

南高雄懸浮微粒粒徑分佈特性分析

On the characteristics of Airborne Particulate Distribution in Southern Kaohsiung

張致璋¹ ■ 謝雲生²
C.W. Chang, Y.S. Hsieh

本研究擷取環保署於南高雄地區設置之小港、前鎮、林園、大寮等四個空氣品質測站 100 年懸浮微粒 (PM₁₀) 與細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 監測資料進行分析，以了解南高屏地區風場及受當地排放源之影響；另為了解區域性及排放源差異，亦納入恆春站以比較差異。

研究結果顯示小港、前鎮、林園及大寮圍成之區域可視為同一風場；由 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 比例特性分析，小港、林園及大寮站比值相近，與其周邊有工業區排放源特性一致，前鎮站則因主要排放源為移動源，PM_{2.5} 佔 PM₁₀ 比例略高於其他站，恆春站則因周邊無特殊排放源，PM₁₀ 與 PM_{2.5} 比例特性與其他站不同。另將小港站監測資料依季節及風向分析質量濃度差異，發現無論季節為何，小港站於吹偏北風時 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 質量濃度皆明顯大於吹偏南風時，可推測高屏地區較全省其他地區懸浮微粒濃度偏高之原因係整體環境變化，而非為單一工業區排放造成。

關鍵詞：南高雄、懸浮微粒、PM₁₀、PM_{2.5}

We collected hourly mass concentration of airborne particulate matters (PM₁₀ and PM_{2.5}) of five EPA air monitoring sites (Xiaogang, Qianzhen, Linyuan, Daliao, and Hengchun) in 2011 and analyzed the characteristics of particulate distribution to decipher the wind field and the effects of sources of pollutants in Southern Kaohsiung.

The results showed that all sites, except Hengchun, are located in one wind field. Xiaogang, Linyuan and Daliao areas have a similar PM_{2.5}/PM₁₀ ratio indicating similar industrial pollutant sources. That ratio of Qianzhen area is a bit higher than other sites indicating traffic emissions rather than industrial alone. That ratio of Hengchun area is obviously different from the rest as there is no specific pollutant source in this area. In Xiaogang area, regardless of season of the year, the airborne particulate mass concentration is much higher when the wind comes from north. The relatively higher airborne particulate concentration in Kaohsiung area is caused by the entire environmental sources, not just industrial emissions.

一、前言

行政院環保署(以下稱環保署)於2012年5月14日公告修正「空氣品質標準」，將細懸浮微粒 (PM_{2.5}，以下稱 PM_{2.5}) 納入該標準，經考量國內 PM_{2.5} 對於健康影響評估研究、社會及經濟發展現況及未來推動管制後可行之減量策略，訂定我國 PM_{2.5} 空氣品質標準 24 小時值 35 微克/立方公尺，年平均值 15 微克/立方公尺，此標準值與美國 2006 年及日本 2009 年發布之 PM_{2.5} 空氣品質標準值一致，為目前國際間納入法規規範中最嚴格之標準。

為因應環保署將 PM_{2.5} 納入空氣品質標準中，對於 PM_{2.5} 成因之相關研究漸受重視，並可預見 PM_{2.5} 之來源管控亦將更趨重要。據過去研究結果顯示，PM_{2.5} 來源除原生性 (Primary) 排放外，大部份來源為衍生性 (Secondary，來自大氣中之化學反應產生之 PM_{2.5}，如光化學反應)，

中國鋼鐵股份有限公司環境保護處環保一組 ¹工程師 ²組長

其生成機制相當複雜。高屏空品區歷來為全台灣空氣品質較差之區域，主要污染物質多為 PM₁₀ 及臭氧。為配合環保署政策改善空氣品質，確認污染來源及成因、依據懸浮微粒粒徑分佈特性辨別污染來源屬性實屬必要，方能確定未來管控之方向，規劃正確且具效率之改善方案。

二、文獻回顧

環保署於全台灣劃定七大空品區，以設置空氣品質監測站方式持續監測空氣品質，並出具年報提供各空品區年度空氣品質相關數據（環保署「空氣品質監測網」）。由歷年監測數據發現，高屏空品區（前為高高屏空品區）常為七大空品區中空氣品質最差（以空氣品質不良 [PSI>100] 日數比較）之區域，物種則常為 PM₁₀ 及臭氧。

