

98 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果報告

柴油車細懸浮微粒排放推估與減量技術之研究

計畫編號：NSC 98 - EPA - M - 003 - 002

執行期間：九十八年七月一日至九十九年六月三十日

計畫主持人：鄭曼婷

共同主持人：楊錫賢、蔡瀛逸
王琳麒、楊禮豪

計畫參與人員：黃政琦、陳勳融、劉玲君、黃景良、
陳慶晟、葉彥甫、劉怡均

執行單位：國立中興大學環境工程學系
朝陽科技大學環境工程與管理系
嘉南藥理科技大學環境工程與科學系
正修科技大學化工與材料工程系
中國醫藥大學職業安全與衛生學系

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月 三 十 日

摘要

本計畫主要目標為探討重型柴油引擎在動力計測試下尾氣排放細懸浮微粒($PM_{2.5}$)之物理、化學與毒性污染物之特性，並且評估不同控制技術對微粒排放的減量效率與管制策略之研擬。本研究主要使用定容積稀釋系統，測量重型柴油引擎排放污染物，包含PM 質量、數量濃度粒徑分布、元素碳/有機碳、水溶性陰陽離子、毒性與氣狀污染物。實驗參數以市售超級柴油 B1(S50)為基準，進行 B1(S50)加裝氧化觸媒濾煙器(B1+DPF)、B1(S50)加裝氧化觸媒(B1+DOC) 與低硫柴油 B1(S10)等不同控制技術之測試。動力計測試條件為美國暫態循環、穩態惰轉與穩態低負載，不同控制技術的排放係數與減量效率詳述於本文，而部分重要成果分述如下。

暫態測試結果顯示 B1(S50)、 B1(S10)、 B1+DOC 與 B1+DPF 之 PM 與 $PM_{2.5}$ 排放係數分別為 0.166/0.143、 0.153/0.126、 0.095/0.078 與 0.035/0.021 g/bhp-hr，其中 $PM_{2.5}$ 排放係數佔 PM 排放係數約 80 % 以上。以 B1(S50)為基準，B1(S10)、 B1+DOC 與 B1+DPF 之 $PM_{2.5}$ 的減量效率分別為 11.9、 45.5 與 85.3%，數目濃度的減量效率分別為 20.4、 77.9 與 99.6%。此外，使用不同控制技術下 PM 化學與毒性污染物也有減量的效果，結果詳述於第五章。

穩態測試結果顯示惰轉與低負載 PM 與 $PM_{2.5}$ 排放係數分別為 4.976/4.303 與 0.176/0.162 g/bhp-hr。質量粒徑分布方面呈多峰分布，主要波峰範圍分布於 0.018-0.056 與 0.1-0.32 μm 。另一方面，數目粒徑分布主要為單峰分布，惰轉測試主要波峰出現於 0.029 μm ；低負載測試波峰則出現於 0.051 μm 。整體而言，本研究實驗結果顯示相較於使用氧化觸媒與 B1(S10)油品，加裝濾煙器為削減 $PM_{2.5}$ 之最有效控制技術。

基於上述 $PM_{2.5}$ 排放係數，以加裝濾煙器之控制技術進行柴油車排放量推估，情境模擬結果顯示，若僅針對台灣機動車輛總數約 1% 的使用中柴油大貨客車進行濾煙器的大力推廣，即可有約 18% 的移動污染源 $PM_{2.5}$ 總量削減效益。此外，本報告蒐集許多先進國家成功推廣現役柴油車加裝濾煙器之計畫，並建議國內柴油引擎排放有效之 $PM_{2.5}$ 管制政策。

Abstract

The primary objectives of the present study are to characterize the physicochemical and toxicological properties of the fine particulate matter (PM_{2.5}) emitted from a heavy-duty diesel engine with a dynamometer, and to identify effective control technology and strategy for diesel emissions. Inside a constant volume sampling (CVS) dilution system, the measured pollutant properties include PM mass and number size distributions, organic/elemental carbon, water-soluble ions, toxic and gaseous pollutants. The engine was operated with a number of control technologies, including diesel particulate filter (DPF), diesel oxidation catalyst (DOC), low sulfur (B1(S50)) and ultra-low sulfur diesel (B1(S10)), in which the baseline is B1(S50) with no after-treatment. The simulated driving conditions include US FTP transient cycle, idle, and low-load steady-state cruise. The emission factor and reduction efficiency with respect to different control technologies and driving conditions are presented.

The transient results show the PM and PM_{2.5} emission factors for B1(S50), B1(S10), B1+DOC, and B1+DPF are 0.166/0.143, 0.153/0.126, 0.095/0.078, and 0.035/0.021 g/bhp-hr, respectively. It is noted that more than 80% of the PM comprises of PM_{2.5}. Relative to the baseline B1(S50), the resulting PM_{2.5} reduction efficiencies are 11.9, 45.5, and 85.3%, respectively. Similarly, the resulting PM number reduction efficiencies are 20.4, 77.9, and 99.6%, respectively. In addition, most PM chemical components and toxicity also show reductions when control technologies are in place; please refer to the content for details. The steady-state results show the PM and PM_{2.5} emission factors for idle and low-load cruise are 4.976/4.303 and 0.176/0.162 g/bhp-hr, respectively. The mass-size distributions are typically multi-modal, showing that the major modes are in the size ranges of 0.018 – 0.056 and 0.1 – 0.32 μm. The number-size distributions, on the other hand, are typically unimodal with a mode at 0.029 μm for idle and 0.051 μm for low-load cruise. Overall, The results suggest that the use of DPF is the most effective PM_{2.5} mass and number control technology, compared to the use of DOC and ultra-low sulfur diesel.

Based on the determined PM_{2.5} emission factor, control strategy scenarios focusing on retrofitting DPF on existing vehicles are discussed. The simulated results show that a reduction of approximately 18% of the total PM_{2.5} emission from mobile sources could be expected if DPF were widely used on existing heavy-duty trucks and buses, which together is the largest mobile source of PM_{2.5}. In addition, a number of successful DPF retrofitting programs in developed countries are presented, followed by recommendations towards an effective control policy for diesel engine emission.

計畫工作進度表

工作項目	月份 (共計12個月, 從民國九十八年七月一日至民國九十九年六月三十日)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相關文獻蒐集	■	■	■									
柴油引擎排放微粒採樣分析		■	■	■	■	■	■	■	■	■		
柴油引擎排放微粒毒性物質分析		■	■	■	■	■	■	■	■	■		
柴油引擎細懸浮微粒排放量推估		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
柴油引擎排放控制技術評估		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
柴油車細懸浮微粒排放的管制策略研擬									■	■	■	■
期中期末報告						■						■
目前工作進度累積百分比	9%	18%	27%	36%	45%	54%	62%	71%	80%	89%	96%	100%
預定工作進度累積百分比	8%	17%	25%	34%	42%	50%	58%	67%	75%	84%	92%	100%

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 計畫緣起及目標.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目標.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 柴油引擎之油品特性.....	3
2.1.1 柴油之含硫量.....	3
2.2 柴油引擎之污染排放特徵.....	3
2.2.1 粒狀污染物與粒徑分布.....	3
2.2.2 氣態污染物.....	3
2.2.3 粒狀污染物中之碳成分與水溶性陰陽離子.....	4
2.3 汽、柴油車之 PCDD/Fs 排放.....	4
2.4 我國與先進國家重型柴油引擎之排放標準與係數.....	4
第三章 工作內容.....	7
3.1 工作內容.....	7
3.2 工作項目.....	8
第四章 工作方法.....	11
4.1 柴油引擎排放微粒採樣分析.....	11
4.1.1 柴油引擎試驗系統及操作條件.....	11
4.1.2 微粒分徑採樣與質量分析.....	13
4.1.3 微粒分徑採樣與數量分析.....	14
4.1.4 微粒中含碳量分析.....	15
4.1.5 微粒陰陽離子之分析方法.....	16
4.2 柴油引擎排放微粒毒性物質分析.....	16
4.2.1 微粒中 PAHs 分析.....	16
4.2.2 微粒中 PCDD/Fs 及 PBDEs 分析.....	16
4.3 柴油引擎排放控制技術評估.....	17
4.3.1 市售超級柴油及低硫超級柴油之油品物理化學特性.....	17
4.3.2 濾煙器原理與規格.....	17
第五章 結果與討論.....	20
5.1 柴油引擎排放微粒採樣分析.....	20
5.1.1 氣態污染物監測.....	20
5.1.2 微粒分徑採樣與質量分析.....	20
5.1.3 微粒分徑採樣與數目分析.....	23
5.1.4 微粒中含碳量分析.....	27
5.1.5 柴油引擎廢氣 PM _{2.5} 微粒水溶性陰陽離子排放特性.....	27
5.2 柴油引擎排放微粒毒性物質分析.....	34

5.2.1 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM _{2.5} 之 PM、PAHs、PCDD/Fs、PCB、PBDEs 濃度	34
5.2.2 柴油引擎管道廢氣中 PAHs、PCDD/Fs、PCB、PBDEs 濃度	34
5.2.3 柴油引擎排放廢氣之污染物減量率比較	37
5.2.4 柴油引擎排放廢氣之污染物排放係數和減量效率	38
5.3 重型柴油引擎尾氣細懸浮微粒減量與總量推估	41
5.3.1 細懸浮微粒減量推估	41
5.3.2 細懸浮微粒總量推估	41
5.4 柴油引擎排放控制技術評估及管制策略	43
5.4.1 氧化觸媒技術	44
5.4.2 選擇性還原觸媒	44
5.4.3 廢氣再循環系統	44
5.4.4 柴油濾煙器	45
5.4.5 加裝柴油濾煙器管制策略研析	46
第六章 結論與建議	49
6.1 結論	49
6.2 建議	50
參考文獻	51
附錄一 空污防治科研計畫研究成果資料表	附-1
附錄二 期中審查會意見表	附-3
附錄三 期末審查會意見表	附-7
附錄四 計畫執行期間的開會與採樣時程表	附-11

圖目錄

圖 3-1 工作方法之架構.....	9
圖 3-2 本計畫之工作流程.....	10
圖 4-1 尾氣稀釋系統示意圖.....	12
圖 4-2 美國暫態循環測試曲線.....	12
圖 4-3 濾煙器平面圖.....	19
圖 5-1 B1+DPF 排放微粒質量分率粒徑分布情形.....	21
圖 5-2 穩態-惰轉下排放微粒質量分率粒徑分布情形	22
圖 5-3 穩態-低負載下排放微粒質量分率粒徑分布情形	22
圖 5-4 四種測試條件之微粒數目排放係數	24
圖 5-5 使用 B1+DPF 下逐秒之數目排放係數變化（未調整稀釋比例）	25
圖 5-6 B1(S50)、B1+DOC、B1+DPF 與 B1(S10)之次微米微粒數目排放係數粒徑分布；B1+DPF 因排放係數遠低於其他操作條件，故其座標另至於右方縱軸	25
圖 5-7 惰轉與低負載條件下之次微米微粒數目排放係數粒徑分布	26
圖 5-8 柴油車引擎使用 B1(S50)與 B1(S10)之碳排放係數	27
圖 5-9 市售超級柴油 B1(S50)之引擎排放廢氣 PM _{2.5} 離子物種排放係數.....	28
圖 5-10 使用 B1(S10)低硫柴油與 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM _{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值	28
圖 5-11 B1+ DPF 柴油引擎廢氣 PM _{2.5} 物種排放係數.....	30
圖 5-12 B1+DPF 柴油引擎廢氣與 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM _{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值	30
圖 5-13 B1+DPF 與 B1+DOC 之柴油引擎廢氣排放 PM _{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值	31
圖 5-14 B1+DPF、B1+DOC、B1(S50)、使用 B1(S10)柴油引擎廢氣排放 PM _{2.5} 之總陰、總陽、總水溶性離子排放係數比值.....	31
圖 5-15 惰轉之 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM _{2.5} 物種排放係數.....	32
圖 5-16 低負載之 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM _{2.5} 物種排放係數.....	33
圖 5-17 低負載與惰轉 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM _{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值	33
圖 5-18 台灣地區 96 年不同車種對移動污染源 PM _{2.5} 總排放量之貢獻度	42
圖 5-19 不同假設情境下移動污染源 PM _{2.5} 總排放量之車種貢獻度與削減效益	43

表目錄

表 4-1 MOUDI 與 Nano-MOUDI 個階段截取之氣動粒徑.....	14
表 4-2 油品物理化學特性.....	18
表 4-3 本研究濾煙器詳細規格.....	19
表 5-1 不同測試條件下 HC、CO、CO ₂ 與 NO _x 氣態污染物排放係數	20
表 5-2 不同柴油引擎操作狀態之 PM 與 PM _{2.5} 排放係數與減量效率	20
表 5-3 以 B1(S50)為基準之微粒減量效果.....	24
表 5-4 穩態不同負載下之次微米(< 1 μm)微粒數目濃度(10 ¹⁵ #/bhp-hr)	26
表 5-5 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM _{2.5} 之污染物濃度	35
表 5-6 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM _{2.5} 之污染物排放係數	35
表 5-7 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM _{2.5} 之粒狀物及 PAHs 冷熱啟動排放係數 ..	35
表 5-8 柴油引擎管道廢氣排放中污染物濃度之比較	36
表 5-9 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物排放係數	36
表 5-10 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物固氣百分比%	38
表 5-11 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物減量率(以 B1(S50)為基準)%	38
表 5-12 柴油引擎排放 PM、PM _{2.5} 、PM 數目濃度、碳成分、水溶性陰陽離子、毒性 污染物 PAHs、PCDD/Fs、PCB 及 PBDE 的排放係數.....	39
表 5-13 四種不同暫態測試的排放係數的減量效率	40
表 5-14 不同柴油引擎操作狀態之 PM 與 PM _{2.5} 排放係數與減量效率	41
表 5-15 台灣 96 年縣市柴油大客車與大貨車之車輛登記數量與百分比	42
表 5-16 濾煙器使用率之三種假設情境	43

第一章 計畫緣起及目標

1.1 計畫緣起

移動污染源為台灣空氣污染物的主要來源之一，尤其是一氧化碳(CO)與氮氧化物(NO_x)的貢獻分別高達 78%與 54%，而這當中柴油引擎尾氣的 NO_x 貢獻量高達 35%；就懸浮微粒而言，PM₁₀ 與 PM_{2.5} 的貢獻量分別為 10%與 17% (TW EPA, 2009)。雖然柴油引擎尾氣對懸浮微粒的貢獻不高，但若同時考量台灣機動車輛與人口密度的高相關性(高暴露)，及柴油引擎尾氣懸浮微粒中與其伴隨的氣態污染物中所含潛在高毒性化學物質(高危害)等兩因素後，其對台灣民眾衍生的潛在不良健康風險仍不容忽略。另外兩個對懸浮微粒有高貢獻度的污染源為營建與工業；與柴油引擎尾氣相較之下，營建伴隨的懸浮微粒污染之主要化學組成為地殼元素(Ca 與 Mg 等)，故其潛在毒性相對較低，而工業排放的懸浮微粒污染雖然毒性可能與柴油引擎尾氣相當，但畢竟為固定污染源，民眾暴露的機率相較於移動污染源為低。根據台灣空氣污染排放清冊資料庫(TEDS 7.0 版)，民國 96 年(基準年)之移動污染源 PM_{2.5} 排放總量為 20,013 公噸，國內主要的 PM_{2.5} 移動污染源依序為柴油大貨車、自用小客車與二行程機車，因此有必要對重型柴油引擎尾氣進行管制，尤其從保護民眾健康的觀點，其減量措施更刻不容緩。

柴油引擎尾氣對人類健康與環境衝擊有重要的影響，特別是尾氣中的懸浮微粒(Lloyd and Cackette, 2001)。有別於氣態污染物之特定化學組成(如 CO、NO_x 與 HCHO)，因懸浮微粒為化學組成複雜的混合物(mixture)，故管制上無法針對其化學成分進行管制；目前法規僅就懸浮微粒之質量排放係數予以規範。就人類健康風險而言，柴油引擎尾氣中之懸浮微粒含有危害人體健康的毒性成分，如多環芳香烴(polynuclear aromatic hydrocarbons, PAHs)的致癌性、氧化性物種導致的發炎反應、誘發氣喘與心肺疾病等(Dockery et al., 1993; US EPA, 2002; Solomon and Balmes, 2003; Shima et al., 2006)。國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)彙整眾多毒理與流行病學研究結果後，認定柴油引擎尾氣(包括懸浮微粒與氣態污染物)為人類極可能致癌物質(Class 2A)，而汽油引擎尾氣為人類可能致癌物質(Class 2B)。特別值得注意的是，若再進一步細分，柴油引擎尾氣中之懸浮微粒又較氣態污染物具有更充足的動物實驗致癌證據(sufficient evidence) (IARC, 1989)。基於此健康風險，許多國家已陸續將柴油引擎之懸浮微粒排放標準降低；比如，96 年美國環保署將重型柴油引擎之懸浮微粒排放標準由 0.1 g/bhp-hr 降為 0.01 g/bhp-hr，而台灣則於民國 88 年由 0.7 g/bhp-hr 降為 0.1 g/bhp-hr，並於民國 95 年提前實施柴油車四期排放標準。就環境衝擊而言，最受關注的包括大氣化學、溫室效應與能見度之影響；柴油引擎尾氣中氣態污染物 NO_x 與 VOC 經光化學作用會導致 O₃ 的生成，NO_x 氧化後之硝酸(HNO₃)亦為酸雨中重要的組成分。此外，柴油引擎尾氣中懸浮微粒之最主要成分為元素碳(elemental carbon, EC)(約佔總碳量的 2/3)會吸收光能，進而降低能見度且對地表暖化有重要的貢獻(Eldering and Cass, 1996; IPCC, 2007)。

許多毒理與流行病學研究指出，懸浮微粒的健康危害潛力與微粒粒徑有密切的關係；相較於大粒徑的微粒(PM₁₀)，氣動粒徑小於 2.5 μm (PM_{2.5})與 0.1 μm (超細懸浮微粒，ultrafine particles)的懸浮微粒與不良健康效應有較高的相關性(Peters et al., 1997; Schwartz and Neas, 2000)。雖然確切的致病因子仍有待釐清，科學界所存有的共識為小粒徑微粒的高毒性與石化燃料燃燒(fossil fuel combustion)及高肺部沉積效率(high lung deposition efficiency)有直接的關係。因此，美國環保署於 86 年 7 月增訂細懸浮微粒(PM_{2.5})

空氣品質標準；台灣環保署於民國 94 年跟進，完成增設 76 個 PM_{2.5} 空氣品質自動監測儀器；世界衛生組織(WHO) 於 95 年於其空氣品質指引(Air Quality Guidelines)中，建議各國可考量本身社會、經濟、環境等相關背景，分階段訂定 PM_{2.5} 空氣品質標準，以 PM_{2.5} 日平均值為例，該指引建議四個等級，分成 75、50、37.5 及 25 μg/m³ 階段目標(WHO, 2006)。

依據 96 年(基準年)之排放清冊，台灣地區 PM₁₀ 之年排放量約 252,000 公噸，細懸浮微粒(PM_{2.5})排放量約 115,000 公噸，PM_{2.5} 佔 PM₁₀ 總量之 46%。基於此高貢獻量與高潛在健康危害的考量，全國性的 PM_{2.5} 管制策略擬定應被列為民眾與環境保護之首要工作。承如前述，移動污染源雖在總量上的貢獻不是最大，但對民眾健康危害的貢獻卻最為立即，因為台灣機動車輛尾氣之潛在毒性高，且車輛密度與人口密度間有高的相關性。依排放清冊之資料顯示，PM_{2.5} 年排放量與大貨車車輛總數兩者有高相關性，由於絕大多數的大貨車皆使用柴油引擎，此結果突顯了重型柴油引擎(heavy duty diesel engine)尾氣應為 PM_{2.5} 防制之重要管制對象之一。

1.2 計畫目標

為了瞭解柴油引擎排放 PM_{2.5} 的排放係數、排放總量及其可行的 PM_{2.5} 減量之控制技術，本計畫結合國內柴油引擎排放特性、細懸浮微粒生成和控制技術、微粒的化學組成和毒性物質分析、環境工程和管理及安全衛生專業領域的學者，探討柴油車引擎排放的控制技術，並與具有柴油引擎試驗系統的中油公司煉製研究所合作，進行標準行車型態下，重型柴油引擎排放的懸浮微粒和氣態污染物量測，此年度為首次探討不同控制技術對柴油引擎排放 PM_{2.5} 的影響，因此控制技術著重不同油品成分或加裝濾煙器對柴油車細懸浮微粒排放的減量效果，再進一步推估在不同控制技術下的細懸浮微粒的排放總量，同時提供排放微粒的毒性物質成分。最後，根據研究成果，提出柴油車細懸浮微粒的管制策略。因此，本計畫的研究目標如下：

1. 瞭解柴油車排放污染物特性和毒性。
2. 調查柴油車排放細懸浮微粒的控制技術。
3. 評估不同油品成分對柴油車細懸浮微粒排放的減量效益。
4. 評估加裝濾煙器對柴油車細懸浮微粒排放的減量效益。
5. 推估採用不同控制技術下柴油車的細懸浮微粒排放總量。
6. 研擬柴油車細懸浮微粒排放的管制策略。

第二章 文獻回顧

2.1 柴油引擎之油品特性

2.1.1 柴油之含硫量

柴油中含硫份過多時，硫份在燃燒後，與燃燒所產生之水分結合，形成亞硫酸或硫酸等產物，為腐蝕性高之硫酸類物質，冷凝後於汽缸壁上，會侵蝕機件表面，更會加速機油變質與油泥之形成。尤其是在低溫、低負荷情況運轉時較嚴重，因而在柴油引擎之排氣系統上常常能發現因硫化物造成之腐蝕現象。就環境層面考量而言，柴油硫含量會造成硫氧化物之排放，因此應予以調降，其要求之方向與性能規範要求相同。世界各國柴油油品之硫含量標準以瑞典的都會區一級柴油為最低(0.001% , max)，以中國大陸的合格品柴油、中油規範普通柴油及委內瑞拉之柴油為最高(1% , max)，硫含量之規範相當普遍，幾乎每個國家都有加以規範。台灣目前市售的柴油油品則是硫含量 50 ppmw 的超級柴油(Super Diesel)，並加入 1% 的生質柴油(Bio-Diesel)。

2.2 柴油引擎之污染排放特徵

2.2.1 粒狀污染物與粒徑分布

柴油引擎排放之粒狀污染物由殘碳、可溶解性有機成分(Soluble Organic Fraction, SOF)、硫化物以及添加劑所組成。SOF 包括未燃燒之燃料與機油，致癌性物質 PAHs 即由此部分所產生。其組成百分比隨著燃料品質、引擎操作條件以及添加劑種類之不同而有差異，可溶解性有機成分佔約 40% 左右。在實驗分析上 SOF 為粒狀物可以二氯甲烷、苯或其他有機溶劑所萃取出之部分(Hidy, 1984; McClellan et al., 1986)。柴油車排放之粒狀污染物大部分為粒徑小於 2.5 μm 之可吸入性懸浮微粒，Kerminen 等人發現柴油引擎排放之懸浮微粒呈三峰分布，其波峰位於 0.09, 0.2 與 0.7 ~ 1.0 μm ，皆小於 2.5 μm (Kerminen et al., 1997)。柴油於引擎燃燒過程所形成的粒狀污染物，表面可能吸附各種具毒害性的化合物，如 PAHs。PAHs 是由二個或多個苯環互相鍵結形成之化合物，其種類及數量相當龐大，分子結構亦相當複雜，即使是相同分子量之 PAHs 也仍具有多種同分異構物，它不易在自然界中自行分解，被歸類為持久性有機污染物，有些 PAHs 已被確認為具有致突變性及致癌性(Richter, 2000; Hays et al., 2003)。

2.2.2 氣態污染物

柴油引擎之污染排放過去就被認為是相當嚴重之污染源，其氣態污染物之排放種類相當複雜，主要以 NO_x 、 SO_x 及 HC 為主。氮氧化物的生成排放一般相信是來自燃燒程序高溫所產生，且引擎燃燒效率愈高其氮氧化物之排放濃度亦隨之增加(Yanowitz et al., 2000)。美國加州過去研究結果顯示，即使柴油車輛之數量僅佔 2%，但是柴油引擎在全加州 NO_x 之排放量中卻貢獻了約 30% (Dunlap, 1998)，根據美國環保署類似之研究顯示柴油引擎 NO_x 貢獻量亦達 27% (USEPA, 1998)。甚至更有學者之研究指出，柴油車對周界空氣 NO_x 的貢獻量約為 50% 左右(Kerminen et al., 1997)。車用柴油含硫量之多寡對柴油引擎排放硫氧化物之排放為絕對相關，由於柴油車輛排放硫氧化物對空氣品質有不良影響，同時亦會對柴油引擎車輛之排氣系統產生腐蝕現象，因此調降柴油中硫含量為全球柴油含硫標準一致之趨勢。

