

區域性空氣品質管理決策支援系統之建立與測試-

以台灣臺中市粒狀污染物為例

蔡清讚¹、江舟峰²、余雅芳³、葉嘉宏³、鄭榕真³、蔡經綸³

¹ 中國醫藥大學公共衛生學系，臺中市

² 中國醫藥大學風險管理學系，臺中市

³ 中國醫藥大學風險管理中心，臺中市

摘要 都會區空氣品質的有效管理，一直是各級政府環境部門的首要工作。本研究開發一套網路版之「空氣品質管理決策支援系統」，以 visual basic.net 程式語言撰寫，資料庫以 SQL Server 撰寫，操作介面以 Graphical user interface (GUI)友善操作方式，配合 Arc GIS 動態圖台呈現空間點位。本系統可即時上載更新各項空品監測資料，根據命題需求，執行各項演算分析，輸出圖表，做為決策支援之參考。本系統開發之工具模組包括：空品監測資料庫、區域氣象資料庫、當地氣象資料庫、空品及周界標準資料庫、分析演算介面 (PSI、符合率、趨勢、比率、配對)、風花圖/操作介面、等濃度地圖/操作介面等。本研究以 2010~2012 年台灣臺中市粒狀污染物之資料為例，測試本系統各項模組之分析功能。結果顯示除霧峰站外，其餘三站（豐原、西屯及梧棲）TSP 符合率均高於台灣環保署一般空品站（57 站）之 97.6%；進一步分析各站風花圖，發現霧峰站風速明顯低於他站，建議檢討該站之風場特性。近三年 PM₁₀/TSP 之 P50 年減率為 22%，而 TSP 之 P50 年增率為 25%，說明受到營建或非高溫燃燒源的影響，粗懸浮為粒有增加趨勢。除 2012 年春季外，PM₁₀ 及 TSP 之 P50 有一致的季節變動，春季最高，夏季降下，秋季上升，冬季再升。進一步針對 2010 年 3 月 22 日沙塵暴事件 PM₁₀/TSP，進行配對分析，各測站 P50 為 1.0~5.7，高於同年非事件期間之 0.71~0.94，顯示長程懸浮微粒傳輸對短期效應有顯著影響，應儘速建立區域性即時預警系統。

關鍵字：決策支援系統、PM₁₀、TSP、符合率、配對分析

1. 前言

區域性空氣粒狀污染物管理日趨重要，粒狀物 (Particulate matter, PM)包含：總懸浮微粒 (Total suspended particles, TSP)、10 μm 以下懸浮微粒 (PM₁₀)、2.5μm 以下之細微粒 (PM_{2.5})。許多流行病學的研究指出，細懸浮微粒會造成更大的健康危害，如慢性阻塞性肺病、氣喘及呼吸道住院 (Brunekreef & Forsberg, 2005)，PM_{2.5} 特別是含有硫酸鹽者，更容易引起急性呼吸症狀 (Schwartz & Neas, 2000; Wilson & Suh, 1997)。Pope 等人(2002)的全美各州大型流病研究指出，空氣中每增加 10

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之 $\text{PM}_{2.5}$ 細微粒與二氧化硫，將分別造成 6% 之心肺疾病與 8% 之肺癌死亡率風險。許多研究也指出， $\text{PM}_{2.5}$ 與 PM_{10} 有明確之線性相關 (Wilson & Suh, 1997; Gehrig & Buchmann, 2003)，臺中市尚未建立完整之 $\text{PM}_{2.5}$ 監測系統，但檢視 PM_{10} 濃度與 $\text{PM}_{10}/\text{TSP}$ 長期趨勢，對城市的健康管理及環境決策有很大助益。

本研究開發一套網路版之「空氣品質管理決策支援系統」，以 Microsoft 公司之 visual studio.net 程式語言撰寫，資料庫以 SQL Server 撰寫，操作介面以 Graphical user interface (GUI) 友善操作方式，配合 Arc GIS 動態圖台呈現空間點位，可即時上載各項監測資料，根據命題需求，自動執行各項統計分析，輸出圖表，做為決策支援之參考(江，2011；江及蔡，2013)。本系統包括：空品監測資料庫、區域氣象資料庫、當地氣象資料庫、空品及周界標準資料庫、分析演算介面 (PSI、符合率、趨勢、比率、配對)、風花圖/操作介面、等濃度地圖/操作介面等。本研究以 2010~2012 年台灣臺中市粒狀污染物之資料為例，測試本系統各項模組功能，期能提供日常即時的空氣品質資訊，包括：符合率、趨勢分析、比例分析，並以配對分析進一步探討長程砂塵暴傳輸的影響。

