

六輕離島工業區附近地區懸浮微粒來源 之受體模式分析

莊鳳宸¹、鍾欣伶²、張良輝^{3*}

¹ 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 碩士

² 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 研究生

³ 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 副教授

摘要

懸浮微粒及臭氧為目前台灣造成空氣品質超過標準之主要的污染物之一，環保署於雲林縣崙背測站發現於 2008 年 11 月至 2009 年 1 月間，有 81 天懸浮微粒濃度超過標準值，其最高濃度高達 $952 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為背景濃度的 10 倍以上。濁水溪於每年 11 月至隔年 3 月間枯水季期間常有面積河灘地裸露，當此段期間所盛行之東北風風速較高時，易將裸露灘地上顆粒較細小之泥沙揚起，所揚起之泥沙可能與崙背測站之懸浮微粒濃度升高有相關性，加上雲林縣六輕離島工業區內製程排放之污染物，也有可能造成具二次反應性污染物及衍生性懸浮微粒等污染物產生，使得附近地區出現空氣品質劣化的情形。

為瞭解六輕離島工業區及濁水溪附近地區懸浮微粒來源及特性，本研究於 2009 年 2 月 10 日至 2 月 13 日進行觀測，在六輕離島工業區鄰近的空氣品質監測站及濁水溪北邊的大城鄉設立採樣點，架設高流量採樣器 (High-volume air sampler) 與微孔均勻沉降衝擊器 (Micro-Orifice Uniform Deposition Impactor, MOUDI) 進行同步觀測，並利用受體模式進行分析，以瞭解懸浮微粒的污染來源及貢獻比例。

由採樣結果中污染元素發現，於六輕離島工業區下風處的雲林縣台西及麥寮兩測站之金屬濃度呈現高值 ($29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，可能為工業製程影響所造成；而位於濁水溪上風處的大城測站於西南風時，所測得之污染物元素以濁水溪揚塵之指標元素較為顯著，可能為濁水溪之影響。

由氣象資料與受體模式定量分析得知，當風向為東北風時，台西站為下風處，因而使工業製程之貢獻比例高達 59% 以上，其次為麥寮測站 40%。然而，濁水溪之貢獻比例以下風處之崙背站最高，其佔當日總貢獻量之 27%，最少者為大城站 5%；當盛行風向為西南風時，濁水溪揚塵之貢獻比例以下風處的大城站為最高 29%，而相較於其餘 3 個測站 (崙背站 2.8%、麥寮站 4%、台西站 5.5%) 有明顯的落差，而工業製程之貢獻比例以麥寮站為最高 27%，最低者為大城站 6%，顯示六輕離島工業區與濁水溪揚塵受到季風季節影響，對附近地區影響甚大。

關鍵詞： 受體模式、化學質量平衡、污染指紋

TSP source apportionment by a receptor model near the No.6 Naphtha Cracking Project industrial district

Fong-Chen Jhuang¹, Hsing-Ling Chung¹, and Ken-Hui Chang^{1*}

¹ Department of Safety, Health and Environmental Engineering
National Yunlin University of Science and Technology

Abstract

Suspended particulate matter and ozone are the main pollutants that exceed the air quality standard in Taiwan. During November 2008 and January 2009, there were 81 days that the concentration of suspended particulate matter exceeded the standard at the Lunbei station in Yunlin, with the highest as $952 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which was 10 times the background concentration. Large area of flood land is being formed by the Jhuoshuei River every year from November to March of the following year. When the prevailing northeasterly wind speed is high enough to raise the fine dust in the flood land, the concentration of suspended particulate matter at the Lunbei station will rise correspondingly. Furthermore, the pollutants from the No.6 Naphtha Cracking Project industrial district in Yunlin might result in the formation of secondary reactive pollutants and aerosols, which results in even worse air quality.

In order to study the sources and characteristics of suspended particulate matter in the No.6 Naphtha Cracking Project industrial district and in the vicinity of the Jhuoshuei River, a high-volume air sampler and a MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposition Impactor) were used to measure the total suspended particulate (TSP) mass, water-soluble ions, carbonaceous contents and trace elements near the industrial district and at the Dacheng station, which is in the north of the Jhuoshuei River, and then a receptor model - Chemical Mass Balance was applied.

The iron concentrations at the Taihsi station and at the Mailiao station in the leeward of the industrial area were as high as $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively, which might be the result of the industrial processes. When the southwesterly wind prevailed, the indicator iron of dust in the Jhuoshuei River was significant at the Dacheng station, which indicated the influence of the Jhuoshuei River.

From the analysis of meteorological data and a receptor model, when the northeasterly wind prevailed and the Taihsi station was in the leeward area, the contribution of industrial areas was more than 59%, following by that at the Mailiao station (40%). Meanwhile, the contribution of the Jhuoshuei River was the highest at the Lunbei station, (27%), and the lowest at the Dacheng station (5%). However, when the southwesterly wind prevailed, the contribution of the dust from the Jhuoshuei River was the highest in Dacheng station (29%), which was much higher than those at the Lunbei station (2.8%), the Mailiao station (4%) and the Taihsi station (5.5%). To conclude, the pollutants from the No.6 Naphtha Cracking Project industrial district and the dust in the Jhuoshuei River had an obvious impact on the surrounding areas, with variations by the influence of the monsoon season influence.

Keywords : Receptor Model, Chemical Mass Balance, Pollution Finger Print

一、前言

揚塵問題非近年才發生，其來源除每年 11 月至隔年 3 月間，濁水溪受東北季風吹拂導致裸露河床上的細砂隨風飛揚及農民種植翻土時使揚塵影響加遽，亦有可能來自工業發展之影響導致空氣污染物排放量增加，並有二次反應性污染物及衍生性懸浮微粒等污染物產生的可能性，使得附近地區因污染物排放而出現空氣品質劣化的情形。因此，如何解決當地揚塵對民眾生活品質之影響，並積極改善六輕離島工業區及濁水溪揚塵，以減緩附近學校學生及當地居民所受之影響是當務之急。

因而本研究著重於蒐集分析六輕離島工業區及濁水溪既有排放源指紋資料，並進行同步觀測針對不同地區解析其微粒特性，進一步了解當地的污染特徵並推估懸浮微粒來源之貢獻比例。

二、文獻回顧

1. 懸浮微粒的來源與組成

懸浮微粒是飄浮在空氣中的微小顆粒，其粒徑範圍介於 0.002~100 μm [1]，分為自然形成和人類造成，而依懸浮微粒生成機制的差異而言又可概分為原生性 (primary) 及衍生性 (secondary) 兩大類。

懸浮微粒中含有各種元素或化合物，已查出的元素超過 50 種，其組成因來源不同而有所差異，較重要的對象為金屬元素鐵 (Fe)、銅 (Cu)、鉛 (Pb)、鋅 (Zn) 等。

由於不同區域具有不同之排放特徵，加上不同的氣候條件可能影響反應機制以及地形亦會影響化學組成份的比例。因此，不同區域化學組成份均不一樣[2]。若以該發生源特有且含量高，化學上又安定的元素為該發生源的指標元素，即可追蹤各發生源在大氣中的粒子運動，也可從大氣環境中粒子的分析資料找出發生源[2]。例如氯離子 (Cl⁻) 大量含於海鹽粒子中；交通工具排放廢氣中的鉛 (Pb)、溴 (Br) 及釩 (V) 等元素及不完全燃燒所形成的碳粒；鍋爐使用石化燃料因不完全燃燒狀態，產生元素碳 (Element Carbon, EC) 與有機碳 (Organic Carbon, OC)。