2.2.3 粒狀污染物中之碳成分與水溶性陰陽離子

柴油引擎排放的粒狀污染物主要有以下三類：一是燃燒後的碳粒，二是可溶性有機顆粒(Solvable Organic Fraction, SOF)，主要是來自未完全燃燒的機油或燃料，可溶於二氯甲烷(dichloromethane)的萃取；另一為燃燒氧化物，包括硫酸鹽(sulfate)，硝酸鹽(nitrate)及磷酸鹽(phosphate)等。而在這些粒狀污染物中，碳粒、SOF 及燃燒氧化物所佔的比例與引擎的設計、所用燃料與機油的性質及引擎運轉條件等都有很大關係。

柴油引擎排放的粒狀污染物危害大眾健康，影響全球氣候及都會能見度。柴油引擎排放的 organic carbon (OC)及 elemental carbon (EC)顆粒受燃料型式(fuel type)、車輛型式(vehicle type)、行車模式(vehicle operation mode)及外氣溫度(ambient temperature)等因素的影響(Kerminen et al., 1997; Shah et al., 2004; Zielinska et al., 2004)。同時，OC 及 EC 的排放係數也受柴油貨車活動(diesel truck activity)的影響(Harley et al., 2005)。除了含碳物質外，Sodeman et al. (2005)指出柴油引擎排放的微粒亦有來自潤滑油(lubricant oil)含水溶性離子組成的貢獻。Zhang et al. (2009)探討排氣量 4752cc，在 2300 rpm 輸出功率 117KW，在 1400 rpm 最大扭力輸入 580 Nm 的中國製柴油卡車引擎排氣 PM_{2.5} 微粒特性研究，水溶性離子排放係數以硫酸鹽最大，Cl⁻及 NO₃⁻次之，陽離子以 Na⁺及 Ca²⁺較多，但均遠小於這三種陰離子的排放係數，其中在引擎轉速高的排氣，其微粒硫酸鹽排放係數高於低引擎轉速的排放係數，在一定轉速下添加生質柴油 20% (B20)的柴油引擎硫酸鹽排放係數大於純柴油。Lyrranen et al. (2002)與 Zielinska et al. (2004)指出硫酸鹽微粒形成於引擎較低溫的狀況下。

2.3 汽、柴油車之 PCDD/Fs 排放

汽、柴油車行駛過程中，油品燃燒程序為 PCDD/Fs 生成來源之一。Quaß et al. (2005)指出歐洲車輛排放之 PCDD/Fs 與其他 PCDD/Fs 來源(最大來源為鍋爐，其次為燒結爐)比較，雖然不是主要排放源，但對環境品質影響也是重要的一環，其貢獻量約在總排放量 2%之間。在 Lombardy 地區(位於義大利北部一高密度工業化地區，人口約有九百萬人)，PCDD/Fs 排放源為主要都市垃圾焚化爐(佔總排放量之 32%)，其次為電弧爐(26%) (Caserini and Monguzzi, 2002)，主要之車輛 PCDD/Fs 排放源為柴油車，其貢獻量約在總排放量 10%，其排放量對環境空氣污染防制影響甚大。在日本，最主要之 PCDD/Fs 排放源為廢棄物焚化爐，其貢獻量約佔總排放量 87%，車輛 PCDD/Fs 排放量約佔總量的 0.07%。其他重要之 PCDD/Fs 排放源為燒結爐(3.2%)、二次鋅精煉廠(1.2%)與二次鋁精煉廠(0.6%) (Japan ministry of the environment, 2002)。車輛所排放之 PCDD/Fs 皆佔 PCDD/Fs 排放總量之一定比例，其中又以義大利 Lombardy 地區及英國 2003 年車輛排放分別佔排放總量 10%及 10.8%為最大，日本佔排放總量 0.07%為最小。

2.4 我國與先進國家重型柴油引擎之排放標準與係數

表 2-1 為我國與其他先進國家重型柴油引擎排放標準的比較，可看出我國在柴油引擎第五期的排放標準，在粒狀污染物的標準與其他先進國家相當；而在 HC、NO_x 的排放標準則比其他國家標準還要寬鬆；而在 CO 的標準上，則較美國為嚴謹，但相對於歐洲和日本則較為寬鬆。值得注意的是，從歐盟的五期開始，對輕型客、貨車新增訂微粒數量濃度的排放標準(6×10¹¹#/km)，我國在柴油引擎五期也跟進針對輕型柴油引擎訂定相同之數量濃度排放標準，預期未來將會擴大適用對象，包括重型柴油引擎。

表 2-1 我國與先進國家重型柴油引擎排放標準

Country	Year	排放係數(g/bhp-hr)			
		CO	HC	NO _x	PM
Taiwan	1993-1999(II)	10.00	1.30	6.00	0.70
	1999-2007(III)	10.00	1.30	5.00	0.10
	2007-2012(IV)	10.00	1.30	2.40	0.10
	2012+(VI)	10.00	0.14	0.20	0.01
US	1994-1997	15.50	1.30	5.00	0.10
	1998-2003	15.50	1.30	4.00	0.10
	2004-2006	15.50	0.50	2.00	0.10
	2007+	15.50	0.14	0.20	0.01
Europe	1996-2000(II)	2.98	0.82	5.22	0.19
	2000-2005(III)	1.57	0.49	3.73	0.07
	2005-2008(IV)	1.12	0.34	2.61	0.01
	2008-2013(V)	1.12	0.34	1.49	0.01
	2013(VI)*	1.12	0.10	0.37	0.01
Japan	1994-1997	5.52	2.16	4.47	0.52
	1997-2003	5.52	2.16	3.36	0.19
	2003-2005	1.66	0.65	2.52	0.13
	2005-2009	1.66	0.13	1.49	0.02
	2009+	1.66	0.13	0.52	0.01

*將會增列微粒數量排放標準。

表 2-2 為先進國家重型柴油引擎數量排放係數，可看出隨著歐盟期數的增加，排放係數呈現下降的趨勢，從 10^{14} 下降到 10^{12} #/km；而在行車型態上，從市區到高速公路呈現上升趨勢，約高 2 倍。綜合不同研究來看，微粒數量排放係數範圍位於 1.8×10^{12} 到 7.3×10^{15} #/km 之間。

表 2-2 先進國家重型柴油引擎之微粒數量排放係數

	Emission standard	Speed range (km/h)	Emission factor (10^{13} #/km)		
			Urban	Rural	Highway
	Euro II and III	10-110	31.9	27.2	69.9
	Euro II and III+CRDPF	10-110	12.6	2.85	5.48
EEA,(2009)	Euro II and III+SCR	10-110	35.5	24.0	80.1
	Euro IV+CRDPF	10-110	0.27	0.21	0.18
	Euro V+SCR	10-110	0.80	0.64	0.74
Jones and Harrison, (2006)	-	-	Range: 0.34 – 18		
Beddows and Harrison, (2008)	-	-	Range: 22 – 730		

第三章 工作內容

3.1 工作內容

本計畫主要評估不同控制技術對柴油車尾氣排放污染物之減量效益，進而提供柴油引擎排放細懸浮微粒($PM_{2.5}$)之削減策略。實驗利用重型柴油引擎進行四次美國暫態循環(US transient cycle)及兩次不同負載(惰轉、低負載)穩態之動力計試驗，計畫執行期間選用之控制技術包括：利用氧化觸媒(diesel oxidation catalysts, DOC)與濾煙器(diesel particulate filter, DPF)削減排放的污染物、採用市售超級柴油(B1)，代表添加 1%生質柴油且油品含硫量為 50 ppmw 以下之油品、B1(S10)低硫超級柴油，代表添加 1%生質柴油且油品含硫量為 10 ppmw 以下之油品，檢測尾氣排放係在動力計的定容量稀釋腔(constant volume dilution tunnel)內進行懸浮微粒的採樣，並分析其 $PM_{2.5}$ 濃度、有機碳/無機碳(OC/EC)、陰陽離子成分及微粒質量/數量粒徑分布，並進一步對微粒樣本中的毒性污染物(PAHs、PCDD/Fs、PBDEs 及 PCBs)進行基因毒性分析。探討不同控制技術下之 $PM_{2.5}$ 排放特性與排放量，再依據減量分析結果進行控制技術的排序，進而從中選取最佳控制技術與減量策略。

依據本研究擬定的目標，上述的檢測主要在暫態循環測試(Transient Cycle)下之重型柴油引擎尾氣中進行微粒的採樣，並進一步的進行重量/數量與化學分析，採樣作業與毒性污染物分析作業採樣將配合使用之不同控制技術，逐一進行微粒樣本之採集與分析。微粒樣本採樣與分析方面可細分為下列三項：(1)使用石英濾紙採集引擎尾氣中的總懸浮微粒；在進行重量分析後，部分樣本以元素分析儀進行無機碳(EC)與總碳(TC)分析及以離子層析儀(IC, Dionex DX-600)分析陰陽離子之化學成分分析，其餘的樣本將作 PAHs、PCDD/Fs、PBDEs 與 PCBs 的化學分析及進一步的毒性分析。(2)使用微孔均勻沈降衝擊器，將引擎尾氣中的總懸浮微粒進行分徑採樣，各個粒徑區間之樣本將進行重量分析。(3)使用掃描式電移動度微粒分徑儀與凝結核計數器，分析粒徑介於 0.01 ~ 1 μm 間之微粒數量濃度粒徑分布(number size distribution)。

根據微粒分徑採樣結果，可直接求得 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 排放係數之比值，間接獲得重型柴油引擎尾氣之 $PM_{2.5}$ 年排放總量與對台灣大氣 $PM_{2.5}$ 年排放總量貢獻百分比。此外，亦可先計算求得重型柴油引擎尾氣 $PM_{2.5}$ 排放係數與微粒數量排放係數，再利用排放係數法、重型柴油車數量與年平均車行里程等資料，進而估算重型柴油引擎尾氣之 $PM_{2.5}$ 年排放總量與對台灣大氣 $PM_{2.5}$ 年排放總量貢獻百分比。本計畫應用不同控制技術下，評估柴油車尾氣 $PM_{2.5}$ 排放量、化學成分(陰陽離子、EC 及 OC)與毒性污染物之減量成效，本計畫之研究架構與執行步驟如圖 3-1 與圖 3-2 所示。

3.2 工作項目

本研究工作項目說明如下：

一、柴油引擎排放微粒採樣分析

1. 於嘉義中油煉製研究所進行柴油引擎動力計標準行車型態之污染物排放測試，及量測污染物之排放係數。柴油引擎動力計試驗分兩次執行，第一次於 98 年 8 月 18 日至 20 日執行，第二次則於 99 年 5 月 6 日至 7 日。
2. 分析柴油引擎尾氣懸浮微粒中不同微粒粒徑之質量與數量排放特性與排放係數，包括細懸浮微粒(PM_{2.5})與超細懸浮微粒(ultrafine particles)。
3. 分析柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 細懸浮微粒中所含之 EC、OC 及水溶性陰陽離子的組成。

二、柴油引擎排放控制技術評估

1. 調查蒐集可能的控制技術與不同濾煙器之規格。
2. 評估市售超級柴油(B1(S50))、含硫量 10 ppmw 超級柴油(B1(S10))與加裝濾煙器對引擎污染排放的影響。

三、柴油引擎排放微粒毒性物質分析

1. 評估市售超級柴油(B1(S50))、含硫量 10 ppmw 超級柴油(B1(S10))與加裝濾煙器對引擎污染排放的影響，分析柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 細懸浮微粒中所含之毒性污染物 (PAHs、PCDD/Fs、PBDEs)及瞭解基因毒性。
2. 推估柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 所貢獻 PAHs、PCDD/Fs、PBDEs 之排放係數。

四、柴油引擎細懸浮微粒排放量推估

五、柴油車細懸浮微粒排放的管制策略

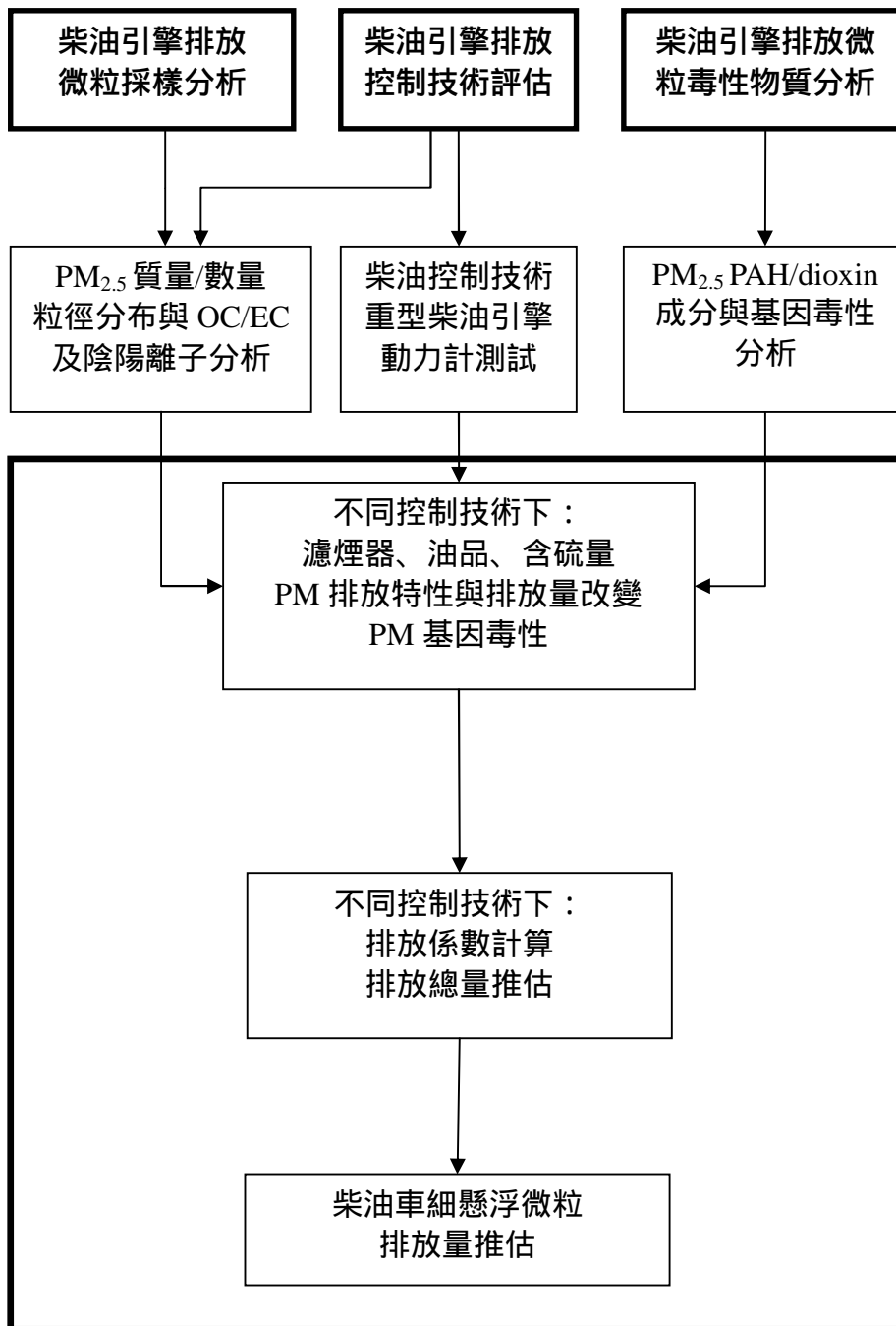


圖 3-1 工作方法之架構

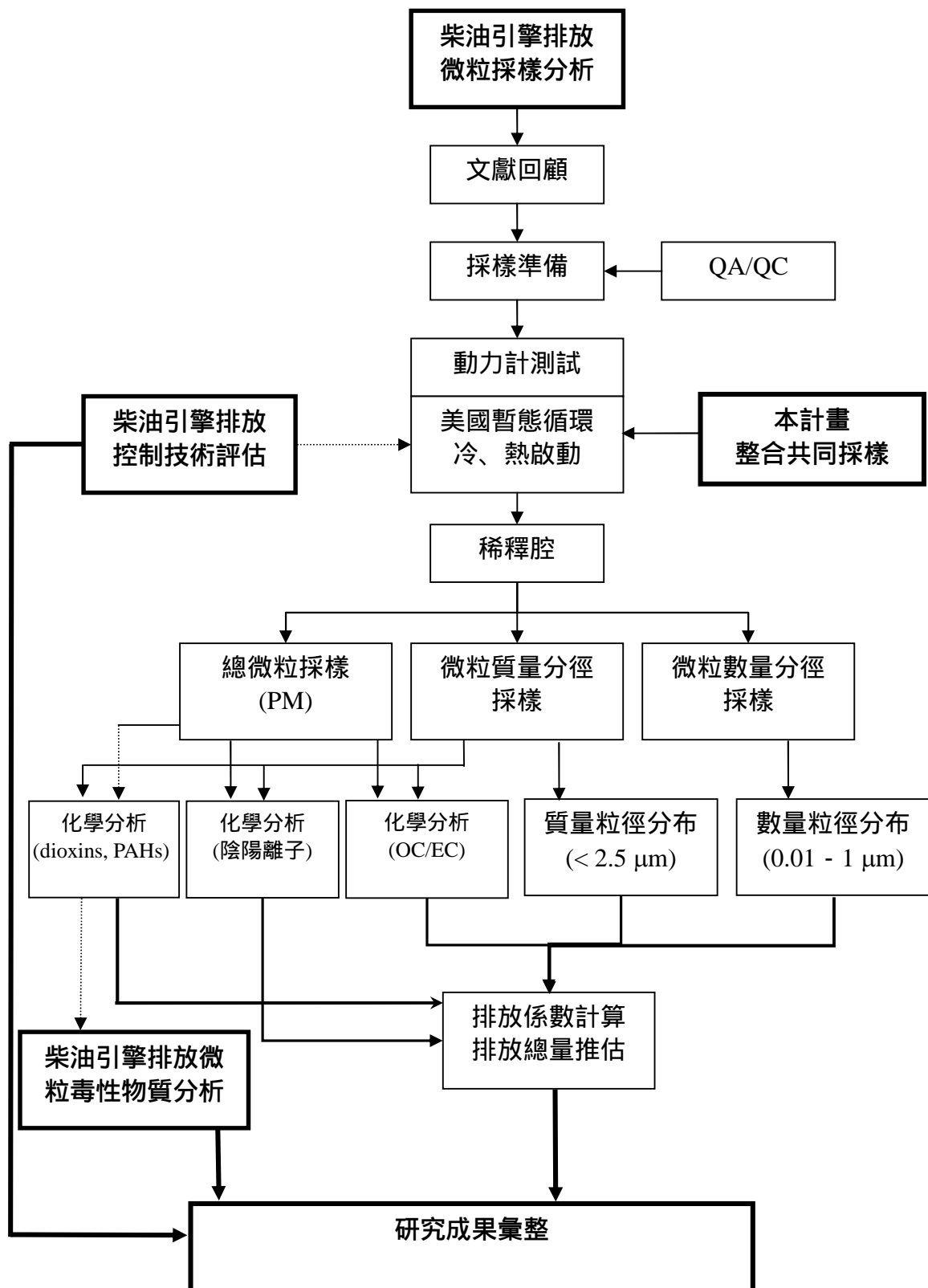


圖 3-2 本計畫之工作流程

第四章 工作方法

4.1 柴油引擎排放微粒採樣分析

4.1.1 柴油引擎試驗系統及操作條件

本計畫與中油煉製研究所合作，採用其柴油引擎動力計，在標準行車型態下，測試引擎排放的污染物成分，作為建立不同操作條件下柴油引擎細懸浮微粒之排放係數的依據，以下說明引擎的測試方法。

4.1.1.1 尾氣稀釋道系統

本研究選用國內三期管制標準之重型柴油引擎乙部進行測試。尾氣取樣設備之主要是藉由定容積採樣(constant volume sampling)系統量測引擎排放之氣態及粒狀污染物，其中引擎排氣及稀釋空氣混合後之總容積固定，同時以定比例且連續式採樣蒐集並分析，而污染物質量乃根據取樣氣體濃度(或粒狀污染物採樣濾紙重量差異，及測試期間採樣系統總流量決定之。採用二階稀釋系統，能分別控制稀釋空氣流率在 4250、3000、2000、1000 cfm，主稀釋道內徑為 14 英吋，氣態污染物在主稀釋道中取樣，採樣溫度低於 191 °C；二次稀釋道內徑為 4 英吋，粒狀污染物於二次稀釋道中取樣，採樣溫度低於 51.7 °C。本系統採用臨界流文氏管(critical flow venturi, CFV)方式，藉由穩定控制文式管二端空氣進出之壓差以及稀釋空氣溫度而達到一定稀釋比例之目的。柴油引擎廢氣排出後導入稀釋管，稀釋氣體以 Spencer 鼓風機(4600 scfm, 127Hp, 3550 rpm)由外界空氣引進，再經濾清器處理後導入稀釋道，整個尾氣稀釋系統，如圖 4-1 所示。

4.1.1.2 動力計操作條件

為正確量測柴油引擎排氣污染量，測試引擎必須依照固定之運轉型態在引擎動力計上(配合路阻模擬)進行測試，本研究即利用非穩態型之美國暫態循環(US Transient Cycle)測試，依據美國 CFR Part 86 Subpart N 所規定之運轉型態，且為目前國內對於重型柴油車(總重大於 3500 kg)排放尾氣之管制測試方法。其測試程序涵蓋各種引擎轉速及負荷狀況，分別由美國的紐約非高速公路與洛杉磯行高速公路和非高速公路在實際路況測試下之柴油引擎運轉型態所組成，其中每一循環耗時 1200 秒；在進行排放污染測試時，首先需進行一個循環之冷啟動測試(cold start)，隨後靜置 20 分鐘再進行另一個循環之熱啟動測試(hot start)污染排放試驗，再依照 CFR 法規所規定之標準計算方法，分別乘上其權重(cold start : hot start = 1:6)得出其複合污染排放指數(emission index)，單位為 g/bhp-hr。其測試程序涵蓋各種引擎轉速及負荷狀況，模擬路況包括高速公路 (Express way)，塞車市區 (Congested urban) 及非塞車市區 (Uncongested urban)，其測試曲線如圖 4-2 所示。

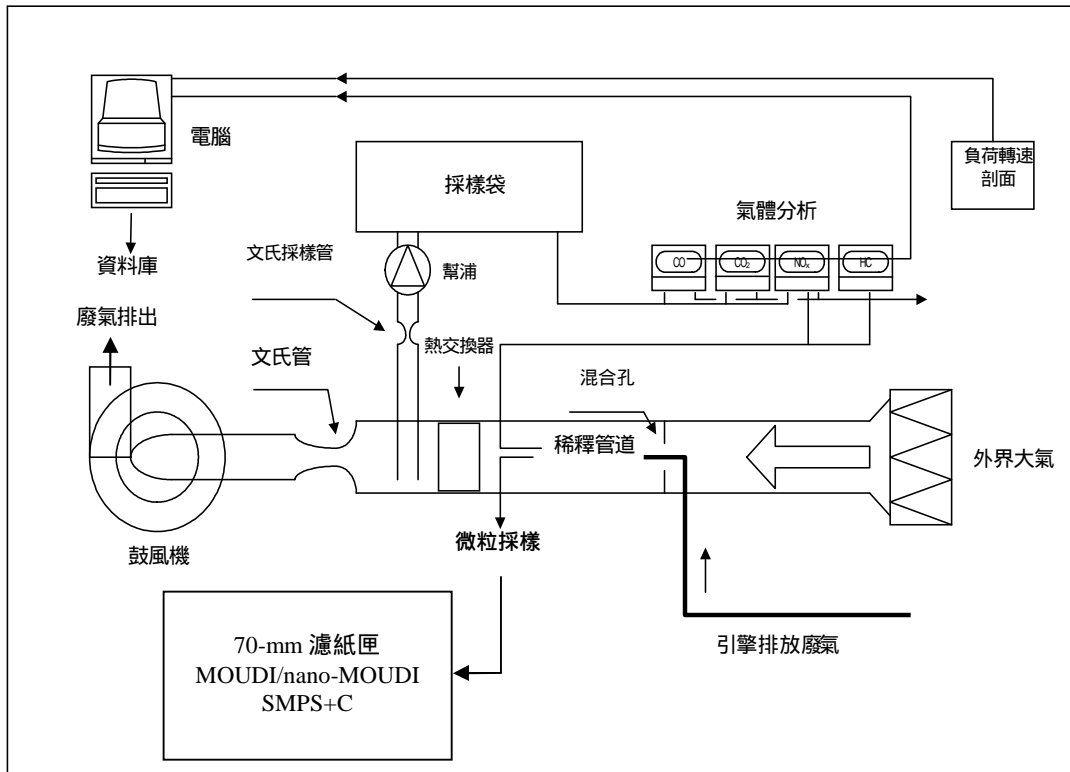


圖 4-1 尾氣稀釋系統示意圖

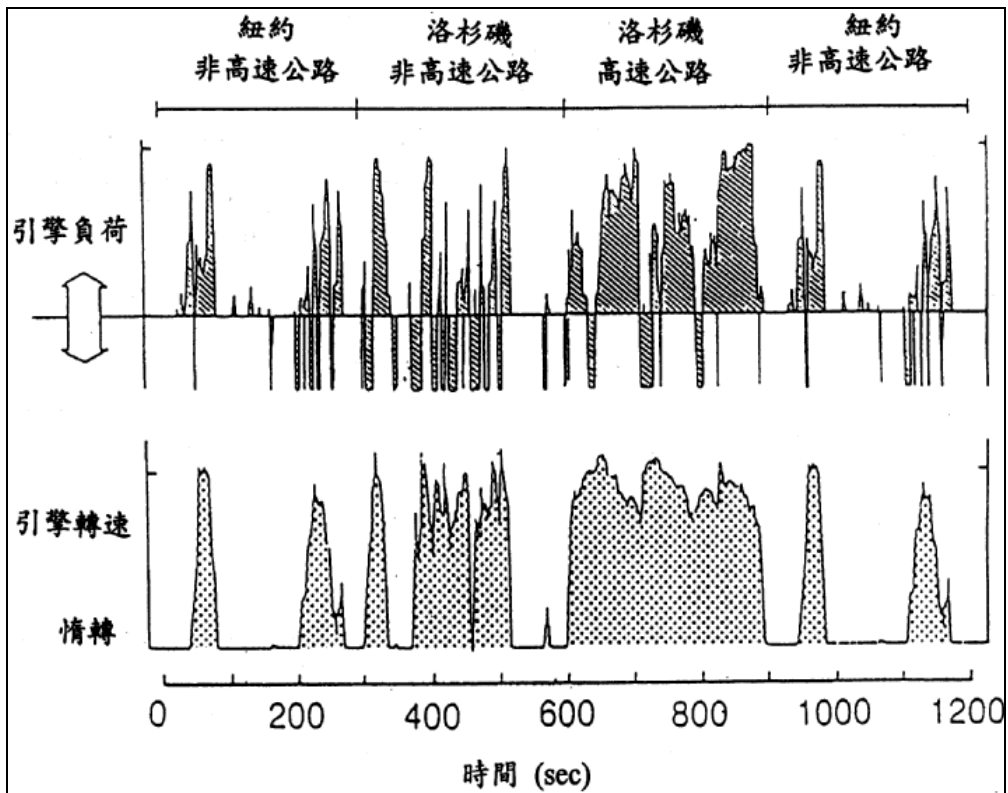


圖 4-2 美國暫態循環測試曲線

4.1.2 微粒分徑採樣與質量分析

4.1.2.1 採樣介質之處理

採樣介質選用石英濾紙，直徑為 47 mm，最底層之 After Filter 濾紙同為石英材質，直徑為 37 mm。採樣前、後將濾紙置於溼度為 45% 的調節箱中平衡 24 小時，待濾紙穩定之後取出以 5 位數天平秤重，所得前後重量差即為該階濾紙收集到的懸浮微粒重量。將各階重量除以該階粒徑範圍之對數差，再以該階粒徑範圍作圖，即可得到質量濃度粒徑分布。

