

國立臺灣大學公衛學院環境衛生研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Health

College of Public Health

National Taiwan University

Master Thesis

評估台灣回溯式 $PM_{2.5}$ 之預測情形：模式間之結果比較

Retrospective Prediction of $PM_{2.5}$ Levels : Comparison of

Empirical Models



陳郁茹

Yu-Ju Chen

指導教授：吳章甫 博士

Advisor: Chang-Fu Wu, Ph.D.

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

致謝

在台大的研究所生活裡，經歷了學業的壓力和研究上的瓶頸，感謝這些辛苦的日子，讓我也能夠更樂觀積極的去面對未來的挑戰。在這兩年多的期間，感謝我的指導教授吳章甫老師，在我不熟悉的領域裡，很有耐心地教導我如何思考並引導我正確的方向，遇到困難與瓶頸時，總能給我最大的鼓勵及幫助，讓我也能順利口試並完成碩士論文，在此致上最大的感謝。感謝各位口試委員們的用心與建議，使我的論文得以更臻完善，在此再一次感謝。

感謝 ORS 實驗室的夥伴們，又心學姐的幫忙與指導，讓我在 SAS 的資料處理上能更順利，也互相抒發了研究上的壓力和分享生活上的點滴。與張 CC 在辦公室的日子，和虹儀一起發洩的心情以及阿鋼的周星馳模仿，都讓我在生活中增添更多的笑料與樂趣。感謝建文和嘉陽兩位戰友的陪伴，以及紀璋、碎碎、士鈞、政凱學長們在學習上的許多意見。

感謝環衛所的小妞們，一起在碩研室談天說笑，總讓我也能短暫放鬆研究上之壓力。常常一起出去大吃大喝，開心聊著身邊的事情的婉婷、維珍、子寧、瓊文、小星、白小白，一起互相加油打氣的采菽、聆文、依恬、彥汝、安琪、百宸，感謝因為有你們，讓我兩年的碩士生活增添了歡笑與樂趣。

從大學到研究所這六年，謝謝在我身邊照顧我、關心我、接受我所有情緒的明文，即使我們分開在台灣的北部和南部，但是，每晚的 MSN 讓我感覺妳一直在我的身邊陪伴著我，謝謝妳。

最後，我要感謝我最親愛的家人們，在我最無力的時候，給我最大的關懷和照顧，也很感謝你們包容我的壞脾氣，你們一直是我最大的支柱。我最親愛的，你永遠在我心中。能完成這本論文是受到很多人的照顧及幫助，在此我要感謝所有幫助我的朋友們，謝謝。

郁茹 2011.8

摘要

近幾年許多流行病學研究顯示，長期暴露於大氣中空氣污染物細微顆粒物PM_{2.5}會使人體健康產生肺癌以及心血管功能傷害相關的疾病，甚至造成死亡率的攀升。然而，早期PM_{2.5}的測量機制並不是那麼完整而限制了分析長期PM_{2.5}暴露對健康造成的影響。本研究以相關空氣污染物和氣象條件資料發展回推預測PM_{2.5}濃度之模式。

從2005年台灣環境保護署空氣品質監測網普通測站開始有完整的PM_{2.5}量測數據。為預測過去缺少之PM_{2.5}測量值數據，將現有的空氣品質監測站和中央氣象局測站兩個單位資料分為2005-2009年和1993-2004年兩組數據分別用於建立和驗證模式。運用每日平均濃度的一氧化碳，氮氧化物，二氧化硫，和臭氧空氣污染物以及溫度，風速和相對濕度等氣象條件，建立與PM_{2.5}/PM₁₀比值相關的各類混合模式。將回推預測與實際量測之PM_{2.5}濃度值作迴歸模式，比較R²值來驗證模式之可信度，並應用推估結果來評估比較模式的適用性。

以PM_{2.5}的回推結果而言，針對全國空氣品質監測站，運用2005-2009年數據建立模式所預測PM_{2.5}的數據與實際測量值可顯示良好的相關性(R²=0.62-0.92)，除了台東測站有偏低之相關性(R²=0.32-0.40)。針對從1997年開始有PM_{2.5}量測數據的古亭，忠明，鳳山和林園四站空品測站，比較所回推預測的PM_{2.5}與1997-2004年實際測量PM_{2.5}的數據也呈現良好的相關性(R²=0.66-0.72)。另外，除了氣狀空氣污染物，只運用PM₁₀，能見度，溫度，風速和相對濕度資料納入模式分析預測和實際量測的PM_{2.5}就能指出良好的相關性(R²=0.66-0.71)。

根據空氣污染物，能見度和氣象變項條件可運用PM_{2.5}/PM₁₀比值預測過去PM_{2.5}之暴露情形。但是，資料來源的監測數值資料不足的情形會限制模式的建立和預測回推值所建立的模式，以致於影響推估結果；而污染物濃度在不同空間尺度上的變化也會造成不同的推估結果，因此未來可依據各測站的資料筆數完整性

和測站地理位置以及特性來分別建立不同之模式。

關鍵字：空氣微粒、暴露、模式、回推預測



Abstract

Many epidemiological studies have found increased mortality as well as disease, such as lung cancer and cardiopulmonary morbidity were associated with long-term exposure to ambient fine particulate matters, PM_{2.5} (particulate matters with aerodynamic diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$). However, ambient monitoring programs for PM_{2.5} did not exist in early years, posing difficulties on analyzing health effects from long-term PM_{2.5} exposure. This thesis developed site-specific models for retrospective prediction of PM_{2.5} levels using available data on air pollutants and meteorological variables.

The Taiwan Environmental Protection Administration has complete PM_{2.5} data at each monitoring site since 2005. In order to predict values during periods when PM_{2.5} data were not available, the dataset from air quality monitoring and central weather bureau stations were divided into two groups with data in 2005-2009 and in 1993-2004 used for model building and verification, respectively. The data were used to model PM_{2.5}/PM₁₀ ratio with daily 24-hour average levels of CO, NO_x, SO₂, and/or O₃. In addition to air pollutants, visibility and meteorological variables including daily temperature, wind speed, and relative humidity were also considered. Models were developed separately for each air monitoring site.

PM_{2.5} estimation results for each air monitoring site from 2005 to 2009 matched well with the actual PM_{2.5} data ($R^2=0.62-0.92$), except for the Taitung site ($R^2=0.32-0.40$). For Guting, Chungming, Fengshan and Linyuan sites which had complete PM_{2.5} data from 1997, comparison of the PM_{2.5} estimation for 1997-2004 with the measured PM_{2.5} also shows moderate association ($R^2=0.66-0.72$). With only PM₁₀, visibility and the meteorological data, but not gaseous pollutants, included in the

analysis shows strong association ($R^2=0.66-0.71$). Our study results show that it is feasible to use $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio to predict historical $PM_{2.5}$ exposure levels from existing data of air pollutants, visibility and meteorological variables. The variability of pollution concentration in different spatial scales could affect the modeling results. Thus, establishing empirical models separately for different types of monitoring sites may be necessary.

Keywords: $PM_{2.5}$ 、Exposure、Model、Retrospective



目錄

致謝	I
摘要	II
Abstract	IV
目錄	VI
表目錄	VIII
圖目錄	IX
第一章 前言	1
1.1 研究背景	1
1.2 文獻回顧	1
1.2.1 影響 PM _{2.5} 因素	1
1.2.2 回推 PM _{2.5} 之情形	2
1.3 研究設計	3
第二章 研究資料與方法	8
2.1 資料來源	8
2.1.1 空氣污染物資料	8
2.1.2 氣象資料	9
2.2 統計分析	10
第三章 結果與討論	15
3.1 資料前處理	15
3.2 PM _{2.5} 濃度情形	16
3.3 PM _{2.5} /PM ₁₀ 濃度情形	16
3.4 PM _{2.5} 與變項之相關性	17
3.5 決定所要預測之依變項 Y 值	18
3.6 模式建立之結果比較	19
3.6.1 第一類模式：環保署空氣品質監測站	20
3.6.2 第二類模式：中央氣象局測站	21
3.6.3 第三類模式：環保署空氣品質監測站 + 中央氣象局測站	22
3.7 模式驗證之結果比較	23
3.8 模式運用之結果	24
3.8.1 以相同的資料筆數建立模式	24
3.8.2 以月平均之數值建立模式	25
3.9 實際量測與回推預測 PM _{2.5} 值之探討	25
3.9.1 趨勢圖之分佈	26
3.9.2 濃度標準之探討	26

3.9.3 去除高估的數值後進行模式驗證	28
3.10 共線性之探討	29
3.11 PM _{2.5} /PM ₁₀ 之係數探討	29
第四章 結論	87
參考文獻	89
附錄	92
附錄 1 空氣品質監測站 PM _{2.5} 日平均濃度分佈	92
附錄 2 嶺背測站 PM _{2.5} , PM _{2.5} /PM ₁₀ 比值與各變項之 Pearson 相關係數	93
附錄 3 台東測站 PM _{2.5} , PM _{2.5} /PM ₁₀ 比值與各變項之 Pearson 相關係數	94
附錄 4 能見度預測之相關研究	95
附錄 5 模式 1 與模式 5 推估 1997-2004 年實際量測與回推預測的 PM _{2.5} 濃度範圍百分比(%)	96
附錄 6 模式 1 : PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 2005-2009 年實際測量和回推預測 PM _{2.5} 濃度值之關係圖	97
附錄 7 模式 5 : PM _{2.5} /PM ₁₀ =Temperature+RH+Windspeed+Visibility 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 2005-2009 年實際測量和回推預測 PM _{2.5} 濃度值之關係圖	98



表目錄

表 1.1 回推污染物過去情形之相關研究	5
表 2.1 空氣品質監測站(AQM)與中央氣象局測站(CWB)之相距距離	12
表 2.2 依資料來源不同建立各類模式及模式測站數之整理表	13
表 3.1 測站名稱與代號對照表(1/2)	31
表 3.1 測站名稱與代號對照表(2/2)	32
表 3.2 古亭測站 $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與各變項之 Pearson 相關係數(1/4)	33
表 3.2 忠明測站 $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與各變項之 Pearson 相關係數(2/4)	34
表 3.2 凤山測站 $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與各變項之 Pearson 相關係數(3/4)	35
表 3.2 林園測站 $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與各變項之 Pearson 相關係數(4/4)	36
表 3.3 空品測站模式: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 和 $PM_{2.5}=PM_{10}+CO+NO_x+SO_2$ 之 R^2 值比較表($n=$ 資料筆數).....	37
表 3.4 空品測站驗證模式之 $R^2_{prediction}$ 值比較表($n=$ 驗證模式之資料筆數).....	38
表 3.5 空品測站各模式預測值與實際量測值之均方根誤差(RMSE)比較表.....	39
表 3.6 空品測站以相同資料筆數建立模式之 R^2 值比較表($n=$ 建立和驗證模式之資料筆數)	40
表 3.7 空品測站以月平均資料建立模式之 R^2 值比較表 ($n=$ 資料筆數).....	41
表 3.8 日平均資料建立模式之預測值與實際量測值，分別以月平均，季平均，年平均比較 R^2 值之整理表	42
表 3.9 空品測站根據模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 及 $65\mu g/m^3$ 敏感度，偽陽性，偽陰性，特異度之整理表	43
表 3.10 空品測站根據模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 及 $65\mu g/m^3$ 敏感度，偽陽性，偽陰性，特異度之整理表	44
表 3.11 空品測站根據模式將回推預測 $>120\mu g/m^3$ 的 $PM_{2.5}$ 濃度值刪除之驗證模式整理表	45
表 3.12 各模式 $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與變項間 $VIF>10$ 之空品測站整理表	46

圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖	7
圖 2.1 空氣品質監測站與中央氣象局測站地理位置	14
圖 3.1 空氣品質監測站變項(1)CO 和(2)NO _x 不足 75%以上小時數值比例(1/5) ...	47
圖 3.1 空氣品質監測站變項(3)SO ₂ 和(4)O ₃ 不足 75%以上小時數值比例(2/5).....	48
圖 3.1 空氣品質監測站變項(5)PM ₁₀ 和(6)PM _{2.5} 不足 75%以上小時數值比例(3/5) 49	49
圖 3.1 空氣品質監測站變項(7)Temperature 和(8)RH 不足 75%以上小時數值比例 (4/5)	50
圖 3.1 空氣品質監測站變項(9)Windspeed 不足 75%以上小時數值比例(5/5).....	51
圖 3.2 空氣品質監測站 PM _{2.5} /PM ₁₀ >1 比例	52
圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(1)CO 和(2)NO _x 變項日數缺失比例 (1/5)	53
圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(3)SO ₂ 和(4)O ₃ 變項日數缺失比例 (2/5)	54
圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(5)PM ₁₀ 和(6)PM _{2.5} 變項日數缺失比 例(3/5)	55
圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(7)PM _{2.5} /PM ₁₀ 和(8)Windspeed 變項 日數缺失比例(4/5)	56
圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(9)Temperature 和(10)RH 變項日數 缺失比例(5/5)	57
圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(1)CO 和(2)NO _x 變項日數缺 失比例(1/5)	58
圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(3)SO ₂ 和(4)O ₃ 變項日數缺 失比例(2/5)	59
圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(5)PM ₁₀ 和(6)PM _{2.5} 變項日數 缺失比例(3/5)	60
圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(7)PM _{2.5} /PM ₁₀ 和 (8)Windspeed 變項日數缺失比例(4/5).....	61
圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(9)Temperature 和(10)RH 變 項日數缺失比例(5/5)	62
圖 3.5 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM _{2.5} /PM ₁₀ 日平均濃度分佈	63
圖 3.6 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM _{2.5} /PM ₁₀ 各年平均濃度分佈	64
圖 3.7 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM _{2.5} /PM ₁₀ 各月平均濃度分佈	64
圖 3.8 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM _{2.5} /PM ₁₀ 依測站特性的平均濃度分佈	65

圖 3.9 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 資料筆數百分比分佈	65
圖 3.10 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 1 與模式 2 之日數	66
圖 3.11 空氣品質監測站建立模式 1 與模式 2 之 R^2_{model} 值	66
圖 3.12 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 3 與模式 4 之日數	67
圖 3.13 空氣品質監測站建立模式 3 與模式 4 之 R^2_{model} 值	67
圖 3.14 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 1 之相關性	68
圖 3.15 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 2 之相關性	68
圖 3.16 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 3 之相關性	69
圖 3.17 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 4 之相關性	69
圖 3.18 建立模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 之 R^2_{model} 值	70
圖 3.19 建立模式 $PM_{2.5}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 之 R^2_{model} 值	70
圖 3.20 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 6: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+SO_2+NO_x+Temperature+Windspeed+Visibility$ 與模式 7: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+SO_2+NO_x+O_3+Temperature+Windspeed+Visibility$ 之日數	71
圖 3.21 建立模式 6: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+SO_2+NO_x+Temperature+Windspeed+Visibility$ 與模式 7: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+SO_2+NO_x+O_3+Temperature+Windspeed+Visibility$ 之 R^2_{model} 值	71
圖 3.22 古亭空品測站以模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 回推預測與實際量測 2005-2009 年 $PM_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖	72
圖 3.23 古亭空品測站以模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 回推預測與實際量測 2005-2009 年 $PM_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖	73
圖 3.24 古亭空品測站以模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 回推預測與實際量測 1997-2004 年 $PM_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖	74
圖 3.25 古亭空品測站以模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 回推預測與實際量測 1997-2004 年 $PM_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖	75
圖 3.26 模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 回推預測全國空氣品質監測站 1993-2009 年 $PM_{2.5}$ 值年平均濃度趨勢圖	76
圖 3.27 模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 回推預測 18 站空 氣品質監測站 1993-2009 年 $PM_{2.5}$ 值年平均濃度趨勢圖	76
圖 3.28 空品測站根據模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 預測 1997-2004 年回推值 與實際量測之日平均 $PM_{2.5}$ 濃度超過(1) $35\mu g/m^3$ 及(2) $65\mu g/m^3$ 比例	77
圖 3.29 空品測站根據模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $PM_{2.5}$ 濃度超過(1) $35\mu g/m^3$ 及 (2) $65\mu g/m^3$ 比例	78
圖 3.30 模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳 山(4)林園 1997-2004 年回推預測各 $PM_{2.5}$ 濃度值之敏感度(Sensitivity)和特異度 (Specificity)分佈	79

圖 3.31 模式 5 : $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年回推預測各 $PM_{2.5}$ 濃度值之敏感度(Sensitivity)和特異度(Specificity)分佈	80
圖 3.32 模式 1 : $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年實際測量和回推預測 $PM_{2.5}$ 濃度值之關係圖	81
圖 3.33 模式 5 : $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年實際測量和回推預測 $PM_{2.5}$ 濃度值之關係圖	82
圖 3.34 全國空氣品質監測站模式 1 預測 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之(1)CO(2) NO_x (3) SO_2 變項係數分佈(1/2)	83
圖 3.34 全國空氣品質監測站模式 1 預測 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之(1)CO(2) NO_x (3) SO_2 變項係數分佈(2/2)	84
圖 3.35 18 站空品測站模式 5 預測 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之 (1)Temperature(2)RH(3)Windspeed(4)Visibility 變項係數分佈(1/2)	85
圖 3.35 18 站空品測站模式 5 預測 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之 (1)Temperature(2)RH(3)Windspeed(4)Visibility 變項係數分佈(2/2)	86



第一章 前言

1.1 研究背景

自從 U.S. Six City 於世代研究(cohort study)中指出長期暴露於大氣中空氣污染物細微顆粒物 PM_{2.5}(空氣粒徑小於或等於 2.5μm 之懸浮微粒)會使人體健康產生肺癌以及心血管功能傷害相關的疾病，甚至造成死亡率的攀升(Dockery, Pope et al. 1993)，許多流行病學開始針對 PM_{2.5} 對人體健康造成的影響進行研究(Neupane, Jerrett et al. 2010; Ostro, Lipsett et al. 2010; Chuang, Yan et al. 2011; Gan, Koehoorn et al. 2011)。針對老年人而言，Neupane, Jerrett et al. (2010)指出長時間暴露於高濃度之二氧化氮(NO₂)和 PM_{2.5} 會因肺炎而造成的住院率有顯著之相關性：OR(odds ratio)=2.26；95% CI(confidence interval)=1.20-4.24%；P=0.012。

US EPA 於 1990 年將國家空氣品質標準，National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) 規範建立完成後，1998 年公佈 PM_{2.5} 之量測標準，並從 1999 年開始進行 PM_{2.5} 之監測；台灣行政院環境保護署(Environmental Protection Administration, EPA)從 1997 年開始在少數的空氣品質監測站(Air Quality Monitoring Station, AQM)有 PM_{2.5} 之量測，於 2005 年後才在全國各空品測站有完整之 PM_{2.5} 監測數值。早期 PM_{2.5} 的測量機制並不是那麼完整因而限制了分析關於長期暴露 PM_{2.5} 對健康造成的影响(Lall, Kendall et al. 2004; Paatero, Aalto et al. 2005; Yu and Wang 2010)。因此，本研究針對各空氣品質監測站發展以相關空氣污染物和氣象資料回推 PM_{2.5} 濃度之模式。

1.2 文獻回顧

1.2.1 影響 PM_{2.5} 因素

懸浮微粒(Particulate Matter, PM)是由懸浮於空氣中的有機和無機物質所組成的複雜固體或液體的混合物，而其生成機制可以是直接從自然或人為過程中排放

的一次空氣污染物，或是二次污染物，如硫酸鹽(sulfate)，硝酸鹽(nitrate)和有機化合物(OC, organic compounds)等(Pun, Wu et al. 2002)。

能見度(Visibility)又稱為視程(visual range)，定義為用肉眼(裸視)判斷水平方向上觀測標的物與背景間(通常以天空為背景)可見最遠距離的暗色物體。大氣中氣狀污染物和懸浮微粒因化學組成因素可經由散射和吸收光線而導致能見度之下降，而其中以懸浮微粒的 PM_{2.5} 在可見光的波長範圍內能有效地形成光散射，對能見度之影響程度最大，而能見度的好壞可視為人類視覺感官對空氣污染程度的最直接判斷(Lee, Yuan et al. 2005; Lin, Tai et al. 2010)。當空氣中相對濕度(Relative humidity, RH)增加時，使得硫酸鹽及硝酸鹽等物質發生潮解現象，進而改變懸浮微粒之大小及成份，增加散射係數並造成能見度之降低。冬季期間，都會區常因晨間溫度偏低，氣溫降至露點附近，使得空氣中相對濕度升高，間接導致懸浮微粒之化學成份及粒徑大小發生改變，因而造成冬季能見度普遍不佳；由此可知，氣象條件，特別是濕度以及懸浮微粒 PM_{2.5} 的物化特性變化是影響能見度最主要的因子(Tsai and Cheng 1999; Cheng and Tsai 2000; Lee, Yuan et al. 2005)。對許多國家而言，能見度的資料在機場以及氣象測站已經有長時間定期監測以及收集，相對於因為缺失值而不可運用的空氣污染物量測資訊，能見度可被用來取代空氣污染物去評估健康之影響(Vajnapoom, Shy et al. 2001; Huang, Tan et al. 2009)。

1.2.2 回推 PM_{2.5} 之情形

為了要解決過去所缺少的 PM_{2.5} 數據資料，先前有在 US 的研究運用比值的概念從超過 100 個大都會統計區(Metropolitan Statistical Areas, MSAs)的各資料庫取得從 1987 年開始有實際量測值的 PM₁₀(空氣粒徑小於或等於 10μm 之懸浮微粒)，1998 年開始有實際量測值的 PM_{2.5} 和從 1972 年開始有實際量測值的 TSP(total suspended particulate matter)值，依照季平均計算後發展出 PM_{2.5}/PM₁₀ 和 PM_{2.5}/TSP 相關的方程式來預測 1972-2000 年過去的 PM_{2.5} 情形；此方法假設為懸浮微粒(PM)的變化情形可隨著時間改變，但是來源需相對混合才能造成 PM 的分佈相對的穩

定。運用 1979-1983 年間有實際量測值和所推估的 $PM_{2.5}$ 濃度值比較後呈現合理的相關性($R^2=0.43$)，結果顯示雖然 $PM_{2.5}$ 預測值有輕微的高估現象(大約 3%)，但確實可運用比值的方式發展出用來推估過去 $PM_{2.5}$ 在 US 暴露之情形的方法。綜觀所推估超過 30 年每年的 $PM_{2.5}$ 情形在全國的時序空間分佈上有逐年下降的趨勢，在各別的大都會統計區有更明顯的呈現(Lall, Kendall et al. 2004)。

Yu and Wang (2010)等人針對台灣台北地區回推過去 $PM_{2.5}$ 濃度隨時序空間分佈上的變化情形，運用台灣行政院環保署(TWEPA)的空氣品質監測站以及環保局所提供的 PM 量測值資訊(PM_{10} ， $PM_{2.5}$ 和 TSP)，計算 2005-2007 年之間月平均的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ ， $PM_{2.5}/TSP$ 比值發展貝式最大熵法(BME)模式進行模擬推估過去 2003-2004 年 $PM_{2.5}$ 的情形，並可結合特定測站多種來源的各個不確定因素。推估的結果跟 2003-2004 年 $PM_{2.5}$ 觀測值以機率密度函數(Probability Density Function, PDF)當成其比值分佈呈現相似的趨勢情形，比值時序空間分佈上的不確定性就各種形式的機率分佈來考慮計算；而回推預測的 $PM_{2.5}$ 會比實際量測的情形低 10%的程度。研究結果顯示結合 $PM_{2.5}/PM_{10}$ ， $PM_{2.5}/TSP$ 時序空間的變動情形以及 PM_{10} ，TSP 的量測值可有效改善 $PM_{2.5}$ 空間時序上的預測。此研究方法假設為 $PM_{2.5}/PM_{10}$ ， $PM_{2.5}/TSP$ 比值的時序空間每年的變動情形是固定不變的，一個地區的土地利用和氣象狀況不會隨著時間有明顯的改變，如果要回推更久之前的情形就需要有額外的資訊納入解釋。

1.3 研究設計

先前的研究(表 1.1)顯示出 $PM_{2.5}$ 可用的資料筆數不多，如果又以月平均或季平均的方式計算，建立模式所用的資料筆數會有不足的情形，另外，許多模式的假設為一個地區的 PM 濃度時序空間上的分佈變動情形需要是穩定的狀態，這些假設都會是進行回推預測時的限制條件。

本研究為了建立回推 $PM_{2.5}$ 濃度之模式，將資料分為兩個部份，分別用來建立模式(2005-2009)以及驗證模式(1997-2004)。依資料來源的不同建立三類模式，第

一類為運用環保署空氣品質監測站的資料建立模式，第二類為運用中央氣象局測站的資料建立模式，第三類為運用空氣品質監測站和中央氣象局測站兩個單位資料建立模式。建立模式並預測出 $PM_{2.5}$ 之回推值，再比較 R^2 值驗證預測回推 $PM_{2.5}$ 值之可信度， R^2_{model} 和 $R^2_{prediction}$ 分別為 2005-2009 年以及 1997-2004 年比較實際量測與回推預測 $PM_{2.5}$ 濃度值，建立模式與驗證模式之 R^2 值表示法(圖 1.1)。



表 1.1 回推污染物過去情形之相關研究

Reference	Study area	Retrospective Pollutants	Methods	Validation
Vajanapoom, Shy et al. (2001)	Bangkok, Thailand	PM ₁₀	Linear regression model: Variables: visibility, dew point, RH, temperature and season	Model R ² : 0.51 0.53 Prediction r: 0.71 0.69
Lall, Kendall et al. (2004)	US	PM _{2.5}	PM ratios : $PM_{2.5} = b_1 \bullet PM_{10}, PM_{10} = b_2 \bullet TSP,$ $PM_{2.5} = b_1 \bullet b_2 \bullet TSP,$ <i>where ,</i> $b_1 = PM_{2.5} / PM_{10}, b_2 = PM_{10} / TSP$	Prediction R ² : 0.43
Paatero, Aalto et al. (2005)	Augsburg(Germany), Barcelona(Spain), Helsinki(Finland), Rome(Italy), Stockholm(Sweden)	PNC(particle number concentration)	Regularized linear model: (a) Air pollutants: PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ and O ₃ (b) Meteorological variables: temperature, dew point, RH, pressure, airport visibility, precipitation, wind direction, wind speed and solar radiation intensity	Model R ² : 0.77 0.80 0.58 0.84 0.81
Yu and Wang (2010)	Taipei, Taiwan	PM _{2.5}	BME(Bayesian Maximum Entropy) to integrate: (a) The spatiotemporal dependence among PM ₁₀ , TSP, and PM _{2.5} (b) The site-specific information of PM measurements	R ² not displayed ; Expectations of retrospective PM _{2.5} predictions and the

(c)PM_{2.5}/PM₁₀ ratio, PM₁₀/TSP ratio

observations are lower than 10% of the level of PM_{2.5} observations over space and time.



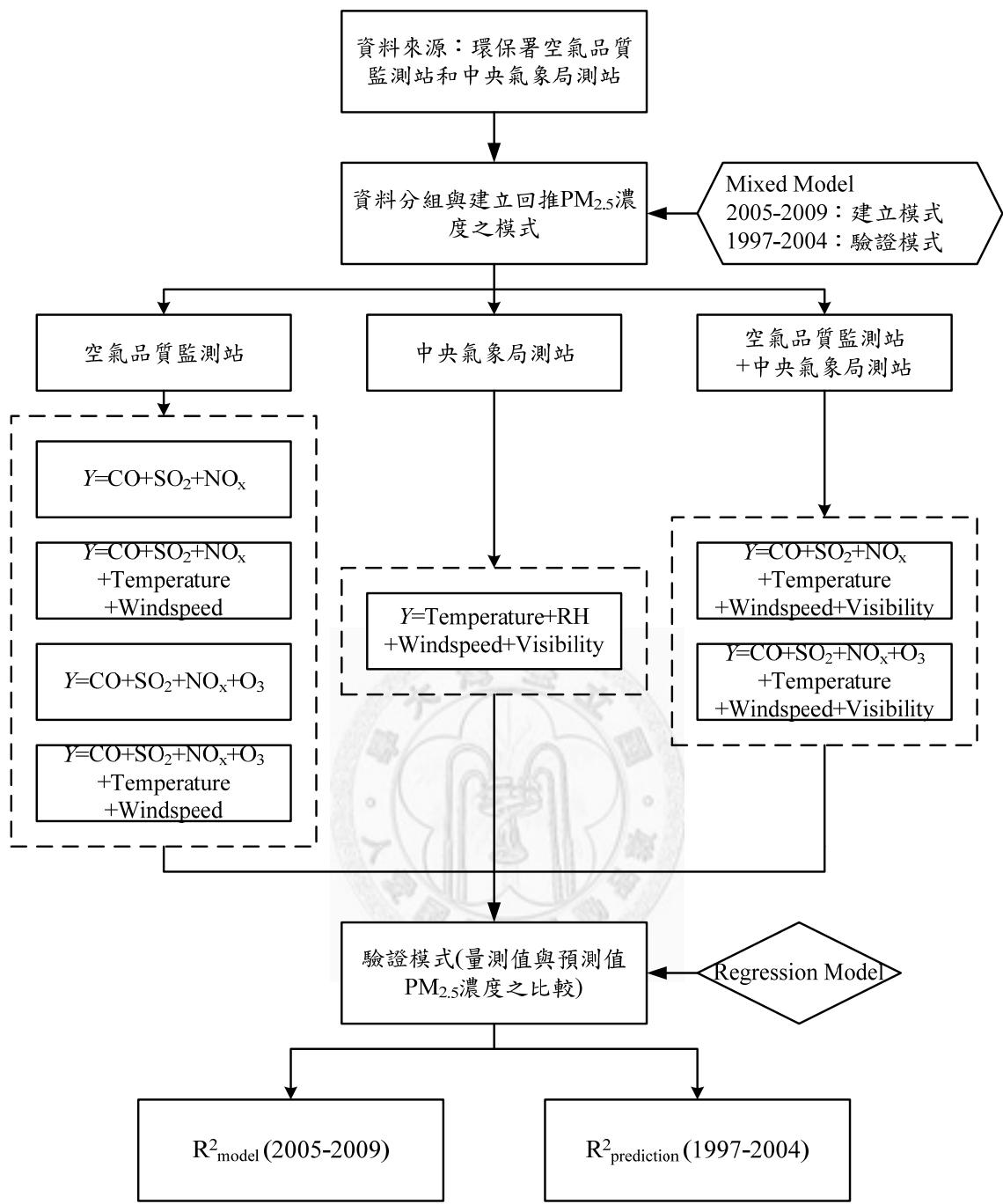


圖 1.1 研究流程圖

第二章 研究資料與方法

2.1 資料來源

本研究的資料來源分為兩個部份，第一個部分以量測空氣污染物為主之台灣環境保護署(Environmental Protection Administration, EPA)，第二部份為量測氣象相關因子之中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)。

2.1.1 空氣污染物資料

環保署於 1993 年開始設立空氣品質監測站(Air Quality Monitoring Station, AQM)，目前於台灣各地已設立 77 站一般空氣品質監測站，依不同監測目的，可分為不同類型監測站，包括 54 站普通測站(不包含泰山測站，泰山站自 2010 年因台北捷運橘線施工完成，自泰山收費站搬遷回台北市，並更改為屬於交通測站的大同站)，4 站工業測站，6 站交通測站，2 站國家公園測站(其中 1 站兼為一般站)，4 站背景測站(其中 2 站兼為一般站)以及 7 站其他測站(含阿里山紫外線測站)。環保署針對法定空氣污染物包括二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)、臭氧(O₃)、二氧化氮(NO₂)、懸浮微粒(PM₁₀)以及碳氫化合物等長期在每站空氣品質監測站進行每小時的連續測量值，而偵測空氣污染物的儀器包括(1)二氧化硫分析儀：根據紫外光螢光法原理設計，最低偵測極限：0.5 ppb。(2)一氧化碳分析儀：利用非散射性紅外線吸收原理所設計，最低偵測極限：0.05 ppb。(3)臭氧分析儀：利用紫外光吸收法原理設計，最低偵測極限：0.5 ppb。(4)氮氧化物分析儀：根據化學發光法做為設計原理，最低偵測極限：0.5 ppb。(5)懸浮微粒測定儀：以貝它射線衰減法偵測懸浮微粒相對濃度為原理，能長時間自動連續性的進行空氣中粒狀物監測，並決定進入分析系統的粒徑大小，例如 PM₁₀ 或 PM_{2.5}。以及(6)碳氫化合物分析儀等進行量測，監測污染物之儀器每年會固定執行查核和校正(TaiwanEPA 2010)。

本研究所使用的空氣品質監測站共有 73 站一般空氣品質監測站，其中包括 55 站普通測站(包含泰山測站)，5 站交通測站(中壢、三重、永和、鳳山、復興)，4

站工業測站(前鎮、台西、線西、頭份)，4 站背景測站(萬里、觀音、三義、橋頭)，2 站公園測站(恆春、陽明)，以及 3 站其他測站(崇倫、埔里、關山)；另有 3 站離島測站(金門、馬祖、馬公)以及紫外線測站(阿里山)並不納入本研究分析。模式建立所使用之空氣污染物為 1993-2009 年每小時值數據資料的二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、臭氧(O_3)、氮氧化物($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$)和 PM_{10} (空氣粒徑小於或等於 $10\mu\text{m}$ 之懸浮微粒)；由於 $\text{PM}_{2.5}$ (空氣粒徑小於或等於 $2.5\mu\text{m}$ 之懸浮微粒)於 2005 年後才在全國各空品測站有數據資料，因此運用 2005-2009 年的數據資料建立研究模式以回推 1993-2004 年的 $\text{PM}_{2.5}$ 預測值。從 1997 年北部空品區的古亭和三重，中部空品區的忠明，以及高屏空品區的鳳山和林園五站空品監測站開始有 $\text{PM}_{2.5}$ 的量測數據，因此，1997-2004 年的數據資料用來驗證回推預測值之可信度。

2.1.2 氣象資料

中央氣象局附屬測報機構有氣象預報、氣象衛星、氣象資訊、地震測報、氣象儀器檢校、海象測報及台灣南區氣象等 7 個中心，25 個氣象站，3 個氣象雷達站及 1 個天文站，分別掌理氣象、地震以及和氣象有關的海象與天文業務；並蒐集全球氣象資訊，研判大氣變化，發布各種天氣預報及警報(TaiwanCWB 2010)。中央氣象局針對能見度(Visibility)，溫度(Temperature)，相對濕度(Relative Humidity, RH)，風速(Wind Speed)，風向(Wind Direction)，降雨量(Rainfall)等以自動氣象觀測系統(automated weather observation system, AWOS)進行每小時連續測量值。能見度的觀測方式主要是以(1)人工觀測：觀測者以天空為背景沿水平方向(180°)觀測，在正常肉眼下觀看數個已知距離之標的物(大樓、橋和山等)，依個人觀感判斷當日能見度距離並記錄之；如果遇到低能見度，無法判斷觀測標的物之情況下，以(2)自動觀測：設置能見度自動觀測系統進行每日能見度例行觀測為輔(Tsai, Kuo et al. 2007; Lin, Tai et al. 2010)。

中央氣象局所量測的氣象資料從大氣研究資料庫(Data Bank for Atmospheric Research)取得，除了離島測站和資料不足的測站外，本研究運用 17 站中央氣象局

測站的能見度和氣象資料進行分析。圖 2.1 為空氣品質監測站和中央氣象局測站所 在的地理位置，中央氣象局測站是根據距離最近的空氣品質監測站做結合建立模 式(表 2.1)，其中古亭，忠明，鳳山和林園四站空品測站為了進行回推預測，與最 近的中央氣象局測站做結合建立模式。位於台東縣的大武中央氣象局測站由於沒 有相近的空品測站，因此與位於最相近的屏東縣潮州空品測站做搭配，為相距最 遠 40.65 公里，而相距最近為都位於台東縣的空品測站和中央氣象局測站，距離為 0.397 公里。

