

# 環保署/國科會空污防制科研計畫期末報告

## —街道揚塵洗街對鄰近空氣品質改善效益之評估— (NSC91-EPA-Z-327-001)

計畫主持人：洪崇軒

參與研究人員：賴瑞明、蘇世昌

林秉毅、謝岱紘

周慶隆、林志逢

執行機關：國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系

中華民國九十二年三月

# 目 錄

	頁 碼
目錄	1
摘要	2
一、前言	3
二、研究目的	4
三、文獻回顧	6
3.1. 街道揚塵與空氣品質之關係	6
3.2. 揚塵粒徑與氣象條件關係	8
3.3. 車輛流量、行車速度及車體重量對街道揚塵之影響	9
3.4. 洗掃之成效評估相關之研究	11
四、實驗材料與方法	13
4.1. 風向辨識粒狀物採樣設備之建立	13
4.2. 模型場道路洗掃效能評估試驗	15
4.3. 現場洗掃街作業大氣懸浮微粒之採樣與分析	16
4.4. 實驗室化學成份分析	17
4.5. 品保與品管流程	19
五、結果與討論	22
5.1. 建立風向辨識粒狀物採樣設備與現場比對測試	22
5.2. 模型場道路洗掃效能評估試驗結果	23
5.3. 現場洗掃街作業降低大氣懸浮微粒濃度效能分析	25
5.4. 懸浮微粒成份分析	27
5.5. 洗掃街對鄰近空氣品質影響之評估方法	28
六、結論與建議	32
七、參考文獻	33
附錄	35

計畫名稱：街道揚塵洗街對鄰近空氣品質改善效益之評估 (NSC91-EPA-Z-327-001)  
計畫執行期間：中華民國 91 年 7 月至 92 年 3 月

### 摘 要

本子計畫在「街道揚塵洗掃成效評估與空氣污染改善之效益研究」整體計畫之執行架構下，配合整合計畫之總體目標，進行提昇空氣品質監測站周圍街道揚塵洗掃效率之研究，期能對於整體街塵揚塵洗掃作業之執行成效，有進一步深入之探討與瞭解。本計畫執行已完成相關文獻資料之蒐集與彙整工作，相關之研究成果已投稿發表中；本計畫已完成具風向辨識能力之懸浮微粒採樣器的設計與應用，並經測試結果顯示，此具有風向辨識能力之採樣系統，可提供可信度較高之數據，經模擬數個既有比對場址顯示，其上下風 TSP 差值約為傳統採樣器測值之 1.50~6.2 倍；本計畫完成模擬道路現場大氣懸浮微粒濃度之檢測，經現場測試結果可發現，鄰近模擬道路之大氣 TSP 的減少率約為 42.2%、PM<sub>10</sub> 可減少率為 34.8%、PM<sub>2.5</sub> 之減少率達 40.9%；本計畫亦完成現場洗掃街作業對於楠梓、左營地區大氣懸浮微粒減量效能評估之測試，洗街作業對於鄰近街道之空氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量效能，分別介於 63.5~91.2 % 與 49.6~94.0 % 間，對於該區域離道路較遠處之大氣減量效能，則分別介於 6.02~24.75 % 與 0~6.73 % 間；掃街作業之空氣品質改善效能一般低於洗街作業，其對於鄰近街道空氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量效能分別為 64.9 % 與 49.6 %，而其對於該區域離道路較遠處之大氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量，則分別為 6.95% 與 3.41 %；經分析所採集之懸浮微粒樣品之成分顯示，陽離子以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 及 Ca<sup>+2</sup>，陰離子以 Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> 等含量較高，金屬成份含量以 Al、Ca、Cr、Fe、K、Mg、Zn 含量較高；本計畫亦提供相關單位，於後續進行洗掃街作業效能評估作業之參考。

**關鍵詞：**洗掃街、粒狀污染物、空氣品質、排放係數、逸散性污染源

### Abstract

The purpose of this project is to evaluate the performance of street sweeper on the improvement of ambient air quality. Several objectives including to monitor air quality before and after the operation of street cleaning, to analyze the characteristics of street dust, to analyze the prosperities of suspended particulate matters collected from surrounding air, and to establish the evaluating procedures for the performance of street sweepers. The investigation results show the air quality monitoring systems equipped with wind-direction-selection systems can provide more accurate emission information of air pollutants from fugitive pollution sources than traditional monitoring systems. The experimental results are also indicated to reduce 6.02~24.75% for TSP and 0~6.73% for PM<sub>10</sub> emission after the operation of road washing, and only 6.95% for TSP and 3.41% for PM<sub>10</sub> emission after the operation of road sweeping. The major salts that can be identified from collected particulate matters include NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, and Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, and Zn are the major metal with higher concentrations. The conclusions observed from these investigations can be applied as the references for making the air-quality-improvement policies by the authorities.

**Keywords :** road washing, particulate matters, air quality, emission factors, figurative pollution sources

## 一、前言

導致都會區空氣污染品質不良之空氣污染物，粒狀空氣污染物濃度偏高為重要原因之一，例如：高屏地區之大氣懸浮微粒濃度偏高，為此區域空氣品質不理想重要因素。都會區空氣中懸浮微粒之來源，雖然可能少部份來自於長程的境外傳輸落塵外，工業製程廢氣之排放、汽機車等交通工具空氣污染物之逸散、以及地面揚塵的再揚起，皆為重要之污染來源。各縣市政府環保單位為了減少地面的落塵累積量，皆加強執行所謂的「洗掃街道揚塵」等專案計畫，雖然其對於懸浮微粒濃度之改善有所助益，但其對空氣品質改善貢獻之量化關係，仍需要加以評估。

洗掃街道揚塵作業之執行，主要在於掃除都會區街道鋪面上之街塵。所謂「街塵 (street dust 或 road dust)」係指鋪設道路(paved road)上所累積的灰塵等物質 [Akhter & Madany, 1993]。其來源可能來自於道路本身之土壤、路面材質破碎之組成、汽機車輪胎與地面的摩擦碎屑、以及灰塵與落塵等空氣污染物。街塵可能危害局部區域的空氣品質，並對人體健康亦有所影響。例如，相關文獻曾指出，街塵中常含有具有危害性微量金屬元素與有機化合物，可經由呼吸或食入等途徑進入人體，而危害人體健康。此外，由於許多街塵中所含的多環芳香烴化合物 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)，常屬於致癌物質，幼童則可能經由手沾黏街塵送入口中，成為受到街塵危害高危險族群 [Harvey *et al.*, 1985; Barnes, 1990; Bornschin *et al.*, 1986; Chan & Kwok, 2000]。

街道之洗掃作業乃希望藉由路面塵土負載之減少，以降低道路揚塵之產生，進而降低鄰近區域大氣中 TSP、PM<sub>10</sub> 等懸浮微粒濃度。環保署與各縣市政府積極推動辦理「街道洗掃」計畫的執行方式，一般係先針對髒污街道進行評比分級（例如：分別依道路髒污程度區分為 A 級輕微、B 級普通、C 級嚴重、D 級非常嚴重等四級），再給於不同之洗掃頻率。然而，對於此類計畫之執行，其確實之功效，或是對於局部區域空氣品質改善之成效，目前尚缺乏較有效的評估方式。基於此，建立相關之成效評估模式，以及洗掃街計畫之施行之於空氣品質改善貢獻，皆需要更進一步的探討與分析，此亦為本研究計畫擬探討的重點。

## 二、研究目的

基於都會區洗掃街計畫之執行迄今，仍有許多相關的議題需要進一步探討，本子計畫（子計畫二）在「街道揚塵洗掃成效評估與空氣污染改善之效益研究」整體計畫之執行架構下，配合整合計畫之總體目標，其包括：評估街道揚塵洗掃成效、提昇洗掃效率、保護環境空氣品質，並應用受體模式解析空氣中懸浮微粒與街道揚塵洗掃之相關性，藉以決定街道洗掃頻率及洗掃方式，研擬查核項目及標準作業方式。進行街道揚塵洗掃效率對於提昇空氣品質之研究，期能對於整體街塵揚塵洗掃作業之執行成效，有進一步深入的探討與瞭解。

本子計畫之執行，對於相關基本資料之建立，並連結「子計畫一—提昇空氣品質監測站周圍街道揚塵洗掃效率」，以及「子計畫三—空氣品質監測站懸浮微粒污染來源之解析」模式模擬等相關研究內容，具有計畫連結性與整合性之功效。對於基本資料之建立與分析、街塵揚塵污染源之篩選與追蹤、洗掃街效益之評估，期能有進一步的瞭解。本計畫執行之流程則如圖 1 所示，而計畫之研究目的彙整如下。

- 1.開發與應用具風向辨識能力之懸浮微粒採樣器。
- 2.採樣與分析洗掃街作業前後大氣懸浮微粒濃度之變化。
- 3.建立懸浮微粒特性與與氣象因子(如：風向、風速、濕度、溫度等)關係。
- 4.探討重要氣象因子對於洗掃街作業及鄰近區域空氣品質之影響。
- 5.建立及實施洗掃街對鄰近空氣品質影響之評估方法。
6. 評估洗掃街對鄰近空氣品質之效益。

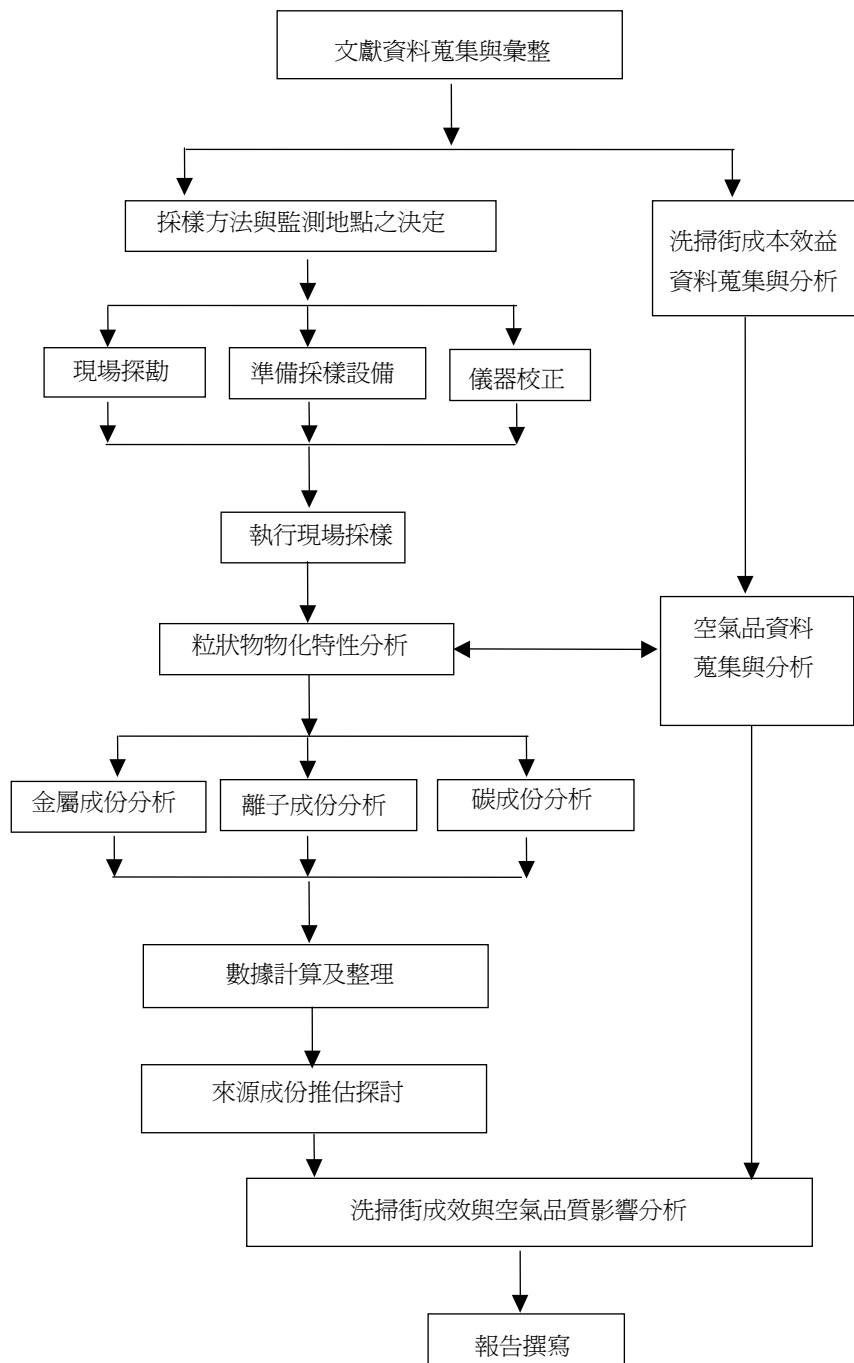


圖 1、計畫執行流程圖

### 三、文獻回顧

#### 3.1.街道揚塵與空氣品質之關係

鋪面道路街塵之揚起，主要來自於交通工具之碾壓及大氣之擾動。根據洪氏等人[1998]在都市車行地下道的空氣品質檢測研究中發現，街塵之再揚起與隨車輛進入車行地下道之懸浮微粒，為導致地下道空氣中粒狀污染物之重要來源；蔣氏等人[1994]的研究亦曾指出，台灣地區之 TSP 排放總量中，以道路車行揚塵與工業製程所佔之比例最高；根據中鼎公司對台灣地區空氣污染物總量推估資料則顯示[倪氏等，2000]，台灣地區懸浮微粒排放量約 361,000 公噸/年，貢獻最大污染源為車輛行駛揚塵佔約 41 % (其中鋪面及未鋪面各佔一半左右)，其次係來自於工業之排放約佔 21% 左右，土木工程則佔約 9%，餐飲業油煙排放、露天燃燒及車輛排放各約佔 5~6% 左右，其他污染源所佔比例則很少；張氏[1999]等人利用線性規劃之分析方式，評估結果指出，車行揚塵對於台灣中部地區懸浮微粒之細微粒排放之貢獻量約佔 6.01 %。