2. 懸浮微粒中硫氧化物及氮氧化物轉化

本研究根據 Colbeck and Harrison (1984) [3]所提出的兩個指標 S.O.R. (Sulfur oxidation ratio)、N.O.R (Nitrogen oxidation ratio) 來探討懸浮微粒中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 與其前趨物氣體之傳輸轉化現象，方程式如(1)及(2)所示。

由 S.O.R.和 N.O.R.可瞭解 SO_2 及 NO_2 轉化成 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 之程度及化學傳輸行為，判斷是否為當地所產生之污染源，或是其他污染源遠距離傳輸及物種傳輸轉化而產生之二次污染物[3]。

$$\text{S.O.R.} = \text{ExcessSO}_4^{2-} / (\text{ExcessSO}_4^{2-} + \text{SO}_2) \quad (1)$$

$$\text{N.O.R.} = \text{NO}_3^- / (\text{NO}_3^- + \text{NO}_2) \quad (2)$$

$$\text{ExcessSO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - 0.235\text{Na}^+ \quad (3)$$

ExcessSO_4^{2-} ：大氣中非海水飛沫硫酸鹽之濃度，單位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

SO₂：大氣中SO₂之濃度，單位 μg/m³、

NO₃⁻：大氣中硝酸鹽之濃度，單位 μg/m³

NO₂：大氣中NO₂之濃度，單位 μg m⁻³

Ohta and Okita (1990)[4]指出 S.O.R.值>0.25 且 N.O.R.值>0.1 時，表示大氣中發生高氧化反應，高 S.O.R.值或 N.O.R.值表示自當地產生之污染物轉化率強或可能來自較遠距離物種轉化與長程傳輸，且較多的二次氣膠存於大氣中。Pierson et al. (1979)[5]認為 S.O.R.<0.1 時，該地區之空氣污染應屬於原生性的污染，Ohta and Okita (1990)[4]則指出若 S.O.R.>0.1，該地區即可認定有 SO₂ 的大氣光化作用發生。

3. 懸浮微粒中金屬之成份

懸浮微粒之金屬元素成份，隨污染來源而不同。而金屬之來源相當複雜，包括人為污染源及自然來源，人為污染源包括鋼鐵業、火力發電廠、焚化廠、煉銅製廠、石化業、重油燃燒、磚窯業等工廠所排放之金屬元素，另外由於道路開挖、營建施工、河床揚塵、車輛行駛之揚塵等亦會造成金屬之逸散現象，工廠所排放與移動污染源或逸散源所產生之金屬種類也不盡相同。

研究指出六輕離島工業區主要為石化工業，微粒中金屬成分中含有較多之 Fe、Mn 及 Co 元素；發電廠的燃燒飛灰含有 Al、Si 及 Fe 等元素。Fe 的來源也可能與附近的鋼鐵工業排放有關[6]。

一般而言，逸散性揚塵與交通污染源分為粗微粒及細微粒金屬成份之污染源。王怡方 (1996) [7] 於台北縣三重市、雲林縣麥寮鄉、高雄縣林園鄉等分別代表台灣都會區、鄉鎮區及工業區的地點，進行懸浮微粒採樣分析。發現台灣地區的懸浮微粒組成中，粗粒徑以地殼元素 Si、Al、Fe、Ca 和海洋飛沫主要元素 Cl 為主；細粒徑則以 S 元素或 SO₄²⁻，含量最高，其次為 Cl 與 K 等元素。

魏致中 (1994) [8]測量麥寮地區大氣中懸浮微粒質量濃度及化學組成，使用 X 射線螢光分析儀 (XRF) 分析結果顯示，在細粒徑中含量較高的元素為 S、Cl、K、Si、Zn、Ca 和 Fe，在粗粒徑中較高的為 Si、Cl、Al、Fe、Ca、K 和 S。

4. 懸浮微粒中之碳元素

碳元素微粒是都會及重工業都會區的細粒徑氣膠的主要化學組成之一，碳元素微粒從許多逸散源所排放的，包含汽車運輸工具、燃料燃燒及工業程序（如有機溶劑的使用、化學藥品、冶金及廢棄物燃燒等）。大氣中的碳可分為有機碳 (Organic Carbon, OC)、無機碳 (Inorganic Carbon, IC) 和元素碳 (Element Carbon, EC)，其中無機碳為碳酸鹽類，且此類碳成分含量低至可忽略，因此大氣的總碳 (Total Carbon, TC) 主要由有機碳和元素碳所組成。元素碳只有在燃燒程序才會產生，而有機碳主要分成兩種：有些是直接由污染源所逸散出來的，另外一些是經氣相前驅物的大氣反應所產生的 OC。

有機碳及元素碳之比值 (OC/EC) 常作為計算二次衍生有機碳之判斷依據，部份之研究報告指出 OC/EC 比值大於 2.0 時，認為有二次衍生有機碳產生[9]。Hildemann et al. (1991) [10]的研究結果指出由 OC/EC 比值的大小可以推論有無二次氣膠懸浮微粒的形成，OC/EC 比值大於 2 (或 OC/TC > 0.67) 時，即可明顯認定有二次氣膠懸浮微粒形成。

5. 受體模式之基本理論

受體模式 (Receptor Model) 乃假設受體所測物種質量為各類污染源化學成份組合而成，即經由質量平衡 (Chemical Mass Balance, CMB) 的關係與數理統計方法的處理，利用污染源和受體間污染物質質量守衡關係推導，同時估計不同污染源之貢獻量。基本理論為每一個空氣污染源所排放的懸浮微粒具有特殊的物理、化學特性。個別污染源所排放特徵物種，經由受體模式及污染源指紋資料解析受體點污染特徵結構，判別污染來源及其貢獻比例，而污染源排放之物質有其特殊的物化性質，即所謂指紋 (fingerprint)。

受體點接受的污染物濃度與污染源排放濃度之間的關係可以以下式表示

$$C_i = \sum_{j=1}^p F_{ij} S_j \quad (6)$$

C_i : 受體點之某一污染物之濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 ppmC)。

F_{ij} : 污染源 j 排放 i 元素的質量分率 (指紋百分比)。

S_j : 污染源 j 貢獻量 (強度或衝擊量)。

然而，受體模式運作時，因運作上的差異，有不同的假設與應用限制。基本上模式須有下列先決的假設 [11]：

- (1) 排放污染物之物理、化學特性不改變。
- (2) 污染物間不互相反應。
- (3) 採樣與分析誤差為隨機。
- (4) 污染物排放於大氣後即均勻分佈。
- (5) 各污染源排放之污染物性質不同。
- (6) 每一污染源有其特殊指標元素。