陳等人(2007)探討高屏地區空氣懸浮微粒，高雄市小港區 PM_{2.5} 濃度範圍為 33.5~48.7 μg/m³，質量濃度約佔 PM₁₀ 之 70%，且 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 之 R²>0.92(高度相關)，顯示 PM₁₀ 濃度變化主要由 PM_{2.5} 所主導；而受體模式分析顯示，汽油車、柴油車、硝酸鹽及硫酸鹽為高屏地區 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 之主要貢獻者；此外，小港地區之工業、屏東地區之焚化爐及潮州地區之露天燃燒亦為主要貢獻者之一。

黃(2007)研究大氣懸浮微粒成份組成及來源推估，發現 PM₁₀ 濃度主要由 PM_{2.5} 主導，分析結果依採樣周邊之污染源（工業區、農業區、是否臨海）而有相當明顯的不同。

蔣等人(2003)研究指出，PM₁₀ 與 PM_{2.5} 具良好相關性，並與季節有關，每年冬、春季(11月至隔年3月)有濃度高值，夏季(7~9月)則為每年濃度較低時期，可見懸浮微粒濃度與季節風向有關；夜間懸浮微粒濃度低於日間，可見懸浮微粒濃度與人為活動有關。

林(2002)研究發現，高雄市大氣中 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 24小時之濃度平均值分別為 111±38 及 68±24 μg/m³；質量濃度依粒徑分類，PM_{2.5} 約為粗微粒 (PM_{2.5-10}) 之 1.6 倍，高 PM₁₀ 濃度之原因為工業及交通等人為活動所造成。

葉(2001)研究發現，懸浮微粒部份，南部地區受工業區的影響比中部地區要高；而台灣地區懸浮微粒季節變化的趨勢則為夏季的濃度比冬季低。

三、研究方法

本研究引用環保署空氣品質監測網中 2011 年監測資料之 PM₁₀、PM_{2.5} 逐時監測數據，站址選擇高雄市臨海工業區旁之小港測站及臨近之前鎮、林園、大寮測站（相對位置如圖 1），同時為比對非工業區周邊之測站 PM₁₀/PM_{2.5} 質量濃度分佈特性，亦將屏東恆春測站納入研究範疇，各站位置及鄰近特殊排放源說明如圖 1 及表 1。

數據品保/品管作業，為使數據呈現實際情形，於彙整數據分析前依據環保署說明，刪除數據中儀器檢核、程式檢核與人工檢核無效值，並刪除 0 值，此外因本研究有比對 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 質量濃度，故僅取 PM₁₀、PM_{2.5} 同時有效之數據；經前述原則篩選後，再執行後續之比對分析作業。

特別說明：因美國以手動方法採集連續 24 小時細懸浮微粒濃度質量濃度平均值 (FRM) 為標準方法，我國亦參照辦理，惟目前各測站 PM₁₀、PM_{2.5} 採樣分析方法係使用貝他射線衰減法 (β-gauge) 之自動採樣方式，其中 PM_{2.5} 質量濃度依據環保署研究計畫結果，手動與自動採樣分

析結果存有系統誤差 (56%~79%，質量濃度差異百分比對值平均為 33%)，惟目前尚未有相關文獻說明 PM_{10} 是否亦存在相同之系統誤差。為使本研究呈現結果以相同原則比對， $PM_{2.5}$ 濃度將不作換算，直接以環保署測站監測結果表示，而 $PM_{2.5}$ 質量濃度實際值則應依環保署說明校正。

本研究將對各站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 作質量濃度比對，同時比對各站間之 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 後，依據結果分析其可能之差異原因。另將特別比對小港站測得之質量濃度與氣象條件 (風向) 之關係，藉以確認工業區排放與周界測站質量濃度變化之相關性，此外將依據 $PM_{2.5}$ 生成之機制，提出改善規劃供參考。

表 1 各測站基本資料說明

| 站名 | 站址說明 | 鄰近特殊排放源 |
|-----|-------------|----------------------|
| 小港站 | 高雄市小港區小港國中 | 臨海工業區 (南方)、小港機場 (北方) |
| 前鎮站 | 高雄市前鎮區獅甲國中 | 無，但為交通要道 |
| 林園站 | 高雄市林園區汕尾國小 | 林園工業區 (北方) |
| 大寮站 | 高雄市大寮區潮寮國小 | 大發工業區 (北方) |
| 恆春站 | 屏東縣恆春鎮畜牧試驗所 | 無 |