濾紙秤重方面，本研究所採用天平之廠牌為 Sartorius，型號為 CP225D 之五位數天平，靈敏度為 0.00001 g。秤重前須先進行內校正，再以標準砝碼進行外校正，每階濾紙秤重以連續三次秤重之平均值做為代表，但三次秤重值相差不得超過 0.00005 g，且每秤完三階濾紙，再以標準濾紙秤重一次，檢查質量有無飄移現象，若標準濾紙秤重差值超過 0.00005 g，則天平需重新校正，整組濾紙重新再秤重。

4.1.2.2 採樣設備

本研究使用美國 MSP 公司出品之微孔均勻沉降衝擊器 (MOUDI, Model 110) 及奈米微孔均勻沉降衝擊器 (Nano-MOUDI, Model 115) 進行柴油引擎尾氣排放懸浮微粒之採樣，藉由慣性衝擊原理將柴油引擎排放尾氣微粒依氣動粒徑分為十三階，其中粒徑小於 0.1 μm 之微粒稱為奈米微粒，各階可以截取之氣動粒徑 (Aerodynamic Diameter, 50% Cut-Point) 如表 4-1 所示。MOUDI 為一種採集氣懸膠之階段式衝擊器，其構造屬於多層連續式衝擊器裝置，構造包含兩個基本部分，一為階段式衝擊器 (Cascade Impactor)，另一為旋轉器 (Rotator)。各階段間以磁鐵相聯結，並在每階段平板內放置準備採樣之石英濾紙，用以收集不同粒徑大小之顆粒。各階段邊緣具有齒輪凹槽，與旋轉器相連接。同時為了監控壓力之變化，在第五個階段與最底之一層階段下分別各連接一個壓力錶，藉以隨時觀察壓力數值之升降程度，以進行抽氣流量之調整。

當使用 MOUDI 進行採樣時，氣流由最上層階段入口，流量為 30 L/min，氣流中懸浮之顆粒粒徑若是大於該層之截取粒徑，則顆粒將會依慣性原理脫離流線之軌跡而撞擊在平板上，此種過程稱為『衝擊』(Impaction)。而小於該層之截取粒徑的顆粒，則會隨氣流的帶動往下一個階段移動。如此由上而下逐漸縮小其截取粒徑，可將柴油引擎尾氣排放懸浮微粒加以分類收集於濾紙上。

由於 MOUDI 之各階段具有可拆裝的優點，因此在完成採樣後，可輕易地更換新之階段，但於下次採樣前利用正己烷清洗衝擊板，以確保衝擊板之孔洞不會因上次採樣之阻塞，而影響下次採樣之粒徑分析。

表 4-1 MOUDI 與 Nano-MOUDI 個階段截取之氣動粒徑

層級	層編號	截取氣動粒徑範圍(μm)
1	Inlet cut point	> 18
2	Stage 1A	10 ~ 18
3	Stage 2A	5.6 ~ 10
4	Stage 3A	3.2 ~ 5.6
5	Stage 4A	1.8 ~ 3.2
6	Stage 5A	1 ~ 1.8
7	Stage 6A	0.56 ~ 1
8	Stage 7A	0.32 ~ 0.56
9	Stage 8A	0.167 ~ 0.32
10	Stage 9A	0.1 ~ 0.167
11	Stage 10A	0.056 ~ 0.1
12	Stage 11A	0.032 ~ 0.056
13	Stage 12A	0.018 ~ 0.032
14	Stage 13A	0.01 ~ 0.018

4.1.3 微粒分徑採樣與數量分析

4.1.3.1 實驗系統與儀器設備

本研究實驗系統主要包含四個元件：重型柴油引擎、引擎動力計、定容積採樣系統(constant volume sampling, CVS)與微粒數量量測系統。引擎廢氣進入第一稀釋道後，隨即被大量的稀釋氣體進行第一次稀釋(稀釋比約 17)，另有一小部分之第一稀釋道廢氣再於第二稀釋道進行第二次稀釋。而微粒數量量測系統則是連接於第一稀釋道末端，針對次微米($< 1 \mu\text{m}$)微粒數量濃度與粒徑分布進行量測。本研究之數量量測系統包含了一額外之氣體稀釋裝置(稀釋比介於 7–9)，以確保微粒數量濃度範圍落在儀器偵測上限，並於系統末端處設有氣體溫度與溼度計；結果顯示，量測系統中廢氣溫度範圍在 30–32 °C，溼度則在 45–50%。

數量量測設備主要為掃描式電移動度分徑儀與凝結核計數器組合而成之系統(SMPS+C, GRIMM Model 5.500)，前者是依賴靜電脈衝分析儀(differential mobility analyzer, DMA)將 10 – 1000 nm 範圍內的微粒依序分為 44 個較小之粒徑區間，而後者則是負責計數各個粒徑區間之微粒數量。此系統數量濃度量測上限約為 10^8 \#/cm^3 ，敏感度為 1 \#/cm^3 ，而可量測之最小微粒直徑($d_{50\%}$)為 4.5 nm。詳細的儀器設計與原理可參考 Winklmayr et al. (1991)與 Reischl et al. (1997)；簡要的說明如下：經 DMA 選取後之單粒徑微粒(monodisperse aerosol)會經由管線進入 CPC，進入 CPC 中的微粒會先經過攝氏 40

加熱槽與正丁醇(n-butanol)蒸氣混合，再通過攝氏 15 °C 的冷凝管，使得正丁醇氣體能夠凝結在微粒表面上，讓微粒粒徑能增大到約 $20 \mu\text{m}$ ，再由雷射光學偵測器計數微粒數量，收集到之數據資料則儲存於電腦中，供後續統計分析。儀器量測設定上，採樣與護套氣流流量分別為 0.3 與 3.0 L/min。

4.1.3.2 實驗方法

本研究之實驗方法包括流量校正、量測步驟與資料分析等。在進行實驗前、中與後，量測系統中所有氣流流量皆須進行校正與確認，包括量測系統與儀器設備之採樣流量及

稀釋氣體流量等，而使用設備為乾式流量計(DryCal® DC-Lite Primary Flow Meter, BIOS)。量測步驟則分為兩個階段：第一階段是對定容積採樣系統所使用之稀釋氣體進行量測，用以確認微粒數量背景濃度不會影響真實廢氣樣本濃度。結果顯示，背景濃度遠低於樣本之濃度(萬分之一)。第二階段是對引擎暫態循環中所產生之柴油引擎廢氣進行連續之量測；由於儀器設備之一個採樣循環需約 4 min，故於一個引擎暫態循環中可獲得約 5 個數量濃度粒徑分布樣本。

本研究所量測到之微粒數量濃度(N_0 ，單位為#/cm³)為經過兩次稀釋後之結果；一次是在定容積系統中(DR_1)，另一次是在微粒量測系統中(DR_2)。因此，若第一稀釋道之氣體體積為 V_1 ，則第一稀釋道中之微粒數量濃度(N_1)與引擎廢氣中所含之微粒數量(Num ，單位為#)可由下式求得：

$$Num = N_0 \times DR_2 \times V_1 = N_1 \times V_1$$

微粒數量排放係數(emission factor, EF)之常用單位為#/bhp-hr 與#/km，前者可藉量得之 bhp-hr 直接求得，後者則是利用估算之暫態循環行駛距離求得；由於暫態循環之平均行駛速度為 30 km/hr，故在 20 min 測試時間內，其平均行駛距離約為 10.3 km (Giakoumis and Alafouzou, 2009)。依據美國 CFR Part 86 Subpart N 之相關規範，對冷啟動與熱啟動進行權重後，求其加權排放係數(weighted EF)，算式如下：

$$EF_{weighted} = \frac{1}{7} EF_{cold} + \frac{6}{7} EF_{hot}$$

減量效果是依據加權排放係數加以計算，如下：

$$\text{Reduction (\%)} = \frac{EF_{base} - E_{case}}{EF_{base}} \times 100\%$$

4.1.4 微粒中含碳量分析

4.1.4.1 碳含量分析之前處理

將預備做為碳含量分析之濾紙對半剪裁分為兩個部分，其中一份濾紙秤重後不經過任何處理保留做為樣本總碳含量之分析。另一部分之濾紙秤重後進行去除樣本中有機碳之含量，以做為樣本有機碳含量之分析。

將待測有機碳含量之樣本依序放入長 26 cm、內徑 1.3 cm 之半圓柱形石英玻璃槽，再將石英玻璃槽放入高溫爐中(長 90 cm、內徑 1.5 cm、體積為 159 cm³ 之圓柱形石英玻璃管)，石英玻璃管柱之左側通 0.5 lpm 之純氧(氧氣純度 > 99%)。將樣本經由高溫爐加熱至 340 °C 持續 80 分鐘去除樣本中有機碳之含量。而樣本中有機碳之含量為樣本中總碳含量扣除樣本中元素碳含量而得之。

4.1.4.2 碳含量之分析

樣本中之碳含量使用元素分析儀(W.C. Heraeus elemental analyzer CHN-O-Rapid, EA)做為定量儀器。操作方法為將待測之樣本盛於錫金屬容器內，置於樣品自動供給器上，利用重力原理，定期加入 1000 左右燃燒管，在錫之助燃下使樣品燃燒溫度高達 1800 °C，促使樣品足以完全燃燒，再經過銅還原處理後，生成之 N₂、CO₂、H₂O 混合物經過特殊之分離管分離後，可利用熱傳導偵檢器(TCD) 分別測定其含量，再經資料處理機

運算，即可自動列計碳、氫、氮之重量百分比。元素分析儀以乙醯苯胺(Acetanilide, N = 10.36%、C = 71.09%、H = 6.71%、O = 11.80%)做為檢量線，以定量出碳含量。

4.1.5 微粒陰陽離子之分析方法

以 Dionex DX-600 離子層析儀(Ion Chromatography, IC)分析引擎排氣微粒的水溶性離子組成。將 TSP 採樣器及 MOUDI plus NanoMOUDI 採集排氣微粒的石英濾紙經溫度、濕度調理後稱重切分，其中 TSP 濾紙及每一粒徑分階之 1/8 張濾紙分別放入 PE 瓶中，加入 10.0 mL 之純水，封緊瓶口，置入超音波震盪萃取器(Branson 5210)振盪萃取 90 分鐘，再以 0.2 μm 之醋酸酯纖維濾紙過濾，過濾後之萃取液置入有蓋的試管，放入 -18 $^{\circ}\text{C}$ 之冷凍箱內存放，避免物種揮發損失，直到分析前再將樣品置入 4 $^{\circ}\text{C}$ 之冷藏箱內解凍成濾液，注入 IC 分析，微粒陰離子以 IonPac AG14 及 AS14 (250 \times 4mm ID)、Anion Self-Regenerating Suppressor (ASRS-ultra II)分析，分析的陰離子包括 F $^{-}$ 、Cl $^{-}$ 、Br $^{-}$ 、NO $_2^{-}$ 、NO $_3^{-}$ 、SO $_4^{-}$ 。此層析以等速沖提方式(isocratic program)進行，注射體積 500 μL ，流洗液為 0.5mM Na $_2$ CO $_3$ /0.5mM NaHCO $_3$ ，沖提流洗流速為 1.4 mL/min。另外，再以 25 μL 濾液，以 IonPac CG12A 及 CS12A (250 \times 4 mm ID)、Cation Self-Regenerating Suppressor (CSRS-ultra II)分析，流洗液為 20 mM MSA，沖提流洗流速為 1.0 mL/min，分析包括 Na $^{+}$ 、NH $_4^{+}$ 、K $^{+}$ 、Ca $^{2+}$ 、Mg $^{2+}$ 之水溶性陽離子。

本研究樣品分析之品保品管根據行政院環保署之環境檢驗品質管制指引通則，做為以 IC 分析柴油引擎排放微粒無機鹽類之依據，在分析樣品前先行製備檢量線(Calibration curve)，檢量線乃以水溶性無機鹽類標準溶液依濃度由低至高之次序注射 5-7 個不同濃度，所得之波峰積分面積，再利用直線最小平方法求得直線之迴歸檢量線，其線性相關係數 r 大於 0.995 始才用之，無機鹽類之回收率則平均在 95.8 ~ 108.3%。

4.2 柴油引擎排放微粒毒物分析

4.2.1 微粒中 PAHs 分析

將濾紙置於小型索氏萃取器 (高 16 cm，內徑 4 cm) 中，萃取器底下之圓底燒瓶之容積為 300 mL，內置 250 mL 的正己烷，萃取 24 小時，每小時 4 個循環。萃取完畢後，讓萃取器冷卻。萃取液以高純度氮氣吹拂法濃縮。氮氣吹拂法，係將樣品以高純氮氣緩慢吹拂濃縮樣品至約 1.5 mL。在最初使用之前，先用正己烷清洗淨化管以去除任何微量之污染物。之後將 2 mL 之樣本倒入淨化管內再加入 25 mL 之正己烷沖洗管柱內殘留之 PAHs，再以體積 10 mL 之乙基乙醚與 200 mL 之正己烷混合液倒入淨化管中，由三角錐瓶收集淨化液。淨化過後之溶液再以氮氣吹拂至 0.5 mL，裝於密閉之玻璃瓶內，以 GC/MS 分析。

4.2.2 微粒中 PCDD/Fs 及 PBDEs 分析

將已經 GC/MS 分析之 GC 小瓶溶液轉移至 6 dram 樣品試管，加入 7 mL 之正己烷，並加入替代標準品工作液 AS 30 μL 。再加入 4 mL 之濃硫酸，以超音波震盪器震盪至少 10 min。將完成酸洗之正己烷溶液直接轉移至酸性矽膠管柱，全部轉移完成後，再以(5 mL/次 \times 2)正己烷轉移至淨化管柱，再以 20 mL 正己烷流洗淨化管柱，流洗液以濃縮瓶收集，並減壓濃縮之。將酸性矽膠管柱編號儲存。以(2 mL/次 \times 3)正己烷轉移濃縮瓶之有機溶液至氧化鋁管柱。依序以 10 mL 正己烷(以上可丟棄)，15 mL 二氯甲烷/正己烷(4/96, v/v)溶劑，流洗液收集於瓶中，編號儲存，此部分溶液中含有非平面型 PCBs。以 25mL

之二氯甲烷/正己烷(40/60, v/v)溶劑流洗氧化鋁管柱，流洗液收集於濃縮瓶，並減壓濃縮至近乾。另將氧化鋁管柱編號儲存。以(2 mL/次×2)正己烷轉移濃縮瓶之有機溶液至活性炭/矽藻土管柱。再以 5 ml 甲苯/甲醇/乙酸乙酯/正己烷(5/5/10/80, v/v) 移入活性炭淨化管柱，以上流出液皆合併於 6 dram 瓶中，此部分含平面型 PCBs、PBDE、及 PBB。再以 50 mL 甲苯溶劑流洗活性炭管柱，收集於平底燒瓶，利用減壓濃縮將流洗液濃縮至近乾，再以適量溶劑轉移至注射樣品瓶，以氮氣吹至近乾，加入戴奧辛回收標準品工作液 RS 15 μ L，待進行儀器分析，此部分含有氯化戴奧辛及溴化戴奧辛。含有平面型 PCBs、PBDE、及 PBB 中之 6 dram 瓶，加入 PBDE 回收標準品工作液 RS 15 μ L，待進行儀器分析。

4.3 柴油引擎排放控制技術評估

柴油引擎排放控制技術包括引擎燃燒室的改良設計、噴油系統改良設計、廢氣循環再燃燒系統、觸媒轉化器、粒狀污染物攔截設備、改良柴油品質、使用燃料添加劑。此年度為首次利用動力計評估控制技術的效益，從可行性方面考量，控制技術將著重於不同油品和加裝濾煙器的減量技術為主。

4.3.1 市售超級柴油及低硫超級柴油之油品物理化學特性

首先以目前市售含硫量 50 ppmw 超級柴油(B1(S50))進行物化特性分析，以瞭解市售超級柴油的品質現況，並作為含硫量 10 ppmw 超級柴油(B1(S10))的比較依據。油品物理化學特性及分析方法如表 4-2 所示，包括含硫量、總芳香烴含量、十六烷指數等柴油物化特性的基本參數比較。

4.3.2 濾煙器原理與規格

本研究使用之氧化觸媒濾煙器平面圖如圖 4-3，其濾材為壁流式且為主動再生型濾煙器，廢氣通過一蜂巢狀陶瓷濾芯，並於陶瓷濾芯上塗佈一層催化薄膜，陶瓷濾芯利用堇青石(Cordierite)陶瓷塑成多孔(100 孔/inch²)圓柱形。濾芯一通道一端是開口，另一端則封閉，迫使黑煙排氣由多孔陶瓷壁穿過以達到過濾黑煙之效果。此濾煙器前端並加裝一段 DOC，廢氣進入濾煙器前先通過 DOC 以氧化 CO 與 HC。此濾煙器詳細規格如表 4-3 所示。

表 4-2 油品物理化學特性

檢驗項目	B1(S50)	B1(S10)	單位	檢驗方法
閃火點	79	72		ASTM D93 & CNS 3574
蒸餾溫度,T95	349.3	349.8		ASTM D86 & CNS 1218
10%蒸餾殘渣藍氏殘碳量	0.07	0.05	wt%	ASTM D524 & CNS 3776
密度,@15	0.8386	0.8408	g/ml	ASTM D4052 & CNS 14474 & NIEA A204. 72C
銅片腐蝕性@50	1A	1A		ASTM D130 & CNS 1219
CFPP	-9	-7		EN116 & CNS15061 &ASTM D6371
灰分	<0.001	<0.001	wt%	ASTM D482 & CNS 3576
淨熱值	10259	10244	cal/g	ASTM D240
十六烷指數	53.3	51.0		ASTM D976
顏色	1.0	0.5		ASTM D1500
動力黏度@40	3.117	2.925	cSt	ASTM D445 & CNS 3390
水份及沉澱物	<0.0005	0.005	vol%	ASTM D2709 & CNS 14766
十六烷值		52.0		ASTM D613
硫	34.5	7.3	ppmw	ASTM D4052 & NIEA A446. 71C & CNS 14505
碳	85.14	86.22	wt%	ASTM D-5291
氫	13.26	13.29	wt%	ASTM D-5291
熱值	10931	10918	cal/g	ASTM D240 (gross)
脂肪酸甲酯	1.23	1.11	vol%	FAME amounts in Diesel by Mid-IR analysis
多環芳香烴	6.0	4.3	%	ASTM D6591 & NIEA A504. 71C
總芳香烴	28.2	30.0	%	ASTM D6591 & NIEA A504. 71C

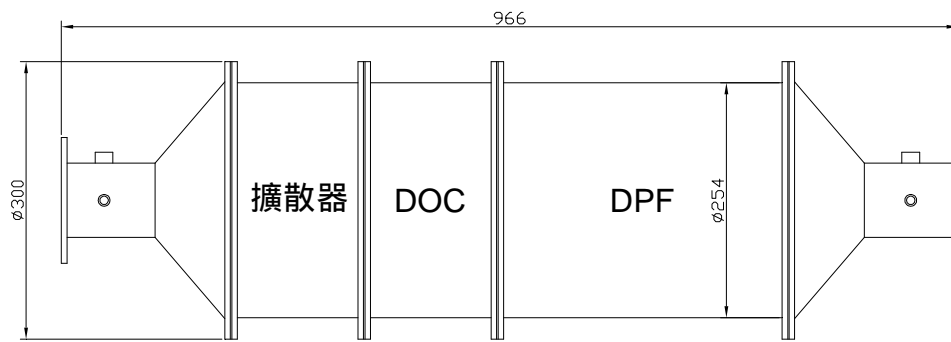


圖 4-3 濾煙器平面圖

表 4-3 本研究濾煙器詳細規格

項目	單位	數值
主晶相含量	%	85
孔數	孔/inch ²	100
壁厚	mm	0.7 ± 1%
開孔面積	%	65
容重	g/cm ²	0.5
氣孔率	%	45-50
微孔孔徑	μm	2-3
吸水率	%	25-30
熱膨脹係數	10 ⁻⁷ /(800)	15-18
軟化溫度		1360
抗壓強度	Mpa	A 向 12 B 向 4
比表面積	m ² /g	5-10
外型尺寸	mm	圓形, 外徑 240 ± 1.5, 內徑 305 ± 1%

第五章 結果與討論

5.1 柴油引擎排放微粒採樣分析

5.1.1 氣態污染物監測

本計畫於不同測試條件下 HC、CO、CO₂ 與 NO_x 氣態污染物排放係數列於表 5-1，結果顯示在四種不同條件下之暫態循環測試，CO₂ 的排放係數並無明顯差異，但在 DOC 測試較 B1(S50)測試 HC 污染物減量 39%，而 DPF 較 B1(S50)對 HC 污染物減量 29%，CO 再加裝 DOC 與 DPF 兩種減量技術下相較於 B1(S50)也都有減量的效果，減量效果分別為 33%與 45%，HC 與 CO 的減量推測為 DPF 與 DOC 前端氧化觸媒的作用；NO_x 方面，B1(S50)、B1+DOC、B1(S10)並無明顯差異，但 DPF 測試 NO_x 較 B1(S50)增量 23%。

穩態測試條件下，可明顯看出 Idle 氣態污染物排放係數皆高於 Low load 之測試 11-53 倍，顯示車輛在惰轉因引擎燃燒不完全故每單位 bhp-hr 排放出更多污染物。

表 5-1 不同測試條件下 HC、CO、CO₂ 與 NO_x 氣態污染物排放係數

Test type	HC (g/bhp-hr)	CO (g/bhp-hr)	CO ₂ (g/bhp-hr)	NO _x (g/bhp-hr)
B1(S50)	0.38	1.34	649.06	5.03
B1+DOC	0.23	1.01	652.76	5.07
B1(S10)	0.38	1.44	647.82	5.04
B1+DPF	0.27	0.74	642.77	6.21
Idle	10.17	23.42	4535.02	98.90
Low load	0.36	0.44	427.36	8.15

5.1.2 微粒分徑採樣與質量分析

5.1.2.1 暫態：微粒質量排放係數與粒徑分布

表 5-2 為不同控制技術下，重型柴油引擎 PM 與 PM_{2.5} 排放係數與減量效率。從表中可知，本研究重型柴油引擎在未加裝濾煙器前(B1(S50)與 B1(S10))，其 PM 排放係數遠低於 82 年之排放標準(0.7 g/bhp-hr)，但高於 95 年之排放標準(0.1 g/bhp-hr)；於加裝濾煙器後，其 PM 排放係數剛好可以合乎 95 年之排放標準，但無法符合 101 年之排放標準 0.01 g/bhp-hr。此外，B1(S10)、DOC 與 DPF 皆有微粒減量的效果，B1+DPF 的 PM 與 PM_{2.5} 之減量效率分別為 78.9%與 85.3%，B1+DOC 的 PM 與 PM_{2.5} 之減量效率分別為 42.8%與 45.5%，B1(S10) 的 PM 與 PM_{2.5} 之減量效率分別為 7.8%與 11.9%。