2. 研究方法

2.1 系統建置流程

本團隊於 2011-2014 年開發「空氣品質決策支援系統」，目的為提供一套可供各級政府有效管理、演算、預報各項區域性空氣品質指標，系統開發工具使用支援各項程式語言之 Microsoft visual basic.net。本研究以粒狀污染物為例，說明該系統之開發流程，如圖 1 所述。本研究蒐集自動監測站、人工測站之監測資料及氣象資料，經資料查核、欄位分析與正規化 (normalization)，以 SQL Server 語言建立各項關聯式資料庫。資料鍵入 Excel 資料表 (Data sheet)，上傳資料庫 (Database)，再根據所需查詢或演算法，開發圖形使用者介面 (Graphical user interface, GUI)，經點選查詢條件，即可獲得各項查詢或演算結果，以 Crystal report 報表工具產生圖表，最後進行決策分析與撰寫綜合報告。針對臺中市粒狀物空氣品質管理需求，本研究開發：符合率分析、比值分析、趨勢分析、配對分析、風花圖繪製等 5 個演算模組。

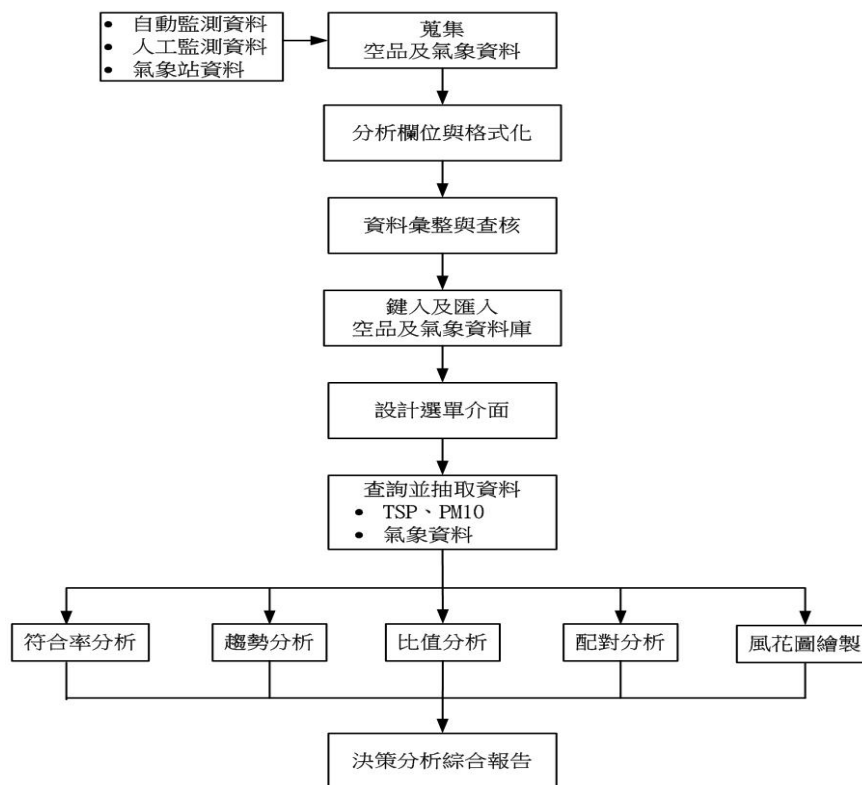


圖 1. 本研究空氣品質決策支援系統開發流程圖

2.2 測站分布與符合率分析

臺中市共有15個空品測站，歸屬環保署管理的有5個：豐原、沙鹿、大里、西屯及忠明站，屬於環保局的有6個：后里、大甲、太平、霧峰、烏日及文山站，屬台電的有4個：清水、大肚、梧棲及東大站，監測項目主要為空氣品質指標污染物（NO_x、SO_x、CO、O₃及PM₁₀）及風速風向等資料，另環保局設有9處人工測站，用於監測總懸浮微粒（TSP），各測站位置如圖2所示。自上述監測站及氣象站中，選擇四個具有氣象測站及鄰近人工測站之自動測站，上載本研究開發之「空氣品質管理平台」，分析2010~2012 近三年資料。針對四個人工測點，分析每月兩次之24小時TSP值，每測站每年共24筆，每站三年共72筆TSP資料。針對該四個自動測站每小時一筆每年約8500筆，三年約25,500筆 PM₁₀逐時資料，分析約1,095筆日均值資料。同時，為探討區域風場影響，也將四個氣象測站之逐時風向及風速資料，共25,000筆上載本平台之氣象資料庫，因臺中市環保局未提供PM_{2.5}資料，故在此次分析中並未討論PM_{2.5}，根據臺中市需求，本系統開發的演算法包括：符合率分析、年均分析、比值分析、趨勢分析及配對分析等。

符合率分析：以頻率分配統計各測站年均值濃度符合台灣空品標準之百分比，各標準值：TSP年幾何均值130 μg/m³、PM₁₀年均值65 μg/m³、PM_{2.5}年均值15μg/m³（台灣環保署，2012）。

