

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 臭氧及 PM1/PM2.5/PM10 氣懸微粒之暴露及健康風險評估 – 子計畫二：PM1/PM2.5/PM10 氣懸微粒粒徑分佈特性之評估

計畫類別： 個別型計畫    €整合型計畫

計畫編號： NSC 88-2621-Z-002-011

執行時間： 87 年 8 月 1 日 至 88 年 7 月 31 日

整合型計畫： 總計畫主持人：王秋森  
子計畫主持人：陳志傑  
共同主持人：

處理方式： 可立即對外提供參考  
一年後可對外提供參考  
兩年後可對外提供參考  
(必要時，本會得展延發表時間)

執行單位：台灣大學公衛學院職業醫學與工業衛生研究所

中華民國 88 年 10 月 30 日

# 目錄

	頁碼
一、摘要	2
中文摘要	
二、前言	3
2-1 研究動機	
2-2 研究目的	
2-3 預期目標	
三、文獻探討	7
3-1 大氣中氣懸微粒的形成機制	
3-2 二次氣懸微粒形成機制探討	
3-3 大氣中氣懸微粒的化學組成	
3-4 大氣中氣懸微粒所造成的影響	
3-5 微粒採樣分徑準則	
四、研究方法	13
4-1 採樣設置及量測地點概況	
4-2 採樣策略	
4-3 濾紙的秤重與使用	
4-4 品保、品管管理	
4-5 懸浮微粒樣本之分析	
4-6 採樣儀器說明	
五、現階段成果與討論	19
六、參考文獻	24
七、附錄	28

## 一、摘要

### 中文摘要

在美國環保署『清境空氣科學諮詢委員會 (Clean Air Science Advisory Committee, CASAC)』建議頒佈 PM2.5 標準,但在此同時仍維持 PM10 標準並未予以取消。繼美國推出法規之後,在台灣方面細微粒部分的管制標準也越來越受專家學者重視。而本研究目的在於研究台灣本土的大氣氣懸微粒粒徑分佈的特性,以供未來細微粒空污標準修正時做為參考。

在研究中,首要的目的在於建立台灣地區的氣懸微粒粒徑分佈的資料庫。故每個月皆有 2 至 4 次的戶外採樣,採樣地點挑選台北市台大醫學院校區校園,每次採樣皆做 48 小時的連續監測。為了能同時獲得微粒的數目濃度,粒徑分佈及質量濃度,同時採用直讀式(氣動微粒分徑器(APS)、掃描式電移動度微粒偵測儀採樣(SMPS)微粒粒徑與數目濃度監測,並配合採用採用分道採樣器(Dichotomous),氣懸微粒質量偵測儀(TEOM),微孔均勻沈積衝擊器(MOUDI)做為微粒粒徑與質量濃度監測。此外,為了能瞭解各 PM2.5、PM10 採樣器及直讀式儀器的性能,於研究中並結合中央氣象台的氣象資料,探討氣候因子對於各採樣器的影響。最後根據研究中所做的微粒粒徑資料庫,找出粗細微粒雙峰的分界點。

研究發現微粒粒徑分佈可能因降雨產生的水沫或小分子凝結在微粒表面,造成直讀式儀器誤判,而在細微粒部分造成高估的現象。而在濕度高或風速大的氣候,也發現細微粒(截取粒徑小於 2.5  $\mu\text{m}$ ) 佔 PM10 的比例提高。在日夜分開採樣方面,因為日夜氣候的變化及人類的活動頻繁,對於整體微粒的粒徑分佈與質量濃度有很大的影響;小於 1  $\mu\text{m}$  的細微粒,因日間污染源較多及陽光所催化的二次微粒生成,在數目濃度上遠大於夜間的濃度。但在夜間的監測,發現到以質量濃度為指標,比以數目濃度為指標更容易看得出微粒濃度的變化。由連續監測資料看來,夜間的氣懸微粒數目濃度與質量濃度皆較日間來的低,顯示在台北大都會地區,夜間空氣品質較日間好。最後發現大台北地區的粗細微粒的分界點落於 0.7 至 1  $\mu\text{m}$  之間。建議在未來做細微粒監測,可採用 PM1 為標準,能更清楚代表真正細微粒的濃度。

關鍵詞：

氣懸微粒、雙峰分佈、二次微粒、空氣品質

## 二、前言

### 2-1 研究動機

台灣地區近年來工商業急速發展，平均國民所得(GNP)大幅上升。但經濟高度發展之餘，台灣居住環境與居民健康的惡化，例如都市臭氧、酸雨的酸化作用、過敏與肺部疾病案例激增，卻是不容忽視的。民國八十三年台灣地區空氣污染指標 PSI 平均值大於 100 之日數比率高達 12 %，為使民國八十六年台灣地區空氣污染指標 PSI 平均值低於 100 之日數比率小於 6.5 %，及民國九十年台灣地區空氣污染指標 PSI 平均值低於 100 之日數比率小於 3 %，以便於達到國家環境保護計畫要求，應對空氣污染現狀進行合理防治措施，如對空氣污染物來源的掌握，空氣污染物排放源的減量、再處理、限量管制、污染物排放特性與排放總量之探討、台灣各地區污染物擴散特性之探討、各地區空氣品質與污染防制區之規劃、環保法規的修訂與空氣污染控制、防制之技術研發及獎勵措施之配合等，以改善維護台灣地區空氣品質。根據 77 至 81 年空氣污染指標 PSI>100 之最大指標物以 PM10 所佔的比例最高，並由 77 年的 70% 年年上升至 81 的 88%，且目前空氣品質標準規定，PM10 日平均值標準  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，年平均值標準  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由監測站資料則顯示 PM10 標準未達成率在 90% 以上，由此可知粒狀物 ( Particle Matter, PM ) 是造成空氣品質不良的禍首。

氣懸微粒對於人體健康所造成之危害與微粒的粒徑、成分、濃度有很大的關係。根據美國國家空氣污染管制局 ( National Air Pollution Control Administration ) 所制訂的粒狀物空氣品質標準中指出，粒狀物依粒徑大小在鼻咽部、氣管及支氣管、肺泡等三個部分的沈積效率各有不同，粒徑大於  $10 \mu\text{m}$  的幾乎可完全沈積在鼻咽部，粒徑在  $2\sim 5 \mu\text{m}$  的微粒約 10% 沈積於支氣管，約 20~30% 沈積於肺泡，而粒徑小於  $2 \mu\text{m}$  的主要沈積在肺泡組織中。另外的文獻指出氣懸微粒在人體中的沈積效率，以粒徑在  $0.1\sim 1 \mu\text{m}$  範圍中最差，約在 30% 以下。粒徑大於或小於此範圍者其沈積率都較高。

在 1987 年美國環境保護署開始實行 PM10 的標準，但最近更新的研究計畫結果顯示，小於  $2.5 \mu\text{m}$  的微粒濃度似乎與人體危害程度的關係更為密切。在相同成分、相同的質量濃度的粗、細微粒，細微粒數目濃度遠大粗微粒濃度，且細微粒有較大的穿透效率 ( Penetration Efficiency ) 穿過鼻咽區，甚至到達肺泡區，而且研究中 ( Oberdorster, 1992 ) 指出由於同質量濃度下細微粒有較高的表面積濃度，尤其是在超細微粒範圍 ( 微粒幾何粒徑小於  $0.1 \mu\text{m}$  )，與支氣管或肺泡作用造成的發炎作用比粗顆粒來的嚴重。暴露於懸浮微粒可能造成的健康危害有死胎比率上升、呼吸困難、氣喘加重，住院率上升，急診次數增加。

所以美國環保署『清境空氣科學諮詢委員會 ( Clean Air Science Advisory

Committee, CASAC)』建議頒佈 PM2.5 標準，但在此同時仍維持 PM10 標準並未予以取消。繼美國推出法規之後，台灣方面細微粒部分的管制標準也越來越受專家學者重視。但究竟細微粒部分究竟應以 PM1 或是 PM2.5 為指標，至今仍未有定論。

在台灣於民國八十一年二月一日修訂「空氣污染防制法」，其中第十條規定各級機關應依污染源排放空氣污染物之種類及排放量，徵收空氣污染防制費用。此款闡明污染者付費精神，而非以往政府來負擔，依據此一精神遂訂定「空氣污染防制費收費辦法」。從八十四年七月一日起，開始由政府對指不因本身動力而改變位置之污染源的固定污染源，亦即對其所使用油（燃）料以及蒙特婁議定書列管化學物質之數量、移動污染源所使用油（燃）料之數目課徵空氣污染防制費，成立空氣污染防制基金，冀能有效地推動空氣污染的防制工作，進而改善空氣品質，足見政府及環保署的決心，空氣污染防制基金的用途之一在於空氣品質監測。而在台灣粒狀物標準部分，以 PSI、PM10 為主，但由於地域、氣象條件、污染型態的不同，現有 PM10 管制標準在台灣之適用性，與未來是否需要採用 PM1 或 PM2.5 標準，仍有待研究評估。

