圖 5(B)為當日增加車流量與顆粒態 PAHs 濃度，採用之增加車流量數為當日採樣結束的累計車流量數減去當日採樣初的累計車流量數，星期六、星期日之增加車流量最高為 853 輛、806 輛，而顆粒態 PAHs 最高值也高於其他日。而星期五當日累計車流量與星期六相同為 1152 輛，但顆粒態 PAHs 濃度為  $6.3\text{-}26.96\mu\text{g}/\text{m}^3$  比起星期六濃度低許多，因為星期五採樣 3 小時期間進入停車場之車流量為 203 輛，相較於星期六採樣三小時期間進入停車場的 853 輛車少許多，當日車流量高，貢獻高的顆粒態 PAHs 濃度。



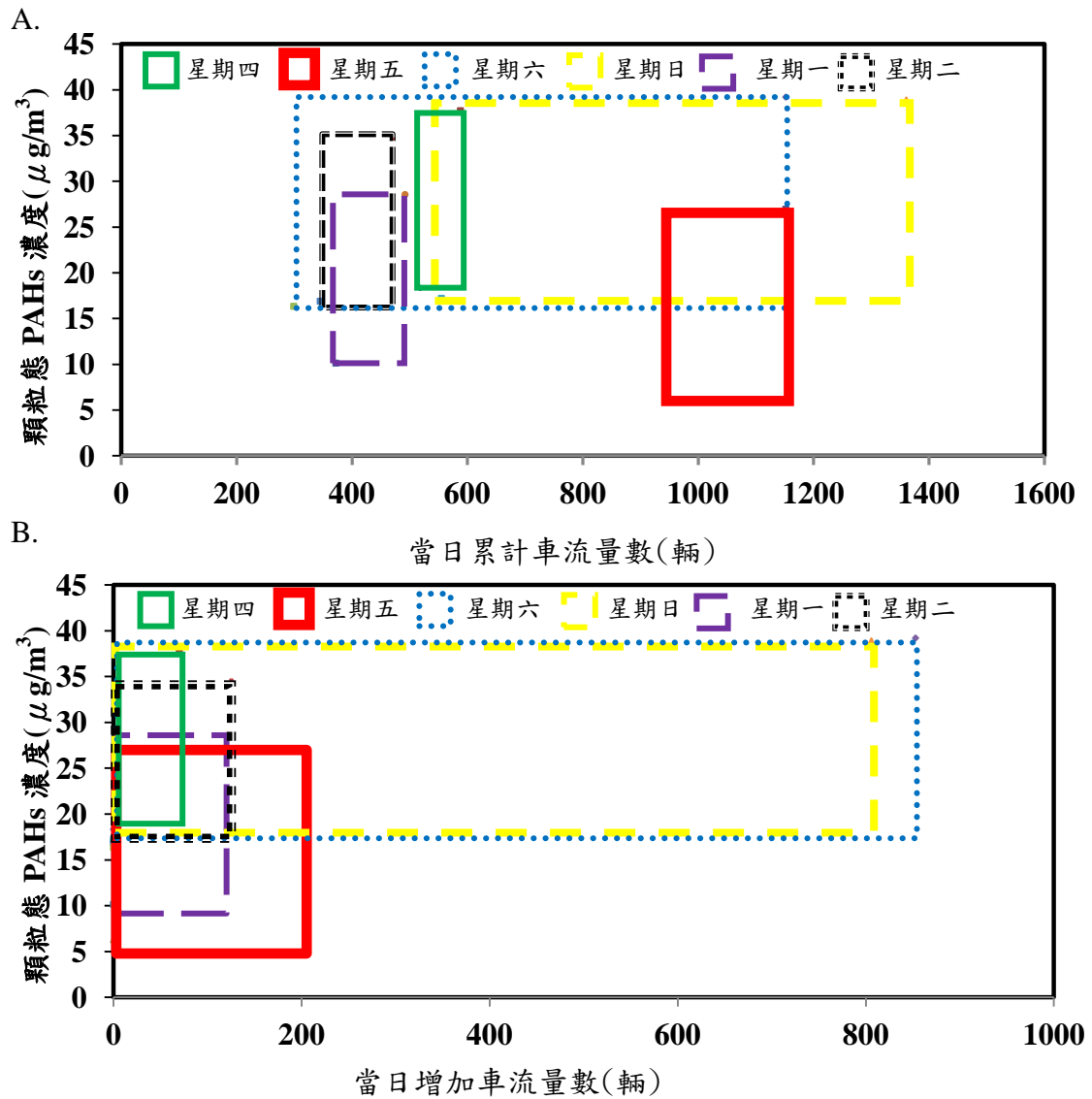


圖 5(A)、停車場當日累計車流量與顆粒態 PAHs 濃度分析。圖 5(B)、停車場當日增加車流量與顆粒態 PAHs 濃度分析

#### 4.5.問卷調查結果

##### 4.5.1 問卷統整結果

本次問卷發放共有 200 份空白問卷，經確認後有效問卷為 182 份，作為後續圖表整理的資料來源，施測回收率為 91%。無效問卷的判定主要為受測者於填答時，同時填寫當日來店的交通工具為汽車與機車。問卷分別整理出各因子的平均值、標準差、最小值和最大值，其中整理的因子有(1)至賣場時間(mim)、(2)平日進出次數(次數/月)、(3)假日進出次數(次數/月)、(4)找車位時間(min)、(5)第一次來此(年)、(6)體重(kg)，如表六做為之後計算暴露因子的參考來源。

表六、問卷整理

車種	數值	至賣場時間 (min/次)	平日進出 次數(次 數/月)	假日進出次 數(次數/月)	找車位時 間(min/ 次)	第一次來 此(年)	體重 (kg)
機車	Mean:	2.92	0.424	2.546	1.9	1.42	61.72
	SD:	1.4	0.247	1.483	2.89	1.19	10.59
	Min:	2.5	0.143	0.857	0.5	0.5	44.5
	Max:	7.5	0.714	4.286	12.5	3.5	94.5
汽車	Mean:	5.03	0.300	1.800	3.5	1.35	63.61
	SD:	5.19	0.194	1.166	3.33	1.07	12.59