為配合環保署所監測的氣象數據資料，所使用的中央氣象局測站資料為 1993-2009 年逐日局屬觀測資料的溫度(Temperature)、相對濕度(Relative Humidity, RH)、風速(Wind speed)和能見度(Visibility)。運用 2005-2009 年的數據資料建立研 究模式以回推 1993-2004 年的 $PM_{2.5}$ 預測值，1997-2004 年的數據資料用來驗證回 推預測值之可信度。

2.2 統計分析

資料前處理的部分，自空氣品質監測站和大氣研究資料庫取得數據資料後，匯入統計軟體 SAS 9.1.3 進行運算分析。為了確認監測數據資料的準確性，依照每 日 24 小時四分之三以上可用數值標準，取每日空氣污染物和氣象資料至少有 75% 以上可用的小時數值，把資料匯入並平均取得每日平均值。在建立模式之前，將 不合理之 $PM_{2.5}/PM_{10} > 1$ 數值刪除後，將數據資料分為 2005-2009 年和 1993-2004 年兩組數據分別用於建立模式和驗證模式之準確性。

運用各測站 2005-2009 年的空氣污染物和氣象數據資料建立每站測站各自的 混合模式(Mixed Model)，由於此資料為重複觀測值之變異數結構的推測，所以在 Mixed 程序中主要用 Repeated 以及 Type=ar(1)，自迴歸型(first-order autoregressive errors)指令進行分析運算。建立模式一開始，為了先決定所要預測之依變量 Y 值，以(1) $Y = PM_{2.5}$ 作回推預測以及(2)根據公式：

$$PM_{2.5} = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}} \times PM_{10},$$

回推預測 $Y = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}}$ 值，將此預測值乘以實際量測的 PM_{10} 濃度值得到回推之 $PM_{2.5}$ 濃度值，比較兩種模式($PM_{2.5}=PM_{10}+CO+NO_x+SO_2$ 和 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$)之預測結果決定所要預測之 Y 值。

本研究依資料來源的不同建立三類模式(表 2.2)，第一類為運用環保署空氣品質監測站的空氣污染物和氣象資料建立模式；其中以空氣污染物資料建立的模式又分為以一次污染物為變項($Y=CO+NO_x+SO_2$)以及一次污染物加上二次污染物為變項($Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$)分別建立，而建立模式的測站數為本研究所使用的 73 站空品測站，驗證模式為古亭，忠明，林園，鳳山 4 站空品測站，第二類為運用中央氣象局測站的能見度和氣象資料建立模式，第三類為運用空氣品質監測站的空氣污染物和氣象資料以及中央氣象局測站的能見度資料兩個單位建立模式，建立模式的測站數為和空品測站做搭配的 17 站中央氣象局測站，其中林園和鳳山空品測站都以高雄氣象測站搭配，驗證模式同為古亭，忠明，林園，鳳山 4 站空品測站。

預測出的回推值分成 2005-2009 年和 1993-2004 年兩組數據與實際的 $PM_{2.5}$ 濃度值做迴歸模式(Regression Model)，比較 R^2 值相關性以驗證模式以及回推預測 $PM_{2.5}$ 值之可信度。從 1997 年北部空品區的古亭，三重，中部空品區的忠明，以及高屏空品區的鳳山和林園五站空品監測站開始有 $PM_{2.5}$ 量測數據，因此，運用這些測站來驗證回推預測值之可信度。

表 2.1 空氣品質監測站(AQM)與中央氣象局測站(CWB)之相距距離

AQM	CWB	Distance(m)
古亭	台北	2508.7
忠明	台中	2873.2
鳳山	高雄	8065.9
林園	高雄	13790.8
新竹	新竹	4385.9
陽明	鞍部	1008.5
基隆	基隆	1629.8
花蓮	花蓮	802.8
冬山	蘇澳	8038.7
宜蘭	宜蘭	1542.4
台南	台南	1391.1
嘉義	嘉義	3869.3
潮州	大武	40653.2
恆春	恆春	8547.4
關山	成功	21757.4
埔里	日月潭	11728.1
台東	台東	396.6
沙鹿	梧棲	6582.0

表 2.2 依資料來源不同建立各類模式及模式測站數之整理表

資料來源	模式	模式測站數	
		建立模式	驗證模式
		(2005-2008)	(1997-2004)
第一類模式 環保署空氣品質監測站	$Y=CO+NO_x+SO_2$	73	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2$ +Temperature+Windspeed	73	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$	73	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$ +Temperature+Windspeed	73	4
	$Y=Temperature+RH$ +Windspeed +Visibility	17	4
第二類模式 中央氣象局測站	$Y=CO+NO_x+SO_2$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4
第三類模式 環保署空氣品質監測站+中央氣象局測站	$Y=CO+NO_x+SO_2$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4
	$Y=CO+NO_x+SO_2+O_3$ +Temperature+Windspeed +Visibility	17	4

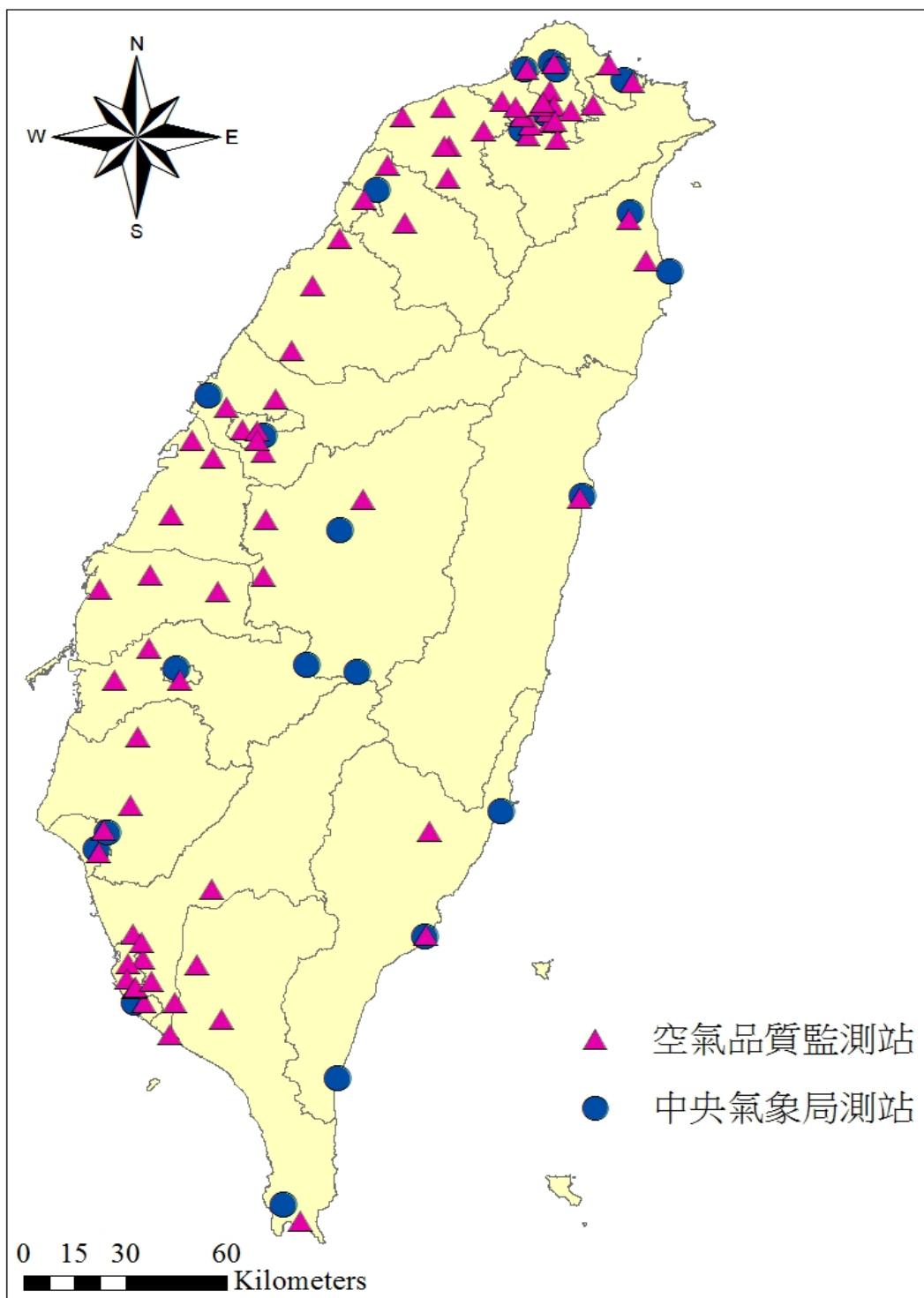


圖 2.1 空氣品質監測站與中央氣象局測站地理位置

第三章 結果與討論

3.1 資料前處理

資料前處理的部分，自空氣品質監測站取得 1993-2009 年每日空氣污染物和氣象資料至少有 75%以上可用的小時數值，平均後所得每日平均值來建立模式。後續圖表中各空品測站以測站代號形式呈現，測站名稱與代號對照表請見表 3.1。圖 3.1 為 1993-2009 年各空品測站未滿四分之三可用數值標準百分比，各變項去除百分比範圍為：CO：0.9—8.6，NO_x：1.8—11.3，SO₂：1.2—11.8，O₃：1.3—38.9，PM_{2.5}：1.4—13.5，PM₁₀：2.4—11.0，溫度：0.5—6.2，相對濕度：0.3—38.6，風速：0.6—43.2；其中，泰山測站的 O₃；淡水測站的相對濕度和風速去除百分比都高達 25%以上。在建立模式之前，將不合理之 PM_{2.5}/PM₁₀>1 數值刪除，圖 3.2 為各空品測站 1997-2009 年 PM_{2.5}/PM₁₀>1 不合理值之去除百分比，範圍為：0.02—2.77，以林園測站的 2.77%去除百分比最高。運用 2005-2009 年記錄在每站空氣品質監測站和中央氣象局測站的變項資料來建立模式，共有 1826 筆數據資料。各測站用來建立模式之變項缺失百分比範圍為(圖 3.3)：CO：0.1—77.0，NO_x：0.5—18.8，SO₂：0.1—3.8，O₃：0.2—76.5，PM_{2.5}：1.7—18.2，PM₁₀：0.3—5.4，PM_{2.5}/PM₁₀：2.3—19.0，溫度：0.1—100，相對濕度：0.1—100，風速：0.1—100。關山測站的 CO；三重測站的 O₃，相對濕度和風速；泰山測站的 O₃，溫度，相對濕度和風速；淡水測站的溫度，相對濕度和風速；崇倫測站的溫度，相對濕度和風速；陽明測站的風速，這些資料在 2005-2009 年缺失百分比都高達 25%以上，在建立模式上有很大的限制。而 1993-2004 年各測站用來預測回推值所建立模式的變項缺失百分比範圍為(圖 3.4)：CO：0.4—96.7，NO_x：1.3—13.6，O₃：0.6—95.1，SO₂：0.6—17.1，PM_{2.5}：38.7—100，PM₁₀：1.7—14.1，PM_{2.5}/PM₁₀：40.3—100，溫度：0.02—11.0，相對濕度：20.3—99.6，風速：0.3—96.6。前鎮測站的 CO 和 O₃；線西測站的 CO 和 O₃；頭份測站的 CO 和 O₃；三重，中壢，永和，冬山和復興測站的 O₃；另外有

14 站空品測站的風速變項在建立回推模式缺失百分比都高達 25%，資料不足的情形限制了可預測的回推值。相對濕度變項在 1993-2004 年各測站的缺失百分比都高達 25%以上(除了陽明測站的 20.3%缺失百分比)，在預測回推值建立模式上有很大的限制，因此，不將此變項納入環保署空氣品質監測站的氣象條件建立模式。

3.2 PM_{2.5} 濃度情形

環保署於 2005 年後在全國各空氣品質監測站有 PM_{2.5} 的量測數據資料，依照各地區空品區來探討，2005-2009 年北部空品區 PM_{2.5} 日平均濃度範圍為 $15.10 \pm 10.19 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 43.17 \pm 18.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，中部空品區日平均濃度範圍為 $30.83 \pm 19.03 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 44.62 \pm 21.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，竹苗空品區日平均濃度範圍為 $25.08 \pm 14.55 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 33.16 \pm 18.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，宜蘭空品區日平均濃度範圍為 $18.61 \pm 11.15 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 22.47 \pm 14.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，花東空品區日平均濃度範圍為 $7.74 \pm 4.34 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 22.00 \pm 9.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高屏空品區日平均濃度範圍為 $13.44 \pm 8.80 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 55.79 \pm 26.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，雲嘉南空品區日平均濃度範圍為 $28.47 \pm 18.07 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 47.16 \pm 22.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。其中，PM_{2.5} 歷年來日平均最高與最低濃度分別為 2005 年高屏空品區的 $78.87 \pm 18.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以及 2006 年花東空品區的 $7.74 \pm 4.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。高工業化的高屏地區比非都市的鄉村型花東地區(Tsai, Kuo et al. 2007)，在台灣分別有最高和最低之 PM_{2.5} 濃度值(Yu 2010)。

3.3 PM_{2.5}/PM₁₀ 濃度情形

大氣中不同顆粒大小的懸浮微粒來自不同的生產來源，而 PM_{2.5}/PM₁₀ 常被用來定義 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的排放來源；PM_{2.5}/PM₁₀ 比值高時(>0.6)，主要的貢獻源為二次微粒和燃燒排放源，而比值低時，較顯著的排放源為一次污染源的懸浮微粒或是未鋪石子路的塵土以及一些機械上的活動(Akyuz and Cabuk 2009)。圖 3.5 以盒鬚圖(Box Plot)所示 2005-2009 全國各空氣品質監測站 PM_{2.5}/PM₁₀ 資料的日平均比值情形。依照各地區空品區來探討，北部空品區 PM_{2.5}/PM₁₀ 日平均比值範圍為

0.40±0.10–0.75±0.11，中部空品區日平均比值範圍為 0.50±0.14–0.74±0.09，竹苗空品區日平均比值範圍為 0.50±0.12–0.65±0.12，宜蘭空品區日平均比值範圍為 0.40±0.15–0.55±0.16，花東空品區日平均比值範圍為 0.40±0.15–0.67±0.12，高屏空品區日平均比值範圍為 0.47±0.12–0.73±0.11，雲嘉南空品區日平均比值範圍為 0.45±0.11–0.67±0.13。圖 3.6 以盒鬚圖所示 2005-2009 全國空氣品質監測站 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 資料的各年平均比值情形，範圍為 0.55±0.06–0.57±0.07。此結果與針對台灣地區 2006-2008 的 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值範圍為 0.50±0.09–0.56±0.14 研究結果相似(Yu 2010)。圖 3.7 以盒鬚圖所示 2005-2009 全國空氣品質監測站 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 資料的各月平均比值情形。夏季(六月、七月、八月)月平均比值範圍為 0.55±0.08–0.57±0.07，冬季(十二月、一月、二月)月平均比值範圍為 0.57±0.06–0.60±0.06， $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值在冬季時有較高的數值，夏季有較低的數值，呈現出季節上的變動情形(Akyuz and Cabuk 2009)。圖 3.8 以盒鬚圖所示 2005-2009 全國空氣品質監測站 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 資料依照測站特性的平均比值，一般測站平均比值為 0.57±0.13，交通測站平均比值為 0.56±0.09，工業測站平均比值為 0.55±0.12，背景測站平均比值為 0.52±0.14，公園測站平均比值為 0.61±0.17，其他測站平均比值為 0.62±0.14。為了探討依據測站特性的 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值資料是否有顯著的差異性，運用統計之變異數分析，ANOVA(Analysis of Variance)進行 Scheffe 事後檢定結果呈現以下之趨勢：公園測站與其他測站 > 一般測站與交通測站 > 工業測站 > 背景測站，唯交通測站和工業測站之間無顯著差異。從圖 3.9 所示 2005-2009 全國空氣品質監測站 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 資料筆數的百分比分佈情形可看出為常態分佈(Lall, Kendall et al. 2004; Yu 2010)，而 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值在 0.5–0.6 時有較高的百分比(29.7%–26.5%)。

3.4 $\text{PM}_{2.5}$ 與變項之相關性

從 1993-2009 年 4 站環保署空氣品質監測站(古亭，忠明，鳳山，林園)的數據分析，以 Pearson 相關係數探討 $\text{PM}_{2.5}$ 與 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值分別與各變項之間的相關性。如表 3.2 顯示，4 個空品測站的 $\text{PM}_{2.5}$ 與一氧化碳，二氧化硫，氮氧化物和臭

空氣污染物都呈現顯著正相關性，古亭測站的 $PM_{2.5}$ 與二氧化硫呈現較低之相關性($r=0.17$)，而忠明、鳳山和林園 3 站空品測站皆與臭氧呈現偏低之相關性($r=0.28 - 0.39$)。此外， $PM_{2.5}$ 與溫度，風速和相對濕度氣象條件都呈現顯著負相關性，古亭和忠明測站的風速對 $PM_{2.5}$ 的影響較大($r=-0.3$)，而鳳山和林園測站的溫度跟 $PM_{2.5}$ 呈現較高之相關性($r=-0.5$)。

能見度與 $PM_{2.5}$ 呈現顯著的負相關性($r=-0.48 - -0.64$)，與一氧化碳，氮氧化物呈現中度顯著的負相關性($r=-0.40 - -0.56$ 和 $r=-0.37 - -0.51$)，與二氧化硫，臭氧空氣污染物濃度也呈現負相關性，其中以高屏地區的林園測站能見度與空氣污染物(CO : $r=-0.56$ ， NO_x : $r=-0.51$)呈現高度的負相關性；氣象條件的部分，在 4 個測站中能見度與溫度和風速都呈現顯著的正相關，與相對濕度呈現負相關性(除林園測站的能見度與相對濕度呈現正相關)。相關研究指出 $PM_{2.5}$ ， PM_{10} ，臭氧，二氧化硫，二氧化氮跟能見度呈現顯著的負相關性(Huang, Tan et al. 2009)，而隨著這些污染物的下降能見度有上升的趨勢，氣象條件方面溫度和風速也跟能見度呈現正相關，與相對濕度則呈現負相關(Tsai 2005; Tsai, Kuo et al. 2007)。一氧化碳和氮氧化物在 4 個空品測站中都呈現高度的相關性($r>0.7$)，可能產生的共線性問題會限制這些重要變項對於模式的迴歸係數以及預測值之影響；變項間相關性過高時，迴歸係數會因為加入新變項，造成標準誤差值之虛胖增加，導致方向性正負符號會有解釋上的錯誤，並難以分辨個別變項的解釋能力；但在評估上如果呈現顯著之情形，可將變項納入模式中，直接探討個別變項之相關係數，而不做整體模式之解釋(Chong Ho Yu 2000)。

3.5 決定所要預測之依變項 Y 值

為了決定所要預測之依變量 Y 值，以(1) $Y=PM_{2.5}$ 以及(2)根據公式：

$$PM_{2.5} = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}} \times PM_{10},$$

回推預測 $Y = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}}$ 值，分別比較兩種模式($PM_{2.5} = PM_{10} + CO + NO_x + SO_2$ 和 $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$)之預測結果決定所要預測之 Y 值。針對從 1997 年開始有 $PM_{2.5}$ 量測值的五個空氣品質監測站(古亭、三重、忠明、鳳山、林園)進行模式預測，1997-2009 年 $PM_{2.5}$ 的日平均濃度分佈以盒鬚圖(Box Plot)表示於附錄 1。依據建立模式和模式驗證的 R^2 值顯示(表 3.3)， $Y = PM_{2.5}/PM_{10}$ (R^2_{model} 和 $R^2_{prediction}$ 分別為 0.78–0.90 和 0.35–0.71)，與 $Y = PM_{2.5}$ (R^2_{model} 和 $R^2_{prediction}$ 分別為 0.77–0.90 和 0.37–0.70) 所呈現的相關性差異性不高；先前有研究運用比值的公式概念從實際量測的 PM_{10} 和 TSP 值發展出 $PM_{2.5}/PM_{10}$ ， $PM_{2.5}/TSP$ 相關的方程式來預測過去 $PM_{2.5}$ 的情形($R^2=0.43$) (Lall, Kendall et al. 2004)。 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值象徵當地環境狀況所經歷大氣過程的其中一個重要指標，而比值的空間時序變化常用於解釋排放模式時序上的改變情形(Lall, Kendall et al. 2004; Yu and Wang 2010)。本研究 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 濃度分佈為常態分佈(圖 3.9)，因此以統計的混合模式(Mixed Model)將預測值 $Y = PM_{2.5}/PM_{10}$ 運用於以下不同類型的模式中，並將此預測值乘以實際量測的 PM_{10} 濃度值得到回推之 $PM_{2.5}$ 濃度值。比較 2005-2009 年預測與實際量測的 $PM_{2.5}$ ，各空品測站顯示建立模式都達 0.7 以上的相關性，在 1997-2004 年驗證模式的部分，三重測站顯示偏低的相關性($R^2_{prediction}=0.35–0.37$)，其餘測站相關性的結果可達 0.6 以上；三重測站與鳳山測站同為交通測站，但三重測站之測站特性影響較大。

3.6 模式建立之結果比較

為了針對過去全國空品測站所缺失的 $PM_{2.5}$ 值進行預測，依資料來源的不同建立三類模式，第一類為運用環保署空氣品質監測站的資料建立模式，第二類為運用中央氣象局測站的資料建立模式，第三類為運用空氣品質監測站和中央氣象局測站兩個單位資料建立模式。運用混合模式(Mixed Model)建立模式並預測出 $PM_{2.5}$ 之回推值，再依照迴歸模式(Regression Model)之 R^2 值比較驗證回推預測 $PM_{2.5}$ 值之可信度。於以下模式中， R^2_{model} 和 $R^2_{prediction}$ 分別各解釋著 2005-2009 年以及

1997-2004 年實際量測值與預測值比較建立模式與驗證模式之 R^2 值。

3.6.1 第一類模式：環保署空氣品質監測站

依空氣污染物資料與 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值建立的模式又分為以一次污染物為變項 ($PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$) 以及一次污染物加上二次污染物為變項 ($PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3$) 來分別建立，並各自加入氣象資料條件來比較。

模式 1： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$

模式 2： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+Temperature+Windspeed$

各空品測站於 2005-2009 年間建立模式之天數結果如圖 3.10 顯示，關山測站的 CO，陽明測站的風速，泰山測站的溫度，淡水測站的溫度和風速這些變項資料在 2005-2009 年缺失百分比都高達 25%以上，在建立模式上有資料不足之情形(關山測站在建立模式 1 和模式 2 的資料筆數同為 289)；另外，三重測站的風速，泰山測站的風速，崇倫測站的溫度和風速這些變項資料缺失百分比高達 100%，所以在建立模式 2 時有很大的限制，因此沒有把這些測站建立模式 2 的 R^2_{model} 值納入結果中。根據全國空氣品質監測站建立模式結果(圖 3.11)，台東測站在兩個模式中都顯示偏低之相關性($R^2_{model}=0.32-0.38$)，而崙背測站在只有空氣污染物為變項時相關性較差($R^2_{model}=0.4$)，但在加入氣象資料後相關性有提升的現象($R^2_{model}=0.6$)；其餘空品測站只用一次空氣污染物為變項的模式 1($R^2_{model}=0.64-0.91$)和加入氣象條件後的模式 2($R^2_{model}=0.74-0.92$)驗證模式的相關性都很高。空氣污染物對於 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 生成影響力高於氣象條件，以致於納入氣象條件分析無顯著增加相關性。

模式 3： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3$

模式 4： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3+Temperature+Windspeed$

各空品測站於模式 1 和模式 2 加入 O_3 變項後於 2005-2009 年間建立模式之天數結果如圖 3.12 顯示，三重和泰山測站的 O_3 變項資料在 2005-2009 年缺失百分比都高達 25%以上，建立模式 3 的資料筆數分別為 339 和 573，有資料不足之情形。

建立模式 4 時，氣象資料缺失百分比結果和模式 1，模式 2 的情形一樣，在建立模式上有很大的限制，因此，同樣沒有把資料不足的測站驗證模式 4 的 R^2_{model} 值納入結果中。將 O_3 變項納入分析後，根據全國空氣品質監測站建立模式結果(圖 3.13)，台東測站在兩個模式中也都顯示偏低之相關性($R^2_{model}=0.33-0.40$)，崙背測站的建立模式結果和模式 1，模式 2 一樣，只用空氣污染物為變項時相關性較差($R^2_{model}=0.4$)，加入氣象資料後相關性有提升的現象($R^2_{model}=0.6$)；其餘空品測站運用一次空氣污染物加上二次污染物的模式 3($R^2_{model}=0.64-0.91$)和加入氣象條件後的模式 4($R^2_{model}=0.74-0.92$)建立模式的相關性都很高。針對崙背測站，以 Pearson 相關係數探討 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值與各變項之間的相關性(附錄 2)，結果顯示 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值與 CO 和 NO 都呈現偏低之正相關性($r=0.003-0.111$)，單以空氣污染物建立模式對回推 $PM_{2.5}$ 情形幫助不大；崙背測站附近為農田較為空曠，與風速變項呈現中等相關性($r=-0.347$)，應納入氣象條件來分析對 $PM_{2.5}$ 之影響。

根據全國空氣品質監測站的測站特性來探討建立模式(模式 1—模式 4)之相關性，先刪除建立模式上相關性較極端的台東測站後($R^2_{model}=0.32-0.40$)，結果如圖 3.14—圖 3.17，一般測站的 R^2_{model} 範圍為 $0.40-0.92$ ；交通測站的 R^2_{model} 範圍為 $0.79-0.89$ ；工業測站的 R^2_{model} 範圍為 $0.71-0.89$ ；背景的 R^2_{model} 範圍為 $0.70-0.92$ ；公園測站的 R^2_{model} 範圍為 $0.84-0.91$ ；其他測站的 R^2_{model} 範圍為 $0.85-0.91$ 。為了探討建立模式之相關性依據測站特性是否有顯著的差異性，運用統計之變異數分析，ANOVA(Analysis of Variance)進行 Scheffe 事後檢定結果為：測站特性對於建立模式之相關性並沒有顯著之差異性。

3.6.2 第二類模式：中央氣象局測站

模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$

運用中央氣象局測站的氣象條件和能見度資料建立模式來預測 $PM_{2.5}$ 之情形，建立模式之 R^2_{model} 結果顯示(圖 3.18)台東測站在模式中顯示偏低之相關性($R^2_{model}=0.21$)，其餘空品測站則呈現良好之相關性($0.77-0.91$)。另外，依照模式 5

之變項建立對 $Y=PM_{2.5}$ 進行回推預測之模式($PM_{2.5} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$)，探討是否單以氣象條件和能見度資料建立模式就能預測 $PM_{2.5}$ 之情形。建立模式的相關性 R^2 值結果顯示(圖 3.19)，位於東部的空品測站(台東，花蓮，關山，宜蘭)以及屬於公園測站的陽明和恆春測站都呈現偏低的情形($R^2_{model}=0.24 - 0.44$)，其餘空品測站則屬於中等之情形($R^2_{model}=0.49 - 0.73$)，只運用氣象條件和能見度呈現 $PM_{2.5}$ 之相關性偏低，需納入環保署的 PM_{10} 資料，以 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的方式回推 $PM_{2.5}$ 。同相似的研究內容，Vajanapoom, Shy et al. (2001)指出運用能見度以及氣溫，相對濕度等氣象變項建立迴歸模式預測懸浮微粒 PM_{10} 之情形相關性 $R^2=0.51$ 。

3.6.3 第三類模式：環保署空氣品質監測站 + 中央氣象局測站

第三類模式為運用空氣品質監測站的空氣污染物和氣象資料以及中央氣象局測站的能見度資料兩個單位建立模式，建立模式的測站數是和空品測站做結合的 17 站中央氣象局測站。

模式 6： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+Temperature+Windspeed+Visibility$

模式 7： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3+Temperature+Windspeed+Visibility$

各空品測站於 2005-2009 年間所能建立模式之天數結果如圖 3.20 顯示，關山測站在建立模式 6 和模式 7 的資料筆數同為 289，而陽明測站在建立模式 6 和模式 7 的資料筆數分別為 819 和 812，在建立模式上雖然有資料不足之情形，但卻不影響建立模式的結果(圖 3.21)，台東測站在兩個模式中一樣都顯示偏低之相關性($R^2_{model}=0.36 - 0.39$)，其餘測站在建立模式 6 和模式 7 相關性分別為 $R^2_{model}=0.78 - 0.91$ 和 $R^2_{model}=0.78 - 0.92$ 。針對台東測站，以 Pearson 相關係數探討 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值與空氣污染物都呈現偏低之正相關性($r=0.11 - 0.22$)，與氣象條件也呈現偏低之負相關性($r=-0.12 - -0.25$)，對回推 $PM_{2.5}$ 情形幫助不大。有研究指出針對台東地區運用空氣污染物和氣象條件為變項建立模式預測能見度之情形，以日平均和月平均的預測值與觀測

值做比較相關性分別為 0.46 和 0.51；針對台東地區進行模式預測應將污染物來源的長程傳送因素考慮進去(Tsai, Kuo et al. 2007)。

3.7 模式驗證之結果比較

針對從 1997 年開始有 $PM_{2.5}$ 實際量測值的 5 個空品測站(古亭、三重、忠明、鳳山、林園)進行各模式預測回推值的驗證，比較 1997-2004 年 $PM_{2.5}$ 預測值與實際測量值的驗證模式數據結果如表 3.4 所示。三重測站在模式 1 運用一次空氣污染物為變項建立模式，驗證模式相關性是偏低的情形($R^2_{prediction}=0.35$)，雖然加入 O_3 變項後(模式 3)有增加的趨勢($R^2_{prediction}=0.55$)，但是可用來驗證模式的資料筆數只有 48 筆，資料不足的情形限制了此模式的推估；三重測站的風速變項於 2005-2009 年建立模式的缺失百分比為 100%(圖 3.3)，因此無法加入氣象條件來進行推估，綜括以上幾點，本研究不將三重測站納入後續之預測回推值和驗證模式的分析中。其餘 4 個空品測站(古亭、忠明、鳳山、林園)在驗證各模式相關性都有達 0.6 以上，以忠明測站的模式 6 和模式 7 ($R^2_{prediction}=0.72$)呈現良好的推估結果；綜觀各測站模式間的比較，單以一次空氣污染物(模式 1)為變項建立的模式就可呈現良好的相關性，在加入氣象條件的模式 2 部分，古亭與忠明測站的風速變項，鳳山和林園測站的氣溫變項，與氣象污染物間(CO , NO_x , SO_2)皆呈現顯著的負相關(表 3.2)，而風速是影響空氣污染物濃度一個重要的控制因素，風速的增加伴隨著空氣污染物濃度的下降(Akyuz and Cabuk 2009)，因此以空氣污染物為主再加入氣象變項後對於此模式的影響力較小，在驗證模式的相關性方面沒有顯著的增加；加入二次污染物的臭氧後(模式 3，模式 4)相關性並沒有顯著的增加，以 Pearson 相關係數(表 3.2)探討 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值與臭氧變項，除了林園測站顯示顯著偏低之相關性($r=0.1$)，各測站之間都呈現不顯著之相關性，臭氧對於回推 $PM_{2.5}$ 情形幫助不大。另外，不考慮氣狀污染物，只運用 PM_{10} ，能見度，溫度，相對濕度以及風速等氣象條件納入模式(模式 5)分析就顯示出良好的相關性($R^2_{prediction}=0.66-0.71$)；將模式 2 和模式 4 分別加入能見度資料後(模式 6，模式 7)驗證模式沒有顯著的增加，以 Pearson 相

關係數(表 3.2)探討 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值與能見度變項之間相關性，忠明測站和鳳山測站呈現不顯著之相關性，而古亭測站與林園測站都呈現顯著但偏低之負相關性 ($r=-0.11 - -0.24$)。

以迴歸模式(Regression Model)計算各模式預測值與實際量測值之間的均方根誤差(RMSE, Root Mean Square Error)，結果顯示(表 3.5)古亭測站在各模式中的 RMSE 數值呈現較低($RMSE=7.05 - 7.24$)的情形，而鳳山測站則呈現較高($RMSE=15.02 - 15.72$)的數值。比較先前研究中運用迴歸模式所預測的 PM_{10} 之驗證 RMSE 值為 $5.24 - 9.85$ (Beelen, Hoek et al. 2009)，驗證 $PM_{2.5}$ 之 RMSE 值為 $0.55 - 0.68$ (Naehler, Pearce et al. 2009)，本研究有偏高的情形。

先前有研究(附錄 4)是針對台灣地區運用 PM_{10} ，以及空氣污染物和氣象條件建立經驗模式預測能見度之情形，相關性 $r=0.47 - 0.77$ (Tsai, Kuo et al. 2007)，或是運用 $PM_{2.5}$ 以及空氣污染物和氣象條件建立經驗模式預測能見度之情形，相關性 R^2 達 0.61 (Lin, Tai et al. 2010)，另外，運用化學組成成份(Sulfate, EC)以及 PM_{10} 和氣象條件建立經驗模式預測出能見度之情形， $r=0.89$ (Tsai and Cheng 1999; Cheng and Tsai 2000)，或是運用化學組成成份(Sulfate, EC)以及 $PM_{2.5}$ 和氣象條件建立經驗模式預測出能見度之情形， $r=0.88$ (Lee, Yuan et al. 2005)。由以上研究可知，運用懸浮微粒，空氣污染物和氣象條件建立模式可預測能見度之情形，因此，本研究運用空氣污染物，氣象條件加上能見度資料建立模式來預測回推 $PM_{2.5}$ 之情形。

3.8 模式運用之結果

3.8.1 以相同的資料筆數建立模式

先前的模式都是依據各測站不同的資料筆數來建立模式，嘗試運用四個空品測站具有同一天的空氣污染物變項資料，以相同的資料筆數建立模式，模式 1： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$ 和模式 3： $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3$ 分別用來建立和驗證模式的資料筆數分別為 1151 和 1114，結果顯示(表 3.6)在建立模式

($R^2_{model}=0.75-0.90$)和驗證模式($R^2_{prediction}=0.60-0.73$)上都呈現良好之相關性，是否有運用相同的資料筆數建立模式，並沒有顯著的不同。

3.8.2 以月平均之數值建立模式

先前的模式都是依據各測站日平均的資料來建立模式，嘗試以空氣污染物與 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值(先各取 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 之月平均後再相除)之月平均數據建立模式，依照四分之三以上可用數值標準，取每月變項資料至少有 75% 以上可用的日平均數值，平均後取得每月平均值。以模式 1 與模式 3 來建立模式與驗證模式之相關性(表 3.7)分別為 $R^2_{model}=0.69-0.91$ 和 $R^2_{prediction}=0.34-0.64$ ，此結果顯示運用日平均的資料來驗證模式呈現較好之相關性($R^2_{prediction}=0.66-0.71$)。

進一步運用日平均資料建立模式所預測的 $PM_{2.5}$ 回推值與實際量測值，依據 75% 以上可用數值標準分別取得月平均，季平均，年平均來比較(表 3.8)，月平均 2005-2009 年回推值與實際量測值相關性 $R^2=0.68-0.91$ ，1997-2004 年相關性之 $R^2=0.53-0.67$ ，與直接運用月平均資料來建立模式的結果相比，建立模式的部分呈現相似的相關性，而驗證模式以先運用日平均資料建立模式再月平均之推估結果較高；季平均是以分成四季的方式建立，分別對春季(3 月，4 月，5 月)，夏季(6 月，7 月，8 月)，秋季(9 月，10 月，11 月)以及冬季(12 月，1 月，2 月)進行平均，與月平均呈現相似的推估結果；另外，年平均所呈現的相關性普遍偏低，針對古亭測站，1997-2004 年驗證資料數值為 2 筆，筆數不足的情狀下，雖然相關性高達 1，但代表性不足，所以不加以探討。

