

機車 HC 排放之迴歸與時間序列分析—以南投縣為例

呂珊茹¹ 林啓文¹ 洪士賢¹ 林國顯²

¹大葉大學環境工程學系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

²交通部運輸研究所

台北市松山區 105 敦化北路 240 號 8 樓

摘要

台灣地區汽機車排放 HC、CO 及 NO_x，分別佔各行業空氣污染總排放量約 49%、83% 及 33%，又由於台灣都會區中機車於交通工具中之佔有率（35-52%）頗高，因此成為主要污染之排放來源。南投縣為台灣重要之觀光地區，為了解南投縣機車定檢制度執行成效與機車之污染物排放特性，並提出機車排放濃度再降低之空間與改善方案，遂針對南投縣之機車定檢資料進行機車排放污染物之基本特性分析、迴歸分析及時間序列分析。研究結果顯示：南投縣使用中之機車有趨於老舊之特性，而所獲致之迴歸分析式與時間序列模式則可提供 HC 排放濃度預估之用，及作為行政院環保署制定機車排放污染物管制策略之參考。

關鍵詞：機車定檢，碳氫化合物，迴歸分析，時間序列模式

HC Emission Models from Motorcycles Using Regression and Time-Series Techniques— Nantou County

SAN-JU LU¹, CHI-WEN LIN¹, SHIH-HSIEN HUNG¹ and KUO-SSIAN LIN²

¹*Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University*

112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Chunghua, Taiwan

²*Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications*

8F, 240, Tun-Hwa North Rd., Taipei, Taiwan

ABSTRACT

Due to the high ownership rate for motorcycles (35-52%) in urban areas, motor vehicles have become a significant source of air pollution in Taiwan, contributing 49% of the emissions of HC, 83% of the emissions of CO, and 33% of the emissions of NO_x. Of these, motorcycles contribute 64% of the HC, 38% of the CO, and 3% of the NO_x. The objective of this study was to examine the emission characteristics of motorcycles and the effectiveness of the motorcycle Inspection/Maintenance (I/M) program conducted in Nantou County by using regression analysis and time-series analysis. The results indicate that the ownership rate for older motorcycles increases yearly, and these vehicles play a significant role in contributing to HC emissions. These statistical findings and proposed models can also provide Nantou County and the EPA of Taiwan with useful

information for formulating better environmental strategies for managing motorcycles effectively.

Key Words: inspection/maintenance program, hydrocarbon, regression analysis, time-series models

一、前言

我國行政院環保署之研究指出，台灣地區之汽機車所排放之碳氫化合物 (hydrocarbon, HC)、CO 及 NO_x，分別佔各行業空氣污染總排放量的約 49%、83% 及 33%，其中由機車所貢獻的為 64% (HC)、38% (CO) 及 3% (NO_x) [1]。再者，由於我國都會區中機車數量佔有率頗高，約佔所有車輛 (含機車與汽車等) 的 35-52%，因此機車所排放之污染物更是佔都會地區人為排放污染物總量之絕大部份 [8]。汽機車所排放的碳氫化合物，除了污染物本身對人體有直接危害之外，更是光化學煙霧 (photochemical smog) 及臭氧 (ozone) 形成的前驅物質 (precursors)，對環境將有更進一步的不良影響 [9]。

為了減少機動車輛排放污染物對環境之危害，環保署於 1993 年 2 月試辦完成 426,376 輛次之使用中機車排氣檢驗，並於 1996 年 1 月 22 日正式分期分區於全國實施「機車排氣定期檢驗制度」。其中第一期於 1996 年 1 月 22 日起於台中市等八縣市實施，第二期於同年 11 月 1 日在台中縣等七個縣市實施，第三期則在 1998 年 1 月 1 日於南投縣等八個縣市強制實施，截至 2004 年 10 月，全國 23 個縣市共設置 1,955 個機車排氣定檢站 [2]。