	Min:	2.5	0.143	0.857	0.5	0.5	34.5
	Max:	22.5	0.714	4.286	12.5	3.5	94.5

數據中機車族群有 36 位，汽車族群有 146 位，填寫者大多以汽車為到本賣場的交通工具(佔 80.2%)。而平日進出次數(次數/月)與假日進出次數(次數/月)，依平日和假日的當日增加車流量來估算，平日和假日的車流量比為 1:6，是由當日增加車流量為資料來源，再以平日四天及假日兩天的當日增加車流量平均所得出的比例關係。至賣場的時間為找到停車位後走入賣場所花費的時間，找車位時間是由進入停車場後找到停車位且停放完交通工具所花費的時間，第一次來此是由此賣場創立後，第一次來此消費所在此停車場停車的時間點(此賣場開幕時間為 2012 年，至今大約 3 年半)，以上此數據都分為機車族群與汽車族群分別討論。

#### 4.5.2 ADD 參數討論

本研究中，對於 ADD 的分佈是以蒙地卡羅擬合的方式，找出最適當的分佈。其中大部分的分佈都為 LN(對數常態分佈)為主，對數常態分佈是以輸入(平均值、標準差)，只有 ED(暴露期間)，是以 TRI(三角分佈)為主，三角分佈是輸入(最小值、最可能的值、最大值)，如表七。

表七、ADD 輸入參數機率分佈設定

參數	單位	分佈	假日機車	假日汽車	平日機車	平日汽車
C	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	LN	22.63	27.86	20.82	22.6
IR	( $\text{m}^3/\text{day}$ )	LN	9.01,1.26	9.01,1.26	9.01,1.26	9.01,1.26
EF	(min/mon)	LN	12.27,6.36	9.05,6.05	2.05,1.06	1.51,1.01
ED	(year)	TRI	0.5,1.42,3.5	0.5,1.35,3.5	0.5,1.42,3.5	0.5,1.35,3.5
BW	(kg)	LN	61.72,10.59	63.61,12.59	61.72,10.59	63.61,12.59
AT	(year)	無	70	70	70	70
CSF	(mg/kg-day)	LN	3.14,1.8	3.14,1.8	3.14,1.8	3.14,1.8

