

東海大學環境科學與工程系碩士班

碩士論文

Simulation and analysis of the particle and
heavy metal pollution in atmosphere

大氣中微粒污染與重金屬成分之模擬與分析



研究生：盧彥勳 撰

指導老師：張鎮南 博士

中華民國九十八年七月

July, 2009

Abstract

The expansion of high-tech industry is the way to upgrade the product value in many developing countries. In Taiwan, there are several science-based industrial parks, which generate tremendous high value-added export products, meanwhile they also may emit toxic substances into both air and water bodies. Some heavy metals are commonly found in the ambient air near industrial parks like arsenic, cadmium and lead, etc. This study conducts a survey program since Dec. 2007 to Mar. 2009, at the Central Taiwan Science Park (CTSP) in Taiwan. The types of CTSP industry include flat glass, aerospace, precision machinery, optoelectronics, semiconductor and other strategic research and development laboratories. This project allocates the sampling sites which cover the upstream and downstream of the emission sources according to the wind directions. The atmospheric particulate is collected through a PM_{10} high volume air sampler with quartz filter under the initial air flow rate of $1,132 \text{ L min}^{-1}$ for 24 hours. The digested filter samples were analyzed by either flame or graphite type furnace of atomic absorption spectrophotometer.

First, this study is aiming at the distribution of ambient particulates ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) and heavy metal component from the science-based park. Then use Principal Component Analysis (PCA) to find out the possible source. The ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term 3 Model) and AERMOD (AMS/EPA REGULATORY MODEL) models were adapted to simulate the heavy metal dispersion phenomena. Besides, this study also use the risk characterization to evaluate the risk level to the human beings.

The observed particle concentration, compared with reference, which indicates the particle becomes more and more small. It will be harmful to human bodies while the heavy metal concentration, which tends to be less than previous years due to the heavy economic recession since 2008. The study adapts PCA to category the possible

pollution sources and based upon either the north and south wind seasons. The pollution sources on upward mostly were crustal elements and industrial processes, while the pollution sources at downward are mostly found from high-tech industry, industrials and vehicular emission. The simulation by ISCST3 model is too conservative to estimate and it is over-predicted than the measured. On the other hand, the AERMOD model obtains more close data to the measurement concentrations due to its inside framework. The risk characterization finds the hazard index and carcinogenic ratio is still far below limitation.

Keywords: : PCA; ISCST3; AERMOD; Risk Characterization; PM₁₀, PM_{2.5}

摘 要

擴建科學工業園區是全球開發中國家提升出口產品價值的必經流程，而台灣正是個典型的例子，靠著其強大的產能為台灣賺進許多外匯，也讓台灣成為全球的科技重鎮，而同時，由於過度開發卻也無形中可能排放出大量的有害污染物進入週邊空氣及水體中。砷、鎘、鉛正是典型的精密機械及光電半導體產業排放污染物。本研究自2007年12月到2009年3月於台灣中部科學園區進行空氣中總懸浮微粒的採樣，並且檢測其內含的重金屬濃度，且利用此探討工業區在運作中對於週邊空氣品質所造成的衝擊。中部科學園區是由玻璃基板、液晶面板生產、精密機械、半導體、光電、研發機構…等產業組成。本研究依據此工業區的風向來設置採樣地點，而採樣器為PM₁₀高流量採樣器(流量為1,132 L min⁻¹)，使用石英濾紙，採樣時間為一天。而樣品經過消化後以火焰式原子吸收光譜儀或石墨式原子吸收光譜儀來進行分析，分析元素為：As、Fe、Mn、Cu、Cd、Ca、Zn、Pb、Mg、Ni、及Cr等11項重金屬。

本研究首先針對大氣中微粒濃度分佈及重金屬含量進行分析，再利用主成分分析法(PCA)指出此科學園區週邊有數個潛在污染源；以最適於模擬小尺度範圍之模式ISCST3與AERMOD模式模擬分析，並比較探討兩模式差異。此外，本研究亦針對風險評估進行估算，以了解此重金屬污染對人體危害之程度。

微粒濃度方面，與過去所做之文獻比較，近年來微粒細粒化趨勢愈加明顯，可能對人體造成更大危害；而重金屬濃度分析方面，致癌性較高之重金屬已有下降趨勢。PCA方面，以優勢風向南風及北風兩季節分別探討，分為上下風關係。上風處其污染源多為工業發散及地殼元素；反觀下風處，則多為高科技產業、工業污染及交通來源。模式推估方面，ISCST3在模擬上趨於保守，對濃度值有略為高估的現象；而AERMOD可能因為本身機制及設定上的不同，在模擬複雜地形上誤差較小。在風險評估方面，本研究利用暴露方程式來做計算，所求得之危害指數及致癌率皆在標準限制值之內。

關鍵字：主成分分析法(PCA)、工業污染源複合模式(ISCST3)、AERMOD、風險評估、PM₁₀、PM_{2.5}。

誌 謝

兩年的研究生涯，轉眼即過，其中的酸甜苦辣，不親身經歷無法真實體會。在此由衷感謝 恩師張鎮南教授，不辭辛勞在研究及待人處事上不斷給予指導與教誨，使學生得以窺探空污領域之精隨，在待人處事的態度上亦獲益良多，雖千言萬語無法表達內心的感激。

在學位口試期間，承蒙 曠永銓博士與鄧宗禹、楊錫賢、江鴻龍教授於百忙中親臨指導，對論文細心的指導並提供許多寶貴的意見，對學生用心匪淺，使得學生論文內容更加嚴謹充實，在此致上衷心的謝意。

研究過程中感謝曠永銓博士幫助分析模式優劣，找出適於本研究最佳模擬程式；中興環工 謝宏益學長及銘傳大學 余泰毅教授在 AERMOD 模式上的大力幫忙、指導；富立業顧問公司 唐麗秋小姐在 ISCST3 模式上不厭其煩給予教導；還有江鴻龍教授在風險評估上給予正確觀念及提供詳盡資料。

研究期間，感謝學長姐致偉、承祐、汶芳及同學智翔、宜穎還有學弟們欽祺、勳鍊、理維、瀚賢、哲利鼎力相助，給予精神鼓勵，沒有你們，本論文無法順利完成。

最後，感謝我的家人給予我不斷的鼓勵與支持，讓我能專心無憂的完成學業的進修，在此致上最深的謝意也將此榮耀獻給你們。

目 錄

第一章 前言.....	- 1 -
1.1 研究起源.....	- 1 -
1.2 研究目的.....	- 1 -
第二章 文獻回顧.....	- 4 -
2.1 懸浮微粒 PM _{2.5} 、PM ₁₀ 及微粒中重金屬濃度組成.....	- 4 -
2.2 ISCST3 擴散模式.....	- 5 -
2.2.1 ISCST3 模式簡介.....	- 5 -
2.2.2 ISCST3 模式基本理論.....	- 5 -
2.3 AERMOD 模式與發展.....	- 8 -
2.3.1 模式背景.....	- 8 -
2.3.2 模式介紹.....	- 9 -
2.3.3 AERMOD 模式特色與原理.....	- 9 -
2.4 對流條件下之三煙流模式.....	- 10 -
2.5 大氣穩定度計算.....	- 12 -
2.5.1 Pasquill 穩定度判斷法.....	- 12 -
2.5.2 Monin-Obukhov Length (莫寧荷夫長度)法.....	- 14 -
2.6 混合層高度計算.....	- 15 -
2.6.1 ISCST3 混合層高度計算.....	- 16 -
2.6.2 AERMOD 混合層高度計算.....	- 17 -
2.7 AERMOD 與 ISCST3 之應用文獻回顧.....	- 18 -
第三章 研究方法.....	- 20 -
3.1 採樣點資訊.....	- 20 -
3.2 氣象資料與前處理與計算.....	- 21 -
3.2.1 氣象檔計算程序.....	- 23 -
3.2.2 AERMET 氣象前處理模式之運作.....	- 24 -
3.3 樣品篩選收集與儀器.....	- 25 -
3.4 分析步驟.....	- 26 -
3.4.1 濾紙前處理流程.....	- 26 -
3.4.2 儀器校正.....	- 26 -
3.4.3 消化萃取.....	- 27 -
3.4.4 金屬分析.....	- 28 -
3.5 微粒及金屬濃度計算.....	- 29 -
3.5.1 微粒濃度.....	- 29 -
3.5.2 金屬濃度.....	- 29 -
3.6 QA/QC.....	- 29 -
3.7 主成分分析法(PCA).....	- 30 -

3.8 地形高度之網格化與地形檔之建置.....	- 31 -
第四章 結果與討論.....	- 33 -
4.1 懸浮微粒分析.....	- 33 -
4.1.1 PM _{2.5} , PM ₁₀	- 33 -
4.1.2 重金屬成份分佈.....	- 36 -
4.2 統計分析.....	- 43 -
4.3 模式模擬分析 (以中科園區為污染源).....	- 47 -
4.4 風險評估.....	- 51 -
4.4.1 風險評估的步驟.....	- 51 -
4.4.2 指標化學物(Indicator Chemicals)之選擇.....	- 52 -
4.4.3 風險評估之計算.....	- 52 -
4.4.4 暴露方程式.....	- 52 -
4.4.5 風險評估之不確定性.....	- 54 -
4.4.6 風險評估計算.....	- 54 -
第五章 結論與建議.....	- 58 -
5.1 結論.....	- 58 -
5.2 建議.....	- 59 -
參考文獻.....	- 60 -
附錄 A AERMET meteorological pretreatment process setting files	
附錄 B America Meteorological data format	
附錄 C AERMOD keywords	
附錄 D AERMOD input	
附錄 E ISCST3 input	
附錄 F Albedo, Bowen, Roughness Length	
附錄 G Model operation method	
附錄 H ISCST3 & AERMOD information analysis	
附錄 I National Chung Hsing University (PM _{2.5} & PM _{2.5-10})	
附錄 J The QC list of this analysis	
附錄 K The visibility compared with Hongkon	

LIST OF FIGURES

Fig.1.1 Approved disposition diagram CTSP Taichung park	- 3 -
Fig.2.2 AERMOD model process flowchart.....	- 9 -
Fig.2.3 The three plume model for AERMOD under the convective conditions ..	- 11 -
Fig.2.4 The relationship among the latitude (ϕ) the sun angle (δ) and the zenith angle (Z)	- 13 -
Fig.2.5 The relationship between $1/L$ and the stability under the conditions of different ground surface coarseness (Z_0)	- 15 -
Fig.2.6 The mixing height acquired through Holzworth method	- 16 -
Fig.3.1 For cases like northeast bound wind in the winter, Taya is located about 2~3 km (windward location) away from the CTSP northeast direction. THU is the same and located about 2~3 km (downwind location) away from the CTSP southwest direction. FG locates between CTSP and TIP, near THU. PU is located at the northwest direction which is a sampling point farther from CTSP	- 21 -
Fig.3.2 AERMOD meteorological information processing procedure	- 23 -
Fig.3.3 Flow chart for AERMET processing data.....	- 24 -
Fig.3.4 PM ₁₀ high volume air sampler, Tisch Environmental, Inc., TE-6070 High Volume MFC, (a) shape (b) internal structure : the filter of 10 μ m and 2.5 μ m	- 25 -
Fig.3.5 Flat platform heater	- 27 -
Fig.3.6 Polarized-Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometer (Z-5000, Hitachi, Japan). It is comprised of two parts : Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS), and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (GFAAS).-	- 28 -
Fig.3.7 Terrain altitude map of Taiwan.	- 32 -
Fig.3.8 Grid map in 50x50km simulation scope.....	- 32 -
Fig.4.1 Heavy metal sampling data information for this research	- 37 -
Fig.4.2 Relevancy between simulation W ₁ factory buildings and observation points (As)	- 48 -
Fig.4.3 ISCST3 simulation for the relevancy between W ₂ factory buildings and observation points (As).....	- 48 -
Fig.4.4 ISCST3 simulation for the relevancy between W ₃ factory and observation points (As).....	- 49 -
Fig.4.5 ISCST3 simulation for the relevancy between W ₄ factory and observation points (As).....	- 49 -
Fig.4.6 ISCST3 simulation (As)	- 50 -
Fig.4.7 Terrain map for central region counties and cities	- 50 -
Fig.4.8 AERMOD simulation (As)	- 51 -

LIST OF TABLES

Table 2.1 Algorithms and comparisons between each portion of ISCST3 and AERMOD models.....	- 10 -
Table 2.2 Pasquill stability categorization	- 14 -
Table 2.3 Daytime insolation strength cross reference	- 14 -
Table 3.1 From the meteorological data gathered by Central Weather Bureau (Wuchi station) and EPA (Si-Tun station), it includes temperature, relative humidity, prevailing wind direction and wind speed for all research sampling dates (2008~2009)	- 22 -
Table 3.2 The Heavy metal of PM ₁₀ and PM _{2.5} .Collection Procedure	- 26 -
Table 3.3 The 11 metals' QA/QC data of Method Detection Limit (MDL)	- 30 -
Table 4.1 Suspended particle average mass concentration and PM _{2.5} /PM ₁₀ ratio observed at Nantou and Wufong stations.....	- 34 -
Table 4.2 Average monthly mass concentrations of PM _{2.5} , PM _{2.5-10} and PM ₁₀ during sampling period at the farm sampling site.	- 34 -
Table 4.3 Sampling data and information for this research and the ratios for PM _{2.5} /PM ₁₀	- 35 -
Table 4.4 Heavy metal sampling data information for this research	- 39 -
Table 4.5 PCA results in THU (downstream in winter season)	- 45 -
Table 4.6 PCA results in Taya (upstream in winter season).....	- 45 -
Table 4.7 PCA results in FG (upstream in summer season)	- 46 -
Table 4.8 PCA results in PU (downstream in summer season).....	- 46 -
Table 4.9 Comparison among ISCST3, AERMOD and observed value (North wind season).....	- 51 -
Table 4.10 Various ways exposure parameter predetermined value.....	- 53 -
Table 4.11 RfDs and SF	- 56 -
Table 4.12 WOE definition carcinogenic classify	- 56 -

第一章 前言

1.1 研究起源

目前世界各國的污染防治法規中，對於空氣品質的保護大多訂有空氣品質標準。為了達成此一目標，各國均訂定排放濃度標準，作為環保單位稽查之依據。台灣由於地狹人稠，再加上產業迅速成長，導致可用的土地面積日益減少，若持續要追求經濟成長時，則必須在有限的空地找到合適的位置，但所排放出來的空氣擴散情形，則往往無法預估，例如科學園區此類高科技產業，其排放到鄰近之懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及重金屬組成之特性及成份資料並不詳細且相關文獻及數據資料有限，因此就賴於選擇較合適的空氣品質模式來做更多更準確之預測。

高斯煙流模式(Gaussian Plume Model)為空氣品質模式的一種，主要功能是模擬大型煙囪在局部至近距離範圍內擴散情形的數值模式，一般模式模擬範圍小於 50 公里，在穩態的假設條件下，以高斯模式與隨穩定度及距離而改變的擴散係數進行模擬。此模式的參數與設定方式上較為單純，因此歷年來一直成為模擬使用之主流，包括環境影響評估、固定污染源設置、環保主管機關進行轄區內空氣污染防治計劃的規劃等，均大量使用高斯煙流模式。目前國內顧問機構多應用 ISCST 3 (Industrial Source Complex Short Term 3 Model)，此模式為美國環保署在 1995 年公告之優選模式，而在民國 87 年 7 月我國環保署公告之「空氣品質模式評估技術規範」(環保署，1998)中，亦列在「認可模式」表中。然而 2008 年起美國環保署已經使用 AERMOD (AMS/EPA REGULATORY MODEL)模式，來替代舊有的 ISC 模式，目前在台灣使用 AERMOD 模式來進行模擬的研究十分有限，因此本研究主要針對中部科學園區周界大氣懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及重金屬濃度變化進行研究調查，使用主成分分析法(PCA)找出可能污染來源，並利用 AERMOD 模式來進行污染源物的模擬，再與 ISCST3 模式進行比較。

1.2 研究目的

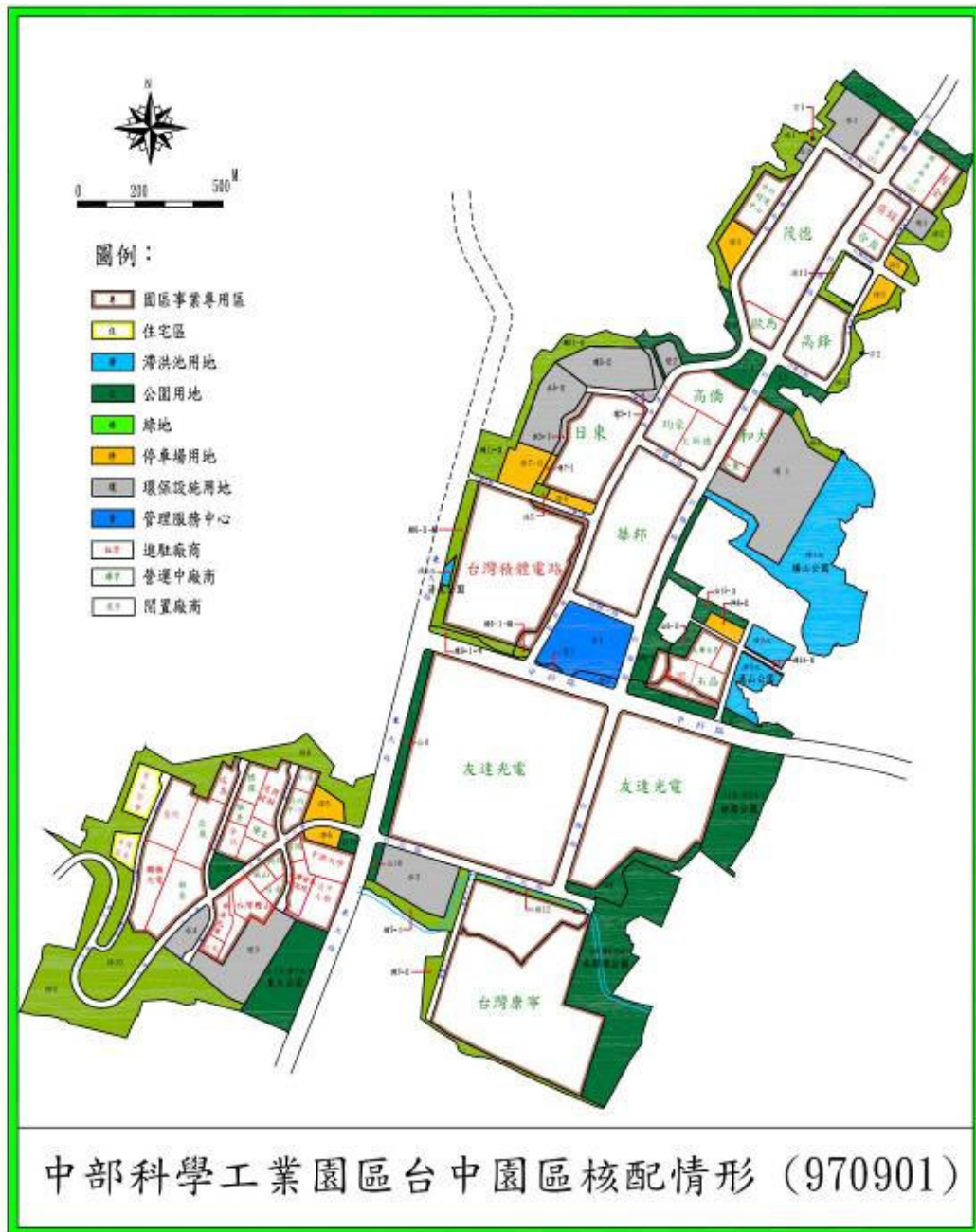
我國高科技產業在政府與民間全力配合下，已成為我國最重要的產業之一，其中中部科學園區的開發是中部地區近年來重大之開發行為。其開發將帶動中部地區之經濟繁榮及週邊經濟效益。中部科學工業園區(簡稱中科)，為民國 91 年 9 月由行政院核定成立，規劃引進產業以精密機械、光電、積體電路、生物科技、通訊、電腦周邊等六大產業為主，將可形成完整的高科技產業聚落。中科於民國 92 年 7 月動工，園區分佈於臺中縣市(臺中園區、后里園區)，雲林縣(虎尾園區)及彰化縣(二林園區)，臺中園區初期有友達光電等國際性科技大廠進駐，進而帶動更多廠相繼進駐。

中科臺中園區(413 公頃)，統計至 98 年 7 月，共核准 114 家廠商進駐，投資金額新台幣一兆七千一百八十億元；進駐廠商包含精密機械 29 家、光電產業 28 家、生物科技 11 家、半導體業 10 家、電腦及周邊設備 4 家、研究育成中心 11 家、園區事業 5 家、數位設備 2 家及其他 14 家。其中可能排放重金屬之產業包括 LCD、IC 及玻璃業等。

臺中基地位處台中市部份，除懸浮微粒屬三級防治區外，其於空氣性污染物均劃屬二級防治區；位處台中縣部份，所以有空氣污染均屬二級防治區；鄰近之 10 公里內長期監測站為沙鹿、西屯、忠明及豐原測站，資料顯示民國 91 年所測得之監測數據為二氧化硫、二氧化氮、一氧化氮及臭氧均符合空氣品質標準，僅 PM₁₀ 濃度偏高。中部科學園區 6 年來持續建設，廠商陸續進駐，台中基地如 Fig.4.2 所示，總面積 413 公頃包含工業區面積 199 公頃、住宅區面積 2.6 公頃及其他用地面積 211 公頃。

中科園區內產業涵蓋光電 (Optoelectronics)、積體電路 (Integrated Circuits)、航太 (Aerospace Technology)、機密機械 (Precision Machinery)、電腦通訊及週邊設備 (Computers & Peripherals)與生物技術 (Biotechnology)等六大產業(台中縣環保局，2004)。目前已進駐廠商以精密機械與光電業所佔比例最高，所以對環境所產生之污染量也最大。且半導體在離子植入 (Ion Implantation)製程與光電產業蝕刻 (Etching)製程及玻璃基板玻璃熔爐製程中，常使用到砷化物(砷酸，Arsenate)，因此在生產期間，有可能排放到大氣環境中，危害到人體健康及生活居住品質。

根據所訂定之研究目的，本論文將分為下列章節，在第二章文獻回顧方面，主要先介紹大氣懸浮微粒 PM_{2.5}、PM₁₀ 及微粒中重金屬濃度組成，再介紹 ISCST3 和 AERMOD 擴散模式簡介及其模擬的理論計算，以及相關文獻回顧；在第三章研究方法方面，主要詳述本研究的流程與方法內容包括各項資料蒐集與計算，以及模擬主程式檔設定相關數參數的說明；第四章為案例分析，以便了解模式之間的差異，及了解模式的優劣；最後總結本研究的結論與相關建議。



PDF created with FinePrint pdfFactory trial version <http://www.fineprint.com>

**Fig.1.1 Approved disposition diagram CTSP Taichung park
(Sept. 1st, 2008)**

【資料來源：中部科學工業園區】

第二章 文獻回顧

2.1 懸浮微粒 PM_{2.5}、PM₁₀ 及微粒中重金屬濃度組成

懸浮微粒可區分為 3 大類：鹽類、有機物及重金屬成分，而在細懸浮微粒中除含有重金屬成份及碳成份外，亦可能含有硫酸鹽及硝酸鹽等成份。由於燃燒高硫煤(含 2~3% S)經燃燒後產生大量 SO₂ 及 NO_x，再與氨氣在大氣中經化學反應而生成硫酸銨((NH₄)₂SO₄)及硝酸銨(NH₄NO₃)，因此造成空氣品質惡化，且導致能見度不佳。

大氣懸浮微粒所含之化學組成，除含有來自車輛廢氣所排放之元素碳及鉛等元素態物質，及來自土壤之 Si、Al、及 Fe 等非水溶性之氧化態物質外，水溶性之硫酸鹽、硝酸鹽、銨鹽及海鹽成份(含 Cl 與 Na 離子)等，其在 PM₁₀ 或 PM_{2.5} 上亦佔有相當比例。通常在可分析之物種中，水溶性離子之貢獻量可達 50% 以上。

王景良(2000)針對中部地區不同污染源所逸散排放之粒狀污染物進行採樣分析。結果顯示，中部地區之地質類污染源(街塵、裸露河床等)其主要包含之成份以 Al、Ca、Fe、K 為主。磚窯業之排放微粒組成以 Al、Fe、Ca、K、OC、EC、SO₄²⁻ 為主，其中硫酸根離子約佔 16%，主要與磚窯業製程燃燒使用重油與煤有關。稻草農廢燃燒之排放微粒組成以細粒為主，佔 PM₁₀ 90% 以上，主要成份為 OC、EC、Cl⁻、K⁺、NH₄⁺，顯示有機碳、元素碳、氯化鉀與氯化銨所組成之細粒為農廢稻草燃燒產生微粒的主要成份。

袁中新等(1999)於南台灣地區進行懸浮微粒物化特徵研究，結果顯示，細微粒中陰離子主要以 SO₄²⁻、NO₃⁻ 佔絕大部分，而陽離子則主要以 NH₄⁺ 為主。在粗微粒中陰離子方面 Cl⁻ 有升高趨勢，陽離子以 Ca²⁺、NH₄⁺ 為主，且 Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 濃度均明顯較細微粒高出許多。另外在碳成份分析方面，OC 及 EC 二者於細微粒之濃度均較粗微粒濃度高，且 OC 濃度又比 EC 高，亦有日間大於夜間之趨勢。金屬成份分析方面，以 Al、Si、Ca 等濃度較高，Fe、Zn、Mg 等次之，其餘如 Pb 等亦含有少量。

林鉅富(1999)針對高雄地區大氣中懸浮微粒特性及來源作探討，結果發現，小港站、前鎮站及左營站等三測站所測得 PM_{2.5} 微粒之平均濃度分別為 53.7μg/m³、42.7μg/m³ 及 48.2μg/m³，三測站之濃度分佈趨勢相近，其所得之 PM₁₀ 濃度之趨勢與環保署自動監測之濃度非常接近。水溶性離子分析結果顯示，三測站之陰陽離子比約在 0.9~1.2 之間，離子濃度總和大約佔 PM_{2.5} 懸浮微粒濃度的 17~23%，其中又以 NO₃⁻、SO₄²⁻、及 NH₄⁺ 所佔比例最高，可見硝酸鹽及硫酸鹽除了當地之污染源產生外，還有其他之污染源。

Chow(1996)於美國南加州地區進行 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 之採樣與分析，研究發現 PM_{2.5} 佔 PM₁₀ 之 50~66%，秋季時的懸浮微粒濃度高於夏季。Jeffery(1997)在加拿大研究指出佔 TSP 之比例約為 44%。各地區不同粒徑懸浮微粒比值雖不相同，但主要仍與各採樣站類型、氣象條件、地理位置及區域性微粒逸散有較大的關係。