表 5-2 不同柴油引擎操作狀態之 PM 與 PM_{2.5} 排放係數與減量效率

測試條件	PM 排放係數 (g/bhp-hr)	PM 減量效率 (%)	PM _{2.5} 排放係數 (g/bhp-hr)	PM _{2.5} 減量效率 (%)
B1(S50)(基準)	0.166	-	0.143	-
B1(S10)	0.153	7.8	0.126	11.9
B1+DOC	0.095	42.8	0.078	45.5
B1+DPF	0.035	78.9	0.021	85.3

裝設 DPF 之柴油引擎廢氣 PM 質量粒徑分布如圖 5-1。其結果顯示為雙峰分布，主要粒徑出現於 0.18~0.32 μm 和 10~18 μm 的範圍。從圖中可看出 0.1 μm 以下的微粒佔的比例甚小，可能為 DPF 針對奈米微粒的去除效率甚高。就總質量(PM)而言 PM_{2.5} 佔 62%、PM₁₀ 佔 85%，可知較大粒徑的微粒，在柴油引擎廢氣的排放佔有相當程度的比例，可能與機械力產生(mechanically-generated)之微粒有關，如引擎系統之鏽蝕物質或稀釋道管壁積碳物的脫落等(EPA, 2007)。

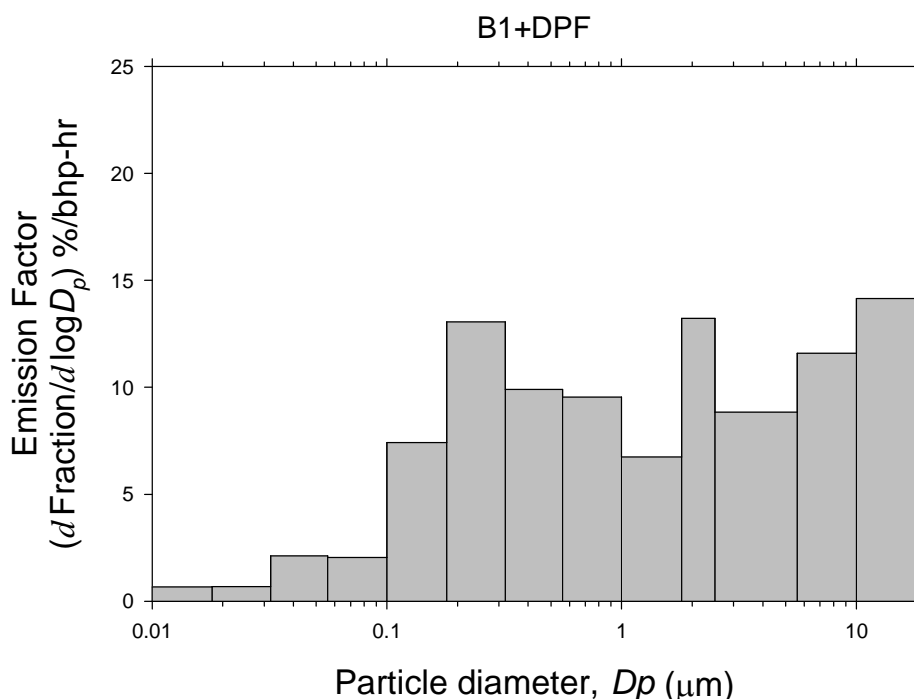


圖 5-1 B1+DPF 排放微粒質量分率粒徑分布情形

5.1.2.2 穩態：微粒質量排放係數與粒徑分布

穩態測試條件下，在惰轉與低負載的排放係數分別為 4.98 g/bhp-hr 與 0.18 g/bhp-hr。其顯示當引擎在惰轉時，排放廢氣質量約為低負載時的 27.7 倍，可看出引擎在惰轉的操作下，其質量排放濃度會有明顯的增量。

圖 5-2 為在惰轉下的粒徑分布，結果顯示微粒粒徑呈三峰分布，其波峰主要位於 0.032~0.056、0.1~0.18 及 5.6~10 μm 。可看出質量分布在 1 μm 以下占大多數，其顯示在引擎惰轉的情況下，比較容易產生 1 μm 以下的微粒。

低負載操作下質量粒徑分布結果如圖 5-3，可看出在低負載的操作下，粒徑呈多峰分布，大致在 0.18~0.32 μm 有比較明顯的波峰外，其餘都為較小的波峰。可推測在低負載的操作下，質量分布除了約在 0.3 μm 外，其他粒徑分布比較平均。與惰轉相比較，可看出兩者在 0.02~0.03 和 0.1~0.3 都有相對比較明顯的質量分布。其顯示在穩態下，惰轉和低負載在此兩區間的粒徑都具有相當的質量。

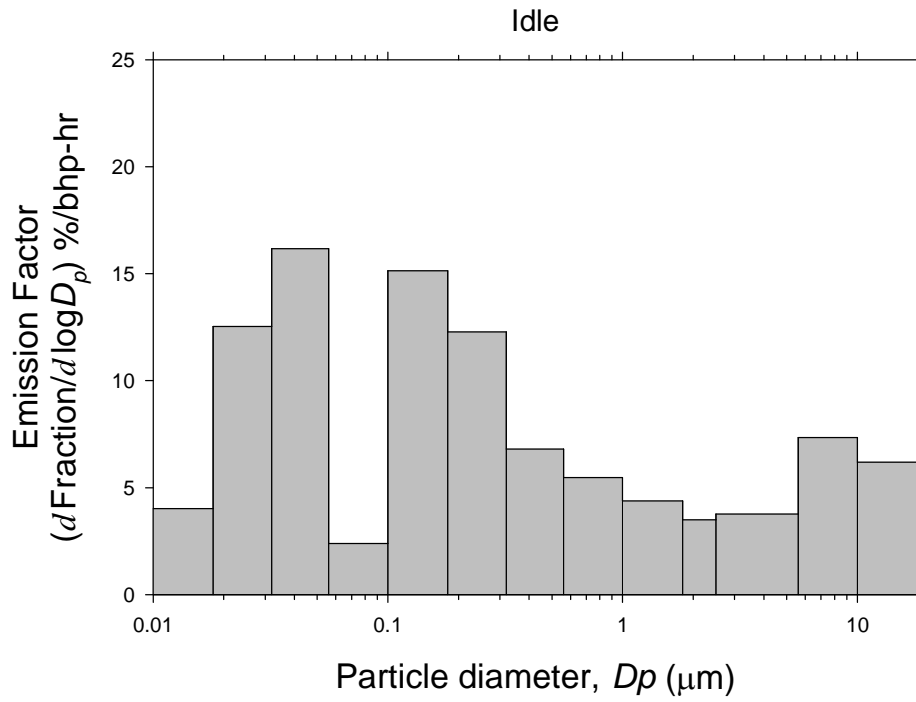


圖 5-2 穩態-惰轉下排放微粒質量分率粒徑分布情形

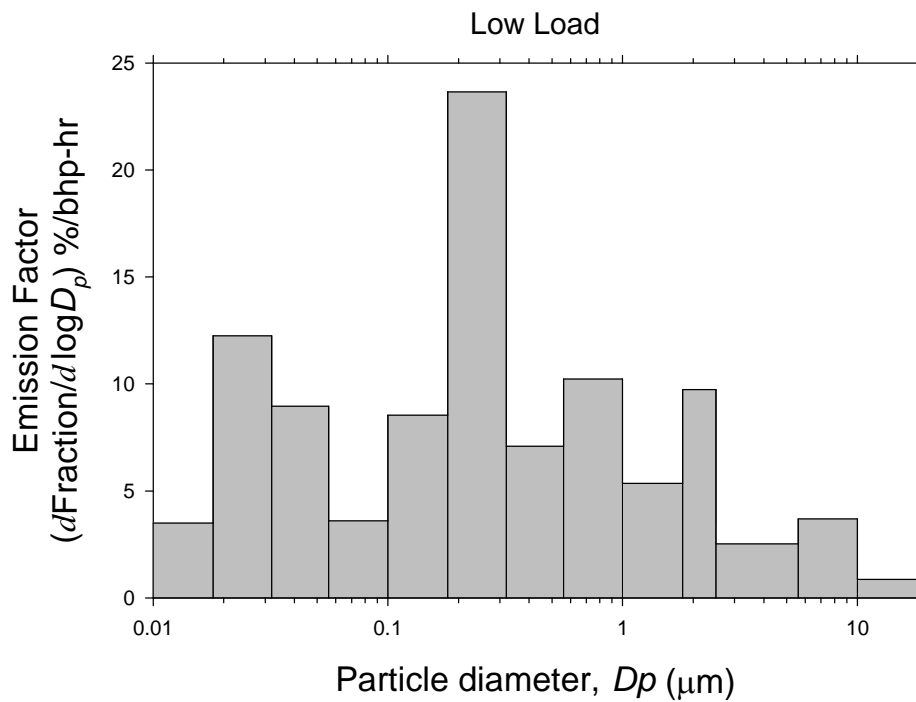


圖 5-3 穩態-低負載下排放微粒質量分率粒徑分布情形

5.1.3 微粒分徑採樣與數目分析

5.1.3.1 暫態:微粒數目排放係數與粒徑分布

就冷與熱啟動之加權平均值而言，如圖 5-4 所示，B1(S50)之數目排放係數最高，接著依序為 B1(S10)、B1+DOC，最低為 B1+DPF，其排放係數分別為 1.88×10^{15} 、 1.49×10^{15} 、 0.42×10^{15} 、 6.7×10^{12} #/bhp-hr；與表 2-2 先進國家之排放係數比較(1.8×10^{12} - 7.3×10^{15} #/km)，結果顯示本研究量測得排放係數相似；而在加裝濾煙器時，排放係數落在較低的範圍。從此初步結果可知，在相同未加裝濾煙器下，B1(S10)之排放係數稍微低於 B1(S50)之排放係數；此外，在相同油品下，是否加裝濾煙器之排放係數顯著低於 B1(S50)之排放係數。進一步探討減量效率表 5-3 是依據 B1(S50)為基準(base)之數目排放減量估算；結果顯示，在使用不同油品情況下，測試條件 B1(S10)在次微米微粒之排放數目上有約 20%減量效果，在 B1+DOC 有 78%減量效果，而 B1+DPF 則有 99.6%的減量效果。由此可知，低硫柴油之使用對次微米微粒排放數目有些微之減量效果，而加裝濾煙器則有顯著之減量效果。

暫態循環測試中包含了非常多的引擎操作條件(轉速、負載)，為了瞭解即時的數目排放係數變化，本研究直接使用 CPC 進行逐秒之數目濃度量測。圖 5-5 為 B1+DPF 條件下兩次循環所測得之數目排放係數變化情形，圖中顯示 CPC 之重複測量結果非常一致。在 620~800 秒時可知看出數目排放係數有明顯高峰濃度；將其對照暫態循環測試條件，此波峰位於模擬洛杉磯高速公路行車型態。由此可知，在高負載及高轉速的情況下對引擎排放廢氣中的數目排放係數有明顯的增量。

圖 5-6 為 B1(S50)、B1+DOC、B1+DPF 與 B1(S10)之次微米微粒數目排放係數-粒徑分布。在 B1(S50)測試條件下，其粒徑分布之主要波峰(排放係數最高)位於 25 nm，另有一次要波峰位於 40 nm；在 B1+DOC 下，其粒徑分布之主要波峰(排放係數最高)位於 23 nm，另有一次要波峰位於 57 nm；而在 B1+DPF 下，其粒徑分布主要波峰與 B1+DOC 大致相似，但在 11 nm 和 214 nm 出現較前兩波峰較高，而在 214 nm 下出現最高波峰；在 B1(S10)下，其粒徑分布之主要波峰(排放係數最高)位於 36 nm，另有一次要波峰位於 132 nm。整體而言，在 B1(S50)、B1+DPF、B1(S10)測試條件，其次微米微粒數目排放係數-粒徑分布皆呈現雙峰分布(bimodal)；另值得注意的是，在接近 10 nm 處(本研究儀器之偵測下限)之數目排放係數似乎有上揚的趨勢，顯示引擎廢氣中可能含有相當濃度之粒徑小於 10 nm 的微粒。而在 B1+DPF 測試條件，可看出在接近 10 nm 處有上升趨勢。Kittelson et al. (2006)、Wang et al. (2006)與 Zervas and Dorlhène (2006)也都於其研究結果中觀察到前述相同的情形，亦即在 10 nm 處微粒濃度或排放係數隨粒徑之減小而增大。此外，從粒徑分布圖中可知，引擎廢氣中絕大部分(> 90%)之微粒數目是由粒徑小於 100 nm 之超細微粒所貢獻。

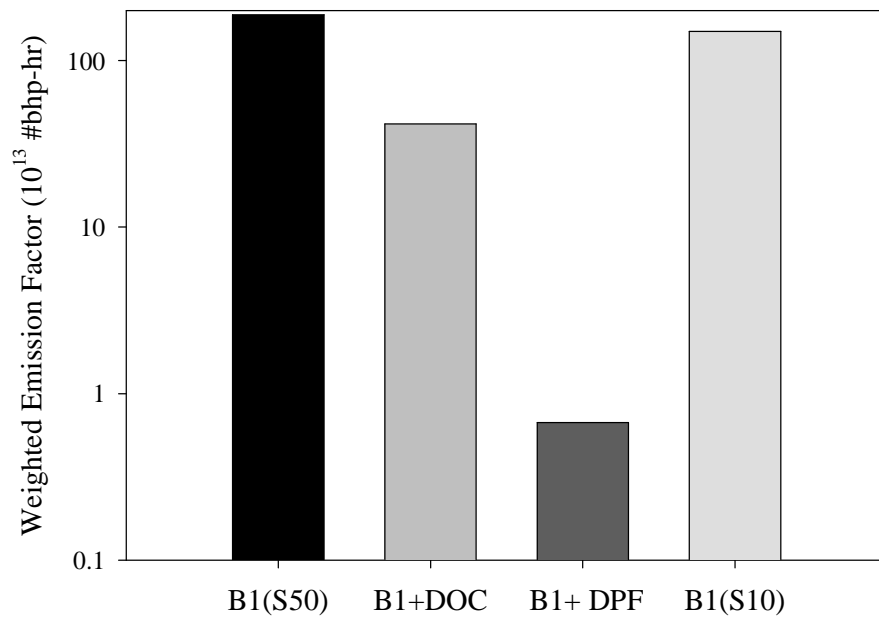


圖 5-4 四種測試條件之微粒數目排放係數

表 5-3 以 B1(S50)為基準之微粒減量效果

Engine test type	Number (10 ¹³ #/bhp-hr)	Reduction (%)
B1(S50)	188.32	-
B1+DOC	41.61	77.9%
B1+DPF	0.67	99.6%
B1(S10)	149.82	20.4%

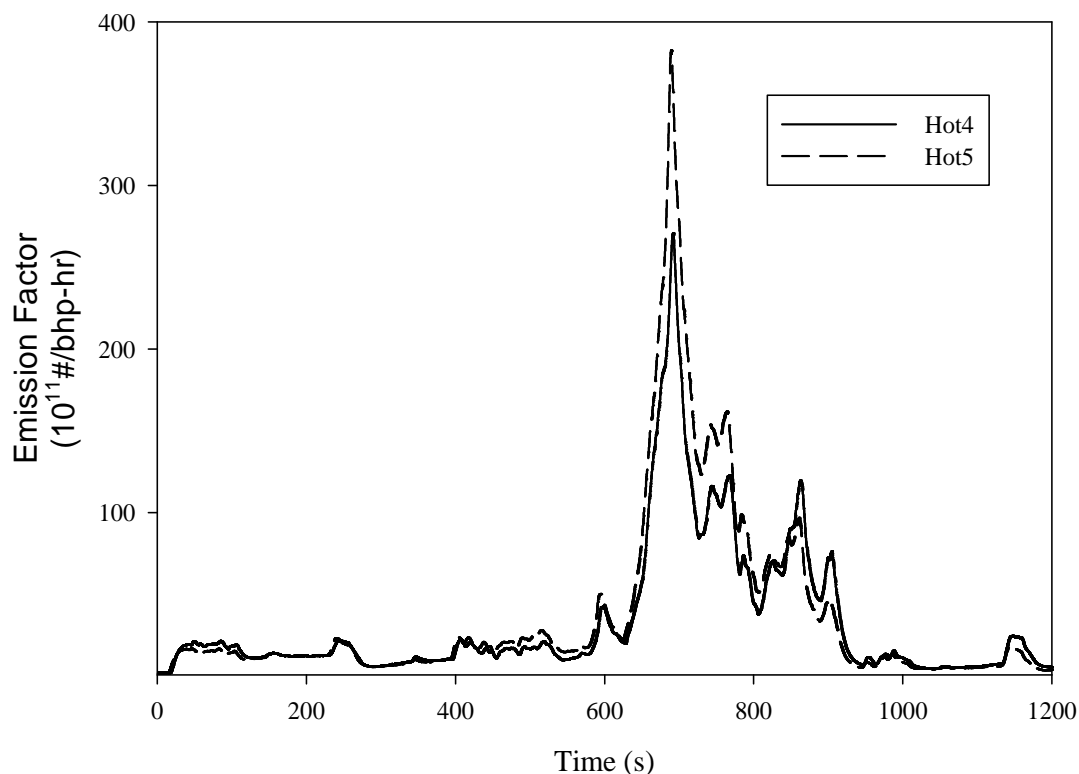


圖 5-5 使用 B1+DPF 下逐秒之數目排放係數變化 (未調整稀釋比例)

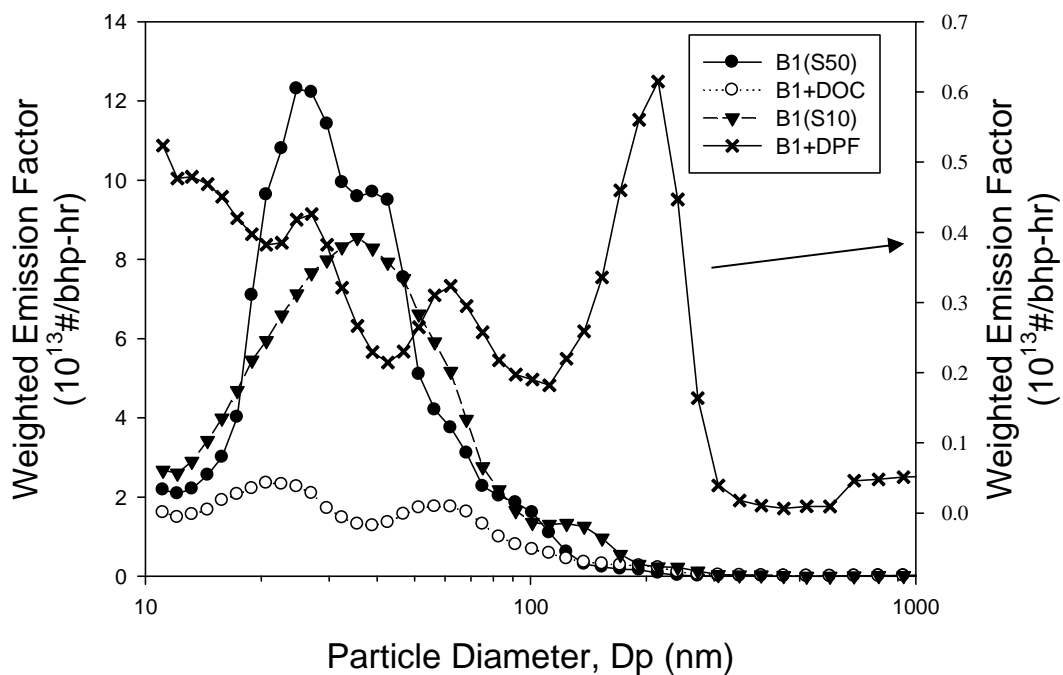


圖 5-6 B1(S50)、B1+DOC、B1+DPF 與 B1(S10)之次微米微粒數目排放係數粒徑分布；

B1+DPF 因排放係數遠低於其他操作條件，故其座標另至於右方縱軸

5.1.3.2 穩態:微粒數目排放係數與粒徑分布

就惰轉與低負載情況下之數目濃度由表 5-4 所示，依序 21.16×10^{15} 和 1.24×10^{15} #/bhp-hr，可看出引擎在惰轉情況下，排放的廢氣數目濃度為低負載時的 17 倍以上；由表中看出各 RSD 都非常小，表示在穩態測試情況下，微粒數目排放特性有相當程度的一致性。將兩者與暫態循環 B1(S50)平均排放數目濃度 1.88×10^{15} #/bhp-hr 比較，可知在穩態惰轉操作下排放係數多 11 倍；而在低負載操作下，則比暫態數目排放係數低。由此可知，引擎惰轉時，具有相當程度的數目排放。

表 5-4 穩態不同負載下之次微米($< 1 \mu\text{m}$)微粒數目濃度(10^{15} #/bhp-hr)

Test type	Idle			Low Load		
	Sample size	Mean	RSD (%)	Sample size	Mean	RSD (%)
Hot 1	2	31.79	37	5	1.04	16
Hot 2	5	21.57	33	5	1.43	13
Hot 3	5	15.34	34			
Average	12	21.16	41	10	1.24	22

圖 5-7 為惰轉與低負載之數目濃度粒徑分布。在這兩個測試條件下，其粒徑分布都呈現單峰分布；在惰轉下，主要波峰位於 29 nm，且整體粒徑分布較寬廣；在低負載下，其粒徑分布主要波峰位於 51.3 nm 且集中。由此結果可看出在穩態操作條件下所測得之粒徑分布有非常好的再現性，且可了解不同引擎操作條件其主要產生的微粒粒徑，進而作為探討暫態循環時，其粒徑來自何種操作條件的判定。

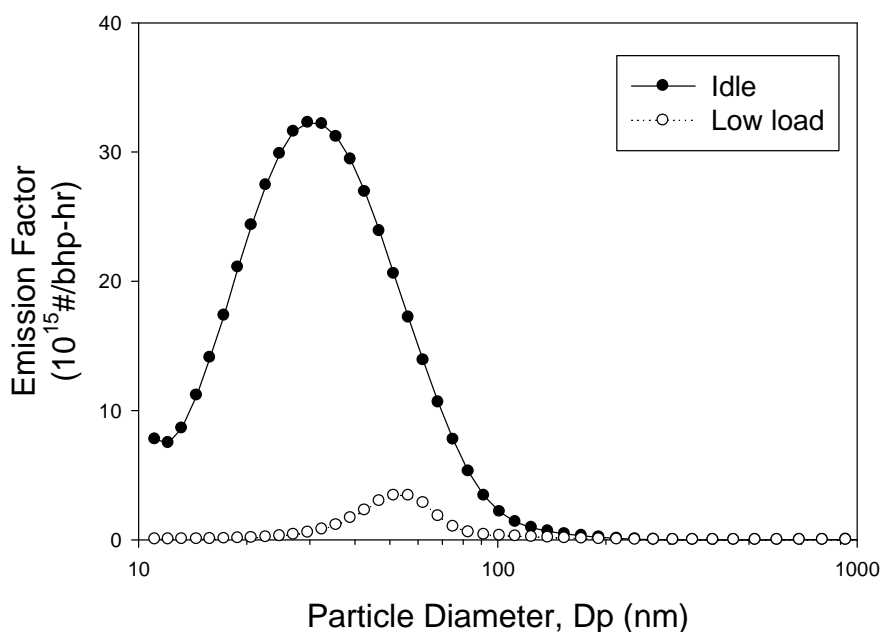


圖 5-7 惰轉與低負載條件下之次微米微粒數目排放係數粒徑分布

5.1.4 微粒中含碳量分析

本計畫針對柴油引擎排放尾氣中 PM 進行含碳量分析，實驗的參數為 B1(S50)與 B1(S10)，排放係數結果如圖 5-8 所示，從質量排放係數結果可看出使用 B1(S10)油品減量 8%，在 TC 部分排放係數減量與質量減量相當約 9%，使用低硫油品主要碳成分減量為 EC 部分，約減量 14%，但 OC 排放係數卻有些許的增加。