參數中濃度是以時間點和族群分為平假日及機車與汽車，其中機車族暴露的濃度只有在室內停車場 1F 也就是採樣點 2~6 的採樣，而汽車族暴露的濃度有室內停車場 1F 及 B1 也就是採樣點 2~11。EF 為問卷中至賣場時間、平假日進出次數及找車位時間之間的關係，ED 為問卷中第一次來此賣場的時間點，BW 為機車與汽車族群各別的平均體重。EF 的公式如下：

$$EF(m)=A1*(T1+T2) \quad (4)$$

$$EF(c)=A1*T1 \quad (5)$$

公式(4)為計算機車族暴露的頻率，其中 EF(m)為機車族暴露頻率，A1 為進出次數分為平日及假日，T1 為至賣場時間(min/次)，T2 為找車位時間(min/次)。公式(5)為汽車族群暴露的頻率，EF(c)為汽車族暴露頻率，公式中 T1(至賣場時間)是由本研究假設駕駛者在找尋停車位時並無打開車窗，因此當時並無暴露到 PAHs 的濃度，故公式中無 T2(找車位時間)。

#### 4.6 非致癌風險分析

非致癌風險的呈現是以 NaP、AcP、Flu、Ant 的各別 ADD(mg/kg-day)值和各別的 RfD(mg/kg-day)之間相除的關係，如表八所示。本研究所算出的風險值以 NaP HQ 為最大值，而最小值為 Ant HQ，數據中皆以機車族暴露到非致癌的風險較汽車族高，且假日暴露的非致癌風險大於平日。計算出的 HQ < 1，表示出不管是機車族或是汽車族在平日以及假日皆沒有非致癌的風險存在，其非致癌風險是可以被忽略的。

表八、非致癌風險值

風險值	假日		平日	
	機車	汽車	機車	汽車
Nap HQ	8.18E-07	6.94E-07	4.64E-11	3.44E-11
Acp HQ	2.19E-08	1.84E-08	3.37E-09	2.48E-09
Flu HQ	4.08E-09	3.42E-09	6.25E-10	4.63E-10
Ant HQ	3.03E-10	2.54E-10	4.64E-11	3.44E-11
total	8.44E-07	7.16E-07	4.09E-09	3.01E-09

#### 4.7 致癌風險分析

表九為採用 Wen-Jhy Lee et al.(1995)在交通源中的 PAHs 特徵，將文中 21 種 PAHs 所佔的百分比乘上採樣的濃度後，再乘上 Malcom and Dobson(1994)中 21 種 PAHs 的 TEFsbapeq 所得出來的值為 BaPeq，加總後成為室內停車場中 PAHs 的毒性濃度。此濃度分別為(1)假日機車族  $0.03290 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(2)假日汽車族  $0.04051 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(3)平日機車族  $0.03027 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(4)平日汽車族  $0.03286 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，可看出假日暴露到的 BaPeq 濃度較為高，但整體的濃度都相當接近。

結果的 BaPeq HQ 為(1)假日機車族  $8.7\text{E}-11$ 、(2)假日汽車族  $7.3\text{E}-11$ 、(3)平日機車族  $1.3\text{E}-11$ 、(4)平日汽車族  $9.9\text{E}-12$  等數值。能看出致癌風險與非致癌風險一樣都為機車的風險較高，且假日可能暴露的風險也會比平日來得高，但是結果顯示不論機車及汽車或是平假日四種風險暴露族群致癌風險皆小於風險建議值  $10^{-6}$ ，所以此室內停車場對於 PAHs 的致癌風險為一般民眾可接受罹患癌症的風險值。造成原因可能為，採樣的濃度值較低且顧客來此賣場停車頻率低之因素。

