

桃園縣空氣中細懸浮微粒之污染來源調查分析

趙嘉雍¹、許麗淑²、林柏里³、朱若君⁴、陳世偉⁵

¹康廷工程顧問企業有限公司 總經理

²康廷工程顧問企業有限公司 工程師

³桃園縣政府環境保護局 技士

⁴桃園縣政府環境保護局空保科科长

⁵桃園縣政府環境保護局 局長

摘要

空氣中含有高濃度的細懸浮微粒(Fine Particulate Matters, PM2.5)對於人體心肺功能將造成危害。桃園縣政府環保局自 2008 年起著手進行 PM2.5 採樣及分析工作，主要目的為掌握縣內空氣品質狀況，透過 PM2.5 來源調查分析，深入瞭解其主要貢獻污染源類型，作為空氣污染管制策略擬定依據，以改善空氣品質並維護縣民健康。美國環保署已於 2006 年訂定 PM2.5 空氣品質標準，其標準採樣方法為衝擊式手動法，我國預計於 2012 年訂定；目前環保署空氣品質測站 PM2.5 濃度監測係採用自動連續分析方法進行，監測數值僅供空氣品質背景分析使用。依據本研究統計，2008-2010 年間桃園縣轄內環保署一般空氣品質測站之 PM2.5 濃度監測結果，PM2.5 年平均值介於 25.7~29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

本研究藉由化學質量平衡法(Chemical Mass Balance, CMB)受體模式，推估不同污染源之 PM2.5 貢獻百分比，其模擬結果顯示，一般空氣品質狀態與空氣品質不良事件日兩種情況下，皆以機動車輛排放為主要污染貢獻源，其貢獻比例分別為 24~58%及 35~45%。然而在一般空氣品質狀態下，次要污染貢獻源為街道揚塵，佔約 16~43%；而於空氣品質不良事件情形，次要貢獻源則為二次衍生性氣膠，貢獻百分比約為 22~33%。

欲降低 PM2.5 污染，桃園縣環保局已分別在移動污染源管制、工廠燃燒源管制及街道減塵著手加強各項 PM2.5 污染減量策略。未來亦配合國家訂定 PM2.5 空氣品質標準，持續推動各項污染源管制策略，致力改善空氣品質，維護縣民健康、舒適的生活環境。

關鍵詞：空氣品質、細懸浮微粒、空氣污染防制

INVESTIGATION AND ANALYSIS OF AIR POLLUTION SOURCES OF FINE PARTICULATE MATTERS IN TAOYUAN

Chia- Yung Chao¹, Li-Shu Syu², Po-Li Lin³,
Ruo- Jun Zhu⁴ and Shyh-Wei Chen⁵

¹ President of Content Engineering Consulting Services, Ltd.

² Engineer of Content Engineering Consulting Services, Ltd.

³ Assistant Technical Specialist of Air Quality Protection Section,
Taoyuan County Government Environmental Protection Bureau

⁴ Chief of Air Quality Protection Section, Taoyuan County Government
Environmental Protection Bureau

⁵ Director General of Taoyuan County Government Environmental
Protection Bureau

Abstract

The Fine Particulate Matters (PM_{2.5}) of high concentration in the air will cause harm to human cardio-pulmonary function. The Environmental Protection Bureau, Taoyuan County Government (TYEPB) has started PM_{2.5} sampling and analysis since 2008 to understand the air quality of the county. The investigation and analysis of PM_{2.5} sources can probe into the main pollution sources to provide a basis for making air pollution control policy, improve air quality, and maintain the public health of the county. The U.S. Environmental Protection Agency has set the PM_{2.5} air quality standards in 2006. The standard sampling method is the Federal reference method. Taiwan is expected to set its own standards in 2012. At present, the Environmental Protection Administration's air quality monitoring stations employ the Continuous automatic monitoring method in monitoring the PM_{2.5} concentration. The monitoring values are for the use of background analysis of air quality only. According to the statistics of this study, the annual PM_{2.5} average value is 25.7~29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ based on the PM_{2.5} concentration monitoring results of the general air quality monitoring stations of the TYEPB during the period of 2008-2010.

This study used the CMB (Chemical Mass Balance) receptor model to estimate the percentage contribution of PM_{2.5} sources. The simulation results suggested that, in case of general air quality status and poor air quality status, the motor vehicle emissions are the main source of pollution with the contribution percentage at 24~58% and 35~45% respectively. However, in case of general air quality state, the secondary pollution source is the street dust, accounting for about 16~43%. However, in case of poor air quality incidents, the secondary contribution source is the secondary aerosols, accounting for about 22~33%.

