

市區公車減少排污因應對策之初探

The Preliminary Study on Countermeasures for Reducing Air Pollution Emission of City Bus

綜合技術組 傅強 曾佩如 朱珮芸

研究期間：民國 107 年 2 月至 108 年 6 月

摘要

柴油公車為都會大眾運輸主要交通工具之一，密集公車班次雖提供民眾便利之服務，但候車民眾卻可能因吸入公車排放之廢氣影響健康。柴油公車排放氣狀污染物如氮氧化物(NO_x)與粒狀污染物(PM)，對健康有急性或慢性影響，嚴重可導致癌症。目前市區公車全面汰換為高環保標準之柴油公車或電動公車非一蹴可及，仍需探討現階段可減少使用中柴油公車排污之相關管理對策。

綜整相關文獻及統計資料，本研究歸納柴油公車污染之 4 項課題，包括：「市區公車以柴油引擎為主，營運路線深入市民生活環境，直接影響民眾健康」、「民眾候車受柴油公車尾氣排放影響，公車密集進站候車處特別嚴重，尤其為公車專用道」、「出廠排放標準雖有逐期加嚴，截至 107 年 1 月仍有 1/3 比例柴油公車尚未達到最新排放標準(第 5 期)」，以及「環保機關目前僅採柴油車自主管理措施，定期檢驗措施尚在規劃中，爰無法掌握所有高污染柴油公車並要求改善」等。

因應上述課題，本研究研擬市區柴油公車減污管制對策架構，針對新出廠市區公車管理對策為「推動新出廠市區公車電動化(交通部、經濟部、環保署)」、「電動公車優先行駛於公車專用道之路線(地方政府、交通部)」、「逐步要求新出廠市區柴油公車具有最佳環保性能(環保署、地方政府)」；另針對使用中市區公車管理對策為「儘速規劃與落實柴油車定檢工作(環保署、交通部、地方政府)」、「提升公車專用道鋪面品質及裝配低滾動阻力輪胎(地方政府)」、「候車亭綠化設計(地方政府)」、「普及市區公車動態顯示系統(地方政府、交通部)」，以及「市區公車路線檢討與優化(地方政府)」。

外，更需宣導民眾提高對空污防護意識，自主因應以減少空污暴露(衛福部、環保署、地方政府)

關鍵詞：

交通空氣污染、柴油公車、空污暴露、電動公車

市區公車減少排污因應對策之初探

一、前言

隨著環保意識提升，社會大眾除希望能保有交通工具行的便利之外，更期盼交通工具發展能與時俱進，降低碳排及空氣污染，以減少對環境之衝擊。另方面，解決交通空污問題除降低整體空污排放量外，更需致力於微環境空污排放集中問題，就特定交通環境與暴露族群，研擬改善策略。

市區柴油公車排氣量遠高於一般小汽車與機車，並且車輛用途為大眾運輸，行駛路線深入都會各角落，累計之行駛里程數高，衍生尾氣污染排放亦相當可觀。公車服務為所有公共運輸服務中最為普及交通方式，交通部門基於責任及人道立場，有義務提供民眾一個乾淨、友善且感受度良好之公車候車及搭乘環境。

臺灣都市地區大眾運輸，除了雙北市、桃園與高雄市捷運系統之外，均依賴市區客運(俗稱市區公車)服務。現行國內市區公車車輛主要動力來源為柴油引擎，其排放的污染物如一氧化碳(CO)、揮發性有機物(VOCs)、氮氧化物(NO_x)、懸浮微粒(或稱粒狀污染物質；PM)、細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)及超細微粒($\text{PM}_{0.1}$)等多元物質。其中， $\text{PM}_{2.5}$ 係粒徑小於或等於($\leq$)2.5微米(μm)之所有粒狀污染物總稱，大小約為頭髮直徑 1/28，粒徑越小對身體傷害越高，目前多項研究結果指出 $\text{PM}_{2.5}$ 會降低血管舒張的能力，引發心血管方面的疾病(Dales et al., 2007)，且細懸浮微粒在進入肺泡後，也會誘發呼吸系統之相關疾病。

世界衛生組織(WHO)所屬國際癌症研究機構(IARC)在 2012 年已將柴油引擎廢氣(diesel engine exhaust)的致癌等級由 2A 級(極有可能為致癌因子)上調成 1 級(確定為致癌因子)，認為柴油引擎廢氣與肺癌的發生有明確的相關性。臺灣對於柴油引擎廢氣對居民的健康風險評估相關研究(Chio et al., 2014)，發現高雄地區交通污染源中，從柴油引擎廢氣造成腫瘤發生率超過 22-26 人/每十萬人之機率為 50%，顯見其對於人民健康影響不可忽視。爰本研究旨在瞭解市區柴油公車污染排放特性、排放污染物對人體健康影響，進而提出減少市區柴油公車尾氣排污對策之建議。

二、文獻回顧

2.1 柴油大客車污染

本節首先概要介紹一般車輛污染物生成機制、主要排放物質與全國車輛排放概況，並進一步說明柴油大客車(含公車客運、自用大客車、遊覽車)之排放特性。

1. 車輛污染物種及生成

表 2.1-1 為一般車輛污染排放空氣污染物類型及其物質。車輛之污染物可分為氣狀污染物及粒狀污染物兩大類，氣狀污染物主要來源為尾氣排放，常見污染物包括 CO 、 NO_x 、 SO_x 及 VOC_s 等，而其中 NO_x 、 SO_x 及 VOC_s 等氣狀污染物於大氣中經太陽照射後，會引發光化學反應而轉化為衍生性污染物。 VOC_s 包含有醛類、苯、多環芳香烴 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 等多種已被證實毒性化學物質，對人體健康造成不良影響。Kittelson (1998)、Shi 及 Harrison (1999) 研究結果指出汽機車排放廢氣中之半揮發性物質 (SVOCs) 排放至大氣後之前幾秒因為稀釋 (Dilution) 因素，以致微粒迅速成長。

在粒狀污染物方面，主要為原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 、鉛(Pb)及 Diesel $\text{PM}_{2.5}$ (DPM)，其中柴油引擎排放之 DPM 已被 WHO 列為一級致癌物質。一般都會區行駛之機動車輛 (如柴油車) 其引擎排放廢氣中微粒之數目及質量濃度粒徑分佈(如圖 2.1.1)可區分為粗微粒 (coarse particle，氣動直徑^a為 $2.5\sim 10\mu\text{m}^b$ ， $\text{PM}_{2.5-10}$)、細微粒 (fine particle，氣動直徑為 $<2.5\mu\text{m}$ ， $\text{PM}_{2.5}$)、超細微粒 (ultrafine particle，氣動直徑 $<0.1\mu\text{m}$ ， $\text{PM}_{0.1}$) 及奈米微粒 (nanoparticle，氣動直徑 $<0.05\mu\text{m}$ ， $\text{PM}_{0.05}$)。

汽機車使用汽柴油燃料排放 PM 含有 Pb、Cd、鐵(Fe)、銅(Cu)、鋅(Zn)及鎳(Ni)等金屬。此外，輪胎磨損會產生鋅(Zn) (Pacyna, 1986)。Fernández et al. (2001)在西班牙進行金屬粒徑分布研究顯示具毒性之金屬累積在極小的微粒上(例如 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_1 、 $\text{PM}_{0.1}$ 等細懸浮微粒與超細微粒)，50%以上之微粒是分佈在粒徑 $0.61\mu\text{m}$ 以下，並且具毒性之 Pb、鈾(V)、鎳(Ni)及鎘(Cd)占絕大部分，因此，不可忽視極小微粒

^a 氣動直徑：與此微粒具有相同重力沉降速度，並且具有標準密度(1 g/cm^3)的圓球直徑；譬如，水珠呈圓球形，而水的質量密度等於標準密度，因此水珠氣動直徑與它直徑相等；若一個微粒與一個水珠有相同的重力沉降速度，則微粒的氣動直徑等於水珠的直徑。(資料來源：<http://www.fengtay.org.tw/ap/envList.aspx?id=1397>，查閱日期:2019.8.7)

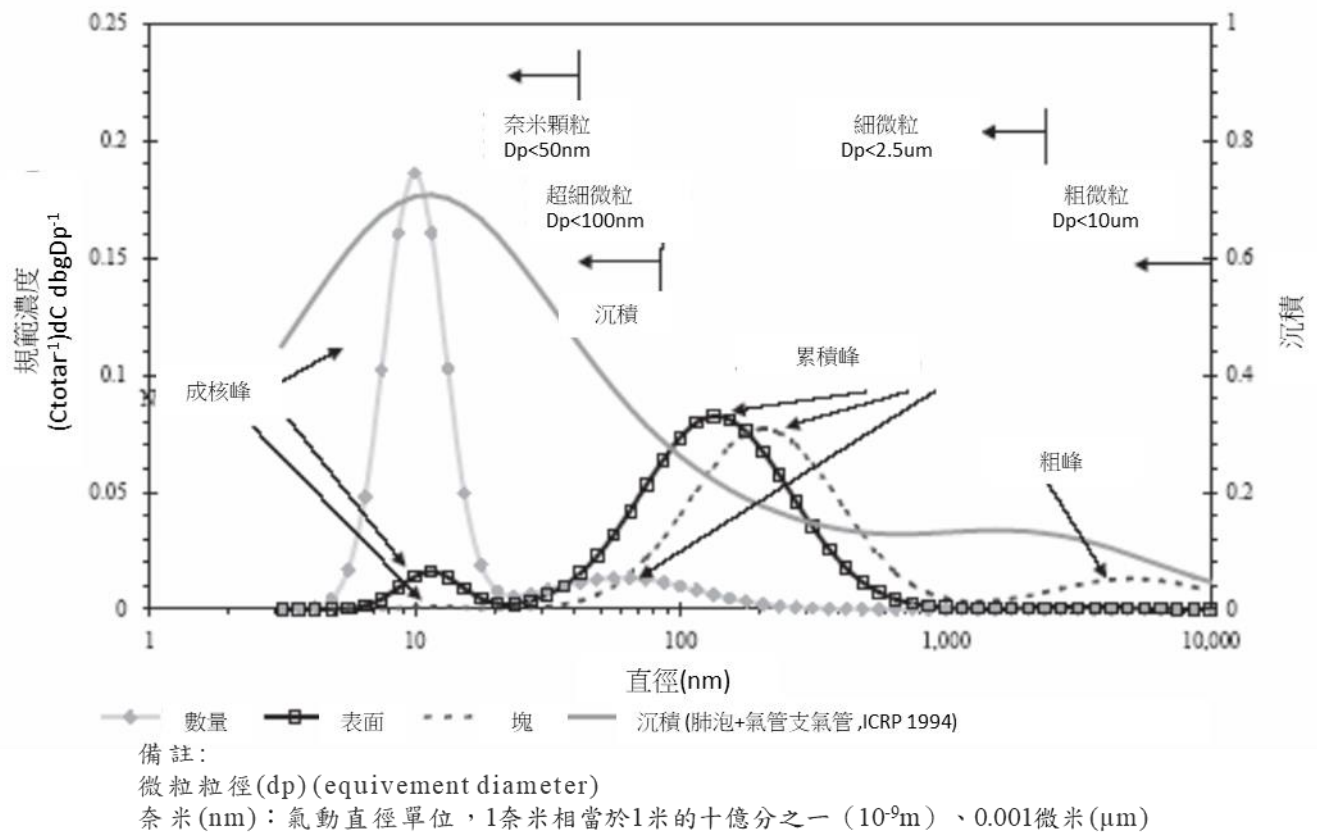
^b 微米(μm)：氣動直徑單位，1 微米相當於 1 米的一百萬分之一 (10^{-6})