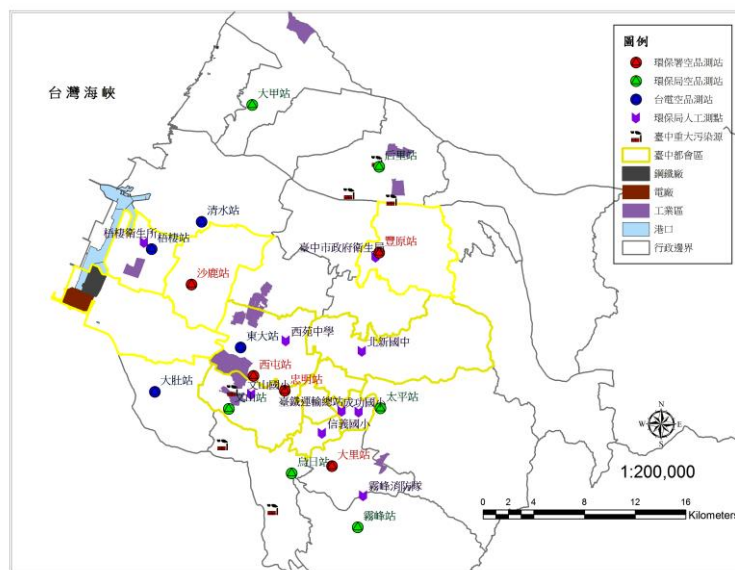


圖 2. 台灣臺中市各項粒狀污染物監測站分布圖

2.3 比值與趨勢分析

比值分析 (Ratio analysis) 為各國常用各種粒徑粒狀物之統計方法，藉此比較細粗顆粒的貢獻度 (Chan 等人, 2001; Kim 等人, 2001; Zhang 等人, 2006)。本系統可探討 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 、 $PM_{2.5-10}/PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}/TSP$ 、 $PM_{2.5-10}/TSP$ 及 PM_{10}/TSP ，但因限於可輸入之資料，本次只探討 PM_{10}/TSP 。

趨勢分析 (Trend analysis) 為各國常用的空氣品質長期變動統計方法 (Kim 等人, 2011; Querol 等人, 2001; Lei 等人, 2011)。本系統可視個案決策需求，進行逐年、逐季、逐月的趨勢分析。

2.4 沙塵暴與配對分析

根據台灣環保署網站發佈的資料，台灣地區 2010~2012 年間沙塵暴來襲有八次，但對臺中市有明確影響者有 2 次，均發生於 2010 年，影響期間值及影響情況如表 1 所示。

表 1. 2010 年臺中市二次沙塵暴之影響期間及 PSI 大於 100 站數

年次	影響期間	PSI>100 測站數	影響情況
2010-02 次	2010/03/21 ~ 2010/03/23	69 68 44	自 2010 年 3 月 21 日至 23 日，影響範圍遍及全國，最高小時 PSI > 100 測站日數及影響時間為近 20 年來最嚴重的一次
2010-04 次	2010/12/03 ~ 2010/12/04	4 16	自 2010 年 12 月 3 日至 4 日，主要受到影響的範圍為中部、雲嘉南、高屏及金門地區

配對分析 (Pair analysis) 為將同一站點監測之不同參數值，予以某種統計分析之演算法，而比例分析並不限於同一測點之演算。與一般之比例分析比較，配對分析可以避免不同空間點位測值的變異性，提供更具解釋力的指標，為常用的空氣品質演算法 (Li, 1994; Dingenen 等人, 2004; Lammel 等人, 2003; Mugica 等人, 2002)。本研究自空品資料庫中，選擇表 1 兩次沙塵報事件期間相同測站之 TSP 之 24 時及 PM₁₀ 日均數據，進行 PM₁₀/TSP 濃度比值配對演算。

3. 結果與討論

3.1 空氣品質管理決策支援系統

本系統開發之工具模組包括：空品監測資料庫、區域氣象資料庫、當地氣象資料庫、空品及周界標準資料庫、分析演算介面 (PSI、符合率、趨勢、比率、配對)、風花圖/操作介面、等濃度地圖/操作介面等，如圖 3 所示。該系統可以即時更新自動測站監測資料，針對一段期間或沙塵報事件期間，演算各測站：符合率、趨勢分析、比例分析、配對分析、風花圖分析、Pollutant stability index (PSI) 等。各種空品資料經查核後，以資料表匯入空品資料庫。操作時，可於使用者圖形介面 (GUI) 選取所需參數，包括：測站、物種、期程、均期、指標等，按下執行鍵，即可自動呈現平均值 (Mean) 與第 95th 百分位 (95th Percentile, P95)統計表與趨勢直方圖 (Histogram)。亦可套用「風花圖繪製」模組，探討某一期程之風速與頻風分佈。系統可自台灣環保署或相關單位資料庫中，即時定期下載各監測站資料，演算結果可以跳出視窗 (Pop window)或分割視窗方式呈現，或產生圖表，以利即時撰寫決策分析與綜合報告。