To reduce the PM_{2.5} pollution, the TYEPB has already strengthened various PM_{2.5} pollution reduction strategies regarding mobile pollution source control, plant combustion source control and street dust reduction. In the future, TYEPB will work with the development of the national PM_{2.5} air quality standards and continuously promote various pollution source control strategies to improve air quality, maintain

public health and create comfortable living environment.

Keywords: Air Quality, Fine Particulate Matters (PM2.5), Air Pollution Control.

一、前言

桃園縣位於台灣西部，所轄土地面積為 1,220.95 平方公里，依據本縣主計室統計至民國 2011 年 9 月底人口數有 2,010,168 人，人口密度已達每平方公里 1,646 人，平均每年人口成長率約 1.36%，成長幅度係呈現上升的趨勢。於工業方面，工廠登記家數從民國 79 年之 8,240 家增加至 2011 年 9 月底之 10,354 家，經濟部工業局亦於本縣境內設置七大工業區，性質皆屬綜合性工業區，涵蓋的產業種類繁多，工商活躍；另統計至 2011 年 8 月底已登記的交通工具共計約 178 萬輛，其中二行車機車量約達 91 萬輛，柴油車約有 2 萬輛，顯見本縣污染負荷量大。

空氣中的懸浮微粒(Particulate Matters, PM)會對人體產生不良健康效應，尤其對患有呼吸道疾病的易感染族群，其造成的影響更加顯著。本研究分析之細懸浮微粒(Fine Particulate Matters, PM2.5)為空氣中粒徑小於 2.5 μm 以下的粒子，因粒徑較小而易沈積於肺泡而危害人體健康。美國環保署已於 2006 年訂定 PM2.5 空氣品質標準，其標準採樣方法為衝擊式手動法；而我國環保署空氣品質測站現行採用自動連續分析方法進行 PM2.5 濃度監測，兩者採樣方式不同，監測標準及數值因此有所差異。因此環保署為統一全國監測方法及排放標準，自 2011 年始將根據美國空氣品質標準及標準採樣方法訂定經驗，研議 PM2.5 環境空氣品質標準及相關監測與排放源管制配套措施。

根據國內外研究指出，長期曝露於 PM2.5 排放環境中，可能造成新生兒呼吸系統疾病而致死，影響新生兒死亡率[1]；或是致使人體心跳及血壓產生變化，產生自發性的高血壓[2]，另 PM2.5 經疾病動物模式分析結果，亦可能造成心肺毒性效應，影響動物生理健康[3]。PM2.5 來源可分為自然界產出及人類行為產出等二種，其中自然界的產出來源可能受到大陸沙塵影響，藉由長程傳輸作用上，使得大氣中的 PM10 及 PM2.5 濃度明顯上升[4]；但 PM2.5 仍以人為排放為主，由沈士翔[5]研究指出，當台灣受大陸性冷高壓南下影響時，PM2.5 質量濃度往往先有增加的現象，是人為污染物被黃沙強風氣流帶動的現象。亦有國內學者表示，高速公路收費站之車輛 PM2.5 排放濃度升高時，鄰近空氣品質監測站的 PM2.5 濃度相對升高，其監測站與收費站車道 PM2.5 濃度的相關性相當高[6]。其他相關研究結果顯示，除了交通壅塞處會有高濃度的 PM2.5 排放外，路面揚塵亦會造成 PM2.5 濃度升高[7]。綜觀上述研究文獻闡述之 PM2.5 污染特性，桃園縣因環境特性具有工廠林立、機動車輛數多且交通流量大等污染，更需嚴加管制 PM2.5 污染行為，以維護民眾及環境之生活品質。

桃園縣政府環保局自 2008-2010 年委託辦理「空氣污染綜合防制計畫」[8-9]，該計畫工作項目中包括進行空氣中粒狀污染物採樣檢測及分析工作，主要目的期望透過 PM2.5 污染物來源調查分析，瞭解其主要貢獻污染源類型，以掌握本縣空氣品質狀況。未來桃園縣將配合國家訂定 PM2.5 濃度改善目標，研議 PM2.5 相關空氣污染管制策略，以改善空氣品質並維護縣民健康。

二、研究方法

本研究流程如圖 1 所示，經蒐集國內外文獻後，2008-2009 年間為瞭解桃園縣空氣品質不良事件日：即空氣污染指標值(Pollutant standards Index, PSI)大於 100 之發生日。本研究利用氣象觀測結果，預先研判空氣品質不良事件日可能發生日，選定轄內空氣品質自動測站執行粒狀污染物採樣檢測工作，並委由學者梁正中教授*進行污染物濃度、陰陽離子、金屬元素等成份分析，探討污染排放特性；同時量測風向、風速與溫度、濕度等氣象因子，掌握採樣時之主要氣象條件。2010 年粒狀污染物採樣檢測工作，改以選定桃園縣境內環保署一般空氣品質監測站，於空氣品質良好或普通狀態下：即空氣污染指標值(Pollutant standards Index, PSI)小於 100 之發生日，進行採樣工作。該年度委由學者楊錫賢教授**執行年度 4 次採樣檢測，並分析PM_{2.5}中陰離子、金屬元素、有機碳 (OC) 與元素碳 (EC) 含量等污染物組成成份，以瞭解一般空氣品質狀況下之PM_{2.5}濃度變化情形與污染特性。各次採樣檢測結果透過化學質量平衡法(Chemical Mass Balance, CMB)受體模式，分析不同污染源類別之PM_{2.5}貢獻百分比。