## 2-2 研究目的

- } 藉由氣懸微粒粒徑之偵測，建立都會區大氣氣懸微粒粒徑分佈與特性資料庫，並以進行大氣氣懸微粒粒徑分佈之解析。另建立室內、外氣懸微粒粒徑分佈變化之特性關係，探討與評估適合國內地區之氣懸微粒分徑標準。
- } 評估若台灣引用美國環境保護署最新 PM2.5 或未來可能的 PM1.0 的新法規，對於台灣目前空氣污染現況管制、社會經濟層面及環境保護的適用性。

## 2-3 預期目標

1. 建立大台北都會區氣懸微粒污染物物理特性資料庫，包括粒徑分佈、數目濃度、重量濃度、及其與時間的相關與變異。
2. 找尋大氣氣懸微粒分佈 Bimodal 模式之最佳分界點，清楚區分粗微粒組 (Coarse Dust) 和細微粒組 (Fine Dust)
3. 比較分道採樣器(Dichotomous)、氣懸微粒質量偵測儀(TEOM)與直讀式儀器(氣

動微粒分徑器，掃描式電移動度微粒偵測儀)的測量差異。

- 4.比較日間、夜間溫濕度的變化，對於大氣懸浮微粒粒徑分佈的影響。
- 5.探討降雨是否會影響分道採樣器、氣懸微粒質量偵測儀，與直讀式儀器（氣動微粒分徑器，掃描式電移動度微粒偵測儀）的量測，並與氣象資料(溫度、濕度、風速、風向、降雨量)結合，以瞭解氣候條件對儀器的影響。
- 6.探討影響粗微粒與細微粒比值的因素，並以氣懸微粒質量偵測儀(PM10、PM2.5)進行即時量測。

### 三、文獻探討

氣懸微粒對於人體健康所造成的危害與微粒的粒徑、成分、濃度有極大的關係。根據美國國家空氣污染管制局 ( National Air Pollution Control Administration ) 所制訂的粒狀物空氣品質標準中指出，粒狀物依粒徑大小在鼻咽部、氣管及支氣管、肺泡等三個部位的沈積效率各有不同，粒徑大於 10  $\mu\text{m}$  的幾乎可完全沈積在鼻咽部，粒徑在 2 - 5  $\mu\text{m}$  的微粒約 10 % 沈積於支氣管，約 20 - 30 % 沈積於肺泡，而粒徑小於 2  $\mu\text{m}$  的主要沈積在肺泡組織中。另外的文獻指出氣懸微粒在人體中的沈積效率，以粒徑在 0.1 - 1  $\mu\text{m}$  範圍中最差，約在 30 % 以下。粒徑大於或小於此範圍者其沈積率都較高。

除 TSP 與 PM<sub>10</sub> 之外，有鑑於較小粒徑之氣懸微粒與人體健康的關係較為密切。美國環保署已於 1997 年 9 月開始執行 PM<sub>2.5</sub> 的標準，其 24 小時平均值標準為 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，年平均值標準 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。美國環保署估計在施行 PM<sub>2.5</sub> 的標準後，每年約可預防 15,000 新生兒之死亡、新增加約近 7 千萬人的保護。降低呼吸困難、氣喘惡化的病例、就醫比率、急診次數減少、孩童呼吸系統疾病案例可明顯下降。並減少老年人、孩童的慢性呼吸系統疾病的危險性。

( <http://134.67.104.12/naaqsfm/>, <file:///Why/temp/Ozone> and Particulate Matter Standards.htm. )

小於 10  $\mu\text{m}$  的微粒物質，包含粒徑小於 2.5  $\mu\text{m}$  的細小污染微粒，藉由吸收 ( Absorb ) 或反射 ( Scatter ) 光線，在大氣中會形成一層薄霧 ( Haze )，直接影響大氣的可見度。而且吸入細小污染微粒，可能與引起新生兒死亡、呼吸困難、氣喘惡化、就醫比率提高、急診次數增加、孩童呼吸系統疾病案例明顯上升有關。且可能增加老年人、孩童的慢性呼吸系統疾病的危險性。

( <http://www.epa.gov/oar/oaqps/airtrans/>, <file:///Why/temp/Regional> Approaches to Improving Air Quality(OAQPS(Particulate Matter)).htm ) 所以有必要針對大氣氣懸微粒之粒徑分佈與濃度做一長時間的監測，以評估、瞭解真正代表人體的暴露值。

#### 3-1 大氣中氣懸微粒的形成機制

大氣中氣懸微粒包含固態 ( Solid ) 及液態 ( Liquid ) 微粒。除了對人體健康造成危害外，對整個地球生態環境與氣候變遷也佔有舉足輕重的地位。酸性微粒也會造成建築物的毀損、腐蝕。微粒的來源除了由自然界如火山爆發或是在大氣中因物理的固氣相轉換、化學反應所產生外，如：SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC....等，在空氣中與其他化合物反應形成微粒，尚有來自人為活動的部份，諸如，煙囪、交通工具....等。由於途徑紛雜，造成微粒的成分繁複，不僅可能包含物理形成的成分，也有化學成分。大於 2.5  $\mu\text{m}$  的微粒大多來自於車輛行駛所引起的揚塵、物料使用、水泥製造之粉碎、研磨、燃燒等。小於 2.5  $\mu\text{m}$  的細小 ( Fine ) 微粒則大多來自於機動車輛之油料燃燒、然煤、油發電廠、工業制程、居家燃燒 ( 油料或煤料 )、燒材火爐、林間野火、農業過程之焚燒....等等。

( <http://www.epa.gov/oar/oaqps/airtrans/>, <file:///Why/temp/Regional> Approaches to Improving Air Quality (OAQPS (Particulate Matter) ).htm )

另外，大氣中的懸浮微粒之形成機制依其粒徑大小不同也可分為 ( Whitby,

K.T., 1978) :

- 1.經由機械力所產生者。例如海洋飛沫、火山爆發灰燼、風揚塵等，其粒徑大都在  $2\ \mu\text{m}$  以上，所以幾乎可以沈降方式除去。
- 2.經由凝聚而成型者。大氣中的氣體經化學反應形成低揮發性蒸汽，可直接形成液滴或經由均勻核化 (Homogeneous Nucleation) 及凝結生長，再形成液滴，亦可經由鏈聚合 (Chain Aggregates) 最終再凝聚成微粒。此類粒徑大約在  $0.1\sim 2\ \mu\text{m}$ ，因其沈降速度較小，大部份以落雨、洗滌的方式除去。
- 3.轉變性核子或艾特肯核子 (Aitken Nuclei)，粒徑多在  $0.1\ \mu\text{m}$  以下，主要是經由高溫蒸氣凝成原發性微粒 (Primary Particles)，再由凝聚或鏈之聚合而形成，此種微粒在排放後短時間內會與其他粒子相互凝聚而形成較大粒徑的微粒。

一般來說，燃燒產生的微粒常由溫度高的煙囪釋出，並可能分佈在較高位置的大氣中。而與土壤來源相關的氣懸微粒，則可能分佈在較低位置的大氣環境中。

### 3-2 二次氣懸微粒形成機制探討

在大氣中二次氣懸微粒的形成主要是由  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  與  $\text{NH}_3$  在空氣中進行化學反應，形成硫酸銨 (Ammonium Sulfate) 及硝酸鹽 (Nitrate)。而  $\text{SO}_2$  主要的來源為石化燃料在鍋爐的燃燒；而  $\text{NO}_x$  則主要來自石化燃料在鍋爐的燃燒及汽車引擎燃燒燃料所產生。(Emission, Monitoring and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards, 1997) 其形成機制大部份是依據下列反應式：

- 1.氣體間的反應形成低揮發性的產物 (例如 Cycloalkene +  $\text{O}_3$  Multi-functional Oxygenated Products)，再與其他可凝結的分子聚集物結合而形成新的微粒，或者是直接凝結在已存在的微粒表面。
- 2.氣體直接與已存在微粒之表面作用形成可凝結的產物，(例如  $\text{NO}_2$  或  $\text{HNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{NaNO}_3$ )
- 3.微粒本身內的化學反應 (例如  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{Sulfate}$ )

以美國 Washington, D.C. 為例，探討大氣中  $\text{PM}_{2.5}$  的來源組成，其中與土壤相關的來源約佔 5-15%；燃燒來源約佔 35-60%；硫酸鹽約佔 50%。(Emission, Monitoring and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards, 1997.)

