

中國醫藥大學

碩士論文

編號：**DOSH-0410**

台灣中部空品區秋冬期間之大氣超細微粒數量  
濃度粒徑分佈及排放源研究

Number-size distributions and sources of ambient  
ultrafine particles in the central Taiwan airshed  
during cold months

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：楊禮豪

學生：王顛婷 (Yi-Ting Wang)

學號：9672010

中華民國 98 年 7 月

## 致謝

經過兩年的訓練及投入，終於完成了碩士論文。在這一路上，感謝許多人的幫助與指引，讓我在學術知識與個人發展上都獲得許多充實與成長，首先要感謝我的指導老師楊禮豪教授，在論文撰寫過程中適時給予我指導與幫助，您的督促與指導讓我收穫良多，最重要的是學到負責任及做人處事態度。同時要感謝口試委員鄭曼婷教授與江鴻龍教授，及計畫書審查委員張大元教授，對論文內容提出見解及建議，讓論文內容更加精實。感謝陳振華教授、陳強琛教授、黃彬芳教授、王文析教授、趙克平教授、張大元教授等系上老師在課程中傳授知識以及給予論文上的協助。

感謝學長姐們，雯倩學姐、朝陽學姊、小瑜學姊，以過來人的角色給予叮嚀與忠告；同學們的依樺、弦達、宜萍、屏玉、秀文、介銘，除了在課業上互相協助外，在生活中也因有你們而增添了不少色彩。

在這邊也要感謝我的家人，媽媽、爸爸、弟弟，謝謝你們支持我念研究所，並在精神和經濟上給予很大的支持，讓我在這兩年間能安心的離家求學。在學生生涯結束，即將進入社會之際，我最要感謝我的父母為孩子的犧牲與苦心栽培，希望我的努力能讓你們感到欣慰與驕傲。

研究所兩年的時間，不敢說有多辛苦，只知道自己順利完成碩士期間該做的事，未來要面對的挑戰還很多，我想不畏懼這些挑戰，就是回報曾幫助過我的人最好的謝禮，再次感謝大家對我的幫助，謝謝你們。

顛婷 2009.07

## 摘要

大氣超細微粒(ultrafine particles, UFPs)為懸浮空氣中且粒徑小於 100 奈米(nm)之微小顆粒，其因對人體與環境有潛在不良影響而廣受各界的關注。而此不良影響的嚴重程度是反映在微粒數量或表面積濃度上，與傳統以質量為中心的毒理劑量概念截然不同。儘管超細微粒不具顯著質量，卻以高數量濃度廣泛地存在空氣環境中，屬於室外空氣污染物之一部分，並對於一般室內與勞工作業場所空氣品質亦有舉足輕重的影響。然而，臺灣國內相關的研究仍相當缺乏，尤其是進行暴露評估與危害防制所必備之特性基本資料。有鑒於此，本研究目的有二：(1)建立台灣中部空品區大氣超細微粒數量濃度與粒徑之空間與時間分佈特性；(2)探討台灣中部空品區大氣超細微粒之主要排放源。

本研究使用掃描電移動度分徑儀與凝結核計數器，於 97 年 10 月至 98 年 1 月間，量測粒徑介於 10-1000 nm 之大氣微粒。量測地點設置在四個不同類型之環保署空氣品質監測站，包括台中市忠明站(都會區)、彰化縣線西站(工業區)、南投縣竹山站(光化學區)與埔里站(背景區)等分別進行連續 24hr、為期四週之量測，並配合氣象因子與監測站空氣污染物逐時資料進行統計分析。

本研究結果顯示中部空品區超細微粒平均數量濃度為  $1.75(\pm 1.14) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，且佔總微粒數量濃度之 76%，幾何平均粒徑為 50 nm。此平均濃度值較一般室內環境為高，但顯著低於交通路旁之濃度值，且與其它地區大氣研究量測之濃度相當。就時間序列而言，中部空品區超細微粒尖峰濃度一般出現於交通尖峰時段，並與 CO 及 NO<sub>x</sub> 濃度有高的相關性。就空間分布而言，忠明測站的超細微粒數量濃度不但明顯高於其他測站，且幾何平均粒徑為最小(43 nm)；而埔里測站濃度最低，但與線西、竹山測站差異性不大。從研究結果可知，移動性污染源為整體中部空品

區大氣超細微粒之重要排放源，但特定地區與時間亦會受到工業排放與大氣二次或衍生反應之影響。

關鍵字：超細微粒、數量濃度粒徑分佈、中部空品區



## Abstract

Ambient ultrafine particles (UFPs) are those suspended in air with diameters less than 100 nm. Although very small in size, UFPs exist ubiquitously as well as in large numbers in ambient air. Recently, these particles are attracting increasing attention from the scientific community due to their potential adverse impact on human and environmental health. The toxicity and effects of UFPs are more related to their number or surface area concentrations, as opposed to conventional mass-based toxicology. As one of the outdoor air pollutants, UFPs also play an important role in indoor/workplace air quality. In Taiwan, however, there are relatively limited of UFP studies, especially in the area of UFP characteristics that are crucial to successful exposure assessment and hazard control. With that in mind, the objectives of this study are to characterize the spatial and temporal variations of ambient UFPs, and to identify potential major sources and formation mechanisms of ambient UFPs in the central Taiwan airshed.

Short-term intensive sampling campaigns were carried out at four TWEPA air quality sites, with each representing urban, industrial, photochemical, and background area, during October 2008 to January 2009. We used a sequential mobility particle spectrometer and condensation particle counter (SMPS/CPC) to measure the number size distributions of 10 – 1000 nm particles. The aerosol data were analyzed along with on-site air pollutant and meteorological data acquired from the Taiwan EPA.

The measured average ( $\pm$  standard deviation) UFP number concentration in the central Taiwan airshed was  $1.75 (\pm 1.14) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ , which is comparable to that observed in many urban cities worldwide. The urban site, in particular, showed substantially higher UFP number concentrations than the other sites, of which the concentrations were similar. Temporally, peak UFP number concentrations consistently coincided with the morning and evening rush-hour periods and, as expected, showed the strongest correlations with

CO and NO<sub>x</sub>. Occasionally, peak UFP number concentrations were associated with industrial plume or secondary aerosol formation. Nevertheless, the overall results suggest an important contribution from traffic emissions to the ambient UFPs in the central Taiwan airshed.

Keywords: ultrafine particles, number size distribution, the central Taiwan airshed



## 目錄

摘要.....	II
目錄.....	VI
表目錄.....	IX
圖目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1
1-1、研究緣起.....	1
1-2、研究目的.....	2
第二章 文獻探討.....	3
2.1、超細微粒的特性.....	3
2.1.1、超細微粒的來源.....	3
2.1.2、超細微粒的化學組成分.....	4
2.1.3、超細微粒數量濃度影響因子.....	5
2.2、超細微粒之健康影響.....	6
2.3、戶外環境之超細微粒.....	10
2.4、台灣中部空氣品質現況.....	14
2.4.1、中部空品區氣象條件.....	14
2.4.2、中部空品區空氣污染排放量與排放源.....	15
2.4.3、中部空品區空氣品質情形.....	20
2.5、室內工作環境之超細微粒.....	22
2.6、受體模式之應用.....	24
第三章 研究方法.....	37
3.1 研究架構.....	37
3.2 採樣時間與地點.....	38
3.3 研究儀器設備.....	40

3.4 環保署數據收集 .....	42
3.5 品保與品管 .....	44
3.6 資料統計與分析 .....	45
第四章、結果與討論 .....	59
4.1、台中地區交通路旁之研究結果 .....	59
4.2、採樣期間之中部空品區氣象條件及空氣品質狀況 .....	62
4.3、中部空品區之研究結果 .....	63
4.3.1、超細微粒數量濃度與過去研究之比較 .....	63
4.3.2、超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子之時間序列變化 .....	63
4.3.3、超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子之相關性探討 .....	64
4.3.4、超細微粒數量濃度粒徑分佈 .....	65
4.3.5、不同粒徑微粒與空氣污染物之相關性 .....	66
4.3.6、中部空品區污染源分析 .....	67
4.4、各個採樣點之研究結果 .....	68
4.4.1、忠明測站 .....	69
4.4.2、線西測站 .....	72
4.4.3、埔里測站 .....	74
4.4.4、竹山測站 .....	76
4.5、採樣點個案探討 .....	78
4.5.1、忠明測站 .....	78
4.5.2、線西測站 .....	79
4.5.3、埔里測站 .....	81
4.5.4、竹山測站 .....	82
第五章、結論 .....	127

5.1、結論 .....	127
5.2、研究限制 .....	129
5.3、研究建議 .....	129
參考文獻 .....	130



## 表目錄

表 2-1 中部地區近五年各月份平均( $\pm\sigma$ )氣象資料統計表 .....	26
表 2-2 台灣 92 年中部空品區各縣市排放貢獻量及百分比表 .....	27
表 2-3 中部地區近五年各月份平均( $\pm\sigma$ )空氣污染物資料統計表 .....	28
表 3-1 研究期程.....	49
表 3-2 台中交通流量表(2007).....	50
表 3-3 採樣時間表.....	51
表 3-4 環保署空氣污染物年平均( $\pm\sigma$ )濃度(2004~2008) .....	51
表 3-5 中部空品區各縣市人口數、車輛數、工廠數量統計資料 .....	52
表 3-6 中部空品區各縣市車輛數、工廠數量與排放量比較表 .....	52
表 4-1 台中市中港路高車流量交叉路口之超細微粒粒數濃度與粒徑分佈 特性 .....	84
表 4-2 不同地點大氣懸浮微粒數量濃度比較表 .....	85
表 4-3 環保署氣象因子與氣象儀相關性矩陣 .....	86
表 4-4 中部空品區超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩 陣 .....	87
表 4-5 測站超細微粒數量濃度統計分析表(2008/10~2009/1).....	88
表 4-6 測站超細微粒數量濃度與氣象因子採樣期間逐分平均值( $\pm\sigma$ ).....	88
表 4-7 測站超細微粒數量濃度與氣象因子採樣期間逐時平均值( $\pm\sigma$ ).....	89
表 4-8 測站超細微粒數量濃度與空氣污染物採樣期間平均值( $\pm\sigma$ ).....	89
表 4-9 中部空品區轉軸後的成份矩陣 .....	90
表 4-10 忠明測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩 陣 .....	91
表 4-11 忠明轉軸後的成份矩陣.....	92
表 4-12 線西測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩	

陣 .....	93
表 4-13 線西轉軸後的成份矩陣 .....	94
表 4-14 埔里測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣 .....	95
表 4-15 埔里轉軸後的成份矩陣 .....	96
表 4-16 竹山測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣 .....	97
表 4-17 竹山轉軸後的成份矩陣 .....	98
表 4-18 因子分析可能污染源綜合表 .....	99



## 圖目錄

圖 2-1 微粒不同粒徑大小其名稱及與表面積、肺部沉積、質量關係圖	28
圖 2-2 微粒不同粒徑與表面積關係圖 .....	29
圖 2-3 不同粒徑大小微粒引起嗜中性白血球反應劑量圖 .....	29
圖 2-4 粒徑與化學成分對凝結活化能力之影響 .....	30
圖 2-5 中部空品區工業區所在位置圖 .....	30
圖 2-6 中部空品區固定污染源所在位置 .....	31
圖 2-7 台灣 92 年中部空品區排放貢獻量分佈圖 .....	32
圖 2-8 台灣 92 年台中市空品區排放貢獻量分佈圖 .....	33
圖 2-9 台灣 92 年台中縣空品區排放貢獻量分佈圖 .....	34
圖 2-10 台灣 92 年彰化縣空品區排放貢獻量分佈圖 .....	35
圖 2-11 台灣 92 年南投縣空品區排放貢獻量分佈圖 .....	36
圖 3-1 研究流程圖 .....	53
圖 3-2 台中市路旁站位置圖 .....	54
圖 3-3 台中市路旁採樣實際情形 .....	54
圖 3-4 採樣監測站位置圖 .....	55
圖 3-5 測站採樣實際情形 .....	55
圖 3-6 SMPS 構造示意圖 .....	56
圖 3-7 氣象儀於忠明測站三樓樓頂架設實際情形 .....	57
圖 3-8 SMPS 粒徑與特定粒徑散佈圖 .....	58
圖 3-9 採樣數據群聚圖 .....	58
圖 4-1 不同路段路邊與室內空氣中之微粒粒數濃度粒徑分佈比較 .....	100
圖 4-2 路邊早上與下午之超細微粒數量濃度比較 .....	100
圖 4-3 交通尖峰時段與忠明測站之超細微粒粒數濃度時間序列 .....	101
圖 4-4 採樣期間中部空品區風向風速圖(2008/10~2009/1) .....	102

圖 4-5 採樣期間各監測站風向風速圖(2008/10~2009/1) .....	103
圖 4-6 中部空品區不同物質間濃度比較 .....	104
圖 4-7 路旁、室內與測站微粒濃度粒徑分佈之平均值 .....	105
圖 4-8 路旁、室內與測站超細微粒幾何平均粒徑比較 .....	105
圖 4-9 路旁、室內與測站超細微粒佔總微粒數量濃度百分比比較 .....	106
圖 4-10 微粒粒徑因素分析分佈與測站微粒數量濃度粒徑分佈比較圖 .....	106
圖 4-11 測站間超細微粒數量濃度比較(2008/10~2009/01) .....	107
圖 4-12 測站間超細微粒佔總微粒數量濃度百分比比較 .....	107
圖 4-13 監測站微粒數量濃度粒徑分佈之平均值 .....	108
圖 4-14 測站間超細微粒幾何平均粒徑比較 .....	108
圖 4-15 監測站超細微粒數量濃度平均值( $\pm\sigma$ )之時間序列 .....	109
圖 4-16 忠明測站不同物質間濃度比較 .....	110
圖 4-17 忠明測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較 .....	111
圖 4-18 線西測站不同物質間濃度比較 .....	112
圖 4-19 線西測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較 .....	113
圖 4-20 埔里測站不同物質間濃度比較 .....	114
圖 4-21 埔里測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較 .....	115
圖 4-22 竹山測站不同物質間濃度比較 .....	116
圖 4-23 竹山測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較 .....	117
圖 4-24 97 年 10 月 13 日忠明測站濃度圖 .....	118
圖 4-25 97 年 10 月 17 日忠明測站濃度圖 .....	119
圖 4-26 97 年 11 月 06 日線西測站濃度圖 .....	120
圖 4-27 97 年 12 月 31 日線西測站濃度圖 .....	121
圖 4-28 98 年 01 月 05 日線西測站濃度圖 .....	122
圖 4-29 97 年 11 月 27 日埔里測站濃度圖 .....	123

圖 4-30 97 年 11 月 25 日埔里測站濃度圖 ..... 124  
圖 4-31 97 年 12 月 01 日竹山測站濃度圖 ..... 125  
圖 4-32 97 年 12 月 03 日竹山測站濃度圖 ..... 126



## 第一章 緒論

### 1-1、研究緣起

近年來，超細微粒(ultrafine particles, diameters <100 nm)相關研究有逐年增加的趨勢，主要是由於毒理與流行病學研究結果指出，超細微粒比起粗微粒(coarse particles, >2500 nm)及細微粒(fine particles, <2500 nm)較能深入並沉積於肺部深處，進而引發不良健康反應；且微粒組成中所含金屬組成分對人體呼吸道皮膜同樣會產生危害。在動物實驗上，發現暴露於超細微粒中，易引發早期動脈粥狀硬化的損害，而流行病學研究亦顯示暴露於超細微粒中易對肺部產生影響。在大氣環境中，超細微粒會吸收與反射光能而影響能見度與地球輻射熱平衡，也可以經由凝結成核的過程成長並形成雲霧(cloud condensation nuclei, CCN: ~ 50 nm)，故對氣候有舉足輕重的影響。

對於室內環境來說，室內或工作場所的空氣品質會因自然通風或是通風系統不良，使得室外空氣污染對室內造成影響。對於勞動工作者來說，由於在工作場所中暴露時間較長，且工作場所中有相當多的製程或活動會產生超細微粒，例如加熱處理製程、焊接、加熱過程、燃燒過程等，因此瞭解作業環境中超細微粒暴露來源是非常重要的。此外，針對工作環境是處於室外的勞工(例如：交通警察、工地勞工、路況維修人員等)而言，受到超細微粒的影響更加顯著。

依據臺灣目前空氣品質標準，粒狀污染物的規範是以總懸浮微粒(TSP)及懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)為管制對象。雖然環保署自 93 年起於每個測站增設細微粒(PM<sub>2.5</sub>)的監測，但並未將其納入空氣品質標準，更未對超細微粒作任何規範。臺灣地區超細微粒的數據，主要以環保署超級測站(supersite)為主，但目前超級測站的設立僅侷限於南北地區之城市，分別為高雄縣及高雄市及臺北縣，而中部地區並沒有進行超細微粒的例行

監測。

近年來，不論在人口或是車輛增加率(2003-2006)，中部地區皆高於南北主要城市，尤其是台中縣市。此外中部地區具有 2 座火力發電廠(麥寮發電廠及台中發電廠)及 12 個工業區設立，並有主要交通幹線通過，顯示中部地區有潛在重要超細微粒的排放源，並待研究做進一步瞭解。

基於超細微粒對於健康上及環境的危害，且中部地區缺少超細微粒數據資料，因此，本研究針對中部空品區超細微粒數量濃度粒徑分佈(number-size distribution)進行調查，希望建立超細微粒數量背景資料，協助暴露評估與危害防制策略擬定。

## 1-2、研究目的

- (1) 瞭解中部空品區超細微粒數量濃度與粒徑分佈之時間與空間分佈特性
- (2) 探討中部空品區超細微粒的主要排放源



## 第二章 文獻探討

### 2.1、超細微粒的特性

#### 2.1.1、超細微粒的來源

大氣環境中廣泛存在著許多微粒，其生成方式可分為原生性(primary)和衍生性(secondary)懸浮微粒，原生性係指微粒直接由污染源排放至大氣，其來源又可分為自然產生及人為排放兩種，自然產生源包括地表塵埃、森林大火、火山爆發等；人為排放源包括交通運輸、焚化爐、工業製程的直接排放及火力發電廠等，原生性污染物粒徑分佈較廣，通常燃燒過程產生的微粒大部分小於2500 nm，海鹽及塵土微粒則大部分存在於大於2500 nm的粗微粒粒徑範圍。衍生性微粒為二次污染物，主要由大氣中氣態污染物經光化學反應而形成，或由氣態污染物與其他污染物反應生成，如硫酸鹽微粒、硝酸鹽微粒、臭氧等，其粒徑大多集中在小於2500 nm之細微粒。

環境中懸浮微粒其粒徑範圍甚廣，可依粒徑大小區分為粗微粒(coarse particle)及細微粒(fine particle)；粗微粒粒徑大於2500 nm，細微粒粒徑小於2500 nm。而在細微粒中，粒徑小於100 nm又稱為超細微粒(ultrafine particles, UFP)( Kittelson et al., 2002)(圖2-1)。

超細微粒的生成方式主要有兩方面，一是物質燃燒，為原生性生成方式，主要是指直接從排放源排放出來的微粒，例如：人為排放的車輛、火力發電廠或工業燃燒排放。另外一種為氣態污染物經反應凝結成核而形成，為衍生性生成方式，主要是指微粒在大氣中產生的方式，例如：光化學反應或其他化學物質反應，因此超細微粒在形成時可能會受到日照強度和空氣污染物濃度影響。Birmili et al. (2000) 於1998年4月至2000年8月在德國南方山區研究，指出超細微粒(3-11 nm)之數量濃度從 $0.6 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  劇烈成長至 $2.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  之現象與強烈日照、OH 與氣態硫酸濃度有

關，並認為超細微粒之形成機制為水-硫酸-氨之核凝。Jeong et al. (2004) 於2001至2002年在美國羅徹斯特進行超細微粒的量測研究，結果發現冬天清晨觀察微粒濃度，會伴隨著CO的濃度而增加，且在早上交通尖峰時段會有數量濃度尖峰的出現，並與燃燒產生的NO及CO的濃度成正相關，因此推論微粒數量濃度會受移動性污染源排放所影響。從上述可知，超細微粒的來源可來自於原生性微粒及衍生性微粒。

### 2.1.2、超細微粒的化學組成

化學組成部分，大氣中粗微粒與細微粒依來源不同，其化學組成亦有顯著的差異，且不同區域具有不同的排放特徵、不同的氣候條件可能影響反應機制以及地區特性亦會影響化學組成份之比例，因此，在不同的區域之化學組成份均不同，且同一區域的不同季節亦可能由於氣候的因素而有不一樣的組成份比例發生，所以我們可以利用超細微粒的化學組成來判斷其可能排放源，在研究中顯示超細微粒化學組成大致上包括有硫酸鹽、硝酸鹽、元素碳、有機碳、微量元素和金屬譬如矽、鐵、鈉、硫、鐵、銅、鋅等(Batalha et al., 2002; Ntziachristos et al., 2007)。Cass et al. (2000)量測南加州七個城市大氣中超細微粒的濃度分佈與化學組成，結果顯示這七採樣點的超細微粒質量濃度介於0.55-1.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；典型的化學組成為32~67%的有機碳、3.5~17.5%的元素碳、1~18%的硫酸鹽、0~19%的硝酸鹽以及1~26%的金屬氧化物等，對人體有毒性且佔較大量的催化金屬有Fe (186  $\text{ng}/\text{m}^3$ )、Ti (43  $\text{ng}/\text{m}^3$ )、Cr (6.7  $\text{ng}/\text{m}^3$ )、Zn (3.8  $\text{ng}/\text{m}^3$ )及Ce (1  $\text{ng}/\text{m}^3$ )。其他地區針對超細微粒組成所佔比例研究顯示，金屬方面：Fe > Mg > Cr > Zn > Pb > Cu (Fang et al. 2005)，離子方面：Ca<sup>2+</sup> (7.80%) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (6.95%) > Na<sup>+</sup> (5.11%) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (2.94%) > Cl<sup>-</sup> (2.68%) > H<sub>4</sub><sup>+</sup> (2.38%) > K<sup>+</sup> (1.97%) > Mg<sup>2+</sup> (1.30%) (蔡俊鴻和江鴻龍，2006)。Ntziachristos et al. (2007) 於2006年2月至4月在洛杉磯高速公路旁量測，研究發現，Mg、Ca、

Cu、Zn及Pb在微粒粒徑18-32 nm 所佔濃度比例較高，進一步發現Ca、Cu、Ba、Pb、Sb及Zn可能來自於車輛所造成，因此推測該地區的超細微粒可能來自於車輛影響所至。由上述可知，微粒中的化學組成可以用來判斷排放源，但這些化學物質同樣會對人體造成健康上的危害。

### 2.1.3、超細微粒數量濃度影響因子

微粒的濃度會受到許多因素的影響，例如：風向、風速、溫溼度、日照、地形、污染源等，主要是因為氣象因子影響了污染物的傳送方向及擴散距離。因此可假設氣象條件是濃度最關鍵、影響最大的變數。Agus et al. (2007) 發現污染物濃度與風速有關，在不同地方同樣風向下測量，結果顯示風速高的地區微粒數量濃度為 $3.17 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，而風速低的地方濃度為 $6.42 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。Shi et al. (2001) 在其研究中則發現當處於道路上風處所採集到的濃度為 $18 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，下風處濃度則高達 $49 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，顯示當針對超細微粒數量濃度進行時，應當觀測排放源附近的風向，因為微粒數量濃度會受到風向所影響。Stanier et al. (2004a) 於2001年7月至2002年7月期間研究匹茲堡市街道旁大氣超細微粒的粒徑及數目分佈。主要目的在於以SMPS同時進行低相對溼度(約14%)及環境相對濕度(平均58%)大氣超細微粒(3-560 nm)的連續監測。結果發現乾採樣及濕採樣的平均粒徑分別約為40及45 nm，且在微粒濃度、表面積( $315 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ;  $417 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ )和體積( $11.5 \mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ ;  $18.3 \mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ )會有明顯的區別，乾採樣及濕採樣的粒數濃度分別為 $2.2 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 及 $2.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ；平均微粒(3-500 nm)濃度約 $2.2 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ；整日的數目濃度明顯受大氣核化、交通及其他燃燒源直接影響。Janhall et al. (2004) 研究2001年4月至5月瑞典西部哥德堡市超細微粒濃度，發現研究期間在早上交通尖峰時只有較細的微粒會凝結，當時的溫度相對較低( $12^\circ\text{C}$ )且濕度較高(76%)；研究亦發現雨天時的微粒濃度

會低於乾燥時的濃度，在高風速的條件下，會稀釋交通源並降低所有粒徑微粒濃度。Janhall et al. (2006) 亦同時考慮冬天清晨溫度逆溫事件對移動性排放自大氣中之污染物與微粒濃度的影響，當溫度逆溫發生時，NO、CO 和超細微粒三者的濃度皆同時出現尖峰值。

季節不同會有不同的季節風，且許多研究指出微粒數量濃度變化會因季節不同影響該區域內局部排放源及活動型態，而導致微粒數量濃度不同，Watson et al. (2006)於2002年4月至2004年8月間在美國佛列斯諾超級測站(Fresno Supersite)研究，發現微粒數量濃度有季節性的變化，當粒徑在3-407 nm時夏季平均濃度( $3.3 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ )低於冬季( $10 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ )，與Jeong et al. (2004)研究結果相似，顯示粒徑為0.011-0.47  $\mu\text{m}$ 時，微粒數量濃度在冬季為 $0.9 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 高於夏季濃度為 $0.7 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，同樣的，Woo et al. (2001)於研究中顯示微粒粒徑小於100 nm時，其微粒數量濃度在冬季高於夏季。故由上述可知，針對超細微粒進行採樣時，應該配合氣象因子進行量測，以確切了解濃度變化情形。

## 2.2、超細微粒之健康影響

超細微粒對於人體有健康上的危害，但過去在調查上針對微粒多是使用質量濃度做測量，從圖2-1可瞭解，質量濃度為粒徑較大的微粒佔多數，但在數量濃度上卻是超細微粒佔總濃度多數以上，文獻上顯示著質量濃度與數量濃度沒有很好的相關性(Pekkanen et al, 1997；Jeong et al., 2004)，意即在質量濃度觀察上易忽略超細微粒的重要性，且無法從質量濃度上去推測超細微粒數量濃度，因此只觀測空氣中微粒質量濃度是不足夠的。

超細微粒對於健康上的影響，還包括粒徑的大小、化學組成、表面結構、形狀等。在研究中發現超細微粒比粗微粒及細微粒較能深入肺部深處並在肺部沉積、滲透細胞膜和觸發不良反應(Nel et al., 2006)，並在實

驗中顯示其對細胞中巨噬細胞造成損傷，也會使得體內產生自由基，導致氧化壓力破壞細胞膜和 DNA 物質(Nel, 2005)。

在毒性方面，許多文獻中指出微粒粒徑越小造成的毒性會越大(Kipenet al., 2005; Oberdorster et al., 2005; Nel et al., 2006)。因為超細微粒因為接觸表面積大，容易吸附更多的水溶性金屬元素、硫酸鹽、硝酸鹽、矽酸鹽、內毒素及有機物等，這些成分都會進一步產生呼吸道毒性及肺部傷害(Gavett et al., 1997)。

Nel et al. (2006) 於研究中探討微粒對人體毒性上，發現微粒粒徑與表面積分子數量百分比成反比(圖 2-2)，顯示微粒粒徑越小其表面積越大，表示微粒粒徑越小具有較高的數量濃度及可與人體肺部細胞反應的表面積，且微粒表面易吸附微量金屬元素、硫酸鹽、硝酸鹽、矽酸鹽及內毒素等，而這些成分易對人體呼吸道及肺部造成傷害(Ghio et al., 1999)。Carter et al. (1997) 於研究中使用支氣管上皮細胞暴露於微粒 24 小時左右，結果顯示金屬部分會對人體呼吸道皮膜產生危害。又因超細微粒較細小，容易在肺部沉積，對人體產生氧化壓力，而影響身體的細胞活動，進而影響許多退化性疾病產生，包括癌症、糖尿病、過早老化、老年癡呆症等(雷侑蓁，2005)。Brown et al., 2000 於研究發現，當表面沒有過渡金屬的超細微粒，也能引起大鼠肺部發炎反應，顯示微粒粒徑本身就是引起毒性的重要因素。

動物實驗上，大鼠以氣管灌注方式暴露毒性較低的超細粒徑及細粒徑的聚苯乙烯(polystyrene)及TiO<sub>2</sub>後，都發現微粒表面積越大肺泡灌洗液中嗜中性球數量越多 (Brown et al., 2001; Oberdorster et al., 2000)。在相同重量濃度下，研究中發現粒徑較小微粒會比大粒徑之微粒產生較嚴重的肺部反應(圖2-3)，從圖2-3中顯示，超細微粒引起嗜中性白血球的反應較大，其中LPS為細菌內毒素 (Lipopolysaccharide) 亦是懸浮微粒的一種

重要成分，且LPS的暴露會引發肺炎及影響肺部細胞功能，而超細微粒能引起較大反應，表面積扮演了很重要的角色(Oberdorster, 2001)。

Oberdorster(2000)於研究中使用超細有機碳微粒，濃度 $100 \mu\text{gm}^{-3}$ ，暴露時間6小時，且與臭氧共同暴露時，結果顯示超細有機碳微粒易引起輕微發炎現象，且較老化的肺部對於超細微粒所引起的氧化應力風險較高。使用其他的超細微粒及細微粒( $\text{TiO}_2$ )進行老鼠暴露實驗，結果顯示，相同質量劑量下，超細微粒所引起的發炎現象遠高於細微粒。其餘研究結果顯示，在相同質量下，超細微粒比一般較大粒徑之微粒具有較多粒數濃度。例如密度為 $1.0 \text{ g/cm}^3$ 之20 nm球形微粒，在質量濃度為 $10 \mu\text{g/m}^3$ 時，其所相應之數量濃度為 $2.4 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ；在相同條件下，粒徑為250 nm之微粒，其所相對應之數量濃度為 $1200 \text{ cm}^{-3}$ (Oberdorster et al., 2005)。

在動物實驗上，利用患有肺高血壓的大鼠進行實驗，發現其急性暴露於濃縮細粒徑微粒時( $\text{PM}_{2.5}$ )，會引發顯著的肺部傷害與發炎，發炎前趨細胞激素亦增加，再進一步針對超細微粒(64、202及535 nm)來做實驗時，發現粒徑越小的微粒(64 nm)所造成之肺部發炎與傷害、細胞激素增加的情形都較粒徑較大的微粒(205及535 nm)顯著，且會造成較明顯的氧化壓力，包括肺部穀胱甘肽(glutathione, GSH)的下降及血漿中8-OHdG的增加(雷侑蓁，2005)。同樣以大鼠暴露不同粒徑的 $\text{CdCl}_2$ ，結果發現暴露粒徑最小的超細微粒，肺部毒性及發炎反應最為嚴重(Cassee et al., 2002)。

Araujo et al. (2008)將受試老鼠分為三組分別暴露於UFP-超細微粒(18nm)、FP-細微粒(2500 nm)與FA-過濾後的空氣，結果顯示高密度膽固醇在UFP及FP組明顯減少並低於FA組，且出現早期動脈粥狀硬化的損害的機率在UFP及FP組明顯高於FA組，表示超細微粒會促使心血管疾病的產生。Hulderman et al. (2007)也觀察到接受類似劑量碳奈米管的老鼠會產生富含微粒的肺肉芽腫(granulomas)，再對心臟與主動脈的粒線體DNA進

行損害檢查，發現粒線體傷害為發生動脈硬化(atherosclerosis)的先兆。而在其他研究指出，讓不同種類之齧齒動物吸入二氧化鈦超細微粒，會造成程度不一的纖維化及誘發腫瘤生成(Bermudez et al., 2004)。此外也會對於倉鼠的胚胎細胞造成有絲分裂紊亂、DNA 傷害及細胞凋零(Rahman et al., 2002)。除了以上所述，超細微粒還會引起其他毒性作用，諸如：提高氧化壓力，形成肉芽腫等等。

已有越來越多的流行病學研究顯示微粒對於健康是有危害的，Schwartz et al. (2000) 研究發現，當空氣品質較不好時，可觀察到每天死亡率、住院率及門診看診率與短期空氣污染懸浮微粒濃度有相關性。在有微粒監測的城市，收集並觀察有冠狀心臟病的病患，再於微粒濃度與肺部細支氣管中細胞的變化研究上，結果顯示：暴露於大氣污染的微粒也許會導致的肺部上皮組織可滲透性的增加，且當濃度增加時，發生心律不整、心肌梗塞的危險性都會增加。(Timonen et al., 2004；Pope et al., 2004)。而Chuang et al. (2007) 以76個年輕臺北大學生為研究對象，使用微粒成份濃度和空氣品質監測站氣體污染物濃度，配合研究對象的心電圖和血液檢設值進行探討，結果發現微粒和O<sub>3</sub>濃度會造成身體系統發炎、氧化壓力增加。

針對超細微粒進行的流行病學研究部分，研究發現大氣中各種粒徑的微粒，超細粒徑微粒數量濃度與造成兒童氣喘症狀有最強的相關性(Pekkanen et al, 1997)。當在室內環境中，有暴露於超細微粒時，會增加肺部之發炎現象及使易感族群之氣喘症狀惡化(Weichenthal et al., 2007)。另外在於中樞神經系統方面，由於微粒粒徑極小，在進入生物體內之後，相對於其他化學物質具有較好移動性。研究發現，吸入的超細微粒除了進入血液循環系統隨之分佈至體內各處，也可經由鼻腔的嗅覺神經(olfactory nerves)進入腦部，影響中樞神經系統(Oberdörster et al.,

2004; Elder et al., 2006)。

針對環境的方面，微粒的濃度會影響能見度，能見度在氣象中被定義為大氣的透明度，而空氣污染會嚴重降低能見度，因此不少地區以能見度為空氣污染的指標之一。且能見度對於航空、航海和陸上運輸都非常重要。此外，微粒的散熱吸熱和經由凝結形成雲霧的作用皆會影響全球輻射平衡，因此超細微粒對於環境健康上也會影響，Dusek et al., (2006) 觀察超細微粒在過飽和蒸汽壓中，微粒活化形成雲霧的比例，圖2-4(a)為作者使用不同粒徑大小微粒，看其在蒸汽壓過飽和下活化的情形，結果顯示不同粒徑活化情形差異性較大，反之在圖2-4(b)同粒徑不同化學成分的微粒之間活化的情形差異性並不大，顯示對於環境來說，微粒粒徑大小的影響遠大於其化學組成。

### 2.3、戶外環境之超細微粒

環境中存在著大小不同的懸浮微粒，Wehner et al. (2003)則於1997年4月至2001年2月調查德國萊比錫大氣中超細微粒之粒徑分佈，並分析微粒與氣態污染物(NO、NO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub> 及O<sub>3</sub>)及氣象條件之間的關係。研究結果顯示當時間位於早晨交通尖峰時刻，微粒濃度的尖峰對應在粒徑分佈20 nm 左右；在夏天中午時分則會出現第二個微粒濃度的尖峰，相對應在粒徑範圍10-15 nm，顯示微粒的產生會受到光化學反應及交通所影響。

如果比較市區與郊區的空氣品質，可以發現在市區裡因為有較多的汽機車排放廢氣，會造成超細微粒數量濃度較高。在郊區或山區，產生超細微粒的來源較少，大部分是粒徑較大的懸浮微粒。因此在不同的區域、不同交通特性、不同氣象條件之下，會有不一樣的粒徑分佈。針對都市環境調查可知超細微粒的主要排放源為汽機車所排放的廢氣及光化學作用。但早期分析上多研究其所排放的氣態物染物或微粒表面所附著

的化學物質為主，卻忽略粒數濃度情形。Shi et al. (2001)在其研究中，說明都會區超細微粒(粒徑小於 10 nm)主要是由交通車輛與固定燃燒是兩個來源產生。

Westerdahl et al. (2005) 於 2003 年 2 月及 4 月間研究美國洛杉磯都市地區超細微粒之分佈情形。實驗方法為將即時量測儀器(TSI SMPS systems, 量測範圍 10-1000 nm)裝在一台汽車上，並行駛此汽車於洛杉磯都市地區的高速公路進行即時監測。研究發現交通繁忙的高速公路區域的超細微粒濃度( $4.7\sim 19\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )遠大於住宅區之濃度( $1.3\sim 2.6\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )，至於介於高速公路及住宅區之間的濃度改變存在有濃度增減的現象，顯示越靠近高速公路濃度會逐漸增加。Zhu et al. (2002) 於洛杉磯高速公路進行超細微粒數量濃度調查，粒徑範圍為 6~220 nm，分別於高速公路上風處及下風處量測，結果顯示微粒平均數量濃度為  $13\sim 20\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ ，且發現在上風處數量濃度最低，下風處距離道路越遠其濃度值越低。

Hughes et al. (1998) 於 Los Angeles 都會區在 1996 年冬天大氣中超細微粒之粒數濃度、粒徑分佈及化學特性，研究結果發現粒徑 17-100 nm 的微粒之數量濃度會隨著時間而變化，早晨交通尖峰時，由於車流量較大，大氣中微粒之數目濃度會遠高於當日的平均值；在午夜時分，微粒的數目濃度也會高於當日的平均值，此為該地區大氣低混合層高度及低風速所致。

除此之外，環境中超細微粒可能來自工業中化石燃料(如煤、石油、天然氣等)，化石燃料的燃燒會產生硫氧化物 ( $\text{SO}_x$ )，例如燃煤發電與、金屬冶煉廠、硫酸廠、煉油廠和燒煤或油的工業鍋爐等。其經由光化學反應  $\text{SO}_2$  與  $\text{NO}_2$  氣固相轉化反應形成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  與  $\text{HNO}_3$  等蒸氣，其中燃燒過程中，會因高溫蒸汽冷凝產生一次性懸浮微粒；二次性懸浮微粒則會由氣態污染物經由光化學反應氣固相轉化形成低揮發性之氣

體後，再經過核化反應產生微粒(Zhuang et al., 1999)。Chang and Lee(2007)研究發現當前趨物質(例如：NO<sub>x</sub>或VOCs)經由光化反應後，臭氧濃度增高，衍生性二次微粒也出現高濃度。Jeong et al. (2004)於研究中顯示SO<sub>2</sub>與超細微粒數量濃度有一致性。李新峰(2004)針對中部空品區SO<sub>2</sub>主要排放源作調查時，發現火力發電廠為硫氧化物最主要的排放源。Young and Keeler (2004)於2002年7月20至30針對美國底特律研究，該城市擁有36家工廠場所，每年可排放超過100噸的PM<sub>2.5</sub>，可推測該城市為都市工業環境。其使用SMPS在該地區所測得的超細微粒數量濃度值為 $1.4\sim 2.5\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ ，且微粒數量濃度尖峰值與太陽輻射變化在中午時有一致性，顯示微粒來源與光化學反應有相關。Birmili et al. (2003)在研究中發現，超細微粒數量濃度變化在中午有數量濃度尖峰值產生( $3\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )，與日照輻射、硫酸濃度有相關。Agus et al. (2007)於2005年2月至3月間在英國萊斯特道路旁調查中，發現微粒數量濃度在中午有峰值產生與日照輻射有關。

國內於微粒研究上，在環境方面，Chang and Lee (2007)以北部超級測站資料，顯示懸浮微粒數量濃度尖峰易發生在早上交通所排放的原生性氣膠以及中午光化學反應產生的二次性氣膠，其最高濃度發生時間在臭氧最高濃度後約2~3小時。而南部超級監測站所採集到的超細微粒數量濃度變化，結果顯示超細微粒(微粒範圍9.8-875 nm)濃度在中午出現尖峰，顯示與光化反應有關，早晚交通尖峰時段也有出現較小濃度尖峰值，經與其他測站比對後發現此研究中高污染源為高雄市(吳義林等，2006)。

交通環境方面，針對臺北捷運站(台北火車站、新埔站)、火車站(台北火車站、板橋火車站)及公車站的超細微粒懸浮微粒數量濃度特性做調查，研究結果發現10-100 nm 微粒數量濃度值高低依序為公車站( $11\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )、室內火車站( $6.5\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )以及室內捷運站( $2.6\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )(曾元廷，

2004)。

中部地區針對微粒研究上，陳紀綸(2000)於中部清水與和美量測大氣懸浮微粒，結果顯示影響台中港地區懸浮微粒可能之人為污染源為營建工程逸散、燃料燃燒及農廢燃燒。Chio et al.(2004)研究台中都會與沿海地區的PM<sub>10</sub> 氣膠微粒，指出沿海及都會地區的PM<sub>10</sub> 主要污染來源分別為二次氣膠和移動性排放，而沿海地區PM<sub>2.5</sub> 主要的污染來源為二次氣膠(硫酸鹽與硝酸鹽)及農廢燃燒，都會地區則是移動性排放與硫酸鹽。Tsai & Cheng(1997)於1996年12月至1997年1月至5月的台中縣梧棲國小及港灣進行採樣，研究結果顯示該地區人為污染排放較自然排放為高。進一步針對該地區研究，Tsai and Cheng (2004)於1997年10月至1998年1月在台中市崇倫國中量測大氣PM<sub>10</sub> 濃度及化學組成，結果顯示因採樣季節在秋冬兩季，常因受長程傳輸的影響，而有二次氣膠的生成。另得知台中都會區在秋冬季節中，PM<sub>10</sub> 成分主要分別由二次氣膠(硫酸鹽與硝酸鹽)的生成及移動性排放與海洋飛沫擴散的貢獻。Cheng et al. (2007)於2002年10月在台中中興大學及農場調查PM<sub>2.5</sub> 濃度情形，結果顯示，都市區微粒數量濃度易受到移動性排放及農廢燃燒為主。Fang et al. (2005)於2004年11月至2005年1月在台中道路旁瞭解不同粒徑微粒的化學組成，結果顯示中部地區粒徑為56-32 及38-18 nm 的微粒化學組成以SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為主。從上述研究中可以瞭解中部地區目前針對微粒的調查上以PM<sub>10</sub> 及PM<sub>2.5</sub> 為主，超細微粒部分則偏向化學組成分析研究，而超細微粒數量濃度調查上，仍相當缺乏。

目前台灣地區針對環境中超細微粒數量測量方面，主要仍以環保署監測站為主，研究上中部空品區較南北之主要城市缺乏超粒微粒數量與濃度調查，所以本研究針對中部地區超細微粒分佈情形做相關調查。

## 2.4、台灣中部空氣品質現況

臺灣目前空氣品質標準規範的污染物為總懸浮微粒(TSP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)、臭氧(O<sub>3</sub>)、鉛(Pb)。雖然有針對細微粒(PM<sub>2.5</sub>)做監測，但並未將其納入空氣品質標準，更未對超細微粒作任何規範。下面將針對中部空品區氣象、排放源及空氣品質做描述。

### 2.4.1、中部空品區氣象條件

由2.1.3中可知相對濕度、溫度、風速和混合層高度等氣象條件，會影響污染物濃度，故本節為描述中部氣象資料分述如下(表2-1)：

降雨量部分，季風與地形為影響降雨量多寡之主要因素。中部地區夏季多為西南風盛行期。冬季多為東北季風盛行期。中部地區年平均總降雨量約2.097 mm，每年雨量集中在6-9 月份之夏季，約介於250-450 mm之間；而在11-1月份之冬季雨量稀少，約在30-40 mm之間。

溫度部分，中部區域位於北回歸線以北，是位於熱帶和亞熱帶的交界，在台灣是屬於天氣穩定的區域，年平均溫度約23.7℃。各月平均溫度中以 7 月份之29.1℃為最高，以 1 月份之17.1℃為最低。

相對濕度部分，中部地區相對濕度變化小，約介於 70% - 80%之間，近五年平均相對濕度約為74.2%，月平均相對濕度以 6、8 及 9月份之72.8%較潮濕，10-12月份之71.0%較乾燥。

日照時數部分，中部地區近五年之年平均總日照時數約為 2,119小時，其中以10月份之月平均日照時數230小時為最高，2月份之130小時為最低。

風速部分，中部地區年平均風速約為 1.7 m/s，各月之平均風速變化有明顯差異，約介於4-9 m/s，其中以3、4月份之月平均風速1.4 m/s為最弱，2、7月份之月平均風速2.0m/s 為最強。

#### 2.4.2、中部空品區空氣污染排放量與排放源

台灣全國工業區(加工出口區、科學園區、環保科技園區、農業生物科技園區)共有 87 家，中部地區共有 14 家，包含 2 個加工出口區，中部區域工業區設廠總家數目前為 3,055 家，設廠家數最多的前五名行業為機械設備業 (15.09%)、金屬製品業 (13.16%)、塑膠業 (8.61%)、食品業 (6.35%)、運輸業 (6.19%)；前五名行業排名與去年略有不同，食品業及運輸業名次交換，而在設廠家數比例上則未有太大改變。但與往年較為不同在於設廠總家數略微下降；其次，機械設備業前幾年主要以中部地區為發展，設廠比例高達 4 成，顯示中部地區有利於機械設備產業群聚(經濟部)。

中部空品區共有 12 個工業區 (圖 2-5)，分別為芳苑工業區、全興工業區、大裏工業區、台中幼獅工業區、台中港關連工業區、台中工業區、竹山工業區、南崗工業區、福興工業區、埤頭工業區、田中工業區、彰濱工業區。工業區內目前計有 2658 家工廠。

固定排放源方面如圖 2-6 所顯示，中部地區的固定污染源可分為大型焚化爐 4 家、小型焚化爐(不含醫療)21 家、醫療廢棄物焚化爐 2 家、水泥窯爐 1 家、電弧爐 4 家、集塵灰熱回收 1 家、火化場 3 家、電力業 5 家、鋁二次冶煉 4 家、銅二次冶煉 18 家。從圖中可知，固定排放源大多集中於台中縣市及彰化縣工業區，南投地區則較少。

根據環保署排放量推估結果顯示，台灣 2003 年之  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $SO_x$ 、 $NO_x$  及 CO 排放量分別約為 34、18、19、64 及 167 萬公噸。各污染物之污染源所佔比例顯示， $PM_{10}$  貢獻最大污染源為營建工程 48%，工業之排放約 29%(水泥/預拌混凝土、磚瓦陶瓷業及礦業土石業排放佔不小比例)，其次為工業中燃燒排放 9%，柴油車排放約佔 5%左右，其他污染源所佔比例較少； $PM_{2.5}$  貢獻最大污染源為工業之排放約 36%(水泥/預拌混