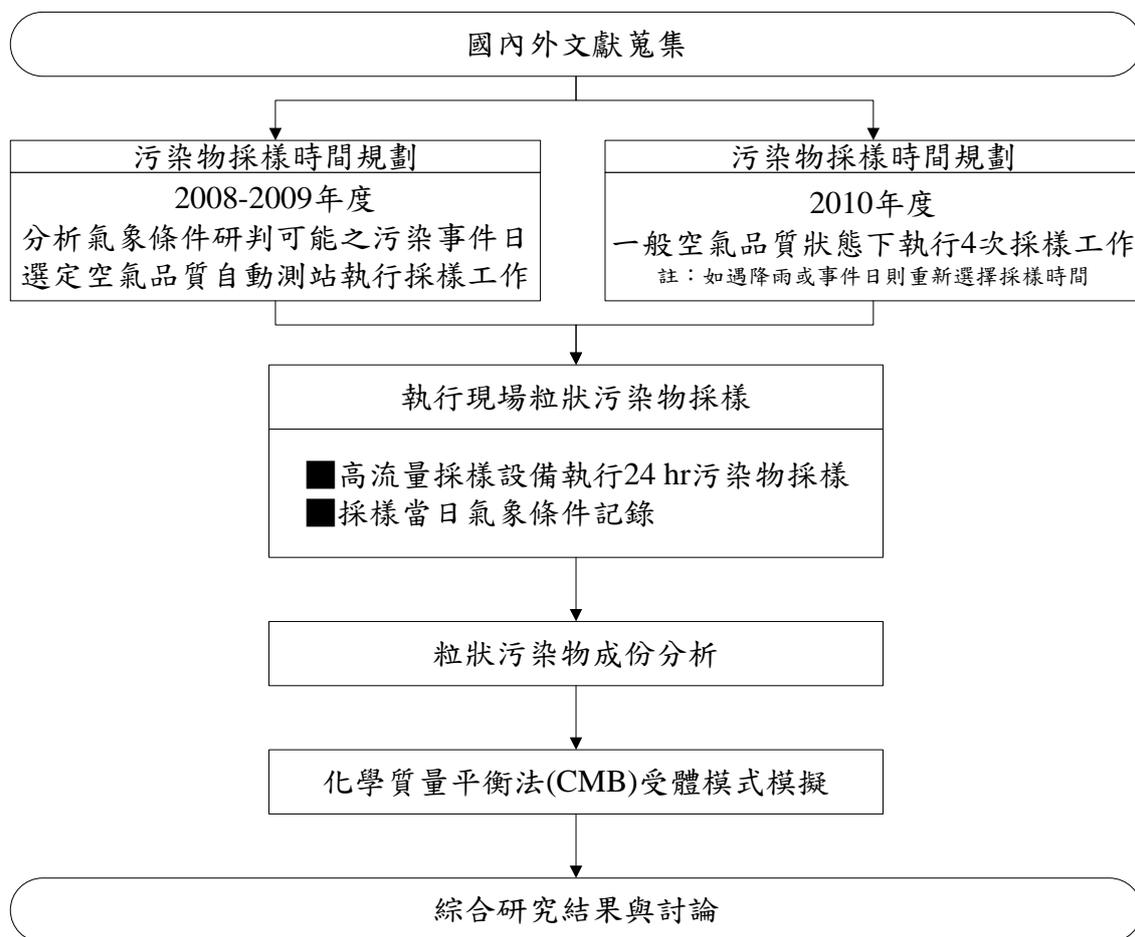


圖 1 2008-2010 年細懸浮微粒之污染來源調查分析研究流程

(一) 採樣點及採樣時間規劃

1. 採樣點選定：本研究選定設有空氣品質監測站為污染物採樣點。
2. 採樣時間：

- (1) 2008-2009 年間為探討空氣品質不良事件日成因，配合氣象條件預先研判可能之污染事件日，採樣點進行連續 24 小時採樣工作。
- (2) 2010 年度則規劃於一般空氣品質狀態時，每季進行各測站採樣，樣品進行 24 小時連續採樣。