圖 1 臨海工業區與臨近環保署空品測站相對位置圖

四、結果與討論

1. 數據品質說明：

為求數據具合理性，避免無效數據造成結果誤判，本研究於環保署空氣品質監測網下載 2011 年度逐時資料，並依資料說明刪除儀器檢核、程式檢核與人工檢核無效值，並刪除 PM₁₀、PM_{2.5} 監測 0 值；此外因本研究有比對 PM₁₀ 及 PM_{2.5}，僅取 PM₁₀、PM_{2.5} 同時有效之數據。經篩選後各站有效筆數及有效數據比例如表 2，結果顯示各站 PM₁₀、PM_{2.5} 之有效數據比例皆在 95% 以上（以一年 8,760 小時計算），依據該資料執行後續分析應具意義。

表 2 各站經篩選後有效筆數及有效數據比例

| 站別 | 小港站 | 前鎮站 | 林園站 | 大寮站 | 恆春站 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 有效筆數 | 8,534 | 8,435 | 8,359 | 8,479 | 8,459 |
| 有效數據比例 | 97.42% | 96.29% | 95.42% | 96.79% | 96.56% |

2. 各站間 PM₁₀、PM_{2.5} 相關性分析

將五站 PM₁₀、PM_{2.5} 交互作相關性分析可判斷各站間是否屬相同區域之風場，經計算得結果如表 3 及表 4，結果顯示高雄市內小港、前鎮、林園、大寮站交互之 PM₁₀、PM_{2.5} 相關係數中，除林園 - 大寮之 PM₁₀ 外（見次段說明），其餘之相關係數皆達 0.8 以上，屬高度相關，此結果與地理相對位置較近之條件一致，亦顯示此四測站可概視為同一風場。而恆春站與其他四測站距離較遠，相關係數皆小於 0.4，屬低~極低之相關性。

表 3 各站間 PM₁₀ 相關係數列表

| 站別 | 小港站 | 前鎮站 | 林園站 | 大寮站 | 恆春站 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 小港站 | 1.000 | -- | -- | -- | -- |
| 前鎮站 | 0.904 | 1.000 | -- | -- | -- |
| 林園站 | 0.819 | 0.808 | 1.000 | -- | -- |
| 大寮站 | 0.804 | 0.819 | 0.764 | 1.000 | -- |
| 恆春站 | 0.169 | 0.225 | 0.118 | 0.219 | 1.000 |

表 4 各站間 PM_{2.5} 相關係數列表

| 站別 | 小港站 | 前鎮站 | 林園站 | 大寮站 | 恆春站 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 小港站 | 1.000 | -- | -- | -- | -- |
| 前鎮站 | 0.913 | 1.000 | -- | -- | -- |
| 林園站 | 0.865 | 0.843 | 1.000 | -- | -- |
| 大寮站 | 0.862 | 0.870 | 0.871 | 1.000 | -- |
| 恆春站 | 0.192 | 0.205 | 0.159 | 0.183 | 1.000 |

林園 - 大寮之 PM_{10} 相關係數小於 0.8，雖亦具相關性，但較其他相關係數為低，且此二站間 $PM_{2.5}$ 之相關係數仍高 (0.871)，故依據此二測站地理位置及特性 (林園站屬濱海測站、而大寮相較其他測站為距海較遠)，研判可能為海洋飛沫 (海洋飛沫一般歸類於 coarse mode) 造成。

3. 各站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 數據分析

經彙整各站逐時數據後，100 年 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 平均質量濃度如表 5 所示。結果顯示高雄市內小港、前鎮、林園、大寮站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 質量濃度相近，研判係因各站間距離較近所致；而本研究背景站 (恆春站) 因距離較遠，臨近亦無特殊排放源，故質量濃度明顯較低，與前項分析結論：小港、前鎮、林園、大寮站可視作同一風場一致。

PM_{10} 平均質量濃度最大位於林園站，且 $PM_{2.5}$ 佔比較鄰近特殊排放源相同 (鄰近有工業區) 之小港、大寮站為低，依據測站地理位置，可推測海洋飛沫對該站 PM_{10} 測值有一定程度之影響；對照組恆春站 $PM_{2.5}$ 佔比最低，除與林園站較接近 (推測原因為二者皆有海洋飛沫之貢獻量) 外，與其他三站已呈明顯不同 $PM_{10}/PM_{2.5}$ 之比例特性。