凝土、磚瓦陶瓷業及礦業土石業排放佔較多)，其次為營建工程 29%，工業中燃燒排放 12%，柴油車排放約佔 9%左右，其他污染源所佔比例較少；SO<sub>x</sub>最大污染源為則來自工廠(85%)，其中工業中燃燒排放佔 68%；NO<sub>x</sub>工業類別與移動源部分，分別約佔 35%與 53%，其中工業燃燒佔 27%，柴油車排放約佔 38%；CO 多來自移動源(84%)的排放其中汽油車約佔 65%，機車約佔 13%，柴油車約佔 6%。

若分別從各個空品區來看，在 PM<sub>10</sub> 貢獻中以北部空品區占最多 (23%)，其次為中部空品區 21%，高屏空品區 20%，PM<sub>2.5</sub> 部份同樣以北部空品區占最多(23%)，其次為高屏空品區 21%，中部空品區 20%，SO<sub>x</sub> 以高屏空品區占最多(37%)，其次為北部空品區 27%，中部空品區 14%，NO<sub>x</sub> 以高屏空品區占最多(28%)，其次為北部空品區 25%，中部空品區 20%，CO 以北部空品區占最多(37%)，其次為中部及高屏空品區皆為 20%。由此可知，台灣地區較多污染源排放區域分別為北部、中部及高屏空品區。

針對中部空品區排放量觀察(圖 2-7)，其 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 及 CO 排放量分別約為 7、3、2、12 及 32 萬公噸。各污染物之污染源所佔比例 PM<sub>10</sub> 貢獻最大污染源為營建工程 44%，工業之排放約 36%(水泥/預拌混凝土、磚瓦陶瓷業及礦業土石業排放佔不小比例)，其次為工業中燃燒排放 6%，柴油車排放約佔 6%左右，其他污染源所佔比例較少；PM<sub>2.5</sub> 貢獻最大污染源為工業之排放約 44%(水泥/預拌混凝土、磚瓦陶瓷業及礦業土石業排放佔較多)，其次為營建工程 26%，柴油車排放佔 10%，工業中燃燒排放 8%左右，其他污染源所佔比例較少；SO<sub>x</sub> 最大污染源為則來自工廠(78%)，其中工業中燃燒排放佔 68%；NO<sub>x</sub> 工業類別與移動源部分，分別約佔 29%與 60%，其中工業燃燒佔 26%，柴油車排放約佔 43%；CO 多來自移動源(83%)的排放其中汽油車約佔 68%，機車約佔 10%，柴

油車約佔 5%。

再分別從中部空品區各縣市來看，台中市(圖 2-8)各污染物之污染源所佔比例 PM<sub>10</sub> 貢獻最大污染源為營建工程 72%，其次為工業及柴油車排放 7%；PM<sub>2.5</sub> 貢獻最大污染源為營建工程 42%，其次為柴油車排放 16%，工業之排放約 13%(水泥/預拌混凝土及礦業土石業排放佔較多)；SO<sub>x</sub> 最大污染源為則來自商業 46%，其次為工業中燃燒排放佔 21%，柴油車排放 16%；NO<sub>x</sub> 以移動源為主(91%)，分別約佔柴油車約佔 50%，汽油車約佔 36%，機車約佔 5%；CO 多來自移動源(99%)的排放其中汽油車約佔 85%，機車約佔 10%，柴油車約佔 4%。

台中縣(圖 2-9)各污染物之污染源所佔比例 PM<sub>10</sub> 貢獻最大污染源為營建工程 41%，其次為工業 39%(水泥/預拌混凝土、鋼鐵基本工業及礦業土石業排放佔較多)及柴油車排放 7%；PM<sub>2.5</sub> 貢獻最大污染源為工業 47%(水泥/預拌混凝土、鋼鐵基本工業及礦業土石業排放佔較多)，營建工程 22%，其次為柴油車排放 11%；SO<sub>x</sub> 最大污染源為則來自工業 86%，其中工業中燃燒排放佔 79%；NO<sub>x</sub> 工業類別與移動源部分，分別約佔 47%與 46%，其中工業燃燒佔 44%，柴油車排放約佔 33%；CO 多來自移動源(68%)的排放其中汽油車約佔 53%，其次為工業中燃燒排放佔 23%。

彰化縣地區(圖 2-10)各污染物之污染源所佔比例 PM<sub>10</sub> 貢獻最大污染源為營建工程 46%，其次為工業 29%(水泥/預拌混凝土、瀝青拌合業及礦業土石業排放佔較多)及工業燃燒排放 9%；PM<sub>2.5</sub> 貢獻最大污染源為工業 41%(水泥/預拌混凝土、瀝青拌合業及礦業土石業排放佔較多)，營建工程 25%，其次為柴油車排放 11%；SO<sub>x</sub> 最大污染源為則來自工業 72%，其中工業中燃燒排放佔 54%；NO<sub>x</sub> 工業類別與移動源部分，分別約佔 18%與 62%，其中工業燃燒佔 14%，柴油車排放約佔 55%；CO 多來自移動源(90%)的排放其中汽油車約佔 72%，機車約佔 12%，柴油車約佔 6%。

南投縣(圖 2-11)各污染物之污染源所佔比例  $PM_{10}$  貢獻最大污染源為工業 29% (水泥/預拌混凝土、瀝青拌合業及礦業土石業排放佔較多)，其次為營建工程 39% 及工業燃燒排放 3%； $PM_{2.5}$  貢獻最大污染源為工業 52% (水泥/預拌混凝土、瀝青拌合業及礦業土石業排放佔較多)，營建工程 28%，其次為工業燃燒排放 6%； $SO_x$  最大污染源為則來自工業 54%，其中工業中燃燒排放佔 36%，其次為商業 24%； $NO_x$  以移動源為主(89%)，分別約佔柴油車約佔 60%，汽油車約佔 25%，機車約佔 4%；CO 多來自移動源(85%)的排放其中汽油車約佔 71%，機車約佔 7%，柴油車約佔 7%。

從上述可知，中部空品區  $PM_{10}$  主要排放源來自營建業與工業； $PM_{2.5}$  大致與  $PM_{10}$  相同； $SO_x$  主要以工業中燃燒排放為主； $NO_x$  以工業類別與移動源部分為主；CO 則以移動源排放為主要來源，比例上  $PM_{10}$  以台中縣最多(36%)，其次為南投縣 27%，彰化縣 25%，台中市 12%； $PM_{2.5}$  同樣以台中縣最多(37%)，其次為彰化縣 29%，南投縣 25%，台中市 9%； $SO_x$  也是台中縣最多(71%)，其次為彰化縣 19%，南投縣與台中市皆為 5%； $NO_x$  也是台中縣最多(50%)，其次為彰化縣 27%，台中市 13%，南投縣 10%；CO 也同樣台中縣最多(37%)，其次為彰化縣 27%，台中市 22%，南投縣 14%。顯示台中縣為污染較嚴重的區域，南投縣污染較低的地區。

從各縣市來看(表 2-2)，氣態污染物總排放量皆以台中縣最高，台中市及南投縣較低， $PM_{10}$  在中部空品區四個縣市最大污染源皆為營建類(例如道路施工、車輛行駛揚塵等)及工業，但比例及總排放量還是有所不同，比例來說，台中市  $PM_{10}$  來源幾乎是由營建類所造成的，台中縣市則由工業及營建類各佔一半，彰化縣市以營建類佔將近一半的來源，至於南投縣則一半皆來自於工業；再從細微粒  $PM_{2.5}$  觀察，顯示除了南投縣比例及來源不變外，其餘皆有改變，台中縣及彰化縣還是以營建類及工業為主，

單就比例上有所變更，變成皆以工業為主營建為輔的趨勢，顯示出微粒大小不同其來源也會有所不同，而台中市雖然還是以營建類為主，但第二來源則變成柴油車，顯示出不同地區特性，但整體來說，當在四個縣市量測到的微粒濃度與  $PM_{10}$  及  $PM_{2.5}$  相關性高時，可推估微粒來自於營建類及工業類。

$SO_x$  的部份，四個縣市來說，台中縣及彰化縣較相同，都以工業為主(85%及 71%)，並以工業中燃燒排放佔多數，南投縣雖然同樣以工業為多，但若分開來看則是以工業燃燒為多次之為商業排放，台中市則以商業排放佔半數，次之為工業燃燒，所以整體來說  $SO_x$  的主要來源為工業燃燒次之為工業及商業排放，因此當量測到微粒與  $SO_x$  相關性高時，我們需要針對不同的縣市來判斷來源為何，也可以藉由與其他氣態污染物的相關性高低來判斷。

$NO_x$  排放源判斷上，主要以移動排放源及工業燃燒為主，台中市、彰化縣及南投縣比例上較相似，皆以柴油車為主汽油車為輔，台中縣則以工業燃燒排放為主柴油車為輔，顯示出工業對於台中縣來說是最大污染源，且台中縣工業燃燒中不論在  $SO_x$  或是  $NO_x$  皆以電力排放為主，顯示出臺中縣的火力發電廠為主要污染源。因此若測得微粒與  $NO_x$  相關性高時，可知來源為移動排放源及工業燃燒，可以再藉由與其他氣態污染物相關性高低來判斷主要排放源。

CO部分，四個縣市皆以移動排放源為主，皆佔總排放量70%以上，在台中市甚至高達99%，而其中以汽油車站最多，台中縣與南投縣較不同的是第二多數依個為工業燃燒一個為工業排放，但整體來說，中部空品區CO的主要來源來自於移動排放源。而Longley et al. (2005) 在研究中指出微粒數量濃度與CO及 $NO_x$ 有很高的一致性( $r^2=0.78$ )，Lin et al. (2008) 針對臺灣中部作長時間CO濃度調查，結果顯示最高濃度發生在都會區，

顯示CO與移動性污染源、生質燃燒及生物燃燒排放有相關。

### 2.4.3、中部空品區空氣品質情形

中部空品區包括了台中縣、台中市、南投縣及彰化縣。台中縣市主要污染源大致可分為四類，包括固定污染（燃料燃燒、工業製程排放）、交通工具污染（機動車輛）、廢棄物處理及其他污染源（營建及道路工程）。但由於兩地區地形不同，而影響氣候狀況，造成懸浮微粒濃度情形不同。台中市位居臺灣的中間偏北的位置，屬於盆地地形，再加上其風速、溫度、濕度及日照時數等因素影響，容易造成污染物不易擴散的情況出現；台中縣位於台中市的外圍。此區受到中央山脈阻隔，使其較少受到颱風的侵害，則氣候較為穩定，影響空氣品質日益下降的因素為人口密集的都會區與工業區，再加上汽機車大量廢氣的排放。

彰化縣位於台中縣下方，並以大肚溪為界。東邊則以八卦山脈作為與南投縣的界線，南以濁水溪與雲林縣遙遙相望，西濱臺灣海峽。而彰化縣道路密度居中部地區之冠，並位居西部交通要塞，交通流量極大；且縣內有七處工業區及各鄉鎮市大型工廠所排放的廢氣，主要污染源大致可分為二類，移動性污染及固定性污染源。

而南投縣位於臺灣正中央，因為縣內玉山等高聳的山脈，適時將來自南太平洋與東太平洋的季風水氣攔阻下來，可提供臺灣豐富的雨水來源。整體而言，南投地區的空气品質多集中於普通等級，懸浮微粒主要污染源為固定污染（燃燒廢棄物、煤炭及重油所排放的灰塵、煙霧或氣膠）及其他污染源（路上交通所揚起之灰塵及都市地區建設與破壞），此外，農業作業是灰塵的重要來源，尤以在乾旱之農地作業更為嚴重（環保署地方環境資料庫，2008）。由文獻中得知，光化學反應為超細微粒產生重要來源之一；而臭氧為VOCs與NO<sub>x</sub>光化反應後的二次產物，因而以臭氧為光化學的代表污染物。黃星富(2002)分析南投地區發生高臭氧事件，

均顯示臺灣中部地區由於受到氣象與地形之因素的影響，會將台中都會區產生的臭氧前趨物及生成之臭氧吹向南投，經光化反應後產生南投地區之高臭氧濃度。

中部地區空氣品質方面(表 2-3)，PSI 部分，中部地區年平均日數約 123 天，各月之平均變化有明顯差異，約介於 3–24 天，其中以 11 月份之平均日數 24 天為天數最多；6-8 月份之夏季之平均日數 4 天為天數最少。整體來說，中部空品區 PSI 值皆由臭氧及懸浮微粒影響最大，O<sub>3</sub> 在 5 及 9 月最高；12-1 月最低，懸浮微粒則為同樣 11 月最高；夏季 6-8 最低，與 PSI 變化較相同。

SO<sub>2</sub>部分，中部地區年平均約為 3.45 ppb，各月之平均變化有明顯差異，約介於 2.0–4.5 ppb，其中以 11、12、1 月份之冬季月平均 SO<sub>2</sub> 濃度為 4.05 ppb 為濃度較強；6-8 月份之夏季月平均 SO<sub>2</sub> 濃度為 2.52 ppb 為濃度較低。

CO 部分，中部地區年平均約為 0.61 ppm，各月之平均變化有明顯差異，約介於 0.4–0.8 ppm，其中以 11、12、1 月份之冬季月平均 CO 濃度為 0.72 ppm 為濃度較強；6-8 月份之夏季月平均 CO 濃度為 0.44 ppm 為濃度較低。

O<sub>3</sub> 部分，中部地區年平均約為 25.3 ppb，各月之平均變化有明顯差異，約介於 20.0–32.0 ppb，其中以 1、6、12 月份之月平均 O<sub>3</sub> 濃度為 20.7 ppb 為濃度較低；9、10 月份之夏季月平均 O<sub>3</sub> 濃度 31.0 ppb 為濃度較高。

PM<sub>10</sub> 部分，中部地區年平均約為 63.2 μg/m<sup>3</sup> 為，各月之平均變化有明顯差異，約介於 38.0–82.0 μg/m<sup>3</sup>，其中以 6-8 月份之夏季 PM<sub>10</sub> 月平均 39.6 μg/m<sup>3</sup> 為濃度較低；11、3 月份之冬季 PM<sub>10</sub> 月平均 80.1 μg/m<sup>3</sup> 為濃度較高。

PM<sub>2.5</sub> 部分，中部地區年平均約為 37.3 μg/m<sup>3</sup> 為，各月之平均變化有明顯差異，約介於 20.0–50.0 μg/m<sup>3</sup>，其中以 6-8 月份之夏季 PM<sub>2.5</sub> 月平均 23.8

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 為濃度較低；2、3月份之冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 月平均 $46.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 為濃度較高。

$\text{NO}_x$ 部分，中部地區年平均約為26.34 ppb，各月之平均變化有明顯差異，約介於15.0–36.0 ppb，其中以6-8月份之夏季 $\text{NO}_x$ 月平均17.0 ppb為濃度較低；11、12、1月份之冬季 $\text{NO}_x$ 月平均33.8 ppb為濃度較高。

## 2.5、室內工作環境之超細微粒

相較於環境中的微粒，勞工於工作場所中暴露時間較長，因此瞭解作業環境中微粒暴露來源是非常重要的。工作場所中，有相當多的製程或活動會產生微粒，例如機械研磨、加熱處理製程、焊接、製造程式(加熱過程、燃燒過程及高能量機械製程)等，而其中加熱處理製程及燃燒過程中易產生超細微粒。D'Arcy et al. (2005)研究中針對汽車工廠 15 個工作場所作調查，發現不同車體焊接和鋁件模具鑄造之超細微粒及細微粒之微粒數量濃度最高。此外，Cheng et al. (2008)在鑄造廠使用掃描式電移動性微粒分徑器(SMPS)，量測 1-100 nm 超細微粒數量濃度為  $2.1\sim 28.2\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ 。

由於民眾大多時間處於居家住宅、辦公室等的室內環境，因此受室內空氣污染物影響的時間比室外高，所以室內空氣污染物來源探討在研究上也備受重視。尤其當室外空氣品質不良時，有可能經由自然通風或是通風系統不良，對室內空氣品質造成影響。室內微粒濃度取決於許多因素包括室外微粒濃度、粒徑大小、室表面積、空氣變動率、HVAC 系統效率和空氣濾清器效率等。測量上 Yang et al. (2008) 評估 4 家日托中心內各種的室內活動和微粒的強度與分佈特徵，顯示了在  $\text{PM}_{2.5}$  的室內和室外濃度有較高正相關( $r=0.818-0.913$ )，且來源主要為：(1)室外對室內的影響，(2)從某些材料或其他產品散發，(3)歸結於的人為活動譬如烹調、清潔或抽煙。Chang et al. (2008)針對某有空調的辦公大樓做測量結果顯示室外微粒數量濃度峰值 ( $0.8\sim 9\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ )通常發生在早晨和晚上交通高峰

時間期間。最低的室外微粒數量濃度( $6\sim 8\times 10^3\text{ cm}^{-3}$ )出現在清晨 2:00 至 5:00。而室內濃度情形為當門是關閉而空調運作下，微粒數量濃度維持在  $5\times 10^3\text{ cm}^{-3}$ ，當門為開啟時，微粒可增加到  $17\times 10^3\text{ cm}^{-3}$ ，顯示室外會影響室內濃度。

室內工作場所方面，吳承翰(2007)於不同工作場所調查，結果發現超細微粒數量濃度在鉛粉廠中濃度最高的地方為工作人員收集鉛粉的區域，超細微粒數量濃度範圍介於  $1.3\sim 1.8\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ ；鑄造廠中的超細微粒數量濃度最高的地方為鐵粉回收區以及中週波融解爐融解廢鐵的區域，超細微粒數量濃度範圍分別介於  $4.6\sim 10.4\times 10^4\text{ cm}^{-3}$  以及  $3.2\sim 31.5\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ ，背景濃度約為  $1.5\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ 。其中工作人員暴露濃度最高的為鑄造廠天車吊桶作業人員，其超細微粒平均暴露數目濃度為  $5.17\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ 。其他工作環境例如在影印店針對黑白影印機做微粒調查，發現室內具有高濃度的甲苯，且超細微粒最高濃度可達  $10^8\text{ cm}^{-3}$  (Lee and Hsu, 2007)，顯示勞工在作業場所中是暴露於高濃度微粒的危害中。

Zhu et al. (2005)於 2003 年 10 月至 2004 年 1 月在加州 Los Angeles 高速公路旁住家室內環境研究，針對已知是沒有微粒來源的室內進行調查，結果顯示微粒粒徑大小與室外超細微粒有一致性，從室內或室外(輸入/輸出)比率也顯示，室內對於室外有相關性，表示室內微粒來源可能來自室外交通，且可能透過三種通風方式影響室內濃度：滲透、通風系統及自然通風情形(窗戶開啟)。在一項針對瑞典辦公室、公寓及住家室內超細微粒( $0.1\sim 1\text{ }\mu\text{m}$ )濃度的研究調查發現，研究期間室外平均濃度為  $1.3\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ ；室內為  $0.8\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ 。從時間序列顯示室內與室外濃度變化有一致性，早上高濃度情形產生可能受到室外交通影響。而導致室內濃度高於室外濃度的影響因數為人為活動抽菸(Matson, 2005)。

Abt et al. (2000)於 1996 年在 Boston 住家室內環境研究，研究期間室內

濃度為為 $1.1-1.3 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，結果發現室內烹飪及人為活動為20~500nm微粒的主要產生來源，尤其是燒烤、烘焙或油炸等過程，但觀察室內外微粒濃度變化，發現室外環境對於室內微粒濃度的影響遠大於室內來源，顯示室內環境受室外污染影響較大。

## 2.6、受體模式之應用

懸浮微粒的濃度會受到多種因數的影響，所以在分析上會加入多種影響因數以評因子間交互作用。當在排放源擴散條件資訊不充足之下可以利用受體模式來進行推估，在受體模式中多變量統計方法(multivariate statistical model)常被應用，其是以實際觀測的數據進行數學分析，分析變項之間的統計相關性，在許多環境科學調查研究上關於多變量統計方法的應用上，已使用於水(黃建源，2000)、空氣及土壤(黃國珍，1995)等找出其影響的共同因子，並判斷其主要污染源。

因子分析法(FA, factor analysis)為多變量統計方法的一種，它是利用數據標準化後之變異共變異矩陣，求其共同因數，使這些少數的共同因子，可以解釋原本大部分變異量，配合各污染源的特徵元素作判定污染源的工作。

Kavouras et al. (2001)於智利監測站連續監測 TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>1</sub> 與氣態污染物，利用因子分析發現 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 和氣態污染物的主要污染源來自於移動性排放源。

Ogulei et al. (2007)探討加拿大Trade Bridge之超細微粒的主要來源，利用因子分析法分析出7個主要污染源，分別為新的柴油排氣管排氣、地區性/街道的柴油車輛、老舊/釋放的柴油微粒、汽油火花點燃排放、都市排放的背景資料、加重的柴油聚集物和二次/運輸的物質，且發現不論是新的柴油排氣管排氣或是老舊的柴油排氣之排放都會對於微粒數量濃度造成高度的影響。Wahlina et al. (2001)於1999年2月至5月間於哥本哈根道路旁

量測，使用因子分析，結果顯示微粒(0.01-0.7 $\mu$ m)的來源主要為柴油及汽油車排放。



表2-1、中部地區近五年各月份平均( $\pm\sigma$ )氣象資料統計表(2004-2008)

Month	T (°C)	Cumulative Precipitation (mm)	WS (m/s)	RH (%)	Sunshine (hr)
1	17.1(0.7)	28.7	1.76(1.3)	72.6(1.9)	145.4(21.5)
2	17.4(0.7)	57.0	2.01(1.5)	73.6(2.3)	129.9(50.4)
3	19.6(0.6)	98.0	1.36(0.6)	72.1(1.9)	152.3(22.6)
4	23.6(0.3)	106.3	1.38(0.5)	73.5(2.2)	131.1(30.0)
5	26.6(0.4)	237.6	1.64(0.5)	73.5(2.1)	178.7(29.6)
6	27.9(0.6)	409.4	1.83(0.7)	74.5(2.1)	152.6(39.9)
7	29.1(0.7)	435.7	2.01(0.7)	72.1(2.2)	226.9(44.2)
8	28.6(0.9)	291.0	1.67(0.5)	74.0(2.0)	184.5(46.0)
9	27.8(0.8)	286.8	1.54(0.5)	74.0(1.9)	185.6(33.4)
10	25.4(0.5)	79.9	1.51(0.8)	69.8(1.6)	229.7(33.3)
11	22.4(0.6)	34.9	1.85(1.3)	70.7(1.8)	187.0(20.6)
12	18.6(0.5)	31.5	1.56(1.0)	69.3(2.0)	194.4(21.7)

Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

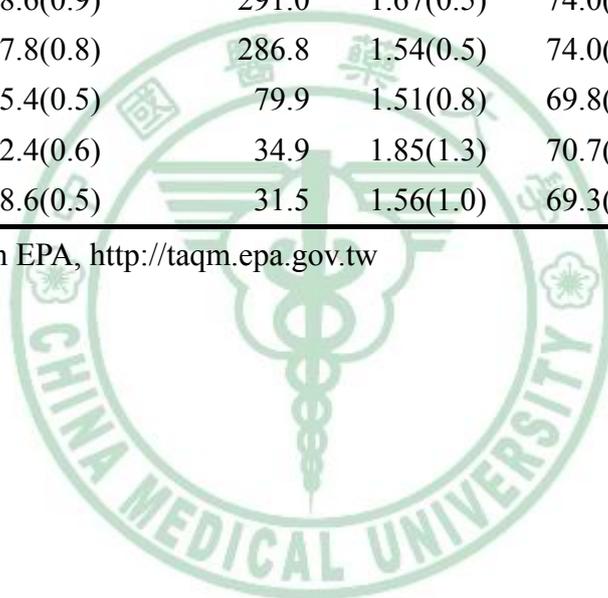


表2-2、台灣92年中部空品區各縣市排放貢獻量及百分比表

污染物	台中市		台中縣		彰化縣		南投縣					
	污染源 種類	排放量 (10 <sup>2</sup> ton/year)	百分比 (%)	污染源 種類	排放量 (10 <sup>2</sup> ton/year)	百分比 (%)	污染源 種類	排放量 (10 <sup>2</sup> ton/year)	百分比 (%)			
PM <sub>10</sub>	營建	57	72	營建	96	40	營建	79	46	工業	93	51
	工業	6	7	工業	93	39	工業	47	29	營建	71	39
	柴油車	6	7	工業燃燒	17	7	工業-燃燒	15	9	工業燃燒	6	3
	<b>總排放量</b>	<b>79</b>			<b>237</b>			<b>170</b>			<b>183</b>	
PM <sub>2.5</sub>	營建	12	43	工業	58	47	工業	40	41	工業	44	53
	柴油車	5	16	營建	27	22	營建	24	25	營建	23	27
	工業	4	13	柴油車	13	11	柴油車	11	11	工業-燃燒	5	6
	<b>總排放量</b>	<b>31</b>			<b>122</b>			<b>98</b>			<b>83</b>	
SO <sub>x</sub>	商業	5	47	工業燃燒	141	78	工業-燃燒	25	54	工業燃燒	4	37
	工業燃燒	2	21	工業	13	7	工業	8	18	商業	3	24
	柴油車	2	16	非公路運輸	11	6	商業	7	14	工業	2	18
	<b>總排放量</b>	<b>11</b>			<b>179</b>			<b>47</b>			<b>12</b>	
NO <sub>x</sub>	柴油車	82	50	工業-燃燒	276	45	柴油車	179	55%	柴油車	73	61
	汽油車	58	36	柴油車	202	33	汽油車	57	17%	汽油車	30	25
	機車	8	5	汽油車	67	11	工業-燃燒	46	14%	機車	5	4
	<b>總排放量</b>	<b>163</b>			<b>620</b>			<b>327</b>			<b>121</b>	
CO	汽油車	584	85	汽油車	652	53	汽油車	612	71	汽油車	304	70
	機車	71	10	工業-燃燒	285	23	機車	105	12	工業	34	7
	柴油車	24	4	機車	114	9	柴油車	52	6	柴油車	29	7
	<b>總排放量</b>	<b>687</b>			<b>1224</b>			<b>849</b>			<b>433</b>	

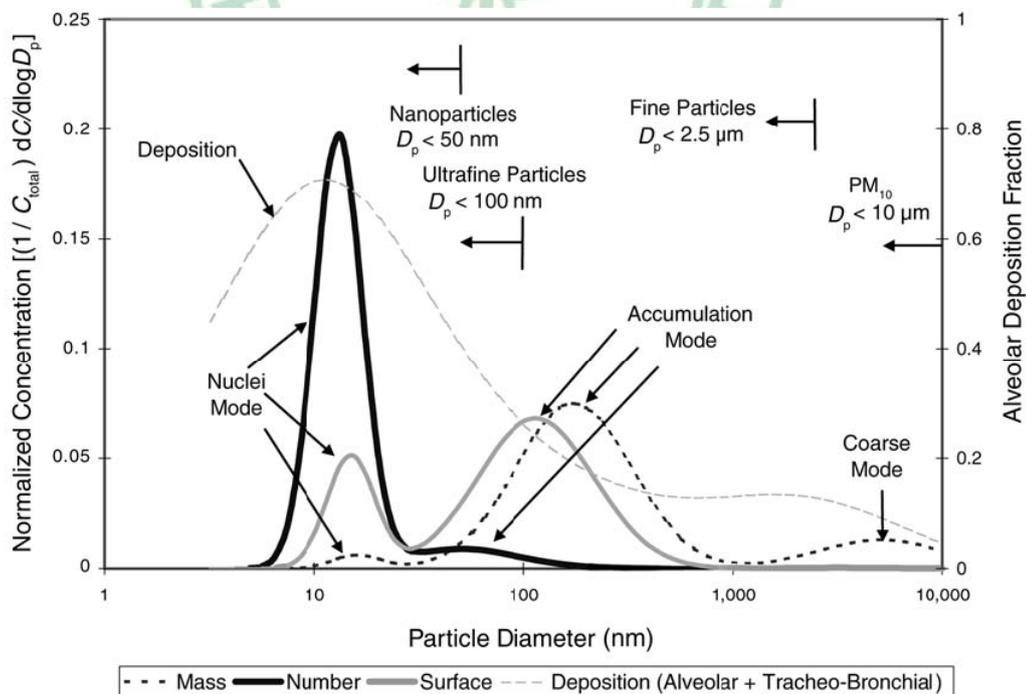
Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

表2-3、中部地區近五年各月份平均(±σ)空氣污染物資料統計表  
(2004-2008)

Month	PSI* (days)	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (ppb)
1	8	<b>4.2(1.1)</b>	<b>0.76(0.15)</b>	20.0(4.2)	74.8(9.0)	42.6(5.4)	<b>35.4(8.3)</b>
2	9	3.8(1.1)	0.72(0.18)	23.4(5.7)	73.3(14.1)	44.6(5.8)	32.5(10.1)
3	13	4.0(1.2)	0.71(0.13)	26.5(5.7)	<b>81.8(15.1)</b>	<b>49.2(4.9)</b>	32.5(7.6)
4	11	3.9(1.1)	0.67(0.13)	27.9(5.2)	73.3(10.7)	40.8(4.1)	28.8(6.9)
5	13	3.5(0.9)	0.58(0.12)	29.0(4.8)	56.7(9.1)	32.0(3.4)	23.4(5.7)
6	6	2.5(0.8)	0.47(0.12)	20.9(4.7)	38.6(11.5)	20.3(4.3)	18.3(5.3)
7	4	2.5(0.8)	0.40(0.10)	22.0(3.7)	38.7(8.7)	23.9(4.2)	15.8(4.0)
8	4	2.5(0.9)	0.44(0.11)	23.8(4.6)	41.6(7.7)	27.0(3.4)	16.8(4.7)
9	13	3.2(1.2)	0.56(0.12)	30.5(4.5)	57.3(12.9)	38.0(4.4)	21.3(6.0)
10	14	3.5(0.9)	0.61(0.12)	<b>31.6(4.4)</b>	68.8(11.0)	41.5(5.8)	26.1(6.1)
11	<b>24</b>	4.0(1.2)	0.69(0.21)	26.4(4.2)	78.5(19.2)	44.0(5.6)	31.7(8.9)
12	11	4.0(1.2)	0.72(0.18)	21.2(3.5)	74.5(12.0)	44.1(5.8)	33.5(7.9)

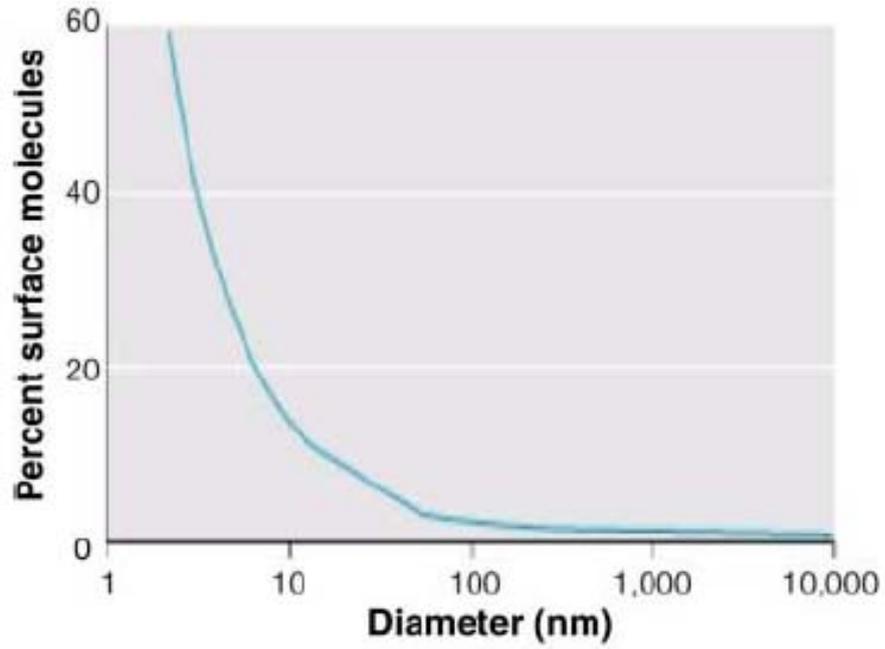
\*指該月 PSI 值大於 100 的天數

Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>



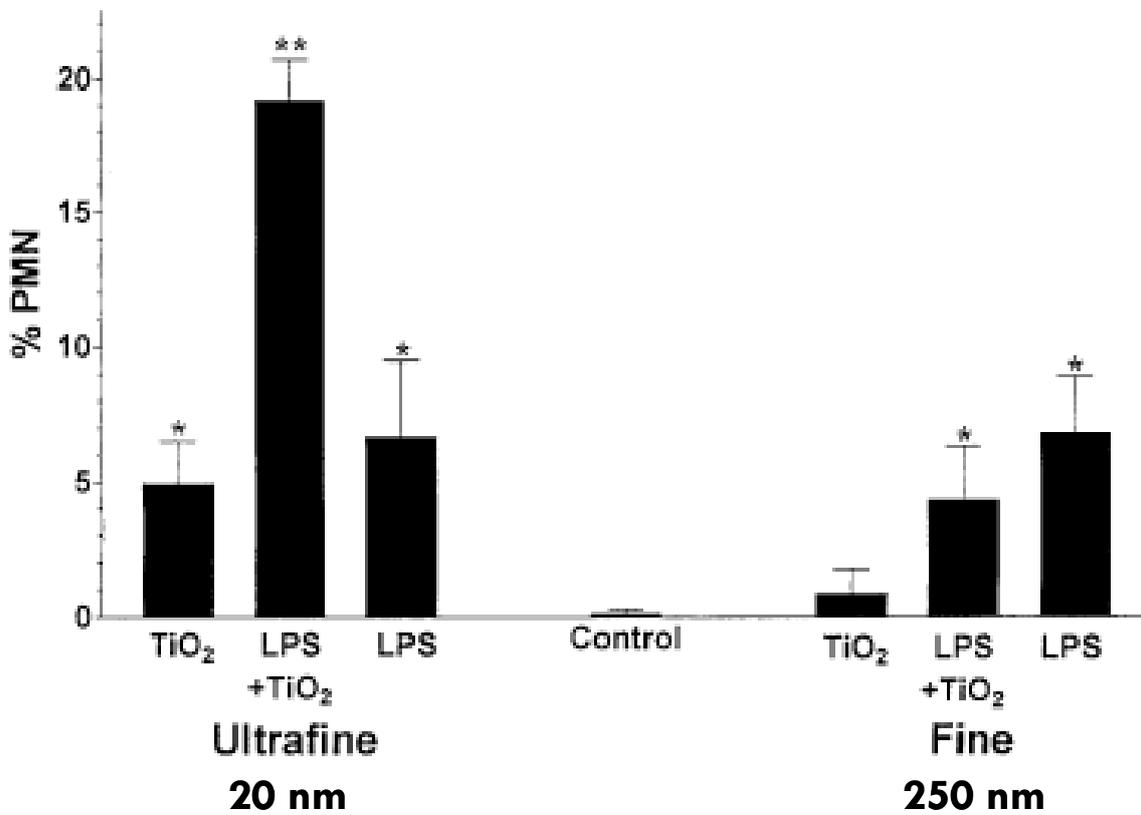
Source: Kittelson et al., 2002

圖 2-1、微粒不同粒徑大小其名稱及與表面積、肺部沉積、質量關係圖



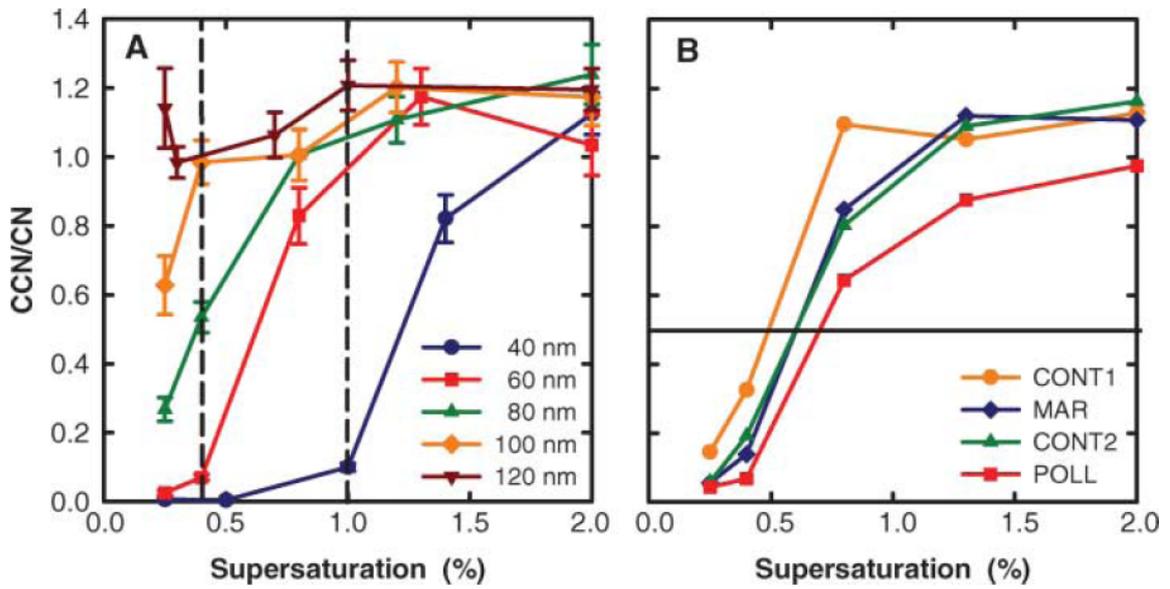
Source: Nel et al., 2006

圖 2-2、微粒不同粒徑與表面積關係圖



Source: Oberdorster et al., 2001

圖 2-3、不同粒徑大小微粒引起嗜中性白血球反應劑量圖



Source: Dusek et al., 2006

圖 2-4、粒徑與化學成分對凝結活化能力之影響

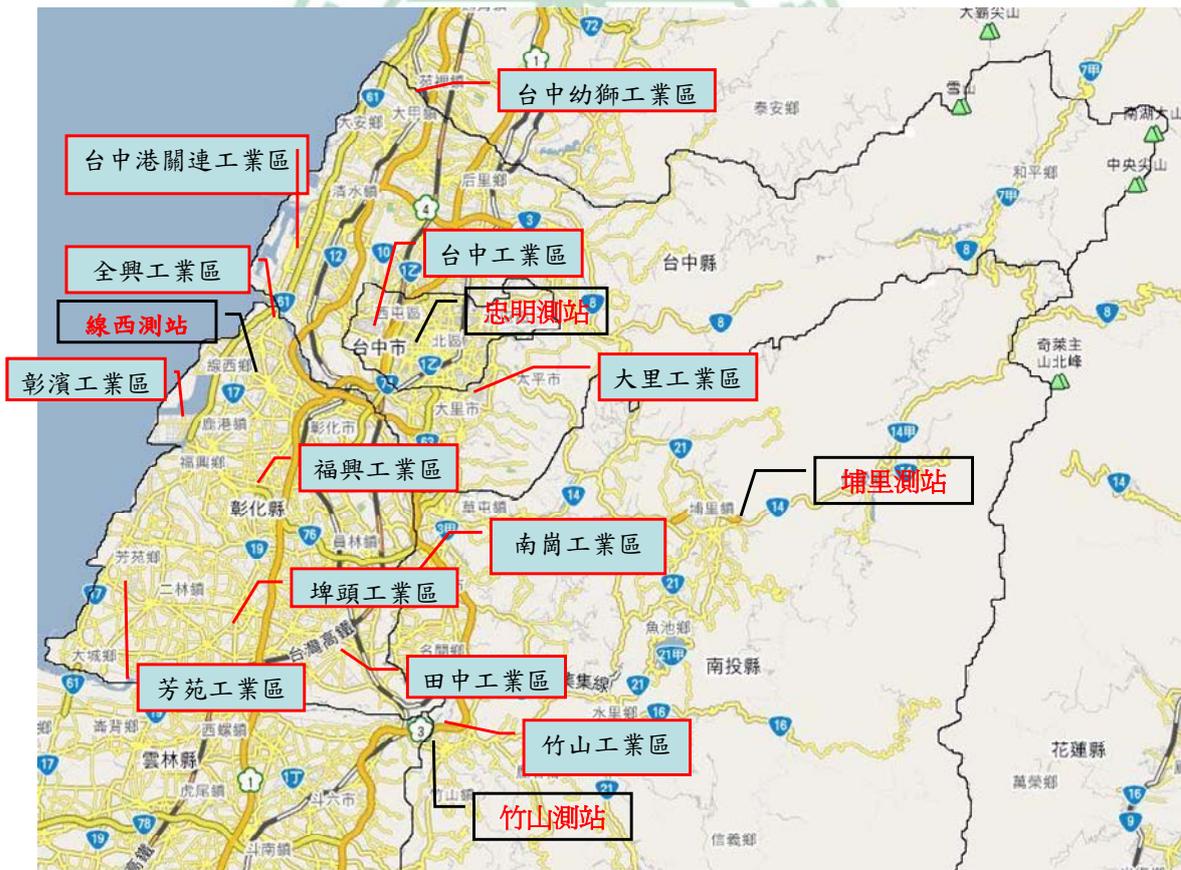


圖 2-5、中部空品區工業區所在位置圖

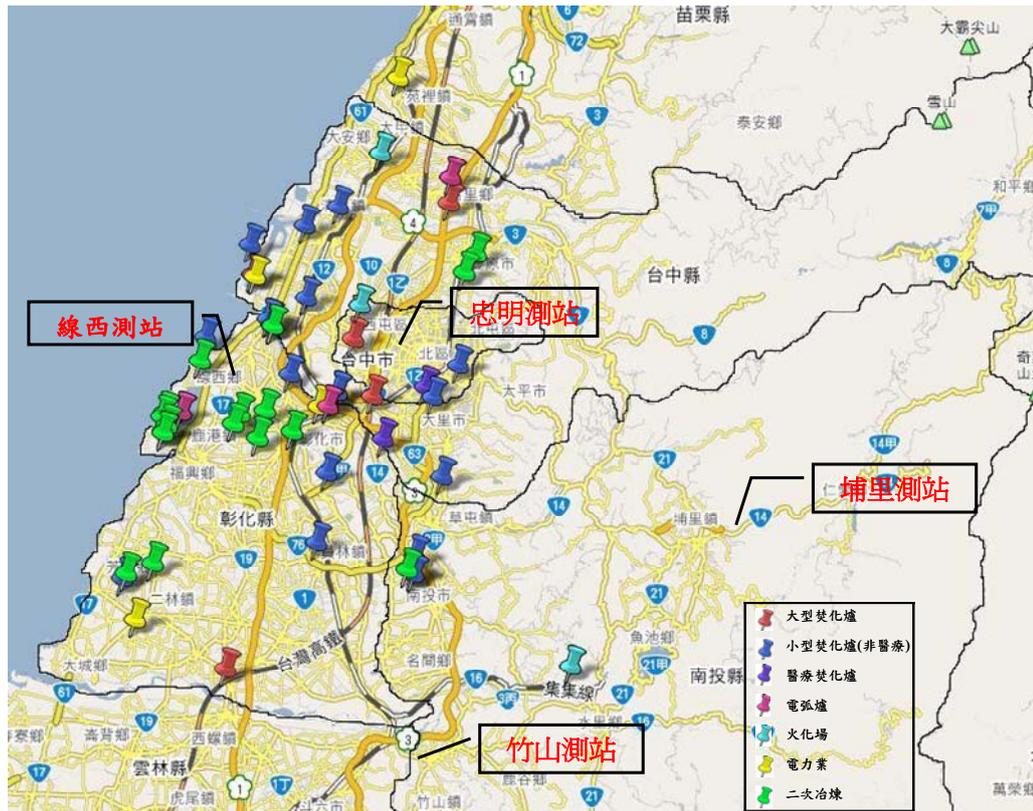
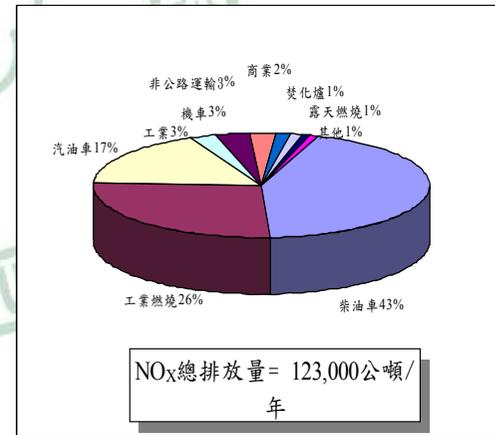
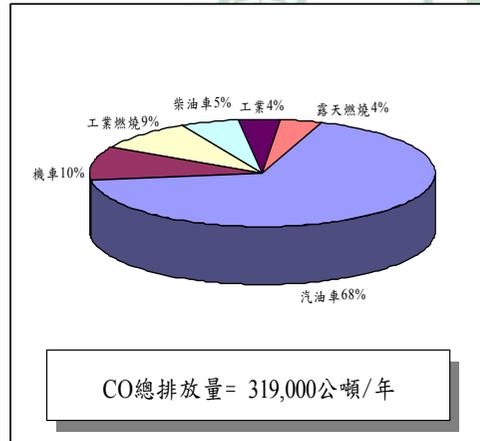
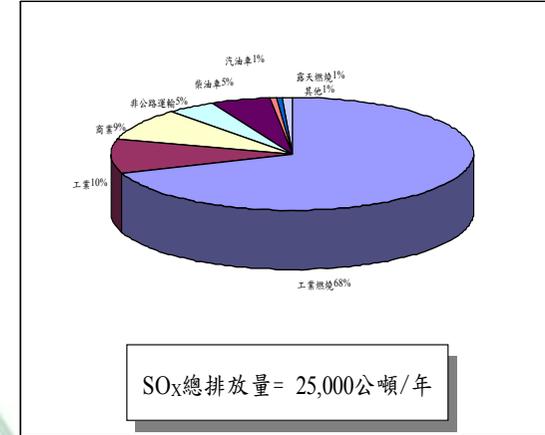
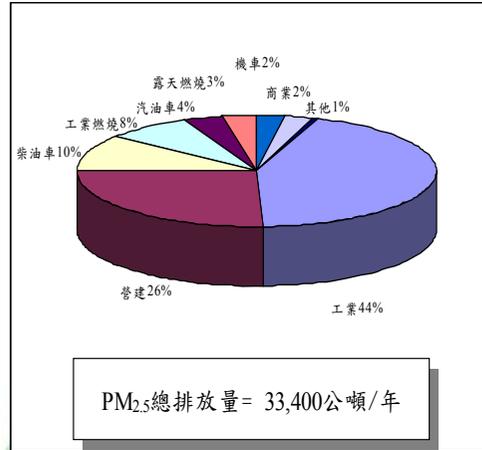
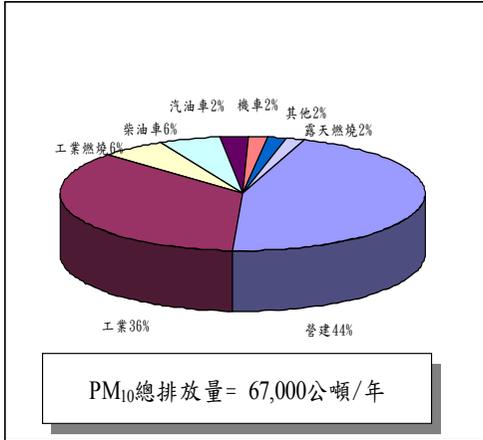


