

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

(裝訂線)

環境空氣品質懸浮微粒監測技術

服務機關：台灣電力公司
出國人職稱：一般工程監
姓名：沈宗華
出國地區：美國
出國日期：93.8.18~8.25
報告日期：93.10.18

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：環境空氣品質懸浮微粒監測技術

頁數 25 含附件： 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司人事處/陳德隆

/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

沈宗華/台灣電力公司/環境保護處/一般工程監/(02)2366-7211

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：九十三年八月十八日至九十三年八月二十五日

出國地區：美國

報告日期：九十三年十月十八日

分類號/目

關鍵詞：TSP (總懸浮微粒)、PM(Particulate Matter)、空氣污染指標

(PSI)、原生性或一次污染物(primary pollutants)、衍生性或二

次污染物(secondary pollutants)、PM₁₀(10µm 以下微粒)、

PM_{2.5}(2.5µm 以下微粒)

內容摘要：(二百至三百字)

空氣中懸浮微粒對人體呼吸系統健康之影響，近年來受到專家、學者及民眾之關注，本公司各火力發電廠及煤場分佈全省，其附近均設有空氣品質監測站，並執行有關懸浮微粒進行PM₁₀(10µm 以下

微粒)之連續監測。而先進國家如美國已進行多年之 PM_{2.5}(2.5µm 以下微粒)監測之研究，包括 PM_{2.5} 對人體呼吸系統之影響、監測方法、作業程序及儀器之設置、資料之分析等研究，美國環保署並訂定相關法規。我國環保署亦開始進行 PM_{2.5} 相關研究多年，本公司由於電廠污染物排放量大，一直為環保單位及民眾關切對象，實有必要儘早對 PM_{2.5} 相關監測進行瞭解並研習先進國家規劃及執行經驗。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

目錄

	頁次
壹、報告人	1
貳、出國任務	1
參、出國期間	1
肆、國外公務之內容與過程	1
伍、國外公務之心得與感想	2
一、前言	2
二、實習期間相關見聞及感想	2
三、實習心得	24
陸、出國期間所遭遇之困難與特殊事項	25
柒、對本公司之具體建議	25

壹、報告人：沈宗華

貳、出國任務：環境空氣品質懸浮微粒監測技術

參、出國期間：自九十三年八月十八日至九十三年八月二十五日，共計八天。

肆、國外公務之內容與過程：

一、八月十八日至八月二十日：路程，台灣台北 美國洛杉磯 休士頓。

二、八月十九日至八月二十日：美國休士頓赴 MW(Montgomery Watson)顧問公司研討空氣品質懸浮微粒之監測技術及法規發展現況。

三、八月二十一日：路程，休士頓 華盛頓。

四、八月二十二日至八月二十三日：美國華盛頓 DC 赴 Rupprecht & Patashnick 公司進一步了解該公司在微粒監測儀器領域研究發展成果。

五、八月二十四日至八月二十五日：返程，美國華盛頓 DC 洛杉磯 台灣台北。

伍、國外公務之心得與感想

一、前言

空氣中懸浮微粒依其粒徑大小，可區分為總懸浮微粒(TSP)、懸浮微粒(亦即PM₁₀)，及呼吸性懸浮微粒(RSP，亦即PM_{2.5})等。其中粒徑大於2.5μm以上的微粒通稱為粗微粒，主要係來自機械力(mechanical force)，譬如：破裂(breaking)、磨碎(grinding)、衝擊(impaction)等作用；而粒徑小於2.5μm者則稱之為細微粒，主要係來自成核(nucleation)、凝滯(coagulation)、凝結(condensation)等作用。其中包含大量次微米之細微粒對人體健康之影響較大，乃因粒徑較細之懸浮微粒容易進入人體呼吸系統，而影響人體健康。由於空氣中的懸浮微粒對人、動植物及建築物均會造成傷害及損失，因此世界各國的環保單位均將其列為管制的項目。由行政院環保署監資處歷年之監測結果顯示，懸浮微粒是造成台灣地區空氣品質不良之主因。另依國內外許多研究指出，細懸浮微粒較PM₁₀能更深入人體呼吸器官，造成呼吸系統之不良影響，因此世界各先進國家多正進行PM_{2.5}之相關監測研究。

二、實習期間相關見聞及感想

(一)法規

一般而言，在PM(Particulate Matter)部分之法規，主要乃以空氣品質標準之規範為主，彙整國內環保署(EPA)及美國環保署(U.S. EPA)針對PM之品質標準如表1所示。由表1顯示國內環保署僅規範總懸浮微粒






(TSP)及粗懸浮微粒(PM₁₀)，針對細懸浮微粒(PM_{2.5})則無規範；但在 U.S. EPA 部分，則僅針對 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 部分進行規範，在規範項目均有日平均值(或 24 小時值)及年平均值兩部分。探討 EPA 及 U.S. EPA 均有規範 PM₁₀，顯示在日均值(或 24 小時值)部分，以國內日均值 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 較 U.S. EPA 24 小時值 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 嚴格；但在年平均值部分，則以國內年平均值 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 較 U.S. EPA 年平均值 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 寬鬆。另由表 1 可顯示，U.S. EPA 主要乃針對對人體影響較大之 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 進行規範，故未來國內應亦會朝向此一趨勢來進行。

此外，針對空氣品質狀況部分，目前美國主要乃以空氣品質指標(AQI)作為評量，而我國亦參考 AQI 擬定空氣污染指標(PSI)，並將其由六級簡化成五級(如表 1 所示)。其中針對在粒狀物部分，美國環保署除規範 PM₁₀ 外，亦向下規範 PM_{2.5}，目前國內針對粒狀物僅規範 PM₁₀。在 PM₁₀ 部分，兩者之分級標準差異不大，美國環保署之規範值略高於我國。