「機車排氣定期檢驗制度」之檢驗標準共分為四期逐嚴實施，第一期至第三期之 CO 與 HC 排放標準皆為 4.5% 與 9,000ppm，並分別於 1988 年 1 月、1991 年 7 月及 1998 年 1 月實施，第四期則於 2004 年 1 月 1 日起實施 (CO 與 HC 排放標準分別加嚴至 3.5% 與 2,000ppm)。由環保署機車定期檢驗資料顯示，全國平均到檢率於 2002 年與 2003 年 12 月分別達 61.5 與 64.4%，於 2004 年則已達 68.7%，有逐年上升之趨勢。其中南投縣於 2002、2003 及 2004 年之機車定期檢驗到檢率分別為，47.3%、57.3% 及 63.4%，其到檢率亦呈現逐年上升之趨勢 [3]。

雖然機車排氣定檢之到檢率有逐年提高之趨勢，但定檢之成效仍受到許多因素影響，例如：排放標準、定檢站之素質、民眾之保養觀念、不合格車輛之改善等。本研究為掌握機車排氣定檢之成效，遂針對 1997-2001 年間之定檢資料進行分析，透過複迴歸分析彙整定檢之機車排氣情形，以掌握機車排氣之改善趨勢。同時，以時間序列掌握定檢實施以來

之排氣特徵，以供相關單位修正管制策略之參考。由於南投縣位於台灣正中央，且為我國重要之觀光區域，根據各縣市統計指標統計至 2003 年止，南投縣人口約 54 萬人，而根據交通部 2005 年 5 月統計月報資料顯示機車數為 310,772 輛，全縣機車平均密度為 75.69 輛/km²。為使南投縣能保持優質之空氣品質環境，遂選定南投縣作為本文之研究區域，藉由統計工具分析南投縣機車排放污染物之特性，提出南投縣排放濃度再降低之空間與改善方案，希冀供有關單位於未來制定南投縣境內空氣品質提升方案，及作為行政院環保署制定機車排放污染物管制策略之參考依據。

二、研究方法

本研究之機車污染排氣檢測資料取自環保署委託之工業技術研究院機械所，包含南投縣自 1997 年 11 月至 2002 年 9 月底期間之機車定檢站資料，原始資料共計 540,952 筆，依據機車排放物之檢測異常值範圍 [4]，將所得資料中 HC 濃度大於 25,000ppm 之檢測資料視為異常值予以刪除，刪除異常值後之資料筆數為 524,274 筆，異常值之整體刪除率為 3.08%。本研究使用之統計分析軟體主要為 SPSS，而以 Minitab Win32 軟體進行時間序列分析。

(一) 虛擬變數與線性迴歸

為將車體特性中的分類資料代入線性迴歸式中，將以虛擬變數 (dummy variable) 代入，虛擬變數代入線性迴歸式之方法與線性迴歸式之求解過程為：(1) 以機車各特性因子中所佔比例最高的族群分類為基準；(2) 除了基準族群外，依因子中之族群數來設計變數，一個族群分類對應一個變數；(3) 依序將變數之值代入 1 或 0；(4) 將所有族群分類轉換為虛擬變數後，以 SPSS 線性迴歸功能求取各污染物排放的預估模式；及 (5) 預估模式中求解出各變數之係數的 t 值，若小於 95% 顯著水準下之判定門檻 1.96，即代表該係數值在統計上無法拒絕虛無假設 H₀ (虛無假設假定該係數值等於 0)，亦即該變數對該機車之污染排放並無顯著之影響，在模式中即可刪除以簡化模式。

(二) 時間序列分析方法

經將 HC_t 數列定為 Rk(HC_t)，並將其與數列 t 進行相關分析取得相關係數 ρ (t, Rk(HC_t)) 為「-0.417」，經計算相

對應之檢定值 Z^* 為「-3.176」，顯示 HC_t 數列拒絕虛無假設。為使該數列呈現平穩型，將該數列取一階差分得 $D1(HC_t)$ ，並以 t 為橫軸繪出時間數列圖如圖 1，經初步觀察已較原數列平穩，惟仍需再經檢定確認。再以 Dancil's Test 相同檢定程序，獲得之相關係數 $\rho(t, Rk(D1(HC_t)))$ 為 0.051，經計算相對應之檢定值 Z^* 得 0.385 且小於 1.96 接受虛無假設，顯示 HC_t 數列經一階差分後均已呈現平穩型，故可進行後續模式分析。