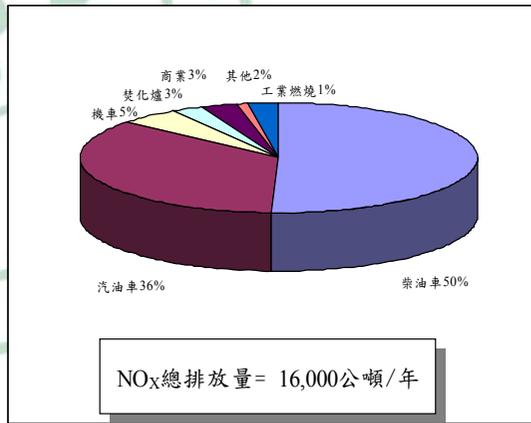
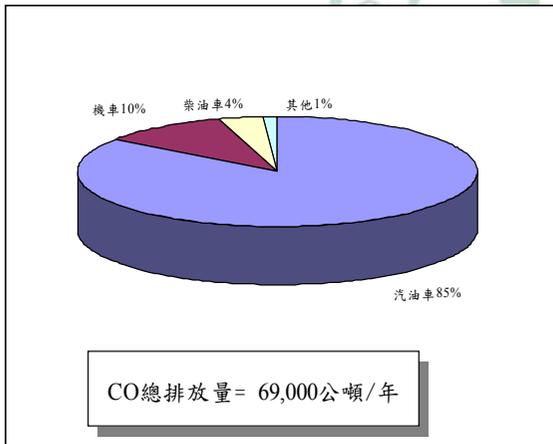
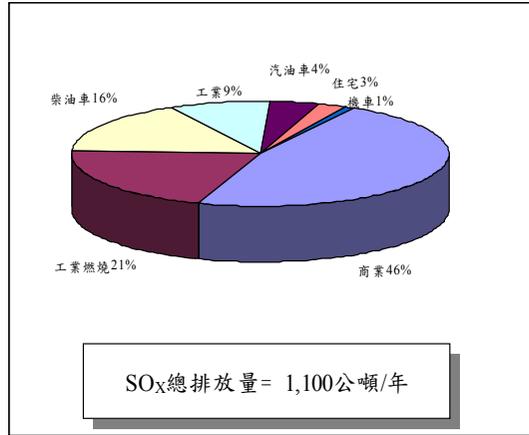
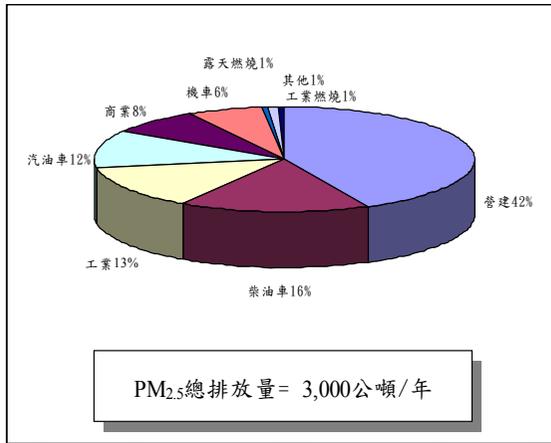
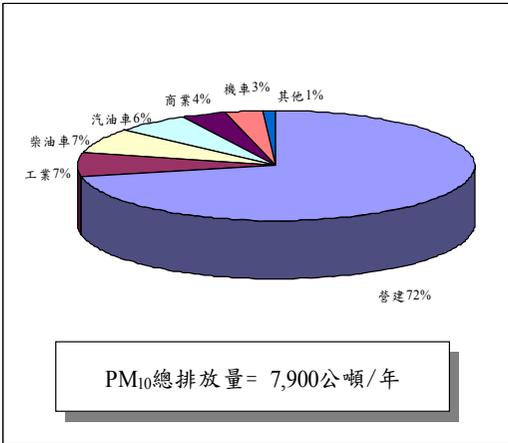
圖 2-6、中部空品區固定污染源所在位置





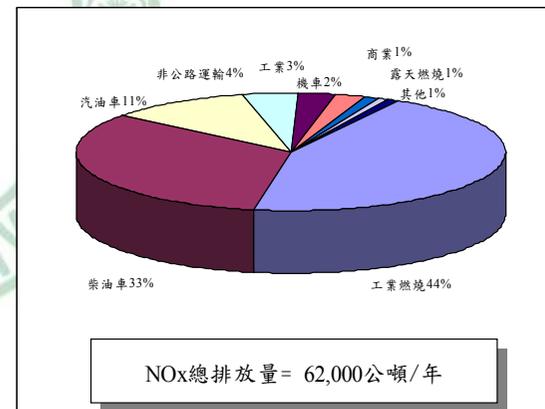
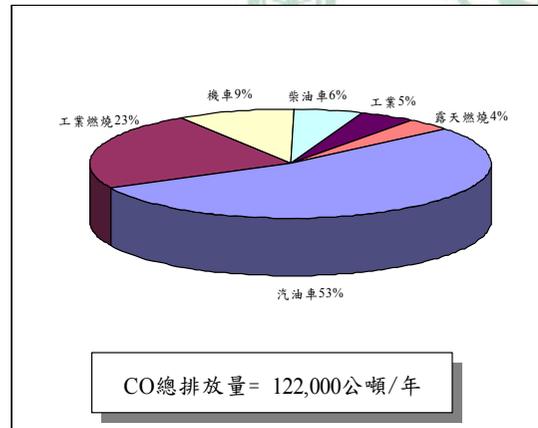
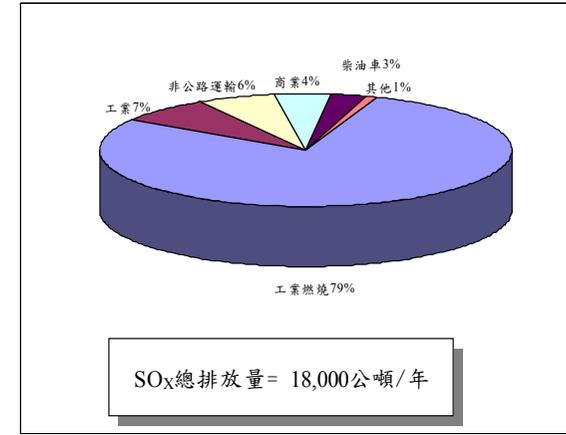
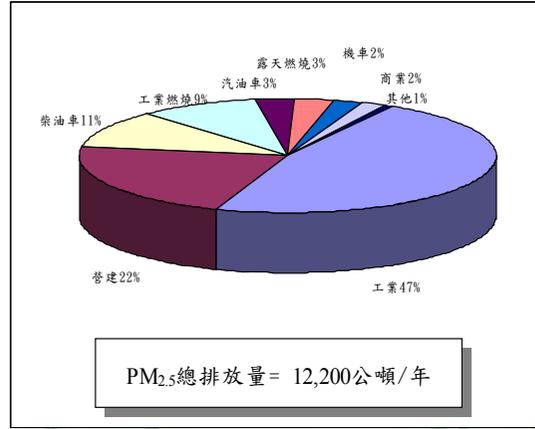
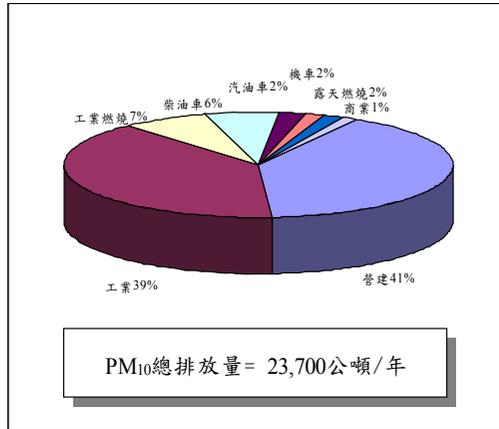
Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

圖 2-7、台灣 92 年中部空品區排放貢獻量分佈圖



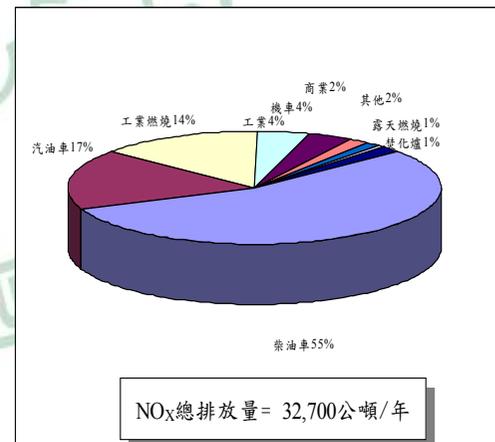
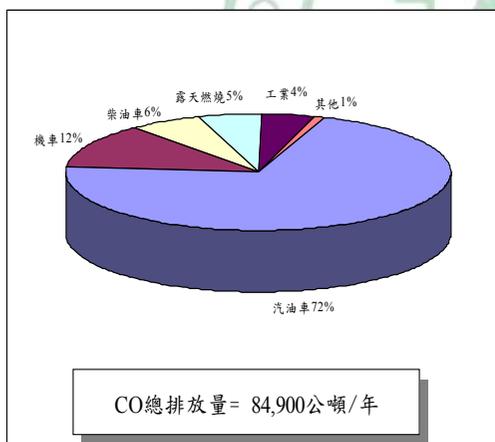
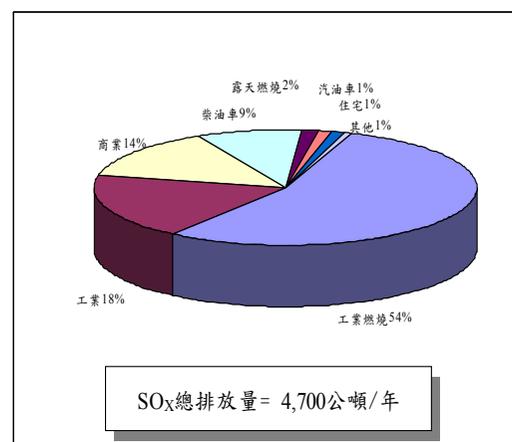
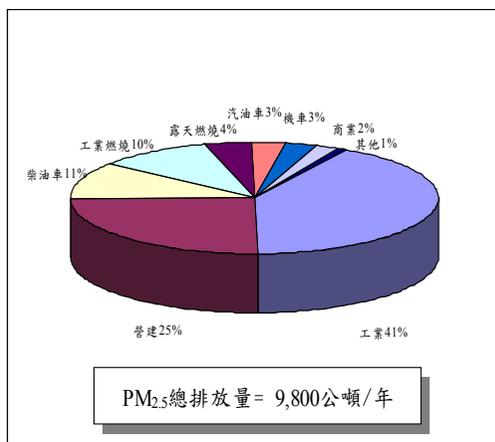
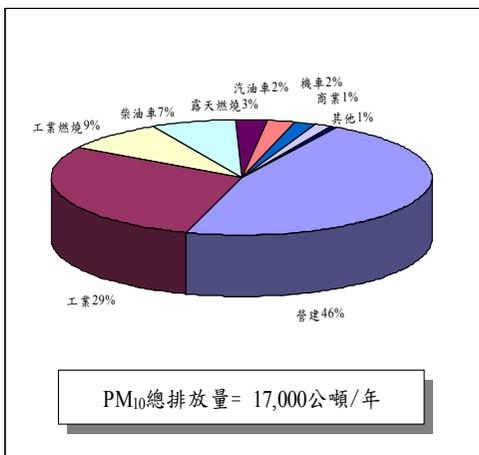
Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

圖 2-8、台灣 92 年台中市空品區排放貢獻量分佈圖



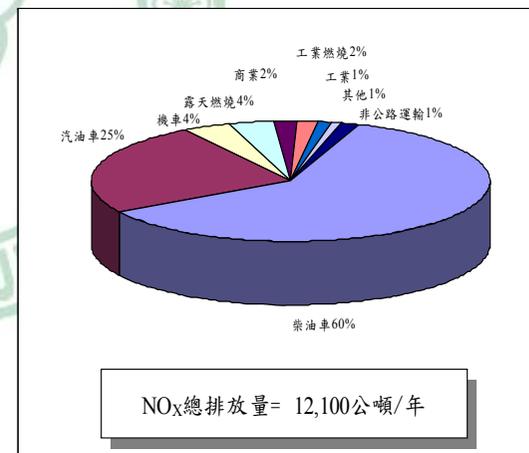
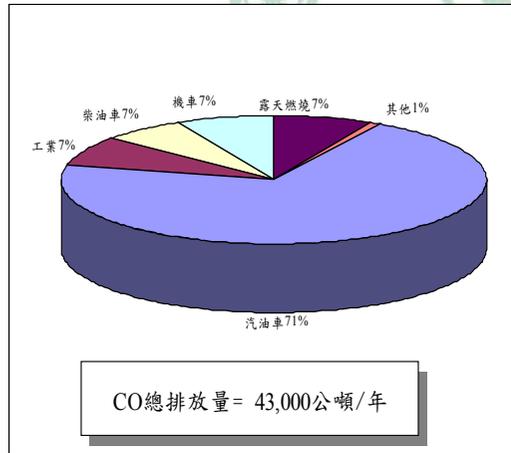
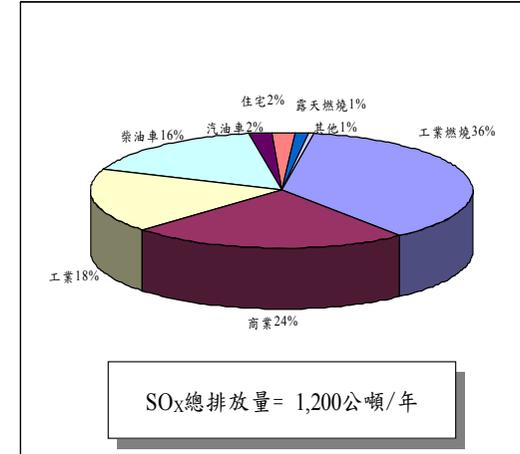
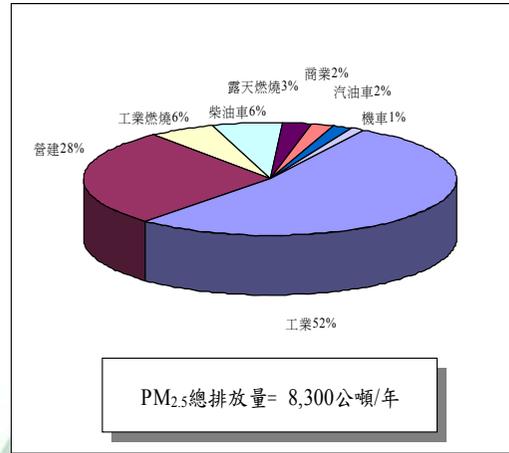
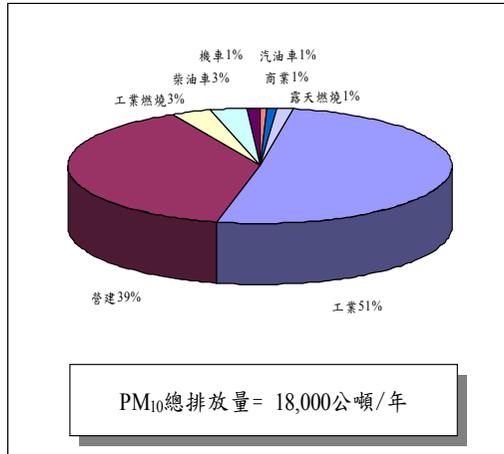
Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

圖 2-9、台灣 92 年台中縣空品區排放貢獻量分佈圖



Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

圖 2-10、台灣 92 年彰化縣空品區排放貢獻量分佈圖



Source: Taiwan EPA, <http://taqm.epa.gov.tw>

圖 2-11、台灣 92 年南投縣空品區排放貢獻量分佈圖

## 第三章 研究方法

### 3.1 研究架構

本研究研究架構如圖 3-1 顯示，根據文獻了解，中部空品區並沒有超細微粒數量濃度例行性監測，所以無法得知超細微粒的分佈情形和一整天數量濃度的變化趨勢，以及主要的污染源有哪些。因此本研究的目的為依據超細微粒數量濃度採樣資料及監測站數據資料，並利用統計分析，探討中部空品區大氣超細微粒數量濃度分佈及主要排放源。

研究上使用掃描電移動度分徑儀與凝結核計數器作為量測超細微粒的儀器，並搭配氣象儀進行採樣。此外，為瞭解中部空品區主要排放來源，因此會搭配環保署空氣品質監測站之空氣污染物如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  的濃度資料，及氣象因子如大氣溫度、溼度、日照、風速及風向的監測資料來進行分析，以判斷環境中超細微粒數量濃度的影響因子及主要排放源。

路旁量測部分，本研究選取台中市交通流量較高的中港路作為採樣地點，時間分別為早上及下午交通尖峰時段。測站量測方面，中部空品區包括台中市縣、彰化縣及南投縣，共 12 個測站，其中有 8 個一般測站、1 個工業測站、1 個光化學測站及 2 個參考測站，依據各測站地區特性、空氣污染物濃度及污染源等，選擇工業測站、都會區測站、光化學測站及人為影響較低的比較測站，分別為線西、忠明、竹山與埔里測站作為採樣測站。每個測站進行 2 次密集性 2 週採樣，合計每個測站採樣約 4 週。數據分析上，從不同採樣點了解濃度分布情形，及從時間序列瞭解超細微粒數量濃度在一整天的變化情形，在運用相關性探討超細微粒主要污染源。

表 3-1 為本研究期程，描述本研究內容及所需時間，包含交通及測站採樣時段、採樣前準備時間、數據分析以及論文撰寫。

### 3.2 採樣時間與地點

本研究為了解交通對於超細微粒數量濃度的貢獻情形，在 97 年 7 月間於路旁進行超細微粒量測。地點選取上是依據台中市交通處的路段車流量調查結果，從表 3-2 中可得知，不論上午或是下午尖峰時段，其前十名佔最多的皆是中港路交叉口路段。故本研究選取中港路四個車流量較大的路口來做比較，分別為中港路與文心路、工業路一段、忠明南路以及河南路的交叉口來做調查(圖 3-2)，在距離路口轉角約 3-4 公尺處，距離車道約 0.3 公尺以及離地約 1.2 公尺處測量交通路口超細微粒數量粒徑分佈(圖 3-3)。測量時間選擇在交通尖峰時段，分別為早上 6:30 到 10:00 和下午 16:30 到 20:00 左右。

測站採樣方面，採樣期間為 97 年 10 月至 98 年 1 月間，進行 24 小時連續性採樣，每個測站每次密集性採樣 2 週，其中 2 天進行必要的品保品管作業事項，包括儀器清理、校正儀器與下載數據，以確認數據的完整性。在完成一個測站採樣後會移到下個採樣點，依序輪流於四個測站採樣，合計有效採樣日數為 112 天。表 3-3 為每個測站採樣時間表，包含各個採樣點依序輪流採樣期間、使用儀器設備以及採樣期間的有效樣本數。

在選擇採樣點上，因時間地點及儀器數量上的限制，在研究期間無法針對中部空品區所有地區逐一測量，因此，須找出較具有異質性的地點進行量測。而由於需要利用環保署空氣品質監測站的空氣污染物及氣象因子數據，用來進行超細微粒可能排放源的判斷，因此採樣站上選擇與環保署空氣品質監測站之相同設置地點進行採樣。

目前中部空品區四個縣市內有 12 個空氣品質監測站，監測站設置上會根據當地污染源分佈、污染物濃度分佈、地形和地勢、氣象條件、人口分佈及交通狀況而分類。中部空品區地區分類上設有一般空氣品質監

測站、工業空氣品質監測站、光化學測站及其它測站。

線西測站為中部空品區工業測站，因此選取線西測站作為工業量測地點。線西測站位於彰化縣線西鄉，西側臨近彰濱工業區，工業區以金屬製品製造業、紡織製造業及塑膠品製造業為主，北側鄰近台中火力發電廠。線西測站採樣高度離地 13 m，海拔高度為 6 m，距離主要道路最近距離為 131 m。彰化縣環保局於 2006 年間調查該縣市污染源情形，顯示 SO<sub>x</sub> 總排放量 77% 來自工業、6% 來自汽油和柴油車輛，NO<sub>x</sub> 總排放量 47% 來自工業、47% 來自汽油和柴油車輛，且從表 3-3 中部空品區測站空氣污染物平均濃度得知線西測站的 SO<sub>2</sub> 為第二高，表示工業為線西主要污染源，次之為交通。

都會區測站部份，從表 3-4 中部空品區測站空氣污染物平均濃度得知忠明測站的 CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度比其他中部空品區測站為高，因此將忠明測站選取為都會區的代表性採樣點。忠明測站位於台中市主要交通道路中港路上忠明國小內，其屬於一般大氣測站，環保署主要佈設於能反映人口密集區居民暴露狀態之地點，或可能發生較高污染濃度之地點及都會區之上風與下風處。忠明測站採樣地點為忠明國小校舍頂樓，採樣高度離地 15 m，海拔高度為 95 m，測站東側約 100 m 為忠明南路，南側 150 m 處為中港路，根據台中市交通處資料顯示(表 3-1)，此交叉路口為台中市交通流量前四名之路段，顯示交通量較大。

光化學測站部份，中部地區光化學測站為南投縣地區的竹山測站，因此將竹山測站選取為光化學的採樣點，從文獻中(黃星富，2002)顯示台灣中部地區由於受到氣象與地形之因素的影響，會將台中都會區產生的臭氧前趨物及生成之臭氧吹向南投，經光化反應後產生南投地區之高臭氧濃度，表 3-3 中部空品區測站空氣污染物平均濃度得知竹山測站的 O<sub>3</sub> 為南投縣中第二高，顯示竹山測站亦有光化學反應產生。其監測

項目除了上述物質外還包含紫外線監測(UVB)，採樣地點為雲林國小校舍二樓樓頂，採樣高度離地為 8 m，海拔高度為 164 m，主要道路最近距離為 150 m。附近環境為南面約 3 km 是清水溪，雲南大橋附近有數家砂石場。

比較測站方面，從表 3-4 中部空品區各縣市人口數、車輛數及工廠數得知，南投縣受到人為排放污染較在四個縣市中較低，再根據南投縣測站空氣污染物平均濃度得知(表 3-4)，埔里站平均濃度較低於竹山站，所以本研究選取埔里站為人為影響較低的比較測站。埔里測站位於南投縣埔里鎮埔里國中，採樣高度離地為 18 m，海拔高度為 454 m，主要道路最近距離為 25 m。

從上述得知，本研究採樣點選擇工業測站、都會區測站、光化學測站及人為影響較低比較測站，作為中部空品區較具代表性的地點，分別為彰化縣線西、台中市忠明、南投縣竹山與南投縣埔里測站(圖 3-4)。四個測站距離介於 20~60 km 之間，圖 3-5 為每個測站實際採樣情形，可得知，採樣點在環保署監測站旁。

### 3.3 研究儀器設備

本研究之主要設備為掃描式電移動度分徑儀(sequential mobility particle sizer, SMPS)及凝結核計數器系統(SMPS +C, GRIMM Aerosol Technik, GmbH, Germany; Model 5.500)，其中掃描式電移動度分徑儀主要是依賴靜電脈衝分析儀(Vienna-type differential mobility analyzer, DMA Model 55-900)，其中DMA包含兩種測量粒徑大小範圍(採樣範圍5.5-350.4 nm；11.1~1083.3 nm)，是負責分離不同粒徑大小之微粒，本研究選用 L-DMA來作測量，其將11.1~1083.3範圍的粒徑分為44個較小粒徑區間，為了方便呈現，本文將寫成11~1000 nm。而凝結核計數器(condensation particle counter, CPC; Model 5.403)是負責計數微粒的數量，數量濃度量測

範圍為 $0\sim 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ ，敏感度為 $1\text{ cm}^{-3}$ ，而可量測之最小微粒直徑( $d_{50\%}$ )為 $4.5\text{ nm}$ 。詳細的儀器設計與原理可參考Winklmayr et al. (1990)與Reischl et al. (1997)。

原理上，採樣時環境中的多粒徑分佈微粒(polydisperse aerosol)會隨著空氣從採樣口進入截取直徑為 $1082\text{ nm}$ 之慣性衝擊器(impactor) (圖 3-6)，利用慣性衝擊的原理，將粒徑過大且可能多重帶電的微粒先予於去除，粒徑小於 $1082\text{ nm}$ 的微粒則進入中和器(neutralize, Am-241；Model 5.522)，使微粒帶電情況趨近一穩態波茲曼平衡帶電分佈(Boltzmann equilibrium charge distribution)，此時護套氣流(sheath air)同時進入中央圓柱電極，護套氣流會在中央圓柱外圍形成一個包圍的氣流，微粒在進入DMA 內部時，會在護套氣流外活動，再利用電壓變化影響選取出特定粒徑大小的微粒，選取出來的單一粒徑大小微粒，則會進入到護套氣流中，隨著護套氣流朝著中央圓柱向下移動，特定的單粒徑微粒就會被牽引進入口，單一粒徑的微粒就會從DMA 離開經由管線進入CPC 中，採樣中多餘的氣流會經由循環系統過濾後再利用成護套氣流。其中DMA 電壓範圍為 $0\sim 10000\text{ V}$ ，電壓大時選取粒徑大的微粒，反之，電壓小時選取粒徑較小之微粒。

經DMA 選取後之單粒徑微粒(monodisperse aerosol)會經由管線進入CPC(圖 3-4)，進入CPC 中的微粒會先經過攝氏 $40^{\circ}\text{C}$ 加熱槽與正丁醇(n-butanol)蒸氣混合，再通過攝氏 $15^{\circ}\text{C}$ 的冷凝管，使得正丁醇氣體能夠凝結在微粒表面上，讓微粒粒徑能增大到光學計數的範圍(約 $20\mu\text{m}$ )，再由雷射光學偵測計數微粒數量，計數完的數據資料，會傳輸到電腦中儲存，之後從電腦下載資料來分析數據。

為瞭解採樣期間之氣象條件，本研究將使用Campbell Scientific公司之日照輻射器、溫濕度器與超音波風速風向計，量測日照強度(Solar

radiation, SR)、溫濕度與風速風向(圖3-7)。

採樣資料部份，SMPS+C 及氣象儀皆為直讀式儀器，氣象儀所採集到數據將會儲存在資料記錄器，每次採樣期間後，會將資料傳輸到電腦上。量測時間設定上，循環每個粒徑大小量測一次時間為 7 分鐘，因此每筆數據採集時間為 7 分鐘，氣象儀為同樣的設定時間。

超細微粒數據資料則由於所需容量較大，其 SMPS 所附儲存卡容量只足夠儲存 24 小時採樣數據，因此，採樣期間我們搭配筆記型電腦，其採樣數據會同時儲存於電腦中，每次採樣期間後，僅需從電腦中取得資料，再建立成 excel 檔做分析即可。

混合層高度的計算上，利用美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)中的 GDAS 的氣象數據資料，輸入各個測站經緯度及採樣日期，經時差轉換後，即可得到採樣時段內各個測站的混合層高度資料。

### 3.4 環保署數據收集

空氣品質監測資料為環保署推動空氣品質保護及防治空氣污染工作的重要依據。此需要長期的監測系統，並透過網際網路收集各站資訊，以獲得即時數據並定時記錄。收集到的數據再經由軟硬體設備進行品質管制，以確保正確性及可靠性，以獲得完整且具代表性的監測數據。不同污染物儀器的種類包括有(環保署)：

一氧化碳(CO)分析儀是利用非散射性紅外線吸收原理所設計的儀器，其原理為利用 CO 會吸收 4700 nm 左右波長的紅外線，藉由紅外線發射前與接受後的強度差異改變，去定量出空氣中 CO 的濃度，因為紅外線吸收程度與 CO 的濃度有比例關係，吸收度越高，相對所測量空氣中的 CO 濃度也越高。

臭氧(O<sub>3</sub>)分析儀是一部利用紫外光(UV)吸收原理設計的儀器。臭氧會吸收在 254 nm 波長左右的紫外燈光，當系統啟動紫外燈光照樣品氣體

時，如果氣體內含有臭氧分子時，那接收紫外燈光後的強度會降低。發射前跟接受後的紫外燈光強度差異與臭氧的濃度成比例關係，所以在這樣的比例關係下，便可以用來定量空氣中臭氧的濃度，也就說吸收程度越高，則空氣中的臭氧濃度越高。

氮氧化物(NO<sub>x</sub>)分析儀根據化學發光法作為設計原理。此原理是利用臭氧與一氧化氮進行氣相反應，使得一氧化氮活化成二氧化氮。而二氧化氮回復較低能量狀態時，會放射出螢光，波長為 500~3000 nm 左右，最大強度大概在 1100 nm 波長。儀器利用這種原理，將臭氧放入反應室與一氧化氮進行反應，然後在測量反應後的螢光強度。而螢光強度與一氧化氮的濃度成比例，套入公式計算後便能得知濃度。

二氧化硫分析儀器是根據紫外燈光吸收原理，二氧化硫會吸收 200~240 nm 波長的紫外光，當 SO<sub>2</sub> 分子吸收紫外光後會產生 300~400 nm 波長的螢光，而產生出來的螢光總量與 SO<sub>2</sub> 成正比，所以利用此特性來分析空氣中 SO<sub>2</sub> 的濃度。

懸浮微粒-質量慣性法，以質量慣性法所設計的分析儀器，可以用來測量空氣中粒徑在 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下之粒狀污染物濃度。其原理是利用微量天平(震盪原理)去量測濾紙重量，而濾紙則是直接裝置在天平，當空氣樣品通過濾紙時(濾紙後面有排氣的管路)，濾紙會因收集了空氣中的懸浮微粒而產生重量改變，藉由此重量的不同造成震盪的變化，系統便能運算出空氣中懸浮微粒的濃度。空氣透過泵浦引進系統內進行分析之前，需要透過採樣器的輔助，將空氣中非懸浮微粒的物質以及會干擾分析的水氣給予去除，因此系統便由此計算出空氣中粒狀物(PM<sub>10</sub> 或 PM<sub>2.5</sub>)濃度。

環保署資料蒐集品保品管上，其有效數據依照規定，每小時至少有效取樣四十五分鐘以上，該小時方為有效小時值。儀器校正部分，自動

監測設施會每季執行一次流量校正。

### 3.5 品保與品管

品保品管的執行在於確保數據的準確度及完整性，有正確的環境數據才能做正確的判斷。採樣數據的取得，必須經過一系列包含採樣、數據資料保存與處理、儀器校正與檢測等步驟。由於實驗方法與儀器本身之誤差無法排除，但是必須儘可能的消除不正當操作，以及人為上的誤差，使得實驗值之誤差趨近於儀器誤差，因此品保品管作業就是確保所使用之方法及儀器能夠真正反應環境之現況。使數據的分析更具代表性。

掃描電移動度分徑器儀器維護上，每次凝結核計數器(CPC)開機時都會進行自我檢測，檢測儀器內部加熱槽溫度以及冷卻溫度是否正常、正丁醇量是否足夠、電源是否充足、流速以及歸零測試，歸零測試是指利用電移動度分徑儀不加電壓，來進行測量，系統自動運轉，直至計數值為 1 count/秒，當內部一切正常時才會開始測量，比較要注意的地方是儀器在搬運的過程，由於 CPC 內部多為精密儀器，所以當移動儀器時，需將儀器在關機的狀態並讓儀器平放且避免震動，防止儀器內部正丁醇 (n-butanol) 液體潑濺到其他部分，而造成儀器使用上測量問題發生，若是長時間移動儀器時，則需要將儀器進行乾燥作業，去除儀器管線中的正丁醇。搬運過程中吸入口與排出口均需以護套蓋住。每週皆需要清理衝擊板，每月需要乾燥 CPC、清理 DMA 過濾器及校正流量，正丁醇若使用不完需要定期更新。

儀器校正部份，將本研究儀器與 TSI SMPS 做比較，從圖 3-8 散佈圖可知，使用特定粒徑 50 nm、76 nm、113 nm、168 nm 及 241 nm 給予 SMPS 量測，結果顯示與 SMPS 所量測到的粒徑相關性高( $r^2 = 0.9995$ )，線性回歸之斜率為 1.0033，截距為 0.0262，顯示粒徑量測一致性高，數量濃度

值上，進行同時同地量測，結果顯示濃度值差距  $1000-1500 \text{ cm}^{-3}$ ，TSI SMPS 濃度較高，這可能與兩台儀器截取直徑及粒徑範圍不同所導致的。校正部份，儀器每年均需送回原廠校正。

超細微粒數據採集完後，會先進行數據品質管控分析(QA/QC)，確認數據是否有異常值，根據 Yu et. al. (2004) 檢測微粒採樣數據方式，使用超細微粒總數量濃度值(total number concentrations, TC)與小於 100 nm 不同粒徑間數量濃度變異數值(coefficient of variation, CV)值，取對數值並做成散佈圖，觀察每個測站超細微粒數量濃度數據的群聚分佈情形，是否有明顯偏差群聚圖的異常值存在，若有則是為該筆數據有異常，並於予刪除，從圖 3-9 數據群聚圖可得知，四個測站數據分佈情形大致相同，TC 範圍約在  $103-106 \text{ cm}^{-3}$ ，CV 範圍約在 3~200%，與文獻結果顯示約略相同，且圖中並沒有明顯異常值存在，因此沒有刪除任何一筆數據資料，分析上將會使用所有採集到的樣本數據。

### 3.6 資料統計與分析

本研究於 97 年 10 月至 98 年 1 月間之超細微粒進行連續監測及分析，並配合監測站空氣污染物與氣象資料，共計 12 個變項(UFP、 $\text{SO}_2$ 、CO、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、T、RH、SR、WS 及 WD)；在採樣期間，SMPS 與氣象儀為 7 分鐘一筆數據資料，每小時約有 8-9 筆數據，每個測站每次採樣(2 星期)約有 2688 筆 $\times$ 6 (UFP、T、RH、SR、WS 及 WD)筆數據資料，因為需利用監測站空氣污染物逐時資料，所以將數據整理為逐時資料，每次採樣約有 14(天) $\times$ 24(hr) $\times$ 12 筆數據資料，本研究將運用此數據資料進行分析。

微粒數量濃度採樣上，是與環保署監測站相同為連續不斷的長時間監測，因此分析上，利用時間序列來分析，以時間為基準描述微粒數量濃度在時間上的變化趨勢，並配合空氣污染物來瞭解該地區超細微粒數

量濃度是受到哪些因素影響，希望藉此瞭解影響微粒數量濃度變化比率，例如：早上出現濃度尖峰值與交通尖峰時間一致，配合空氣污染物以瞭解是否受到車輛影響。

統計分析上，使用敘述統計分析來描述樣本，主要用於得知各測站間的微粒數量濃度分佈情形，從總濃度平均值觀察不同測站的濃度，以得知該地區是否存在高濃度的超細微粒，而不同粒徑平均值及標準差可觀察該地區距排放源遠近，距離排放源越近粒徑越小且標準差變化越大，顯示微粒可能為剛生成的，再運用平均濃度，從盒型圖探討不同測站間的微粒數量濃度是否有顯著上差異。

在多變量統計方法的應用上，以主成份分析(principal component analysis)與因子分析使用上最廣泛，因子分析是針對內部相關性高的變數做資料簡化的工作，可以在眾多變數中歸類出具有代表性的變數，以較少的變數來詮釋原始資料，而又能保存住原有資料結構所提供的大部分資訊。因子分析方法應用特色，在定性上，可以協助研究者在眾多變數中找出具有代表性的共同因子，在定量上，可藉由此方法瞭解變項中的相關性。因此我們利用多變量統計分析法中的因子分析(FA)方法討論微粒數量濃度與污染排放源的關係。

本研究使用 Microsoft Office Excel2003 進行數據整理及統計軟體 SPSS12.0 來進行因子分析。運算方式是將一群具有相關性的資料，尋找出幾個共有因子或成份形成共同因子(common factor)，而每個資料所獨有的部份則歸為獨特因子(unique factor)，藉由因子間的相關性，以瞭解該地區受到哪些因素影響較大與微粒數量濃度之間相關性較高，以判斷該地區主要排放源。且可從相關性推估各測站間污染物濃度變化的相關性及影響性。

對於分析的資料是否適用於因子分析，可用 Kaiser-Meyer-Okin(簡

寫為 KMO) 檢定，KMO 統計量用於比較的各變數的簡單相關和偏相關的大小，取值也在 0—1 之間。當 KMO 接近於 1，說明變數間共同因子越多，做因子分析效果比較好，KMO 值低於 0.5 時，較不宜進行因子分析，其值越大越好，0.8 以上可視為極佳。而本研究結果顯示中部地區 KMO 統計量為 0.73、忠明測站為 0.80、線西測站為 0.73、埔里測站為 0.77、竹山測站為 0.67，顯示為適合用來探討相關係數，

Bartlett 的球形檢定是檢定“假設  $H_0$ =變異數共變異矩陣是單位矩陣的常數倍”，顯著機率 0.000 比顯著水準  $\alpha=0.05$  小，因此假設被捨棄。亦即，存在有不為 0 的共變異數，顯示觀測變量之間似乎有某種關聯。本研究結果顯示，其 p-value 皆等於 0.000，並小於  $\alpha=0.05$ ，表達顯著性，顯示相關矩陣間有共同因子存在，可進一步進行因子分析。

分析上，以主要因子法(principle axis factoring, PAF)之正交轉軸的最大變異法(varimax)，正交轉軸(orthogonal rotation)的前提假設，是假設各因子之間都沒有相關，而最大變異法(varimax)是藉由最大化每一個因子的負荷量變異來最小化因子之複雜度，使得轉軸前高的負荷量轉軸後更高，而低的在轉軸後更低，使得每個變項究竟屬於哪一個因子會變的更清楚。因子選擇上，從抽取特徵值(eigenvalue)大於 1.0 以上之共同因子(common factor)為主要因子。

共同性(初始與抽取因子後)上，當共同性越高，表示該變項與其他變項可測量的共同特質越多；共同性越低，表示該變項不適合投入因子分析中，當值接近 0 時，表該因子分析無貢獻，有時除去為宜。而本研究中觀測值皆大於 0.3，因此不予以刪除。

因子選取上可由初步抽取共同因子的結果(total variance explained)部分來選擇，以標準化後資料矩陣進行分析，保留特徵值大於 1 以上之因子作為共同因子。

本研究利用因子分析來探討各監測站空氣污染物與超細微粒數量濃度間的相關性，推估其可能污染源。



表3-1、研究期程

時間(月份) 工作項目	2008 年										2009 年						
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
文獻探討	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
採樣準備	■					■											
儀器測試		■															
環境調查			■	■	■												
採樣時間							■	■	■	■							
數據分析								■	■	■	■	■	■	■			
論文撰寫								■	■	■	■	■	■	■			
論文口試															■		
論文修改																■	

表3-2、台中交通流量表(2007)

路段	時間(上午尖峰)	車輛*(PCU/hr)
台中港路/工業一路	07:15 ~ 08:15	12642
台中港路/文心路	07:45~08:45	11718
台中港路/忠明路、忠明南路	07:15 ~ 08:15	10584
市政路/環中路	07:30 ~ 08:30	9708
台中港路/河南路	07:30~08:30	9028
台中港路/東興路/漢口路	07:30~08:31	8215
台中港路/安和路	07:00~08:00	8039
市政路/文心路	07:30 ~ 08:30	7633
台中港路/惠來路	07:15~08:15	7189
路段	時間(下午尖峰)	車輛 (PCU)
台中港路/文心路	17:30 ~ 18:30	12781
台中港路/忠明路、忠明南路	17:45 ~ 18:45	10519
台中港路/河南路	17:45 ~ 18:45	9923
台中港路/東興路/漢口路	17:45 ~ 18:45	9034
市政路/環中路	17:45 ~ 18:45	8817
台中港路/工業一路	17:15 ~ 18:15	8624
市政路/文心路	18:00 ~ 19:00	8083
台中港路/安和路	17:15 ~ 18:15	7315
台中港路/惠來路	17:30 ~ 18:30	7300

\* 此車量計算是依據其車種形式轉換成小客車當量數(Passenger Car Unit, PCU)，為分析交通量的基本單位。換算方式為一個 PCU 為一小汽車，一部大型車約 1.6 個 PCU，一輛機車約為 0.3 個 PCU。

來源：台中市交通處

表3-3、採樣時間表

日期	地點	儀器	有效樣本數
97/10/03~97/10/20	JM	SMPS、氣象儀	3460
97/10/29~97/11/12	SS	SMPS、氣象儀	2669
97/11/13~97/11/28	PL	SMPS、氣象儀	2332
97/11/28~97/12/12	JS	SMPS、氣象儀	2283
97/12/13~97/12/25	JM	SMPS、氣象儀	2536
97/12/29~98/01/09	SS	SMPS、氣象儀	2247
98/01/09~98/01/22	PL	SMPS、氣象儀	1282

表3-4、環保署空氣污染物年平均( $\pm\sigma$ )濃度(2004~2008)

空氣污染物 監測站	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
豐原(Fongyuan).	3.85(0.56)	0.61(0.12)	23.0(6.3)	27.1(5.03)	56.5(9.5)	39.6(8.0)
沙鹿(Shalu)	4.06(0.37)	0.46(0.10)	20.2 (3.8)	31.1 (4.56)	60.6(13.9)	<b>41.2(10.8)</b>
大里(Dali)	3.83(0.51)	0.68(0.18)	29.8 (9.7)	25.4(5.74)	<b>68.6(14.9)</b>	37.0(11.5)
忠明(Jhongming, JM)*	3.45(0.29)	<b>0.69(0.14)</b>	<b>32.1(7.9)</b>	23.8(4.57)	61.0(12.5)	32.5(10.8)
西屯(Situn)	3.53(0.37)	0.52 (0.11)	25.0(4.9)	28.4(4.77)	65.9(12.7)	32.7(9.9)
彰化(Changhua)	5.00(0.84)	0.55 (0.13)	30.4(8.1)	23.7(4.02)	67.7(16.3)	40.5(11.1)
線西(Siansi, SS)*	<b>4.55(1.04)</b>	0.36 (0.10)	18.8(5.1)	29.1(4.74)	61.2(14.0)	33.9(10.3)
二林(Erlin)	3.19(0.64)	0.34 (0.11)	14.5(3.9)	<b>31.5(4.56)</b>	62.0(14.7)	38.2(11.1)
南投(Nantou)	3.40(0.72)	0.58 (0.18)	25.6(9.4)	26.4(5.10)	62.8(17.0)	41.1(13.2)
竹山(Jushan, JS)*	2.86(0.48)	0.46 (0.16)	19.4(8.3)	30.2(5.02)	65.8(20.4)	37.4(16.4)
埔里(Puli, PL)*	2.15(0.26)	0.51 (0.16)	16.2(5.5)	30.4(5.51)	55.5(15.8)	36.5(13.3)

\*本研究採樣地點

表3-5、中部空品區各縣市人口數、車輛數、工廠數量統計資料

地區	人口數 (2006)	汽機車輛數 (2008)	人口密度 (people/km <sup>2</sup> ) (2006)	工廠 (2005)	重工業 (2005)
台中市	1,062,244	973,176	6,391	3,015	1,976
台中縣	1,553,446	1,506,325	752	11,759	7,241
彰化縣	1,313,003	1,306,111	1,224	7,656	3,759
南投縣	532,762	523,628	130	752	271

來源：內政部中部辦公室戶政司

表3-6、中部空品區各縣市車輛數、工廠數量與排放量比較表

	固定污染源 (工廠數)	PM <sub>10</sub> (10 <sup>2</sup> ton/year)	PM <sub>2.5</sub> (10 <sup>2</sup> ton/year)	SO <sub>x</sub> (10 <sup>2</sup> ton/year)	NO <sub>x</sub> (10 <sup>2</sup> ton/year)	CO(10 <sup>2</sup> ton/year)
台中市	3015	6	4	3	2	2
台中縣	11759	110	69	154	294	341
彰化縣	7656	64	50	34	60	42
南投縣	752	99	49	6	3	33
	移動污染源 (汽機車輛數)					
台中市	973176	13	11	2	148	680
台中縣	1506325	24	20	6	283	833
彰化縣	1306111	19	16	5	249	758
南投縣	523628	9	8	2	108	365