表 1 空氣品質標準比較

項目	EPA		U.S. EPA	
	日平均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 小時值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TSP	250	130	--	--
PM ₁₀	125	65	150	50
PM _{2.5}	--	--	65	15

表 2 美國及我國環保署公告之懸浮微粒空氣污染指標值對照表

Index		Category		PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
U.S.A EPA (AQI)	EPA (PSI)	U.S.A EPA	EPA	U.S.A EPA	EPA	U.S.A EPA	EPA
0 - 50	50	Good (Green)	Good 	0.0 - 15.4	—	0 - 54	50
51 - 100	100	Moderate (Yellow)	Moderate 	15.5 - 40.4	—	55 - 154	150
101 - 150	200	Unhealthy (Orange) for sensitive groups	Unhealthful 	40.5 - 65.4	—	155 - 254	350
151 - 200		Unhealthy (Red)		65.5 - 150.4		255 - 354	
201 - 300	300	Very unhealthy (Purple)	Very unhealthful 	150.5 - 250.4	—	355 - 424	420
301 - 400	400	Hazardous		250.5 - 350.4	—	425 - 504	500
401 - 500	500	(Maroon)		Hazardous	350.5 - 500.4	—	505 - 604

(二) 各廠牌監測技術原理

一般而言，在 PM 監測技術部分，主要可區分為三大類，包括慣性質量法、貝他射線衰減法及雷射光譜法，其中慣性質量法及貝他射線衰減法均可運用於 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 且均有儀器通過美國環保署認可(包括 R & P、MetOne 及 Andersen)，且均為環保署環檢所公告之標準檢驗方法。另在雷射光譜法部分，為較新的技術，可同時測量多種不同粒徑微粒之濃度及數量，包括 PM₁₀、PM_{2.5} 及 PM₁，甚至更小之微粒，故未來具有十分寬廣之運用性。現就針對此三大類分述如下：

1. 慣性質量法

- (1)主要儀器廠牌：R&P
- (2)方法概要：空氣中的粒狀污染物經由粒徑篩分器，以適當的吸引量採集到濾紙上，濾紙直接裝在擺動式錐狀微量天平上，直接測出瞬間重量的變化，再經儀器自動換算出即時濃度值。
- (3)適用範圍： $0\sim 5 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5 \text{ g}/\text{m}^3$)。
- (4)干擾
 - A.水氣可能形成干擾，可以適當加熱控制機制排除之。
 - B.檢測元件之加熱控制機制可能會造成某種揮發性成分散失(例如：硝酸鹽)，在此狀況下可設定「大氣溫度」進行採樣或自行評估差異性。
- (5)設備：以慣性質量法為原理之自動分析儀器，其性能需符合表 3 所列規範，一般而言，此種自動檢測儀，其空氣採樣流程及重要單元如圖 1 所示。
主要元件如下：
 - A.粒徑篩分器及分流器：
 - a.粒徑篩分器：需能篩除氣動粒徑大於 10 微米之粒狀污染物，其 50 % 收集效率下之粒徑截斷點 (D_{50}) 為 $10 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 。
 - b.採樣空氣分流器：可視需要設置採樣空氣分流器，使經過粒徑篩分器之採樣流以等速流體方式分成兩部分，主流量進入檢測元件進行檢測，輔助流量由旁路濾出。
 - B.慣性質量檢測元件：採樣濾紙直接裝置在慣性

質量檢測元件上，將主流量中的粒狀污染物採集在濾紙上，藉由檢測元件擺動頻率改變直接量測粒狀物重量。在濕度大的環境中須有適度加熱控制機制，本方法建議控溫在 30 - 50 之範圍，以抑制濾紙或採集之微粒吸收水份(濕度)，惟如以高於環境溫度操作時，應考慮可能因採樣之微粒揮發所致誤差。