為選擇較適用之 ARIMA 模式，本研究以經一階差分調整後呈平穩型數列之 $D1(HC_t)$ 數列進行自我相關 (ACF) 及偏自我相關分析 (PACF) 檢定，再以電腦軟體分析後繪出該數列之 ACF 及 PACF 檢定圖形。選取最佳之時間序列模式，再進行背景雜訊之檢驗，若殘差已無顯著之自我相關而為隨機呈現，即可將該模式視為最佳模式。

三、結果與討論

(一) 機車與污染排放特性分析

1. 車體特性分析

本研究初步分析 1997-2002 年之定檢機車資料顯示，三陽 (37.9%)、山葉 (29.91%)、光陽 (26.17%) 等三廠牌的機車佔南投縣全體定檢車輛的 93.98%，而四行程機車 (51.82%) 與二行程機車 (48.18%) 之比例相近，其中四行程機車自 2001 年起受檢與使用比例日益增加。在機車排氣量的部份「100cc 以上」之機車佔 52.94% 且有逐漸增加之趨勢；另外，在車齡部份則發現，車齡大於 7 年 (含) 以上之機車比例為 32.33%，而車齡小於 3 年 (含) 之新車則佔 31.9%，其中自 2000 年以後 1~3 年之新車比例下降，而大於 8 年車齡的機車則逐年提高，顯示南投縣整體車齡有趨於老舊之虞，因此南投縣未來之機車污染排放量是否將增加為一值得關注的問題。

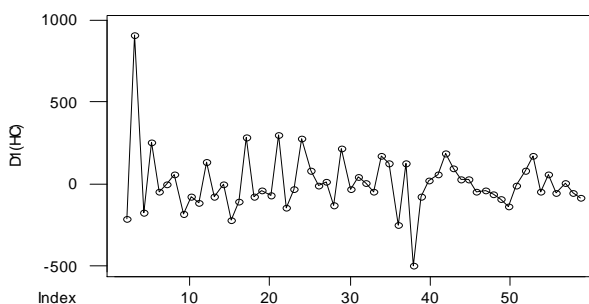


圖 1. 一階差分後之 HC 數列

2. 污染排放特性

二行程機車所排放 HC 濃度幾乎為四行程機車的十倍以上，且有逐年擴大之趨勢，推測造成此現象之原因可能為二行程機車燃油效率較差之限制所致 [6]。受檢車輛隨排氣量之增加 HC 污染排放濃度逐漸減少，100cc 以下的機車其 HC 污染排放量為 100cc 以上之機車的 4-5 倍，且有逐年緩慢增加的趨勢。機車使用年限愈久，其排放之平均 HC 污染量亦隨之增加，對照車齡分析趨勢得知南投縣機車將漸趨於高齡化，未來該地區之 HC 污染量預期將有增加之趨勢。分析 HC 之排放濃度發現，在佔有近 94% 之三大機車廠牌中以山葉機車之排放濃度偏高，造成山葉機車排放濃度偏高之原因，主要是二行程的山葉機車佔山葉機車之比例較高所致 (達 69.42%)。

(二) 線性迴歸方程式

本研究針對機車排放污染物之 HC 進行線性迴歸分析，以下將呈現 HC 線性迴歸之成果。

1. 時間序列線性分析

將定檢資料依其測試日期，分別以月份、週次分組後求得 HC 平均值，並將時間 (月或週別) 對機車之污染平均值進行線性迴歸分析，所得相關統計估測量之結果如表 1 所示。