3.9 實際量測與回推預測 $PM_{2.5}$ 值之探討

建立模式一開始是以一次污染物為變項的基本型式，在分別加入 O_3 變項以及氣象條件後相關性並無顯著的增加，因此以模式 1 納入後續之探討中，就實務面考慮，可減少變項的量測。另一方面，本研究在不考慮氣狀污染物時，只運用 PM_{10} ，能見度，溫度，相對濕度以及風速等氣象條件建立模式納入分析就顯示出良好的

相關性，此模式所運用的變項條件與其他模式較不同但相關性卻能達到相同之結果，因此，以模式 5 用來探討回推 $PM_{2.5}$ 濃度值之情形是否與模式 1 有差異。

3.9.1 趨勢圖之分佈

運用 2005-2009 年數據建立模式： $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + SO_2 + NO_x$ 和 $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 所可回推預測 1993-2009 的 $PM_{2.5}$ 值 95% 信賴區間與 1997-2009 實際量測 $PM_{2.5}$ 值做年平均濃度比較趨勢圖。針對古亭空品測站，2005-2009 年(圖 3.22，圖 3.23)用來建立模式的實際量測 $PM_{2.5}$ 值與回推預測值呈現相似的趨勢。1997-2004 年回推預測值中，模式 1(圖 3.24)實際量測之 $PM_{2.5}$ 值分佈於預測之 $PM_{2.5}$ 濃度範圍內的比例為 77.39%，實際量測 $PM_{2.5}$ 值高於預測 $PM_{2.5}$ 值的低估比例為 8.88%，預測的 $PM_{2.5}$ 值大於實際量測 $PM_{2.5}$ 的高估比例為 13.73%；而模式 5(圖 3.25)實際量測之 $PM_{2.5}$ 值分佈於預測之 $PM_{2.5}$ 濃度範圍內的比例為 79.15%，實際量測 $PM_{2.5}$ 值高於預測 $PM_{2.5}$ 值的低估比例為 11.29%，預測的 $PM_{2.5}$ 值大於實際量測 $PM_{2.5}$ 的高估比例為 9.56%；實際量測的 $PM_{2.5}$ 值大都分佈於預測的 $PM_{2.5}$ 濃度範圍內，只有少數的數值會呈現高估或低估的情形。另外，忠明，鳳山和林園測站針對模式 1 與模式 5 推估 1997-2004 年實際量測與回推預測的 $PM_{2.5}$ 濃度值，從範圍百分比結果(附錄 5)可看出實際量測的 $PM_{2.5}$ 值也大都分佈於預測的 $PM_{2.5}$ 濃度範圍內，只有少數的數值會呈現高估或低估的情形。

運用模式回推預測 1993-2009 年的全國空氣品質監測站 $PM_{2.5}$ 值，以 Box plots 呈現歷年來年平均濃度趨勢圖，模式 1(圖 3.26)回推預測的 $PM_{2.5}$ 年平均值從 1993 年 $51.2\mu g/m^3$ 逐年下降至 2009 年的 $33.4\mu g/m^3$ ；模式 5(圖 3.27)回推預測的 $PM_{2.5}$ 年平均值從 1993 年 $42.3\mu g/m^3$ 逐年下降至 2009 年的 $30.0\mu g/m^3$ ，兩個模式所回推預測的 $PM_{2.5}$ 濃度值都有逐年下降的趨勢。

3.9.2 濃度標準之探討

每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 的比例標準是需要考慮的，這可當

作針對空氣污染做控制改善的一個指標(Yu 2010)。模式 1 與模式 5 所推估 1997-2004 年預測與實際量測之每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 的百分比結果分別為圖 3.28 和圖 3.29；位於高屏地區的鳳山以及林園測站濃度超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 的百分比較其他兩個空品測站還要多；台灣的西南部確實有較高的懸浮微粒濃度(Yu 2010)。預測與實際量測之每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 的相差百分比以古亭測站範圍：25%—39%較高，鳳山測站 0.1%—0.9%較低；每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $65\mu g/m^3$ 的相差百分比以古亭測站範圍：258%—450%較高，林園測站 1.6%—15%較低。

為了探討模式之預測值結果在實際量測值中相吻合之有效度，根據模式 1 與模式 5 所推估 1997-2004 年預測與實際量測之每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 做敏感度，偽陽性，偽陰性，特異度之關係表(表 3.9，表 3.10)：(1)敏感度(Sensitivity)：預測值超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 而實際量測值也超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ ；(2)特異度(Specificity)：預測值沒有超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 而實際量測值也沒有超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ ；(3)偽陰性(False negative)：預測值超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 而實際量測值沒有超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ ；(4)偽陽性(False positive)：預測值沒有超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 而實際量測值卻超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ ；而偽陰性和偽陽性通常用來表示評估的誤差比例。位於北部空品區的古亭測站在預測值超過 $65\mu g/m^3$ 而實際量測值也超過 $65\mu g/m^3$ 的濃度值，呈現較好之敏感度結果 76.9%—93.3%，有良好的評估效果；反之，在預測值超過 $35\mu g/m^3$ 而實際量測值也超過 $35\mu g/m^3$ 的敏感度有偏低之情形 70.4%—76.3%，但在預測值未超過 $65\mu g/m^3$ 和 $35\mu g/m^3$ 而實際量測值也未超過 $65\mu g/m^3$ 和 $35\mu g/m^3$ 的特異度都高達 90%以上。位於高屏空品區的鳳山與林園測站在預測值超過 $35\mu g/m^3$ 而實際量測值也超過 $35\mu g/m^3$ 的資料筆數多，呈現較高敏感度之情形 89%—90.6%，有良好的評估效果；而實際量測值超過 $65\mu g/m^3$ 的資料筆數較多，預測值也超過 $65\mu g/m^3$ 的情形資料筆數相比較少，呈現較低之敏感度結果 64.3%—70.9%；在預

測值未超過 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 而實際量測值也未超過 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的特異度也都高達 80%以上。

為了瞭解預測回推之 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度分佈的評估標準，將模式 1 與模式 5 推估 1997-2004 年預測與實際量測之每日 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度值在 $15\mu\text{g}/\text{m}^3 - 65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 範圍內，以 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 做濃度間隔，取敏感度(Sensitivity)以及特異度(Specificity)之間互相變化之情形。理想的狀態下敏感度與特異度呈現越高數值代表評估效果較佳，由圖 3.30 和圖 3.31 可看出，古亭測站在 $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，忠明測站在 $50\mu\text{g}/\text{m}^3 - 55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 分別有較好的評估標準，在低濃度的情況下的評估效果較差，位於高屏空品區的鳳山與林園測站在 $25\mu\text{g}/\text{m}^3 - 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 有較好的評估標準，在高濃度的情況下反而有較差評估效果，針對不同地區的空品測站會有不同之推估評估結果。

3.9.3 去除高估的數值後進行模式驗證

根據模式 1 與模式 5 分別推估 1997-2004 年(圖 3.32, 圖 3.33)與 2005-2009 年(附錄 6, 附錄 7)實際量測和回推預測的 $\text{PM}_{2.5}$ 作濃度關係圖。從圖 3.32 和圖 3.33 可看出回推預測的 $\text{PM}_{2.5}$ 值在 $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時會有少數分散的值，運用模式 1：
 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 所推估的 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值乘上實際量測的 PM_{10} 值時，
 PM_{10} 大都有 $>200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之情形； NO_x 變項在古亭與忠明測站有大於 100ppb 的濃度值，而鳳山和林園測站的 SO_2 變項有較多大於 10ppb 以上的濃度值，這些高估的濃度值造成各空品測站在回推預測的 $\text{PM}_{2.5}$ 值有 $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情狀。將模式 5：
 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 所推估的 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值乘上實際量測的 PM_{10} 值時， PM_{10} 大都一樣有 $>200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之情形； RH 變項在各空品測站有較多大於 80%的情形，而能見度的下降伴隨著懸浮微粒濃度的增加(Lin, Tai et al. 2010)，能見度變項大都是小於 5km 的情形，這些因素造成各空品測站在回推預測的 $\text{PM}_{2.5}$ 值有 $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情狀；因此將這些高估的 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度值刪除後進行驗證模式。

刪除高估的預測 $\text{PM}_{2.5}$ 值後(表 3.11)，古亭測站預測的 $\text{PM}_{2.5}$ 值與實際測量值

相關性有顯著的增加，建立模式的 R^2_{model} 從 0.78 提升至 0.82，驗證模式的 $R^2_{prediction}$ 也從 0.70 提升至 0.71—0.72，針對古亭測站雖然刪除較少的筆數，但大都是較分散的數值，因此可經由刪除高估的 $PM_{2.5}$ 濃度值來提升相關性；而忠明、鳳山和林園測站相關性沒有顯著的提升。

3.10 共線性之探討

於建立模式前，需了解變項之間潛在之共線性問題，為了避免可能發生變項之迴歸係數偏差的評估，因此，運用迴歸模式(Regression Model)中的變異數膨脹因子，VIF(variance inflation factor)進行檢測，如果 $VIF > 10$ ，代表這個變項在此模式中可能會產生共線性之問題(Vajanapoom, Shy et al. 2001)。表 3.12 顯示各模式之 $PM_{2.5}$ ， $PM_{2.5}/PM_{10}$ 與變項間 $VIF > 10$ 的測站，其中菜寮測站與永和測站可能產生的共線性問題會限制這些重要變項對於模式的迴歸係數以及預測值之影響。

3.11 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之係數探討

運用模式 1： $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$ 預測全國的空氣品質監測站 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之係數結果如圖 3.34，CO 與 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 都呈現正相關，以北部空品區的新店測站每增加 1ppm 單位對 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值增加 0.7 影響最大； NO_x 與 CO 呈現良好之相關性，可能產生之共線性問題造成各測站係數方向性有正有負之情形， SO_2 的排放來源主要以燃燒為主，在分佈上可能呈現不均勻之情形，對各測站 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的影響有正負相關之情形。

模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 18 站空氣品質監測站 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之係數結果如圖 3.35，氣溫與相對濕度對各測站 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的影響有正負相關之情形；風速變項除了埔里測站外，與 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 都呈現負相關；而能見度與 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 都呈現負相關，每增加 1km 單位對 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值有下降的影響；在預測懸浮微粒 PM_{10} 相似的研究中提到，相對濕度並不是最顯著的預測變項(Vajanapoom, Shy et al. 2001)；相對濕度於預測能見度的相關研究中是重要變項

之一(表 3.7)，但硫酸鹽(Sulfate)對於能見度改變程度的影響比相對濕度來的重要
(Cheng and Tsai 2000; Lee, Yuan et al. 2005)。



表 3.1 測站名稱與代號對照表(1/2)

測站代號	測站名稱	測站特性
宜蘭空品區		
L1	冬山	一般測站
L2	宜蘭	一般測站
花東空品區		
E1	台東	一般測站
E2	花蓮	一般測站
E3	關山	其他測站
竹苗空品區		
H1	三義	背景測站
H2	竹東	一般測站
H3	苗栗	一般測站
H4	湖口	一般測站
H5	新竹	一般測站
H6	頭份	工業測站
雲嘉南空品區		
S1	斗六	一般測站
S2	台西	工業測站
S3	台南	一般測站
S4	安南	一般測站
S5	朴子	一般測站
S6	崙背	一般測站
S7	善化	一般測站
S8	新港	一般測站
S9	新營	一般測站
S10	嘉義	一般測站
高屏空品區		
K1	小港	一般測站
K2	橋頭	背景測站
K3	仁武	一般測站
K4	左營	一般測站
K5	大寮	一般測站
K6	前金	一般測站
K7	前鎮	工業測站
K8	屏東	一般測站
K9	恆春	公園測站
K10	美濃	一般測站
K11	復興	交通測站
K12	楠梓	一般測站
K13	潮州	一般測站
K14	鳳山	交通測站
K15	林園	一般測站

表 3.1 測站名稱與代號對照表(2/2)

測站代號	測站名稱	測站特性
中部空品區		
M1	二林	一般測站
M2	大里	一般測站
M3	竹山	一般測站
M4	西屯	一般測站
M5	沙鹿	一般測站
M6	線西	工業測站
M7	南投	一般測站
M8	埔里	其他測站
M9	豐原	一般測站
M10	彰化	一般測站
M11	忠明	一般測站
M12	崇倫	其他測站
北部空品區		
N1	士林	一般測站
N2	土城	一般測站
N3	觀音	背景測站
N4	大園	一般測站
N5	中山	一般測站
N6	中壢	交通測站
N7	龍潭	一般測站
N8	永和	交通測站
N9	平鎮	一般測站
N10	汐止	一般測站
N11	松山	一般測站
N12	林口	一般測站
N13	板橋	一般測站
N14	桃園	一般測站
N15	萬華	一般測站
N16	基隆	一般測站
N17	淡水	一般測站
N18	菜寮	一般測站
N19	陽明	公園測站
N20	新店	一般測站
N21	新莊	一般測站
N22	萬里	背景測站
N23	泰山	一般測站
N24	古亭	一般測站
N25	三重	交通測站

表 3.2 古亭測站 PM_{2.5}，PM_{2.5}/PM₁₀ 與各變項之 Pearson 相關係數(1/4)

古亭		Variables	PM _{2.5}	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	O ₃	Temperature	Visibility	Windspeed	RH
PM _{2.5}		PM _{2.5}	1	0.461*	0.389*	0.165*	0.332*	0.320*	-0.096*	-0.476*	-0.276*	-0.228*
PM _{2.5} /PM ₁₀				1	0.170*	0.098*	0.106*	0.055	0.001	-0.243*	-0.168*	0.190*
CO					1	0.206*	0.916*	-0.320*	-0.007	-0.409*	-0.635*	0.204*
SO ₂						1	0.191*	-0.017	0.009	-0.128*	-0.098*	-0.066
NO _x							1	-0.366*	-0.146*	-0.374*	-0.644*	0.205*
O ₃								1	0.012	-0.031	0.192*	-0.390*
Temperature									1	0.373*	-0.159*	-0.214*
Visibility										1	0.273*	-0.467*
Windspeed											1	-0.135*
RH												1

Notes *p<0.0001



表 3.2 忠明測站 PM_{2.5}，PM_{2.5}/PM₁₀ 與各變項之 Pearson 相關係數(2/4)

忠明										
Variables	PM _{2.5}	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	O ₃	Temperature	Visibility	Windspeed	RH
PM _{2.5}	1	0.202*	0.517*	0.565*	0.495*	0.393*	-0.124*	-0.538*	-0.338*	-0.299*
PM _{2.5} /PM ₁₀		1	-0.116*	-0.124*	-0.159*	-0.014	0.022	-0.001	-0.049	0.199*
CO			1	0.565*	0.900*	-0.077*	-0.128*	-0.442*	-0.514*	-0.076
SO ₂				1	0.559*	0.197*	-0.025	-0.330*	-0.340*	-0.386*
NO _x					1	-0.153*	-0.277*	-0.436*	-0.482*	-0.084
O ₃						1	0.208*	-0.081*	-0.027	-0.367*
Temperature							1	0.255*	-0.307*	0.070
Visibility								1	0.266*	-0.293*
Windspeed									1	-0.107*
RH										1

Notes *p<0.0001



表 3.2 凤山测站 PM_{2.5}，PM_{2.5}/PM₁₀ 與各變項之 Pearson 相關係數(3/4)

鳳山										
Variables	PM _{2.5}	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	O ₃	Temperature	Visibility	Windspeed	RH
PM _{2.5}	1	0.262*	0.482*	0.479*	0.528*	0.281*	-0.467*	-0.615*	-0.140*	-0.315*
PM _{2.5} /PM ₁₀		1	-0.029	-0.159*	-0.145*	0.003	0.081*	0.041	-0.149*	-0.031
CO			1	0.550*	0.683*	-0.001	-0.379*	-0.400*	-0.479*	-0.182*
SO ₂				1	0.820*	-0.157*	-0.561*	-0.349*	-0.033	-0.243*
NO _x					1	-0.210*	-0.673*	-0.491*	-0.173*	-0.204*
O ₃						1	0.134*	-0.308*	-0.109*	-0.270*
Temperature							1	0.530*	-0.086*	0.165*
Visibility								1	0.089*	-0.058
Windspeed									1	0.103*
RH										1

Notes *p<0.0001



表 3.2 林園測站 PM_{2.5}，PM_{2.5}/PM₁₀ 與各變項之 Pearson 相關係數(4/4)

林園										
Variables	PM _{2.5}	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	O ₃	Temperature	Visibility	Windspeed	RH
PM _{2.5}	1	0.421*	0.688*	0.530*	0.605*	0.345*	-0.529*	-0.637*	-0.208*	-0.436*
PM _{2.5} /PM ₁₀		1	0.143*	0.056	0.060	0.100*	-0.037	-0.114*	-0.189*	-0.239*
CO			1	0.727*	0.789*	0.025	-0.669*	-0.561*	-0.253*	-0.369*
SO ₂				1	0.852*	-0.126*	-0.681*	-0.401*	-0.019	-0.372*
NO _x					1	-0.189*	-0.778*	-0.512*	-0.082*	-0.327*
O ₃						1	0.083*	-0.379*	-0.148*	-0.154*
Temperature							1	0.527*	0.071*	0.413*
Visibility								1	0.155*	0.115*
Windspeed									1	0.049
RH										1

Notes *p<0.0001



表 3.3 空品測站模式: $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$ 和 $PM_{2.5} = PM_{10} + CO + NO_x + SO_2$ 之 R^2 值比較表(n=資料筆數)

Site	Model R^2 (2005-2009)		Prediction R^2 (1997-2004)	
	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$
古亭	0.77(1682) ^a	0.78(1682) ^a	0.65(1982) ^b	0.70(1981) ^b
三重	0.80(1691)	0.79(1691)	0.37(1770)	0.35(1768)
忠明	0.90(1653)	0.90(1653)	0.70(2275)	0.71(2275)
鳳山	0.87(1637)	0.86(1637)	0.63(2114)	0.66(2114)
林園	0.86(1519)	0.84(1519)	0.65(2003)	0.66(2002)

^a 建立模式之資料筆數

^b 驗證模式之資料筆數



表 3.4 空品測站驗證模式之 $R^2_{\text{prediction}}$ 值比較表(n=驗證模式之資料筆數)

	古亭	三重	忠明	鳳山	林園
模式 1					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$	0.70(1981)	0.35(1768)	0.71(2275)	0.66(2114)	0.66(2002)
模式 2					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2 + \text{Temperature} + \text{Windspeed}$	0.70(1959)		0.71(2226)	0.67(2100)	0.66(1960)
模式 3					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2 + \text{O}_3$	0.70(1968)	0.55(48)	0.71(2261)	0.66(2095)	0.67(1970)
模式 4					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2 + \text{O}_3 + \text{Temperature} + \text{Windspeed}$	0.70(1946)		0.71(2212)	0.67(2082)	0.67(1927)
模式 5					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$	0.70(1957)		0.71(2385)	0.66(2252)	0.69(2232)
模式 6					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2 + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$	0.70(1852)		0.72(2226)	0.67(2100)	0.67(1960)
模式 7					
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2 + \text{O}_3 + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$	0.70(1839)		0.72(2212)	0.67(2082)	0.67(1927)

表 3.5 空品測站各模式預測值與實際量測值之均方根誤差(RMSE)比較表

	古亭	忠明	鳳山	林園
模式 1 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$	7.18	10.26	15.36	14.95
模式 2 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+Temperature+Windspeed$	7.24	10.11	15.07	14.92
模式 3 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3$	7.18	10.24	15.31	14.63
模式 4 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3+Temperature+Windspeed$	7.24	10.08	15.02	14.67
模式 5 $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$	7.07	10.32	15.72	14.37
模式 6 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+Temperature+Windspeed+Visibility$	7.05	10.03	15.07	14.8
模式 7 $PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3+Temperature+Windspeed+Visibility$	7.05	9.995	15.04	14.62

*RMSE=Root Mean Square Error (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

表 3.6 空品測站以相同資料筆數建立模式之 R^2 值比較表(n=建立和驗證模式之資料筆數)

Site	PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ (n=1151)		PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ +O ₃ (n=1114)	
	R^2_{model}	$R^2_{prediction}$	R^2_{model}	$R^2_{prediction}$
古亭	0.76	0.73	0.75	0.73
忠明	0.90	0.67	0.89	0.67
鳳山	0.88	0.65	0.87	0.65
林園	0.87	0.60	0.87	0.61



表 3.7 空品測站以月平均資料建立模式之 R^2 值比較表 (n=資料筆數)

Site	$PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NOx+SO_2$		$PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NOx+SO_2+O_3$	
	R^2_{model}	$R^2_{prediction}$	R^2_{model}	$R^2_{prediction}$
古亭	0.69(57) ^a	0.34(65) ^b	0.69(n=57) ^a	0.34(65) ^b
忠明	0.85(56)	0.48(78)	0.85(n=56)	0.48(78)
鳳山	0.90(56)	0.64(72)	0.91(n=56)	0.62(72)
林園	0.90(52)	0.63(72)	0.90(n=52)	0.63(72)

^a 建立模式之資料筆數

^b 驗證模式之資料筆數



表 3.8 日平均資料建立模式之預測值與實際量測值，分別以月平均，季平均，年平均比較 R^2 值之整理表

	古亭		忠明		鳳山		林園	
	R^2							
	(2005-2009)	(1997-2004)	(2005-2009)	(1997-2004)	(2005-2009)	(1997-2004)	(2005-2009)	(1997-2004)
$PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$								
月平均	0.68(57)	0.53(60)	0.85(55)	0.61(66)	0.91(55)	0.66(62)	0.90(47)	0.65(57)
季平均	0.62(20)	0.60(17)	0.86(19)	0.59(23)	0.95(19)	0.71(22)	0.95(17)	0.77(16)
年平均	0.07(5)	1(2)	0.11(5)	0.12(6)	0.65(5)	0.49(5)	0.22(5)	0.13(3)
$PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2+O_3$								
月平均	0.68(57)	0.53(60)	0.85(55)	0.61(66)	0.90(55)	0.67(60)	0.90(46)	0.67(54)
季平均	0.63(19)	0.60(17)	0.86(19)	0.59(23)	0.95(19)	0.74(21)	0.96(17)	0.77(16)
年平均	0.07(5)	1(2)	0.14(5)	0.19(6)	0.69(5)	0.52(4)	0.34(5)	0.12(3)

表 3.9 空品測站根據模式 1:PM_{2.5}/PM₁₀=CO+NO_x+SO₂ 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 PM_{2.5} 濃度超過 35μg/m³ 及 65μg/m³ 敏感度，偽陽性，偽陰性，特異度之整理表

PM_{2.5}/PM₁₀=CO+NO_x+SO₂

		Measured PM _{2.5} (ug/m ³)		Measured PM _{2.5} (ug/m ³)			
		Predicted PM _{2.5} (ug/m ³)	>65	<65	Predicted PM _{2.5} (ug/m ³)	>35	<35
古亭	>65	93.3 ^a	3 ^b	古亭	>35	76.3	9.3
	<65	6.7 ^c	97 ^d		<35	23.7	90.7
忠明	>65	86.1	11.5	忠明	>35	90.5	18.6
	<65	13.9	88.5		<35	9.5	81.4
鳳山	>65	69.9	12.9	鳳山	>35	89	9.8
	<65	30.1	87.1		<35	11	90.2
林園	>65	69.7	13.9	林園	>35	90.6	20
	<65	30.3	86.1		<35	9.4	80

^a 敏感度% (Sensitivity)

^b 偽陽性% (False positive)

^c 偽陰性% (False negative)

^d 特異度% (Specificity)

表 3.10 空品測站根據模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$
 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 及 $65\mu g/m^3$
 敏感度，偽陽性，偽陰性，特異度之整理表

$PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$							
		Measured $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		Measured $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)			
		Predicted $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	>65	<65	Predicted $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	>35	<35
古亭	>65		76.9 ^a	1.5 ^b	古亭	>35	70.4
	<65		23.1 ^c	98.5 ^d		<35	29.6
忠明	>65		82.6	9.8	忠明	>35	87.7
	<65		17.4	90.2		<35	12.3
鳳山	>65		70.9	13.1	鳳山	>35	89.3
	<65		29.1	86.9		<35	10.7
林園	>65		64.4	10.3	林園	>35	89.7
	<65		35.6	89.7		<35	10.3

^a 敏感度% (Sensitivity)

^b 偽陽性% (False positive)

^c 偽陰性% (False negative)

^d 特異度% (Specificity)

表 3.11 空品測站根據模式將回推預測 $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 PM_{2.5} 濃度值刪除之驗證模式整理表

Site	刪除前		Delete Predicted PM _{2.5} $>120\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=資料筆數)	刪除後	
	R ² _{model}	R ² _{prediction}		R ² _{model}	R ² _{prediction}
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=\text{CO}+\text{NO}_x+\text{SO}_2$					
古亭	0.78	0.70	7	0.82	0.72
忠明	0.90	0.71	32	0.90	0.69
鳳山	0.86	0.66	16	0.86	0.65
林園	0.84	0.66	41	0.84	0.65
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}=\text{Temperature}+\text{RH}+\text{Windspeed}+\text{Visibility}$					
古亭	0.78	0.70	2	0.82	0.71
忠明	0.91	0.71	31	0.90	0.69
鳳山	0.86	0.66	18	0.87	0.65
林園	0.85	0.69	13	0.85	0.69

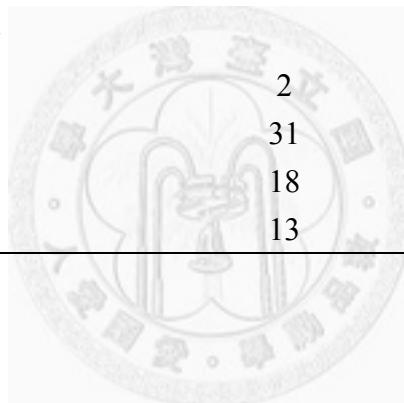
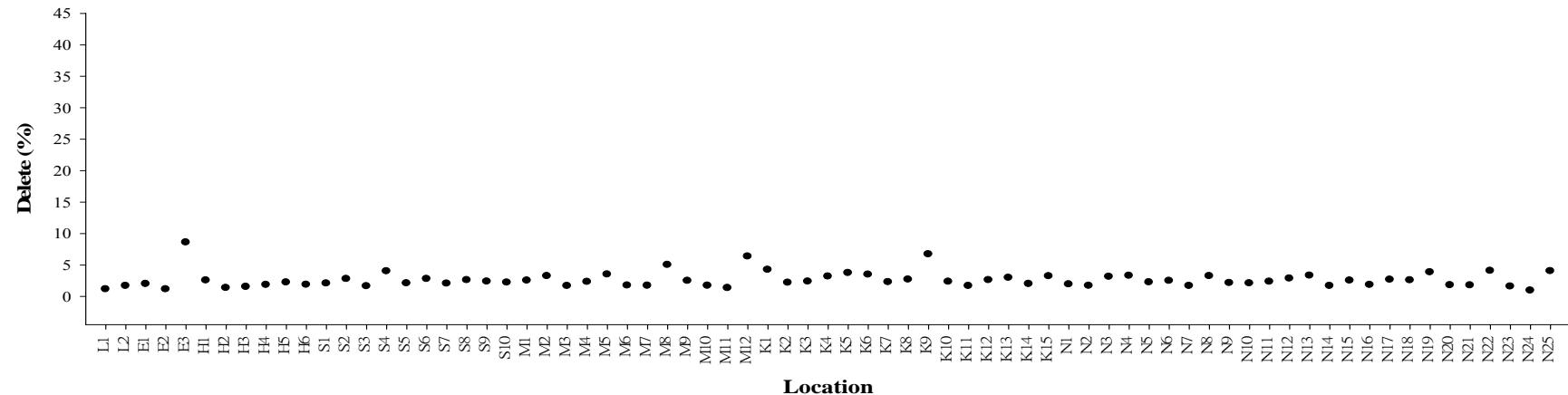


表 3.12 各模式 PM_{2.5}，PM_{2.5}/PM₁₀ 與變項間 VIF>10 之空品測站整理表

Site	Dependent	Variable	^a Tolerance	VIF
PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ +Temperature+Windspeed				
永和	PM _{2.5}	CO	0.084	11.94
永和	PM _{2.5}	NO _x	0.088	11.34
永和	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	0.084	11.94
永和	PM _{2.5} /PM ₁₀	NO _x	0.088	11.34
菜寮	PM _{2.5}	CO	0.098	10.25
菜寮	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	0.098	10.25
PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ +O ₃				
菜寮	PM _{2.5}	CO	0.096	10.41
菜寮	PM _{2.5}	NO _x	0.088	11.42
菜寮	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	0.096	10.41
菜寮	PM _{2.5} /PM ₁₀	NO _x	0.088	11.42
PM _{2.5} /PM ₁₀ =CO+NO _x +SO ₂ +O ₃ +Temperature+Windspeed				
復興	PM _{2.5}	NO _x	0.092	10.89
復興	PM _{2.5} /PM ₁₀	NO _x	0.092	10.89
永和	PM _{2.5}	CO	0.082	12.23
永和	PM _{2.5}	NO _x	0.079	12.71
永和	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	0.082	12.23
永和	PM _{2.5} /PM ₁₀	NO _x	0.079	12.71
菜寮	PM _{2.5}	CO	0.090	11.16
菜寮	PM _{2.5}	NO _x	0.087	11.50
菜寮	PM _{2.5} /PM ₁₀	CO	0.090	11.16
菜寮	PM _{2.5} /PM ₁₀	NO _x	0.087	11.50

$$^a \text{Tolerance} = \frac{1}{VIF}$$

(1) CO



(2) NO_x

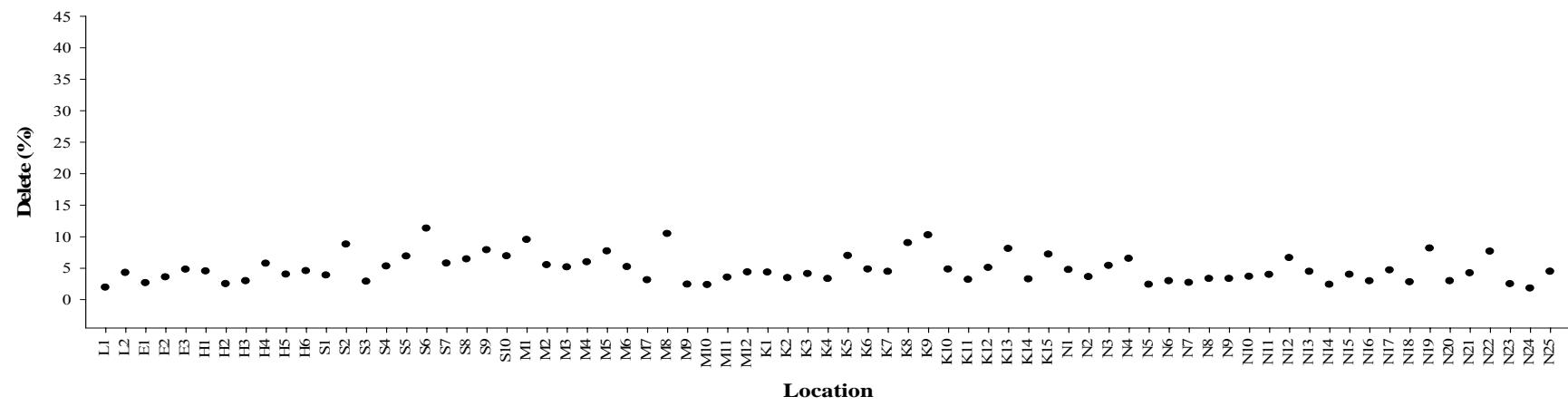


圖 3.1 空氣品質監測站變項(1)CO 和(2)NO_x 不足 75%以上小時數值比例(1/5)

(3) SO₂

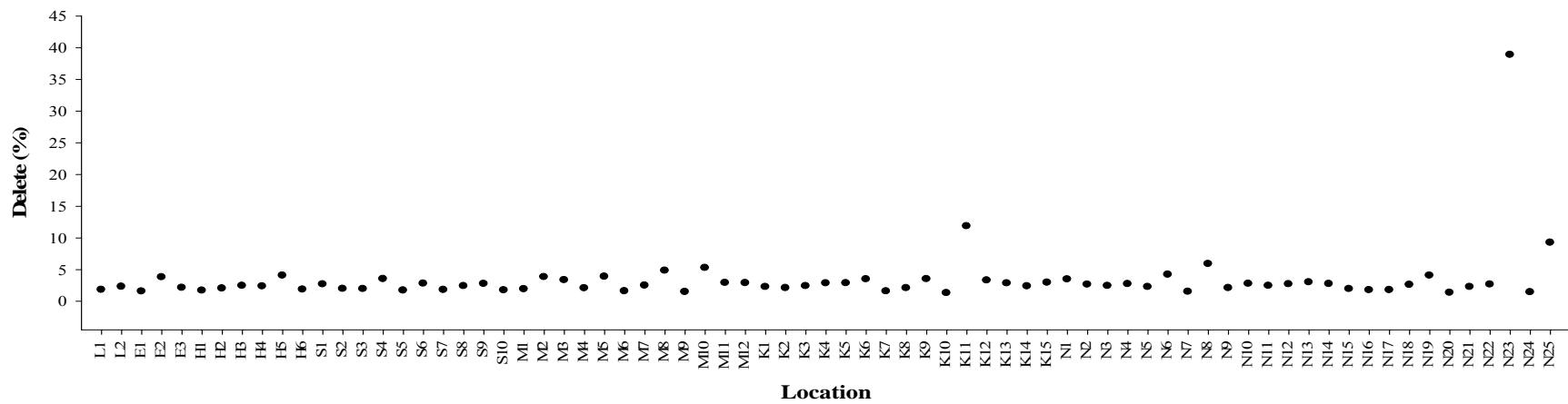
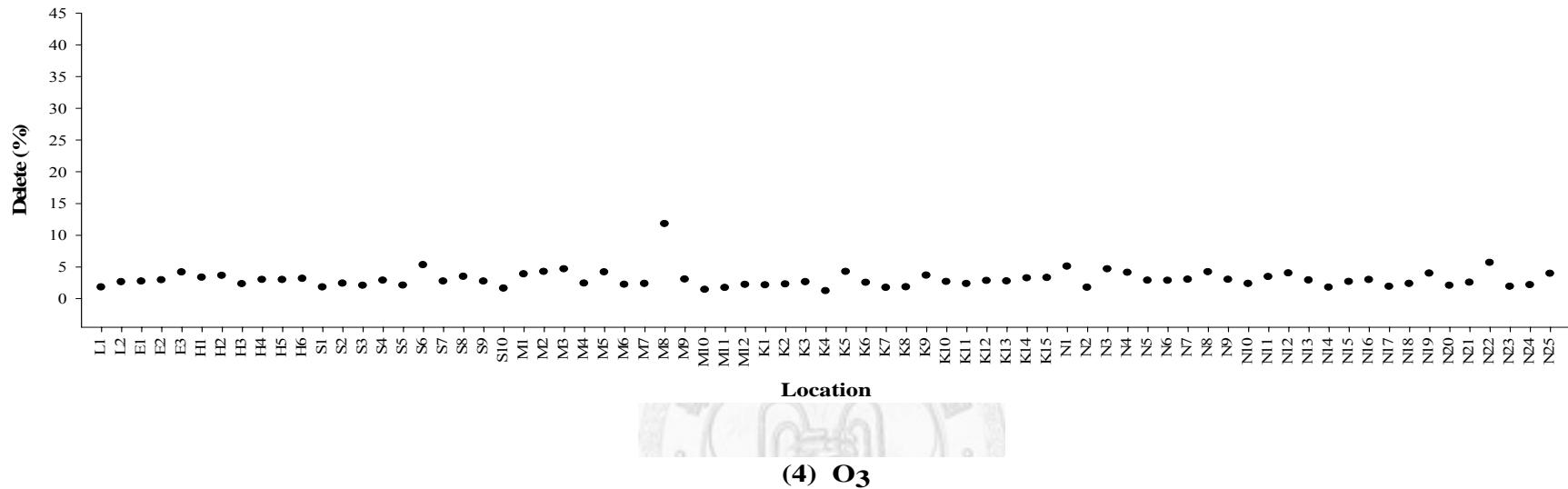


