

配備 EGR 系統車輛之 NO_x 排放動態曲線： 運用車載量測系統之道路實測分析

陳韋伶 中華經濟研究院 輔佐研究員
溫蓓章 中華經濟研究院 副研究員
莊志偉 車輛研究測試中心 副工程師
楊幼文 交通部運輸研究所 研究員

摘要

為了降低車輛使用所造成的 NO_x 排放量，車廠研發的有效新技術之一，即是廢氣再循環 (Exhaust Gas Recirculation, EGR) 系統。近年來，配有 EGR 系統車輛逐漸增加，傳統環保部門用以估算排放量之 MOBILE-TAIWAN 模式 (TWMOBILE)，亟需建立對應的修正參數，才能得到正確的車輛排放量推估結果。另一方面，運輸計畫評估的應用上，TWMOBILE 雖可提供不同區域(台北縣市、高雄縣市、其他)、不同速度下 (5~100km/hr) 的 NO_x 排放係數，亦即速度-NO_x 排放動態曲線 (NO_x-V)，但卻無法敏感反應各種道路類型的排放差異，因此限制了該排放係數在運輸部門的使用彈性。有鑑於此，本研究透過實車實驗設計，將實驗結果與 TWMOBILE 排放動態曲線加以比較，以針對上述問題作較為深入的探討。

本研究以配有 EGR 系統之實驗車輛，分別進行實驗室與實際道路之實驗調查，並搭配能夠紀錄逐秒參數的車載量測系統 (On-board Emissions Measurement, OEM)，蒐集相關實驗數據。目的在於探討 TWMOBILE 之 NO_x 排放動態曲線之適用性，以及該「速度-NO_x 排放動態曲線」於運輸部門中更多應用的可能性。實驗調查結果顯示：無論是實驗室或道路實驗，在不同速度下之 NO_x 排放係數皆顯著低於 TWMOBILE；且在不同的道路類型之下，其「速度-NO_x 排放動態曲線 (NO_x-V)」分布也不盡相同。本研究後續可針對各種排放控制裝置建立對應之 TWMOBILE 修正參數，來驗證推估模式之適用性；同時，可進一步檢討目前排放係數之分類方式，建議除了提供不同「區域別」的 NO_x-V 之外，亦可從「道路類型別」的角度切入，以提高該排放曲線於運輸計畫評估中之運用彈性。

關鍵字：道路實驗、車載量測系統(OEM)、廢氣再循環系統 (EGR)、氮氧化合物 (NO_x)

一、前言

車輛排放物中的氮氧化物 (NO 及 NO₂，合稱為 NO_x) 因會對人體/動物健康和環境造成傷害，而為各國空氣污染防治法所規定之法定空氣污染物。為了降低車輛使用所造成的 NO_x 排放量，車廠研究的有效控制技術之一，即是廢氣再循環 (Exhaust Gas Recirculation, EGR) 系統。利用排氣循環進入氣缸內使用，因其比熱高，且具稀釋作用，可降低燃燒溫度，研究證明此一排氣淨化裝置能夠顯著降低車輛使用過程中之 NO_x 排放量。根據實驗結果顯示：當 EGR 率為 15% 時，NO_x 排放可減少 50% 以上；EGR 率為 25% 時，NO_x 排放可減少 80% 以上 (邱先文，2001)。

然而，應用 EGR 系統降低燃燒溫度，固然可有效降低 NO_x 排放量，但是另一方面，卻也會因燃燒速度變慢，反而增加 CO 和 HC 的排放量。

因此，EGR 率之設定，必須平衡考量 NO_x 減量的效果，以及其他的負面影響，以取得較佳的車輛總體性能。通常車廠係依據 EGR 率之曲線圖，考慮引擎轉速 (Engine Speed, r/min) 及引擎節汽門開度 (Throttle, %) 二項因素，以控制 EGR 率。例如引擎輕負載時，EGR 率 40-60% 最高，降低 NO_x 排放的作用最為顯著 (但也同步增加 CO 和 HC 的排放)；之後隨著引擎轉速及負載漸增，EGR 率則降為 20-30%，亦可有效降低 NO_x 的排放量；但是在高負載時 (例如爬坡、空轉及減速時)，為避免造成車輛性能下降與油耗上昇，無論任何引擎速度下均不使用 EGR 系統，故無法減少 NO_x 之排放量。