- 月平均污染預估模式：由 HC 於 1997-2002 之各月平均值 (圖 2) 顯示，初期 HC 之變動情形較為明顯，但自 1998 年以後則介於 2,000-3,000ppm 之間穩定變動，且均遠低於環保署 1998 年 1 月 1 日公佈實施三期標準之惰轉標準值 (9,000ppm)。所獲得之線性模式如式 (1)：

$$Y_{HC} = 2,432.376 + (2.7)T \quad (1)$$

Y_{HC} 代表污染物自 1997 年 11 月以來之月平均值應變數 (dependent variables)，而以 T 代表依序之月次 (1997/11-2002/9)，模式分析結果列於表 1。由表 1 得知

表 1. HC 線性迴歸之預估模式

項 目	污染預估模式	
	月平均	週平均
模式之 R^2 值	0.05	0.028
模式之 F 值	27,521	15,379
常係數之 t 值	4,151	3,504
時間 T 係數之 t 值	165	124

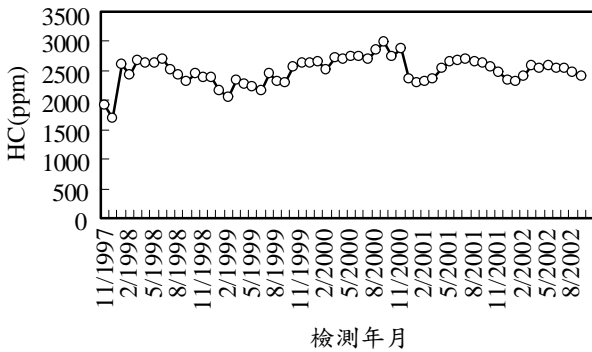


圖 2. 南投縣 1997 至 2002 年間 HC 之各月平均檢測值趨勢圖

模式之常數項與月次 T 之顯著性 t 值均相當大，同時整個模式 F 檢定值亦相當高，惟各模式的判定係數 R² 值卻偏低，可知模式之配適樣本資料並不理想。

- 週平均污染預估模式：將週平均資料得出，Y_{HC} 仍代表污染物之各週檢測平均值，而 T 代表各該檢測週次，模式分析結果彙整如表 1，模式如式 (2)，惟因各項分析結果與月平均結果類似，在此不再贅述。

$$Y_{HC} = 2,434 + (0.553)T \quad (2)$$

2. 加入虛擬變數之迴歸分析

由於以時間序列建立之迴歸式的 R² 值均偏低，因此再將各機車特性因子之每一族群分類，以虛擬變數 (dummy variable) 代入以分析各分類對機車排放污染物之影響，透過 SPSS 中迴歸分析功能求取模式各係數與檢定結果。

本研究選擇各特性組成佔有比例最高的族群分類為模式基準，選定「三陽」廠牌、車齡「3~8 年」、排放量「100cc 以上」及「四行程」之機車作為模式分析基準，進行虛擬變數之設定，各特性因子代表虛擬變數與估計出之係數如表 2 所示，所建立之 HC 模式如下：

$$Y_{HC} = 271.96 + 3634.52 (W1) + 806.85 (X1) + 357.42 (X2) - 868.38 (Y1) - 400.70 (Y2) + 418.72 (Y3) + 619.93 (Y4) + 357.18 (Z1) + 84.16 (Z2) + 1085.67 (Z3) + 86.00 (Z4) + 490.80 (Z5) + 713.55 (Z6) + 780.47 (Z7) \quad (3)$$

由表 2 顯示，模式中虛擬變數之係數檢定 t 值均大於 1.96，在 95% 顯著水準下之檢定結果均拒絕虛無假設，亦

表 2. 運用虛擬變數之 HC 迴歸模式

因子	變數代號	係數	t 值
常數		271.9	51.6
二行程	W1	3,634.5	413.0
<50cc	X1	806.8	84.5
50cc-99cc	X2	357.4	39.5
0~1	Y1	-868.3	-28.6
1~3	Y2	-400.7	-60.0
8~10	Y3	418.7	51.9
10~15	Y4	619.9	67.9
山葉	Z1	357.1	54.7
光陽	Z2	84.1	12.9
偉士伯	Z3	1,085.6	24.4
比雅久	Z4	86.0	3.1
台鈴	Z5	490.8	35.6
永豐	Z6	713.5	19.1
其他	Z7	780.4	15.4
年度	YYY	刪除	0.3
模式之 R ² 值		0.6	
模式之 F 值		51,501	