(二) 現場採樣設備與方法

現場採樣使用高流量採樣設備(High-volume sampler)，該設備包含兩層衝擊板，以定流量方式收集大氣中之懸浮微粒，藉由控制幫浦進氣口與排氣口保持固定壓力差，使微粒因慣性作用落於衝擊板；並經由分徑器以區分出不同粒徑大小之微粒。採樣時抽氣量為 40 CFM (約 1.33 m³/min)，採集之空氣總體積可由採樣器設定之抽氣流量及採樣時間決定。

(三) 樣品成份分析

1. 陰陽離子分析

藉由離子層析儀(Ion Chromatography, IC)進行離子分析，透過不同離子在管柱中之滯留時間不同，達到分離之目的，接著流經電導度偵測器以定性及定量，分析陰陽離子種類及含量。

2. 金屬元素分析

採樣後濾紙於分析前經消化處理，消化處理後之樣品再以感應耦合電漿光譜儀進行檢測各元素之含量，其可對各金屬元素進行定性及定量分析之工作。藉由金屬元素含量不同，推測其污染性質。

3. 含碳成份分析

採樣後之濾紙藉由元素分析儀測定，此時所得測值即為總碳(TC)；再將濾紙置於 340°C 高溫爐中加熱，以去除有機碳(OC)後，再次置於元素分析儀測定，得元素碳(EC)含量。由 OC/EC 比值的大小可推論有無二次衍生性氣膠的形成，當 OC/EC 比值大於 2 時，即可明顯認定有二次衍生性氣膠的形成[10]。

(四) CMB 受體模式模擬

CMB 受體模式主要採用排放污染源與受體間污染物質守恆原理，此受體模式需配合正確的污染源排放特徵組成，推估受體大氣環境中污染源排放貢獻量，可決定污染源類別及其排放強度。此受體模式至今仍為美國環保署採用，其使用上之基本條件假設如下：

1. 採樣期間污染源排放至大氣之污染物固定不變
2. 化學物種彼此間不互相反應
3. 所有可能排放至受體點的污染源須確認具排放特性
4. 污染源數目或類別小於或等於物種數目
5. 各個污染源組成方式須顯示不同
6. 不確定量測誤差為隨機

受體點樣品之成份分析資料匯入 CMB 模式，需輸入的資料包括：受體點各物種分析資料、各類污染源組成等。CMB 模式以質量平衡與獨立線性加成的方式推估各受體點之污染源物種濃度，而影響解析結果的因素不單只是模式操作，更包括人為採樣或分析上的誤差。

三、後續管制說明

本研究統計 2008-2010 年桃園縣轄內環保署一般空氣品質測站之PM_{2.5}濃度監測數值如表 1，可知桃園縣PM_{2.5}年平均值介於 25.7~29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，低於台灣全國之 2008-2010 年平均值 30.8~33.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 1 2008-2010 年桃園縣一般測站年平均PM_{2.5}濃度與全國年平均PM_{2.5}濃度比較
單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年份	桃園測站	大園測站	平鎮測站	龍潭測站	桃園縣 年平均値	全國 年平均値
2008 年	31.3	30.7	29.8	26.0	29.5	33.2
2009 年	29.9	29.8	25.1	25.8	27.6	33.0
2010 年	28.0	27.0	23.9	23.9	25.7	30.8

(一) PM_{2.5}濃度分析

本研究於 2008-2009 年間，配合氣象條件預先研判可能之空氣品質不良事件日(PSI>100 事件日)，進而選定 2008 年 8 月及 12 月於大園測站及桃園測站進行採樣工作，2009 年則選定 10 月及 11 月進行採樣以探討PM_{2.5}污染來源分析。2010 年另進行一般空氣品質狀態下(PSI<100 監測日)之PM_{2.5}濃度分析，分別於 2010 年 7、9、12 及 2011 年 3 月進行 4 個一般測站(桃園站、大園站、平鎮站及龍潭站)採樣工作，歷次採樣結果如圖 2 所示。由圖可知其 2008 年及 2009 年採樣結果顯示有較高的PM_{2.5}濃度，約為 45~85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；而 2010 年的 4 次一般空氣品質情況下，各測站採樣結果僅 2010 年 12 月具有較高的PM_{2.5}濃度約 36~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其餘皆低於 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(二) PM_{2.5}成份分析

圖 3 顯示本研究於 2008-2009 年採樣樣品之離子濃度分析結果，兩測站歷次採樣結果皆以陰陽離子SO₄²⁻濃度最高，其次高者多以NH₄⁺為主；另於 2010 年一般空氣品質狀況下，各測站之採樣結果如圖 4 所示，其PM_{2.5}之陰陽離子含量仍以SO₄²⁻濃度最高。而 2008-2009 年空氣品質惡化事件日時採樣樣品之各離子含量明顯高於 2010 年一般空氣品質狀