由此可以推知：儘管研究已經充分證明 EGR 系統可以有效減少車輛使用之 NO_x 排放，但其具體 NO_x 排放量，將會受制於 EGR 系統的作動、EGR 率的設定等；而其控制邏輯則會因車輛設計、影響引擎轉速和負載之各種行車狀況因素，而有所差異。因此，配備 EGR 系統之車輛，實際行駛之 NO_x 排放量的估算方法，將會相當複雜。

傳統上，環保部門估算車輛 NO_x 排放量

(以及其他排放物,如 HC、CO 等)的方式,是建立一條與行車速度相關的排放曲線。例如,我國目前採用之 MOBILE-TAIWAN(以下簡稱 TWMOBILE),所提供之排放曲線,主要是以美國之車輛污染排放推估模式(MOBILE 5a 與 MOBILE 5b)作為參考依據,並依照台灣地區的特性加以修正後所建構。此模式主要是以實驗室實驗所得之排放曲線為基礎,再針對車輛相關特性建立調整參數,以調整推估之排放量;例如車齡、車型、車重、油品、引擎容量等。

另一方面,就運輸計畫評估的使用性而言, TWMOBILE 雖可提供不同區域(台北縣市、高雄縣市、其他)、不同速度下(5~100km/hr)的 NOx 排放係數,亦即速度-NOx 排放動態曲線(NOx-V),但卻無法敏感反應各種道路類型的排放差異,因此限制了該排放係數在運輸部門的使用彈性。有鑑於此,本研究透過一套實車實驗設計,嘗試將實驗結果與現有的 TWMOBILE 排放動態曲線加以比較,以針對上述問題作較為深入的探討。

二、實驗設計

本研究以配有廢氣再循環系統之實驗車輛,分別設計實驗室與實際道路等兩種實驗調查。在實驗室實驗方面,由於一般市售車輛於正式銷售前,皆須通過國內污染排放的法規標準測試流程—「汽油車輛測試程序與測試方法」,而其污染排放值(以下簡稱標檢值)即為是否通過法規檢測的判定依據。因此,本研究首先透過實驗室實驗與 TWMOBILE 兩者間的比較,以探討廢氣再循環系統對於不同速度下之 NOx 排放係數的影響程度。其次,在道路實驗方面,由於引擎動態模擬系統無法精確模擬實際道路的狀況,因此本研究設計之道路實驗,即利用實驗車輛實際行駛於不同道路類型上,以蒐集道路排放數據,期能反映真實世界下的 NOx 排放情形,並將其結果與 TWMOBILE 排放係數加以比較,以探討在不同道路類型情況下,其 NOx 排放係數之變化。有關上述兩實驗之實驗車輛、儀器與實驗設定條件等說明,分別如下:

1. 實驗車輛與實驗儀器

本研究由 2007 年暢銷車種之中,選取配有廢氣再循環系統之實驗車輛-中華三菱 SPACE GEAR 2.4 進行下述實驗,同時,採用 HORIBA OBS-2200 設備作為排放取樣的車載量測設備,其主要功能在於車輛所排放之廢氣進行連續取樣與分析,並搭配 GPS 導航系統與主控電腦、擷取軟體等,紀錄車輛運轉狀態,以及對應之 CO、CO₂、THC、NOx 等之瞬間與累計排放量,並以碳平衡法反推瞬間與

累計之能源消耗量。

2. 實驗條件-實驗室實驗

為了排除環境特性之影響,確保 NOx 排放之數據變化,僅與車輛廢氣控制裝置有關,並顧及蒐集數據之比較性,本研究將實驗室之實驗條件,維持與一般污染排放的法規標準測試狀態一致:

(1)車重:其中空車重 1,820 公斤,法規配重 136 公斤,總重共 1,956 公斤,實驗車重為 1928 公斤(以查表法取得實驗室動力計慣性模擬重量)。

(2)頭燈與空調:不開頭燈、不開空調

(3)油品:經中油化驗之市售 95 無鉛汽油

3. 實驗條件-道路實驗

根據各國針對實驗室與道路實驗之差異比較的研究分析結果顯示:由於在現實生活中,車輛於實際道路之行駛狀態與實驗室不儘相同,且其影響因素較實驗室更為複雜,因此,可能會受到不同道路狀況、氣候與駕駛特性等差異之影響,導致道路實驗之能耗值劣於實驗室。由於 NOx 為燃燒石化燃料過程中所產生的主要固定污染源之一,有必要釐清比較實際道路上與實驗室之排放量。因此,本研究另設計道路實驗,以量測車輛之實際排放狀況。在考量將來運輸部門之使用性的前提下,特別針對不同的道路類型差異加以區分,並儘可能將其餘條件控制在一致的狀態下進行本實驗:

(1)車重:其中空車重 1,820 公斤,實驗設備與駕駛人員重量合計 320 公斤,控制道路實驗車重為 2,150 公斤。

(2)駕駛特性:採用 2 人一組之固定駕駛人員,行駛所有道路。

(3)頭燈與空調:實驗時開啟大燈,並設定空調恆溫攝氏 25 度。

(4)油品:使用同一批市售 95 無鉛汽油,並經中油化驗取得油品參數。

(5)道路類型選擇:依據運輸需求模式公路網之長度和運量佔比,本研究選擇 7 種重要道路類型作為道路實驗之研究範圍(參見表 1);以道路長度計算(km)達總路網之 36.91%,以運量計算(pcu-km)達 60.67%之路網指派量,因此,研究結果可在模式應用上具備代表性。再考慮實驗設備運作限制(以電池續航力最為關鍵)、油料耗材補給存放、儀器調校與人員休息等條件,選擇表 1 所列之代表性路線,於天候良好狀況下進行道路實驗。

表 1 道路實驗之研究範圍

屬性			總長度		運量		實驗路線
Level	Class	說明	(km)	%	(pcu-km)	%	
1 國道	1	速限 100~110 一般道路段	796	6.72%	21,091,774	14.21%	國道 1 號(新竹-台北)、國道 2 號、國道 3 號)
2 快速道路	11	快速公路 (完全進出管制)	454.5	3.83%	8,133,844	5.48%	臺 74 線(快官系統-大雅交流道) 台北市環河快速道路(洲美、環河、水源、新店)、建國高架
4 省道	24	省道低干擾 2 車道	1,208.40	10.19%	22,397,620	15.09%	臺 1 線及臺 1 乙線(彰化-臺中：車輛中心-彰化系統-快官系統-大雅交流道) 中部地區省道(五權路、大雅路、中清路、中清南路)
	27	省道高干擾 2 車道 以上	530.6	4.48%	19,446,270	13.10%	
5 縣道	34	縣道低干擾 2 車道	308	2.60%	5,661,257	3.81%	縣道 142(彰化交流道-車輛中心) 縣道 122(竹林交流道-新竹中繼站-新竹交流道)
6 鄉道	43	鄉道低干擾 1 車道	395.2	3.33%	2,088,141	1.41%	彰 24(車輛中心-鹿港鎮溝乾巷)
7 市區道路	53	市區道路高干擾	682.7	5.76%	11,246,289	7.57%	臺中市文心路、文心南路
小計			4,375.40	36.91%	90,065,195	60.67%	
全路網			11,853.90	100.00%	148,472,391	100.00%	

註：總長度與運量數據來自(交通部運輸研究所，2006)。運量已經包含機車、小客車、小貨車、大客車、大貨車及聯結車之運量。

資料來源：本研究。

三、實驗結果分析

1. 數據處理與比較基礎

由於在 TWMOBILE 之車種分類中，本研究之實驗車輛(中華三菱 SPACE GEAR 2.4)屬汽油小貨車之範疇，因此以下所採用的 NOx 排放係數，將以 TWMOBILE 於 97 年度，汽油小貨車分別在台北縣市、高雄縣市與非北高縣市等三種的排放動態曲線作為比較基礎，其個別排放係數可參見下(表 2)。