之重金屬對之環境影響。

表 2.1-1 車輛污染源排放之空氣污染物概述

污染物類型	空氣污染物質
氣狀污染物	CO、NO _x 、SO _x 、VOCs 如苯、甲苯、二甲苯、乙苯、甲醛、乙醛、丁二烯等
粒狀污染物	Pb、Cu、Fe、Zn、Ni、Cd 等金屬微粒、碳粒、塵土等

資料來源：環保署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民 108 年

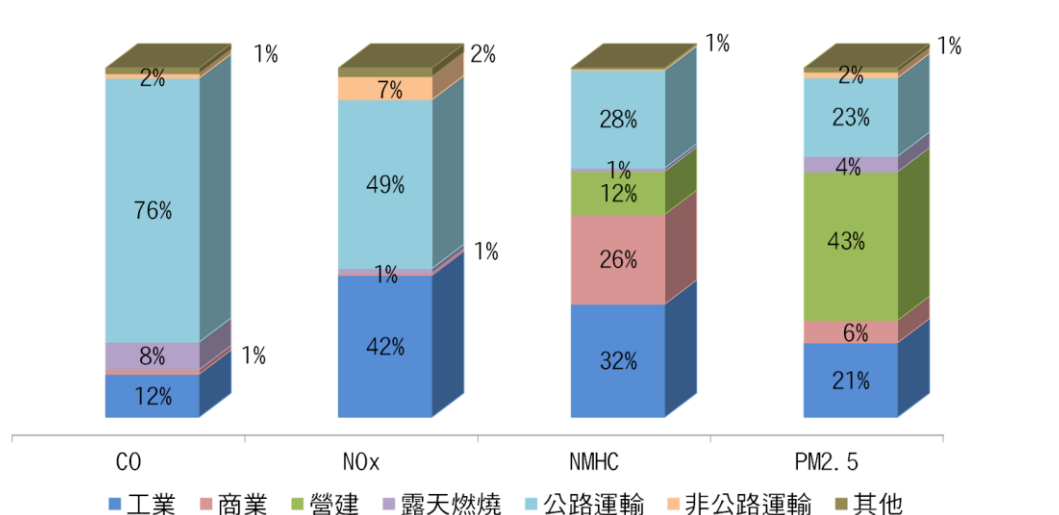


資料來源：Kittelson et al. (2004)

圖 2.1.1 典型引擎廢氣之微粒質量、微粒數粒之徑分佈圖

2. 車輛污染排放量

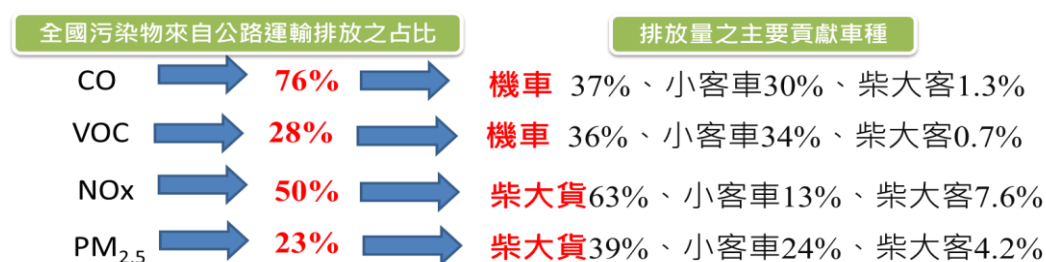
在環保署全國空氣污染物排放清冊(TEDS9.0)排放量推估結果，CO、NO_x、NMHC(具揮發特性之非甲烷碳氫化合物，即 VOC_s)及 PM_{2.5} 等全國污染物排放量來自公路運輸(車輛污染)排放之占比分別為 76%、49%、28%及 23% (詳見圖 2.1.2)。



資料來源：環保署，空氣污染排放清冊 TEDS9.0 (Taiwan Emission Data System)

圖 2.1.2 環保署 TEDS9.0 推估各排放來源空氣污染物之占比

就全國公路運輸各運具排放總量(參見圖 2.1.3)而言，CO 與 VOC 主要貢獻車種為機車(四行程與二行程合計)、NO_x 與 PM_{2.5} 則以柴油大貨車為主。另外，在比較柴油大客車 4 種污染物排放相對占比，係以 NO_x 比例最高(7.6%)，PM_{2.5} 比例次之(4.2%)。



註：機車包括四行程機車與二行程機車

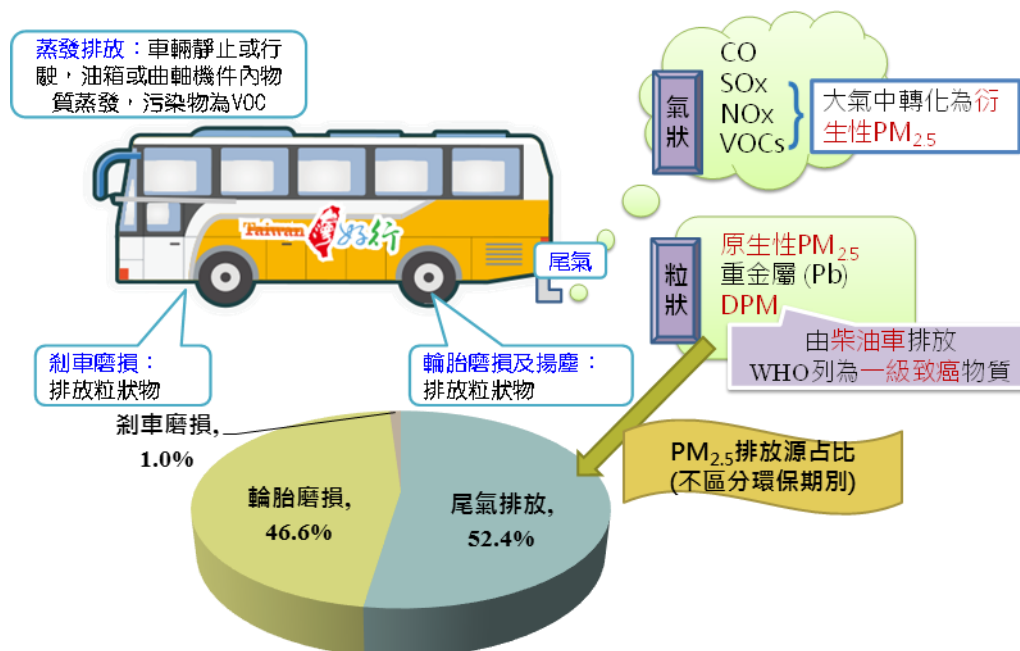
資料來源：環保署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民 108 年

圖 2.1.3 環保署 TEDS9.0 推估空氣污染物來自公路運輸之占比

3. 柴油大客車污染特性

柴油大客車所產生空氣污染物有尾氣排放之 CO 及 NO_x 外，車輛

靜止時，油箱或曲軸機件內物質之蒸發會排放 VOCs；而煞車磨損、輪胎磨損及揚塵則會排放 PM(參見圖 2.1.4)。此外，就柴油大客車排放 PM_{2.5} 污染物占比，除尾氣排放外(52.4%)，輪胎磨損亦是重要排放源，占 46.6%，兩者污染源即占了 99%。



資料來源：環保署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民 108 年

圖 2.1.4 柴油大客車污染排放物種與來源

此外，Barfknecht (1983)指出柴油引擎之 PAHs 排放量為汽油引擎之 10 倍以上。Harrison et al.(2003)分析路旁懸浮微粒中之 PAHs、重金屬及 NO_x，研究結果發現柴油車排放之濃度與 NO_x 及部分重金屬有相關。我國市區公車主要為柴油引擎，其尾氣排放物容易附著金屬微粒，以及對人體有致癌性之 PAHs，因此相較一般汽油車輛排出污染物質毒性高。

4. 小結

從文獻回顧可知，在無工業區污染干擾之都會區，主要空氣污染來源為使用汽柴油等化石燃料之一般車輛。柴油大客車排放特性與一般大型柴油車相同，主要排放污染物為 NO_x 與 PM_{2.5}，NO_x 完全由尾氣排放產生，而 PM_{2.5} 主要來源為尾氣排放，其次為路面摩擦揚塵。此外，交通排放 NO_x 亦會因為光化作用轉化成二次污染物。其次，交通排放 PM 生成特性通常粒徑小，且附著於微粒物質為毒性強之金屬微粒(如 Ni、Cd、Pb 及 Zn)及對人體有致癌性 PAHs。