2.2 ISCST3 擴散模式

2.2.1 ISCST3 模式簡介

工業污染源複合模式 (Industrial Source Complex, ISC)為 U.S.EPA 於 1970 年所發展的一套空氣污染擴散模式，其為一個穩態(steady-state)的高斯煙流模式，可廣泛的應用在各種類型的高斯煙流模式及污染源(點源【point】、線源【line】、面源【area】、體源【volume】)。ISC 模式可以模擬由這 4 種不同型態的污染源所組合而成之複合工業污染源的空氣品質。ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term 3 Model)模式是 ISC 系列模式中發展最完整的，適用於短期(1 小時)及區域性(傳輸距離 50 公里內)的模擬。ISCST3 除了更能精確的模擬各類型污染源的濃度擴散，還能計算污染物乾溼沉降，並可模擬區域內污染源的排放、濃度、傳送與沉降，藉以評估污染源與受體的關係。模式只單純考慮物理機制，並未考慮化學機制，因此適合模擬惰性污染物，這是模式的缺點之一。

ISC 模式適用於複雜地形與特殊地形之大氣狀況，應用十分廣泛；大體而言，目前台灣普遍於運用 ISC 模式之範疇可歸納如下(江旭程，1989)：

- 1.環境影響評估
- 2.污染防治策略研擬
- 3.總量管制
- 4.污染防制策略施行成果評估
- 5.長期空氣品質之評估
- 6.緊急意外事件之應變措施
- 7.短期空氣品質預報及應變。

2.2.2 ISCST3 模式基本理論

ISCST 基本上是以高斯模式理論 (Gaussian Dispersion)為基礎所發展出來的空氣品質擴散模式。而高斯擴散模式的基本假設為：

- (1)污染源為連續排放
- (2)質量守衡
- (3)穩定狀態
- (4)污染物擴散的濃度分佈屬高斯分佈。

而其主要特徵有：

- (1)可使用極座標和直角座標
- (2)可模擬都市和鄉村的空氣品質
- (3)衝量和浮力所引起煙囪排放煙柱高度為下風距離之函數
- (4)建築物對擴散的影響
- (5)可同時模擬高達 300 個污染源
- (6)可模擬點、線、面源
- (7)風速隨高度而變化
- (8)可模擬小時平均濃度至年平均濃度
- (9)可依實際地形高度修正受點高程
- (10)內建環保署法規內定值
- (11)可處理定風之氣象條件
- (12)可模擬受點高於地面的情況

ISCST3 模式可模擬典型之複雜污染源範圍的排放情形，可接受每小時氣象資料來定義煙流上升、傳輸、擴散與沉降之情形，模擬時模式藉由輸入之小時氣象資料，評估各個污染源對受體點造成之污染物濃度或沉降量。模式基本原理為直線、穩態高斯煙流方程式，可藉由一些修正來模擬簡單煙囪點源之排放情形。從煙囪排出之煙流可能會因鄰近之建築物、獨立或複雜風穴帶等類似的情況下，產生氣流下洗現象(Downwash)，而改變煙流原本之擴散方式，此時就需對煙流擴散方式進行修正。污染源的種類可以分為點源、線源及面源等，以下將介紹模擬點源污染源時之相關基本原理。

短時距擴散模式對煙囪所排放煙流之模擬，使用穩態高斯方程式來模擬連續排放之情形。在任何時間對每個污染物而言，污染源座標系統之原點是假設於煙囪地表之基底。定義座標軸中 x 軸往下風方向為正，y 軸為與 x 軸垂直之方向，z 軸為垂直向上部份，如 Fig.2.1 所示。模式進行模擬時，固定之受體點座標會隨著每個污染源座標轉換座標位置，以計算小時濃度，將每個污染源對受體點所造成之污染物濃度相加，可得該受體點受整體污染源影響所產生之污染物濃度。ISCST3 點源模式是針對一連續排放污染源計算於該污染源下風處之污染物濃度分布趨勢，其基本方程式為：

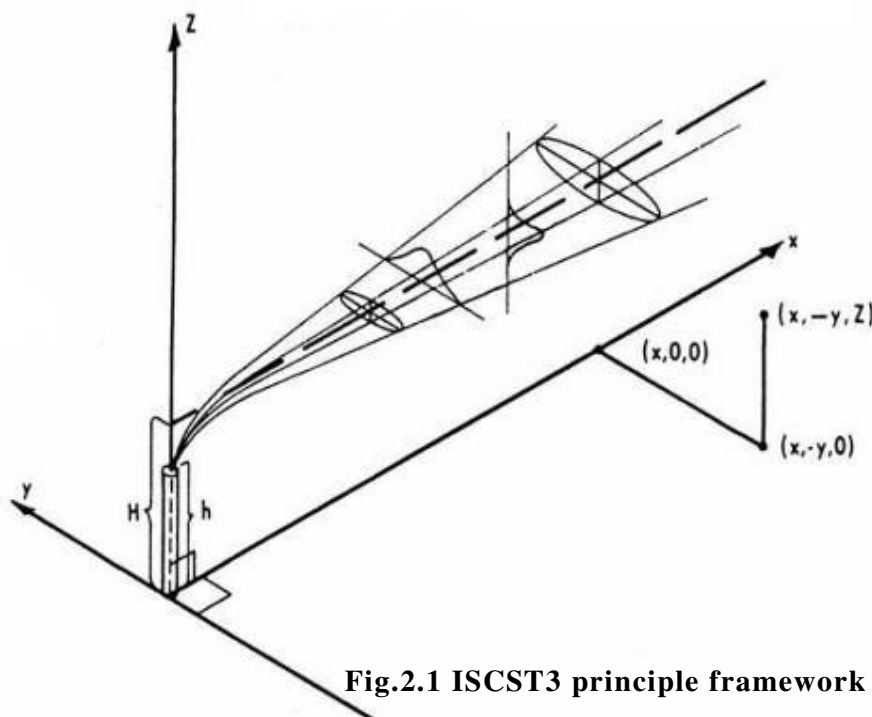


Fig.2.1 ISCST3 principle framework (Pasquill, 1961)

$$X = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (\text{式 2.1})$$

一般 V 表示如下

$$V = \exp\left[-0.5\left(\frac{Z_r - h_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{Z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

$$+ \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

(式 2.2)

其中

χ : 污染物於x、y 方向上之每單位時間濃度值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)，

Q: 點源污染物之排放率(g/s)，

K: 濃度單位轉換係數(設定值為 1×10^6)，

V: 垂直方向之分佈係數，

D: 污染物之衰減係數，

u_s : 排放口之平均風速(m/s)，

x、y: 在側風向及垂直風向濃度分佈之擴散係數(m)。

垂直方向之分佈係數 V 與排放污染源高程、受體點高程、煙流上升、混合層高度、重力沉降與乾沉降(微粒模擬時)等因素相關。

而其中 $h_e = h_s + \Delta h$ (式 2.3)

$$H_1 = Z_r - (2iZ_i - h_e)$$

$$H_2 = Z_r - (2iZ_i - h_e)$$

$$H_3 = Z_r - (2iZ_i - h_e)$$

$$H_4 = Z_r - (2iZ_i - h_e)$$

Z_r = 地平面之上的受體高度 (m)

Z_i = 混合層高度 (m)

在上式無限數列之項，主要即計算垂直向煙流成長受限於混合層頂端之影響。假使有效煙囪高度超過了混合層高度，則煙流假設完全貫穿了此層，而地面濃度將設為等於零。混合層高度是使用 Holzworth 法來獲得，對於城市地區之穩定情況以及鄉村地區之中度穩定和不穩定之情況下，由此法所獲得之高度至少平均上來說是具有代表性的。然而，因為 Holzworth 之最小混合層高度傾向於包括城市地區之熱島效應，對於鄉村地區之穩定氣候狀況(E 或 F 穩定度) (Seinfeld, 1986)也有些疑問，所以 ISCST3 模式在鄉村地區 E 或 F 穩定度時將去掉上式之無限數列項。

執行 ISCST3 所需輸入資料，主要分為氣象條件 (Meteorology)、地形條件 (Terrain)、污染源 (Emissions)和受點 (Receptors)四部份，各項輸入資料分別如下：

1. 氣象條件：

執行 ISCST3 所需氣象資料包括風速 (m/sec)、風向 (以度為單位，0 度及 360 度為北風，90 度為東風，180 度為南風，270 度為西風)、Pasquill 穩定度 (共 6 級，1 級為極不穩定，6 為極穩定)、溫度 ($^{\circ}\text{K}$)和混合層高度 (m)。其中風速、風向、穩定度和溫度可由地面氣象站資料而得，至於混合層高度則必須由探空資料計算而得。

2. 地形資料：

除煙囪基本排放參數以外，煙囪所在的海拔高度也足以影響到模擬結果的精確性。本計劃採用之地形資料主要為中央大學太空遙測中心所提供之 40m 網格地形(DTM)資料，以作為 ISCST3 需輸入之資料。

3. 污染源：

將所有污染源設為點源，ISCST3 模式所模擬之污染物資料，主要為中部科學園區區內工廠所申報之污染源排放管資料，共計八項，分別為污染源座標 (UTM 座標)、煙囪所在海拔高度 (m)、污染物排放率 (g/sec)、煙囪高度 (m)、煙囪溫度 ($^{\circ}\text{K}$)、煙囪排放速度 (m/sec)及煙囪內徑 (m)。

4. 受點資料：

包括受點的座標和高度。本研究的模擬範圍網格設計以 500m x 500m 為一個網格點，包括了整個科學園區範圍及周圍，依據 UTM 座標採用卡式座標。

2.3 AERMOD 模式與發展

2.3.1 模式背景

自 90 年代末期，美國環保署 (EPA)及美國氣象學會 (American Meteorology Society ; AMS)所共同成立之法規模式改進委員會 AERMIC (AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee)，試圖開發一個能取代模擬誤差較大之 ISCST3 (Industrial Source Complex Short-Term Model 3rd edition)法規模式，應用最新擴散理論與運算技術，進而提高模式預測結果準確度，並能模擬目前 ISCST3 所能模擬之大氣擴散模式與排放源，因此，著手研發出一個運算程式內部包含行星邊界層紊流結構 (Planetary boundary layer)、尺度(scale)以及觀念(concept)等所產生之空氣污染擴散模式。然而基於前述條件，是故一新建模式 AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model)因此而誕生，該模式以擴散統計理論為出發點，所以模擬的現象包括地面、高空污染源在平坦地形以及複雜地形中的近距離擴散行為，而所模擬污染源則包括點源、面源、體源、不規則與陣列式污染源等。目前版本為 2007 年 1 月推出的 Version 07026 with PRIME 版。
(<http://www.epa.gov/scram001/>)

2.3.2 模式介紹

AERMOD 模式的組成包括三個重要部分，處理地形的 AERMAP 模式、處理氣象的 AERMET 模式以及 AERMOD 擴散模式。(如 Fig.2.2)

1. AERMOD 特殊功能包括對垂直非均勻邊界層的特殊處理，不規則形狀的面源處理，對流層的三維煙流模式，在穩定邊界層中垂直混合的局限性和對地面反射的處理，在複雜地形上的擴散處理和建築物下沖現象的處理。
2. AERMET 是 AERMOD 的氣象預處理模式，輸入數據包括每小時雲量、地面氣象觀測資料和一天兩次的探空資料，輸出文件包括地面氣象觀測數據和一些大氣參數的垂直分佈數據。
3. AERMAP 是 AERMOD 的地形預處理模式，AERMAP 應用美國地質測量所 (U.S. Geological Survey, USGS) 的 DEM (Digital Elevation Model) 的資料當作輸入資料，用以產生具有關鍵字及接受點位置與高程數據的文字檔，使用者可以將處理結果複製到主要輸入檔中，或直接在主要輸入檔中以相關指令將其納入模擬。

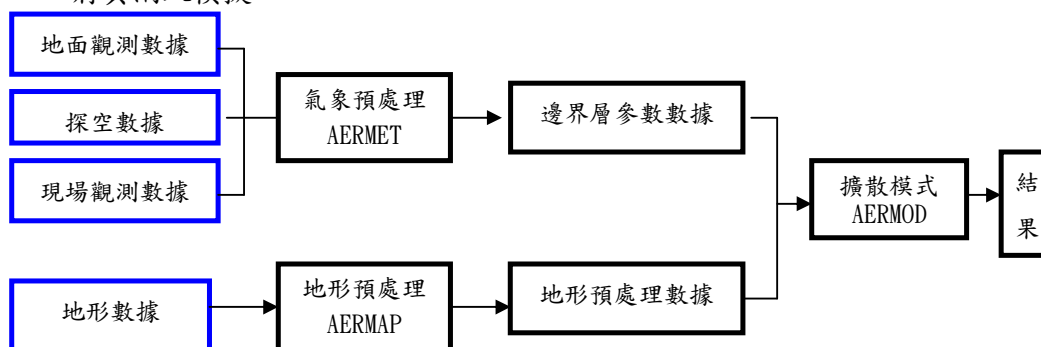


Fig.2.2 AERMOD model process flowchart

2.3.3 AERMOD 模式特色與原理

AERMOD 與 ISCST3 高斯煙流模式最大的差別在於氣象條件參數與擴散模式方面的進步，模式各部份原理與比較條列如 Table 2.1 所示。重要特色如下列所示(曠永銓，2005)：

- (1) 以行星邊界層紊流結構與理論為基礎，按紊流結構與尺度概念，其擴散係數由參數化方程式給定，穩定度以連續參數表
- (2) 針對地表排放性質採取特殊處理
- (3) 不規則形狀之面源排放模擬
- (4) 考慮對流條件下浮力煙流與建築物下洗作用
- (5) 於穩定邊界層內垂直混合的限制
- (6) 修正以往其他模式中，對於中等至複雜地形中產生地形效應的模擬方式，並仍保持其故有簡單性。

對於上述第 6 項是指 AERMOD 以一種簡單的方式將複雜的地形中氣流與擴散的最新觀念導入於模式中，煙流若非衝撞至地表，就是以沿著地形進行流動，該方式不但簡單亦可符合理論要求，因此 AERMOD 取消對於複雜地形的界定要求，所有的地形皆以連續性及一致性的簡單方式加以處理，並保持穩定層流狀態下分離流線的觀念。

Table 2.1 Algorithms and comparisons between each portion of ISCST3 and AERMOD models (曠永銓，2005)

項目	ISCST3	AERMOD
模擬污種類	點、面、體源	與 ISCST3 相同
氣象資料	模式只能用一層	可以同時使用多層資料
氣象垂直變化	僅風速具高度變化	使用所有觀測資料，可以產生風、氣溫、紊流強度之垂直變化
都會區處理	只有開關兩種選項，應用到所有污染源。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 可輸入都會區人口密度與大小 ➢ 每一個污染源可個別定義為都市或鄉村污染源
模擬範圍的地表特性	都市及鄉村兩種選項	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 可輸入每月、每角度範圍之地表粗糙度、反照率、飽溫率等地表特性
邊界層特性	風速、穩定度、混合層	莫寧荷夫長度、機械/對流混合層高度、摩擦速度、對流速度、可感熱通量
混合層高度	Holzworth 法	由機械/對流混合層高度
煙流與混合層頂作用	煙流中心線若超過混合層頂，地面濃度=0	三煙流模式(直接煙流、間接煙流、混合層上再進入之煙流)

2.4 對流條件下之三煙流模式

AERMOD 模式考慮了對流條件下浮力煙流和混合層頂的相互作用，即浮力煙流上升到混合層頂部附近時，考慮了三個方面的問題：

- (1) 煙流到達混合層頂時，除了完全反射和完全穿透之外，還有部份穿透和部份反射的問題。
- (2) 穿透進入混合層上部穩定層中的煙流，經過一段時間還會將重新進入混合層，並擴散到地面。
- (3) 煙流向混合層頂端衝擊的同時，雖然在水平方向也有擴散，但擴散速度相當緩慢，等到煙流的浮力消散在環境紊流之中，煙流向上的速度消失以後，才慢慢擴散到地面。

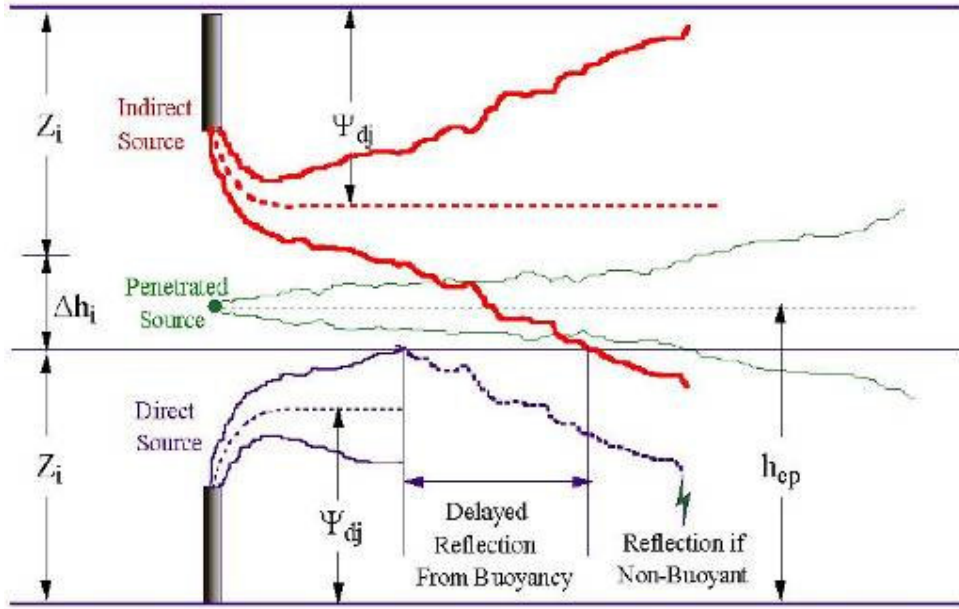


Fig.2.3 The three plume model for AERMOD under the convective conditions

(資料來源：AERMOD: description of model formulation)

對流條件下 AERMOD 預測濃度由以下三種污染源的濃度組成(式 2.5)：

$$C_c \{x_r, y_r, z_r\} = C_d \{x_r, y_r, z_r\} + C_r \{x_r, y_r, z_r\} + C_p \{x_r, y_r, z_r\} \quad (\text{式 2.5})$$

第一部份 $C_d \{x_r, y_r, z_r\}$ 是因下沉氣流直接擴散到地面的所謂直接源(式 2.6)。

$$C_d \{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{z_j}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) \right] \quad (\text{式 2.6})$$

第二部份 $C_r \{x_r, y_r, z_r\}$ 是因為上升氣流擴散到混合層頂層的所謂間接源(式 2.7)，間接源的質量濃度計算公式與直接源最大的區別是模擬浮力煙流的停滯後反射。

$$C_r \{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{z_j}} \left[\exp\left(-\frac{(z + \psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z - \psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{z_j}^2}\right) \right] \quad (\text{式 2.7})$$

第三部份 $C_p \{x_r, y_r, z_r\}$ 是穿透進入混合層上部穩定層中的煙流，經過一段時間之後，將重新進入混合層，並擴散到地面(式 2.8)。

$$C_p\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi u \sigma_{z_p}}} F_y \cdot \sum_{j=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z_r - h_{ep} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_p}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_r + h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{z_p}^2}\right) \right] \quad (式 2.8)$$

其中 F_y 可由式 2.9 求得

$$F_y = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right) \quad (式 2.9)$$

上式中：

$C_c\{x_r, y_r, z_r\}$ 為對流條件下的總質量濃度， g/m^3 。

$C_d\{x_r, y_r, z_r\}$ 、 $C_r\{x_r, y_r, z_r\}$ 、 $C_p\{x_r, y_r, z_r\}$ 分別為對流條件下直接源、間接源、穿透源的質量濃度， g/m^3 。

z 為 z_i (水平煙流)或 z_p (沿地形抬升之煙流)， m 。

f_p 是對流條件中煙流的比重。

F_y 為水平分佈函數。

σ_y 為水平擴散參數， m 。

z_i 為混合層高度， m 。

σ_{zj} 為直接源垂直擴散參數， m 。

σ_{zp} 為穿透源垂直擴散參數， m 。

Ψ_{dj} 為直接源煙流總高度， m 。

Ψ_{pj} 為間接源煙流總高度， m 。

$\lambda_j(\lambda_{1,2})$ 是上升和下沉兩部份煙流的權重係數，下標 $1,2$ 代表上升和下降。

m 為反射次數。

h_{ep} 為穿透源高度， m 。

z_{ieff} 為穩定層中反射面高度， m 。

2.5 大氣穩定度計算

空氣污染物在大氣中的擴散與傳送往往取決於大氣狀態的穩定與否，因此在許多的空氣品質模式中，其擴散尺度 σ_y 、 σ_z 經常就根據穩定度的大小來做推求，使得穩定度成為很重要的輸入參數之一。穩定度的分類方法很多，各自的適用性及限制亦有所差異，在此主要是探討 ISCST3 與 AERMOD 模式對於大氣穩定度的計算方法。

2.5.1 Pasquill 穩定度判斷法

由 Pasquill 於 1961 年所提出，利用地面氣象參數中之風速與雲量，在配合日照強度的關係，見 Table 2.2，將大氣分為 A~F 六個等級。Table 2.2 中所列之

日照強度因無直接觀測結果，故主要採用 Table 2.3 所列之雲量與天頂角的對照關係求得，其中太陽高度部分主要依據測站所在經緯度代入下式公式求得：

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h \quad (\text{式 2.10})$$

Z：天頂角

ϕ ：測站緯度

h：hour angle = $(\pi/12) \times (hr - 12)$

hr：觀測時間

δ ：太陽傾斜角(Solar declination)

$$\delta = \phi \times (\pi/180) \sin [30(mon - 1) + d - 81] (\pi/180) \quad (\text{式 2.11})$$

mon、d、hr 分別為地方月份(1~12)、日期(1~31)、小時值(1~24)

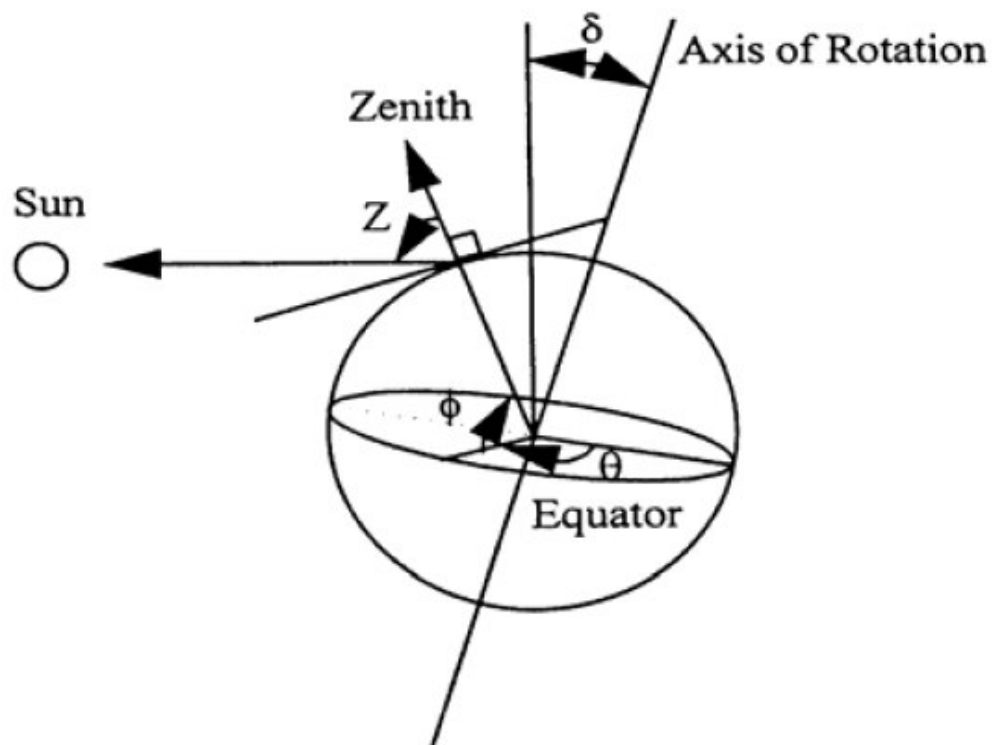


Fig.2.4 The relationship among the latitude (ϕ) the sun angle (δ) and the zenith angle (Z) (McRae, 1981)

Table 2.2 Pasquill stability categorization (Seinfeld, 1986)

表面風速 Speed(m/s) (10m)	日間輻射(Insolation)			夜間雲量	
	強(Strong)	中 (Moderate)	弱(Slight)	雲量>=4/8	雲量<=3/8
<2	A	A-B	B	F	F
3	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
5	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Table 2.3 Daytime insolation strength cross reference (Seinfeld, 1986)

雲量	天頂角(Z)		
(Opaque or Total)	A>60°	35°<A<60°	15°<A<35°
雲量<=4/8	強	中	弱
5/8<雲量<=7/8	中	弱	弱
雲量<7/8	弱	弱	弱

2.5.2 Monin-Obukhov Length (莫寧荷夫長度)法

莫寧荷夫尺度(L)是由地表相似理論所發展出來一重要物理參數，用 L 值為正、負或正負無限大來代表大氣的穩定度；就 L 之正負號而言，當 L 趨向於正負無限大時，代表大氣屬於中性穩定狀態，若 L 為正值，大氣為穩定狀態，負號則不穩定，其定義如(式 2.12)：

$$L = - \frac{u_*^3}{k \frac{g Q_h}{\theta_0 \rho_0 c_p}} \quad (\text{式 2.12})$$

其中， θ_0 為地表溫度。(deg.K)
 C_p 為定壓空氣比熱。(996(m²/(s²K))
 ρ_0 為地表空氣密度。(kg/m³)
 g 為重力加速度。(m/s²)
 u^* 為摩擦速度。(m/s)
 H 為可感熱通量。(w/m²)

Monin-Obukhov Length 法在應用上考慮到粗糙度之影響，因此 Golder (1972)利用 Z_0 及 $1/L$ 值將 Pasquill 分類中 A~F 六個穩定度等級之關係求出，如 Fig.2.5 所示。