Husar 以及 Whitby (1973) 在一項光化學霧 (Photochemical Smog) 形成的實驗中，利用已過濾之乾淨空氣造成同質成核 (Homogeneous Nucleation)。在實驗之初微粒數目會急速增加然後再降低，期間數目濃度升高的原因是由於低蒸氣壓生成物的成核 (Nucleation) 作用所造成，但當核粒 (Nuclei) 數目增加至某一程度則會有兩種機制抑制新核粒的產生：

- 1.分子聚集物的吞噬作用 (Scavenging)
- 2.因膠結作用 (Coagulation) 而生成較大的微粒。

Friedlander (1983) 對此同質成核以形成時間的關係有相當深入的研究。至於二次氣懸微粒之成長速率如何受到前述三種形成機制的影響。茲簡述於表一：



由表中可知直徑成長率與微粒直徑的相關變化範圍是  $D^{-1}$  至  $D$ ，而體積成長率與微粒直徑的相關變化範圍則為  $D$  至  $D^3$ 。

總括言之，二次有機微粒的形成可能是由於凝結 ( Condensation ) 機制，或經由 VOC 氣體前驅物的化學反應機制，但是它們個別的總量並不易測量。而以化學特性的環境偵測，或光化學分散模式 ( Photochemical Dispersion Modeling )，卻可適當的描述 PM<sub>2.5</sub> 的排放量。( Emission, Monitoring and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards, 1997 )

### 3-3 大氣中氣懸微粒的化學組成

Spengler 等人於 1983 年，以分道採樣器採集美國數州的大氣中可呼吸性微粒，之後以 X 射線螢光分析儀分析採集樣本的元素種類，結果發現不同季節所採得的氣懸微粒樣本其化學組成並不盡相同，其中也提到以部份的元素濃度比值來判定可能的微粒來源。對於微粒來源的探討方面，Watson 曾整理 1979 年之前各種微粒所可能代表的來源，並將微粒源分類為：

- 1.地殼組成物質、
- 2.交通工具所排放物質、
- 3.石化燃料的燃燒、
- 4.自然界中植物的燃燒
- 5.其他工業的排放等。

近年來 Ehrman ( 1992 ) 觀察大氣中微粒組成變化與人為活動的關連，發現隨著無鉛汽油的推廣運用，大氣中微粒組成的 Pb 及 Br 含量也隨著減少。美國環境保護署(1989)依不同的粒徑範圍將微粒劃分以描述空氣品質，如總粒狀物 ( TP )、總懸浮微粒 ( TSP ) 等，並將 1990 年之前已見於文獻的微粒源組成彙編成微粒化學組成資料庫，將微粒源分成二十個種類，部分分為粗 ( 2.5  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$  )、細粒徑 ( < 2.5  $\mu\text{m}$  ) 兩種。國內微粒源組成資料方面有蔣本基等於 1990 年對土壤及塵土等微粒以過篩的方式濾出直徑小於 37  $\mu\text{m}$  的微粒作分析，在 1993、1994 年又針對工廠煙道所排放的微粒進行採樣分析，包括有磚窯業、鍋爐燃燒、石化業、水泥業等，以感應偶合電漿光譜儀 ( Inductively Coupled Plasma Spectroscopy, ICP ) 離子層析儀 ( Ion Chromatography, IC ) 元素分析儀 ( Elemental Analyzer ) 分析，但主要著重於北台灣部份。

### 3-4 大氣中氣懸微粒所造成的影響

大氣中氣懸微粒在空氣中不僅會降低可見度 ( Visibility )，尤其是會影響人體的健康。工業制程、農業上的焚燒舉動、人類活動...等，皆會造成煙塵 ( Smoke )、灰塵 ( Dust )、有色氣體 ( Colored Gases ) 的排放。而細小的微粒物質藉由吸收 ( Absorb ) 或反射 ( Scatter ) 光線，在大氣中會形成一層薄霧 ( Haze )，直接影響大氣的可見度。其惡化情況可持續數天之久，並可能擴展數百公里。在美國東部，大氣能見度可能由 90 英哩減至 14~24 英哩。而在美國西部，則可能由 140 英哩減至 33~90 英哩，尤其在夏天大氣流動速率緩慢時特別嚴重。

( <http://www.epa.gov/oar/oaqps/airtrans/>, [file:///Why/temp/Regional Approaches to Improving Air Quality\(OAQPS\(Particulate Matter\)\).htm](file:///Why/temp/Regional Approaches to Improving Air Quality(OAQPS(Particulate Matter)).htm), 1997. )

在我國空氣污染防治法施行細則中，將粒狀污染物區分為粒徑在 10  $\mu\text{m}$  以下的懸浮微粒和粒徑超過 10  $\mu\text{m}$  的落塵。而根據美國 EPA 所彙編的資料，則將粒狀物依粒徑大小區分為 30  $\mu\text{m}$ 、15  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$ 、5  $\mu\text{m}$  及 2.5  $\mu\text{m}$  等級，而各級在空氣品質的標準上有不同的意義。在某些研究中，則將微粒物質概括分為粗粒組 (Coarse Dust) 和細粒組 (Fine Dust) 兩大類，兩者以粒徑 2.0  $\mu\text{m}$  為界線。對於國外的都會區而言，細小微粒中約有 30 % 屬於有機性氣懸微粒 (Organic Aerosol)。有些含有多環芳香烴 (PAH) 之氣懸微粒則具有致癌性或致突變性。目前在台灣空氣品質中，造成空氣污染指標 (PSI) 大於 100 的原因中，絕大部份是因為氣懸微粒所造成的，而其問題之嚴重性則比曾數度發生空氣污染危害事件的美國洛杉磯污染情形有過之而無不及。

這些可以到達人體呼吸器官的粒狀物質對人體呼吸系統主要有三種影響：對主支氣管產生危害，造成纖毛麻痺、支氣管粘膜過度分泌、粘液腺增生、引起可逆性痙攣、抑制深呼吸、並漫延至小支氣管；粒徑較小之微粒對末稍細支氣管有強烈之影響，且低濃度的微粒即可造成明顯的反應，並可能形成慢性支氣管炎、細支氣管擴張、肺水腫或支氣管纖維化等症狀；粒徑 1  $\mu\text{m}$  以下之微粒特別容易到達細肺泡組織，促使肺部之巨噬細胞明顯增加，形成肺氣腫並破壞肺泡。

在一個空氣品質不良、煙霧瀰漫的天候下，一次的吸氣動作約可吸入數百萬顆小於 10  $\mu\text{m}$  的微粒物質，包含粒徑小於 2.5  $\mu\text{m}$  的細小污染微粒。根據最近的研究，暴露在污染空氣或污染的氣懸微粒之下，可能與引起新生兒死亡、呼吸困難、氣喘惡化、就醫比率提高、急診次數增加、孩童呼吸系統疾病案例明顯上升有關。並無獨有偶的增加老年人、孩童的慢性呼吸系統疾病的危險性。

( <http://www.epa.gov/oar/oaqps/airtrans/>, [file:///Why/temp/Regional Approaches to Improving Air Quality\(OAQPS\(Particulate Matter\)\).htm](file:///Why/temp/Regional%20Approaches%20to%20Improving%20Air%20Quality(OAQPS(Particulate%20Matter)).htm), 1997. )

### 3-5 微粒採樣分徑準則

一般評估有害懸浮微粒的方法，是以濾紙收集總氣懸微粒 (Total Aerosol) 重量濃度。進行大氣中懸浮微粒的採樣時，需特別考慮微粒的分徑。因為一些含有毒性物質的微粒在進入人體之後，可能依其物理特性，沈積在呼吸道及呼吸道的特定區域 (Chan, et al., 1980)。但有些氣懸微粒由於粒徑過大，並無法深入及沈積於呼吸道的特定區域而產生傷害。舉例來說，具有較大氣動直徑的含矽氣懸微粒，因其慣性沈降作用較強的緣故，甚少能到達肺泡區部份而導致矽肺症 (Silicosis)。所以在量測含矽氣懸微粒重量濃度時，應予以排除。而人體呼吸管道可分為：1. 呼吸道於頭部之初始區域。2. 支氣管區，包含氣管和纖毛區。3. 肺泡區，包括不含纖毛部份及肺囊泡，等三部份探討。

基於上述理由，實有必要發展分徑採樣器 (Size-selective Sampler)，以量測具代表性的氣懸微粒濃度。因而一些制定標準方法的組織，開始針對此種分徑採樣，提出以微粒氣動直徑為函數的理想分徑準則。而近幾十年來進行健康相關的氣懸微粒分徑採樣時，大都採用 British Medical Research Council (BMRC) 所建議的可呼吸性粉塵 (Respirable)，至 1985 年 International Organization for Standardization (ISO) 建議採用可吸入性 (Inspirable 或 Inhalable)、胸腔區 (Thoracic) 以及肺泡區 (Alveolar) 等三種分徑。在 1984 年美國環境保護署 (The

United States Environmental Protection Agency ; EPA )採用了 PM10 的採樣準則，1985 年 ACGIH 亦另訂了與 ISO 大同小異的分徑標準。