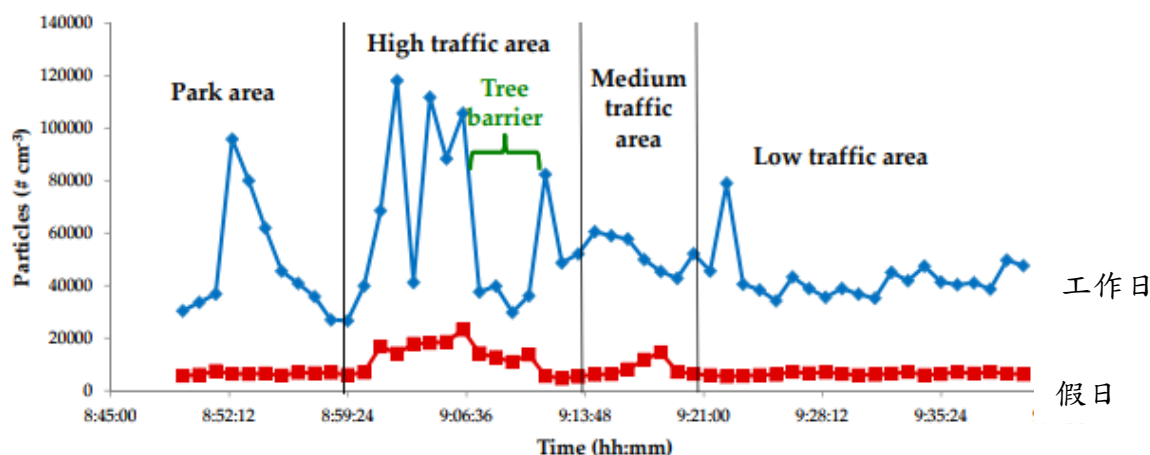
2.2 公車乘客暴露與公車排污實測

本節彙析相關研究實測搭乘公車通勤民眾之空污暴露，以及對公車排污狀況之實測。

1. 公車乘客空污暴露

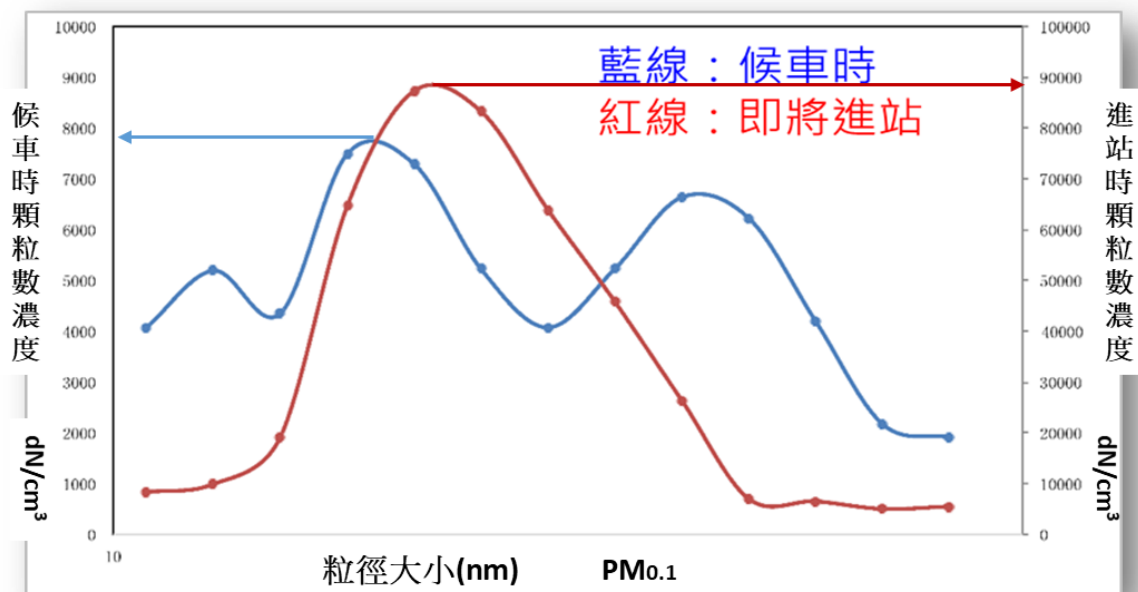
Tavares *et al.*, (2004)於巴西公車站探討來自柴油引擎排放之 PAHs 來源，公車站中測得之 PAHs 濃度變化與公車流量間具有很大的相關性。洛杉磯針對孩童全日之活動，進行空氣污染物暴露量調查後指出，搭乘公車 (70%為柴油引擎)通勤的學生，於此期間的 PM_{2.5}、NO₂ 與黑碳(black carbon)之平均暴露量比其他任何時候都高；此外，雖然搭乘公車的時分只佔學童一天之中的 10%，然其黑碳之暴露量已達全日之 1/3(Behrentz *et al.*, 2005)，對於學童的健康有相當之影響。Sabin *et al.* (2005)發現加州洛杉磯學童在校車上之微粒暴露在市區遠比郊區高，其中粒狀 PAHs 最高暴露濃度可達 2 µg /m³。

Manigrasso *et al.*(2017)於羅馬研究成果呈現，分析工作日 (車輛正常通行狀態)下，行人行經相同路線時，暴露 PM₁ 微粒數目為假日 (禁止車輛通行)的數十倍，足以證明粒狀污染物數量與交通流量有正比之相關性(見圖 2.2.1)。且相同研究也針對公車候車民眾於公車站等車時，量測其環境大氣中 PM_{0.1} 暴露濃度發現，當重型柴油公車進出公車站時，可能因受到煞停及啟動影響，其瞬間排放之 PM_{0.1} 明顯高於候車時之排放量 (見圖 2.2.2)。



資料來源：Maurizio Manigrasso *et al.*, (2017)

圖 2.2.1 相同路段下工作日及假日 PM₁ 濃度變化



資料來源：Maurizio Manigrasso et al., (2017)

圖 2.2.2 柴油公車進站/未進站時之 PM 顆粒濃度變化

Tsai *et al.* (2008)針對臺北市使用不同通勤交通工具通群族進行實測發現，機車、搭乘公車、捷運及開車 4 種方式，所監測 $PM_{2.5}$ 之暴露，以機車族暴露濃度為最高 ($67.5 \mu g/m^3$)，其次依序為公車、捷運，汽車族暴露濃度最低。另該研究也發現在搭乘公車樣態實測值發現，停靠開門時 ($36.5 \mu g/m^3$) 測得之暴露濃度較關門時 ($35.7 \mu g/m^3$) 略高 2%，顯示在整段搭乘公車的過程中，待在車外的影響較車內大。

薛智遠(民 100 年)於攜帶式粒狀物空氣監測儀於臺北市之交通要道、背景 (郊區)、交通通勤與室內等 4 種不同特性位置進行 $PM_{2.5}$ 即時濃度量測，發現戶外交通要道尖峰時段 $PM_{2.5}$ 濃度高於非尖峰時段，並對不同通勤族群而言，機車暴露濃度最高(約 $131 \mu g/m^3$)，其次為汽車-開窗($64.8 \mu g/m^3$)，接續為公車族群(約 $60.8 \mu g/m^3$)，開車-關窗($31.6 \mu g/m^3$)最低。就室內設施而言，尖峰時段公車轉運站-等候區($67.5 \mu g/m^3$)，遠高於地下街($41.8 \mu g/m^3$)、辦公大樓($40.4 \mu g/m^3$)以及百貨公司($37.3 \mu g/m^3$)。

嘉義市環保局(民 102)以嘉義市公車通勤情境進行實測，發現平均 $PM_{2.5}$ 濃度以平日尖峰最高，平日離峰次之，假日尖峰第三。此外， $PM_{2.5}$ 高濃度值集中民眾於公車停等區候車階段，惟當候車民眾進入公車車廂後，暴露濃度方才降至與汽車族相同，因此建議民眾若以公

車作為通勤工具，則於公車停等區等待時應做好自身防護措施，以降低 PM_{2.5} 之暴露。

Liu et al., (2015)以手持式儀器對臺北都會區通勤族群之實測研究發現，步行(42.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)為受 PM_{2.5} 暴露最高一群，其次為公車族(32.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，捷運族(22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)則為暴露最低通勤方式。環保署 (民 106 年) 以派員配戴微型感測器方式實測汽車族、捷運族、公車族及機車族通勤約 11 公里之 PM_{2.5} 暴露量，結果顯示，通勤空污暴露量除受到移動污染源之貢獻外，亦明顯受到外界空氣品質及選擇通勤工具之影響，汽車(關窗)、捷運、公車及機車通勤時 PM_{2.5} 暴露平均濃度分別為 7.6、21.9、23.5 及 32.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，爰研究發現公車族群暴露濃度低於機車族，稍高於捷運族，並建議尖峰時段民眾通勤時應儘量使用公共運輸，減少增加汽、機車交通排放，於戶外時可透過配戴口罩及避開停等時間較長之路口減少空污暴露。

2. 柴油公車與候車設施空污實測

莊志偉 (民 92 年) 於實驗室以加裝濾煙器柴油引擎進行測試，測試發現加裝後 PM 及 PAHs 濃度有明顯改善，並在 CO 與 HC 有抑止效果，惟對改善 NO_x 排放則無明顯效果。整體而言，實驗結果指出加裝濾煙器對粒狀污染物改善明顯優於氣狀污染物。此外，其也以加裝濾煙器之公車進行實車測試，並於臺北都會區進行 10,000 公里道路實測，發現行駛里程越多，排污成效將逐漸降低，爰建議業者每行駛累積一定里程(例如 5,000 公里)需更換一次濾煙器。

陳建任(民 97 年)對臺北市公館地區公車專用道污染物的研究指出，經檢測大氣中 16 種粒狀之 PAHs 濃度後發現，其濃度高低分布為：公車專用道 > 路邊公車站 > 一般環境，其中，交通尖峰時出現之高濃度粒狀 PAHs 與公車流量變化間相關性甚巨，並且大部分集中於具有較高分子量之致癌性 PAHs 物種，最後經統計主成分分析推論，公車專用道之超細懸浮微粒中所含 PAHs 大多源自柴油公車怠速時之排放，該研究建議相關單位應管制公車怠速排放。

本所(民 100 年)選擇行駛國道客運之柴油大客車進行道路實測研究顯示，車輛啟動瞬間將產生大量的空氣污染物(NO_x、CO、CO₂、NMHC)，車輛惰轉(停等)至一段時間後空氣污染物排放趨勢方才漸趨穩定，而惰轉時主要排放物為 NO_x 與 CO₂，僅有微量 CO 與 NMHC 排放物 (圖 2.2.3)。

陳穎緒(民 103 年)以環保署柴油車動力檢測站定檢資料分析柴油大客車(含公車客運、自用大客車、遊覽車)倘能定期保養調校，檢測出之污染度均能在環保局管制標準內。另比較 99~101 年間數據，得知倘能將檢測車輛污染度控制在低於管制標準下，並透過例行保養作業蒐集檢測數據，可有效提早發現引擎零件劣化與引擎問題，使污染在未產生前得到改善。

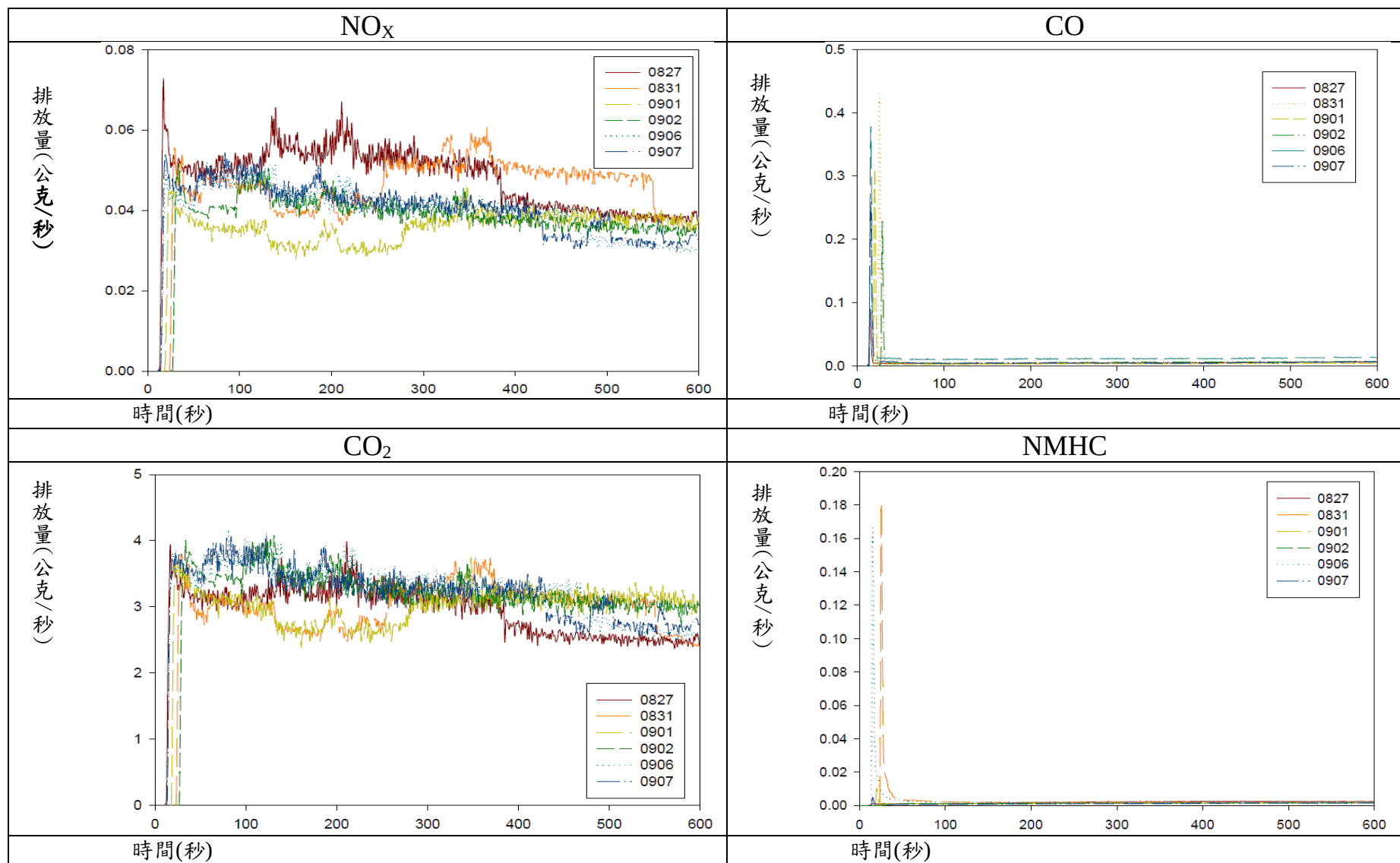
臺北市環保局(民 105 年)於臺北市公車專用道候車亭實測發現，5 期排放標準公車與 4 期排放標準公車經過候車亭，5 期公車對增加苯與 2 甲苯之暴露濃度影響小於 4 期公車。該研究亦發現影響公車專用道上候車亭之污染物濃度與候車亭兩旁經過車流量大小相關性密切。因此，從減少空污暴露角度，該研究建議候車亭設置需考量兩旁車流量影響。