表 5 各站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 質量濃度平均值

| 站別 | 小港站 | 前鎮站 | 林園站 | 大寮站 | 恆春站 |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $PM_{10}(\mu g/m^3)$ | 73.5 ± 33.7 | 71.7 ± 39.0 | 76.5 ± 36.2 | 75.6 ± 42.4 | 23.3 ± 14.8 |
| $PM_{2.5}(\mu g/m^3)$ | 46.4 ± 23.4 | 45.7 ± 25.4 | 45.7 ± 27.5 | 49.3 ± 28.4 | 13.3 ± 10.0 |
| $PM_{2.5}$ 佔比 | 63.15% | 63.65% | 59.68% | 65.16% | 57.00% |

另對各站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 作相關性比對，結果彙整如表 6。各站 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 相關係數皆在 0.8 以上，顯示 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 質量濃度變化呈高度相關，配合 $PM_{2.5}$ 於各站質量濃佔比皆在 50% 以上，可推判 PM_{10} 質量濃度變化係由 $PM_{2.5}$ 主導；其中前鎮站相關係數 >0.9 為最高，而因前鎮站週邊無工業排放源，以移動源排放為主，可研判移動源排放源係 $PM_{2.5}$ 來源之一。此外可由前鎮站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 相關係數大於小港、林園及大寮站，推論工業之原生排放源推論工業之原生排放源 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比例應大於移動排放源，惟相較於大環境之變化仍屬不明顯。

表 6 各站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 質量濃度相關係數

| 站別 | 小港站 | 前鎮站 | 林園站 | 大寮站 | 恆春站 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 相關係數 | 0.896 | 0.934 | 0.880 | 0.894 | 0.865 |

4. 小港站監測結果與氣象條件比對

因小港站位於高雄市臨海工業區北方，為釐清臨海工業區原生性排放之影響程度，本研究將風向區分為偏南風 (風向角度 135~225 度) 及偏北風 (風向角度 0~45 度及 315~360 度)，並以小港站 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 測值依該站氣象站提供之風向資料進行逐時比對，當風向屬偏南風時則小港站視為臨海工業區之下風站，反之則為上風站；另因台灣地區受季風影響明顯，本研究亦分季節 (夏季：5~8 月，冬季：10~12 月及 1 月) 進行分析，據以比對臨海工業區造成 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 之影響。

依據前段分析結果列於表 7 與表 8，結果顯示冬季 PM₁₀、PM_{2.5} 之質量濃度平均值皆大於夏季，研判可能原因係季風帶來區域外傳輸之影響；且無論季節，吹偏北風之風向皆使小港站之懸浮微粒濃度較吹偏南風之風向時為高，可推測小港站空氣品質懸浮微粒濃度變化主因係整體環境變化，而非僅只單一工業區之排放。

表 7 夏季 (5~8 月) 風向與 PM₁₀、PM_{2.5} 關係 單位：μg/m³

| 風向 | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
|-----|------------------|-------------------|
| 偏南風 | 43.2±19.0 | 22.7±12.5 |
| 偏北風 | 49.3±18.5 | 30.7±12.7 |

表 8 冬季 (10~12 月及 1 月) 風向與 PM₁₀、PM_{2.5} 關係 單位：μg/m³

| 風向 | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
|-----|------------------|-------------------|
| 偏南風 | 75.7±23.5 | 46.0±17.8 |
| 偏北風 | 83.4±27.0 | 50.2±12.7 |