C.控制單元：須有採樣流量控制、數值計算及記錄、濾紙負載指示等功能。

D.真空吸引泵 (Vacuum pump): 真空吸引泵及其流量，必須能使整體採樣順利操作。

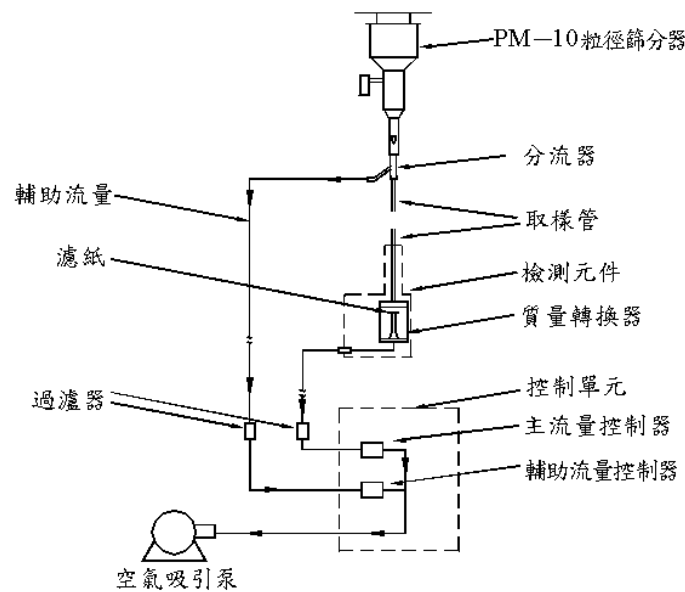


圖 1 系統氣體流程示意圖

2. 貝他射線衰減法

- (1) 主要儀器廠牌：MetOne、Thermo Andersen
- (2) 方法概要：以貝他射線照射捕集微粒之濾紙，量測採樣前後貝他射線通過濾紙之衰減量，再根據其微粒濃度與輻射強度衰減比率關係由儀器讀出空氣中粒狀污染物的濃度。
- (3) 適用範圍：適用濃度範圍介於 $0\sim 1 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g} / \text{m}^3$ 。
- (4) 干擾：
 - A. 水氣可能形成干擾，可以適當加熱控制機制排除之。
 - B. 濾紙上捕集微粒若過量，亦可能使量測結果產生誤差。
 - C. 在臨海地區執行檢測時，海水鹽沫之干擾亦可能造成誤差。
- (5) 設備：以貝他射線衰減法為原理之自動分析儀器，其性能需符合表 3 所列規範。一般此種自動檢測儀，其空氣採樣流程及重要單元如圖 2 所示。
主要元件如下：
 - A. 採樣器：主要分為兩部分：採樣口及粒徑篩分器。
 - B. 採樣濾紙移動裝置：以紙帶型濾紙採樣，則由儀器自行移動紙帶。
 - C. 貝他射源：以碳-14 同位素為貝他粒子的射源，其特性如下：活性小於 100 微居里 (μCi) 半衰期 5730 年、最大能量 155 KeV。其他射源

如氬-85 同位素等亦可使用，射源之使用及處理應依原子能法相關規定辦理。

D.偵測器：可用於直接或間接偵測貝他粒子輻射強度之偵測器。

E.電腦系統：電腦系統可顯示即時讀值或小時讀值等，且能提供系統的操控功能，如濾紙移動、濾紙定位、採樣時間及流速記錄等，並具有數據計算及轉換功能。

F.應有大氣壓力與溫度量測，並有採樣濾紙壓力降、濾紙負荷量之偵測器以移動更換濾紙。

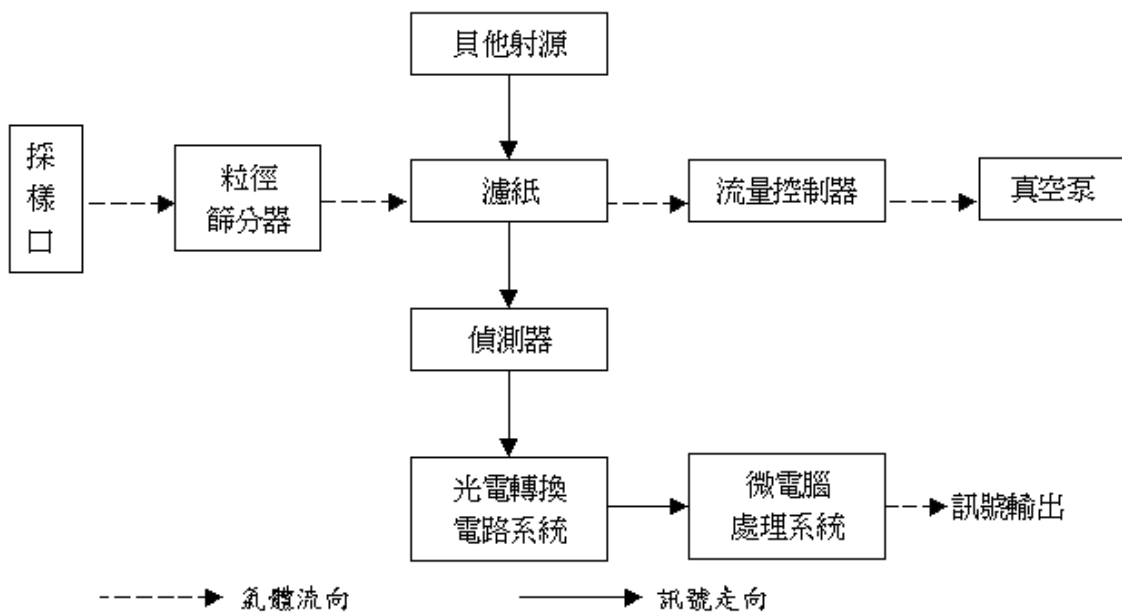


圖 2 貝他射線衰減法自動分析儀器示意圖

表 3 空氣中 PM10 粒狀物檢測儀器測試規範

規 範 (Specification)		PM ₁₀
1、可接受濃度範圍 (R _j) ì g / m ³		30 - 300
2、檢測位址之最少數目		2
3、每個檢測位址上候選方法採樣器之數目		3
4、每個檢測位址上參考方法採樣器之數目		3
5、PM ₁₀ 採樣器在每個採樣位址上可接受之最少採樣樣品數目	R _j < 80 ì g / m ³	3 以上
	R _j > 80 ì g / m ³	3 以上
	總 數	10
6、參考方法重複採樣之精密度 (P _j 或 RP _j , 各以最大值表示)		5 ì g / m ³ (P _j) 或 7 % (RP _j)
7、參考方法與候選方法兩者間之迴歸運算關係斜率		1±0.1
8、參考方法與候選方法兩者間之迴歸運算關係截距 ì g / m ³		0±5
9、參考方法與候選方法兩者間之相關性		0.97

3.雷射光譜法

(1)主要儀器廠牌：Grimm

(2)方法概要：利用光譜散射技術作單一微粒的計數，藉由 Semiconductor- laser 為光源，當微粒通過雷射照射通道，其所散射的訊號以 90° 的反射鏡收集並傳輸至 recipient-diode。通過 diode 的訊號經增幅後再以波高分析器將訊號分類至不同粒徑。測得數據可儲存在記憶卡中，也可以透過 RS 232 傳送做進一步地分析。