圖 3.1 空氣品質監測站變項(3)SO₂ 和(4)O₃ 不足 75%以上小時數值比例(2/5)

(5) PM₁₀

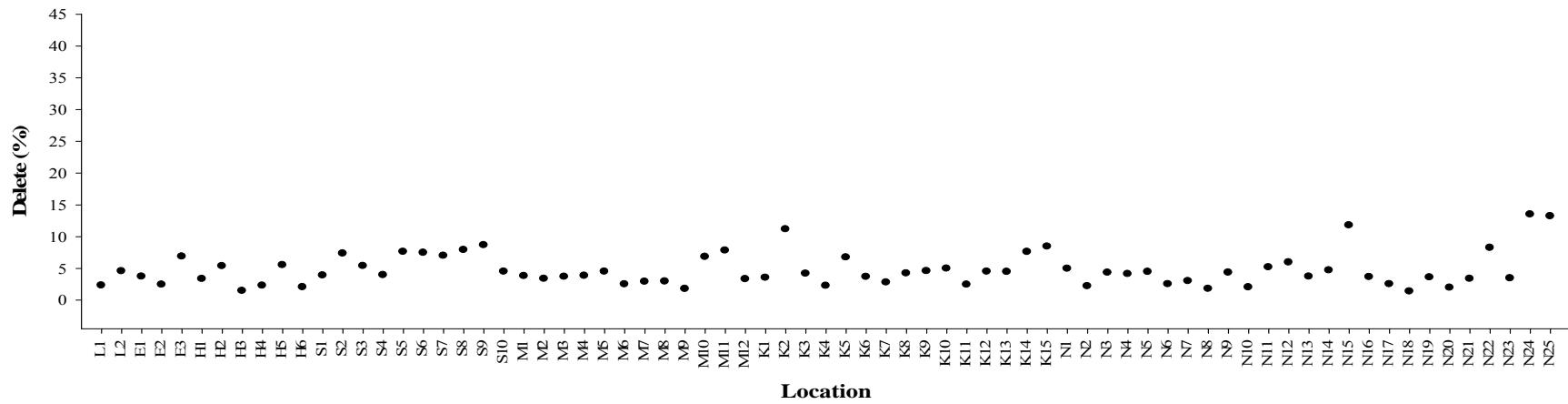
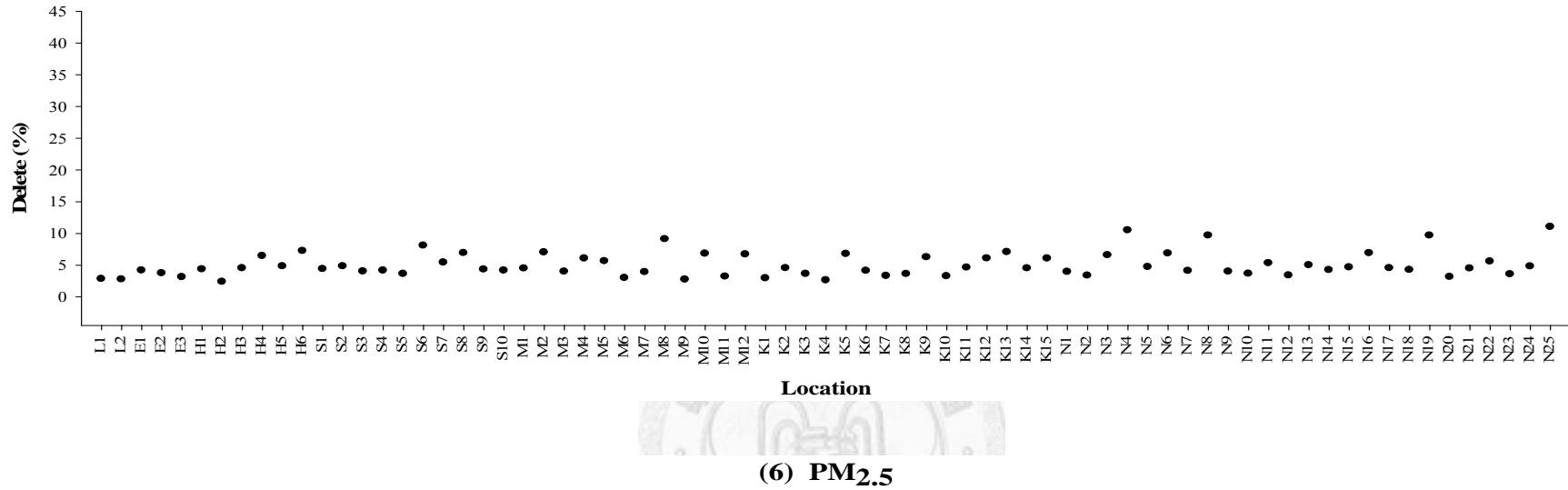
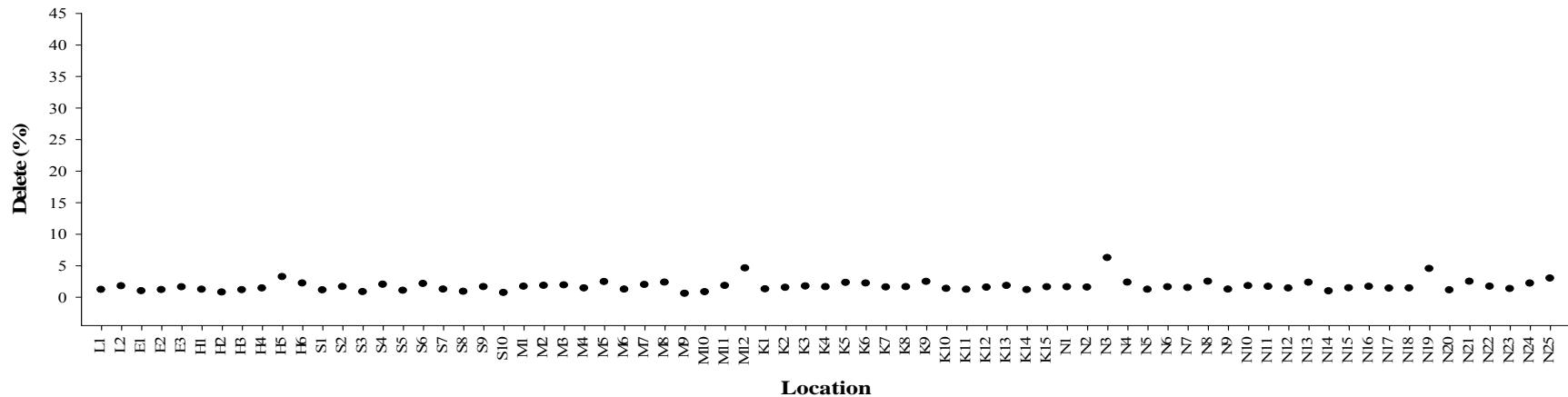


圖 3.1 空氣品質監測站變項(5)PM₁₀ 和(6)PM_{2.5} 不足 75%以上小時數值比例(3/5)

(7) Temperature



(8) RH

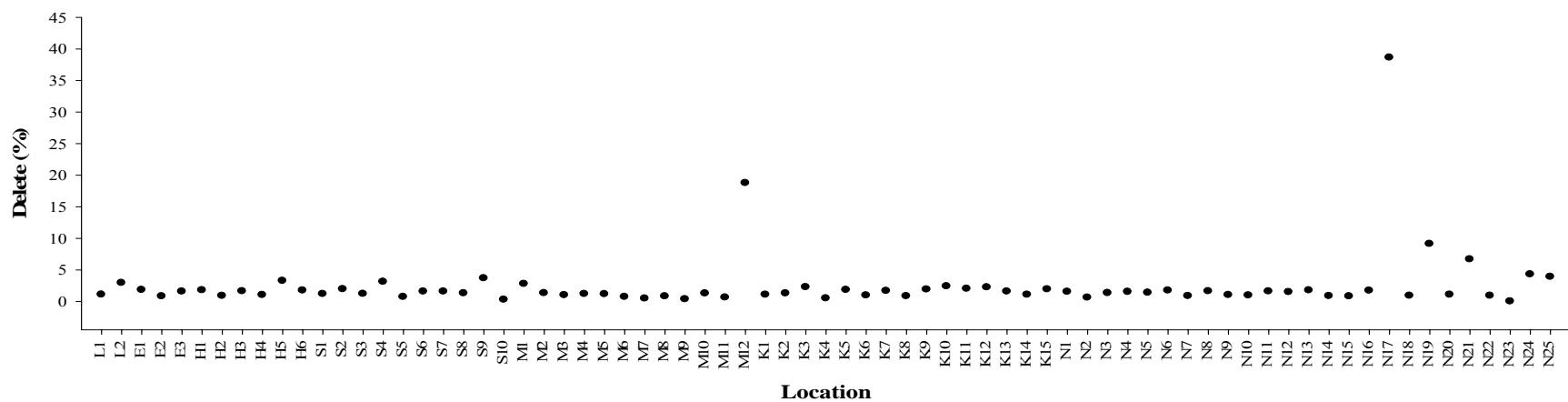


圖 3.1 空氣品質監測站變項(7)Temperature 和(8)RH 不足 75%以上小時數值比例(4/5)

(9) Windspeed

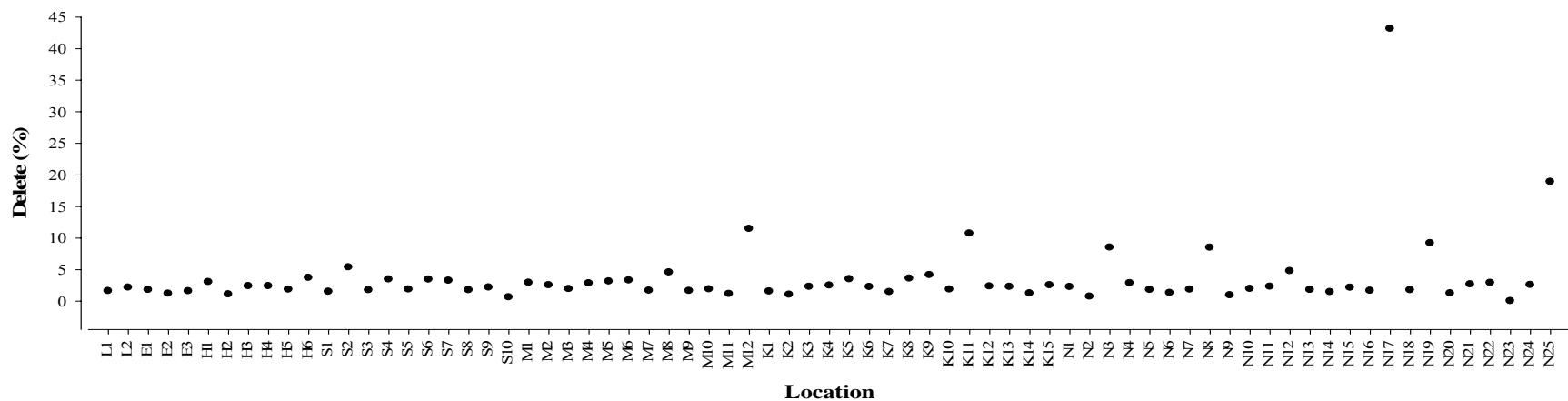
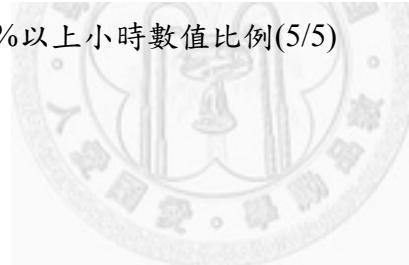
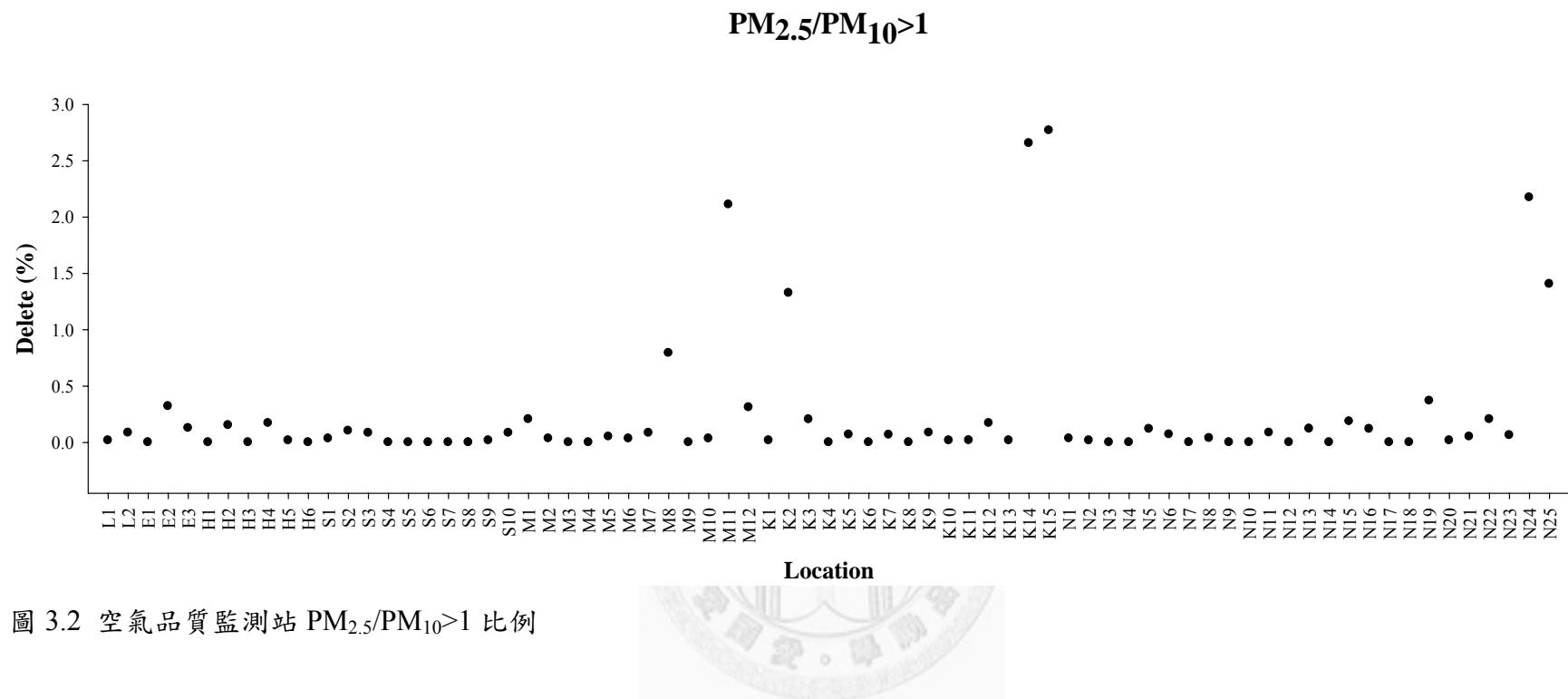
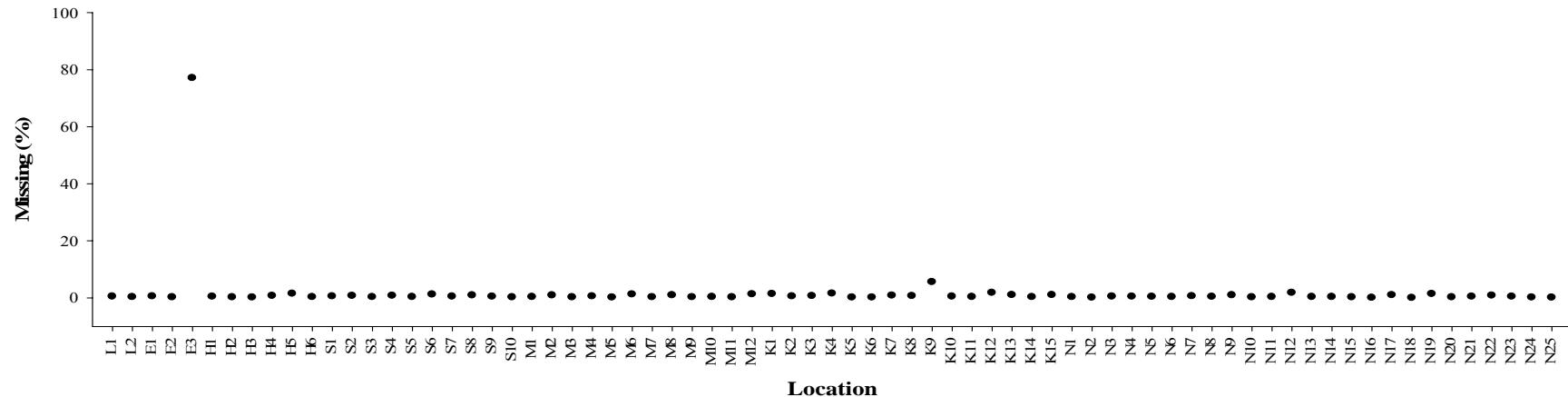


圖 3.1 空氣品質監測站變項(9)Windspeed 不足 75%以上小時數值比例(5/5)





(1) CO



(2) NO_x

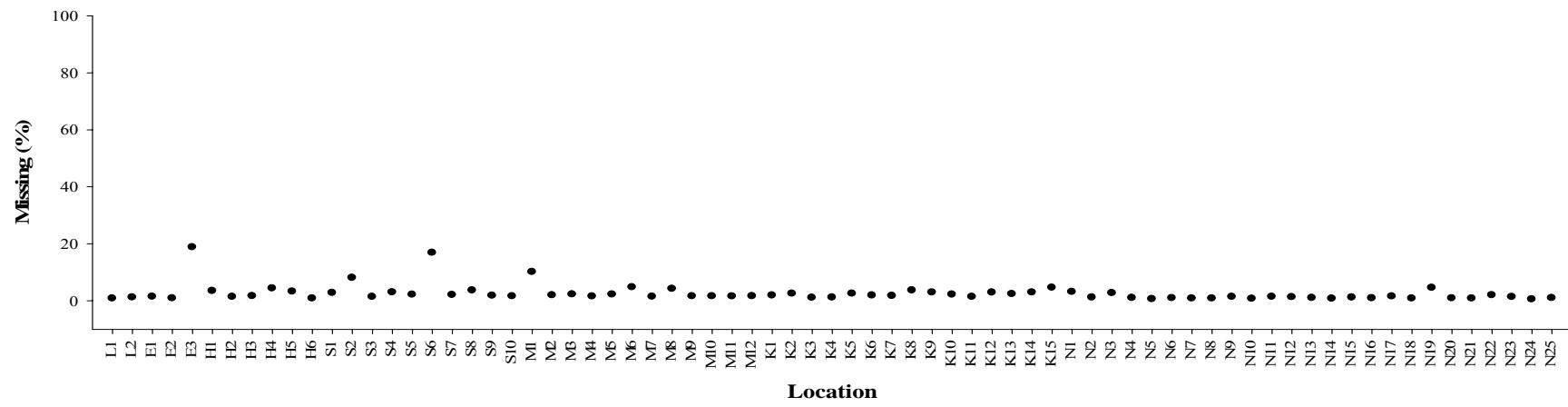
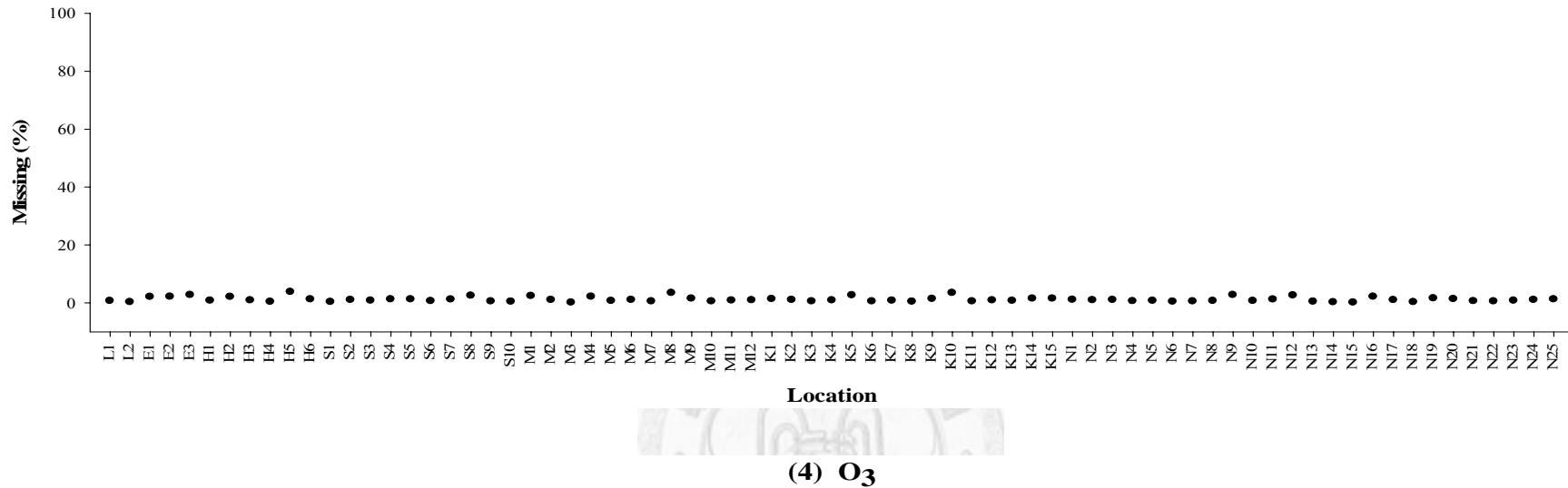


圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(1)CO 和(2)NO_x變項日數缺失比例(1/5)

(3) SO₂



(4) O₃

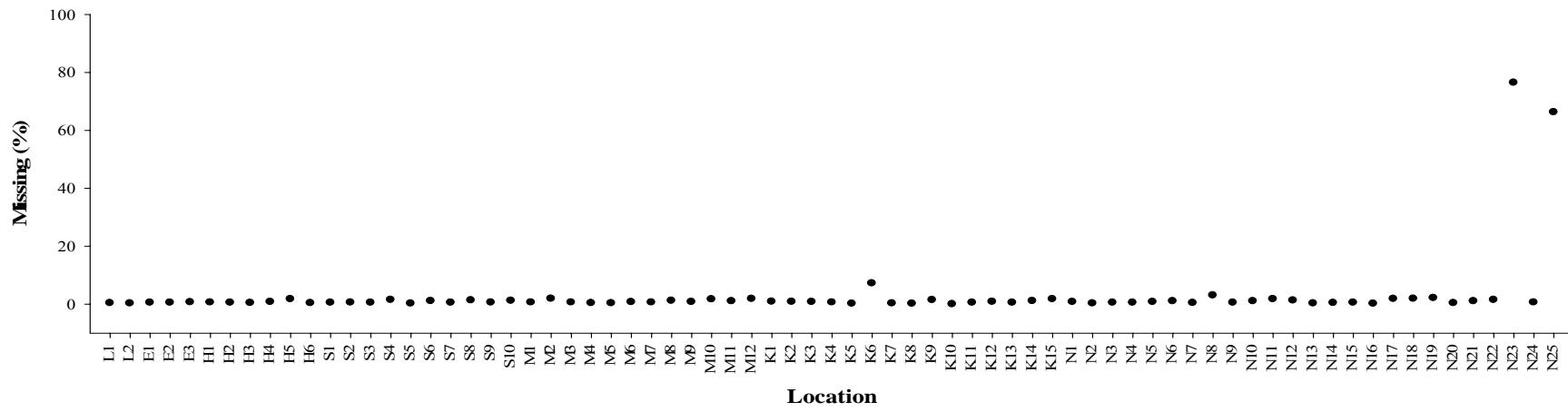
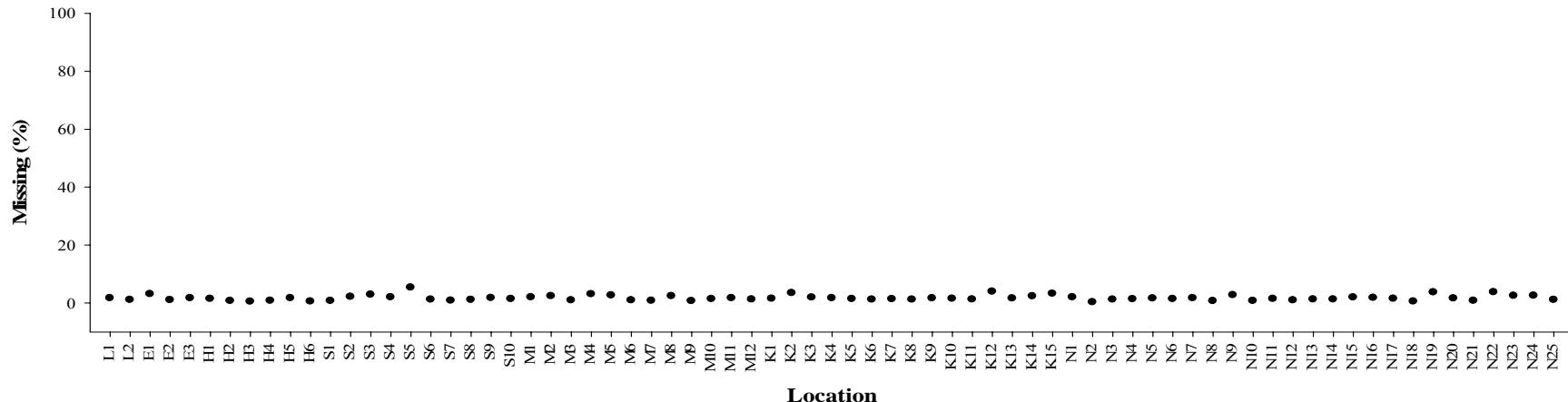


圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(3)SO₂ 和(4)O₃ 變項日數缺失比例(2/5)

(5) PM₁₀



(6) PM_{2.5}

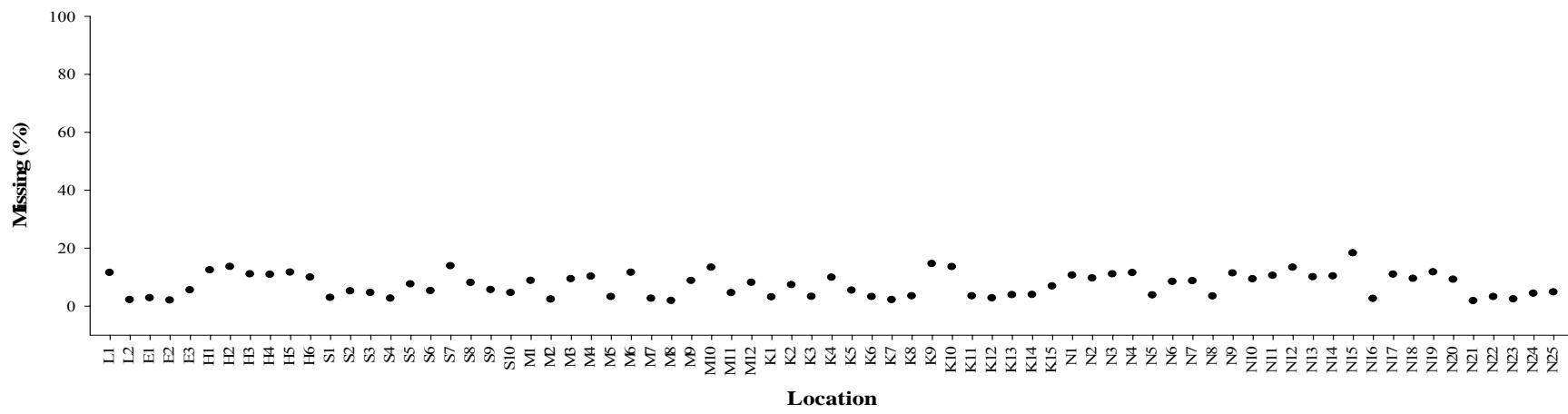
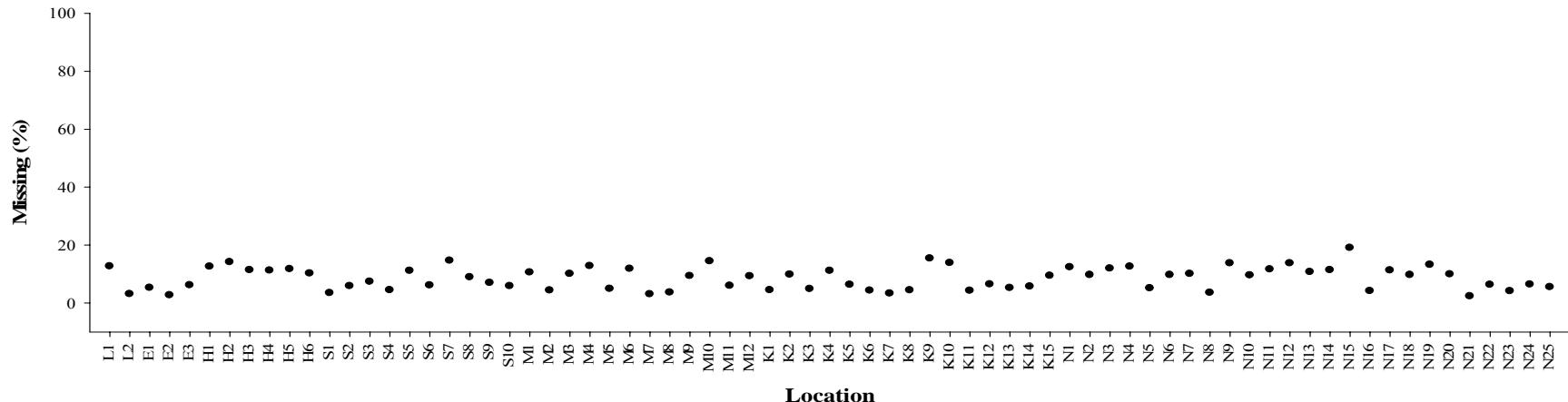


圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(5)PM₁₀和(6)PM_{2.5}變項日數缺失比例(3/5)

(7) PM_{2.5}/PM₁₀



(8) Windspeed

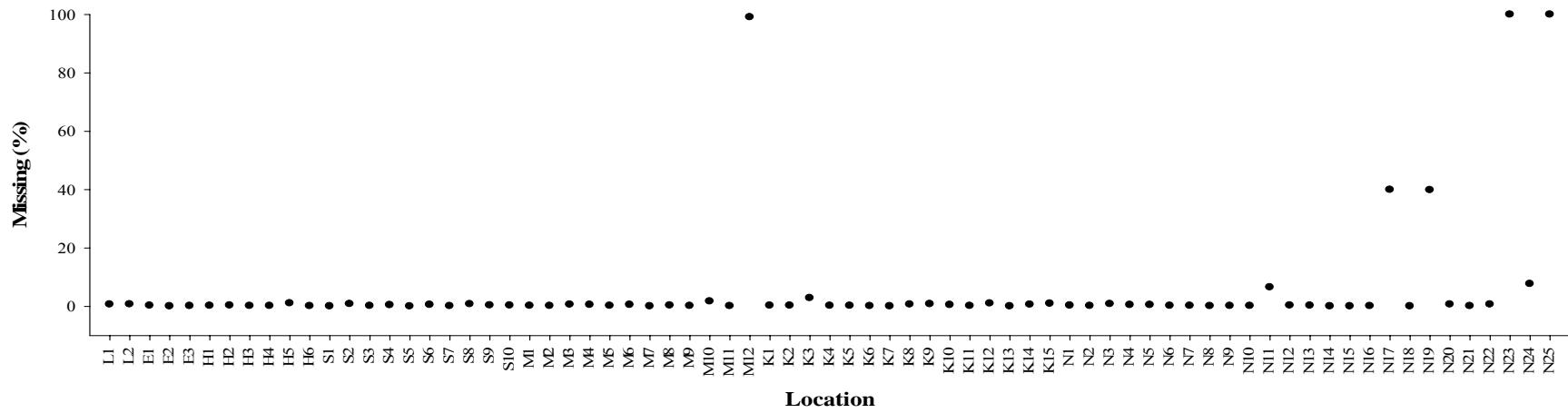
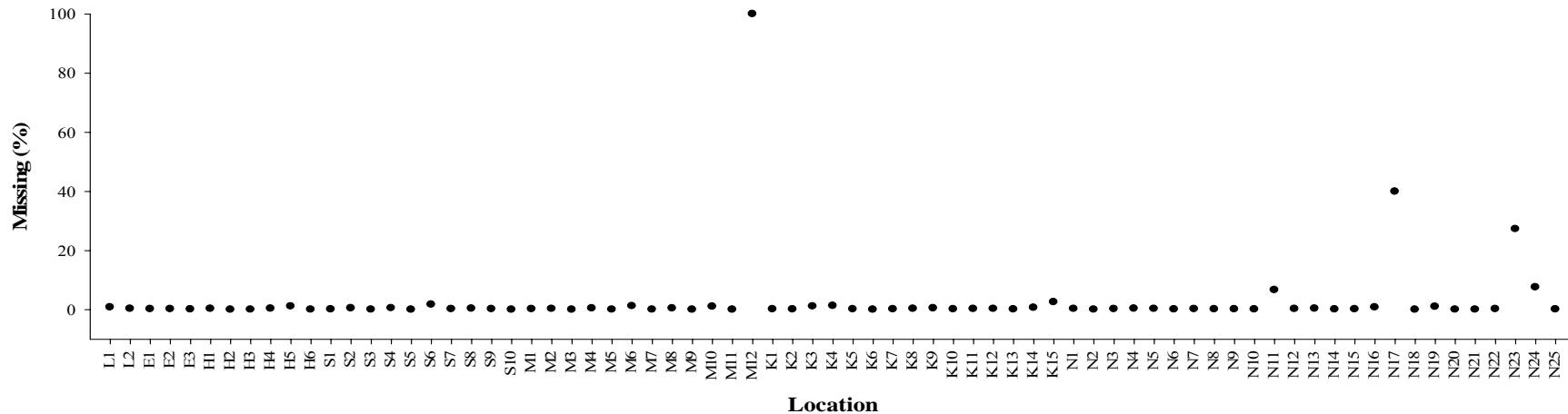


圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(7)PM_{2.5}/PM₁₀ 和(8)Windspeed 變項日數缺失比例(4/5)