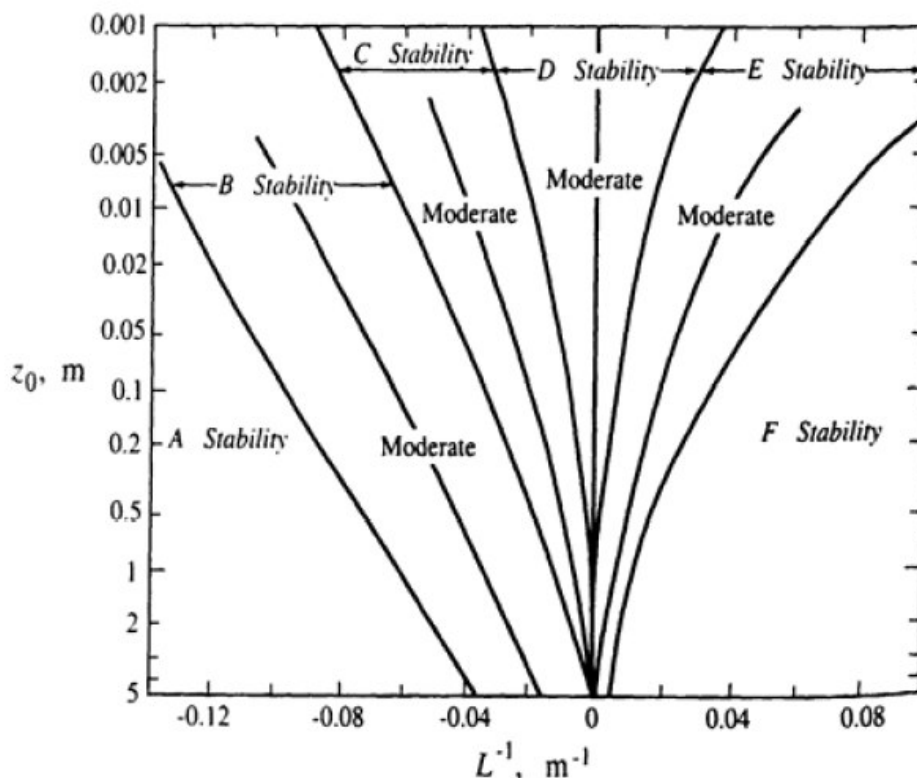


Fig.2.5 The relationship between $1/L$ and the stability under the conditions of different ground surface coarseness (Z_0) (Seinfeld, 1986)

當大氣呈現不穩定狀態(Unstable condition)，熱量由地表向上傳遞($H > 0$)，故莫寧荷夫長度 $L < 0$ ，此時之大氣邊界層又可稱為對流邊界層(Convective boundary layer)，在此大氣狀態，擴散急為快速；在穩定大氣狀態(Stable condition)下，熱量由高空向地表傳遞($H < 0$)，故 $L > 0$ ，空氣在一個穩定狀態，上下不易對流；在此大氣狀態，垂向擴散十分緩慢。當地表熱量通量 $H \approx 0$ ，表示大氣為中性狀態(Neutral condition)，故 $L \rightarrow \infty$ ，因中性大氣穩定狀態空氣密度的垂向分佈十分均勻，空氣的流動和擴散皆不受穩定度的影響。

2.6 混合層高度計算

混合層高度(Mixing Height)即為大氣邊界層(Boundary Layer)之高度，係指大氣層中受到地面條件影響而產生顯著紊流混合效應之空氣層。混合層高度在空氣污染事件的形成中是一個十分重要的參數，由於在混合層頂端，垂直擴散係數的

數值很小，污染物和上層空氣無法產生大量的質量交換，導致污染物的濃度無法稀釋，因此混合層高度的數值代表著可提供混合層下方物資稀釋的垂直範圍尺度。

一般來說，混合層高度在每一個地方、時間都會不相同，這是因為混合層高度主要是受到了大氣水平傳輸和日照強度的影響所致。在沒有日照強度的晚上會有最低高度的出現，約為數十公尺，而隨著清晨太陽的出現，日照強度逐漸的增加，混合層高度也隨之逐漸增加，並且在正午時分，當日照強度達到最大值時，亦同時有最大的混合層高度出現，約可達 1~2km，之後便逐漸的減少。四季中以夏天的日照強度最強，因此平均混合層高度最高，冬天的日照強度最弱，平均混合層高度最低。

2.6.1 ISCST3 混合層高度計算

Holzworth 法為 ISCST3 決定混合層高度所使用之方法，利用當日之地面最高溫沿乾絕熱線上升與探空曲線相交之點，為當日最高之混合層高度(如 Fig.2.6 所示)，所採用之計算步驟及公式如下：

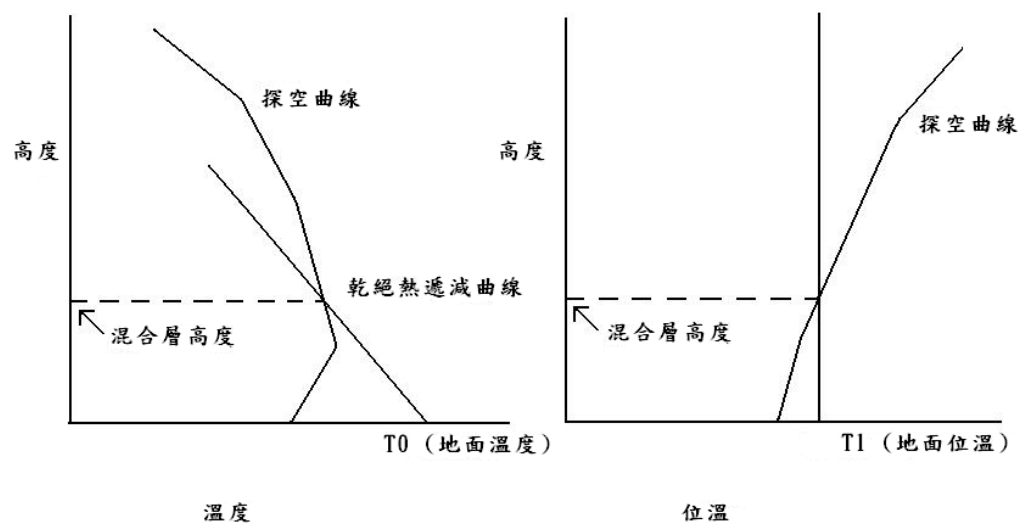


Fig.2.6 The mixing height acquired through Holzworth method

(<http://www.aqmc.org.tw/>)

地面潛溫(亦稱位溫，Potential temperature)計算，由地面氣象測站之地表氣溫(T_0)代入求得地面潛溫。

$$\text{Pot}_\phi = T_0 + 273 \cdot \left(\frac{P_0}{1013} \right)^{0.286} \quad (\text{式 2.13})$$

計算探空測站每日兩個時段(8 時及 20 時)下，各氣壓高度之潛溫。

$$Pot_8(I) = T_8 + 273 \cdot \left(\frac{P_I}{1013} \right)^{0.286}, \quad I \text{ 為不同高度} \quad (\text{式 2.14})$$

$$Pot_{20}(I) = T_{20} + 273 \cdot \left(\frac{P_I}{1013} \right)^{0.286}, \quad I \text{ 為不同高度} \quad (\text{式 2.15})$$

求得逐時地面潛溫，對照求得該值落於前述 Pot_8 (某氣壓高度) 及 Pot_{20} (某氣壓高度) 下之高度 MH_1 及 MH_2 。

$$MH_1 = H_8(I) + \frac{Pot_\phi - Pot_8(I)}{Pot_8(I+1) - [Pot_8(I) \cdot [H_8(I+1) - H_8(I)]]} \quad (\text{式 2.16})$$

$$MH_{20} = H_{20}(I) + \frac{Pot_\phi - Pot_{20}(I)}{Pot_{20}(I+1) - [Pot_{20}(I) \cdot [H_{20}(I+1) - H_{20}(I)]]} \quad (\text{式 2.17})$$

利用逐時時間與(8 時及 20 時)間隔比例進行 MH_1 及 MH_2 之線性內插，求得逐時混合層高度。

2.6.2 AERMOD 混合層高度計算

AERMET 氣象預處理模式計算混合層高度時，在對流條件下生成對流和機械混合層高度，取兩者較大值作為混合層高度。對流混合層高度採用 Carson (1973) 所研發並經 Weil and Brower (1983)修正之方法，此一方法利用下式計算對流混合層高度：

$$Z_{ic} \theta(Z_{ic}) - \int_0^{Z_{ic}} \theta(Z) dz = (1 + 2A) \int_0^1 \frac{H(t')}{\rho c_p} dt' \quad (\text{式 2.18})$$

上式中：

Z_{ic} 為對流混合層高度。

$\theta(Z)$ 為探空資料之位溫分佈。

H 為地面熱通量。

ρ 為密度。

C_p 為比熱。

A 為常數假設，為 0.2。

上式右邊之積分代表累積地面熱通量。

在穩定條件下，只計算機械混合層高度將其作為混合層高度，機械混合層高度由 Venkatram (1980)所建議的方法加以計算，其方程式為：

$$Z_{im} = 2300 u_*^{3/2} \quad (\text{式 2.19})$$

上式中：

Z_{im} 為機械混合層高度。

$u_* =$ 摩擦速度。

由於機械混合層高度主要受到地面摩擦速度影響，為減少地面摩擦速度較大的小時波動對機械混合層高度影響，採用時間尺度的方法平滑其值，保持機械混合層高度在對流和穩定條件下的連續性。

2.7 AERMOD 與 ISCST3 之應用文獻回顧

國內利用 ISCST3 模式應用於空氣污染物的模擬分析上已有一段時間，相關之研究成果如下：

元曉琴(1994)對 ISC 模式之穩定度判斷方式進行修正，並模擬台中火力發電廠附近數十公里內所有污染源排放之 SO_2 的擴散情形，將模擬結果與附近 7 個監測站之逐時資料做相關性分析，結果顯示以其研究中所發展出的穩定度判斷方式，可取代傳統 Pasquill 穩定度判斷方式，則 ISC 模擬結果將更符合實際之趨勢，表示研究中所看出之穩定度判斷方法是可行的。

林陽聲(1998)利用 ISC3 模式模擬竹山及埔里地區當地污染源及整個中部空品區污染源對該地區測站 PM_{10} 之污染貢獻量，並利用地理資訊系統之圖層資料功能來分析地形對污染物傳輸之影響。發現竹山測站位於中央山脈與八卦山脈所形成之走廊底部，左側有濁水溪河谷，其餘為高山環繞，明顯為一污染物容易被氣流攜帶進來而不易擴散出去之地形。而埔里的地形則為一明顯之盆地地形，污染物難進入，亦難向外傳輸。

廖崇園(2000)於國內空氣品質管理中，利用 ISC 模擬結果連結 CMB 受體模式解析結果，評估高屏地區實施管制策略後對空氣品質之影響，以民國 85 年為模擬基準年，模擬 SO_x 、 NO_x 濃度的結果，於目標年 90 年在實施污染管制後可分別下降 26% 及 15.2%，而移動源及面源則因自然成長量大於排放減量，造成 PM_{10} 反而增加 1.6% 及 0.9%。

林春利(2001)以 ISC 模式配合中鼎於 1997 年完成之排放量資料庫 TEDS4.2 版，針對台中電廠附近地區—和美、鹿港、線西、梧棲等四個地面測站進行模擬，估算 1997~2000 年台中火力發電廠對上述測站每個月份之貢獻比率。由模擬結果發現，台中發電廠自 1997 年至 2000 年間，以對鹿港減少 84% 的貢獻比率的貢獻比最具成效，和美、線西以及梧棲測站分別下降 52%、50% 及 59%。顯見台中電廠排放減量對於地面 SO_2 濃度的下降有相當的成效。

李賢衛(2002)假定研究計畫區台南科技工業區為新設污染源，以原設定硫氧化物排放總量進行面源 ISC 模擬，進而推導計畫區內硫氧化物容許增量及排放總量限值。結果顯示不同面源源排放高度，HR (Release height)=5m 時，硫氧化物容許增量為 0，排放量限值須由所設定之 875Ton/y，向下修正至 459Ton/y；HR=10m 時，硫氧化物容許增量為 0，排放量限值須由所設定之 875Ton/y，向下修正至 801Ton/y。

目前 AERMOD 模式在國內研究的相關文獻並不多。而國外相關文獻如下：

Venkatram (2004)研究指出 AERMOD-PRIME 和 ISC-PRIME 這兩者在模擬城市地區裡小型污染源時，濃度會高估觀測值的現象。

Orloff (2005)利用 ISCST3 及 AERMOD 去模擬 HCN 的汙染分佈情形，結果顯示 ISC3 的模擬值比觀測值高出很多，反觀 AERMOD 的模擬值則較接近觀測值。

Isakov (2006) 使用現場觀測資料、氣象局資料、預測模式 MM5 MM5 (Fifth-generation Penn. State/Ncar Mesoscale Model)，這三種方法完成所需的氣象資料，結果顯示出使用預測模式 MM5 能提供足夠的氣象資料來使用。

Kesarkar (2006)利用氣象預測模式 WRF 生成所需的氣象資料，並搭配 AERMOD 模式來模擬 PM₁₀ 的汙染狀況。

Stein (2007)研究指出網格模式的缺點在於模擬的尺度過大，無法知道較小尺度(如城市)的汙染情形，因此這篇主要是整合 CMAQ、HYSPLIT、AERMOD 這三種模式，以改善網格模式的缺點。

本研究鑒於過去對於中可微粒空氣汙染排放特性尚欠完整，因此

1. 建立科學園區周圍微顆粒(PM_{2.5} 及 PM₁₀)分佈及重金屬成份分析。
2. 鑑定可能汙染來源。
3. 分析汙染分佈特性及可行減輕策略。
4. 建立風險評估指標。

第三章 研究方法

3.1 採樣點資訊

本研究選擇 (1)大雅老人文康中心 (Taya)，位於 CTSP 北方之採樣點 (2)東海大學 (THU)，總面積 150 公頃之校園，座落於台中市交界，為 CTSP 之南方採樣點 (3)佛光大樓 (FG)，位於 CTSP 及 TIP(台中工業區)之間的南方採樣點，靠近東海大學 (4)靜宜大學 (PU)，較偏向西北方之採樣點，以上 4 點來作為本研究之空氣品質測量對象。

本研究採樣點在夏季及冬季之優勢風向分別為東北及西南風，Fig.3.1 為周遭主要污染源及附近相關採樣點。在冬季東北風的案例中，大雅老人文康中心座落在 CTSP 東北方(上風處)2~3 km，而東海大學同樣也座落在離 CTSP 西南方(下風處)2~3 km 處。中部科學園區為一高科技工業區，本研究從營運之初即開始採集樣本，從 2007 年至目前 2009 年。而中部科學園區內主要之工業種類包含光電產業、半導體業、生物技術及精密機械工廠等等。佛光大樓位於 CTSP 及 TIP 之間，靠近東海大學；台中工業區為一傳統輕工業園區，包含了幾種低污染發散工業，如塑膠製造廠、金屬精練廠、工具機械及煉鋼廠等等。靜宜大學較偏向西北方，為距離 CTSP 較遠的一個採樣點，但推測仍在污染擴散範圍之內。

3.2 氣象資料與前處理與計算

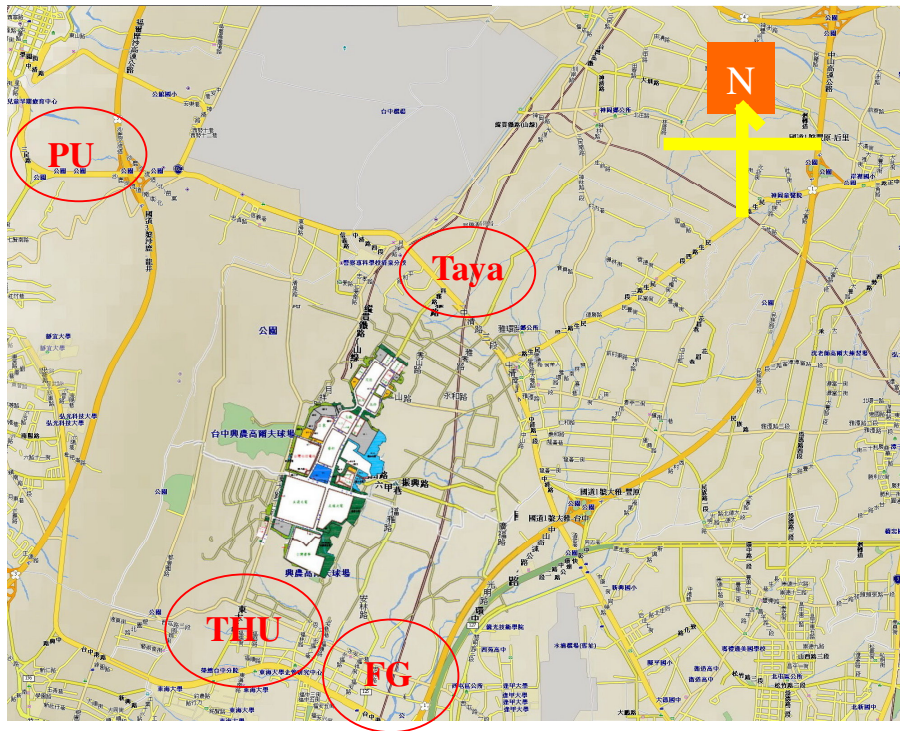


Fig.3.1 For cases like northeast bound wind in the winter, Taya is located about 2~3 km (windward location) away from the CTSP northeast direction. THU is the same and located about 2~3 km (downwind location) away from the CTSP southwest direction. FG locates between CTSP and TIP, near THU. PU is located at the northwest direction which is a sampling point farther from CTSP (Papago, R17)

Table 3.1 From the meteorological data gathered by Central Weather Bureau (Wuchi station) and EPA (Si-Tun station), it includes temperature, relative humidity, prevailing wind direction and wind speed for all research sampling dates (2008~2009)

Date	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Prevailing Wind Direction	Wind speed (m/s)
2008/01/09	21.8	75	NE	4.5
2008/04/15	25.4	71	NNW	3.9
2008/04/16	27.2	67	NW	1.2
2008/04/22	26.7	69	NNW	5.0
2008/04/24	20.1	66	ENE	4.2
2008/09/03	27.5	81	ENE	1.0
2008/09/09	29.3	72	NW	1.4
2008/09/10	29.7	72	NNW	1.3
2008/10/02	26.0	74	NW	1.5
2008/10/03	27.5	77	NNW	1.4
2008/10/08	27.1	75	N	1.0
2008/10/13	25.7	71	NW	1.6
2008/10/14	26	76	NW	1.9
2008/10/28	25.7	75	NNW	1.2
2008/10/29	26.5	73	N	1.0
2008/11/05	26.9	81	NW	1.5
2008/11/11	19.9	70	NNE	3.0
2008/11/13	21.4	74	NNE	1.6
2009/02/03	25.3	79	NW	1.3
2009/02/25	30.6	75	NW	1.4
2009/02/26	29.4	75	NW	2.1
2009/03/03	23.3	75	WNW	2.3
2009/03/04	28.3	74	NE	1.8
2009/03/11	24.7	85	NW	1.6
2009/03/12	26.9	82	WNW	1.2
2008/08/26	29.2	69	WSW	1.6
2008/11/12	20.8	67	ESE	1.2

Table 3.1為採樣期間台中地區之氣象資料，包含平均溫度(°C)、風速(m/s)、優勢風向以及相對濕度(%)。本研究之所有氣象數據皆收集自中央氣象局(梧棲站)和環保署(西屯站)。

從氣象數據顯示，平均風速及相對濕度各自介於1.0~5.0 m/s、66~85 %，而平均溫度範圍在19.9~30.6°C。而優勢風向在冬季多為北風、夏季為南風，且冬季北風之風速有較夏季南風之風速高。

3.2.1 氣象檔計算程序

本研究所探討對象為台中中部科學園區之週遭空氣品質污染流佈之影響，因此參考中興大學謝宏益之碩士論文(2008)，以2005年梧棲地面氣象測站及板橋探空氣象站之全年探空氣象資料作為本研究空氣品質模式模擬之用。再將地面與探空氣象資料檔案格式與內容進行轉換，轉為AERMET氣象前處理模式所能處理的格式，其程序如Fig.3.2所示。

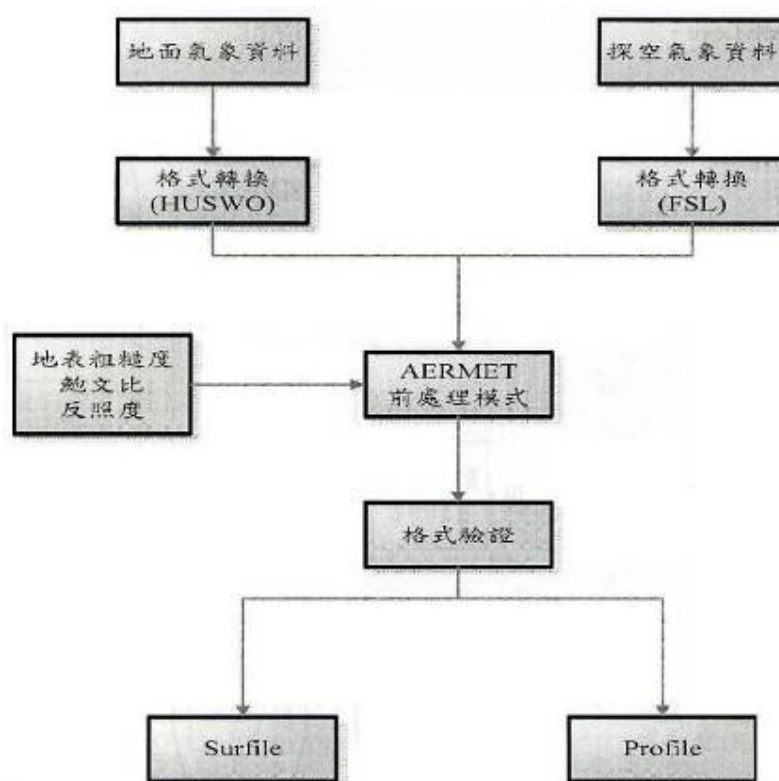


Fig.3.2 AERMOD meteorological information processing procedure

3.2.2 AERMET 氣象前處理模式之運作

AERMET處理氣象過程主要分成3個階段(如Fig.3.3所示)，及2個執行檔完成3個階段的數據處理。第1個執行檔為STAGE1N2.exe，用於提取數據和對其進行評估(第1階段)以及將數據合併到1個單獨的24小時週期文件檔(第2階段)；第2個執行檔為STAGE3.exe，將合併檔的數據生成AERMOD所需要的輸入文件(第3階段)。無論何時執行其中1個執行檔，都必須要先建立1個主輸入檔(STAGE1N2.inp，STAGE3.inp)來定義AERMET將執行哪些階段的運算。目前AERMET最新的版本已經將STAGE1N2.exe、STAGE3.exe這2個執行檔合併為1個執行檔AERMET.exe。

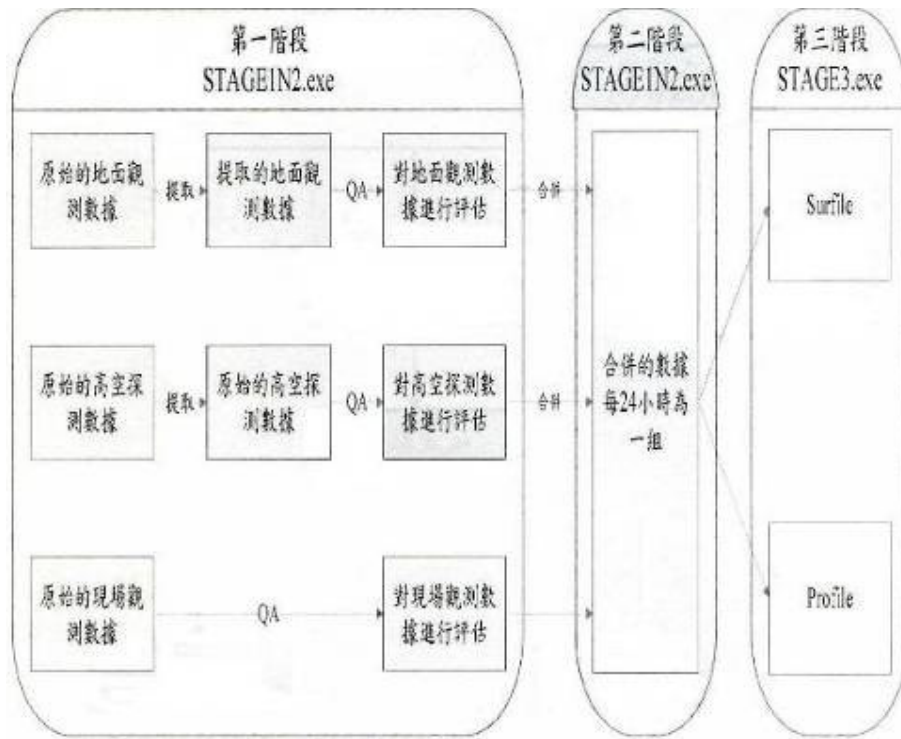


Fig.3.3 Flow chart for AERMET processing data

3.3 樣品篩選收集與儀器

所有大氣微粒樣品皆根據NIEA A305. 11C在所有採樣點使用PM₁₀ high volume air sampler做收集，所有樣品皆採集24小時而得，共104 個樣品數。有時因為驟雨的發生而導致樣品受潮則會將之排除在總樣品數外。在所有採樣期間，共有19個樣品受潮而將之排除。因此，總樣品數為85個。

Fig.3.4為本研究之採樣器PM₁₀ high volume air sampler (Particulate matter 10 microns and less High volume air sampler, Tisch Environmental, Inc., TE-6070 High Volume MFC)，用來收集周遭PM₁₀、PM_{2.5}。此採樣器以石英濾紙(2500 QAT-UP, Gelman Science, USA)來收集大氣微粒。而初始進流速率約為1,132 L/min。

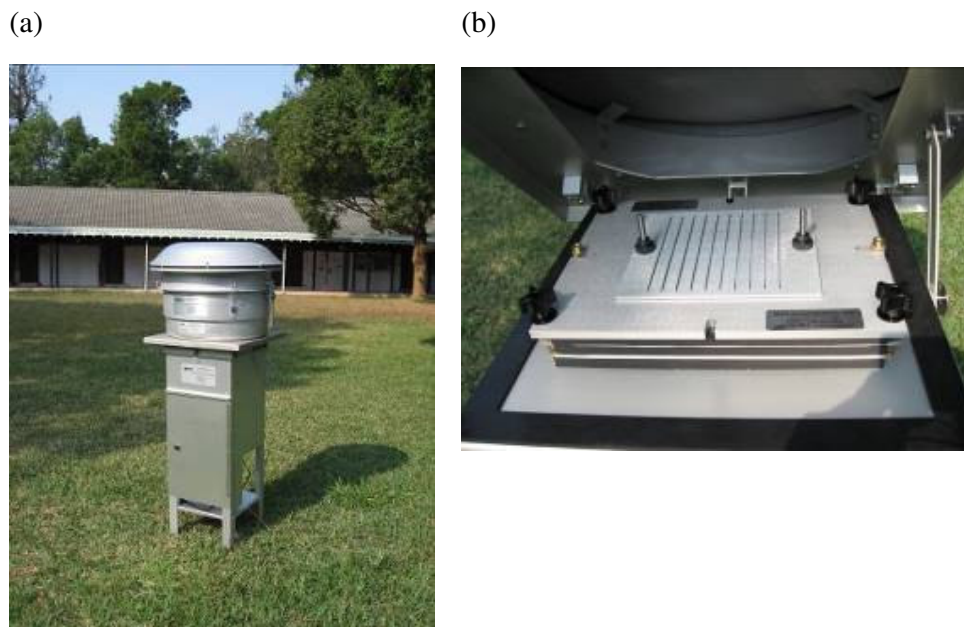


Fig.3.4 PM₁₀ high volume air sampler, Tisch Environmental, Inc., TE-6070 High Volume MFC, (a) shape (b) internal structure : the filter of 10 μ m and 2.5 μ m