在這麼多的組織所訂定的各種各類準則中，缺乏一個能共同被公認採行的準則，造成無論是在環境上、工廠、個人乃至於政府，於評估危害方面產生困擾、無所適從，不僅耗費財力、人力、物力，也僅只達到事倍功半的效果。所以提出一各國皆認可的準則，是不可避免的趨勢。Sidney C. Soderholm 於 1989 年提出之以下三種分徑建議，目前已被 ACGIH、ISO、CEN (Commite Europeen de Normalisation )及 NIOSH 認可採用。

(一) 可吸入性微粒 (Inspirable or Inhalable Fraction) 採樣器之分徑採樣效率曲線，仍延續 ACGIH 於 1985 年提出之建議：

$$\text{可吸入性微粒: } SI(d) = 50 \% * (1 + e^{-0.06d}) \dots\dots\dots(1)$$

$$0 < d \leq 100 \mu\text{m}$$

SI(d): 氣動直徑為 d μm 時之可吸入性微粒採樣器之收集效率。

主要依據 Vincent & Armbruster 在 1981 年提出，利用人形頭模型於風洞下研究氣懸微粒進入口、鼻之數據資料。

(二) 依據 Yu et al.,1981 ; Miller et al.,1988 ; Heyder et al.,1986 ; Rudolf et al.,1988 等人，利用氣懸微粒沈積於呼吸道的理論推導資料，並考慮實際採樣效率，定義出胸腔性微粒沈積率 (Thoracic Fraction)：

$$\text{胸腔性微粒 : } ST(d) = SI(d) * \{ 1 - F(x) \} \dots\dots\dots(2)$$

$$x = \{ \ln(d/\Gamma) \} / \{ \ln(\Sigma) \}$$

$$\Gamma = 11.64 \mu\text{m}$$

$$\Sigma = 1.5$$

ST：胸腔性微粒採樣器之採樣效率。

F(x) = 標準化變數 x 的累積機率函數。

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{dx}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \dots\dots\dots(3)$$

F(x) 之數值計算法如下：

$$F(x) = \begin{cases} G(y), \text{ for } x \geq 0, \\ 1-G(y), \text{ for } x < 0, \end{cases} \quad y = \left| \frac{x}{\sqrt{2\pi}} \right| \dots\dots\dots(4)$$

$$G(y) = 0.5 ( 1 + 0.14112821y + 0.08864027y^2 + 0.02743349y^3 - 0.0039446y^4 + 0.00328975y^5 )^{-8} \dots\dots\dots (5)$$

當 -4 < y < 4 時，絕對誤差小於 ± 0.0001。

(三) 而依據 Miller et al.,1988 ; Heyder et al.,1986 在支氣管部份微粒沈積研究

之資料，及 Lippmann & Albert.,1969； Chan & Lippmann.,1980； Hyder et al.,1986...人等，在肺泡區微粒沈積研究之資料，並考慮實際採樣器之採樣效率而擬定出：

$$\begin{aligned} \text{呼吸性微粒} : SR(d) &= SI(d) * \{ 1 - F(x) \} \dots\dots\dots(6) \\ F(x) &\text{與上式同} \\ \Gamma &= 4.25 \mu\text{m} \\ \Sigma &= 1.5 \end{aligned}$$

在此國際定義裏加入了可吸入性 “Inhalability” 的觀念，考慮到大顆粒氣懸微粒進入口、鼻的可能性。

而最新的趨勢則是美國環境保護署在 1997 年 9 月開始配合 PM10 準則施行的 PM2.5 規定。若依上述表現準則在可吸入性、胸腔、可呼吸性範圍所得的個別粒徑貫穿率值，由此可畫出個別的分徑曲線，可看出 Respirable 曲線的 50 % 切開粒徑( Cut-off Size )在 4  $\mu\text{m}$ ，而 Thoracic 在 10  $\mu\text{m}$ ，Inhalable 部分則在 100  $\mu\text{m}$  左右。而 US-EPA PM10 及 PM2.5 則分別為 10  $\mu\text{m}$  及 2.5  $\mu\text{m}$ 。

## 四、研究方法

### 4-1 採樣設置及量測地點概況：

採樣地點選在台大醫學院外側近圓形電腦教室屋簷下。所有儀器除了分道採樣器外皆置於一柵欄式的鐵籠，如圖一。由於考量到太過靠近牆壁會有邊界氣流(Boundary Layer)的情形，故採樣的鐵籠離牆壁至少一公尺以上。

### 4-2 採樣策略：

為了能建立都會區之粒徑分佈資料，計畫採用 APS, SMPS 量測氣懸微粒。氣動微粒分徑器(Aerodynamic Particle Sizer, model APS 3310A, TSI Inc., St. Paul, MN, APS)所能偵測粒徑範圍為 0.523  $\mu\text{m}$  到 19.8  $\mu\text{m}$ ，而掃描式電移動度微粒偵測儀( Scanning Mobility Particle Sizer, TSI Inc., Model 3934, St. Paul, M.N., U.S.A., SMPS )所能偵測粒徑範圍為 10 nm 到 810 nm，為能有效評估到整個粒徑範圍，兩台儀器皆為同步連續採樣，並由一抽氣風扇將空氣及懸浮微粒抽入導管，然後兩儀器對導管進行分流採樣。抽氣空氣流速速度已考慮到不得造成採樣儀器採樣損失。而由這兩台儀器可以得到各粒徑之數目濃度，進而推算出表面積濃度，與質量濃度。在本次計畫中，所有以氣動微粒分徑器和掃描式電移動度微粒偵測儀算出的微粒質量濃度，皆以密度為 1  $\text{g}/\text{cm}^3$  進行計算。

除了微粒數目濃度外，為了能正確評估氣懸微粒質量濃度，採用分道採樣器(Dichotomous Sampler, Model 240, Andersen Instrument Inc., Atlanta, GA, U.S.A.)，氣懸微粒質量偵測儀(Ambient Particle <PM-10> Monitor, TEOM series 1440a)，微孔均勻沈積衝擊器( Micro-orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI ) 測量質量濃度，互相做採樣結果比較。各個儀器所採集的原理與切開粒徑不盡相同。分道採樣器是利用虛擬衝擊( Virtual Impactor )的原理，將粒徑分為氣動粒徑小於 2.5  $\mu\text{m}$  細微粒( Fine Particles )及粒徑 2.5~10  $\mu\text{m}$  粗微粒( Coarse Particles )。氣懸微粒質量偵測儀是震盪收集微粒的濾紙，利用頻率的改變推算微粒質量濃度。其擷取粒徑可因採樣頭( inlet head )不同而不一樣，計畫中各自採用 PM10 和 PM2.5 採樣頭。微孔均勻沈積衝擊器收集原理為慣性衝擊，利用多階方式將不同粒徑微粒分開收集於濾紙上。而本計畫所採用的微孔均勻沈積衝擊器的各階切開粒徑為 18  $\mu\text{m}$ 、9.9  $\mu\text{m}$ 、6.2  $\mu\text{m}$ 、3.1  $\mu\text{m}$ 、1.8  $\mu\text{m}$ 、1.0  $\mu\text{m}$ 、0.55  $\mu\text{m}$ 、0.365  $\mu\text{m}$ 、及後濾。

為了提供 PM1、PM2.5、及 PM10 採樣之參考依據，於計畫中亦評估各採樣器之準確性，靈敏度，氣候狀態對採樣器的影響，以比較各採樣器之差異。每次的採樣各儀器皆盡量能連續並同時採樣超過七十二小時。為了能正確的評估每月的氣懸微粒情形，每月挑選一至兩個禮拜進行採樣。而氣候狀況的資料，每月向中央氣象局取得台北地區氣溫、濕度、風向、風速、及降雨量。在探討氣候因子時，除了降雨與非降雨外，還有日夜間採樣的比較，以早上七點至下午七點為日

間採樣，下午七點到隔天早上七點為夜間採樣。

#### 4-3 濾紙的秤重與使用

採樣使用的濾紙，除氣懸微粒質量偵測儀採用廠商所提供的濾紙外，分道採樣器，微孔均勻沈積衝擊器的濾紙主要為 37 mm 之鐵氟龍濾紙。另外使用石英濾紙，以供有機碳，元素碳分析。在濾紙秤重方面，因為濾紙會有些許吸濕現象，故為避免濕度的影響，濾紙在採樣使用前後，皆置於乾燥箱經 24 小時的恆溫、恆濕調節，而秤重時天平室溫濕度亦控制在相同的條件下進行。另為避免靜電對秤重造成干擾，秤重前先以 Po-210 放射源(Staticmaster, Cahn Instruments Inc., Cerritos, CA, U.S.A. ) 消除靜電干擾，之後再以電子微量天平 (Electronic microbalance, M3P-000V001, Sartorius AG, Gottingen, Germany )秤重，其靈敏度可達 1  $\mu\text{g}$ 。