來源：內政部中部辦公室戶政司；環保署

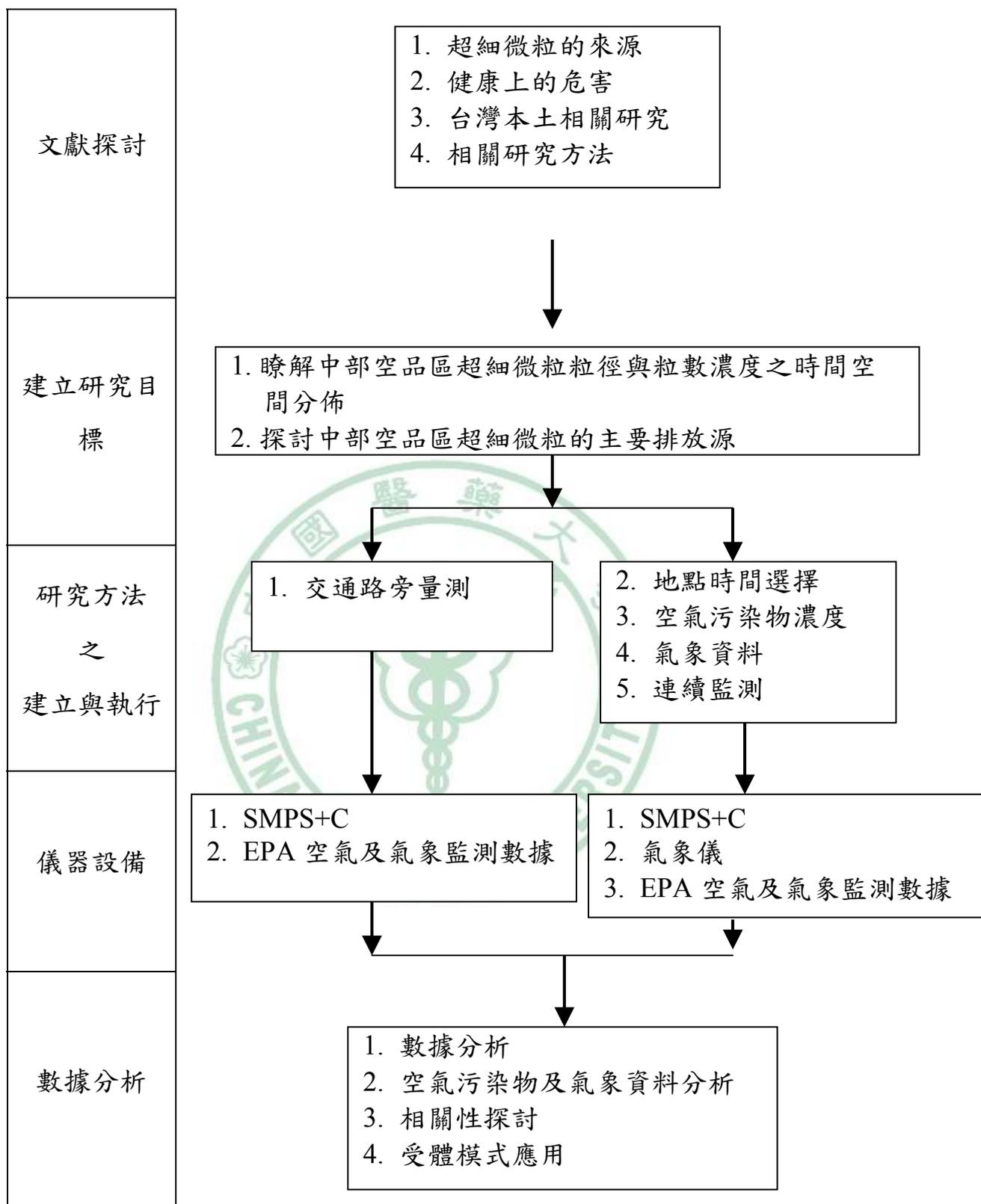


圖 3-1、研究流程圖



圖 3-2、台中市路旁站位置圖



圖 3-3、台中市路旁採樣實際情形

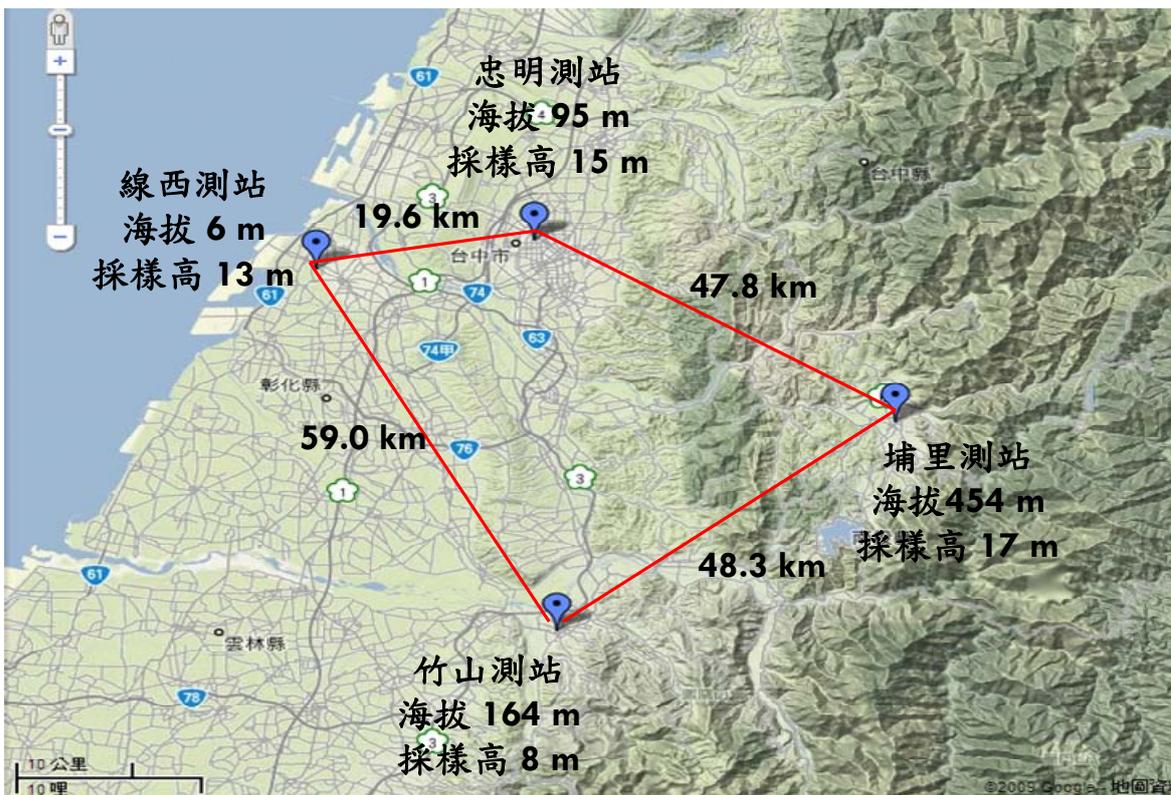


圖 3-4、採樣監測站位置圖

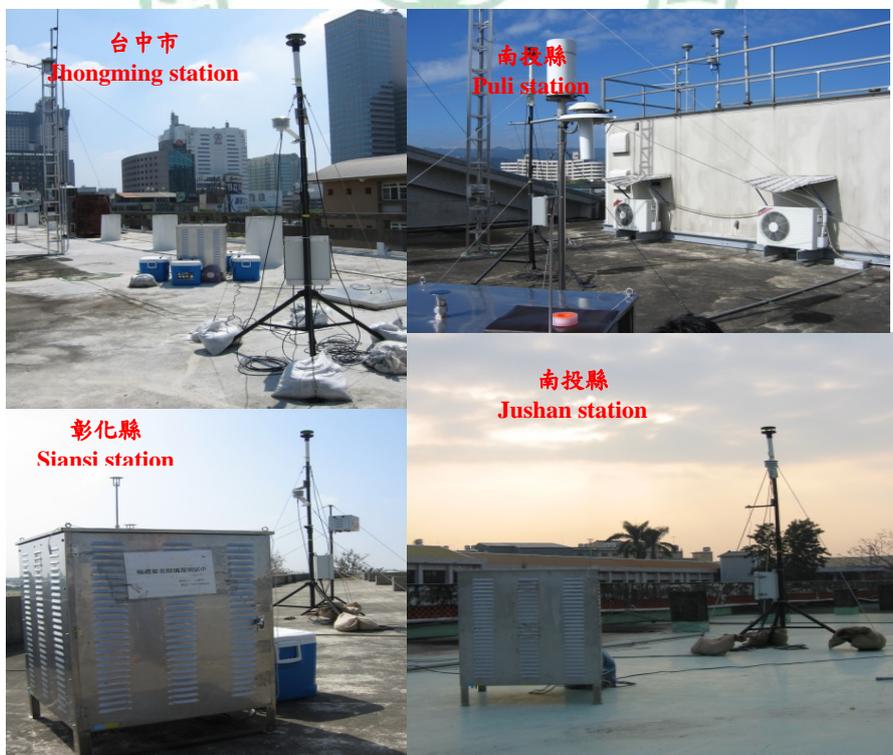
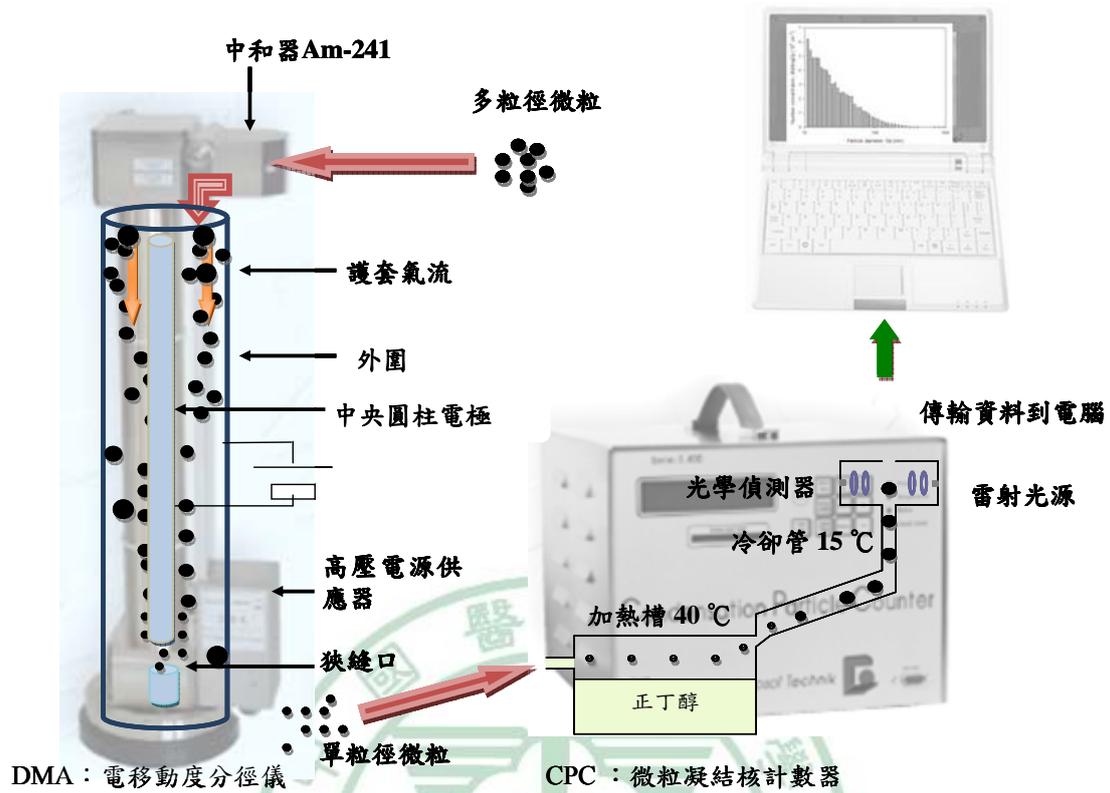


圖 3-5、測站採樣實際情形

(a)



(b)



圖 3-6、SMPS 構造示意圖：(a)DMA(H：63 cm) and CPC(26×29×23 cm)，

(b)實際照片

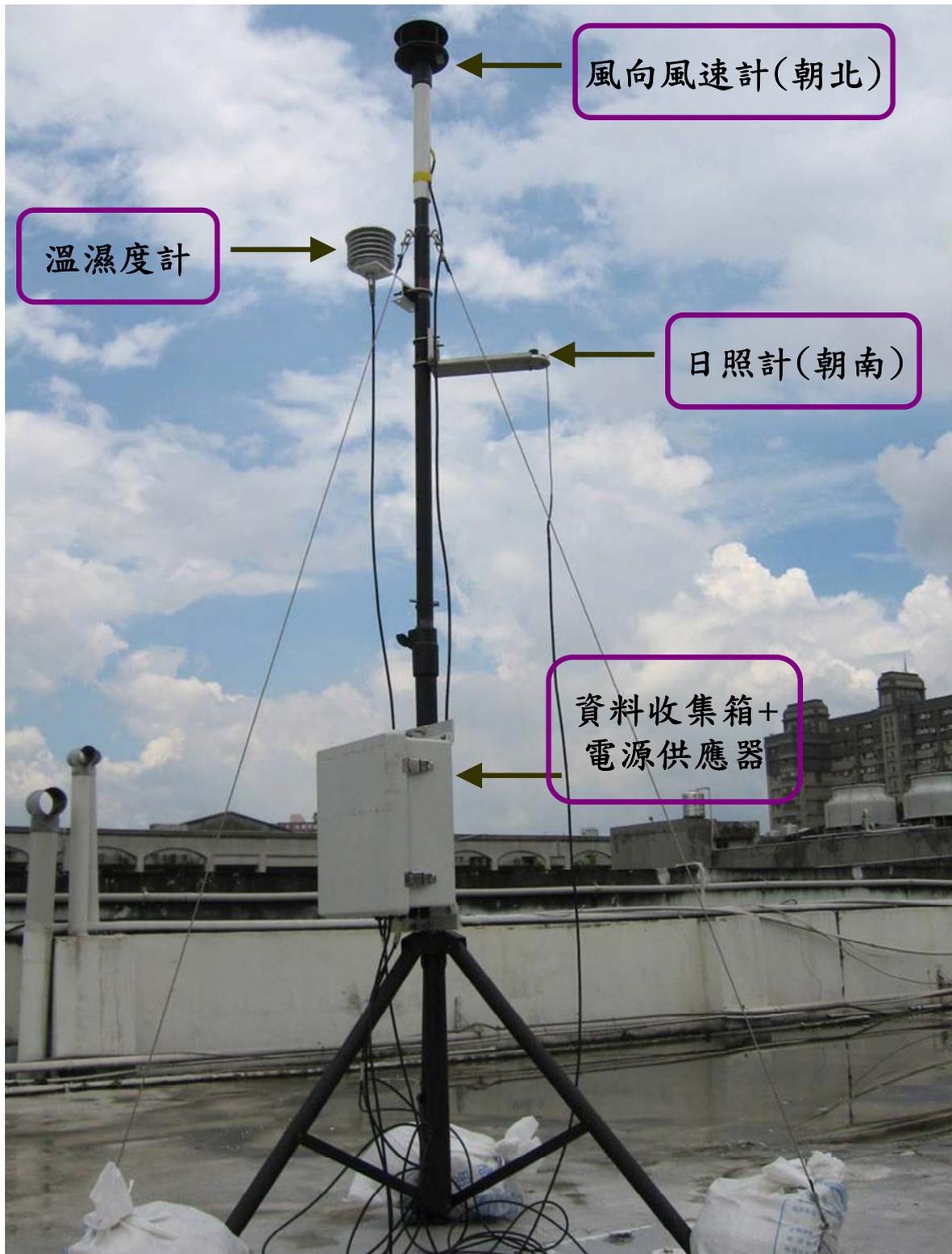


圖 3-7、氣象儀於忠明測站三樓樓頂架設實際情形(儀器高度約 2.5 米)

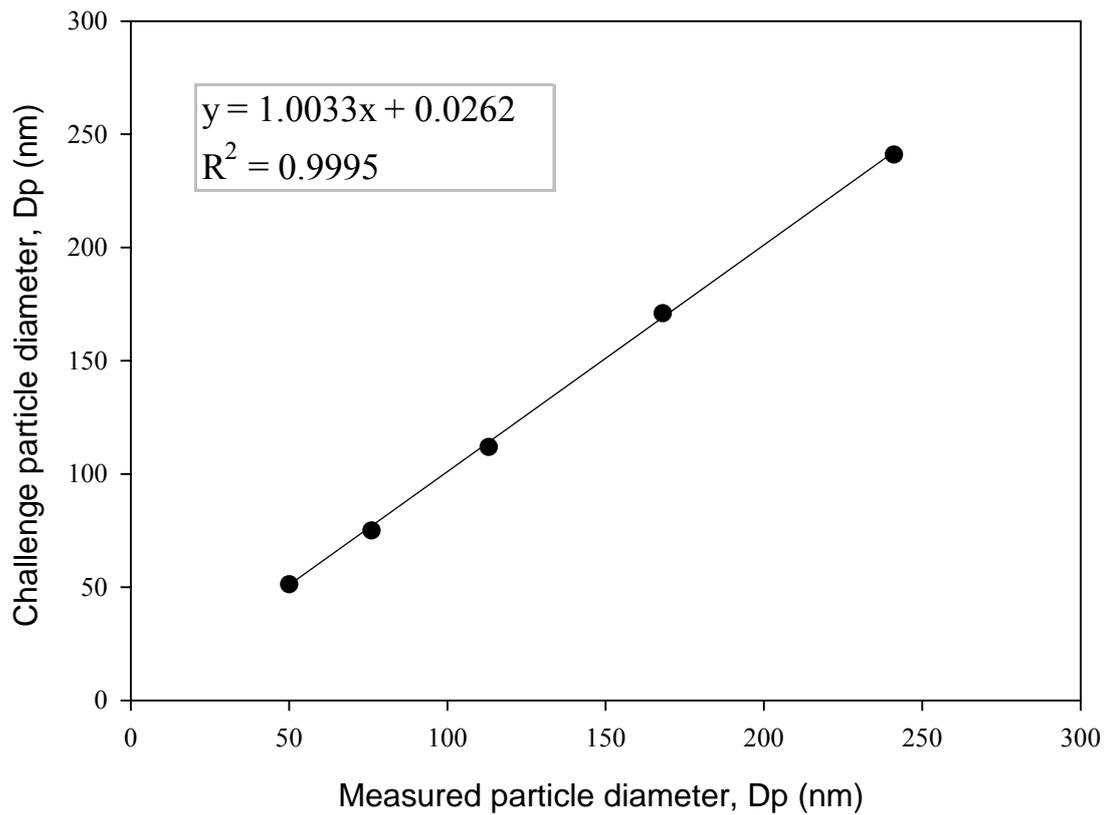


圖 3-8、SMPS 粒徑與特定粒徑散佈圖

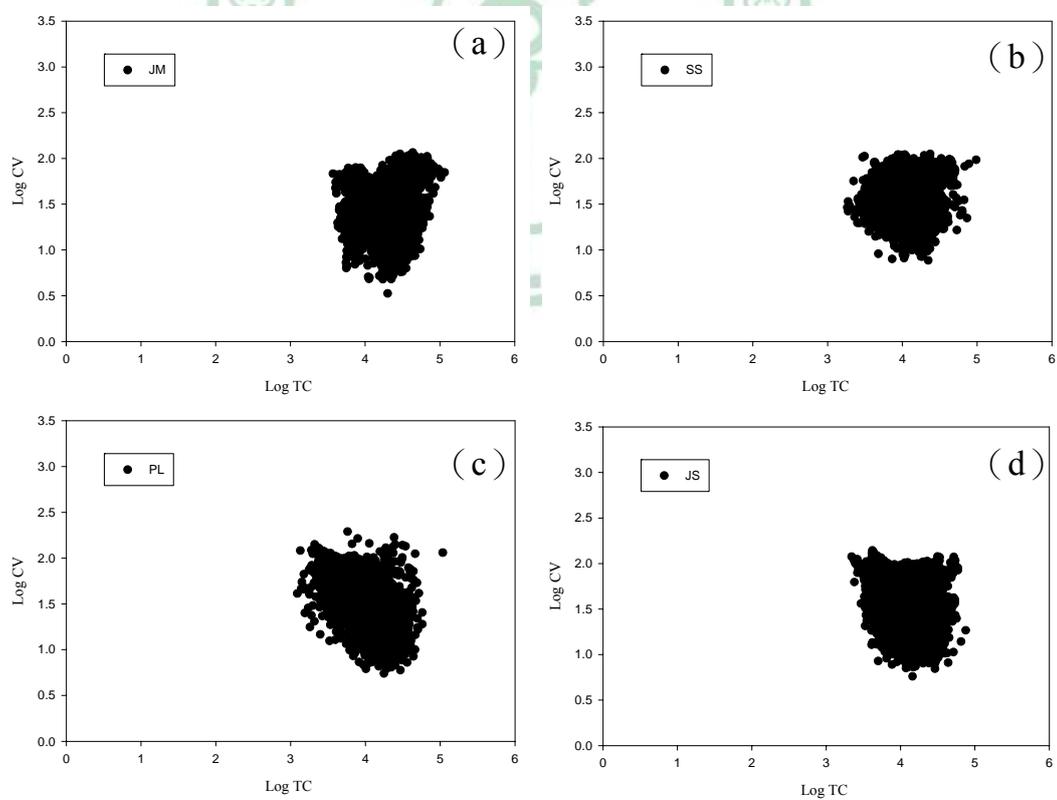


圖 3-9、採樣數據群聚圖：(a)、忠明測站 (b)、線西測站  
(c)、埔里測站 (d)、竹山測站

## 第四章、結果與討論

本研究主要是調查中部品區超細微粒數量濃度分佈情形，本章節共分為兩個部份，第一部分為在台中地區交通路旁量測，第二部份為在四個測站分別量測。前者的目的是為了解台中地區移動性排放源超細微粒數量濃度分佈情形，因此針對台中市交通流量最大的四個路段進行採樣，分別為中港路與文心路、工業路一段、忠明南路以及河南路的交叉口來做調查，測量時間為早上 6:30 到 10:00 和下午 16:30 到 20:00 交通尖峰時間左右，並探討超細微粒數量濃度及粒徑分佈。

後者的目的是為了解中部空品區大氣超細微粒數量濃度及粒徑分佈情形，因此於台中市忠明測站(都會區)、彰化縣線西測站(工業區)、南投縣埔里測站(背景區)及南投縣竹山測站(光化學區)進行 24 小時連續採樣，採樣期間為 97 年 10 月至 98 年 01 月。而本章節「中部空品區」代表合併四個採樣點之數據加以分析及討論。以下所謂超細微粒是指微粒粒徑界於 11-100 nm 間，總懸浮微粒是指粒徑界於 11-1000 nm 間。此外， $N_{\text{UFP}}$  是指微粒粒徑界於 11-100 nm 間的數量濃度， $N_{>100}$  是指微粒粒徑大 100 nm 的數量濃度。

分析上，先描述採樣期間中部空品區氣象及空氣品質狀況，再探討中部空品區以及四個測站，分析其超細微粒數量濃度及粒徑分佈，並運用相關性分析及因子分析探討主要排放源。再經逐日觀察超細微粒逐時資料，分別探討濃度尖峰值產生原因。

### 4.1、台中地區交通路旁之研究結果

本研究於 97 年 7 月間於路旁進行超細微粒量測，其結果顯示於表 4-1，在交通尖峰時段道路旁測量到的超細微粒粒數濃度平均值( $\pm$ 標準差)為  $25(\pm 14) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，與其他地區調查比較(表 4-2)，明顯高於台北公車站旁交通尖峰時段所量測超細微粒數量濃度值，介於 Shi et al. (2001) 及

Westerdahl et al. (2005) 分別於 Birmingham 路旁及洛杉磯都市地區的高速公路量測超細微粒數量濃度值之間( $18.0-49.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ;  $4.7 \sim 19 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ )，也高於 Zhu et al. (2002) 於洛杉磯高速公路所量測到的超細微粒平均數量濃度，數量濃度為  $13 \sim 20 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。

從不同路段、但不分時段來看，中港路與忠明南路交叉口超細微粒數量濃度( $\pm$  標準差)為  $16.0(\pm 6.3) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、與河南路交叉口為  $25.6(\pm 13.9) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、與文心路交叉口為  $31.5(\pm 13.8) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  以及與工業一路交叉口為  $25.1(\pm 15.7) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，除忠明南路外其餘三個路段濃度相當接近。

微粒粒徑分佈部分，當微粒從一燃燒排放源排放生成時，此時的微粒粒徑最小，且超細微粒佔總懸浮微粒會越多，微粒的粒徑大小會隨著排放出來的時間越久，隨著時間的增加而在大氣環境中進行膠結或凝結作用，而使得微粒粒徑逐漸增大，因此粒徑數量濃度分佈，可用來推估採樣點距離污染源的情形。從粒徑分佈上來看(圖 4-1)，路旁所量測到的超細微粒數量濃度佔總微粒數量濃度的 89% 以上，幾何平均粒徑為 25-35 nm。圖中顯示在四個道路旁所量測到的超細微粒數量濃度粒徑愈小的微粒其濃度越高且變異性也越大。後者反映著愈小的微粒其存在空氣中的時間愈短暫，或其排放源的變異性愈大。相對於研究室內所量測到的粒徑數量濃度分佈來看，其尖峰值位於 67 nm 左右，且數量濃度明顯低於路旁所量測到的數量濃度值，顯示室內環境中的微粒可能屬於較老(存在環境中較久)的微粒，或是沒有一個較強的燃燒排放源存在，也可推測是因為距離排放源較遠的因素所造成。

在道路邊所量測的微粒，在不同時間比較上(表 4-1)，除了忠明南路外，其他路段超細微粒數量濃度在早上交通尖峰時段明顯高於晚上交通尖峰時段的數量濃度，從盒子圖來看(圖 4-2)，顯示上午與下午超細微粒

數量濃度是有些許的差距，但差異性並不大。與忠明測站之超細微粒濃度時間序列比較(圖 4-3)，從圖中可得知，忠明測站所量測到的超細微粒數量濃度明顯低於路旁所量測到的數量濃度值，而不同路段在早上的時間序列變化有明顯濃度上升下降趨勢，分別在早上 7:00 至 8:00 時有濃度尖峰值產生，之後會逐漸減少，與觀察到車流量的情形符合，也與台中市交通局標示尖峰時段符合，但反觀晚上的時間序列情形，每個路段皆看不出數量濃度的變化趨勢，甚至有些路段濃度還有持續上升的情形，顯示並未量測到濃度的尖峰值，本研究推測可能是測量時間不夠長，其原因可能是地區特性，例如工業區有輪班制度，所以上下班時間並不同，或是辦公大樓的員工並不一定準時下班有可能有加班的情形，所以導致下午交通尖峰時段的車流量並不固定，亦可能受到下午路邊大氣稀釋作用不明顯的影響；此外，整體而言，樣本數不足一是一個可能重要原因。

綜合以上分析結果可知，超細微粒對空氣中總微粒粒數濃度有決定性的影響，所占百分比皆在 89% 以上。此外，可從粒徑分佈看出超細微粒數量濃度有高度的變異性，反映了它們存在空氣中之短暫性，及其排放源之多變性。

比較不同路段及忠明測站所量測的超細微粒數量濃度時間序列圖(圖 4-3)，圖中顯示在早上路旁與測站所量測的超細微粒數量濃度的時間序列變化較有一致性，而下午測站所量測到的數量濃度可明顯看到尖峰時間為 18 點左右，而路旁則無明顯尖峰值產生。從超細微粒數量濃度來看，路旁所量測的數量濃度明顯高於測站所量測到的數量濃度值，而忠明路段早上下午數量濃度無差異與測站所測到的結果相同。從上述可得知，路旁所量測到的超細微粒數量濃度會高於測站及室內所量測到數量濃度值，顯示越接近排放源(此排放源意指機動車輛)所量測到的超細微粒

數量濃度愈高。

#### 4.2、採樣期間之中部空品區氣象條件及空氣品質狀況

本研究採樣期間，除了抓取環保署空氣品質監測站之外，同時設立氣象儀來探討微粒數量濃度的影響因子，從表 4.3 氣象儀與監測站氣象因子相關性表可得知，兩者相關性皆在 0.9 以上，而為配合日照計數據資料，因此選用氣象儀的數據資料做為分析數據。表 4-6 為採樣期間中部空品區之氣象條件如，從表中得知平均溫度為 20.6°C，平均溼度為 71.2%，平均風速為 1.81 m/s，盛行風以西北風為主(圖 4-4)。降雨量方面，採樣期間總降雨量為 57.2 mm。與往年比較(表 2.1)，整體來說，溫度無顯著差異，但溼度、降雨量及風速略低於往年。

針對空氣品質部份，採樣期間空氣品質不良日(PSI>100)共 21 天，其中以臭氧為主要指標污染物(57.14%)；次之為懸浮微粒(42.86%)。與往年同樣月份空氣品質平均值比較(表 2-3)，其空氣品質不良日平均共 42 天，其日數有明顯降低的情形，但主要指標污染物同樣是由臭氧及懸浮微粒造成空氣品質不良的情形。

關於空氣污染物部分，採樣期間空氣污染物平均值(表 4-8)分別為 SO<sub>2</sub> 平均濃度為 3.77 ppb；CO 平均濃度為 0.50 ppm，O<sub>3</sub> 平均濃度為 26.3 ppb，NO<sub>x</sub> 平均濃度為 24.0 ppb，PM<sub>10</sub> 平均濃度為 58.5 µg/m<sup>3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 平均濃度為 37.6 µg/m<sup>3</sup>，與往年平均值比較(表 2-3)。其 SO<sub>2</sub> 平均濃度為 4.05 ppb，CO 平均濃度為 0.72 ppm，O<sub>3</sub> 平均濃度為 22.6 ppb，NO<sub>x</sub> 平均濃度為 33.5 ppb，PM<sub>10</sub> 平均濃度為 76.0 µg/m<sup>3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 平均濃度為 36.7 µg/m<sup>3</sup>，顯示 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 及 PM<sub>10</sub> 皆有明顯降低的情形，而 O<sub>3</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 則為上升情形，顯示中部空品區空氣品質有逐年改善的趨勢，但在臭氧及細微粒 PM<sub>2.5</sub> 污染上還有待改進。

### 4.3、中部空品區之研究結果

#### 4.3.1、超細微粒數量濃度與過去研究之比較

本研究於中部空品區針對超細微粒數量濃度進行量測(表 4-5)，其超細微粒逐分資料共採集 17444 個樣本數，超細微粒平均濃度為  $1.75(\pm 1.14)\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，總微粒數量濃度為  $2.23(\pm 1.29)\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，與國內量測資料比較，此平均濃度低於南部超級監測站 2006 年 10 月至 2007 年 2 月間所測得之總微粒數量平均濃度  $4.0\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  (9.8-875 nm) (簡志祥，2007)，但相當於北部超級監測站之總微粒數量平均濃度  $2.23\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  (20-600 nm) (環保署空氣品質監測報告，2006~2008)。與國外不同環境量測數據比較，中部空品區超細微粒數量濃度低於與 Watson et al. (2006) 在佛列斯諾超級測站(Fresno supersite)所量測到最高濃度( $2.4\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ )，高於 Jeong et al. (2004) 在紐約 Rochester 大氣背景站所測得的濃度  $0.8(\pm 0.5)\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，顯示中部地區超細微粒污染問題有必要進一步的深入探討。

整體來說，從表 4-2 不同地點總懸浮微粒數量濃度比較表上，可得知，不同的地區所量測到的數量濃度值皆不同，但整體來說，環境上所量測到的總微粒數量濃度值，會低於路旁所量測到的總微粒數量濃度值，而高於室內環境及背景地區所量測到的總微粒數量濃度值。

#### 4.3.2、超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子之時間序列變化

中部超細微粒逐時濃度分佈圖如圖 4-6 所示，結果顯示微粒數量濃度在時間序列上有兩個尖峰值出現，分別在早上 8 點至 9 點，下午 18 點至 19 點。與空氣污染物比較，發現整體趨勢變化與  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  較相似，而在早上超細微粒數量濃度尖峰值部份，與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  較有一致性，而下午尖峰值部份，則與  $\text{PM}_{10}$  趨勢較有一致性，而此兩個

尖峰值出現的時段為交通尖峰時段，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 又為移動性主要排放污染物，因此推測測站所量測到的超細微粒主要是來自於移動性排放源。而超細微粒數量濃度下午濃度高於早上，就空氣污染物方面來看，空氣污染物濃度在上午及下午尖峰值出現時段濃度並無差異，除了 PM<sub>10</sub> 濃度有上升，因此推估可能受到與 PM<sub>10</sub> 相同來源影響。氣象因子方面，從圖(c)可得知，中午超細微粒數量濃度受混合層上升而導致數量濃度值下降，空氣污染物也有同樣變化。而到了晚上及凌晨時，從圖中可發現超細微粒數量濃度會呈現下降的情形，推測可能是到了晚上交通量減少，表示交通排放源減少，且晚上的高溼度有利微粒粒徑的成長，高濃度的微粒表面積濃度可藉由膠結作用而消耗超細微粒，而造成超細微粒數量濃度下降，但 CO 及 NO<sub>x</sub> 卻仍然在上升，可能是因為到了晚上日照減少，因此無光化學作用，所以氣態污染物沒有被光化學反應消耗，且此時混合層高度下降，而造成氣態污染物濃度持續上升，但因為沒有污染源持續提供，因此氣態污染物在凌晨時濃度同樣呈現下降的趨勢。

#### 4.3.3、超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子之相關性探討

為進一步瞭解超細微粒數量濃度是受何種排放源影響，本節利用相關性討論超細微粒與空氣污染物之間的關係。整體而言，超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性最高 ( $r^2=0.54$ 、 $0.55$ ) (表 4-4)，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 兩者的相關性非常高 ( $r^2=0.89$ )，顯示超細微粒數量濃度可能與兩者有相同的排放源。從不同時段來看結果相同，在早上下午交通尖峰時間 (6:00~10:00; 16:00~20:00) 與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性高，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性高 ( $r^2=0.86$ )。從圖中可得知下午超細微粒數量濃度高於早上，由氣態污染物來看，氣態污染物濃度未有增加的情形，而 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 濃度有上升的趨勢，因此推測可能是受到 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 的排放源影響。由上述可知，超細微粒尖峰值發生於交通尖峰時間內，且與移動性排放污染物有高相關

性，因此可知，中部地區超細微粒整體來說主要是受到移動性污染源影響較大。在表4-4中同樣可發現PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>與超細微粒濃度相關性低，因此若是用質量濃度來推數量濃度是不適當的。

氣象因子方面，從表4-3中可得知，溼度與超細微粒為負相關，可能是高溼度有利微粒粒徑的成長，而與風速呈現負相關性，顯示當風速增加時，超細微粒數量濃度因為擴散或傳輸的因素，而導致濃度下降，顯示中部空品區超細微粒排放源是來自於當地。由上述可知，中部空品區超細微粒數量濃度可能受到濕度及風速影響，而其它氣象因子的影響則相較不顯著。

#### 4.3.4、超細微粒數量濃度粒徑分佈

在微粒粒徑分佈部分，當微粒從一燃燒排放源剛產生時，其剛生成的微粒粒徑最小，超細微粒佔總懸浮微粒數量會越多，隨著排放出來的時間越久，微粒在大氣環境中進行膠結或凝結等活動，而使得微粒粒徑逐漸增大，因此粒徑分佈的特色與改變，

從圖 4-7 路旁、室內與測站超細微粒粒徑濃度分佈圖來看，可得知除了室內所量測到的情形不同之外，路旁及測站當粒徑愈小其微粒濃度越高，其變異性也隨之增加，反映了微粒存在空氣中之短暫性及高度變異性。本研究同樣於室內環境及交通排放源進行量測，結果顯示，相較於室內粒徑濃度，中部空品區明顯高於室內環境；但低於路旁所測量到的超細微粒粒徑濃度，且交通及中部地區在小微粒部分濃度持續上升，似乎還未採集到尖峰值；就幾何平均粒徑來看，路邊為 27 nm、中部空品區為 50 nm、室內環境 68 nm(圖 4-8)。從超細微粒數量濃度佔總濃度百分比來看，路旁為 93%、中部空品區為 76%、室內環境為 68%(圖 4-9)，從上述得知，路邊所量測到幾何平均粒徑最小且超細微粒所佔百分比最高，顯示距離排放源較近，反之，室內環境距離排放源最遠，或是室內

環境中沒有明顯的燃燒排放來源。

#### 4.3.5、不同粒徑微粒與空氣污染物之相關性

由於微粒粒徑不同其形成的方式不同，因此可以用來判斷主要污染源，微粒的粒徑大致可分為核凝波峰(nucleation mode) 或稱為超細波峰.(ultrafine mode) 3–20 nm、艾特坎核子波峰(Aitken nuclei mode) 20–90 nm、積聚波峰(accumulation mode) 90–1000 nm 和粗波峰(coarse particles mode) >1000 nm (Kulmala et. al. 2004)。國內吳義林等(2006) 2005年研究南部超級測站微粒數量濃度及粒徑分佈情形，結果顯示南部超細微粒粒徑分佈可分為超細波峰(10-30 nm)、艾特坎核子波峰(60-100 nm)及積聚波峰(>100 nm)。而本研究透過相關性及因子分析四個測站微粒粒徑，可將粒徑分為10-30 nm、30-70 nm、70-300 nm及>300 nm，其代表同範圍內粒徑較常同時出現，圖4-8為不同範圍微粒粒徑分佈與微粒粒徑濃度的分佈情形，從圖中可發現，超細微粒粒徑分部在粒徑10-30 nm及30-70 nm有尖峰值產生，分析上選用四個粒徑範圍分別與空氣污染物做相關性比較，探討不同粒徑微粒特性。

從不同粒徑與空氣污染物相關性來探討(表 4-4)，整體來看，粒徑 10-30 nm 與 >300 nm 與 CO 及 NO<sub>x</sub> 比其他粒徑來說相關性較低，粒徑 30-70 nm 與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高，而粒徑 70-300 nm 與 CO、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 相關性較高。觀察 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 與微粒粒徑間的相關性，發現其相關性會隨著粒徑增加相關性也隨之增加。

從時間序列來看，不同粒徑大小地微粒數量濃度變化，皆在早上 8:00 至 10:00 及下午 18:00 至 19:00 有尖峰值出現；再進一步與空氣污染物比較，發現不論早上或下午皆與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性高，此時段為交通尖峰時間，因此可瞭解交通排放源為超細微粒主要污染源。

#### 4.3.6、中部空品區污染源分析

整體來說，從時間序列上得知，超細微粒在早上及下午交通尖峰時段易有尖峰值產生，進一步從相關性來看超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性最高，且兩者的相關性高，顯示微粒數量濃度受到兩者的影響較大，由環保署排放源分析結果得知，中部空品區 CO 及 NO<sub>x</sub> 貢獻量最大污染源為移動性污染，由上述可知，中部地區超細微粒數量濃度受到移動性污染源的影響較大。

使用因子分析探討污染源，針對中部空品區超細微粒部分，結果如表 4-9 所示，其可將 12 個變數縮減為三個因子。而三個因子可解釋總變異量的 66%，由相關因子負荷判斷，第一個因子可代表近 3 個變數的變化，解釋約 24% 之總變異量，此因子與懸浮微粒排放有關，尤其是 N<sub>>100</sub> 與 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 有高相關性，顯示粒徑較大微粒與 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 來源較相同，由氣態污染物來看主要與 CO 相關性較高，因此推測粒徑較大的微粒主要與 CO 有相同來源，氣象方面，與混合層高度及風速為負相關，顯示污染源會因混合層上升及風速增加而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

第二主要因子代表 3 個變數變化，解釋約 22% 之變異量，為 O<sub>3</sub> 形成之相關主要因子，此成分因子與日照及 O<sub>3</sub> 呈現高度相關，而濕度為高負相關。顯示在有日照之白天，濕度較低時，O<sub>3</sub> 之光化生成反應明顯。

第三主要因子代表 3 個變數變化，解釋約 20% 之變異量，此因子與燃燒排放 NO<sub>x</sub> 及 CO 之空氣污染物有關，且超細微粒也在此因子內，顯示第三因子為影響超細微粒的主要空氣污染物。且 NO<sub>x</sub> 及 CO 為交通排放廢氣，因此可知交通排放廢氣為超細微粒主要排放源。氣象方面，與風速為負相關，顯示污染源會因風速而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

由上述可得知，從時間序列、相關性及因子分析來看，交通排放源為中部空品區超細微粒主要的污染源。

#### 4.4、各個採樣點之研究結果

本節為進一步瞭解中部空品區超細微粒分佈情形，針對四個採樣點分別進行採樣。從各個採樣點超細微粒數量濃度統計值來看(表 4-5)，忠明測站超細微粒數量濃度平均值( $\pm$ 標準差)為  $2.49(\pm 1.24) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、線西測站為  $1.35(\pm 0.80) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、竹山測站為  $1.53(\pm 0.98) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  和埔里測站為  $1.25(\pm 0.73) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。由於採樣數據非常態分佈，因此先將所有數值取 Log 值，使採樣數據為常態分佈，再使用單因子變異數分析，其結果顯示不同測站彼此間  $p < 0.05$ ，顯示有達顯著性差異。從圖 4-11 及單因子變異數分析結果得知，中部地區不同採樣點的超細微粒數量濃度有所不同，忠明測站的超細微粒數量濃度明顯較其他測站高；埔里測站濃度最低，但與線西、竹山測站差異性不大。從超細微粒數量濃度佔總濃度百分比可得知(圖 4-12)，雖然濃度有所不同但忠明測站與線西測站的百分比皆為 80%，顯示忠明與線西測站可能皆距離排放源較近，而埔里及竹山測站，兩者百分比分別為 70% 及 68%，顯示可能距離排放源較遠。從上述得知，忠明與線西超細微粒所佔比例相同，但忠明的濃度明顯高於線西測站，從採樣期間氣象因子平均值(表 4-5)發現，線西測站風速及濕度明顯高於其他測站，顯示線西測站可能受到風速及濕度影響，而使得濃度擴散或稀釋作用，而使得濃度下降。

由於微粒的粒徑大小會因排放出來的時間越久，隨著時間的增加而在大氣環境中進行膠結或凝結的活動，而使得微粒粒徑逐漸增大，因此粒徑分佈，可用來推估採樣點距離污染源的情形。從圖 4-13 四個採樣點微粒粒徑濃度分佈圖可知，當微粒粒徑愈小時其微粒濃度會越高，變異

性也隨之增加。而四個測站在粒徑較小的部分濃度持續上升，似乎還未採集到尖峰值，顯示還有更小的微粒存在；整體來說，幾何平均粒徑上忠明測站為 43 nm、線西測站為 45 nm、竹山測站為 60 nm，而埔里測站為 60 nm，也顯示了忠明與線西測站可能距離排放源較近(圖 4-14)。

從圖 4-15 四個採樣點超細微粒時間序列分佈可得知，整體來說四個測站除了線西測站外，其餘三個測站在早上下午都有尖峰值出現，變化上較有一致性。而各測站採樣期間的空氣污染物平均濃度如表 4-6 顯示，CO 及 NO<sub>x</sub> 在忠明測站平均濃度最高，SO<sub>2</sub> 平均最高濃度在線西，PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 平均濃度最高則是在竹山測站，顯示各地區污染源及排放量各有所不同，而造成不同的地區超細微粒數量濃度不同。

氣象因子方面，風向部分，不同測站的風速風向玫瑰圖如圖 4-5 所示，除了埔里測站為西南風及竹山測站風向不定外，其餘兩個測站皆為北風為主。埔里測站的差異產生可能與埔里地區的地形有關，從圖 3-4 採樣地形圖可得知，埔里地區與其他縣市分別以山脈為界，地形上較封閉，與外的道路以台 14 線為主，而將風向及道路相比較，發現風向與台 14 線的路線有吻合的情形，顯示風可能主要是由道路開口而來，所以導致埔里與其他測站風向不同，而竹山可能正處於平地與山區高程懸殊，致境內風向複雜。降雨量方面，在採樣期間忠明測站為 22.2 mm，線西測站為 33.2 mm，埔里測站為 1.6 mm，竹山測站為 0.2 mm，風速及溼度部分，皆以線西測站 5.31 m sec<sup>-1</sup> 及 77.0 % 最高，降雨量方面，在採樣期間忠明測站為 22.2 mm，線西測站為 33.2 mm，埔里測站為 1.6 mm，竹山測站為 0.2 mm，以下將針對不同測站探討。

#### 4.4.1、忠明測站

忠明測站部份(圖 4-16)，在所有採樣測站中忠明測站超細微粒數量濃度最高，從時間序列上來說，可得知在早上 8:00~10:00；下午 18:00~20:00

有尖峰值出現，與空氣污染物比較，整體來說與 CO 及 NO<sub>x</sub> 較有一致性，若分別從早上及下午尖峰值來看，圖中顯示在早上 SO<sub>2</sub> 及 CO 在同樣時段有尖峰值出現，且變化與超細微粒數量濃度變化較有一致性，而下午部份，從時間序列上僅與 CO 變化有相似，其他則較不明顯。而到了晚上及凌晨時，從圖中可發現超細微粒數量濃度會呈現下降的情形，由於到了晚上交通量減少的趨勢，代表超細微粒污染源的減少，可能是造成超細微粒數量濃度下降的因素，但 CO 及 NO<sub>x</sub> 卻仍然在上升，可能是因為到了晚上日照減少，因此無光化學作用，所以氣態污染物沒有被光化學反應消耗，且此時混合層高度下降，因此造成氣態污染物濃度有持續上升的現象，但因為沒有污染源持續提供，因此氣態污染物在凌晨時濃度同樣呈現下降的趨勢。

進一步從相關性來看(表 4-10)，整體來說，忠明測站超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性最高( $r^2=0.50$ 、 $0.43$ )(表 4-6)，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 的相關性高( $r^2=0.92$ )，顯示超細微粒數量濃度可能與兩者有相同的排放源。從不同時段來看，早上下午交通尖峰時間與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性高，且兩者的相關性高，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 為汽、柴油車排放污染物，由此可推估，忠明超細微粒整體來說主要是受到移動性污染源影響較大。氣象因子方面(表 4-8)，與超細微粒相關性並不高，但可知溫度與溼度為較可能影響濃度高低的因素之一，從結果上來說氣象因子影響超細微粒數量濃度並不明顯。

再分別探討工作日與假日超細微粒數量濃度分佈情形(圖 4-17)，從圖中可得知，忠明測站超細微粒數量濃度值工作日明顯高於假日。空氣污染物部分，結果顯示，CO 及 NO<sub>x</sub> 的濃度值在工作日時會高於假日，與超細微粒數量濃度相關性比較上，同樣是工作日高於假日，且 CO 及 NO<sub>x</sub> 間正相關性高，因此推測車輛對於超細微粒數量濃度值影響較大。

從上述得知，忠明測站超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高，而台中市 CO 及 NO<sub>x</sub> 最大污染源為移動性污染。再由時間序列來看，在交通尖峰時段與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高，若由風向風速判斷空氣污染物與超細微粒來源，可發現 CO 及 NO<sub>x</sub> 與超細微粒來源方向相同，皆在西南方有主要的排放源存在，從地圖上可得知，此方向為主要道路所在，因此可知忠明測站超細微粒主要是受到交通排放源的影響。

使用因子分析探討忠明測站主要污染源，其結果顯示(表 4-11)，可將 12 個變數縮減為 3 個因子。而 3 個因子可解釋總變異量的 73.4%，由相關因子負荷判斷，第一個因子可代表近 3 個變數的變化，解釋約 28% 之變異量，為 O<sub>3</sub> 形成之相關主要因子，此成分因子與日照、風速及 O<sub>3</sub> 呈現高度相關，濕度為高負相關。顯示在有日照之白天，濕度低時，O<sub>3</sub> 之光化生成反應明顯。