3.4 分析步驟

三大分析步驟：(1)濾紙準備工作 (2)消化萃取 (3)金屬分析。Table 3.2為本研究實驗之流程表。

Table 3.2 The Heavy metal of PM₁₀ and PM_{2.5} .Collection Procedure

I. 濾紙前處理流程

石英濾紙

1. 置於穩定的相對濕度 50±5%，溫度 25±5°C 的電子恆溫箱中至少 24 小時
2. 秤重且放置在密封的夾鏈袋中

II. 微粒物質採樣(NIEA A305. 11C)

1. 採樣儀器以流量 1,132 L/min (40 cfm) 運轉 24 小時
2. 所有採樣點一致

III. 金屬分析(NIEA A301. 11C)

A. 消化

1. 秤重並將濾紙剪成 12 條等分大小
2. 取中央部份其中之一剪成小塊
3. 放置在燒杯裡
4. 利用硝酸及鹽酸以 3:1 比例及 3D 水進行消化
5. 加熱至 95°C 放置 2 小時

B. 金屬濃度分析

1. 消化溶液樣品以 3D 水稀釋至 100 毫升
2. 再以 FAAS 及 GFAAS 分析樣品溶液的金屬濃度

3.4.1 濾紙前處理流程

採樣前放置於相對濕度 50±5 %、溫度 25±5 °C 的電子恆溫箱中 24 小時。及後，將前處理過後之濾紙放置於乾淨之夾鏈袋 (resealable bag) 中以方便儲存及運送。

3.4.2 儀器校正

每次實驗前及實驗後，皆須校正儀器流量，依照 High Volume Air Samplers 之操作手冊 (Tisch Environmental, Inc. 出版) 指示，本實驗 PM₁₀ 空氣採樣器之流量校正，係以 Tisch Environmental, Inc. 出品之型號 ORIFICE 流量校正器 (Toll Free 1-TSP-AND-PM10) 進行校正。其校正步驟如下：

1. 將合金套筒置於 PM₁₀ 空氣採樣器之正確位置，以模擬實際採樣狀況。

2. 將濾紙套環取下，將 ORIFICE之流量校正器置於濾紙之位置。
3. 連接水柱高差壓力計。
4. 開啟文氏流量閥且打開電源開關熱機。
5. 調整抽氣體積控制螺旋，依序將壓力讀數表上做五點校正，並同時記錄壓力計之水柱高差。
6. 重複步驟5，將壓力讀數表之讀數，依步驟5 之相反順序，並同時記錄不同壓力讀數時之水柱高差。
7. 將步驟5 與步驟6 所得之數值，畫出迴歸曲線，並將所得之曲線與Tisch Environmental, Inc. 所提供之水柱高度差與流量之相關曲線圖相互結合成壓力讀數表與流量之相關曲線圖，則完成PM₁₀流量校正。

3.4.3 消化萃取

採樣後，先將濾紙置於電子恆溫箱中靜置24小時之後再秤重，秤重是以一5位數微量天平(TB 215D, Denver, Germany)來秤重。之後將濾紙以塑膠刀切為12等分，取其中1等份進行消化；而消化是以65%強硝酸及37%強鹽酸以三比一比例混合後進行萃取，再一起置於平板加熱器加溫2小時 (Hot Block Model SC 150, USA, 如Fig.3.5) 以利萃取，最後樣品消化液再用1.2 μ m 玻璃纖維濾紙 (Whatman Cat No. 1822 047) 及3D水稀釋過濾至100 ml。完成此步驟後，即可將樣品消化液以原子吸收光譜儀(Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)進行金屬分析。



Fig.3.5 Flat platform heater (Hot Block Model SC 150, USA).

3.4.4 金屬分析

所有樣品之金屬元素皆以原子吸收光譜儀(Z-5000, Hitachi, Japan)進行分析。原子吸收光譜儀包含兩部份：一為火焰式原子吸收光譜儀(FAAS)、另一為石墨式原子吸收光譜儀(GFAAS)。本研究中，鐵、鈣、鎂和鋅是以火焰式來分析；砷、鉻、鎘、銅、錳、鎳和鉛則是以石墨式(NIEA A301. 11C)來做分析。Fig.3.6 為Polarized-Zeeman Hitachi Atomic Absorption Spectrophotometer。



Fig.3.6 Polarized-Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometer (Z-5000, Hitachi, Japan). It is comprised of two parts : Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS), and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (GFAAS).

3.5 微粒及金屬濃度計算

3.5.1 微粒濃度

先以微量天平秤重再來計算其微粒濃度。而計算是經由下列公式所求得：

$$\text{懸浮微粒} = \Delta W / \text{總吸引量} * 1,000,000 \quad (\text{式 3.1})$$

$$\text{總吸引量} = (Q_1 + Q_2) / 2 * 1,440 \quad (\text{式 3.2})$$

式中之 $\Delta W(\mu\text{g})$ 為微量天平所秤出之後重減去前重，

$Q_1 (\text{m}^3/\text{sec})$ 為採樣前所得之流量，

$Q_2 (\text{m}^3/\text{sec})$ 為採樣後所得之流量，

3.5.2 金屬濃度

金屬濃度是以下(式 3.3)所求得，此式可用來算取微粒中之金屬濃度。

$$\text{重金屬濃度} = \text{Conc.} (\text{ng}/\text{m}^3 \text{ or } \mu\text{g}/\text{m}^3) \times N \times 100 / \text{總吸引量} \quad (\text{式 3.3})$$

式中之

Conc. 為原子吸收光譜儀所求得之濃度，

N 為所分割之等分數，以 12 等分為主。

3.6 QA/QC

品質控管為系統分析裡的一部份，主要用來確保實驗數據的品質及測量過程的準確性，提供實驗數據的可信度。

本研究之品質控管包括方法偵測極限(MDL)、空白採樣及回收率。MDL是用來測定金屬濃度之最低濃度等級，利用三重複實驗來偵測11種金屬濃度獲得斜率。Table 3.3為各種金屬之MDL值。空白採樣也稱為野外空白，於採樣環境中另準備一採樣介質，但並不經採樣儀器，單純置放於環境中，可瞭解環境本身之對介質所造成之污染。最後分析之結果則依樣本上機分析所得之數據扣除空白因污染所造成之高估現象做為最後之實測值。採樣空白是以一乾淨之夾鏈袋來存放，並放置在採樣點相同環境下24小時，最後以火焰式及石墨式原子吸收光譜儀一起分析所有金屬元素。最後，本研究之金屬回收率介於80~125%，非常接近理論上100%最大回收等級。

本研究不論方法偵測極限(MDL)、空白採樣及回收率所有程序皆使用實驗及採樣標準方法。

Table 3.3 The 11 metals' QA/QC data of Method Detection Limit (MDL)

AAS type	Chemical Species		Method Detection Limit (MDL)(mg/L)	Detection Limit* (µg/m ³)
FAAS	Iron	Fe	17.00	2.27
FAAS	Magnesium	Mg	0.36	0.05
FAAS	Calcium	Ca	11.00	1.47
FAAS	Zinc	Zn	4.60	0.62
AAS type	Chemical Species		Method Detection Limit (MDL)(µg/L)	Detection Limit* (ng/m ³)
GFAAS	Lead	Pb	17.00	2.27
GFAAS	Chromium	Cr	0.54	0.07
GFAAS	Cadmium	Cd	6.00	0.80
GFAAS	Copper	Cu	13.00	1.73
GFAAS	Manganese	Mn	11.00	1.47
GFAAS	Arsenic	As	3.00	0.40
GFAAS	Nickel	Ni	13.00	1.73

FAAS: Flame Atomic Absorption Spectrophotometer.

GFAAS: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer.

*The date of analysis: 2008/01/08

重金屬濃度 = $\text{Conc. (ng/m}^3 \text{ or } \mu\text{g/m}^3) \times N \times 100 / \text{總吸引量}$

式中之 Conc. 為原子吸收光譜儀所求得之濃度，

N 為所分割之等分數，以 12 等分為主

3.7 主成分分析法(PCA)

大體而言，欲確認污染來源可利用兩種方法，一為統計分析、一為模式模擬。主要統計方法是以有效數據來確認發散來源。而模式模擬則是藉由輸入氣象參數及發散數據，利用電腦來模擬受體點之污染擴散及累積。一些學術研究也建議利用簡易的統計法來確認污染來源，因為統計法在計算上較模擬法快速且簡便。本研究以常見的統計法，主成分分析法(PCA)，來做東海大學校園附近可能之污染來源確認。除此之外，亦利用兩種模式來調查模擬採樣數據及污染範圍之合理性。

主成份分析(Principal component analysis, PCA)主要在求得具有物理意義的污染源貢獻因子，大氣採樣中各離子濃度經正規化(Normalized)後計算其相關矩陣(Correlation Matrix)，再經轉軸運算，由因子負荷矩陣中樣本所含各離子相對應於污染源因子的相關係數，可選出主成份因子的組成離子，這些離子的來源即成為主成份因子的污染源貢獻成份。對於決定因子中重要組成離子的取捨相關係數，有採用0.7 以上的數值(Hooper *et al.*, 1978)，亦有取0.5(Thurston *et al.*,

1985) 或0.3 (Wolff *et al.*, 1985) 的數值為界限。本研究對因子負荷矩陣中離子相對應於主成份因子相關性的判斷規則可歸納如下：

因子負荷值大於0.7 者，視為高度相關於此一主成份因子；

因子負荷值介於0.7~0.5 者，視為中度相關於此一主成份因子；

因子負荷值介於0.5~0.3 者，視為輕度相關於此一主成份因子；

至於因子負荷值的正負相關特性，則可對一主成份因子予以輔助性的判斷。本研究之主成份分析法是以統計軟體Statistical Package for Social Science (SPSS; Windows version 10.0).所做出。

3.8 地形高度之網格化與地形檔之建置

一般而言，空氣污染物的傳輸會受到高山地形的影響，在模擬區域中若遇高山地形時，則空氣污染物會撞上山壁而被反彈或被山壁吸收，進而影響該區域的污染物濃度。因此在使用空氣品質模式進行模擬時，需對模擬區域地形的相關資料進行了解。依據環保署(1998)之「空氣品質模式評估技術規範」中，所指稱之地形可分為平坦地形、簡單地形與複雜地形。

「平坦地形」：為完全沒有顯著起伏者。

「簡單地形」：為地形高度均小於煙囪高度者。

「複雜地形」：為地形高度會大於煙囪高度者。

衡量模擬區域內採用何種地形，首先就要先對模擬區域的地形進行了解，再配合模擬網格的大小來建置地形高程，以取得較精確之模擬結果。本研究模擬範圍地形高程的建置是將「空氣品質模式支援中心」網站上所提供的台灣200m 解析地形檔 (terr200m)，裡面資料為UTM座標，且每一筆為200×200 m並相對應地形高程值，此地形檔可以藉由ArcView、Surfer 8、Global Mapper 9，等軟體繪製成台灣地形高程圖(如Fig.3.7所示)。將上述資料匯入到MYSQL伺服器裡，並進一步篩選出所模擬的範圍，以本研究為例(如Fig.3.8所示)，所選的地形為複雜地形，篩選範圍為UTM座標東距19,500至22,500、北距2,660,000至2,690,000 (50×50 km)的地形高程資料。再將資料利用軟體Transform或者Surfer 8進行網格插值的計算，將原本200×200 m的網格轉化成每一格網格大小為500×500 m所對應的地形高程，總共10,000格，最後將模擬範圍內的網格點地形高程，配合所對應的網格座標建立成電子檔，即完成地形檔的建置。

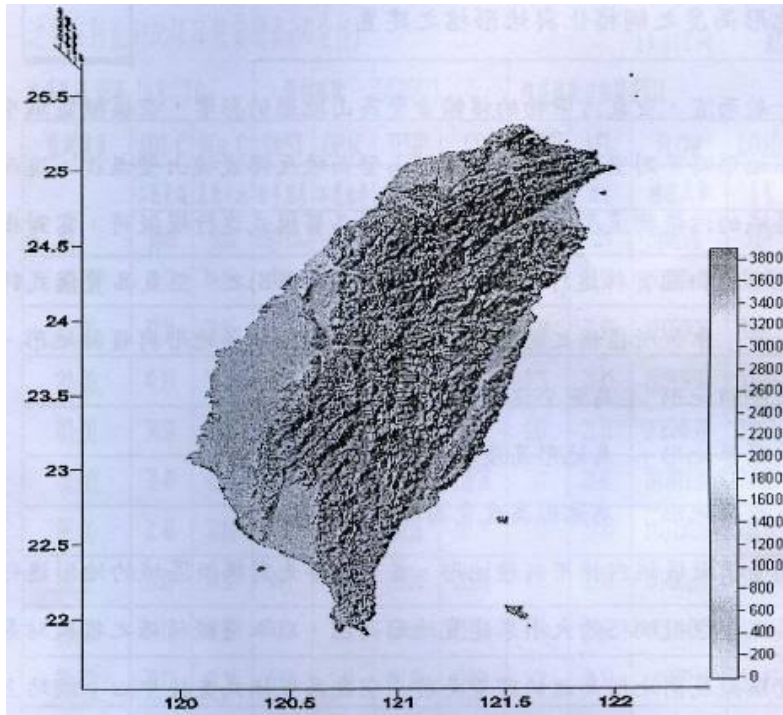


Fig.3.7 Terrain altitude map of Taiwan.

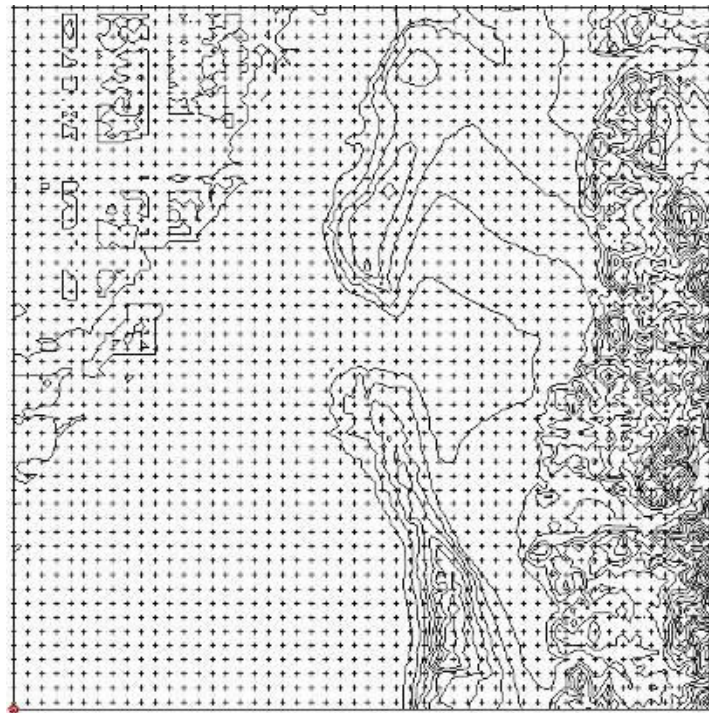


Fig.3.8 Grid map in 50x50km simulation scope (Central Taiwan region)

第四章 結果與討論

4.1 懸浮微粒分析

4.1.1 PM_{2.5}, PM₁₀

大氣中懸浮微粒，就其形成狀態及來源而言，可概略分為兩類：原生性(primary)污染物與二次(secondary)污染物。原生性污染源主要源自於污染源的直接產生，如塵土的揚起、海水飛沫、火山爆發所釋出的火山灰、農廢燃燒及經由工業製程的直接排放與交通工具排放等，此類污染物粒徑分佈較廣，其中燃燒過程產生的微粒大部份小於2.5 μm ，二次污染物主要由大氣中氣態污染物經化學反應而形成，其粒徑大多集中在小於2.5 μm 之細微粒。

在空氣污染嚴重的日子當中，通常能見度也會相對地降低，空氣中懸浮微粒是造成能見度降低的最主要原因，影響大氣能見度之重要因子包括懸浮微粒的折射率、濃度、粒徑及形狀等，而影響最大的是介於可見光(visible light)波長範圍之間的微粒，絕大部分的可見光被此粒徑範圍之微粒散射而偏離原來的行進方向，導致能見度的降低(氣象局，1986)。

Watson (1979) 曾對1979年以前各種污染源資料加以研究整理，並建議一些適當的採樣方法，文獻中將微粒來源分為地殼組成物質(geological material)、交通運輸工具排放(motor vehicle exhaust)、固定源石化燃料燃燒(residential coal combustion)、植物燃燒排放(vegetative burning)、木製品工業排放(wood smoke emissions)、植物的微粒源排放(plant fragments)、鋁、鐵等工業及其它的點源排放等九大類。其後美國環保署(U.S. EPA, 1984)出版的微粒化學組成資料庫則彙編了1984年以前已見於文獻的污染源化學成份組成，並將污染源劃分成20大類，其中部分與Watson的分類相似。此項資料庫同時列出採樣的地點、微粒的粗粒徑(氣動直徑在2.5-10 μm 之間)及細粒徑(氣動直徑小於2.5 μm)資料。

袁中新等(1999)於高雄都會區進行能見度與懸浮微粒物化特徵之相關性探討得知PM_{2.5}對總散光係數(scattering coefficient)之貢獻量為91.3%，其中0.26~0.90 μm 之微粒對散光係數之影響最為明顯，其所佔比例高達71.6%。當相對濕度介於60~70%及80~90%間，懸浮微粒之散光係數會有明顯增加之情形。就懸浮微粒化學組成而言，細微粒之主要成份為硫酸銨及有機碳，其次為元素碳及硝酸銨。此外，由多項式迴歸結果顯示，影響能見度之化學因子為硫酸銨、硝酸銨及元素碳等，且經研究證實衍生性氣膠為造成高雄市能見度不佳之最主要原因。

周韋均等(2006)在PM_{2.5}及PM_{2.5-10}氣膠化學組成量測研究中指出，在中部地區南投及霧峰測站其粒徑分佈方面，4月份兩側站PM_{2.5}/PM₁₀比值皆大於0.5，而9月份密集觀測期間，比值更大於0.7，顯示大氣懸浮微粒均以細微粒為主，如Table 4.1所示。

Table 4.1 Suspended particle average mass concentration and PM_{2.5}/PM₁₀ ratio observed at Nantou and Wufong stations.

Sampling Period	Sampling Point	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM _{2.5-10} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} /PM ₁₀
4/03~4/09	Nantou	60	49	110	0.6
	Wufong	51	42	93	0.6
9/14~9/21	Nantou	52	17	68	0.7
	Wufong	55	22	77	0.7

(周韋均, 2005)

楊易霖(2002)在台中工業區及東海大學理學院利用高量採樣器(PUF-Sampler)分別使用石英濾紙收集附著於懸浮微粒上的 PAHs (p-PAHs), 於 2002 年 8 月至 2003 年 3 月兩地同時進行每次 2 天的 24 小時採樣。經由相關性研究的結果顯示, 溫度與氣相 PAHs 和附著於懸浮微粒上的 PAHs 之濃度有顯著的相關性。其微粒資料如 Table 4.2 所示。

Table 4.2 Average monthly mass concentrations of PM_{2.5}, PM_{2.5-10} and PM₁₀ during sampling period at the farm sampling site.

Sampling Period	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM _{2.5-10} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} /PM ₁₀
January, 2002	35.5	21.6	57.1	0.63
February, 2002	42.4	18.2	60.6	0.69
March, 2002	52.1	17.3	69.3	0.73
April, 2002	41.4	20.6	62	0.68
Ave.	42.8	19.4	62.2	0.68

(楊易霖, 2002)

而本研究中所採集濾紙經秤重後, 所得之數據如 Table 4.3 所示。幾乎所有的 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值皆在 0.5 以上, 有時更高達 0.8~0.9, 與過去文獻比較, 明顯指出微粒有細粒化之趨勢。Watson (1979)等學者對大氣中之金屬元素作調查, 發現氣動粒徑 (Aerodynamic diameter) 小於 2.5µm 之懸浮微粒, 其金屬元素之含量以 Al、Si、Ti、Fe、Zn、Pb 較高。研究顯示當微粒粒徑在 2-5µm 範圍內經人體呼吸道吸收, 約有 10% 以下沈積於支氣管, 約有 20-30% 沈積於肺泡; 至於粒徑小於 2µm 之懸浮微粒, 大都沈積在肺泡組織中, 由肺吸收後經由血液及淋巴擴散至全身, 對人體產生危害, 如鎘已被證實會造成肺部疾病及具有致癌趨勢。因此 1996 年美國環保署 (EPA) 發佈新的國家環境空氣品質標準 (NAAQS) 便指出由流行病學的研究顯示, PM_{2.5} 會對人體的健康造成影響, 其後的研究更指出 PM_{2.5} 微粒中所含的重金屬如 Cu、Fe、Ni、V 和 Zn 對人體健康危害具有嚴重的影響, 應對此做出更完善的法律規範。

Table 4.3 Sampling data and information for this research and the ratios for

PM_{2.5}/PM₁₀					
採樣期間	採樣點	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5-10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} /PM ₁₀
2008/04/15	東海	91.06	17.34	108.40	0.84
	大雅	30.00	5.30	35.30	0.85
2008/04/16	東海	113.02	11.18	124.20	0.91
	大雅	56.27	9.93	66.20	0.85
2008/04/22	東海	71.85	71.85	143.70	0.50
	大雅	88.75	14.45	103.20	0.86
2008/04/24	東海	83.90	26.50	110.40	0.76
	大雅	25.30	68.40	93.70	0.27
2008/09/03	佛光	24.96	11.44	36.40	0.69
	靜宜	82.38	27.18	109.56	0.75
2008/10/02	佛光	38.74	30.79	69.71	0.56
	靜宜	142.91	33.75	176.66	0.81
2008/10/03	佛光	118.37	40.65	159.02	0.74
	靜宜	57.00	52.78	109.78	0.52
2008/10/28	佛光	71.38	36.22	107.60	0.66
	靜宜	76.83	58.32	135.15	0.57
2008/10/29	佛光	66.28	27.39	93.67	0.71
	靜宜	62.98	35.25	98.23	0.64
2009/02/03	東海	32.08	0.81	32.89	0.98
	大雅	73.16	37.74	110.90	0.66
2009/02/25	東海	51.69	64.91	116.60	0.44
	大雅	39.86	26.76	66.62	0.60
2009/02/26	東海	-	-	-	-
	大雅	44.57	30.42	74.99	0.59
2009/03/03	東海	27.43	19.64	47.07	0.58
	大雅	12.92	12.15	25.07	0.52
2009/03/04	東海	37.49	37.09	74.58	0.50
	大雅	40.54	26.46	67.00	0.61
2009/03/11	東海	48.47	20.27	68.74	0.71
	大雅	65.34	20.59	85.93	0.76
2009/03/12	東海	-	-	-	-
	大雅	31.06	42.42	73.48	0.42

4.1.2 重金屬成份分佈

大氣環境中之金屬元素主要附著於粒狀物表面，經由呼吸道而進入人體。粒狀物是否能穿透和進入人體，係由粒狀物之粒徑大小決定。在煙道廢氣之粒狀物主要由高溫蒸氣冷凝成原發性微粒，再經凝聚及聚合而成，粒徑範圍在0.01-0.1 μm 之間，排放後可在短時間和其他粒子互相碰撞凝聚而成較大之微粒。煙道廢氣中之重金屬會冷凝於粒狀物表面，Gereda 等（2000）對煤飛灰粒狀物進行調查，發現大部分金屬元素分佈在0.5-5 μm 範圍之微粒上，且細微粒具有高表面積/體積比，使得在細微粒上具有高濃度的元素，而當微粒粒徑近似於0.5 μm 時，空氣污染防治設備（如ESP，Baghouse）會有最低的去除效率。

張等（1994）對飛灰上所吸附的重金屬研究發現，As、Cu、Pb、Zn 的濃度隨微粒粒徑增大而降低，細微粒上濃度較高且比表面積較高者濃度有升高的傾向。李俊德等（1997）研究發現，高溫污染源（如工業煙道）排放之微粒多以粒徑小於2.5 μm 為主，而當煙道廢氣中之重金屬吸附於粒徑小於2.5 μm 之微粒時，便不易由空氣污染防治設備去除，使得重金屬易隨著粒狀物排放至外界大氣中。

Fig.4.1與Table 4.4為本研究所分析之7種重金屬元素，依序為As、Cd、Cu、Pb、Ni、Mn、Cr。由圖表看出，近年來大部分重金屬含量皆有下降之趨勢，如重金屬As，過去曾一度測出高值，而如今測值約在1.26~2.32 ng/m^3 ；但亦有少數重金屬如：Pb、Ni，較以往有攀升之情況。而對於Pb及Ni之濃度來源，一般為工業區所排放，但仍有必要持續監測。

