

台中以南地區空氣中粒狀物元素含量調查研究

巫月春 曹國田 程惠生 陳重方 賴金郎 黃星榜 陳滄欽 蘇育德

摘要

執行台中以南地區空氣中粒狀物元素含量調查研究，以建立空氣中元素含量濃度資料庫，共選定台中、南投、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東及花東等地區 10 個縣市共 47 個採樣點，每個採樣點於夏季及冬季各採 PM₁₀ 樣品一次，PM₁₀ 使用高流量採樣器連續採樣 24 小時，將微粒捕集於石英濾紙，採樣濾紙裁切後 HNO₃/HF 微波消化前處理，以感應耦合電漿質譜儀進行 Be、Al、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Ag、Cd、Ba、Th、Tl、Pb 及 Sb 等 18 種，分析結果顯示測站中較高之 6 種重金屬依序為鋁、鋇、銅、錳、鉛、鋅等含量平均值雖然大於英國或澳洲平均值，但鉛、砷、鎘、鎳等檢測值均符合歐盟 2012 年標準，其中鉛平均濃度值符合我國空氣品質標準

關鍵詞：PM₁₀、高量採樣器

一、前言

大氣粒狀物各成分元素自然來源包括火山爆發、岩石風化、森林火災及海洋之飛沫。人為污染源可分為固定污染源及移動污染源，固定污染源包括焚化爐、燃煤鍋爐、鋼鐵工業及各種工業製程之排氣；移動污染源為車輛排放產生之污染。

依據 1990 年歐盟統計數據顯示，歐盟砷排放量約為 575 公噸/年，其中 75% 都與人類活動燃燒源有關；鎘排放量約為 203 公噸/年，其中鋼鐵業及固定燃燒源為主要貢獻源，在非鐵金屬冶煉部分，鋅製造業為主要來源；鎳排放量約為 4,860 公噸/年，其中 50% 以上都與人類活動燃燒源有關；自然界貢獻三分之一排放量，人為排放部分主要來自煤燃燒及廢棄物焚化有關¹。

環保署 99 年「固定污染源重金屬排放量調查與控制技術評估及減量策略研擬」計畫，推估國內鉛、鎘、砷排放量：鉛於 97 年排放量約為 10.14 噸/年，98 年排放量約為 9.54 噸/年，鎘於 97 年排放量約為 1.01 噸/年，98 年排放量約為 1.00 噸/年，砷於 97 年排放量約為 4.03 噸/年，98 年排放量約為 4.95 噸/年²。

Gilson 等對澳洲坎培拉城市及市郊之懸浮微粒進行調查，指出大部分微粒粒徑小於 2 μm，研究證實此類微粒來自車輛排放³，而都會區懸浮微粒中之鉛及鋅較郊區高，主要為汽機車排放所產生⁴，鉛則為汽油中之四甲基鉛或四乙基鉛添加劑隨廢氣排出，鋅為車輛輪胎之磨損產生⁵，Furutau⁶ 研究顯示車輛煞車碟及煞車片會產生銻排放至空氣中。

Teresa Morena 等對西班牙城市及市郊之懸浮微粒進行調查⁷，說明微量元素來源的百分比分配因交通、工業和地殼組成部分而不同。交通組件之間呈現高度相關性含量之鉛，鋅，鎘，砷，銅，與其他微量元素的表現，包括銻，鋇，錳，鈳，鎳，鋁，鈦和 Rb。這些元素大部分可以被鏈接到汽車燃燒過程（鉛，鋅，銻，鎘，鈳），制動襯片（銻，銅）和輪胎磨損（鋇，錳）。燃燒過程和石化工程排放包括可變的砷、鈳、鉛、鎳、鋅、鉻和 Co 等。微量金屬與人類疾病有相關性（如亞當森等人，2000; 教皇等；2002; Schaumann 等；2004; Nawrot 等人。2006），並加強各級吸入大氣氣溶膠忍受元素，如砷，鎘，汞，鉛和硒顯然是難以預估。美國有毒物質和疾病管制處（ATSDR）列出了前 20 名的危險根據物質的組合其頻率、毒性和潛在的人類健康風險。其表中砷，鉛，汞，鎘對人類健康而言為最有毒金屬。因此歐盟（指令 2004/107/EC 和 199/30/CE）"也相應建立了年度目標限閾值"理想濃度限值为砷（6 ng/m³）、鎘（5 ng/m³）、鎳（20 ng/m³）、Pb（500 ng/m³）¹。

美國環保署國家空氣毒性物質監測計畫（national air toxics monitoring program）對空氣中 18 種有機、無機毒性污染物設置 23 個監測站進行監測，監測之金屬物種有砷、鉍、鎘、六價鉻、鉛、錳及鎳等 7 種⁸。歐盟則要求會員國檢測砷、鎘及鎳等金屬，並應於 2012 年 12 月 31 日符合其目標值¹。

英國環保單位於 2000 年正式開始於全國選定測站進行環境空氣重金屬監測，測站規劃包括人口密集地區及工業集中區，逐月進行環境空氣重金屬調查。各測站年平均調查結果，相關監測含量值皆符合歐盟環境品質建議值⁹。

我國環保署對於空氣污染之管制，早期主要對粒狀污染物、硫氧化物及氮氧化物等空氣污染物執行管制，近年來也積極針對重金屬中的鉛、鎘、汞及砷進行排放調查，以及針對重大排放源研擬相關管制策略。鉛、鎘、鉻及砷等 4 種重金屬之來源及危害性如表 1¹⁰。

由於重金屬排放於環境空氣中對環境造成衝擊及人體危害，參酌歐盟（2012.12.31 實施）建議之 4 種重金屬之環境品質基準值及英國、澳洲¹¹等國環境空氣品質調查趨勢，本計畫第 1 年進行研究調查台中以南及花蓮、台東等 10 個縣市進行環境空氣中粒狀物 18 種元素含量進行調查，並探討不同採樣點之環境空氣中粒狀物元素含量分布情形。

二、材料與方法

（一）儀器材料

1. 感應耦合電漿質譜儀：Bruker 820-MS，具有碰撞反應室（使用氫氣及氦氣作為反應氣體），可去除複合離子干擾。
2. 微波消化爐：CEM Mars，使用 HP-500 消化瓶組，搭配光纖溫度控制系統（RTP-300 Plus）與壓力控制系統（ESP-1500 Plus）針對消化瓶內部溫度與壓力進行控制。