臺中市環保局(106 年)於臺灣大道公車站監測結果，公車站 PM_{2.5} (採樣口離地約 2 公尺)濃度是大氣測站(採樣口離地約 12~15 公尺)的 1.3~4.0 倍；公車站於交通尖峰期(上下班期間)監測到之 PM_{2.5} 濃度高於非尖峰時間；此外，公車站 PM_{2.5} 濃度不僅受交通量影響，區域空氣品質也是重要影響因子，當日若區域 PM_{2.5} 濃度高，既使尚未達到交通尖峰期，公車站也有高 PM_{2.5} 濃度；該研究估算公車族與機車族平均每日暴露劑量為一般人的 1.006~1.07 倍。

3. 小結

綜合而言，公車乘客候車時，同時受到戶外大氣與公車排放尾氣影響，車內乘客於公車每站上下車開門時讓部分廢氣進入車廂，使得公車族成為受 PM 影響之高風險族群。此外，公車服務班次密集之公車停等區，因頻繁公車停等，於周邊累積大量 PM，也影響周邊道路用路人，乃至地區空氣品質。大眾運輸系統發展較完善之都市具有更密集的公車班次、公車專用道及乘客，更應當重視其對於人體健康之影響。

在減少柴油公車空污排放方面，除客運業者妥善保養，建議環保單位逐步宣導透過加裝濾煙器或汰換車輛提高環保排放標準；同時建議交通單位亦需思考以交通手段減少尖峰通勤密集停等，並鼓勵使用電動公車；同時公衛單位向民眾宣導應有空污暴露風險意識，做好自我防護。



資料來源：本所（民 100 年），車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究—以大客車為例(1/2)

圖 2.2.3 實測柴油大客車輛啟動之逐秒空氣污染物排放趨勢

2.3 柴油大客車排污對健康影響

本節針對柴油大客車主要排放污染物氮氧化物(NO_x)、碳氫化合物(HC)、懸浮微粒(PM)與多環芳香烴(PAHs)分別說明：

1. 氮氧化物(NO_x)

NO_x 是因為引擎在高溫燃燒時產生，也是柴油車主要污染物之一，若兒童長期暴露在 NO_x 中，會造成急性呼吸道問題，包括了呼吸道感染與呼吸道症狀，而短暫暴露在 NO_x 下會讓呼吸道收縮與造成呼吸困難，但並不影響到肺活量。若患有氣喘或是慢性支氣管炎及肺氣腫等，長時間暴露在 NO_x 較低濃度中，會因其肺活量減少，因此與一般正常人來比其危害性相對的也較高。在動物試驗中，暴露在比大氣中 NO_x 濃度更高時，較一般濃度更容易受疾病感染，可能是因為 NO_x 影響到維持免疫功能的細胞病變所致，當動物暴露在同時有 NO_2 及臭氧(O_3)時，對肺組織的傷害度比單有 O_3 時為嚴重。 NO_x 會引起人體持續性的咳嗽及造成積痰現象，在急性毒性上可引起上氣道粘膜之炎症、支氣管炎與肺水腫等肺部的疾病，嚴重時會引起呼吸困難而死亡。

NO_x 對人體的影響如同 CO，同樣的會和人體中血紅素快速結合，進而影響血紅素的輸氧功能，如果大量的吸入使身體的 NO_x 濃度過高，則會造成人體缺氧，並引發中樞神經功能減退，甚至造成中風。 NO_x 的衍生物質二氧化氮(NO_2)則是一種紅棕色的毒性氣體，其性質是具有刺激性臭味，刺激眼睛、鼻及肺部等，若處在高濃度環境或暴露的時間過長，則有引發氣管炎、肺炎，降低抵抗力等疾病的機會，進而促使呼吸器官受感染。

2. 碳氫化合物(HC)

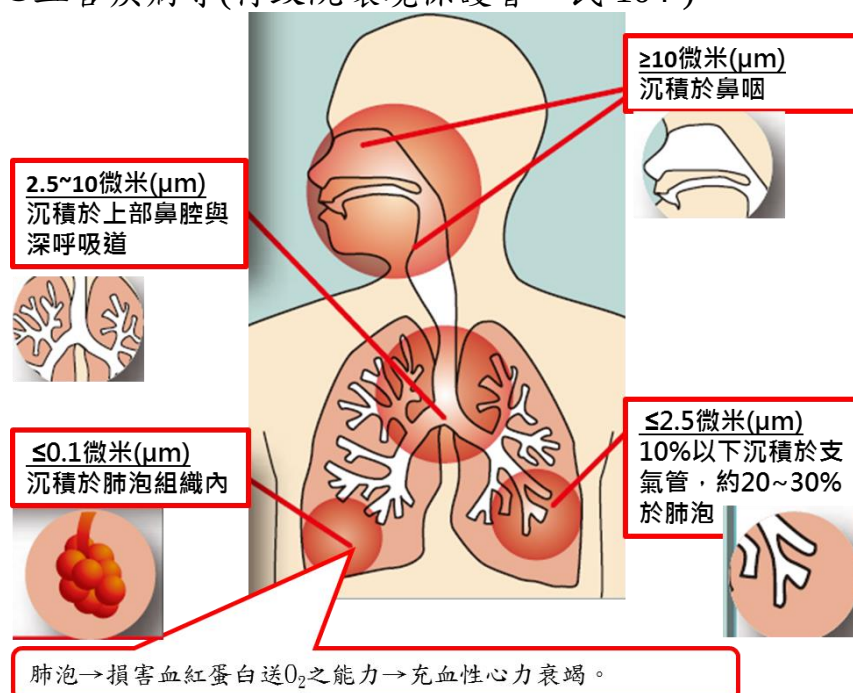
引擎因化石燃料燃燒不完全便會導致 HC 的產生，燃燒室內的油氣混合比分布不均，尤其是在輕負荷運轉之際，可從噴由嘴出口處的油滴變化到遠處的純空氣，因此在柴油過稀區域，因柴油少，不足以支持燃燒發生，會容易生成 HC。對人體或動物而言，少量的 HC 雖然沒有立即的危害，但是在長期暴露於高 HC 濃度的環境下卻有機會誘發致癌作用。HC 污染物裡又以 VOC_s 與 PAHs 最令人關切，因 VOC_s 及 PAHs 是具有致突變性、致癌性，並且會對孕婦致畸胎性。

3. 懸浮微粒(PM)

柴油車排放出 PM 有可見度不佳與令人噁心刺鼻氣味，為民眾感受最差主因。此因柴油成份中碳鏈較長，約略 15 個碳，並且不含氧，故產生引擎燃燒不完全現象。另外，車輛排氣管大都接近地面，用路人會常直接暴露在柴油車廢氣。

柴油引擎所排出之 PM 是來自燃油或是機油受到高熱分解而成之碳粒，其大小約為 $0.01\ \mu\text{m}$ ，這些碳粒會匯聚成一長鏈或絨團狀，便成為油煙，其範圍介於 $0.2\ \mu\text{m}\sim 10\ \mu\text{m}$ 。一般人體肉眼能看見之粒狀污染物，粒徑大約介於 $40\sim 50\ \mu\text{m}$ 之間，且常會伴隨著風四處沈降，而粒狀物大小在 $40\ \mu\text{m}$ 以下常會懸浮於空氣中，這些 PM 會隨著空氣進入人體呼吸道，粒徑大小若大於 $10\ \mu\text{m}$ 以上則在鼻孔、上氣道時被擋除； $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 之細小 PM 則會沈積在上呼吸道粘膜纖毛；粒狀小於 $\leq 2.5\ \mu\text{m}$ 之 PM 則會深入肺部，這種可深入肺部粉塵稱為呼吸性粒塵。

$10\ \mu\text{m}$ 以下之 PM 可在大氣中飄浮長達數月至數年之久，其影響較 PM_{10} 為深遠，此些微粒被呼吸道吸入後，是不易被人體呼吸系統自淨作用所排出，會經由氣管、支氣管進入人體內部，皆會造成危害，PM 粒徑越小，越易達肺泡，進入血管，引發過敏、氣喘、肺氣腫、肺癌、心血管疾病等(行政院環境保護署，民 104^b)。



資料來源：環保署，「認識細懸浮微粒(PM_{2.5})」科普手冊

圖 2.3.1 細懸浮微粒(PM)對健康影響

此外，PM 也會與其它污染物產生協力效應 (Synergism)，有害物質會因附著於 PM 中進入人體呼吸道或滲入肺泡中，而對人體造成傷害，例如：PM 與二氧化硫(SO₂) 一起存在會使肺裡的纖毛蠕動頻率降低，讓支氣管加速收縮，進而影響到呼吸道保護機制。另一方面，大氣 PM 及心肺有關之發病率及死亡率之增加有關，吸入之 PM 會使原來患有氣喘或肺部慢性病病人之病情更加惡化，且增加醫院肺部相關疾病之住院率 (Dockery et al., 1993; Roemer et al.,1993; Schwartz et al.,1993; Pope et al.,1995a; Pope et al., 1995b; Peter et al.,1997)。

4. 多環芳香烴(PAHs)

PAHs 對人體具有致癌性與致突變性，近年來受到許多專家學者重視與研究。PAHs 普遍存在於大氣環境中，汽機車排放之廢氣為都會區內 PAHs 主要之來源(Kavouras et al., 1999; Samara et al., 2003; Kalaitzoglou et al., 2004)。車輛行駛道路中，其產生之 PAHs 會經由兩大途徑而貢獻於環境中。一為經引擎燃燒而由尾氣排放之 PAHs，另一為會經由車行揚塵將原本累積在街塵中之 PAHs 漂浮至空氣中。尾氣排放之 PAHs 常以氣態及顆粒態方式排出(簡伯珊，民 98 年)。