另外，在江氏等人[2000]的研究中則指出，國內台中市大氣中懸浮微粒的來源，鋪面道路揚塵對於整體懸浮微粒的貢獻量約佔五成；而根據國外 Axetell and Zell [1977]等之研究報告則進一步指出，都會區鋪面道路街塵沉積之污染源比例分別是，路面耗損佔 4 %、車胎及煞車片之磨損等車輛相關之沉積佔 7 %、落塵佔 4 %、丟棄物佔 17 %、經由車輛由他處帶入之泥土及飛塵佔 42 %、鄰近區域因風蝕所帶入之泥土及飛塵佔 8 %、掉落之塵土佔 8 %、生物渣屑佔 8 %。至於鋪面道路所累積之街塵，則可以藉由再揚起 (佔 41 %)、風蝕 (佔 8 %)、移置他處 (佔 16 %)、與水沖洗 (佔 20 %)、以及掃街作業 (佔 14 %) 等方式，而予以移除。

李氏[1996]等人針對臺灣中部都會區，大氣懸浮微粒之粒徑分布與污染物特性分析的研究指出，大氣懸浮微粒的來源相當多，包括：製造、處理或搬運過程中受到氣體的擾動所造成的揚塵、公共工程所產生的揚塵、道路交通活動、機械操作的產物等等；而在蔡氏等人[1999]的研究中亦指出，台灣地區的懸浮微粒及 PM<sub>10</sub> 排放總量中 (ton/yr)，道路行駛所造成的揚塵佔有相當高的比例，其來自於鋪面道路 (Paved Road)、未鋪面道路 (Unpaved Road)、建築工地或工廠的堆料及搬運等過程。在都會區中，PM<sub>10</sub> 污染之來源主要為車輛所排放的尾氣以及

車輛行駛中所引起道路的揚塵，輛所排放的尾氣貢獻量為 4~40%，而道路的揚塵為 30~50%[Watson 等，1989；Chow 等，1992b,c；Kim 等，1992]。

陳氏等人[1999]在利用 CMB 模式分析高雄地區大氣中懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 特性及來源，研究結果顯示，環保署左營測站之各污染源貢獻量分別為，交通污染源佔 45%、硫酸鹽二次衍生物佔 14%、硝酸鹽二次衍生物佔 16%、露天燃燒佔 13%、海水飛沫佔 4%、而街塵、有機碳成分、水泥業及石油業各佔 2%；前鎮測站各污染來源之貢獻量分別為，交通污染源佔 18%、硫酸鹽二次衍生物佔 22%、硝酸鹽二次衍生物佔 19%、露天燃燒佔 17%、海水飛沫佔 4%、石油業佔 3%、街塵佔 17%；小港測站各污染來源之貢獻量為，汽柴油車佔 52%、機車佔 2%、硫酸鹽二次衍生物佔 15%、硝酸鹽二次衍生物佔 12%、露天燃燒佔 17%、石灰窯佔 1%、石油業佔 1%。

蔣氏等人[1993]則利用 CMB 模式推估各污染源對台北市懸浮微粒之污染貢獻量，其中柴油車佔 15%~60%、汽機車佔 0.7%~1.7%、硫酸鹽類佔 15%~28%、塵土佔 13%~19%、海洋佔 5.8%~10.6%、硝酸鹽佔 3.6%~7.2%、燃油佔 0.5%~2.8%、露天燃燒佔 0.3%~2.6%。此外，以台北市辛亥隧道進行受體模式分析，結果發現辛亥隧道再晴天時的懸浮微粒來源中，以塵土佔 35.48%為最高，其次為柴油車佔 29.67%，汽機車佔 2.31%；而雨天時柴油車佔 75.75%，汽機車為 9.02%。蔣氏與張氏等人[1996]利用多項式回歸分析法推估小港地區之 PM<sub>2.5-10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub>，結果顯示影響小港地區白天的主要污染來源為土壤／街塵、海鹽、交通、燃煤與光化學反應所產生之二次衍生氣膠，夜晚則以鋼鐵業、二次衍生氣膠、土壤／街塵與交通污染源。

王氏等人[1998]針對台中市街道進行採樣，並利用化學平衡受體模式分析，分析結果顯示，台中市 PM<sub>10</sub> 主要來自於未鋪面道路及土壤之逸散，其貢獻量約佔總排放量的 88%左右。類似之研究亦可在 Gass 等人[1983]與 Crow 等人[1995]利用化學平衡受體模式推估美國加州之 TSP 排放量及 San Jose 地區之 PM<sub>10</sub>，顯示 TSP 之 15%來自於車輛行駛之揚塵，PM<sub>10</sub> 車行揚塵之貢獻量約佔 6%~13%。因此，我們可以由前述資料可以得知車行之揚塵，主要來自於交通工具之碾壓及大氣之擾動，導致街塵揚起，造成鋪面道路逸散性排放，對於地表之空氣品質和能見度影響甚大。

此外，有相當多的研究文獻，曾針對各類街塵之組成成分加以分析，並將



相關之分析結果，與同步蒐集之大氣懸浮微粒組成成份相互比較，以瞭解街塵可能之污染源。此類研究一般皆可發現，街塵與一般大氣中之懸浮微粒組成，差異不大，但其中部分成份之比例可能隨污染源特性之不同，組成比例會有些微的不同。例如：林氏等人[1999]針對高雄市大氣懸浮微粒  $PM_{2.5}$  及  $PM_{2.5-10}$  之化學組成特徵進行分析，高雄市之懸浮微粒污染受人為污染源之影響較大，懸浮微粒化學組成中金屬成份約佔  $PM_{2.5}$  及  $PM_{10}$  質量濃度的 6.8 及 12.8%，主要以分佈於粗粒( $PM_{2.5-10}$ )之地殼元素(Si、Ca、Al)為主，且其相關性亦高，主要來自於揚塵的貢獻。

蔡氏等人[1997]分析新竹都會區所採集之街塵與大氣 TSP 中之成分指出，大氣中 TSP 之 Fe 佔 1.43%~3.6%、K 佔 0.71%~1.41%、Ca 佔 0.91%~1.53%、Si 佔 19.52%~30.08%、Al 佔 1.71%~1.99%，而街塵之重金屬元素比例則分別為 Fe 佔 0.69%~2.24%、K 佔 0.221%、Ca 佔 0.50%~2.53%、Si 佔 20.23%~61.14%，街塵與大氣中之重金屬成分比例相當接近，因此可推測大氣中之 TSP 主要來自於地面街道之行車揚塵所引起。鄭氏等人[1998]分析台中都會地區典型街塵樣品發現，街塵中的 Ca、K、Mg、Al 的元素濃度與街塵粒徑分布類似，而這些元素應是街塵主要組成，可能多來自於營建工地廢土逸散或未鋪設之道路揚塵。

黃氏等人[2000]的研究亦指出多環芳香烴類 (PAHs) 在粉塵微粒上的含量濃度，幾乎大於懸浮微粒之 PAHs 濃度，故其研判在懸浮微粒上之 PAHs，係經由沈降作用沈降於地表，接著因再揚起作用而懸浮於大氣中，並吸附更多的 PAHs，如此週而復始直至飽和，使得 PAHs 在地表環境中具有相當的累積程度。而經比較工業區、交通區與郊區鋪面道路粉塵中的鉛含量後可發現，工業區、交通區及地下道之鉛含量明顯高於郊區。

### 3.2 揚塵粒徑與氣象條件關係

由於粒狀物排放容易受到許多因素的影響，然而氣象條件(例如風速、風向、輻射量以及溫溼度等)，亦為重要的影響因素[Leung 等人，1993；Monn 等人，1995]。根據蔡氏[1998，1999]等研究群利用「風洞」之模擬實驗結果發現，裸露地之揚塵，隨風速之大小有密切之關係，一般街塵受風再揚起之風速閾值約為 5.38 m/s (粒徑 26  $\mu\text{m}$  以下之揚塵)，而當風速大於 6 m/s 時，風速與所揚起之塵粒數成指數增加之關係，粒徑越小之微粒，愈容易被揚起，而所監測得之裸露地

揚塵排放係數為  $3.38\sim 48.51 \times 10^{-7}$  ton/m<sup>2</sup>-day 間，營建工地揚塵 TSP 中之 PM<sub>10</sub> 約佔 41.7%。

另外，蔡氏[1998, 1999]等研究亦指出，利用灑水方式以抑制揚塵產生之研究發現，揚塵之排放係數與風速、坩土負荷、含水率等參數有關聯性。在無車輛通行下，灑水之控制效率平均約為 63.83%，而在有車輛通行下，控制效率平均為 60.13%，而車速由 40km/hr 降低至 30km/hr 時，排放係數減少 61.2%，降低至 20km/hr，排放係數減少近 75.6%；章氏[1999]等人的研究也發現，灑水對於鋪面道路揚塵控制具有成效，若每星期灑水 2-3 次，約可減少 50% 的粒狀物；林氏[2000]等研究群利用風洞實驗則發現，各種粒徑之含水率若能增加，可有效控制街塵之再揚起，而界面活性劑之使用對於較大粒徑之微粒之揚起控制效果較佳，此外，研究中也指出，風速 6.6m/s 以上時，對於微粒逸散量之擾流現象，將較為明顯，而風速低於 5.1m/s 時，風速較不會引起粉塵；噴灑土壤改良劑以減少粉塵之逸散，則可在章氏[2000a,b]等之研究中，發現相關之研究結果。

當粒狀物間摩擦力與吸引力之和若小於風的攜帶力時，此時粒狀物便會以加速度運動隨著風向移動。Bagnold 等人[1977]曾經推导出臨界摩擦速度 (threshold friction velocity)，亦即能使粒狀物隨風揚起的臨界風速：

$$u' = k \left[ \frac{d \cdot g \cdot \rho_s}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

其中  $u$ ：臨界摩擦速度 (m/s)

$k$ ：係數

$d$ ：顆粒粒徑 ( $\mu\text{m}$ )

$g$ ：重力加速度 ( $9.8\text{m/s}^2$ )

$\rho_s$ ：顆粒密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$ ：空氣密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

由此得知粒狀物大小、比重與風速成正比關係，即表示粒狀物粒徑或密度越大，則揚起所需要的臨界摩擦速度越大。

### 3.3. 車輛流量、行車速度及車體重量對街道揚塵之影響

U.S. EPA (1985) 根據車流量、街塵負荷以及揚塵粒徑大小之影響，提出

都會地區產生的之排放係數估算方法：

$$E = k \left( \frac{sL}{0.5} \right)^p \quad (2)$$

其中 E：排放係數 (g/VKT)  
L：街塵負荷量 (g/m<sup>2</sup>)  
s：坭土 (粒徑小於 75 μm 之微粒)  
K：排放係數常數 (g/VKT)  
p：指數

然而，U.S. EPA (1993) 對鋪面道路之街塵排放係數再次修正，其中增加車輛重量之考量，而公式主要對 PM<sub>10</sub> 以及 PM<sub>2.5</sub> 之排放係數作估算：

$$E = k(sL)^{0.65}(W)^{1.5} \quad (3)$$

其中 E：排放係數 (g/VMT)  
L：街塵負荷量 (g/m<sup>2</sup>)  
s：坭土 (粒徑小於 75 μm 之微粒)  
K：排放係數常數 (g/VMT) (PM<sub>10</sub>=0.90 g/VMT ;  
PM<sub>2.5</sub>=0.41 g/VMT)  
W：各型車輛平均車重 (g)

但 AP-42 所推出之模式，是在低車流量之條件下所導出。U.S. EPA (2002) 再次對鋪面道路之街塵排放係數修正：

$$E = k \left( \frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5} \quad (4)$$

其中 E：排放係數 (g/VKT)  
L：街塵負荷量 (g/m<sup>2</sup>)  
s：坭土 (粒徑小於 75 μm 之微粒)  
K：排放係數常數 (g/VKT) (PM<sub>10</sub>=4.60 g/VKT ;  
PM<sub>2.5</sub>=1.10 g/VKT)  
W：各型車輛平均車重 (ton)

Hesketh 等人 (1983) 表示鋪面道路上行駛之車輛種類、車速及街塵負荷量

與街道揚塵的排放係數有關：

$$E = 1.41 \times 10^{-3} VLW \quad (5)$$

其中 E：排放係數 (Kg/VMT)  
L：街塵負荷量 (g/m<sup>2</sup>)  
V：車輛行駛速度 (km/hr)  
W：平均車重 (ton)

Ji 等人 (1993) 曾對中國上海市內數條性質及街塵負荷相異之鋪面道路進行實驗，實驗顯示由單一車輛所造成的排放係數與車速及車重有下列關係：

$$E = 0.000501V^{0.823}u^{0.139}\left(\frac{W}{4}\right) \quad (6)$$

其中 E：排放係數 (Kg/VMT)  
u：風速 (m/sec)  
V：車輛行駛速度 (km/hr)  
W：平均車重 (ton)

Kuhns 等人 (2001) 對於車輛輾壓鋪面道路上之坭土後，所產生的 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 排放量作分析，實驗中於車輛輪胎旁進行採樣，結果顯示車輛行使之車速與車體重量，皆會影響懸浮微粒的排放量；當車速越快時則懸浮微粒排放量越高，且車速越快所造成之懸浮微粒粒徑越大，車速在 20~30 mile/hr 時，微粒粒徑大小為 3.3 μm，若車速增加到 50~60 mile/hr 時，微粒粒徑大小增加至 4.1 μm。因此，根據上述文獻可以得知，當車流量、車速、車體重量越大時，對與街道揚塵確實有一定的影響。

### 3.4 洗掃之成效評估相關之研究

前述相關資料分析結果顯示，道路揚塵確實對於都會區之空氣品質造成影響，將鋪面道路之街塵予以預先移除，對於空氣品質之改善，應有其助益。掃除成效不錯時，最多可達到 50-60 % 以上之街塵移除效果，對於減少因街塵再度揚起所增加大氣中懸浮微粒濃度的降低，實有所助益。不過，目前對於利用洗掃街方式，以及對於都會區空氣品質改善之貢獻量，尚缺乏較明確之數據分析，相關