第二主要因子代表 5 個變數變化，解釋約 25% 之變異量，此因子與燃燒排放 CO 及 NO<sub>x</sub> 之空氣污染物有關，且 N<sub>UFP</sub> 與 N<sub>>100</sub> 也在有高相關性，顯示第二因子為影響超細微粒及粒徑較大微粒的主要污染物。且 NO<sub>x</sub> 及 CO 為交通排放廢氣，顯示交通污染源為超細微粒主要來源。氣象方面，與風速為負相關，顯示污染源會因風速而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

第三主要因子解釋約 21% 之總變異量，此因子與懸浮微粒排放有關，主要與 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 有高相關性，由氣態污染物來看主要與 CO 相關性較高，在此 N<sub>>100</sub> 也在有高相關性存在，因此推測粒徑較大的微粒主要與 CO 有相同來源(汽油引擎廢氣)，氣象方面，與混合層高度及風速為負相關，顯示污染源會因混合層及風速而導致濃度降低。

由上述可得知，從時間序列、相關性及因子分析來看，交通排放源為忠明測站超細微粒主要的污染源。

#### 4.4.2、線西測站

線西測站部份(圖4-18)，從時間序列上可得知，超細微粒在早上8:00~10:00與中午12:00有尖峰值出現，與空氣污染物比較，整體來說與SO<sub>2</sub>變化較有一致性，若分別從早上下午數量濃度峰值來探討，顯示SO<sub>2</sub>、CO及NO<sub>x</sub>在早上同樣時段有尖峰值出現，且變化與超細微粒數量濃度變化較有一致性，而下午部份，從時間序列上發現超細微粒數量濃度呈現下降的趨勢，連空氣污染物濃度也下降，從氣象因子可得知，此時風速上升，因此推測濃度可能受到風速增加而降低，顯示線西的排放源有可能來自當地。

因此進一步從相關性來看(表4-12)，整體來說與空氣污染物比較，超細微粒與SO<sub>2</sub>及NO<sub>x</sub>相關性較高( $r^2=0.43$ 、 $0.36$ )，氣象因子方面，溫度、風速及濕度則為負相關，若分時段來看，上午及下午交通尖峰時段，皆與SO<sub>2</sub>及NO<sub>x</sub>相關性高，且SO<sub>2</sub>及NO<sub>x</sub>兩者有正相關性，推估此時微粒尖峰值是受到工業及移動性排放所影響。但下午部分超細微粒可能受到氣象因子影響，因此交通尖峰時段超細微粒數量濃度與空氣污染物相關性較低，從上述得知微粒尖峰值出現時間為交通尖峰時間，且NO<sub>x</sub>為移動性污染源(柴油車為主)排放污染物，SO<sub>2</sub>為工業燃燒排放為主，因此推估線西測站超細微粒數量濃度受到車輛及工業排放影響，但從時間序列上來看，濃度尖峰直接在交通尖峰時段，顯示線西測站超細微粒數量濃度受到移動性排放影響較大。

綜上所述，可推測線西測站整體來說超細微粒數量濃度主要排放源為車輛及工業排放污染源，而下午部分，受到氣象因子而導致濃度下降，但另一方面微粒數量濃度有部份上升，可能是由傳輸而來的微粒數量濃度，代表線西測站超細微粒污染源有當地也有傳輸而來。

以工作日及假日來做分析(圖 4-19)，線西測站超細微粒數量濃度值

假日濃度平均高於工作日。從相關性來看，工作日  $\text{NO}_x$  相關性較高( $r^2=0.53$ )，而假日則與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  相關性較高，且三者相關性高，從污染源可知，工作日受到移動性及工業影響較大，假日則只要是受到工業排放影響。與氣象因子相關性方面，工作日與風速成負相關，假日則無，顯示風速對工作日較有影響，而導致下午污染物濃度降低。而假日方面，從時間序列上來看，發現下午超細微粒數量濃度與空氣污染物皆降低，而風速都維持在相同的風速範圍內，顯示有可能是因為假日本身下午污染物較低的關係。

排放源部份，整體來說與空氣污染物  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  相關性較高，若從時間序列來看的話，在交通尖峰時段同樣與  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  正相關性高，而彰化縣  $\text{NO}_x$  主要污染源來自於柴油車排放， $\text{SO}_2$  主要污染源來自於工業燃燒，顯示線西測站主要污染源有兩方面，為工業燃燒與移動源的排放，但從時間序列上來看，濃度尖峰直接在交通尖峰時段，顯示線西測站超細微粒數量濃度受到交通與工業燃燒排放影響較大。

線西測站因子分析結果顯示(表 4-13)，可將 12 個變數縮減為 4 個因子。而 4 個因子可解釋總變異量的 74.4%，由相關因子負荷判斷，第一個因子可代表近 5 個變數的變化，解釋約 28% 之變異量，此因子與懸浮微粒排放較有有關，在此  $\text{N}_{>100}$  與  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  之相關性高，而透過氣態污染物來看，與  $\text{SO}_2$  及  $\text{CO}$  相關性較大，因此推測粒徑較大的微粒主要與  $\text{SO}_2$  及  $\text{CO}$  有相同來源。氣象方面，與風速為負相關，顯示污染源會因風速而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

第二主要因子解釋約 18% 之總變異量，此因子為  $\text{O}_3$  形成之相關主要因子，此成分因子與日照及  $\text{O}_3$  呈現高度相關(大氣稀釋)。顯示在有日照之白天， $\text{O}_3$  之光化生成反應明顯。

第三主要因子代表 2 個變數變化，解釋約 16% 之變異量，此成分因

子與混合層及風速呈現高度相關，濕度及空氣污染物為負相關。顯示線西可能易受到氣象因子影響。

第四主要因子解釋約 12%之總變異量，主要是  $N_{UFP}$  與  $NO_X$  及  $SO_2$  有高度相關，而  $NO_X$  為移動性污染源排放物， $SO_2$  為工業排放有關，顯示此因子為影響超細微粒的主要空氣污染物。氣象方面，與風速為負相關，顯示污染源會因風速而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

由上述可得知，從時間序列、相關性及因子分析來看，交通與工業燃燒為線西測站超細微粒主要的污染源。

#### 4.4.3、埔里測站

埔里測站部份(圖4-20)，在所有採樣測站中濃度最低，從時間序列上來說，可得知在早上8:00~10:00；下午18:00~21:00有尖峰值出現，與空氣污染物比較，整體來說一整天時間序列與 $CO$ 、 $NO_X$ 、 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 變化較有一致性，分別從早上及下午超細微粒尖峰值來看，在早上時段顯示 $SO_2$ 、 $CO$ 及 $NO_X$ 同樣有尖峰值出現，且趨勢變化與超細微粒數量濃度較有一致性，而下午部份，尖峰值產生時段與 $NO_X$ 、 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 趨勢變化較相似，其他則較不明顯，而下午濃度高於早上，推測可能與空氣污染物濃度上升有關，也可能與混合層高度下午低於早上有關，氣象因子方面則不明顯。

進一步從相關性來看(表4-14)，整體來說，埔里測站超細微粒數量濃度與 $CO$ 及 $NO_X$ 相關性較高( $r^2=0.65$ 、 $0.74$ )，且 $CO$ 及 $NO_X$ 彼此之間相關性高。分別從不同時段分析，結果顯示早上及下午尖峰值時段，超細微粒值同樣與 $CO$ 及 $NO_X$ 相關性高，顯示超細微粒主要污染源來自於移動性污染源。

從上述可知，超細微粒高峰時段為交通尖峰時間，且 $CO$ 及 $NO_X$ 為移動性污染源主要排放污染物，表示埔里測站超細微粒數量濃度受到移動

性的影響較大。氣象因子方面，與超細微粒相關性並不高，從結果上來說氣象因子影響超細微粒數量濃度並不明顯。

以工作日及假日來做分析(圖 4-21)，埔里測站超細微粒數量濃度值工作日濃度平均高於假日，與測站空氣污染物比較，結果顯示工作日微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 正相關性皆高，而假日方面則與 NO<sub>x</sub> 及 PM<sub>10</sub> 相關性皆高，顯示埔里測站工作日受到車輛影響較大，而假日方面，車輛的影響明顯低於工作日，而增加 PM<sub>10</sub>(如逸散性微粒)的來源影響。

污染源部份，從時間序列來看，結果顯示交通尖峰時間微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 一致性高，CO 及 NO<sub>x</sub> 彼此之間相關性高，且由風向風速判斷來源，可發現 CO 及 NO<sub>x</sub> 與超細微粒來源方向相同，皆在西南方有主要的排放源存在，再根據污染源分析，推估超細微粒數量濃度受到移動源的排放影響較大，顯示移動源的排放可能為埔里超細微粒主要排放源。

埔里測站因子分析結果顯示如表 4-15，可將 12 個變數縮減為 3 個因子。而 3 個因子可解釋總變異量的 72.4%，由相關因子負荷判斷，第一個因子可代表近 4 個變數的變化，解釋約 28% 之變異量，為 O<sub>3</sub> 形成之相關主要因子，此成分因子與日照、風速及 O<sub>3</sub> 呈現高度相關，而濕度為高負相關。顯示在有日照之白天，濕度較低時，O<sub>3</sub> 之光化生成反應明顯。第二主要因子解釋約 24% 之總變異量，此因子與燃燒排放 CO 及 NO<sub>x</sub> 之空氣污染物有關，且 N<sub>UFP</sub> 與 N<sub>>100</sub> 在此因子內也有高相關性，顯示第二因子為影響微粒的主要空氣污染物。氣象方面，與溼度、風速、混合層及日照為負相關，顯示污染源及微粒數量濃度易受到氣象因子影響而導致濃度降低，尤其是風速為負相關，表示污染源來自於當地。

第三主要因子代表 3 個變數變化，解釋約 20% 之變異量，此因子與懸浮微粒排放有關，主要是與 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 有高相關性，與氣態污染物比較，與 CO 相關性較大，因此推測粒徑較大的微粒主要與 CO 有相同來源。氣象

方面，與混合層高度及風速為負相關，顯示污染源會因混合層上升及風速增加而導致濃度降低，而微粒 $N_{>100}$ 在此因子內也有高相關性，顯示粒徑較大微粒同樣也受到 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 影響。

由上述可得知，從時間序列、相關性及因子分析來看，交通排放源為埔里測站超細微粒主要的污染源。

#### 4.4.4、竹山測站

竹山測站部份(圖4-22)，從時間序列上來說，可得知在早上8:00、中午13:00與下午18:00~19:00有尖峰值出現，與空氣污染物比較，整體來說一整天時間序列與 $CO$ 、 $NO_x$ 、 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 變化較有一致性，若分別從早上及下午超細微粒數量濃度峰值探討，早上尖峰值出現時段，主要與 $CO$ 及 $NO_x$ 濃度變化較有一致性，而下午部份，從時間序列上同樣為 $CO$ 及 $NO_x$ 變化較相似，而下午濃度高於早上，推測可能與空氣污染物濃度 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 上升有關， $CO$ 濃度同樣也高於早上，從氣象因子推測可能受到混合層高度下午低於早上影響。

進一步從相關性來看(表4-16)，整體來說，竹山測站超細微粒數量濃度與 $SO_2$ 、 $CO$ 及 $PM_{10}$ 相關性較高( $r^2=0.60$ 、 $0.50$ 、 $0.53$ )，彼此之間相關性上， $SO_2$ 及 $PM_{10}$ 相關性高， $CO$ 則無，顯示有兩個不同的污染源。分別從不同時段分析，結果顯示早上及下午超細微粒尖峰值皆與 $CO$ 及 $NO_x$ 相關性高。較其他測站不同的是，竹山中午有尖峰值產生，與空氣污染物相關性上，結果顯示與 $SO_2$ 及 $O_3$ 相關性較高。從上述可知，濃度尖峰值發生時間為交通尖峰時間，且與 $CO$ 及 $NO_x$ 相關性高，因此推測微粒數量濃度來自於移動性污染源，而中午尖峰值，由時間及相關性，推測微粒數量濃度可能來自於核化作用。

以工作日及假日來做分析(圖4-23)，竹山測站超細微粒數量濃度值工作日濃度平均高於假日，但差異性並不大，與測站空氣污染物比較，

工作日微粒數量濃度與  $\text{SO}_2$  的濃度值正相關性皆高( $r^2=0.61$ )，而假日微粒數量濃度與  $\text{PM}_{10}$  相關性高( $r^2=0.76$ )，且  $\text{SO}_2$  與  $\text{PM}_{10}$  相關性高，顯示竹山不論工作日或假日超細微粒數量濃度接受到工業燃燒排放的影響。

竹山測站部份，整體而言與  $\text{SO}_2$  及  $\text{PM}_{10}$  相關性高，且  $\text{SO}_2$  及  $\text{PM}_{10}$  相關性高，由污染源推估可能來自於工業燃燒排放，從時間序列來看，顯示交通尖峰時間與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  相關性高，且  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  正相關性高，推估超細微粒排放源為移動性污染源，由此可知，竹山測站主要受到工業燃燒與移動源的排放。

竹山測站因子分析結果顯示如表 4-17 所示，可將 12 個變數縮減為 3 個因子。而 3 個因子可解釋總變異量的 75.0%，由相關因子負荷判斷，第一個因子可代表近 4 個變數的變化，解釋約 33% 之變異量，為  $\text{O}_3$  形成之相關主要因子，此成分因子與混合層、日照、風速及  $\text{O}_3$  呈現高度相關，而濕度為高負相關。顯示在有日照之白天，濕度較低時， $\text{O}_3$  之光化生成反應明顯。

第二主要因子代表 3 個變數變化，解釋約 24% 之變異量，主要與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  有高相關性，顯示此因子與懸浮微粒排放有關，也與工業燃燒排放  $\text{SO}_2$  有關，氣象方面，與風速為正相關，顯示污染源會因風速而使濃度上升，表示污染源來自於傳輸。而  $N_{>100}$  在此因子內有高相關性，顯示粒徑較大微粒受到  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  影響，而超細微粒與此因子也有相關，顯示超細微粒同樣受到工業燃燒傳輸排放影響。整體來說，超細微粒及大微粒與此因子有相關，空氣污染物上以  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  為主，氣象方面與風速呈正相關，因此推估此排放源來自於傳輸而來的工業燃燒。 $N_{\text{UFP}}$  與  $N_{>100}$

第三主要因子解釋約 17% 之總變異量，此因子與燃燒排放  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  之空氣污染物有關，且  $N_{\text{UFP}}$  也在此因子內，顯示第三因子為影響超細微

粒的主要污染物。且  $\text{NO}_x$  及  $\text{CO}$  為移動性污染源排放物，顯示移動性污染源為超細微粒主要因子。氣象方面，與風速為負相關，顯示污染源及超細微粒數量濃度易受到風速影響而導致濃度降低，表示污染源來自於當地。

由上述可得知，從時間序列、相關性及因子分析來看，當地交通排放源及傳輸而來的工業燃燒為線西測站超細微粒主要的污染源。

綜上所述，從四個測站資料分別分析的結果可知，從時間序列上來看四個測站在交通尖峰時段易有尖峰值產生，與空氣污染物比較，忠明測站及埔里測站同樣與  $\text{NO}_x$  及  $\text{CO}$  相關性較高，線西測站與  $\text{NO}_x$  及  $\text{SO}_2$  相關性較高，竹山測站則與  $\text{CO}$  及  $\text{SO}_2$  相關性較高，此外分別從假日及工作日來看，結果顯示工作日的超細微粒數量濃度皆高於假日。透過因子分析並配合環保署排放源貢獻量分析，將結果整理成表 4-18 來看，從表中可得知中部空品區、忠明測站、線西測站、埔里測站及竹山測站超細微粒皆與交通廢氣排放有關，此外竹山測站超細微粒還有來自於工業燃燒排放污染。從氣象因子方面上來看，四個測站與風速成負相關，顯示交通廢氣排放皆來自於當地，而竹山測站則還有傳輸而來的工業燃燒排放污染源。但整體來說交通廢氣排放為超細微粒主要污染源。

#### 4.5、採樣點個案探討

##### 4.5.1、忠明測站

從忠明測站逐日逐時資料觀察 10 月 13 日(圖 4-24)，在早上(07:00~09:00)及下午(1700~1900)最常出現尖峰值，與空氣污染物比較，其與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  相關性較高( $r^2=0.93$ 、 $0.87$ 、 $0.70$ )，且尖峰值出現時間為交通尖峰時間，顯示忠明測站微粒數量濃度可能來自於車輛廢氣排放。氣象因子方面，風向以北風為主，風速變化不影響微粒數量濃度變化。而下午濃度高於早上，從圖 4-16(a)(b)可得知是受到  $\text{SO}_2$  的來源及混

合層高度影響，因為  $\text{SO}_2$  濃度下午高於早上，且混合層下午低於早上，固推測微粒數量濃度下午高於早上可能是受到排放源及氣象因子影響。

觀察其他日期，選擇 10 月 17 日，可得知微粒數量濃度在早上及下午交通尖峰時間同樣有尖峰值，但中午時段(12:00)同樣有尖峰值出現(圖 4-25)，與空氣污染物  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  相關性偏高( $r^2=0.58$ 、 $0.64$ )，由此可知，雖然兩天的早上下午尖峰值相同，但 10/17 的濃度低於 10/13 的濃度，且空氣污染物 10 月 17 日也較低，氣象因素方面，風向同樣為北風，但風速與溫度上 10/17 日較大，顯示濃度可能受到風速影響，推估忠明測站排放源來自當地。而中午尖峰值部份從相關性比較來看，結果顯示，其與空氣污染物皆為負相關性，再進一步從 3D(圖 4-25)瞭解，可從微粒數量濃度突然增加的情形，得知中午在忠明測站有核化現象。晚上微粒數量濃度持續上升，可能與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度持續上升有關，但 23 時候濃度下降，此時風向改為東風，而空氣污染物  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度同樣下降，推估濃度可能受到氣象因子而下降。

#### 4.5.2、線西測站

從線西測站逐日逐時資料觀察，在早上 07:00~09:00 及下午 1700~1900 最常出現尖峰值(圖 4-26)，與空氣污染物比較，其與  $\text{NO}_x$  相關性較高( $r^2=0.81$ )，從上述得知微粒尖峰值出現時間為交通尖峰時間，且  $\text{NO}_x$  為移動性污染源排放污染物(柴油車為主)，因此推估線西測站微粒數量濃度主要是來自於車輛排放。氣象因子方面，風向以北風為主，風速變化會影響微粒數量濃度變化，從圖 4-26 可得知，當上午 10 點風速開始上升時，微粒數量濃度開始下降，導致 11~15 時濃度降低，顯示線西污染源可能來自於當地。而上午交通尖峰時段，不論微粒大小，皆與  $\text{NO}_x$  及  $\text{PM}_{10}$  相關性高，且  $\text{NO}_x$  及  $\text{PM}_{10}$  兩者相關性高( $r^2=0.92$ )，推估此時排放源可能來自於工業。下午交通尖峰時段則與空氣污染物皆無相關性，

從圖 4-26 推估 18 時尖峰值可能與 CO 及 NO<sub>x</sub> 有相同污染源，23 時可能與 CO 及 SO<sub>2</sub> 有相同污染源，從時間序列及氣態污染物相關情形，推測超細微粒數量濃度可能來自於移動性污染源排放。

觀察其他日期，選擇 12 月 31 日與 11 月 06 日比較，圖 4-27 顯示 12 月 31 日濃度較低，但風速上平均高於 11 月 06 日，推測可能受到風速增加而導致微粒數量濃度下降，從空氣污染物來看，濃度也明顯下降，但從相關性得知，整體來說，超細微粒與 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高( $r^2=0.83$ 、 $0.91$ )，且兩者相關性高，( $r^2=0.86$ )，從不同粒徑來看，也得到相同的結果。從不同時段觀察，早上交通尖峰時間微粒同樣是來自於車輛排放(與 NO<sub>x</sub>  $r^2=0.96$ )；而由於隔日是連續假期，從時間序列上可得知，微粒數量濃度與空氣污染物皆在下午 16 時開始上升，與空氣污染物 SO<sub>2</sub>、CO 及 NO<sub>x</sub>( $r^2=0.73$ 、 $0.61$ 、 $0.62$ )正相關性偏高，且 SO<sub>2</sub>、CO 及 NO<sub>x</sub> 三者正相關性高(SO<sub>2</sub> 與 CO  $r^2=0.94$ ；SO<sub>2</sub> 與 NO<sub>x</sub>  $r^2=0.89$ ；CO 與 NO<sub>x</sub>  $r^2=0.88$ )，顯示此時微粒數量濃度可能來自於移動性污染源排放，而濃度增加的原因可能是遇到連續假期的關係。

再觀察 98 年 01 月 05 日，從圖 4-28 顯示 01 月 05 日濃度同樣低於 11 月 06 日，從氣象因子瞭解，微粒數量濃度下降同樣是受到風速增加的影響；且空氣污染物濃度也同樣下降。從相關性得知，整體來說，超細微粒與 PM<sub>10</sub> 相關性較高( $r^2=0.73$ )。從不同時段來看，早上交通尖峰時段微粒與 CO、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 相關性較高( $r^2=0.91$ 、 $0.93$ 、 $0.79$ 、 $0.79$ )，且 CO 分別與 NO<sub>x</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 正相關性高，但 PM<sub>10</sub> 與其他空氣污染物相關性皆不高，顯示可能來自不同污染源；下午交通尖峰時段與空氣污染物皆為負相關性，與風速為正相關性( $r^2=0.85$ )。相較於其他日較不同的是 01 月 05 日在中午 11~12 時有尖峰值出現，從相關性發現，其中午與 O<sub>3</sub> 呈現高正相關性( $r^2=0.80$ )，顯示中午有光化學反應產生，而同時超細微粒

與  $\text{SO}_2$  ( $r^2=0.85$ ) 有高相關性，其餘氣態污染物皆呈現高負相關性 ( $r^2=-0.85$  ( $\text{CO}$ )、 $-1.00$  ( $\text{NO}_x$ ))，又從 3D 圖得知(圖 4-28(c))，中午有短暫高濃度的超細微粒產生，因此得知線西測站在當日中午有核化的情形出現，但中午同樣與  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  相關性高 ( $r^2=0.79$ 、 $0.85$ )，顯示微粒數量濃度增加可能有來自於核化作用及  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  來源。

#### 4.5.3、埔里測站

從埔里測站逐日逐時資料觀察，選擇 11 月 27 日，在早上 07:00~09:00 及下午 1700~1900 最常出現尖峰值(圖 4-29)，與空氣污染物比較，其與  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  及  $\text{PM}_{10}$  相關性較高 ( $r^2=0.85$ 、 $0.82$ 、 $0.78$ )，從上述得知微粒尖峰值出現時間為交通尖峰時間，且  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  為移動性污染源排放物，顯示埔里測站微粒數量濃度是來自於車輛排放。氣象因子方面，風向以西風為主，而風向風速變化似乎不影響微粒數量濃度變化。而上午交通尖峰時段，與  $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  相關性較高 ( $r^2=0.74$ 、 $0.80$ 、 $0.86$ )，但  $\text{CO}$  與  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  相關性並不高，推估此時微粒可能受到不同的排放源影響。下午交通尖峰時段則與空氣污染物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  相關性較高 ( $r^2=0.73$ 、 $0.98$ 、 $0.98$ 、 $0.96$ 、 $0.98$ )，而下午微粒數量濃度較高可能是受到空氣污染物濃度增加，以及混合層下降的關係。

與其他日期比較，選擇 11 月 25 日，從圖 4-30 可得知，在早上 8 時至下午 14 時、18 與 22 時微粒數量濃度都呈現高濃度的趨勢，整體變化與  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  較有一致，從相關性發現，與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  ( $r^2=0.82$ 、 $0.66$ ) 相關性較高，分時段來看，早上 8 時及下午 18 與 22 時高濃度時段與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  變化較有一致且相關性較高，顯示此時濃度尖峰值是由移動性排放源所產生的超細微粒數量濃度上升情形，而下午濃度值高於早上，從圖 4-30 得知是來自於移動性排放，後者與  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  較有一致性，推測可能是受到  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  的影響。而下午 14 時所

產生的濃度尖峰值，與空氣污染物比較，發現除了 SO<sub>2</sub> 其餘物質濃度皆下降，且從 3D 圖(圖 4-30-c)來看，可得知有大量超細微粒產生的情形，顯示此時應該是有核化反應出現的情形，從上述得知埔里在 11 月 25 日超細微粒數量濃度值是來自於移動性排放源及核化作用。

#### 4.5.4、竹山測站

從竹山測站逐日逐時資料觀察，選擇 12 月 1 日，在早上 07:00~09:00 及 17:00~19:00 最常出現尖峰值(圖 4-31)，與空氣污染物比較，其與 NO<sub>x</sub> 相關性較高( $r^2=0.798$ )，從上述得知微粒尖峰值出現時間為交通尖峰時間，且 NO<sub>x</sub> 為移動性污染源排放物之一，顯示竹山測站微粒數量濃度是來自於車輛排放。氣象因子方面，風向風速變化似乎不影響微粒數量濃度變化。而上午交通尖峰時段，與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高( $r^2=0.95$ 、 $0.97$ )，且 CO 與 NO<sub>x</sub> 相關性高( $r^2=0.92$ )，推估此時微粒數量濃度是受到移動性排放源影響。下午交通尖峰時段則與空氣污染物較無相關性，但下午微粒數量濃度卻較高，由於混合層及空氣污染物數據有所缺失，因此從相關性及混合層部分看不出來是受到何者因素影響。

與其他日期比較，選擇 12 月 3 日，從圖 4-32 可得知，12 月 3 日與其他日較特別地是中午有尖峰值出現，從相關性發現，其中午與 O<sub>3</sub> 及 SO<sub>2</sub> 呈現正相關性( $r^2=0.70$ 、 $0.82$ )，且與其他空氣污染物皆呈現高負相關性，又從 3D 圖得知(圖 4-32(c))，中午有高濃度的超細微粒產生，顯示有核化作用的情形出現，因此推測此時中午出現的尖峰值可能為核化作用所導致。至於其他部分，早上交通尖峰時段與 12 月 01 日相同，主要是受到移動性影響，下午濃度上升部份，可以得知同樣是受到移動性影響，且下午濃度高於早上，可得知是由於空氣污染物 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升因素所造成的。

總和以上描述，可得知四個測站超細微粒數量濃度有來自於移動性

污染源，且皆有核化作用的情形發生，顯示核化作用也是超細微粒的主要來源之一，由於核化作用產生情形是由於空氣污染物經光化學反應而來，之後可透過超細微粒化學分析，來判斷主要的污染源為何。



表 4-1、台中市中港路高車流量交叉路口之超細微粒粒數濃度與粒徑分佈特性

Intersection	Time	Sample size	UFP Mean ( $10^4 \text{ cm}^{-3}$ )	SD ( $10^4 \text{ cm}^{-3}$ )	Percentage <sup>1</sup> (%)	GMD <sup>2</sup> (nm)	GSD <sup>3</sup>
WS	AM <sup>4</sup>	32	34	17	94%	26.2	2.0
	PM <sup>5</sup>	34	29	9	94%	26.7	2.0
II	AM	29	31	19	92%	26.7	2.1
	PM	33	20	9	94%	27.5	2.0
JM	AM	31	16	7	96%	25.3	1.9
	PM	30	16	5	89%	32.2	2.2
HN	AM	31	31	17	94%	27.2	2.0
	PM	32	21	8	95%	26.2	2.0
All roads	AM	123	28	17	94%	—	—
	PM	129	21	1	93%	—	—
All roads	AM+PM	252	25	14	93%	—	—

<sup>1</sup> 超細微粒(10-100 nm)佔總微粒(10-1000 nm)粒數濃度之百分比

<sup>2</sup> 幾何平均粒徑(geometric mean diameter, GMD)

<sup>3</sup> 幾何標準差(geometric standard deviation, GSD)

<sup>4</sup> AM: 6:30-10:00

<sup>5</sup> PM: 16:30-20:00

表4-2、不同地點大氣懸浮微粒數量濃度比較表

	Location	Mean* (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	Time	Rang (nm)	
	<b>Central airshed</b>	<b>2.23</b>	<b>2008/10-2009/1</b>	<b>11-1000</b>	<b>This study (2008)</b>
	Super Site, Taipei	2.48	2008/01-12	20-800	EPA (2008)
Ambient air	SuperSite, kaohsiung	4.0	2006/10-2007/02	9.8-875	Chiehn (2007)
	Rochester, NY	0.97	2003/1~12	10-500	Jeong et al. (2006)
	Toronto, Ontario, Canada	2.8	2003/1~12	<1000	Jeong et al. (2006)
	Copenhagen.Danish	2.13	2001/4~11	10-700	Ketzel et al. (2003)
Tunnel	Plabutsch	24.5	2001/11	18-700	Imhof et al. (2005b)
	Kingsway	5	2001/11	18-700	Imhof et al. (2005b)
	<b>Central Taiwan</b>	<b>24.69</b>	<b>2008/7</b>	<b>11-1000</b>	<b>This study (2008)</b>
Roadside	Taipei, Taiwa	18.29	2005/06	9.8-874.5	Tseng (2008)
	Birmingham , UK	18 - 49	1998/10-1999/02	9.5-359	Shi et al. (2001)
	Los Angeles, CA	13 - 20	2001/5-7	6-200	Zhu et al. (2002)
Indoor	Los Angeles, CA	1	2003/10-2004/1	6-220	Zhu et al. (2005)
	Boston	1.1	1996/4~6	20-500	Abt et al. (2000)
Workplaces	iron foundry	7.06	2005/1~2006/12	10-100	Cheng et al. (2008)
	Galvanizing	1.03 - 68.30	2001/5~11	16.5-805	Wake et al. (2002)
	Bagging-Carbon black	0.35 - 4.99	2001/5~11	16.5-805	Wake et al. (2002)
Background	Copenhagen.Danish	0.9	2001/5~11	10-700	Ketzel et al. (2003)
	Stockholm	1	2002/4	3-400	Gidhagen et al. (2004)

\* 不同研究所量測的粒徑範圍不同，此平均濃度為大氣懸浮微粒數量濃度

表4-3、環保署氣象因子與氣象儀相關性矩陣

		環保署			氣象儀		
		WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)
環保署	WS(m/sec)	1.00					
	T(°C)	-0.12	1.00				
	RH(%)	-0.05	-0.07	1.00			
氣象儀	WS(m/sec)	<b>0.92</b>	-0.04	0.02	1.00		
	T(°C)	-0.13	<b>0.99</b>	-0.11	-0.08	1.00	
	RH(%)	0.07	-0.15	<b>0.96</b>	0.07	-0.21	1.00



表4-4、中部空品區超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣

	N <sub>10-30</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>30-70</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>70-307</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>&gt;300</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>100-1000</sub> (nm)	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	AH (g/m <sup>3</sup> )	RAIN (mm)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )	Mixing height(m)	
N <sub>10-30</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.00																			
N <sub>30-70</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.64	1.00																		
N <sub>70-307</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.21	0.65	1.00																	
N <sub>&gt;300</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.26	0.23	0.40	1.00																
N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.91	0.90	0.51	0.29	1.00															
N <sub>100-1000</sub> (nm)	0.17	0.55	0.98	0.52	0.44	1.00														
SO <sub>2</sub> (ppb)	0.23	0.33	0.28	<b>0.49</b>	0.31	0.30	1.00													
CO(ppm)	<b>0.33</b>	<b>0.62</b>	<b>0.68</b>	0.24	<b>0.54</b>	0.65	0.21	1.00												
O <sub>3</sub> (ppb)	-0.01	-0.09	-0.13	0.01	-0.06	-0.12	0.02	-0.36	1.00											
NO <sub>x</sub> (ppb)	<b>0.35</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	0.22	<b>0.55</b>	0.59	0.25	<b>0.89</b>	-0.47	1.00										
PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.07	0.31	<b>0.66</b>	0.37	0.24	<b>0.69</b>	0.31	0.50	0.03	0.38	1.00									
PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	-0.04	0.24	<b>0.68</b>	0.35	0.14	<b>0.72</b>	0.24	0.55	-0.02	0.38	0.87	1.00								
AH(g/m <sup>3</sup> )	-0.03	0.13	-0.01	-0.01	0.04	-0.05	0.20	-0.06	0.00	-0.02	-0.24	-0.18	1.00							
RAIN (mm)	-0.03	-0.07	-0.11	-0.05	-0.06	-0.11	-0.07	-0.07	-0.02	-0.04	-0.16	-0.14	0.06	1.00						
WS(m/sec)	0.02	-0.24	-0.45	0.03	-0.14	-0.41	0.02	-0.40	0.24	-0.36	-0.35	-0.46	0.00	0.19	1.00					
T(°C)	0.12	0.24	0.04	-0.05	0.19	-0.02	0.20	-0.09	0.47	-0.09	-0.12	-0.12	0.77	-0.03	-0.08	1.00				
RH(%)	-0.33	-0.22	-0.16	-0.14	-0.31	-0.15	-0.06	-0.03	-0.64	0.02	-0.27	-0.13	0.41	0.14	0.07	-0.21	1.00			
SR(W/m <sup>2</sup> )	0.17	0.01	-0.13	-0.06	0.09	-0.14	-0.02	-0.23	0.74	-0.29	-0.03	-0.10	0.02	-0.06	0.08	0.43	-0.64	1.00		
Mixing height(m)	0.23	-0.14	-0.39	-0.03	0.03	-0.37	-0.05	-0.35	0.47	-0.34	-0.26	-0.34	-0.22	0.03	0.44	0.07	-0.40	0.57	1.00	

表4-5、測站超細微粒數量濃度統計分析表(2008/10~2009/1)

	Sample size	Mean <sup>1</sup> (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	SD (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	Percentage <sup>2</sup> (%)	GMD <sup>3</sup> (nm)	GSD <sup>4</sup>
JM	5996	2.49	1.24	81%	43	2.31
SS	4915	1.35	0.80	81%	45	2.28
PL	3608	1.25	0.81	70%	58	2.29
JS	2925	1.53	0.98	68%	60	2.29
Central airshed	17444	1.75	1.14	76%	50	2.30

<sup>1</sup> 此超細微粒平均值是指每分鐘平均值

<sup>2</sup> 超細微粒(10-100 nm)佔總微粒(10-1000 nm)粒數濃度之百分比

<sup>3</sup> 幾何平均粒徑(geometric mean diameter, GMD)

<sup>4</sup> 幾何標準差(geometric standard deviation, GSD)

表4-6、測站超細微粒數量濃度與氣象因子採樣期間逐分平均值(±σ)  
(2008/10/2009/1)

	UFP Mean (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )
JM	2.52(1.2)	1.32(0.7)	22.9(5.4)	69.7(11.0)	170.4
SS	1.35(0.8)	5.31(3.0)	20.6(5.3)	81.0(8.3)	137.1
PL	1.25(0.7)	0.80(0.6)	18.4(5.0)	74.4(16.2)	136.0
JS	1.52(0.9)	0.81(0.4)	17.5(4.3)	65.5(16.5)	151.3
Central airshed	1.75(1.1)	2.27(2.6)	20.2(5.5)	73.6(13.9)	148.5

表4-7、測站超細微粒數量濃度與氣象因子採樣期間逐時平均值(±σ)  
(2008/10/2009/1)

	UFP Mean (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	Rainfall (mm)	SR (W/m <sup>2</sup> )
JM	2.52(1.2)	1.32(0.7)	22.9(5.4)	69.7(11.0)	22.20	170.4
SS	1.35(0.8)	5.31(3.0)	20.6(5.3)	81.0(8.3)	33.20	137.1
PL	1.25(0.7)	0.80(0.6)	18.4(5.0)	74.4(16.2)	1.60	136.0
JS	1.53(0.9)	0.81(0.4)	17.5(4.3)	67.5(16.5)	0.40	151.3
Central airshed	1.75(1.1)	2.25(2.6)	20.2(5.5)	73.7(13.9)	57.20	149.5

表4-8、測站超細微粒數量濃度與空氣污染物採樣期間平均值(±σ)  
(2008/10~2009/1)

Site Statistics		UFP Mean <sup>1</sup> (10 <sup>4</sup> cm <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )
JM	Mean	2.52	3.9	<b>0.7</b>	24.6	<b>34.1</b>	54.6	37.9
	SD	1.21	1.4	0.4	20.6	24.2	28.3	18.6
SS	Mean	1.35	<b>4.4</b>	0.3	29.8	15.6	44.4	24.6
	SD	0.76	2.5	0.1	15.6	9.8	22.5	14.7
PL	Mean	1.25	3.6	0.5	25.7	20.9	66.7	<b>47.7</b>
	SD	0.74	1.7	0.2	22.8	11.6	22.3	15.7
JS	Mean	1.53	2.7	0.5	<b>27.7</b>	22.1	<b>70.3</b>	42.8
	SD	0.93	1.3	0.2	23.6	10.4	28.1	17.2
Central	Mean	1.75	3.8	0.5	26.9	23.9	57.1	37.2
airshed	SD	1.10	1.9	0.3	20.5	17.9	27.4	18.8

<sup>1</sup> 此超細微粒平均值是指小時平均值

表4-9、中部空品區轉軸後的成份矩陣

	Variable	Factor		
		CO plume	O3 formation	CO plume
particles	NUFP(cm-3)	0.08	0.13	<b>0.76</b>
	N100-1000(nm)	<b>0.70</b>	-0.05	0.48
air pollution	SO2 (ppb)	0.12	0.02	0.27
	CO (ppm)	0.47	-0.23	<b>0.74</b>
	O3 (ppb)	-0.04	<b>0.85</b>	-0.26
	NOX (ppb)	0.28	-0.30	<b>0.86</b>
	PM10 (µg/m3)	<b>0.83</b>	0.11	0.27
	PM2.5 (µg/m3)	<b>0.95</b>	-0.03	0.16
	WS (m/sec)	<b>-0.47</b>	0.14	<b>-0.19</b>
meteorological	RH (%)	-0.16	-0.80	-0.18
	SR (W/m2)	-0.10	0.84	-0.04
	Mixing height (m)	-0.45	0.59	-0.03
Explained Variance(%)		24%	22%	20%



表4-10、忠明測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣

	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	AH (g/m <sup>3</sup> )	RAIN (mm)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )	Mixing height(m)
N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.00														
N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.35	1.00													
SO <sub>2</sub> (ppb)	0.33	0.52	1.00												
CO(ppm)	<b>0.50</b>	<b>0.81</b>	0.42	1.00											
O <sub>3</sub> (ppb)	-0.07	-0.12	0.00	-0.41	1.00										
NO <sub>x</sub> (ppb)	<b>0.43</b>	<b>0.72</b>	0.38	<b>0.92</b>	-0.53	1.00									
PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.16	<b>0.62</b>	0.38	0.49	0.01	0.45	1.00								
PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.10	<b>0.71</b>	0.36	0.50	0.12	0.42	0.83	1.00							
AH(g/m <sup>3</sup> )	-0.06	0.11	0.07	-0.13	0.10	-0.25	-0.40	-0.13	1.00						
RAIN (mm)	-0.08	-0.09	-0.09	-0.06	-0.04	-0.04	-0.13	-0.11	0.05	1.00					
WS(m/sec)	-0.22	-0.58	-0.21	-0.52	0.34	-0.55	-0.12	-0.29	-0.24	0.00	1.00				
T(°C)	0.03	0.05	0.11	-0.25	0.50	-0.39	-0.26	0.00	0.87	0.00	-0.10	1.00			
RH(%)	-0.26	0.11	-0.03	0.20	-0.68	0.22	-0.16	-0.05	0.36	0.00	-0.35	-0.10	1.00		
SR(W/m <sup>2</sup> )	0.09	-0.14	-0.02	-0.30	0.79	-0.36	-0.04	-0.01	0.06	0.00	0.29	0.42	-0.73	1.00	
Mixing height(m)	0.04	-0.39	-0.06	-0.37	0.53	-0.37	-0.09	-0.17	-0.31	-0.04	0.41	-0.01	-0.56	0.61	1.00

表4-11、忠明轉軸後的成份矩陣

	Variable	Factor		
		O <sub>3</sub> formation	NO <sub>x</sub> / CO plume	CO plume
particles	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.12	<b>0.75</b>	0.05
	N <sub>100-1000</sub> (nm)	-0.21	<b>0.66</b>	<b>0.65</b>
air pollution	SO <sub>2</sub> (ppb)	0.02	0.49	0.30
	CO (ppm)	-0.37	<b>0.78</b>	<b>0.42</b>
	O <sub>3</sub> (ppb)	<b>0.87</b>	-0.30	0.08
	NO <sub>x</sub> (ppb)	-0.43	<b>0.78</b>	0.31
	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	0.05	0.24	<b>0.87</b>
	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-0.07	0.21	<b>0.94</b>
	WS (m/sec)	0.42	<b>-0.55</b>	<b>-0.13</b>
meteorological	RH (%)	<b>-0.89</b>	-0.06	-0.07
	SR (W/m <sup>2</sup> )	<b>0.86</b>	-0.01	-0.04
	Mixing height (m)	0.68	-0.20	-0.25
	Explained Variance(%)	28%	25%	21%

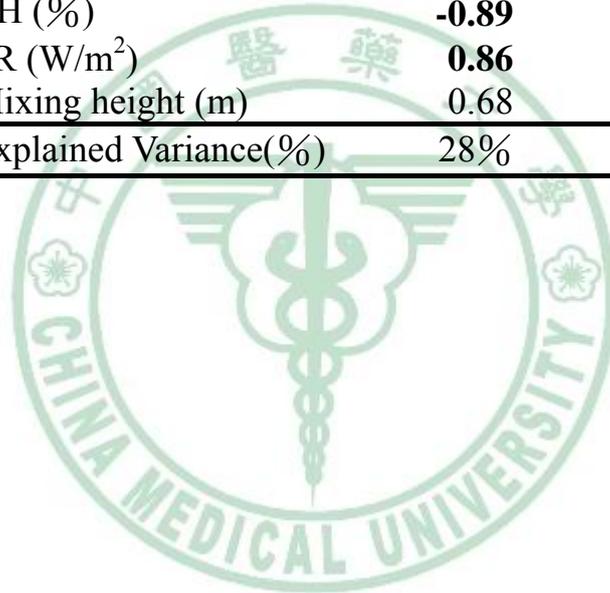


表4-12、線西測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣

	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	AH (g/m <sup>3</sup> )	RAIN (mm)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )	Mixing height(m)
N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.00														
N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.40	1.00													
SO <sub>2</sub> (ppb)	<b>0.43</b>	<b>0.67</b>	1.00												
CO(ppm)	0.17	0.65	0.52	1.00											
O <sub>3</sub> (ppb)	-0.12	-0.19	-0.24	-0.37	1.00										
NO <sub>x</sub> (ppb)	<b>0.36</b>	0.57	0.55	0.67	-0.70	1.00									
PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.27	<b>0.75</b>	0.58	0.60	0.12	0.32	1.00								
PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.14	<b>0.81</b>	0.59	<b>0.71</b>	-0.04	0.41	0.90	1.00							
AH(g/m <sup>3</sup> )	-0.12	0.07	0.12	-0.03	0.09	0.17	0.14	0.09	1.00						
RAIN (mm)	-0.10	-0.18	-0.17	-0.10	-0.02	-0.08	-0.27	-0.23	-0.02	1.00					
WS(m/sec)	-0.05	-0.25	-0.33	-0.17	0.31	-0.51	-0.10	-0.19	-0.61	0.09	1.00				
T(°C)	-0.05	-0.03	0.13	-0.11	0.26	0.09	0.20	0.04	0.97	-0.07	-0.54	1.00			
RH(%)	-0.44	-0.19	-0.05	0.14	-0.31	0.22	-0.24	-0.04	0.58	0.23	-0.43	0.43	1.00		
SR(W/m <sup>2</sup> )	0.23	-0.05	-0.07	-0.20	0.67	-0.28	0.25	-0.02	0.16	-0.10	0.11	0.32	-0.46	1.00	
Mixing height(m)	0.06	-0.26	-0.25	-0.18	0.33	-0.40	-0.12	-0.18	-0.70	0.14	0.64	-0.60	-0.61	0.30	1.00

表4-13、線西轉軸後的成份矩陣

	Variable	Factor			
		CO plume	O <sub>3</sub> formation	Atmospheric dilution	SO <sub>2</sub> plume
particles	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.19	0.02	0.06	<b>0.76</b>
	N <sub>100-1000</sub> (nm)	<b>0.79</b>	-0.13	-0.05	<b>0.35</b>
air pollution	SO <sub>2</sub> (ppb)	0.58	-0.22	<b>-0.24</b>	<b>0.44</b>
	CO (ppm)	<b>0.66</b>	-0.45	-0.09	0.07
	O <sub>3</sub> (ppb)	-0.05	<b>0.93</b>	0.18	-0.16
	NO <sub>x</sub> (ppb)	0.40	-0.61	<b>-0.36</b>	<b>0.43</b>
	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	<b>0.87</b>	0.25	-0.07	0.19
	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	<b>0.97</b>	0.00	-0.07	-0.06
meteorological	WS (m/sec)	<b>-0.11</b>	0.12	<b>0.75</b>	<b>-0.15</b>
	RH (%)	-0.10	-0.36	-0.62	-0.46
	SR (W/m <sup>2</sup> )	0.04	<b>0.71</b>	0.13	0.26
	Mixing height (m)	-0.15	0.13	<b>0.83</b>	0.10
	Explained Variance(%)	28	18	16%	12%

表4-14、埔里測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣

	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	AH (g/m <sup>3</sup> )	RAIN (mm)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )	Mixing height(m)
N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.00														
N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.56	1.00													
SO <sub>2</sub> (ppb)	0.40	0.30	1.00												
CO(ppm)	<b>0.65</b>	<b>0.68</b>	0.26	1.00											
O <sub>3</sub> (ppb)	-0.04	-0.18	0.14	-0.24	1.00										
NO <sub>x</sub> (ppb)	<b>0.73</b>	0.64	0.25	<b>0.90</b>	-0.28	1.00									
PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.33	<b>0.67</b>	0.34	0.64	0.00	0.54	1.00								
PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.08	0.58	0.22	0.55	-0.08	-0.38	0.92	1.00							
AH(g/m <sup>3</sup> )	0.06	0.30	-0.07	0.01	-0.24	0.05	-0.09	-0.04	1.00						
RAIN (mm)	-0.04	-0.09	0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	0.09	1.00					
WS(m/sec)	0.07	-0.20	0.23	-0.19	0.77	-0.19	-0.07	-0.16	-0.20	-0.01	1.00				
T(°C)	0.09	0.00	0.06	-0.20	0.58	-0.10	-0.28	-0.36	0.53	0.02	0.44	1.00			
RH(%)	-0.11	0.22	-0.21	0.10	-0.86	0.07	0.02	0.15	-0.46	0.07	-0.68	-0.47	1.00		
SR(W/m <sup>2</sup> )	-0.20	-0.50	-0.08	-0.37	0.71	-0.39	-0.38	-0.38	-0.25	-0.02	0.49	0.48	-0.74	1.00	
Mixing height(m)	-0.19	-0.49	-0.22	-0.39	0.47	-0.41	-0.44	-0.42	-0.22	0.00	0.18	0.28	-0.46	0.73	1.00