汽機車排放廢氣中 PAHs 含有許多毒性物質，並具有高吸附性，易吸附在懸浮微粒並藉此傳播，如生物毒性最強之苯芘(Benzo[a]pyrene, BaP)，IARC 已將其認定為第一類致癌物質，WHO 建議之終身肺癌單位風險值 (係指暴露於每濃度單位致癌物質會導致癌症的風險)為 87×10^{-6} BaP_{eq} (BaP 當量濃度; BaP_{equipment}) ng/m³ (奈克/立方米)(IARC, 2012)。人類暴露到空氣中 PAHs 會導致生殖系統、心血管系統、免疫系統、肝毒性與罹患癌症等不良影響(Denissenko et al., 1996; Collins et al., 1998; Choi et al., 2008)，因此 PAHs 是交通懸浮微粒最常被討論危害成分。目前對於 PAHs 所制定之周界濃度標準為 1.0 ng/m³，對於 BaP_{eq} 每增加 0.01、0.1 及 1.0 ng/m³，其終身致癌風險分別增加 1×10^{-6} 、 1×10^{-5} 及 1×10^{-4} 。此外，WHO 建議之終身致癌風險的接受度為 1×10^{-4} 。

5. 小結

總結以上排污對人體健康影響之文獻可知，柴油大客車輛尾氣排放物質複雜，並且與化石燃料燃燒有關，柴油大客車主要排放氣狀污染物為 NO_x、粒狀污染物為 PM，短時間大量暴露或長期慢性累積皆有害健康，導致呼吸道與心肺之疾病。有害附著物 PAHs 則易附著於

尾氣排放之氣態 HC 及粒狀污染物 PM，而 PAHs 則已公認與癌症疾病有關。

此外，由於尾氣排放之 PM 如 PM_{0.1}、PM_{2.5} 具高含量之 PAHs 與 BaP 對人體健康影響與危害更值得令人關切。因此，在目前公車尚未完全進入尾氣零排放階段，僅能透過其它手段，減少民眾接觸車輛尾氣之排放 PM，避免對人體直接或間接接觸。

三、柴油公車污染量及車輛分布

3.1 柴油公車污染量

表 3.1-1 為摘錄環保署推估 105 年全國不同環保期別公車(含客運車輛)車齡級距、車輛數，以及 3 種柴油公車之主要污染物原生排放量(PM_{2.5}、NO_x與 CO 等)。承文獻回顧所述，NO_x與 CO 等氣狀污染物完全來自公車尾氣，而 PM_{2.5} 來源尚包括輪胎與煞車。

從 3 者污染物排放量推估結果(表 3.1-1)顯示，雖然 5 期公車車輛數最多，但因 4 期公車各項污染物單位污染排放量皆高於 5 期公車(PM_{2.5} 約 5 期車之 2 倍、NO_x 約 5 期車之 4 倍、CO 約 5 期車之 10 倍)。因此 4 期公車計算出總排放量較高。第 1 期與第 2 期公車單位污染排放量最高，但其車輛數幾乎已可忽略，故所計算排污量低。

此外，表 3.1-2 解析不同排放環保期別柴油公車 PM_{2.5} 之來源，比較結果指出第 4 期以前公車排放源以尾氣排放為主，且占比均達 50%以上，5 期標準以後車輛則以輪胎磨損為主，占了 80%以上比例。

綜整前述分析結果，隨著燃油公車出廠環保標準越高，將可大幅減少公車尾氣排污量。然而，公車全面電動化，雖能免除尾氣排放之氣狀污染物如 NO_x 與 CO，但仍會有因車輛行駛道路產生之 PM 排放物。

表 3.1-1 全國柴油公車(含客運車輛)PM_{2.5} 排放量

環保期別	車齡級距	車輛數	PM _{2.5}		NO _x		CO	
			單位污染排放量 (車/公斤/年)	總污染排放量 (公噸/年)	單位污染排放量 (車/公斤/年)	總污染排放量 (公噸/年)	單位污染排放量 (車/公斤/年)	總污染排放量 (公噸/年)
1 期	24 年以前	5	128	0.6	1952.6	9.8	970.2	4.9
2 期	18~23 年	48	73	3.5	1322.6	63.5	612.2	29.4
3 期	11~17 年	1,216	40	49.1	969.5	1178.9	347.2	422.3
4 期	5~10 年	6,493	22	146.0	524.4	3404.8	160.1	1039.5
5 期	4 年以內	7,497	11	85.8	131.9	988.8	16.5	123.4

資料來源：環保署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民 108 年

表 3.1-2 全國柴油公車(含客運車輛)PM_{2.5} 排放源占比

環保期別	尾氣排放	輪胎磨損	煞車磨損
1 期	92.8%	7.0%	0.2%
2 期	86.4%	13.3%	0.3%
3 期	75.2%	24.3%	0.5%
4 期	55.4%	43.6%	1.0%
5 期	12.4%	85.7%	1.9%

資料來源：環保署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民 108 年

3.2 市區柴油公車車齡與數量分布

依據交通部民國 107 年 1 月調查全國客運車輛數為 15,821 輛，其中屬於市區公車之車輛數為 10,466 輛，而所有市區公車中動力別為柴油車之車輛數有 9,681 輛，約占總市區大客車輛數之 92.5%。表 3.2-1 為全國不同車齡級距之市區柴油公車在不同縣市分布之統計。全國各縣市市區柴油公車之平均車齡介於 1.3~8.9 年，全國總平均車齡為 5 年，而各縣市柴油市區公車之平均車齡與其市區客運發展歷程(成立市區客運服務時間)與服務規模(車隊數輛)有關。

從各縣市市區客運之柴油大客車空間分布觀察，新北市柴油大客車最多，共計有 3,822 輛，約占全國車輛數之 39%；另外，雙北市(臺北市與新北市)車輛數總計達 5,997 輛，約占全國之 61%。六都(雙北市、臺中市、高雄市、臺南市、桃園市)之市區柴油大客車輛數統計有 8,903 輛，約占全國車輛數 92%，非六都車輛數統計為 778 輛，占全國車輛數 8%。因此，從市區客運之柴油大客車空間分布可知，全國柴油大客車集中於都市地區，並且人口越密集與公共運輸路網越發達地區，車輛數目越多。

其次，就車齡分布來看，全國僅有臺北市規定其所轄管之市區公車使用年限 8 年，全國其他縣市使用年限為 12 年。8 年以下市區公車共計有 8,421 輛，約占有大客車輛數之 87%。經比對現行環保署柴油車輛排放標準，符合第 5 期排放標準(101 年 1 月 1 日實施)車輛，車齡應為 6 年以下車輛，統計有 6,288 輛，約占有市區柴油大客車數之 65%；符合第四期柴油車排放標準(95 年 10 月 1 日實施)之市區大客車輛，車齡為 6 年~11 年之車輛，統計有 3,287 輛，約占有市區柴油大客車數之 34%。

因此，從市區客運之柴油大客車齡分布可知，全國柴油大客車因有縣市(如臺北市 8 年；其餘縣市 12 年)對車齡有限制，亦或鼓勵市區客運業者積極汰換(如新北市、桃園市、臺中市、高雄市)，因此降低整體市區公車之車齡，也逐漸提高整體市區公車排放標準。

表 3.2-1 全國市區柴油公車車齡分布

車齡 級距 縣市	1 年內 (輛數)	1~2 年 (輛數)	2~3 年 (輛數)	3~4 年 (輛數)	4~5 年 (輛數)	5~6 年 (輛數)	6~7 年 (輛數)	7~8 年 (輛數)	8~9 年 (輛數)	9~10 年 (輛數)	10~11 年 (輛數)	11~12 年 (輛數)	小計 (輛數)	平均 車齡 (年)
新北市	335	317	219	629	308	621	465	446	386	82	10	4	3,822	5.0
新竹縣	0	5	0	0	0	1	17	2	11	9	0	2	47	7.2
高雄市	39	153	30	19	125	136	112	74	208	97	18	22	1,033	5.9
嘉義市	8	6	0	0	0	7	0	0	0	0	0	5	26	4.3
花蓮縣	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	7.5
臺北市	95	101	93	418	325	555	349	239	0	0	0	0	2,175	4.8
苗栗縣	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8	7.5
新竹市	21	10	9	10	7	14	7	9	5	0	2	17	111	5.2
連江縣	4	9	2	4	2	4	6	0	2	0	0	5	38	4.8
金門縣	2	0	0	0	2	0	1	8	6	5	6	10	40	8.9
南投縣	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	5	2.9
屏東縣	0	5	5	3	0	0	11	5	2	16	2	8	57	7.4
臺東縣	0	0	0	9	2	0	1	3	0	0	0	0	15	4.6
宜蘭縣	0	0	2	0	0	4	0	17	1	0	0	0	24	6.8
彰化縣	22	0	0	1	11	1	4	0	0	0	0	0	39	2.7
臺中市	70	109	98	169	210	165	49	69	29	59	1	7	1,035	4.5
臺南市	7	30	27	55	21	30	27	27	1	7	23	17	272	5.4
澎湖縣	9	6	0	0	6	0	0	0	2	9	23	2	57	7.2
雲林縣	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1.3

表 3.2-1 全國市區柴油公車車齡分布(續)

車齡 級距 縣市	1 年內 (輛數)	1~2 年 (輛數)	2~3 年 (輛數)	3~4 年 (輛數)	4~5 年 (輛數)	5~6 年 (輛數)	6~7 年 (輛數)	7~8 年 (輛數)	8~9 年 (輛數)	9~10 年 (輛數)	10~11 年 (輛數)	11~12 年 (輛數)	小計 (輛數)	平均 車齡 (年)
桃園市	96	50	37	39	39	76	60	57	24	37	44	7	566	5.1
基隆市	9	39	28	52	14	71	30	29	19	8	0	0	299	4.8
小計	721	849	550	1,410	1,073	1,685	1,139	994	696	329	129	106	9,681	5.0

資料來源：路政司（107 年 1 月）

3.3 市區公車報廢數(不分燃料別)統計

表 3.3-1 為公路總局統計從民國 97 年至民國 107 年 9 月之市區公車報廢車輛數，市區公車報廢車齡多集中於 8~14 年。此外，就 106 年所有大型柴油車平均報廢車齡而言，市區公車為 11.2 年、國道客運為 24.9 年、遊覽車為 19 年、營業大貨車為 24.4 年、自用大貨車為 23 年，市區公車已相對較其它大型柴油車輛報廢年限低，參見表 3.3-2。

另方面，觀察近 10 年之報廢市區公車數量最多期間為民國 100~103 年，報廢車輛數皆維持在 200 輛以上，103 年最多，高達 347 輛。交通部自民國 99 年起有專門經費推動公路公共運輸，並補助市區公車業者汰舊換老舊公車，近期 (民國 104~106 年)報廢車輛數減少，每年約為 100 輛，民國 107 年 1~9 月甚至僅有 40 輛，此原因洽公路總局表示此應與市區客運業者車輛於民國 100 年起配合公共運輸計畫，已完成一波老舊市區公車汰換有關。