另一方面，本實驗所取得之有效樣本，分別在實驗室為 17,649 筆，道路實驗為 70,916 筆，共計 88,565 筆。同時，為與 TWMOBILE 所提供之 NOx 排放係數(g/km)加以比較，故須先求取 NOx 在各速度下，每秒之平均排放量(g/s)後，再將其依照不同速度(km/hr)，進一步轉換為每行駛里程之平均排放量(g/km)，其轉換後之排放係數可參見下(表 3)。

表 2 TWMOBILE 之 NOx 排放係數

速度 (km/hr)	97 年排放係數(g/km)		
	台北縣市	高雄縣市	其他
5	1.92000	1.14455	2.00616
10	1.69000	0.95531	1.72936
15	1.51000	0.88253	1.61073

20	1.36000	0.85341	1.57119
25	1.25000	0.83885	1.55800
30	1.16000	0.82430	1.57119
40	1.04000	0.83885	1.65027
50	0.99000	0.85341	1.74254
60	0.99000	0.86797	1.79526
70	1.05000	0.88253	1.83481
80	1.18000	0.94075	2.00616
90	1.39000	1.15911	2.49385
100	1.74000	1.39202	2.98155

註 1：此為 97 年[TEDS6.1]之汽油小貨車 NO_x 排放係數
資料來源：(中鼎公司，1989)

表 3 本研究之 NO_x 排放係數

速度 (km/hr)	實驗室實驗	道路實驗排放係數(g/km)						
		CLASS1	CLASS11	CLASS24	CLASS27	CLASS34	CLASS43	CLASS53
5	0.31014	0.99476	0.48558	1.88424	0.99695	0.44102	0.23230	0.74430
10	0.19835	0.04452	0.11242	0.90942	0.26015	0.24131	0.21359	0.19041
15	0.04101	0.02516	0.08141	0.36987	0.13274	0.17530	0.13356	0.16237
20	0.04649	0.42097	0.07359	0.39093	0.10005	0.09413	0.15899	0.14437
25	0.26397	0.05633	0.07867	0.22555	0.06519	0.06391	0.12281	0.10376
30	0.32366	0.05068	0.09017	0.16047	0.06784	0.04360	0.09233	0.11246
40	0.17882	0.07271	0.07493	0.09837	0.07300	0.06734	0.06197	0.11005
50	0.06011	0.14525	0.12423	0.13911	0.07358	0.09218	0.03213	0.10533
60	0.10503	0.35603	0.18799	0.27760	0.18725	0.15156	-	-
70	0.07533	0.28623	0.13545	0.07483	0.09440	0.05830	-	-
80	0.06297	0.22421	-	0.02758	-	-	-	-
90	0.08767	0.12366	-	-	-	-	-	-
100	-	0.05676	-	-	-	-	-	-

註 1：實驗室數據為 96 年度所執行之 FTP75 市區行車型態之結果。

註 2：本研究所蒐集之樣本速度分布範圍，將因行車型態(實驗室實驗)與道路速限(道路實驗)而有所限制，因此「-」表示無法取得該速度下之排放數值。

資料來源：(交通部運輸研究所，2007)

此外，根據 EGR 的作用原理，該系統並不會在車輛怠速運轉時作動，因此，即使本實驗能夠取得所有速度下(包含怠速)的排放係數，但在 5km/hr 以下的速度範圍內，應屬 EGR 無作動之狀態，因此導致 NO_x 排放係數偏高，故將該部分資料移除不予分析。另一方面，依據 TWMOBILE 所提供之「速度-NO_x 排放動

態曲線」(以下簡稱 NO_x-V)，僅在速度為 5、10、15、20、25、30、40、50、60、70、80、90 與 100 的情況下有係數值，因此無法估算速度在 100 以上之排放係數。有鑑於上述之考量，以下兩者係數之比較分析，主要是取本實驗與 TWMOBILE 之重疊速度(5~100)範圍作為比較基礎。