即各該係數均顯著異於 0，易言之，各該機車特性之分類均對 HC 之排放濃度有顯著之影響。各模式中之係數值亦分別表示各該機車特性分類相對於基本模式分類之比值，亦即相對該污染之貢獻度，且各係數前之符號正負亦代表各該分類相對於基本分類之增減。HC 模式之 R² 高達 0.6，且整體 F 值均相當顯著，顯示本模式已可供後續運用。

(三) 時間序列分析

1. 資料分析

本研究共有 59 個 HC 污染排放物之月平均檢測值 (1997/11-2002/9)，以月平均值來構建機車空污排放物之時間數列預測模式 (time-series model)，以了解機車排放空污之趨勢。將 HC_t 數列經一階差分後均已呈現平穩型，故可進行後續模式分析。

2. HC 之 ARIMA 模式架構之設定、估計與模式選取

由圖 3 與圖 4 對 D1(HC_t) 數列之分析觀察可判斷得知機車 HC 之排放亦無明顯之季節或年週期性，且僅有第一個時差 (lag) 之檢定值顯著異於 0 (亦即其第一 lag 之 t 檢定值大於 1.96)，亦即表示 p 與 q 可能為「0 ≤ p, q ≤ 1」，由此建議僅須針對 HC_t 之數列較佳之非季節性一階差分之 ARIMA 模型 (p,1,q)，進行其自我相關與移動平均之階數 (order) 測試，以建立最佳之 ARIMA 模型。

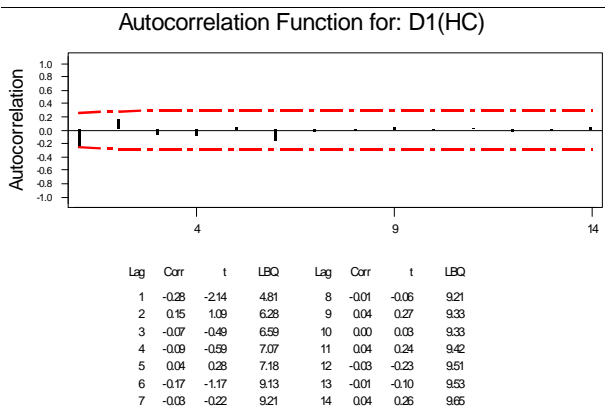


圖 3. 一階差分後 HC 數列之 ACF 檢定

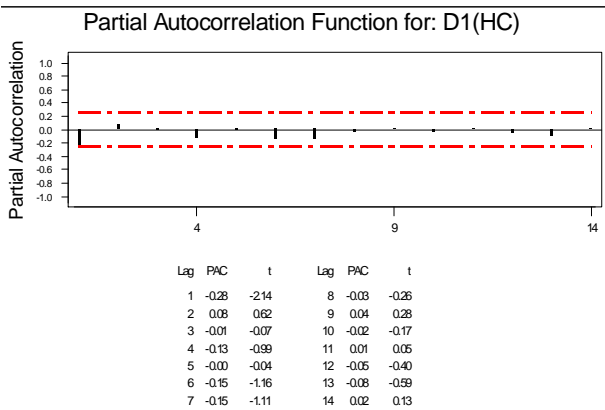


圖 4. 一階差分後 HC 數列之 PACF 檢定

由表 3 可知，經檢視各可能模式之係數估計與 t 檢定值，並以模式之 MSE (mean squared error) 為選取標準，亦可選出最佳之機車 HC 之 ARIMA 模型為 (1,0,0)，亦即其亦為一 AR(1) 之模型形式，可寫成下列方式：

$$HC_t = 737.2 + 0.7014 HC_{t-1} + a_t \quad (4)$$

式中，t 為任一月份， $t=1 \dots T$ ， a_t 假設為一背景雜訊 (white noise) (隨機數列其平均值為 0)。

3. 模式之殘差檢定

HC 模式呈現一階自我相關 AR(1) 的型態，因此雖然初期檢視 HC 數列呈現不平穩定性，但經過差分調整後，並配合各種可能 ARIMA 之分析與檢定，乃以無差分之一階自我相關模式為最佳型態。