3. 試劑濃縮裝置：CEM MicroVap。
4. 消化瓶：PFA 材質可抗壓至 350psi，耐溫 210 °C，容量 100 mL。
5. 分析天平：Sartorius R200 D，可精稱至 0.1 mg。
6. 石英材質濾紙：Whatman QM-A，20.3 mm × 254 mm。
7. 鐵氟龍材質濾紙：ADVANTEC，20.3 mm × 254 mm。
8. 模板 (Template)：壓克力材質，用於切割濾紙。
9. Pizza 式切刀：壓克力材質且具薄細刀輪，厚度為 1 mm。
10. 注射筒：Nylon 材質、容量 20 mL。
11. 針筒過濾器：PVDF 材質、孔徑 0.45 μm 。
12. 高量採樣器：Tisch、流量 $1.13 \text{ m}^3/\text{min} \pm 0.0791 \text{ m}^3/\text{min}$

(二) 試劑

1. 參考物質：Urban Particulate Matter (SRM 1648a)，National Institute of Standards and Technology (NIST, USA)。
2. 濃硝酸：Merck，ultra pure 等級。
3. 濃鹽酸：Merck，ultra pure 等級。
4. 氫氟酸：Merck，Suprapur 等級。
5. 試劑水：使用 Millipore Mill-Q Element 純水製造系統，比電阻 $\geq 18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ 。
6. 萃取酸：約 500 mL 試劑水中加入 55.5 mL 濃硝酸及 167.5 mL 濃鹽酸後，再以試劑水稀釋至 1 L。
7. 王水：50 mL 濃硝酸及 150 mL 濃鹽酸均勻混合。
8. ICP 多元素標準液：10 $\mu\text{g/mL}$ ，High-Purity 與 Inorganic Ventures 做為兩不同來源之標準品。

9.調校溶液：10 $\mu\text{g/mL}$ ，含 Ba、Be、Ce、Co、In、Pb、Mg、Tl、Th，用於分析前儀器調校與質量校正。

10.內標準品溶液：100 $\mu\text{g/mL}$ ，以待分析元素同位素之質量數 ± 50 amu 內做為內標準元素為選擇之依據，含 Li^6 、 Sc^{45} 、 Ge^{74} 、 Rh^{103} 、 Tb^{159} 、 Lu^{175} 、 Bi^{209} 。

11.氫氧化鈉：Merck，試藥級。

12.硼酸：Merck，試藥級。

(三) 採樣點位置及採樣頻率

本計畫於台中、彰化、南投、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東及花東地區等 10 個縣市選定環保署監資處全台灣設置之一般空氣品質監測（都會區）、一般空氣品質監測（郊區）、交通空氣品質、工業空氣品質及背景區等不同類型之採樣點進行採樣分析，此外台南科學園區及花蓮未設置工業測站，為調查研究台南科學園區及花蓮大理石工業之環境中空氣粒狀物元素含量情形，增設該 4 採樣點包括南科污水廠、花蓮和平工業區、美崙工業區及台東長濱水母水廠，共 47 處採樣點（表 2），於夏季及冬季各採一次 PM_{10} 樣品。

(四) 實驗方法

1.消化

樣品裁切 2.5 cm \times 2.0 cm 大小之濾紙置入 PFA 消化瓶中，加入 2mL HF + 3mL HNO_3 + 10 mL 試劑水，進行消化程序。微波消化參數如表 3。

2.試劑濃縮

經消化後之樣品溶液中仍含有 HF，將對 ICP-MS 之進樣系統(霧化器與電漿火炬)造成損害。因此利用濃縮系統將消化溶液加熱至近沸點，再利用外部的真空馬達將酸氣與水氣抽離。濃縮之升溫程式與控制參數如表 4。

3.再消化

濃縮後之樣品會在消化瓶底部產生固體物沉澱，因此加入 2 mL 之 HNO_3 與 15 mL 之試劑水，再次進行消化步驟將固體物回溶成液體，微波消化程序參數如上述。完成再消化後將樣品經過濾並定量至 50 mL，即可以 ICP-MS 進行後續分析。

4.ICP-MS 分析

ICP-MS 原理是利用霧化器(Nebulizer)將已消化之樣品溶液經霧化處理後，再配合載

流氣體輸送，將所形成之氣膠(Aerosol)送至電漿(Plasma)中，樣品受電漿反應於高溫狀態下，經由一系列原子化/離子化、分解、去溶劑等反應，將待分析元素形成單價正離子透過真空界面傳輸進入質譜儀，再配合質量分析器(Mass-analyzer)將各特定質荷比之離子予以解析後，以電子倍增器放大訊號而加以量測，藉此進行多元素之定性及定量工作。

在樣品分析前會先進行儀器調機動作以確認儀器狀況，而檢量線是由多元素標準液稀釋配置後於每次分析時建立所得，在分析時並添加內標準品的方式來校正基質干擾及訊號變動現象。另為避免因複合離子干擾造成分析結果產生誤差，利用碰撞反應介面（CRI, Collision Reaction Interface）功能，使用氫氣或氦氣做為碰撞氣體來減少複合離子干擾。其中氫氣主要用來減少電漿產生的干擾(Ar^{38} 、 Ar^{40})，而氦氣是用來消除樣品本身的干擾(如 V^{51} 與 $\text{Cl}^{35}\text{O}^{16}$)，儀器設定參數詳如表 5。

5.結果計算

各金屬濃度計算方式如下：

$$\text{空氣中粒狀物元素濃度 (ng 元素/m}^3\text{)} = \frac{[(C \times v) \times 9 - F_m]}{V_{\text{std}}}$$

其中 C：ICP-MS 分析濃度，ng 重金屬/ m^3 。

9：濾紙切割成九分之一。

v：最後定量之消化溶液體積。

F_m ：每張空白濾紙平均金屬濃度，ng。可選擇 5 % 數量進行濃度檢驗。

V_{std} ：標準採樣空氣體積，立方公尺 (m^3)

(五) 品質管制

本計畫檢測品質管制措施如下：

- 1.現場空白及試劑空白濾紙分析
- 2.空白濾紙品管查核及品管查核重複（低濃度）分析。
- 3.空白濾紙進行品管查核及品管查核重複（高濃度）分析
- 4.樣品重複樣品分析及樣品添加分析。

5.標準參考樣品 (SRM) 分析。

6.PM₁₀ 高量採器多點校正、採樣現場測漏及採樣前、後單點流量查核。

三、結果及討論

(一) 本研究檢測分析之品質管制結果如下

1.查核樣品 & 查核樣品重複分析 (如表 6)

空白濾紙中各元素之背景值濃度差異甚鉅，因此本研究分別以高(100 ppb)、低(10 ppb)兩種濃度進行查核樣品分析，其結果如表 6。結果顯示除了 Al、Ba、Mo 外，其它元素之 QC 皆落在 74~121%間，而空白濾紙之元素背景值若越低，其回收率亦越佳。而 Al、Ba、Mo 消化後之背景濃度已超過 150 ppb，使得查核樣品回收率大於 100 ± 50%，因此若要評估此三種元素之 QC 回收率，則需要進行更高濃度標準液之添加。