(9) Temperature



(10) RH

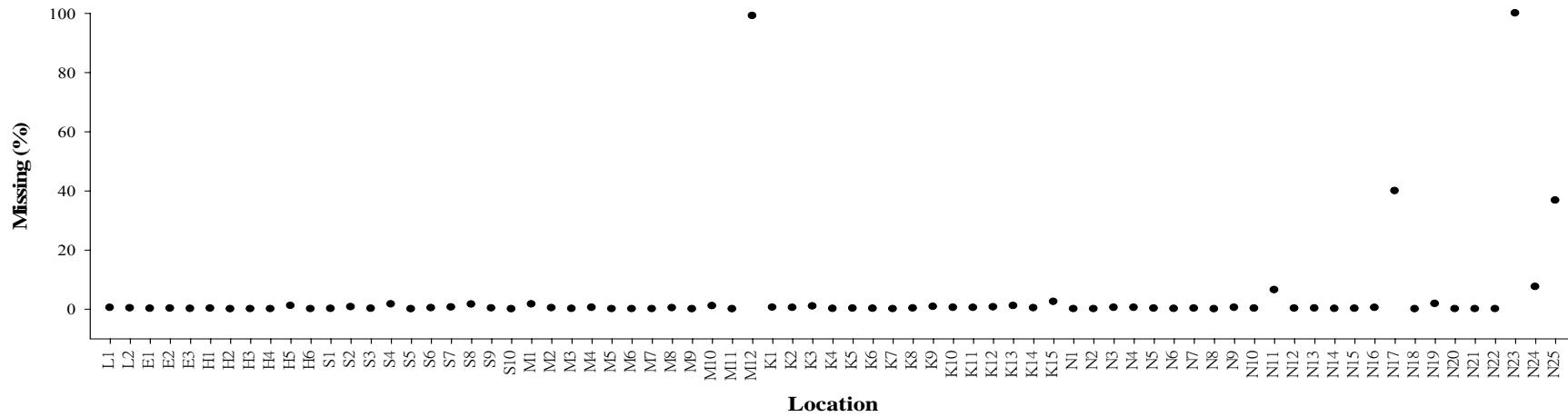
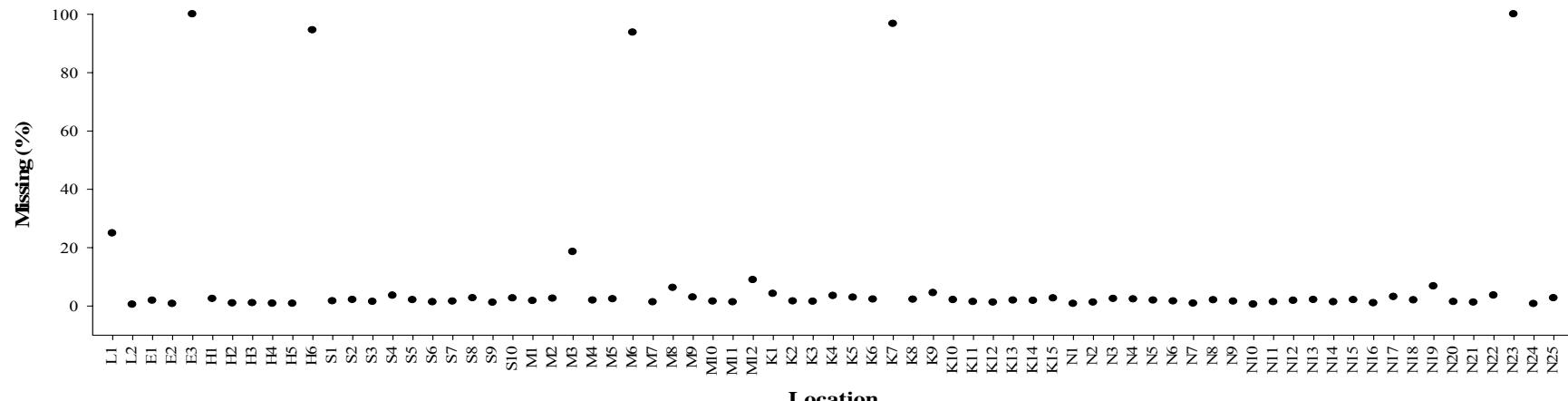


圖 3.3 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式之(9)Temperature 和(10)RH 變項日數缺失比例(5/5)

(1) CO



(2) NO_x

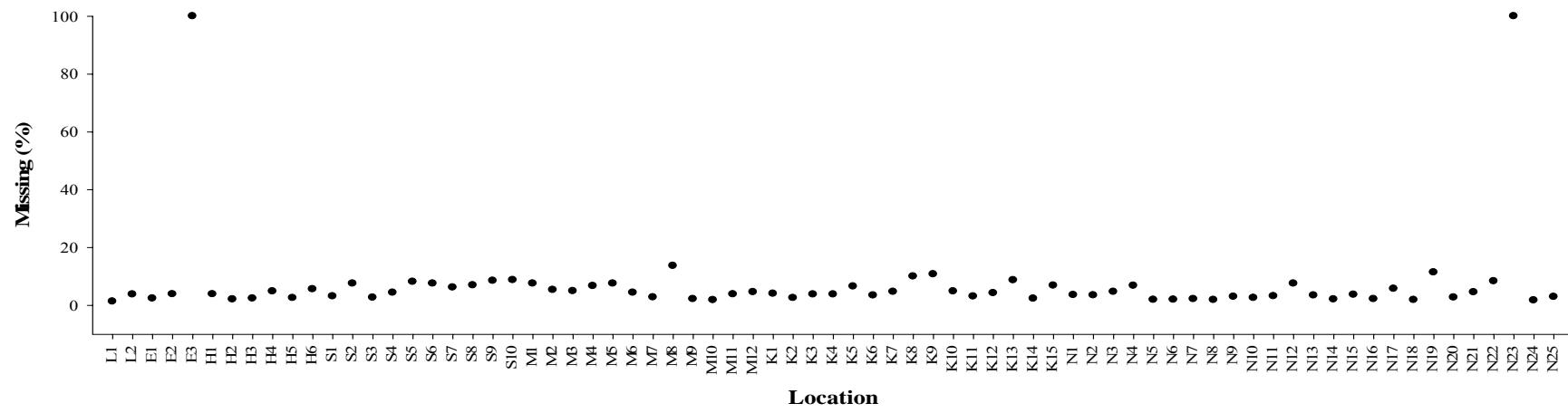
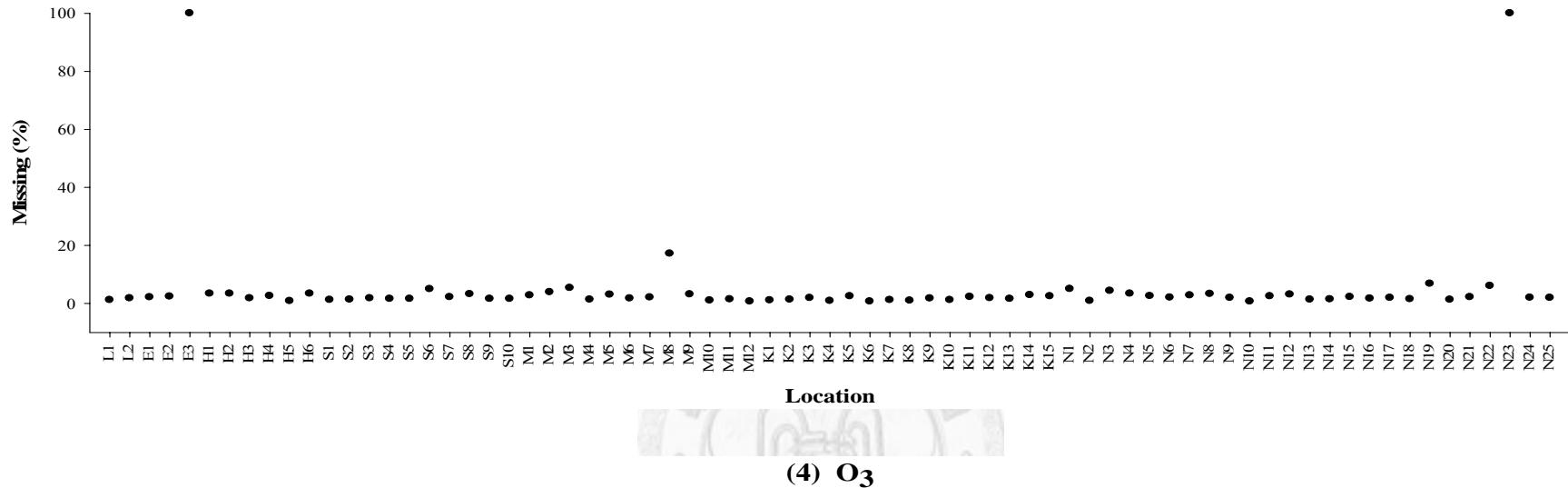


圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(1)CO 和(2)NO_x 變項日數缺失比例(1/5)

(3) SO₂



(4) O₃

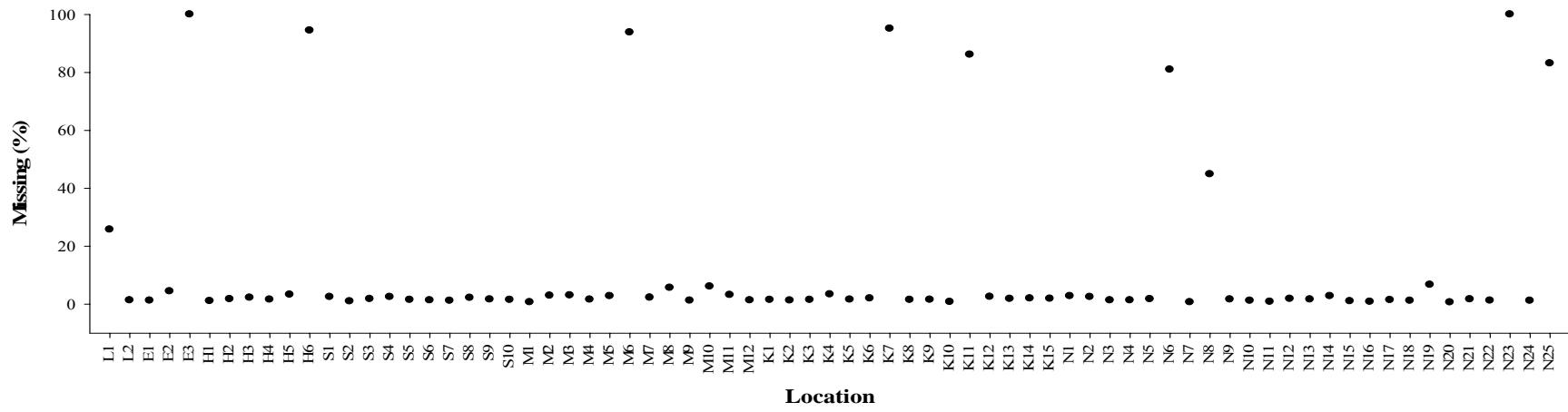
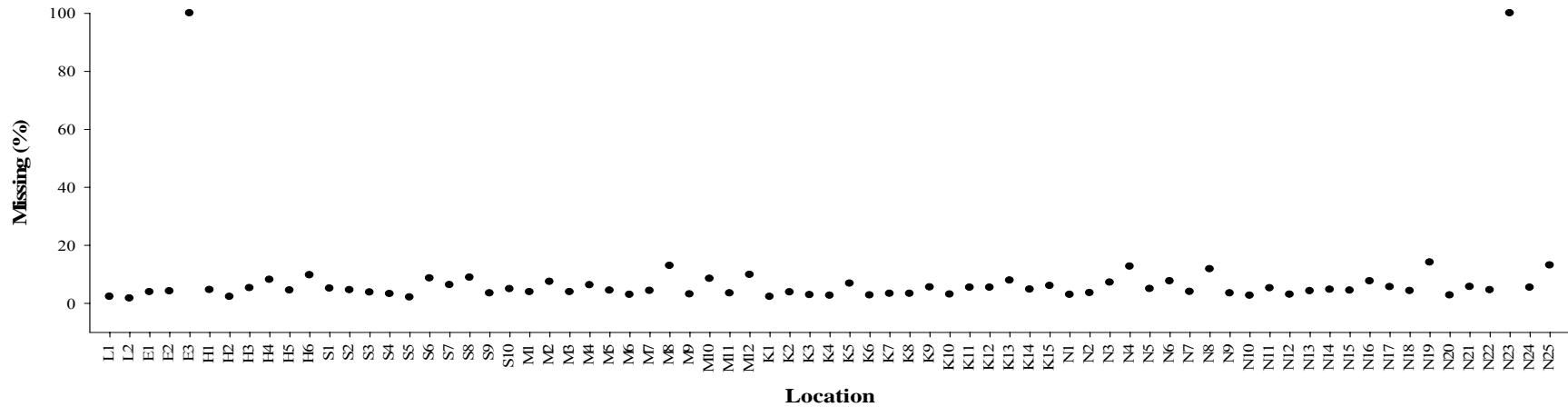


圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(3)SO₂ 和(4)O₃ 變項日數缺失比例(2/5)

(5) PM₁₀



(6) PM_{2.5}

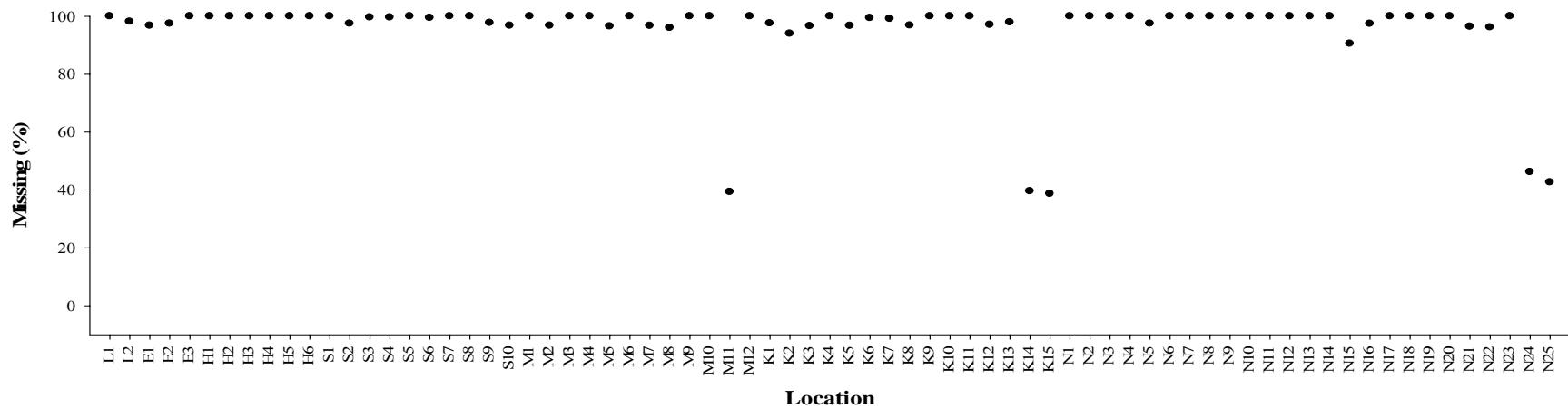
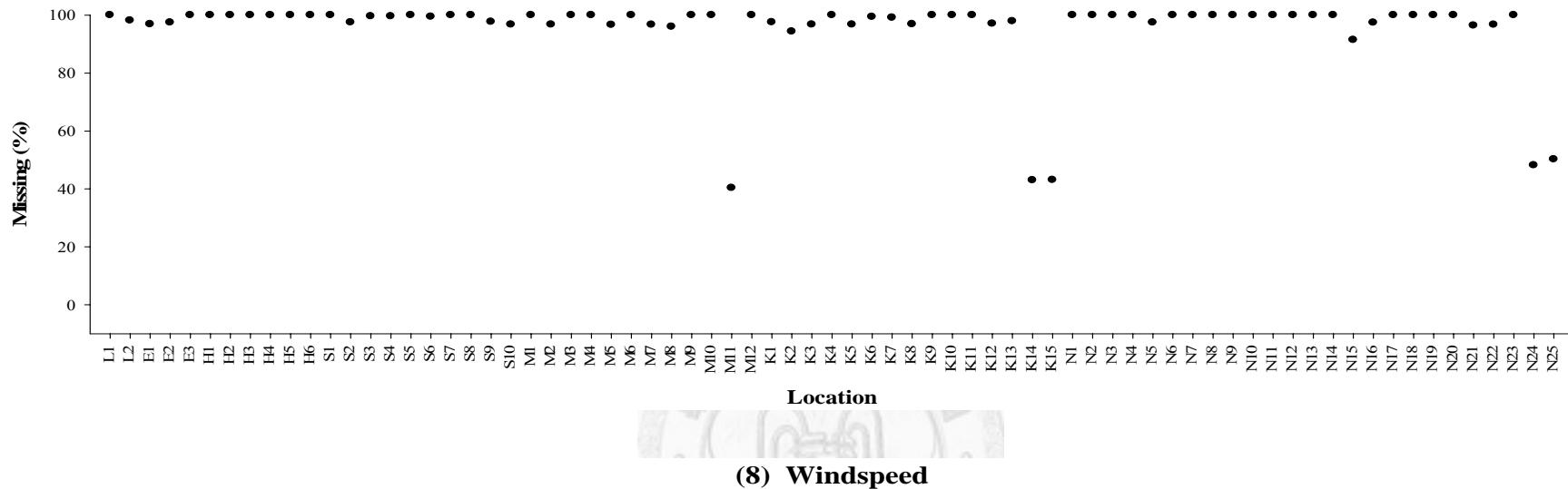


圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(5)PM₁₀和(6)PM_{2.5}變項日數缺失比例(3/5)

(7) PM_{2.5}/PM₁₀



(8) Windspeed

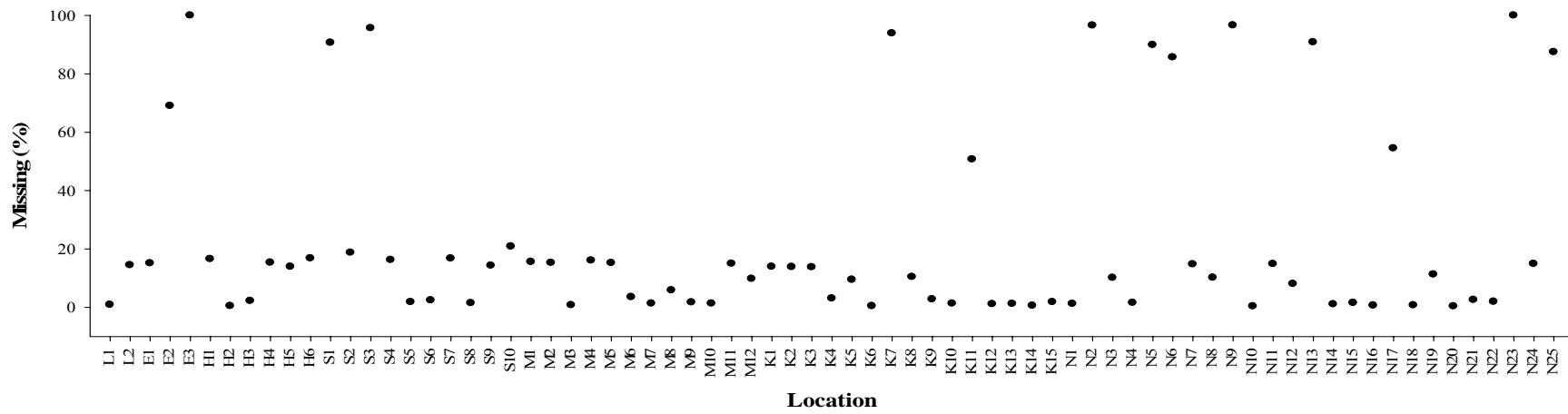
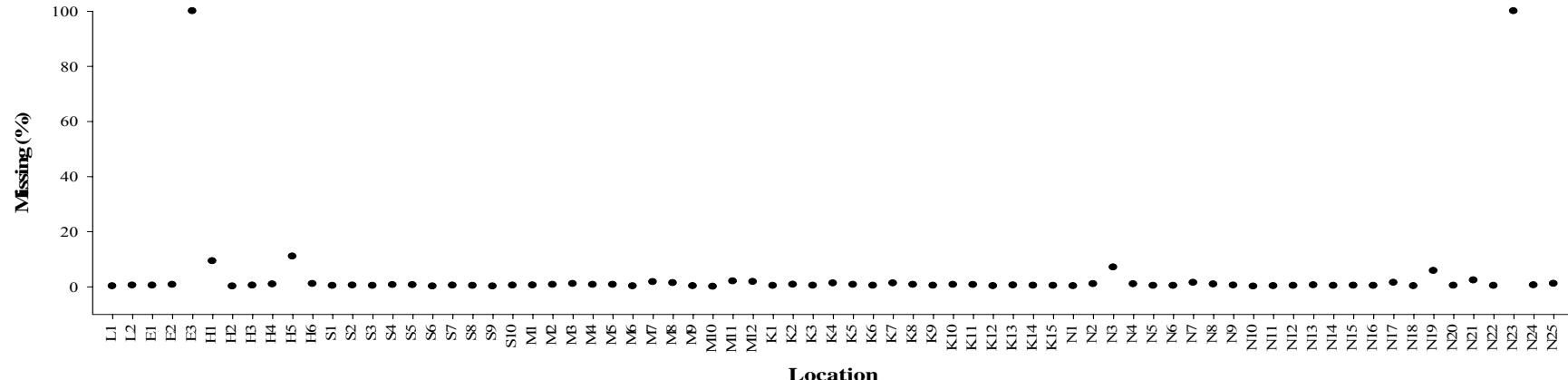


圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(7)PM_{2.5}/PM₁₀ 和(8)Windspeed 變項日數缺失比例(4/5)

(9) Temperature



(10) RH

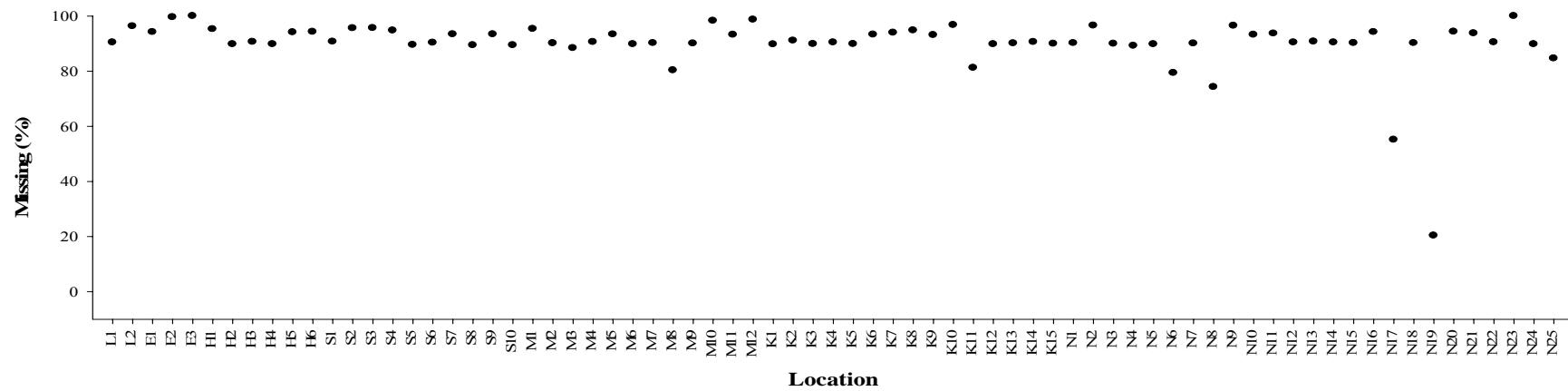


圖 3.4 空氣品質監測站 1993-2004 年預測回推值模式之(9)Temperature 和(10)RH 變項日數缺失比例(5/5)

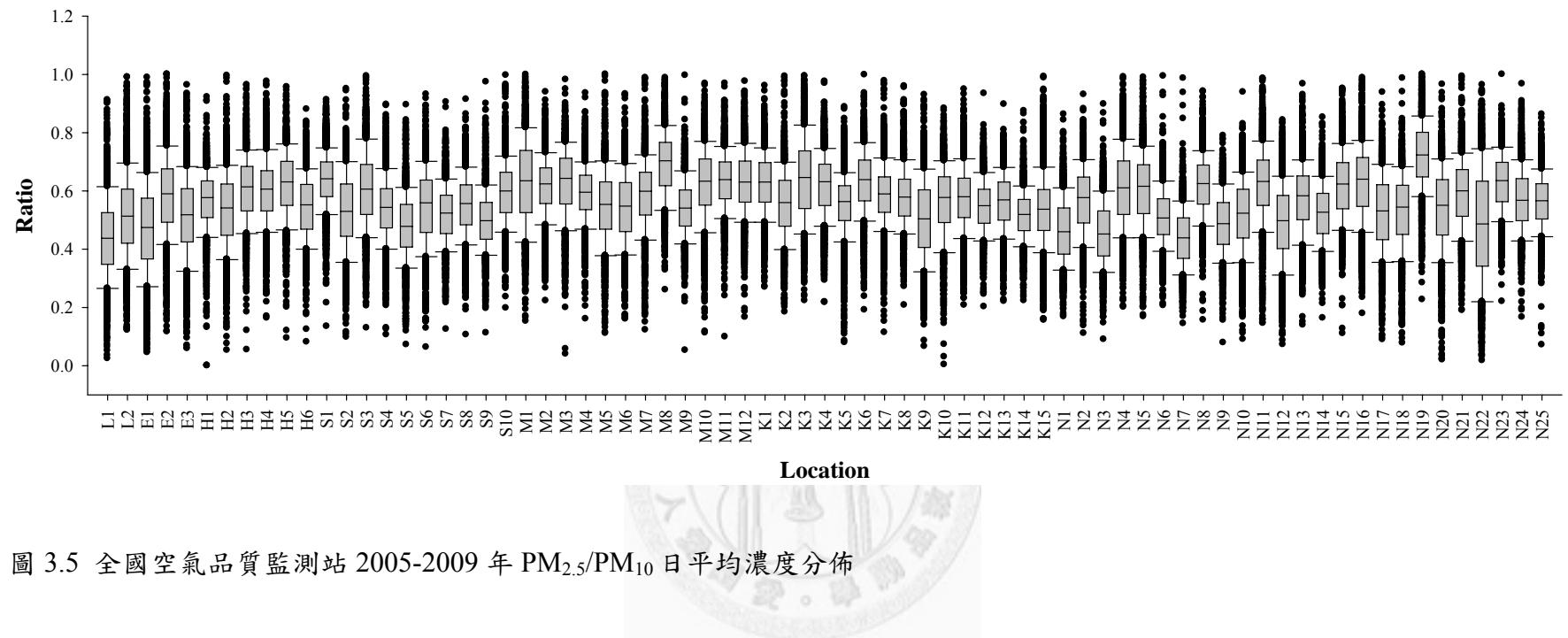


圖 3.5 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM_{2.5}/PM₁₀ 日平均濃度分佈

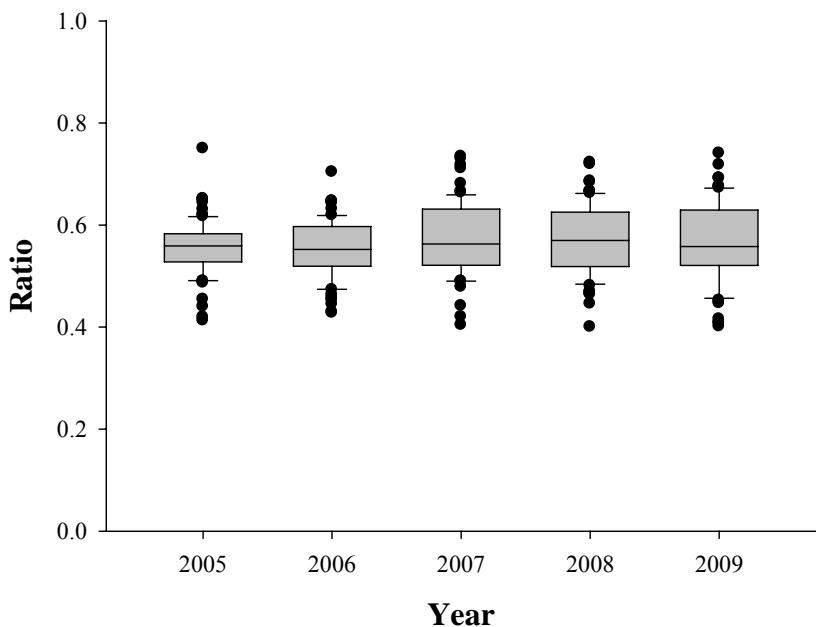


圖 3.6 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM_{2.5}/PM₁₀ 各年平均濃度分佈

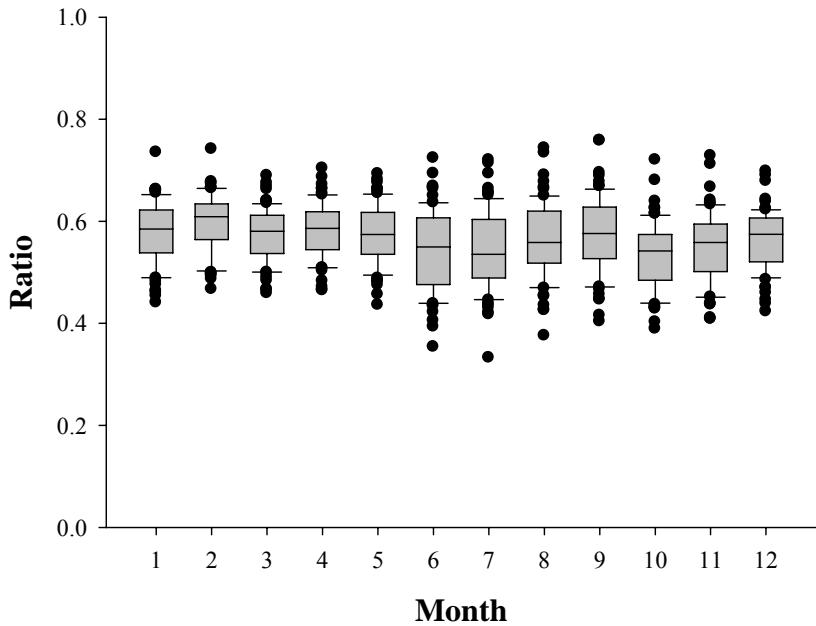


圖 3.7 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 PM_{2.5}/PM₁₀ 各月平均濃度分佈

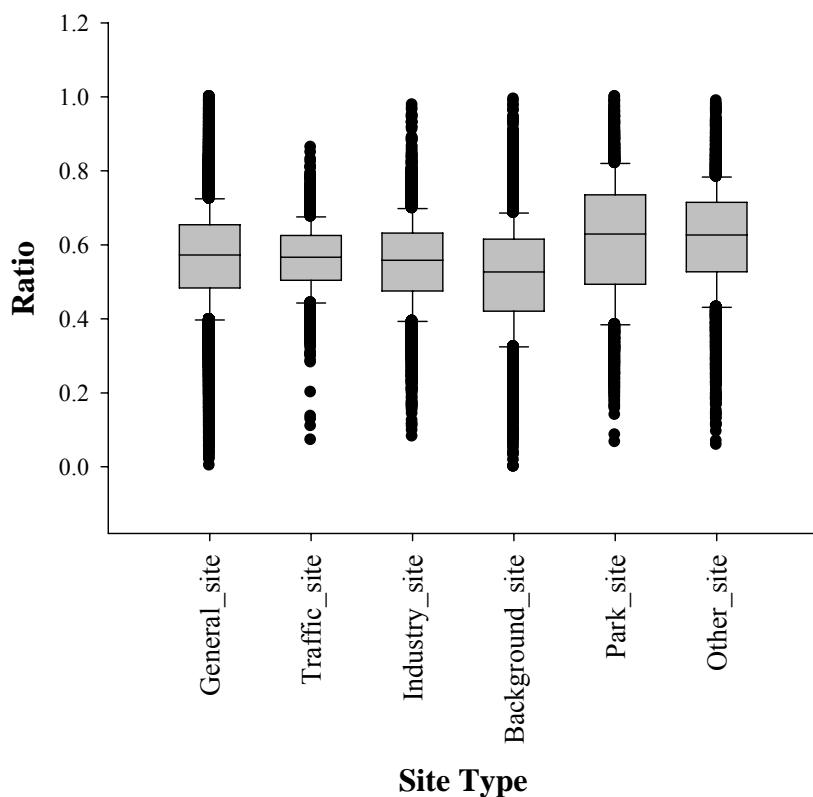


圖 3.8 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 依測站特性的平均濃度分佈

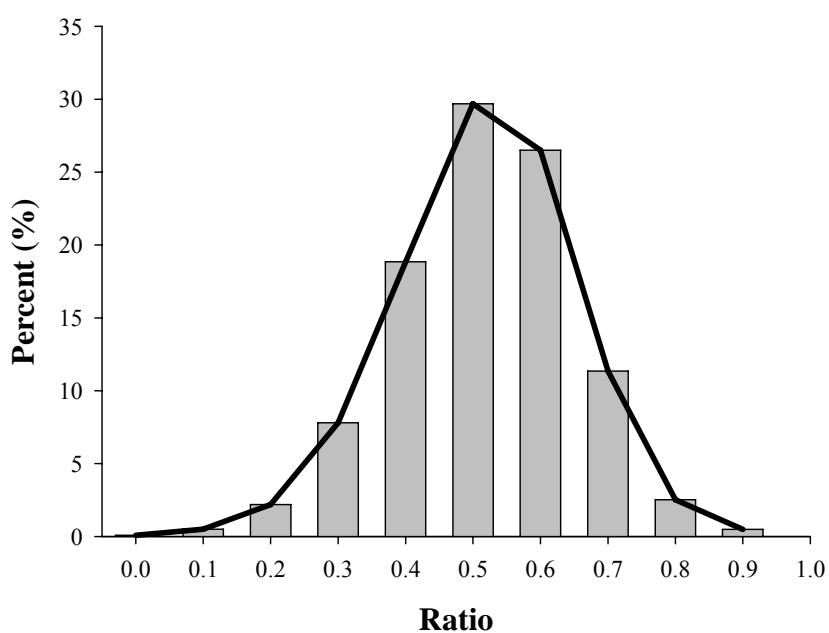


圖 3.9 全國空氣品質監測站 2005-2009 年 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 資料筆數百分比分佈