三、研究方法

1. 研究流程圖

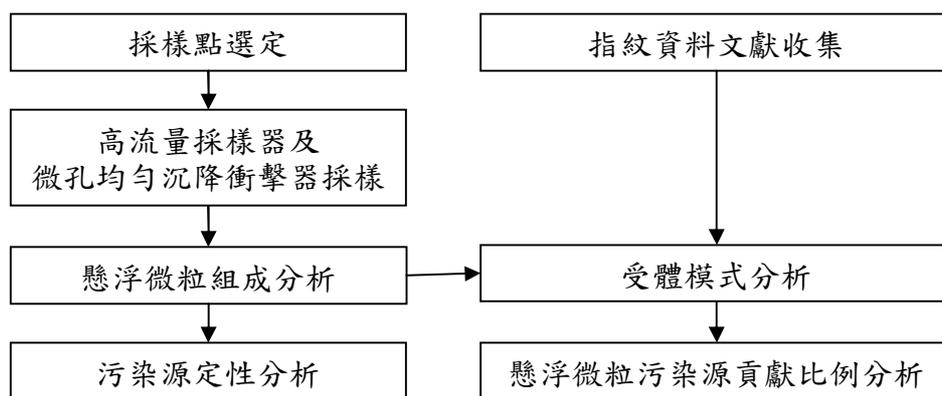


圖 1 研究流程圖

為瞭解六輕離島工業區附近地區懸浮微粒來源及特性，本研究選定崙背、麥寮、大城、台西等 4 個採樣點，利用高流量採樣器及微孔均勻沉降衝擊器進行同

步採樣，分析懸浮微粒的化學組成。並收集及彙整六輕離島工業區與濁水溪附近污染源之排放特徵，利用化學質量平衡受體模式推估懸浮微粒可能污染來源及貢獻量分析。

2. 採樣地點概述

本研究於 2009 年 2 月份東北季風鋒面來臨時，在台西、麥寮、崙背、大城四個測站以同步方式進行密集採樣，而採樣點及儀器架設符合粒狀污染物空氣品質監測設施採樣口之設置原則規定。

(1) 雲林縣台西鄉的台西國中：台西國中地點較靠近海邊且漁業活動盛行，四周土地利用形態大多為魚塢及農田，常為六輕離島工業區的下風處；(2) 麥寮高中的麥寮站：麥寮站地處沿海地區又鄰近濁水溪出海口，每年 11 月至隔年 3 月受東北季風強烈吹襲鹽化相當嚴重，其西邊為六輕離島工業區；(3) 崙背國中的崙背測站：同時也是環保署擺放空品儀器的地點，其附近皆為農田，東側有省道台九線經過；(4) 彰化縣大城鄉的永光國小，永光國小位於彰化縣的最西南端，西距台灣海峽約 4 公里，南鄰濁水溪北岸且常為濁水溪上風處，距離彰化縣二林監測站東北方約 16.3km。各地點相關位置如圖 2。

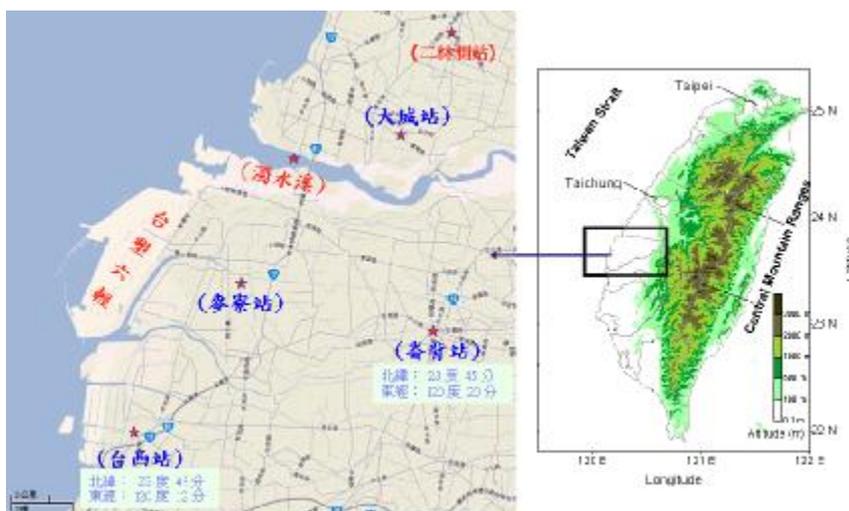


圖 2 各採樣地點相關位置示意圖

3. 懸浮微粒採樣及分析設備

本研究使用高流量採樣器及微孔均勻沉降衝擊器進行大氣中懸浮微粒之採樣，並將採集樣品以離子層析儀 (Ion Chromatography, IC)、感應耦合電漿原子發射光譜儀 (Inductively Coupled Plasma Optima Optical Emission Spectrometer, ICP-OES) 及熱反射比法 (Thermal Optical Reflectance, TOR) 進行分析，以探討大氣中懸浮微粒分佈及其組成之特性。

高流量採樣器利用粒子慣性衝擊於塗有矽膠之衝擊板，藉以分離粒徑大小，收集小於 PM_{10} 之粉塵，採樣流量控制在 $1.1\sim 1.7\text{ m}^3/\text{min}$ 以採集大氣中懸浮微粒。微孔均勻沉降衝擊器是利用離心力與慣性力來收集粒狀物，藉抽氣之氣流與粒狀物撞擊每一階層，當粒徑大於每一層捕集粒徑時，粒狀物將撞擊層板捕集，並收集於層板上，而較細之粒狀物則隨氣流流線，流至下一層之更小噴孔，通過噴孔

之氣流流速大，可捕集更小微粒。採樣期間流量設定於 $30\text{m}^3/\text{min}$ 進行懸浮微粒的採集。

離子層析儀 (IC, Dionex DX-120) 是以離子交換樹脂管柱 (Column) 為固定相 (Stationary Phase)，淋洗液為移動相 (Mobile Phase)，利用各離子在固定相與移動相之平衡常數不同、親和力不同以致於不同離子在管柱中的滯留時間也不一，以測得水溶性陰陽離子濃度。ICP-OES 是一結合 ICP 激發源與光學偵測系統的多元素分析儀器，於不同波長的原子發散光譜通過狹縫後，經過光電倍增管的放大，即可經由彎曲電荷偵檢器偵檢，達到有效分離各金屬元素。TOR 利用不同燃燒溫度測定氣膠的有機碳及元素碳含量，並以雷射光偵測濾紙表面氣膠的反射光，得以矯正有機碳揮發過程在濾紙表面形成元素碳的現象，以測得氣膠碳成分。

4. 受體模式前處理與模擬分析

為確認受體模式所解析出的污染源組成資料和污染源貢獻量結果之可信度，需經過幾道程序的判定才能清楚確定是否為合理的結果，首要步驟為確認輸入值的有效性，避免採樣程序及分析方法所造成誤差，需確認採樣分析具代表性，懸浮微粒濃度及分析化學物種之 CV (Coefficient of Variation) $\leq 20\%$ ，不確定之質量濃度及物種之最低偵測極限皆以-99 取代。

本研究將選用美國環保署 CMB8.2 版本軟體為懸浮微粒來源分析之主要分析工具進行污染源貢獻量之評估。圖譜收集優先分析篩選六輕離島工業區及濁水溪重大污染源之指紋資料，其餘不足之處再透過國外的相關文獻或是搭配 speciate 資料庫等來源建置污染源指紋資料，最後彙整國內排放污染源之排放特徵，以應用模式之結果掌握大氣懸浮微粒可能來源及貢獻比例，以探討受體模式與觀測結果是否為一致。

四、結果與討論

1. 各測站質量濃度分析

由各測站質量濃度變化 (圖 2) 觀測結果得知，在台西、麥寮、崙背、大城四個測站於 2/10~2/13 採樣期間的日夜平均質量濃度有逐漸減少的趨勢，除大城與麥寮兩測站在 2 月 11 日所採集到的日夜平均質量濃度遽增，而又以麥寮站的日夜濃度平均濃度 $270\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過環保署訂定之懸浮微粒標準 ($250\ \mu\text{g}/\text{m}^3$)。詳細污染來源需進一步經由環保署氣象觀測資料與受體模式分析結果予以判斷，日夜平均質量濃度偏高原因是否為濁水溪揚塵影響或是與六輕離島工業區排放相關進行探討。