此外，QCD 之回收率相對差異百分比除 Al 為 13.2%、Cr 為 10.1%外，其餘的元素皆小於 5%，顯示其重複分析之回收率佳。

2.樣品重複分析 & 添加分析 (如表 7)

樣品重複分析為切下兩條 2.5 cm×20 cm 採樣之濾紙分別進行消化後所得之結果，結果如下表。可發現除了 Cd、Mn 之相對差異百分比比較高外，其餘元素之重複性頗佳，顯示空氣中粒狀物經採集至石英濾紙上之均勻性佳，也驗證了切割下來之 2.5 cm×20 cm 濾紙分析數值具整張濾紙之代表性。

樣品添加分析因為本研究僅添加單一濃度，而樣品中各元素濃度之差異極大，難以將添加之濃度值皆為各元素濃度 1~5 倍間，因此本研究所得之添加回收率不佳。但添加回收率主要做為是否具基質干擾之判定，而由本研究進行之 SRM 1648a 回收測試結果，應可略去基質干擾之影響。

3.PM₁₀ 高量採器校正

多點校正其 R 值 > 0.995 以上；現場採樣前後單點流量查核其 5 台流量器流量差異百分比 (%) 均介於 ±3 % 以內，符合方法 ±7 % 以內。

(二) 各元素含量檢測結果

1.依地區區分

(1) 不同地區採集 PM₁₀ 分析 18 項粒狀物元素其濃度平均值如表 8、9。參考美國環保署國家空氣毒性物質監測計畫之無機毒性污染物砷、鎘、鉻、鉛、錳及鎳等，另再包含鈮、鋅、銅等元素濃度評估，各縣市檢測平均值排序依序為台南市 > 高雄市 > 台中市 >

雲林縣>彰化縣>嘉義縣>南投縣>屏東縣>花蓮、台東縣，其中鎳濃度平均值 10 個縣市均高於英國 2008 年平均值 3.21 ng/m^3 ，砷濃度平均值 8 個縣市除花東地區外均高於英國年平均值 0.63 ng/m^3 ，鎘濃度平均值 8 個縣市除花東地區外均高於英國年平均值 0.34 ng/m^3 ，鉛濃度平均值 7 個縣市除花東、南投地區外均高於英國年平均值 16 ng/m^3 ，其中高雄、台南及台中市可能因臨近工業區較多，因而空氣中粒狀物元素含量比其他縣市高（如表 8、9、10 及圖 1）。

- (2) 以縣市地理位置區分 3 個地區包括中部（台中、彰化、南投、雲林）、南部（嘉義、台南、高雄、屏東）、花東（花蓮、台東）地區，9 項元素砷、鎘、鉻、鉛、錳、鎳、鈳、鋅、銅等檢測濃度平均值依序為南部>中部>花東，其中部、南部之 9 項元素年平均值均高於英國年平均值，花東地區除鈳、鎳、鋅、銅等 4 項重金屬外，其他 5 項低於英國年平均值（如表 8、9、10 及圖 1）。

2. 依採樣點類型區分

- (1) 不同類型採樣點 PM_{10} 元素檢測平均值（如表 11、12 及圖 3），分析不同類型採樣點 18 項元素含量濃度年平均值，依序為工業類型採樣點>交通類型採樣點>普通類型-都會採樣點>普通類型-郊區採樣點>背景類型採樣點（含恆春公園）。工業類型採樣點以鉻、鎳、砷、鎘、鉛等 5 項元素含量高於其他類型測站 1-2 倍。如台南科學園區之鉻、鎳、砷、鎘、鉛之年平均值（ 18.5 、 15.2 、 3.70 、 4.07 、 59.6 ng/m^3 ）、林園工業區（ 10.6 、 21.1 、 1.87 、 1.12 、 33.9 ng/m^3 ）、高雄潮寮國小（ 14.5 、 18.5 、 2.64 、 1.48 、 66.8 ng/m^3 ），而相對於高雄復興國小普通測站（ 8.46 、 13.3 、 0.90 、 0.52 、 23.1 ng/m^3 ）平均值高約 1-2 倍不等。

台南科學園區採樣點為污水廠位於工業區南方，冬季採樣主要風向為西北西風，採樣點位於下風處，推估工業區內電子、面板科技業是可能污染的來源。

高雄潮寮國小採樣點位於大發工業區下風處（如圖 4），大發工業區主要業別為金屬基本工業、機械設備製造修配業及金屬製品製造業，採樣點位於潮寮國小測站，檢測結果如表 11。林園工業區主要業別為大型石化業、重工業為可能之污染來源。

- (2) 高雄鳳山曹公國小交通採樣點 PM_{10} 、錳、銅、鋅、砷、硒、鎘、鈳、銻及鉛等檢測平均值大於其地區都會或郊區檢測值，且測值與工業測站測值相當，而顯示曹公國小位於鳳山市市中心，人口密集、車流量高可能是交通污染源與工業污染源貢獻量相當之原因。
- (3) 高雄橋頭背景採樣點 PM_{10} 、錳、銅、鋅、砷、硒、鎘、鈳、銻及鉛等檢測平均值遠高於鹿林山背景站、屏東恆春公園測站檢測平均值，也高於其他縣市普通測站採樣點檢測平均值，而其位於位於路竹工業區鋼鐵工業季風影響，作為背景測站之功能用途宜再評估。

3.不同季節、年度檢測結果

全部採樣點夏季、冬季 PM₁₀ 重金屬檢測平均值如表 13 及圖 2，不同季節檢測值比較，冬季與夏季檢測結果重金屬平均值無明顯差異，由於測站以 24 小時採樣，小區域風向多變且冬季採樣時期為 9-10 月，時有下雨情形，可能是雨季間無明顯不同原因之一。

相較於 98 年「全國空氣粒狀物中金屬濃度調查研究」¹²，高雄、彰化、南投、嘉義等地區粒狀物及重金屬檢測值無太大變化，惟台南地區、台中地區之粒狀物及元素含量檢測值有逐年升高趨勢（如表 9）。

4.與文獻值比較

- (1) 英國檢測錳、鎳、銅、鋅、砷、鎘、鉛、硒等項目⁹，我國檢測平均值都大於英國平均值。澳洲檢測鎳、銅、鋅、砷、硒、鎘、鉛等項目¹¹，我國檢測平均值都大於澳洲平均值。歐盟 2012 年環境空氣品質標準規定僅管制砷、鎘、鎳、鉛等重金屬項目，我國檢測平均值雖然大於英國或澳洲平均值，但砷、鎘、鎳、鉛等 歐盟管制項目其檢測值均符合歐盟標準。
- (2) 我國東部地區砷、鎘、鉛檢測平均值小於英國或澳洲平均值，錳、鋅比英國低，鎳比澳洲低。PM₁₀ 全部重金屬檢測平均值和英國 200 年及澳洲 2003 檢測平均值比較如表 9、10、14 及圖 1。