此方面之研究，需要更廣泛的探討與分析，此亦為本研究之主要探討重點。

章氏等人[1999]曾探討大型掃街車對於街塵掃除控制之成效加以分析，研究結果可知大型街車之控制效率可由每日清掃一次至每週清掃一次之 30~8.6 % (TSP) 與 7.0~3.6 % (PM<sub>10</sub>)。另外，江氏等人[2000]曾針對台中地區之洗街成效進行評估，研究結果顯示，以每日洗街 80 公里，每週洗街 480 公里之掃街頻率下，在洗掃過程執行過後，其大氣空氣品質確實有明顯的改善，但其時間大約只有 1~2 小時，待路面繼續累積一定量街塵時，街塵會再度揚起而於其鄰近地區之空氣品質繼續造成影響。而台北縣環保局 (1999) 在道路揚塵減量計畫結果結果可以得知，對於 B 級道路進行掃街作業，其總懸浮微粒濃度約可降低 8.0~19.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而對於 C 級道路之總懸浮微粒濃度約可降低 50.6~64.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；若掃街、洗街作業同時進行，對於 B 級道路之總懸浮微粒濃度約可降低 23.0~39.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，對於 C 級道路之總懸浮微粒濃度約可降低 65.6~84.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

台北縣環保局 (2000) 街道清洗計畫中之結果顯示，在洗掃街與飛洗掃街區之總懸浮微粒採樣結果作比對得知，掃街效率約為 5.7 %、洗街效率約為 23.8 %、洗掃街同時進行效率約為 38.4%；掃街作業對於坭土負荷削減率為 46.55 %、析街效率為 61.86 %、洗掃街同時進行效率約為 89.6 %。因此由前述文獻可知，洗掃街對於空氣品質之改善有一定的成效。

根據相關單位之估計，對於各縣市執行洗掃街計畫，預計將可以使車輛行駛揚塵約削減 50 % 以上，而環保署補助縣市各級環保單位之經費中，補助洗掃街計畫之執行，約佔總補助經費之 6 %。不過，對於此類計畫執行時，其執行的成效，以及對區域空氣品質改善之成效，目前尚缺乏較有效的評估方式，故建立相關之成效評估方式，以及分析因洗掃街計畫之施行，對區域空氣品質改善之貢獻量，皆需要更進一步的探討與分析。

## 四、實驗材料與方法

本研究針對掃街作業，對於提昇鄰近空氣品質的功效，進行相關背景資料之採樣、化驗與分析工作。本計畫以高雄都會區之街道洗掃作業，為主要研究探討之對象，其探討內容包括：風向辨識粒狀物採樣設備之建立、模型場道路洗掃效能評估試驗、現場洗掃街作業前後，大氣懸浮微粒之採樣與分析、以及實驗室化學成份分析等工作內容，以下針對各項工作內容的實驗方法，分述如下。

### 4.1.風向辨識粒狀物採樣設備之建立

本研究有鑒於一般粒狀污之染物逸散污染源，其排放量檢測方式，係主要分別在目標污染源之上、下風位置適當處，架設粒狀空氣污染物採樣設備（一般以高量採樣器最為普遍）。經適當之採樣時間後，比較上下風處所檢測結果之差值，做為評估該污染源空氣污染物排放量之計算方式。但常由於採樣期間大氣風吹方向之改變，或因氣象條件變異程度太大，導致計算採樣器所累積蒐集的污染物量差值時，可能會相互抵銷，而低估所排放的污染物，所推估之排放係數可能有偏低的現象。對於都會區之空氣品質而言，都會區中眾多且零星的逸散污染源，無論風向是否改變，只要粒狀污染物被揚起，皆會對於都會區內之空氣品質變差，具有一定程度之貢獻量。有鑑於此，本研究中發展並利用具有風向辨識能力之粒狀物採樣裝置，使得所獲致之監測數據，應更為準確。

本研究所建立之風向辨識系統，其可同時連接電腦、風向儀、懸浮微粒採樣器。於實際操作時，由風向儀所測得的風向數據將先傳輸至風向辨識系統，經由辨識系統判定所接收的風向數據，分析其分別屬於預設之電源啟動或關閉模式，再執行電源起開啟或關閉，並藉以控制採樣器之啟動或切斷動作。此外，電腦亦會同步記錄相關之氣象資料與相關操作參數，例如：風速、風向、採樣時間、電源開啟(關閉)狀態，採樣器啟動或停止操作情形等數據。本研究所採用的風向辨識系統之操作流程如下：

- 1.採樣設備與儀器架設完畢。
- 2.打開採樣器電源並試機，檢查電源供應之穩定性，測試完畢後，再予以關機。若採樣器為首次啟動時，必需先調整校正所需採樣流量。
- 3.將濾紙置入採樣器中。
- 4.進行採樣器電源、電腦、風向儀、辨識系統之連線動作。

- 5.電腦開機，並開啟執行風向辨識系統。
- 6.從電腦開啟辨識系統程式，並設定所需的操作條件。
- 7.啟動程式，進行採樣工作。
- 8.執行完畢，進行數據分析。

有關風向辨識系統之設定方式，係先設定當日盛行風之「風向變化範圍」，以及採樣器啟動之「風向百分率」。當風向在設定範圍內之數據達到滿足啟動的百分率時，風向辨識系統即自動啟動高量採樣器採樣；反之，當風向在設定範圍之數據未達到啟動百分率時，則高量採樣器將不會啟動，或將正在操作之採樣器予以關機。例如，當設定風向範圍為  $230^{\circ}\pm 45^{\circ}$ (即  $185^{\circ}\sim 275^{\circ}$ )時，且滿足儀器啟動條件的數據百分率為 70%(含)，而滿足採樣器關閉條件的百分率則為 30%，並將風向辨識系統之時間間隔設為一分鐘(即每一分鐘判定一次風速及風向)。首先，滿足第一次啟動的條件為至少五筆以上的數據，在任何連續五分鐘所測得之五筆數據中必須要有四筆(四筆為 80%，三筆為 60%，而設定是 70%，所以必需至少四筆數據)以上符合上述所訂之風向角度範圍(即  $230^{\circ}\pm 45^{\circ}$ )，儀器才會開始啟動；啟動後，再以移動平均法對每分鐘數據逐步判斷，當連續的五筆數據中任二筆數據(二筆為 40%，一筆為 20%，而設定是 30%，所以必需至少二筆數據)不符合風向角度條件時，則系統將關閉懸浮微粒採樣器之運作，必需再次滿足五筆中有四筆數據正確才會再將採樣系統開啟。

其次，對於利用風向辨識系統採樣器效能之測試，係分別選擇操作中的營建工地，為目標污染源，並經由污染源上、下風位置處之採樣結果，進行評估此風向辨識系統採樣器之採樣效能。此外，為了瞭解採樣結果與傳統採樣器之差異，現場採樣時，也進行傳統採樣器與具風向判別採樣器之結果比對測試。

經由研究團隊現場勘查後，選擇適當之營建工地數處來進行實驗，採樣地點包括：高速鐵路土建工程(廠址編號 A)、廢水處理廠擴建工程(廠址編號 B)、連續壁工程(廠址編號 C)、市地重劃區工程(廠址編號 D)、以及大樓土建開挖工程(廠址編號 E)等處。監測時，在所選擇的營建工地上、下風處各設置高量採樣器，而風向儀及風向辨識系統皆連接在上風處之風向辨識器，分別採樣二個時段，第一時段採樣時有風向辨識系統，而第二時段採樣時則未有風向辨識系統，藉以探討兩者之差異性，其中第一時段扣除未符合設定風向範圍所停滯的時間，而第二時段之總採樣時間皆為一小時。

#### 4.2.模型場道路洗掃效能評估試驗

本研究在配合整體群體計畫之整合研究上，利用一套可調整車速、噴水量及水壓之洗街實驗機具與模擬清洗之路面，藉以模擬道路之清洗狀況。其中，除了針對地面清洗之成效加以評估外，同時也進行上、下風粒狀污染物濃度變化之監測，以瞭解洗掃街對降低都會區中懸浮微粒濃度之貢獻。本研究中，借用高雄市南區資源回收廠內，設計一條長 40 公尺、寬 1.5 公尺之模擬實驗場，來進行測試，該模擬實驗場之道路路面傾斜角度約為  $2^{\circ}$ ，並其相關尺寸詳如圖 4-1，圖形上陰影區域代表量測現場街塵路面上殘留粒狀污染物之區域。

此套洗街模擬設備大致可分成以下列四大部分，分別為：軌道設備（長 40 公尺，寬 1.8 公尺之雙軌道，架設軌道時必須使用水平儀量測是否為水平，且須架離地面，以利水流離實驗區）、洗街模擬機具（含驅使機具移動之馬達、偵測水壓之壓力錶、偵測水量之水量錶以及可調整之噴水管與噴嘴等，整套裝置之移動速度可調整設定）、抽水設備（水箱車與機具間裝置抽水機，將水由水箱車抽出並加壓送至機具，進一步清洗路面）、實驗區域（路面材質是由瀝青所鋪設，路面十分完整且無破損情形，做為實際道路模擬用）。

模擬實驗時，先準備由高雄市内不同髒污等級街道所採集之街塵樣本，在實驗室以  $103\sim 105^{\circ}\text{C}$  溫度下烘乾至少二小時。街塵稱重後，並經粒徑分析後，再分別依不同等級街塵之粒徑平均重量百分比，稱取

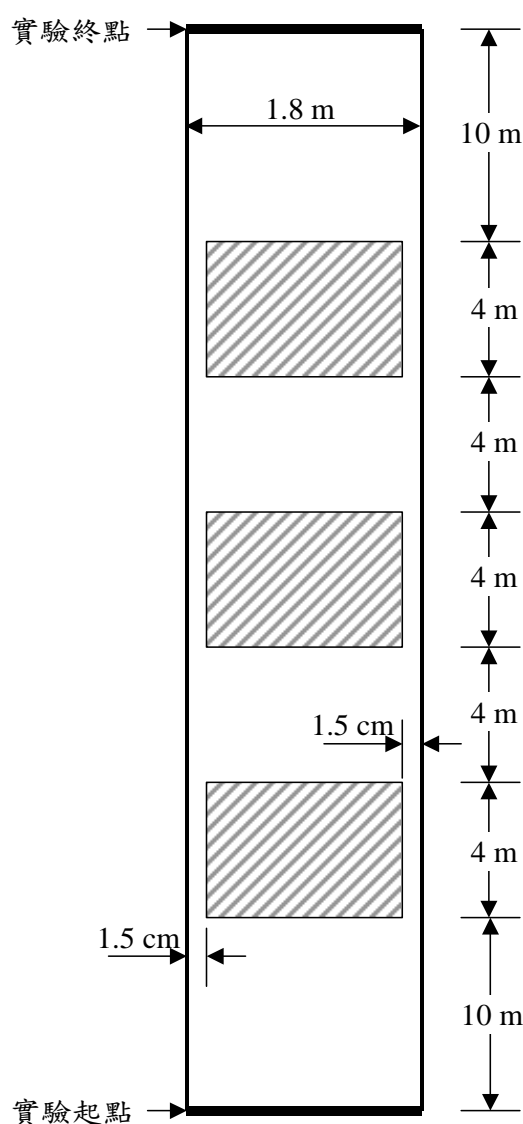


圖 4-1、洗掃模擬道路示意圖。



洗街實驗所需之街塵重量，混合後即為各道路等級之街塵樣本。將此街塵樣本均勻撒佈於模擬實驗場內實驗區之路面上，進行洗街成效評估實驗。

實驗模擬場之街塵實驗樣本，可依不同道路分級濃度之不同或各階粒徑分佈所需重量，配置成所需之模擬街塵樣品，平均灑於模擬道路上，再執行模擬之洗掃作業成效評估測試。

#### 4.3.現場洗掃街作業大氣懸浮微粒之採樣與分析

本計畫之執行，選擇高雄都會區內路面揚塵較多之區域，進行洗掃機作業對都會區空氣品質改善效果評估測試。經現場勘查後，分別選擇鄰近環保署楠梓、左營空氣品質測站之道路，進行現場洗掃之測試目標街道。本研究進行之空氣品質之採樣，每次至少進行連續 8 小時之採樣，其中包含洗掃作業 2 小時，現場採樣工作之流程如圖 4-2 所示。現場採集分析之項目，分別包含 TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 等粒狀污染物，而於空氣品質監測之同時，亦將架設氣象條件監測站，量測當時之風向、風速、溫濕度等氣象條件。

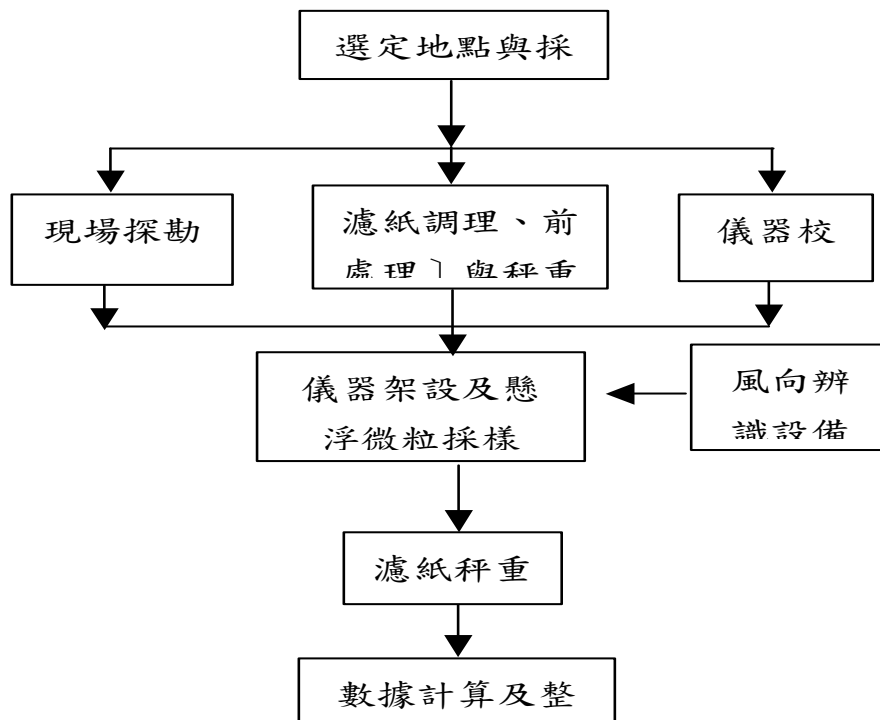


圖 4-2、採樣工作進行流程圖

至於街塵採樣方面，在配合整體計畫之執行下，篩選出適當之檢測街道。原則上街道長度在一公里以上，採樣起始點距離路口至少 5 公尺以上，採樣點間距離必須至少 30 公尺以上，每條道路共採樣三點，利用負壓式吸塵器 (SANYO Model SC-6L) 進行街塵之採樣，各採樣點之取樣面積為 12.5 m<sup>2</sup> (5.0m\* 2.5m)，每點之採樣時間約為 15~17 分鐘。本研究之採樣設備主要包括粒狀空氣污染物採樣設備與風向辨識系統，所採用之高量採樣器設備型號、監測及分析項目如表 3-1 所示。本研究之採樣設備包括：高量採樣器(high-volume sampler)、分道採樣器(dichotomous sampler)、微孔均勻沉降衝擊器(micro-orifice uniform deposit impactor)等，分別蒐集不同粒徑之懸浮微粒。