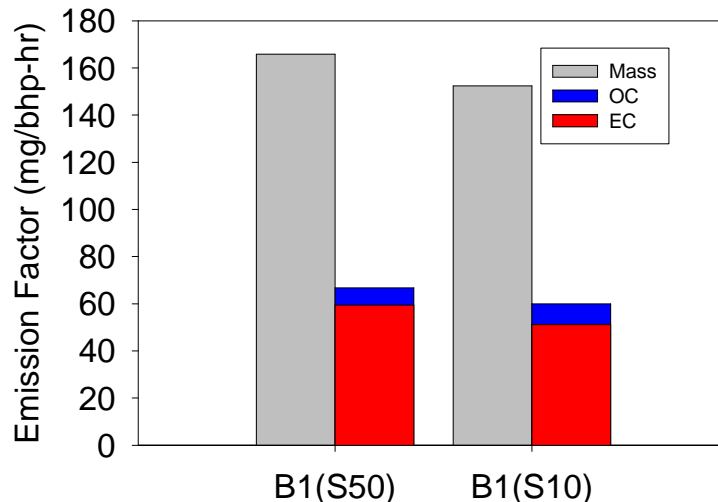


圖 5-8 柴油車引擎使用 B1(S50)與 B1(S10)之碳排放係數

5.1.5 柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 微粒水溶性陰陽離子排放特性

本研究使用 PM 完整採集微粒的成分，進一步以 MOUDI plus Nano MOUDI 的物種粒徑分布切分物種在 PM_{2.5} 所佔質量比例為柴油引擎微粒水溶性離子排放特性研究，圖 5-9 為使用市售超級柴油 B1(S50)之引擎排放廢氣的 PM_{2.5} 微粒物種排放係數，PM_{2.5} 總離子排放係數為 6.68 mg/bhp-h，其離子物種以 Cl⁻之排放係數 1.94 mg/bhp-h 為最高，其次的陰離子物種為硫酸鹽與硝酸鹽，分別為 0.46 mg/bhp-h 及 0.31 mg/bhp-h，僅為 Cl⁻之排放係數的 1/4 與 1/6，而陽離子排放係數最高是鉀離子，為 1.31 mg/bhp-h，其次為 Na⁺，Ca²⁺，NH₄⁺，最低者為鎂離子，其排放係數為 0.09 mg/bhp-h，為最大排放係數 Cl⁻的 4.71%，顯示使用 B1(S50)之柴油引擎排放水溶性離子物種之排放強度存在極大的差異。

圖 5-10 為使用 B1(S10)之柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 相對於市售 B1(S50)超級柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值，使用 B1(S10)柴油之引擎廢氣排放 PM_{2.5} 的 Cl⁻的排放係數較 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 的 Cl⁻有一定比例增加。使用 S10 柴油之引擎廢氣 PM_{2.5} 的 NO₃⁻及 SO₄²⁻排放係數分別為 B1 柴油引擎廢氣排放的 97.0% 及 65.3%，分別較 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 的 NO₃⁻及 SO₄²⁻減量 3.0% 及 34.7%，顯示使用 B1(S10)柴油對引擎廢氣減少 NO₃⁻及 SO₄²⁻排放有助益，但對 SO₄²⁻的減量較為明顯，此一結果與 Zhang et al. (2009)發現使用低硫柴油燃料不一定會使硫酸鹽排放減少的結果不盡相同，但同於 Wall et al. (1987)所研究的降低燃油硫含量可減少二氧化硫和硫酸排放的研究結果。其他由廢氣 PM_{2.5} 的陽離子 Na⁺，NH₄⁺，K⁺，Ca²⁺及 Mg²⁺的排放係數比較亦發現，使用 B1(S10)柴油之引擎排放廢氣之 PM_{2.5} 陽離子排放係數較 B1(S50)柴油引擎廢氣排放的 PM_{2.5} 陽離子排放係數亦有介於 33.5~40.0% 的排放減量，顯示使用 B1(S10)柴油對引擎廢氣減少排氣 PM_{2.5} 微粒 Na⁺，NH₄⁺，K⁺，Ca²⁺及 Mg²⁺的排放有明顯助益。

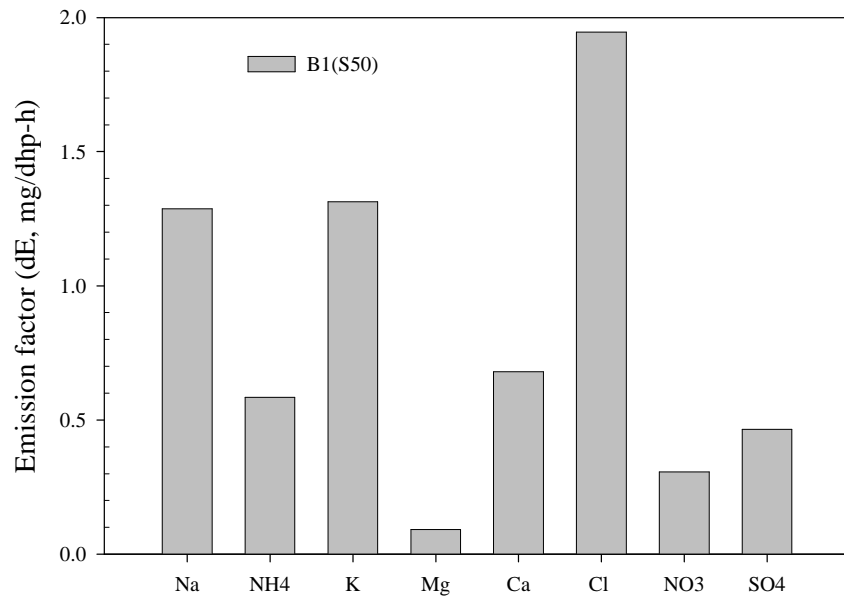


圖 5-9 市售超級柴油 B1(S50)之引擎排放廢氣 PM_{2.5} 離子物種排放係數

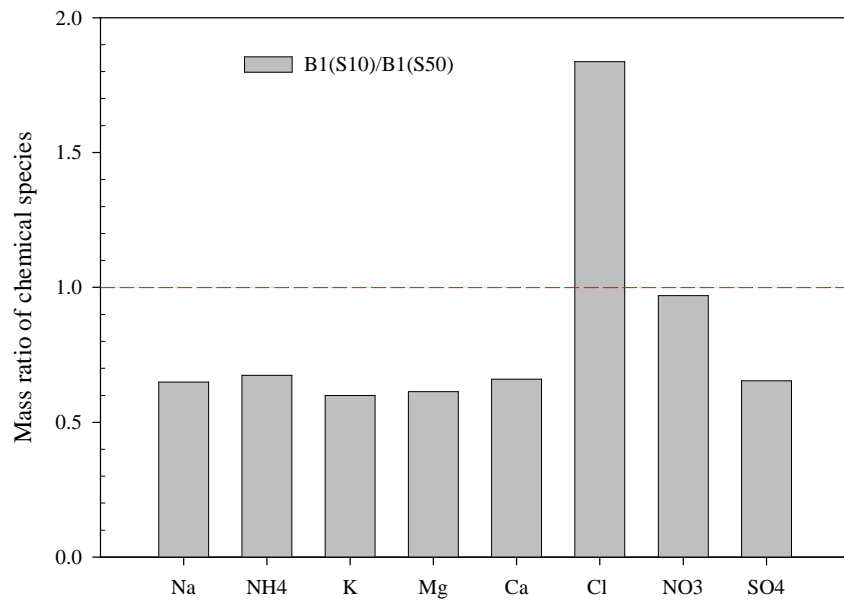


圖 5-10 使用 B1(S10)低硫柴油與 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值

圖 5-11 為 B1+DPF 柴油引擎排放廢氣之 PM_{2.5} 微粒水溶性離子物種排放係數分佈。PM_{2.5} 總離子排放係數為 2.32 mg/bhp-hr，其離子物種以 Cl⁻ 之排放係數 1.07 mg/bhp-hr 為最高，其次的陰離子物種為硫酸鹽與硝酸鹽，分別為 0.32 mg/bhp-hr 及 0.18 mg/bhp-hr，僅約為 Cl⁻ 之排放係數的 1/3 與 1/6，而陽離子排放係數最高的是鉀離子，為 0.25 mg/bhp-hr，其次為 Na⁺、Ca²⁺、NH₄⁺，最低者為鎂離子，其排放係數為 0.03 mg/bhp-hr，為最大排放係數 Cl⁻ 的 2.55%。

以柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 的各別水溶性離子排放係數比較，圖 5-12 為 B1+DPF 之引擎廢氣排放 PM_{2.5} 相對於 B1(S50) 引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值，各水溶性離子物種皆有減量 30% 以上的效果，但以陽離子的減量較陰離子為佳，其中 NH₄⁺ 的排放減量最多，裝設 DPF 之引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之 NH₄⁺ 排放係數為 B1(S50) 引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之 NH₄⁺ 排放係數的 13.2%，Na⁺ 與 K⁺ 排放減量比例居次，裝設 DPF 之引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之 Na⁺ 及 K⁺ 排放係數為 B1(S50) 引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之 NH₄⁺ 與 K⁺ 排放係數的 18.5% 及 19.4%；陰離子方面裝設 DPF 較 B1(S50) 引擎廢氣排放 Cl⁻ 減量 38.8%，NO₃⁻ 及 SO₄²⁻ 分別減量 40.5% 及 30.8%。

B1+DPF 與 B1+DOC 柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數的比較如圖 5-13 所示，裝設 DPF 所排放的 PM_{2.5} 微粒離子排放係數均較使用 DOC 所排放的微粒低，尤其是裝設 DPF 所排放的微粒 NH₄⁺ 排放係數僅為使用 DOC 所排放的 23.1%，減量最佳，裝設 DPF 所排放的 SO₄²⁻ 排放係數為使用 DOC 排放的 53.6%，減量較少。然而，其他離子物種的減量效果在 59.7~72.2% 之間，兩者相比，顯示使用的 DPF 對減少柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 之水溶性離子物種排放係數較裝設 DOC 更佳。

圖 5-14 為 B1+DPF、B1+DOC、B1(S50)、使用 B1(S10) 柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之總陰、總陽、總水溶性離子排放係數比值，顯示裝設 DPF 之 B1 柴油引擎對微粒之水溶性離子物種排放總量包括陰、陽離子，具減量效果，其中較 B1(S50) 柴油引擎所排放的總陰離子減量 31.9%，總陽離子減量 81.2%，總離子減量 65.2%；DPF 與 DOC 之 B1 柴油引擎廢氣排放比較，DPF 總陰離子減少 59.8%，總陽離子減少 69.9%，總離子減量 63.7%。裝設 DPF 所排放微粒之水溶性離子物種較使用 B1(S10)，其總陽離子減量 70.6%，總陰離子減量 62.2%，總離子減量 65.3%。顯示 DPF 的使用在 PM_{2.5} 的微粒之總離子排放減量上均較 B1(S50)、DOC、B1(S10) 有高達 60% 的減量效果。

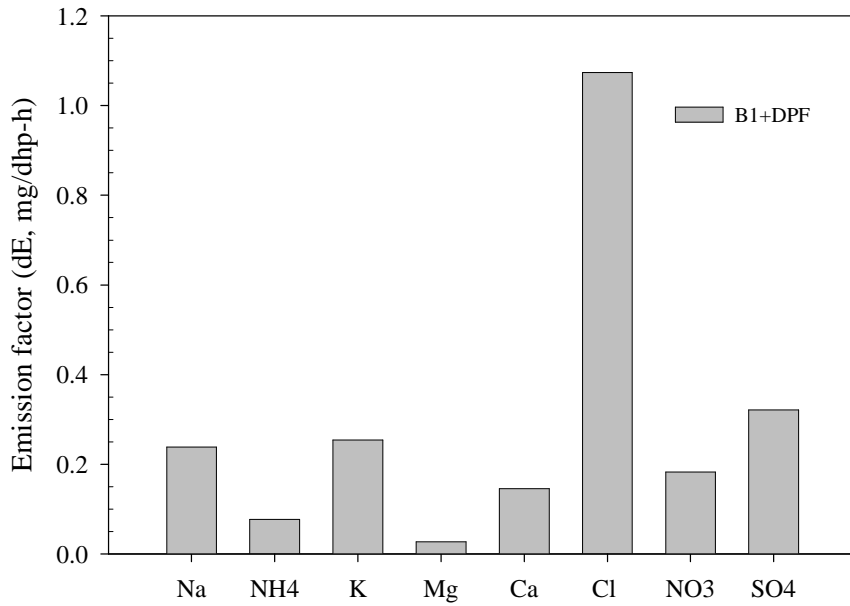


圖 5-11 B1+ DPF 柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 物種排放係數

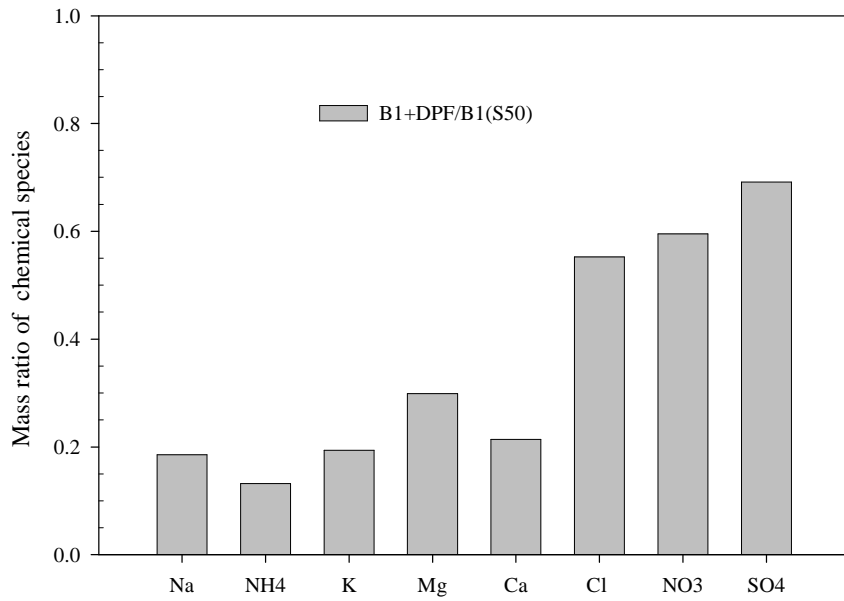


圖 5-12 B1+DPF 柴油引擎廢氣與 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種
排放係數比值

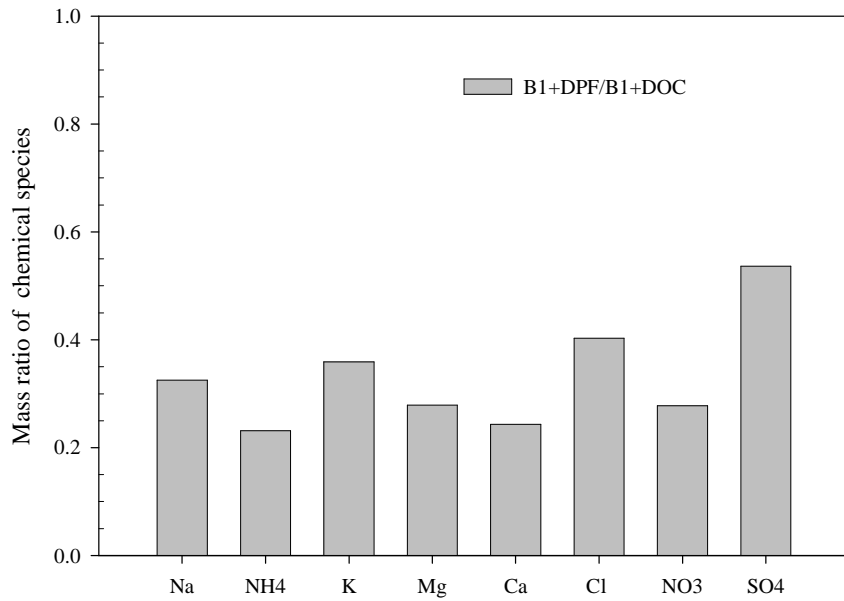


圖 5-13 B1+DPF與 B1+DOC 之柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值

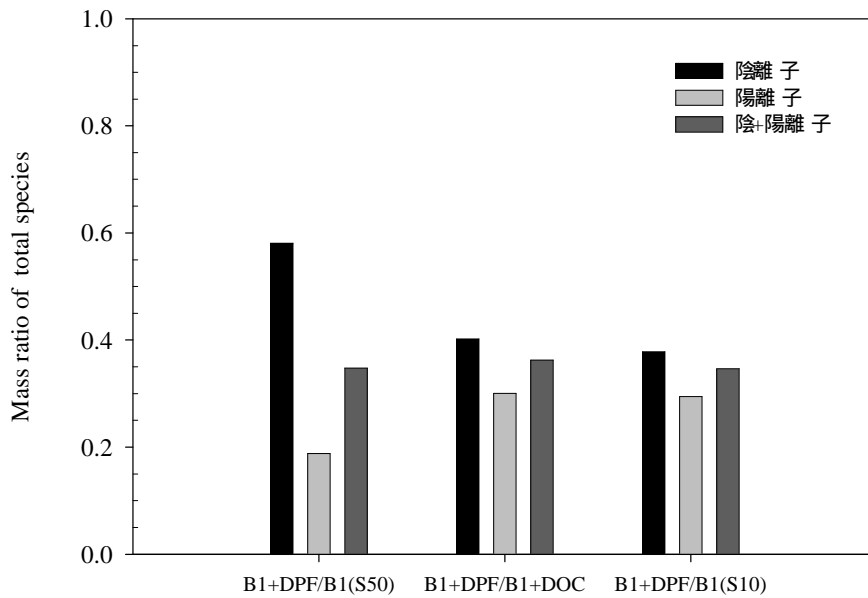


圖 5-14 B1+DPF、B1+DOC、B1(S50)、使用 B1(S10)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之總陰、總陽、總水溶性離子排放係數比值

圖 5-15 為使用 B1(S50)之情轉(Idle)引擎排放廢氣的 PM_{2.5} 微粒物種排放係數,PM_{2.5} 總離子排放係數為 24.65 mg/bhp-hr, 其離子物種以 Cl⁻之排放係數 11.01 mg/bhp-hr 為最高, 其次的陰離子物種為硫酸鹽與硝酸鹽, 分別為 4.49 mg/bhp-hr 及 3.88 mg/bhp-hr, 約為 Cl⁻之排放係數的 2/5 與 1/3, 而陽離子排放係數最高的是鉀離子, 為 2.63 mg/bhp-hr, 其次為 Na⁺, Ca²⁺, NH₄⁺, 最低者為鎂離子, 其排放係數為 0.20 mg/bhp-hr, 為最大排放係數 Cl⁻的 1.79%, 顯示 Cl⁻在惰轉時排出相當大量的物種排放係數。

低負載(Low load)之 B1(S50)引擎廢氣 PM_{2.5} 物種排放係數如圖 5-16。PM_{2.5} 總離子排放係數為 1.15 mg/bhp-hr, 其離子物種以 Cl⁻之排放係數 0.56 mg/bhp-hr 為最高, 其次是 SO₄²⁻, 排放係數為 0.18 mg/bhp-hr, 再者為 K⁺及 Na⁺, 其排放係數分別為 0.16 mg/bhp-hr 與 0.12 mg/bhp-hr, NO₃⁻及 Ca²⁺都為 0.09 mg/bhp-hr, NH₄⁺排放係數為 0.06 mg/bhp-hr, 稍低於 NO₃⁻及 Ca²⁺, 低負載之柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 水溶性離子物種以 Mg²⁺的排放係數最低, 為 0.01 mg/bhp-hr, 與排放係數最大的 Cl⁻比較, Mg²⁺的排放係數約為 Cl⁻的 1.92%。

低負載與惰轉之 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比較如圖 5-17 所示, 低負載的排放係數較惰轉的排放係數低, 尤其是低負載所排放的微粒 NO₃⁻排放係數僅為惰轉所排放的 2.43%, 排放減少比例高達 97.57%, 低負載所排放的 Ca²⁺排放係數為惰轉的 9.33%, 減少比例較少但仍有高達 90.67%的減少比例。在低負載狀態下的其他離子物種排放較惰轉狀態的排放減少比例介於 94.0~96.1%之間。顯示在惰轉狀態下所排放的微粒較低負載有明顯較多的微粒離子物種被排放出, 意謂著柴油引擎維持在怠速運轉所產生的 PM_{2.5} 微粒離子排放係數極為驚人。

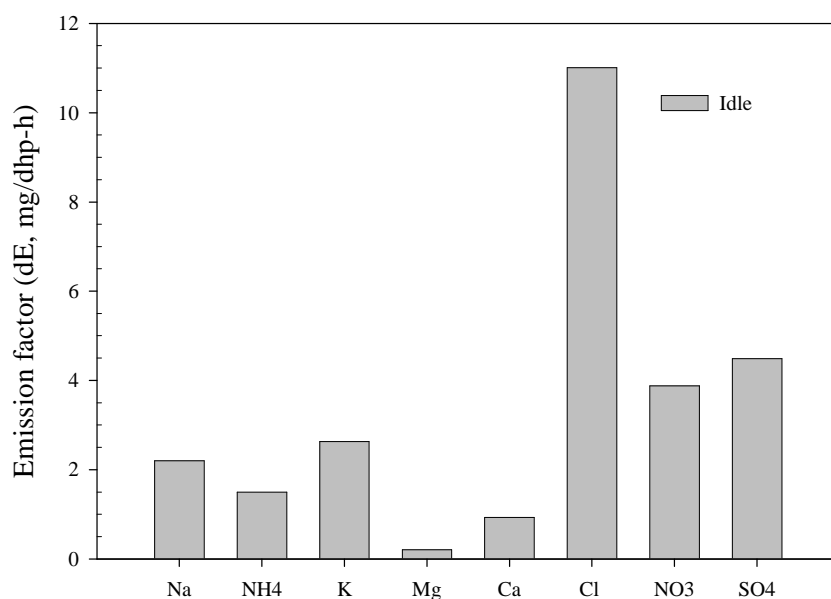


圖 5-15 惰轉之 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 物種排放係數

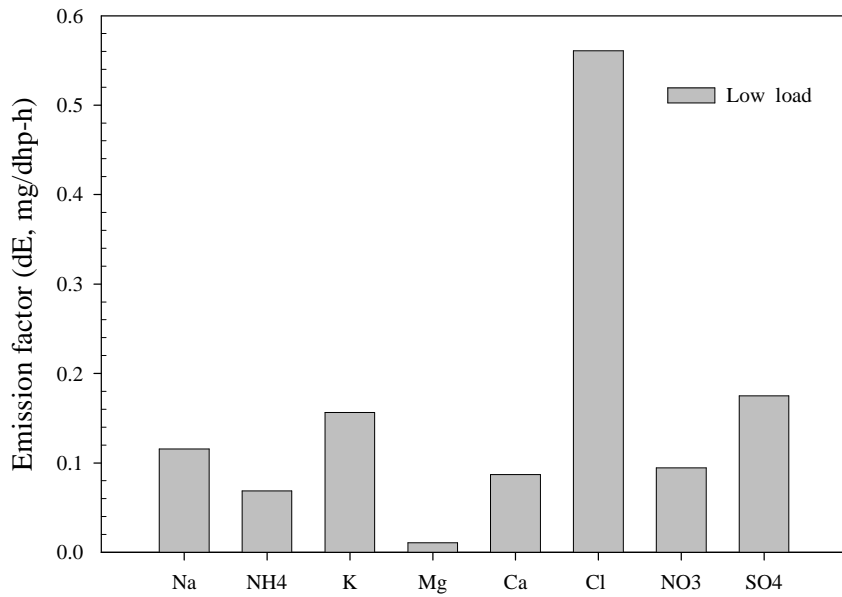


圖 5-16 低負載之 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM_{2.5} 物種排放係數

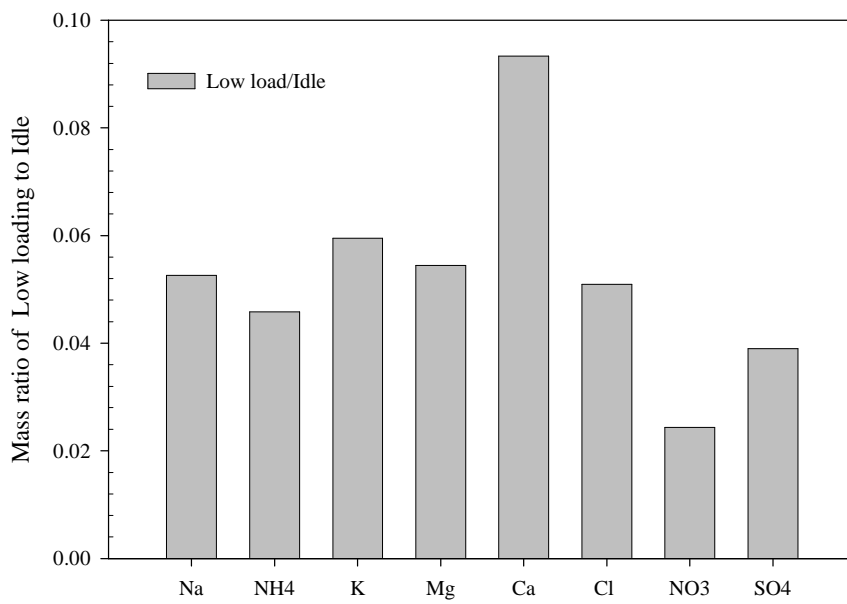


圖 5-17 低負載與惰轉 B1(S50)柴油引擎廢氣排放 PM_{2.5} 之各水溶性離子物種排放係數比值

5.2 柴油引擎排放微粒毒性物質分析

5.2.1 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM_{2.5} 之 PM、PAHs、PCDD/Fs、PCB、PBDEs 濃度