5.類型採樣點重金屬濃度推估潛在風險

參考 Teresa Morena 等對西班牙城市及市郊之懸浮微粒調查報告⁷，類型採樣點站以 Pb-As-Cd 等 3 種空氣中元素含量高毒性濃度相加值推估其高風險，類型採樣點以 Ni-Cu-Zn 等 3 種重金屬中毒性濃度相加值推估其中風險，類型採樣點以 Tl-Ba-Sb 等 3 種空氣中元素含量低毒性濃度相加值其推估低風險，本研究推估風險情形如下。

- (1) 同縣市不同類型採樣點空氣中粒狀物元素含量推估潛在風險，高、中、低風險評估結果（表 15）

同縣市不同類型採樣點之高風險評估如下：

高雄潮寮國小（工業）>高雄曹公國小（交通）>高雄橋頭（背景）>高雄復興（普通）。

台南科學園（工業）>台南安順國小（普通）>台南烏山頭（普通）

(2) 不同縣市同類型採樣點空氣中粒狀物元素含量推估潛在風險，於高、中、低風險評估結果（表 16）

不同縣市同類型採樣點之高風險評估如下：

高雄潮寮國小（工業）>雲林台西圖書館（工業）>彰化線西國中（工業）>花蓮和平（工業）。

嘉義嘉興國小（普通）>台中豐原環保局（普通）>彰化忠孝國小（普通）

四、結論與建議

- (一) 我國空氣中粒狀物元素含量錳、鎳、銅、鋅、砷、鎘、鉛、硒等檢測年平均值較英國及澳洲高，但砷、鎘、鎳、鉛等空氣中粒狀物元素項目，我國檢測平均值均仍符合歐盟標準，可能與我們人口密集人為污染貢獻量增加有關。
- (二) 各元素檢測最大值大都位於高雄地區及台南科學園區等採樣點，此與高雄、台南地區臨近工業區，工業活動對空氣中元素含量貢獻量可能有正相關，建議未來可進一步調查研究。
- (三) 部分歸類為普通測站（含都會與郊區）之採樣點空氣中粒狀物元素含量檢測值偏高，顯示住宅都會區人口受鄰近工業大氣氣膠由長程傳輸污染影響。
- (四) 本計畫僅以台中以南地區進行採樣調查，位於台中科學園區在夏冬兩季盛行風上下方風之苗栗縣並未進行採樣，使得本計畫就台中地區測站測值之比較性不足，故建議 100 年度執行苗栗以北地區調查時能將台中市各採樣點納入以獲得較完整結果。
- (五) 相較於 98 年「全國空氣粒狀物中金屬濃度調查研究」¹²，高雄、彰化、南投、嘉義等地區粒狀物及重金屬檢測值無太大變化，惟台南地區、台中地區之粒狀物及重金屬檢測值有逐年升高趨勢，建議長期針對新興科學園區進行空氣污染物重金屬監測（圖 5、6）。
- (六) 高雄橋頭採樣點 PM₁₀、錳、銅、鋅、砷、硒、鎘、鋇、銻及鉛等檢測平均值除高於鹿林山背景站、屏東恆春公園站外，亦高於其他縣市普通測站，其背景站之設置功能是否與當初設置功能相同宜再評估。
- (七) 類型採樣點空氣中元素含量推估潛在風險，顯示部分工業測站區域有潛在高毒性高風險，建議高風險地區進行長期監測。

參考文獻

1. Commission of the European communities, relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air, 2003.
2. 行政院環境保護署，固定污染源重金屬排放量調查與控制技術評估及減量策略研擬，2010。
3. Gilson, M., Simpson, R., Polach, H., and Taylor, J., Microscopical TSP Studies Comparing a City Center and Suburban Sites in Canberra, Australia, Atmospheric Environment, Vol. 22, pp.1745-1758.
4. Singh, N., Pandey, V., Misra, J., Yunus, M. and Ahmad, K. J., Atmospheric Lead Pollution from Vehicular Emissions – Measurements in Plants, Soil, and Milk Samples, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 45, pp. 9-19, 1997.
5. Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A. and Cas, G.R., Sources of Fine Organic Aerosol. 3. Road Dust, Tire Debris, and Organometallic Brake Lining Dust: Roads as Sources and Sinks, Environmental Science and Technology, Vol. 27, pp. 1892-1904, 1993.
6. Furuta, N., Long-term Monitoring of Major and Trace Elements in Airborne Particulate Matter from 1995 to 2008 -Identification of Antimony Sources, 環境檢驗所19周年所慶研討會專題演講, 2009.
7. Teresa Moreno, Xavier Querol, Andres Alastuey, Mar Viana, Pedro Salvador., Variations in atmospheric PM trace metal content in Spanish towns: Illustrating the chemical complexity of the inorganic urban aerosol cocktail, 2006.
8. US EPA Office of Air and Radiation, National Air Toxics Monitoring Strategy, 2004.
9. http://www.airquality.co.uk/archive/data_and_statistics.php
10. 行政院環境保護署，固定污染源毒性空氣污染物（戴奧辛及重金屬）排放清冊調查及管制計畫，計畫編號：EPA-99-FA12-03-A115，pp. 2-9~2-14，2010。
11. Department of Environment and Conservation (NSW), Ambient air quality research project (1996 - 2001), Internal working paper no.4. Ambient concentrations of heavy metals in NSW, 2003
12. 雷一弘、曹國田、黃星榜、賴金郎、程惠生、陳重方、李俊宏，全國空氣粒狀物中金屬濃度調查研究，2009
13. Kihong Park, Hung Duy Dam, Characterization of metal aerosols in PM10 from urban, industrial and Asian Dust sources, 2008

表1 重金屬可能分佈的型態、來源及其危害性

物種	可能分佈型態	可能來源	危害性
鉛	氯化鉛、氧化鉛、 Pb(g)	電池產品、塑膠製品、塗料、農經製品等。	屬於慢性累積性中毒，尤其對於神經、造血及循環系統產生極大危害。
鎘	氯化鎘、氧化鎘、 氫氧化鎘、Cd(g)	電鍍工業、安定劑(塑膠製品)、塗料、電子工廠等。	PVC鎘於生物體內累積性強，會引發貧血、腎傷害、肝病變及新陳代謝等危害、如痛痛病等。
砷	氯化砷、氧化砷、 硫化砷、As(g)	皮革及金屬合金添加劑等。	砷的累積可能引發急性中毒，症狀為脫水、循環器官障礙等，如烏腳病。致死劑量為120~200 mg，無機砷比有機砷毒性大。
鉻	六價鉻等	塗料、電鍍表面處理、皮革。	對人體引發呼吸道、皮膚、細胞等傷害。