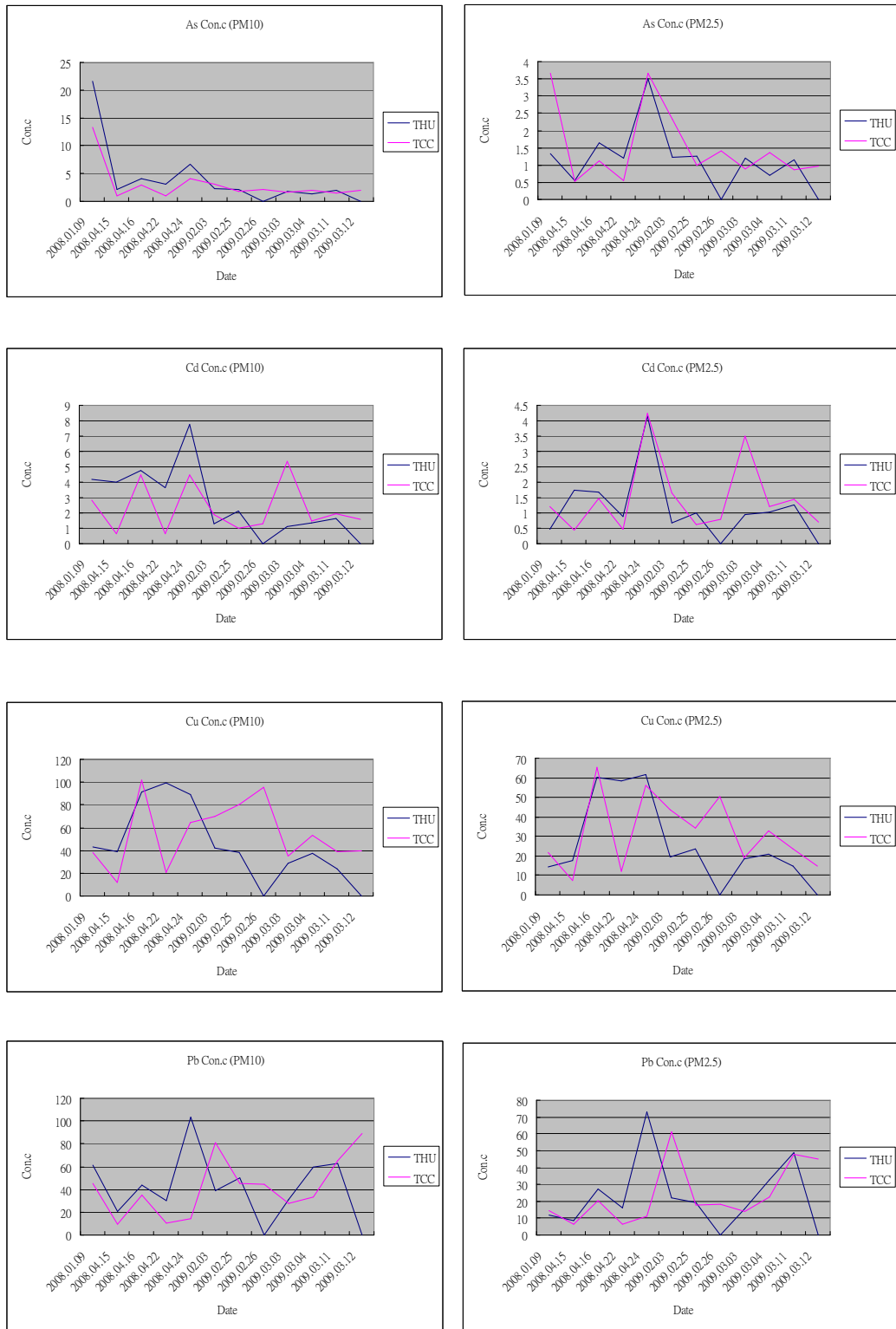


Fig.4.1 Heavy metal sampling data information for this research

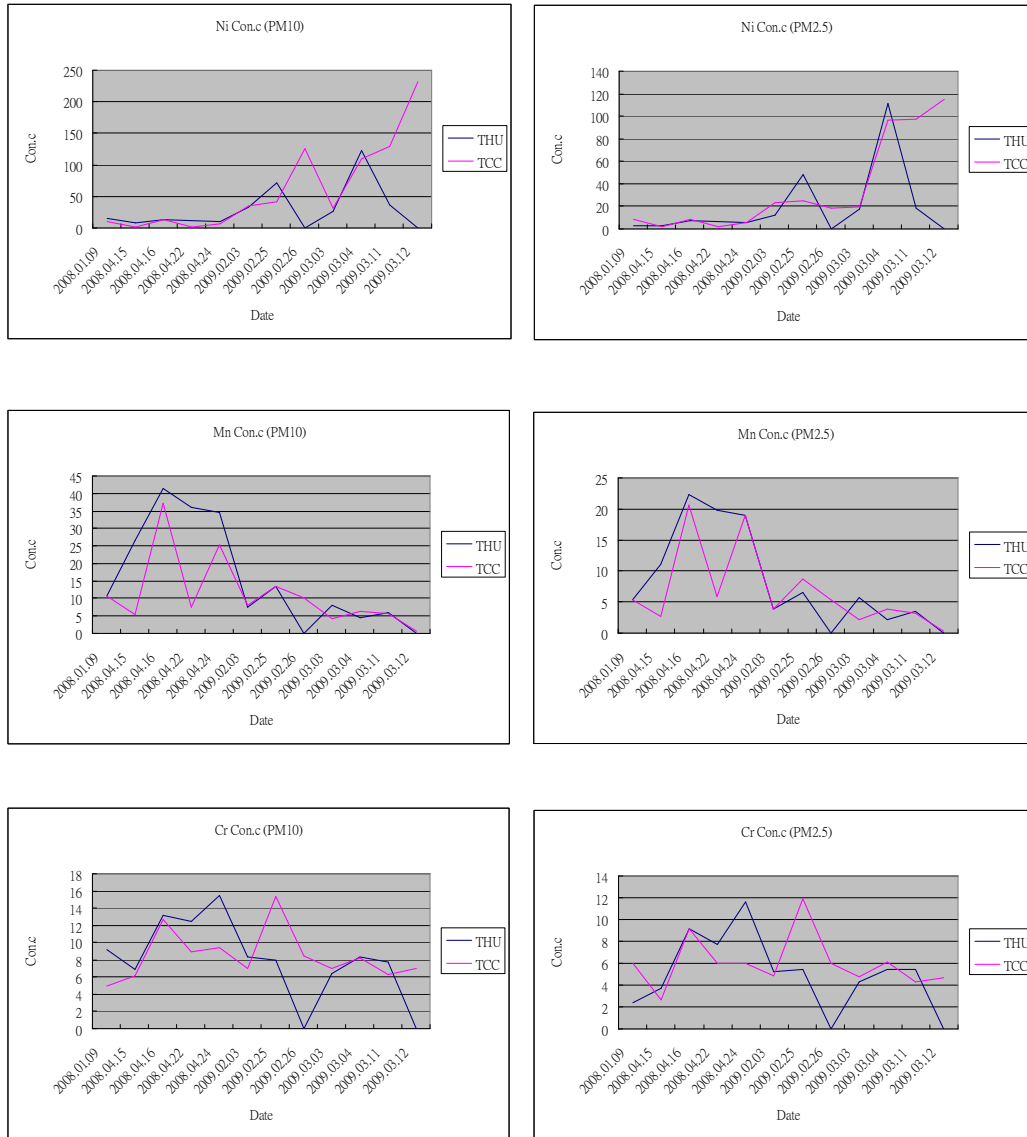


Fig.4.1 Heavy metal sampling data information for this research (cont.)

Table 4.4 Heavy metal sampling data information for this research

Speed	4.5m/s			Direction	NE		
	Date			2008.01.09			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	21.6	13.3	+	As	3.67	1.34	+
Cd	4.17	2.81	+	Cd	1.22	0.46	+
Cu	43	38.2	+	Cu	21.7	14.2	+
Pb	61	45.4	+	Pb	14.5	11.6	+
Ni	14.8	10.5	+	Ni	8.04	2.85	+
Mn	10.6	10.7	-	Mn	5.32	5.32	-
Cr	9.16	4.93	+	Cr	6.04	2.35	+
Fe	0.98	0.51	+	Fe	0.92	0.44	+
Mg	0.32	0.29	+	Mg	0.3	0.17	+
Ca	0.98	0.66	+	Ca	0.92	0.52	+
Zn	0.75	0.59	+	Zn	0.32	0.16	+
Speed	3.9m/s			Direction	NNW		
	Date			2008.04.15			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	2.08	0.96	+	As	0.55	0.53	-
Cd	3.99	0.62	+	Cd	1.75	0.45	+
Cu	39.14	12.22	+	Cu	17.77	7.2	+
Pb	20.42	9.23	+	Pb	8.58	6.27	+
Ni	7.86	2.41	+	Ni	3.18	1.67	+
Mn	26.39	5.46	+	Mn	11.05	2.72	+
Cr	6.91	6.14	+	Cr	3.7	2.66	+
Fe	0.32	0.15	+	Fe	0.27	0.08	+
Mg	0.81	0.15	+	Mg	0.66	0.08	+
Ca	0.9	0.3	+	Ca	0.35	0.18	+
Zn	0.19	0.07	+	Zn	0.07	0.03	+
Speed	1.2m/s			Direction	NW		
	Date			2008.04.16			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	4	2.88	+	As	1.64	1.12	+
Cd	4.75	4.49	+	Cd	1.69	1.47	+
Cu	91.13	101.33	-	Cu	60.04	65.49	-
Pb	43.33	35.13	+	Pb	27.33	20.34	+
Ni	13.49	12.67	+	Ni	7.23	8.01	-
Mn	41.48	37.26	+	Mn	22.34	20.6	+
Cr	13.21	12.69	+	Cr	9.16	9.13	-
Fe	1.5	1.79	-	Fe	1.3	1.36	-
Mg	2.36	1.75	+	Mg	2.11	1.56	+
Ca	1.23	1.18	+	Ca	1.03	0.89	+
Zn	0.29	0.45	-	Zn	0.16	0.29	-

Table 4.4 Heavy metal sampling data information for this research (cont.)

Speed	5.0m/s			Direction	NNW		
	Date			2008.04.22			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	3.15	0.93	+	As	1.2	0.56	+
Cd	3.65	0.66	+	Cd	0.87	0.46	+
Cu	99.47	20.63	+	Cu	58.53	12.07	+
Pb	30.16	9.95	+	Pb	16.08	6.3	+
Ni	11.91	2.09	+	Ni	6.21	1.42	+
Mn	36.11	7.39	+	Mn	19.85	5.86	+
Cr	12.48	8.96	+	Cr	7.73	6	+
Fe	1.86	0.1	+	Fe	1.39	0.04	+
Mg	2.29	0.2	+	Mg	1.96	0.13	+
Ca	1.07	0.43	+	Ca	0.77	0.33	+
Zn	0.3	0.04	+	Zn	0.15	0.02	+
Speed	4.2m/s			Direction	ENE		
	Date			2008.04.24			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	6.63	4.04	+	As	3.51	3.66	—
Cd	7.78	4.49	+	Cd	4.16	4.23	—
Cu	88.86	64.66	+	Cu	61.57	56.09	+
Pb	102.97	14.38	+	Pb	73	11.12	+
Ni	10.04	6.04	+	Ni	5.15	5.47	—
Mn	34.43	25.27	+	Mn	18.97	19.04	—
Cr	15.46	9.37	+	Cr	11.6	6.01	+
Fe	2.43	0.75	+	Fe	2.25	0.69	+
Mg	3.55	1.28	+	Mg	3.3	1.16	+
Ca	1.82	0.8	+	Ca	1.71	0.64	+
Zn	1.03	0.2	+	Zn	0.78	0.18	+
Speed	1.3m/s			Direction	NW		
	Date			2009.02.03			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	2.32	3.11	—	As	1.22	2.32	—
Cd	1.31	1.91	—	Cd	0.67	1.65	—
Cu	41.89	70	—	Cu	19.69	43.75	—
Pb	38.71	81.08	—	Pb	22.24	61.41	—
Ni	32.63	34.07	—	Ni	11.59	23.37	—
Mn	7.58	7.92	—	Mn	3.93	3.82	+
Cr	8.29	7.01	+	Cr	5.24	4.85	+
Fe	2.03	0.84	+	Fe	1.88	0.62	+
Mg	2.44	0.66	+	Mg	2.14	0.59	+
Ca	0.97	0.38	+	Ca	0.43	0.14	+
Zn	0.47	0.13	+	Zn	0.18	0.09	+

Table 4.4 Heavy metal sampling data information for this research (cont.)

Speed	1.4m/s			Direction	NW		
	Date			2009.02.25			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	2.12	1.76	+	As	1.26	1	+
Cd	2.13	1.01	+	Cd	0.99	0.63	+
Cu	38.12	80.35	—	Cu	23.5	34.15	—
Pb	49.98	45.39	+	Pb	19.35	17.74	+
Ni	70.46	41.12	+	Ni	47.81	24.58	+
Mn	13.43	13.42	—	Mn	6.52	8.78	—
Cr	8.02	15.31	—	Cr	5.41	11.9	—
Fe	1.06	2.21	—	Fe	0.92	1.71	—
Mg	2.28	0.89	+	Mg	2.07	0.48	+
Ca	1.03	0.58	+	Ca	0.92	0.22	+
Zn	0.32	0.08	+	Zn	0.11	0.02	+
Speed	2.1m/s			Direction	NW		
	Date			2009.02.26			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	-	2.14	-	As	-	1.41	-
Cd	-	1.27	-	Cd	-	0.78	-
Cu	-	95.09	-	Cu	-	50.38	-
Pb	-	44.24	-	Pb	-	18.3	-
Ni	-	125.24	-	Ni	-	18.12	-
Mn	-	10.18	-	Mn	-	5.37	-
Cr	-	8.51	-	Cr	-	6.01	-
Fe	-	1.23	-	Fe	-	1.11	-
Mg	-	0.79	-	Mg	-	0.65	-
Ca	-	1.09	-	Ca	-	0.96	-
Zn	-	0.37	-	Zn	-	0.04	-
Speed	2.3m/s			Direction	WNW		
	Date			2009.03.03			
PM₁₀(ng/m³)	THU	Taya	Trend	PM_{2.5}(ng/m³)	THU	Taya	Trend
As	1.85	1.58	+	As	1.21	0.9	+
Cd	1.12	5.34	—	Cd	0.95	3.51	—
Cu	28.31	35.32	—	Cu	18.35	19.04	—
Pb	31.25	27.89	+	Pb	15.73	14.1	+
Ni	26.92	31.55	—	Ni	18	19.75	—
Mn	7.93	4.06	+	Mn	5.73	2.16	+
Cr	6.38	6.96	—	Cr	4.32	4.79	—
Fe	0.93	0.77	+	Fe	0.81	0.64	+
Mg	0.66	0.53	+	Mg	0.56	0.39	+
Ca	1.42	0.91	+	Ca	0.98	0.77	+
Zn	0.67	0.43	+	Zn	0.35	0.12	+

Table 4.4 Heavy metal sampling data information for this research (cont.)

Speed	1.8m/s			Direction	NE		
	Date			2009.03.04			
PM ₁₀ (ng/m ³)	THU	Taya	Trend	PM _{2.5} (ng/m ³)	THU	Taya	Trend
As	1.26	1.91	—	As	0.7	1.35	—
Cd	1.33	1.49	—	Cd	1.02	1.22	—
Cu	37.71	53.24	—	Cu	20.86	32.93	—
Pb	59.46	33.19	+	Pb	32.56	22.72	+
Ni	122.79	109.55	+	Ni	111.22	96.08	+
Mn	4.5	6.13	—	Mn	2.11	3.86	—
Cr	8.31	8.22	+	Cr	5.41	6.06	—
Fe	2.13	2.02	+	Fe	1.77	1.62	+
Mg	1.03	0.89	+	Mg	0.88	0.74	+
Ca	0.78	0.32	+	Ca	0.69	0.19	+
Zn	0.39	0.07	+	Zn	0.15	0.03	+
Speed	1.6m/s			Direction	NW		
	Date			2009.03.11			
PM ₁₀ (ng/m ³)	THU	Taya	Trend	PM _{2.5} (ng/m ³)	THU	Taya	Trend
As	1.88	1.43	+	As	1.15	0.86	+
Cd	1.66	1.92	—	Cd	1.27	1.43	—
Cu	23.74	39.02	—	Cu	15.02	23.82	—
Pb	63.1	64.86	—	Pb	49.02	47.62	+
Ni	37.21	128.43	—	Ni	18.44	96.94	—
Mn	5.87	5.78	+	Mn	3.47	3.25	+
Cr	7.74	6.34	+	Cr	5.39	4.32	+
Fe	1.83	0.78	+	Fe	1.61	0.66	+
Mg	1.23	1.31	—	Mg	1.1	1.16	—
Ca	0.64	0.82	+	Ca	0.6	0.72	—
Zn	0.71	0.66	+	Zn	0.34	0.09	+
Speed	1.2m/s			Direction	WNW		
	Date			2009.03.12			
PM ₁₀ (ng/m ³)	THU	Taya	Trend	PM _{2.5} (ng/m ³)	THU	Taya	Trend
As	-	1.97	-	As	-	0.96	-
Cd	-	1.61	-	Cd	-	0.71	-
Cu	-	39.39	-	Cu	-	14.65	-
Pb	-	88.91	-	Pb	-	45.11	-
Ni	-	232.52	-	Ni	-	115.41	-
Mn	-	0.54	-	Mn	-	0.33	-
Cr	-	7.03	-	Cr	-	4.66	-
Fe	-	1.14	-	Fe	-	0.82	-
Mg	-	1.12	-	Mg	-	0.66	-
Ca	-	0.81	-	Ca	-	0.42	-
Zn	-	0.5	-	Zn	-	0.13	-
As	-	1.97	-	As	-	0.96	-

* Trend + : 上風處濃度 < 下風處濃度

Trend - : 下風處濃度 < 上風處濃度

4.2 統計分析

本研究對因子負荷矩陣中離子相對應於主成份因子相關性的判斷規則可歸納如下：

因子負荷值大於0.7者，視為高度相關於此一主成份因子；

因子負荷值介於0.7~0.5者，視為中度相關於此一主成份因子；

因子負荷值介於0.5~0.3者，視為輕度相關於此一主成份因子；

至於因子負荷值的正負相關特性，則可對一主成份因子予以輔助性的判斷。

將採樣所得的金屬濃度使用主成份分析，經極變轉軸(Varimax Rotation)後，相關係數的特徵值、佔總變異的百分比與累積百分比如Table 4.4 ~ 4.7 所示。此時凡特徵值大於1 的因子就會保留下來。

本研究針對夏、冬季兩種不同狀況來分析其上下風採樣點之污染來源，而所得結果如下，Table 4.5為冬季時下風處之東海分析結果，共得到3個主成份因子，可獲得84.36%的解釋變異量。

1. 第1主成份因子與 Mn、Cr、Cu、Cd、Mg 有高度相關，而 Mn、Cr、Cu、Cd 皆為人為活動貢獻的污染元素。傳統上，Pb 與 Zn 被視為分辨移動性污染源（汽機車排放）的主要指標元素，Lin(2005)針對台灣道路造成之懸浮微粒進行分析，將奈米與次微米中的 Pb、Ba 與 Zn 視為柴油車貢獻，而 Cu、Mn 與 Sr 視為汽機車貢獻；其中 Mn 亦有部份來自塵土地殼元素，Cu 來自於道路揚塵，Cr 來自鋼、鐵工業，視為工業排放（Wang, 2000）、而 Cd 多為人為污染(Holsen *et al.*, 2001) Mg 則較可能為海鹽來源。所以第1主成份因子可視為是交通及工業來源。
2. 第2主成份因子與 Pb、Zn 有很高的相關性，其餘因子負荷值較為偏低。Pb 視為柴油車貢獻，Zn 與 Cd 多為人為污染(Holsen *et al.*, 2001)，所以第2主成份因子是屬於人為污染及交通污來源。
3. 第3主成份因子與Fe有高度相關與As、Ni、Mg有中度相關；一般所知，Fe多為地殼元素，在Kumar *et al.*, (2001)中提到Fe和Ca也可能來自道路揚塵(Road dust)；As主要污染來源以燃燒源為主，如火力發電廠、燃煤鍋爐、垃圾焚化爐、金屬熔煉爐、玻璃製造、鋼鐵業等；而一般認為高科技產業中，砷化物製程之產業，包括半導體添加AsH₃、玻璃基板業在去除發泡注入之AsH₃等，都是來源；而Ni、Mg分別來自於木材、油類燃燒或焚化爐燃燒（Wang, 2001）及海鹽來源，同樣為交通來源，所以第3主成份因子較可能屬於高科技產業、工業污染源。

Table 4.6為冬季時上風處之大雅分析結果，共得到3個主成份因子，可獲得78.71%的解釋變異量。

1. 第1主成份因子與 Cu、Cr、Fe、Mg 有高度相關，而 Cr、Cu 為人為活動貢獻

- 的污染元素，Cu 亦為汽機車貢獻；而 Fe、Mg 則較可能為地殼元素 (Stevens and Pace, 1984)。所以第 1 主成分因子可視為是交通及工業來源及地殼元素。
2. 第 2 主成份因子與 Cr、Ca、Zn 有高度相關性，其餘因子負荷值較為偏低。Ca 為天然地殼元素，Cr 多來自媒炭燃燒等工業汙染，Zn 為焚化廠排放 (Miranda *et al.*, 2002)，所以第 2 主成份因子是屬於工業汙來及地殼元素。
 3. 第 3 主成份因子與 Pb、Ni 有高度相關，Pb 可視為交通來源，Ni 來自於木材、油類燃燒或焚化爐燃燒 (Wang, 2001)，所以第 3 主成份因子較可能屬於工業及交通汙染源。

Table 4.7 為夏季時上風處之佛光大樓分析結果，共得到 2 個主成份因子，可獲得 80.42% 的解釋變異量。

1. 第 1 主成份因子與 Cu、Pb、Ni、Mn、Fe 有高度相關，Cu、Mn、Pb、Fe 皆與道路揚塵相關 (Kumar *et al.*, 2001)，視為交通來源；而 Ni 來自於木材、油類燃燒或焚化爐燃燒；Fe 亦為地殼元素，所以第 1 主成分因子可視為是交通及工業來源。
2. 第 2 主成份因子與 As、Cd、Mg、Ca、Zn 有高度相關，Mg、Ca 為地殼元素，Cd、Zn 為交通發散及人為汙染來源，As 為高科技產業汙染物，所以第 2 主成份因子是屬於人為汙染、交通汙來源及高科技產業。

Table 4.8 為夏季時下風處之靜宜分析結果，共得到 4 個主成份因子，可獲得 91.45% 的解釋變異量。

1. 第 1 主成份因子與 As、Cd、Mn、Cr 有高度相關，As 為高科技產業汙染，Cr 來自鋼、鐵工業，視為工業排放、Mn 為交通來源，而 Cd 多為人為汙染 (Holsen *et al.*, 2001)。所以第 1 主成分因子可視為是交通、工業及人為來源。
2. 第 2 主成份因子與 Cu、Pb、Fe、Mg 呈高度相關，Fe、Mg 為天然地殼元素，Cu、Pb 為交通來源，所以第 2 主成份因子是屬於交通汙來源及地殼元素。
3. 第 3 主成份因子與 Ni、Zn 有高度相關，Ni 來自於木材、油類燃燒或焚化爐燃燒 (Wang, 2001)，Zn 為交通發散及人為汙染來源，所以第 3 主成份因子較可能屬於工業汙染源。
4. 第 4 主成份因子主要以 Ca 為高度相關，而 Ca 為天然地殼元素，因此第 4 主成份因子屬於天然地殼元素。

Table 4.5 PCA results in THU (downstream in winter season)

	PC1	PC2	PC3
As	0.02	0.50	-0.69
Cd	0.82	0.37	-0.29
Cu	0.95	0.00	0.08
Pb	0.20	0.91	0.22
Ni	-0.56	0.02	0.65
Mn	0.95	-0.20	0.08
Cr	0.91	0.34	0.14
Fe	0.29	0.50	0.73
Mg	0.74	0.19	0.51
Ca	0.63	0.42	-0.10
Zn	0.01	0.94	-0.13
Variance explained(%)	42.58	24.69	17.09
Accumulation%	42.58	67.27	84.36

Table 4.6 PCA results in Taya (upstream in winter season)

	PC1	PC2	PC3
As	-0.29	0.59	-0.12
Cd	0.23	0.78	-0.25
Cu	0.87	0.17	0.05
Pb	0.08	0.08	0.86
Ni	0.08	-0.1	0.94
Mn	0.69	0.43	0.49
Cr	0.86	-0.25	-0.27
Fe	0.83	-0.17	0.24
Mg	0.78	0.34	0.3
Ca	0.49	0.7	0.21
Zn	0.07	0.8	0.52
Variance explained(%)	33.22	23.03	22.46
Accumulation%	33.22	56.25	78.71

Table 4.7 PCA results in FG (upstream in summer season)

	PC1	PC2
As	-0.24	0.76
Cd	-0.09	0.97
Cu	0.96	0.16
Pb	0.93	-0.12
Ni	0.85	0.32
Mn	0.94	-0.13
Cr	0.57	0.47
Fe	0.87	0.30
Mg	0.46	0.75
Ca	-0.28	-0.80
Zn	-0.29	-0.86
Variance explained(%)	44.62	35.8
Accumulation%	44.62	80.42

Table 4.8 PCA results in PU (downstream in summer season)

	PC1	PC2	PC3	PC4
As	0.93	0.06	-0.15	-0.32
Cd	0.93	-0.16	0.17	-0.25
Cu	-0.43	0.84	0.11	0.14
Pb	-0.09	0.86	0.03	-0.05
Ni	0.08	-0.14	0.88	0.31
Mn	-0.89	0.35	0.08	0
Cr	0.84	0.25	0.42	0.02
Fe	-0.07	0.72	-0.02	0.53
Mg	0.51	0.82	-0.05	0.03
Ca	-0.28	0.13	0.06	0.93
Zn	-0.23	-0.19	-0.88	0.27
Variance explained(%)	34.84	26.58	16.41	13.62
Accumulation%	34.84	61.42	77.83	91.45

4.3 模式模擬分析 (以中科園區為污染源)

本研究是使用 ISCST3 模式與 AERMOD 模式做比較，分別以兩個模式進行案例分析，以中科周界重金屬為模擬對象，模擬 2008~2009 年間之高相關性日，並配合採樣分析結果來印證，進行比較兩模式濃度結果，繼而作為將來 AERMOD 替代 ISCST3 納入台灣地區優選模式的選擇。

Fig.4.2 至 Fig.4.5 為 ISCST3 模式所模擬出之結果，模擬對象 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 ，分別為友達、茂德、華邦、康寧此 4 家可能排放重金屬 As 廠房，Fig.4.2 為 W_1 廠擴散模擬，其最高模擬濃度值為 0.27 ppb，向西可擴散至靜宜，向南可擴散至佛光大樓；Fig.4.3 為 W_2 廠擴散模擬，最高模擬濃度值為 1.00 ppb，向南可擴散至東海，向北則接近大雅；Fig.4.4 為 W_3 廠，最高模擬濃度值為 0.7 ppb，擴散範圍與 W_2 廠相同；Fig.4.5 為 W_4 廠，最高模擬濃度值為 0.16 ppb，向西可擴散至靜宜，向東則在大雅附近，此 4 圖其擴散範圍與我們所推估吻合，左至沙鹿、右至中清路、上至大雅、下至東海大學。

Fig.4.6 為 ISCST3 模擬四廠排放時，模擬推估其濃度值，之後再與 AERMOD 做一測值比較，了解兩模式之差異。Fig.4.7 為中部縣市地形圖，以之為底，利用 AERMOD 模擬中科煙囪排放資料，而 Fig.4.8 為其之模擬結果，其擴散範圍約在中市及大度山，此 4 廠排放值都不高，可能與近來經濟不景氣有密切關係。

文獻中提到模式在模擬上的不確定性分為三類：輸入之不確定性、參數之不確定性及概念之不確定性。(1)輸入之不確定是指當氣象數據及發散源不明確，而導致計算、推估失誤或內在變數的改變。(2)參數之不確定性是指單一模式參數值無法完整描繪模式之範圍特性。(3)而概念之不確定性則是說一個簡易統計或數學程式碼是無法完整解釋複雜的物理特性及內在之天然變數。(Sax and Isakov, 2003)