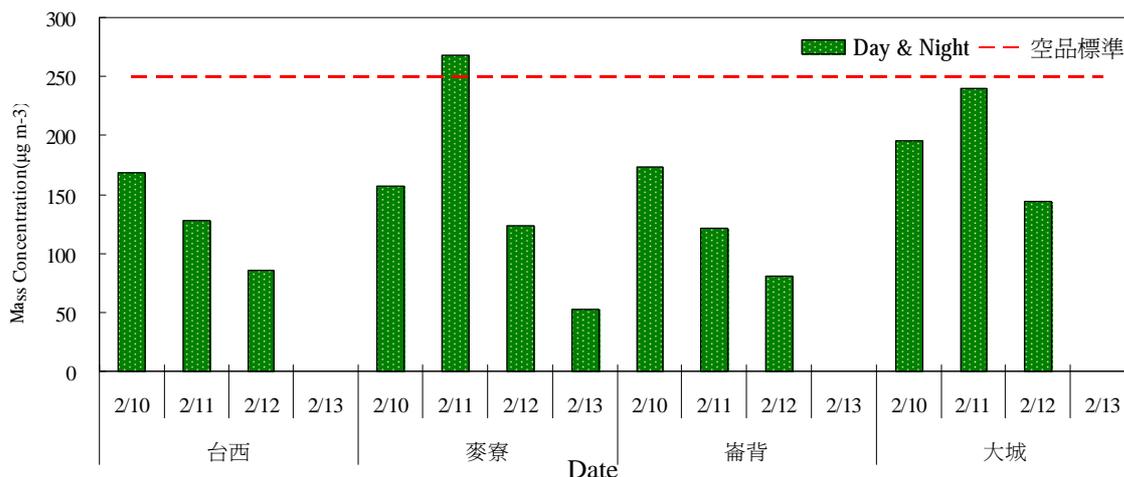


圖 3 各測站日夜平均質量濃度變化

2. 各測站水溶性離子組成濃度

由不同測站 PM₁₀ 微粒中水溶性離子 (Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、NH₄⁺、Cl⁻、NO₃⁻ 及 SO₄²⁻) 成份分析之結果，得知 PM₁₀ 微粒中水溶性離子濃度佔質量濃度的比例分別為，台西站 44.2%、麥寮站 44.1%、崙背站 55.6%、大城站 48.4%，由上述分析結果發現水溶性離子為 PM₁₀ 濃度之主要物種。於圖 4 發現各測站皆以 NH₄⁺ 與 NO₃⁻ 及 SO₄²⁻ 離子濃度呈現高濃度值，以 SO₄²⁻ 為最高，平均濃度為 15.92 µg/m³，NO₃⁻ 次之 (15.20 µg/m³)，再者為 NH₄⁺ (7.69 µg/m³)，其餘離子濃度則介於 0.55~3.57 µg/m³。而 NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻ 等 3 種離子又屬衍生性氣膠，可知衍生性氣膠為水溶性離子的主要貢獻物種。

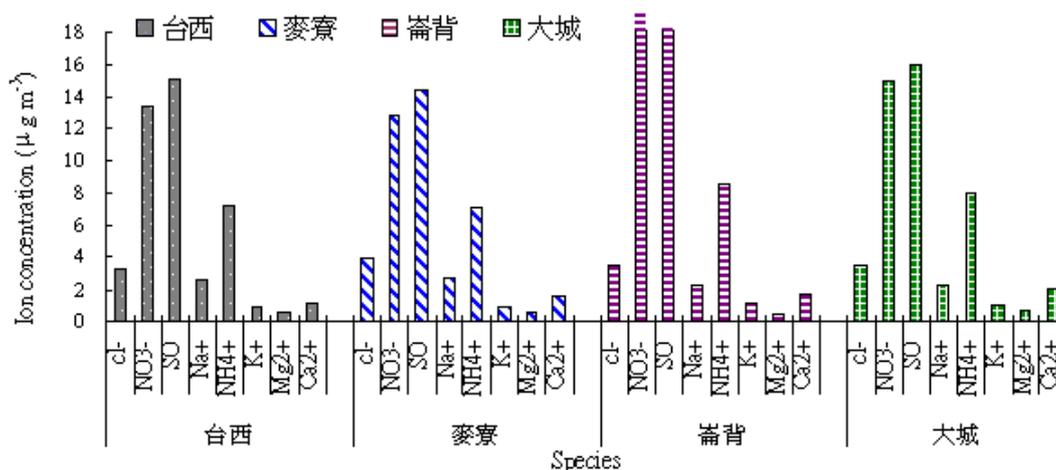


圖 4 各測站之水溶性離子濃度

分析各測站水溶性離子之間的相關係數，發現台西站以 NH₄⁺ 與 NO₃⁻ 及 SO₄²⁻ 的相關係數最高，皆在 0.9 以上，主要存在的化合物為 NH₄HSO₄、(NH₄)₂SO₄ 及 NH₄NO₃，皆為二次氣膠與交通污染源。Na⁺ 與 Cl⁻ 也有 0.8 之高相關性，其化合物為海鹽飛沫 (NaCl)。而麥寮站以 NO₃⁻ 與 NH₄⁺ 相關係數最高 R²=0.96，顯示 NO₃⁻

主要來自二次衍生物，其次為 SO_4^{2-} 與 NH_4^+ 及 K^+ ，顯示 SO_4^{2-} 為非海鹽飛沫因而 K^+ 可能來自土壤揚塵所致。離子之間的高相關係數可以判斷懸浮微粒可能存在的化合物為 K_2SO_4 、 NH_4HSO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及 NH_4NO_3 ， K_2SO_4 主要來源是一些土壤肥料。崙背站則是以 Na^+ 與 Cl^- 之相關性較高，其 R^2 值接近 1，可能因懸浮微粒中含有較多的 NaCl 化合物，研判由於靠近濁水溪及海鹽影響，分析 K^+ 離子發現其與 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 三種陰離子的相關係數 R^2 值，分別為 0.84、0.96、0.88，由此判斷當地大多以 K^+ 及 NH_4^+ 形成的化合物存在微粒中，其為農業活動之主要來源。大城站所測 Cl^- 與 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 皆有很高之 R^2 值，分別為 1.00、0.96 與 0.87，因此得知懸浮微粒中多以地殼元素存在。

初步推測台西站可能受交通工具排放及海水飛沫影響；麥寮站微粒污染源可能有土壤揚塵與農業活動之影響；崙背站受海鹽飛沫與農業活動影響較大；大城站則推斷為塵土貢獻，其可能因採樣點位於濁水溪附近，受到濁水溪揚塵影響使其相關性較高。研判這些元素應與採樣點附近的污染源排放有關，至於確切污染來源，則需進一步與受體模式推估結果作驗證。

3. 懸浮微粒之 S.O.R.、N.O.R

表 1 所示為本研究各測站 N.O.R. 值部份大於 0.1，其介於 0.5 ± 1 之間，而 S.O.R. 值皆大於 0.25，由文獻回顧得知，若 $\text{N.O.R.} > 0.1$ 、 $\text{S.O.R. 值} > 0.25$ 時，表示自當地產生之污染物轉化率強或可能來自較遠距離物種轉化與長程傳輸，且較多之二次氣懸膠存於大氣中。

表 1 不同觀測點懸浮微粒 S.O.R.、N.O.R.