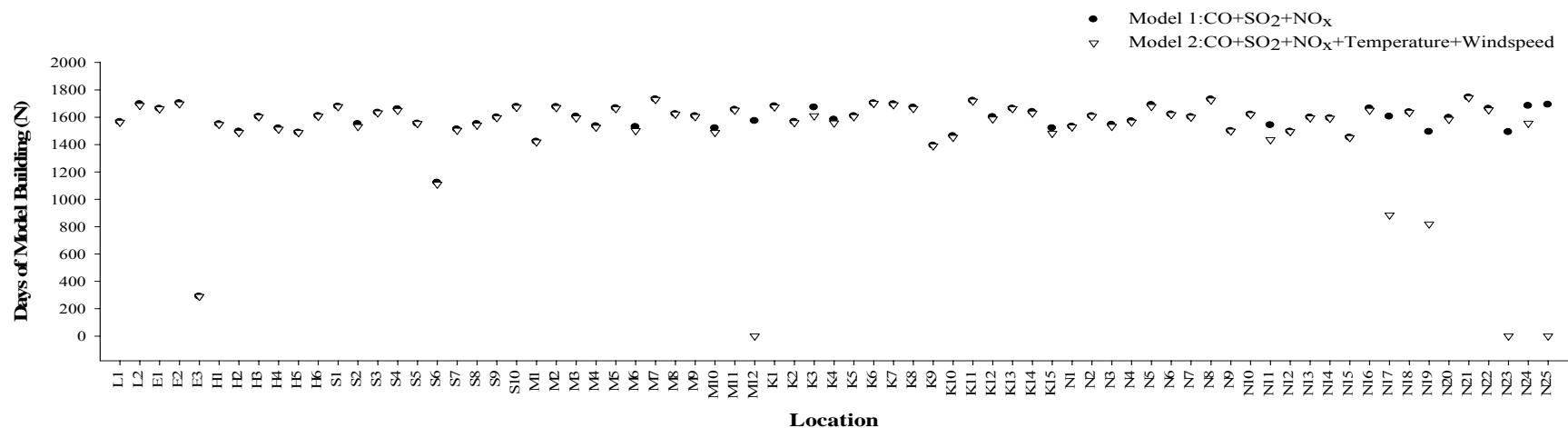


圖 3.10 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 1 與模式 2 之日數

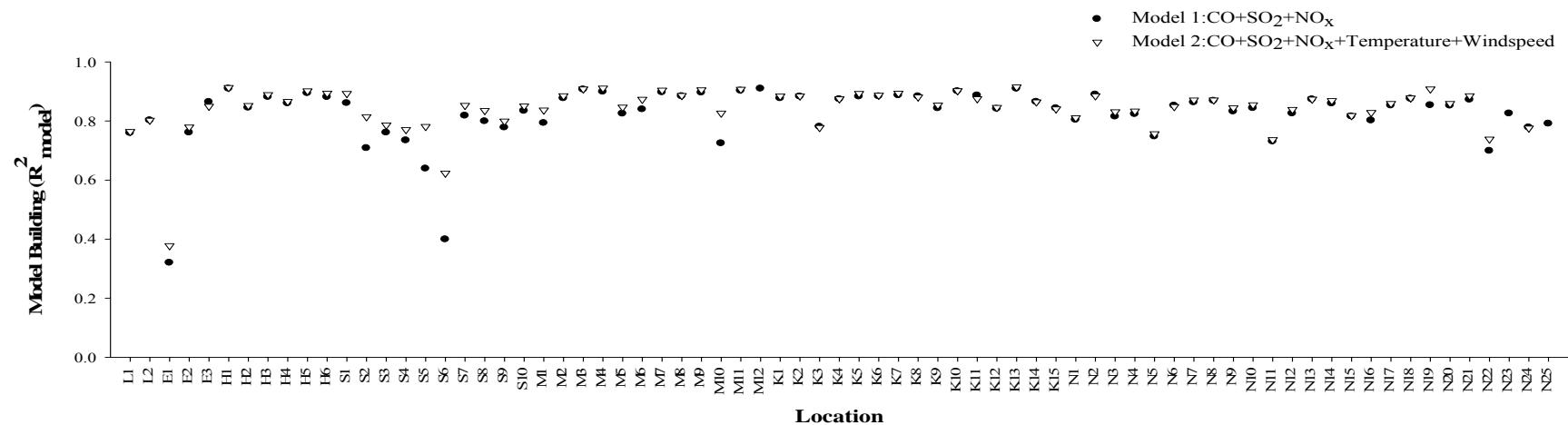


圖 3.11 空氣品質監測站建立模式 1 與模式 2 之 R^2_{model} 值

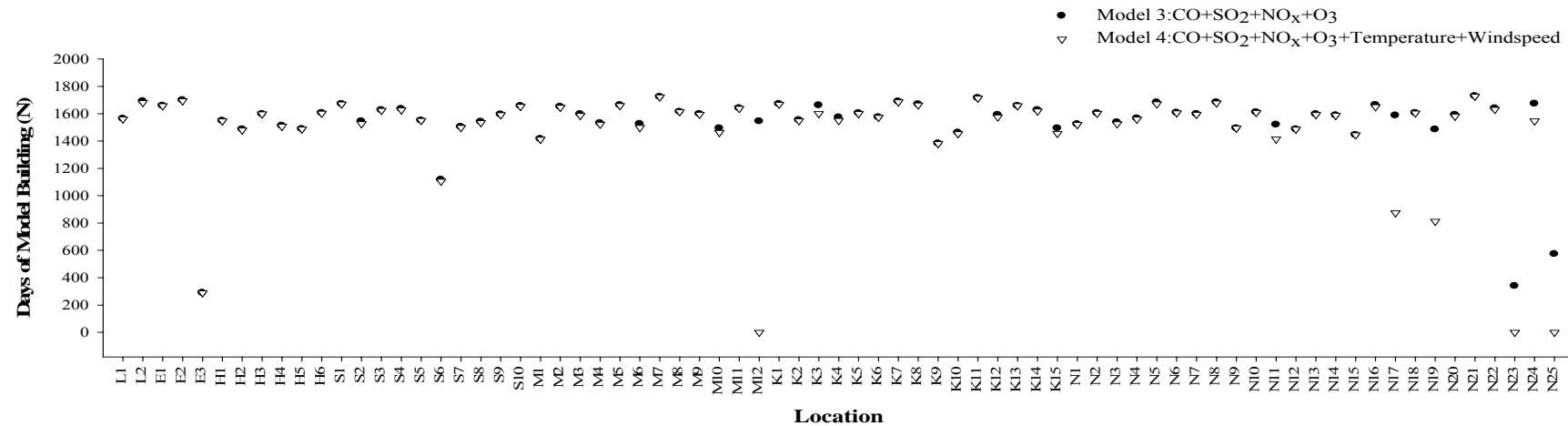


圖 3.12 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 3 與模式 4 之日數

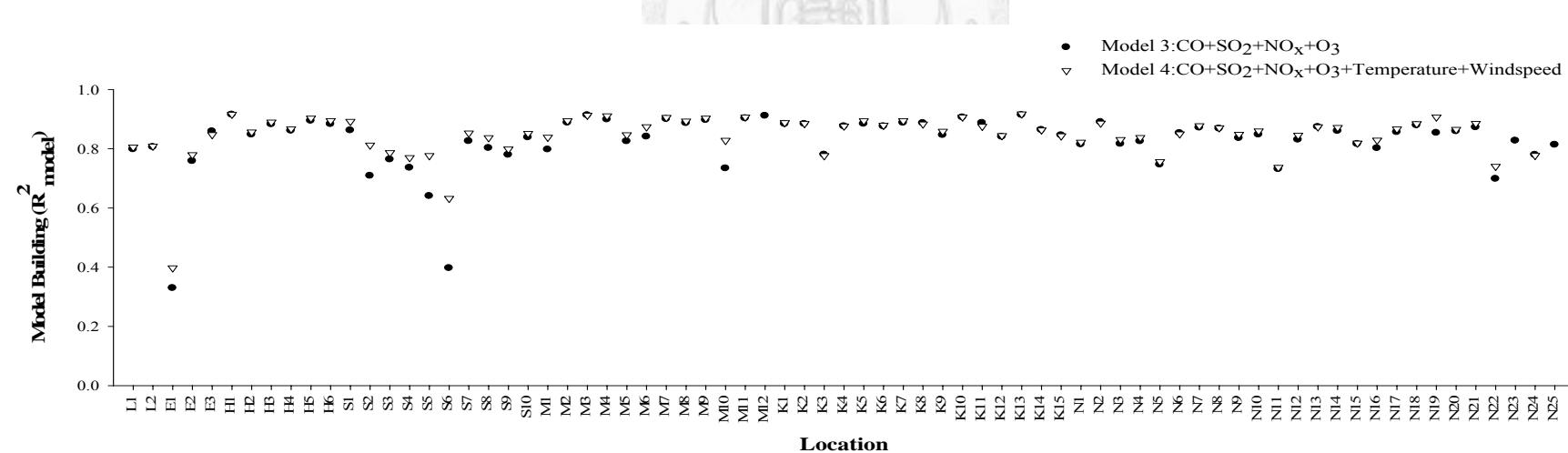


圖 3.13 空氣品質監測站建立模式 3 與模式 4 之 R^2_{model} 值

Model 1:PM_{2.5}/PM₁₀=CO+SO₂+NO_x

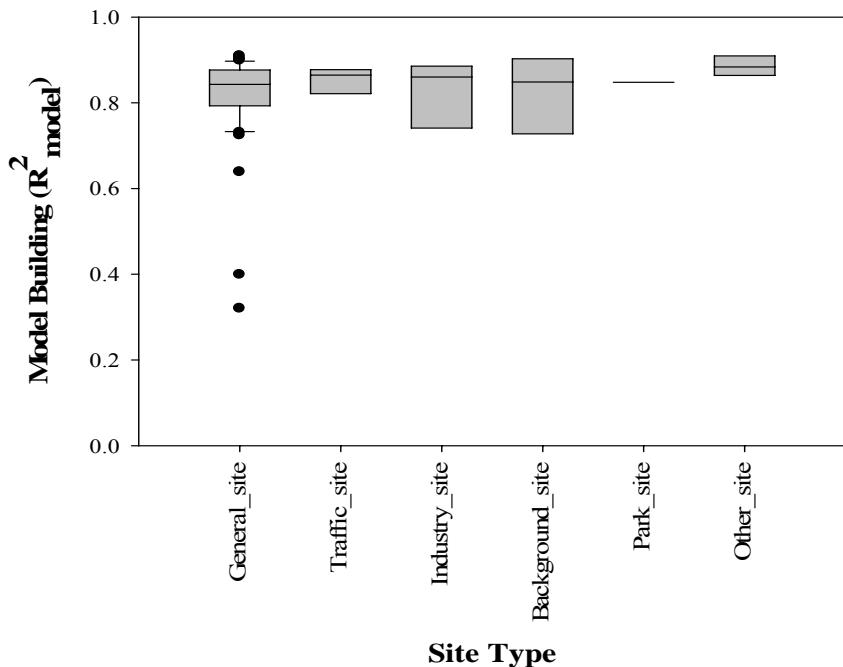


圖 3.14 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 1 之相關性

**Model 2:PM_{2.5}/PM₁₀=CO+SO₂+NO_x
+Temperature+Windspeed**

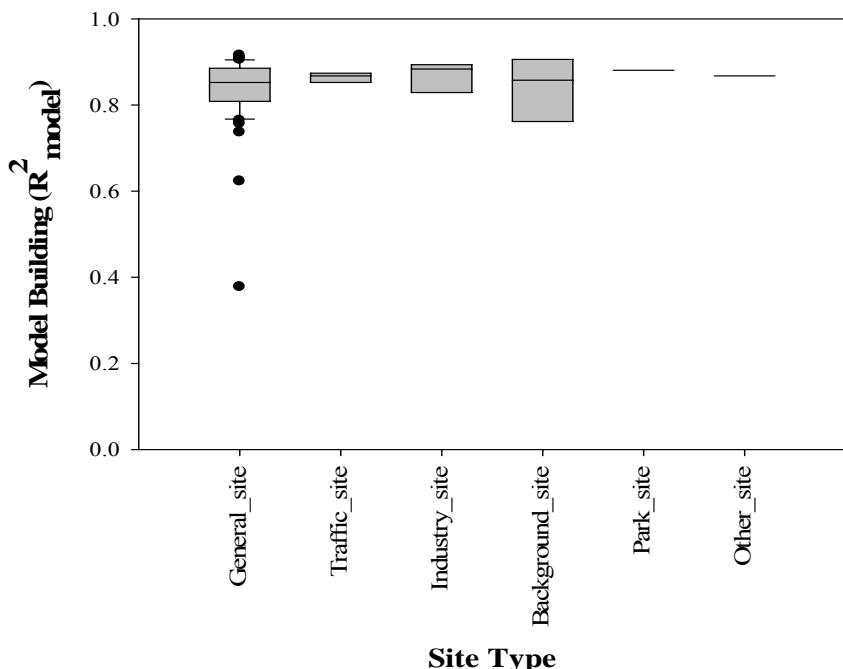


圖 3.15 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 2 之相關性

Model 3:PM_{2.5}/PM₁₀=CO+SO₂+NO_x+O₃

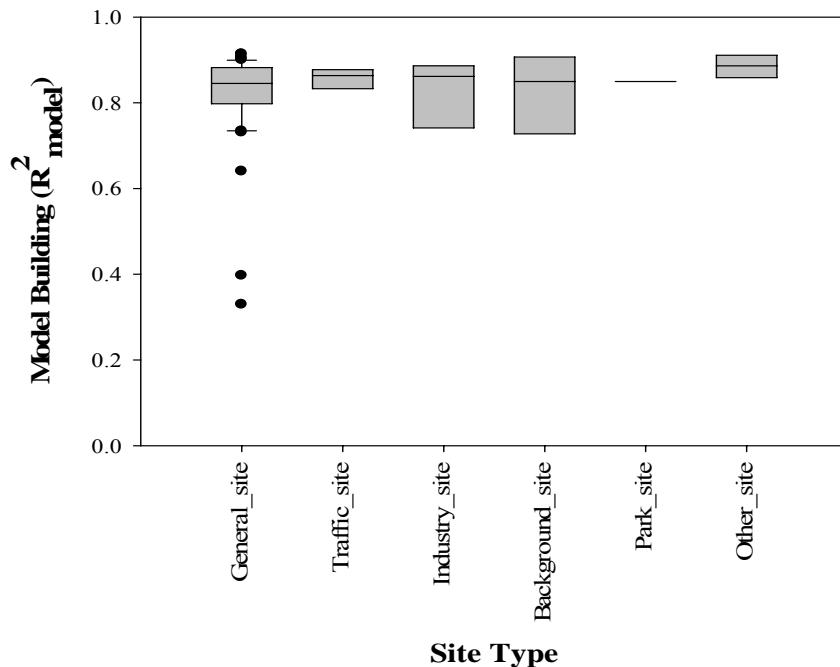


圖 3.16 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 3 之相關性

**Model 4:PM_{2.5}/PM₁₀=CO+SO₂+NO_x+O₃
+Temperature+Windspeed**

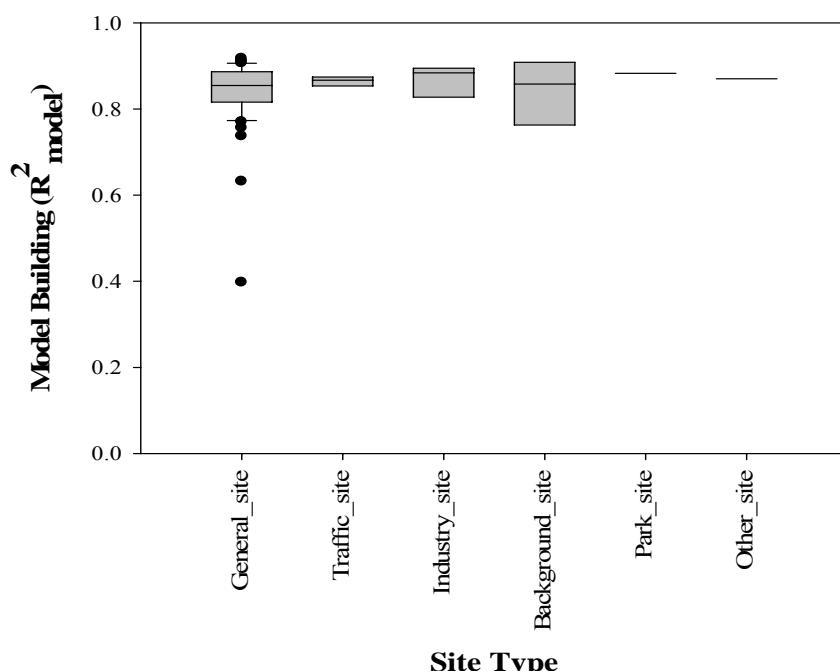


圖 3.17 全國空氣品質監測站根據測站特性建立模式 4 之相關性

PM_{2.5}/PM₁₀=Temperature+RH+Windspeed+Visibility

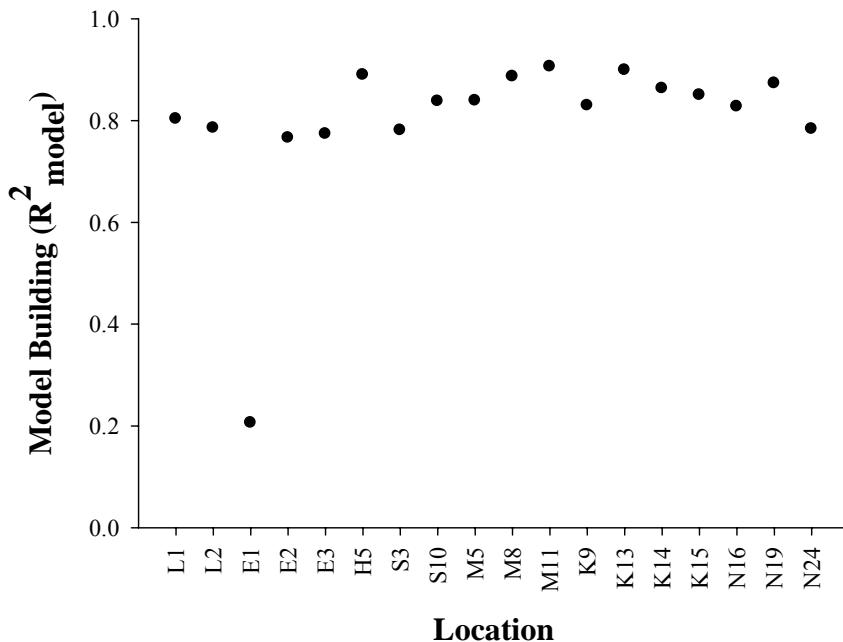


圖 3.18 建立模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 之 R^2_{model} 值

PM_{2.5}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility

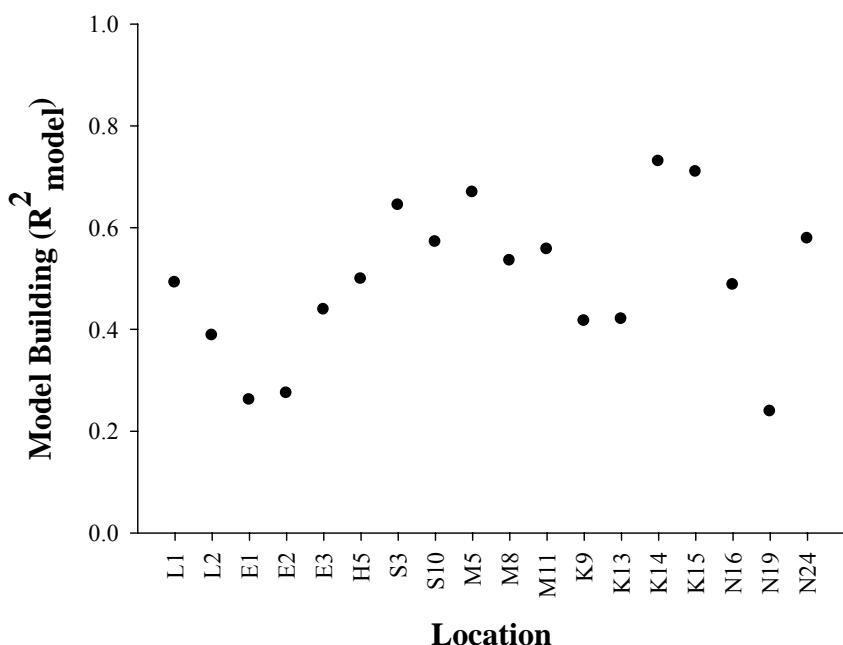


圖 3.19 建立模式 $PM_{2.5}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$ 之 R^2_{model} 值

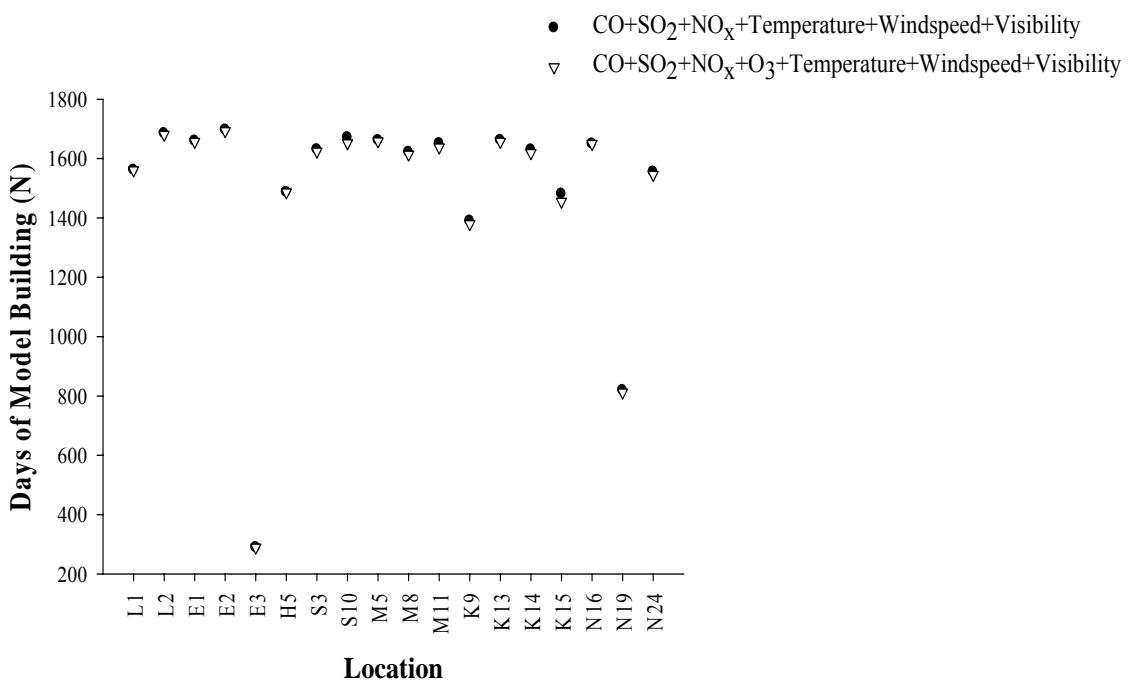


圖 3.20 空氣品質監測站 2005-2009 年建立模式 6:
 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{SO}_2 + \text{NO}_x + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 與模式 7:
 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{SO}_2 + \text{NO}_x + \text{O}_3 + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 之日數

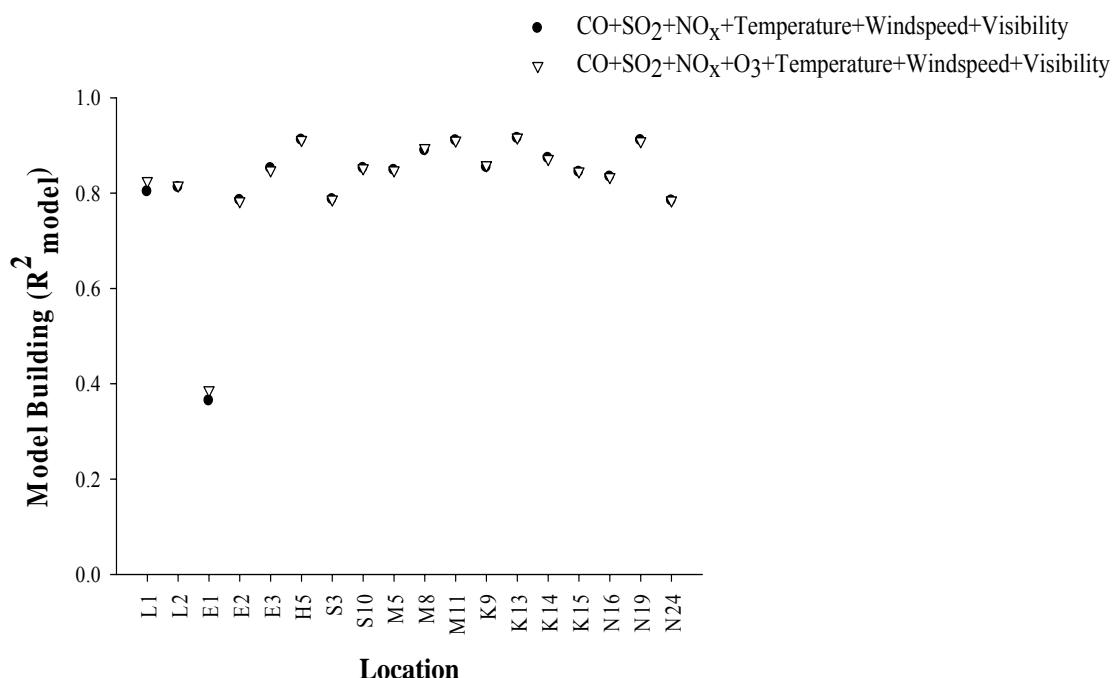


圖 3.21 建立模式 6: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{SO}_2 + \text{NO}_x + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$
 與模式 7: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{SO}_2 + \text{NO}_x + \text{O}_3 + \text{Temperature} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 之
 R^2_{model} 值

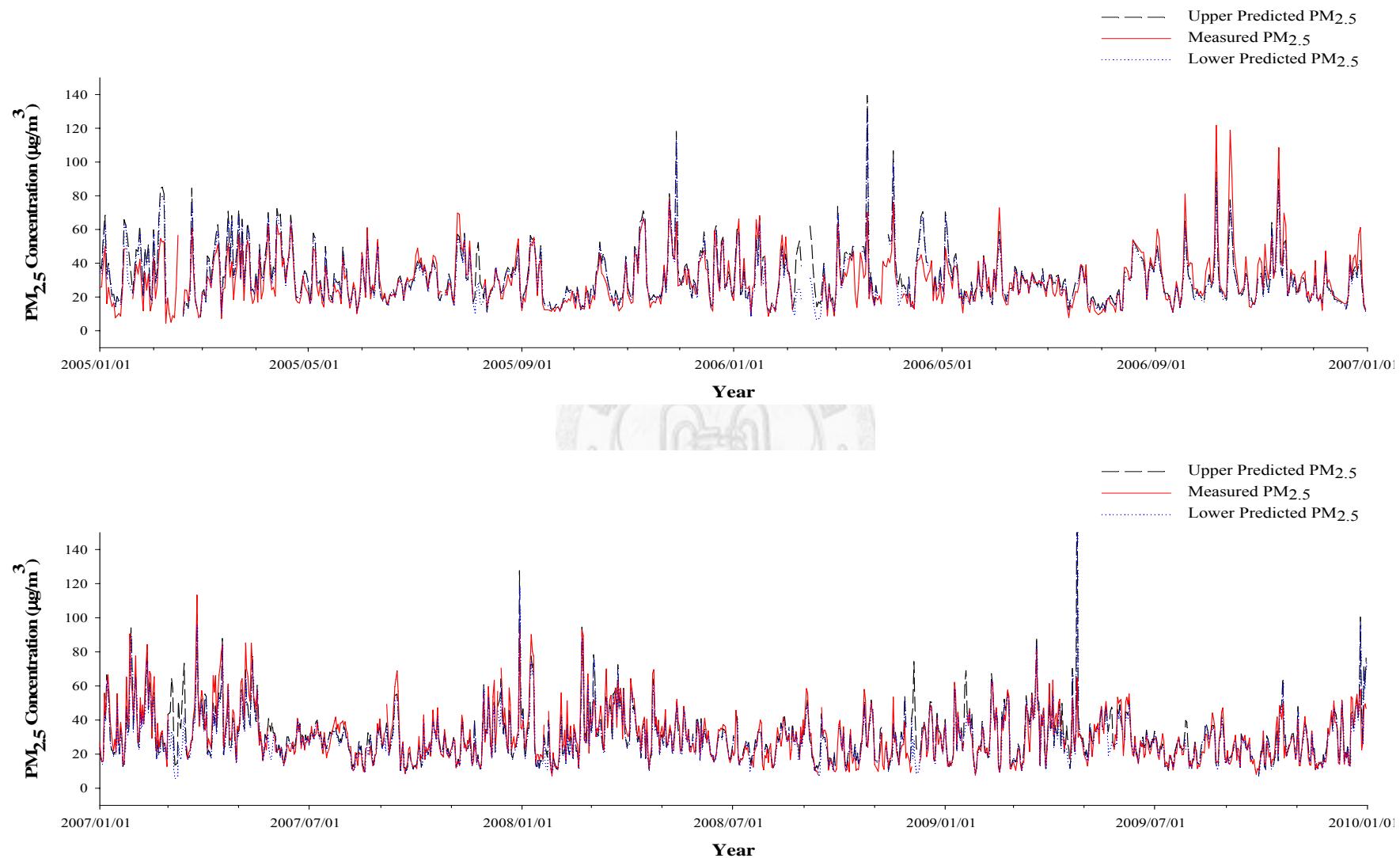


圖 3.22 古亭空品測站以模式 1: $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$ 回推預測與實際量測 2005-2009 年 PM_{2.5} 日平均濃度值比較趨勢圖

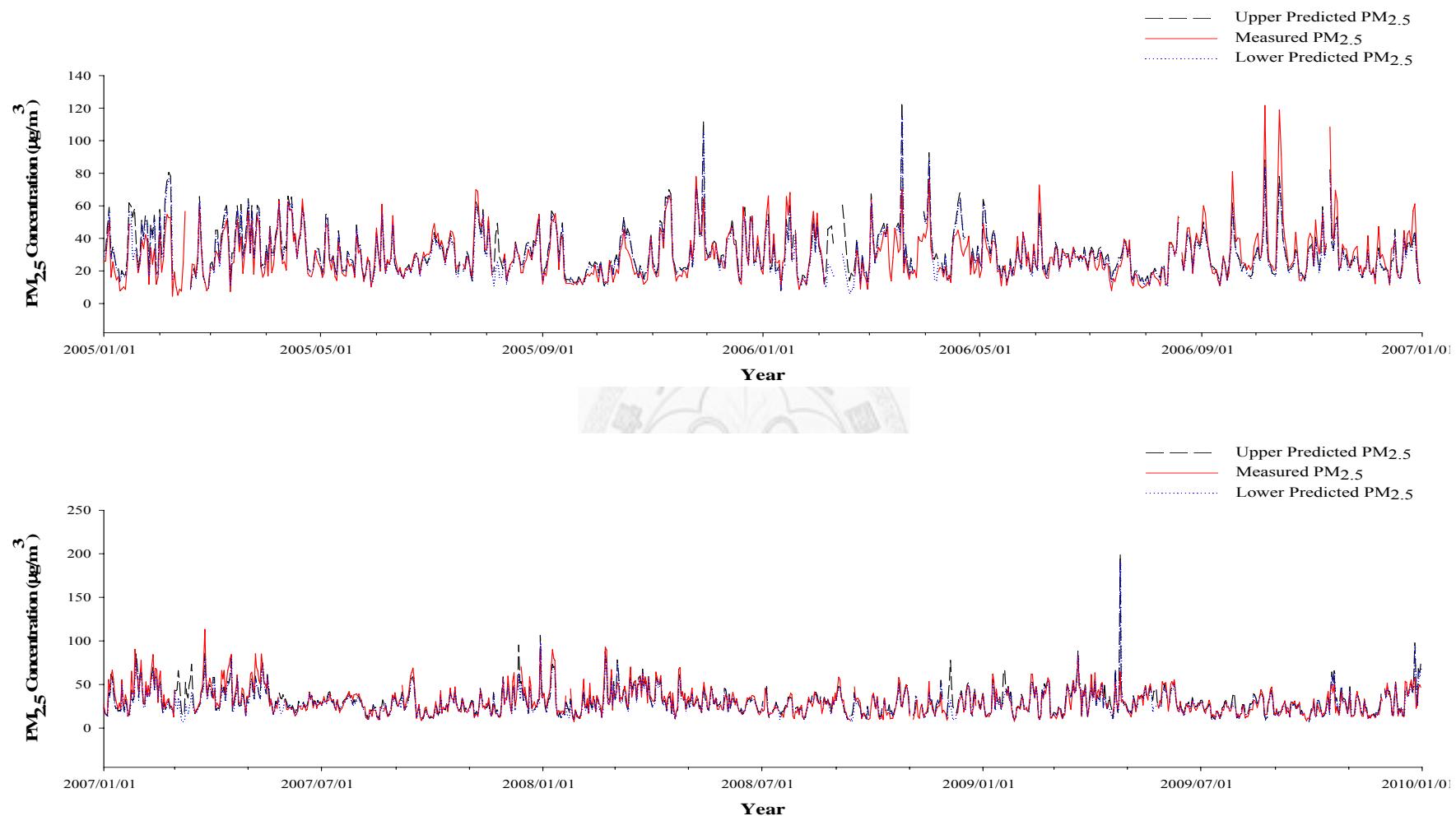


圖 3.23 古亭空品測站以模式 5: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 回推預測與實際量測 2005-2009 年 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖

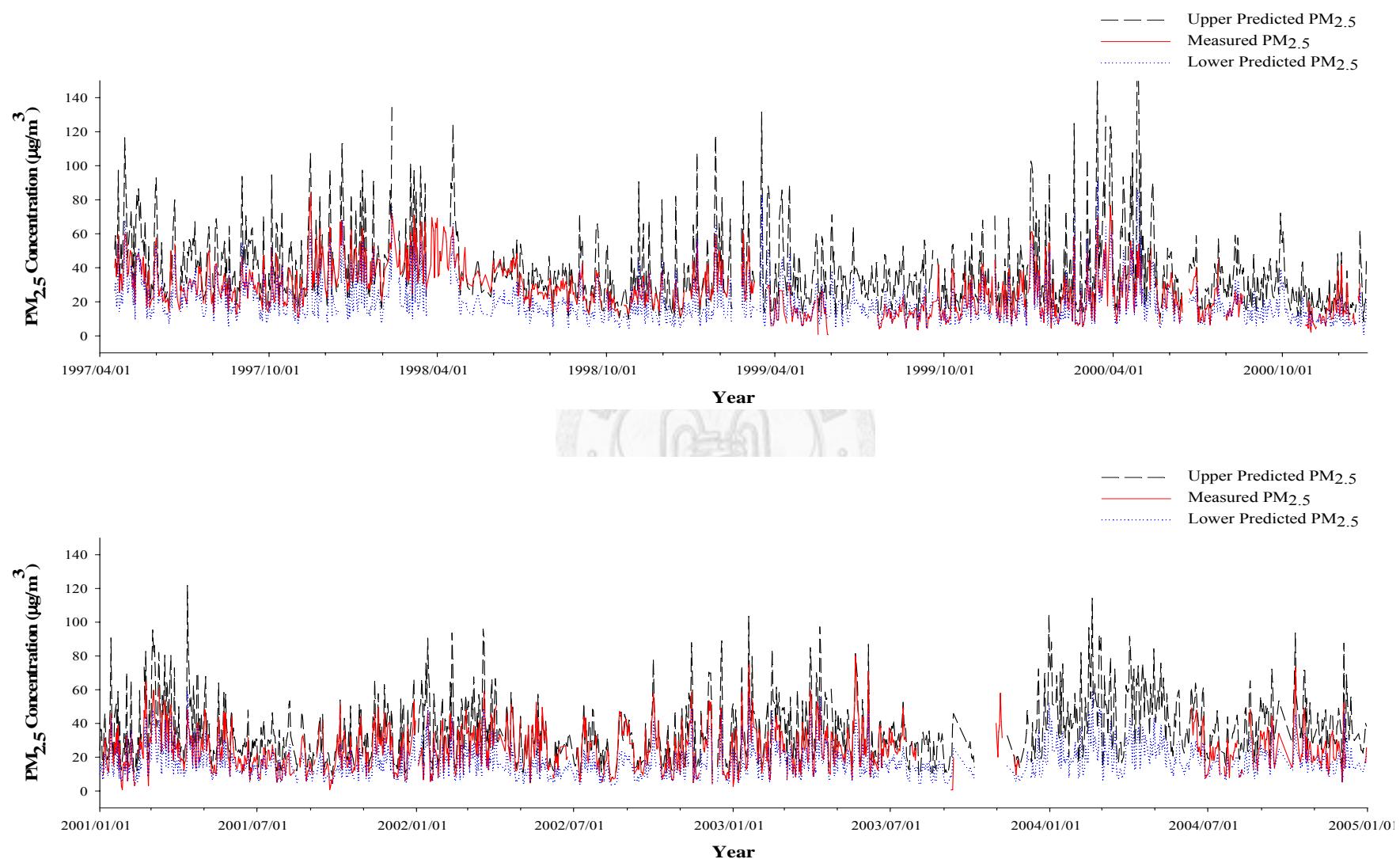


圖 3.24 古亭空品測站以模式 1: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 回推預測與實際量測 1997-2004 年 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖

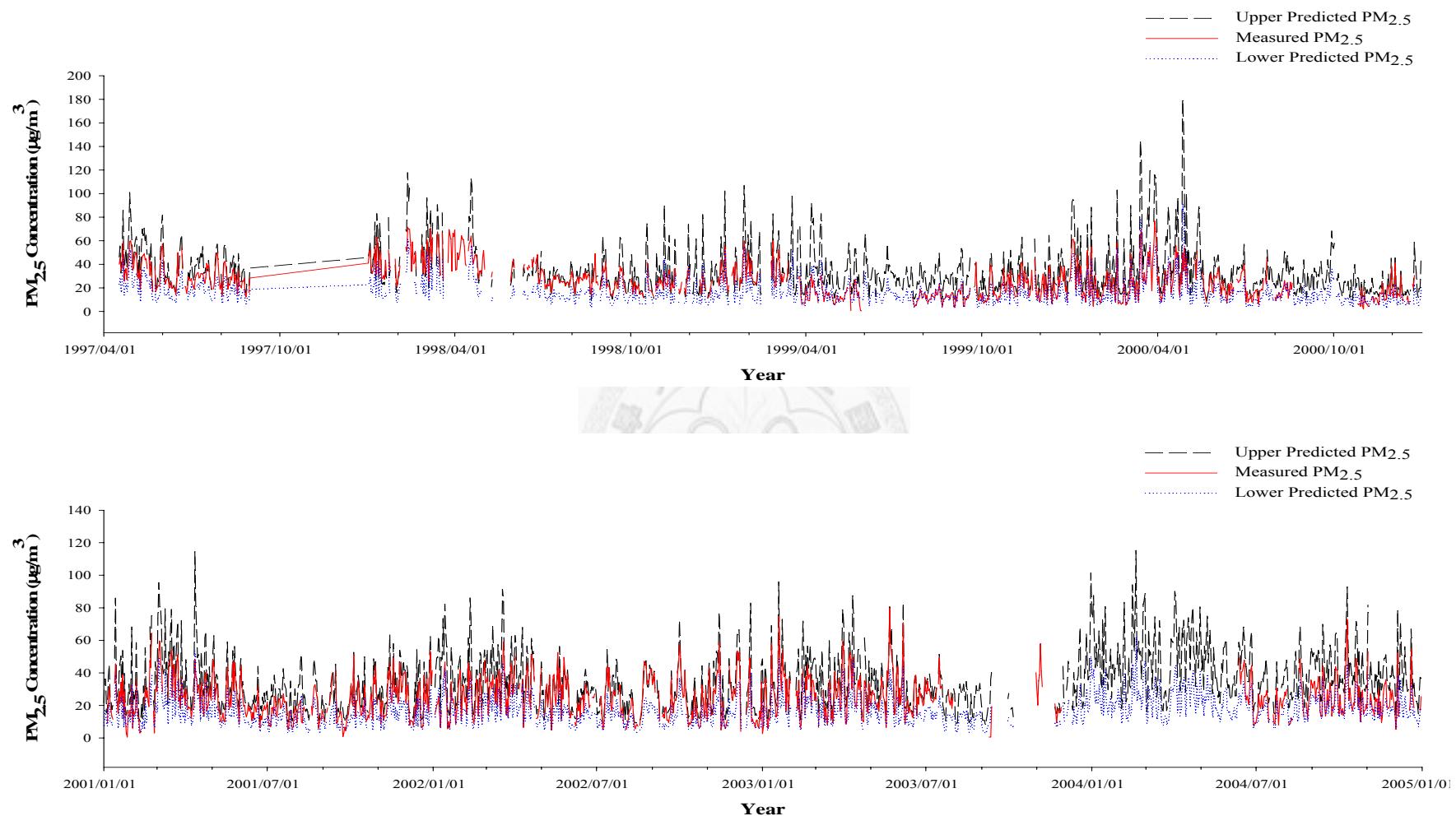


圖 3.25 古亭空品測站以模式 5: $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 回推預測與實際量測 1997-2004 年 $PM_{2.5}$ 日平均濃度值比較趨勢圖

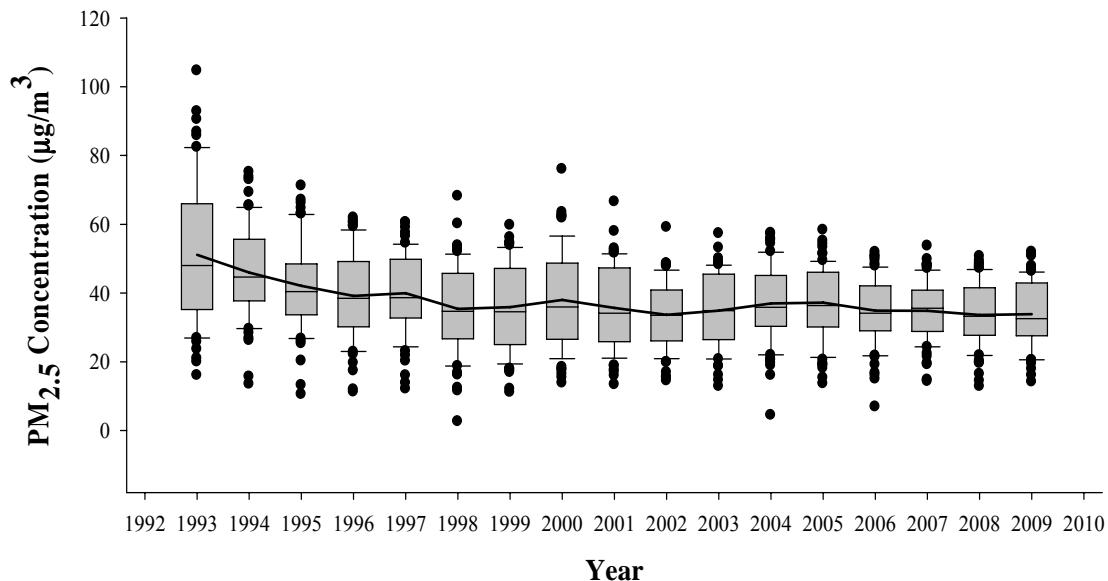


圖 3.26 模式 1: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 回推預測全國空氣品質監測站 1993-2009 年 $\text{PM}_{2.5}$ 值年平均濃度趨勢圖

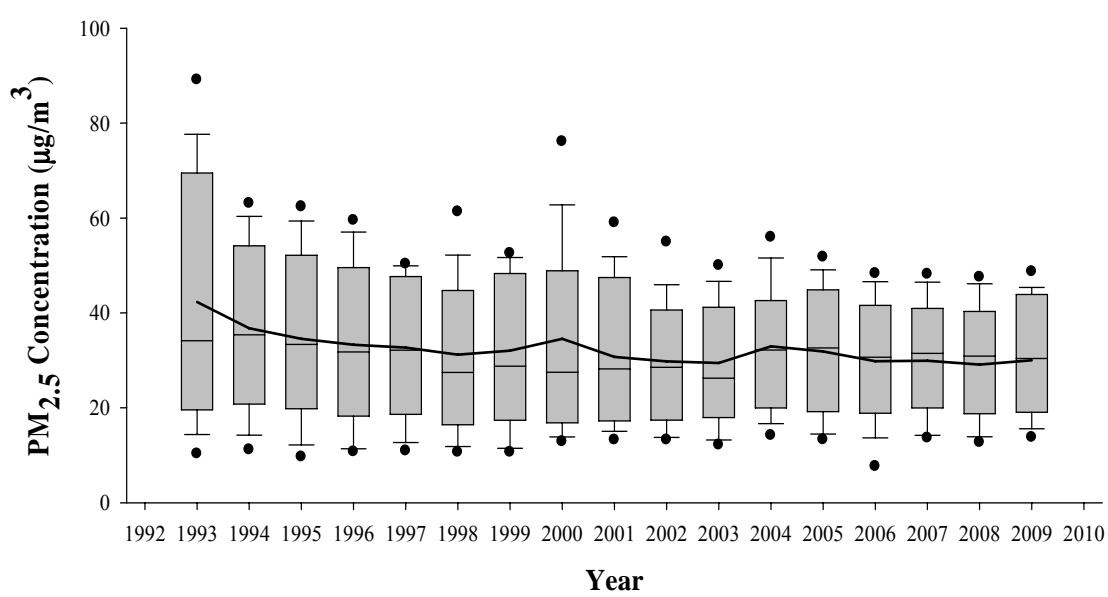


圖 3.27 模式 5: $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 回推預測 18 站空氣品質監測站 1993-2009 年 $\text{PM}_{2.5}$ 值年平均濃度趨勢圖

(1)

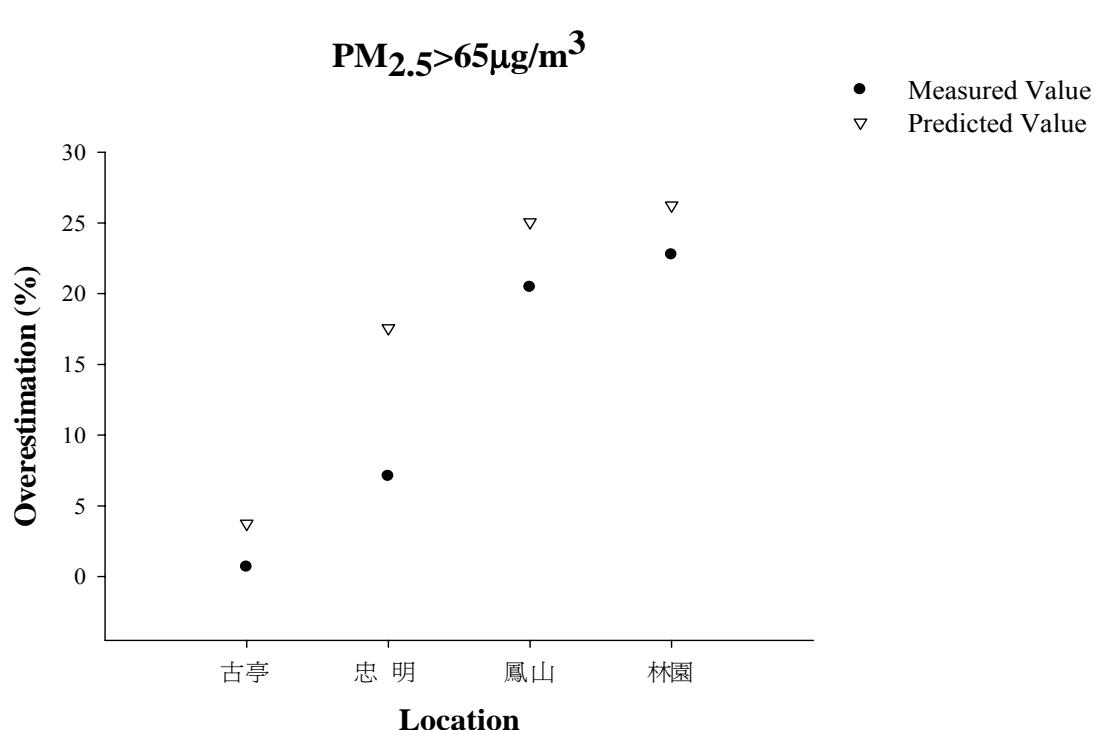
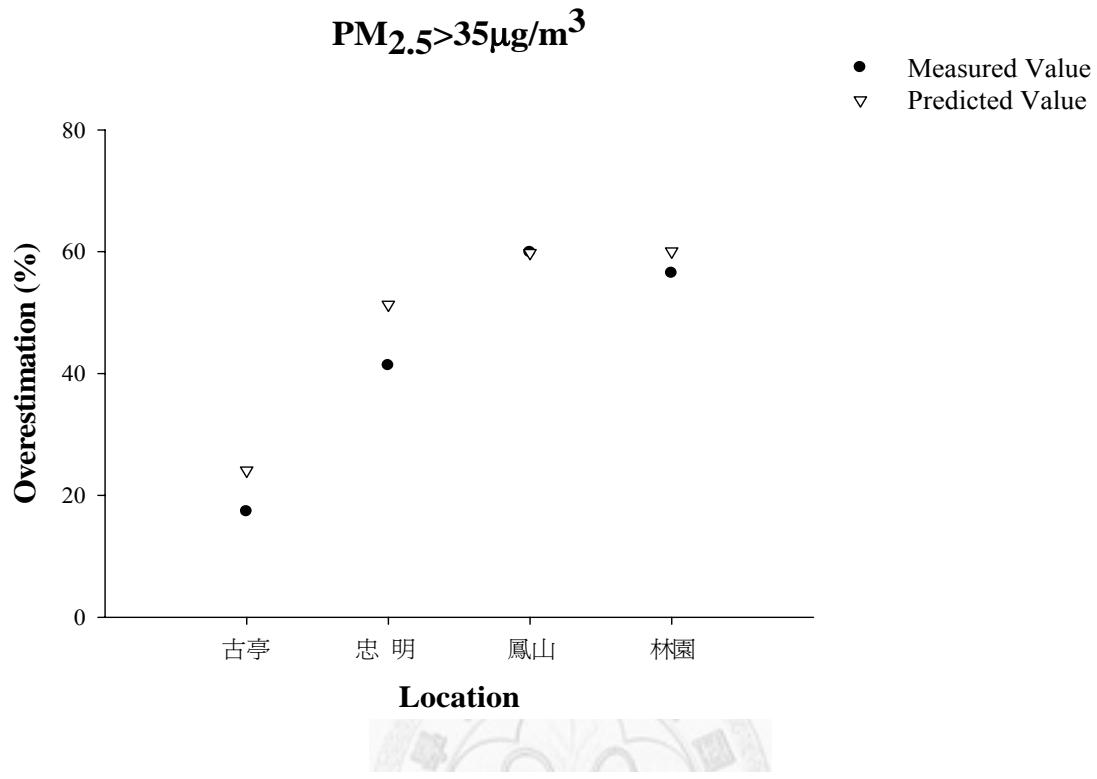
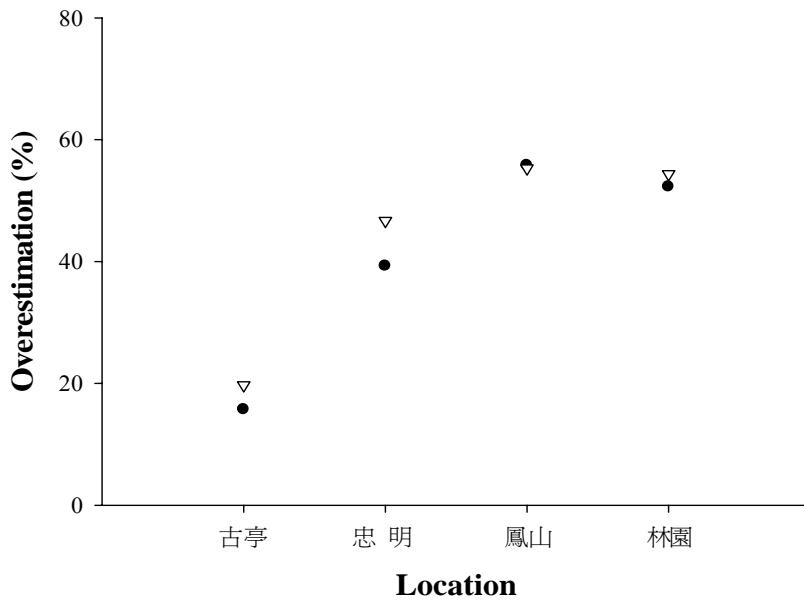


圖 3.28 空品測站根據模式 1： $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度超過(1) $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及(2) $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 比例

(1)

 $\text{PM}_{2.5} > 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Measured Value
- ▽ Predicted Value



(2)

 $\text{PM}_{2.5} > 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Measured Value
- ▽ Predicted Value

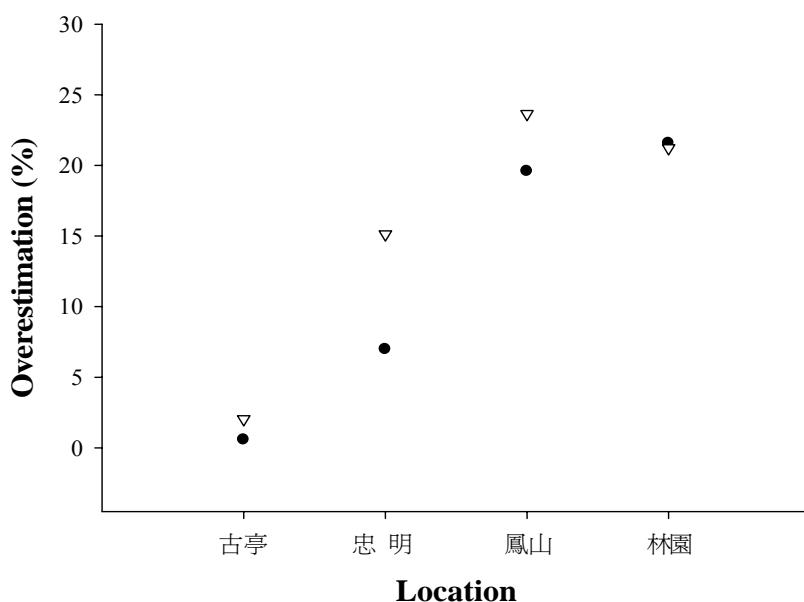


圖 3.29 空品測站根據模式 5： $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$
預測 1997-2004 年回推值與實際量測之日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度超過(1) $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 及
(2) $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 比例

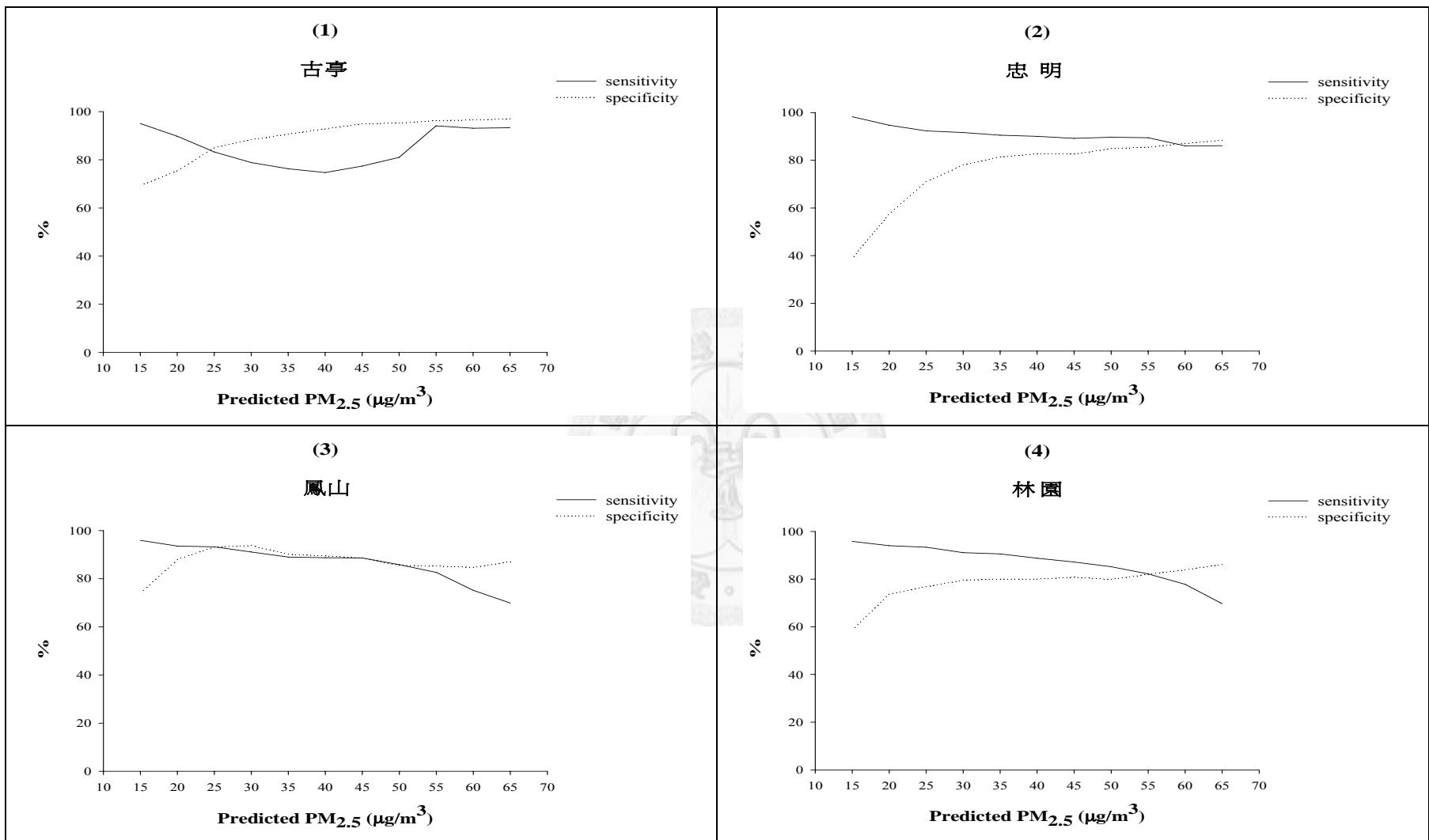


圖 3.30 模式 1： $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年回推預測各 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度值之敏感度(Sensitivity)和特異度(Specificity)分佈

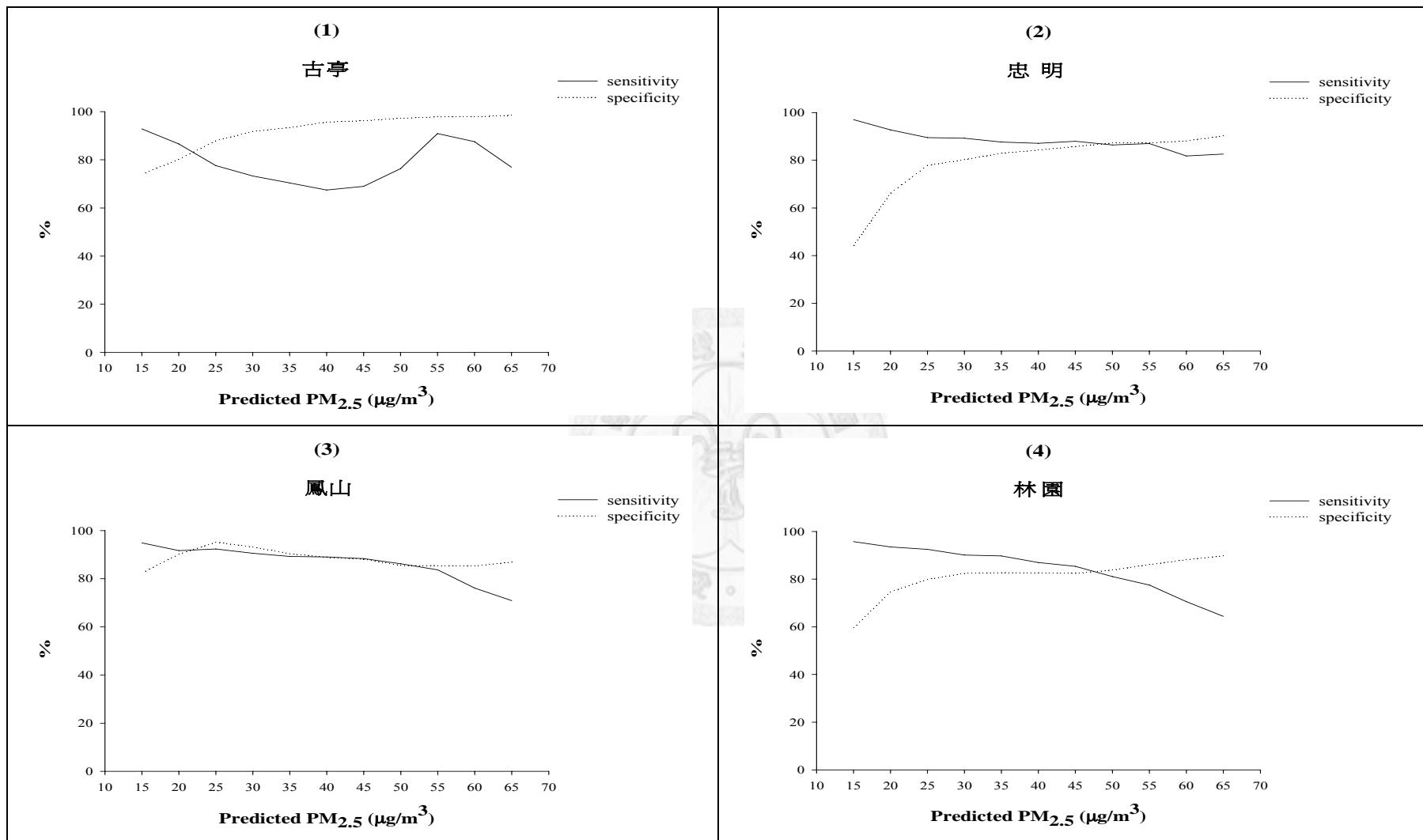


圖 3.31 模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年回推預測各 $PM_{2.5}$ 濃度值之敏感度(Sensitivity)和特異度(Specificity)分佈

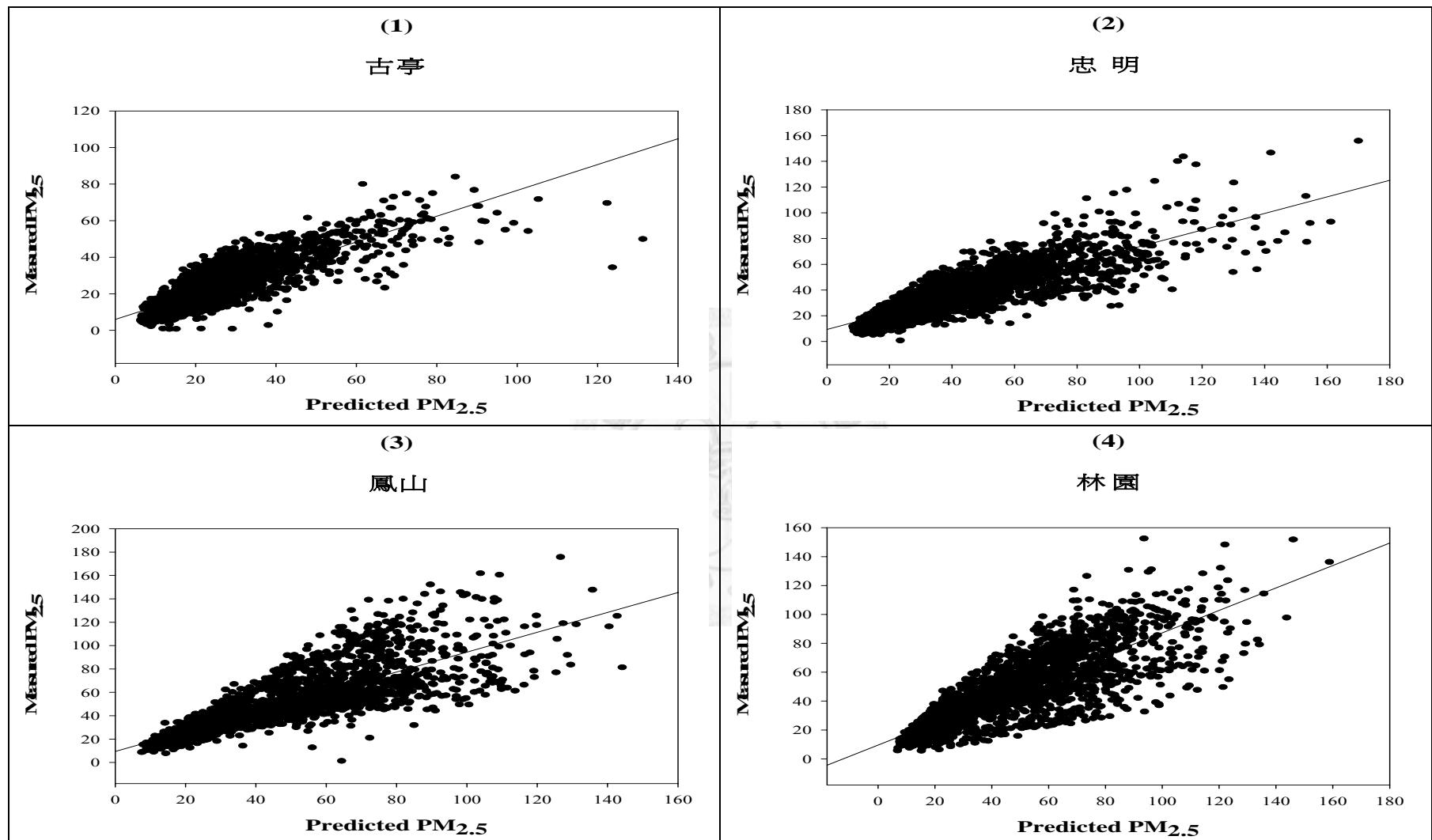


圖 3.32 模式 1： $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{CO} + \text{NO}_x + \text{SO}_2$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年實際測量和回推預測 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度值之關係圖

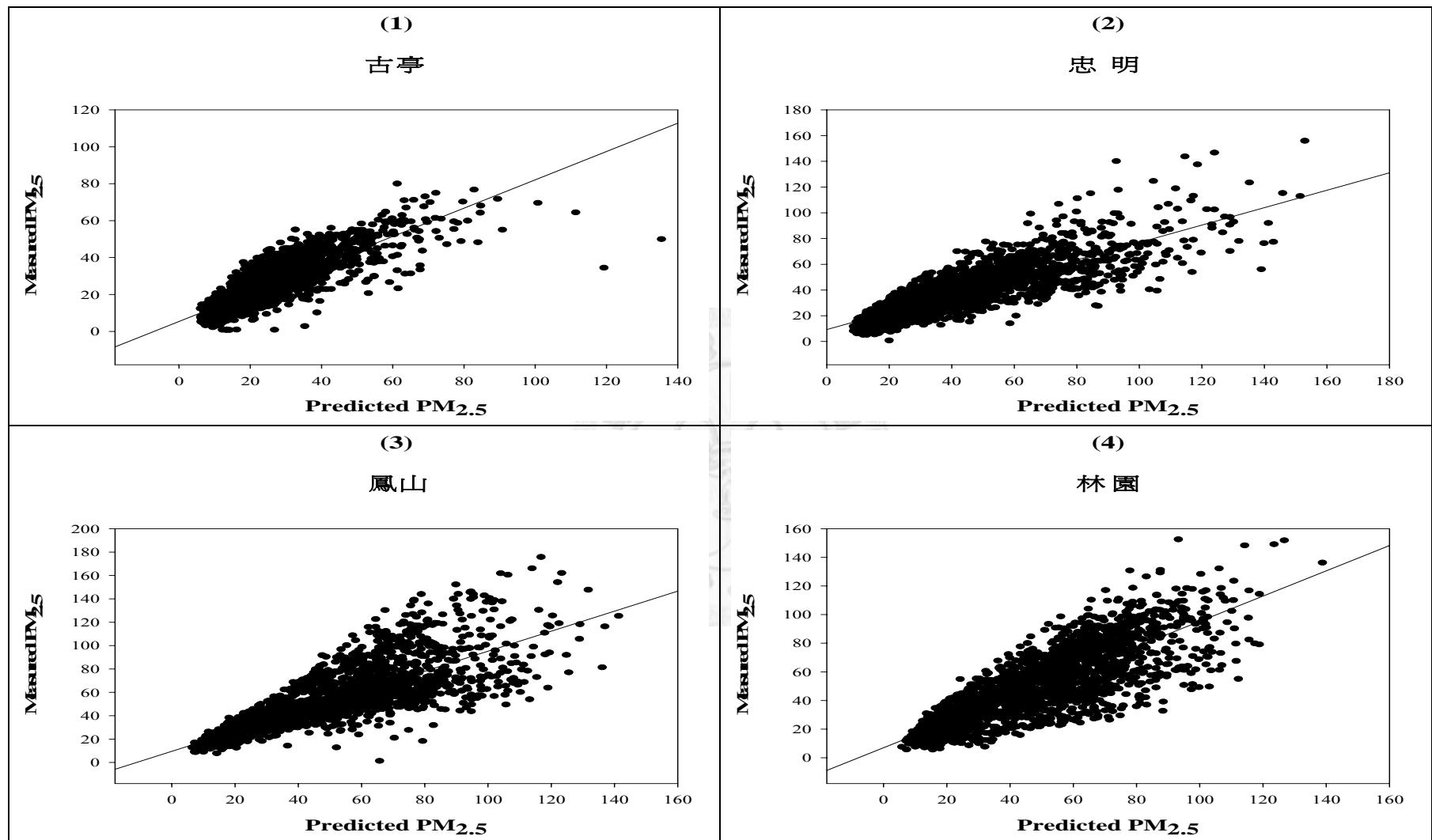


圖 3.33 模式 5： $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10} = \text{Temperature} + \text{RH} + \text{Windspeed} + \text{Visibility}$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 1997-2004 年實際測量和回推預測 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度值之關係圖

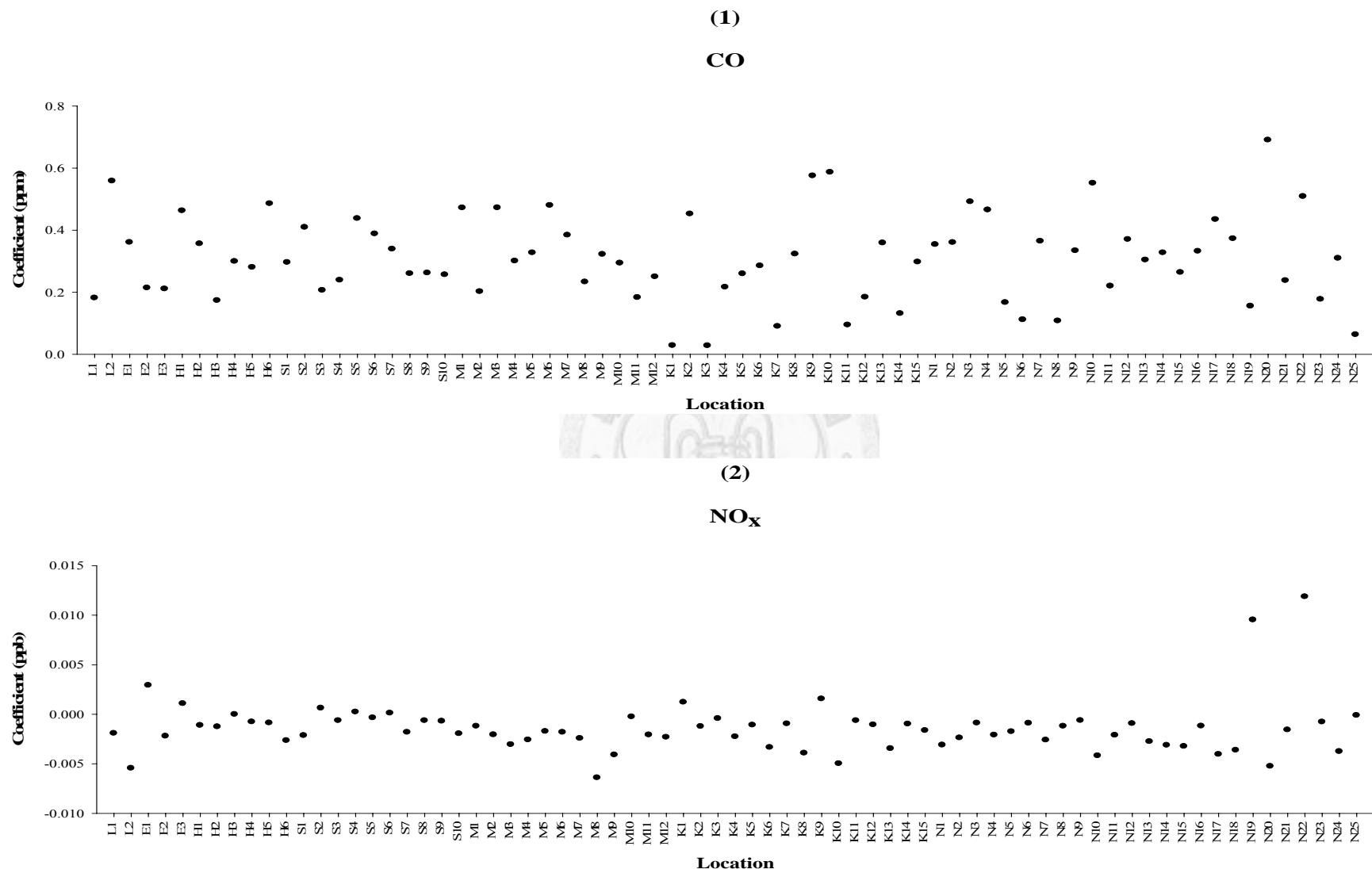


圖 3.34 全國空氣品質監測站模式 1 預測 PM_{2.5}/PM₁₀ 之(1)CO(2)NO_x(3)SO₂ 變項係數分佈(1/2)