ISCST3 在模擬「城市」選項時，會較「鄉村」選項在預測上來的較為準確，造成此結果的可能原因是在模擬低空氣濃度時，地表粗糙度所增加量能有較好的混合；也可能丘陵及複雜地形較適用「城市」選項；或者 ISCST3 在模擬複雜地形時，在城市擴散係數的補償上較為缺乏。而 AERMOD 在複雜地形的模擬上，則會有較好的結果，在比較上，ISCST3 預測值約超過實測值 33%，AERMOD 則低估實測值 46%。(Orloff *et al*, 2005)

本研究所得之模擬結果與 Orloff 研究大致相同，將兩模式模擬值做一比較 (Table 4.9)，以趨勢上來看，兩模式在不同地點間，所測模擬值相距不遠；進一步將模擬值與實測值做一比較，ISCST3 之模擬測值稍高於實測，但並沒有太大差距；而 AERMOD 與實測值更為接近，尤其在 THU 與 FG 幾乎與實測值相同。可能由於 ISCST3 在設定上，較為保守，因此在模擬推估上，會有些微高估的現象產生；而 AERMOD 則可能由於內建機制的不同，在許多條件方面都較為嚴謹，因此在模擬複雜地形上誤差較小，因此較為準確。

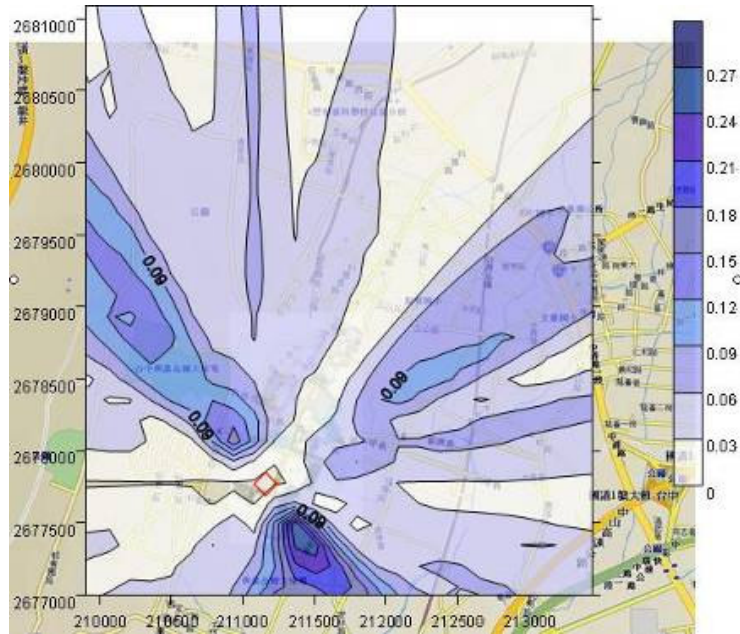


Fig.4.2 Relevancy between simulation W_1 factory buildings and observation points (As)

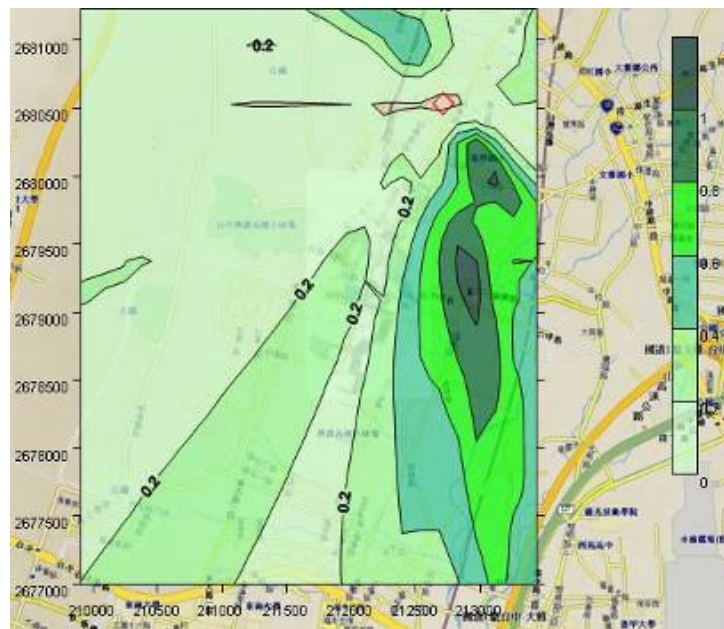


Fig.4.3 ISCAST3 simulation for the relevancy between W_2 factory buildings and observation points (As)

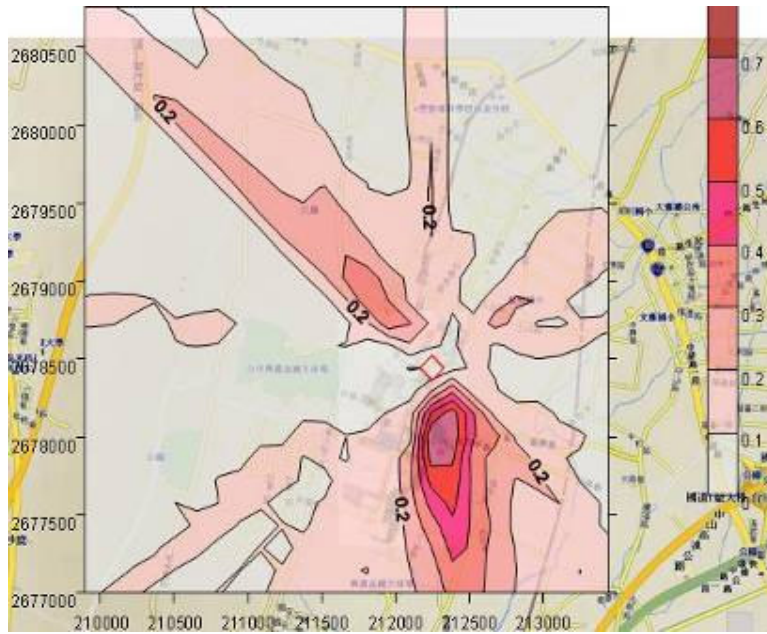


Fig.4.4 ISCST3 simulation for the relevancy between W₃ factory and observation points (As)

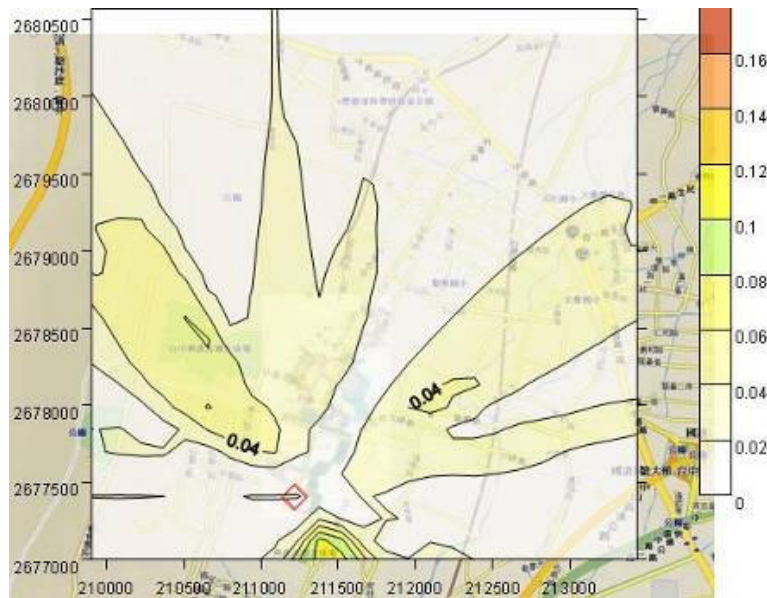


Fig.4.5 ISCST3 simulation for the relevancy between W₄ factory and observation points (As)

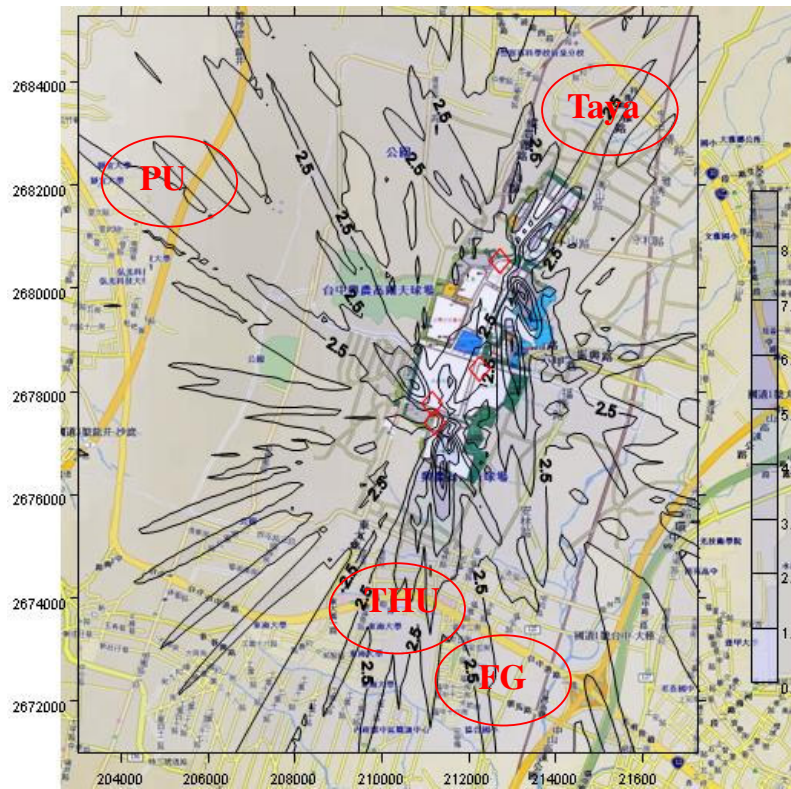


Fig.4.6 ISCST3 simulation (As)

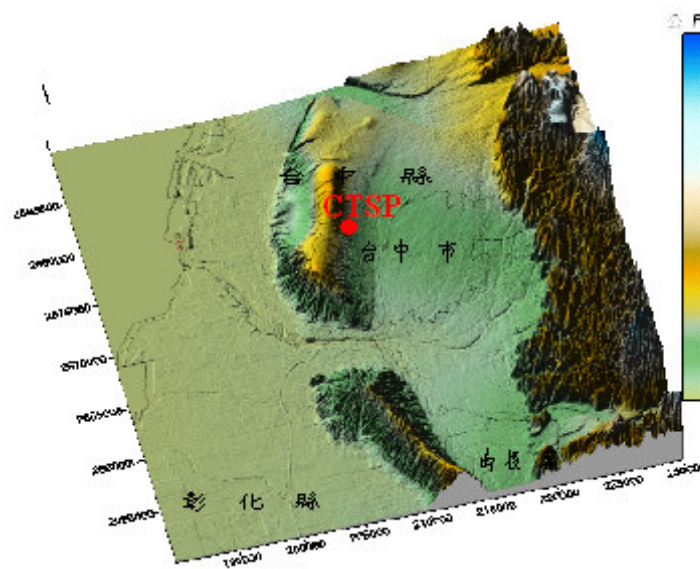


Fig.4.7 Terrain map for central region counties and cities

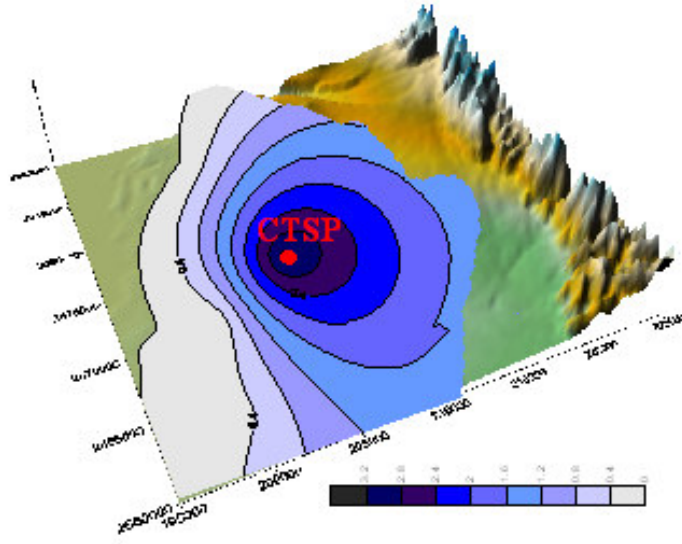


Fig.4.8 AERMOD simulation (As)

Table 4.9 Comparison among ISCST3, AERMOD and observed value (North wind season)

Date : 08/4/22	THU	Taya	PU	FG
ISCST3 模擬值(ppb)	2.5~3.5	1.5~2.5	1.5~2.0	2.5~3.0
AERMOD 模擬值(ppb)	2.8~3.2	2.4~2.8	2~2.4	2.4~2.8
實測值(ppb)	3.15	0.93	1.71	2.82

4.4 風險評估

4.4.1 風險評估的步驟

風險評估之作業流程包括了四個步驟，即：(a) 危害鑑定(Hazard Identification) (b) 劑量—效應評估(Dose-Response Assessment) (c) 暴露評估(Exposure Assessment) (d) 風險推估(Risk Characterization) (行政院環保署，1996)

所謂危害鑑定係由實驗室試驗及實地觀察中，所獲資料以決定某特定有毒物質是否與暴露者，某種健康效應有因果關係；劑量—效應評估乃是利用外差法(如由高劑量外推到低劑量或由動物實驗資料外插到人體身上)，所得資訊以決定暴露劑量與從屬效應之相關關係；暴露評估乃實地量測或預估民眾暴露在已存在於環境中有毒物質之強度、頻率及期間，或預估在不同條件下(如有新污染源加入

時)之暴露程度可能有多少；至於風險推估，則是利用前述三個步驟【(a).(b)&(c)】所得資料，作一綜合性評估，以估計標的污染物對該暴露族群所可能導致之健康危害之風險究竟有多少。

4.4.2 指標化學物(Indicator Chemicals)之選擇

Patricia等(1992)指出在一污染場址的化學物可能不下千百種，而將所有化學物濃度都代入風險評估計算中，將是龐大且沒有意義工作，因為不是每個化學物都會對人體健康有危害，或者有危害但程度非常輕微，可能還包括一些不易做風險評估和易造成結果曲解的化學物，所以要做風險評估計算前，要先決定哪些化學物是所要計算的，也就是要決定哪些為指標化學物。

指標化學物可能是對人體危害較重的化學物、移動力較強的化學物、不易在自然中降解的化學物、具毒性的化學物、致癌化學物或者是容易在生物體內累積的化學物，以上的因素會使化學物具有很大的風險潛力，而在指標化學物的選擇上也歸納出一些原則。指標化學物名單中須包含：(a) 任何致癌物(苯(benzene)、砷(arsenic)、乙烯氯化物(chloroethene))。(b) 超過最大健康基準濃度的化學藥品。(c) 會散佈污染到場址外的化學藥品。(d) 會在人體內累積的化學物。可排除在指標化學物名單之外的污染物則為：(a) 不常測到的化學藥品。(b) 僅在某媒介中測到，但不會對人體有害的化學藥品。(c) 輕微超出背景濃度的化學藥品。

4.4.3 風險評估之計算

本研究風險評估主要是推算HI (Hazard Index，危害指數)來確認危害人體之風險，而要計算HI首先必須先求得EXP(危害物質在接觸界面的量)，若污染物為非致癌性物質，則除以標準劑量值(RfDs)，得該污染物之危害指標(Hazard Quotient)。將所有污染物種類的危害指標相加之後，可得危害指數。當危害指數大於1.0 時，將會對人體健康造成不良之影響。若污染物屬於致癌性物質，則總攝取量乘以致癌斜率(Slope Factor)，可得致癌率。在美國環境中之污染物的致癌率以不得超過百萬之一為準(10^{-6})，目前為最受大眾接受的準則。

4.4.4 暴露方程式

吸入進入途徑：

吸入途徑來自於大氣中化學物的傳輸暴露，利用以下方程式作計算：

$$EXP = \frac{C_{Metal} \times CR \times FI \times ABS_f \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (式 4.1)$$

其中

EXP = 危害物質在接觸界面的量 (mg/kg-day)

C_{Metal} = 危害物質在傳輸媒介中的濃度 (ng/m^3)

CR = 接觸速率 (m^3/day)，預設為 $20 \text{ m}^3/\text{day}$

FI = 從污染源吸入的量 (dimensionless)，

ABS_f = 吸收因子(%)，預設為 100%

EF = 暴露頻率 (day/yr)，預設為 8 hr/day、5day/wk、52 wk/yr

ED = 暴露期間 (yr)，預設為 1 yr

BW = 暴露期間的平均體重 (kg)，70 kg

AT = 平均時間

= ED \times 365 days/yr (非致癌性物質)

= 70 \times 365 days/yr (致癌性物質)

吸入途徑參照濃度所得劑量是以 IRIS 與 HEAST 所公佈之 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ per 70 kg 作為假設其倍增濃度之因子。

(IRIS and HEAST, 1995, http://rais.ornl.gov/tox/nonrad_ftn.shtml)

(參數見 Table 4.10)

Table 4.10 Various ways exposure parameter predetermined value

參數	成人	孩童
GENERAL		
Body weight (kg)	70	15
Exposure duration (yrs)	24	6
XF1 (mg/kg)	10^6	10^6
XF2 (L/cm^3)	10^{-3}	10^{-3}
INHALATION OF AIR		
Inhalation rate (m^3/day)	20	10
Exposure frequency (days/yr)	350	350
INGESTION OF DRINKING WATER		
Ingestion rate of water (L/day)	2	1
Exposure frequency for drinking water (days/yr)	350	350
INGESTION OF SOIL		
Ingestion rate of soil (mg/day)	100	200
Exposure frequency (days/yr)	350	350

資料來源：美國環保署 (1991)

4.4.5 風險評估之不確定性

William等(1993)指出風險評估需要許多輸入項來進行運算，而所有的輸入項都包含不確定性，其不確定性來源有：(a) 缺少暴露之實驗或風險資料，如污染物濃度。(b) 各物種之生化動力與機制皆不同。(c) 低劑量外推形式之誤差。(d) 多種污染物之暴露情形。(e) 首次暴露年齡在實驗組與風險組之差異。(f) 吸煙習慣在病理研究組與風險組之差異。(g) 醫療診斷上的失敗與未就醫所導致的死亡率。(h) 不合適之風險評估暴露途徑。

William等(1993)同時也提出對於死亡率與暴露資料之不確定性觀念。關於死亡率，死亡率的資料大部分是來自於死亡證明書，但很少會有驗屍結果的證明，因此對於死亡率的意義需有所保留，可能真實的死因並不單純；而在暴露資料上，通常也有問題，可能因不準確或不具代表性之量測而放棄，或是無法獲得。William 同時亦指出在病理學研究上，對於暴露和健康程度上不易鑑定，且因無法對每個個案作瞭解，只能由大量數據資料上找尋其相關性，所以缺乏偵測暴露和健康效應關連性之能力。

4.4.6 風險評估計算

首先必須先計算出重金屬在微粒上以吸入進入途徑所含濃度，可參考(式4.2)推算：

$$\text{ng/ml (微粒濃度)} \times 100\text{ml} \times 12(\text{等分}) / \text{抽氣量 (m}^3) = \text{ng/m}^3 \quad (\text{式 4.2})$$

其中抽氣量為 40 cfm= 1.17 m³/min

$$EXP_{As} = \frac{\left(\left(\left(4.69 \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right) \left(20 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \left(8 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) \left(5 \frac{\text{day}}{\text{wk}} \right) \left(52 \frac{\text{wk}}{\text{yr}} \right) \right) \right)}{(70\text{kg}) \left(365 \frac{\text{day}}{\text{yr}} \right) \left(24 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right)} = 0.318 \frac{\text{ng}}{\text{kg} - \text{day}} = 3.2 \times 10^{-7} \frac{\text{mg}}{\text{kg} - \text{day}}$$

$$EXP_{Cd} = \frac{\left(\left(\left(3.19 \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right) \left(20 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \left(8 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) \left(5 \frac{\text{day}}{\text{wk}} \right) \left(52 \frac{\text{wk}}{\text{yr}} \right) \right) \right)}{(70\text{kg}) \left(365 \frac{\text{day}}{\text{yr}} \right) \left(24 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right)} = 0.22 \frac{\text{ng}}{\text{kg} - \text{day}} = 2.2 \times 10^{-7} \frac{\text{mg}}{\text{kg} - \text{day}}$$

$$EXP_{Cu} = \frac{\left(\left(\left(53.14 \frac{\text{ng}}{\text{m}^3} \right) \left(20 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) \left(8 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) \left(5 \frac{\text{day}}{\text{wk}} \right) \left(52 \frac{\text{wk}}{\text{yr}} \right) \right) \right)}{(70\text{kg}) \left(365 \frac{\text{day}}{\text{yr}} \right) \left(24 \frac{\text{hr}}{\text{day}} \right)} = 0.35 \frac{\text{ng}}{\text{kg} - \text{day}} = 3.5 \times 10^{-7} \frac{\text{mg}}{\text{kg} - \text{day}}$$

$$EXP_{Mn} = \left(\frac{\left(18.83 \frac{ng}{m^3} \right) \left(20 \frac{m^3}{day} \right) \left(8 \frac{hr}{day} \right) \left(5 \frac{day}{wk} \right) \left(52 \frac{wk}{yr} \right)}{(70kg) \left(365 \frac{day}{yr} \right) \left(24 \frac{hr}{day} \right)} \right) = 1.28 \frac{ng}{kg - day} = 1.3 \times 10^{-6} \frac{mg}{kg - day}$$

$$HQ_{As} = \frac{EXP_{As}}{RfD_{As}} = \frac{3.2 \times 10^{-7}}{0.0003} = 1.07 \times 10^{-3}$$

$$HQ_{Cd} = \frac{EXP_{Cd}}{RfD_{Cd}} = \frac{2.2 \times 10^{-7}}{0.0005} = 4.4 \times 10^{-4}$$

$$HQ_{Cu} = \frac{EXP_{Cu}}{RfD_{Cu}} = \frac{3.5 \times 10^{-7}}{0.04} = 8.75 \times 10^{-6}$$

$$(RfD_{Mn} = RfC_{Mn} \times 20 \left(\frac{m^3}{day} \right) / 70(kg) = 0.00005 \times 20 / 70 = 1.4 \times 10^{-5})$$

$$HQ_{Mn} = \frac{EXP_{Mn}}{RfD_{Mn}} = \frac{1.3 \times 10^{-6}}{1.4 \times 10^{-5}} = 0.093$$

RfDs : 標準劑量值(參考 Table 4.6)

Table 4.11 RfDs and SF

		WOE (Weight-of-Evidence Characterization)		Chronic Oral	Oral	Chronic Inhalation	Inhalation
		IRIS	IARC	Reference Dose	Slope Factor	Reference Concentration	Slope Factor
				(mg/kg-day)	(mg/kg-day) ⁻¹	(mg/m ³)	(mg/kg-day) ⁻¹
Cd	Cadmium	B1	1.00	0.0005(water)	-	-	6.30
Cr	Chromium VI	A	1.00	0.003	-	0.0001	42.00
Cu	Copper	D	-	0.04	-	-	-
Mn	Manganese	D	-	0.14	-	0.00005	-
Ni	Nickel	-	2B	-	-	-	-
Pb	Lead	B2	2B	-	-	-	-
As	Arsenic, Inorganic	A	1.00	0.0003	1.50	-	15.10

(資料來源：Risk Assessment Information System (RAIS),
Integrated Risk Information System (IRIS),
International Agency for Research on Cancer (IARC))

Table 4.12 WOE definition carcinogenic classify

IARC	IRIS	Classification	Identification
1(確定為致癌因子)	A	human carcinogen	Evidence is sufficient for epidemiology.
2A(極有可能為致癌因子)	B1	probable human carcinogen	Evidence is suggestive but not sufficient for epidemiology, but animal experiment is sufficient .
2B(可能為致癌因子)	B2	little or no human evidence + strong animal evidence	Evidence is suggestive but not sufficient for epidemiology and animal experiment is not sufficient .
-	C	weak evidence from human and animal data	-
3(無法歸類為致癌因子)	D	little evidence for or against carcinogenicity	Evidence is inadequate for epidemiology, and animal experiment is not sufficient or can't classify.
4(極有可能為非致癌因子)	E	good evidence for absence of carcinogenicity	It's lack of carcinogenicity in human beings and animals. Evidence is inadequate for epidemiology.

$$HI = HQ_{As} + HQ_{Cd} + HQ_{Cu} + HQ_{Mn} = 1.07 \times 10^{-3} + 4.4 \times 10^{-4} + 8.75 \times 10^{-6} + 0.093 = 0.095$$

HI = 1.0 > 0.095，顯示仍在危害指標容許範圍之內。

總攝取量乘以致癌斜率(Slope Factor)，可得致癌率。在美國環境中之污染物的致癌率以不得超過百萬之一為準(10^{-6})，目前為最受大眾接受的準則。而由於資料上並不充足，只能推算出重金屬As及Cr之致癌率如下所示：

$$\text{致癌率}_{As} = 3.2 \times 10^{-7} \times 1.5 = 4.8 \times 10^{-7}$$

重金屬As在致癌率方面，只達到 4.8×10^{-7} ，未超出美國環境中之污染物的致癌率標準(不得超過百萬之一為準(10^{-6}))。

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 本研究的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值皆在 0.5 以上，有時更高達 0.8~0.9，明顯指出微粒有細粒化之趨勢。1996 年美國環保署 (EPA) 指出 $PM_{2.5}$ 會對人體的健康造成影響，其後的研究更指出 $PM_{2.5}$ 微粒中所含的重金屬如 Cu、Fe、Ni、V 和 Zn 對人體健康危害具有嚴重的影響。
2. 本研究所分析之 11 種重金屬元素，依序為 As、Cd、Cu、Pb、Ni、Mn、Cr、Fe、Mg、Ca、Zn。近年來大部分重金屬含量皆有下降之趨勢，如重金屬 As，過去曾一度測出高值，而如今測值約在 1.26~2.32 ng/m^3 ；但亦有少數重金屬如：Pb、Ni，較以往有攀升之情況。
3. 以 PCA 法來分析推估所得之重金屬濃度，本研究分為上下風關係做出探討。上風處其污染源多為工業發散及地殼元素；反觀下風處，則多為高科技產業、工業污染及交通來源。主成分因子來源佔總解釋變異量都高達 78% 以上。
4. 模式推估方面，ISCST3 在模擬上趨於保守，對濃度值有高估現象，可能與其地表特性選項及擴散係數的補償上有所缺乏有關；而 AERMOD 可能因為本身機制及設定上的不同，濃度則較為偏低。
5. 在風險評估方面，本研究利用暴露方程式來做計算，所求得之危害指數及致癌率皆在標準限制值之內，未來仍會持續追蹤中部地區風險變化。

5.2 建議

- 1.長期廣泛監測中部地區空氣中重金屬濃度等級仍為必要。長期監測才能瞭解空氣中濃度變化，建議設置空品監測站，定期採樣。
- 2.模式對高相關性日的追蹤與模擬雖大致有所成效，但仍可依據不同參數的變化，找出最佳模擬結果，對未來在模擬上之研究有更大幫助。

参考文献

- Brook, J. R., Dann, T. F. and Rurnett, R. T., 1997, "The Relationship Among TSP, PM10, PM2.5, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 47, No. 1, pp.2-19.
- Carson D, Weigert M., 1973, "Immunochemical analysis of the cross-reacting idiotypes of mouse myeloma proteins with anti-dextran activity and normal anti-dextran antibody". *Proc Natl Acad Sci USA*, Vol. 70, No. 1, pp.235-239.
- Chow, J. C. , Watson, J. G. , Lu , Z. , Lowenthal, D. H. Frazier, C. A., Solomon, P. A. ,Thuillier, R. H. and Magliano, K., 1996, "Descriptive analysis of PM2.5 and PM10 at Regionally Representative Locations during SJVAQS/AUSPEX", *Atmospheric Environment*, Vol.30, No. 12 , pp.2079-2112.
- Gereda JE, Leung DY, Thatayatikom A, Streib JE, Price MR, Klinnert MD, Liu AH., 2000, "Relation between house-dust endotoxin exposure", type 1 T-cell development, and allergen sensitisation in infants at high risk of asthma. *Lancet*, Vol 355, No. 9216, pp.1680-1683.
- Golder, G., 1972, "Relations among stability parameters in the surface layer". *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 3, No.1, pp. 47-58.
- Hallenbeck W. H., 1993, "Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health, Second Edition", Lewis Publishers.
- Holsen, T. M., Noll, K. E., 1992. Dry deposition of atmospheric particles: application of current models to ambient data. *Environmental Science and Technology*, Vol 26, No. 9, pp.1802-1814.
- Hooper GHS, 1978, "Effects of larval rearing temperature on the development of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Ent*". Vol. 23, No. 3, pp.222-226
- Isakov V., Venkatram A., Touma J.S., Koracin D., 2007, "Evaluating the use of outputs from comprehensive meteorological models in air quality modeling applications. " *Atmospheric Environment*, Vol. 41, No. 8, pp. 1689-1705.
- Kesarkar A.P. Dalvi M., Kaginalkar A., Ojha A., 2007, "Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM₁₀ dispersion over Pune, India." *Atmospheric Environment*, Vol. 41, No.9, pp. 1976-1988.
- Kumar A.V., Patil R.S.; Nambi K.S.V., 2001. Source apportionment of suspended particulate matter at two traffic junctions in Mumbai, India. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, No. 25, pp.4245-4251.
- McRae, J.A. *New Zealand Institute of Surveyors 1888 – 1988*. New Zealand Institute of Surveyors. Wellington, New Zealand. 1989.