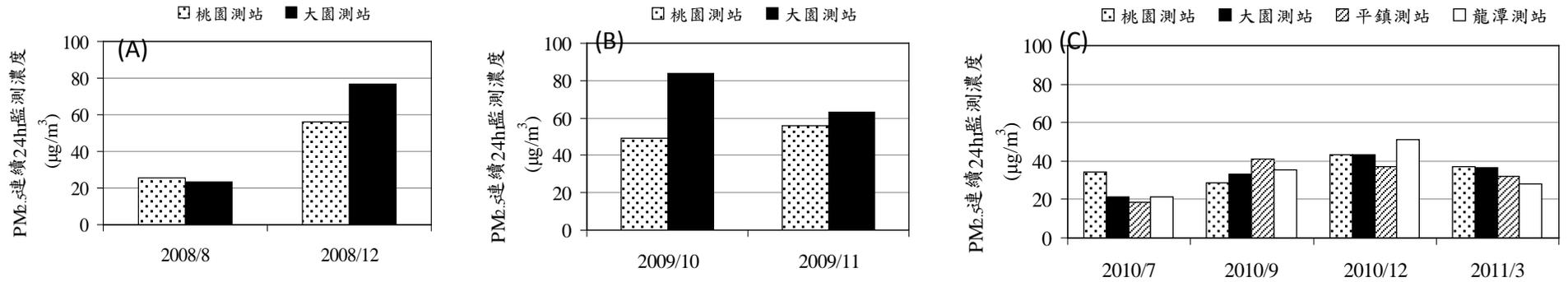


圖 2 2008-2010 年本研究歷次監測PM_{2.5}採樣濃度(A)2008 年(B)2009 年(C)2010 年

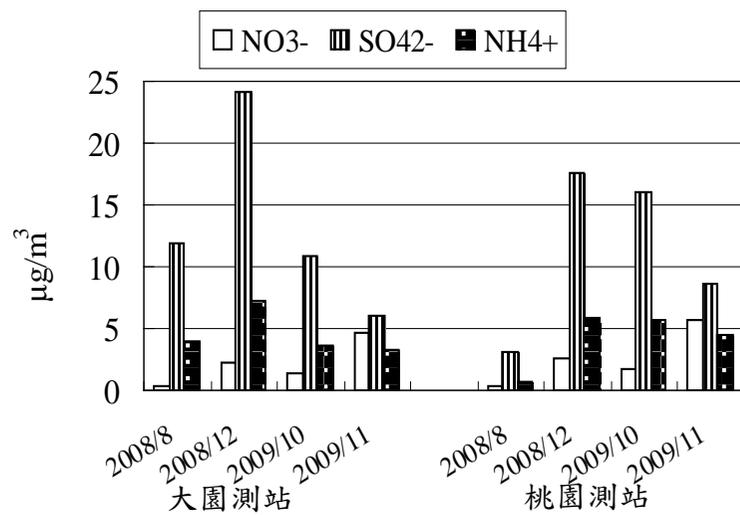


圖 3 2008-2009 年本研究歷次PM_{2.5}採樣之離子分析結果

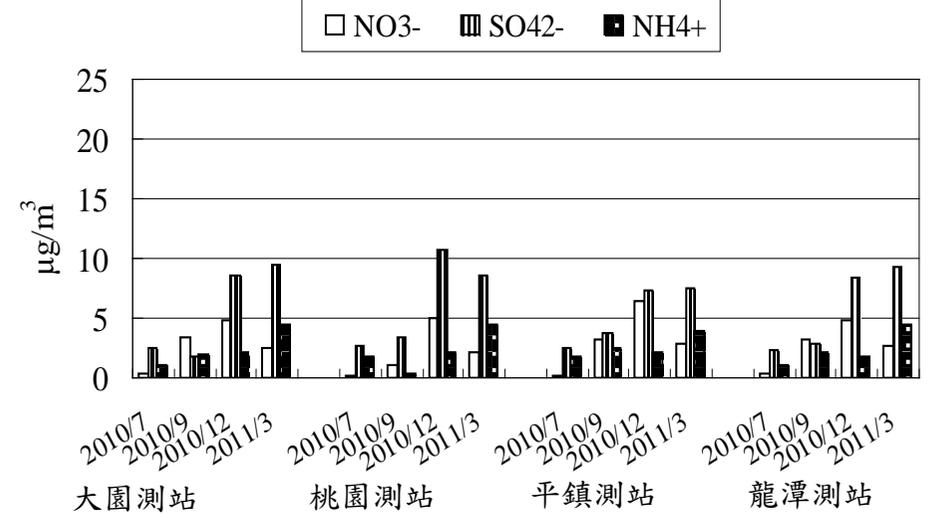


圖 4 2010 年本研究歷次PM_{2.5}採樣之離子濃度分析結果

況下之採樣分析結果。

此外，2008-2009 年歷次金屬元素成分分析結果，以 Cu(0.45~1.32%)、Si(0.18~2.09%)、Fe(0.41~1.03%)及 Zn(0.23~0.83%)含量較高，而 2010 年之各測站歷次金屬元素含量分析結果，則以 Al(0.36~0.58%)、Ca(1.06~2.10%)、Fe(0.76~1.24%)、K(0.92~1.49%)、Na(0.77~1.33%) 與 Zn(0.34~2.60%)為主。由採樣分析結果可知，PM_{2.5}之金屬元素含量仍以地殼元素組成為主。