表 4-1、採樣設備型號、監測及分析項目一覽表。

採樣設備種類	公司及型號	監測項目	分析項目
TSP/PM <sub>10</sub> 高量採樣器	KIMOTO MODEL 121 FT	總懸浮微粒	重量濃度、離子成份及 重金屬成份
分道採樣器	ANDERSEN MODEL SERIES 246	細粒徑及粗粒 徑懸浮微粒	重量濃度、離子成份、 重金屬成份、EC 及 OC
微孔均勻 沉降衝擊器	MSP MODEL 110	粒徑分佈 (10 階)	重量濃度

#### 4.4. 實驗室化學成份分析

本研究所收集到的懸浮微粒，在化學分析項目上主要包括離子成份分析、金屬成份分析以及碳成份分析等三大類，因此所收集到的樣本必須切割成四等份，每等份均是 1/4 張，各作以上三種成份分析，剩下的 1/4 張則作為備份。茲將各種分析方法分述如下：

##### 1. 離子成份分析

本研究懸浮微粒之陰陽離子成份分析係採用離子層析法，所使用之分析儀器為 Dionex Series 100 型之離子層析儀(Ion Chromatography；IC)，分析之物種包括 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>=</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Ca<sup>+2</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>+2</sup> 等離子。陰離子之成份分析中，以 1.8 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> /1.7 mM NaHCO<sub>3</sub> 作為流洗液帶動樣本，在分離管中移動，並於抑制管中形成 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 低解離性酸，將沖提液所引起之導電度干擾降至最低，以提高偵測極限，其內壓設定為 2,500 psi，流洗液流量為 2 mΩ/min；而陽離子分析則以 20 mM 甲磺酸(methane sulfonic acid)作為流洗液帶動樣本，流

洗液流量則為 1 mL/min。

採集到的懸浮微粒之固相離子成份必須先萃取至液相萃取液中，再注入離子層析儀中進行分析，本實驗所採用之萃取方式為超音波震盪萃取法。其萃取步驟為：取出四分之一張濾紙，放入用去離子水(D.I. water)清洗過之聚乙烯(PE)瓶中。分別加入 10 mL 去離子水於 37 及 47 mm 圓形濾紙之 PE 瓶中以及 100 mL 去離子水於 TSP 濾紙之 PE 瓶中。將 PE 瓶放入超音波震盪機中，加水至距離滿水位 2-3 cm 處，開機震盪萃取 120 分鐘。震盪完畢後將溶液以 0.45  $\mu\text{m}$  醋酸酯纖維濾紙過濾，即可將其濾液注入 IC 進行離子成份分析。

## 2.金屬成份分析

本研究金屬成份之分析擬採用感應耦合電漿原子發射光譜儀(簡稱 ICP-AES)進行分析，本實驗採用 PERKIN ELMER PLASMA 400 型感應耦合式電漿原子發光分析儀，在進行 ICP-AES 金屬成份分析前，濾紙同樣須先經過消化萃步驟處理，才能夠以感應耦合電漿原子發射光譜儀進行分析，其消化萃取步驟為，將欲用來分析金屬成份之四分之一片濾紙剪成小塊，置於 5 mL 微波消化瓶中；加入 1.5 mL 之混酸，此混酸為  $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4=3:7$ ，其中  $\text{HNO}_3$  濃度 65%， $\text{HClO}_4$  濃度 70%；將 5 mL 消化瓶置入 120 mL 消化瓶中，以鎖瓶機鎖緊並進行微波消化；消化完畢後加入 1mL 二次水趕酸，並再置入微波爐中進行微波消化；重複上述趕酸步驟三次，徹底將溶液中之酸液趕除，以免影響分析之干擾；以 .5N  $\text{HNO}_3$  稀釋至 25mL，並儲存至 PE 瓶中保存。

## 3.碳成份分析

本研究碳成份分析採用元素分析儀，用來分析懸浮微粒中元素碳(elemental carbon)及總碳 (total carbon, TC) 的含量，而有機碳含量乃係將總碳扣除元素碳含量而得之。本實驗所採用之元素分析儀為 Carlo Erba 公司出品之 CHNS/O 1108 型元素分析儀 (elemental analyzer, EA)，配合 AS 200 型進樣器及 DP 700 型積分儀進行分析，元素分析儀操作條件設定為，氧化爐溫度 1020  $^{\circ}\text{C}$ ；還原爐溫度 500  $^{\circ}\text{C}$ ；載流氣體流速；100 mL/min；樣品延遲時間 8-15 sec；全部執行時間 9-12 min。

進行碳成份分析前，需先將 1/4 張濾紙分割成兩張 1/8 張濾紙，並經過前處理等步驟，以進行元素碳及總碳分析，茲分述說明如下：將欲用來分析碳成份之

1/4 張濾紙分為兩等分，其中一片置於 340~345 °C 之烘箱中加熱 10 分鐘，以去除含碳有機物；將加熱處理過及未加熱處理之濾紙剪裁成 0.6 mg 左右之小片，稱重後分別裝入 Tin Capsule 樣品皿中，記錄並稱重其結果；將包好之濾紙連同 Tin Capsule 樣品皿放入進樣器中，分別以元素分析儀量測樣品之碳成份；經加熱過之濾紙所測出之碳成份為元素碳含量，未經加熱之濾紙所測出之碳成份為總碳含量，將總碳含量扣除元素碳含量即為有機碳含量。

#### 4.5. 品保與品管流程

##### 1. 採樣方法之品保與品管

由於採樣樣本之代表性由採樣位置決定，因此採樣地點的選擇相當重要，本研究之採樣地點主要以行政院環保署空氣品質監測站為主，因此在地點的選擇上較無疑慮，而非環保署之採樣站亦遵照上述設站原則，並且要求水平 45 度之範圍內不能有任何阻礙物，以免影響懸浮微粒之收集。

另外在濾紙的選擇方面，除質量濃度之計算外，更重要的是要進行各種不同成份的分析，不同的濾紙之背景值及適合分析之項目亦有所差異。本研究考慮石英濾紙因耐壓損、低背景值以及耐高溫，適合作為離子成份、金屬成份以及碳成份的分析，在濾紙稱重使用前應注意有無破損、皺摺等情形。採樣濾紙在稱重前後之溫度及溼度亦會影響樣品的稱重品質及量測的準確性。因此，採樣前後需將濾紙保存在乾淨的乾燥箱內，並控制溼度在  $40\pm 5\%$ ，溫度在  $23\pm 3^\circ\text{C}$ ，稱重前後的環境及濾紙的條理狀態務必一致，以免造成量測誤差。

由於所採集之濾紙前後重量差值很小，因此稱重所需的天平必須要非常靈敏，以求得重量濃度的靈敏及準確性。本研究採用 SARTORIUS 公司出廠的 WMC6014-e95062 型六位數天平，靈敏度為  $0.000001\text{g}(1\mu\text{g})$ ，可精確得到懸浮微粒實際重量，並定期實施內部以及外部校正，以保持天平之準確性。在每次使用天平稱重之前，首先須將天平室內的冷氣開啟，維持到一定的溫度，稱重的同時溫度變化不可相差超過  $1^\circ\text{C}$ ，否則將影響天平的穩定，天平電源開啟後先進行天平內部校正，並判定天平是否合乎標準，否則需重新校正，首先取出標準級濾紙稱重，若稱得之量測重減去原本的標準重之誤差在可接受的範圍之內 ( $\pm 20 \mu\text{g}$ )，則表示天平之狀況穩定且正常，可繼續進行稱重工

作。但若無法達到要求，則可能是因為天平本身或溫、溼度變化所造成，此時應該重做天平校正，直到達到標準為止。

各採樣設備均需要作定期之流量校正，以求採樣流量之精確性。在 TSP、Dicho 以及 MOUDI 三台儀器方面，採器流量的正確與否，不僅影響採樣氣體之體積大小，更影響到分選頭及各階衝擊板截取直徑之正確性，其中前兩者採用浮子流量計，而後者則以壓力計進行流量校正，因此在採樣前均需以濕式流量計作流量校正，以確保採氣流量的正確。而在採樣的過程當中，正確的操作步驟才能有效達到樣本之代表及真實性。本研究之採樣過程中皆以不銹鋼攝子夾取濾紙樣本，且分析過程中均要戴無粉橡膠手套，避免濾紙遭受到污染，並於採樣過程中確實紀錄流量變化情形等各項目。此外，由於採樣期間必須多個測站同時進行採樣，因此需要多組工作人員架設儀器及更換濾紙等，所有採樣人員必須熟悉各項採樣細節及注意事項，力求採樣之準確性。

其次，在樣品之攜帶與保存方面，為避免濾紙受到人為及環境污染，採樣過程中濾紙均放置於濾紙器皿中。由於溼度的變化可能影響濾紙及收集到之懸浮微粒產生變化，使得分析結果無法代表原始懸浮微粒之組成，因此無論在保存及攜帶之過程中均將濾紙保存在乾燥箱內，整個攜帶過程中放置於小型乾燥箱內，使用乾燥劑控制溼度，採樣後之濾紙儘速攜帶回實驗室，放入恆溫恆濕之乾燥箱中保存，減少因溼度不同而造成之誤差。

## 2. 分析方法之品保與品管

為確保分析數據之正確性及合理性，整個採樣及分析過程中必須儘量減少可能產生的誤差，其中人為誤差可藉由分析操作熟練度之提昇將誤差減至最低，而儀器誤差則須依賴品保與品管作業規範之實施，期能將分析誤差降至最低。在本研究分析過程中均實施以下品保品管步驟：

- (1) 空白實驗分析(blank test)－所有樣品在進行分析同時，取出未使用過之空白濾紙進行採樣與分析，前處理等步驟均與樣本相同，如此所得到之樣品濃度扣除空白濾紙濃度即為懸浮微粒之真正濃度，實驗步驟如下：隨機選取空白濾紙三張，此濾紙須與採樣濾紙為同一批次出廠，分別進行相同之前處理。將前處理所得萃取液與採樣樣本同時進行成份分析。將採樣樣本實測值扣除空白值即為樣本真實濃度。
- (2) 儀器精密度(precision)及穩定度(stability)－每進行 10 個樣本之後，必須隨機

- 選取其中一個作重複分析查核的工作，以確保分析品質，而此兩組數據必須在可接受的範圍之內，才能繼續進行分析，否則必須查出原因並重做檢量線。
- (3)檢量線繪製(calibration curve)—在進行各種成份分析之前，首先要配製不同濃度之標準品以製作檢量線，再由積分面積換算成濃度，檢量線可作為同批次樣品之定量依據。首先以標準溶液配製成不同濃度之標準液，其中一個應接近但不小於方法偵測極限，一個應接近但不大於定量範圍的上限，樣品之濃度應介於最高及最低濃度之間，在線性之範圍內，由積分所得的面積，相對於校正標準品之濃度，可獲得一相關之線性圖。此檢量線之線性回歸值( $R^2$ )應大於 0.995 以上才符合標準，由此檢量線計算出之濃度值才具有意義。
- (4)重複分析—進行分析工作時至少每 10 個樣品需要隨機抽取一個作重複分析，並求其差異百分比，若兩者數值差異達 5% 以上，則必須停止分析並查明所造成之原因，同時此 10 個樣品之數值應捨棄不用，查明原因後再進行分析。
- (5)添加標準品試驗(spiked sample test)—添加標準品是用來描述儀器之準確度(accuracy)，在樣品中添加已知濃度的標準品，並重複分析該樣品，如果回收率(%)愈接近查核濃度，表示儀器的準確度愈佳。回收率應製成品質管制圖，建立管制極限，若回收率落於管制極限之外，應立即採取行動診斷誤差原因，且當日之量測結果不得採用，應於日後重新分析。
- (6)偵測極限(detection limit)—根據儀器之操作狀態以及樣品之分析流程，可將偵測極限分為方法偵測極限(method detection limit；MDL)及儀器偵測極限(instrument detection limit；IDL)，方法偵測極限為在一包含待測物樣品之基質中，在 99% 信賴度極限(confidence limit)內，可偵測到待測物之最低且大於零的濃度；而儀器偵測極限則表示儀器本身對樣品所能偵測到的最低極限，若低於偵測極限，顯示儀器無法偵測出該樣品的濃度，則以 ND 表示。
- (7)盲樣查核分析—為確保分析的數據結果是合理且可接受的，配製未知濃度的樣品(unknown sample)，再與實際分析所得數據相比較，將其誤差範圍設定為 20% 以內，以確定分析之正確性。本研究將此分為內部查核及外部查核，內部查核由本實驗室配置未知濃度之樣品，再由操作員進行分析，求得分析數據之正確性。