表九、顆粒態 PAHs 濃度及 BaP<sub>eq</sub> 濃度

化合物	百分比 <sup>a</sup>	平均顆粒態PAHs( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				TEF <sup>b</sup>	BaP <sub>eq</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		平日		假日			平日		假日	
		機車 濃度	汽車 濃度	機車 濃度	汽車 濃度		機車 濃度	汽車 濃度	機車 濃度	汽車 濃度
Nap	87.112%	18.137	19.687	19.713	24.269	0.001	0.01814	0.01969	0.01971	0.02427
AcPy	3.869%	0.806	0.874	0.876	1.078	0.001	0.00081	0.00087	0.00088	0.00108
Acp	6.909%	1.439	1.561	1.564	1.925	0.001	0.00144	0.00156	0.00156	0.00192
Flu	0.857%	0.178	0.194	0.194	0.239	0.001	0.00018	0.00019	0.00019	0.00024
PA	0.212%	0.044	0.048	0.048	0.059	0.001	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006
Ant	0.477%	0.099	0.108	0.108	0.133	0.01	0.00099	0.00108	0.00108	0.00133
FL	0.198%	0.041	0.045	0.045	0.055	0.001	0.00004	0.00004	0.00004	0.00006
Pyr	0.087%	0.018	0.020	0.020	0.024	0.001	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
CYC	0.011%	0.002	0.002	0.002	0.003	0.1 <sup>c</sup>	0.00022	0.00024	0.00024	0.00029
BaA	0.016%	0.003	0.004	0.004	0.004	0.1	0.00033	0.00036	0.00036	0.00045
Chr	0.008%	0.002	0.002	0.002	0.002	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
BbF	0.007%	0.001	0.002	0.002	0.002	0.1	0.00015	0.00016	0.00016	0.00020
BkF	0.006%	0.001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.00012	0.00012	0.00013	0.00015
BeP	0.005%	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01 <sup>c</sup>	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
BaP	0.008%	0.002	0.002	0.002	0.002	1	0.00173	0.00187	0.00188	0.00231
PER	0.009%	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001 <sup>c</sup>	0.000002	0.000002	0.000002	0.000002
IND	0.091%	0.019	0.021	0.021	0.025	0.1	0.00190	0.00206	0.00206	0.00254
DBA	0.019%	0.004	0.004	0.004	0.005	1	0.00403	0.00437	0.00438	0.00539
BbC	0.034%	0.007	0.008	0.008	0.009					
Bghip	0.055%	0.011	0.012	0.012	0.015	0.01	0.00011	0.00012	0.00012	0.00015
CoR	0.010%	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001 <sup>c</sup>	0.000006	0.000002	0.000002	0.000003
total	100%	20.82	22.6	22.63	27.86		0.03027	0.03286	0.03290	0.04051

a:採用 Wen-Jhy Lee et al.(1995)在交通源中的 PAHs 特徵

b:採用 Nisbet and LaGoy(1992)

c:採用 Malcom and Dobson(1994)

## 第五章、結論與建議

### 5.1 結論

本研究使用 Grimm1.108 微粒分析儀搭配攜帶式 PAH-sensor Model 130 量測 PAHs 濃度，來量測停車場機動車所排放之 PAHs 特性分析，進而探討粒徑特性及車流量對應顆粒態 PAHs 濃度的比較。假日測得之顆粒態 PAHs 濃度較平日高，且在 1 樓採樣點 2、3 及 B1 採樣點 7、10、11 測得較高濃度，推測為較靠近賣場，所以此區域為民眾停車之首選，故機動車排放量高。在平假日、1 樓、B1 的粒徑皆為 0.23-1.0  $\mu\text{m}$  最小粒徑所佔比例最高，細微粒易進入人體肺部對健康危害大，比較車流量及濃度時，也發現在假日車流量高時，所測得之顆粒態 PAHs 濃度較高，可得知室內顆粒態 PAHs 濃度的排放源為機動車。

### 5.2 建議

1. 本實驗儀器只能採集顆粒態 PAHs 濃度，故可建議未來可增加氣相 PAHs 濃度更進一步分析探討。
2. 採樣過程中風向與風速無法測定，造成每次 PAHs 濃度變化影響，未來可考量風向與風速並更進一步加以探討。
3. 機動車排放也包含 VOCs、Sox、CO 等，本研究未測量之，未來可增加測量項目。
4. 民眾盡量避免假日及車量輛高時進入室內停車場，避免暴露高濃度顆粒態 PAHs。
5. 室內停車場抽氣系統應確保一直開啟，增加室內外空氣流通。