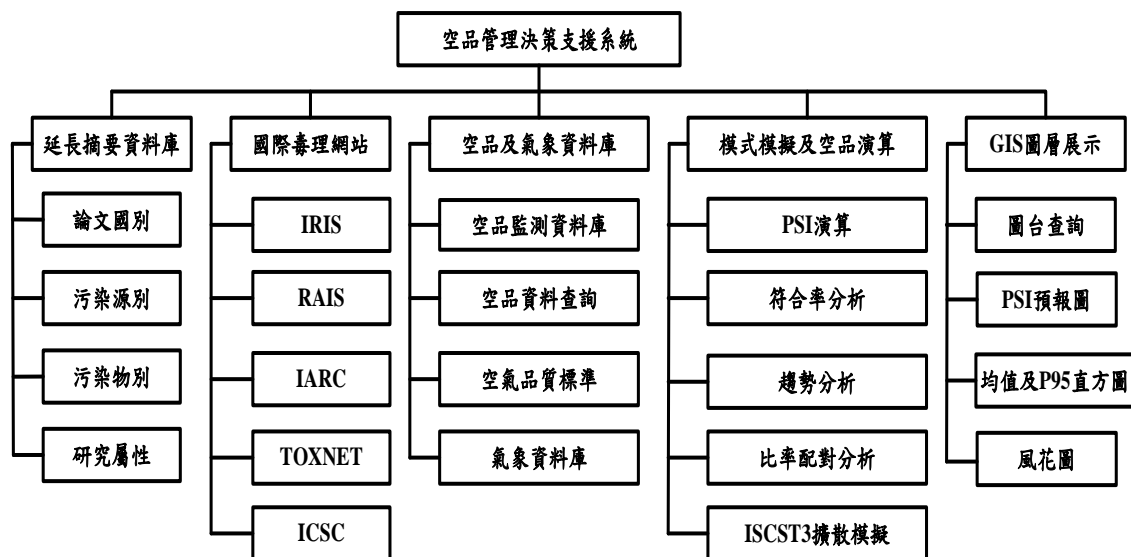


圖 3. 本研究開發之空氣品質決策支援系統架構圖

3.2 符合率分析

表 2 顯示近臺中市近三年（2010~2012）四個測站之 TSP (n=72)皆低於空氣品質標準，符合率達 100%，而豐原、霧峰、西屯及梧棲 PM₁₀ 超標次數及符合率分別為：13 次 (98.9%)、69 次 (94.2%)、25 次 (97.9%)、8 次 (99.3%)。除霧峰站外，其餘三站 PM₁₀ 符合率皆高於 100 年環保署一般空品監測站日均值符合率之 97.6%。

表 2.台灣臺中市 4 個測站 2010~2012 年 TSP、PM₁₀ 濃度之符合率

TSP(24 時值) PM ₁₀ (日均值)	豐原站		霧峰站		西屯站		梧棲站		環保署 一般測站 (2011 年) 符合率
	超標 次數	符合率	超標 次數	符合率	超標 次數	符合率	超標 次數	符合率	
TSP > 250	0 (72)	100%	0 (72)	100%	0 (72)	100%	0 (72)	100%	
PM ₁₀ > 125	13 (1095)	98.9%	69 (1095)	94.2%	25 (1095)	97.9%	8 (1095)	99.3%	96.7%
PM ₁₀ /TSP > 1	17 (72)	23.6%	25 (72)	34.7%	9 (72)	12.5%	12 (72)	16.7%	

霧峰站近三年逐季 P95 濃度中 (n=12)，於 12 個季節中有 9 個季超過台灣空品標準日均值 (125 μg/m³)如圖 4，1,195 日中，有 69 日超標，符合率 93.7%，低於 2011 年台灣環保署 57 個一般測站之符合率 96.7%，如表 2。且霧峰站三年平均風速 1.37 m/s，如表 3，遠低於豐原的 2.4 m/s、梧棲的 2.69 m/s 及西屯的 2.8 m/s。建議審慎評估霧峰站是否位於非自由風場，而有較不具代性的監測濃度。