## 五、結果與討論

### 5.1. 建立風向辨識粒狀物採樣設備與現場比對測試

本研究所建立之風向辨識系統，係透過電腦、風向儀、懸浮微粒採樣器之連線與控制，進行具有風向選擇性之實驗測試。現場採樣時，先由風向儀所測得的風向數據傳輸至風向辨識系統，再經由辨識系統針對所接收的風向數據，加以研判，分析其應屬於預設之電源啟動或關閉模式，再予以執行電源起開啟或關閉動作，並藉以控制採樣器之啟動或切斷參做。為瞭解此具有風向辨識能力之採樣器與傳統採樣設備之差異，本研究特別進行現場採樣之比對測試，所測試之場址以施工中的營建工地或道路為對象，各採樣場址特性與現場檢測結果，分別如表 5-1 與表 5-2 所列。所測試之場地包括：高速鐵路土建工程、廢水處理廠擴建工程、毗鄰道路之整地工程、連續壁工程、市地重劃區工程、大樓土建開挖等工程。

經比較採用風向辨識採樣器與傳統採樣器之檢測結果，經現場之比對測試結果可發現，以具風向辨識高量採樣器所測得的上、下風 TSP 差值較大，其差距約為傳統採樣器測值之 1.5~6.2 倍。顯示應用風向辨識系統之採樣結果，可能較具有代表性，尤其是風向變化較大的場址或目標物時，兩者測值的差距應會較大。

表 5-1、比對測試場址特性。

廠址編號	場 址 特 性
A	鋼骨構造建築工程，工程面積約為 7709m <sup>2</sup> ，動工面積約 2000 m <sup>2</sup> ，地表未鋪設水泥或植被之裸露地表；施工狀況為工區土方清運、整地及灌漿工程、推土機、夯石機、卡車及水泥車等施工機具作業；主要污染源為施工整地及裸露地面車輛行駛之揚塵逸散。
B	營建工程，工程面積約為 5000 m <sup>2</sup> ，動工面積約 2000 m <sup>2</sup> ，地表未鋪設水泥或植被之裸露地表，由於緊鄰海邊，海風強勁，所以採樣當日現場之盛行風向非常穩定；施工狀況有工區地基水泥灌漿、吊運建材、水泥車、灌漿車及吊車等施工機具作業；主要污染源為裸露地面施工及車輛行駛之揚塵逸散。
C	鋼骨構造建築，工程面積約為 3540 m <sup>2</sup> ，動工面積約 500 m <sup>2</sup> ，地表為鋪設水泥之道路；施工狀況為灌漿前準備工程、卡車、水泥車、吊車、挖地機等施工機具作業；主要污染源為施工機具及附近車輛行駛之揚塵逸散，廠址附近車流量較多。
D	整地工程，工程面積約為 15000 m <sup>2</sup> ，動工面積約 1500 m <sup>2</sup> ，地表面未鋪設水泥或植被之裸露地表；施工狀況為工區土方清運、怪手、卡車挖地機等施工機具作業；主要污染源為施工整地及裸露地面車輛行駛之揚塵逸散。
E	校園內大樓營建工地之開挖工程，佔地面積約 5000m <sup>2</sup> ，採樣時正進行鋼筋固定工程，作業機具為吊車；主要污染源為施工整地及裸露地面車輛行駛之揚塵逸散。

表 5-2、現場大氣空氣粒狀污染物濃度採樣比對結果 (TSP 值)

廠址編號		A	B	C	D	E
廠址特性		土建工程	廢水處理廠擴建工	連續壁工程	市地重劃工程	大樓土建開挖工程
採樣當天氣象條件	盛行風向	西北西風	北北西風	西風	西北西風	西北西風
	風向角度 (度)	300±45	330±45	300±45	270±45	300±45
	大氣壓力 (mm-Hg)	757	760	758	759	760
	平均風速 (m/sec)	3.5-4.0	4.5-5.0	4.0	2.3-2.6	4.5-5.0
	相對溼度 (%)	66.0	61.0	66.0	65.0	61.0
	平均溫度 (C)	27.3	29.2	30.5	31.4	30.2
傳統採樣設備	上風濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	425.2	—	263.5	129.3	85.8
	下風濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	489.6	—	272.2	288.2	104.4
	濃度差 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>64.4</b>	—	<b>8.7</b>	<b>158.9</b>	<b>18.6</b>
具風向辨識設備	上風濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*	246.8	149.2	270.2	76.6	89.4
	下風濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	646.9	343.1	307.3	320.9	117.3
	濃度差 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>400.1</b>	<b>193.3</b>	<b>37.1</b>	<b>244.3</b>	<b>27.9</b>
不同方法測值比值		<b>6.21</b>	—	<b>4.26</b>	<b>1.53</b>	<b>1.50</b>

## 5.2. 模型場道路洗掃效能評估試驗結果

本研究利用可調整車速、噴水量及水壓之洗街實驗機具與模擬清洗之路面，藉以模擬道路（如圖5-1）之清洗狀況，相關之採測結果則彙整在表5-3中。前述之實驗，係在樣品重量模擬D級道路的街塵最大負荷量值（即1125 g 鋪灑於地面上）所進行的測試，分別於洗街前後，上、下風處各採樣三小時，而大氣中懸浮微粒採樣項目包括：TSP、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>等項目。

經現場測試結果顯示，本測試街道於洗掃街作業實施前後，其大氣中懸浮微粒濃度差，在TSP方面，上、下風濃度差由28.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至16.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降，減少率為42.2 %；對於粒徑大於10  $\mu\text{m}$ 以上之懸浮微粒，上、下風濃度差由9.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至4.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降，對於緊鄰街道區域之大氣懸浮微粒TSP濃度減少率為56.6%；在PM<sub>10</sub>方面，上、下風濃度差由18.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至12.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降，對於緊鄰街道區域之大氣懸浮微粒PM<sub>10</sub>濃度減少率減少率為34.8 %；在PM<sub>2.5</sub>方面，上、下風濃度差由15.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至9.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降，對於緊鄰街道區域之大氣懸浮微粒PM<sub>2.5</sub>濃度減少率減少率為40.9%。



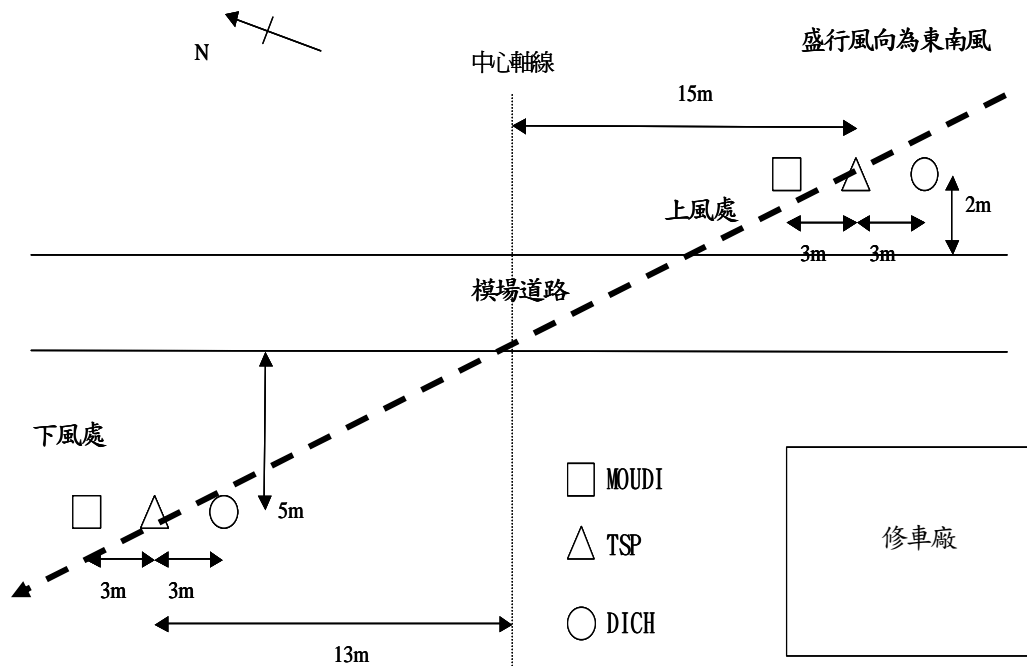


圖5-1、模型廠採樣相關位置圖。

表5-3、模型場於洗掃街作業前後大氣懸浮微粒濃度變化情形。

採 樣 點 位 置	TSP	>PM <sub>10</sub> (粒徑 10μm以上 微粒)	PM <sub>10</sub> (粒徑10 μm 以下微粒)	PM <sub>2.5</sub> ~PM <sub>10</sub> (粒徑2.5-10 μm間微粒)	PM <sub>2.5</sub> (粒徑2.5μm 以下微粒)
洗掃街作業前					
上風處濃度(μg/m <sup>3</sup> )	<b>218.2</b>	<b>117.2</b>	<b>101.0</b>	<b>48.2</b>	<b>52.8</b>
上風各微粒佔TSP比例(%)	100	53.7	46.3	22.1	24.2
下風處濃度(μg/m <sup>3</sup> )	<b>246.9</b>	<b>127.1</b>	<b>119.8</b>	<b>51.5</b>	<b>68.2</b>
上風各微粒佔TSP比例(%)	100	51.5	48.5	20.9	27.6
上下風濃度差(μg/m <sup>3</sup> )	<b>28.7</b>	<b>9.9</b>	<b>18.8</b>	<b>3.4</b>	<b>15.4</b>
佔TSP濃度差比例(%)	100	34.5	65.5	11.9	53.6
佔PM <sub>10</sub> 濃度差比例(%)	-	-	100	18.2	81.8
洗掃街作業後					
上風處濃度(μg/m <sup>3</sup> )	<b>156.9</b>	<b>89.1</b>	<b>67.8</b>	<b>34.5</b>	<b>33.3</b>
上風各微粒佔TSP比例(%)	100	56.8	43.2	22.0	21.2
下風處濃度(μg/m <sup>3</sup> )	<b>173.5</b>	<b>93.4</b>	<b>80.1</b>	<b>37.7</b>	<b>42.4</b>
上風各微粒佔TSP比例(%)	100	53.8	46.2	21.7	24.5
上下風濃度差(μg/m <sup>3</sup> )	<b>16.6</b>	<b>4.3</b>	<b>12.3</b>	<b>3.2</b>	<b>9.1</b>
佔TSP濃度差比例(%)	100	25.9	74.1	19.3	54.8
佔PM <sub>10</sub> 濃度差比例(%)	-	-	100	26.0	74.0

經模型模型場洗掃街作業確實對於大氣中懸浮微粒之降低，有其貢獻性。不過，現場之監測數據也顯示，洗掃街作業對於緊鄰街道大氣之空氣品質改善較為明顯，但是對於較大範圍之空氣品質改善，則較不明顯，此方面之具體貢獻，以及洗掃街作後，街塵濃度低之乾淨地面能夠維持的時間，需要更進一步瞭解。相關文獻曾檢測指出，地面街塵濃度大約只能夠維持數小時，數小時後地面街塵即回復原來濃度。

### 5.3. 現場洗掃街作業降低大氣懸浮微粒濃度效能分析

本計畫針對現場洗掃街作業，對於都會區大氣懸浮微粒減量之效能評析方面，分別選擇鄰近環保署楠梓、左營空氣品質測站之道路，進行現場洗掃之測試目標街道，共進行四次採樣作業。進行之空氣品質之採樣時，整體比對時間至少進行連續 8 小時的採樣，其中包含洗掃作業 2 小時，以及洗掃作業前後各 3 小時之大氣懸浮微粒採樣作業。現場採集分析之項目，分別包含 TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 等粒狀污染物，此四次現場之分析結果如表 5-4 與表 5-5 所列。

經所測試之鄰近洗掃作業道路現場空氣品質檢測結果顯示，洗街作業（利用清水洗淨地面）對於鄰近街道（距離道路邊緣 2 公尺內）之空氣 TSP 之減量效能介於 63.5~91.2 % 間，而對於該區域離道路較遠處之大氣 TSP 之減量效能介於 6.02~24.75 % 間；而在 PM<sub>10</sub> 方面，洗街作業對於鄰近街道之空氣 PM<sub>10</sub> 之減量效能介於 49.6~94.0 % 間，而其對於該區域離道路較遠處之大氣 PM<sub>10</sub> 之減量則介 0~6.73 %。不過，本研究中也發現，利用洗街方式來進行道路地面街塵之清除作業時，其對於鄰近空氣品質之改善效益變化頗大，尤其當時之風速較大、或是風向較不穩定、或是大氣中懸浮微粒濃度較高時，其掃除之效能則有限。

至於掃街方面，掃街作業（只清掃路面而未用水清掃路面）之空氣品質改善效能一般低於洗街作業，其對於鄰近街道空氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量效能分別為 64.9 % 與 49.6 %，而其對於該區域離道路較遠處之大氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量，則分別為 6.95% 與 3.41 %。洗街效能低於洗街作業，其原因可能與其操作方式係將街塵掃除或掃離路中心處，並未利用清水清洗路面有關，此相類似之結果，亦可以在分析地面殘留街塵濃度之測試中（子計畫一）獲得驗證。此外，洗街作業操作時，由於係針對路面採用鋼刷清掃，故於操作期間，未被吸入掃街車內的街塵再被揚起，故於操作時期，緊鄰道路之大氣懸浮微粒濃度有短暫增高的現象。因

表 5-4、洗掃街作業前後 TSP 濃度變化情形與洗掃街之懸浮微粒減量情形。

採樣位置	採樣時機	TSP 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			上下風濃度比	上下風濃度減量百分比	大氣懸浮微粒減量貢獻	街道操作
		上風濃度	下風濃度	上下風濃度差				
楠梓 1 (土庫路)	洗街前	80.5	86.9	6.4	1.080	<b>82.8%</b>	<b>6.04 %</b>	洗街
	洗街後	76.8	77.9	1.1	1.014			
左營 (海功路)	洗街前	102.4	161.5	59.1	1.577	<b>63.5%</b>	<b>24.75 %</b>	洗街
	洗街後	115.6	137.2	21.6	1.187			
楠梓 2 (旗楠路)	洗街前	390.6	418.0	27.4	1.070	<b>91.2%</b>	<b>6.02 %</b>	洗街
	洗街後	422.1	424.5	2.4	1.006			
楠梓 3 (清豐路)	掃街前	152.1	170.9	18.8	1.124	<b>64.9%</b>	<b>6.95 %</b>	掃街
	掃街後	144.9	151.5	6.6	1.046			