(3)適用範圍：

A.微粒大小：0.30/0.40/0.50/0.65/0.80/1.0/1.6/2.0/
3.0/4.0/5.0/7.5/10/15/20 μm

B.粒數濃度範圍：1 to 2,000,000 counts/liter

C.質量濃度範圍：100 mg/liter

(4)設備：

欲分析的氣體可藉由內部幫浦以定流量 1.2 liters/minute 吸入。樣本通過採樣光學腔經過雷射 diode 偵測器後收集於 47-mm PTFE 濾紙上。全部的微粒樣本收集在 PTFE 濾紙上，可以供重量分析，更可進一步做化學分析。採樣幫浦同時產生另一氣流，經過濾後通過 sheath air 調節器從光學腔後方吹入，以確保沒有灰塵接觸污染到雷射光學組件。此不含微粒之氣流同時可在開機自動校正時做為歸零校正之用。每次開始測量時，儀器會進行 30 秒的自動測試。

當 LCD 顯示第一個讀值時儀器便開始測

量，隨後每 6 秒更新一次讀值，這些即時性微粒測量數據每分鐘傳送到抽取式的記憶卡中，也可經由內建的 RS-232 序列埠傳送到外部的電腦或列表機。數據的紀錄間隔為每 6 秒 (fast-mode) 或每 60 秒 (normal mode)。其他的數據紀錄間隔可由電腦軟體設定。

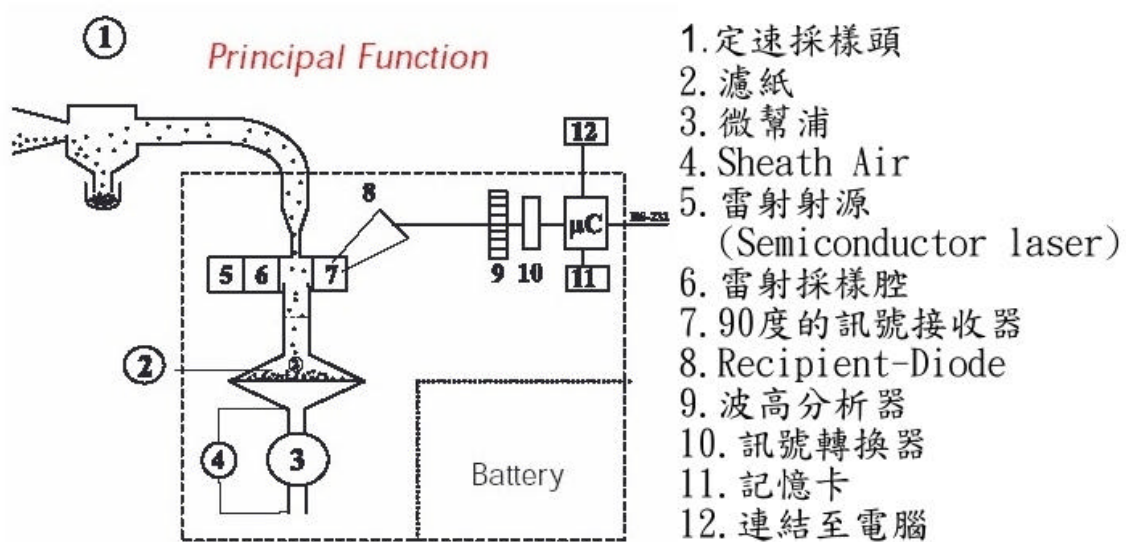


圖 3 GRIMM 1.108 微粒流向示意圖

(三)空氣中懸浮微粒成分組成及物化特徵

懸浮微粒可直接由空氣污染源排放，即所謂原生性或一次污染物(primary pollutants)，但亦可間接由光化學反應生成衍生性或二次污染物(secondary pollutants)。所謂原發性污染物，即從污染源直接排放的污染物，其物理化學性質均未發生改變，如燃燒化石燃料時從煙囪中直接排放出來的二氧化硫等。衍生性污染物係指一次污染物在大氣中發生化學反應，或者與其他污染物相互反應而產生的，與原來物理、化學性質不同的污染物質，例如：硝酸或硝酸鹽及硫酸或硫酸鹽等。大氣中懸浮微粒之主要來源包括物質經過機械操作後之產物，如木材工廠之木屑；物質在製造及處理過程中直接由於氣體捲揚而起之塵粒，如煤灰及水泥；公共工程產生之揚塵亦為主要之來源；農業活動，如：耕地及施肥；道路交通活動造成之揚塵等。大氣中揮發性有機物(VOCs)及氮氧化物(NO_x)的存在，再配合強烈陽光之照射，是造成光化學煙霧(photochemical smog)的必要條件，即產生所謂光化學反應生成衍生性或二次污染物(secondary pollutants)。光化學煙霧多半發生在中午時段，是導致都會區能見度降低之主要原因之一。

近年來工商及經濟發展神速以致交通工具劇增，工廠增加，在此過程中，空氣污染的問題益發顯得重要。汽、機車等交通污染源排放廢氣中的鉛微粒及不完全燃燒形成的碳粒，與大氣氣相轉化反應形成

硫酸氣體($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{g})}$)、硝酸氣體($\text{HNO}_{3(\text{g})}$)，以及人類活動所產生的氨氣($\text{NH}_{3(\text{g})}$)，相互結合形成硫酸氫銨($\text{NH}_4\text{HSO}_{4(\text{s})}$)、硫酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4(\text{s})}$)與硝酸銨($\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{s})}$)等物種，主要分布在細粒氣膠的粒徑範圍內，顯示細粒氣膠與其氣體前驅物有密切的關係。