表4-15、埔里轉軸後的成份矩陣

	Variable	Factor		
		O <sub>3</sub> formation	NO <sub>x</sub> plume	CO plume
particles	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	-0.01	<b>0.84</b>	0.01
	N <sub>100-1000</sub> (nm)	-0.27	<b>0.56</b>	<b>0.54</b>
air pollution	SO <sub>2</sub> (ppb)	0.13	0.36	0.19
	CO (ppm)	-0.23	<b>0.78</b>	<b>0.34</b>
	O <sub>3</sub> (ppb)	<b>0.96</b>	-0.12	0.02
	NO <sub>x</sub> (ppb)	-0.24	<b>0.92</b>	0.15
	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-0.11	0.35	<b>0.90</b>
	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-0.17	0.09	<b>0.94</b>
meteorological	WS (m/sec)	0.69	<b>-0.03</b>	<b>-0.08</b>
	RH (%)	<b>-0.95</b>	-0.11	0.07
	SR (W/m <sup>2</sup> )	<b>0.79</b>	-0.23	-0.32
	Mixing height (m)	-0.51	-0.24	-0.34
Explained Variance(%)		28%	24%	20%

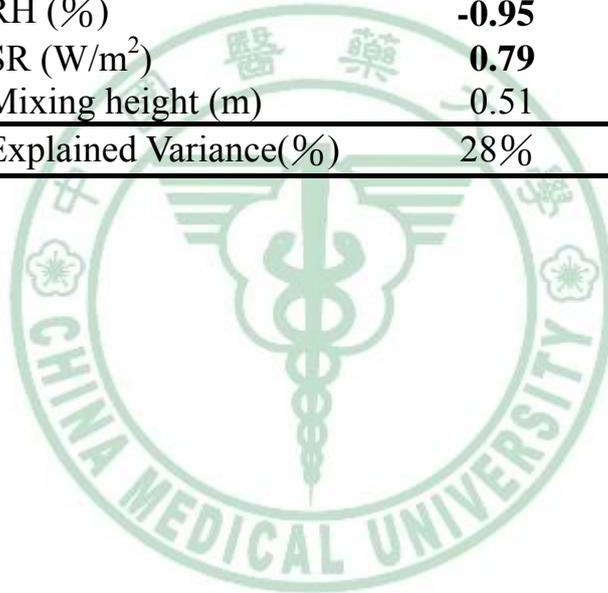


表4-16、竹山測站超細微粒數量濃度與空氣污染物及氣象因子相關性矩陣

	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	AH (g/m <sup>3</sup> )	RAIN (mm)	WS (m/sec)	T (°C)	RH (%)	SR (W/m <sup>2</sup> )	Mixing height(m)
N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.00														
N <sub>100-1000</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.58	1.00													
SO <sub>2</sub> (ppb)	<b>0.60</b>	<b>0.44</b>	1.00												
CO(ppm)	0.50	<b>0.48</b>	0.26	1.00											
O <sub>3</sub> (ppb)	0.18	0.04	0.37	-0.39	1.00										
NO <sub>x</sub> (ppb)	0.46	0.44	0.16	<b>0.88</b>	-0.57	1.00									
PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	<b>0.53</b>	<b>0.67</b>	<b>0.70</b>	0.39	0.11	0.28	1.00								
PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	0.40	<b>0.84</b>	0.50	0.53	-0.01	0.37	0.79	1.00							
AH(g/m <sup>3</sup> )	-0.04	0.00	-0.04	0.31	-0.25	0.27	0.01	0.19	1.00						
RAIN (mm)	-0.06	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.03	-0.05	-0.04	0.10	1.00					
WS(m/sec)	0.30	0.02	0.51	-0.20	0.60	-0.27	0.38	0.01	-0.16	-0.01	1.00				
T(°C)	0.30	0.03	0.43	-0.15	0.84	-0.29	0.23	0.03	0.08	-0.02	0.64	1.00			
RH(%)	-0.34	-0.09	-0.48	0.19	-0.85	0.29	-0.27	0.01	0.36	0.07	-0.69	-0.87	1.00		
SR(W/m <sup>2</sup> )	0.09	-0.18	0.21	-0.44	0.86	-0.58	-0.07	-0.24	-0.31	-0.04	0.52	0.74	-0.79	1.00	
Mixing height(m)	-0.06	-0.32	0.02	-0.47	0.56	-0.55	-0.11	-0.31	-0.42	0.00	0.33	0.48	-0.58	0.83	1.00

表4-17、竹山轉軸後的成份矩陣

	Variable	Factor		
		O <sub>3</sub> formation	NO <sub>x</sub> plume	CO plume
particles	N <sub>UFP</sub> (cm <sup>-3</sup> )	0.23	<b>0.35</b>	<b>0.72</b>
	N <sub>100-1000</sub> (nm)	-0.09	<b>0.75</b>	<b>0.30</b>
air pollution	SO <sub>2</sub> (ppb)	0.43	<b>0.64</b>	0.27
	CO (ppm)	-0.39	0.28	<b>0.77</b>
	O <sub>3</sub> (ppb)	<b>0.88</b>	0.14	-0.19
	NO <sub>x</sub> (ppb)	-0.51	0.15	<b>0.84</b>
	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0.14	<b>0.84</b>	0.14
	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	-0.16	<b>0.90</b>	0.15
meteorological	WS (m/sec)	0.60	<b>0.30</b>	<b>-0.03</b>
	RH (%)	<b>-0.90</b>	-0.16	0.01
	SR (W/m <sup>2</sup> )	<b>0.91</b>	-0.17	-0.14
	Mixing height (m)	0.72	-0.24	-0.15
Variance(%)		33%	24%	17%



表4-18、因子分析可能污染源綜合表

地點	可能污染源			
	因子一	因子二	因子三	因子四
中部空品區	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> / N <sub>100-1000</sub> / CO 交通廢氣	SR / O <sub>3</sub> / RH 光化學	NO <sub>x</sub> / CO / N <sub>UFP</sub> 交通廢氣	
忠明測站	SR / O <sub>3</sub> / RH 光化學	NO <sub>x</sub> / CO / N <sub>UFP</sub> / N <sub>100-1000</sub> 交通廢氣	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> / N <sub>100-1000</sub> / CO 交通廢氣	
線西測站	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> / N <sub>100-1000</sub> / CO 交通廢氣	SR / O <sub>3</sub> 光化學	WS / Mixing height 氣象因子	NO <sub>x</sub> / SO <sub>2</sub> / N <sub>UFP</sub> 工業燃燒、交通廢氣
埔里測站	SR / O <sub>3</sub> / RH 光化學	NO <sub>x</sub> / CO / N <sub>UFP</sub> / N <sub>100-1000</sub> 交通廢氣	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> / N <sub>100-1000</sub> / CO 交通廢氣	
竹山測站	SR / O <sub>3</sub> / RH 光化學	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> / N <sub>100-1000</sub> / SO <sub>2</sub> 工業燃燒	NO <sub>x</sub> / CO / N <sub>UFP</sub> 交通廢氣	

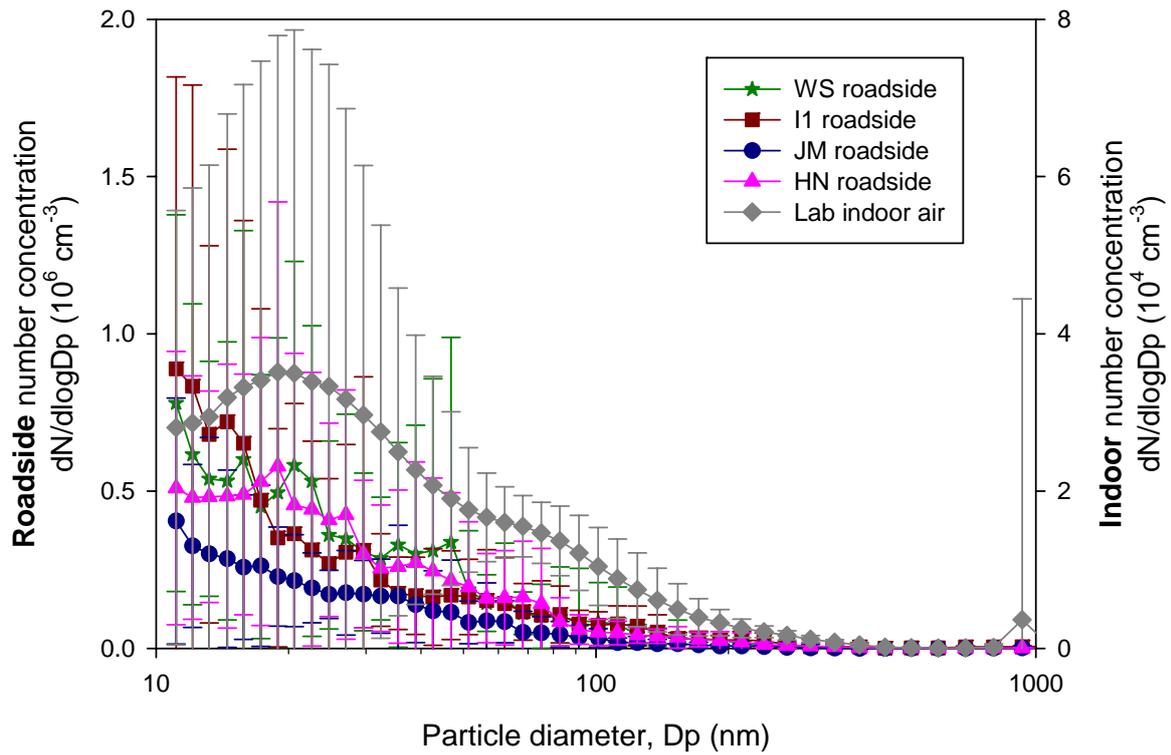


圖 4-1、不同路段路邊與室內空氣中之微粒粒數濃度粒徑分佈比較

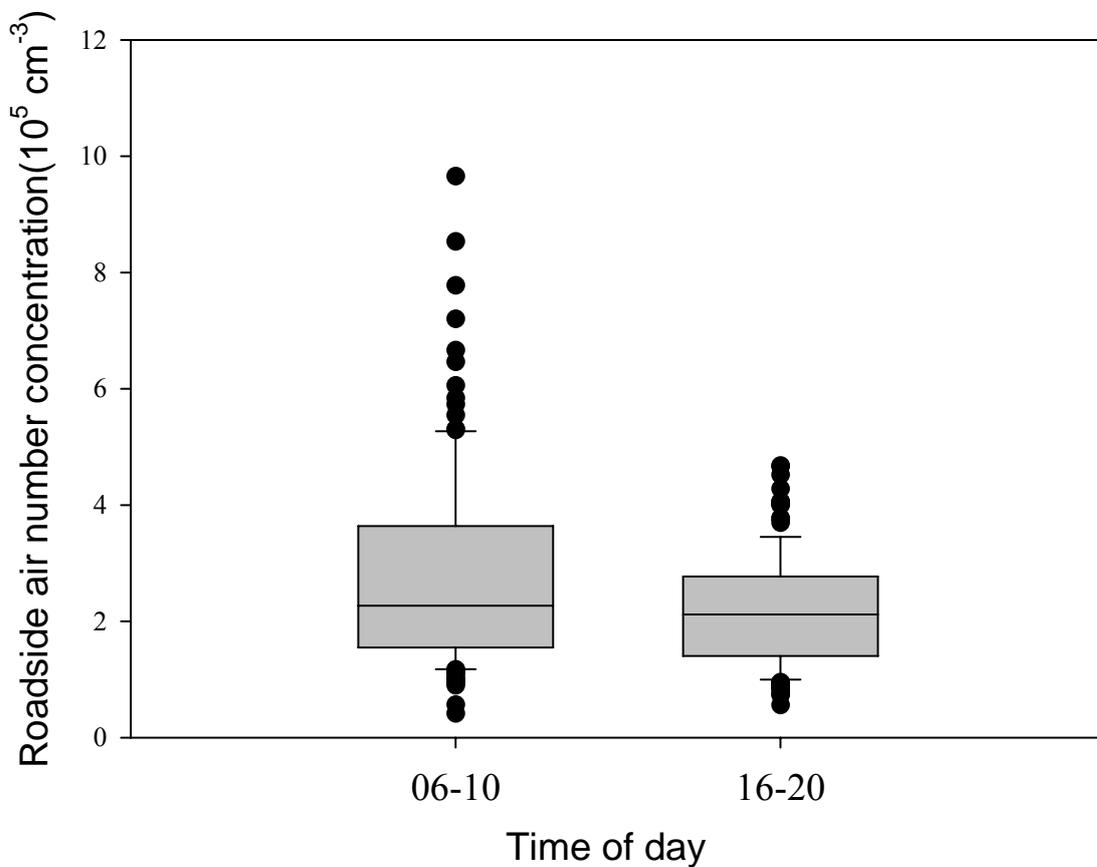


圖 4-2、路邊早上與下午之超細微粒數量濃度比較

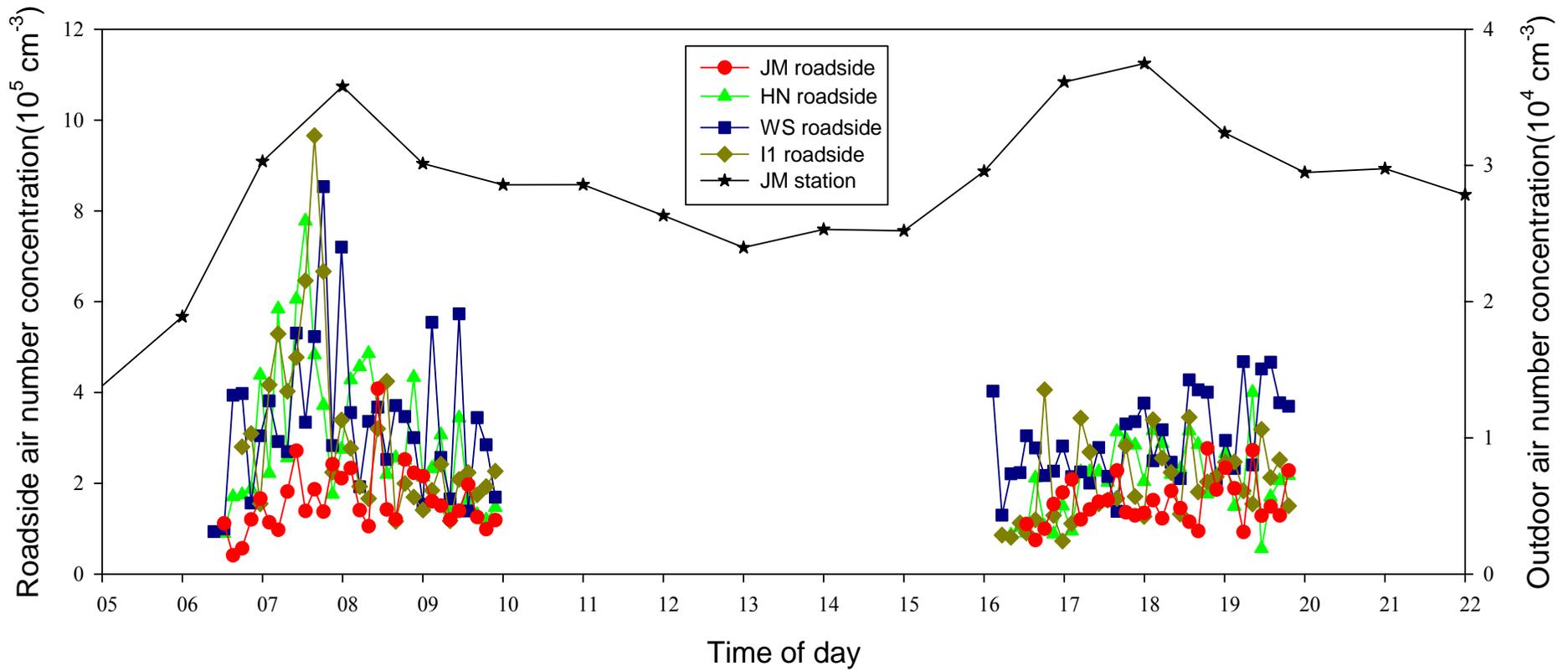


圖 4-3、交通尖峰時段與忠明測站之超細微粒粒數濃度時間序列

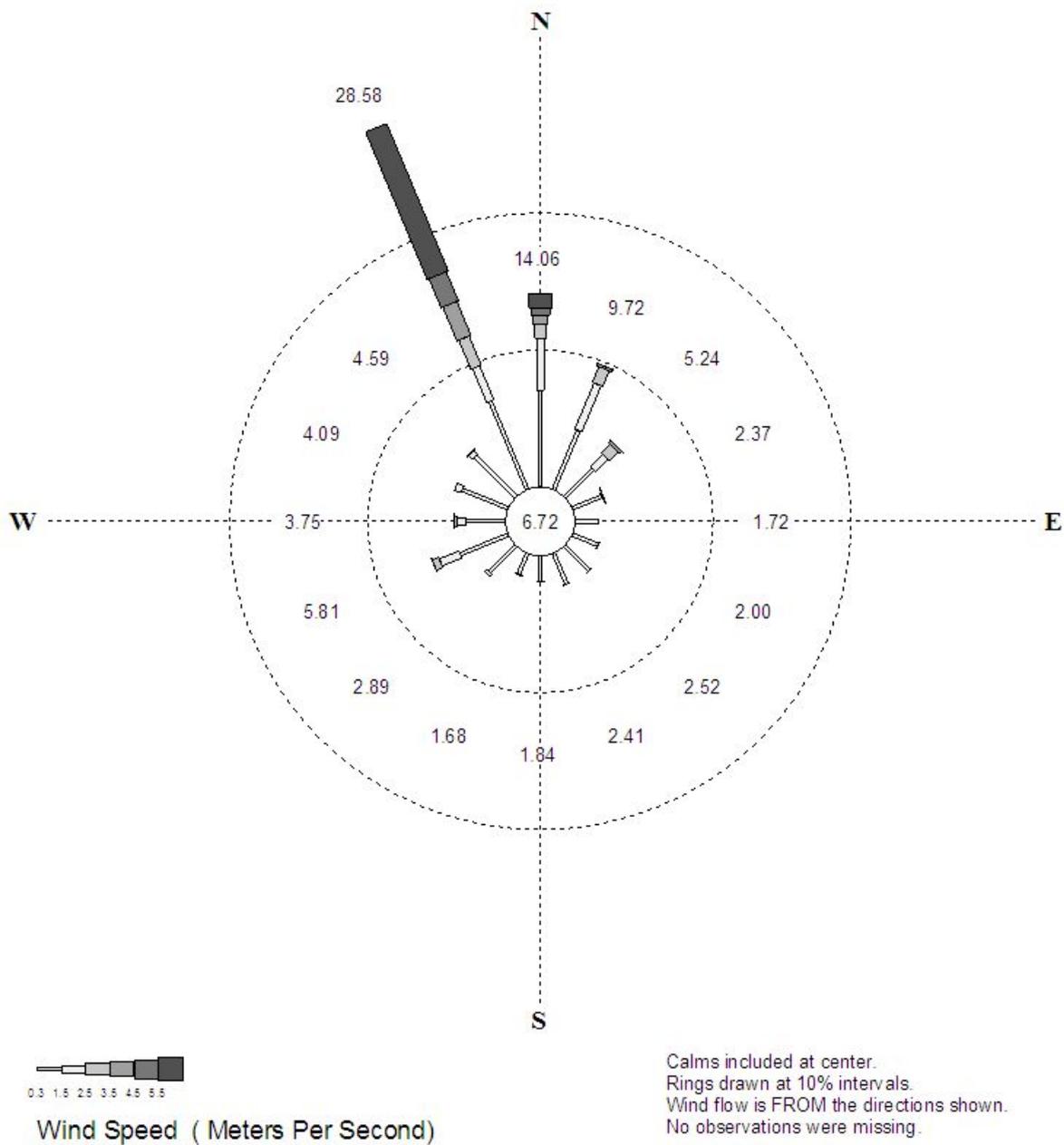


圖 4-4、採樣期間中部空品區風向風速圖(2008/10~2009/1)

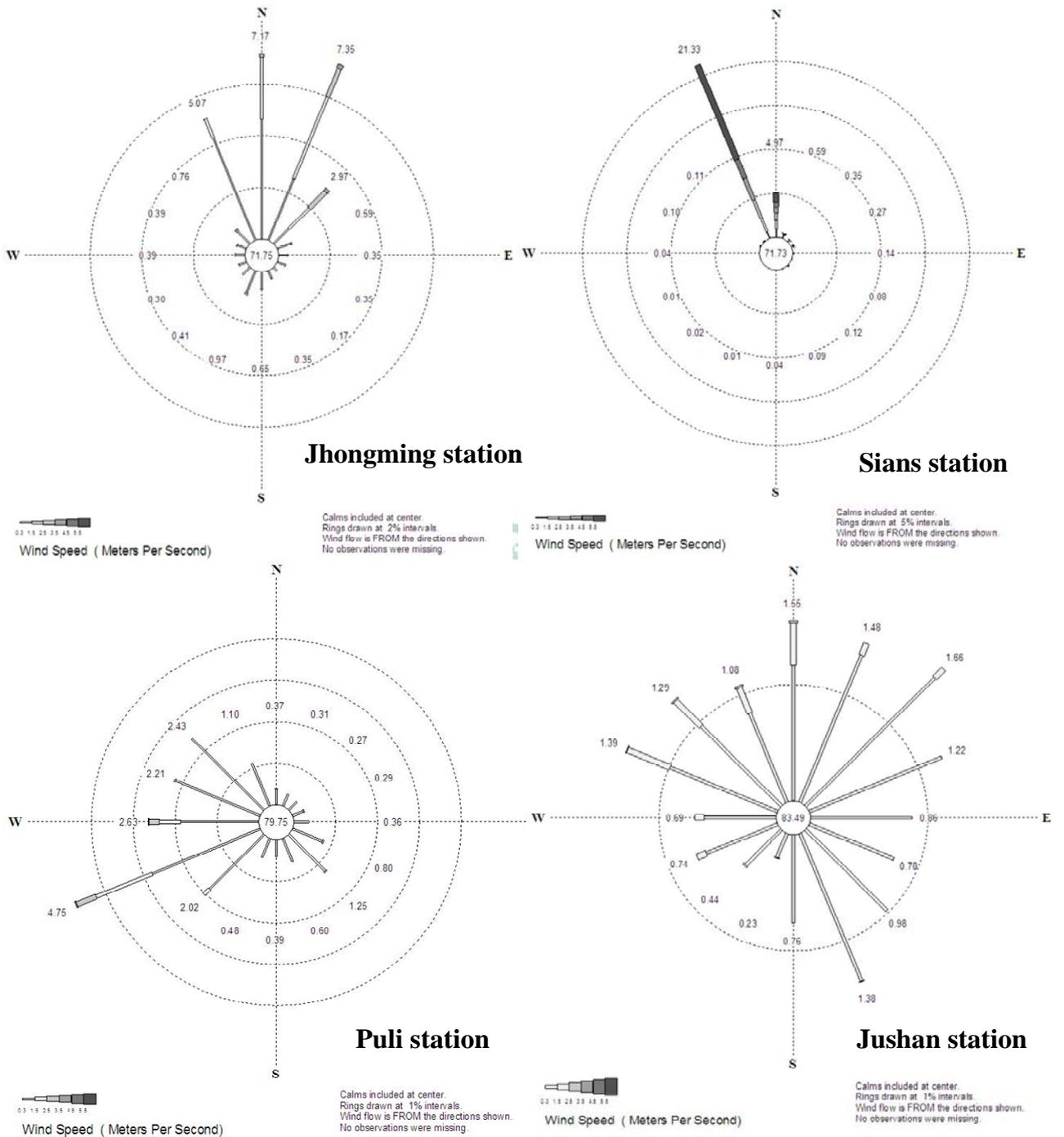


圖 4-5、採樣期間各監測站風向風速圖(2008/10~2009/1)

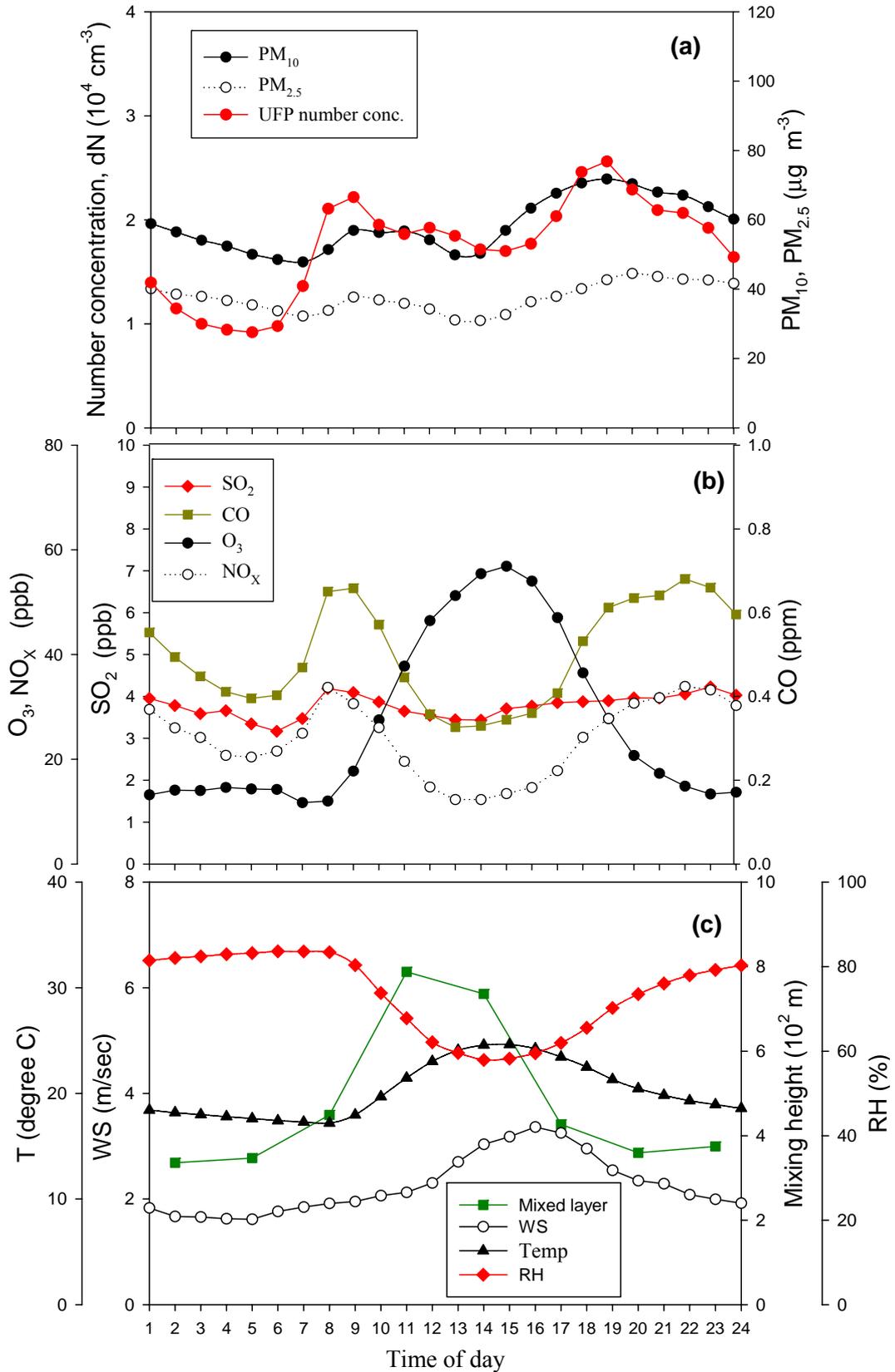


圖 4-6、中部空品區(a)粒狀污染物：超細微粒(UFP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、細微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度，(b)氣態污染物：二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)，(c)氣象因子：風速(WS)、混合層高度(Mixing height)之時間序列

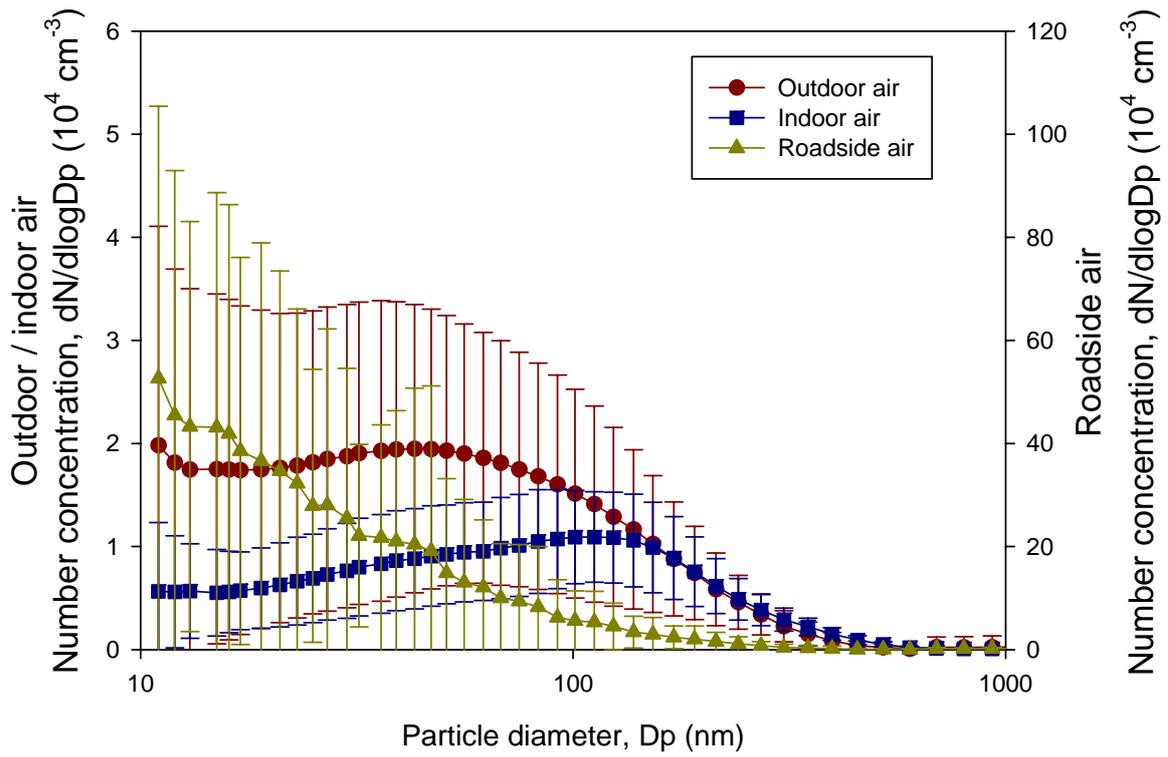


圖 4-7、路旁、室內與測站微粒濃度粒徑分佈之平均值( $\pm\sigma$ )(2008/07~2009/1)

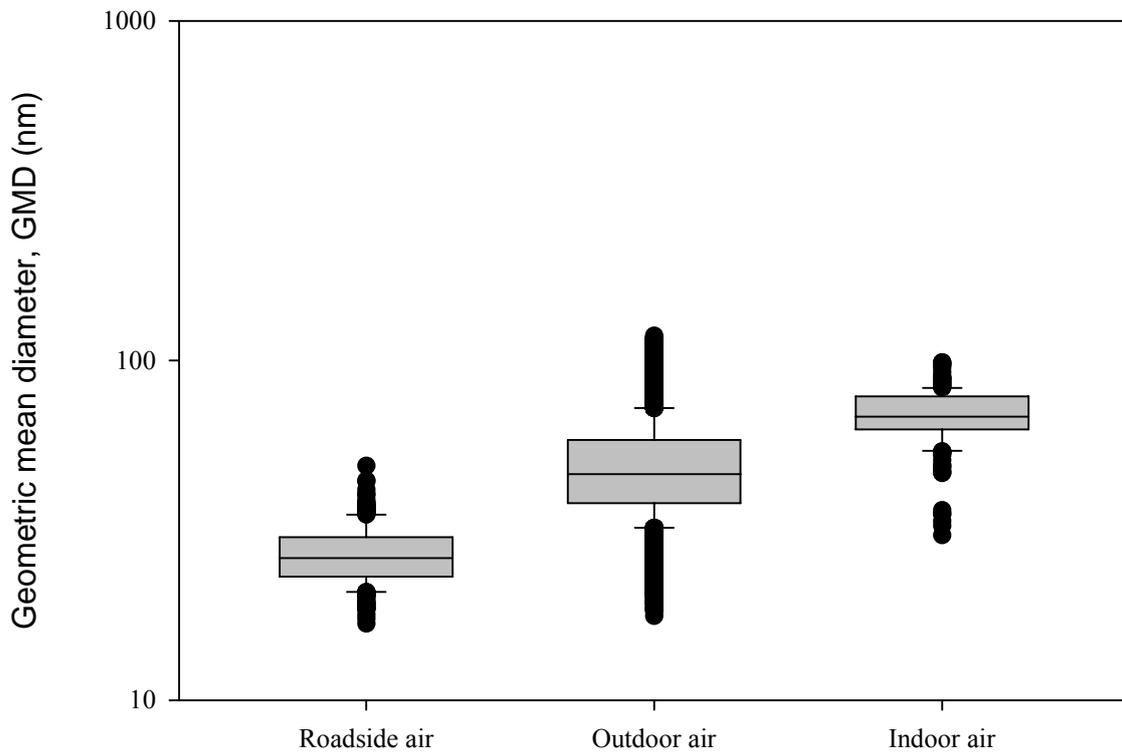


圖 4-8、路旁、室內與測站超細微粒幾何平均粒徑比較

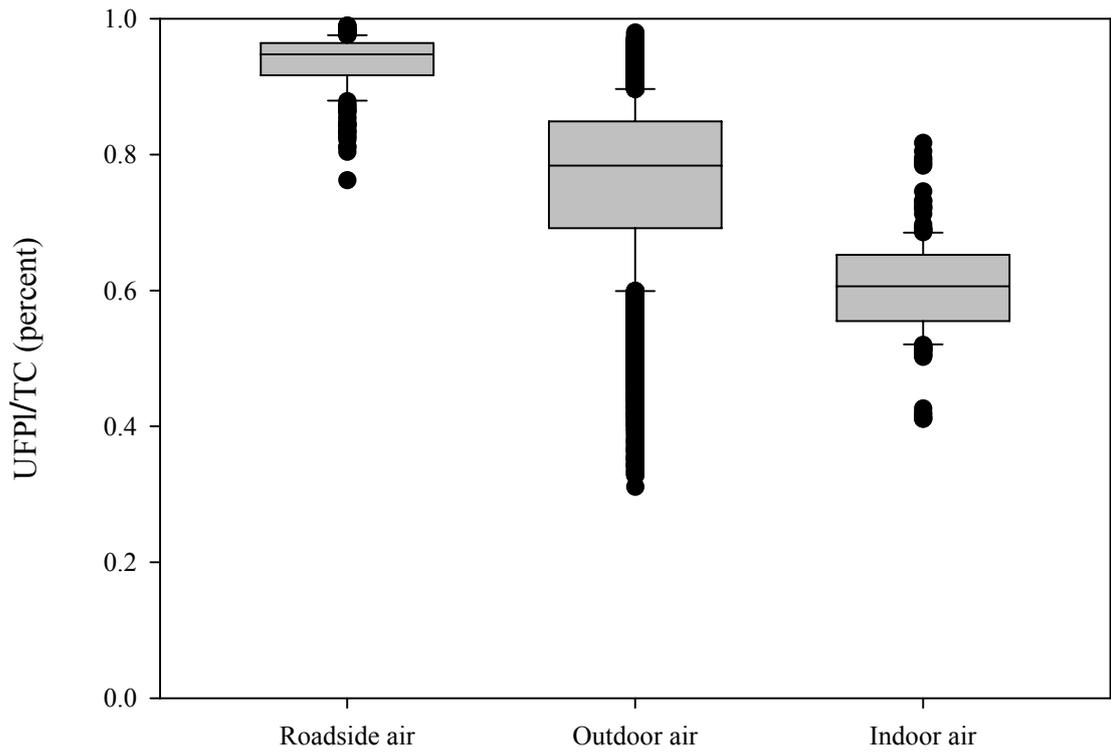


圖 4-9、路旁、室內與測站超細微粒佔總微粒數量濃度百分比比較

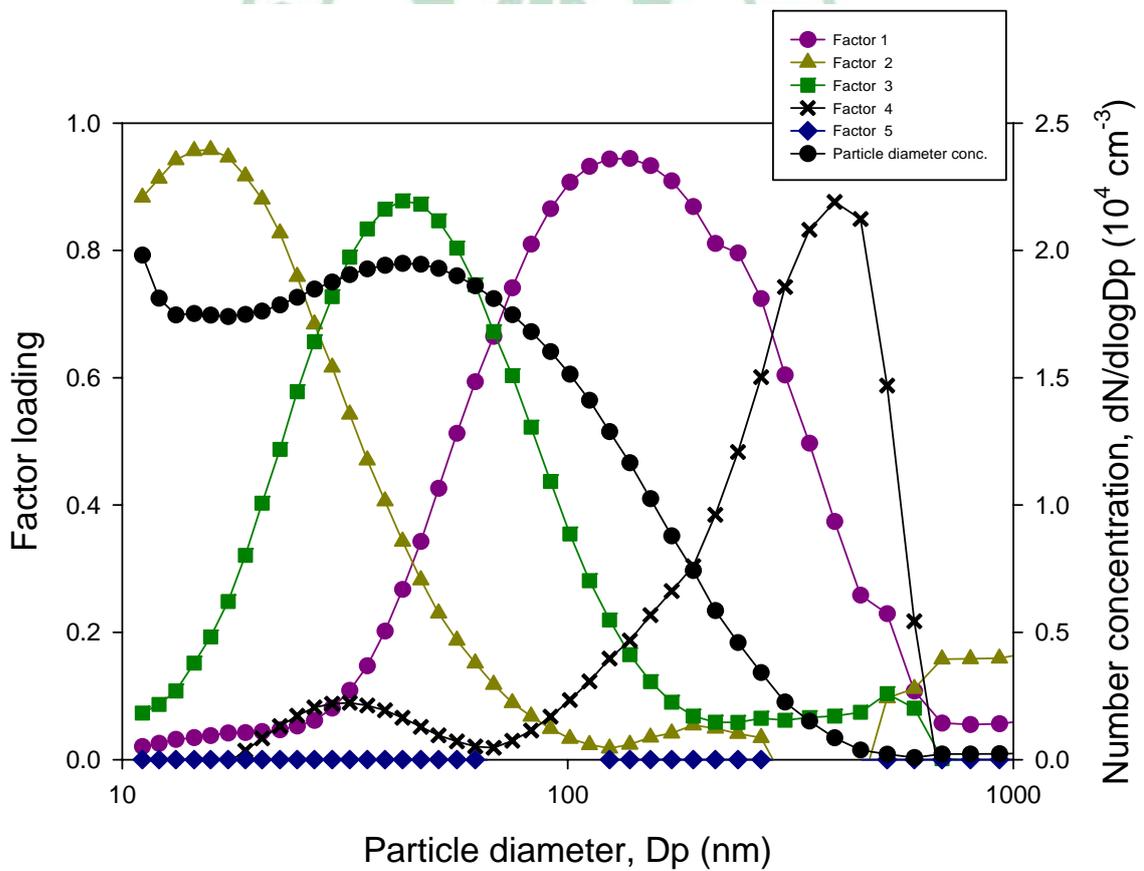


圖 4-10、微粒粒徑因素分析分佈與測站微粒數量濃度粒徑分佈比較圖

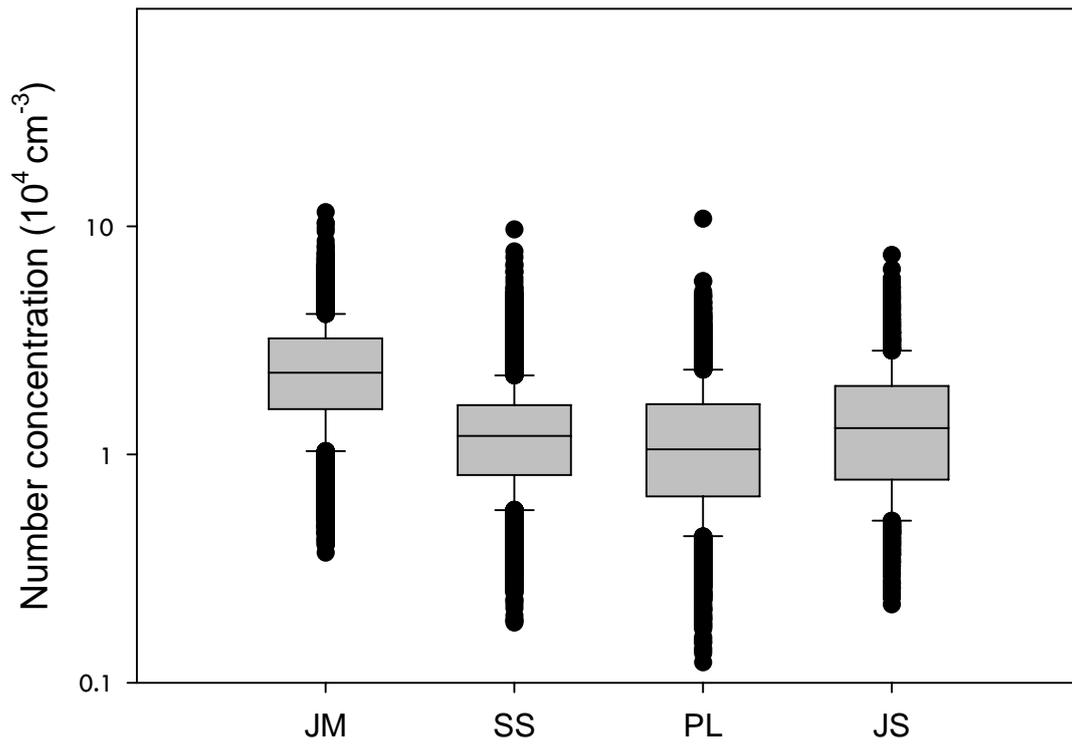


圖 4-11、測站間超細微粒數量濃度比較(2008/10~2009/01)

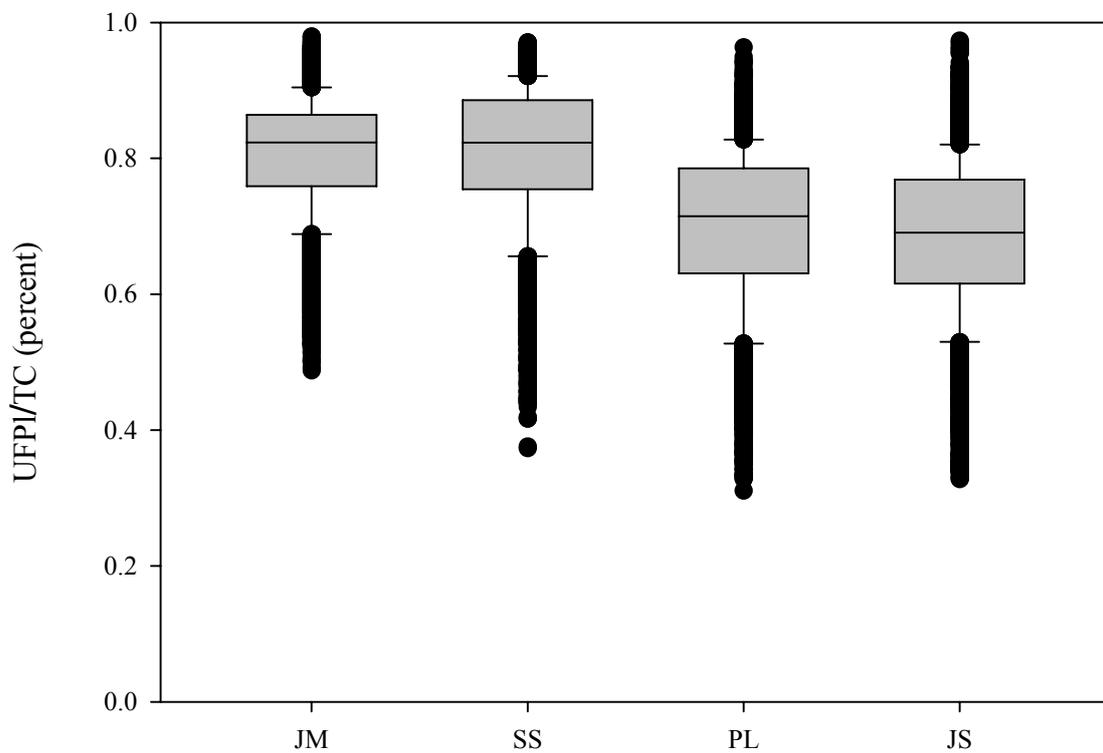


圖 4-12、測站間超細微粒佔總微粒數量濃度百分比比較

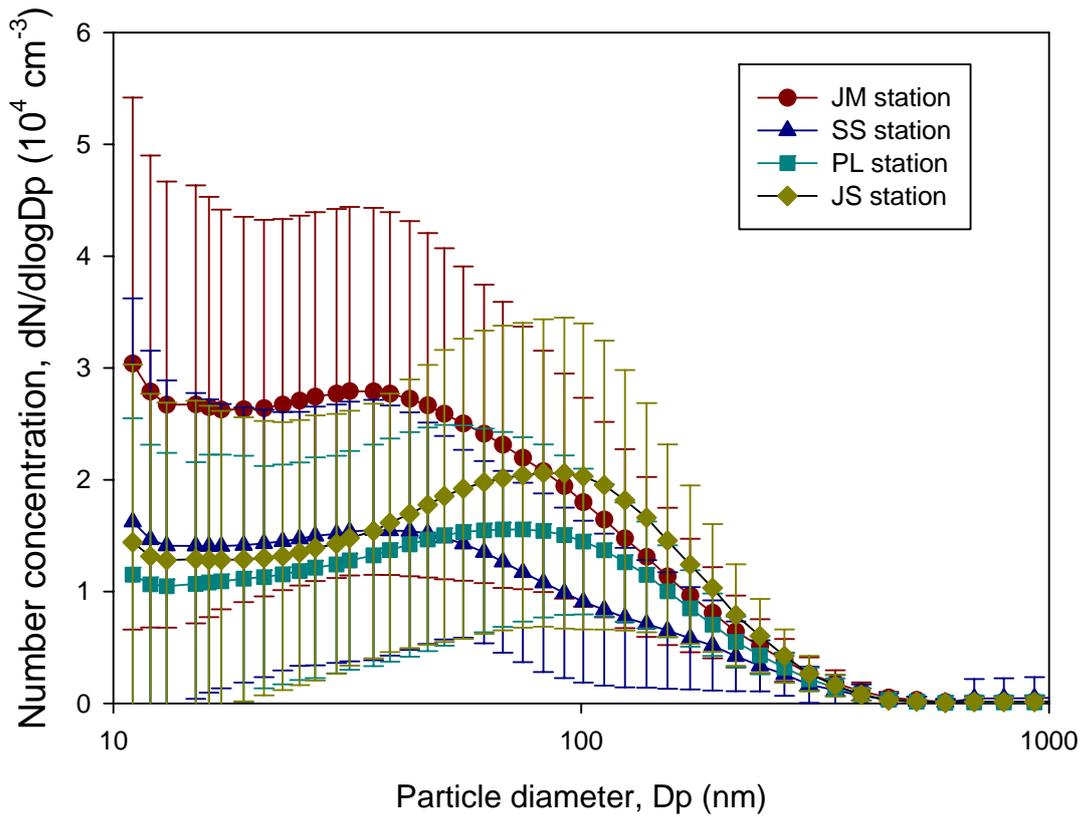


圖 4-13、監測站微粒數量濃度粒徑分佈之平均值  
( $\pm\sigma$ )(2008/10~2009/1)