#### 4-4 品保、品管管理：

所有採樣儀器在每次採樣前，均有使用紅外線皂泡計(Bubble Meter)做一級校正。對於需要秤重處理的分道採樣器、微孔均勻沈積衝擊器濾紙均設空白片濾紙(Field Blank)。在資料驗證與儀器狀態掌握上，使用檢查表(Check List)檢查採樣情形，並詳細資料記錄時間、採樣筆數。濾紙秤重以連續五次秤重的算數平均值做為代表，但秤重值相差不得超過 8  $\mu\text{g}$ ，且每秤完三張濾紙，需以標準片秤重一次，檢查質量有無飄移現象，及秤重環境的溫濕度是否維持不變，若標準片秤重差值超過 8  $\mu\text{g}$ ，則此組濾紙需要重新秤重。

#### 4-5 懸浮微粒樣本之分析

##### 1.化學組成分析

能符合化學組成分析的儀器非常多種，需視研究範圍及配合利用國科會貴儀中心合適之分析儀器進行適當選擇，茲就較為應用的種類簡介如下：

##### X 射線螢光分析儀：

由 37 mm 鐵氟龍濾紙 ( Teflon Membrane Filter, pore size 0.2 mm, Gelman Sciences, Ann Arbor, U.S.A. ) 或耐高溫的石英濾紙 ( Quartz Filter, 2500 QAT-UP, Pallflex Products Corporation, Putnam, U.S.A. )所收集的微粒樣本以 X 射線螢光分析儀 ( X-ray Fluorescence, XRF, Kevex 770, Fisons, San Calos, CA, U.S.A. ) 進行多種元素分析，由於它是屬非破壞性的分析法，所以樣本分析之後可繼續作離子層析實驗。X 射線螢光分析儀有兩種，一種為能量分散式 ( Energy Dispersive XRF, EDXRF )，以四種能量供給不同的激發條件分析 10 種元素，另一種為波長分散式 ( Wave Dispersive XRF, WDXRF )。為避免微粒層過厚而使分析準確度降低，濾紙上的微粒質量應盡可能不超過 2.5 mg ( Batterman, S.A., et al., 1988 )。測定的 10 種元素為：Al、Si、S、K、Ti、Cr、Mn、Fe、Zn、Pb，各元素之偵測極限

如表三。儀器使用的激發源為以銻為靶核的 X 射線產生器，陰極電壓控制在 30-35KV，電流則在 2500~3500Ma。分析步驟如下：

- (1) 首先以購置的標準空氣樣本（編號 1648）建立各元素的濃度對應反應面積（Peak Area）之檢量線，並尋找最佳儀器的操作條件。
- (2) 然後先分析空白鐵氟龍濾紙的各元素背景濃度值，再分析樣本濾紙的元素濃度，扣除濾紙元素背景濃度值後即為樣本待測元素濃度。
- (3) 上述操作流程的操作條件應維持一定，包括電流、電壓等。
- (4) 應定期以薄膜標準樣本進行校正。

#### 中子活性分析法：

中子活性分析法( Neutron Activation Analysis, NAA )是先以中子照射樣本，將各元素激發為同位素元素，如  $I^{127}$  激發成為  $I^{128}$ ，再依各元素放射之能譜、強度判斷其種類及其含量。由於元素激發後衰退時間不一，亦可由半衰期長短輔以判定。短半衰期元素在照射後需立即偵測，而長半衰期元素則以避開短半衰期元素之干擾作為偵測時間之參考，短半衰期元素（半衰期 < 7 天者）包括有：Na、Cl、Br、Al、Cu、Mg、Mn、V、Ni、K 等，長半衰期元素（半衰期 > 7 天者）包括 Fe、Zn、Se、Cr、Co、Rb 等。

#### 感應耦合電漿原子發射光譜分析法：

感應耦合電漿原子發射光譜分析法（Inductively Coupled Plasma Spectrometer, ICP）則是以氬氣為媒介，利用高功率射頻所產生的強力電場使氬氣電離並產生高熱，使元素由化合物中解離並激發各原子的特定波長，再以單色分光器或多頻道分光器加以偵測元素種類及含量。茲將以上三種分析法之優缺點比較如表四。

中子活性分析法除耗時較多外，在某些元素的分析上扣除濾紙的背景濃度則呈現近零值或負值的結果，因此能夠分析的元素種類有限，故可選擇感應耦合電漿原子發射光譜分析法，做為大氣樣本組成元素的分析較佳。分析步驟描述如下：首先將樣本分別置於 100 ml 的燒杯中，以王水（硝酸：鹽酸 = 1：3）酸洗，同時並以加熱方式增進元素的溶出，待溶液冷卻後，傾入定量瓶中稀釋至 50 ml 再以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀分析。在每次分析前先以不同濃度之標準品分別做各元素的檢量線，檢量線的  $R^2$  值要求在 0.9 ~ 1。

## 2.元素碳、有機碳分析

使用總有機碳分析儀（Total organic carbon analyzer, model TOC-5000A, Shimadzu corporation）及固態樣本機（Solid sample module, SSM-5000A, Shimadzu corporation）進行分析，分析時應注意大氣中  $CO_2$  的干擾。由於是對碳量做偵測，所以一切使用器皿、器具都應事先於高溫爐中以 950 高溫去除表面附著各種型式的碳。放置樣本之負載容器盡量少暴露於空氣中，以避免有機碳的吸附而影響分析的正確度。

由於受限於裝乘樣本鉢的大小及儀器的分析濃度上限，通常將濾紙裁成四分之一秤重後用以分析，分析元素碳時先將樣本以 350 加熱 30 分鐘以去除有機碳（Cadle et al., 1983），空白濾紙亦經相同步驟處理，扣除濾紙所含的碳量即為所

收集到的元素碳量，處理數據時再加權求得採樣時大氣中的元素碳濃度。另剪下四分之一，不經高溫爐處理，秤重後直接以總有機碳分析儀分析，同樣扣除空白濾紙所含的碳量後即為總碳量，而總碳量與元素碳的差值就是有機碳量。

#### 4-6 採樣儀器說明

##### 1.分道採樣器：

分道採樣器( Dichotomous Sampler, Model 240, Andersen Instrument Inc., Atlanta, GA, U.S.A. )是利用虛擬衝擊器( Virtual Impactor )的原理，將微粒分徑為氣動粒徑小於 2.5  $\mu\text{m}$  (Fine Particles )及大於 2.5  $\mu\text{m}$  小於 10  $\mu\text{m}$  (Coarse Particles) 兩部分。粗微粒部分的採樣流量為 1.67l/min，總採樣流量為 16.7l/min。所採得的微粒濃度計算如下：

$$C_f = \frac{W_f}{(Q_T - Q_c) * t}$$
$$C_c = \frac{W_c - C_f * Q_c * t}{Q_T * t}$$

$C_f$ ：細微粒濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$C_c$ ：粗微粒濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$W_f$ ：細微粒重量=濾紙後重-濾紙前重

$W_c$ ：粗微粒重量=濾紙後重-濾紙前重

$Q_T$ ：總採樣流量 ( 16.7 l/min )

$Q_c$ ：粗微粒採樣流量 ( 1.67 l/min )

$t$ ：總採樣時間 ( min )

##### 2.氣懸微粒質量偵測儀：

氣懸微粒質量偵測儀是利用震盪收集微粒的濾紙，最小可測量質量為 0.1  $\mu\text{g}$ 。可搭配使用不同的採樣頭，做不同微粒範圍的採樣。在計畫中 PM2.5 部分是採用 Rupprecht & Patashnick co.所生產的 PM10 採樣頭(Rupprecht & Patashnick co., Inc. Albany, N.Y., U.S.A. serial No. 1400-4643)，再串接 Rupprecht & Patashnick co.所生產的 PM2.5 旋風器( cyclone ) ( Rupprecht & Patashnick co., Inc. Albany, N.Y., U.S.A. serial No. INSCC AO1269904 )，參看圖二。PM10 部分是安裝一 PM10 的慣性衝擊器來分徑，氣懸微粒質量偵測儀在採樣管徑，與濾紙震動腔都有加溫



的加熱器，可有效避免環境濕度過高水分所造成的影響，但加熱也可能造成高揮發性微粒氯化造成微粒質量濃度低估。故本計畫中加熱溫度設在攝氏 50 度，而 PM10 採樣流量為 4 l/min，PM2.5 採樣流量為 3 l/min。