總而言之，目前即使有交通政策支持補助市區公車汰換，但汰換比例約介於 1%~3%，速度並不算太快，就目前汰換速度，僅透過車輛汰舊換新措施，逐步提高柴油車輛排放標準，並無法有立竿見影之減污效果。因此，短期內欲改善柴油大客車尾氣排污問題，建議尚需搭配其它可能之減污管理措施。

表 3.3-1 全國市區公車報廢車輛數

年期(民國) 報廢車齡	107	106	105	104	103	102	101	100	99	98	97
0~5 年	0	0	11	19	0	0	0	0	0	0	0
6~8 年	0	3	3	0	0	4	0	54	5	19	0
8~10 年	9	57	66	43	114	10	90	162	13	2	77
11 年	5	11	0	8	27	51	110	5	2	34	16
12 年	6	9	8	6	144	63	5	6	11	76	0
13 年	6	6	12	11	61	76	40	20	1	0	40
14 年	6	12	1	8	0	18	32	24	0	46	9
15 年	7	0	16	0	0	0	5	0	0	23	11
16 年	1	13	0	0	1	5	1	4	0	10	0
17 年	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	10
18 年	0	0	0	4	0	0	0	0	14	3	6
19 年	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0
20 年(含以上)	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
總車輛數	40	112	117	99	347	227	283	276	60	214	169

備註：0~5 年報廢車輛多為事故不堪使用之車輛

資料來源：公路總局（107 年 9 月）

表 3.3-2 全國大型柴油車報廢車輛數(民國 106 年)

車輛數/車齡	大貨車		遊覽車	國道 客運	市區 公車	自用 大客車
	自用	營業				
報廢車輛數(輛)	2,728	4,479	330	575	112	152
車齡(年)	23.0	24.4	19.0	24.9	11.1	20.9

備註：106 年 1 月 1 日至 106 年 12 月 31 日

資料來源：公路總局（107 年 9 月）

四、課題歸納

綜整前述文獻，柴油大客車尾氣排放污染對用路人健康確實造成影響，以下進一步就市區柴油公車污染歸納課題。

(一) 市區公車以柴油引擎為主，營運路線深入市民生活環境，直接影響民眾健康。

1. 承前述文獻分析可知，人口稠密都會區主要空氣污染源為使用化石燃料之車輛尾氣排放物，如PM、CO、NO_x、VOCs等。此等污染物除直接尾氣排放，更進一步在大氣形成衍生性PM_{2.5}與O₃。另大型柴油車尾氣不僅排放大量細懸浮微粒，並附著大量重金屬及一級致癌物質PAHs。
2. 都市中大型柴油貨車在都會中行駛區域、路線或時段都有管制，惟公車主要為柴油大客車，路線深入都市各角落，尾氣為近地排放，貼近民眾呼吸高度，故其排氣污染對都會空氣品質造成關鍵性之影響。
3. 公車路線為有效服務老殘與幼童，通常於醫院與學校設站，以方便高齡長者與學童搭乘。柴油大客車污染為這些健康高風險族群，所帶來健康危害較一般成人嚴重。

(二) 民眾候車受柴油公車尾氣排放影響，公車密集進站候車處特別嚴重，尤其為公車專用道。

1. 民眾搭乘公車需於指定候車區等待公車進站，被迫接受經過公車排放尾氣。此因公車進出站停等時，會瞬間排放高濃度PM_{0.1}(Maurizio et al., 2017)。此外，都市交通繁忙路口與路段，不僅公車服務班次密集，民眾候車時，尚需受其它路旁經過汽、機車輛排氣影響。(臺北市政府環保局，民105年)。
2. 在未能全面推動市區公車電動化前，公車專用道、集中式站牌與公車轉運站(薛智遠，民100年)等候車設施，雖能便利民眾搭乘，但卻欠缺對民眾受排氣污染之健康考量。以公車專用道為例，此區候車民眾，因為停等空間小、來車方向為前後雙向，並且班次集中，受公車尾氣影響最為嚴重(臺北市政府環保局，民105年；臺中市政府環保局，民106年)。



資料來源:自由時報、蘋果日報

(三) 出廠排放標準雖有逐期加嚴，截至 107 年 1 月仍有 1/3 比例柴油公車尚未達到最新排放標準(第 5 期)。

1. 環保署平均約 6~7 年會參考歐盟新出廠車輛排放標準，提升國內新出廠或進口柴油車之排放標準，柴油車 3 期排放標準已於 88 年 7 月 1 日起實施、第 4 期排放標準已於 95 年 10 月 1 日實施、第 5 期排放標準已於 101 年 1 月 1 日實施，而第 6 期排放標準將於 108 年 9 月 1 日實施。
2. 從交通部路政司統計 107 年 1 月市區客運柴油公車結果可知，雖然平均報廢車齡低，但仍有近 35% 柴油公車尚未達到最新出廠排放標準(5 期排放標準)；其中有 2% 車齡為 10 年以上之柴油公車已被環保署認定為高污染車輛(適用第 3 期出廠排放標準)，多集中於桃園市、臺南市與高雄市等，市區公車使用潛力高之都市地區。前述高污染車輛，客運業者尚未加裝防污設備或汰換，將可能為當地搭車民眾帶來健康危害風險。

(四) 環保機關目前僅採柴油車自主管理措施，定期檢驗措施尚在規劃中，爰無法掌握所有高污染柴油公車並要求改善。

1. 大客車使用柴油引擎雖然可擁有大馬力及高燒燃效能，但柴油引擎之排污狀況需依賴對引擎之妥善保養，以維持引擎良好運作效率，節省油耗與減少空氣污染物排放。
2. 由於現階段柴油大客車排污狀況係由業者自主管理，配合環保署指定柴油車動力檢測站進行不定期檢驗方式，並核予環保標章，並非如機車與汽油小客車採定期檢驗方式執行。因此，環保署「柴油車動力計排煙檢測」資料庫無法掌握所有使用中大客車柴油引擎排污狀況，促使改善(桃園市政府環保局，民 98 年；陳穎緒，民 103 年)。

3. 經洽環保署目前定期檢驗措施尚在規劃中，並已於 108 年將成立專案計畫邀集代檢廠進行試辦，並視試辦情形展開全面推動計畫。

五、對策研擬

依據前述歸納課題，在考量本土市區公車營運狀況後，研擬市區柴油公車減污管制對策架構如圖 5.1.1 所示。

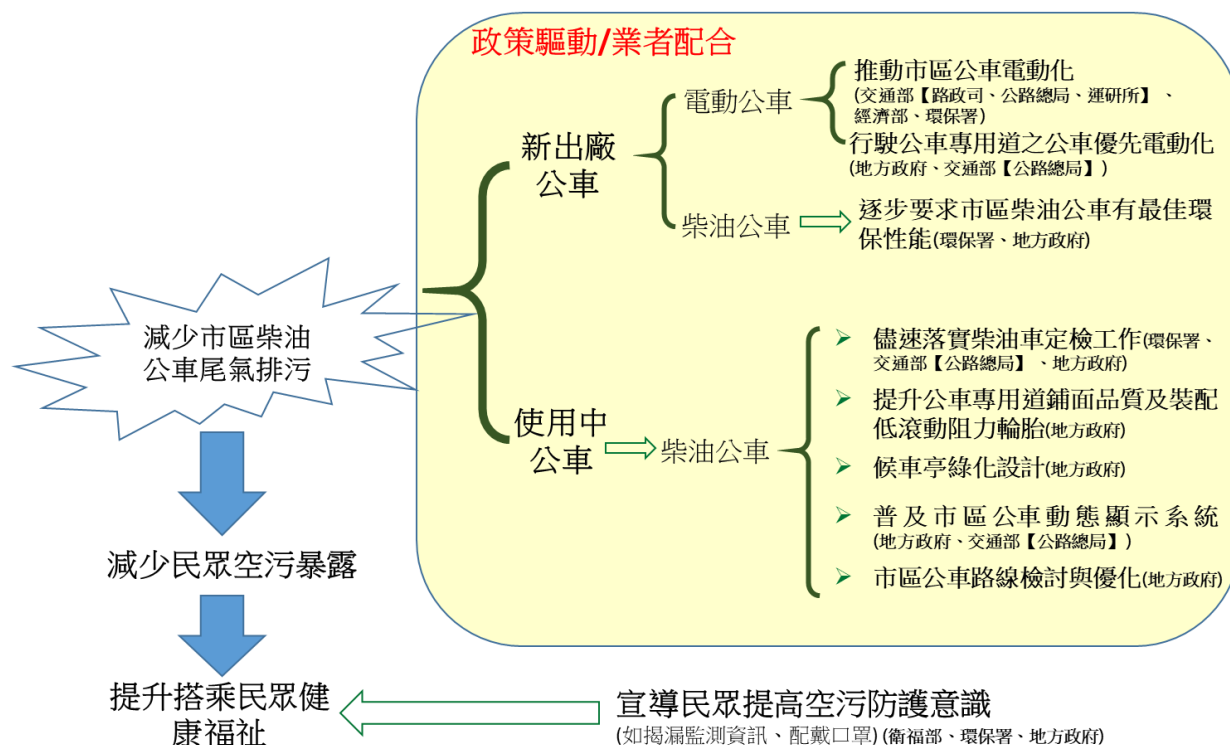


圖 5.1.1 市區公車減少排污因應對策之架構

5.1 新出廠公車

(一) 推動新出廠市區公車電動化

1. 行政院106年12月21日凝聚各部會力量提出「空氣污染防制方案（紅害減半大作戰）」，針對移動污染源，最重要策略包括持續提升公路公共運輸服務，減少私人汽、機車使用。另外，有別以往交通管理策略，提出2030年將市區公車全面汰換為電動公車，輔導交通運具朝綠能低污染發展，希望在公車服務品質提升，同時能兼顧市民健康。
2. 電動公車無尾氣排放特性，可提升公車服務品質與降低民眾候車空污暴露風險，同時保護其它用路人免於受柴油公車尾

氣排放影響，以及對溫室氣體排放亦具有良好的改善效果(環保署，107)，可綜合達到對環境友善之目的。此外，公車集中日間行駛特性，電池可於離峰時段充電，可達到電力尖離峰調度效果，配合國家能源政策。

3. 柴油公車污染問題主要在於其尾氣排放污染物，基於交通部推動公共運輸責任及人道立場，有義務提供民眾一個乾淨、友善且感受度良好的運具，爰本項措施分工係由交通部主政、環保署與經濟部分別就空污管制與產業扶植角度給予協助。

(二) 行駛公車專用道之公車優先電動化

1. 全國市區公車發展條件佳之地區，集中於六都直轄市(雙北市、臺中市、高雄市、臺南市、桃園市)，皆有設置集中式站牌候車亭，並且臺北市與臺中市有建置公車專用道。
2. 從文獻可知公車集中服務之候車設施(公車專用道)，因公車班次密集，累積公車排放尾氣污染物，為空污暴露風險高之場域，爰現階段可建議由中央公路主管機關(公路總局)於補助地方交通單位汰換電動公車時，要求優先行駛公車專用道。