1.物理特徵

由過去研究之結果發現，雖然 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 之濃度隨時間改變，但是在相同採樣點，其 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 之比值($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$)卻頗為類似，顯示懸浮微粒之來源有其一定特徵可依循， $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值約介於 0.46~0.73 間。另就相同區域而言，都市地區之 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值有較鄉村地區偏高之趨勢。

典型的大氣懸浮微粒粒徑分佈呈現三峰分佈 (tri-mode distribution) 之特性，其中在粗微粒範圍所存在之波峰亦稱之為粗粒峰 (coarse mode)，而在細微粒範圍所存在的兩個峰，分別稱之為累積峰 (accumulation mode) 及凝核峰 (nucleation mode)。懸浮微粒粒徑分佈亦隨著測站位置與氣象條件而異，於海洋地區多呈單峰分佈，而在大陸地區則多呈雙峰分佈。雖同為雙峰分佈，都會區之細微粒濃度可能高於粗微粒濃度，造成此現象之原因，主要是都會區汽機車排放大量 VOCs 及氮氧化物，再經由光化學反應生成二次污染物所致。

Glikson 等(1988)研究發現粒徑小於 $2\mu\text{m}$ 的微粒占都會區總懸浮微粒的 70%，但在市郊則僅占

50%，並證實小於 $2\mu\text{m}$ 的微粒主要來自於移動性污染源之排放。

國內鄭曼婷教授等(1996)則在台中都會區水溶性陰陽離子之日夜乾沉降特性研究中指出，懸浮微粒之粒徑分佈主要呈現三峰分佈，且質量濃度最高峰出現在 $3.2\text{-}5.6\mu\text{m}$ 間，次高峰則出現在 $0.56\text{-}1.0\mu\text{m}$ 間，而懸浮微粒之最主要來源分別為土壤揚塵及光化學產物。黃宗正等(1996)於興達火力發電廠周圍研究空氣中 PM_{10} 懸浮微粒特性，其結論中指出 PM_{10} 之質量濃度有冬高夏低之趨勢，且 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 之比值約在 $0.30\text{-}0.56$ 之間，其主要的污染來源乃為塵土、海鹽、二次污染物及車輛排放等。

影響懸浮微粒濃度高低之主要原因，在不同地區的懸浮微粒濃度受該區域內局部排放源及活動型態的影響，同時懸浮微粒的濃度亦受季節的影響，呈現夏季濃度高，而冬季濃度低之情形。當然空氣懸浮微粒濃度之變化趨勢，與該區域的平均風速及降雨量等亦有密切關係。

2.化學特徵

懸浮微粒的成分可區分成三大類，包括鹽類、有機物及重金屬成分。由國外之研究結果顯示，細懸浮微粒中除含有重金屬成份及碳成份外，亦可能含有硫酸鹽及硝酸鹽等成份。且部份以硫酸鹽及硝酸鹽為主要成份之懸浮微粒，多半含有硫酸銨 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 及硝酸銨 (NH_4NO_3) 等兩種化學成份。此

種懸浮微粒常見於美國中西部各州，主係燃煤電廠燃燒高硫煤(2-3% S)產生大量 SO_2 及 NO_x ，再與農產區排放之氨氣(NH_3)，在大氣環境中經化學反應而生成，往往造成空氣品質惡化，且導致能見度不佳而形成霧靄(haze)。此外，在沿海之高污染地區，懸浮微粒中亦可能含有大量之硫酸鈉(Na_2SO_4)及硝酸鈉(NaNO_3)等成份。

國內南高屏地區懸浮微粒所含重金屬成份中，以鐵含量最高，鉛、鋅含量次之，而以銅鎳濃度最低。上述金屬成份中，鐵、銅、鎳為工業污染指標，而鉛、鋅則為交通污染指標。其中鐵的分佈主要以高雄市南北兩端之重工業區之貢獻量最為顯著，而鉛的分佈則多半集中於高雄市交通流量較大的市中心區域，此結果與國外相關研究結果相似。

就懸浮微粒之含碳量而言，有機碳(organic carbon; OC)約佔 32~56% 左右，而元素碳(elemental carbon; EC)則約佔 44~68% 左右⁽²⁶⁾。懸浮微粒中有機碳濃度往往高於元素碳，且有機碳與無機碳之比值(OC/EC)與污染源特性有極大關聯性。

大氣中含碳微粒主要係由不完全燃燒所引起，而碳成份包括有機碳(EC)及元素碳(OC)，其中元素碳又稱為黑碳或石墨碳，主要是由燃燒程序而來，最主要來源為柴油引擎及木材燃燒，EC 化性不活潑，在大氣中不易被化學反應去除，因此只有乾濕沉降會使之減少，然而通常乾沉降的量相當少，因

此在大氣中的停留時間可以由數天到數星期之久，若在大氣中停留時間較長，則長距離的傳送顯得相當重要。有機碳則可能是由燃燒和二次化學反應而來。元素碳是都會區能見度降低之主要影響物質種之一，它的吸光效應會影響地球接收太陽輻射，且對催化 SO_2 的異相氧化程序可能是硫酸鹽形成的重要機制。機動車輛尾氣排放中的粒狀污染物為都會區懸浮微粒含碳成份的主要來源。