### 3. 掃描式移動度粒徑分析儀：

掃描式移動度粒徑分析儀所量測的粒徑範圍是 10 ~ 810 nm，其主要構造包括靜電分徑儀（Electrostatic Classifier, model 3070, TSI Inc., St. Paul, M.N.）和凝結核微粒計數器（Condensation Particle Counter, model 3022, Version K, TSI Inc., St. Paul, M.N.）兩部分。靜電分徑儀利用微粒電移動度的不同，來區分微粒的粒徑；凝結核微粒計數器的原理是讓微粒通過一充滿正丁醇的飽和蒸汽腔，在攝氏 36 度下與飽和正丁醇蒸汽混和，此混合氣體通過一溫度為攝氏 10 的管子，使正丁醇凝結於微粒表面，微粒因而長大至可偵測的範圍。利用光學偵測器可得知微粒的數目，凝結核微粒計數器偵測微粒濃度的範圍約  $10^2 \sim 10^6$  個/cm<sup>3</sup>，而其採樣流量設定為 0.3 l/min。

### 4. 氣動微粒分徑器：

氣動微粒分徑器。氣動微粒分徑器是一台即時(Real Time)光學計數器，當微粒飛行經過加速流場後，藉由通過兩條雷射光束時間（Time of flight, TOF）不同，求得微粒的氣動直徑。所謂的氣動直徑直徑是指當微粒和一個單位密度之圓球粒子的氣動特性相同時，此單位密度圓球之直徑即是該粒子的氣動直徑。換言之，無論粒子之形狀或密度為何，只要二者的氣動直徑沈降速度相同，那麼這些粒子的氣動直徑皆相等。氣動微粒分徑器的可掃描的粒徑範圍是 0.8 ~ 30 μm，採樣流量為 5 l/min。氣動微粒分徑器並不適合用來測定高濃度的微粒，當有過多的微粒同時進入光束時會有所謂的疊合誤差(Coincidence errors)產生，就是這些粒子會被誤認為粒徑大數目少的粒子。但是本次採樣濃度大約  $10^4$  個/cm<sup>3</sup>，屬於正常可測範圍。

### 5. 微孔均勻沈積衝擊器：

微孔均勻沈積衝擊器，其一為多階衝擊器。衝擊器的原理為：含有氣懸微粒之氣流加速經過一噴嘴(Nozzle)之後，氣流會轉彎至下一階衝擊器，而較大之微粒因慣性作用衝擊至前方之濾紙而被收集。其有別於一般多階衝擊器的部分為具有旋轉功能，可較為均勻的收集微粒於濾紙上，不僅可秤重而得知每階不同切開粒徑(Cut-off Size)微粒之重量濃度，而且配合不同收集濾紙之特性，也可進行個別的微粒化學特性分析。本次使用的 MOUDI 採樣流量為 30 L/min。

## 五、現階段成果與討論

### 5-1 直讀式儀器(氣動微粒分徑器，掃描式移動度粒徑分析儀)之採樣結果。

本計畫中使用氣動微粒分徑器與掃描式移動度粒徑分析儀作為大氣環境氣懸微粒粒徑連續監測儀器，經由數據分析後可得到時間對粒徑與濃度之三維空間圖( three dimension plot )。圖三為五月一號 16:00 至五月二號 16:00 小時微粒數目濃度監測值。由圖中可清楚看出在五月一號 16:00 至 20:00 及五月二號 白天微粒數目濃度皆偏高。以五月一號小於 1 μm 之微粒數目最多，推測為人類活動所引起(上下班時汽機車所排放的廢氣)。圖四為同一時間、地點之微粒質量濃度監測值。由圖中可看出小於 1 μm 之微粒數目雖多但對於質量部分貢獻不大，故峰值皆落在大於 1 μm 外。在圖三雖可看出微粒數目濃度隨著入夜而降低，但在圖四更可看出 16:00 至 21:00 大顆粒質量濃度部分呈現下降後再上升之凹谷線型。其差異來自於微粒重力沉降速度  $V_{TS}$  不同

大顆粒重力沉降  $V_{TS}$

$$V_{TS} = \frac{\rho_p d^2 g}{18 \mu} \quad d > 1 \mu\text{m} , \text{Re} < 1.0$$

- $\rho_p$  : 微粒質量密度
- $d$  : 微粒幾何粒徑
- $g$  : 為重力常數
- $\mu$  : 為粘滯係數
- $\text{Re}$  : 為雷諾係數

由以上公式知，當氣懸微粒粒徑為 10 μm 時，其沉降速度為 1 μm 的 100 倍。故由微粒質量濃度可以更快觀測到大氣中微粒濃度的變化。在計畫執行期中，每個月抽選 4 至六天進行連續 24 小時採樣，可得到類似圖三、圖四之質量，數目對時間粒徑關係圖，可供作未來氣懸微粒相關研究基本資料庫使用。

### 5-2 以分道採樣器採樣的採樣結果

圖五為分道採樣器由 6 月至 7 月之採樣結果，圖中 R 代表為採樣期間有下雨。在總質量濃度方面，似乎看不出有何規律的情形。但從細微粒質量濃度和粗微粒質量濃度來看，可看出細微粒之變動比粗微粒顯著。兩粗微粒質量濃度幾乎變動不大，故總質量濃度受到細微粒的增減影響幅度較大。

另外由圖五的 PM2.5/PM10 比值圖知，細顆粒佔整體質量皆超過 50% 以上，故影響總質量濃度的主要因素在於細微粒部分。觀察 PM2.5/PM10 比值曲線變動情形發現除了有每日會隨著日夜的變化上升下降外，隨著雨季來臨，比值也會

有持續上升或下降趨勢。如圖中箭頭所示，六月七日至九日為雨天，比值呈現上升趨勢，十日至二十八日為晴天，比值呈現下降趨勢。推測原因應為六月七日至九日因連續降雨，造成濕沉降，而導致粗顆粒減少，故比值上升。

### 5-3 分道採樣器 ,氣懸微粒質量偵測儀 ,與直讀式儀器採樣結果分析比較

圖六為六月至七月分道採樣器與直讀式儀器的採樣結果比較，結果明顯指出 APS、SMPS 所測得的值皆高於分道採樣器，高估的部分皆來自於 PM2.5 部分微粒。推測原因為直讀式儀器在採樣計數的過程中，沒有除濕或去除水沫等裝置，故 SMPS 無法分辨懸浮微粒與採樣中夾帶進的水沫，造成誤判為懸浮微粒；分道採樣器採用慣性衝擊的原理，以採集細微粒和粗微粒。濾紙在採樣前後皆需要經溫度、濕度控制處理二十四小時以上，故分道採樣器採樣結果受到水氣的影響應比直讀式儀器小。

相較於 APS、SMPS 受到空氣水沫影響，TEOM 因採樣氣流在經濾紙秤重前，會經過一加熱至攝氏 50 度之加熱管，故為本計畫中最不受水氣影響的量測儀器。圖七為分道採樣器、TEOM、與 APS、SMPS 的採樣結果比較，分道採樣器的總質量濃度皆大於氣懸微粒質量偵測儀。分道採樣器的濾紙需經二十四小時溫度、濕度控制才能稱重，與氣懸微粒質量偵測儀同樣具有較不受空氣中濕度、水沫影響之特性，並且高出的部分為粗微粒部分，所以高出部分應不是前述所說的水沫的貢獻。圖中氣懸微粒質量偵測儀的數據為五分鐘一筆，經 24 小時後，將所有筆數數據取平均之結果。而分道採樣器的數據為採樣二十四小時平均的結果，由文獻探討知道粗微粒部分因為數目濃度低且微粒質量重，故粗微粒採樣誤差遠比細微粒所造成的效應嚴重。

在即時監測方面，圖八、圖九為分道採樣器與直讀式儀器(APS、SMPS)的 24 小時 PM2.5/PM10 資料，圖十、圖十一為 TOEM PM10、PM2.5 與直讀式儀器的 24 小時資料。圖八、九中可看出直讀式儀器的雨天 PM2.5/PM10 值皆大於分道採樣器，推測應為在雨天中所產生的水沫，造成直讀式儀器誤判為氣懸微粒，而分道採樣器之秤重會經過溫濕度調節處理，可去除水沫的影響。在圖十 TEOM PM10 和直讀式儀器方面，兩者的量測數據很接近，而些微差異來源判斷應為雨天直讀式儀器因有水沫影響量測略高所造成。但在圖十一氣懸微粒質量偵測儀 PM2.5 和直讀式方面則可明顯見到因水沫的影響，造成 APS、SMPS 與 TEOM PM2.5 有很大的差異，也可證明水沫的影響部分以細微粒為主。另外在圖十、十一在中午前微粒濃度皆多呈現上升趨勢，而午後則突然下降。中午前的微粒濃度上升，推測是因為人類活動所引起，而午後的粗微粒濃度陡降是因為午後雷陣雨頻繁，造成氣懸微粒濕沉降，故下雨有助於空氣中氣懸微粒沉降，有淨化空氣的