## 參考文獻

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) biologic exposure indices (BEI) Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Ancelet T., Davy P.T., Trompetter W.J., Markwitz A., Weatherburn D.C. (2011). Carbonaceous aerosols in an urban tunnel. *Atmospheric Environment*. 45; 4463-4469.
- Baek S.O., Field R.A., Goldstone M.E., Kirk P.W., Lester J.N., Perry R. (1991). A Review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources, fate and behavior. *Water, Air, and Soil Pollution*. 60; 279-300.
- Brown A.S., Brown R.J.C., Coleman P.J., Conolly C., Sweetman A.J., Jones K.C. (2013). Twenty years of measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in UK ambient air by nationwide air quality networks. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 15; 1199-1215.
- Brostroem L.E., Loevblad G. (1991). Deposition of soot related hydrocarbons during long-range transport of pollution to Sweden. *Atmospheric Environment*. 25; 2251-2257.
- Chen F., Hu W., Zhong Q. (2013). Emissions of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Fu Gui-shan Tunnel of Nanjing, China. *Atmospheric Research*. 124; 53-60.
- Chetwittayachan T., Shimazaki D., Yamamoto K. (2002). A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (pPAHs) concentration in different urban environments Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand. *Atmospheric Environment*. 36; 2027-2037.
- Dias J.R., (1987). Handbook of Polycyclic Hydrocarbons: Part A: Benzenoid Hydrocarbons. *Elsevier*.
- Fernandes M.B., Brickus L.S., Moreira J.C., Cardoso J.N. (1999). Atmospheric carcinogens in Rio de Janeiro During the Summer of 1998/99: Benzo[a]pyrene and Benzene. *Reviews on Environmental Health*. 14; 145-157.
- Gaga E.O., Ari A. (2011). Gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an urban traffic site in Eskisehir, Turkey. *Atmospheric Research*. 99; 207-216.
- Gernot G. (1983). Environmental carcinogens: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. CRC Press Inc.
- Grimmer G. (1983). Environmental Carogens: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Environmental Science Technology*. 24; 1581-1585.
- Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L. (1996). Source Apportionment of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Collected from an Urban Location in Birmingham, U.K. *Environmental Science and Technology*. 30(3); 825-832.
- Haddad I.E., Marchand N., Dron J., Temime-Roussel B., Quivet E., Wortham H., Jaffrezo J.L., Baduel C., Voisin D., Besombes J.L., Gille G. (2009). Comprehensive primary particulate organic characterization of vehicular exhaust emissions in France. *Atmospheric Environment*. 43; 6190-6198.
- Ho K.F., Hang Ho S.S., Lee S.C., Cheng Y., Chow J.C., Watson J.H., Louie P.K.K., Tian L. (2009). Emissions of gas- and particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Shing Mun Tunnel, Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 43; 6343-6351.

- Ikeda Y., Nakajima T., Sher E. (1998). Air Pollution from Small Two-Stroke Engines and Technologies to Control It. *Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. Pollution Formation and Control*.
- IPCS (International Programme On Chemical Safety). (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons, selected non-heterocyclic. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>.
- Jonathan O.A., Mayo R.O., Hughes S.L., Lynn G.S., Glen R.C. (2001). Emission of Size-Segregated Aerosols from On-Road Vehicles in the Caldecott Tunnel. *Environmental Science and Technology*. 35; 4189-4197.
- Li H., Zeng H., Zhang D., Chen P., Yu Z., Sheng C., Fu J., Peng P. (2014). Occurrence and carcinogenic potential of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons in some large-scale enclosed/semi-enclosed vehicle parking areas. *Journal of Hazardous Materials* 274; 279-286.
- Liu Y., Gao Y., Zhang C., Wang S., Ma L., Zhao J., Lohmann R. (2015). Particulate matter, gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an urban traffic tunnel of China: Emission from on-road vehicles and gas-particle partitioning. *Chemosphere*. 134; 52-59.
- Ma J., Horii Y., Cheng J.P., Wang W.H., Wu Q., Ohura T., Kannan K. (2009). Chlorinated and parent polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental samples from an electronic waste recycling facility and a chemical industrial complex in China. *Environmental Science and Technology* 43; 643-649.
- Martuzevicius D., Kliucinkas L., Prasauskas T., Krugly E., Kauneliene V., Strandberg B. (2011). Resuspension of particulate matter and PAHs from street dust. *Atmospheric Environment* 45; 310-317.
- Marr L.C., Kirchstetter T.W., Harley R.A., Miguel A.H., Hering S.V., Hammond S.K. (1999). Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Motor Vehicle Fuels and Exhaust Emissions. *Environmental Science and Technology*. 33; 3091-3099.
- NAEI (National Atmospheric Emissions Inventory). Available at: <http://naei.defra.gov.uk/overview/ap-overview>, 2013.
- Nielsen, T. (1999). Traffic Contribution of Polycyclic Aromatic hydrocarbons in the Center of a Large City. *Atmospheric Environment*. 30; 3481-3490.
- Nisbet C.T., LaGoy P.K. (1992). Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 16; 290-300.
- Omar N.Y.M.J., Mon T.C., Rahman N.A., Abas M.R.B. (2006). Distribution and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric of Kuala Lumpur, Malaysia. *Science of the Total Environment*. 369; 76-81.
- Pott P., Hawes L., Clarke W., Collins R. (1775). 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, London.
- Schwela D. (2000). Air pollution and health in urban areas. *Environmental Health*. 15; 13-42.
- Unwin J., Cocker J., Scobbie E., Chambers H. (2006). An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *The Annals of Occupational Hygiene*. 50; 395-403.
- U.S.EPA. 1984. Health Effect Assessment for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH). EPA 549/1-86-013. Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH.
- Vukovic G., Urosevic M.A., Razumenic I., Kuzmanoski M., Pergal M., Skrivanj S.,