表 5-5、洗掃街作業前後 PM<sub>10</sub> 濃度變化情形與洗掃街之懸浮微粒減量情形。

採樣位置	採樣時機	PM <sub>10</sub> 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			上下風濃度比	上下風濃度減量百分比	大氣懸浮微粒減量貢獻	街道操作
		上風濃度	下風濃度	上下風濃度差				
楠梓 1 (土庫路)	洗街前	69.0	70.8	1.8	1.026	-	<b>-4.61%</b>	洗街
	洗街後	50.4	54.1	3.7	1.073			
左營 (海功路)	洗街前	64.7	64.8	0.1	1.002	-	<b>-4.30 %</b>	洗街
	洗街後	62.8	65.6	2.8	1.045			
楠梓 2 (旗楠路)	洗街前	286.5	308.3	21.8	1.077	<b>94.0%</b>	<b>6.73 %</b>	洗街
	洗街後	361.0	362.3	1.3	1.004			
楠梓 3 (清豐路)	掃街前	105.1	118.0	12.9	1.123	<b>49.6%</b>	<b>3.41 %</b>	掃街
	掃街後	77.0	83.5	6.5	1.084			

此，若擬利用掃街車來減少路面街塵時，應注意其操作方式，並確認經鋼刷揚起之街塵，最好能夠儘可能被吸引收集入掃街車中，以免降低掃街作業的成效。此外，經現場測試結果也顯示，對於利用洗掃街作業方式，來達到降低都會區大氣懸浮微粒濃度時，若只針對小區域道路路面加以清除街塵，其降低環境懸浮微粒濃度之成效，可能無法達到預期之成效。其較佳之路面街塵清掃方式，應以較大面積及重點路面（如：路面髒污程度較高之道路）之清除，為較理想之方式，並應盡量減少洗掃街作業使得街塵再度揚起，始能達到較佳之清除效果，也較符合經濟性。表5-6所示為洗掃街作業前後大氣懸浮微粒粒徑分佈情形，類似於前述之模廠測試結果，洗掃作業可降低大氣中細微粒之比例。

表5-6、洗掃街作業前後大氣懸浮微粒粒徑分佈情形

採樣位置	採樣時機	TSP			PM <sub>10</sub>			洗掃街作業
		濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	微粒粒徑分佈比		濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	微粒粒徑分佈比		
			10-100 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$		2.5-10 $\mu\text{m}$	<2.5 $\mu\text{m}$	
楠梓 1 (土庫路)	洗街前	86.9	0.185	0.815	70.8	0.160	0.840	洗街
	洗街後	77.9	0.306	0.694	54.1	0.197	0.803	
左營 (海功路)	洗街前	161.5	0.599	0.401	64.8	0.358	0.642	洗街
	洗街後	137.2	0.522	0.478	65.6	0.400	0.600	
楠梓 2 (旗楠路)	洗街前	418.0	0.262	0.738	308.3	NA	NA	洗街
	洗街後	424.5	0.147	0.853	362.3	NA	NA	
楠梓 3 (清豐路)	掃街前	170.9	0.310	0.690	118.0	0.344	0.655	掃街
	掃街後	151.5	0.449	0.551	83.5	0.405	0.594	

p.s.:採各採樣點之同一下風處位置進行比較。

#### 5.4.懸浮微粒成份分析

圖 5-4 至 5-6 所示分別為所蒐集之微粒經分析其化學成份組成之結果，分析之物種包括  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{+2}$  等陰陽離子，V、Ti、Al、Cu、Ca、Cr、Fe、K、Mg、Mn、Ni、Pb、Zn 等金屬成份，以及微粒上之碳成份(TC、EC、OC)等。因限於篇幅之關係，只列出「楠梓 2 (旗楠路)」現場測之結果，相關之成份組成，可做為子計畫三進行模式模擬使用。

對於所採集之懸浮微粒樣品中，其成分分析顯示，含量較高之陽離子以  $\text{NH}_4^+$  及  $\text{Ca}^{+2}$  含量較高，而陰離子成份則以  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等離子含量較高；在重金屬成份含量方面，則以 Al、Ca、Cr、Fe、K、Mg、Zn 含量為主，Pb 含量已非主要成份，而且洗掃街作業後，鋅含量也減少之現象，由於一般鋅的成分代表車輛輪胎摩擦所產生之街塵，故顯示洗掃街作業確實具有清除道路街塵並減少揚塵之功效；大氣懸浮微粒之 TC、EC、OC 值，在 TSP 方面約分別介於  $40\sim 50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $10\sim 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $20\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在 PM<sub>10</sub> 方面約分別介於  $20\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5\sim 15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5\sim 15\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，EC 含量一般低於 OC。

## 5.5. 洗掃街對鄰近空氣品質影響之評估方法

根據前述本研究針對洗掃街作業對鄰近區域空氣品質之改善情形的分析，對於操作效能評估方法，研擬下列之評估作業方式，以供相關單位進行此類作業工作時之參考。

- 進行洗掃街作業前後路面街塵濃度之採樣分析，而路面街塵濃度之檢測方式與作業流程，請參考本計畫執行前述中之實驗材料與方法。
- 執行洗掃街作業前後緊鄰道路之大氣空氣品質，每段採集時間應至少包含有效採樣時間三個小時以上，並應避免在洗掃街作中或是道路路面尚未完全乾燥時，進行空氣品質採集作業。
- 執行洗掃街作業前後緊鄰該區域，但離開道路較遠處之大氣空氣品質，若具有環保單位之故電監測站時，尤佳。如前述，每段採集時間應至少包含有效採樣時間三個小時以上，並應避免在洗掃街作中或是道路路面尚未完全乾燥時，進行空氣品質採集作業。。
- 空氣品質採樣時，宜配合「具風向辨識能力」之大氣懸浮微粒採樣系統，並確認採樣期間風向之變化不至於太大。
- 進行空氣品質採樣時，應同步計算車流量與車速，以為評估效能之依據。
- 進行街塵與大氣力狀物成份分析，而當所清洗路面分隔島若有缺少植披之裸露路面時，亦應採集分隔島之土壤樣品。

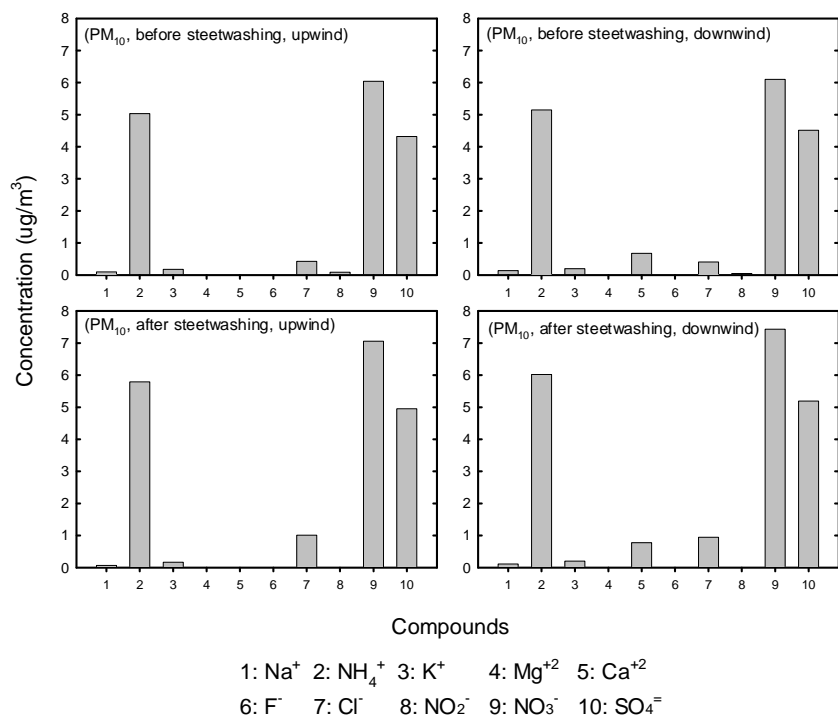
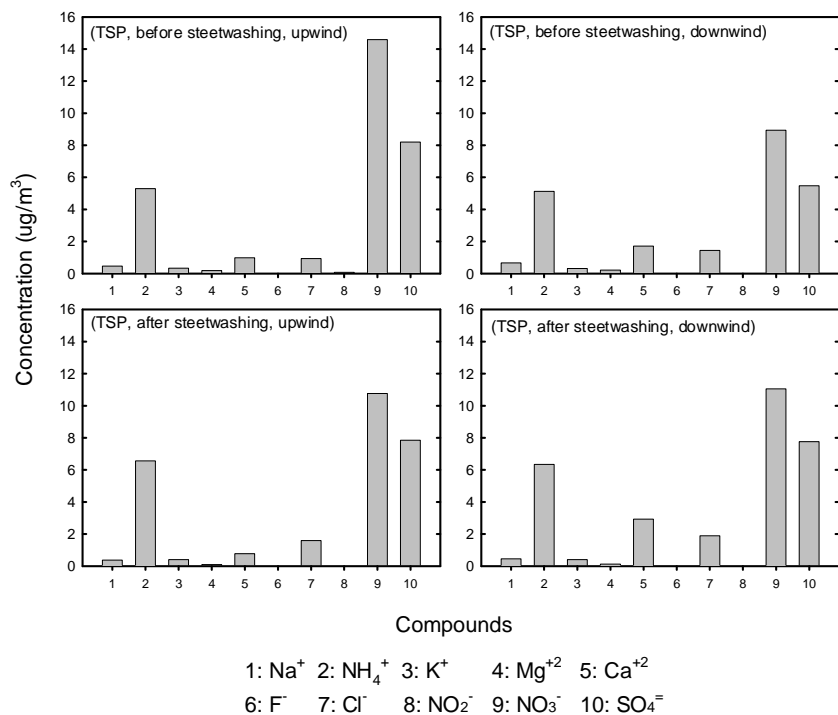


圖 5-4、懸浮微粒中陰陽離子成份分析結果（高雄楠梓旗楠路路段）。

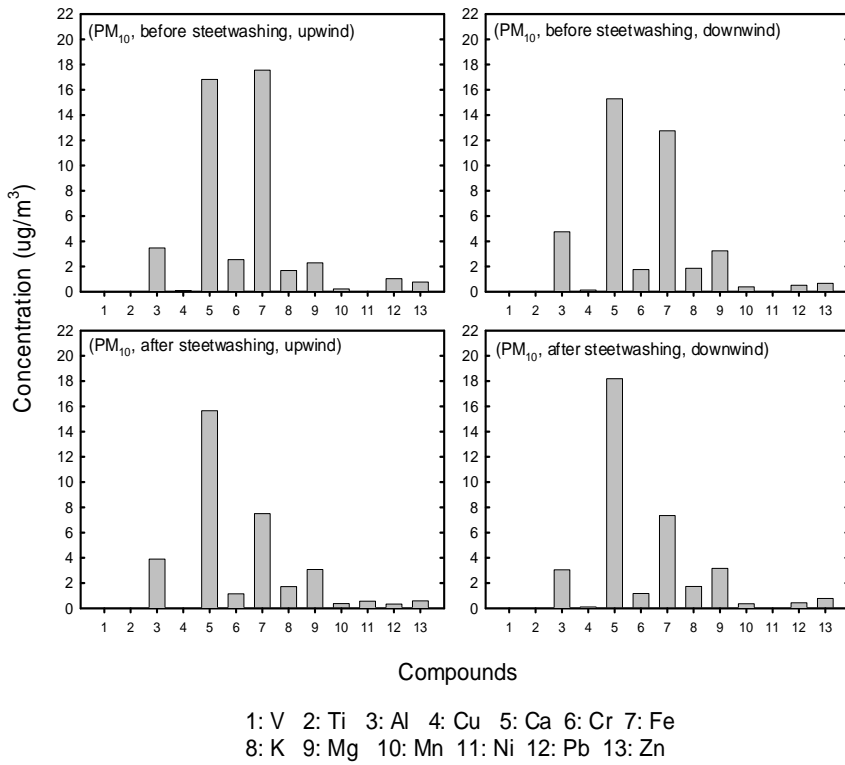
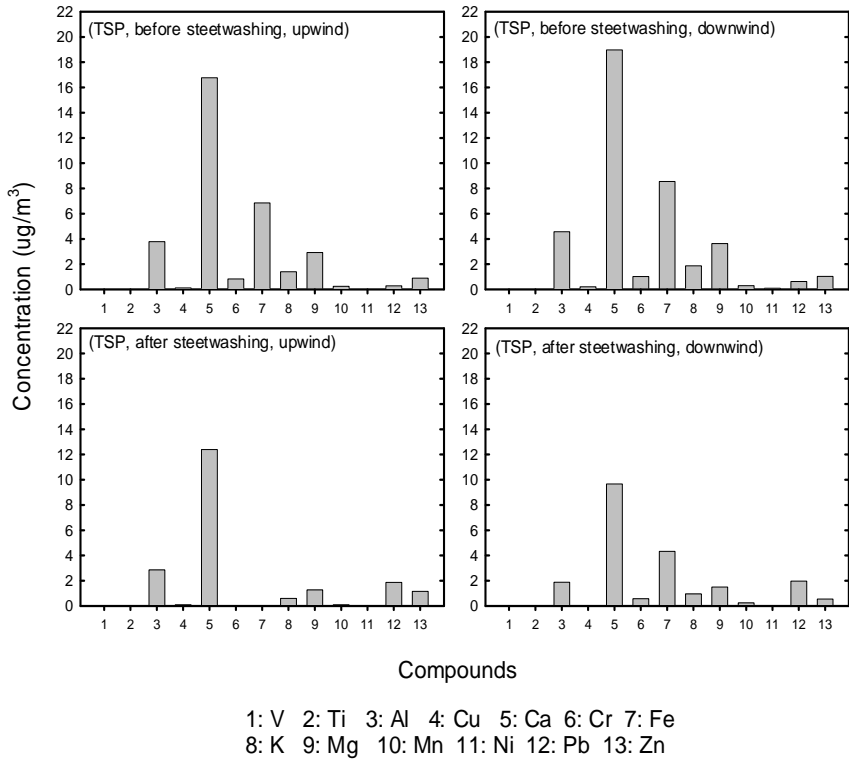