功用。

在儀器靈敏度(sensitivity)方面，我們可由反應時間評估各儀器。分道採樣器必須累積採樣數小時之重量，才達可秤重之範圍，因此其數據為數小時平均，故靈敏度為最差。TEOM 的反應時間都較直讀式儀器晚半小時左右，可由圖十，十一看出。故直讀式儀器(APS、SMPS)靈敏度最佳，TEOM 次之。不過在考慮儀器靈敏度之外，還得考慮到儀器的適用情形，例如在雨天時就不適宜使用直讀式儀器作為量測工具。

#### 5-4 氣候因素對於 PM2.5 及 PM10 之影響

在探討氣候狀態而影響到微粒成分與微粒粒徑分佈部分，首先探討的即是其日夜間的差異，可看圖十二。圖十二為六月間以分道採樣器作一系列日夜間採樣之細微粒 (Fine) 及粗微粒 (Coarse) 質量濃度。可明顯的看出日間的總懸浮微粒質量皆比夜間的總懸浮微粒質量重。而總懸浮微粒質量濃度高的日間，不見得其夜間濃度也比較高，如 6/8-6/9，6/9-6/10 夜間。推測造成這種情況的原因是除了夜間污染源較少外，在夏季入夜後，濕度上升，造成懸浮微粒吸濕，而可能造成較大懸浮微粒沈降的情形發生。而因為溫濕度變化造成微粒粒徑改變的情形，在本計畫未來研究中將建立溫濕度自動回饋控制腔，配合直讀式儀器(氣動微粒分徑器，掃描式電移動度微粒偵測儀)進行深入研究。

除了日夜間有差異外，同樣是日間但濕度不同也會對微粒粒徑分佈有所差異，如圖十三、圖十四所示。圖十三為六、七月晴天日間分道採樣器 PM2.5/PM10 比值對濕度的關係圖，圖十四則為直讀式儀器的採樣結果對濕度的關係圖。當濕度上昇，由於微粒的吸濕成長速率與微粒粒徑成反比(Hinds, 1982)，故小於 1  $\mu\text{m}$  的次微米微粒成長最快，介於 1  $\mu\text{m}$  至 2.5  $\mu\text{m}$  的細微粒次之，大於 2.5  $\mu\text{m}$  的粗微粒成長最慢。而本研究所測得的微粒數目濃度也以小於 2.5  $\mu\text{m}$  的微粒居多，故 PM2.5/PM10 比值也會跟著上昇，呈現正相關。雖相關度不高(R-sqr=0.26)，可能有其他因素干擾(如以下探討的風速，降雨)，但仍可知濕度為影響微粒粒徑分佈因子之一。

在與中央氣象局風速資料對照後，發現降雨與風速也會對 PM2.5/PM10 比值有影響。為避免前述日夜間差異的影響，將分日間、夜間來比較降雨對 PM2.5/PM10 比值的影響，如圖十五、圖十六。結果顯示不論日間夜間與否，雨天的 PM2.5/PM10 比值皆比晴天 PM2.5/PM10 比值高。(圖九中 6/10-6/11 晚間比值雖高於 6/8-6/9 雨天數據，但仍低於 6/9-6/10 晚間比值)

在風速方面，風速大時可能會引起地面揚塵，參看圖十七、圖十八。圖十七、圖十八為五、六月每小時以 APS，SMPS 測量的 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 比值與風速關係圖。當風速越大時，PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 比值會下降，具負相關關係。由此可推知，當風速增加所造成的揚塵，對於粗微粒增加的貢獻較大。可能是風速增加時會同時吹起粗細微粒，但是一顆 10 μm 粗微粒的重量為同成分 1000 顆 1 μm 細微粒的重量，故粗顆粒被吹起的數目雖少，但其增加重量的比例仍較細微粒部分高。

由前面討論知道下雨與否會影響到採樣的結果，雨量的多寡對於採樣影響程度也是一項變因。圖十九為 5/13-5/14 的監測結果。監測期間並無下雨，可明顯看出微粒數目濃度與微粒質量濃度變化具有相同趨勢。但在圖二十，5/1-5/3 雨天監測結果，則有微粒數目濃度上升，但微粒質量濃度卻有相反的趨勢降低。而降雨量的多寡，則可為其影響因子。在 5/1 16:00 開始降雨，降雨量約為 0.1 mm 左右，隨著雨水的沖洗作用，粗細顆粒的數目濃度皆急速降低，造成數目濃度與重量濃度下降。從 5/2 02:00 至 5/2 11:00 左右雨勢改成為間歇性的小雨，隨著小雨停時，細微粒數目濃度漸漸上升，質量濃度也趨緩上升。在 5/2 21:00 左右雨勢突然變大，降雨量增大為 1.0 mm，這時最先增加的為數目濃度，質量濃度有延遲上升的情形。推測原因應是一開始大雨滴撞擊地面，產生數目頗多的水沫，造成直讀式儀器誤判為細微粒。最後 5/3 凌晨雨停，數目濃度和質量濃度上升至晴天量測值。

### 5-5 氣懸微粒雙峰分佈模式

在本研究中有一個很重要的目的是在於找尋氣懸微粒 Bimodal 模式的最佳分徑點，以清楚區分粗、細微粒。如圖二十一所示，就可清楚看出粗、細微粒的分徑點大約在 0.7 μm 左右。在研究中同時採用微孔均勻沈積衝擊(MOUDI)，及直讀式儀器作為量測工具，如圖二十二所示。在圖二十二中可清楚的看出直讀式儀器所測得的分徑點在於 0.7-1 μm 之間，而微孔均勻沈積衝擊器(MOUDI)所測得的分徑點在於 1-2 μm 之間。造成這兩種儀器測量分徑點有所差異的原因，推測是因為在於粗、細微粒的形成過程、成分不同，粗細微粒的密度會有所不同。而直讀式儀器所測得的結果，皆以密度為 1 g/cm<sup>3</sup> 計算之，故會有所差異。另外圖二十三為 7/1-7/8 每八小時的量測資料，可清楚的看出分徑點因為每天的狀況不同，而有不同的落點，但皆在 0.7-2 μm 這個區間裡。

### 5-6 結論與建議

在本季的採樣中，發現到隨著雨季的來臨，濕沈降的效應變得很明顯，使得原本數目就少的粗微粒數目劇減。故在雨天的天氣中，不論是分道採樣器、

TEOM，或是直讀式儀器都可以發現雨天時 PM2.5 佔 PM10 比例偏高。然而在大多非降雨的日子裡，PM2.5 的質量濃度還是佔 PM10 50 % 以上。由此可瞭解絕大部分懸浮微粒質量（Total Suspended Particle）來自於小於 2.5  $\mu\text{m}$  的細微粒。故有關當局在做污染物管理或監測時，應該考量來自於 PM2.5 部分微粒的貢獻。

其他氣候條件影響微粒粒徑分佈方面，因風所引起的再懸浮現象，會影響 PM2.5/PM10 之比值，在本研究中發現隨著風速上升，PM2.5/PM10 比值有下降的現象，主要因為粗微粒增加之故。另外濕度上升，PM2.5/PM10 上升，是因為微粒吸濕所造成。在日夜間差異方面，日間所得到的微粒質量濃度皆高於夜間採樣，可見在日間人類活動所引起的空氣污染較夜間嚴重。

而在 PM2.5 與 PM10 的採樣監測儀器評估方面，就靈敏度而言，分道採樣器的反應時間是最久也最無法瞭解採樣期間的變化，TEOM 的反應時間較分道採樣器短。反應時間最短為直讀式儀器(APS、SMPS)。但就適用情形而言，三種儀器都可使用於晴天戶外採樣，但在雨天時使用直讀式儀器，須考慮因為降雨產生的水沫，會讓直讀式儀器產生誤判，造成細微粒部分高估。

本研究中發現台灣大台北地區微粒 Bimodal 的分徑點主要是落在 0.7-1.5  $\mu\text{m}$  之間。建議在環境採樣時，可以考慮以 PM1 為台灣細微粒濃度標準，以茲與粗微粒作更好的區分。