- Popovic A. (2014). Air quality in urban parking garages (PM10, major and trace elements, PAHs): Instrumental measurements vs. active moss biomonitoring. *Atmospheric Environment* 85; 31-40.
- Wingfors H., Sjodin A., Haglund P. (2001). Characterisation and Determination of Profiles of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Traffic Tunnel in Gothenburg, Sweden. *Atmospheric Environment*. 35; 6361-6369.
- Zielinska B., Sagebiel J., Arnott W.P., Rogers C.F., Kelly K.E., Wagner D.A., Lighty J.S., Sarofim A.F., Palmer G. (2004). Phase and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel and Gasoline Vehicle Emissions. *Environmental Science and Technology*. 38; 2557-2567.
- 潘一誠、林坤海，2002，汽機車排放之臭氧前驅物及毒性空氣污染物與油品相關性之研究，行政院環境保護署。
- 國際癌症中心網站。Available from URL: <http://www.iarc.fr/>
- 簡淑美，2005，機車排放懸浮微粒及多環芳香烴化合物粒徑分析研究，朝陽科技大學環境工程與管理研究所，碩士論文。
- 簡維政，1996，汽車排氣中 PAHs 之特性及其排放特徵中碳成分關係之探討，屏東技術學院環境工程技術研究所，碩士論文。
- 交通部全球資訊網。Available from URL: <http://www.motc.gov.tw/>
- 王雅玟，1998，交通污染源大氣中多環芳香烴化合物特徵之探討，國立成功大學環境工程研究所，碩士論文。
- 王雅玲，2007，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，中國醫藥大學環境醫學研究所，碩士論文。

附錄一、採樣過程溫濕度

日期	星期四		星期五		星期六		星期日		星期一		星期二	
	溫度 (°C)	溼度 (%)	溫度 (°C)	溼度 (%)	溫度 (°C)	溼度 (%)	溫度 (°C)	溼度 (%)	溫度 (°C)	溼度 (%)	溫度 (°C)	溼度 (%)
	32	60	31	54	31	56	33	47	32	51	32	56
	32	55	31	57	31	55	34	45	31	46	32	52
	31	62	32	60	31	59	32	54	31	55	31	53
	30	62	30.5	57	31	59	32	52	31	53	30	56
	30	65	30	58	31	57	33	50	30	52	28	59
	30.5	64	30	60	31	59	32	50	30	50	29	60
	30	50	30	55	31	54	33	53	30	50	30	59
	30	59	30	59	30.5	56	33	52	32	49	30	59
	30	63	30	59	30	59	33	50	32	52	30	59
	30	65	30	58	30	59	33	53	32	50	30	60
	30	61	29	56	30	60.5	32	54	31	50	29	62

附錄二問卷資料

基本資料：

1.性別： 男  女

2.年齡： 小於 10 歲  10-19 歲  20-29 歲  30-39 歲  
 40-49 歲  50-59 歲  60 歲以上

3.最高學歷：

大專以上  大專  高中職  國中  國小

4.體重：

小於 40 公斤  40-49 公斤  50-59 公斤  
 60-69 公斤  70-79 公斤  80-89 公斤  90 公斤以上

交通工具及汽油種類：

1.車種：

汽車  機車  電動機車(選此選項者可跳過第六題)

2.汽油種類：

98 無鉛汽油  95 無鉛汽油  92 無鉛汽油  柴油

停留頻率：

1.每月進出此賣場之停車場次數：

1(次/月)  2(次/月)  3(次/月)  4(次/月)  5(次/月)以上

2.您由停車場入口進入後在停車場內花多久時間找到汽、機車停車位：

1 分鐘以內  1-3 分鐘  3-5 分鐘  5-10 分鐘  10 分鐘以上

3.請問您停車後須花多久時間至賣場？

5 分鐘以內  5-10 分鐘  10-15 分鐘  15-20 分鐘  20 分鐘以上

4.請問您第一次光臨本賣場的時間是多久以前？

1 年以下  1 年  2 年  3 年  3 年以上

滿意度：

1.請問您對本停車場的評價？

非常滿意  滿意  普通  不滿意  非常不滿意+

2.滿意與不滿意的原因為何？

繳費方式\_\_\_\_\_， 廁所\_\_\_\_\_

動線規劃\_\_\_\_\_， 其他\_\_\_\_\_