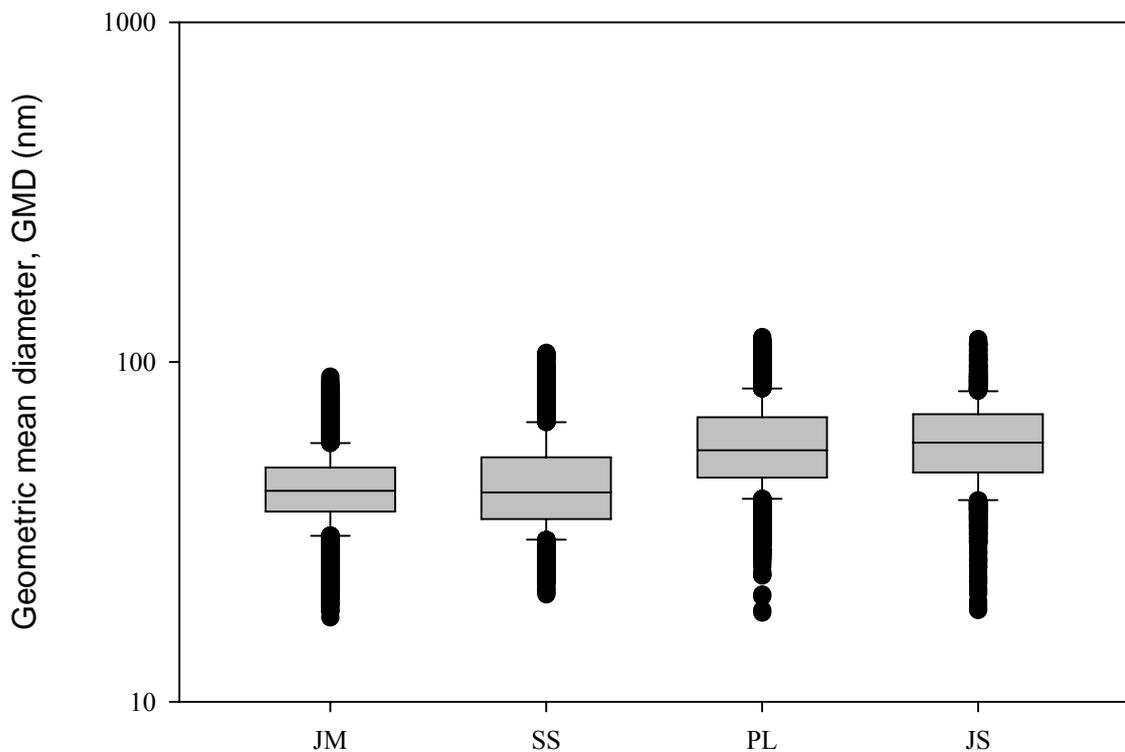


圖 4-14、測站間超細微粒幾何平均粒徑比較

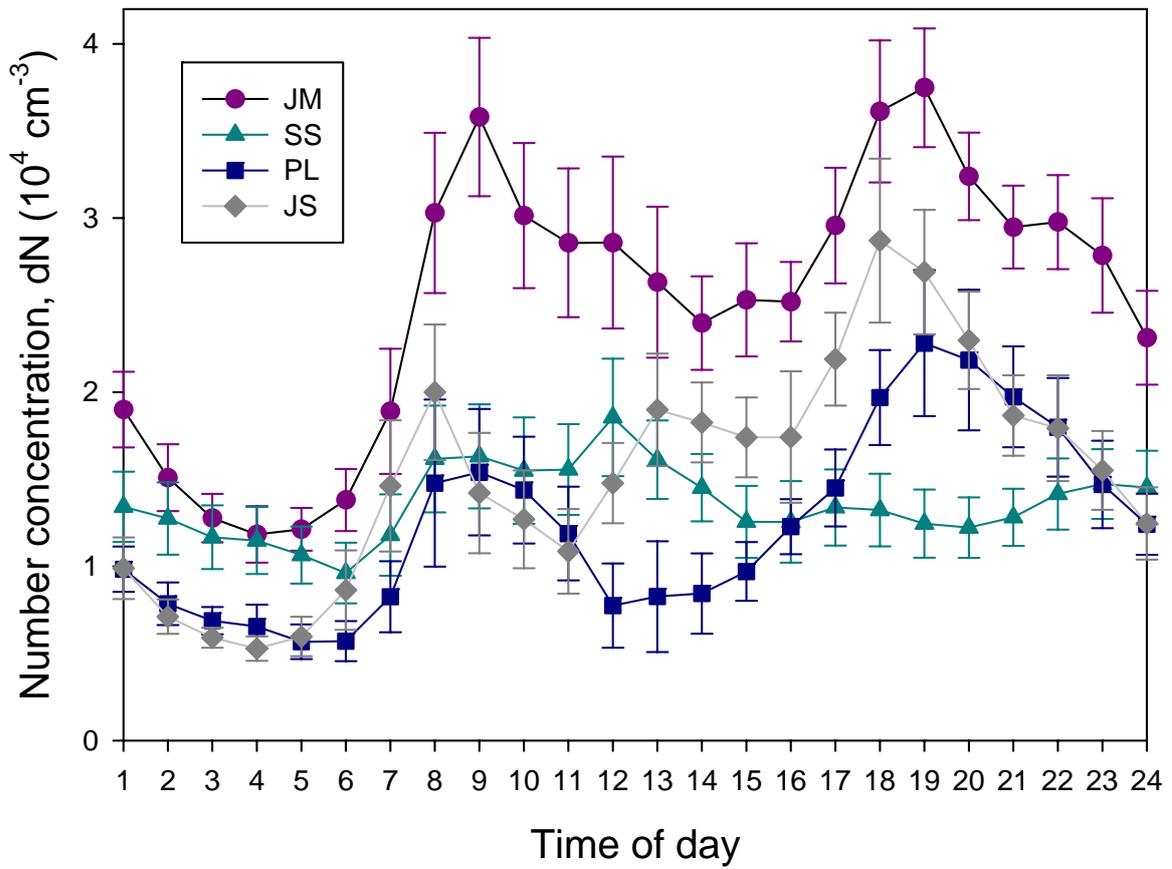


圖 4-15、監測站超細微粒數量濃度平均值( $\pm\sigma$ )之時間序列  
(2008/10~2008/12)

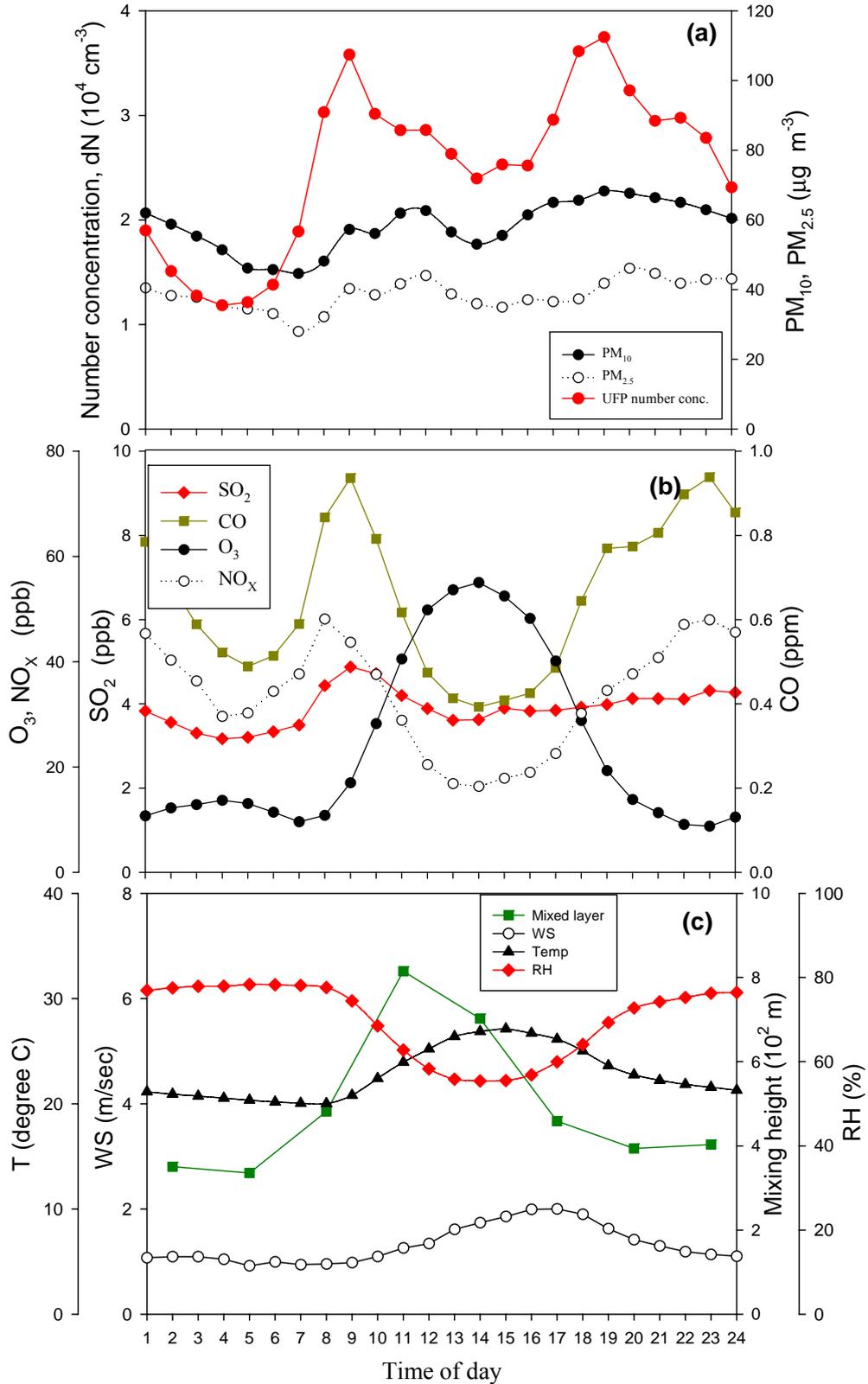


圖 4-16、忠明測站(a)粒狀污染物：超細微粒(UFP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、細微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度，(b)氣態污染物：二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)，(c)氣象因子：風速(WS)、混合層高度(Mixing height)之時間序列

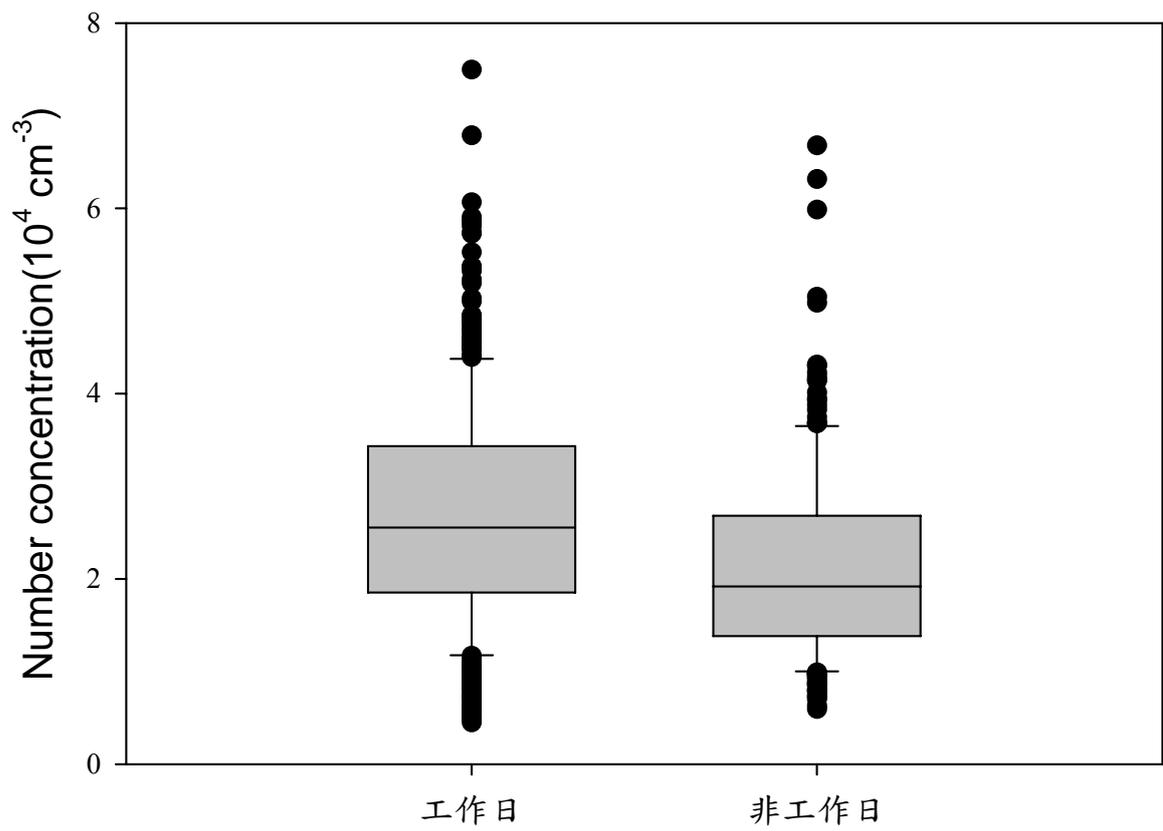


圖 4-17、忠明測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較



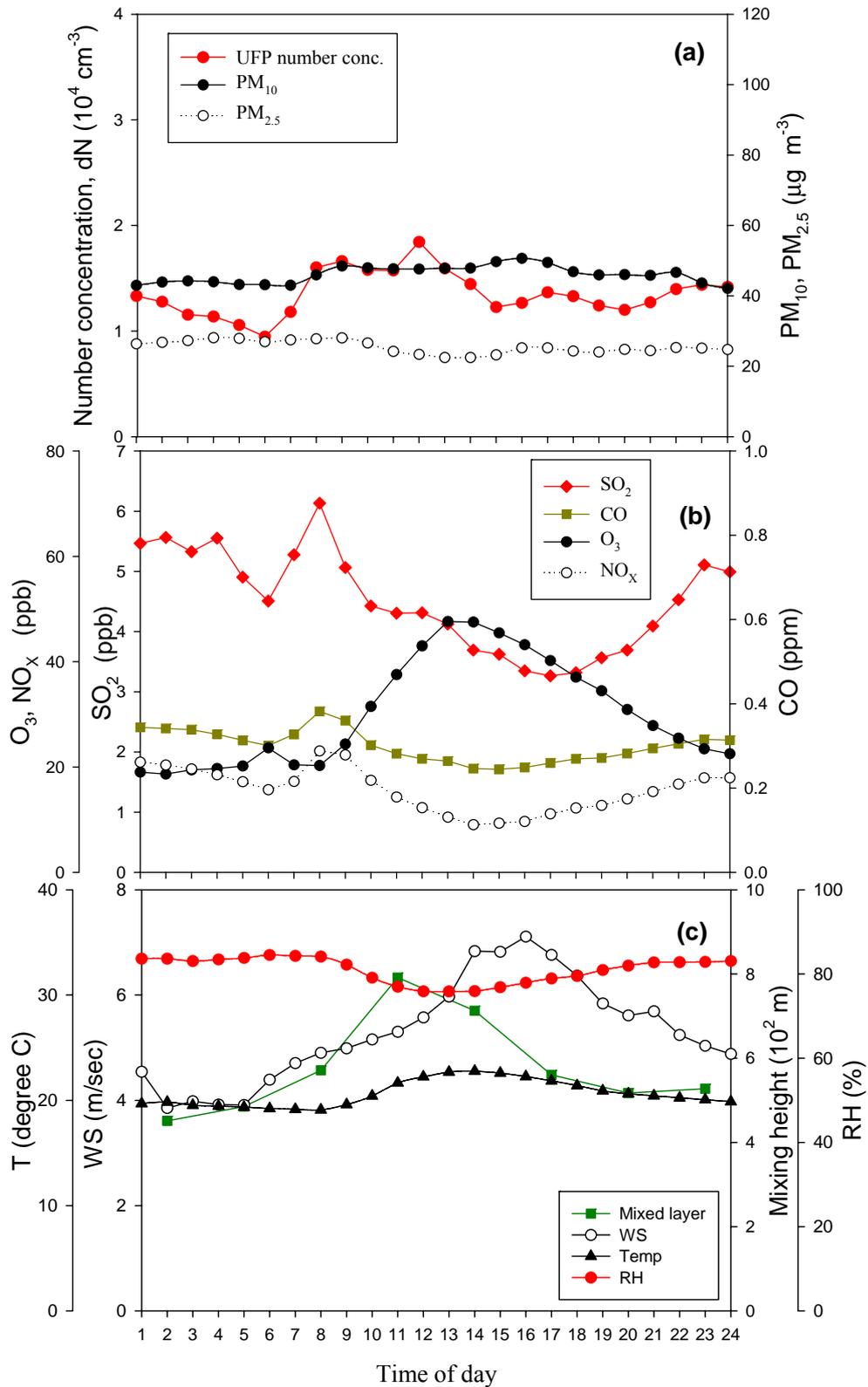


圖 4-18、線西測站(a)粒狀污染物：超細微粒(UFP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、細微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度，(b)氣態污染物：二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)，(c)氣象因子：風速(WS)、混合層高度(Mixing height)之時間序列

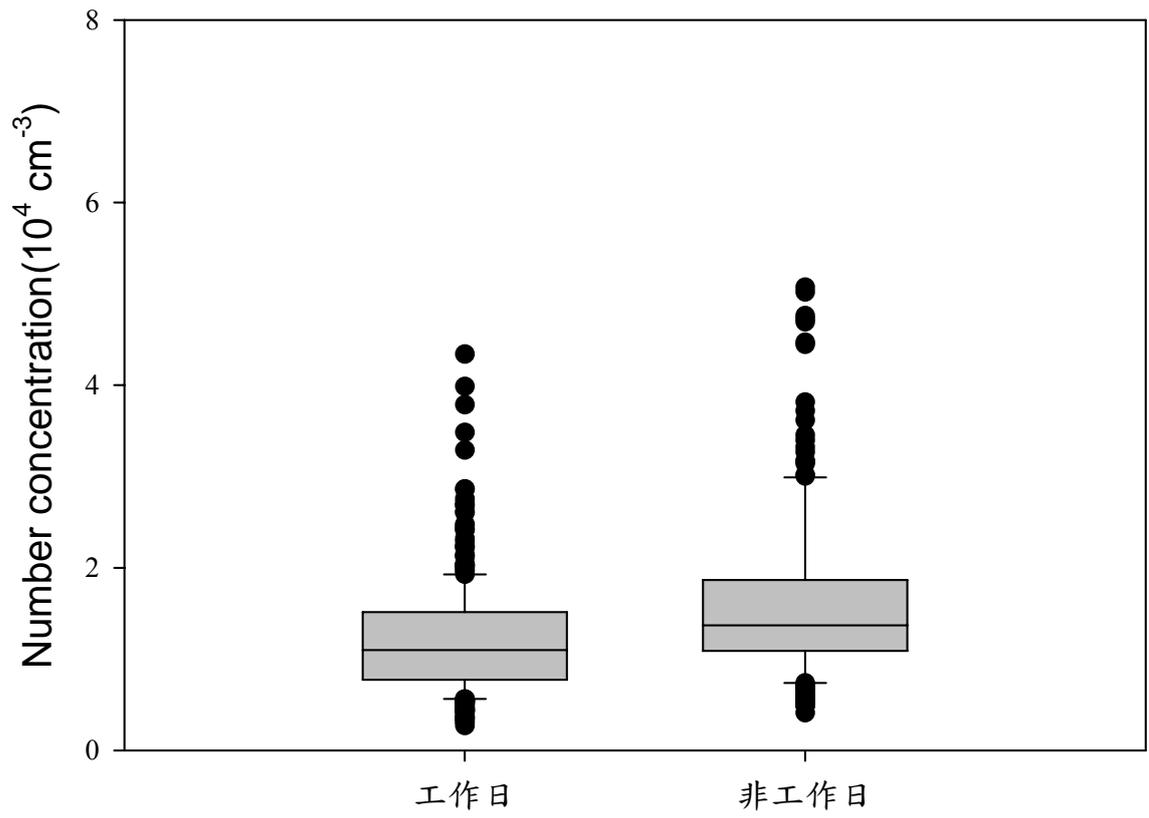


圖 4-19、線西測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較



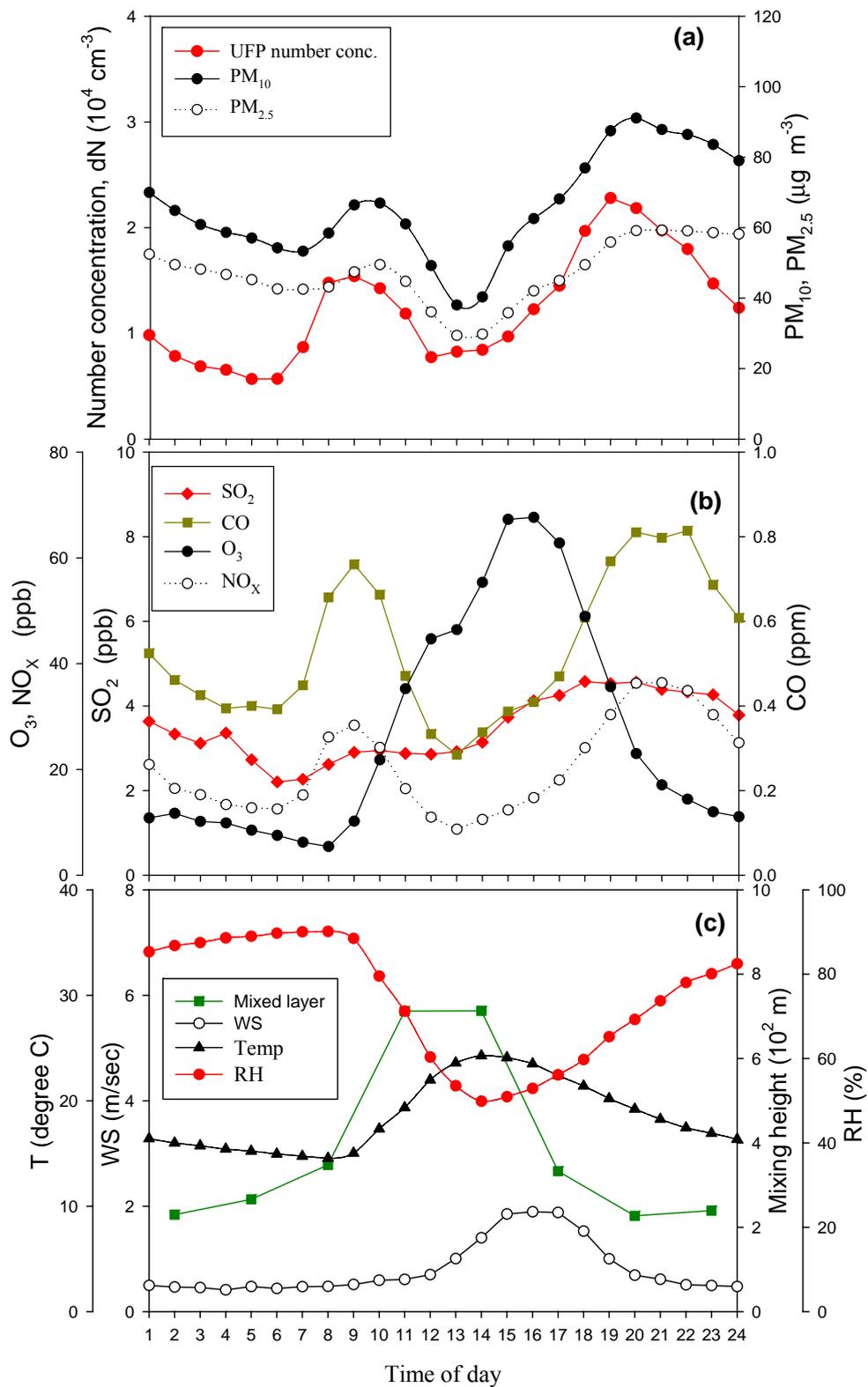


圖 4-20、埔里測站(a)粒狀污染物：超細微粒(UFP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、細微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度，(b)氣態污染物：二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)，(c)氣象因子：風速(WS)、混合層高度(Mixing height)之時間序列

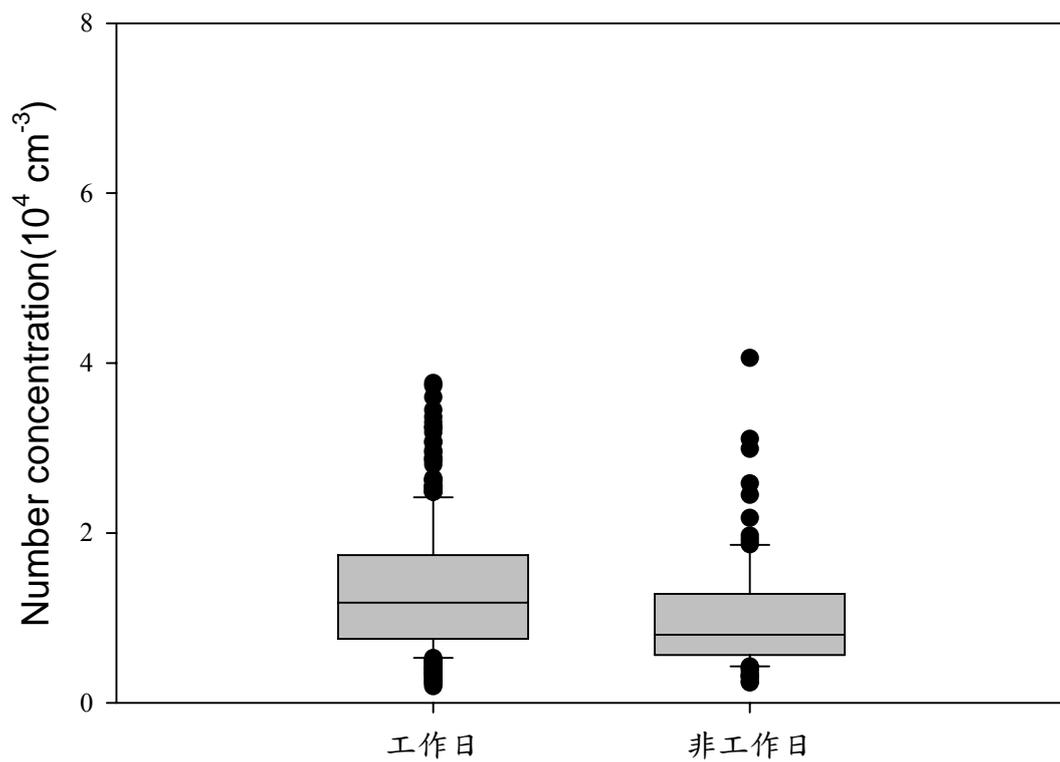


圖 4-21、埔里測站間工作日與非工作日起細微粒數量濃度比較



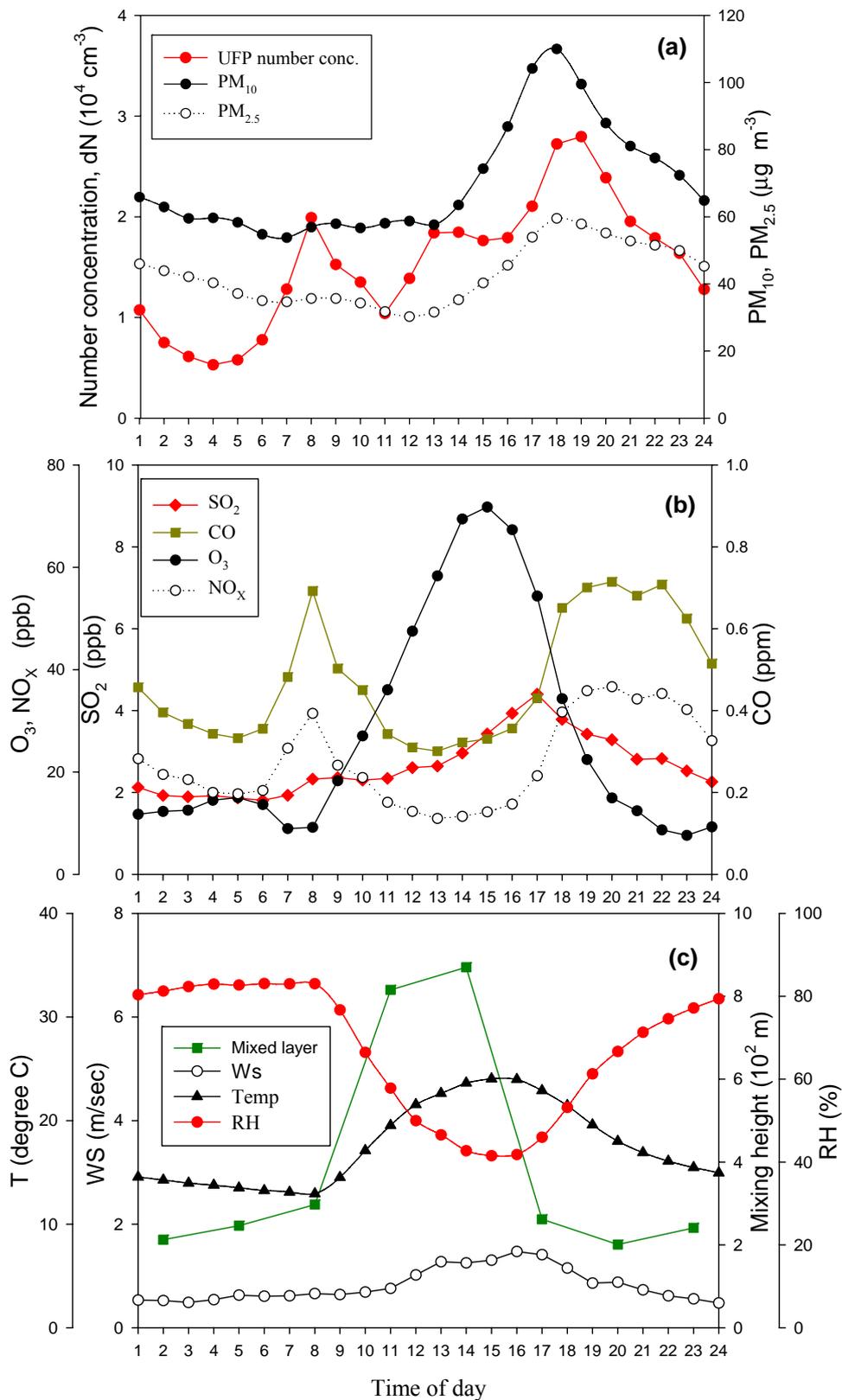


圖 4-22、竹山測站(a)粒狀污染物：超細微粒(UFP)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、細微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度，(b)氣態污染物：二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)，(c)氣象因子：風速(WS)、混合層高度(Mixing height)之時間序列

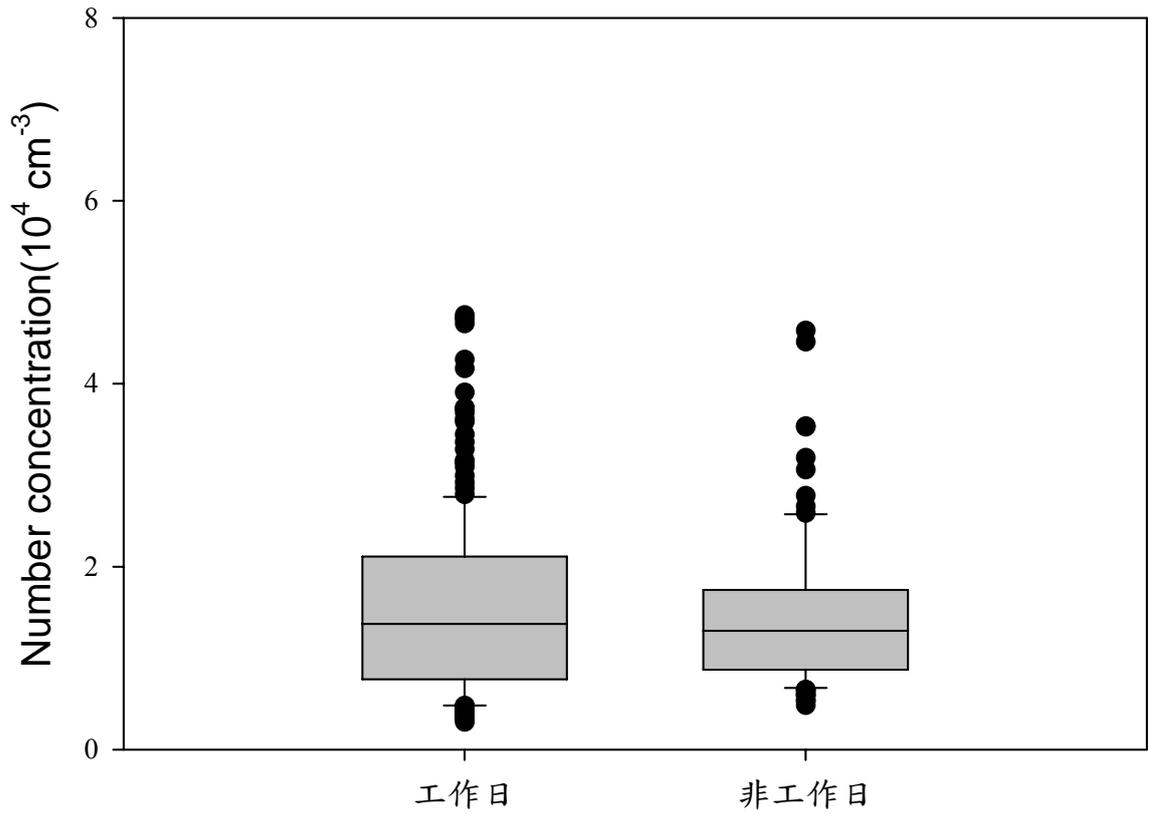


圖 4-23、竹山測站間工作日與非工作日超細微粒數量濃度比較



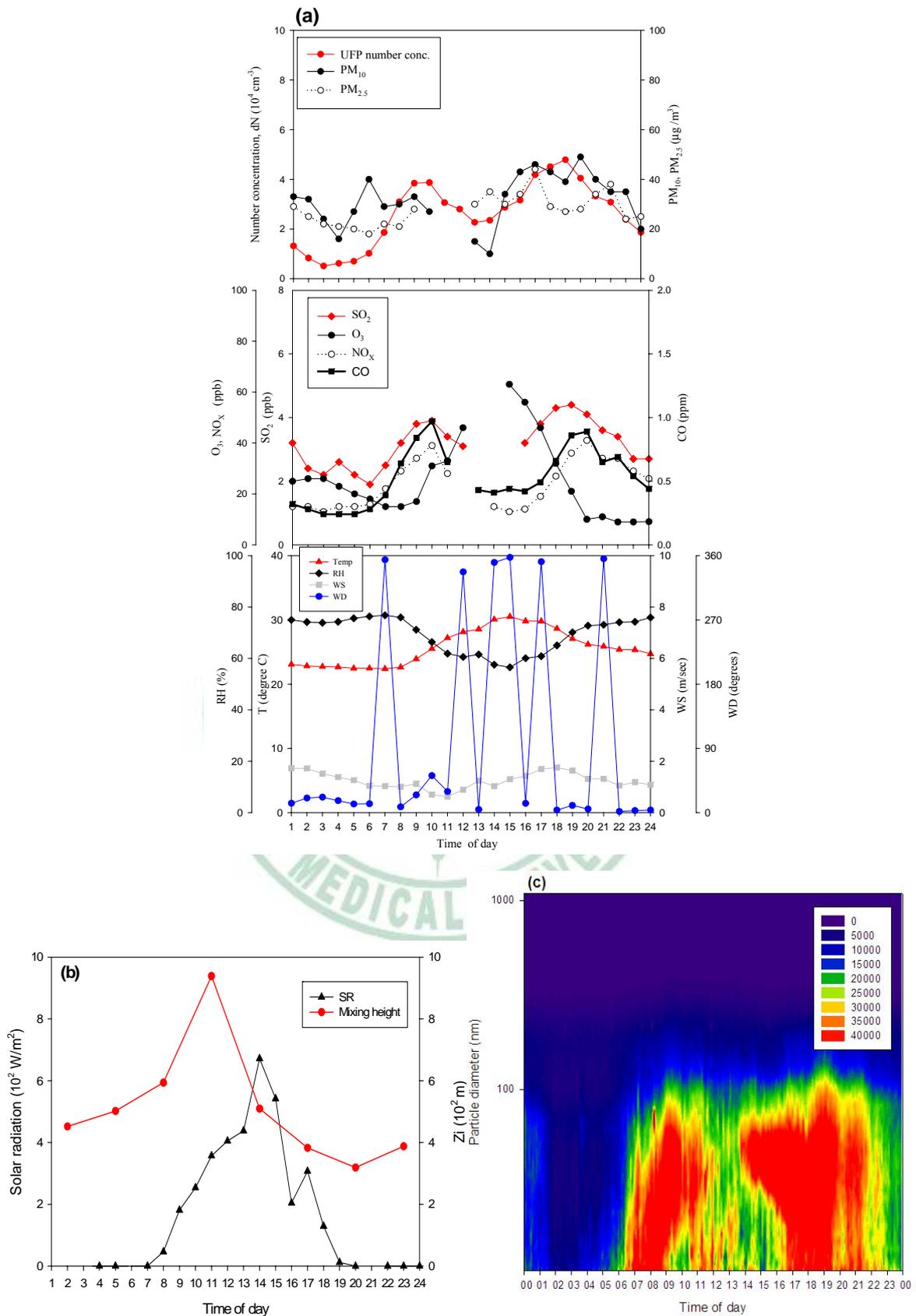


圖 4-24、97 年 10 月 13 日忠明測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

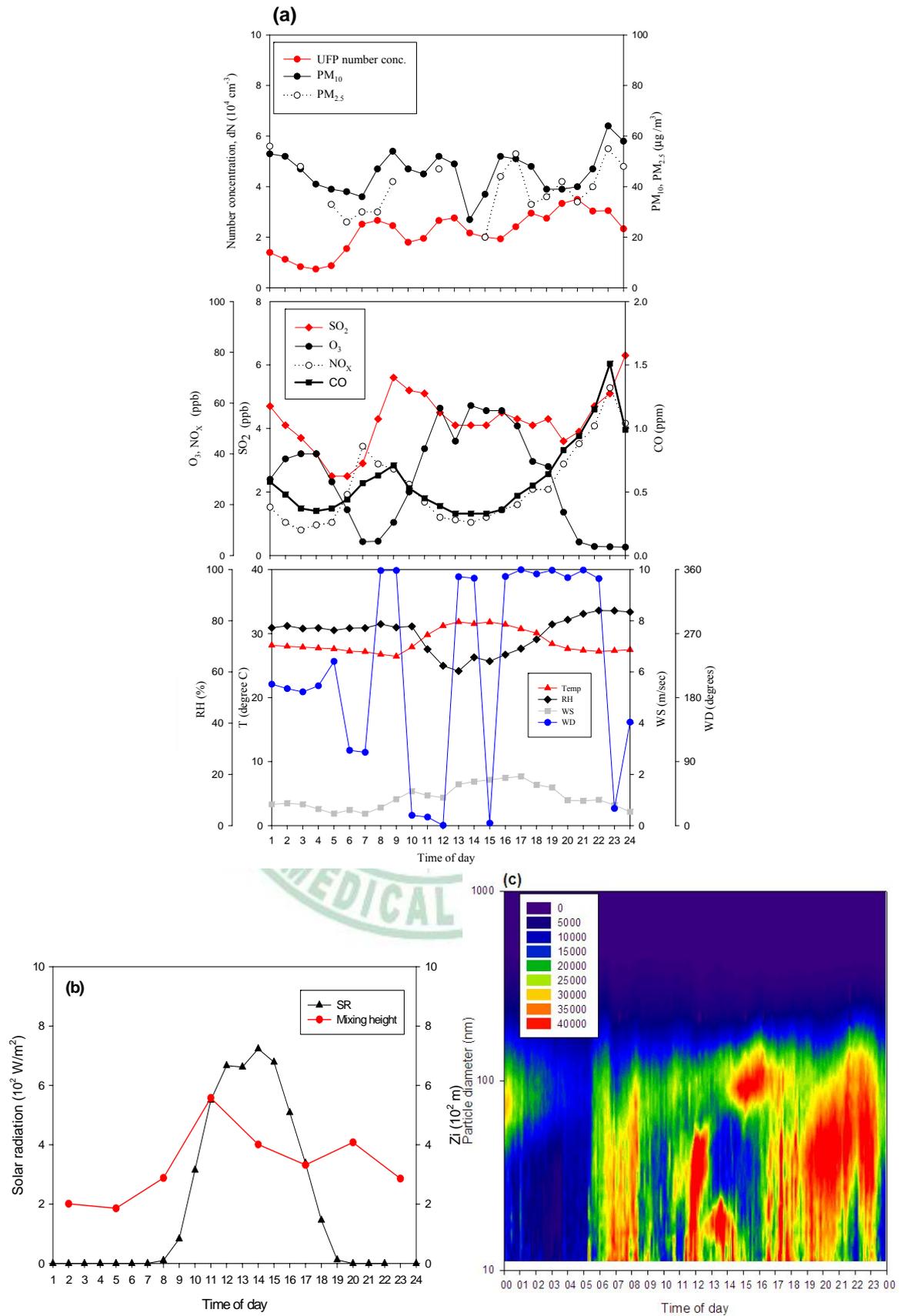


圖 4-25、97 年 10 月 17 日忠明測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層及(Mixing layer)日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