表2 環境檢驗所空氣中 PM₁₀ 採樣地點及數量表

序號	測站名稱	測站位置	測站地址	類型
1	豐原站	環境保護局(台中)	台中縣豐原市中興路 136 號	A
2	沙鹿站	北勢國中(台中縣)	台中縣沙鹿鎮英才路 150 號	A
3	大里站	大里市公所(台中縣)	台中縣大里市大新街 36 號	A
4	忠明站	忠明國小(台中市)	台中市西區台中港路 1 段 414 號	A
5	崇倫站	崇倫公園	台中市柳川西路忠明南路口	A
6	西屯站	啟聰學校(台中市)	台中市西屯區安和路 1 號	A
7	彰化站	忠孝國小(彰化縣)	彰化市西勢里忠誠路 61 號	A
8	線西站	線西國中(彰化縣)	彰化縣線西鄉寓埔村中央路 2 段 145 號	B
9	二林站	萬合國小(彰化縣)	彰化縣二林鎮萬合里江山巷 1 號	A
10	南投站	康壽國小(南投縣)	南投縣南投市康壽里南陽路 269 號	A
11	埔里站	埔里國中(南投縣)	南投縣埔里鎮西安路 1 段 193 號	A
12	竹山站	雲林國小(南投縣)	南投縣竹山鎮大明路 666 號	A
13	斗六站	國立斗六高中(雲林)	雲林縣斗六市民生路 224 號	A

14	崙背站	崙背國中(雲林縣)	雲林崙背鄉南陽村大成路 91 號	A
15	台西站	鄉公所圖書館(雲林)	雲林縣台西鄉五港路 505 號	B
16	新港站	新港國小(嘉義縣)	嘉義縣新港鄉登雲路 105 號	A
17	朴子站	朴子鎮公所(嘉義縣)	嘉義縣朴子市光復路 34 號	A
18	嘉義站	興嘉國小(嘉義市)	嘉義市重慶路 51 號	A
19	阿里山 外線站	紫阿里山氣象局(嘉義 縣)	嘉義縣阿里山鄉中正村東阿里山 73 之 1 號	A
20	鹿林山站	鹿林山背景站	鹿林山背景測站位於台灣中部南 投縣與嘉義縣交界	D
21	新營站	新營國小(台南縣)	台南縣新營市中正路 4 號	A
22	善化站	亞洲蔬菜中心(台南)	台南新營市善化鎮益名寮 60 號	A
23	安南站	安順國小(台南市)	台南市安南區安和路 3 段 139 號	A
24	台南站	中山國中(台南市)	台南市中西區南寧街 45 號	A
25	南科站	南部科學工業園區 環工中心	台南縣新市鄉環西路 2 段 10 號	※B
26	烏山頭 水庫站	烏山頭淨水廠	台南縣官田鄉嘉南村 68 號	※A
27	美濃站	中壇國小(高雄縣)	高雄縣美濃鎮中壇里忠孝路 19 號	A
28	橋頭站	橋頭鄉公所(高雄縣)	高雄縣橋頭鄉隆豐北路 1 號	D
29	仁武站	八卦國小(高雄縣)	高雄縣仁武鄉八卦村永仁街 555 號	A
30	鳳山站	曹公國小(高雄縣)	高雄縣鳳山市曹公路 6 號	C
31	大寮站	潮寮國小(高雄縣)	高雄縣大寮鄉潮寮路 61 號	B

32	林園站	汕尾國小(高雄縣)	高雄縣林園鄉北汕村北汕路 58 巷 2 號	B
33	楠梓站	楠梓國小(高雄市)	高雄市楠梓區楠梓路 336 號	A
34	左營站	大義國中(高雄市)	高雄市左營區翠華路 687 號	A
35	前金站	七賢國中(高雄市)	高雄市前金區河南二路 196 號	A
36	前鎮站	獅甲國中(高雄市)	高雄市前鎮區中山三路 43 號	B
37	小港站	小港國中(高雄市)	高雄市小港區平和南路 185 號	A
38	復興站	復興國小(高雄市)	高雄市民權二路 331 號	A
39	屏東站	中正國小(屏東縣)	屏東縣屏東市蘇州街 75 號	A
40	潮州站	潮東國小	屏東潮州鎮九塊里復興路 66 號	A
41	恆春站	畜牧試驗所(屏東縣)	屏東縣恆春鎮公園路 44 號	E
42	花蓮站	中正國小(花蓮縣)	花蓮市中正路 210 號	A
43	美崙站	美崙工業區服務中心	花蓮市精美路 16 號	※B
44	和平站	和平工業區服務中心	花蓮縣秀林鄉和平村克尼布車路 1 號	※B
45	台東站	台東縣政府(台東縣)	台東縣台東市中山路 276 號	A
46	台東長濱站	自來水公司	台東縣自來水公司台東縣長濱鄉水母淨 水廠 (近八仙洞附近)	※A
47	關山站	關山鎮立圖書館(台東縣)	台東縣關山鎮自強路 66 號	A

A- 普通類型 B-工業類型 C-交通類型 D-背景類型 E：公園 ※：自設

表 3 微波消化參數

	最大功率(W)	輸出(%)	升溫時間(min)	溫度(°C)	持溫時間(min)
Stage1	1600	100	7	170	10
Stage2	1600	100	5	200	20

表 4 濃縮之升溫程式與控制參數

	最大功率(W)	輸出(%)	升溫時間(min)	溫度差(°C)	溫度(°C)
Stage 1	800	100	5	15	80

表 5 儀器設定參數

Instrument parameter	Hydrogen mode	Helium mode
RF Power (kW)	1.40	1.50
Sampling Depth (mm)	6.5	6.5
Plasma Gas Flow (L/min)	18.0	18.5
Skimmer Flow (mL/min)	94	150
Nebulizer Gas Flow Rate (L/min)	1.00	1.65
Auxiliary Gas Flow (L/min)	1.80	0.31
Sheath Gas (L/min)	0.20	0.90
Sample Uptake Delay (s)	60	60
Rinse Time (s)	20	20
Replicate / Sample	5	5

表 6 查核樣品 & 查核樣品重複分析結果

Element	QC (%)	QCD (%)	Element	QC (%)	QCD (%)
Sb	94.8~115.7	0.2~0.8	Mn	95~112.9	0.1~2.4
Al	-687~660	0.8~13.2	Mo	67~235	0.6~4.2
As	74.1~90.8	0.1~3.3	Ni	80.5~107.8	0.6~4.3
Ba	28~118	0.3~2.9	Se	74~86.3	0~4.8
Be	85~100.7	0.9~2.3	Ag	94.1~98.8	0~0.9
Cd	92.6~100.7	0.1~1.5	Tl	98.9~105.8	0.1~0.9
Cr	84.2~106.7	1.3~10.1	Th	104.2~111.6	0.1~0.9
Co	83.1~88.6	0.2~0.8	U	109.4~114.5	0.2~1.0
Cu	79.6~-100.2	0.7~2.5	V	88.5~96.3	0.2~3.2
Pb	99.6~121	0.1~1.1	Zn	98.5~-114.1	0.8~6.7