圖 5-5、懸浮微粒中金屬成份分析結果（高雄楠梓旗楠路路段）。

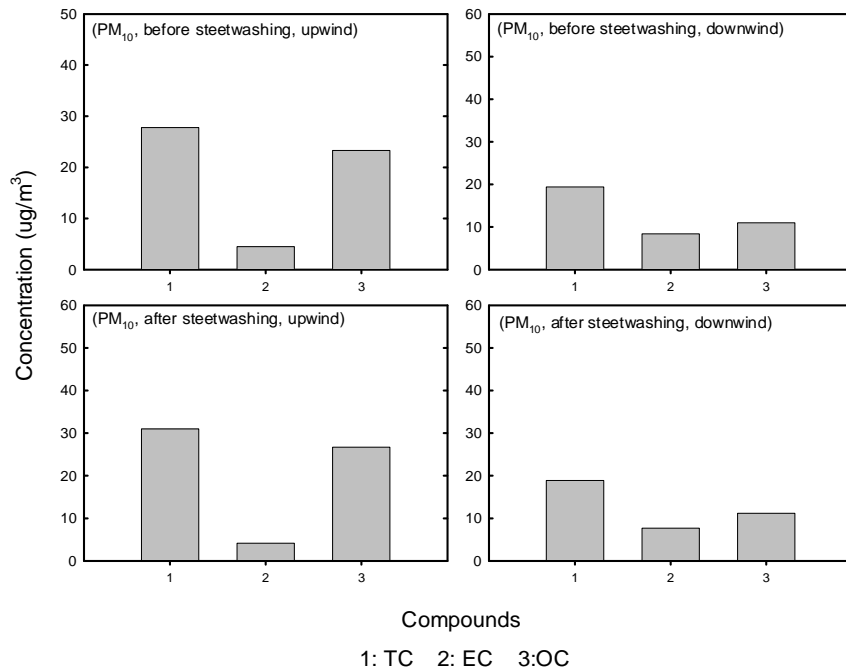
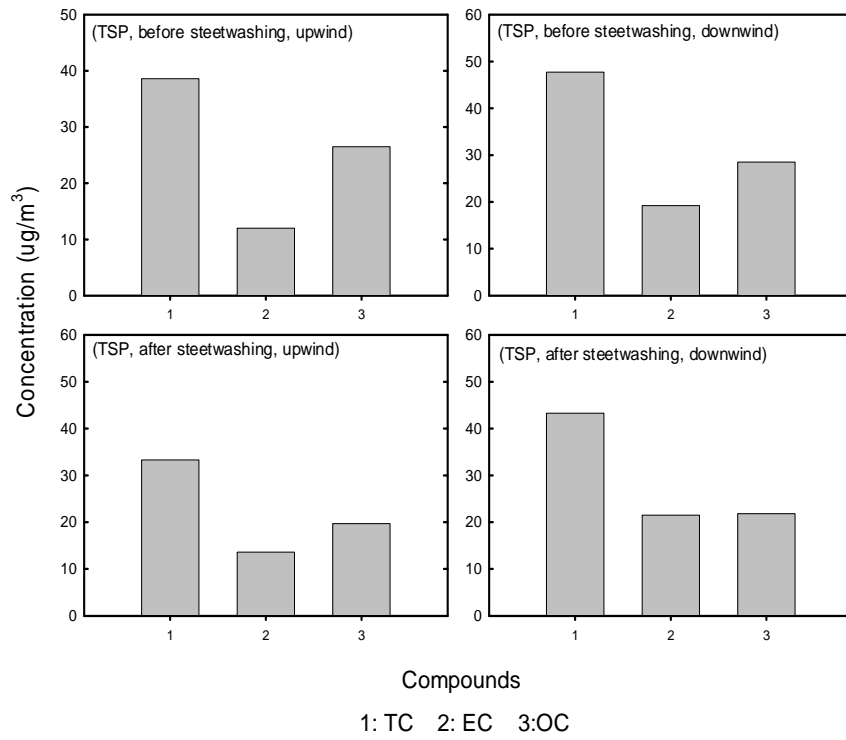


圖 5-6、懸浮微粒中碳成份分析結果（高雄楠梓旗楠路路段）。



## 六、結論與建議

本計畫針對洗掃街作業對於提昇鄰近空氣品質的功效，進行相關背景資料之採樣、化驗與分析，重要之研究成果如下：

1. 本研究完成相關於洗掃街街塵之文獻資料蒐集與彙整工作，相關之研究結果已投稿至相關之學術期刊及研討會中。
2. 本研究完成具風向辨識能力之懸浮微粒採樣器的開發與應用，本具風向辨別能力之採樣器之開發與產品，現正進行相關之專利申請中。
3. 經模擬數個既有比對場址顯示，其上下風 TSP 差值約為傳統採樣器測值之 1.50~6.2 倍，此具有風向辨識能力之採樣系統，可提供可信度較高之數據。
4. 本研究完成模擬道路之現場大氣懸浮微粒濃度之檢測，經現場測試結果顯示，洗掃街作業確實對於大氣中懸浮微粒之降低具貢獻性，鄰近模擬道路之大氣 TSP 的減少率約為 42.2%、PM<sub>10</sub> 可減少率為 34.8%、PM<sub>2.5</sub> 之減少率達 40.9%，洗掃作業可降低大氣懸微粒中 PM<sub>10</sub>~PM<sub>2.5</sub> 之細粒徑微粒比例。
5. 經所現地試結果顯示，洗街作業對於鄰近街道（距離道路邊緣 2 公尺內）之空氣 TSP 之減量效能介於 63.5~91.2 % 間，而對於該區域離道路較遠處之大氣 TSP 之減量效能介於 6.02~24.75 % 間；而在 PM<sub>10</sub> 方面，洗街作業對於鄰近街道之空氣 PM<sub>10</sub> 之減量效能介於 49.6~94.0 % 間，而其對於該區域離道路較遠處之大氣 PM<sub>10</sub> 之減量則介 0~6.73 %。
6. 掃街作業之空氣品質改善效能一般低於洗街作業，其對於鄰近街道空氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量效能分別為 64.9 % 與 49.6 %，而其對於該區域離道路較遠處之大氣 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之減量，則分別為 6.95% 與 3.41 %。洗街效能低於洗街作業，其原因可能與其操作方式並未利用清水清洗路面有關。
7. 本研究完成現場採集懸浮微粒之成份分析，對於相關本土資料之建立，有其貢獻。經分析所採集之懸浮微粒樣品之成分顯示，陽離子以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 及 Ca<sup>2+</sup>，陰離子以 Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> 等含量較高，金屬成份含量以 Al、Ca、Cr、Fe、K、Mg、Zn 含量較高；懸浮微粒之 TC、EC、OC 值，在 TSP 方面約分別介於 40~50µg/m<sup>3</sup>、10~20µg/m<sup>3</sup>、20~30µg/m<sup>3</sup>，在 PM<sub>10</sub> 方面約分別介於 20~30µg/m<sup>3</sup>、5~15µg/m<sup>3</sup>、5~15µg/m<sup>3</sup>，EC 含量一般低於 OC。
8. 部份具有分隔島之道路，當分隔島之植被不良，導致泥土裸露時，亦可能導致

路面揚塵之增加，相關此方面值得再深度探討，對於此類分隔島，亦應加強植被維護之必要。

根據本研究計畫研擬之研究結果，擬定下列建議事項：

- 1.在各縣市都會區洗掃街作業的持續操作下，仍應持續評估其效益，若能配合所蒐集粒狀物之化學成份分析，對於建立相關之基本資料，應有其貢獻性。
- 2.利用洗街方式來進行道路地面街塵之清除作業時，其對於鄰近空氣品質之改善效益變化頗大，尤其當時之風速較大、或是風向較不穩定、或是大氣中懸浮微粒濃度較高時，其掃除之效能有限，相關之影響因素仍需更多之探討。
- 3.進行洗掃作業方式降低都會區大氣懸浮微粒濃度時，若只針對小區域道路路面加以清除街塵，其成效有限。較佳的方式，或應以較大面積或重點路面（如：路面髒污程度較高之道路）之清除，並應避免因掃街作業使得街塵再度揚起，始具較佳成效。
- 4.利用風向辨識系統進行洗掃街對鄰近空氣品質改善之評估，未來可經過更多系統化的測試後，或可做為較客觀的逸散污染源污染物排放係數之推求方式。

## 七、參考文獻

- Akhter M.S.; Madany I.M., "Metals in street and house dust in Bahrain," *Water Air And Soil Pollution*, 66, pp.111-119(1993).
- Axetell K.; Zell J., "Control of restrained dust from paved streets," EPA-907/9-77-007, USEPA, Region, Kansas City, MO, 1977.
- Bagnold, R.A. "Wind Tunnel Observation", JAPASA, 1977.
- Barnes R.M., "Childhood soil ingestion: How much dirt do kids eat?," *Anal. Chem.*, 62, pp.1023A-1033A(1990).
- Bornschein R.L.; Succop P.A.; Hammond P.B., "Exterior surface dust lead, interior house dust lead and childhood exposure in urban environment," *Trace Subst. Environ. Health*, 20, pp.322-332(1986).
- Chan L.Y.; Kwok W.S., "Vertical dispersion of suspended particulates in urban area of Hong Kong," *atmospheric Environment*, 34, pp.4403-4412(2000).
- Chow, J.C., J.G. Fairley, J.G. Watson, Demandel R. Egami, E.M. Fujita, D.H. Lowenthal, Z. Lu, C.A. Frazier, G. Long, J. Cordova, "Source Apportionment of

- Wintertime PM<sub>10</sub> at San Jose, Calif.”, Journal Environment Engineering, Vol.121, No.5, pp.378-387, 1995.
- Chow, J.C., J.G. Watson, D.H. Lowenthal, C.A. Frazier, B.A. Hinsvark, L.C. Pritchett and G.R. Neuroth, “Wintertime PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Chemical Compositions and Source Contributions in Tucson”, In Transactions, PM<sub>10</sub> Standards and Nontraditional Particulate Controls (edited by Chow J.C. and Ono D.M.) , Arizona Air Waste Management Association, Pittsburgh, pp.311-323, Pennsylvania, 1992b.
- Claiborn, C., A. Mitra, G. Adams, L. Bamesberger, G. Allwine, R. Kantamaneni, B. Lamb and H. Westberg, “Evaluation of PM<sub>10</sub> Emission rates form Paved and Unpaved Roads Using Tracer Techniques”, Atmospheric Environment, Vol.29, pp1075-1089, 1995.
- Gass, G.R., G.J. Mcrae, “Source-Receptor Reconciliation of Routine Air Monitoring Data for Trace Metals : An Emission Inventory Assisted Approach”, Environment Science Technology , Vol.17, No.3, pp.129-139, 1983.
- Harvey P.G.; Hamlin M.W.; Kumar R.; Morgan J.; Spurgeon A.; Davies T., “Blood lead, behavior and intelligence test performance in young children,” in Heavy Metals in the Environment, International Conference, Athens (edited by Lekkas, T.D.), 1, pp.48-50. CEP Consultants, Edinburgh (1985).
- Hesketh, H.E., and F.L. Cross, “Fugitive Emissions and Controls”, Ann Arbor Science Co., New York, 1982.
- Ji, X., D. Jiang, S. Fei, H. Yuan, P. He, B. Ye, Z. Lei and C. Feng, “Road Dust Emission Inventory for the Metropolitan Area of Shanghai City”, Atmospheric Environment, Vol.27, No.11, pp.1735-1741, 1993.
- Kim, B.M., R. Lewis, H. Hogo and J.C. Chow, ”Source Apportionment by Chemical mass Balance : a Comparison Between Measured Source Profile and SAFER model estimated source profile ”, In Transactions, PM<sub>10</sub> Standards and Nontraditional Particulate Control (edited by Chow J.C. and Ono D.M.) , Air Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, pp.311-323, 1992.
- Kuhns, H.; V. Etyemezian, D. Landwehr, C. MacDougall, M. Pitchford, and M. Green, “Testing Re-entrained Aeroaol Kinetic Emissions form Roads ( TRAKER ) : A New Approach to Infer Silt Loading on Roadways”, Atmospheric Environment, Vol.35, pp.2815-2825, 2001.
- U.S. EPA, “Emission Factors Documentation for AP-42, Section 13.2.1 : Paved Roads”, Report prepared for US EPA, 1993.
- U.S. EPA, “Emission Factors Documentation for AP-42, Section 13.2.1 : Paved Roads”, Report prepared for US EPA, 2002.
- Washington State Department of Ecology “Air Quality Program : Spokane PM<sub>10</sub> Attainment Plan”, Appendix H and K, WSDOE, Olympia, Washington, 1993.
- Watson, J.G., J.C. Chow and C.V. Methai, “Receptor Models in Air Resouces Management : a Summary of the APCA International Specialty Conference”, Journal Air Waste Management Association, Vol.39, pp.419-426, 1989.
- 工程顧問公司，台北縣全面清街道改善空氣品質試辦計畫，台北縣環保局，2000。
- 工程顧問公司，台北縣空氣污染物排放減量規劃與管制綜合計畫，台北縣環保局，1999。
- 王竹方、蔡素芬、賴宏志、鄭曼婷，舖面道路街塵之元素組成及其粒徑分布，