Wolff 等(1980)針對丹佛地區大氣中細粒徑元素碳、有機碳估計各種排放源之貢獻量，其中元素碳之來源包括汽油車、柴油車等交通工具、天然氣、燃料油、煤、木材的燃燒及飛機等，其中貢獻量最多的為木材的燃燒(43%)及柴油車排放(24%)；有機碳的來源主要包括汽油車、柴油車等交通工具、天然氣、燃料油、木材的燃燒及飛機等。其並測量 1972-1980 年美國十個地區大氣中懸浮微粒 EC、OC 的質量濃度，這些地區包括都市型、都市近郊型、鄉村型及偏遠地帶等不同類型。結果顯示 EC 的平均質量濃度以都市型最高，都市近郊型、鄉村型依次遞減、偏遠地帶最低，且 80% 之含量都集中在細粒徑中。此外，進一步比較各季節 EC/TC 之值，而定出 $\text{EC}/\text{TC}=0.36$ 代表一次排放，低於 0.36 則表示有二次有機氣膠產生。

(四)電廠排放與 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 的關係

懸浮微粒中離子濃度受空氣污染及地區環境特

性的影響很大，其中鈣、鎂、鉀離子大部分來自土壤、塵埃、水泥廠排放的懸浮微粒及少部分來自鹽沫；鉍離子大部分來自有機物質的腐化，與農業活動有密切關係；硝酸根由於主要由汽機車排放之 NO_x 轉化而來；硫酸根則來自人為排放及海水鹽沫；鈉、氯離子絕大部分皆來自海水鹽沫，而少部分之氯離子來自氯化氫。在大氣中存在的氟化物，其主要之發生源為高熱的冶金工業，如煉鋁工廠、磷肥工廠、玻璃工廠、陶瓷工廠等，其生產過程排放大量含氟氣體及塵埃。

Wedepohl(1987)之研究指出，地殼及地表砂石中含有大量的 Fe 及 Mg 元素，並且發現大氣中人為排放之 Pb 及 Zn 量遠超過自然界之排放量⁽⁵⁶⁾。Schroeder(1987)研究顯示，經由高溫燃燒過程所產生的細微粒主要含有 As、Cr、Pb、V、Zn 等成份，這些微細顆粒多可被人體吸入，故其含量對人體健康影響甚鉅，而且這些微細顆粒可長期懸浮於大氣中，並產生各種化學反應，再經由大氣擴散而輸送到其他地區。Serne 等(1991)在美國底特律市的一座資源回收廠附近研究固體廢棄物燃燒後所導致之空氣污染問題時指出，V 及 Ni 可做為燃油燃燒所排放之特徵元素。Hopke(1982)對波士頓的懸浮微粒進行污染源分析時發現，Zn 的可能來源包括焚化爐及機動車輛的排放。Mamane 等(1986)之研究指出火力發電廠的燃燒飛灰含有 Al、Si、Fe 等元素。Sanusi(1986)之研究指出 Ca^{2+} 主要污染源為交通運輸及水泥工廠之排放。Cl 含量亦

相當高，推測其可能之來源為焚化爐所排放之廢氣，亦可能來自於機動車輛排放之廢氣(汽油中含有 lead bromo-chloride 之添加物)、銨根離子主要是以硫酸銨及硝酸銨形式存在，顯示銨根之中和酸度能力極其重要。

PM_{2.5} 的來源因為會發生二次化學反應產生很多，所以其貢獻來源要定義有多少是從火力發電廠來是比較困難的。大氣中重要的二次污染物的化學成分為微粒的硝酸鹽與硫酸鹽成分。要探討 PM_{2.5} 來源的貢獻量，基本需要量測 PM_{2.5} 測項：質量濃度、硫酸鹽濃度、硝酸鹽濃度、含碳成分等等微粒的化學成分。除了這些測項外，應該還要考慮測點位置的其他條件，如氣態污染物成分以及濃度為何？是否還有其他污染源？測點的氣象條件變化與濃度間的關係為何？

目前無論國內外對於火力發電廠或是石化工業煙道排放微粒的法規規定限值以及標準量測方法多針對 TSP、PM₁₀，而對人體健康影響最大的 PM_{2.5} 濃度的量測以及控制方式都未有一定的標準。最近這幾年 US EPA 朝向建立污染源 PM_{2.5} 濃度的量測方法，利用「稀釋」煙囪排放氣流的濃度來模擬廢氣自煙囪排放到大氣後對周界大氣的影響，其方法還尚未有最終結論，預計再二~四年後會確認公佈。煙道中 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 稀釋方式的量測測試方法(CTM-039)已公開在 USEPA 的網站上，供大家參考。

1981 年美國環境保護署建議以 Pb、Br 為汽車排

放污染的追蹤元素；以 Si、Al 為土壤及街塵的追蹤元素；以 Ni、V 為殘油燃燒的追蹤元素；以 Ba 為柴油車排氣污染的追蹤元素；以 Na 為海水鹽沫之追蹤元素。

國內行政院環境保護署於 1989 年之研究報告指出，自然界地面揚塵所含之微量金屬成份主要包括有 Fe、Mn、Zn、Pb、V、Cr、Ni、Cu、Co、Hg 及 Cs；而海水鹽沫所含的微量金屬成份則包括 Fe、Mn、Pb、V、Zn；火山爆發所產生的山火灰則含有 Na、Al、Fe、Ca、Zn、Cu、V 及 Ti 等。由人類活動所排放的重金屬成份則較複雜，包括燃煤電廠所排出的 Fe、Zn、Pb、V、Mn、Cr、Cu、Ni、As、Co、Cd、Ti、Hg；燃油工廠所排放的重金屬成份則為 V、Fe、Zn、Pb、Cu、As、Cd、Co、Cu、Mn、Ni 及 Ti 等。各污染源之追蹤元素如表 4 所示。