表 7 樣品重複分析 & 添加分析結果

Element	Duplicate (%)	Element	Duplicate (%)
Sb	0.1~4.5	Mn	1.0~15.2
Al	0.3~4.7	Mo	0.8~12.3
As	1~7.4	Ni	0.7~6.3
Ba	0.6~3.2	Se	1~6.8
Be	—	Ag	0.6~5.3
Cd	2.1~18.9	Tl	3.2~6.6
Cr	0.5~12.4	Th	3.2~4.9
Co	2.8~7.3	U	0.6~6.1
Cu	0.3~7.0	V	0.6~5.4
Pb	0.9~4.0	Zn	0.6~8.5

表 8 台中市以南 10 縣市空氣中粒狀物元素含量檢測數據
(單位 PM₁₀: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 其他: ng/m^3)

分析 項目	中部								南部								東部	
	台中		彰化		南投		雲林		嘉義		台南		高雄		屏東		花東	
	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬
PM ₁₀	46.2	38.2	40.0	31.7	32.3	39.8	67.5	38.5	31.9	42.6	87.8	73.0	51.3	38.2	46.7	35.0	31.3	24.4
鉍	0.03	0.02	0.01	0.01	0.0	0.0	0.04	0.02	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01
鋁	1197	835	768	720	847	449	1104	710	91.6	682	1816	977	975	835	1276	187	431	531
鈳	11.4	7.98	8.79	10.7	7.12	4.59	8.75	15.4	3.29	7.55	11.6	13.6	19.4	7.80	11.2	4.43	4.41	2.90
鉻	8.0	5.78	3.72	5.98	5.57	2.05	6.28	2.84	3.10	3.59	15.9	17.0	10.1	5.76	12.2	2.26	3.72	1.34
錳	42.3	26.1	11.6	18.5	14.5	17.7	32.2	8.92	19.4	18.1	44.9	35.5	32.9	26.1	31.1	10.8	8.37	6.01
鈷	0.68	0.40	0.38	0.30	0.39	0.27	0.68	0.26	0.34	0.39	0.71	0.61	0.73	0.40	0.50	0.18	0.23	0.24
鎳	11.3	8.92	7.11	11.0	7.73	6.38	8.18	10.1	3.90	7.50	13.8	13.1	19.6	8.92	8.71	5.87	2.32	3.96
銅	74.8	38.7	40.1	25.8	37.0	25.6	36.9	23.4	25.4	28.2	53.6	45.1	44.5	38.7	40.5	20.5	30.6	20.9
鋅	180	109	261	133	57.4	96.0	226	68.8	156	98.7	189	218	132	110	97.6	70.3	35.3	34.8
砷	1.22	0.86	0.94	1.39	0.86	1.00	1.53	1.13	0.87	1.16	2.46	2.63	1.27	0.87	1.07	0.75	0.74	0.23
硒	1.1	0.84	0.61	0.84	0.53	0.84	1.86	1.65	0.94	0.95	1.96	2.66	1.18	0.84	0.71	1.26	0.45	0.29
銀	0.19	0.11	0.05	0.06	0.08	0.09	0.23	0.07	0.12	0.10	0.22	0.22	0.13	0.11	0.15	0.10	0.04	0.05
鎘	0.70	0.76	0.60	0.49	0.31	0.43	0.78	0.32	0.46	0.61	1.72	0.86	0.86	0.76	0.49	0.96	0.22	0.34
鉍	19.3	24.2	9.19	17.8	7.11	10.9	15.5	12.9	11.6	14.2	19.4	9.42	22.5	24.2	17.5	0.70	7.14	7.78
鈳	0.21	0.10	0.14	0.08	0.17	0.06	0.24	0.07	0.03	0.12	0.39	0.04	0.18	0.10	0.2	0.03	0.08	0.07
鉈	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.1	0.07	0.06	0.05	0.15	0.29	0.12	0.05	0.07	0.06	0.10	0.34

鉛 25.2 17.8 17.3 18.1 12.9 14.3 33.6 13.8 19.2 26.7 33.8 43.6 24.8 17.8 20.3 21.7 5.79 3.70
 錫 21.7 3.3 2.4 2.03 0.96 1.74 2.69 1.46 1.52 1.62 2.82 3.37 2.33 3.30 1.66 1.07 0.51 0.29

表 9 台中市以南 10 縣市與英國、澳洲粒狀物元素含量年平均値比較
 (PM₁₀: μg/m³, 其他: ng/m³)

測定地點 項目	漳州	英國	鹿林山	花蓮	台中	彰化	南投	雲林	嘉義	台南	高雄	屏東
PM ₁₀			12.70	27.9	42.18	35.7	36.0	53.0	37.3	80.4	44.8	40.8
鎘			0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02
鉛			0.00	481	1016	744	648.0	907	387	1260	1065	732
鉍	2.6	2.02	0.72	3.66	9.72	9.74	5.85	12.1	5.42	13.6	13.6	7.82
鎘		3.54	0.77	2.53	6.88	4.85	3.82	4.56	3.34	16.4	7.93	7.23
錳		13.2	1.36	7.19	34.13	15.00	16.10	20.6	18.8	40.2	29.5	21.0
鎘	0.19		0.04	0.23	0.54	0.34	0.33	0.47	0.36	0.66	0.56	0.34
鎳	3.5	3.21	1.02	3.24	10.10	9.05	7.06	9.12	5.72	13.4	14.3	7.29
銅	5.2	15.6	10.99	25.8	56.80	33.0	29.80	30.1	26.8	49.4	26.7	30.5
砷	33	71.8	22.69	35.1	145.1	197.0	76.7	147	127	204	121	84.0
砷	0.6	0.63	0.08	0.48	1.04	1.16	0.93	1.33	1.02	2.56	1.07	0.91
硒	0.2		0.13	0.37	0.97	0.73	0.68	1.76	0.94	2.31	1.01	0.98
銀			0.04	0.05	0.15	0.06	0.08	0.15	0.11	0.22	0.12	0.12
錳	0.14	0.34	0.07	0.28	0.73	0.54	0.37	0.55	0.54	1.29	0.81	0.720
鉍			0.00	7.46	21.70	13.50	9.00	14.2	12.9	14.4	23.3	9.10
鈷			0.01	0.08	0.16	0.11	0.11	0.15	0.07	0.22	0.14	0.12
鉍			0.01	0.22	0.06	0.04	0.04	0.85	0.05	0.22	0.08	0.06
鎘	30	16	2.44	4.76	21.50	17.3	13.5	23.7	22.9	38.7	21.3	21.0
錫			0.14	0.40	12.50	2.20	1.35	2.08	1.57	3.10	2.82	1.36