- Orloff K.G., Kaplan B., Kowalski P., 2006, "Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field : Measured vs. modeled concentrations." Atmospheric Environment, Vol. 40, No.17, pp.3022-3029.
- Pasquill, F., 1961, "The estimation of the dispersion of windborne material." Meteorol. Mag., Vol. 90, pp. 33-49.
- Patricia S. F. and Wilson-Gentry L., 1992, "Developed with team members recommendations and a report for a state regional policy." Consultant to the State of Maryland,
- Seinfeld J.H., 1986, Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollutant, John Wiley & Sons, New York, pp.872.
- Stein A.F., Isakov V., Godowich J., Draxler R.R., 2007, "A hybrid modeling approach to resolve pollutant concentrations in an urban area." Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 40, pp. 9410-9426.
- U.S E.P.A., <http://www.epa.gov/scram001/>
- U.S. E.P.A., "MMSOILS : Multimedia Contaminant Fate, Transport, and Exposure Model Documentation and User Manual", Exposure Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development (1996).
- U.S. E.P.A., "Receptor Model Source Composition Library, "Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC, U.S. Department of Commerce National Technical Information Service (NTIS) , EPA-450/4-85-002 (1984).
- U.S. E.P.A., "AERMOD : description of model formulation", pp. 1-91 (2004).
- U.S. E.P.A., "User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET)", pp. 1-252 (2004).
- U.S. E.P.A., "User's guide for the AERMOD terrain preprocessor (AERMAP)", pp. 1-106 (2004).
- U.S. E.P.A., "User's guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD", pp. 1-216 (2004).
- U.S. E.P.A., User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion model, Volume I : User Instructions (1995).
- U.S. E.P.A., User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion model, Volume II : Dispersion of Model Algorithms (1995).
- Venkatram A., Isakov V., Yuan J., Pankratz D., 2004, "Modeling dispersion at distances of meters from urban sources" Atmospheric Environment, Vol. 38, No. 28, pp.4633-4641.
- Watson, J. G., 1979, "Chemical Element Balance Receptor Model Methodology for Assessing the Sources of Fine and Total Suspended Particulate Matter in Portland, Oregon," Ph.D. Dissertation, Oregon Graduate Center, OR, Beaverton, OR.

- Weil, J. C., and R. P. Brower, 1983, "Estimating convective boundary layer parameters for diffusion applications", Report No. PPSP-MP-48, Maryland Power Plant Siting Program, Maryland Department of Natural Resources, Baltimore, MD, pp.45.
- Wolff, G. T., Groblicki, P. J. and Cadle, S. H., 1982, "Particulate Carbon at Various Locations in the United States", In Particulate carbon Atmospheric Life Cycle, Wolff, G. T. and R. L. Klimisch (Eds.), Plenum Press, New York, pp.297-315.
- Wolff, G. T., Korsog, P. E., Kelly, N. A., and Fermam, M. A., 1985, "Relationships Between Fine Particulate Species, Gaseous Pollutants and Meteorological Parameters in Detroit 19". Atmos. Environ. Vol. 19, No.8, pp. 1341-1349.
- Zheng, M., Fang, M., Wang, F., and To, K.L., 2000, "Characterization of the solvent extractable organic compounds in PM_{2.5} aerosols in Hong Kong", Atmos. Environ., Vol. 34, No.17, pp. 2691-2702.
- 元曉琴，「穩定度判斷對空氣品質模式之影響—台中火力發電廠個案研究」，碩士論文，國立中興大學(2000)。
- 王俊凱，台灣地區大氣氣膠特性之研究-高雄、台北都會區氣膠特性與污染來源推估，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，桃園(2000)。
- 王景良「中部空品區污染源逸散粉塵的組成分析」，碩士論文，國立中興大學環境工程學系，台中(2000)。
- 台中縣環保局(2004)，http://www.teepb.gov.tw/03magic/03magic_01a.asp?id=5746
- 交通部中央氣象局，"地面氣象預報作業規範"(1986)。
- 江旭程，「ISC空氣品質模式使用手冊」，私立淡江大學(1989)。
- 行政院環保署(1998)“空氣品質模式評估技術規範”
- 行政院環保署，甲級毒性化學物質專業技術管理人員訓練教材，行政院環保署(1996)。
- 行政院環境保護署，空氣品質模式支援中心，<http://www.aqmc.org.tw/>
- 李俊德、尤鴻昌、李文智，「鍋爐煙道廢氣重金屬之排放特徵」，1997 氣膠研討會，台南，第152-161 頁 (1997)。
- 李俊德、尤鴻昌、李文智，「鍋爐煙道廢氣重金屬之排放特徵」，1997 氣膠研討會，台南，第152-161頁(1997)。
- 李賢衛，「空氣污染物排放與總量管制增量限值變異之研究—以園區硫氧化物排放為例」，碩士論文，高雄第一科大環境與衛生工程系(2002)。
- 周韋均，「PM_{2.5}及PM_{2.5-10}氣膠化學組成量測及應用逆軌跡模式分析其污染來源」，碩士論文，國立中興大學(2006)。
- 林春利，「台中火力發電廠硫氧化物排放減量對中部地區空品之探討」，碩士論文，私立東海大學(2000)。
- 林陽聲，「地理資訊系統運用於空氣品質異常分析之研究」，碩士論文，國立中興大學環境工程學系，台中(1998)。

林鉅富「高雄地區大氣中懸浮微粒PM2.5 特性及來源之探討」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，高雄(1999)。

袁中新、張瑞正、袁菁、楊宏宇、林文印、李崇垓、李崇德，「能見度與懸浮微粒物化特徵之相關性探討」，1999年氣膠研討會論文集，第67-75頁(1999)。

莊秉潔，「空氣品質模式」，國立中興大學(2006)。

莊秉潔、方富民、簡鳳儀、陳王琨及程萬里，「台中火力發電廠空氣污染驗證考核計劃(三)—ISC本土化煙流擴散模式之發展」，行政院環境保護署(1996)。

廖崇園，「應用ISCST3擴散模式和CMB受體模式評估實施PM10檢量管制後對空氣品質之影響」，碩士論文，國立中興大學(2000)。

蔡瀛逸「台灣中部都會及沿海地區能見度與大氣氣膠化學特性關係之研究」，博士論文，國立中興大學(1999)。

曠永銓、許珮蒨，「AERMOD 煙流模式在台灣地區之應用研究」，中興工程，Vol. 88, pp.55-62(2005)。

APPENDIX A

AERMET meteorological pretreatment process setting files

First step

JOB

REPORT Wuci_S1.RPT
MESSAGES Wuci_S1.MSG

UPPERAIR

DATA 2005_FSL.DAT FSL
EXTRACT Wuci_UA.IQA
QAOUT Wuci_UA.OQA
XDATES 05/01/01 TO 05/12/31
LOCATION 46692 121.30E 25.22N -8
AUDIT UAPR UAHT UATT UATD UAWD UAWS

SURFACE

DATA Wuci-2005.all HUSWO
EXTRACT Wuci_SF.IQA
QAOUT Wuci_SF.OQA
XDATES 05/01/01 TO 05/12/31
LOCATION 46777 121.00E 24.49N -8
AUDIT DPTP RHUM HZVS CLHT SLVP PRCP PWTH

Second step

JOB

REPORT Wuci_S2.RPT
MESSAGES Wuci_S2.MSG

UPPERAIR

QAOUT Wuci-UA.OQA

SURFACE

QAOUT Wuci-SF.OQA

MERGE

OUTPUT Wuci-MR.MET

XDATES 05/01/01 TO 05/12/31

Third step

JOB

REPORT Wuci_S3.RPT

MESSAGES Wuci_S3.MSG

METPREP

DATA Wuci-MR.MET

OUTPUT Wuci-MP.SFC

PROFILE Wuci-MP.PFL

XDATES 05/01/01 TO 05/12/31

LOCATION 46777 120.30E 24.15N -8 31.73

METHOD REFLEVEL SUBNWS

METHOD WIND_DIR RANDOM

NWS_HGT WIND 32.6

FREQ_SECT	MONTHLY	3
SECTOR	1 10	115
SECTOR	2 115	190
SECTOR	3 190	10

**SITE_CHAR	FI	SI	ALBEDO	BRATIO	ZO_(M)
SITE_CHAR	1	1	0.35	2.00	0.60
SITE_CHAR	2	1	0.35	2.00	0.60
SITE_CHAR	3	1	0.14	2.00	0.60
SITE_CHAR	4	1	0.14	2.00	0.60
SITE_CHAR	5	1	0.14	2.00	0.60
SITE_CHAR	6	1	0.16	4.00	0.60
SITE_CHAR	7	1	0.16	4.00	0.60
SITE_CHAR	8	1	0.16	4.00	0.60
SITE_CHAR	9	1	0.18	4.00	0.60
SITE_CHAR	10	1	0.18	4.00	0.60
SITE_CHAR	11	1	0.18	4.00	0.60
SITE_CHAR	12	1	0.35	2.00	0.60

**SITE_CHAR	FI	SI	ALBEDO	BRATIO	ZO_(M)
SITE_CHAR	1	1	0.35	2.00	0.40
SITE_CHAR	2	1	0.35	2.00	0.40
SITE_CHAR	3	1	0.14	2.00	0.40
SITE_CHAR	4	1	0.14	2.00	0.40
SITE_CHAR	5	1	0.14	2.00	0.40
SITE_CHAR	6	1	0.16	4.00	0.40

SITE_CHAR	7	1	0.16	4.00	0.40
SITE_CHAR	8	1	0.16	4.00	0.40
SITE_CHAR	9	1	0.18	4.00	0.40
SITE_CHAR	10	1	0.18	4.00	0.40
SITE_CHAR	11	1	0.18	4.00	0.40
SITE_CHAR	12	1	0.35	2.00	0.40

**SITE_CHAR	FI	SI	ALBEDO	BRATIO	ZO_(M)
SITE_CHAR	1	1	0.35	2.00	0.30
SITE_CHAR	2	1	0.35	2.00	0.30
SITE_CHAR	3	1	0.14	2.00	0.30
SITE_CHAR	4	1	0.14	2.00	0.30
SITE_CHAR	5	1	0.14	2.00	0.30
SITE_CHAR	6	1	0.16	4.00	0.30
SITE_CHAR	7	1	0.16	4.00	0.30
SITE_CHAR	8	1	0.16	4.00	0.30
SITE_CHAR	9	1	0.18	4.00	0.30
SITE_CHAR	10	1	0.18	4.00	0.30
SITE_CHAR	11	1	0.18	4.00	0.30
SITE_CHAR	12	1	0.35	2.00	0.30

APPENDIX B

America Meteorological data format

HUSWO format

Field	Example	Comment
1	99999	Station ID
2	1990011211	Year, Month, Day, Hour
3	0000	Global radition.9999 indicates missing
4	0000	Direction radition. 9999 indicates missing
5	00	Total Sky Cover
6	00	Opaque Sky Cover
7	140.0	Dry Blub Temperature
8	140.0	Dry Point Temperature
9	000	Relative Humidity
10	2067	Station Pressure
11	000	Wind Direction
12	99.0	Wind Speed
13	0.0	Visibility
14	00000	Ceiling Height
15		Present Weather
16		ASOS CLOUD LAYER 1
17		ASOS CLOUD LAYER 2
18		ASOS CLOUD LAYER 3
19	99	Hourly Precipitation
20	000	Snow Depth

FSL format

1	2	3	4	5	6	7
LINTYP			header lines			
254	HOUR	DAY	MONTH	YEAR	(blank)	(blank)
1	WBAN#	WMO#	LATD	LOND	ELEV	RTIME
2	HYDRO	MXWD	TROPL	LINES	TINDEX	SOURCE
3	(blank)	STAIID	(blank)	(blank)	SONDE	WSUNITS

Data lines

9	PRESSURE	HEIGHT	TEMP	DEWPT	WIND	DIR	WINDSPD
4							
5							
6							
7							
8							

LEGEND

LINTYP: type of identification line

254 = indicates a new sounding in the output file

1 = station identification line

2 = sounding checks line

3 = station identifier and other indicators line

4 = mandatory level

5 = significant level

6 = wind level (PPBB) (GTS or merged data)

7 = tropopause level (GTS or merged data)

8 = maximum wind level (GTS or merged data)

9 = surface level

HOUR: time of report in UTC

LAT: latitude in degrees and hundredths

LON: longitude in degrees and hundredths

APPENDIX C

AERMOD keywords

CO 關鍵字	類型	關鍵字描述
STARTING	M - N	控制路徑輸入開始
TITLEONE	M - N	輸出文件標題的第一行
TITLETWO	O - N	輸出文件標題的第二行
MODELOPT	M - N	流程控制和擴散選項
AVERTIME	M - N	預進行處理的平均週期
URBANOPT	O - N	定義城市擴散選項參數
POLLUTID	M - N	模擬污染物的類型
HALFLIFE	O - N	指數衰減的半衰期
DCAYCOEF	O - N	衰減係數
FLAGPOLE	O - N	定義是否接受標竿受體高於地表面的海拔高度值
RUNORNOT	M - N	運行模式或是僅運行不產生結果
EVENTFIL	O - N	是否為EVENT模型生成依各輸入文件
SAVEFILE	O - N	指遭受到意外導致模型執行中斷，而保存中間結果的選項
INITFILE	O - N	利用SAVEFILE選項產生的中間結果文件初始化模型的選項
MULTYEAR	O - N	處理多年氣象數據和累積多年的短期高值選項
DEBUGOPT	O - N	驗證程序生成結果和氣象數據文件選項
ERRORFIL	O - N	產生詳細錯誤列表選項
FINISHED	M - N	控制路徑輸入結果

SO 關鍵字	類型	關鍵字描述
STARTING	M - N	定義受體路徑輸入的開始
ELEVUNIT	O - N	定義受體高程的輸入單位(默認值為 m)，如果使用，那麼必須是SO STARTING 後的第一個關鍵字
LOCATION	M - R	確定某各特定排放源座標
SRCPARAM	M - R	確定某各排放源參數
BUILDHGT	O - R	每個風向區域中建築物的高度值
BUILDWID	O - R	每個風向區域中建築物的寬度值
XBADJ	O - R	煙囪距目標建築物迎風面中心的沿氣流方向的距離
YBADJ	O - R	煙囪距目標建築物迎風面中心的垂直氣流方向的距離
AREAVERT	M - R	確定一個多邊形面源(AREAPOLY)的頂點位置(如果採用AREAPOLY，那就必須)
URBANSRC	O - R	確定進行城市效應模擬的排放源
EMISFACT	O - R	可變排放率因子的可選輸入
EMISUNIT	O - R	排放率和濃度的可選單位轉化因子
HOUREMIS	O - R	在單獨文件中確定小時排放率的選項
INCLUDED	O - R	在運行流程中設置一個單獨文件的選項
SRCGROUP	M - R	確定排放源組
FINISHED	M - R	定義排放源路徑輸入結束
RE 關鍵字	類型	關鍵字描述

STARTING	M - N	定義RE受體點路徑輸入開始
ELEVUNIT	O - N	定義受體高程的輸入單位(默認值為m)當使用RE STRATING時，它必須是RE STARTING之後的第一個關鍵字
GRIDCART	O - R	定義一個笛卡爾受體網格
GRIDPOLR	O - R	定義一個極座標受體網格
DISCCART	O - R	定義一個笛卡爾座標細系下的離散分佈受體點位置
DISCPOLR	O - R	定義一個極座標座標細系下的離散分佈受體點位置
EVALCART	O - R	定義離散笛卡爾受體位置，並與EVALFILE輸出選項一起使用
INCLUDED	O - R	確定在執行文件中包含一個獨立文件選項
FINISHED	M - N	定義受體路徑輸入的結束

ME 關鍵字	類型	關鍵字描述
STARTING	M - N	定義ME氣象路徑輸入開始
SURFFILE	M - N	描述輸入的地面氣象數據文件
PROFFILE	M - N	描述輸入的廓線氣象數據文件
SURFDATA	M - N	描述地面站點
UAIRDATA	M - N	描述高空站點
SITEDATA	O - N	描述模擬區域現場氣象站
PROFBASE	M - N	確定位溫廓線的基部高程
STARTEND	O - N	確定讀取輸入的氣象數據文件的起末時間
DAYRANGE	O - R	確定要處理的日期或時間段
SCIMBYHR	O - N	確定SCIM選項的參數
WDROTATE	O - N	可以用來校正風向測量中的準線問題
WINDCATS	O - N	輸入風速分類的上限
FINISHED	M - N	定義ME氣象路徑輸入的結束

EV 關鍵字	類型	關鍵字描述
STARTING	M - N	定義事件路徑輸入的開始
EVENTPER	M - R	描述事件的數據和平均週期
EVENTLOC	M - R	描述事件的受體點位置
FINISHED	M - N	定義事件路徑的結束

OU 關鍵字	類型	關鍵字描述
STARTING	M - N	定義輸出路徑的開始
RECTABLE	O - R	確定要輸出的受體點數據的選項
MAXTABLE	O - R	概括全體最大值的選項
DAYTABLE	O - R	為處理每天的每個平均週期的結果數據，並總結列表的選項
MSXIFILE	O - R	列出超過門檻值的文件
POSTFILE	O - R	將結果寫入到大容量儲存文件，以進行後處理
PLOTFILE	O - R	將特定結果寫入到某儲存文件，此儲存文件適合導入到作圖軟體中
TOXXFILE	O - R	將結果寫入到適合於輸入到TOXST模型的TOXX模組或RISK模型中的儲存文件中
RANKFILE	O - R	輸出能用於繪製Q-Q圖的序列值文件
EVALFILE	O - R	為進行模型評估研究
EVENTOUT	M - N	確定為進行EVENT處理的輸出訊息級別
FINISHED	M - N	定義輸出路徑輸入的結束

APPENDIX D
AERMOD input

CO STARTING

TITLEONE Post 2008 PM Case for the AERMOD Model

MODELOPT DFAULT CONC

AVERTIME 1 8 24 MONTH PERIOD

URBANOPT 1000000 Wuci

POLLUTID PM

RUNORNOT RUN

ERRORFIL ERRORS.OUT

CO FINISHED

SO STARTING

ELEVUNIT METERS

** Point Source			UTM_E	UTM_N	ZS
LOCATION	STACK1	POINT	211158	2677769	0
LOCATION	STACK2	POINT	211160	2677773	0
LOCATION	STACK3	POINT	212712	2680531	0
LOCATION	STACK4	POINT	212717	2680539	0
LOCATION	STACK5	POINT	211212	2677404	0
LOCATION	STACK6	POINT	211220	2677411	0
LOCATION	STACK7	POINT	212250	2678448	0
LOCATION	STACK8	POINT	212244	2678441	0

** Point Source	QS	HS	TS	VS	DS
-----------------	----	----	----	----	----

** Parameters:	----	----	----	----	----	
SRCPARAM	STACK1	0.0	53	291.1	4.32	1.00

SRCPARAM	STACK2	0.1	53	294.7	8.09	1.00
SRCPARAM	STACK3	2.0	51	302.1	18.67	1.40
SRCPARAM	STACK4	3.0	51	376.0	19.11	1.40
SRCPARAM	STACK5	0.7	32	296.9	15.98	0.76
SRCPARAM	STACK6	0.8	32	296.9	15.98	0.76
SRCPARAM	STACK7	0.015	18	293.5	14.46	0.76
SRCPARAM	STACK8	0.03	18	295.0	12.33	0.76

EMISUNIT 1000000 g/sec ppb

URBANSRC STACK1-STACK8

SRCGROUP ALL

SO FINISHED

RE STARTING

DISCCART	207387	2680147	10	10
DISCCART	209245	2674743	110	110
DISCCART	210806	2675267	10	10
DISCCART	213183	2680903	10	10
DISCCART	225000	2660000	10	10
DISCCART	225000	2690000	30	30

RE FINISHED

ME STARTING

SURFFILE Wuci_MP.SFC

PROFFILE Wuci_MP.PFL

SURFDATA 46777 2005 Wuci

UAIRDATA 46692 2005 Panchaow

PROFBASE 6.0 METERS

STARTEND 05 03 01 05 03 31

ME FINISHED

OU STARTING

RECTABLE ALLAVE FIRST

DAYTABLE ALLAVE

MAXTABLE ALLAVE 50

POSTFILE 24 ALL plot PST0524.pos

POSTFILE 8 all plot pst0503.pos

POSTFILE 1 all plot pst0501.pos

POSTFILE month all plot pst05month.pos

PLOTFILE 24 ALL FIRST PLT05.plt

OU FINISHED

APPENDIX E

ISC input

CO TERRHGTS FLAT

CO RUNORNOT RUN

CO ERRORFIL ERRORS.OUT

CO FINISHED

SO STARTING

SO ELEVUNIT METERS

SO LOCATION	1 POINT	211158	2677769	0
SO LOCATION	2 POINT	211160	2677773	0
SO LOCATION	3 POINT	211512	2679948	0
SO LOCATION	4 POINT	211517	2679933	0
SO LOCATION	5 POINT	211212	2677404	0
SO LOCATION	6 POINT	211220	2677411	0
SO LOCATION	7 POINT	212250	2678448	0
SO LOCATION	8 POINT	212244	2678441	0

**Point Source QS HS TS VS DS

**Parameters g/s m K m/s m

SO SRCPARAM	1	0.0	53	344.5	3.08	1.00
SO SRCPARAM	2	0.1	53	344.0	6.60	1.00
SO SRCPARAM	3	2.0	51	302.1	18.67	1.40
SO SRCPARAM	4	3.0	51	376.0	19.11	1.40
SO SRCPARAM	5	0.7	32	296.9	15.98	0.76
SO SRCPARAM	6	0.8	32	296.9	15.98	0.76
SO SRCPARAM	7	0.015	18	293.5	14.46	0.76
SO SRCPARAM	8	0.03	18	295.0	12.33	0.76

SO SRCGROUP ALL

SO FINISHED

RE STARTING
RE ELEVUNIT METERS
RE GRIDCART CART1 STA
RE GRIDCART CART1 XYINC 203000 120 120 2671000 120 120
RE GRIDCART CART1 END
**靜宜站
RE DISCCART 207387 2680147
**基礎站
RE DISCCART 209245 2674743
**佛光站
RE DISCCART 210806 2675267
**大雅站
RE DISCCART 213183 2680903
RE FINISHED
ME STARTING
ME INPUTFIL 777205p.asc
ME ANEMHGHT 15. METERS
ME SURFDATA 46777 2005 Taichung
ME UAIRDATA 46777 2005 Taichung
ME STARTEND 2005 09 03 01 2005 09 03 24
ME FINISHED
OU STARTING
OU RECTABLE 24 FIRST
OU PLOTFILE 24 ALL FIRST 960601-1.DAT
OU FINISHED

APPENDIX F

Albedo, Bowen, Roughness

Length

地面氣象測站		探空氣象測站選用		88年	89年	90年	91年
台東	46766	1.東港站	46747	76699t	76620t	76621t	76622t
台南	46741	1.東港站	46747	74199t	74120t	74121t	74122t
高雄	46744	1.東港站	46747	74499t	74420t	74421t	74422t
恆春	46759	1.東港站	46747	75999t	75920t	75921t	75922t
大武	46754	1.東港站	46747	75499t	75420t	75421t	75422t
東吉島	46730	1.馬公站	46734	73099m	73020m	73021m	73022m
澎湖	46735	1.馬公站	46734	73599m	73520m	73521m	73522m
蘭嶼	46762	2.東港站	46747	76299t	76220t	76221t	76222t
嘉義	46748	1.東港站	46747	74899t	74820t	74821t	74822t
梧棲	46777	1.板橋站	46692	77799p	77720p	77721p	77722p
		2.東港站	46747	77799t	77720t	77721t	77722t
日月潭	46765	1.花蓮站	46699	76599h	76520h	76521h	76522h
		2.東港站	46747	76599t	76520t	76521t	76522t
台中	46749	1.板橋站	46692	74999p	74920p	74921p	74922p
		2.東港站	46747	74999t	74920t	74921t	74922t
玉山	46755	1.花蓮站	46699	75599h	75520h	75521h	75522h
		2.東港站	46747	75599t	75520t	75521t	75522t
阿里山	46753	1.東港站	46746	75399t	75320t	75321t	75322t
成功	46761	1.花蓮站	46699	76199h	76120h	76121h	76122h
		2.東港站	46747	76199t	76120t	76121t	76122t
蘇澳	46706	1.板橋站	46692	70699p	70620p	70621p	70622p
		2.花蓮站	46699	70699h	70620h	70621h	70622h
台北	46692	1.板橋站	46692	69299p	69220p	69221p	69222p
淡水	46690	1.板橋站	46692	69099p	69020p	69021p	69022p
中正機場	46686	1.板橋站	46692	68699p	68620p	68621p	68622p
竹子湖	46693	1.板橋站	46692	69399p	69320p	69321p	69322p
竹北	46757	1.板橋站	46692	75799p	75720p	75721p	75722p
宜蘭	46708	1.板橋站	46692	70899p	70820p	70821p	70822p
花蓮	46699	1.花蓮站	46699	69999h	69920h	69921h	69922h
基隆	46694	1.板橋站	46692	69499p	69420p	69421p	69422p
彭佳嶼	46695	1.板橋站	46692	69599p	69520p	69521p	69522p
鞍部	46691	1.板橋站	46692	69199p	69120p	69121p	69122p