(三) 逐步要求新出廠市區柴油公車具有最佳環保性能

1. 中央環保機關(即環保署)為落實空污法第36條相關規範，與時俱進加嚴新出廠柴油引擎公車之排氣標準，符合標準之大客車方可製造及進口，同時透過加嚴出廠10年以上重型柴油車原適用之排放標準，使得客運業者有環保法規壓力定期汰換公車，並可實際透過達到提升公共運輸服務與空氣品質之目的。
2. 地方政府交通管理單位應從市民健康與提升公共運輸服務品質之角度，仿效臺北市政府訂定轄管公車自治條例，亦或納入地方交通單位公車評鑑制度聯結市區客運補助款，因地制宜管制行經所轄區域柴油公車之排放污染，督促客運業者配合規範年限汰換柴油公車。

5.2 使用中公車

(一) 儘速規劃與落實柴油車定檢工作

1. 妥善保養維修可維持使用中公車之環保與安全性能，環保單位應與監理單位合作，儘速依空污法第43條暨第44條，落實柴油車排氣定檢，督促客運業者重視與落實保養維修工作，並透過

環保署「柴油車動力計排煙檢測」資料庫，亦或是交通部公路總局「公路監理資訊系統」資料庫進行建檔，掌握使用中大客車柴油引擎排污狀況。

2. 本項措施為空污法賦予環保署主政權責，惟柴油車定檢工作涉及廣泛，交通部監理單位(公路總局暨所轄各區監理所站)與地方政府環保單位，皆需給予協助。

(二) 提升公車專用道鋪面品質及裝配低滾動阻力輪胎

1. 路面輪胎摩擦揚塵亦是空污來源之一，對於5期環保標準之柴油公車而言，路面輪胎摩擦揚塵之PM甚至高於尾氣排放，因此可透過提升公車專用道路面鋪面品質、加強兩旁車道洗掃頻率，俾減少輪胎與路面摩擦產生揚塵，而此需仰賴地方工務單位配合。
2. 可參考美國加州經驗(本所，民107年)，於行經市區公車裝配低滾動阻力輪胎(Low rolling resistance tires, LRRT)，藉由透過輪胎的胎紋、胎壁及材料，降低輪胎滾動時所受到的阻力，減少煞車摩擦、輪胎與路面摩擦產生之揚塵污染。因此，建議地方交通單位督促或鼓勵所轄公車業者車輛配合轄管市區公車裝配低滾動阻力輪胎。

(三) 候車亭綠化設計

倘道路路幅允許，地方交通單位與工務單位可因地制宜，參考臺北市敦化南北路綠化候車處周邊地區，針對將交通流量大、通風較差位置之公車站，種植已知對於吸附PM_{2.5}效率較高之行道樹，透過植栽提升道路景觀與地區之空氣品質，更可有助於民眾減少等候公車不適感，對提升公車使用量亦有助益。



資料來源:Google 地圖 (網址: <https://www.google.com.tw/maps/@23.4857501,120.0843006,7z?hl=zh-TW>)

(四) 普及市區公車動態顯示系統

1. 公車動態顯示系統可顯示公車到站資訊，減少候車民眾等車時持續緊臨公車經過道路，受到其它經過公車停站上下客排

污之影響。另結合民眾手機公車查詢APP系統，可使民眾避免過早至候車亭等候公車。

2. 目前各地方市區客運之動態系統管理與APP查詢網路平台係由各地方交通單位建置與維運，而中央公路主管機關(公路總局)有協助地方補助建置。
3. 地方交通主管機關可宣導民眾預先進行行程規劃，透過公車APP瞭解欲搭乘公車之進站時間，減少等候公車時間，以及降低尖峰時段都會戶外空氣品質不良之影響。

(五) 市區公車路線檢討與優化

在儘量不影響地區民眾搭車權益下，地方交通主管機關可針對經過公車流量高之區域，進行整體公車路線檢討與優化，以及檢討平均班距，透過減少候車區經過公車流量，降低搭車民眾受柴油大客車空污排放暴露之機會。

5.3 宣導民眾支持及因應

降低市區柴油公車空污暴露對候車民眾影響，除了政策驅動與業者配合外，更需宣導民眾認同，並且自主提高對空污暴露之防護。

- (一) 地方環保主管機關可定期或不定期針對空污暴露高之候車亭進行監測，妥善發布監測資訊，使民眾正確理解候車可能潛在空污暴露問題，支持政府在柴油公車管制與電動公車推動政策。
- (二) 公共衛生主管機關(如中央衛生福利部或地方衛生局)可宣導候車乘客配戴口罩，降低民眾候車時之尾氣排污暴露風險。

六、結論與建議

公車為都會公共運輸主要交通工具之一，為改善柴油公車污染，以營造潔淨搭乘環境，提升民眾使用意願，本研究以文獻方式彙析柴油公車造成污染問題及對民眾健康影響，並且分析我國不同環保期別柴油公車之排污情形、車齡分布及報廢狀況，據此，歸納市區柴油公車污染課題，研提相應減污對策，茲將重要研究結論及建議說明如下：

6.1 研究結論及建議

(一) 環保署(民 106 年)、臺中市環保局(民 106 年)、臺北市環保局(民 105 年)、嘉義市環保局(民 102 年)與相關公衛學者 (Tsai *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2015) 對公車通勤者進行 PM 暴露實測研究，皆指出公車候車民眾空污暴露來源除了外氣之外，經過公車候車區之公車所排放廢氣係為主要污染來源。

(二) 歸納柴油公車污染課題如下：

1. 市區公車以柴油引擎為主，營運路線深入市民生活環境，直接影響民眾健康。
2. 民眾候車受柴油公車尾氣排放影響，公車密集進站候車處特別嚴重，尤其為公車專用道。
3. 出廠排放標準雖有逐期加嚴，截至 107 年 1 月仍有 1/3 比例柴油公車尚未達到最新排放標準(第 5 期)。
4. 環保機關目前僅採柴油車自主管理措施，定期檢驗措施尚在規劃中，爰無法掌握所有高污染柴油公車並要求改善。

(三) 行政院已參採前述空污研究、國際電動公車產業及技術發展趨勢，訂定我國公車電動化之期程目標(2030 年)，並由交通部進行規劃，運研所已支援交通部撰擬「2030 電動大客車推動策略」進行相關工作細部規劃，以及擬定分年計畫。

(四) 惟就目前市區客運車輛汰換狀況，全面汰換為 5 期或 6 期高環保標準柴油公車或電動公車等，非一蹴可及，爰本研究研擬市區柴油公車減污管制對策架構及建議權責機關，說明如下：

1. 新出廠市區電動公車部分：
 - (1) 推動新出廠市區公車電動化(交通部、經濟部、環保署)。
 - (2) 電動公車優先行駛於公車專用道之路線(地方政府、交通部【公路總局】)。
2. 新出廠市區柴油公車部分：逐步要求新出廠市區柴油公車具有最佳環保性能(環保署、地方政府)。
3. 降低使用中市區柴油公車暴露措施：

- (1) 儘速規劃與落實柴油車定檢工作 (環保署、交通部【公路總局】、地方政府)。
 - (2) 提升公車專用道鋪面品質及裝配低滾動阻力輪胎(地方政府)。
 - (3) 候車亭綠化設計(地方政府)。
 - (4) 普及市區公車動態顯示系統 (地方政府、交通部【公路總局】)。
 - (5) 市區公車路線檢討與優化(地方政府)。
4. 宣導民眾提高對空污防護意識，自主因應減少空污暴露(衛生福部、環保署、地方政府)。

6.2 研究應用及推廣

- (一) 本研究提出減少使用中柴油公車排污暴露措施，部分係由環保機關主導(如：儘速規劃與落實柴油車定檢工作)、部分措施係由交通單位主導(如：市區公車路線檢討與優化)，甚至部分係由公共衛生主管機關主導(如：宣導候車乘客配戴口罩)，爰在營造潔淨市區公車搭乘環境上，需中央跨部會(如環保署、交通部、衛生福利部)及地方政府共同合作，因地制宜務實推動。
- (二) 在上述減少柴油公車排污暴露措施推動財源部分，除了中央環保署空污基金及交通部公共運輸改善經費外，更需仰賴地方政府將移動污染源改善之空污基金，共同挹注於公共運具改善，以提升公共運輸運量及減少私人汽機車污染。
- (三) 本研究提出降低使用中市區柴油公車暴露措施，部分已納入環保署提報行政院「空氣污染防制行動方案計畫書」(例如：市區公車路線檢討與優化)；部分措施(如電動公車優先行駛於公車專用道之路線)建議提供本所編撰之「運輸政策白皮書-綠運輸分冊」，以及「2030 電動大客車推動策略」參考。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，降低移動污染源管理措施蒐集與彙析，民國 107 年。
2. 交通部運輸研究所，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究—以大客車為例(1/2)，民國 100 年。
3. 交通部運輸研究所，公車停等紅燈怠速熄火之可行性分析，民國 104 年。
4. 行政院環境保護署，新版空氣污染物排放清冊建置，民國 104 年。
5. 行政院環境保護署，認識細懸浮微粒(PM_{2.5})，民國 104 年。
6. 行政院環境保護署，移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫，民國 108 年。
7. 行政院環境保護署，臺灣地區車輛生命週期評估，民國 107 年。
8. 行政院環境保護署，臺北都會區通勤期間之空氣污染物暴露量調查新聞資料，民國 107 年。
9. 嘉義市政府環境保護局，嘉義市細懸浮微粒管制對策及健康風險評估計畫，民國 102 年。
10. 桃園市政府環境保護局，98 年度柴油車廢氣排放之健康風險調查案，民國 99 年。
11. 臺北市政府環境保護局，臺北市公車專用道及自行車道細懸浮微粒與揮發性有機化合物暴露濃度評估計畫，民國 105 年。
12. 臺中市政府環境保護局，106 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})採樣分析計畫，民國 106 年。
13. 王雅玢，「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學系碩士論文，民國 83 年。
14. 林志忠，「交通源大氣奈米、超細、細及粗微粒組成特性之研究」，國立屏東科技大學環境工程與科學系博士論文，民國 96 年。
15. 陳建任，「台北市公館地區公車專用道空氣中粒狀多環芳香烴對人體之健康風險評估」，國立臺灣大學環境工程研究所碩士論文，民國 97 年。
16. 莊志偉，「柴油車輛搭載觸媒濾煙器效能探討」，國立中興大學機械工程研究所碩士論文，民國 92 年。

17. 陳瑞仁、莊秀琪、林志忠、蔡仁雄，「大氣奈米微粒上多環芳香烴化合物粒徑分布特性之探討(2/2)」，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告，民國 96 年。
18. 陳穎緒，「大客車柴油引擎黑煙排放污染防制成效之探討」，國立中興大學環境工程學系在職專班碩士學位論文，民國 103 年。
19. 薛智遠，「北部地區細懸浮微粒化學成份及來源貢獻暨民眾細懸浮微粒暴露之研究」，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文，民國 100 年。
20. 楊錫賢，「大氣環境中多環芳香烴化合物與金屬元素之特徵」，國立成功大學環境工程學博士論文，民國 97 年。
21. 簡伯珊，「台中地區移動性污染源排放多環芳香烴化合物之分布」，中山醫學大學公共衛生研究所碩士論文，民國 98 年。
22. 郭崇義、魏千岱、溫敬峰、黃婷翊、徐瑋廷，「比較柴油車道與汽油車道其路旁及室內 PAHs 之分佈」，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期末報告，計畫編號: NSC 99-2111-M-040-001-MY3，民國 102 年。
23. Aryal, R.K., Furumai, H., Nakajima, F. and Boller, "M. Characteristics of particle-associated PAHs in a first flush of a highway runoff", *Water science and technology*, Vol. 53, 2006, pp. 245-251.
24. Barfknecht, T. R. "Toxicology of Soot", *Prog. Enrgy Combust. Sci*, Vol.9, 1983, pp. 199-237.
25. Behrentz E., Sabin L. D., Winer A. M., Fitz D. R. , Pankratz D. V., Colome S.D., Fruin S.A. "Relative Importance of School Bus-Related Microenvironments to Children's Pollutant Exposure", *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol.55, No. 10, 2005, pp. 1418-1430.
26. Castro, D., Slezakova, K., Delerue-matos, Alvim-ferraz M.C., Morais, S., Pereira, M.C. "Contribution of traffic and tobacco smoke in the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on outdoor and indoor", *Global NEST Journal*, Vol. 12, No. 1, 2010. pp. 3-11.
27. Chang, S.H., Hsieh, M.Y., Yang , H.J., Chen, M.C. and Kuo, C.Y. "Effects of diesel vehicle emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons on the surrounding environment and residents", *Journal of Environmental Science and Health Part C*, Vol. 27, 2009, pp. 141-154.