地點	日期	S.O.R.	S.O.R. 平均值	N.O.R.	N.O.R. 平均值
台西	2/10	0.60	0.56	0.27	0.28
	2/11	0.70		0.28	
	2/12	0.52		0.30	
	2/13	0.43		0.28	
麥寮	2/10	0.63	0.52	0.27	0.27
	2/11	0.65		0.34	
	2/12	0.49		0.33	
	2/13	0.40		0.12	
崙背	2/10	0.69	0.58	0.35	0.34
	2/11	0.74		0.49	
	2/12	0.53		0.39	
	2/13	0.39		0.14	
大城	2/10	0.66	0.61	0.29	0.30
	2/11	0.78		0.45	
	2/12	0.53		0.29	
	2/13	0.47		0.15	

4. 碳元素成份分析

採樣點附近地區其 EC 及 OC 的可能污染來源包括汽油車、農廢燃燒、燃料燃燒等工業排放及重油燃燒等，本節將進行各測站之碳元素成份分析及探討。

分析 EC 及 OC 平均質量濃度得知，台西站 OC 平均質量濃度 ($26.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 高於其他三測站，其次為大城站 ($23.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、崙背站 ($21.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，質量濃度最低者為麥寮站 ($18.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)；在 EC 平均質量濃度方面，則是以大城站值較高 ($6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，其次為台西站 ($5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 及麥寮站 ($5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，最低者則為崙背站 ($2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，如表 2 所示。由各測站之 OC/EC 比值得知，以 2 月 13 日台西站 OC/EC 比值 9.0 為最高，同一天在麥寮站的數值為最低 (2.1)，整體上 OC/EC 比值介於 2.1~9.0 之間。OC/EC 比值皆大於 2，因此推論可能有二次氣膠懸浮微粒形成。

表 2 各測站 OC/EC 比值

地點		OC/EC	地點		OC/EC
日期			日期		
台西	2/10	3.3	崙背	2/10	2.2
	2/11	6.4		2/11	3.4
	2/12	2.9		2/12	3.3
	2/13	9.0		2/13	2.7
麥寮	2/10	4.2	大城	2/10	4.4
	2/11	3.7		2/11	4.2
	2/12	4.1		2/12	3.0
	2/13	2.1		2/13	2.8

5. 污染源組成指標元素與金屬元素成份分析

本研究為探討六輕離島工業區及濁水溪重要污染源，彙整當地各行業別主要指標元素如表 4 所示，得知六輕離島工業區與濁水溪中重要污染源金屬元素都不相同，而某些金屬元素在重工業製程之含量均高於河床中之含量。這些結果顯示金屬元素能作為河床之指紋資料，並可將河床揚塵及製程揚塵之影響加以區別出來。

金屬之來源相當複雜，本研究利用各業別之特徵元素表 (表 4)，作為各測站受到污染源影響之判斷依據進行分析。圖 5~圖 8 為各測站金屬離子元素成份的平均濃度圖。結果顯示，台西站及麥寮站之金屬濃度以 Ca、Mg、Fe 濃度呈現高值，其中污染源以 Ca、Mg、Fe、Ag、Ba 等 5 種元素佔的比例較多。大城站與崙背站則是 Mg、Ca、Al、Fe 等元素所佔比例較高，其次為 Sr、Zn 元素。本研究將利用

不同污染源之指紋，應用於受體模式進行進一步解析主要貢獻來源。

表 4 各行業別之主要指標元素

	污染源	指標元素	資料來源
六輕離島工業相關產業	燃煤發電廠	C、Si、Al	倪佩貞等人(2007)[12]
	鍋爐燃燒	NO ₃ ⁻ 、Cu、Ni、EC、SO ₄ ²⁻	陳康興等人(2005)[13]
	焚化爐	Cd、Cr、Pb、Hg	吳義林等人(1997)[14]
	石油煉製業	K、F、Co、Mn	喻南華等人(2004)[15]
	電力業	SO ₄ ²⁻ 、Fe、Mg	倪佩貞等人(2007)[12]
	鋼鐵冶煉業	Fe、Mn、SO ₄ ²⁻ 、Ni	倪佩貞等人(2007)[12]
	半導體廠、輻射源工廠	Sr、As、Cd、S	王竹方等人(2002)[16]
	塑膠纖維業	K、F、Ba、SO ₄ ²⁻	黃進輝(2004)[17]
當地地殼元素	地殼元素(街塵、裸露地表)	Cl ⁻ 、Na ⁺ 、Si、Al	倪佩貞等人(2007)[12]
	農廢燃燒、木材燃燒	K、OC、EC、Cl ⁻	鄭曼婷等人(2003)[18]
移動源元素	交通活動	Pb、Br、V、Ni	鄭曼婷等人(2003)[18]
	機動車輛	Pb、NO ₃ ⁻ 、EC、OC	倪佩貞等人(2007)[12]
	柴油車引擎	EC、OC、SO ₄ ²⁻ 、Ni	倪佩貞等人(2007)[12]
沿岸海鹽飛沫元素	海鹽飛沫	Cl ⁻ 、K ⁺ 、Mg、Na	李家青(2002)[19]
濁水溪主要元素	濁水溪揚塵	Mg、Ca、Al、Fe	郭崇義等人(2007)[20]