為瞭解一般空氣品質狀態下，大氣中是否有二次衍生性氣膠的形成，本研究於 2010 年進行各測點 PM_{2.5}之含碳成份分析，並計算有機碳(OC)與元素碳(EC)之比值，研究結果如圖 5 所示，研究期間共採集 16 次 PM_{2.5} 污染物樣本，各樣品之 OC/EC 統計結果皆小於 2，初步推論一般空氣品質狀況下，大氣中二次氣膠對 PM_{2.5}之貢獻影響並不明顯。

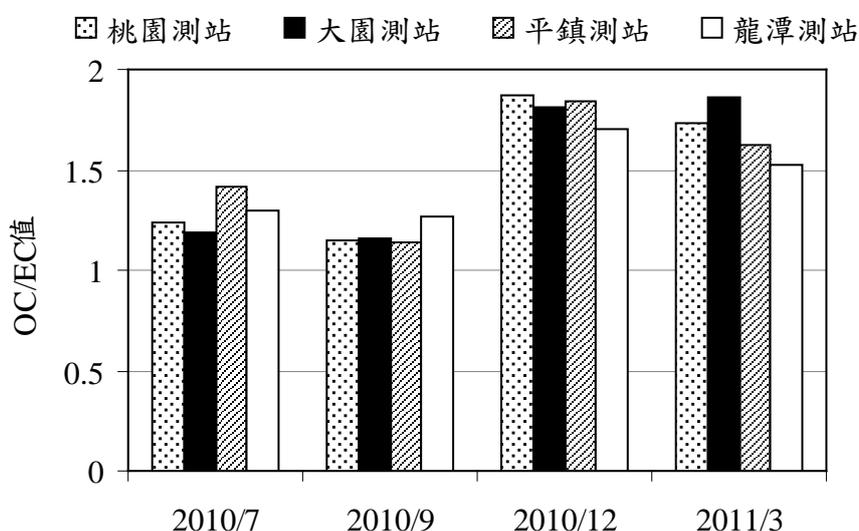


圖 5 2010 年歷次 PM_{2.5} 採樣之 OC/EC 統計結果

(三) CMB 受體模式模擬

依前述之 PM_{2.5} 成份分析資料，以 CMB 受體模式進行模擬，解析的污染源類別包含機動車輛排放、二次氣膠生成、工業燃燒、街道揚塵、海鹽飛沫...等，推估其各類污染源貢獻比例結果如圖 6 及圖 7 所示。

圖 6 顯示為 2008-2009 年針對可能之空氣品質不良事件日情況下，PM_{2.5} 之各污染源貢獻百分比，由模擬結果可知 PM_{2.5} 之主要污染貢獻源以機動車輛排放為主，歷次污染貢獻百分比約介於 35~45%，其中桃園測站之歷次採樣貢獻比例皆大於大園測站，可能為桃園測站鄰近市區，機動車輛較多所致；其次為二次氣膠生成，貢獻百分比約為 22~33%，該污染源於兩測站之貢獻比例差異不大，可能為受整體大氣情況所影響；再其次為工業燃燒之貢獻百分比(6~18%)，本縣大園測站位於大園