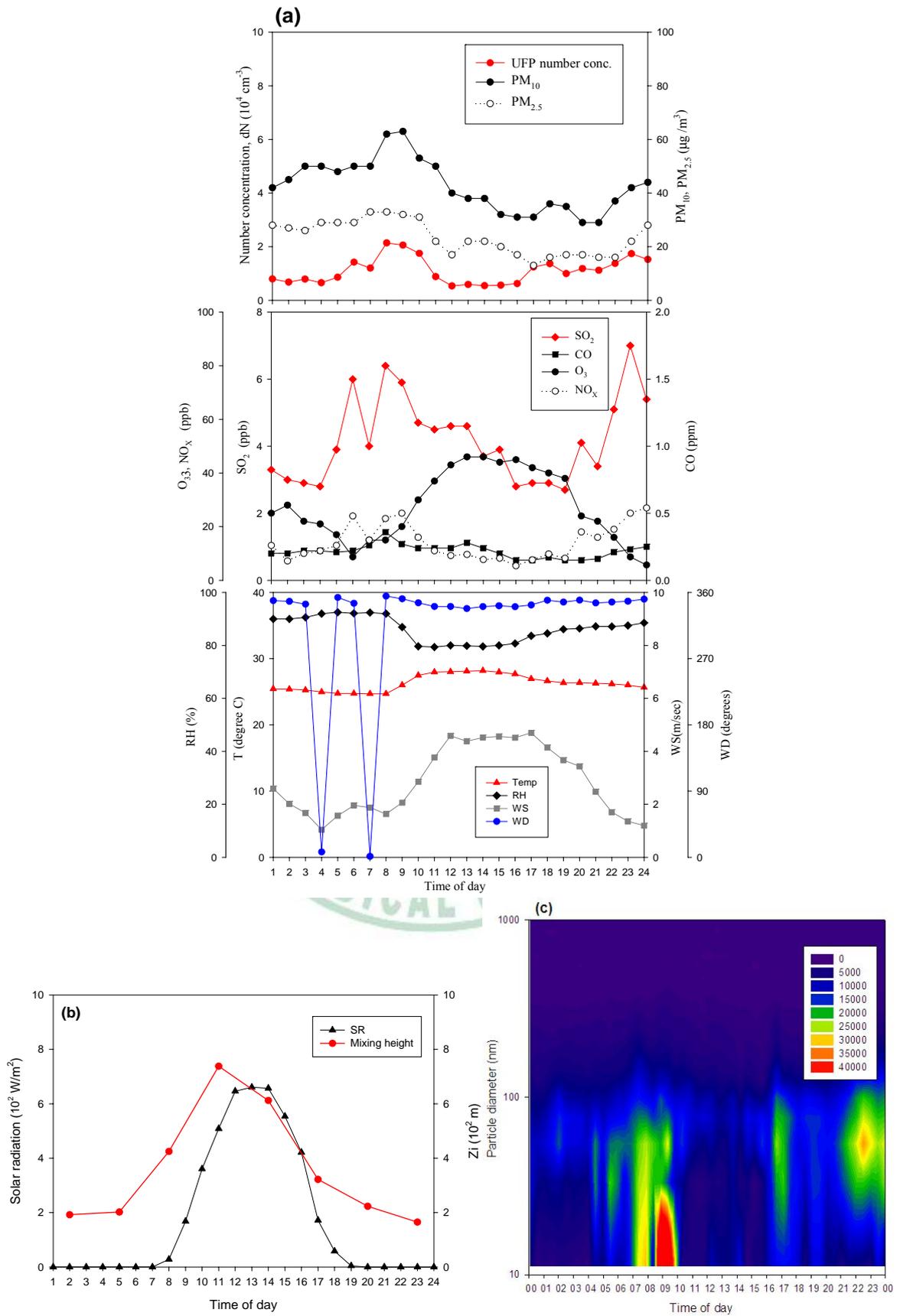


圖 4-26、97 年 11 月 06 日線西測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

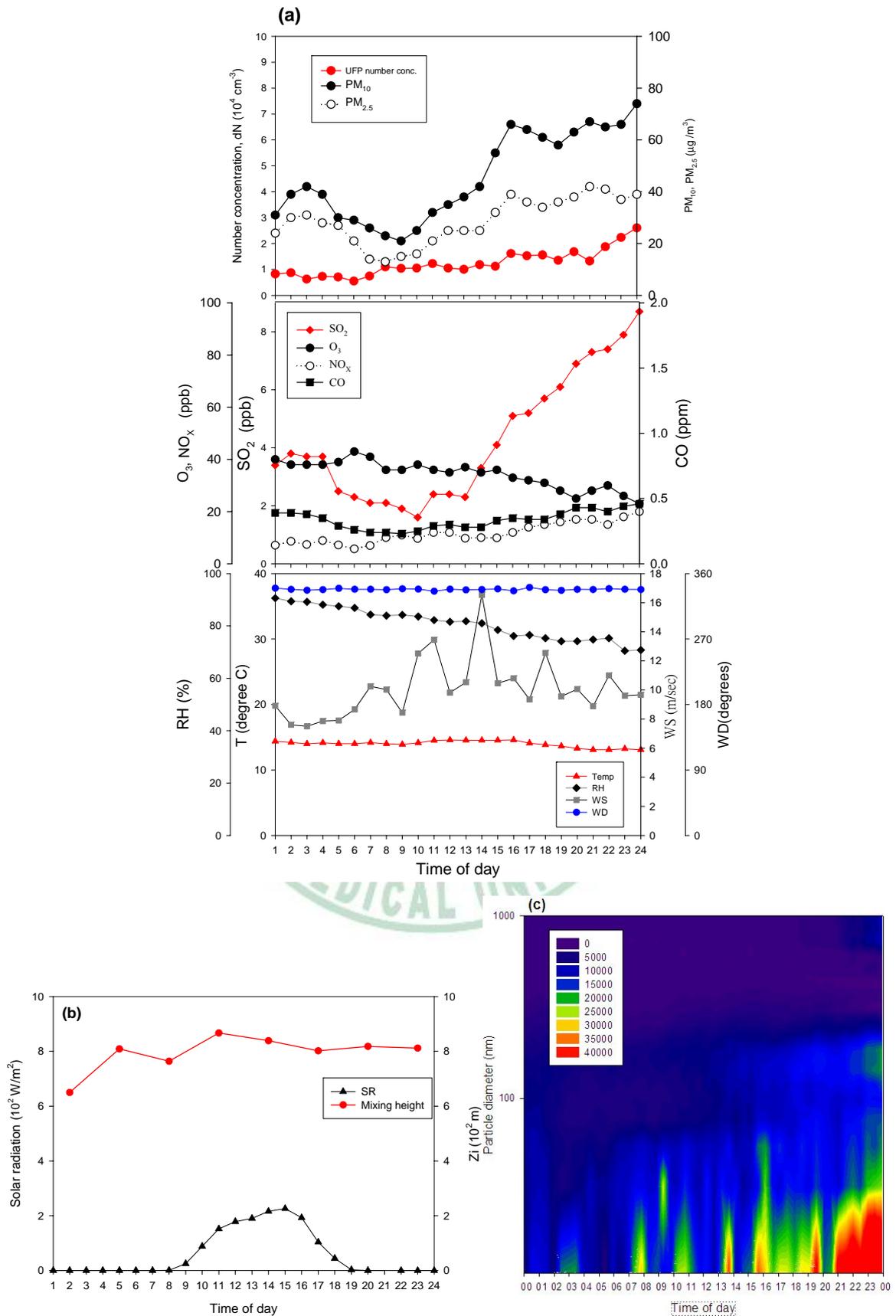


圖 4-27、97 年 12 月 31 日線西測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

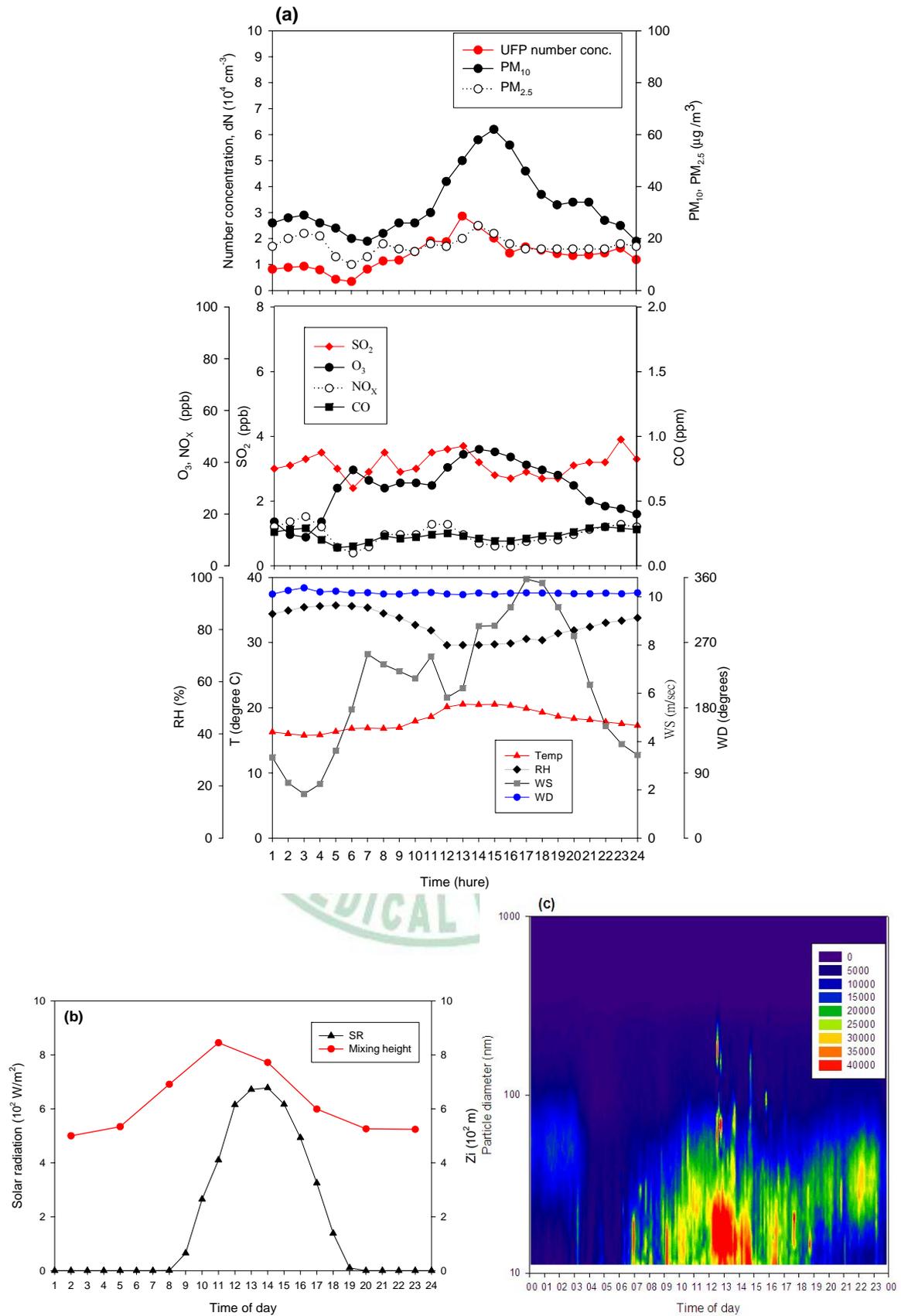


圖 4-28、98 年 01 月 05 日線西測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

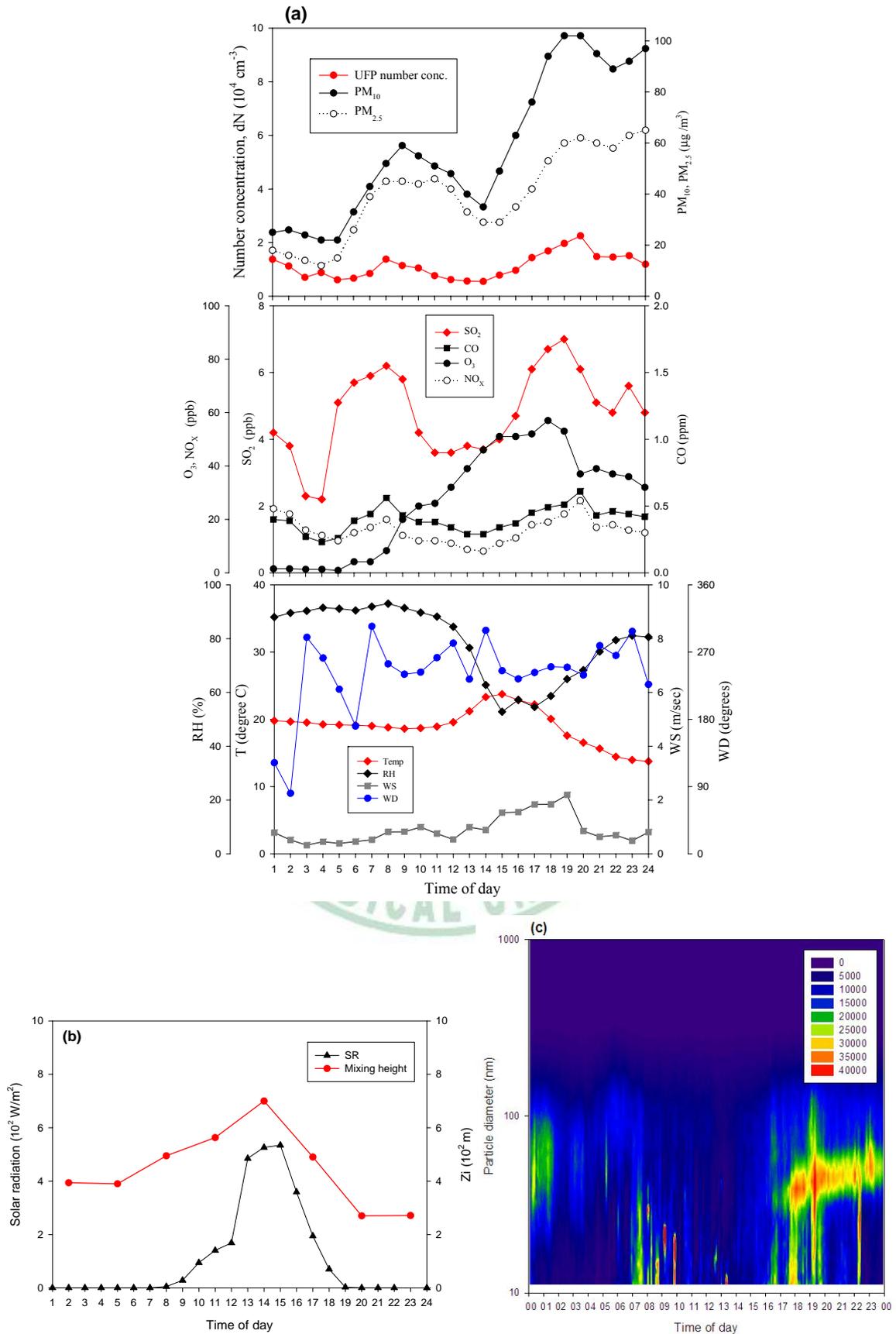


圖 4-29、97 年 11 月 27 日埔里測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

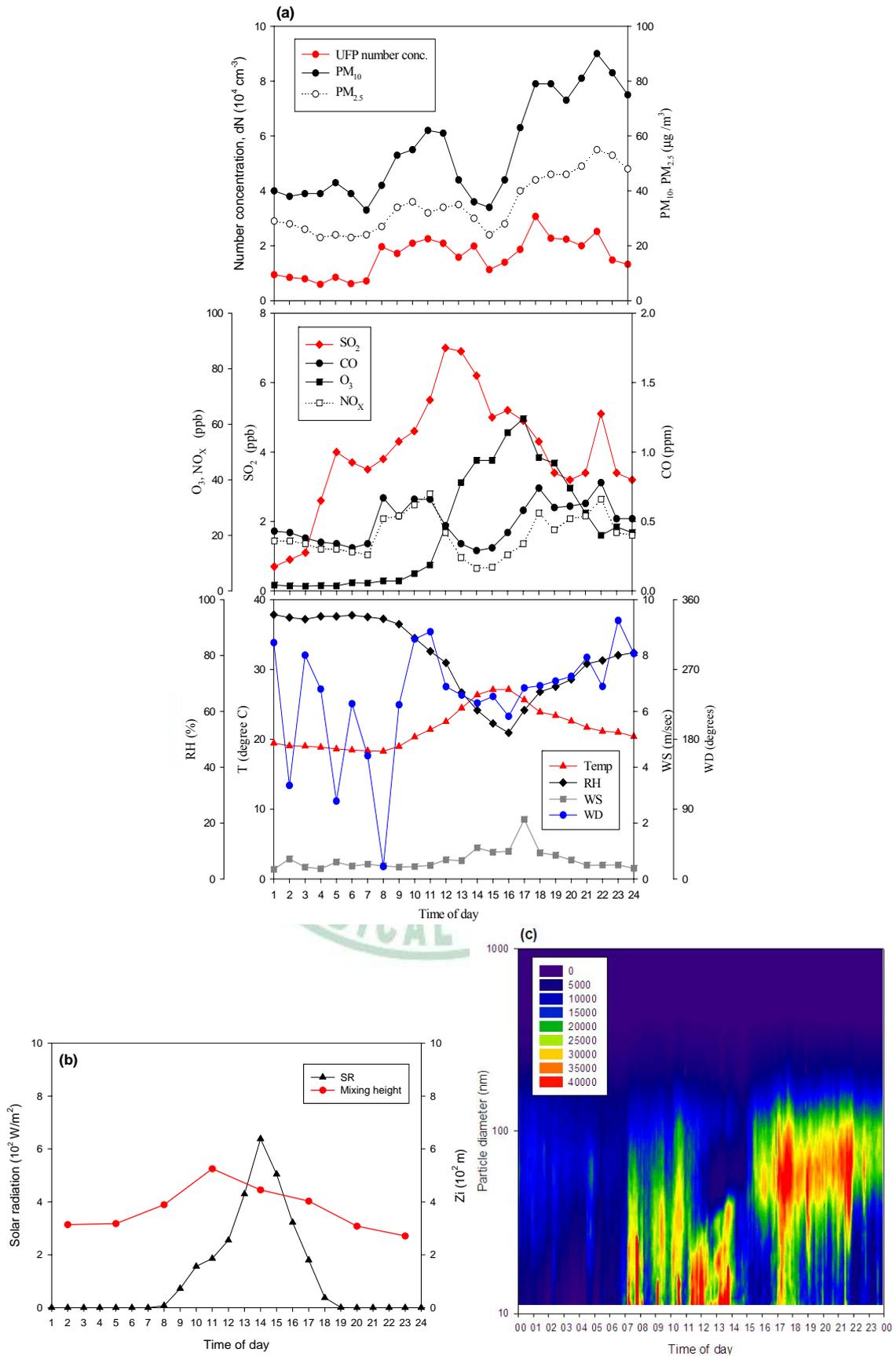


圖 4-30、97 年 11 月 25 日埔里測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

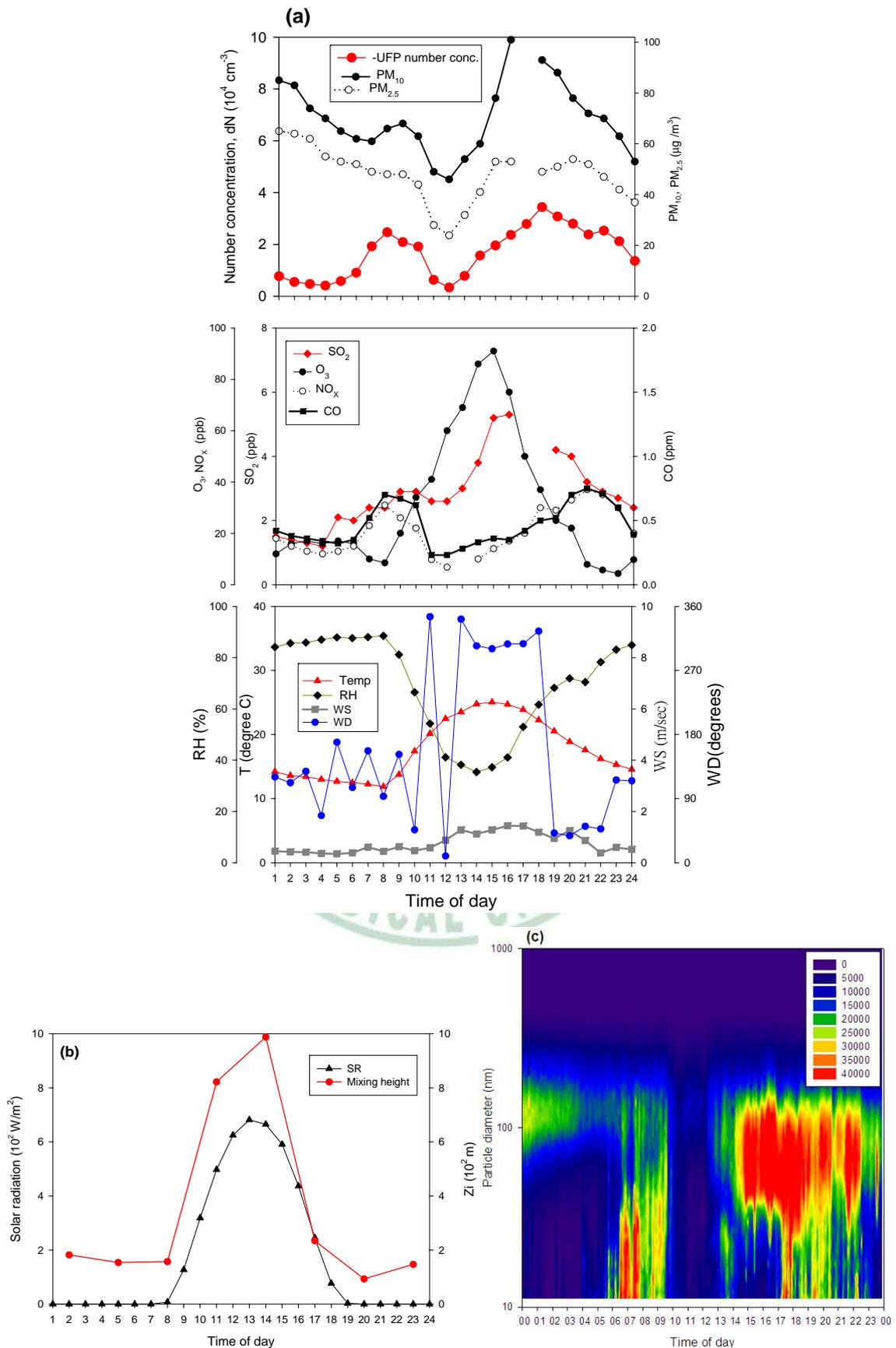


圖 4-31、97 年 12 月 01 日竹山測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

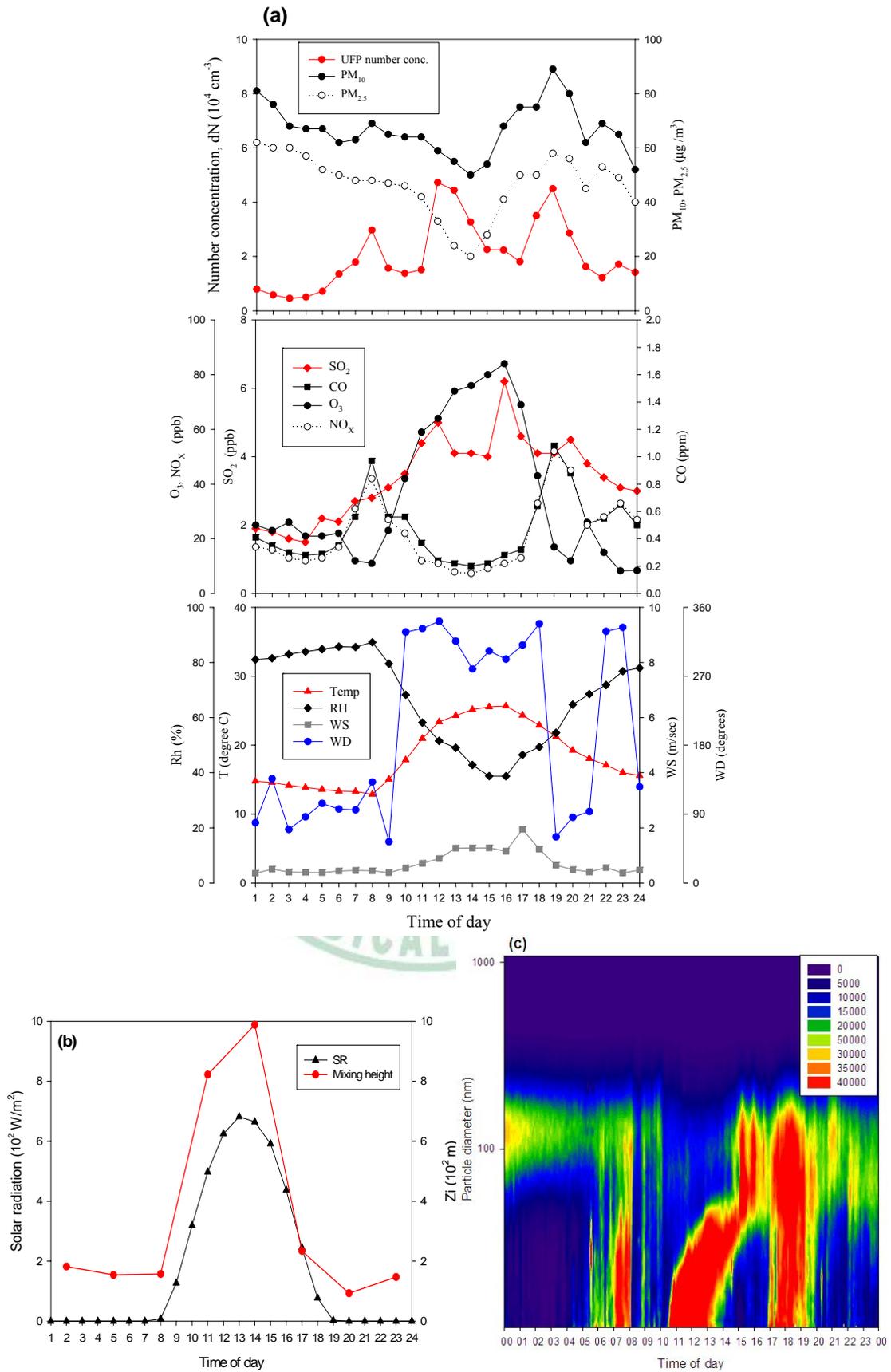


圖 4-32、97 年 12 月 03 日竹山測站濃度圖：(a)、超細微粒、空氣污染物與氣象因子逐時濃度圖；(b)、混合層(Mixing layer)及日照逐時圖；(c)、微粒濃度 3D 分佈圖

## 第五章、結論

### 5.1、結論

本研究自民國 97 年 7 月及 10 月至民國 98 年 1 月，於台中市中港路高車流量路口及台中市忠明測站、彰化縣線西測站、南投縣埔里測站、南投縣竹山測站，利用掃描電移動度分徑器/凝結核計數器(sequential mobility particle sizer, SMPS+C, GRIMM model 5.500 )，進行超細微粒數量濃度調查，結果顯示上包含有：

- 一、在交通尖峰時段道路旁測量到的超細微粒粒數濃度平均值( $\pm$ 標準差)為  $24.7(\pm 14.0) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，從不同路段、不分時段來看，中港路與忠明南路交叉口超細微粒數量濃度( $\pm$ 標準差)為  $16.0(\pm 6.3) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、與河南路交叉口為  $25.6(\pm 13.9) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、與文心路交叉口為  $31.5(\pm 13.8) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  以及與工業一路交叉口為  $25.1(\pm 15.7) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，除忠明南路外其餘三個路段濃度相當接近。從分析結果可知，超細微粒對空氣中總微粒粒數濃度有決定性的影響，所占百分比皆在 89% 以上，且愈接近排放源其濃度愈高。
- 二、中部空品區超細微粒平均濃度為  $1.75(\pm 1.14) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，忠明測站超細微粒數量濃度平均值( $\pm$ 標準差)為  $2.49(\pm 1.24) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、線西測站為  $1.35(\pm 0.80) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、竹山測站為  $1.53(\pm 0.98) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  和埔里測站為  $1.53(\pm 0.73) \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ，表示不同地區會因污染源及排放量不同，而造成不同的地區超細微粒數量濃度值有所差異。在分別與室內及路旁所量測到的濃度值比較，顯示環境中所採集到的超細微粒數量濃度會低於路旁所量測到的數量濃度值，但會高於室內環境所量測到的濃度值，與其他地區研究相近。

- 三、針對微粒粒徑分佈來說，本研究在路旁所量測到的幾何平均粒徑為 27 nm，中部空品區環境為 50 nm、忠明測站為 43 nm、線西測站為 45 nm、竹山測站為 60 nm，而埔里測站為 58 nm，顯示距離排放源越近超細微粒粒徑越小。從超細微粒數量濃度佔總濃度百分比來看，路旁為 93%、中部地區為 76%、忠明測站為 80%、線西測站為 80%；埔里為 70%、竹山測站為 68%，顯示距離排放源越近所佔比例越高，整體結果反映了超細微粒存在空氣中之短暫性及高度變異性。
- 四、排放源部分，整體來說中部空品區超細微粒數量濃度受到 CO 及 NO<sub>x</sub> 的影響較大；忠明測站超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高；線西測站與空氣污染物 SO<sub>2</sub> 相關性較高；埔里測站超細微粒數量濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 相關性較高；竹山測站超細微粒數量濃度與 SO<sub>2</sub> 及 PM<sub>10</sub> 相關性較高。配合各地區排放源分析，結果顯示，中部地區超細微粒數量濃度主要受到移動性污染源的影響較大，在特地的地區及時間，顯示工業燃燒及二次生成有影響。就各個測站而言，除了線西及竹山測站偶有受到工業燃燒之外，基本上所有測站主要是受到移動性污染源的影響。
- 五、透過因子分析並配合環保署排放源貢獻量分析，結果顯示，中部空品區及各個測站超細微粒數量濃度以當地排放的移動性污染源為主，而竹山測站則偶有傳輸而來的工業燃燒排放污染源。
- 六、從個案分析發現，四個測站在中午偶而會有核化現象的情形發生，而使超細微粒數量濃度在短時間急遽上升，偶而伴隨著數小時的微粒成長情形，顯示中部空品區有衍生性微粒的產生，表示光化學反應在中部空品區在特定時間及地點也是超細微粒

重要來源之一。

## 5.2、研究限制

本研究針對中部空品區超細微粒數量濃度調查，研究限制上包含有：

- 一、在量測地點上，中部空品區雖然有 12 個測站，但由於時間有限儀器不足，採樣上僅選擇 4 個測站進行環境量測。且採樣時間選擇在空氣污染較嚴重的秋冬季節，並未包含春夏季，可能無法確實描述中部空品區超細微粒數量濃度整年不同季節消長情形。
- 二、本研究儀器設備上僅使用一部 SMPS+C 進行量測，雖然可以減少儀器間差異所造成的誤差，但由於無法同時於不同採樣點進行採樣，因此可能會因不同時間，而有不同的氣象因子差異，對結果及推論上造成影響。
- 三、本研究只針對超細微粒數量濃度調查，僅能說明物理特性，雖然加入環保署空氣污染物數據，及氣象因子做分析，但並沒有化學分析做輔助，因此判斷上僅能推估，無法確切得知超細微粒主要污染源。

## 5.3、研究建議

本研究採樣時間僅有四個月時間，其結果僅能代表秋冬季節之特性，未能完全了解整年超細微粒數量濃度變化情形，建議未來進行長時間監測，以建立中部空品區超細微粒數量濃度基本資料。在污染源特性上，建議加入超細微粒化學分析，利用污染源排放特異性，瞭解主要污染源及各種排放源之相對貢獻量。從結果得知交通對於超細微粒數量濃度影響相當大，因此建議未來可加入車流量的記數，了解兩者間的相關性。

## 參考文獻

- Abt, E., Suh, H.H., Allen, G., Koutrakis, P., 2000. Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston Area, *Environmental Health Perspectives* 108, 35-44.
- Agus, E.L., Young, D.T., Lingard, J.J.N., Smalley, R.J., Tate, J.E., Goodman, P.S., Tomlin, A.S., 2007. Factors influencing particle number concentrations, size distributions and modal parameters at a roof-level and roadside site in Leicester, UK . *Science of the Total Environment* 386, 65-82.
- Araujo, J.A., Barajas, B., Kleinman, M., Wang, X., Bennett, B.J., Gong, K.W., Navab, M., Harkema, J., Sioutas, C., Lulis, A.J., Nel, A., 2008. Ambient particulate pollutants in the ultrafine range promote early atherosclerosis and systemic oxidative stress. *Circulation Research* 102, 589-596.
- Batalha, J.R.F., Saldiva, P.H.N., Clarke, R.W., Coull, B.A., Stearns, R.C., Lawrence, J., Murthy, G.G.K., Koutrakis, P., Godleski, J.J., 2002. Concentrated ambient air particles induce vasoconstriction of small pulmonary arteries in rats. *Environmental Health Perspectives* 110 , 1191-1197.
- Bermudez, E., Mangum J.B., Wong, B.A., Asgharian, B., Hext, P.M., Warheit, D.B., Everitt, J.I., 2004. Pulmonary responses of mice, rats, and hamsters to subchronic inhalation of ultrafine titanium dioxide particles. *Toxicological Sciences* 77, 347-57.
- Birmili, W., Wiedensohler, A., Plass-Dulmer, C., Berresheim, H., 2000. Evolution of newly formed aerosol particles in the continental boundary layer: a case study including OH and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> measurements. *Geophysical Research Letters* 27, 2205-2208.
- Birmili, W., Berresheim, H., Plass-Dülmer, C., Elste, T., Gilge, S., Wiedensohler, A., Uhrner, U., 2003. The Hohenpeissenberg aerosol

- formation experiment (HAFEX): a long-term study including size-resolved aerosol, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, OH, and monoterpenes measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics* 3, 361-376
- Brown, D.M., Stone, V., Findlay, P., MacNee, W., Donaldson, K., 2000. Increased inflammation and intracellular calcium caused by ultrafine carbon black is independent of transition metals or other soluble components. *Occupational and Environmental Medicine* 57, 685-91.
- Brown, D.M., Wilson, M.R., MacNee, W., Stone, V., Donaldson, K., 2001. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicol Appl Pharmacol* 175, 191-199.
- Cass, G.R., Hughes, L.A., Bhave, P., Kleeman M.J., Allen J.O., Salmon L.G., 2000. The chemical composition of atmospheric ultrafine particles. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 358, 2581-2592.
- Cassee, F.R., Muijsers, H., Duistermaat, E., Freijer, J.J., Geerse, K.B., Marijnissen, J.C., Arts, J.H., 2002. Particle size-dependent total mass deposition in lungs determines inhalation toxicity of cadmium chloride aerosols in rats. Application of a multiple path dosimetry model. *Archives of Toxicology* 76, 277-86.
- Chang, K.N., Chan, C.C., Huang, S.H., Chan, C.C., Chiang, C.M., 2008. Strategy of using indoor air cleaners in a HVAC office building. *International Occupational Hygiene Association International Scientific Conference* 7, Taipei, February 18-22.
- Chang, S.C., Lee, C.T., 2007. Secondary aerosol formation through photochemical reactions estimated by using air quality monitoring data in Taipei City from 1994-2003. *Atmospheric Environment* 41, 4002-4017.
- Cheng, M.T., Horng, C.L., Lin, Y.C., 2007. Characteristics of atmospheric aerosol and acidic gases from urban and forest sites in central Taiwan.

Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 79,  
674-677.

Cheng, Y.H., Chao, Y.C., Wu, C.H., Tsai, C.J., Uang, S.N., Shih, T.S., 2008.

Measurements of ultrafine particle concentrations and size distribution in an iron foundry. *Journal of Hazardous Materials* 158, 124-30.

Chio, C.P., Cheng, M.T., Wang, C.F., 2004. Source apportionment to PM<sub>10</sub> in different air quality conditions for Taichung urban and coastal areas Taiwan. *Atmospheric Environment* 38, 6893-6905.

Chuang, K.J., Chan, C.C., Su, T.C., Lee, C.T., Tang, C.S., 2007. The effect of urban air pollution on inflammation, oxidative stress, coagulation, and autonomic dysfunction in young adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 176, 370-376

D'Arcy, J.B., Dasch, J.M., Johnsonv J., Sutherland, J., Carlson, D., 2005. Fine and ultrafine particle emissions from current manufacturing technologies. *Proceeding of 2nd International Symposium on Nanotechnology and Occupational Health* 31, Minnesota, October 3-6.

Dusek, U., Frank, G.P., Hildebrandt, L., Curtius, J., Schneider, J., Walter, S., Chand, D., Drewnick, F., Hings, S., Jung, D., 2006. Size matters more than chemistry for cloud-nucleating ability of aerosol particles. *Science* 312, 1375-13758.

Elder, A., Gelein, R., Silva V., Feikert, T., Opanashuk, L., Carter, J., Potter, R., Maynard, A., Ito, Y., Finkelstein, J., Oberdörster, G., 2006.

Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system. *Environmental Health Perspectives* 114, 1172-11728.

Fang, G.C., Wu, Y.S., Wen, C.C., Lin, C.K., Huang, S.H., Rau, J.Y., Lin, C.P., 2005. Concentrations of nano and related ambient air pollutants at a traffic sampling site. *Toxicology and Industrial Health* 21, 259-271.

Gavett, S.H., Madison, S.L., Dreher, K.L., Winsett, D.W., McGee, J.K., Costa, D.L., 1997. Metal and sulfate composition of residual oil fly ash

- determines airway hyperreactivity and lung injury in rats. *Environmental Research* 72, 162-72.
- Ghio, A.J., Stonehuerner, J., Dailey, L.A., Carter, J.D., 1999. Metals associated with both the water-soluble and insoluble fractions of an ambient air pollution particle catalyze an oxidative stress. *Inhalation Toxicology* 11, 37-49.
- Hughes, L.S., Cass, G.R., Gone, J., Ames, M., Olmez, I., 1998. Physical and chemical characterization of atmospheric ultrafine particles in the Los Angeles area. *Environmental Science and Technology* 32, 1153-1161.
- Imhof, D., Weingartner, E., Prévôt, A.S.H., Ordóñez, C., Kurtenbach, R., Wiesen, P., Rodler, J., Sturm, P., McCrae, I., Sjödin, Å., Baltensperger, U., 2005. Aerosol and NO<sub>x</sub> emission factors and submicron particle number size distributions in two road tunnels with different traffic regimes. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5, 5127-5166.
- Janhall, S., Jonsson, A. M., Molnar, P., Svensson, E. A., Hallquist, M., 2004. Size resolved traffic emission factors of submicrometer particles. *Atmospheric Environment* 38, 3275-3284.
- Janhall, S., Olofson, K.F.G., Andersson, P.U., Pettersson, J.B.C., Hallquist, M., 2006. Evolution of the urban aerosol during winter temperature inversion episodes. *Atmospheric Environment* 40, 5355-5366.
- Jeong, C.H., Hopke, P., Chalupa, D., Markutell, 2004. Characteristics of nucleation and growth events of ultrafine particles measured in Rochester, NY. *Environmental Science and Technology* 38, 1933-1940.
- Jeong, C.H., Evans, G.J., Hopke, P.K., Chalupa, D., Utell, M.J., 2006. Influence of atmospheric dispersion and new particle formation events on ambient particle number concentration in Rochester, United States, and Toronto, Canada. *Air and Waste Management Association* 56, 431- 443.
- Kavouras, I.G., Koutrakis, P., Cereceda-Balic, F., Oyola, P., 2001. Source

- apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in five Chilean cities using factor analysis. *Air and Waste Management Association* 51, 451-464.
- Ketzel, M., Wahlin, P., Berkowicz, R., Palmgren, F. 2003. Particle and trace gas emission factors under urban driving conditions in Copenhagen based on street and roof-level observations. *Atmospheric Environment* 37, 2735-2749.
- Kipen, H.M., Laskin, D.L., 2005. Smaller is not always better: nanotechnology yields nanotoxicology. *American Journal of Physiology. Lung Cell Molecular Physiology* 289, 696-697.
- Kittelson, D., Watts, W., Ramachandran, G., Paulsen, D., Kreager, C., 2002. Measurement of diesel aerosol exposure: a feasibility study. *Health Effects Institute Diesel Epidemiology Working Group* 2002, 153-179.
- Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petäjä, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V.M., Birmili, W., McMurry, P.H., 2004. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *Journal of Aerosol Science* 35, 143-176.
- Lee, C.W., Hsu, D.J., 2007. Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopy centers in Taiwan. *Atmospheric Environment* 41, 6598-6609.
- Li, Z., Hulderman, T., Salmen, R., Chapman, R., Leonard, S.S., Young, S.H., Shvedova, A., Luster, M.I., Simeonova, P.P., 2007. Cardiovascular Effects of Pulmonary Exposure to Single-Wall Carbon Nanotubes. *Environmental Health Perspectives*. 115, 377-382.
- Lin, Y.C., Lan, Y.Y., Tsuang, B.J., Englinga, G., 2008. Long-term spatial distributions and trends of ambient CO concentrations in the central Taiwan Basin. *Atmospheric Environment* 42, 4320-4331.
- Longley, I.D., Inglis, D.W.F., Gallagher, M.W., Williams, P.I., Allan, J.D. Coe, H., 2005. Using NO<sub>x</sub> and CO monitoring data to indicate fine aerosol number concentrations and emission factors in three UK conurbations.

- Atmospheric Environment 28, 5157-5169.
- Matson, U., 2005. Indoor and outdoor concentrations of ultrafine particles in some Scandinavian rural and urban areas. *Science of the Total Environment* 343, 169-176.
- Nel, A., 2005. Air pollution–related illness: effects of particles. *Science* 308, 804-806.
- Nel, A., Xia, T., Mädler, L., Li, N., 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science* 311, 622-627.
- Ntziachristos, L, Zhi, N., Geller, M.D., Sheesley, R., Schauer, J.J., Sioutas, C., 2007. Fine, ultrafine and nanoparticles trace element and metal composition near a freeway with heavy duty diesel traffic. *Atmospheric Environment* 41, 5684-5696.
- Oberdörster, G., 2000, Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 358, 2719-2740.
- Oberdorster, G., 2001. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 74, 1-8.
- Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, A., Kreyling, W., Cox, C., 2004. Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16, 437-445.
- Oberdorster, G., Oberdorster, E., Oberdorster, J., 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823-39.
- Ogulei, D., Hopke, P.K., Ferro, A.R., Jaques, P.A., 2007. Factor analysis of submicron particle size distributions near a major united states–Canada Trade Bridge. *Air and Waste Management Association* 57, 190-203.
- Pekkanen, J., Timonen, K.L., Ruuskanen, J., Reponen, A., Mirme, A., 1997. Effects of ultrafine and fine particles in urban air on peak expiratory flow among children with asthmatic symptoms. *Environmental Research* 74,

24-33.

- Pope, C.A.III, Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J., 2004., Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 109, 71-77.
- Rahman, Q., Lohani, M., Dopp, E., Pemsel, H., Jonas, L., Weiss, D.G., Schiffmann, D., 2002. Evidence that ultrafine titanium dioxide induces micronuclei and apoptosis in Syrian hamster embryo fibroblasts. *Environmental Health Perspectives* 110, 797-800.
- Reischl, G.P., Mäkelä, J.M., Nucid, J., 1997. Performance of the Vienna type differential mobility analyzer at 1.2 - 20 nm. *Aerosol Science and Technology* 27, 651-672.
- Schwartz, J., Zanobetti, A., 2000. Using meta-smoothing to estimate dose-response trends across multiple studies, with application to air pollution and daily death. *Epidemiology* 11, 666-672.
- Shi, J.P., Evans, D.E., Khan, A.A., Harrison, R.M., 2001. Sources and concentration of nanoparticles (< 10nm diameter) in the urban atmosphere. *Atmospheric Environment* 35, 1193-1202.
- Stanier, C.O., Khlystov, A.Y., Pandis, S.N., 2004a. Ambient aerosol sizedistributions and number concentrations measured during the Pittsburgh airquality study (PAQS). *Atmospheric Environment* 38, 3275-3284.
- Timonen, K.L., Hoek, G., Heinrich J., Bernard, A., Brunekreef, B., Dehartog, J., Hämeri, K., Ibaldo-Mulli, A., Mieme, A., Peters, A., Tittanen, P., Kreyling, W. G., Pekkanen, J., 2004. Daily variation in fine and ultrafine particulate air pollution and urinary concentrations of lung Clara cell protein CC16. *Occupational and Environmental Medicine* 61, 908-914.
- Tsai, Y.I., Cheng, M.T., 1997. Relationship between visibility, meteorological

- factors, and aerosol compositions in the Taichung near-shore area. *Aerosol Technology/ Environmental Measurement and Control*, 76-84.
- Tsai, Y.I., Cheng, M.T., 2004. Characterization of chemical species in atmospheric aerosols in a metropolitan basin. *Chemosphere* 54, 1171-1181.
- Wake, D., Mark, D., Northage, C., 2002. Ultrafine aerosols in the workplace. *Annals of Occupational Hygiene* 46, Supplement 1, 235-238.
- Watson, J.G., Chow, J.C., Park, K., Lowenthal, D.H., 2006. Nanoparticle and ultrafine particle events at the Fresno Supersite. *Air and Waste Management Association* 56, 417-430.
- Wehner, B., Wiedensohler, A., 2003. Long-term measurement of submicrometer urban aerosols: statistical analysis for correlations with meteorological conditions and trace gases. *Atmospheric Chemistry and Physics* 3, 867-879.
- Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-Rivard C., 2007. Indoor ultrafine particles and childhood asthma: exploring a potential public health concern. *Indoor Air* 17, 81-91.
- Westerdahl, D., Fruin, S., Sax, T., Fine, P. M., Sioutas, C., 2005. Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles. *Atmospheric Environment* 39, 3597-3610.
- Winklmayr, W., Reischl, G.P., Lindner, A.O., Berner, A., 1990. A new electro mobility spectrometer for the measurement of aerosol size distributions in the size range from 1 to 1000 nm. *Journal of Aerosol Science* 22, 289-296.
- Woo, K.S., Chen, D.R., Pui, D.Y.H., McMurry, P.H., 2001. Measurement of atlanta aerosol size distributions: observations of ultrafine particle events. *Aerosol Science and Technology* 34, 75-87.
- Yang, T.Y., Wu, P.C., Su, H.J., 2008. The effect of indoor activities on indoor

- particulate characteristics in day-care center. International Occupational Hygiene Association International Scientific Conference 7.
- Young, L.H., Keeler, G.J., 2004. Characterization of ultrafine particle number concentration and size distribution during a summer campaign in southwest Detroit. Air and Waste Management Association 54, 1079-1090.
- Yu, R.C., Teh, H.W., Jaques, P.A., Sioutas, C., Froines, J.R., 2004. Quality control of semi-continuous mobility size-fractionated particle number concentration data. Atmospheric Environment 38, 3341-3348.
- Zhuang, H., Chan, C.K., Fang, M., Wexler, A.S., 1999. Size distributions of particulate sulfate, nitrate and ammonium at a coastal site in Hong Kong. Atmospheric Environment 33, 843-845.
- Zhu, Y., Hinds, W.C., Krudysz, M., Kuhn, T., Froines, J., Sioutas, C., 2005. Penetration of freeway ultrafine particles into indoor environments. Journal of Aerosol Science 36, 303-322.
- Zhu, Y., Hinds, W.C., Kim, S., Sioutas, C., 2002b. Concentration and sizedistribution of ultrafine particles near a major highway. Journal of the Air and Waste Management Association 52, 1032-1042.
- 黃國珍，1995，土壤重金屬污染之評價及因子分析，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 陳紀綸，1999，台中港地區大氣懸浮微粒污染來源分析，國立中興大學環境工程研究所碩士論文。
- 黃建源，2000，多變量統計方法在日月潭水庫水質管理之應用，私立逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。
- 黃星富，2002，南投地區高臭氧空氣污染事件探討，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 李新峰，2004，以衝擊路徑法評估 SO<sub>2</sub> 之外部成本—以中部空品區為例，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。

曾元廷，2004，台北捷運站、火車站及公車站超細粒徑懸浮微粒濃度特性之研究，臺灣大學職業醫學與工業衛生所碩士論文。

環保署，2004，九十二年及九十三年度微粒超級監測站操作品保及數據分析計畫 93 年度年報。

雷侑蓁，2005，空氣懸浮微粒心肺毒性研究，國立臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所博士論文。

吳義林，簡智祥，2006，夏季南部次微米微粒之逐時濃度變化以及粒徑分佈.中華民國環境工程學會空氣污染控制技術研討會。

蔡俊鴻，江鴻龍，張立鵬，廖哲甫，2006，超細氣懸微粒水溶性無機離子成份特性變異與前驅物及氣象因子關聯性研究(1/3)。行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告。

簡智祥，2007，高屏地區冬季奈米微粒分佈、來源與成長特性，國立成功大學環境工程研究所碩士論文。

吳承翰，2007，工作場所奈米微粒的暴露研究，國立交通大學國立交通大學碩士論文。

台北市交通處，台中交通流量調查成果查詢，2007 年

<http://traffic.tccg.gov.tw/form/index.asp?m=2&m1=5&m2=20>

行政院環境保護署地方環境資料庫，2008年8月

<http://edb.epa.gov.tw/localenvdb/index.asp>

美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)資料庫，2008 年 10 月至 2009 年 1

月 <http://www.ready.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>