28. Chio C.C., Liao C. M, Tsai Y-I , Cheng M. T., Chou W. C.
“Health risk assessment for residents exposed to atmospheric diesel exhaust particles in southern region of Taiwan”,
Atmospheric Environment, Vol. 85, 2014, pp. 51-59.
29. Choi, H., V. Rauh, R. Garfinkel, Y. Tu and F. P. Perera “Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of intrauterine growth restriction”, *Environmental health perspectives*, Vol. 116, 2008, pp. 658.
30. Collins, J., J. Brown, G. Alexeeff and A. Salmon “Potency equivalency factors for some polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives”, *toxicology and pharmacology*, Vol. 28, 1998, pp. 45-54.
31. Dales R., Liu L., Szyszkowicz M., Dalipaj M., Willey J., Kulka R., D. Ruddy T. “Particulate air pollution and vascular reactivity: the bus stop study”, *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 81, 2007, pp. 159-164.
32. Delgado-Saborit, J. M., Stark, C. and Harrison, R.M.
“Carcinogenic potential, levels and sources of polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in indoor and outdoor environments and their implications for air quality standards”, *Environment International*, Vol. 37, 2011, pp. 383-392.
33. Denissenko, M. F., Pao, A., Tang, M. and Pfeifer, G.P.
“Preferential formation of benzo [a] pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53”, *Science*, Vol. 274, 1996, pp. 430.
34. Dockery, D. W., and C. A. Pope “Acute respiratory effects of particulate air pollution”, *Annu. Rev. Public Health*, Vol. 15, 1994, pp. 107-132.
35. Fernández Espinosa, A.J., M. T. Rodriguez, F. J. Barragan de la Rosa, and J. C. Jimenez Sanchez “Size distribution of metals in urban aerosols in Seville (Spain)”, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, 2001, pp. 2595-2601.
36. Guo, H., S. C. Lee, K. F. Ho, X. M. Wang, and S. C. Zou
“Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong”, *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 2003, pp. 5307-5317.
37. Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L.,. “Source apportionment of atmospheric polynuclear aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, U.K”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 30, 1996, pp. 825-832.
38. Harrison, R.M., Tilling, R., Callén Romero, M.S., Harrad, S. and Jarvis, K., “A study of trace metals and polycyclic aromatic

- hydrocarbons in the roadside environment”, *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 2003, pp. 2391-2402.
39. International Agency for Research on Cancer (IARC), “Agents Classified by the IARC Monographs”, 2012, pp.1-105.
 40. Ji C., Wang S., “Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark ignition gasoline engine at lean conditions”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 18, 2009, pp. 7823-7834.
 41. Kalaitzoglou, M., Terzi, E. and Samara, C. “Patterns and sources of particle-phase aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and rural sites of western Greece”, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 2004, pp. 2545-2560.
 42. Kavouras, I.G., Mihalopoulos, N. and Stephanou, E.G. “Secondary organic aerosol formation vs. primary organic aerosol emission. In situ evidence for the chemical coupling between monoterpene acidic photooxidation products and new particle formation over forests”, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 33, 1999, pp. 1028-1037.
 43. Kittelson, D. B., W. F. Watts, and J. P. Johnson “Nanoparticle emissions on Minnesota highways”, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 2004, pp. 9-19.
 44. Kittelson, D. B. “Engines and nanoparticles: a review.”, *J. Aerosol. Sci.*, Vol. 29, 1998, pp. 575-588.
 45. Kuo, C.Y., Wang, J.Y., Chang, S.H. and Chen, M.C. “Study of metal concentrations in the environment near diesel transport routes”, *Atmospheric Environment*, Vol. 43, 2009, pp. 3070-3076.
 46. Lim, L. H., R. M. Harrison, and S. Harrad “The contribution of traffic to atmospheric concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons”, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 33, 1999, pp. 3538-3542.
 47. Lippmann M., D. B. Yeates, and R. E. Albert “Albert Deposition retention and clearance of inhaled particles”, *Br. J. Ind. Med.*, Vol. 37, 1980, pp. 337-362.
 48. Liu, M., Cheng, S.B., Ou, D.N., Hou, L.J., Gao, L., Wanf, L.L., Xie, Y.S., Yang, Y. and Xu, S.Y. “Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China”, *Atmospheric Environment*, Vol. 41, 2007, pp. 8785-8795.
 49. Liu Te, Ma C.M., Liu I.J., Han B.C., Chuang H. C., Kai-Jen Chuang K. J., “Effects of commuting mode on air pollution exposure and cardiovascular health among young adults in Taipei,

- Taiwan”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 218, No. 3, 2015, pp. 319-323.
50. Masclet, P., G. Mouvier, and K. Nikolaou “Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons”, *Atmos. Environ.* Vol. 20, 1986, pp. 439-446.
 51. Miguel, A. H., T. W. Kirchstetter, R. A. Harley, and S. V. Hering “On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel vehicles”, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 32, 1998, pp. 450-455.
 52. Murakami, M., Nakajima, F. and Furumai, H. “Size- and density-distributions and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust”, *Chemosphere*, Vol. 61, 2005, pp. 783-791.
 53. Manigrasso M., Natale C., Vitali M., Protano C., Avino P. “Pedestrians in Traffic Environments: Ultrafine Particle Respiratory Doses”, *Environmental Research and Public Health*, Vol. 14, 2017, pp. 288.
 54. Pacyna, J. M. Atmospheric Trace Elements from Natural and Anthropogenic Sources, in Nriagu, In Nriagu, J.O., Davidson, C.I. (Eds.): Toxic Metals in the Atmosphere. Wiley, New York, 1986.
 55. Peters, A., H. E. Wichmann, T. Tuch, J. Heinrich, and J. Heyder “Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles”, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, Vol. 155, 1997, pp. 1376-1383.
 56. Phuleria, H.C., Sheesley, R.J., Schauer, J.J., Fine, P.M. and Sioutas, C. “Roadside measurements of size-segregated particulate organic compounds near gasoline and diesel-dominated freeways in Los Angeles, CA”, *Atmospheric Environment*, Vol. 41, 2007, 4653-4671.
 57. Pope, C. A. 3rd, D. V. Bates, and M. E. ”Raizenne Health effects of particulate air pollution: time for reassessment?”, *Environ. Health Perspect.* Vol.103, 1995a, pp. 472-480.
 58. Pope, C. A. 3rd, M. J. Thun, M. M. Namboodiri, D. W. Dockery, J. S. Evans, F. E. Speizer, and C. W. Jr. “Heath Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults”, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, Vol. 151, 1995b, pp. 669-674.
 59. Rickeard, D. J., Bonetto, R., & Signer, M., “European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE)- Comparison of Light and Heavy Duty Diesel Studies”, *SAE Technical Paper*, 961075, 1996.

60. Roemer, W., G. Hoek, and B. Brunekreef, "Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms", *Am. Rev. Respir. Dis.* Vol. 147, 1993, pp. 118-124.
61. Sabin L.D, Behrentz E, Winer AM, Jeong S, Fitz DR, Pankratz DV, Colome SD, Fruin SA., "Characterizing the range of children's air pollutant exposure during school bus commutes", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 15, No. 5, 2005, pp. 377-387.
62. Sack, C. S., Kaufman, J. D., "Air Pollution Levels and Children's Lung Health How Low Do We Need to Go?", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 193, No.8, 2016, pp. 819-820.
63. Samara, C., Kouimtzis, T.h., Tsitouridou, R., Kaniyas, G. and Simeonov, V., "Chemical mass balance source apportionment of PM10 in an industrialized urban area of Northern Greece", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 2003, pp. 41-54.
64. Schwartz, J., D. Slater, T. V. Larson, W. E. Pierson, and J. Q. Koenig "Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle", *Am. Rev. Respir. Dis.*, Vol. 147, 1993, pp. 826-831.
65. Sheu, H. L., W. J. Lee, J. H. Tsai, Y. C. Fan, C. C. Su, and H. R. "Chao Particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of a traffic intersection", *J. Environ. Sci. Health Part A-Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* Vol.31, No.6, 1996, pp. 1293-1316.
66. Shi, J. P., and R. M. Harrison "Investigation of ultrafine particle formation during diesel exhaust dilution", *Sci. Technol.*, Vol. 33, 1999, pp. 3730-3736.
67. Sisovic, A., Fugas, M., "Smoke Concentration as an Indicator of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Levels in the Air", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 45, 1997, pp. 201-207.
68. Slezakova. K., Morais S. and do Carmo Pereira M. "Indoor Air Pollutants: Relevant Aspects and Health Impacts", *Environmental Health – Emerging Issues and Practice*, 2012, pp. 125-146.
69. Tavares Jr M., Pinto J. P., L. Souza A., Scarmínio I. S., Solci M. C. "Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel engine in a bus station, Londrina, Brazil", *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 2004, pp. 5039-5044.

70. Tsai D.H., Wu Y. H., Chan C.C., “Comparisons of commuter's exposure to particulate matters while using different transportation modes”, *Science of the Total Environment*, Vol. 405, 2008, pp. 71-77.
71. Tuominen, J., S. Salomaa, H. Pyysalo, E. Skytta, L. Tikkanen, T. Nurmela, M. Sorsa, V. Pohjola, M. Sauri, and K. Himberg, “Polynuclear aromatic compounds and genotoxicity in particulate and vapor phases of ambient air: effect of traffic, season, and meteorological conditions”, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 22, 1988, pp. 1228-1234.
72. Wingfors, H., A. Sjodin, P. Haglund, and E. Brorstrom-Lunden, “Characterisation and determination of profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in a traffic tunnel in Gothenburg”, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, 2001, pp. 6361-6369.
73. Wybraniec, S., and A. P. De Jong, “Modified sampling and analysis method for large volatility range airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (pah) using gas chromatography mass-spectrometry”, *J.Anal. Chem.*, Vol. 356, 1996, pp. 396-402.