表 10 台中市以南 3 個地區與英國、澳洲粒狀物元素年平均値比較 (單位-ng/m³)

分析項目	中部	南部	東部	澳洲	英國	空氣品質標準-歐盟
As	1.12	1.49	0.48	0.6	0.63	6
Cd	0.55	0.84	0.28	0.17	0.34	5
Cr	4.64	10.08	2.53		3.54	
Cu	37.43	36.82	25.79	8.2	15.6	
Mn	21.50	28.68	7.19		13.2	
Pb	19.08	28.41	4.74	30	16	500
V	9.36	10.69	3.66	2.6	2.02	
Zn	195	143.58	35.06	33	71.8	
Co	0.29	0.60	0.29	0.19		
Ni	8.83	10.70	3.24	3.5	3.21	20

表 12 不同類型採樣點空氣中粒狀物元素檢測平均值比較
(PM₁₀：μg/m³，其他：ng/m³)

項目	全年平均	工業	普通-都會	普通-郊區	交通(參考)	背景
PM ₁₀	46.4	57.5	46.7	42.5	69.4	14.2
鈹	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.01
鋁	824.4	940	856	641	1126	145
鈳	10.04	11.6	9.80	7.74	13.2	3.51
鉻	8.40	9.78	9.56	5.78	11.0	0.87
錳	24.56	31.5	27.0	18.2	31.5	3.26
鈷	0.46	0.6	0.51	0.35	0.40	0.08
鎳	10.10	12.3	11.2	7.74	7.45	2.63
銅	37.02	36.0	40.6	32.4	96.2	12.8
鋅	133	163	132	132	162	27.9
砷	1.27	1.59	1.26	1.17	1.68	0.18
硒	1.20	1.65	1.18	1.0	1.46	0.35
銀	0.14	0.15	0.14	0.12	0.16	0.03
鎘	0.69	1.17	0.69	0.47	0.72	0.11
鉍	14.30	15.2	16.9	10.9	13.2	0.53
鈳	0.13	0.15	0.14	0.10	0.17	0.04
鉈	0.12	0.25	0.10	0.02	0.09	0.02
鉛	23.58	29.12	24.4	18.4	31.2	4.07
銻	3.10	2.20	4.62	1.52	2.04	0.4

(參考) 台中以南交通類型僅高雄市鳳山區曹公國小站樣品數不足

表 13 不同季節採樣點環境空氣中粒狀物元素檢測結果
(PM₁₀：μg/m³，其他：ng/m³)

項目	夏季		冬季		全部平均
	測定範圍	平均	測定範圍	平均	
PM ₁₀	8.8~106.1	41.9	12.7~122.8	45.4	46.4
鈹	0.00~0.06	0.02	0.0~0.1	0.02	0.02
鋁	8.49~2906.5	953.90	0~2234.9	824.4	824.4
鈳	0.3~36.26	11.08	1.13~31.5	10.04	10.04
鉻	0.0~22.75	7.68	0.00~62.8	9.11	8.40
錳	0.62~85.06	26.85	0.71~67.67	13.65	24.56
鈷	0.02~2.0	0.52	0.02~0.99	0.40	0.46
鎳	0.09~43.27	10.65	1.08~21.87	9.56	10.10
銅	1.25~215.7	41.52	11.34~92.77	32.51	37.02
鋅	19.38~409.46	137.20	1.41~460.72	128.11	132.66

砷	0.00~3.26	1.24	0.0~5.64	0.32	1.27
硒	0.06~3.43	1.04	0.07~5.68	1.36	1.20
銀	0.02~0.36	0.13	0.01~0.38	0.14	0.14
鎘	0.02~6.44	0.70	0.02~1.86	0.67	0.69
鉍	0.0~66.8	15.91	0.0~46.35	12.7	14.30
鈷	0.0~0.47	0.17	0~0.28	0.08	0.13
鉈	0.01~0.37	0.09	0.0~1.64	0.15	0.12
鉛	1.25~60.61	21.02	0.58~85.95	26.14	23.58
銻	0.01~49.2	4.13	0.0~6.39	2.07	3.10

表 14 不同國家空氣中粒狀物元素檢測結果比較
(PM₁₀: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 其他: ng/m^3)

項目	台灣	歐 盟	英國(2008)	澳洲(2003)
鈳	10.04		2.02	2.6
鉻	8.40		3.54	
錳	24.56		13.2	
鈷	0.46			0.19
鎳	10.10	20	3.21	3.5
銅	37.02		15.6	8.2
鋅	133		71.8	33
砷	1.27	6.0	0.63	0.6
硒	1.20			0.2
鎘	0.69	5.0	0.34	0.17
鉛	23.58	500	16.0	30

表 15 同縣市不同類型採樣點空氣中元素含量推估潛在風險

推估項目	高雄潮寮 (工業)	高雄復興 (普通- 都會)	高雄橋頭 (背景)	高雄曹公 國小 (交通)	台南南科 (工業)	台南安順 (普通-都 會)	台南烏山頭 (普通-鄉 村)
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	86.2	40.9	56.0	69.4	105	70.4	71.0
Pb-As-Cd (ng/m^3)	70.9	24.52	41.26	33.8	67.37	38.05	22.93
Ni-Cu-Zn (ng/m^3)	324.2	186.7	298.8	265.1	417.8	231	165
Tl-Ba-Sb (ng/m^3)	37.12	15.84	23.64	15.33	13.07	26.79	10.18

* Pb-As-Cd 高毒性風險高

* Ni-Cu-Zn 中毒性風險平常

* Tl-Ba-Sb 低毒性風險低

表 16 不同縣市同類型採樣點空氣中元素含量推估潛在風險

推估項目	高雄林園 (工業)	彰化線西 (工業)	雲林台西 (工業)	花蓮和平 (工業)	台中豐原 (普通- 都會)	嘉義嘉興 (普通- 都會)	彰化忠孝 (普通-都 會)
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	63.0	27.6	51.6	43.7	35.7	52.7	39.5
Pb-As-Cd (ng/m^3)	36.89	21.88	18.59	8.6	21.18	50.04	20.2
Ni-Cu-Zn (ng/m^3)	204.3	238.27	141.92	106.06	238.6	225.38	201.87
Tl-Ba-Sb (ng/m^3)	22.97	14.36	18.32	8.79	21.3	35.49	18.72