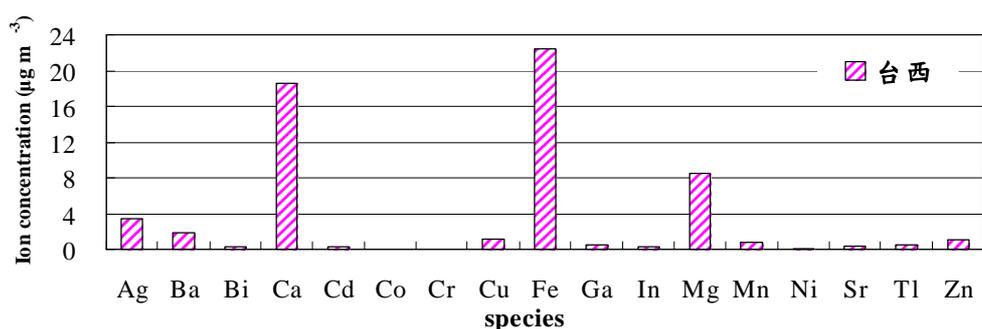


圖 5 台西站金屬離子元素成份的平均濃度

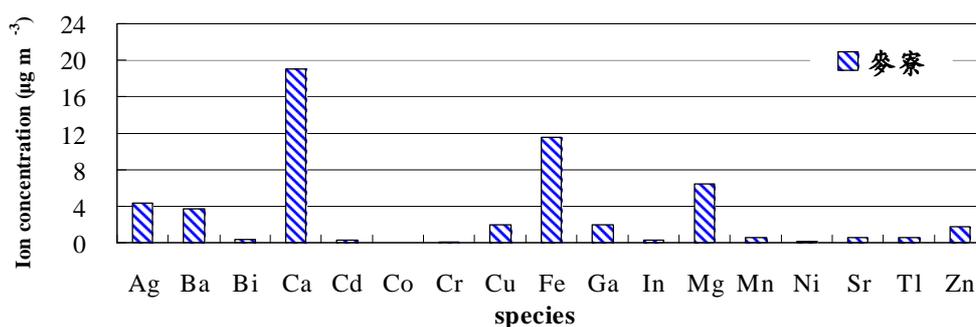


圖 6 麥寮站金屬離子元素成份的平均濃度

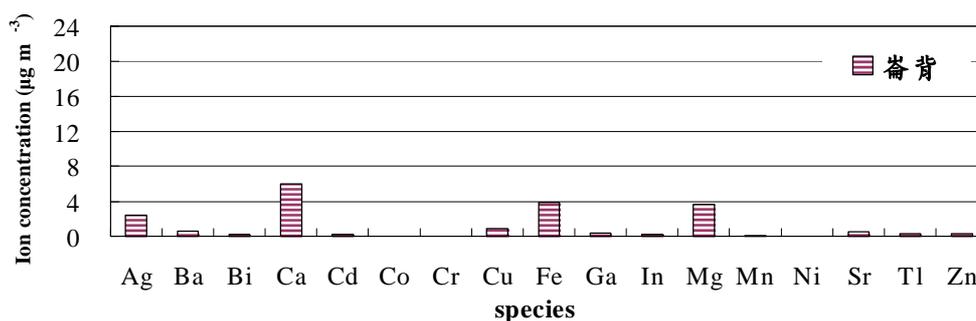


圖 7 崙背站金屬離子元素成份的平均濃度

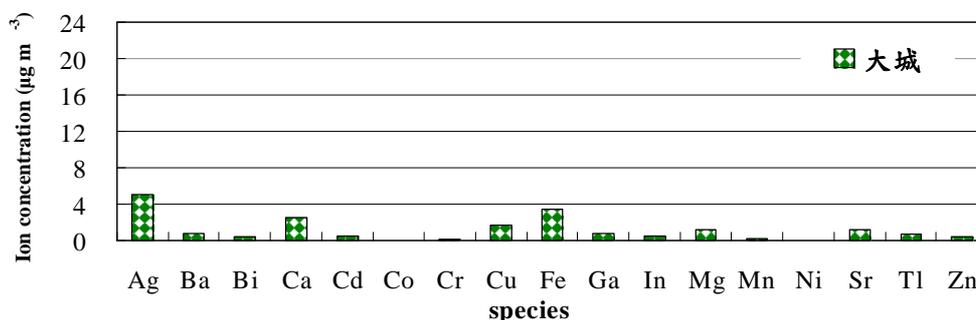


圖 8 大城站金屬離子元素成份的平均濃度

6. 六輕污染與濁水溪揚塵之定性解析

本研究利用環保署觀測站的氣象資料取得台西站、崙背站、二林站等 3 站之日夜風速、風向變化，整理後得知 2/10 各測站盛行風向為東北風與北風，平均風速為 3.26 m/s；2/11 各測站盛行風向為西風、西南風，平均風速 1.87 m/s；2/12 各測站盛行風向為西風、南風，平均風速 3.23 m/s；2/13 各測站盛行風向為西風、西南風，平均風速 3.91 m/s。

由圖 9~圖 11 得知當風向為東北季風時，常為六輕離島工業區下風處之台西站與麥寮站兩測站，測得 Ca、Fe、Mg 等污染元素之離子濃度呈現高值，可能受到六輕離島工業區中重工業運轉與製造過程所產生的污染源釋放至大氣中所致。而當風向轉變為西南風時，西站及麥寮站兩測站之 Ca、Fe、Mg 離子濃度則有大幅度下降之趨勢，呈現出與風向為東北風時有相當大的差異性。崙背站當風向不同

時，所測得之 Ba、Cd 兩種金屬離子濃度有較明顯差異。大城站常位於濁水溪上風處，當東北風吹襲時，所測得的金屬離子濃度值均偏低，而當風向為西南風時 Ca、Al、Fe、Mg 等金屬離子濃度呈現高值，得知大城站之金屬濃度與濁水溪揚塵有一定的關係存在。

可見一般測站懸浮微粒的來源會隨著不同的氣象條件使其成份有所改變，而不同的污染源如：交通活動、土壤、街道揚塵及海水飛沫等都會影響金屬濃度之含量與其特性變化。上述推論將藉受體模式推估結果作驗證比較，以判定濃度偏高之主要原因是否與六輕離島工業區及濁水溪揚塵相關。



圖 9 各測站東北風與西南風之示意圖

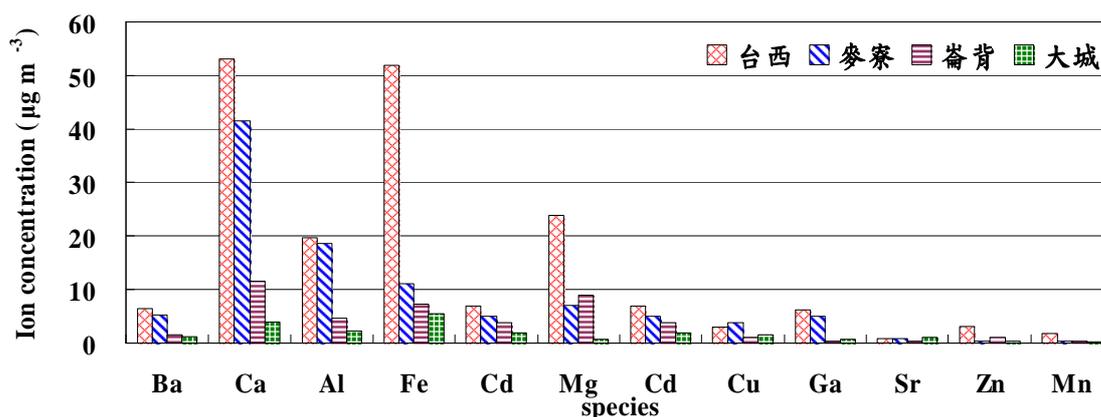


圖 10 各測站為東北風時之金屬離子濃度變化(2月10日)

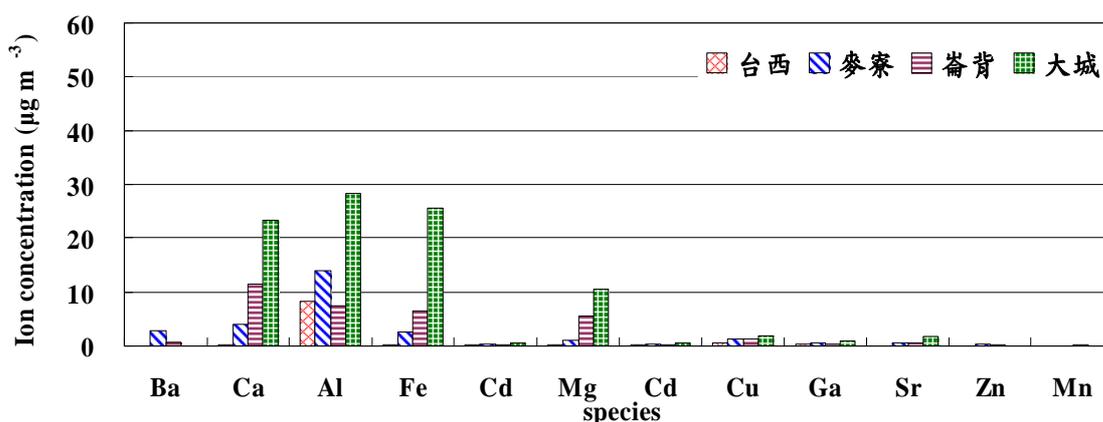


圖 11 各測站為西南風時之金屬離子濃度變化(2月13日)

7. 污染源指紋資料表與六輕污染源及濁水溪揚塵之定量解析

建立受體模式所需建立較完整的各類污染排放源微粒化學組成資料庫，因而選取彙整六輕不同行業別主要製程污染排放、濁水溪揚塵及附近地區主要地殼元素組成資料，將污染類別區分為五大類，分別為燃燒污染源、工業製程污染源、移動污染源、逸散性污染源、二次光化產物，目前總計有 29 筆污染源指紋資料代入模式分析，如表 5 所示。

表 5 污染源指紋資料表

類別	污染源業別	數量	類別	污染源業別	數量
燃燒污染源	火力發電廠	1	逸散性污染源	地殼物質	1
	鍋爐燃燒	1		海鹽飛沫	2
	焚化爐	1		鋪面揚塵	3
	電力業	1		河床揚塵	1
工業污染源	水泥業	1		土壤	1
	石化業	2		未鋪面揚塵	1
	鋼鐵業	2		農廢燃燒	3
移動性污染源	汽油車	1		總碳	2
	柴油車	2		二次光化	二次光化