表4 污染源與重金屬追蹤元素

污染來源	主要排放粒徑範圍	<0.1%	0.1~1%	1~10%	>10%
		Cr、Sr、Pb、Zr	SO ₄ ⁻² 、Na ⁺ 、K ⁺ 、P、S、Cl、Mn、Zn、Ba、Ti	EC、Al、K、Ca、Fe	OC、Si
鋪面道路揚塵	粗粒				
未鋪面道路揚塵	粗粒	NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺ 、P、Zn、Sr、Ba	SO ₄ ⁻² 、Na ⁺ 、K ⁺ 、P、S、Cl、Mn、Ba、Ti	OC、Al、K、Ca、Fe	Si
建築工地	粗粒	Zn、Mn、Zn、Sr、Ba	SO ₄ ⁻² 、K ⁺ 、S、Ti	OC、Al、K、Ca、Fe	Si
農業活動	粗粒	NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺ 、Cr、Zn、Sr	SO ₄ ⁻² 、Na ⁺ 、K ⁺ 、S、Cl、Mn、Ba、Ti	OC、Al、K、Ca、Fe	Si
土壤揚塵	粗粒	Cr、Mn、Sr、Zn、Ba	Cl、Na ⁺ 、EC、P、S、Cl、Ti	OC、Al、Mg、K、Ca、Fe	Si
湖床	粗粒	Mn、Sr、Ba	K ⁺ 、Ti	SO ₄ ⁻² 、Na ⁺ 、OC、Al、S、Cl、K、Ca、Fe	Si
機動車輛排放	細粒	Cr、Ni、Sr、Ba	Si、Cl、Al、P、Ca、Mn、Fe、Zn、Br、Pb	Cl、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ⁻² 、NH ₄ ⁺ 、S	OC、EC
植物排放	細粒	Ca、Mn、Fe、Zn、Br、Rb、Pb	NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ⁻² 、NH ₄ ⁺ 、Na ⁺ 、S	Cl、K ⁺ 、Cl、K	OC、EC
重油燃燒	細粒	K ⁺ 、OC、Cl、Ti、Cr、Co、Ga、Se	NH ₄ ⁺ 、Na ⁺ 、Zn、Fe、Si	V、OC、EC、Ni	S、SO ₄ ⁻²
焚化爐	細粒	V、Mn、Cu、Ag、Sn	K ⁺ 、Al、Ti、Zn、Hg	NO ₃ ⁻ 、Na ⁺ 、EC、Si、S、Ca、Fe、Br、La、Pb	SO ₄ ⁻² 、NH ₄ ⁺ 、OC、Cl
燃煤鍋爐	細粒	Cl、Cr、Mn、Ga、As、Se、Br、Rb、Zr	NH ₄ ⁺ 、P、K、Ti、V、Ni、Zn、Sr、Ba、Pb	SO ₄ ⁻² 、OC、EC、Al、S、Ca、Fe	Si
燃油電廠	細粒	V、Ni、Se、As、Br、Ba	Al、Si、P、K、Zn	NH ₄ ⁺ 、OC、EC、Na、Ca、Pb	S、SO ₄ ⁻²
金屬冶煉業	細粒	V、Mn、Sb、Cr、Ti	Cd、Zn、Mg、Na、Ca、Se、K	Fe、Cu、As、Pb	S
海水飛沫	粗粒及細粒	Ti、V、Ni、Sr、Zn、Pd、Ag、Sn、Sb、Pb	Al、Si、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Ba、La	NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ⁻² 、OC、EC	Cl、Na ⁺ 、Cl、Na

(五)懸浮微粒的影響

對大氣中懸浮微粒之研究，多半著重在微粒之特性以及其對人類生活之影響，特別是不同粒徑之懸浮微粒，對人體健康會造成不同的影響。根據美國NAPCA(National Air Pollution Control Administration)所制定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、肺泡等三個部位之沈積效率有所不同。一般來說，粒徑大於 $10\mu\text{m}$ 的塵粒，將懸浮於空氣中一段時間之後自然沈降於地表，通常不會被人體吸入，故對人體健康影響不大，唯其會影響大氣能見度，造成視覺障礙。粒徑小於 $10\mu\text{m}$ 之微粒，除了會影響大氣能見度外，亦會被人體吸入，其可通過咽喉進入肺部，造成胸部沈積，因此又稱之為吸入性(inhalable)粉塵；而粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$ 的塵粒，可進一步進入肺泡中，造成肺泡沈積，因此又稱之為呼吸性(respirable)粉塵。

空氣中懸浮微粒影響之研究中指出，可到達人體呼吸道之粒狀物質，其所含任何化學物質均可能對人體造成危害。其對人體呼吸系統之影響主要有三：

- 1.對主支氣管產生影響，造成纖毛麻痺，支氣管黏膜過度分泌，黏液腺增生，引起可逆性支氣管抽筋，抑制深呼吸，並蔓延至小支氣管道。
- 2.粒徑較小之微粒對末梢細支氣管有強烈影響，且低濃度的微粒即可造成明顯的反應，並可能導致慢性支氣管炎、細支氣管擴張、肺水種或支氣管纖維化

等症狀。

3. 粒徑小於 10 μm 以下之微粒特別容易達到肺泡組織，促使肺部之巨噬細胞明顯增加，形成肺氣腫並破壞肺泡。

1991 年美國疾病管制中心對幼兒血中含鉛濃度進行調查分析，指出血中鉛濃度大於 10 μg/dL 時，對幼兒具有潛在的危險性。同時根據 Needleman 等人長期追蹤結果，低劑量的鉛暴露與幼兒的智商(IQ)較差及不良的學習能力有關，這種中樞神經系統的功能障礙，會持續到青年期。