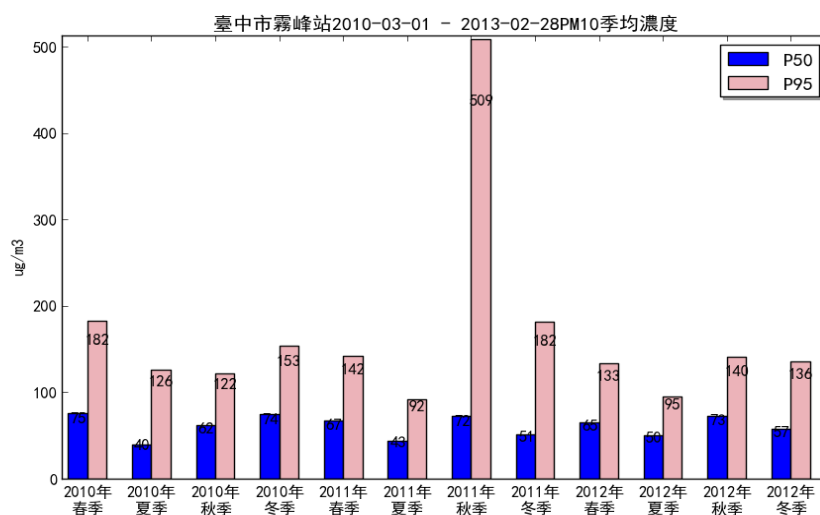


圖 4. 臺中市霧峰站 2010.03.01~2013.02.28 之 PM10 季均濃度

表 3. 臺中市 4 個測站沙塵暴期間與一般期間平均風速統計表

站名	沙塵暴期間 (99 年 3 月 22 日) 平均風速 (m/s) (n=24)	三年平均風速(m/s)及 標準差 (n=26300)
豐原	2.0	2.40 (1.19)
霧峰	1.4	1.37 (0.87)
西屯	1.9	2.80 (1.68)
梧棲	1.6	2.69 (1.91)

3.3 比率趨勢分析

本系統演算 2010~2012 四個測站之 PM_{10}/TSP 日均比值，表 4 為該 3 年比值之年 P50，以西屯站為例，分別為 0.84、0.65、0.51，年增率減少 22%，係因 TSP 逐年增加，可解釋為與營建源或非高溫源之粗微粒增加有關，而非 PM_{10} 逐年減少，且不宜解釋為汽機車廢氣排放懸浮微粒之減少。進一步與「空氣品質標準」比對， PM_{10}/TSP 年均比值為 0.5 (65/130)，顯示該比值高於法規理論值。但本分析受限於系統演算程式設計，以 P50 估算中央趨勢，根據「空氣品質標準」，TSP 及 PM_{10} 係分別以幾何均值與算術均值估算，且因 TSP 每年僅 24 筆，研判會高估 TSP 中央趨勢，而 PM_{10} 每年高達 8,000 多筆，以 P50 推估算術均值尚屬可靠。墨西哥市比值為 0.104~0.914，平均為 0.495 (Cicero-Fernández 等人，1993)，台灣 PM_{10}/TSP 比為 0.56~0.8 (Liu 等人，2012)，除 2010 年之霧峰與豐原測站外，餘皆符合該範圍。此外，進一步分析文獻之 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值，世界衛生組織 (WHO, 2005)建議值為 0.5，中台灣鄉村與郊區比值約 0.6~0.75 (Chang 等人，2008)，瑞士比值為 0.6~0.75，季節變動及都市區域有際高比值 (Gehrig & Buchmann, 2003)， $PM_{2.5}$ 與 PM_{10} 有良好的正比例線性相關，有助於推估本研究的 $PM_{2.5}$ 變動趨勢。

表 4. 台灣臺中市 4 個測站 2010~2012 年 TSP、 PM_{10} 、 PM_{10}/TSP 之 P50

監測位置	監測項目	2010 年均	2011 年均	2012 年均
臺中市 西屯站	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	51.0 (8578)	51.0 (8487)	49.0 (8426)
	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60.5 (24)	79.0 (24)	96.5 (24)
	PM_{10}/TSP	84.3%	64.6%	50.8%
臺中市 霧峰站	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60.32 (8370)	56.17 (5731)	59.8 (8770)
	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65.0 (24)	84.0 (24)	94.0 (24)
	PM_{10}/TSP	92.8%	66.8%	63.6%
臺中市 豐原站	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50.0 (8678)	50.0 (8609)	50.0 (8481)
	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53.0 (24)	66.5 (24)	78.0 (24)
	PM_{10}/TSP	94.3%	75.2%	64.1%
台電 梧棲站	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43.5 (8760)	42.7 (8760)	50.1 (8784)
	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	61.5 (24)	82.00 (24)	91.5 (24)
	PM_{10}/TSP	70.7%	52.1%	54.8%

季節變動分析：如圖 5(A)所示，於 2010~2012 年期間，除了 2012 年春季之外，P50 均有一致的變動趨勢，春季最高，夏季降下，秋季上升，冬季再升，春季又最高。但各季 P95 濃度均未超過空品標準之 24 小時值 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。PM₁₀ 直方圖如圖 5(B)，所有測站這三年中，各季 P50 變化不大，變動趨勢與 TSP 一致，仍為春季高，夏季低。