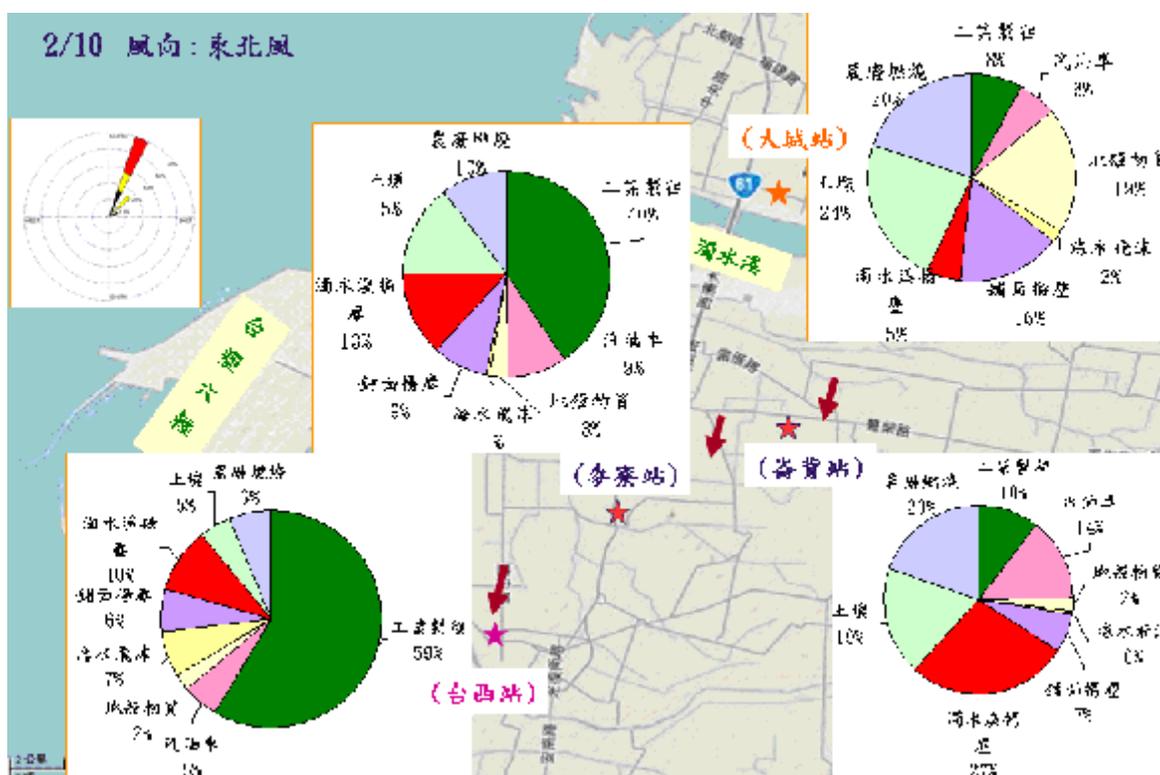
一般風速強有利於污染物擴散，但較強的風速也會引起地表揚塵造成濃度升高，污染物也容易隨氣團傳送，然而隨著風向、風速強度的不同，部分成份之比例可能隨污染源特性之不同，組成比例會有些微的不同。根據環保署的觀測資料得知採樣期間各測站風速變化趨勢相似，本研究以 2 月 11 日（盛行風向為東北風）與 2 月 13 日（盛行風向為西南風）進行污染來源之討論。

圖 12 為在不同風向之影響下各測站污染源之貢獻比例，經由氣象資料與受體模式解析結果，發現於不同氣象條件下其貢獻比例會因受到風向影響，使不同測站受污染源影響程度不同。

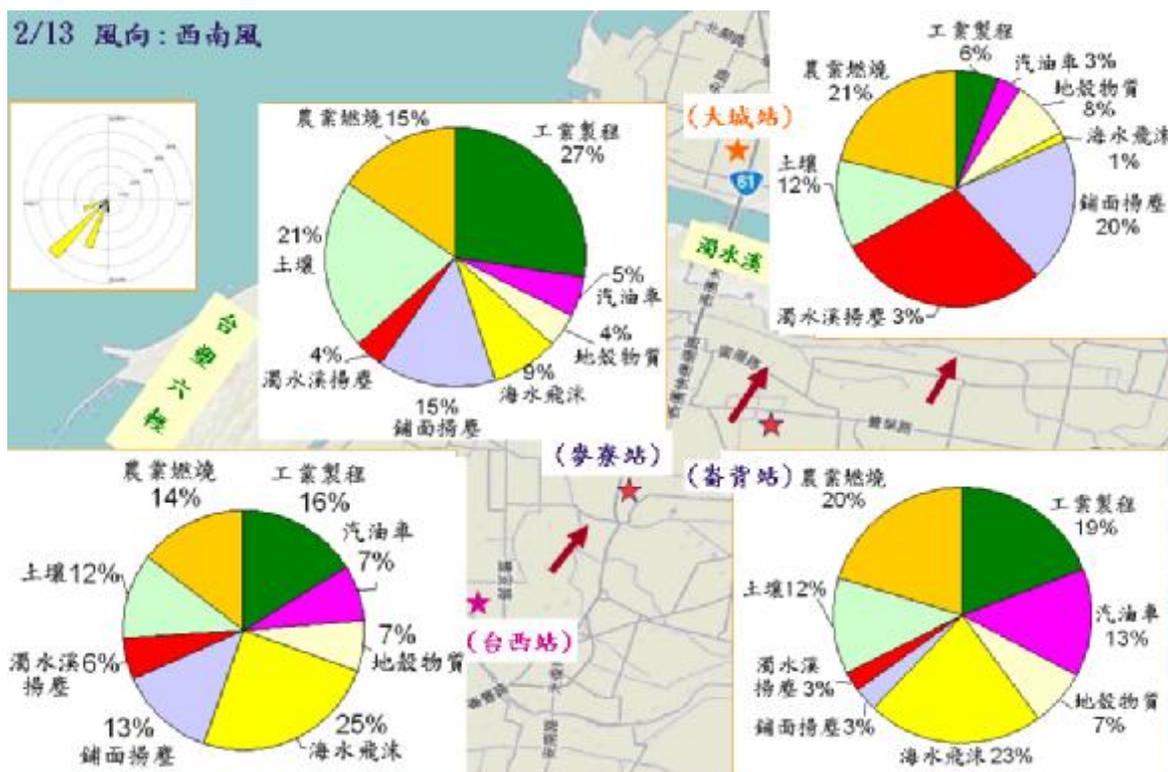
圖 12(a)為 2 月 10 日當東北風來襲時，使工業製程污染源貢獻量在台西站所佔比例最多高達 59%，其次為麥寮站 40%、崙背站 10%，最少者為大城站 8%，與圖 12 (b)盛行風為西南風時相比較，在工業製程貢獻比例上台西站與麥寮站之貢獻量明顯減少許多。在海水飛沫上則是風向為西南風時（台西站 25%、崙背站 22%與麥寮站 9%）比風向為東北風時（台西站 7%、崙背站 0%與麥寮站 1%）的影響較顯著。