表 3. HC 數列可能之 ARIMA 模型 (p,i,q) 彙整

模式設定 (p,i,q)	參數	係數估計值	係數標準差	t 檢定值	MSE(df)
(1,0,0)	AR1	0.70	0.09	7.40	28,805(57)
	constant	737.20	22.17	33.25	
(1,1,0)	AR1	-0.28	0.13	-2.24	31,699(57)
(0,1,1)	MA1	0.24	0.13	1.85	32,702(56)
	constant	8.84	18.03	0.49	
(1,1,1)	AR1	-0.62	0.30	-2.10	31,854(55)
	MA1	-0.34	0.36	-0.96	
	constant	16.55	31.49	0.53	

為了解所得之 HC 模式其殘差數列 a_t 是否已呈一背景雜訊隨機數列，本研究再針對 a_t 進行 ACF 檢定分析，並得分析結果如圖 5，而殘差之 ACF 圖形顯示模式之殘差已無顯著之自我相關而為隨機呈現，故可視為背景雜訊而不予處理，模式因而選定 AR(1) 為最佳模式。

(四) 綜合分析比較

表 4 為本研究與國內其他相關研究 [5, 7] 之機車定檢站資料迴歸分析結果之比較，在 HC 之迴歸分析部份發現，在本研究純以時間序列之月與週平均置入迴歸方程式中，其迴歸式之 R^2 偏低，表示仍有影響 HC 排放濃度變化之重要因子未被置入於迴歸式中，因此本研究遂將機車之特性以虛擬變數之方式置入 HC 之迴歸式中，結果發現 R^2 提高至 0.6，表示此迴歸式已可有效呈現 HC 排放濃度與機車各項特性之關聯情形。

與呂氏 [5] 比較發現，各縣市於 HC 之線性迴歸式的 R^2 均相差不大，但若改以非線性迴歸式模擬時， R^2 隨即提高至 0.7，表示非線性迴歸式較線性迴歸式對 HC 有較佳的

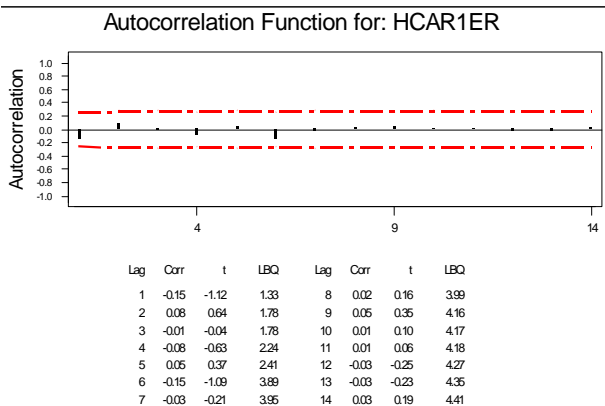


圖 5. HC 數列 AR(1) 模式之殘差 ACF 檢定

表 4. 各文獻之迴歸分析結果比較

文獻	年度	區域	R ²
			HC
本研究 ¹	1997-2002/9	南投縣 ^a (虛擬變數)	0.596
		南投縣 ^a (月時間序列)	0.050
		南投縣 ^a (週時間序列)	0.028
呂珊茹 ²	1996-2002/9	台中縣 ^a	0.576
		彰化縣 ^a	0.602
		台中市	0.676
葉哲愷 ²	1996-2004/9	彰化縣	0.679
		台中市(三陽)	0.686
		台中市(山葉)	0.734
		台中市(光陽)	0.693