## 六、參考文獻

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): Particle size-selective sampling in the workplace. In *Annals of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, 11 Cincinnati: *ACGIH*, pp. 23-100., 1984.
- Agarwal, Jugal K. and Liu, B.Y.H.: A Criterion For Accurate Aerosol Sampling in Calm Air.; *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41(3):191-197., 1980.
- Baron, P. A.: Calibration and Use of the Aerodynamic Particle Sizer (APS 3300).; *Aerosol Science and Technology* 5:55-67., 1986.
- Bartley, D.L. and Breuer, G. M.: Analysis and optimization of the performance of the 10 mm cyclone. *Am. ind. Hvg. Assoc. J.* 43, 520-528., 1982.
- Bartley, D.L., Chen, C.C., Song, R., Fischbach, T.J.; Respirable Aerosol Sampler Performance Testing. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55(11):1036-1046, 1994.
- Bartley, D. L. and Fischbach T. L.: Alternative approaches for analyzing sampling and analytical methods. *In Proc. Int. Symp. on Air Sampling Instrument Performance, Appl. occup. environ Hyg.* 8, 381-385., 1993.
- Batterman, S.A., Dzubay T.G., and Baumgardner R.E.; “Development of crustal profiles for receptor modeling” *Atmospheric Environment*. Vol. 22:1821-1828., 1988.
- Cadle, S.H., Groblicki, P.J., and Mulawa, P.A.; “Problems in the sampling and analysis of carbon particulate.” *Atmos. Environ.* Vol 17: 553-600., 1983.
- Ching, B., Horsfall, P.A.L.: Lung Volumes in Normal Cantonese Subjects: Preliminary Studies. *Thorax* 32:352-355, 1977.
- Committee on Industrial Ventilation: Industrial Ventilation, 18th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, 1984.
- Comite Europeen de Normalisation (CEN) : EN481. Workplace atmospheres: size fraction definitions for measurement of airborne particles in the workplace., 1992.
- Chan, T. L. and Lippmann, M.: Experimental measurements and empirical modelling of the regional deposition of inhaled particles in humans. *Am. ind. Hyg. Assoc. J.* 41, 399-409., 1980.
- Cheng, Y. S., Barr, E. B., Marshall L. A. and Mitchell J. P.: Calibration and Performance of an API\* Aerosizer.; *J. Aerosol Sci.* 24(4), pp. 55-514., 1993.
- Chung, K. Y. K., Ogden, T. L. and Vaughan, N. P.: Wind effects on personal dust samplers. *J. Aerosol Sci.* 18, 159-174., 1987.

- Da Costa, J.L. :Pulmonary Function Studies in Healthy Chinese Adults in Singapore. *Am. Rev. Respir. Dis.* 104:128-131., 1971.
- Dux, J.P.; “ Handbook of Quality Assurance for the Analytical Chemistry Laboratory.” *Van Nostrand Reinhold Company*, New York., 1986.
- Eddins, P.M.: Development and Performance Evaluation of an Opposed-jet Aerosol Generator for Use on a Low Velocity Wind Tunnel-A Research Project Report. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Public Health, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, AL , 1994.
- Eddins, P.M., Gao, P., Dillon, H. K., Farthing, W.E.: A Compact Wind Tunnel for Evaluating Aerosol Samplers. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 11(1), 44-54., 1996.
- Ehrman, S.H., Pratsinis, S.E., and Young, J.R., 1992; *Atmospheric Environment*. 26B:473-481.
- Emission, Monitoring and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards, PM<sub>2.5</sub> Composition and Sources, Jun. 16, 1997.
- Friedlander, S.K.; “Chemical element balances and identification of air pollution source.” *Environ. Sci. Technol.* Vol.7:235-240., 1973.
- Hall, D. J., Upton, S. L., Marshall, G. W., Waters, R. A.: Wind tunnel measurements of the collection efficiency of two PM-10 samplers: the Sierra-Andersen model 321A hi-volume sampler and the EPA prototype dichotomous sampler. *Warren Spring Laboratory Report* no.LR 669 (PA)M, ISBN 0-85624-529-1., 1988.
- Hinds, W.C.: Aerosol Technology—Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, New York, *John Wiley and Sons, Inc.*:pp.164-178. 257, 1982.
- Heyder, J., Gebhart, J., Rudolf, G., Sciuller, C. F. and Stahlhofen, W. :Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005-15  $\mu\text{m}$ . *J. Aerosol Sci.* 17, 811-825., 1986. Also, Erratum. *J.Aerosol Sci.* **18**, 353, 1987.
- <http://134.67.104.12/naaqsfm/>, <file:///Why/temp/Ozone> and Particulate Matter Standards.htm, Jun. 25, 1997.
- <http://134.67.104.12/naaqsfm/>, [file:///C:/temp/EPA's Requirements for Particulate Matter Standards.htm](file:///C:/temp/EPA's%20Requirements%20for%20Particulate%20Matter%20Standards.htm), Jul. 17, 1997.
- <http://www.epa.gov/oar/oaqps/airtrans/>, [file:///Why/temp/Regional Approaches to Improving Air Quality\(OAQPS\(Particulate Matter\)\).htm](file:///Why/temp/Regional%20Approaches%20to%20Improving%20Air%20Quality(OAQPS(Particulate%20Matter)).htm), Sep. 29, 1997.
- International Standards Organization (ISO): Air quality-Particle size fraction definitions for health-related sampling. ISO CD7708, *ISO*, Geneva.,1992.



- International Standards Organization (ISO): ISO 6879. Air quality-performance characteristics and related concepts for air quality measuring methods.,1991.
- Kenny, L C.: Report of progress towards the development of a performance standard for aerosol sampling instruments used in occupational hygiene. *Aerosol. Sci.* 23. 773-779., 1993.
- Kenny, L.C. and Liden, G.: The Application of Performance Standards to Personal.; Airborne Dust Samplers. *Ann. Occup. Hyg.* Vol.33 No.3, pp289-300., 1989.
- Kenny, L.C. and Liden, G.: Comparison of Measured Respirable Dust Sampler Precision Curves with Sampling Convention. *Ann. Occup. Hyg.* Vol.35, pp485-504., 1991.
- Kenny, L. C. and Bartley, D. L.: The performance evaluation of aerosol samplers tested with monodisperse aerosol. *Aerosol Sci.* **26**, 109-126., 1995.
- Lidcn, G. and Kenny, L.: The performance of respirable dust samplers: Sampler bias, precision and inaccuracy. *Ann. Occup. Hyg.* 36., 1992.
- Liden, G. and Kenny, L. C.: Errors in inhalable dust sampling for particles exceeding 100 micrometres. *Ann. occup. Hyg.* 38, 373-384., 1994.
- Miller, F. J., Martonen, T. B., Menache, M. G., Graham, R. C., Spektor, D. M. and Lippmann, M.: Influence of breathing mode and activity level on the regional deposition of inhaled particles and implications for regulatory standards. In *Inhaled Particles VI* (Edited by Dodgson, J., McCallum, R. I., Bailey, M. R. and Fisher, D. R.), pp. 3-10. Pergamon Press, Oxford., 1988.
- Oberdorster, G., Ferin, J., Gelein, R., Soderholm, S. C. and Finkelstein, J. 1992: Role of the Macrophage in Lung Injury: Studies with Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives* 97, 193~199.
- Rudolf, G., Stahlhofen, W. and James, A. C.: Extrathoracic aerosol deposition for nose and mouth breathing: intercomparison and model. *J. Aerosol Med.* 1, 209-210., 1988.
- Seltzer, C.C., Siegelau, A.B., Friedman, G.D., Collen, M.F.: Differences in Pulmonary Function Related ti Smoking Habits and Race. *Am. Rev. Respir. Dis.* 110:598-608 , 1974.
- Soderholm, S.C.: Proposed International Conventions for Particle Size-Selective Sampling. *Ann. Occup. Hyg.* 33(3): 301-320., 1989.
- Spengler, J.D., Thurston, G.D.; "Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U.S. cities." *J. Air Pollution Control Association.* Vol.33: 1162-

- 1171., 1983.
- Tsai, C.J. and Shih T.S.: Particles Collection Efficiency of Two Personal Respirable Dust Samplers.; *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56(9):911-918., 1995.
- U.S. Environmental Protection Agency 40 CFR 50., 1997.
- U.S. Environmental Protection Agency 40 CFR 53 Subpart D: Procedures for testing performance characteristics of methods for PM<sub>10</sub>. 52 FR, 24729 July 1, 1996.
- U.S. Environmental Protection Agency 40 CFR 58., 1997.
- U.S. Environmental Protection Agency; "Complication of air pollutant emission factors.", AP-42, 4<sup>th</sup> Ed., Research Triangle Park, North Carolina., 1985.
- Vincent, J.H.: Aerosol Sampling - Science and Practice, John Wiley & Sons., 1989.
- Vincent, J. H. and Armbruster, L.: On the quantitative definition of the inhalability of airborne dust. *Ann. occup. Hyg.* 24, 245-248., 1981.
- Vincent, J. H., Mark, D., Miller, B. G., Armbruster, L. and Ogden, T. L.: Aerosol inhalability at higher windspeeds. *Aerosol Sci.* 21, 577-586., 1990.
- Wu, M.C.;; Study on Maximal Expiratory Flow and Volume in Chinese: 1. Normal Nonsmoking Adults. *J. Formosan Med. Assoc.* 80:12-29, 1981.
- Whitby, K.T.; Atmospheric Environment, Vol.12:135, 1978.
- Yu, C. P., Diu, C. K. and Soong, T. T.: Statistical analysis of aerosol deposition in nose and mouth. *Am. ind. Hyg. Assoc. J.* 42, 726-733., 1988.

七、附錄  
附表及附圖。