本研究對以下 3 種不同的情況之柴油引擎管道廢氣中 PM_{2.5} 微粒進行粒狀物採集及分析所含 PAHs、PCDD/Fs、PCB、PBDEs 等毒性物質，各污染物之濃度列於表 5-5，由表可知，B1(S50)、B1+DOC 及 B1(S10)柴油引擎排放廢氣中存在於 PM_{2.5} 之 Total PAHs 濃度分別為 0.897、0.613 及 2.60 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。存在於 PM_{2.5} 之 Total PCDD/Fs I-TEQ 濃度分別為 9.70、3.51 及 12.0 $\text{pg I-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。存在於 PM_{2.5} 之 Total PCB TEQ 濃度分別為 1.07、0.531 及 0.727 $\text{pg TEQ}/\text{Nm}^3$ 。存在於 PM_{2.5} Total PBDE 濃度分別為 97.6、11.3 及 368 ng/Nm^3 。

B1(S50)、B1+DOC 及 B1(S10)之柴油引擎管道廢氣中 PM_{2.5} 所排放 4 種污染物排放係數列於表 5-6 中，PM_{2.5} 之 Total PAHs 排放係數分別為 2.79、1.90 及 8.04 $\mu\text{g}/\text{bhp-hr}$ 。PM_{2.5} 之 Total PCDD/Fs I-TEQ 排放係數分別為 28.2、10.3 及 35.0 $\text{pg I-TEQ}/\text{bhp-hr}$ 。PM_{2.5} 之 Total PCB TEQ 排放係數分別為 3.33、1.55、2.24 $\text{pg TEQ}/\text{bhp-hr}$ 。PM_{2.5} 之 Total PBDE 排放係數分別為 304、33.0 及 1140 $\text{ng}/\text{bhp-hr}$ 。

B1(S50)、B1+DOC 及 B1(S10)之冷熱啟動排放係數列於表 5-7，所排放之 PM_{2.5} 粒狀物中 Total PAHs 排放係數皆以冷啟動為高，分別為熱啟動之 4.81~4.94 倍、4.08~4.13 倍、1.05~1.08 倍。B1(S50)、B1+DOC 之冷啟動所排放之 Total -BAP_{eq} 排放係數較熱啟動高，為熱啟動之 5.30~5.47 倍、6.70~6.76 倍，B1(S10)則反之，熱啟動所排放之 Total -BAP_{eq} 排放係數較冷啟動高，為冷啟動之 1.13~1.16 倍。由以上數據可知，在本計畫中，不論是 PM_{2.5} 或是 PAHs 之冷啟動排放係數皆為較高，此現象有可能因冷啟動時，引擎自身及油料溫度較低，造成化油器霧化效果不佳，故需較多油料進油，造成較高的污染排放 (Eve'quoz et al., 1995)。

而在加裝氧化觸媒器後造成 PM_{2.5} 之冷啟動排放係數高於未安裝前，而此現象可能為廢氣經氧化觸媒後會使 SO₂ 轉化成 SO₃，在進一步與排放出的水氣反應形成硫酸鹽，而硫酸鹽會促進成核反應，產生微粒粒狀物 (Vaaraslahti et al., 2006)。

5.2.2 柴油引擎管道廢氣中 PAHs、PCDD/Fs、PCB、PBDEs 濃度

B1(S50)、B1+DOC 及 B1(S10)柴油引擎排放廢氣中 4 種污染物之固、氣相濃度列於表 5-8，由表可知，B1(S50)、B1+DOC、B1(S10)柴油引擎排放廢氣中 Total PAHs 濃度分別為 216、14.5 及 28.2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。而 Total-BAP_{eq} 為 0.461、0.0940、0.164 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。Total PCDD/Fs 濃度分別為 156、86.3 及 141 pg/Nm^3 ，Total PCDD/Fs I-TEQ 濃度分別為 7.73、2.28 及 4.77 $\text{pg I-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。Total PCB 濃度分別為 1100、312 及 739 pg/Nm^3 。Total PCB TEQ 為 0.862、0.363 及 0.799 $\text{pg TEQ}/\text{Nm}^3$ 。Total PBDE 濃度分別為 113、47.3 及 17.8 ng/Nm^3 。

表 5-5 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM_{2.5} 之污染物濃度

	B1(S50)	B1+DOC	B1(S10)
Total PAHs (µg/Nm ³)	0.897	0.613	2.60
Total -BAP _{eq} (µg/Nm ³)	0.00237	0.00162	0.00877
Total PCDD/Fs (pg/Nm ³)	165	78.4	308
Total PCDD/Fs I-TEQ (pg I-TEQ/Nm ³)	9.70	3.51	12.0
Total PCB (pg/Nm ³)	182	134	1280
Total PCB TEQ (pg TEQ/Nm ³)	1.07	0.531	0.727
Total PBDE (ng/Nm ³)	97.9	11.3	368

表 5-6 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM_{2.5} 之污染物排放係數

	B1(S50)	B1+DOC	B1(S10)
Total PAHs (µg/bhp-hr)	2.79	1.90	8.04
Total -BAPEq (µg/bhp-hr)	0.00737	0.005	0.0271
Total PCDD/Fs (pg/bhp-hr)	511	229	950
Total PCDD/Fs I-TEQ (pg I-TEQ/bhp-hr)	28.2	10.3	35.0
Total PCB (pg/bhp-hr)	565	393	3970
Total PCB TEQ (pg TEQ/bhp-hr)	3.33	1.55	2.24
Total PBDE (ng/bhp-hr)	304	33.0	1140

表 5-7 柴油引擎管道廢氣中存在於 PM_{2.5} 之粒狀物及 PAHs 冷熱啟動排放係數

啟動方式	B1(S50)		B1+DOC		B1(S10)	
	COLD	HOT	COLD	HOT	COLD	HOT
Total PAHs (µg/bhp-hr)	6.96	1.41	5.16	1.25	8.34	7.94
Total -BAPEq (µg/bhp-hr)	0.0191	0.00349	0.0173	0.00256	0.0242	0.028

表 5-8 柴油引擎管道廢氣排放中污染物濃度之比較

	B1(S50)			B1+DOC			B1(S10)		
	固相	氣相	總和	固相	氣相	總和	固相	氣相	總和
Total PAHs ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	3.43	213	216	2.06	12.4	14.5	3.09	25.1	28.2
Total -BAPEq ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	0.0232	0.438	0.461	0.0108	0.0833	0.094	0.0193	0.144	0.164
Total PCDD/Fs (pg/Nm^3)	60.1	95.8	156	40.2	46.1	86.3	63.5	77.5	141
Total PCDD/Fs I-TEQ ($\text{pg I-TEQ}/\text{Nm}^3$)	4.18	3.54	7.73	1.16	1.12	2.28	2.21	2.56	4.77
Total PCB (pg/Nm^3)	198	897	1100	122	191	312	122	191	739
Total PCB TEQ ($\text{pg TEQ}/\text{Nm}^3$)	0.185	0.677	0.862	0.178	0.185	0.363	0.178	0.185	0.799
Total PBDE (ng/Nm^3)	21.2	91.6	113	7.71	39.6	47.3	8.91	8.92	17.8

表 5-9 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物排放係數

	B1(S50)			B1+DOC			B1(S10)		
	固相	氣相	總和	固相	氣相	總和	固相	氣相	總和
Total PAHs ($\mu\text{g}/\text{bhp-hr}$)	10.7	661	672	6.37	38.4	44.7	9.54	77.6	87.1
Total -BAPEq ($\mu\text{g}/\text{bhp-hr}$)	0.0722	1.36	1.43	0.0332	0.257	0.291	0.0595	0.445	0.505
Total PCDD/Fs ($\text{pg}/\text{bhp-hr}$)	187	298	485	124	142	267	196	239	435
Total PCDD/Fs I-TEQ ($\text{pg I-TEQ}/\text{bhp-hr}$)	13	11	24	3.57	3.47	7.04	5.46	7.91	13.4
Total PCB ($\text{pg}/\text{bhp-hr}$)	616	2790	3400	376	590	966	573	1710	2280
Total PCB TEQ ($\text{pg TEQ}/\text{bhp-hr}$)	0.575	2.1	2.68	0.551	0.572	1.12	0.965	1.5	2.47
Total PBDE ($\text{ng}/\text{bhp-hr}$)	65.9	285	351	23.8	122	146	27.5	27.5	55.0

3 種不同情況中柴油引擎管道廢氣 4 種污染物排放係數列於表 5-9 中。Total PAHs 之排放係數分別為 672、44.7 及 87.1 $\mu\text{g}/\text{bhp}\cdot\text{hr}$ ，而 Total-BAP_{eq} 為 0.461、0.0940、0.164 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。Total PCDD/Fs I-TEQ 排放係數分別為 24.0、7.04 及 13.4 pg I-TEQ/bhp-hr。Total PCB TEQ 排放係數分別為 2.68、1.12、2.47 pg TEQ/bhp-hr。表 5-10 為各種污染物之固氣百分比，4 種污染物之組成皆以氣相為主，以 B1(S50)情況而論，其中 Total PAHs 佔 98.4%、Total PCDD/Fs 佔 61.4%、Total PCB 佔 81.9%，而 Total PBDE 佔 83.7%。

3 種不同情況下柴油引擎管道廢氣在 4 種污染物中，除了 PM_{2.5} 之 Total PAHs 排放係數與 PM 較為接近，其餘 3 種污染物皆以 PM_{2.5} 較 PM 為高。以 B1(S50)情況而論，PM_{2.5} 之 Total PCDD/Fs、Total PCB TEQ 及 Total PBDE 排放係數分別為 511 pg/bhp-hr、3.33 pg TEQ/bhp-hr 及 304 ng/bhp-hr 皆較 PM 此三種污染物之排放係數(187 pg/bhp-hr、0.575 pg TEQ/bhp-hr 及 65.9 pg/bhp-hr)為高。此可能為 MOUDI 及 nano-MOUDI 採集微粒粒徑分布時使用多層濾紙以收集各別粒徑範圍之粒狀物，又本計畫所檢測之毒性污染物為半揮發性，在進行採樣中氣相污染物容易吸附在濾紙及濾紙上之粒狀物，進而影響到 PM_{2.5} 之氣固相分布比例。建議若要研究柴油車排放廢氣 PM_{2.5} 之毒性特徵，可使用 PM_{2.5} Cyclone 來進行採樣，以利樣品測定氣固相分布比例。

5.2.3 柴油引擎排放廢氣之污染物減量率比較

由於 B1(S50)為現行市面之用油，故以下減量率之運算皆以 B1(S50)為基準，而使用 DOC 及低含硫柴油(< 10 ppm)後其排放廢氣之毒性污染物減量率列於表 5-11，由表可知，使用 DOC 後 4 種毒性污染物之氣相減量率，分別為 Total PAHs 之 94.4%，Total PCB 之 79.5%，Total PBDE 之 58.3%，Total PCDD/Fs 之 53.6%。而氣相污染物經 DOC 後，濃度皆有相當程度之降低，顯示 DOC 中之觸媒會對上述污染物進行脫氯、脫溴及破環等機制。

DOC 對 4 種毒性污染物之固相減量率介於 35.6%-64.9% 與 PM 之減量率相近，再從 Total PAHs 之單位粒狀物含量從 76.1 $\mu\text{g}/\text{g}$ 降低為 56.1 $\mu\text{g}/\text{g}$ ，Total PCB 含量從 4.40 ng/g 降低為 3.31 ng/g，Total PBDE 含量從 0.331 ng/g 降低為 0.210 $\mu\text{g}/\text{g}$ 可知，DOC 對固相污染物有減量之效果，其原因之一可能為粒狀物中毒性污染物含量被破壞降低所致。使用低含硫柴油(<10 ppm)時其 4 種毒性污染物之氣相減量率，分別為 Total PBDE 之 87.2%，Total PAHs 之 84.5%，Total PCB 之 33.8%，Total PCDD/Fs 之 11.3%。Westerholm et al. (2001)之研究指出，柴油引擎使用一般柴油較使用低含硫柴油所排放之廢氣有較高的致突變性，在固相之致突變性較強，為低含硫柴油之 8~10 倍，氣相部分則為低含硫柴油之 2~3 倍，其研究結果與本研究相似。由於柴油引擎排放廢氣之毒性污染物組成皆以氣相為主，故未來對於毒性物質之減量方法，可著重於 DPF 中主要用以去除氣相污染物之觸媒相關技術研發。

表 5-10 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物固氣百分比%

	B1(S50)		B1+DOC		B1(S10)	
	固相	氣相	固相	氣相	固相	氣相
Total PAHs	1.59	98.4	14.2	85.8	11.0	89.0
Total -BAPEq	5.03	95.0	11.4	88.6	11.8	88.2
Total PCDD/Fs	38.6	61.4	46.6	53.4	45.0	55.0
Total PCDD/Fs I-TEQ	54.1	45.9	50.7	49.3	46.3	53.7
Total PCB	18.1	81.9	38.9	61.1	25.1	74.9
Total PCB TEQ	21.5	78.5	49.0	51.0	39.1	60.9
Total PBDE	16.3	83.7	18.8	81.2	50.0	50.0

表 5-11 柴油引擎管道廢氣煙道中各種污染物減量率(以 B1(S50)為基準)%

	DOC			使用低含硫量柴油		
	固相	氣相	總和	固相	氣相	總和
PM	45.2			8.40		
Total PAHs	42.1	94.4	93.5	11.7	88.4	87.2
Total -BAPEq	55.3	82.0	80.3	19.0	68.0	65.0
Total PCDD/Fs	35.6	53.6	46.6	-3.5	20.7	11.3
Total PCDD/Fs I-TEQ	73.3	69.4	71.5	58.5	29.1	45.0
Total PCB	40.8	79.5	72.5	8.10	39.5	33.8
Total PCB TEQ	7.20	73.6	59.4	-65.7	29.6	9.10
Total PBDE	64.9	58.3	59.6	58.8	90.4	84.5

5.2.4 柴油引擎排放廢氣之污染物排放係數和減量效率

彙整柴油引擎排放 PM、PM_{2.5}、PM 數目濃度、碳成分、水溶性陰陽離子、PM_{2.5} 中毒性物質 PAHs、PCDD/Fs、PCB 及 PBDE 的排放係數於表 5-12，由四種不同暫態測試的排放係數可得使用 B1(S50)油品、加裝 DOC 或 DPF 對各種污染物的減量效率，減量的結果則列於表 5-13。

表 5-12 柴油引擎排放 PM、PM_{2.5}、PM 數目濃度、碳成分、水溶性陰陽離子、毒性污染物 PAHs、PCDD/Fs、PCB 及 PBDE 的排放係數

暫態測試	PM	PM _{2.5}	數目濃度	PM Total Carbon	PM Total Ions	Total BAPEq (氣相+固相)	Total PCDD/Fs I-TEQ (氣相+固相)	Total PCBs TEQ (氣相+固相)	Total PBDEs (氣相+固相)
	g/bhp-hr	g/bhp-hr	10 ¹³ #/bhp-hr	g/bhp-hr	g/bhp-hr	μg/bhp-hr	pg I-TEQ /bhp-hr	pg TEQ /bhp-hr	ng/bhp-hr
B1(S50)	0.166	0.143	188.32	0.066	0.009	1.43	24.0	2.68	351
B1+DOC	0.095	0.078	41.61	0.075	0.008	0.291	7.04	1.12	146
B1(S10)	0.153	0.126	149.82	0.060	0.009	0.505	13.4	2.47	55.0
B1+DPF	0.035	0.021	0.67	-	0.003	-	-	-	-
穩態測試	g/bhp-hr	g/bhp-hr	10 ¹⁵ #/bhp-hr	g/bhp-hr	g/bhp-hr	-	-	-	-
B1(惰轉)	4.976	4.303	21.16	-	0.043	-	-	-	-
B1(低負載)	0.176	0.162	1.24	-	0.002	-	-	-	-

備註：

台灣環保署目前施行第四期重型柴油車排放標準，PM 排放係數為 0.10 g/bhp-hr。

表 5-13 四種不同暫態測試的排放係數的減量效率

暫態測試	PM	PM _{2.5}	數目濃度	PM Total Carbon	PM Total Ions	Total BAPEq (氣相+固相)	Total PCDD/Fs I-TEQ (氣相+固相)	Total PCBs TEQ (氣相+固相)	Total PBDEs (氣相+固相)
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
B1(S50)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B1+DOC	42.8	45.5	77.9	-13.6	11.1	80.3	71.5	59.4	59.6
B1(S10)	7.8	11.9	20.4	9.0	0.0	65.0	45.0	9.10	84.5
B1+DPF	78.9	85.3	99.6	-	66.7	-	-	-	-

5.3 重型柴油引擎尾氣細懸浮微粒減量與總量推估

5.3.1 細懸浮微粒減量推估

本研究重型柴油引擎尾氣減量評估的主要對象為細懸浮微粒($PM_{2.5}$)，而方法是藉由基準排放係數(EF_{base})與測試排放係數(EF_{test})的比較；此處「基準」指的是現行柴油引擎操作狀態(即未使用任何控制技術)，而「測試」指的是使用某一控制技術下的柴油引擎操作狀態(US EPA, 2003)。本研究主要探討之減量技術包括油品與加裝濾煙器之影響，故測試條件合計有四：(一)超級柴油(B1(S50))，亦即為基準，(二)低硫柴油(B1(S10))，(三)高級柴油並加裝舊的柴油引擎氧化觸媒(B1+DOC) 與(四)高級柴油並加裝全新的濾煙器(B1+DPF)。為了與國內現有之 TEDS 排放清冊進行比較，本研究依據採樣獲得之尾氣微粒質量粒徑分布，分別求取總懸浮微粒(PM)與 $PM_{2.5}$ 之排放係數；表 5-14 即為使用 B1(S50)與未加裝濾煙器為比較基準，不同柴油引擎操作狀態之 PM 與 $PM_{2.5}$ 排放係數與減量效率。從表中可知，本研究重型柴油引擎在未加裝濾煙器前(B1(S50)與 B1(S10))，其 PM 排放係數遠低於 82 年之排放標準(0.7 g/bhp-hr)，但高於 95 年之排放標準(0.1 g/bhp-hr)；於加裝濾煙器後，其 PM 排放係數剛好可以合乎 95 年之排放標準，但無法符合 101 年之排放標準 0.01 g/bhp-hr。

表 5-14 不同柴油引擎操作狀態之 PM 與 $PM_{2.5}$ 排放係數與減量效率

測試條件	PM 排放係數 (g/bhp-hr)	PM 減量效率 (%)	$PM_{2.5}$ 排放係數 (g/bhp-hr)	$PM_{2.5}$ 減量效率 (%)
B1(S50)(基準)	0.166	-	0.143	-
B1(S10)	0.153	7.8	0.126	11.9
B1+DOC	0.095	42.8	0.078	45.5
B1+DPF	0.035	78.9	0.021	85.3

經單位換算，本研究 B1(S50)之 PM 排放係數為 0.276 g/km，此值低於 TEDS 7.0 排放清冊中 85 年份柴油大貨車或大客車之零里程 PM 排放係數 0.373 g/km，差異約 26%，尚屬合理範圍內。

5.3.2 細懸浮微粒總量推估

本研究重型柴油引擎尾氣細懸浮微粒之總量推估，主要係應用本研究於引擎動力計上實測結果，並參考台灣環保署空氣污染物排放量推估手冊[TEDS 7.0 版](TW EPA, 2010)進行相關之推估。依據 96 年基準年各污染源排放量推估結果，台灣地區(不包括離島地區) $PM_{2.5}$ 之年總排放量為 113,484 公噸，其中移動污染源之貢獻度為 18%，固定污染源之貢獻度為 82%；針對移動污染源而言，若進一步細分公路運輸類別，可得知 $PM_{2.5}$ 之主要排放源依序為柴油大貨車(42%)、汽油小客車(21%)、二行程機車(12%)、柴油大客車(8%)、四行程機車(7%)、柴油小客車(6%)與汽油小貨車(5%)，如圖 5-18 所示。值得注意的是，使用重型柴油引擎比率最高的包括柴油大貨車與柴油大客車，而兩者對 $PM_{2.5}$ 之貢獻度合計為 50%。由此可知，重型柴油引擎減量技術之應用對 $PM_{2.5}$ 排放總量有顯著削減潛力；本計畫推估程序簡述於下。

移動污染源(線源)之空氣污染物排放總量推估，主要是考量兩個主要因子：(一)排

放係數與(二)車行里程，而影響此兩因子之參數甚多。例如，排放係數之推估須考量油品成分、耗油率、平均車速、車齡分布、車輛控制技術比例、劣化率與環境背景參數等；而車行里程之推估須考量車輛數、車種比例、車輛使用率、車行里程、耗油率、油量、車流量與道路長度等。由於以上參數之探討並不在本研究範疇內，以下僅針對使用重型柴油引擎之車輛，推估加裝微粒減量設備(濾煙器)後之排放總量。因此，本研究僅考量柴油大貨車與柴油大客車之總數量，並假設濾煙器之使用率，配合本研究實測所獲得之濾煙器減量效率，進而推估重型柴油引擎車輛之排放總量及其對台灣整體 PM_{2.5} 之總量削減效益。

依據台灣地區 96 年縣市機動車輛登記數統計，使用中柴油大貨車與柴油大客車之車輛總數為 190,474 輛，其所佔之百分比分別為 86%與 14%；就用途而言，營業用佔 52%、自用佔 48%，如表 5-15 所示。為了探討濾煙器使用率對減量之影響，本研究假設三種使用率情境：情境一假設濾煙器之使用完全出自於自發性，用以反映現況或政策短期目標；情境二假設政府開始推廣與鼓勵濾煙器之使用，特別是營業用車輛；情境三假設政府全面推廣濾煙器之使用，使得營業用車輛幾乎全面採用濾煙器(表 5-16)。這三種情境中，營業用之使用率變化幅度較自用之使用率為大，用以反映政府可能有較多的策略與誘因促使營業用車輛廣為採用濾煙器。

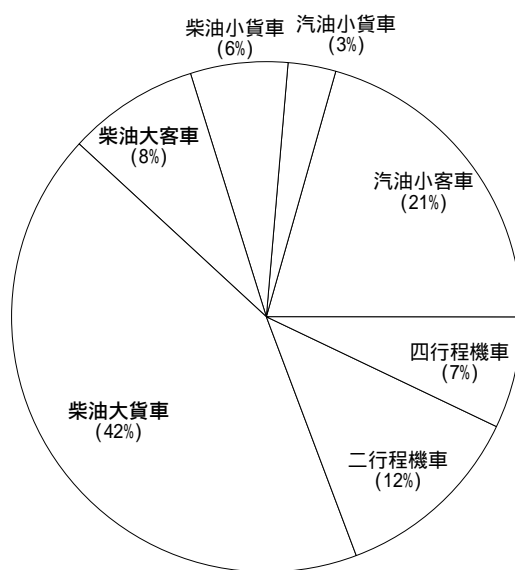


圖 5-18 台灣地區 96 年不同車種對移動污染源 PM_{2.5} 總排放量之貢獻度

表 5-15 台灣 96 年縣市柴油大客車與大貨車之車輛登記數量與百分比

		柴油大客車	柴油大貨車	合計
營業用	公車/客車	13,154 (7%)	72,785 (38%)	98,121 (52%)
	遊覽車	12,181 (6%)		
自用		1,773 (1%)	90,580 (48%)	92,353 (48%)
合計		27,109 (14%)	163,365 (86%)	190,474 (100%)

表 5-16 濾煙器使用率之三種假設情境

	情境一		情境二		情境三	
	大客車	大貨車	大客車	大貨車	大客車	大貨車
營業用 公車/客車	10%	10%	50%	50%	90%	90%
遊覽車	10%		50%		90%	
自用	10%	10%	20%	20%	50%	50%

情境一(短期目標):自發性使用濾煙器
 情境二(中期目標):部分推廣使用濾煙器
 情境二(長期目標):全面推廣使用濾煙器

圖 5-19 即為考量柴油大貨車與柴油大客車數量、不同濾煙器使用率與 PM_{2.5} 減量效率下，減量技術對移動污染源 PM_{2.5} 總排放量之削減效益。假設低度之濾煙器使用率(情境一)，台灣 96 年移動污染源 PM_{2.5} 總排放量可削減 4%；假設中度之濾煙器使用率(情境二)，則 PM_{2.5} 總排放量可削減 12%；假設高度之濾煙器使用率(情境三)，則 PM_{2.5} 總排放量可削減 18%。此外，柴油大貨車與柴油大客車之貢獻度由 42%與 8%，降低至 24%與 3%。