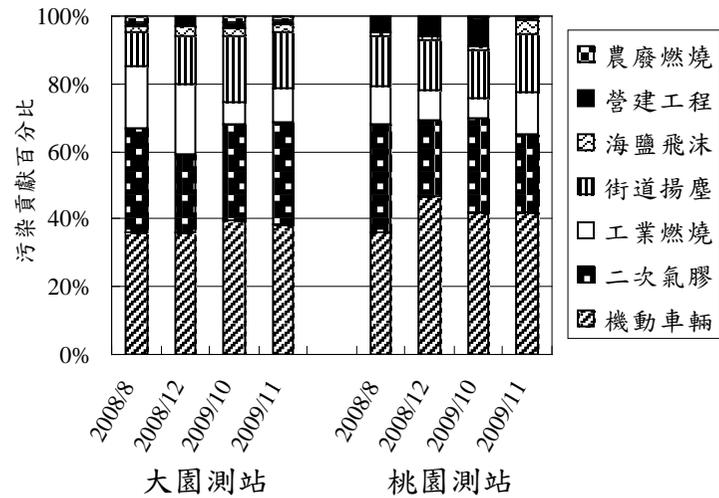


圖 6 2008-2009 年歷次PM_{2.5}污染源貢獻百分比分析

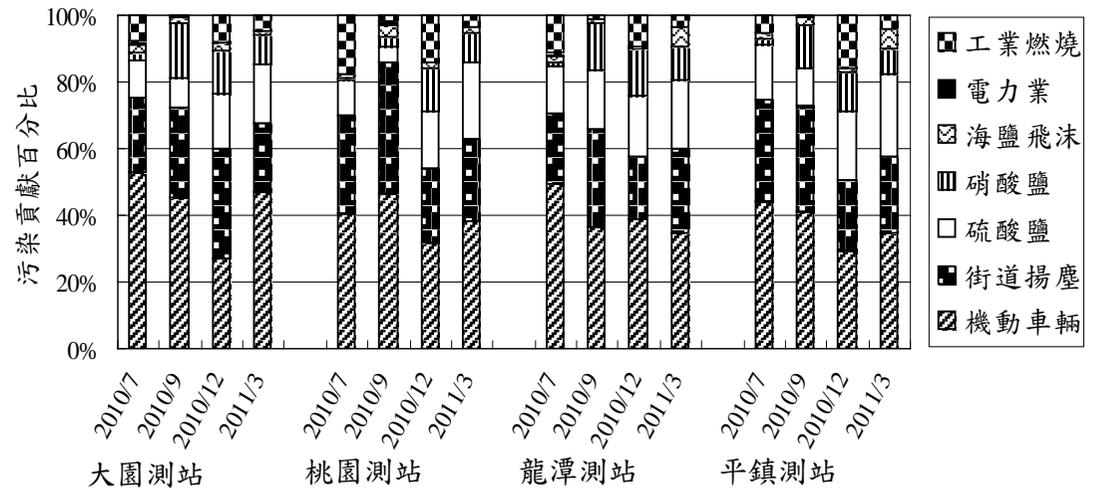


圖 7 2010 年歷次PM_{2.5}污染源貢獻百分比分析

表 2 2008-2009 年本研究粒狀污染物採樣日氣象資料

採樣測站	採樣日期	主要風向	風速範圍(m/s)	平均溫度(°C)
桃園測站 (桃園農工)	2008/8/14-15	西南風	0.6~2.7	28~35
	2008/12/18-19	正東風(風向變化大)	0.3~3.9	14~25
	2009/10/19-20	北北東風	1.3~4.4	22~30
	2009/11/9-10	西南風、西南西風	0.5~2.8	23~30
大園測站 (大園國小)	2008/8/14-15	西南風	0.5~5.5	27~33
	2008/12/18-19	東北東風(風向變化大)	0.3~6.6	15~27
	2009/10/19-20	東北風、東風	0.9~11.0	23~28
	2009/11/9-10	南南西風、南風	0.8~7.0	23~30

工業區東南方約 2 公里範圍，而桃園測站亦位於龜山工業區西北方約 2 公里範圍內，其工業區之燃燒行為可能為PM_{2.5}之貢獻來源。此外，工業燃燒貢獻比例較高為 2008 年 8 月及 12 月之大園測站採樣結果，污染貢獻比例各為 18% 及 21%，進一步比對採樣日期之氣象資料(表 2)，2008 年 8 月主要風向為西南風，其污染物有可能由工業區方向吹向測站所在位置；12 月份則主要為東北東風，但當日風向變化較大，污染物流佈方向亦可能受風向影響而致使大園測站採樣點之污染物測值升高。

圖 7 則是 2010 年一般空氣品質情況下之模擬，結果顯示PM_{2.5}之主要污染貢獻源仍以機動車輛排放為主，其污染源貢獻百分比達 24~58%，較 2008 年上升約 5~10%，尤其以桃園測站及龍潭測站之機動車輛排放貢獻比例為高，可能受人口密集因素影響，具機動車輛數亦逐年上升，使得污染源貢獻比例隨之上升。其次為街道揚塵之貢獻比例約 16~43%，再其次為硫酸鹽(5~28%)。

綜上所述，一般空氣品質狀態與空氣品質不良事件日兩種情況下，以CMB受體模式推估PM_{2.5}污染來源貢獻比例比較，兩情況皆以機動車輛排放為主要污染貢獻源。然而在一般空氣品質狀態下，次要污染貢獻源為街道揚塵；而於空氣品質不良下，次要貢獻源則為二次衍生性氣膠物質。在PM_{2.5}污染來源貢獻源中，二次衍生性氣膠之形成，主要為SO₂經反應生成硫酸鹽、NO_x經光化反應生成硝酸鹽與低揮發性VOCs凝聚致形成有機氣膠，與工業排放較為相關。而工廠排放所造之PM_{2.5}空氣污染，係因大園測站及桃園測站區域遇西南風向，受氣團流向影響，鄰近工業區產生之污染排放吹向測站區域，致使PM_{2.5}濃度上升所致。