當風向為東北風時，濁水溪揚塵貢獻量在崙背站所佔比例最多為 27%，其次為麥寮站 13%、台西站 10%，最少者為大城站 5%。崙背站可能因為地處濁水溪下風處，故當強風來襲時夾帶大量砂塵所致，相較於位於上風處之大城站（濁水溪揚塵貢獻量佔 5%）有明顯落差；與盛行風為西南風時相比較，受到濁水溪揚塵影響較明顯為大城站，其佔當日總貢獻量之 29%，而相較於其餘 3 個測站（崙背站 2.8%、麥寮站 4%、台西站 5.5%）顯示濁水溪揚塵對大城站之污染來源有一定的貢獻。

觀察農廢燃燒與鋪面揚塵的貢獻量，發現大城站與麥寮站不論風向為東北風或西南風，在農廢燃燒與鋪面揚塵的貢獻量都佔有一定的貢獻比例。



(a) 風向為東北風



(b) 風向為西南風

圖 12 不同風向下各測站污染源之貢獻比例

五、結論與建議

1. 結論

- (1) 由觀測結果得知，各測站日夜平均質量濃度變化隨著採樣地點不同，呈現不同濃度比例分佈情形，麥寮站於 2 月 11 日的日夜平均質量濃度為 $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超過環保署訂定標準 ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。
- (2) 觀測水溶性離子成份特徵，由分析結果發現水溶性離子為 PM_{10} 濃度之主要物種，各測站水溶性離子濃度中又以 NH_4^+ 與 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 呈現高濃度值，可知衍生性氣膠為水溶性離子的主要貢獻物種。
- (3) 本研究各測站 N.O.R. 值大於 0.1，而 S.O.R. 值皆大於 0.25，得知自當地產生之污染物轉化率強或可能來自較遠距離物種轉化與長程傳輸，表示會有較多之二次氣懸膠存於大氣中。
- (4) 由不同測站之 OC/EC 比值得知，整體上 OC/EC 比值介於 2.1~9.0 之間。OC/EC 比值皆大於 2，因此推論有二次氣膠懸浮微粒形成。
- (5) 分析各測站金屬離子元素成份的平均濃度，根據結果顯示，金屬濃度以台西站與麥寮站濃度最高，其中污染源以 Ca、Mg、Fe 元素最多來源亦可能來自重工業製造過程會釋放至空氣中，大城站與崙背站則是 Mg、Ca、Al、Fe 等元素所佔比例最高。

- (6) 受體模式定量工業製程對各測站貢獻比例得知，當風向為東北風時，台西站為六輕離島工業區下風處，其工業製程之貢獻比例呈現高值（59%），其次為麥寮測站（40%），再者為崙背測站（10%）及大城站（8%）；當盛行風向為西南風時，工業製程對台西站之貢獻量明顯減少（13%），其他測站也相對減少。
- (7) 受體模式定量濁水溪揚塵對各測站貢獻比例得知，當風向為東北風時，崙背站為濁水溪之下風處，其濁水溪之貢獻比例為 27%，其次為麥寮站 13%，最少者為大城站 5%。然而，當風向為西南風時則以大城站受到濁水溪揚塵影響最為顯著，其貢獻比例為 29%，最少為台西站 5.5%，顯示無論風向為何濁水溪揚塵對附近地區有相當大的影響。

六、參考文獻

1. Hinds, W. C., Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particle, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp.3-4 (1999).
2. 高橋幹二，氣溶膠工學應用篇，高正雄譯，初版，復漢出版社，台南市，頁 42-50，(1989)。
3. Colbeck, I., Harrison, R. M., “Ozone-Secondary Aerosol-Visibility Relationships in North-West England”, *Science of the Total Environment*, Vol.34, pp.87-100 (1984).
4. Ohta S., and T. Okita, “A chemical characterization of atmospheric aerosol in Sapporo”, *Atmospheric Environment*, Vol.24A, pp.815-822 (1990).
5. Pierson WR., W. W. Brachaczek and D. E. Mckee, “Sulfate emissions from catalyst-equipped automobiles on the highway”, *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol.29, pp.255-257 (1979).
6. Zhao, P., Y. Feng, T. Zhu and J. Wu, “Characterizations of resuspended dust in six cities of North China”, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 5807-5814 (2006).
7. 王怡方，“臺灣林園，三重與麥寮三地區大氣懸浮微粒特性及其來源之探討”，碩士論文，國立台灣大學公共衛生學研究所，台北縣(1996)。
8. 魏致中，“台灣麥寮地區大氣中懸浮微粒及微粒源化學組成之探討”，碩士論文，國立台灣大學公共衛生學研究所，台北縣(1994)。
9. Gray, H. A., G. R. Cass, J. J. Huntzicker, E. K. Heyerdahl, J. A. Rau, “Characteristics of atmospheric organic and elemental carbonparticle concentrations in Los Angeles”, *Environment Science and Technology*, Vol.20, pp.580-589 (1986).
10. Hildemann, L. M., R. G. Markowski, and G. R. Cass, “Chemical Composition of Emissions from Urban Sources of Fine Organic Aerosol”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 25, pp. 744-759 (1991).
11. Watson, J.G., N.F. Robinson, C. Lewis, T. Coulter, J. C. Chow, E. M. Fujita, D. H. Lownethal, T. L. Conner, R. C. Henry and R. D. Willis, “Chemical Mass Balance Receptor Model Version 8 User’s Manual”, Desert Research Institute Document No.1801.1D1 (1997).
12. 倪佩貞、唐文聰、呂佩貞、楊玉妃、蔡國聖、郭明哲、魏憶琳、劉盈利，“空

- 氣污染物排放清冊更新管理及空氣品質損量推估計畫（第二年）”，行政院環境保護署計畫，EPA-95-FA11-03-D067，(2007)。
13. 陳康興、陳瑞仁、林銳敏、黃國林、王文正、呂局校、李翰杰、彭子倫、紀宜君，“高屏地區大氣細微粒(PM_{2.5})特徵及來源分析研究子計畫一：高屏地區大氣細微粒(PM_{2.5})化學組成特性時空變化調查分析、來源模擬及成因探討研究”，行政院國家科學委員會專題研究計畫，NSC 94-EPA-Z-110-001，(2005)。
 14. 吳義林、陳韋利、蔡德明、黃宏賓，“台灣地區各類行焚化爐排氣中重金屬成份調查與檢驗技術研究期末報告”，行政院環境保護署研究報告，EPA-86-E3S2-09-04，(1997)。
 15. 喻南華、陸瑩、劉沛宏、賀克勤、曾素媛、黃馨儀、馮金源、杜盛清，“重大污染源指紋建檔計畫”，行政院環境保護署計畫，EPA-94-E3S4-02-03，(2004)。
 16. 王竹方、蔣本基、李崇德、秦清哲、黃素珍、張正源、廖秀虹、于心仁、林柏亨，“以多種化學分析技術探討都會型氣膠(PM_{2.5})物化特性之研究”，行政院環境保護署計畫，91-EPA-Z-007-002，(2002)。
 17. 黃進輝，“工業園區環境（污泥及河川底泥）中特殊污染物調查”，行政院環境保護署計畫，EPA-93-E3S4-02-02，(2004)。
 18. 鄭曼婷、林煜棋、蔡明杰、許世傑、周崇光、劉紹臣，“2002 年大陸沙塵事件日灣中部氣膠物理化學特性”，2003 年氣膠科技研討會，高雄(2003)。
 19. 李家青，“潮州地區大氣懸浮微粒(PM₁/PM_{2.5}/PM₁₀)成份特性之探討”，碩士論文，國立屏東科技大學環境工程與科學所，屏東縣(2002)。
 20. 郭崇義、林傳堯、林昭遠、黃隆明、望熙榮，“中部地區河川揚塵對空氣品質影響之調查評估專案工作計畫”，行政院環境保護署計畫，EPA-95-FA14-03-A216，(2007)。