註：¹使用 SPSS 軟體；²使用 STATISTICA 軟體；^a線性迴歸分析，其餘為非線性迴歸分析。

模擬能力。而由葉氏 [7] 之迴歸式結果發現，將迴歸式依機車廠牌進行分析時，HC 之 R² 達到 0.69-0.73 之間，顯示依廠牌建立之 HC 非線性模式對於 HC 排放濃度與機車各特性有良好的模擬結果。本研究時間序列之 ARIMA 模式與其他文獻之結果列於表 5，由表 5 發現 ARIMA 模式均為 AR(I)，但 AR(I) 是否適用於所有機車排放污染與時間之關係，仍有待更多研究進一步分析探討。

四、結論與建議

(一) 結論

1. 受檢車輛以三陽、山葉、光陽為主要廠牌，四行程機車逐年增加，100cc 以上之機車佔有比例約五成，南投縣機車整體車齡趨於老舊。
2. HC 時間序列線性迴歸模式不適合模擬 HC 隨時間變化之趨勢，虛擬變數之迴歸模式整體 F 值相當顯著，且校正後之 R² 值可有效提升至 0.6，可作為 HC 排放濃度之推估參考。

表 5. 各文獻之時間序列 ARIMA 模式型態比較

文獻	年度	區域	物種	模式	t 檢定值(df)
本研究 ¹	1997-2002/9	南投縣	HC	AR(I)	7.40(57)
呂珊茹 ²	1996-2002/9	台中縣	HC	AR(I)	62.05(70)
		彰化縣	HC	AR(I)	21.54(69)
葉哲愷 ²	1993-2004/9	台中市	HC	AR(I)	78.15(104)

註：¹使用 MINITAB Win32 軟體；²使用 STATISTICA 軟體。

3. HC 污染排放月平均值時間序列之 ARIMA 模式，檢驗較適合之模型為 (1,0,0) 即 AR(1) 之模型形式，經檢視分析機車污染之月平均值並無明顯之季節性關聯與循環，為一可供南投地區未來分析與預測 HC 排放濃度使用之時間序列模式。

(二) 建議

1. 南投縣機車車齡整體趨於老舊，應加強路邊稽查及保養制度，以促使民眾做好車輛保養工作，相關機構亦應預為籌謀研擬有效之機車汰舊換新方案，以提昇整體空氣污染之管制成效。
2. 本研究所獲得之時間序列模式為一適用之模式，可供南投縣未來分析與預測之用，至於此一階自我相關之模式是否為各地區之通式，仍待更多縣市或地區定檢資料檢視分析才可確定，建議後續研究再深入探討。

誌謝

感謝行政院國家科學委員會提供本研究部分經費支持 (計畫名稱:以時間序列探討機車排放空氣污染物之變化研究; NSC91-2815-C-172-001-H)。

參考文獻

1. 行政院環保署 (1998)，台灣地區移動污染源之空氣污染物排放量推估 (期末報告)，台北。
2. 行政院環保署 (2004a)，機車定檢站查詢之定檢站地址，<http://210.243.193.33/epa/>。
3. 行政院環保署 (2004b)，機車定檢站查詢之統計分析查詢，http://210.243.193.33/epa/到檢率_Download.htm。
4. 朱育民 (1998)，利用變異數分析探討中部地區機車排放物的特性及差異，國立中興大學環境工程所碩士論文。
5. 呂珊茹 (2004)，中部地區機車排放污染物之特性分析，大葉大學環境工程學系碩士班碩士論文。
6. 林家弘 (1999)，移動性污染源排放量模式評估與建立，國立中興大學環境工程所碩士論文。
7. 葉哲愷 (2005)，機車污染排放物之時間特性分析，行政院國家科學委員會大專學生參與專題研究計畫研究成果報告 (NSC93-2815-C-172-001-H)。
8. Chen, K. S., C. H. Lai and Y. T. Ho (2003) Source profiles and ozone formation potentials of volatile organic

compounds in three traffic tunnels in Kaohsiung, Taiwan.
Journal of Air Waste Management Association, 53,
102-112.

hydrocarbons in urban and polluted rural environments.
Atmospheric Environment, 33, 1821-1845.

9. Sillman, S. (1999) The relation between ozone, NO_x, and

收件：94.07.11 修正：94.08.16 接受：94.09.16