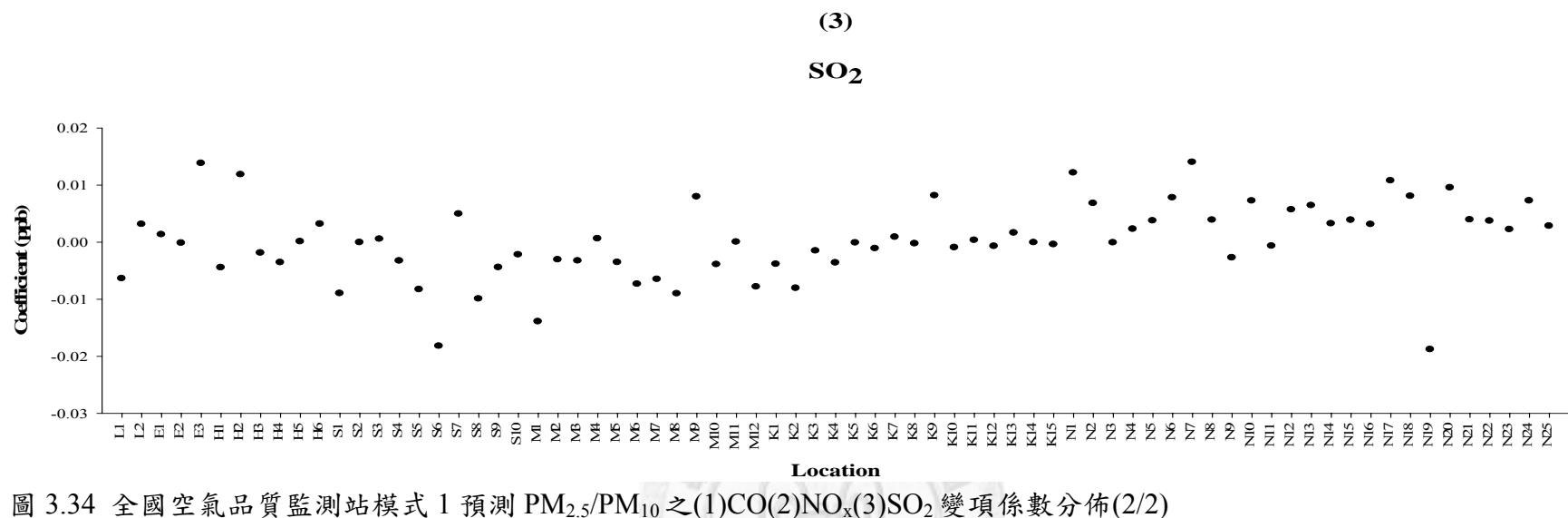
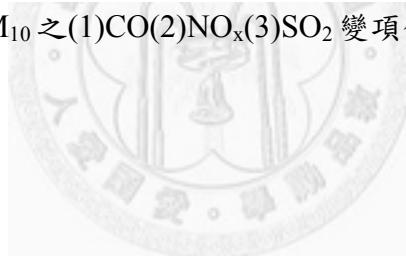
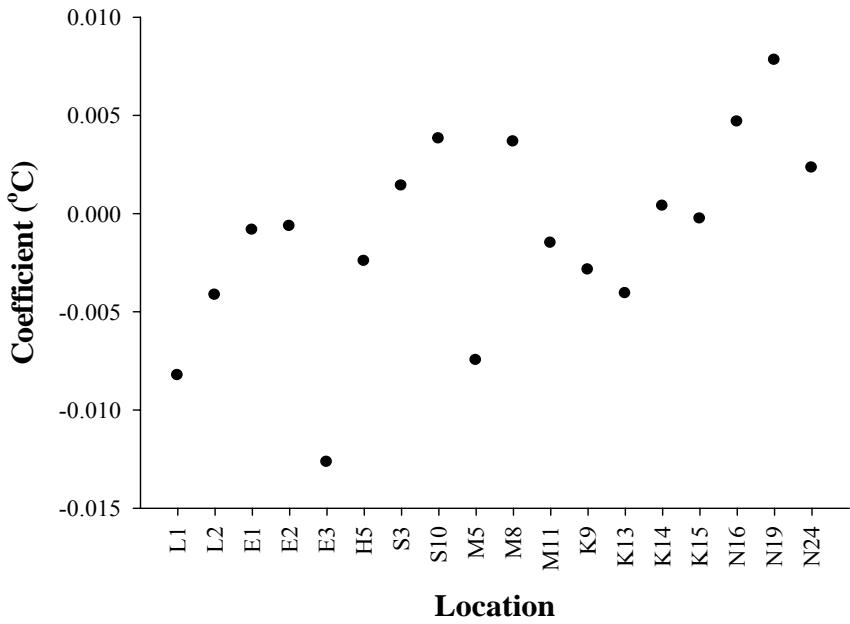


圖 3.34 全國空氣品質監測站模式 1 預測 PM_{2.5}/PM₁₀ 之(1)CO(2)NO_x(3)SO₂ 變項係數分佈(2/2)



(1)

Temperature



(2)

RH

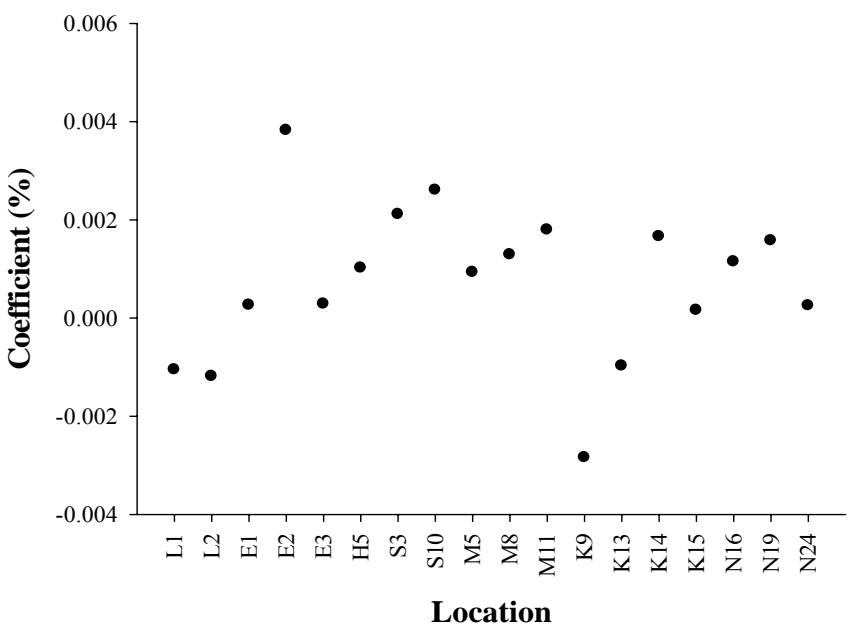
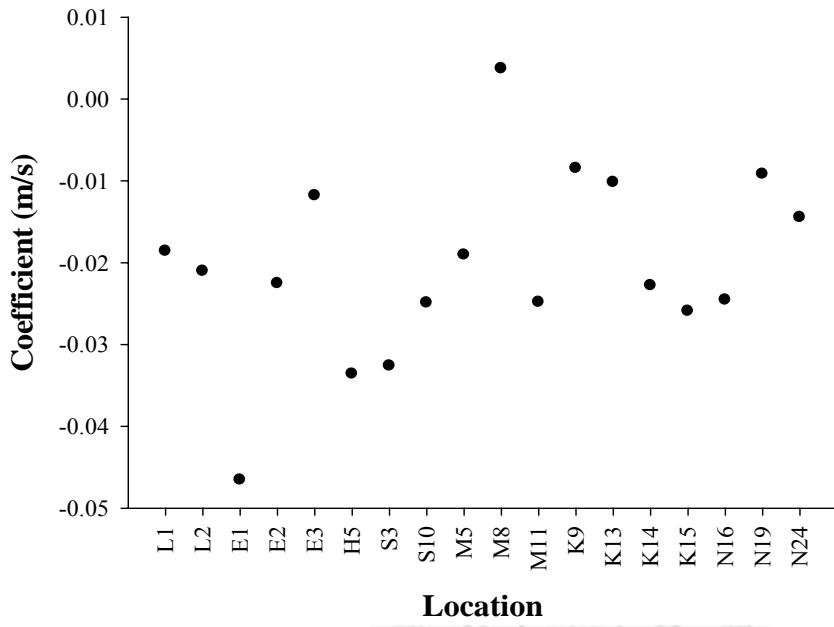


圖 3.35 18 站空品測站模式 5 預測 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 之
(1)Temperature(2)RH(3)Windspeed(4)Visibility 變項係數分佈(1/2)

(3)

Windspeed



(4)

Visibility

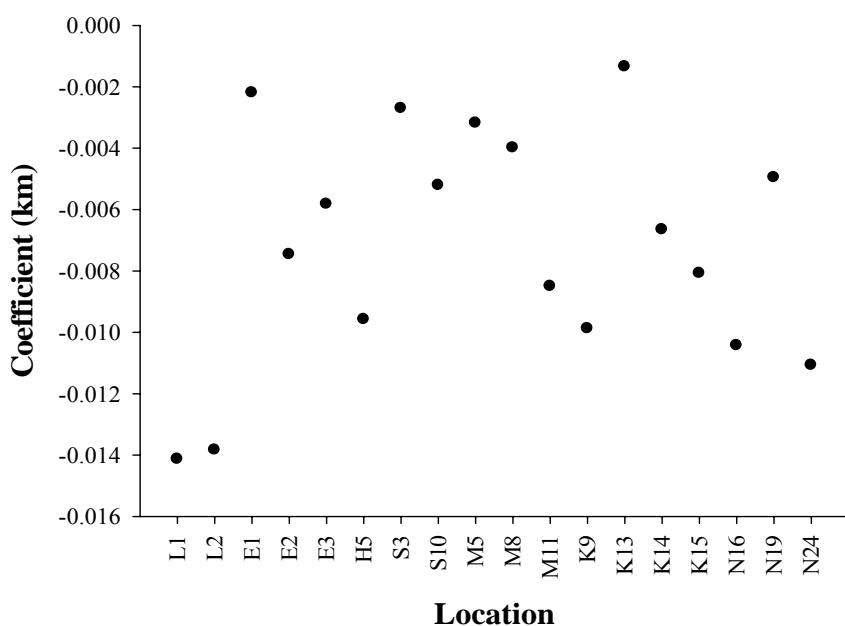


圖 3.35 18 站空品測站模式 5 預測 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 之
(1)Temperature(2)RH(3)Windspeed(4)Visibility 變項係數分佈(2/2)

第四章 結論

早期 $PM_{2.5}$ 的測量機制並不是那麼完整因而限制了分析長期 $PM_{2.5}$ 暴露對健康造成影響。為了預測過去缺少之 $PM_{2.5}$ 測量值數據，將現有的空氣品質監測站和中央氣象局測站兩個單位資料分為 2005-2009 年和 1993-2004 年兩組數據，分別用於建立混合模式和將回推預測值與實際量測濃度值作迴歸模式，比較 R^2 值來驗證模式之可信度。根據全國空氣品質監測站的回推結果，運用日平均的空氣污染物和氣象條件為變項建立和 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值相關的模式可預測出過去 $PM_{2.5}$ 之暴露情形。另外，在不考慮氣狀污染物時，只運用 PM_{10} ，能見度，溫度，風速和相對濕度資料納入模式分析，預測和實際量測的 $PM_{2.5}$ 就能指出良好的相關性。運用日平均及月平均的空氣污染物變項資料分別建立模式，在驗證模式的部分，以日平均建立模式有較好的推估結果。將模式所推估 1997-2004 年回推預測的濃度值，與實際量測的 $PM_{2.5}$ 作濃度比較情形，實際量測的 $PM_{2.5}$ 值大都分佈於預測的 $PM_{2.5}$ 濃度範圍內，只有少數的數值會呈現高估或低估的情形，而所回推預測的 $PM_{2.5}$ 濃度值有歷年逐年下降的趨勢。每日 $PM_{2.5}$ 濃度超過 $35\mu g/m^3$ 以及 $65\mu g/m^3$ 的比例標準可當作空氣污染控制改善的一個指標；1997-2004 年回推預測的 $PM_{2.5}$ 濃度值超過比例標準的百分比部分，位於高屏地區的鳳山和林園測站較北部地區的古亭測站以及中部地區的忠明測站比例還要高。為了瞭解預測回推之 $PM_{2.5}$ 濃度分佈的評估標準，將模式推估 1997-2004 年回推預測值與實際量測之每日 $PM_{2.5}$ 值取各濃度敏感度(Sensitivity)以及特異度(Specificity)之間互相變化之情形。古亭測站在 $55\mu g/m^3$ ，忠明測站在 $50\mu g/m^3 - 55\mu g/m^3$ 分別有較好的評估標準，而鳳山和林園測站在 $25\mu g/m^3 - 30\mu g/m^3$ 有較好的評估標準。

本研究的資料來源是取自台灣環境保護署和中央氣象局兩個單位，中央氣象局的氣象條件和能見度資料較完整，為了與台灣環境保護署之數據資料結合，只運用 1993 年開始的量測數值，在資料不足的情形下無法回推更久之前的 $PM_{2.5}$ 情

形；監測數值資料不足的情形也會限制模式的建立和預測回推值所建立的模式，以致於影響推估結果。同一模式運用在各測站會因為污染物濃度在不同空間尺度上的變化造成不同的推估結果，因此，未來可依據各測站的資料筆數完整性和測站地理位置以及特性來分別建立不同之模式。



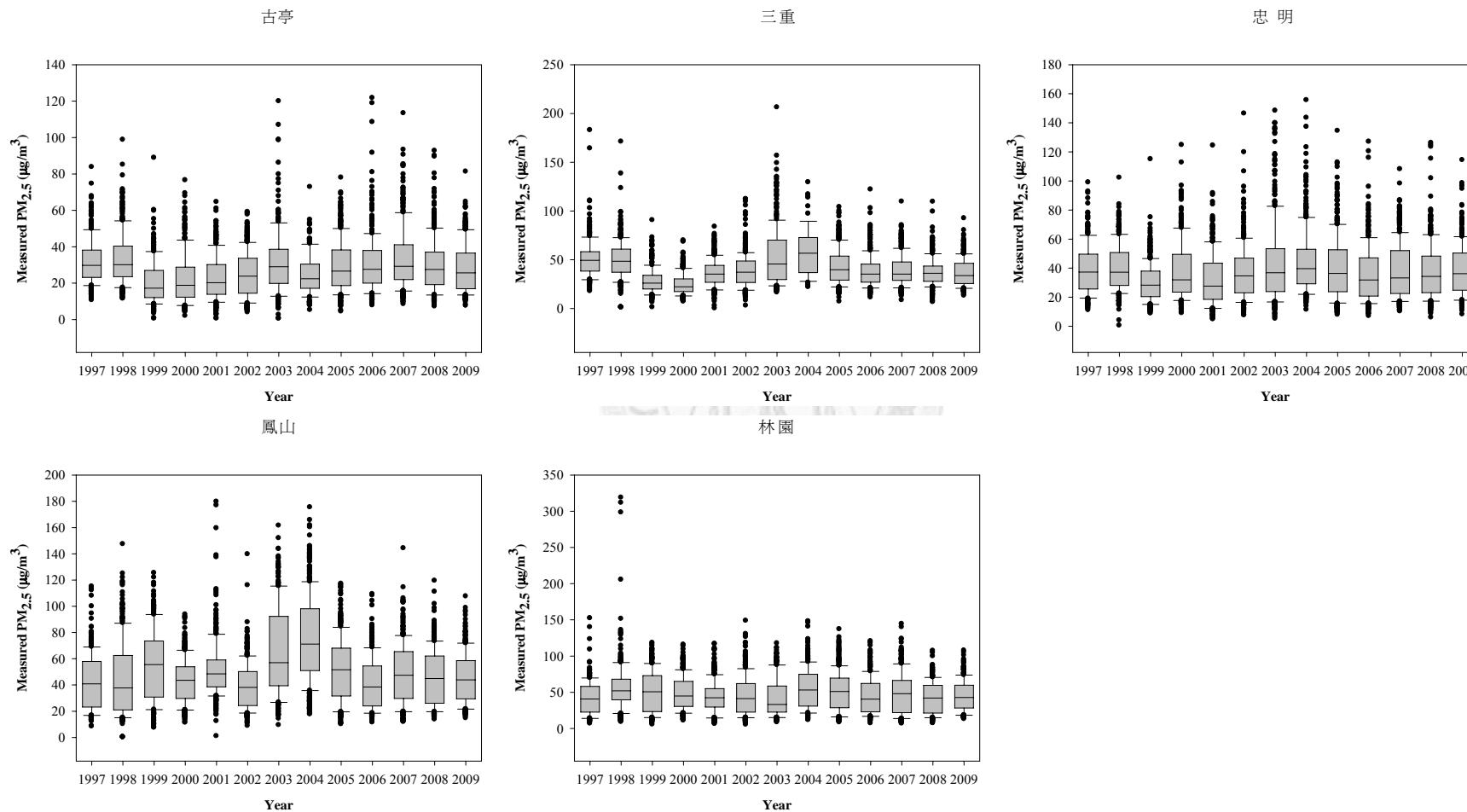
參考文獻

- Akyuz, M. and H. Cabuk (2009). "Meteorological variations of PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey." Journal of Hazardous Materials **170**(1): 13-21.
- Akyuz, M. and H. Cabuk (2009). "Meteorological variations of PM(2.5)/PM(10) concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey." Journal of Hazardous Materials **170**(1): 13-21.
- Beelen, R., G. Hoek, et al. (2009). "Mapping of background air pollution at a fine spatial scale across the European Union." Science of the Total Environment **407**(6): 1852-1867.
- Cheng, M. T. and Y. I. Tsai (2000). "Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas." Science of the Total Environment **263**(1-3): 101-114.
- Chong Ho Yu, T., AZ (2000). An Overview of Remedial Tools for Collinearity in SAS, In Proceedings of 2000 Western Users of SAS Software Conference, pp.196-201.
- Chuang, K. J., Y. H. Yan, et al. (2011). "Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan." Occupational and Environmental Medicine **68**(1): 64-68.
- Dockery, D. W., C. A. Pope, et al. (1993). "An Association between Air-Pollution and Mortality in 6 United-States Cities." New England Journal of Medicine **329**(24): 1753-1759.

- Gan, W. Q., M. Koehoorn, et al. (2011). "Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and the Risk of Coronary Heart Disease Hospitalization and Mortality." *Environmental Health Perspectives* **119**(4): 501-507.
- Huang, W., J. G. Tan, et al. (2009). "Visibility, air quality and daily mortality in Shanghai, China." *Science of the Total Environment* **407**(10): 3295-3300.
- Lall, R., M. Kendall, et al. (2004). "Estimation of historical annual PM_{2.5} exposures for health effects assessment." *Atmospheric Environment* **38**(31): 5217-5226.
- Lee, C. G., C. S. Yuan, et al. (2005). "Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung City, Taiwan." *Journal of the Air & Waste Management Association* **55**(7): 1031-1041.
- Lin, J. C. H., J. H. Tai, et al. (2010). "Towards Improving Visibility Forecasts in Taiwan: A Statistical Approach." *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* **21**(2): 359-374.
- Naehler, L. P., J. L. Pearce, et al. (2009). "Characterizing the spatiotemporal variability of PM(2.5) in Cusco, Peru using kriging with external drift." *Atmospheric Environment* **43**(12): 2060-2069.
- Neupane, B., M. Jerrett, et al. (2010). "Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Risk of Hospitalization with Community-acquired Pneumonia in Older Adults." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* **181**(1): 47-53.
- Ostro, B., M. Lipsett, et al. (2010). "Long-Term Exposure to Constituents of Fine Particulate Air Pollution and Mortality: Results from the California Teachers Study." *Environmental Health Perspectives* **118**(3): 363-369.
- Paatero, P., P. Aalto, et al. (2005). "Estimating time series of aerosol particle number concentrations in the five HEAPSS cities on the basis of measured air pollution

- and meteorological variables." Atmospheric Environment **39**(12): 2261-2273.
- Pun, B. K., S. Y. Wu, et al. (2002). "Contribution of biogenic emissions to the formation of ozone and particulate matter in the eastern united states." Environmental Science & Technology **36**(16): 3586-3596.
- TaiwanCWB. (2010). "交通部中央氣象局." from
<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>.
- TaiwanEPA. (2010). "空氣品質監測網." from
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/default.aspx>.
- Tsai, Y. I. (2005). "Atmospheric visibility trends in an urban area in Taiwan 1961-2003." Atmospheric Environment **39**(30): 5555-5567.
- Tsai, Y. I. and M. T. Cheng (1999). "Visibility and aerosol chemical compositions near the coastal area in Central Taiwan." Science of the Total Environment **231**(1): 37-51.
- Tsai, Y. I., S. C. Kuo, et al. (2007). "Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two Rural areas of Taiwan." Science of the Total Environment **382**(2-3): 324-341.
- Vajanapoom, N., C. M. Shy, et al. (2001). "Estimation of particulate matter from visibility in Bangkok, Thailand." Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology **11**(2): 97-102.
- Yu, H. L. and C. H. Wang (2010). "Retrospective prediction of intraurban spatiotemporal distribution of PM2.5 in Taipei." Atmospheric Environment **44**(25): 3053-3065.
- Yu, T. Y. (2010). "Characterization of ambient PM(2.5) concentrations." Atmospheric Environment **44**(24): 2902-2912.

附錄



附錄 1 空氣品質監測站 PM_{2.5} 日平均濃度分佈

附錄 2 島背測站 $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值與各變項之 Pearson 相關係數

Variables	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	CO	SO_2	NO_x	O_3	Temperature	Windspeed
$\text{PM}_{2.5}$	1	0.315*	0.717*	0.515*	0.482*	0.422*	-0.232*	-0.209*
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$		1	0.111*	-0.154*	0.003	-0.010	0.084	-0.347*
CO			1	0.279*	0.441*	0.057*	-0.176*	-0.107*
SO_2				1	0.532*	0.023	-0.325*	0.225*
NO_x					1	-0.132*	-0.282*	-0.080*
O_3						1	0.035	-0.079*
Temperature							1	-0.399*
Windspeed								1

Notes * $p<0.0001$



附錄 3 台東測站 $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值與各變項之 Pearson 相關係數

Variables	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	CO	SO_2	NO_x	O_3	Temperature	Windspeed
$\text{PM}_{2.5}$	1	0.444*	0.277*	0.268*	0.071	0.544*	-0.213*	0.190*
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$		1	0.213*	0.111*	0.159*	0.224*	-0.120*	-0.248*
CO			1	-0.115*	0.342*	-0.070*	-0.161*	-0.193*
SO_2				1	-0.016	0.248*	-0.012	0.006
NO_x					1	-0.115*	-0.228*	-0.164*
O_3						1	-0.389*	0.329*
Temperature							1	-0.289*
Windspeed								1

Notes * $p<0.0001$

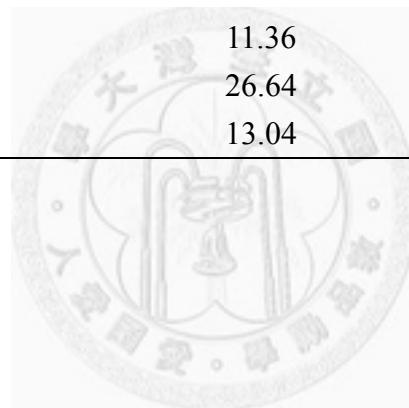


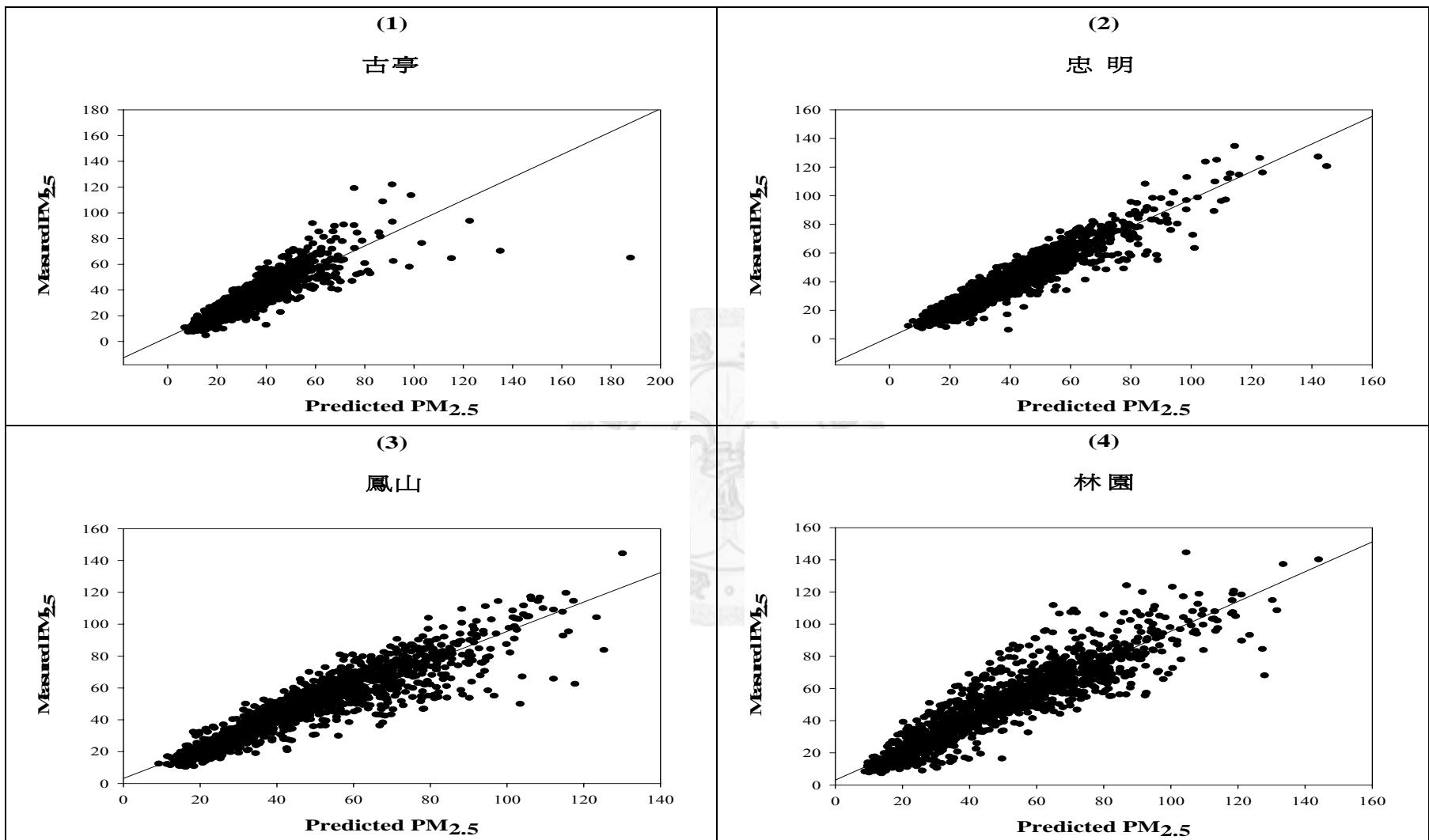
附錄 4 能見度預測之相關研究

Reference	Study area	Predicted Pollutants	Model (Variables)	Model Validation	Prediction Validation
Vajanapoom, Shy et al. (2001)	Bangkok, Thailand	PM ₁₀	Linear regression models (visibility, temperature, season)	R ² =0.53	r=0.71
Tsai (2005)	Tainan, Taiwan	visibility	Principal component analysis & Empirical models (Temperature, RH, Windspeed, NO ₂ , O ₃ , In(PM ₁₀))	r=0.75	r=0.94
Tsai, Kuo et al. (2007)	Taipei, Kaohsiung, Hualien, Taitung (Taiwan)	visibility	Principal component analysis & Empirical models (Temperature, RH, Windspeed, NO ₂ , O ₃ , In(PM ₁₀), In(SO ₂))	r=0.69, r=0.77, r=0.63, r=0.47	r=0.88, r=0.87, r=0.86, r=0.51
Lin, Tai et al. (2010)	Taiwan	visibility	Multiple Linear Regression & Logistic Regression	R ² =0.31-0.61	
Tsai and Cheng (1999)	Central Taiwan	visibility	Empirical regression model (SO ₄ ²⁻ , RH, PM ₁₀ -remainder)	r=0.89	r=0.89
Lee, Yuan et al. (2005)	Kaohsiung, Taiwan	visibility	Empirical regression model (EC, (NH ₄) ₂ SO ₄ , RH, PM _{2.5} -remainder)	r=0.88	R ² =0.93
Cheng and Tsai (2000)	Taichung urban area, Taiwan	visibility	Empirical regression model (Sulfate, Total C, Windspeed)	r=0.82	
	Taichung coastal area, Taiwan	visibility	Empirical regression model(Sulfate, RH, PM ₁₀ -remainder)		r=0.89

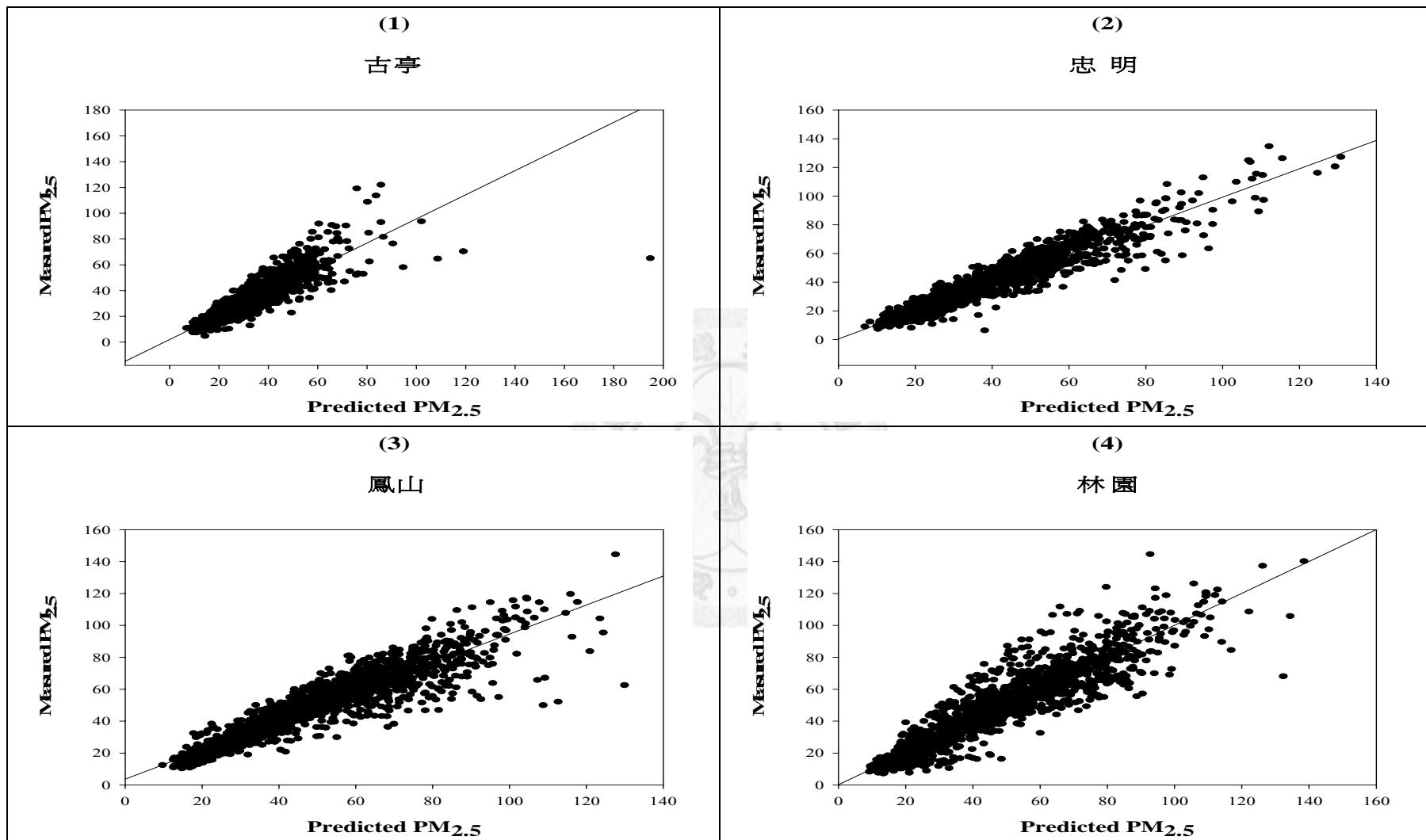
附錄 5 模式 1 與模式 5 推估 1997-2004 年實際量測與回推預測的 PM_{2.5} 濃度範圍百分比(%)

Site	Lower Predicted PM _{2.5} <Measured PM _{2.5} <Upper Predicted PM _{2.5}	Measured PM _{2.5} >Upper Predicted PM _{2.5} (低估)	Lower Predicted PM _{2.5} >Measured PM _{2.5} (高估)
$PM_{2.5}/PM_{10}=CO+NO_x+SO_2$			
忠明	70.46	8.09	21.45
鳳山	70.29	23.89	5.82
林園	78.57	11.19	10.24
$PM_{2.5}/PM_{10}=Temperature+RH+Windspeed+Visibility$			
忠明	70.86	11.36	17.78
鳳山	66.74	26.64	6.62
林園	80.29	13.04	6.68





附錄 6 模式 1： $PM_{2.5}/PM_{10} = CO + NO_x + SO_2$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 2005-2009 年實際測量和回推預測 PM_{2.5} 濃度值之關係圖



附錄 7 模式 5： $PM_{2.5}/PM_{10} = Temperature + RH + Windspeed + Visibility$ 推估四個空品測站(1)古亭(2)忠明(3)鳳山(4)林園 2005-2009 年
實際測量和回推預測 PM_{2.5} 濃度值之關係圖