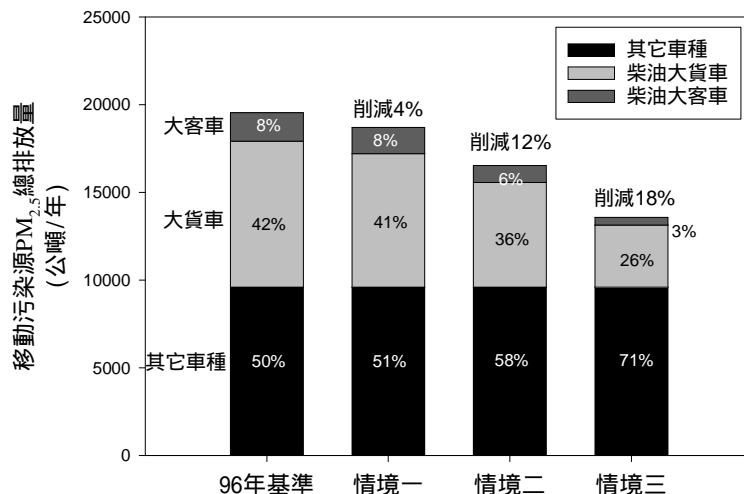


圖 5-19 不同假設情境下移動污染源 PM_{2.5} 總排放量之車種貢獻度與削減效益

5.4 柴油引擎排放控制技術評估及管制策略

根據交通部 2010 年 2 月統計全台現有柴油車輛共 678.3 萬輛，佔總體機動車輛約 4.8%，由於大部分柴油車輛屬長途行駛，其產生之空氣污染物對於空氣品質有不良的影響。目前國內現行之移動污染源管制策略，可分為清潔車輛、清潔燃料及運輸管理三部分，其中清潔車輛及清潔燃料係屬於排放係數管制策略，運輸管理則屬於車行里程數(或是兼顧排放係數)之管制策略。本計畫重點著重於使用中柴油車輛加裝後處理設備的措施，目前較常見之控制設備包括氧化觸媒技術 (Diesel oxidation catalyst, DOC)、選擇性還原觸媒 (Selective catalytic reduction, SCR)、廢氣再循環系統 (Exhaust gas recirculation, EGR) 及柴油濾煙器(Diesel Particulate Filter, DPF)。氧化觸媒技術、選擇性還原觸媒及廢氣再循環系統所控制之污染物主要為 CO、HC 與 NO_x 等氣狀空氣污染物，本計畫僅簡要說明，而評估重點主要為柴油濾煙器，以下進行各種後處理設備說明。

5.4.1 氧化觸媒技術

氧化觸媒轉化器為利用觸媒系統將車輛廢氣中的 HC 及 CO 排放量降低的設備，也是目前經濟效益最大觸媒裝置，可氧化 SOF 達 80% 以上，但對碳粒無氧化能力，因此須配合燃燒行為預先減少碳粒生成，並控制柴油中的硫含量低於 0.05%，以達到最大的功效，去避免生成硫酸及金屬類硫酸鹽等粒狀污染物。

氧化觸媒轉化器是使用鉑及鈀，將車子廢氣中的 CO 和 HC 反應成無害的 H₂O 和毒害較小的 CO₂ 氣體。鈀對 CO 氧化的活性比鉑強，鉑則對 HC 有較強的活性，這是因為 CO 會吸附在鉑的表面，阻礙了氧氣的吸附而降低 CO 的氧化速率。鉑可以增加觸媒的耐熱性，但很容易受到鉛及其他雜質（如硫、磷化合物）的毒害而失去活性，因此在使用上，常常將鉑和鈀混合做為活性物，其比例鉑約佔 70%，鈀約佔 30%。同時為了提高接觸面積，增進觸媒效果，一般都把鉑及鈀金屬鍍在氧化鋁擔體上，柴油引擎採過氧燃燒，只要排氣溫度維持在 170°C 以上，觸媒轉化器即能充分氧化 HC 及 CO，並能減少醛類與 PAHs，降低致癌機會（莊，2005）。

5.4.2 選擇性還原觸媒

選擇性還原觸媒系統全名為 (Selective catalytic reduction, SCR)，乃利用氨氣 (NH₃) 或是尿素水 (urea) 與氮氧化物進行化學反應，使氮氧化物變成氮氣和水氣。而氨是具有毒性的氣體，而且儲存不易。因此，一般乃利用尿素水來作為車輛選擇性還原觸媒系統的反應物，其具有較高的穩定性且沒有毒性容易儲存與運送。

而氨氣也有可能是在低溫約 100-200°C 下與氧和水反應成為 NH₄NO₃，這一生成物會沉澱在觸媒上。若是廢氣中含有硫，也有可能反應生成 (NH₄)₂SO₄ 或是 NH₄HSO₄ 兩種生成物，這些反應物將會使觸媒變得污濁，降低觸媒的效率。因此選擇性還原觸媒系統必須要有精準的噴霧控制與噴射率，來提高氮氧化物的反應效率與防止過多的氨氣洩漏到大氣之中，也避免二次污染的產生。對一些固定反應可以用氧化觸媒安置在選擇性還原觸媒系統下游來處理氨氣的洩漏問題。在選擇性還原觸媒系統中，尿素水溶液經過噴嘴注入排氣管中，當排氣溫度高於 160°C 以上時，尿素水在高熱下進行分解（林，2006）。

5.4.3 廢氣再循環系統

廢氣再循環系統針對引擎排氣中的 NO_x 所設置的排氣淨化裝置。目前車輛使用的方法就是在進氣管中導入一些已經燃燒過的廢氣，與新鮮空氣混合，使之再次燃燒，作用為降低混合氣的含氧濃度、吸收燃燒釋放出的熱量，使燃燒速度減慢、燃燒溫度降低，便減少了 NO_x 的生成數量，現代引擎不論是汽油或柴油的都有 EGR 廢氣再循環系統，並且都用電腦來控管廢氣的進氣量，以期許在環保和動力上取得最大的利益和平衡。

根據美國環境保護署 2001 年研究報告顯示，EGR 大約可在輕負載 (light load) 狀況下減少 90% 氮氧化物的生成及全負載 (full load) 時 60% NO_x 生成量，然而由於 EGR 係抑制引擎汽缸內的燃燒率，因此，恐有增加粒狀污染物及平均制動油耗率 (brake specific fuel consumption, BSFC) 之虞，尤其是 EGR 氣體若未能在進入引擎進氣前加以冷卻，將造成進氣密度降低，相對影響容積效率 (volumetric efficiency) 進一步降低輸出馬力及增加 BSFC，而 EGR 對於進氣亦無增壓效果以致造成過量空氣燃燒，則是造成 PM 主要生成之原因。

5.4.4 柴油濾煙器

柴油濾煙器主要是將柴油燃燒後所產生之碳微粒攔截且暫時儲存，等積存於一定量時，利用引擎排放之熱氣將儲存於 DPF 內的碳微粒燃燒掉化成二氧化碳及水再由排氣系統排放出去。柴油濾煙器內部主要可分兩大主體（濾芯及濾材），其濾芯決定過濾效率、工作可靠性、使用壽命、再生技術的使用和再生效果。而濾材方面通常可分為壁流式(三向濾材式) (wall flow) 及直通濾材式(partial flow)。Wall flow 是指廢氣通過濾材內部流動時穿過多孔性材料，其優點是具有較佳的過濾效果，缺點是需付出較大的壓損及需定期清除積碳。Partial flow 是指廢氣直接通過濾材，其優點是不需清洗積碳、壓損低及低噪音，缺點是處理效率較低。

濾煙器在過濾過程中會產生積碳而導致柴油引擎排氣背壓升高，造成柴油引擎性能惡化，因此必須定期除去積碳使濾煙器恢復到原來的工作狀態，即濾煙器再生(Regeneration)，再生方式可分為被動再生(Passive)及主動再生(Active)。被動再生亦稱為催化再生(Catalytic regeneration)，為在濾煙器載體上浸漬催化劑或在燃油中加入添加劑來降低微粒的氧化反應活化能，降低碳粒的起燃溫度以達到濾煙器再生效果；主動再生方式亦稱為熱再生 (Thermal regeneration)，乃利用外部熱源使積存在濾煙器內的微粒升溫並自燃，以減少濾煙器內的微粒。在各種濾煙器再生技術中，除連續再生外，都要對再生時機進行判斷，即進行再生控制，再生控制系統是濾煙器不可或缺的部分 (林，2008)。

目前市面上已有許多種陶瓷和燒結金屬 (Sintered metal) 類型之柴油濾煙器以及連續性再生濾煙器 (Continuously regenerating trap, CRT) 最常使用被廣泛使用，最成功及常用濾煙器種類為多孔陶瓷壁流過濾器。連續再生過濾器係利用過量的氮氧化物去除粒狀污染物，一氧化氮氧化生成二氧化氮，依次地使氧化黑煙(Soot)反應成二氧化碳與氮。然而連續再生濾煙器必須在氮氧化物(NO_x)與粒狀污染物(PM)比最小為 8 : 1 的條件下運作，在最佳化條件下(燃料含硫量低於 50 ppm 以下)連續再生濾煙器移除粒狀污染物(PM)的效率可高達 90% (莊，2005)。

連續再生濾煙器 (CR-DPF) 與觸媒柴油濾煙器(CDPF)是典型的柴油濾煙器的代表。連續再生濾煙器是利用引擎排放的一氧化氮(NO)經過連續再生柴油濾煙器的氧化觸媒回流產生連續性的二氧化氮(NO_2)。目前已證實二氧化氮(NO_2)比氧氣(O_2)對於柴油粒狀污染物(PM)的低溫氧化媒介效果更為有效，廢氣中所含的硫經由連續再生濾煙器氧化後，形成硫酸 (Sulfates)。二氧化硫(SO_2)會抑制一氧化氮(NO)與二氧化氮(NO_2)的反應，使再生捕集的效果降低 (孫，2008)。

觸媒柴油濾煙器(CDPF)是藉由在此觸媒器上塗覆元素促進在廢氣中捕集粒狀污染物(PM)的氧化作用，廢氣中的硫經觸媒柴油濾煙器反應後生成硫酸。廢氣排放溫度與燃料中的含硫等級是影響連續再生柴油濾煙器(CR-DPF)與觸媒柴油濾煙器性能表現的重要因素。

從柴油引擎所排放出的粒狀污染物 (PM)，其主要構成為柴油燃燒過程中所產生的碳元素。濾煙器捕集此碳元素並氧化成 CO_2 而排出，濾煙器亦可捕集一個非常小的無機金屬 PM 碎片，但是不會將其排放出，反而，此無機物「灰」堆積在過濾器，緩慢地阻塞濾煙器的過濾通道。現今的引擎潤滑油是無機灰的主要來源，因為潤滑油中使用金屬添加劑。被濾煙器所捕集的無機灰可以清除，拆下濾煙器，使用壓縮空氣或水逆向沖洗

即可清除無機灰。目前的產業指南建議濾煙器維護間隔時間大約為 6 萬英哩，應清潔濾煙器 (財團法人車輛研究測試中心，2005)。

5.4.5 加裝柴油濾煙器管制策略研析

因應未來法規技術在於 DPF 與 SCR 的技術發展(Majkowski, 2009)，也代表柴油車輛的引擎技術發展已經接近極致，為了要符合更嚴格的法規標準，後處理器的使用是必然的趨勢。國外對於柴油車加裝後處理器皆有相當多的成功案例，以下就美國、德國柏林及亞洲地區進行說明。

US EPA 自 1993 年 4 月 23 日公告都會區改裝計畫(Urban Bus Retrofit/Rebuild Program, UBRR)，針對都會區人口數超過 75 萬擬加嚴排放標準，要求於都會區行駛公車於 1995 年後必須利用改裝或引擎重建手段以降低都市污染排放。美國都會區公車改裝計畫 (UBRR) 所使用的改裝技術或設備除須符合 US EPA 認證資格外，另有污染減量效益 (PM 減量效益須達 25% 以上) 及 150,000 英哩保證期限要求，這是美國開始導入柴油後處理器改裝技術的開始。至 1999 年止美國都會區公車改裝計畫 (UBRR) 完成 10,000 輛以上都會區公車改裝。並且美國聯邦及加州開始著手制定下一階段柴油車改裝計畫 (Diesel Retrofit Programs) 指導方針，將後處理污染控制技術應用至其他柴油車種。2001 年 3 月針對卡車、公共汽車和施工車輛共計 10,000 輛加裝氧化觸媒濾煙器，2005 年 2 月完成 160,000 改裝。美國環保署已訂下目標將於 2015 年前完成 11 萬柴油車輛加裝氧化觸媒濾煙器任務。

柏林由於市中心人口密集，懸浮微粒 (PM₁₀) 及二氧化氮 (NO₂) 危害人體健康。其中交通為最大來源，這些有毒物質促進約 40% 的細懸浮微粒和 80% 的氮氧化物污染周遭環境。因此，德國柏林為改善車輛污染排放問題，劃分環境管制區，使當地環境問題獲得改善，車輛必須符合廢氣排放標準才可進入至管制區內，車輛排放未達標準則不得駛入管制區內。以改善衛生及保障人民生活，此措施有助於減少四分之一之有毒物質被人體吸收。登記於德國之車輛，若於 2006 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日期間內加裝柴油濾煙器可享 330 歐元補貼，若 2007 年 4 月 1 日至 2011 年 3 月 31 日柴油車輛未加裝濾煙器則必須加稅，每百立方厘米排放量收 1.2 歐元。

日本東京都 2003 年根據「汽車 NO_x PM 法」制定「東京都環境確保條例」自該年 10 月起禁止未裝妥排氣清淨器 (DPF) 或氧化觸媒器之柴油車行駛市區。並自 2001 年 11 月 27 日起發行一種円型標誌張貼於已裝上述裝置之車輛識別。為達到政策執行目標，東京都政府於 2001 年訂定「粒狀物質減量裝置指定綱要」，要求車齡超過 7 年以上高污染車輛必須強制加裝後處理器，否則處以 50 萬日幣以下罰金，然而加裝柴油濾煙器所需費用對於車主來說也相當沈重。因此，政府回應東京商工會議所之建議，利用政府之年度預算對於中小企業之貨運業及自用車主給予補助或低利融資等配合措施。國土交通省之補助制度：(1) 政府補助：動用年度預算 40 億日元，補助公車、卡車業者，引進天然氣車或加裝微粒過濾器及氧化觸媒器等。其補助率為：新車與傳統柴油車價差補助 1/2 (但低 PM 車補助 1/4)。裝 DPF 補助購買費用之 1/4。(2) 民間補助：除了上述政府補助外，業者另可向公車協會、卡車協會等機構申請購車費之 1/4~1/2 之補助。2004 年針對 3.5 噸以上之柴油車安裝柴油濾煙器者補助濾煙器價格之 1/2，該年共撥款 1 億日元進行補助。日本環境廳 2009 年訂定新法規，規定柴油車輛出廠時必備氮氧化物排放減量技術(SCR)控制設備，以減低柴油車廢氣之排放。

香港政府多年來一直致力管制車輛的廢氣排放。一些措施，如加嚴車輛廢氣排放標準已有進展，但由於車輛數和行車里數整體仍然持續增長，排出廢氣相應增加，使整體成效降低。因此，香港政府於 2000 年推出車輛廢氣排放管制計畫，目標於 2005 年年底前，將車輛的微粒及氮氧化物排放量分別降低 80% 及 30%。其強化計畫的主要措施包括：1.加嚴車用燃料及車輛廢氣排放標準；2.在切實可行的情況下，以較環保的車種取代柴油車輛；3.柴油車輛裝設濾煙器，藉此控制污染物的排放；4.加強車輛廢氣檢驗及對黑煙車輛的執法工作；5.推廣良好的車輛維修保養和環保駕駛習慣。政府共撥出 14 億元推行此項計畫，資助柴油車和柴油小巴車主轉用其他較潔淨的燃料，以及資助歐盟前期的舊式柴油車輛車主安裝柴油濾煙器。

國內於民國 87 至 90 年曾補助台北、台中及高雄三縣市柴油大客貨車(公車、垃圾車及資源回收車)加裝濾煙器，惟因當時所需經費太過龐大(每輛 18 萬元)，且濾煙器技術尚有改善空間，因此停止補助。91 年環保署補助台北縣市 7,600 萬於 600 部公車上加裝濾煙器，公車每天估計可減少 100 公克之黑煙排放，此結果對台北都會區空氣污染改善達到立即效果。而近年我國於高雄市及台中市亦推動加裝濾煙器計畫。

高雄市濾煙器試運行計畫於民國 95 年 8 月開始執行至 96 年 4 月，完成柴油車車上監控設備及管制站管制系統之設置，並進行 18 輛測試車輛加裝 DOC + CDPF 之實車測試，車輛測試運行 5,000 公里後黑煙平均去除率達 86.3%。依「95 年度高雄市柴油車裝置後處理器示範運行計畫」試運行成果顯示，加裝後處理器之車輛以每年行駛 20,000 公里計算，PM₁₀ 的年削減量可達 0.306 公噸/年，CO 的年削減量達 0.657 公噸/年。97 年實施大型車輛加裝後處理器示運行計畫，該計畫針對 8 部大型車輛(中程車輛及長途行駛)裝設 Proventia 公司所生產之 pDDF 濾煙器進行評估，結果顯示於裝設濾煙器後黑煙、CO、HC 比未裝設 pDPF 前分別降低 85.8%、75.0%及 80.9%，皆有明顯之減量成效。

台中市於民國 98 年 3 月進行後處理器示運行計畫，主要針對 15 部垃圾清潔車輛進行加裝濾煙器進行評估，藉由垃圾清潔車輛裝設濾煙器評估對於粒狀污染物及氣狀污染物之減量成效，該計畫選擇兩款國內生產之主動再生型壁流式濾煙器與一款國外被動再生型濾煙器，裝設後與行駛 2,500 km 後三組濾煙器都能維持廠商所宣稱之減量效率。

早期由於濾煙器技術尚未成熟，致使國內於 87 至 90 年補助台北、台中及高雄三縣市柴油大客貨車計畫無法延續。但近年於高雄市與台中市所執行之試運行計畫於裝設後與長程行駛後皆能達原先預期之去除率，顯見濾煙器之技術已臻成熟，使用中車輛加裝濾煙器為減低微粒排放之有效策略。本計畫建議未來濾煙器推行可行策略包括(1) 公部門領銜示範：由於濾煙器價格不菲，對於一般民眾來說負擔沉重，且多數車主環保意識認知不清，認為車輛若無明顯黑煙排出污染問題就不顯著，以致當前車主無意將車輛加裝濾煙器。目前公家機關柴油車輛幾乎皆未加裝濾煙器，因此未來可由公部門帶頭將所屬之柴油車輛加裝濾煙器，以提高民眾主動加裝濾煙器設備意願。(2) 濾煙器適用性評估：由於濾煙器種類甚多，不同車種與不同駕駛狀況之車輛有其最適合之濾煙器，未來可鼓勵縣市政府進行多款濾煙器試行計畫，累積更多實測經驗，做為民眾選擇濾煙器類型之參考。(3) 推動空氣品質特定管制區：國外已有許多地區推動區域性低污染車輛淨化區，改善區內空氣品質，推動效果也相當成功。我國可考慮由中央或地方政府將特定區域劃定為空氣品質淨化區，限制進入該區車輛必須為低污染排放車輛始得進入，促使高微粒污染排放車輛加裝濾煙器。劃定管制區後可建立柴油車濾煙器監控管理系統，車輛透過無線傳輸的方式，由管制哨自動管制進出管制區域之車輛。(4) 加強管制並由政

府補貼以減輕車主負擔：對於車主來說濾煙器價格過高，以致車主無安裝意願，未來可考慮採用加強管制及提供鼓勵措施同時進行策略，一方面提供獎勵誘因，降低計畫推動之困難度，另一方面透過管制手段，增加高污染車輛車主壓力。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本計畫主要目的為探討減量技術對柴油車尾氣中空氣污染與有害物質排放係數之影響，進而推估柴油車細懸浮微粒(PM_{2.5})排放量與減量效益，並對未來減量策略與工作要點提出具體之建議。計畫中測試之減量技術著重於尾氣處理設備與油品成分，包括含硫量 50 ppmw 市售超級柴油 B1(S50) 含硫量 10 ppmw 超級柴油 B1(S10) 氧化觸媒 DOC 與氧化觸媒濾煙器 DPF 等；動力計上測試之行車型態包括美國暫態循環、穩態惰轉與低負載等；定容積稀釋道內量測之污染物包括總懸浮微粒(PM)與細懸浮微粒質量與數目濃度、粒徑分布、有機/無機碳、無機鹽類與毒性物質(PAHs、PCDD/Fs、PCB)濃度。本計畫於執行期間順利的完成預定之工作項目，主要的研究成果彙整如下：

1. 暫態實驗結果顯示，DPF 的使用對 PM_{2.5} 與微粒數目排放係數有大幅之減量效果，其削減量分別為 85.3% 與 99.6%，且對其它污染物與有害物亦有相當程度之減量效果；DOC 的使用亦有減量效果，但不如 DPF 顯著，其 PM_{2.5} 與微粒數目削減量分別為 45.5% 與 77.9%；柴油含硫量之降低，從 50 降至 10 ppmw，對污染物之減量效果則相對較小，PM_{2.5} 與微粒數目削減量分別為 11.9% 與 20.4%。
2. 穩態實驗結果顯示，惰轉下柴油引擎的空氣污染物排放係數顯著高於低負載，尤其是次微米微粒質量與超細微粒數目濃度部分。此外，穩態實驗下之微粒數目粒徑分布數據穩定性高，可用於探討引擎運轉扭力與轉速對微粒排放特性之影響。
3. PM_{2.5} 排放量推估結果顯示，若僅針對台灣機動車輛總數約 1% 的使用中柴油大貨客車進行濾煙器的大力推廣，即可有約 18% 的移動污染源 PM_{2.5} 總量削減效益；此量雖看似不多，但質上的改變，特別是有害物減少所獲得之健康風險降低效益不容忽略。此外，本研究結果顯示，柴油引擎排放之毒性物質皆以氣相為主，故未來對於毒性物質之減量方法，建議可著重於去除氣相污染物之技術。
4. 綜合以上，本計畫顯示濾煙器為高效益的柴油車 PM_{2.5} 減量技術，氧化觸媒技術亦有相當程度的效益。反觀，柴油硫含量之降低僅有少量的微粒減量效益，但應有助觸媒技術的開發與應用於尾氣處理。
5. 最後，近年國內車輛排放標準逐年加嚴，可預期空氣品質將逐漸的改善；然而，使用中車輛之因應措施、現行量測方法之適用性與新興污染物之衍生等皆宜一併檢討。全賴新車來逐年改善空氣品質較為緩慢，控制技術之推廣有相輔相成且立即之效。車輛微粒質量排放問題之改善，可預期超細微粒數目問題之相對重要性會提升，微粒質量分析之準確性受考驗等。

6.2 建議

1. 近年我國移動污染源管制策略對車輛排放標準逐年加嚴，以持續改善空氣品質並因應國際環保趨勢。然而，使用中車輛之因應措施、現行量測方法之適用性與新興污染物之衍生等皆宜同時檢討。全賴新車來逐年改善空氣品質較為緩慢，而推廣污染控制技術於使用中車輛將有相輔相成且立即之成效。
2. 現階段之引擎設計與改良已趨極限，故目前可採行之減量技術甚為倚賴末端的尾氣處理，而高效能的濾煙器即為一個可行之減量技術。依據本研究結果與許多國外成功的濾煙器推廣經驗，本計畫建議及早規劃宣導、鼓勵、補助與推廣濾煙器之廣泛使用，特別是高污染貢獻度之重型柴油引擎車輛，如大貨車與大客車；此外，建議短期目標可針對公家機關與敏感環境區之重型柴油引擎車輛先行補助使用與示範。此策略的成功要素主要又維繫於國人是否能自行研發有效且低成本之濾煙器。
3. 若濾煙器廣泛應用於車輛粒狀污染物控制上，可預期微粒質量排放之問題會大幅改善，進而導致超細微粒數目排放問題之相對重要性提升。此外在技術層面上，車輛尾氣中微粒質量分析法將會迫近儀器偵測極限，導致無法準確的測得排放係數。本研究建議參考歐盟聯合國歐洲經濟委員會粒狀污染物量測計畫(UN-ECE Particle Measurement Programme)提出之微粒數目量測法，及美國環保署 2007 年修正後之微粒測量與重量分析方法(US EPA revised 2007 regulation)，啟動相關軟硬體之更新。
4. 最後，若期達成並維持粒狀污染物之減量目的，濾煙器使用後的劣化情形亦不容忽視，然而國內相關之研究甚為缺乏。本研究建議投注相關的資源強化濾煙器劣化問題的探討。因此，本研究建議針對量測方法與減量技術持續參考歐盟與美國等先進國家之經驗，強化國內技術與研發能力，儘速與國際接軌。

參考文獻

- Beddows, D.C.S., Roy M. Harrison, "Comparison of average particle number emission factors for heavy and light duty vehicles derived from rolling chassis dynamometer and field studies" *Atmospheric Environment* 42, pp. 7954-7966 (2008).
- Caserini, S. and A.M. Monguzzi, "PCDD/Fs Emissions Inventory in the Lombardy Region: Results and Uncertainties," *Chemosphere*, Vol.48, pp. 779-786 (2002).
- Dockery, D.W., C.A. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris and Speizer, F.E., "An association between air pollution and mortality in six US cities," *New England Journal of Medicine*, Vol. 329, 1753-1759 (1993).
- Dunlap, J., "New truck inspection programs in California aim to reduce emissions," *Diesel Progress North American Edition* 64, pp. 94-96 (1998).
- EEA (European Environment Agency), *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009*, EEA, Copenhagen, (2009).
- Eldering, A. and G.R.Cass, "Source-oriented model for air pollutant effects on visibility," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, pp. 19343-19369 (1996).
- Eve'quoz, R., Keller, M., Heldstab, J., Kessler, H., "Exhaust Emissions of Road Traffic," *Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape(BUWAL)*, Bern, Switzerland. No. 255, pp. 1950-2010 (1995).
- Giakoumis, E.G. and A.I. Alafouzos, "Comparative study of turbocharged diesel engine emissions during three different transient cycles," *International Journal of Energy Research*, DOI: 10.1002/er.1625 (2009).
- Harley, R.A., L.C. Marr, J.K. Lehner and S.N. Giddings, "Changes in motor vehicle emissions on diurnal to decadal time scales and effects on atmospheric composition," *Environmental Science and Technology* Vol. 39, pp. 5356-5362 (2005).
- Hays, M., N.D. Smith, J. Kinsey, Y. Dong, P. Kariher, "Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Size Distributions in Aerosols from Appliances of Residential Wood Combustion as Determined by Direct Thermal Desorption-GC/MS," *Journal of Aerosol Science*, Vol. 34, pp. 1061-1084 (2003).
- Hidy, G.H., "Atmospheric Aerosols: Physical Characterization. *Aerosols: An Industrial and Environmental Science*," Academic Press, New York (1984).
- IARC (International Agency for Research on Cancer), *Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes*, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 46 (1989).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth*

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007).
- Jones, A.M., and R.M. Harrison, "Estimation of the emission factors of particle number and mass fractions from traffic at a site where mean vehicle speeds vary over short distances" *Atmospheric Environment* 40, pp. 7125–7137. (2006)
- Kerminen, V.-M., Mäkelä, T.E., Ojanen, C.H., Hillamo, R.E., Vilhunen, J.K., Rantanen, L., Havers, N., Bohlen, A.V., Klockow, D., Characterization of the Particulate Phase in the Exhaust from a Diesel Car. *Environmental Science and Technology*, 31, 1883-1889 (1997).
- Kittelson, D.B., W.F. Watts and J.P. Johnson, "On-road and laboratory evaluation of combustion aerosols – Part 1: Summary of diesel engine results," *Journal of Aerosol Science*, Vol. 37, pp. 913-930 (2006).
- Lin, T.C. and M.R. Chao, "Assessing the influence of methanol-containing additive on biological characteristics of diesel exhaust emissions using microtox and mutatox assays," *Science Total Environment*, Vol. 284, pp. 61-74 (2002).
- Lloyd, A.C. and T.A. Cackette, "Diesel Engines: Environmental Impact and Control," *Journal of Air and Waste Management Association*, Vol. 51, pp. 809-847 (2001).
- Lyyranen, J., J. Jokiniemi, E. Kauppinen, "The effect of Mg-based additive on aerosol characteristics in medium-speed diesel engines operating with residual fuel oils," *Aerosol Science*, Vol. 33, pp. 967–981 (2002).
- Majkowski S. "Value Analysis of Alternative Diesel Particulate Filter (DPF) Substrates for Future Diesel After treatment Systems"(2009).
- McCann, J., E. Chio, E. Yamasaki, And B.N. Ames, "Detection of Carcinogens as Mutagens in the Salmonella/Microsome Test Assay of 300 Chemicalproc," *Natl. Acad.Sci. USA* Vol. 72, pp.5135-5139 (1975).
- McClellan, R.O., D.E. Bicem, R.G. Cuddiht, N.A. Gillett, R.F. Henderson, R.K. Jones, J.L. Manderly, J.A. Pickrell, S.G. Shami, R.K. Wolff, "Health Effects of Diesel Exhaust, *Aerosols: Research Risk Assessment and Strategies*," Marcel Dekker, New York (1986).
- Moh'd Abu-Qudais, M., A. Matson and D. Kittelson, "Combination of Methods for Characterization Diesel Engine Exhaust Particulate Emissions," *JSME International Journal*. Vol. 44 pp. 166-170 (2001).
- Peters, A., H.E. Wichmann, T. Tuch, J. Heinrich and J. Heyderm, "Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 155, pp.1376-1383 (1997).
- Quaß, U., M. Fermann and G. Bröker, "The european dioxin air emission inventory project—final results," *Chemosphere* Vol. 54, pp. 1319-1327 (2005).