四、結論

1. 本研究統計 2008-2010 年桃園縣轄內環保署一般空氣品質測站之PM_{2.5}濃度監測結果，可知本縣PM_{2.5}年平均值介於 25.7~29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，低於台灣全國之 2008-2010 年平均值 30.8~33.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
2. 本研究執行連續 24 小時粒狀污染物採樣工作，針對可能空氣品質不良事件日(PSI>100 事件日)之 2008 年及 2009 年採樣結果，其PM_{2.5}濃度約 45~85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；而 2010 年 4 次一般空氣品質情況下(PSI<100 監測日)，各監測站採樣結果顯示，PM_{2.5}濃度平時大多低於 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，僅 2010 年 12 月具有較高濃度值約 36~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
3. PM_{2.5}成份分析結果顯示，本縣PM_{2.5}陰陽離子含量以SO₄²⁻濃度最高，次高者以NH₄⁺為主，遇可能之空氣品質不良事件日時，濃度則明顯升高。金屬元素組成方面，分析結果指出PM_{2.5}成份以地殼元素為主，為自然界存在之大量元素。
4. CMB受體模式模擬結果顯示，於一般空氣品質狀況下，PM_{2.5}之主要污染貢獻源以機動車輛排放為主，其污染源貢獻百分比為 24~58%，其次是街道揚塵之貢獻比例約 16~43%，再其次為硫酸鹽(5~28%)。遇可能之空氣品質不良事件日，PM_{2.5}之主要污染貢獻源仍以機動車輛排放為主，歷次污染貢獻百分比介於 35~45%，其次為二次氣膠生成，貢獻百分比為 22~33%。
5. 桃園縣PM_{2.5}主要污染來源以交通污染為主，其次為街道揚塵與工廠污

染，因此欲降低PM_{2.5}污染來源，在移動污染源管制方面應著力於車輛燃燒系統改善查核、加速機車汰舊換新、低污染車輛推廣、停車怠速熄火措施、機車保檢合一政策及交通管理措施等。街道減塵方面，則聯合鄉鎮市公所擴大洗掃，提昇道路清潔度。而工廠燃燒源管制則運用獎勵鼓勵減量，並以勤查重罰政策加強污染改善。未來桃園縣將配合國家訂定PM_{2.5}空氣品質標準，持續推動各項污染源管制策略，致力改善空氣品質，維護縣民健康、舒適的生活環境。

參考文獻

1. Woodruff, T. J., J. D. Parker, and K. C. Schoendorf, "Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Air Pollution and Selected Causes of Postneonatal Infant Mortality in California," *Environmental Health Perspectives*, 114(5), pp786-790 (2006).
2. Cheng, T. J., MD and ScD, "Cardiovascular Toxicity of PM_{2.5}," 2011 International Conference on Aerosol Science and Technology and 2011 Symposium of PM_{2.5} Regulated Standard and Control Strategy Abstract Book, pp.4-5, Taiwan Association for Aerosol Research, Tainan(2011).
3. 雷侑蓁, "空氣懸浮微粒心肺毒性研究", 碩士論文, 臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所, 臺北市(2005)。
4. 楊之遠, "大陸沙塵暴影響台灣地區空氣品質之監測與預報", *物理雙月刊*, 第廿三卷, 第三期, pp.416-421(2001)。
5. 沈士翔, "綜觀天氣及不同氣流軌跡影響下的北台灣氣膠特性", 碩士論文, 中央大學環境工程研究所, 桃園縣(2006)。
6. 李逸聖, "高速公路收費站大氣環境PM_{2.5}濃度測量", 碩士論文, 明志科技大學生化工程研究所, 新北市(2010)。
7. Colbeck, I., Z. A. Nasir, S. Ahmad and Z. Ali, "Exposure to PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ and Carbon Monoxide on Roads in Lahore," *Aerosol and Air Quality Research*, No. 11, pp. 687-695(2011).
8. 桃園縣政府環境保護局, "空氣污染綜合防制計畫", (2008-2009)。
9. 桃園縣政府環境保護局, "空氣污染綜合防制暨應變計畫", (2010)。
10. Turpin, B.J., J.J. Huntzicker and K.M. Adam, "Intercomparison of photo acoustic and thermal-optical methods for the measurement of atmospheric elemental carbon," *Atmospheric Environment*, No.25, pp.1831-1835 (1990).