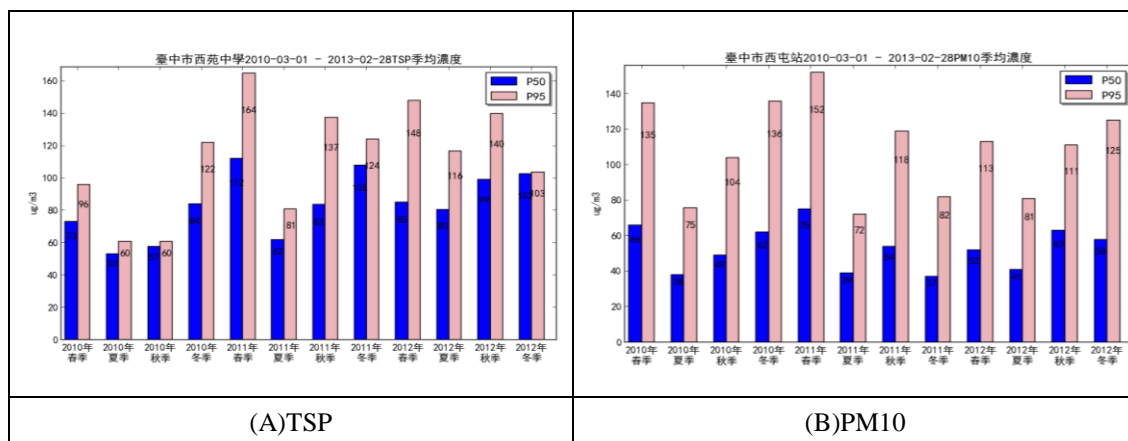


圖 5. 臺中市西屯站 2010~2012 年 P50 及 P95 季分布 (A)TSP、(B)PM₁₀

3.4 沙塵暴分析

沙塵暴期間分析：表 1 為近三年（2002~2012 年）八次沙塵暴中影響臺中最大的兩次，其中以 2010 年#2 次(99-2)之影響更遍及全國，全國有 68 個監測站之 PSI 大於 100，影響期間為 3 月 21-23 日，3 月 21 日臺中市有一筆 TSP 數據，另一次沙塵暴發生於 2010/12/03~04，但在此期間並無 TSP 採樣，故無法進行統計分析。TSP、PM₁₀ 與 PM₁₀/TSP 比值分析：表 5 顯示，於沙塵暴期間，豐原、霧峰、西屯及梧棲 TSP 之 24 時值分別為 139、166、78 及 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為當年 TSP 之 P50 值之 1.3~2.8 倍。於沙塵暴期間，豐原、霧峰、西屯及梧棲 PM₁₀ 日均值分別為 439.6、258.8、444.7 及 169.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為當年 P50 監測值之 3.9~8.8 倍。四個測站之 PM₁₀ 日均值皆大於標準之 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。可推論沙塵暴對 PM₁₀ 之顯著影響，乃因沙塵暴屬於細微粒之長程傳輸。沙塵暴期間豐原、霧峰、西屯及梧棲 PM₁₀/TSP 比值為 3.2、1.6、5.7 及 1.0，為當年各站 P50 比值之 1.4~6.8 倍。北京春天有塵霾時，可高達 TSP 2170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM₁₀ 430 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM_{2.5} 402 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀/TSP 比值為 33.8%，無塵霾時為 52.9~71.8 (Zhang 等人, 2006)，在北京 TSP 濃度遠大於 PM₁₀ 但在臺中市較接近 PM₁₀ 濃度，可能臺中市受到長程傳輸沙塵暴之影響。

配對比值分析：自三年（2010~2012 年）1,190 天之逐時 PM₁₀ 監測中，抽取與 TSP 採樣日期相同日期之資料，共 72 筆，進行配對比值分析。因 TSP 應為 PM₁₀ 加上大於 10 μm 顆粒，PM₁₀/TSP 理論值應小於 1，但由表 5 發現，豐原、霧峰、西屯及梧棲站分別有 17 次 (23.6%)、25 次 (34.7%)、9 次 (12.5%)、12 次 (16.7%) 超過 1，可能係因採樣檢測方法不同，TSP 採用高量採樣法，PM₁₀ 使用懸浮微粒分析儀之貝他射線衰減法 (β -ray Attenuation method)、慣性質量法 (Tapered Element Oscillating Microbalance Technology)，Shin 等人(2011)針對此兩種方法，在韓國進行八年監測比對，發現貝他射線衰減法之年均濃度約為慣性質量法年均濃度之 1.31~2.13 倍，日均濃度差異更大。

表 5. 臺中市 4 個測站 2010 年 3 月 22 日沙塵暴事件之 PM₁₀/TSP 之配對比率

站名	TSP			PM ₁₀			PM ₁₀ /TSP	
	當日 24 時值 (n=1)	2010 年 24 時 P50 值 (n=24)	當日與當年 P50 比值	當日 平均值 (n=24)	2010 年日均 P50 值 (n=8370)	當日與當年 P50 比值	當日 比值	當年 比值
豐原	139	53	2.6	439.6	50	8.8	3.2	0.94
霧峰	166	65	2.6	258.8	60.3	4.3	1.6	0.93
西屯	78	60.5	1.3	444.7	51	8.7	5.7	0.84
梧棲	172	61.5	2.8	169.5	43.5	3.9	1.0	0.71