表 9 PM_{2.5} 減量規劃建議

| 物種 | 減量規劃建議 | |
|-----------------------|---|--------------------------------|
| 原生性 PM _{2.5} | 堆置逸散性粒狀污染物質可採行灑水、噴灑化學穩定劑、覆蓋防塵布或防塵網等防制設施 | |
| | 裸露區域可採行植生綠化、灑水、覆蓋防塵網、鋪設瀝青混凝土等防制設施 | |
| | 車輛運輸造成之逸散性污染物質，可於車輛貨箱加蓋防塵網，車體及輪胎加以清洗 | |
| | 提高既設污染防制設備效率 | |
| | 補助搭乘大眾運輸工具及電動交通工具 | |
| PM _{2.5} 前驅物 | SO _x | 增設污染防制設備 (De-SO _x) |
| | | 提高既設污染防制設備效率 |
| | | 採用低硫原燃物料，源頭減量 |
| | NO _x | 增設污染防制設備 (De-NO _x) |
| | | 提高既設污染防制設備效率 |
| | | 補助搭乘大眾運輸工具及電動交通工具 |
| | VOCs | 增設污染防制設備 (De-VOCs) |
| | | 提高既設污染防制設備效率 |
| | | 採用低 VOCs 排放原、物料，源頭減量 |

5. PM_{2.5} 排放改善規劃

為配合環保署將 PM_{2.5} 納入空氣品質標準，各機關團體應開始思考並規劃相關之減量方案，惟依過去研究結論，PM_{2.5} 生成機制相當複雜，且其衍生性來源為其主要生成機制之一，

傳統排放污染物(SO_x、NO_x、VOCs)即為衍生性污染物前驅物之一。規劃PM_{2.5}減量改善時，除對原生性PM_{2.5}排放進行減量外，尚需對生成PM_{2.5}之前驅物進行減量，方可取得較佳之效果，PM_{2.5}減量規劃建議如表9。

五、結論及未來作業建議

1. 依據各站間交互比對之相關性分析結果，高雄市小港、前鎮、林園及大寮可視為同一風場進行後續研究，而恆春站因地理位置較遠，周邊排放特性與前述四站不同，故應視為另一風場。

2. 由前鎮站PM_{2.5}與PM₁₀相關係數較他站為高(>0.9)，且PM_{2.5}佔PM₁₀質量濃度50%以上，可研判PM₁₀質量濃度由PM_{2.5}主導，另因該測站週邊無工業排放源，而多為移動排放源，可研判移動排放源為該測站PM_{2.5}主要來源之一，惟整體環境變化應仍為PM_{2.5}質量濃度變化之主因。

3. 依據小港站懸浮微粒質量濃度與風向比對結果，位於臨海工業區北方之小港站於吹偏北風時空氣品質明顯差於吹偏南風時，且於吹南風時，應屬下風處之小港站PM₁₀、PM_{2.5}測值並無較吹北風時為高，可研判整體環境變化為懸浮微粒濃度變高之主因，且區域外傳輸具一定之貢獻量。

4. 本研究僅對地區測站所在位址及其測得之質懸浮微粒量濃度進行分析，惟大氣懸浮微粒來源及生成機制相當繁複，建議後續仍需進行化學成份分析，方可確認生成機制及來源(如林園站PM₁₀偏高是否因海洋飛沫造成，可經由化學成份分析確認)，再據以規劃對應之減量方案，以達到污染物減量之目標。

六、參考文獻

- (1) N. Pe'rez, J. Pey, X. Querol, A. Alastuey, J.M. Lo'pez, M. Viana, "Partitioning of major and trace components in PM₁₀-PM_{2.5}-PM₁ at an urban site in Southern Europe", Atmospheric Environment 42 (2008) 1677-1691.
- (2) MANO KALAIARASAN S/O SELLAPPA PONNAMPALAM, "Vertical distribution of traffic-generated PM_{2.5} and NO₂ in a tropical urban environment", Ph. D thesis, Singapore (2010).
- (3) 行政院環保署，空氣品質監測網，網站資料(歷年監測資料)。
- (4) 陳康興、陳瑞仁、林銳敏、黃國林，“高屏地區大氣懸浮微粒(PM₁₀及PM_{2.5})特性及成因分析研究”主計畫及子計畫，95年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」，國立中山大學(2007)。
- (5) 鄭尊仁、吳焜裕、陳主智、李崇德、陳保中、周崇光、郭育良、余化龍、趙馨、何文照，“細懸浮微粒(PM_{2.5})空氣品質標準訂定建議及學理分析研究”98年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」，國立臺灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所(2010)。
- (6) 陳佩娟，“沿海地區大氣中懸浮微粒化學特性分析研究”，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，台中市(2003)。
- (7) 黃堯聖，“大氣懸浮微粒化學組成及來源推估”，碩士論文，輔英科技大學環境工程與科學系碩士班(2007)。 *