* Pb-As-Cd 高毒性風險高

* Ni-Cu-Zn 中毒性風險平常

* Tl-Ba-Sb 低毒性風險低

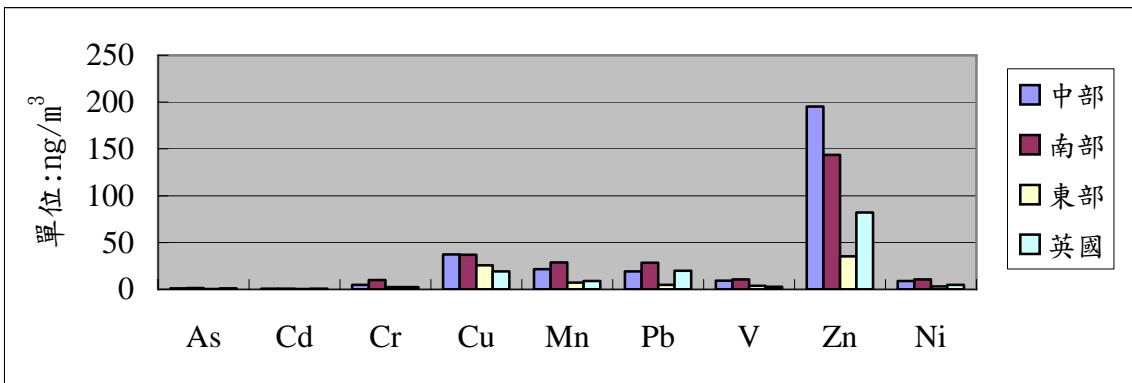


圖 1 不同地區空氣中粒狀物元素檢測結果

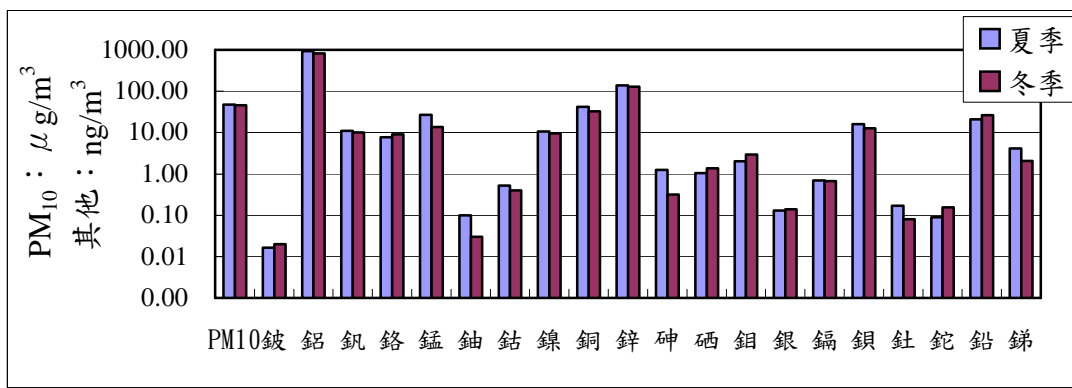


圖 2 不同季節空氣中粒狀物元素檢測結果

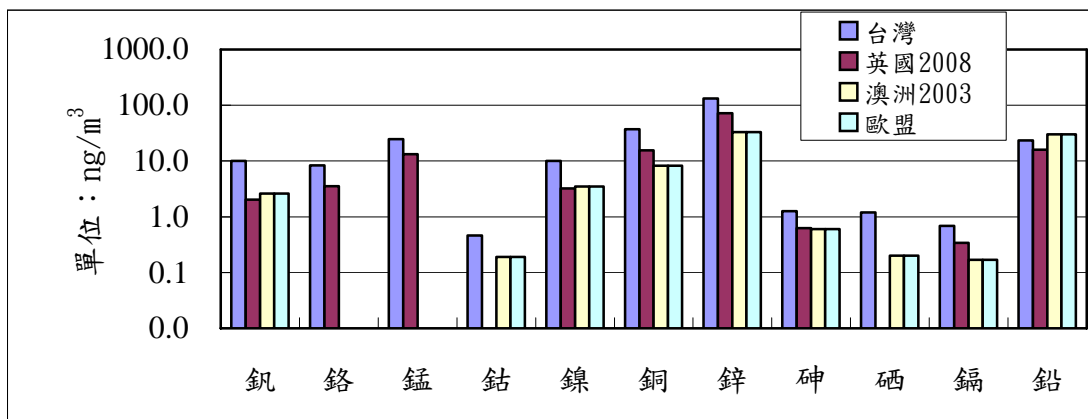


圖 3 不同國家空氣中粒狀物元素檢測結果比較

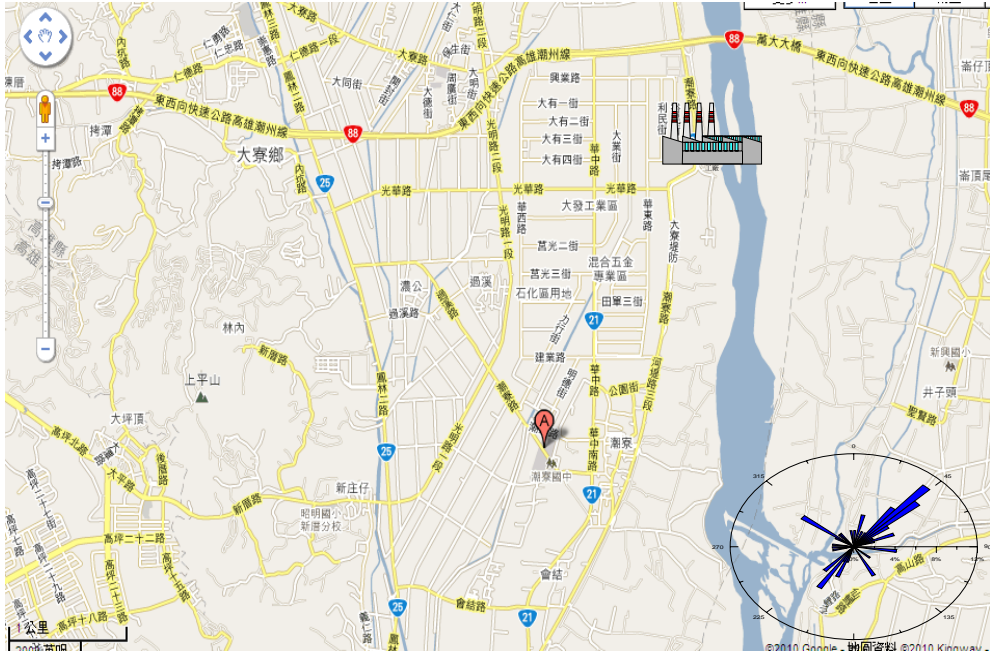


圖 4 大寮測站 (A) 風向圖與可能排放源之關係



圖 5 南科站 (A) 風向圖與可能排放源之關係



圖 6 豐原站 (A) 風向圖與可能排放源之關係