風花圖：本系統針對豐原、霧峰、西屯及梧棲四個測站之氣象資料，繪製風花圖，以地理資訊系統(GIS)與臺中市基地底圖套疊，以利分析氣象條件之影響。依據蕭鈴鳳等人(2001年)論文，大陸北部地區產生的沙塵主要輸送路徑有兩條，即向東輸送和向東南輸送。沙塵只有沿第二條輸送路徑，且強度夠大才會對臺灣空氣品質造成重大影響。於沙塵暴期間 2010 年 3 月 22 日當日風花圖如圖 6，顯示四個測站風速低，梧棲及西屯站之最頻風向為西北，亦及大陸風向的東南風，可證明是受大陸沙塵暴的影響。非沙塵暴期間，以 2010 年當年之氣象條件為例 當年風花圖如圖 7，顯示四站皆無明顯之最頻風向。

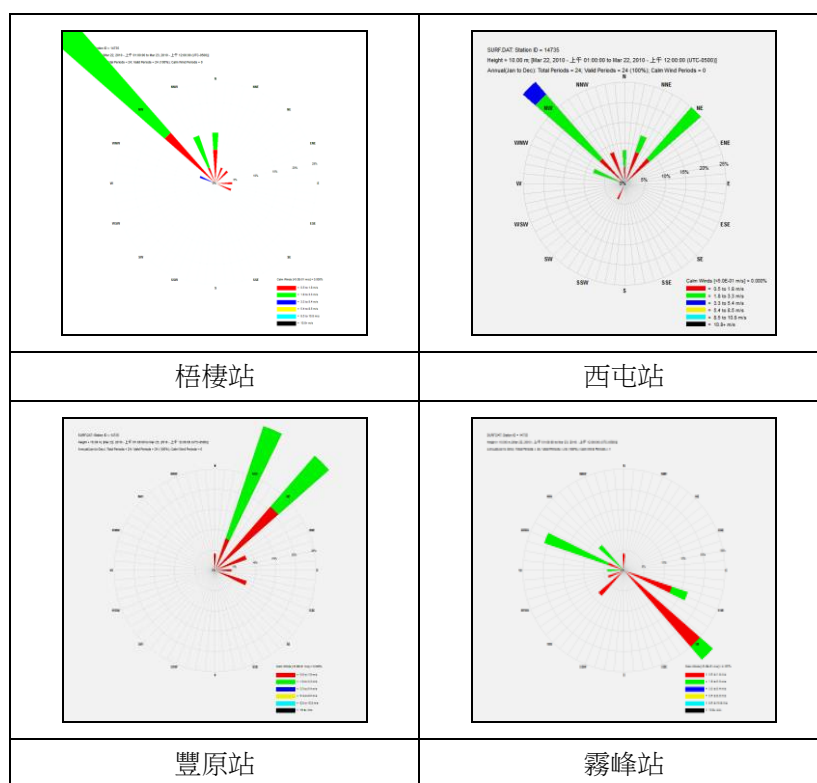


圖 6. 臺中市 4 個測站 2010 年 3 月 22 日沙塵暴期間之風花圖

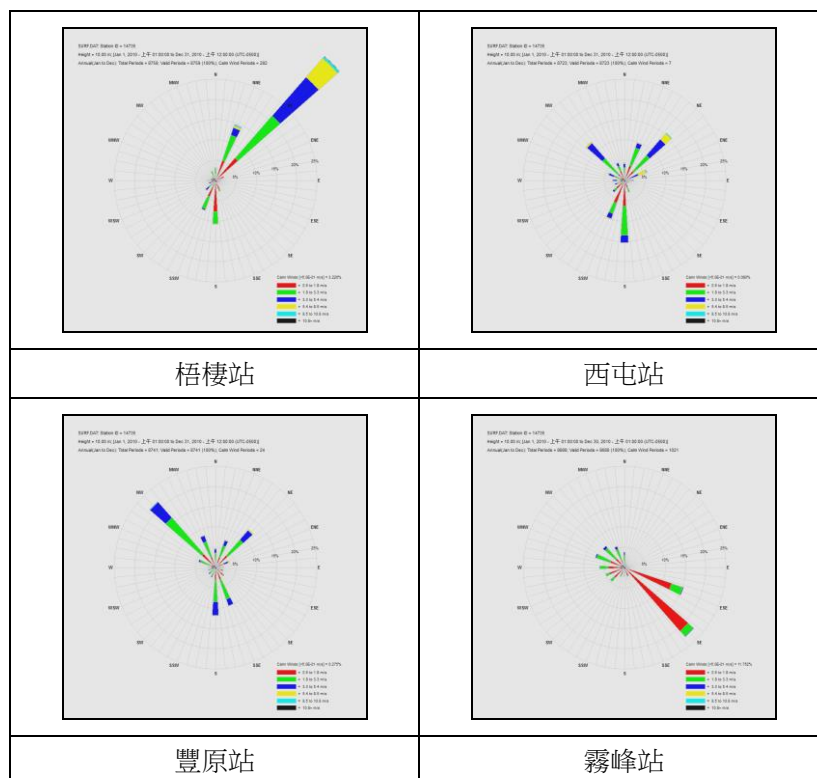


圖 7. 臺中市 4 個測站非沙塵暴期間 2010 年風花圖

參 考 文 獻

1. Brunekreef B, Forsberg B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. 2005. *Eur Respir J*, 26:309-18.
2. Chan LY, Kwok WS, Lee SC, Chan CY. 2003. Spatial variation of mass concentration of roadside suspended particulate matter in metropolitan Hong Kong. *Atmos. Environ*, 35(18):3167-76.
3. Chang LP, Tsai JH, Chang KL, Lin JJ. 2008. Water-Soluble Inorganic Ions in Airborne Particulates from the Nano to Coarse Mode: A Case Study of Aerosol Episodes in Southern Region of Taiwan, *Environ Geochem Health.*, 30(3):291-303.
4. Cicero-Fernández P, Thistlewaite WA, Falcon YI, Guzmán IM. 1993. Tsp, Pm10 and Pm10/Tsp Ratios in the Mexico City Metropolitan Area: A Temporal and Spatial Approach. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 3(1):1-14.
5. Dingenena RV, Raesa F, Putauda JP, et al. 2004. A European aerosol phenomenology—1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmos. Environ*, 38(16):2561-77.

6. Gehrig R, Buchmann B. Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM10 and PM2.5 concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmos. Environ.* 2003;37:2571-80.
7. Kim KH, Kim MY. 2003. The Effects of Asian Dust on Particulate Matter Fractionation in Seoul, Korea During Spring 2001, *Chemosphere*, 51(8):707-21.
8. Kim NK, Kim YP, Kang CH. 2011. Long-term trend of aerosol composition and direct radioactive forcing due to aerosols over Gosan: TSP, PM10, and PM2.5 data between 1992 and 2008. *Atmos. Environ*, 45(38):6107-15.
9. Lammel GE, Brüggemann E, Müller K, Röhl A. 2003. On the Horizontal Homogeneity of Mass-Related Aerosol Properties, *Environ Monit Assess*, 84(3):265-73.