- Reischl, G.P., J.M. Mäkelä and J. Nucid, “Performance of the Vienna type differential mobility analyser at 1.2 – 20 nm,” *Aerosol Science and Technology*, Vol.27, pp. 651-672 (1997).
- Richter, H. and J.B. Howard, “Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their Growth to Soot - a Review of Chemical Reaction Pathways,” *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 26, pp. 565-608 (2000).
- Schwartz, J. and L.M. Neas, “Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren,” *Epidemiology*, Vol. 11, pp. 6-10 (2000).
- Shah, S.D., D.R. Cocker, J.W. Miller and J.M. Norbeck, “Emission rates of particulate matter and elemental and organic carbon from in-use diesel engines,” *Environmental Science and Technology* Vol. 38, pp. 2544-2550 (2004).
- Shima, H., E. Koike, R. Shinohara and T. Kobayashi, “Oxidative ability and toxicity of n-hexane insoluble fraction of diesel exhaust particles,” *Toxicological Sciences*, Vol. 91, pp. 218-226 (2006).
- Sodeman, D.A., S.M. Toner, K.A. Prather, “Determination of single particle mass spectral signatures from light-duty vehicle emissions,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 39, pp. 4569-4580 (2005).
- Solomon, G.M. and J.R. Balmes, “Health effects of diesel exhaust,” *Clinics in Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 3, pp. 61-80 (2003).
- TW EPA (Taiwan Environmental Protection Agency), Taiwan emission data system (TEDS) 7.0, http://www.ctci.com.tw/air-ei/new_main2-1.htm, accessed 2009/12/1.
- US EPA, National Air Pollutant Emission Trends Update, 1970-1997. EPA-454/E98-007 (1998).
- US EPA (US Environmental Protection Agency), Health assessment document for diesel engine exhaust. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, for the Office of Transportation and Air Quality; EPA/600/8-90/057F (2002).
- US EPA (US Environmental Protection Agency), Environmental technology verification protocol: Determination of emissions reductions obtained by use of alternative or reformulated liquid fuels, fuel additives, fuel emulsions, and lubricants for highway and nonroad use diesel engines and light duty gasoline engines and vehicles. Prepared by RTI International under a cooperative agreement with USEPA, EPA Cooperative Agreement No. CR829434-01-1, RTI Project No. 08281-001-003 (2003).
- Vaaraslahti, K., J. Ristimäki, A. Virtanen, J. Keskinen, B. Giechaskiel and A. Solla, “Effect of Oxidation Catalysts on Diesel Soot Particles,” *Environmental Science*

- and Technology, Vol. 40, pp 4776–4781 (2006).
- Wall, J.C., S.A. Shimpi and M.L. Yu, “Fuel Sulfur Reduction for Control of Diesel Particulate Emissions,” SAE Technical Paper Series No. 872139 (1987).
- Wang, J., J. Storey, N. Domingo, S. Huff, J. Thomas and B. West, “Studies of diesel engine particle emissions during transient operations using an Engine Exhaust Particle Sizer,” *Aerosol Science and Technology*, Vol. 40, pp. 1002-1015 (2006).
- Wang, L.C., H.C. Hsi, Y.F. Wang, S.L. Lin and G.P. Chang-Chien, “Distribution of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polybrominated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PBDD/Fs) in municipal solid waste incinerators,” *Environmental Pollution*, Vol. 158, pp. 1595–1602 (2010).
- Wang, L.C., Y.-F Wang, H.C. His and G.P. Chang-Chien, “Characterizing the Emissions of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polybrominated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans (PBDD/Fs) from Metallurgical Processes,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 44 (4), pp. 1240–1246 (2010).
- Westerholm, R. and A. Christensen, “Comparison of Exhaust Emissions from Swedish Environmental Classified Diesel Fuel (MK1) and European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) Reference Fuel: A Chemical and Biological Characterization, with Viewpoints on Cancer Risk,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 35 (9), pp. 1748-1754 (2001).
- WHO (World Health Organization), *Air quality guidelines: Global update 2005*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark (2006).
- Winklmayr, W., G.P. Reischl, A.O. Lindner and A. Berner, “A new electromobility spectrometer for the measurement of aerosol size distributions in the size range from 1 to 1000 nm,” *Journal of Aerosol Science*, Vol. 22, pp. 289–296 (1991).
- Yanowitz, J., R.L. McCormick and M.S. Graboski, “In-Use Emission from Heavy-Duty Diesel Vehicles,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 34, pp. 729-740 (2000).
- Zervas, E. and P. Dorlhène, “Comparison of exhaust particle number measured by EEPS, CPC, and ELPI,” *Aerosol Science and Technology*, Vol. 40, pp. 977-984 (2006).
- Zhang, J., K. He, X. Shi, and Y. Zhao, “Effect of SME biodiesel blends on PM_{2.5} emission from a heavy-duty engine,” *Atmospheric Environment*, Vol. 43, pp. 2442-2448 (2009).
- Zielinska, B., J. Sagebiel, W.P. Arnott, C.F. Rogers, K.E. Kelly, D.A. Wagner, J.S. Lighty, A.F. Sarofim, and G. Palmer, “Phase and Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel and Gasoline Vehicle Emissions,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 38, pp.2557-2567 (2004).
- Zielinska, B., J. Sagebiel, J.D. McDonald, K. Whitney, D.R. Lawson, “Emission rates

and comparative chemical composition from selected in-use diesel and gasoline-fueled vehicles,” Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 54, pp. 1138-1150 (2004).

行政院環保署 (TW EPA) , 空氣污染物排放量查詢系統 , <http://mommath.cy1000.com.tw/air-ei/> , 環保署空保處第一科 , Accessed on 2010/5/1。

林克衛,「柴油引擎氮防治技術 SCR(urea)系統之介紹」,財團法人車輛研究測試中心,車輛研測資訊,第 2-8 頁(2006)。

孫駿榮,「柴油車後處理器資料擷取」,國立成功大學航空太空工程學系碩士論文,(2008)。

財團法人車輛研究測試中心,「柴油汽車第五期排放標準訂定專案工作計畫」,EPA-94-F103-02-103(2005)。

高雄市環境保護局,「95 年度柴油車裝置濾煙器示範運行計畫」期末報告(2006)。

高雄市環境保護局,「96 年度柴油車裝置濾煙器示範運行計畫」期末報告(2007)。

莊志偉,盧昭暉,「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(2005)。

附錄一 空污防治科研計畫研究成果資料表

空污防制科研計畫研究成果資料表

可申請專利

可技術移轉

政策應用

日期：99年6月30日

計畫資料	<p>計畫名稱：柴油車細懸浮微粒排放推估與減量技術之研究</p> <p>計畫主持人：鄭曼婷</p> <p>共同主持人：楊錫賢、蔡瀛逸 王琳麒、楊禮豪</p> <p>計畫編號：NSC 98 - EPA - M - 003 - 002</p>
可應用或轉移之 研究成果說明	<p>本計畫順利的建置一套柴油引擎細微粒(PM_{2.5})採樣與分析之整合技術，用以探討減量技術對 PM_{2.5} 物化與毒理特性之影響，包括微粒質量/數目濃度、粒徑分布、碳成分、無機鹽類、及毒性成分等。研究結果顯示，濾煙器對 PM_{2.5} 有顯著之削減效益，接著依序為氧化觸媒與超低硫柴油。濾煙器之廣泛使用可達顯著之 PM_{2.5} 減量，故建議可由公部門領銜示範、推動空氣品質特定管制區與由政府補貼以減輕車主負擔等作法來推廣。</p> <p>The present study has successfully developed an integrated sampling and analytical system for comprehensive characterization of fine particles (PM_{2.5}) and evaluation of the reduction efficiencies of control techniques for diesel engine exhaust. The measured PM properties include mass and number size distributions, organic/elemental carbon, water-soluble ions, and trace toxic compounds. The results show that diesel particulate filter (DPF) is the most effective PM_{2.5} mass and number control technology, compared to diesel oxidative catalyst and ultra-low sulfur diesel. It is therefore recommended that governmental agencies are expected to play a leading role in the application of DPF, retrofitting DPF to all public vehicles, providing incentives that promotes widespread participation from the private sector.</p>

附錄二 期中審查會意見表

**98 年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫
期中審查會意見表**

意見	意見回覆
蘇金佳教授	
1. 本計畫針對柴油引擎排放微粒之分析與測試，獲得排放係數。	本研究結果顯示，重型柴油引擎廢氣中微粒質量與數量排放係數之高峯值多落在奈米粒徑範圍內(小於 0.1 μm)。就質量而言，除了奈米微粒外，排放係數峯值亦會出現在細粒徑範圍(2.5 μm)；就數量而言，奈米微粒對數量排放係數之貢獻度大於 90%。本計畫將遵照委員意見，持續關注此現象。
2. 測試結果顯示粒徑在奈米尺度範圍，值得繼續研究。	
3. 計畫執行方向符合要求。	謝謝委員肯定。
4. 最好能提出降低微粒排放的具體建議。	改善柴油引擎污染物之排放，可由引擎設計、油品改善與裝設尾氣處理設備等方向著手。引擎技術發展至今已趨極限，油品改善與裝設尾氣處理設備為目前可努力之作法。我國政府在油品改善方面近年積極降低硫含量；而尾氣處理設備方面則積極評估柴油濾煙器之效能與適用性。兩者皆為本計畫降低微粒排放之研究重點，本計畫將遵照委員意見，於期末報告提出降低微粒排放之具體建議。
5. 濾煙器的效率與壽命似可加以探討。	謝謝委員的建議。本工作團隊於計畫執行前已完整蒐集國內過去推動柴油引擎濾煙器研究報告，得知不論那一種型式之濾煙器，於裝設初期對微粒之排放皆具一定程度之改善效率。然經過一段時間後，其效率則不見得可持續維持。因此，影響濾煙器推動成功與否之主要關鍵乃在於濾煙器之再生(Regeneration)，一般而言，濾煙器本身不易損壞，造成濾煙器失效之原因主要是再生不良。濾煙器再生方式概分為主動式與被動式兩種，主動式與被動式又有多種技術，每一種再生技術適用之車輛須視不同車輛之行駛狀況而異。本計畫除評估裝設濾煙器對微粒之改善效率，亦遵照委員建議，探討濾煙器

	之耐久性。
6. 排放量推估與排放係數採用 FTP 測試模式，是否適合台灣地區，似可加以探討。	本研究採用美國暫態循環(US FTP Transient Cycle)測試模式，主因是我國空氣污染物排放清冊(TEDS)之車輛排放係數多參考美國 AP-42 與 Mobile，而其法定重型柴油引擎之測試模式即為 FTP Transient cycle。美國 FTP 測試中有 37%時間(438 秒)為怠轉，此權重遠高於歐洲穩態循環(ESC)(15%)與歐洲暫態循環(ETC)(7%)；此外，另有 40%時間在高引擎轉速下，顯示 FTP 同時著重於模擬市區街道與高速行駛之行駛狀態。就此層面而言，其適用性應不致有過大之落差，唯如同委員建議，FTP 對台灣之適用性宜加以探討。
李文智教授	
1. TSP 宜改正為 Total Particulate Matter (or T-PM)	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告用 PM 代表排放之懸浮微粒。
2. Weighted Emission Factor 如何計算？請說明。	本計畫微粒排放量係以採樣前後濾紙相減得知淨重再以採樣儀器與制動馬力進行換算，計算方式為【淨重 / (MOUDI 採樣體積 L / 1000) × (一次稀釋道總體積 m ³ / 制動馬力 HPh)】。排放係數其利用 MOUDI 每階之截取質量資料，d _p 為顆粒直徑等於該階層平均孔徑，而對數平均粒徑 logd _p 為該階層之對數平均值，dlogd _p 為該階層之對數機率，利用對數機率 dlogd _p 計算截取質量之排放係數，最後依截取粒徑大小之順序，由小到大排序。得知粒徑排放係數後進行污染物排放權重分析，其計算公式係根據美國 CFR (Code of Federal Regulations, 40CFR86)法規所規定之標準計算方法，計算方法為 (Cold start × 1/7) + Hot start × 6/7。
3. 濾煙器之短、中、長程使用之效果，宜更清楚釐清。	本計畫除評估裝設濾煙器對微粒之改善效率，亦遵照委員建議，評估濾煙器長期使用之效果耐久性。
4. 油品中的含氯及含溴成分，宜事先瞭解。	相關文獻指出油品、機油及油品添加劑等都含有 Cl 及 Br 元素,PCDD/Fs PCBs 及 PBDEs 等毒性物質則主要經由再生成機制產生。

林大惠教授	
1. 計畫階段成果符合預期。	謝謝委員肯定。
2. 引擎測試有冷啟動和熱啟動兩方面，宜分別討論分析。	本計畫將就分析結果針對冷、熱啟動比較及加權平均後比較分別呈現。
3. 油品所造成之影響效應宜多增加不同組成比較。	本計畫針對 B1 及 S10 及不同添加比例如 B5 或 B10 油品進行測試，因柴油動力計測試費用高，因此其他不同比例添加比例之生質柴油將蒐集相關文獻。
王雅玢教授	
1. 建議評估 DPF 之使用哩程，對污染物減量之關係。	本計畫除評估裝設濾煙器對微粒之改善效率，亦遵照委員建議，評估長期使用濾煙器對污染物減量之關係。
2. 加裝 DPF 之生物毒性測試結果較不一致，建議多 1 至 2 個不同條件之 Sample，以進一步比對。	本研究使用市售超級柴油與裝設濾煙器利用 TA98 及 TA100 菌株進行排放廢氣中 PM _{2.5} 萃取液致突變物測試，其菌落數分別顯示為 5116 與 3957 rev/plate 及 5178 與 4345 rev/plate，顯示裝設濾煙器後其菌落數皆有下降趨勢，此結果與微粒之減量效果一致。為累積更多測試數據以更提昇樣品可性度，本計畫所有加裝 DPF 之樣品皆會進行生物毒性測試。

附錄三 期末審查會意見表

98 年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫

期末審查會意見表

意見	意見回覆
蘇金佳教授	
1. 針對不同油品進行引擎測試，並量測其微粒排放係數，符合階段要求。	1. 謝謝委員肯定。
2. 就柴油引擎排放微粒進行粒徑分佈分析，結果可供參考。	2. 謝謝委員肯定。
3. 柴油引擎污染排放推估若真能反應車輛使用情形，將更有意義。	3. 謝謝委員的建議。本研究 PM _{2.5} 排放減量推估之主要對象為重型柴油引擎，亦即使用中柴油大貨車與大客車，雖此兩類車種佔所有機動車輛登記數之約 1%，但對移動污染源 PM _{2.5} 總排放量貢獻度高達 50%。輕型車輛中，柴油小貨車之貢獻度僅只 6%，而柴油小客車目前使用率仍相當低；此外，重型柴油引擎以外之其他車種的 PM _{2.5} 排放係數資料仍相當缺乏。因此，本研究減量策略推估並未針對輕型車輛進行探討，未來計畫可針對此部分進行相關資料之蒐集。
4. 濾煙器的應用可能遇到的人為因素問題，可繼續探討。	4. 謝謝委員的建議。在使用濾煙器上確實會因人為因素而造成些許問題，例如車輛是否有作定期保養與濾煙器使用一段時間後是否還處於有效再生狀態等問題皆是可能遇到之人為因素，若後續有執行類似計畫本研究團隊將針對人為因素部分進一步作探討。
5. 未來可就推行濾煙器策略進行研究。	5. 謝謝委員的建議。本工作團隊於期末報告中已蒐集整理國內外過去推動柴油引擎加裝濾煙器執行策略及成果，本計畫於期末報告中也建議未來濾煙器推行可行策略包括 1.公部門領銜示範 2.濾煙器適用性評估 3.推動空氣品質特定管制區 4.加強管制並由政府補貼以減輕車主負擔等四大項，若往後續有執行類似計畫

	本研究團隊持續蒐集整理最新國外推動柴油引擎加裝濾煙器執行策略，並針對本各種策略作進一步深入探討。
李文智教授	
1. 部分微量毒性物質之測定結果，可再探討其變動之原因。	1. 謝謝委員的建議。PM _{2.5} 之 Total PCDD/Fs, Total PCB TEQ 及 Total PBDE 排放係數皆較 TPM 此三種污染物之排放係數為高。此可能為 MOUDI 及 nano-MOUDI 採集微粒粒徑分布時使用多層濾紙以收集各別粒徑範圍之粒狀物，又本計畫所檢測之毒性污染物為半揮發性，在進行採樣中氣相污染物容易吸附在濾紙及濾紙上之粒狀物，進而影響到 PM _{2.5} 之氣固相分佈比例。建議若要研究柴油車排放廢氣 PM _{2.5} 之毒性特徵，可使用 PM _{2.5} Cyclone 來進行採樣，以利樣品測定氣固相分佈比例。請見期末報告修訂稿 p.37。
2. 若擬進行下年度之計畫，建議研究構想可更大幅度擴展。	2. 謝謝委員的建議。未來計畫可考慮擴大研究議題，特別是替代能源對排放減量之影響，如酒精、丁醇等油品。
張慶源教授	
1. 所提降低柴油之含硫量可降低粒狀物之排放量，在粒狀物上會有硫酸鹽沉積，宜有化學特性分析資料予以佐證。	1. 謝謝委員的建議。使用 B1(S10)柴油之引擎廢氣 PM _{2.5} 的 NO ₃ ⁻ 及 SO ₄ ²⁻ 排放係數分別為 B1(S50)柴油引擎廢氣排放的 97.0% 及 65.3%，較 B1(S50)柴油引擎廢氣 PM _{2.5} 的 NO ₃ ⁻ 及 SO ₄ ²⁻ 減量 3.0% 及 34.7%，顯示使用 B1(S10)柴油對引擎廢氣減少 NO ₃ ⁻ 及 SO ₄ ²⁻ 排放有助益，尤其對 SO ₄ ²⁻ 的減量較為明顯。
2. B1(S50)及 B1(S10)所含 PAHs 及 PCB 之負正相關不同，宜有所說明。	2. 謝謝委員的建議。本計畫所檢測之毒性污染物為半揮發性，在進行 MOUDI 採樣中氣相污染物容易吸附在濾紙及濾紙上之粒狀物，進而影響到 PM _{2.5} 之氣固相分佈比例，進而導致使用低含硫柴油不同毒性污染物有減量或增量等不一致之情形。 但若採集 TPM 毒性污染物及氣相毒性

	<p>污染物時，則使用單一濾紙及 XAD-2 吸附劑，較不會影響原有氣固相分佈比例，結果發現使用低含硫柴油 B1 (S10) 較使用 B1 (S50) 對毒性污染物均有減量之趨勢，此與過去文獻針對低含硫柴油排放廢氣之致突變性較低之結果相似。請見期末報告修訂稿 p.37。</p>
<p>3. 引擎排放物質以氣相為主，所提加裝 DOC 及 DPF 確實對 PM_{2.5} 有明顯減量效果，宜附帶說明一下如何改善氣相污染物之排放。</p>	<p>3. 謝謝委員的建議。使用 DOC 後，對柴油引擎排放廢氣中 4 種毒性污染物之氣相減量率，分別為 PAHs 之 94.4%，PCB 之 79.5%，PBDE 之 58.3%，PCDD/Fs 之 53.6%，顯示 DOC 中之觸媒會對上述污染物進行脫氯、脫溴及破環等機制。由於柴油引擎排放廢氣之毒性污染物組成皆以氣相為主，故未來對於毒性物質之減量方法，可著重於 DPF 中主要用以去除氣相污染物之觸媒相關技術研發。請見期末報告修訂稿 p.37。</p>
<p>行政院環保署</p>	
<p>1. 柴油車排放之細懸浮微粒受重視，本計畫執行成果可有效提供作為研訂後續管制策略之參考。</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p>
<p>2. 符合環保署施政需求，研究成果可提供決策參考。</p>	<p>2. 謝謝委員肯定。</p>

附錄四 計畫執行期間的開會與採樣時程表

工作項目	時間	地點	說明
第一次整合型計畫會議	98/07/06	中興大學	討論計畫書修正內容
第二次整合型計畫會議	98/07/30	中興大學	討論中油煉製研究所動力計現場勘查及與採結果並規畫八月採樣事宜
第一次採樣	98/08/18-98/08/20	中油煉製研究所	進行第一次柴油車動力計採樣
第三次整合型計畫會議	98/09/16	中興大學	討論採樣初步結果
期初座談會	98/9/18	國科會	環保署/國科會空污防制科研合作計畫舉辦之座談會
第四次整合型計畫會議	98/10/28	中興大學	討論採樣結果
第五次整合型計畫會議	98/11/26	中興大學	成果統整
移動污染源計畫群整合會議	98/12/05	崑山科技大學	研討整合事宜及規劃未來方向
第六次整合型計畫會議	99/01/07	中興大學	期中報告成果檢討
期中審查會	99/01/08	國科會	環保署/國科會空污防制科研合作計畫期中審查
第七次整合型計畫會議	99/02/09	中興大學	工作分配及討論採樣事宜
第八次整合型計畫會議	99/03/12	車輛測試中心	討論濾煙器耐久性測試及採樣事宜
第九次整合型計畫會議	99/04/23	中興大學	進度報告及討論採樣事宜
第二次採樣	99/05/06-99/05/07	中油煉製研究所	進行第二次柴油車動力計採樣
第十次整合型計畫會議	99/05/19	中興大學	採樣結果討論及成果檢討
移動污染源計畫群整合會議	98/05/22	屏東科技大學	研討研究成果、整合事宜及規劃未來方向
期末審查會	99/06/10	國科會	環保署/國科會空污防制科研合作計畫期末審查