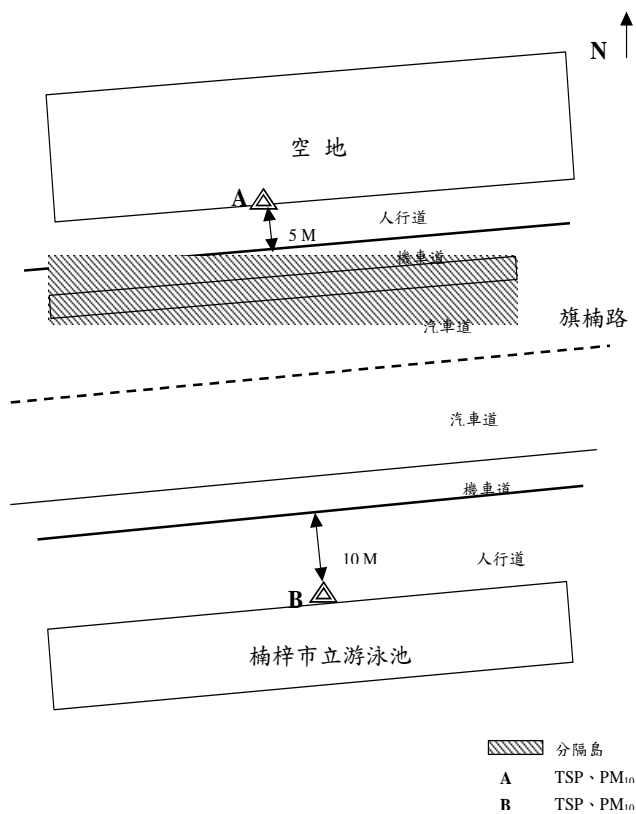
- 第十五屆空氣污染控制技術研討會，中壢 1998。
- 江舟峰、楊錫賢、張皇珍、戴建安，都會區街塵清洗成效評估，第八屆氣膠科技研討會，新竹、Sep. 15-16 (2000)。
- 吳啟文，台灣中部都會區細懸浮微粒粒徑分布之污染特性分析，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，1996。
- 林進宏、陳宏碩、蕭麟壽、藍文農、賴俊成、劉志聖、吳典祝、張章堂，各種粒徑粉塵逸散與措施評估之研究，第八屆氣膠科技研討會，新竹、Sep. 15-16 (2000)。
- 林鉅富、陳康興，高雄地區大氣中懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 特性及來源之探討，國立中山大學環境工程研究所，1996。
- 林銳敏、盧梅芳，大氣細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)污染來源及分析-化學質量平衡法受體模式應用，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士論文，2001。
- 洪崇軒、袁中新、施志恆、袁菁、吳明洋，“高雄市車行地下道空氣品質特性研究”，第十五屆空氣污染控制技術研討會，高雄，台灣，Nov. 21-22(1998)。
- 倪佩貞、劉國棟、方淑慧，台灣地區空氣污染物排放資料庫之建立，第十七屆空氣污染控制技術研討會，雲林、Dec. 1-2 (2000)。
- 張喬維、莊秉潔、杜佳穎，中部地區懸浮微粒總量管制減少策略評估，第十六屆空氣污染控制技術研討會，台南、Nov. 26-27 (1999)。
- 章裕民、張天晉、黃志賢，噴灑水措施對逸散性粒狀物防制效益之研究，第十六屆空氣污染控制技術研討會，台南、Nov. 26-27 (1999)。
- 章裕民、劉恕昭、黃志賢，逸散粒狀噴灑水與防塵藥劑之施用效益比較研究，第十七屆空氣污染控制技術研討會，雲林，2000a。
- 章裕民、劉恕昭、黃志賢，裸露地化學藥劑防塵效率之研究，第十七屆空氣污染控制技術研討會，雲林，2000b。
- 黃益助、謝金霖、陳瑞仁、徐誌宏、陳冠洲，地面塵土中芳香烴類污染物與金屬成分之分佈特性探討，第十七屆空氣污染控制技術研討會，雲林，2000。
- 蔣本基，台灣北、中部地區受體模式建立與應用研究(一)，行政院環保署，1993。
- 蔣本基、張子琦，懸浮微粒污染源與氣象因子相關性之研究，第十三屆空氣污染研討會，1996。
- 蔣本基、張勝祺、杜悅元，“空氣污染受體模式及危險性評估在空氣品質管理上的應用研究”，行政院環保署報告，EPA-83-E3F1-09-01, (1994)。
- 蔡春進、江志峰、繆敦耀、彭世邦，都會區逸散性粒狀物量測及管制措施之研究，行政院環保署，EPA-86-FA42-09-90，1997。
- 蔡春進、繆敦耀、邱信夫、林采吟、鍾俊彬、黃政雄、王斯厚，本土化溢散性粉塵控制技術調查研究，第十五屆空氣污染控制技術研討會，中壢、Nov. 21-22 (1998)。
- 蔡春進、繆敦耀、簡聰智、陳泰任，裸露地逸散性粒狀空氣污染物的控制技術研究，第十六屆空氣污染控制技術研討會，台南、Nov. 26-27 (1999)。
- 鄭曼婷、王竹方、蔣勝吉、林煜棋、賴宏志、蔡素芬，台中市道路揚塵特性及減量評估，台中市環保局，1998。

## 附錄資料

### 附錄一、現場採樣紀錄

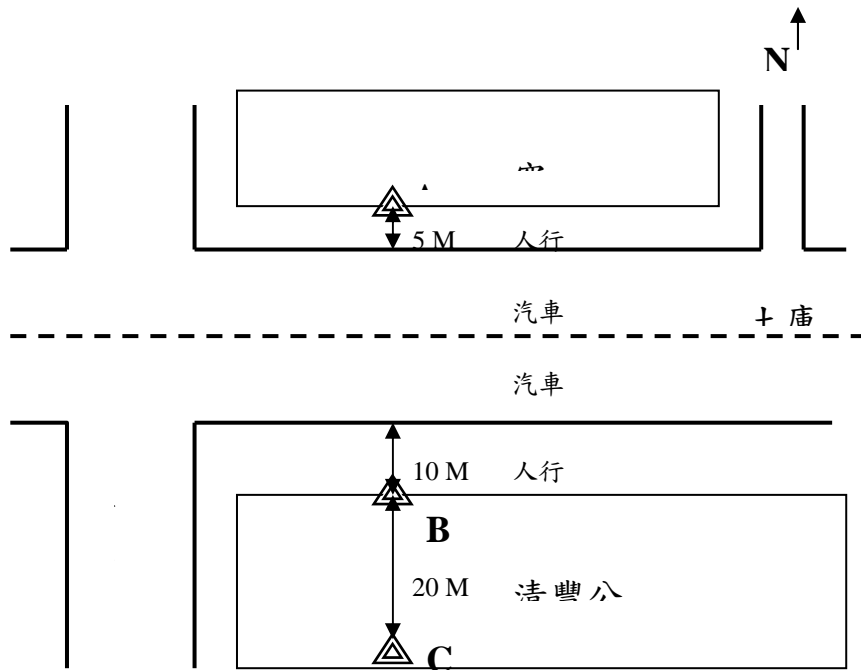
#### 一、旗楠路

採樣時間	2003年1月17日(洗街前)/2003年1月18日(洗街後)							
採樣地點	楠梓旗楠路							
天氣型態	掃街前	晴天	平均溫度	掃街前	24.1°C	平均溼度	掃街前	50.7%
	掃街後	晴天		掃街後	21.2°C		掃街後	72.8%
風向辨識系統設定 角度	掃街前	360°±45°		平均風速		掃街前	2.21 m/s	
	掃街後	275°±45°				掃街後	3.26 m/s	
車流量(大型車)	掃街前	21 輛/hr		平均車速(大型車)		掃街前	51 km/hr	
	掃街後	17 輛/hr				掃街後	45 km/hr	
車流量(小客車)	掃街前	477 輛/hr		平均車速(小客車)		掃街前	54 km/hr	
	掃街後	562 輛/hr				掃街後	51 km/hr	
車流量(機車)	掃街前	637 輛/hr		平均車速(機車)		掃街前	53 km/hr	
	掃街後	672 輛/hr				掃街後	52 km/hr	
備註	無							



## 二、土庫路

採樣時間	2002 年 11 月 15 日							
採樣地點	楠梓清豐路清豐公園							
天氣型態	掃街前	陰天	平均溫度	掃街前	20.1°C	平均溼度	掃街前	84.6
	掃街後	陰天		掃街後	19.8°C		掃街後	85.1
風向辨識系統設定角度	掃街前	360°±45°		平均風速		掃街前	3.56 m/s	
	掃街後	360°±45°				掃街後	3.48 m/s	
車流量 (大型車)	掃街前	2 輛/hr		平均車速 (大型車)		掃街前	45 km/hr	
	掃街後	1 輛/hr				掃街後	48 km/hr	
車流量 (小客車)	掃街前	10 輛/hr		平均車速 (小客車)		掃街前	51 km/hr	
	掃街後	8 輛/hr				掃街後	53 km/hr	
車流量 (機車)	掃街前	6 輛/hr		平均車速 (機車)		掃街前	55 km/hr	
	掃街後	4 輛/hr				掃街後	53 km/hr	
備註	無							



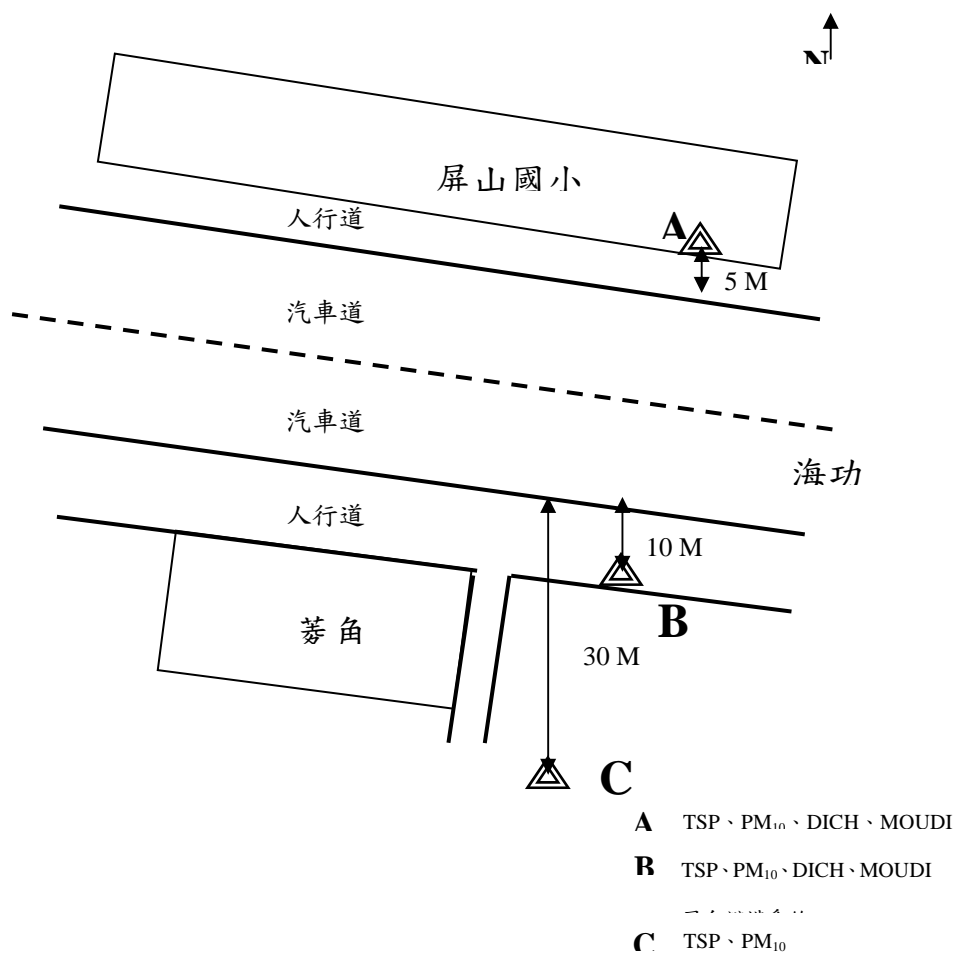
**A** TSP、PM<sub>10</sub>、DICH、MOUDI

**B** TSP、PM<sub>10</sub>、DICH、

**C** TSP、PM<sub>10</sub>

### 三、海功路

採樣時間	2002 年 11 月 17 日							
採樣地點	左營海功路							
天氣型態	掃街前	晴天	平均溫度	掃街前	20.6°C	平均溼度	掃街前	74.5%
	掃街後	晴天		掃街後	20.3°C		掃街後	76.8%
風向辨識系統設定角度	掃街前	360°±45°		平均風速		掃街前	2.60 m/s	
	掃街後	360°±45°				掃街後	2.71 m/s	
車流量 (大型車)	掃街前	3 輛/hr		平均車速 (大型車)		掃街前	45km/hr	
	掃街後	5 輛/hr				掃街後	42km/hr	
車流量 (小客車)	掃街前	14 輛/hr		平均車速 (小客車)		掃街前	44km/hr	
	掃街後	12 輛/hr				掃街後	46km/hr	
車流量 (機車)	掃街前	5 輛/hr		平均車速 (機車)		掃街前	32km/hr	
	掃街後	7 輛/hr				掃街後	37km/hr	
備註	無							



#### 四、清豐路

採樣時間	2003年1月29日							
採樣地點	楠梓土庫路清福公園							
天氣型態	掃街前	晴天	平均溫度	掃街前	17.6°C	平均溼度	掃街前	49.7%
	掃街後	晴天		掃街後	17.1°C		掃街後	48.8%
風向辨識系統設定角度	掃街前	275°±45°		平均風速		掃街前	4.62 m/s	
	掃街後	275°±45°				掃街後	4.73 m/s	
車流量(大型車)	掃街前	5 輛/hr		平均車速(大型車)		掃街前	30.3 km/hr	
	掃街後	4 輛/hr				掃街後	35 km/hr	
車流量(小客車)	掃街前	39 輛/hr		平均車速(小客車)		掃街前	35 km/hr	
	掃街後	45 輛/hr				掃街後	41 km/hr	
車流量(機車)	掃街前	30 輛/hr		平均車速(機車)		掃街前	26 km/hr	
	掃街後	28 輛/hr				掃街後	28 km/hr	
備註	無							