10. Lei Y, Zhang Q, He KB, Streets DG. 2011. Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005. *Atmos. Chem. Phys.* ;11:931-54.
11. Li CS. 1994. The effects of wind speed on the relative relationships between different sized-fractions of airborne particles. *Sci Total Environ*, 151(3):205-11.
12. Liu KFR, Lu CF, Chen CW, Shen YS. 2012. Applying Bayesian belief networks to health risk assessment, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 2:451-65.
13. Mugica V, Maubert M, Torres M, Munoz J, Rico E. 2002. Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996 –1998. *Aerosol Science*, 33:91-102.
14. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, et al. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* , 287:1132-41.
15. Querola X, Alastuey A, Rodriguez S, et al. 2001. PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmos. Environ*, 35(36):6407-19.
16. Schwartz J, Neas LM. 2000. Fine Particles Are More Strongly Associated Than Coarse Particles with Acute Respiratory Health Effects in School children., *Epidemiology*, 11(1):6-10.
17. Shin SE, Jung CH, Kim YP. 2011. Analysis of the Measurement Difference for the PM10 Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan. *Aerosol and Air Quality Research*, 11:846-53.
18. WHO. 2005. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005, summary of risk assessment.
19. Wilson WE, Suh HH. 1997. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc*, 47:1238-49.
20. Zhang WJ, Sun YL, Zhuang GS, Xu DQ. 2006. Characteristics and Seasonal Variations of PM2.5, PM10, and Tsp Aerosol in Beijing. *Biomed Environ Sci*. 19(6):461-8.

21. 江舟峰。2011。臺中市中部科學工業園區健康風險評估計畫期末報告，臺中市環保局委託計畫。臺中市：臺中市環保局。
22. 江舟峰、蔡清讚。2013。健康風險評估決策資源系統之建置與範例分析。中華民國環境工程學會 2013 環境諮詢與規劃管理研討會，高雄，台灣。
23. 台灣環境保護署。2012。空氣品質標準，2012年5月14日公布修正。台北，台灣。
24. 蕭玲鳳、王自發、劉廣英。2001。沙塵暴長距離輸送至臺灣之數值模擬研究，華岡理科學報，18，1-20。

誌 謝

本研究所需部份經費係由台灣臺中市政府補助，計畫編號為 P0342。承蒙臺中市環保局空氣品質課同仁，提供本研究所須各項數據資料，謹致謝意。本決策支援系統之程式撰寫委由臺中市律豐科技公司開發。若需進一步洽詢本系統之各項應用，可聯絡江舟峰教授 amur.chiang@gmail.com。