Fig.F-1 地面氣象測站與探空氣象站之對照表

(資料來源：模式支援中心)

Table F-1 潮濕程度判斷準則

(資料來源：美國環保署 EPA)

條件	乾燥	平均溼度	潮濕
月累積降雨量	<50mm	50~200 mm	>200mm

Table F-2 根據土地利用和季節劃分的地面反照率

(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

土地利用	春季	夏季	秋季	冬季
水	0.12	0.10	0.14	0.20
落葉林	0.12	0.12	0.12	0.50
松樹林	0.12	0.12	0.12	0.35
沼澤	0.12	0.14	0.16	0.30
耕地	0.14	0.20	0.18	0.60
草原	0.18	0.18	0.20	0.60
城市	0.14	0.16	0.18	0.35
沙漠灌木地	0.30	0.28	0.28	0.45

Table F-3 根據土地利用和季節乾燥條件下劃分的日間飽溫率

(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

土地利用	春季	夏季	秋季	冬季
水	0.1	0.1	0.1	2.0
落葉林	1.5	0.6	2.0	2.0
松樹林	1.5	0.6	1.5	2.0
沼澤	0.2	0.2	0.2	2.0
耕地	1.0	1.5	2.0	2.0
草原	1.0	2.0	2.0	2.0
城市	2.0	4.0	4.0	2.0
沙漠灌木地	5.0	6.0	10.0	10.0

Table F-4 根據土地利用和季節平均溼度條件下劃分的日間鮑溫率
(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

土地利用	春季	夏季	秋季	冬季
水	0.1	0.1	0.1	1.5
落葉林	0.7	0.3	1.0	1.5
松樹林	0.7	0.3	0.8	1.5
沼澤	0.1	0.1	0.1	1.5
耕地	0.3	0.5	0.7	1.5
草原	0.4	0.8	1.0	1.5
城市	1.0	2.0	2.0	1.5
沙漠灌木地	3.0	4.0	6.0	6.0

Table F-5 根據土地利用和季節潮濕條件下劃分的日間鮑溫率
(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

土地利用	春季	夏季	秋季	冬季
水	0.1	0.1	0.1	0.3
落葉林	0.3	0.2	0.4	0.5
松樹林	0.3	0.2	0.3	0.3
沼澤	0.1	0.1	0.1	0.5
耕地	0.2	0.3	0.4	0.5
草原	0.3	0.4	0.5	0.5
城市	0.5	1.0	1.0	0.5
沙漠灌木地	1.0	1.5	2.0	2.0

Table F-6 根據土地利用和季節區分的地面粗糙度，以 m 為單位
(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

土地利用	春季	夏季	秋季	冬季
水	0.0001	0.001	0.0001	0.0001
落葉林	1.00	1.30	0.80	0.50
松樹林	1.30	1.30	1.30	1.30
沼澤	0.20	0.20	0.20	0.05
耕地	0.03	0.20	0.05	0.01
草原	0.05	0.10	0.01	0.001
城市	1.00	1.00	1.00	1.00
沙漠灌木地	0.30	0.30	0.30	0.15

Table F-7 城市環境的地表粗糙度
(資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

環境	地表粗糙度(m)
很多樹木和樹籬，較少建築物	0.2~0.5
城鎮的郊區	0.4
小城鎮的中心	0.6
大城鎮的中心和小城市	0.7~1.0
具有較高建築物的大城市中心	1.0~3.0

APPENDIX G

Model operation method

Table G-1 AERMOD 的氣象資料檔

SURFILE (資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

第1行	year		年
第2行	month		月
第3行	day		日
第4行	j_day	Julian date	天數
第5行	hour		小時
第6行	H	sensible heat flux (W/m ²)	可感熱通量
第7行	u*	surface friction velocity (m/s)	表面摩擦速度
第8行	w*	convective velocity scale (m/s)	對流速度尺度
第9行	VPTG	vertical potential temperature gradient above PBL	位溫梯度
第10行	PBL	height of convectively-generated boundary layer (m)	對流邊界層高度
第11行	SBL	height of mechanically-generated boundary layer (m)	機械邊界層高度
第12行	L	Monin-Obukhov length (m)	莫寧沃夫尺度
第13行	Z ₀	surface roughness length (m)	地表粗糙度
第14行	B ₀	Bowen ratio	Bowen參數率
第15行	r	Albedo	地表反照率
第16行	W _s	Wind speed (m/s)	風速
第17行	W _d	Wind direction (degrees)	風向
第18行	Z _{ref}	reference height for W _s and W _d (m)	來源高度
第19行	temp	temperature (K)	溫度
第20行	Z _{temp}	reference height for temp (m)	那時所在高度時之溫度
第21行	ipcode	precipitation code	降雨碼
第22行	pamt	precipitation amount (mm/hr)	降雨量
第23行	rh	relative humidity (percent)	相對濕度
第24行	pres	station pressure (mb)	測站壓力
第25行	ccvr	cloud cover (tenths)	雲遮蔽量

PROFILE (資料來源：AERMET USER'S GUIDE)

第1行	year		年
第2行	month		月
第3行	day		日
第4行	hour		小時
第5行	height	measurement height (m)	測量高度
第6行	top	1, if this is the last (highest) level for this <i>hour</i> , or 0 otherwise	
第7行	WDnn	wind direction at the current level (degrees)	當時的風向
第8行	WSnn	wind speed at the current level (m/s)	當時的速度
第9行	TTnn	Temperature at the current level (°C)	當時的溫度
第10行	SAnn	σ_{θ} (degrees)	變動風向的標準差
第11行	SWnn	σ_w (m/s)	垂直變動風速的標準差

Table G-2 ISC氣象輸入檔預設ASCII格式

變數	Fortran 格式	欄位
Year (last 2 digits)	12	1-2
Month	12	3-4
Date	12	5-6
Hour	12	7-8
Wind direction(deg.)	F9.4	9-17
Wind speed(m/s)	F9.4	18-26
Temperature(K)	F6.1	27-32
Stability(A=1, B=2, ...F=6)	12	33-34
Mixed-layer height (village type) (m)	F7.1	35-41
Mixed-layer height (city type) (m)	F7.1	42-48
Wind Profile Exponent (<u>CARD</u> only)	F8.4	49-56
Vertical Potential Temperature Gradient (K/m)(<u>CARD</u> only)	F8.4	57-65
Friction Velocity (m/s) (Dry or Wet Deposition Only)	F9.4	49-57(66-74 for <u>CARD</u>)
Monin-Obukhov Length (m)(Dry or Wet Deposition Only)	F10.1	58-67(75-84 for <u>CARD</u>)
Surface Roughness Length (m)(Dry or Wet Deposition Only)	F8.4	68-75(85-92 for <u>CARD</u>)
Precipitation Code (00-45)(Wet Deposition Only)	14	76-79(93-96 for <u>CARD</u>)
Precipitation Rate (mm/hr) (Wet Deposition Only)	F7.2	80-86(97-103 for <u>CARD</u>)

(Data source : ISC USER'S GUIDE VOL I, 1995)

APPENDIX H

ISCST3 & AERMOD information analysis

本研究所使用之ISC氣象檔為空氣品質模式中心(AQMC)提供之777205p.asc，分別為梧棲地面氣象測站與板橋探空測站2005年之資料，包含日期、小時、風向(deg)、風速(m/s)、周圍溫度(K)、穩定度及混合層高度(m)。ISC氣象前處理中，採用在一時段內(一般為1小時)風場為固定風向及風速，一般風向代表風由那邊吹來，在ISC中則採用風流向那邊，與AERMET所使用之風向不同。

AERMET氣象前處理模式中，所使用的氣象資料基本上與ISC相同。此外AERMET可以輸入現場觀測數據。與ISC不同的地方在於，必須分別輸入12個方向上隨季節性變化的中午地面反照率(Albedo)、鮑溫率(Bowen)、以及地表粗糙度(Roughness Length)。這三個參數設定上必須依據所使用的氣象觀測站附近的土地利用，以及每個月的降雨量來進行處理。以本研究為例，可參考Table H-1所示。

Table H-1 三個方向的地面反照率、鮑溫率及地表粗糙度設定

Year of 2005		10° ~115°			115° ~190°			190° ~10°		
Month	Albedo	Bowen	Roughness Length	Albedo	Bowen	Roughness Length	Albedo	Bowen	Roughness Length	
1	0.35	2.00	0.60	0.35	2.00	0.40	0.35	2.00	0.30	
2	0.35	2.00	0.60	0.35	2.00	0.40	0.35	2.00	0.30	
3	0.14	2.00	0.60	0.14	2.00	0.40	0.14	2.00	0.30	
4	0.14	2.00	0.60	0.14	2.00	0.40	0.14	2.00	0.30	
5	0.14	2.00	0.60	0.14	2.00	0.40	0.14	2.00	0.30	
6	0.16	4.00	0.60	0.16	4.00	0.40	0.16	4.00	0.30	
7	0.16	4.00	0.60	0.16	4.00	0.40	0.16	4.00	0.30	
8	0.16	4.00	0.60	0.16	4.00	0.40	0.16	4.00	0.30	
9	0.18	4.00	0.60	0.18	4.00	0.40	0.18	4.00	0.30	
10	0.18	4.00	0.60	0.18	4.00	0.40	0.18	4.00	0.30	
11	0.18	4.00	0.60	0.18	4.00	0.40	0.18	4.00	0.30	
12	0.35	2.00	0.60	0.35	2.00	0.40	0.35	2.00	0.30	

Table H-2 草原、城市以及沙漠反照率敏感度比較表

Parameter	Albedo (March)		
	grasslands(0.18)	city (0.14)	desert (0.3)
Date	AERMOD concentration		
01	1.07	1.06	1.10
02	1.53	1.54	1.47
03	0.75	0.75	0.75
04	2.05	2.05	2.05
05	1.84	1.86	1.81
06	2.44	2.44	2.42
07	3.04	3.03	3.05
08	3.27	3.28	3.22
09	4.00	3.97	4.13
10	0.50	0.51	0.50
11	0.47	0.47	0.45
12	1.11	1.11	1.11
13	1.21	1.22	1.21
14	1.11	1.11	1.10
15	2.97	2.98	2.95
16	5.08	5.08	5.08
17	0.36	0.36	0.36
18	0.97	0.97	0.97
19	0.56	0.57	0.55
20	1.87	1.88	1.84
21	2.65	2.62	2.66
22	0.16	0.15	0.16
23	0.68	0.68	0.67
24	1.00	1.01	0.99
25	0.42	0.42	0.42
26	3.12	3.13	3.02
27	3.99	3.90	4.14
28	0.09	0.09	0.09
29	0.88	0.87	0.88
30	1.47	1.47	1.45
31	2.93	2.93	2.92

Table H-3 草原、城市以及沙漠飽溫率敏感度比較表

Date	Parameter	Bowen (March)		
		grasslands (1)	city (2)	desert (5)
				AERMOD concentration
01		1.11	1.06	1.02
02		1.51	1.54	1.56
03		0.75	0.75	0.74
04		2.05	2.05	2.04
05		1.83	1.86	1.88
06		2.43	2.44	2.46
07		3.05	3.03	3.00
08		3.23	3.28	3.32
09		4.09	3.97	3.92
10		0.50	0.51	0.51
11		0.47	0.47	0.47
12		1.11	1.11	1.10
13		1.22	1.22	1.21
14		1.10	1.11	1.12
15		2.96	2.98	2.99
16		5.07	5.08	5.09
17		0.36	0.36	0.35
18		0.97	0.97	0.97
19		0.56	0.57	0.57
20		1.85	1.88	1.90
21		2.65	2.62	2.61
22		0.16	0.15	0.15
23		0.68	0.68	0.67
24		1.00	1.01	1.01
25		0.42	0.42	0.41
26		3.07	3.13	3.19
27		4.06	3.90	3.77
28		0.09	0.09	0.09
29		0.89	0.87	0.86
30		1.48	1.47	1.46
31		2.96	2.93	2.90

Table H-4 草原、城市以及沙漠地表粗糙度敏感度比較表

Date	Parameter	Roughness ength (March)		
		grasslands (0.05)	city (1)	desert (0.3)
				AERMOD concentration
01		1.56	1.06	1.36
02		2.00	1.54	1.53
03		0.43	0.75	0.44
04		2.62	2.05	2.01
05		2.62	1.86	2.27
06		4.01	2.44	3.03
07		4.22	3.03	3.67
08		3.89	3.28	3.73
09		5.68	3.97	4.93
10		0.53	0.51	0.56
11		0.52	0.47	0.72
12		0.69	1.11	0.74
13		2.43	1.22	1.10
14		2.52	1.11	1.89
15		4.47	2.98	3.71
16		7.71	5.08	6.33
17		0.35	0.36	0.36
18		1.80	0.97	0.92
19		1.15	0.57	0.76
20		2.68	1.88	2.22
21		4.18	2.62	3.37
22		0.20	0.15	0.19
23		1.16	0.68	0.72
24		1.86	1.01	1.37
25		0.67	0.42	0.50
26		4.31	3.13	3.79
27		5.39	3.90	4.84
28		0.20	0.09	0.14
29		2.02	0.87	1.12
30		2.35	1.47	1.80
31		5.02	2.93	3.86

Table H-5 ISCST3與AERMET穩定度分類

Time	Stability classify			
	ISCST3		AERMET	
8	4	Neutral stability	-50.1	unstable
9	4	Neutral stability	-44.6	unstable
10	4	Neutral stability	-18.7	unstable
11	3	Mild instability	-44.5	unstable
12	3	Mild instability	-51.2	unstable
13	4	Neutral stability	-42.9	unstable
14	3	Mild instability	-37.7	unstable
15	3	Mild instability	-37.1	unstable
16	4	Neutral stability	-75.9	unstable
17	4	Neutral stability	-52.2	unstable
18	4	Neutral stability	105.2	stable
19	4	Neutral stability	33.9	stable

APPENDIX I

National Chung Hsing University (PM_{2.5} & PM_{2.5-10})

Heavy Metal	Winter(N=25)	Year(N=100)	Winter(N=25)	Year(N=100)
	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM _{2.5-10}
Al	315.1±165.9 (82.3~768.3)	305.2±229.5 (25.4~1001.1)	1132.4±930.8 (299.7~3646.4)	869.1±683.8 (223.3~3646.4)
Fe	297.0±165.7 (64.0~760.7)	255.7±169.5 (36.3~771.7)	844.9±580.4 (206.8~2178.6)	662.2±440.2 (129.8~2178.6)
Na	264.4±147.2 (114.1~894.7)	229.4±121.1 (66.4~894.7)	752.3±418.1 (52.7~902.3)	616.3±378.5 (95.4~1830.0)
Mg	78.7±51.6 (24.1~206.4)	68.5±54.0 (13.3~311.7)	322.0±214.0 (52.7~902.3)	249.5±160.4 (41.8~902.3)
K	397.9±351.5 (96.2~1415.7)	307.3±226.8 (90.6~1415.7)	329.5±332.6 (65.9~1213.5)	232.4±196.9 (26.8~1213.5)
Ca	134.5±87.6 (41.3~392.6)	112.6±84.7 (14.3~470.5)	890.3±830.6 (199.3~3479.8)	651.9±575.9 (132.8~3479.8)
Sr	2.02±1.00 (0.46~4.41)	1.69±1.15 (0.36~5.53)	7.07±5.90 (1.34~23.57)	5.16±4.44 (0.68~23.95)
Ba	6.75±2.65 (2.01~11.73)	6.61±4.00 (1.22~23.65)	23.54±9.59 (6.35~40.41)	17.64±9.01 (3.10~40.41)
Ti	14.2±7.2 (3.3~29.5)	13.9±11.4 (2.8~75.7)	78.0±54.6 (11.8~205.9)	59.7±40.2 (11.8~205.9)
Mn	68.59±56.65 (6.36±256.83)	60.81±52.27 (2.33~256.83)	22.93±16.01 (3.97~56.77)	17.99±12.53 (1.64~56.77)
Co	0.30±0.11 (0.11~0.52)	0.33±0.16 (0.11~1.05)	0.53±0.28 (0.13~1.17)	0.46±0.25 (0.13~1.17)
Ni	3.3±2.0 (1.0~9.6)	4.0±2.5 (0.5~13.8)	2.7±1.2 (N.D.~5.0)	2.6±1.3 (N.D.~7.5)
Cu	15.0±6.6 (5.6~32.8)	12.7±8.5 (2.2~52.0)	11.1±5.0 (4.3~22.0)	9.8±6.6 (1.6~55.4)
Zn	130.1±80.7 (25.8~297.1)	108.8±72.5 (12.5~297.1)	49.0±30.7 (11.3~121.5)	43.8±31.3 (N.D.~173.9)
Mo	0.94±0.59 (0.22~2.75)	0.80±0.46 (0.17~2.75)	0.74±0.37 (0.29~1.53)	0.57±0.31 (0.12~1.53)
Cd	1.34±0.89 (0.35~3.90)	1.15±0.74 (0.15~3.90)	0.28±0.23 (0.04~0.89)	0.18±0.16 (N.D.~0.89)
Sb	4.02±2.80 (0.98~10.95)	6.32±6.96 (0.98~42.92)	4.96±8.50 (0.45~31.25)	8.17±11.51 (N.D.~64.09)
Pb	63.5±43.3 (12.3~168.6)	46.3±31.8 (6.1~168.6)	18.0±16.9 (2.2~67.7)	13.7±15.3 (N.D.~106.9)
V	3.62±2.21 (1.10~9.50)	4.82±3.37 (0.97~19.47)	2.31±1.58 (0.51~5.94)	1.94±1.15 (N.D.~5.94)
Cr	4.3±2.1 (1.8~10.2)	3.8±2.3 (0.6~12.0)	6.8±2.8 (1.2~12.2)	6.1±2.7 (1.2~14.0)
As	2.22±1.81 (0.53~8.62)	1.63±1.30 (0.29~8.62)	0.49±0.48 (0.04~1.89)	0.32±0.32 (N.D.~1.89)
Se	1.25±1.06 (0.20~4.85)	1.04±0.97 (0.12~4.85)	0.26±0.23 (N.D.~0.80)	0.18±0.17 (N.D.~0.80)

Unit : ngm⁻³

APPENDIX J

The QC list of this analysis

品管措施		品管要求	執行時機／頻率	執行情形
1	檢量線	(1)檢量線包括檢量線空白 (2)重複三次積分分析，取平均值 (3)線性相關係數(r 值)應大於或等於 0.995	每次樣品分析前 應重新製作檢量線	(1)檢量線計算範圍包含檢量線零點 (2)檢量線各點強度以三次的平均積分值做為線性迴歸 (3)線性相關係數(r 值)： As：0.9961-0.9998 Cr：0.9992-0.9999 Mn：0.9979-0.9999 Cd：0.9953-0.9981 Ni：0.9966-0.9993 Cu：0.9987-0.9996 Pb：0.9961-0.9995 Fe：0.9953-0.9999 Mg：0.9966-0.9998 Ca:0.9952-0.9997 Zn：0.9953-0.9981
2	檢量線查核 (CCV)	以檢量線中間濃度附近的標準溶液進行，其相對誤差應在±10%	每 10 個樣品及每 批次分析結束時	相對誤差： As：-9.9%~6.8% Cr：-3.5%~9.2% Mn：-4.8%~7.9% Cd：-8.9%~6.5% Ni：-3.8%~7.0% Cu：-7.6%~9.0% Pb：-3.1%~8.4% Fe：-6.5%~3.2% Mg：-6.3%~8.9% Ca：-3.2%~8.9% Zn：-9.9%~6.5%
3	查核樣品分析	查核樣品回收率應在 80~120%以內	每批次或每 20 個 樣品	查核樣品回收率： As：90.6%~117.1% Cr：84.0%~114.2% Mn：86.9%~118.3% Cd：81.8%~103.1% Ni：80.5%~118.2% Cu：97.4%~109.9% Pb：96.1%~114.9% Fe：85.2%~110.4% Mg：99.6%~112.1% Ca：83.7%~100.6% Zn：96.2%~115%.8
4	重複樣品分析	相對差異百分比應在 20% 以內	每批次或每 20 個 樣品	相對差異百分比： As：9.2%~17.8% Cr：9.9%~15.8% Mn：6.9%~18.4% Cd：4.5%~16.3% Ni：5.59%~12.5% Cu：4.0%~18.5% Pb：1.1%~15.8% Fe：3.2%~16.2% Mg：6.5%~19.2% Ca：8.4%~16.7% Zn：5.6%~18.9%

5	添加樣品分析	添加回收率應在 75~125% 以內	每批次或每 20 個樣品	添加樣品回收率： As：100.4%~117.2% Cr：85.4%~120.5% Mn：95.6%~103.8% Cd：95.0%~112.8% Ni：88.8%~122.9% Cu：97.8%~105.8% Pb：94.4%~123.9% Fe：80.0~115.1% Mg：76.3~122.5% Ca：92.3%~115.6% Zn：99.6%~122.7%
6	MDL(μ g/L)			As：0.09 Cr：0.05 Mn：0.04 Cd：0.06 Ni：0.08 Cu：1.12 Pb：0.92 Fe：90.9 Mg：55.2 Ca：72.3 Zn：69.8
7	空白樣品分析(ng/m^3)	空白分析值應小於 3MDL	每次分析	As：0.15~0.28 Cr：0.06~0.11 Mn：0.02~0.13 Cd：0.05~0.15 Ni：0.29~0.38 Cu：0.6~2.5 Pb：0.99~3.08 Fe：90.0~210 Mg：50.2~78.6 Ca：40.3~66.4 Zn：20.4~33.6

APPENDIX K

The visibility compared with Hongkon

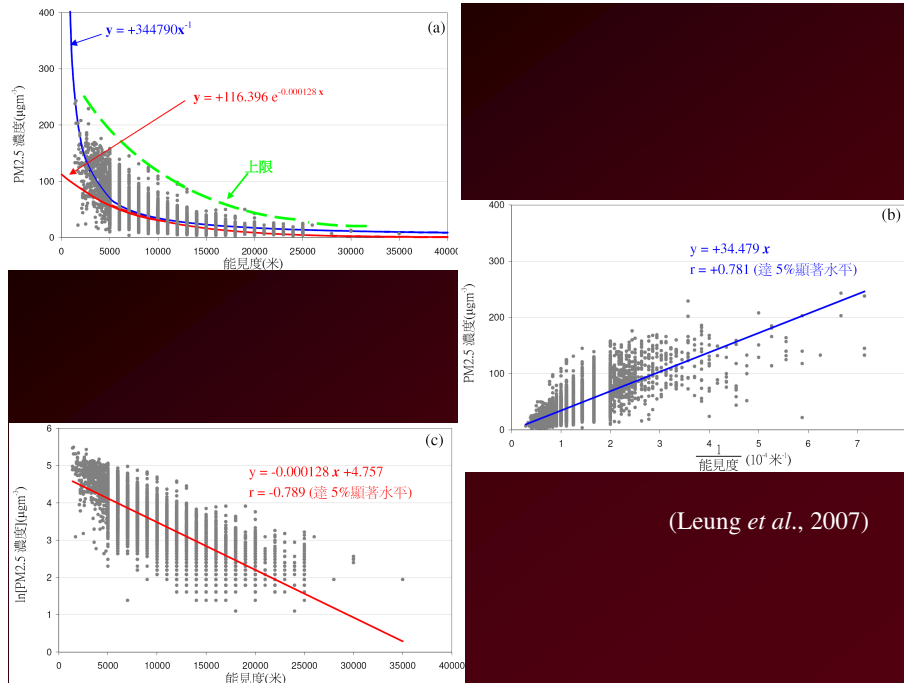


Fig.K-1. The visibility in Hongkong

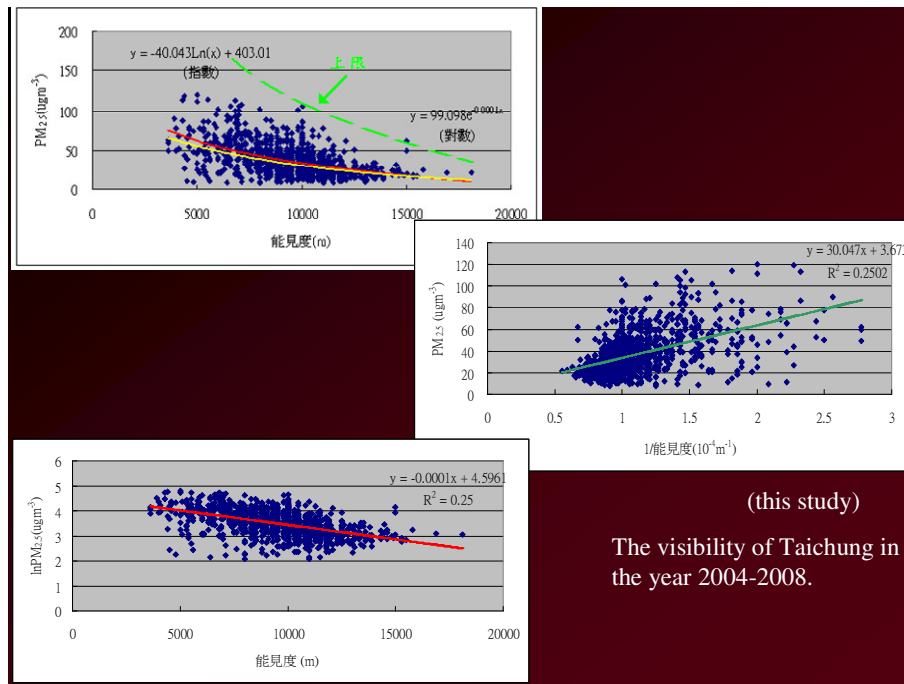


Fig.K-2. The visibility in Taichung