Vanloon(1985)指出工業製程所排放的重金屬會與人體中的蛋白質、DNA 及 RNA 反應而影響代謝作用，或與其他物質反應而造成生理上的病變，也會抑制酵素或改變對於代謝物質之催化分解速率。當懸浮微粒含有重金屬成份時，由於加乘效應，將引起更大的傷害，特別是懸浮微粒中的重金屬與水反應，將對人體健康及自然環境造成更大的危害。各種重金屬成份對人體健康所造成的影響如表 5 所示。

此外，當二氧化硫與懸浮微粒同時存在時，纖毛細胞之蠕動頻率會降低，進而影響人體對粒狀物之排除效率。而二氧化硫與懸浮微粒共同存在對人體健康之影響如表 6 所示。

表5 各種重金屬成份對人體健康可能造成的影響

重金屬	人 體 健 康 的 影 響
Pb	鉛中毒，貧血，食慾不振，嘔吐，腹痛，抽搐，中耳炎
Zn	動脈硬化，高血壓，心臟疾病
Cu	皮膚疾病，致癌
Ni	皮膚疾病，呼吸器官功能障礙，致癌
Mn	巴金森氏症病群，皮膚疾病，記憶力減退，致癌
Cr	鼻孔粘末發炎，肺氣腫，鼻中膈穿孔，致癌
Cd	肺氣腫，腎臟病，高血壓，致癌
Fe	鐵中毒，塵肺病
As	刺激皮膚，支氣管炎，致癌
V	心臟血管疾病，致癌
Be	致癌
Hg	其蒸氣會引起急性 Hg 中毒，神經系統障礙，腦血管組織損害

表6 各種重金屬成份對人體健康可能造成的影響

污染物濃度	影響
SO ₂ 濃度 0.52ppm 加上懸浮微粒 (24 小時平均濃度)	增加死亡
SO ₂ 濃度 0.25ppm 加上懸浮微粒 (3-4 天;24 小時平均濃度)	增加死亡
SO ₂ 濃度 0.25ppm 加上懸浮微粒 (3-4 天;24 小時平均濃度)	老年人更易得病
SO ₂ 濃度 0.19ppm 加上懸浮微粒 (24 小時平均濃度)	增加死亡
SO ₂ 濃度 0.11~0.19ppm 加上懸浮 微粒(每天數次之久)	增加住院機會
SO ₂ 濃度 0.52ppm 加上懸浮微粒 (慢性曝露)	增加呼吸症狀和肺部疾病

三、實習心得

- (一)比較台灣及美國針對空氣中懸浮微粒之法規，顯示未來管制之目標，應為對人體影響更劇之 $PM_{2.5}$ 。
- (二)在 PM 監測技術部分，本公司各電廠目前均以連續 PM_{10} 監測儀搭配 TSP 採樣器進行監測作業，未來應可朝向 $PM_{2.5}$ 監測，甚至以雷射光譜法，以分析更小粒徑之懸浮微粒。
- (三)空氣中懸浮微粒的組成來源，主要包括鹽類、有機物及重金屬，而在電廠部分，主要包括鹽類及來自燃料中之重金屬，另碳成分亦為另一重要污染來源。
- (四)空氣中懸浮微粒的來源廣泛，若是要有效區分本地與外來污染源，需考慮當地氣象條件季節性的變化，在具代表性的監測點建立監測站，故目前之演變趨勢乃以設置超級測站進行懸浮微粒之探討。
- (五)由研究報告指出 $PM_{2.5}$ 對人體健康影響，較 TSP 及 PM_{10} 更鉅，尤以對呼吸系統最為嚴重，故未來本公司亦應朝向 $PM_{2.5}$ 監測。
- (六)目前已商業化的自動監測儀器，無法完全解析 $PM_{2.5}$ 化學成分，需輔以人工採樣器進行濾紙化學分析方法。可參照未來 US EPA 所建立的 $PM_{2.5}$ 標準檢測方法，建立台灣的周遭大氣有關 $PM_{2.5}$ 各測項的檢測方法。
- (七)煙道 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的檢測方式，US EPA 近年來也在發展中，台灣可以學習其檢測方法，將目前只檢測 TSP 濃度轉變為量測煙道中的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度。

陸、出國期間所遭遇之困難與特殊事項：無。

柒、對本公司之具體建議

PM_{2.5} 對於人體呼吸系統健康的影響已漸漸受到專家學者或是民眾的重視，本公司火力發電廠以及煤場遍佈全省北、中、南並且附近皆有空氣品質監測站，其監測項目多為氣態污染物濃度的監測，懸浮微粒方面為 TSP 以及 PM₁₀ 的濃度監測。未來可考慮電廠周遭大氣條件變化，在電廠周圍選定代表點，設置多個針對 PM_{2.5} 的監測站，除質量濃度的即時監測值外，也可以增加針對化學濃度(如硫酸鹽、硝酸鹽濃度)的即時監測儀器，配合電廠季節性氣象條件變化，以區別火力發電廠與其他外來污染源的 PM_{2.5} 的貢獻量。

在各微粒監測站，若是再加入探討微粒粒徑分佈的監測儀器，提供這些即時的監測測值，有助於研究者建立高 PM_{2.5} 濃度值對人體呼吸系統的影響程度，建立一套台灣的健康風險評估方法，當未來發生高濃度污染事件時，除可以判定其污染的來源為何，並可發佈高濃度污染事件警報。

本公司火力發電廠針對煙道中 TSP 濃度已監測多年，對於煙道中 PM_{2.5} 濃度的量測研究可以參考 U.S. EPA 的方法，建立一套適合台灣火力發電廠的煙道監測方法並供我國環保單位參考。將有助於未來台灣環保署想針對煙道排放的 PM_{2.5} 減量時，可作為一個減量效率的有效依據。