2. 實驗室實驗

本研究首先透過平均值檢定結果，檢視實驗室實驗與 TWMOBILE (台北、高雄與其他) 之排放係數平均值之間，是否具有顯著之差異，結果顯示(表 4)：本實驗之平均排放係數顯著小於 TWMOBILE 所提供之係數平均值，最高值出現在 V=26 (km/hr) 處，NOx 排放係數為 0.47658 (g/km)。

其次，再由下圖可知，兩者的 NOx-V 分

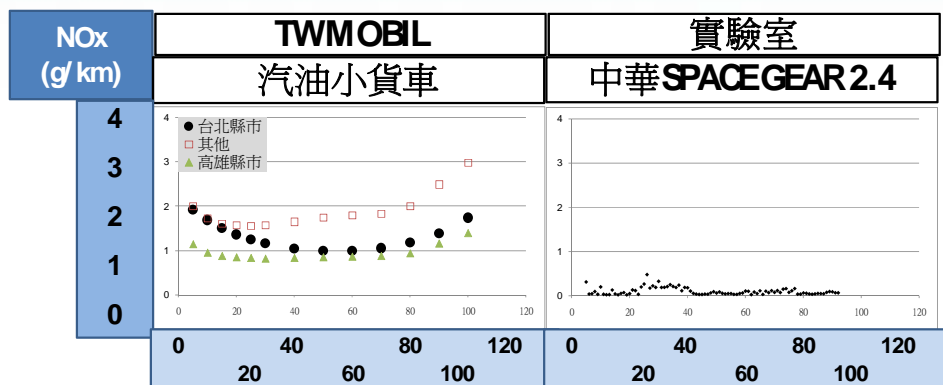
布趨勢，無論在任何速度下，皆以本實驗之排放係數較低，顯示 EGR 的作動確實會影響 NOx 排放值。此外，由兩者之 NOx-V 分布趨勢比較發現，相同點在 V=40~60 (km/hr) 之區間內，此時的 NOx 排放皆為最低，且隨橫軸速度變化呈現 U 字形變動；而差異點則在 V<30 與 V>70 的兩區間內，TWMOBILE 之 NOx 排放趨勢恰與本實驗相反。

表 4 實驗室、道路實驗與 TWMOBILE 之平均值是否相等檢定

		實驗室	道路實驗：各道路類型						TWMOBILE		
		中華 SPACE GEAR 2.4	1	11	24	27	34	43	台北縣市	高雄縣市	其他
平均值		0.0997	0.1556	0.1266	0.2500	0.1397	0.1299	0.1204	1.3285	0.9564	1.8885
樣本數		88	106	73	76	74	66	54	13	13	13
標準差		0.0816	0.1582	0.0696	0.2910	0.1552	0.1048	0.0840	0.3074	0.1712	0.4175
Z 值	台北縣市	-14.34	-13.54	-14.03	-11.78	-13.64	-13.90	-14.04			
	高雄縣市	-17.75	-16.05	-17.23	-12.17	-16.08	-16.80	-17.12			
	其他	-15.41	-14.84	-15.18	-13.60	-14.92	-15.09	-15.20			
檢定結果		顯著	顯著	顯著	顯著	顯著	顯著	顯著			

註：α=0.05

資料來源：本研究



資料來源：本研究

圖 1 實驗室與 TWMOBILE 之 NOx-V 分布趨勢圖

3. 道路實驗

在道路實驗的部分，同樣將各道路類型與 TWMOBILE 之 NOx 排放係數平均值加以比較，根據兩者間之平均值檢定結果顯示(表 4)，即使道路實驗受到的環境影響較多，但其平均的 NOx 排放係數皆顯著小於 TWMOBILE 所提供之係數平均值。其次，若以各道路類型與 TWMOBILE 之 NOx-V 比較圖形來看(圖 2)，亦可發現與實驗室相似的結果，亦即無論

在任何速度下，皆以道路實驗之 NOx 排放係數較低，顯示 EGR 的作動確實對於 NOx 的排放有抑制效果。這也表示目前 TWMOBILE 所提供的 NOx 排放係數，可能無法有效地反應真實狀況下之 NOx 排放情形。

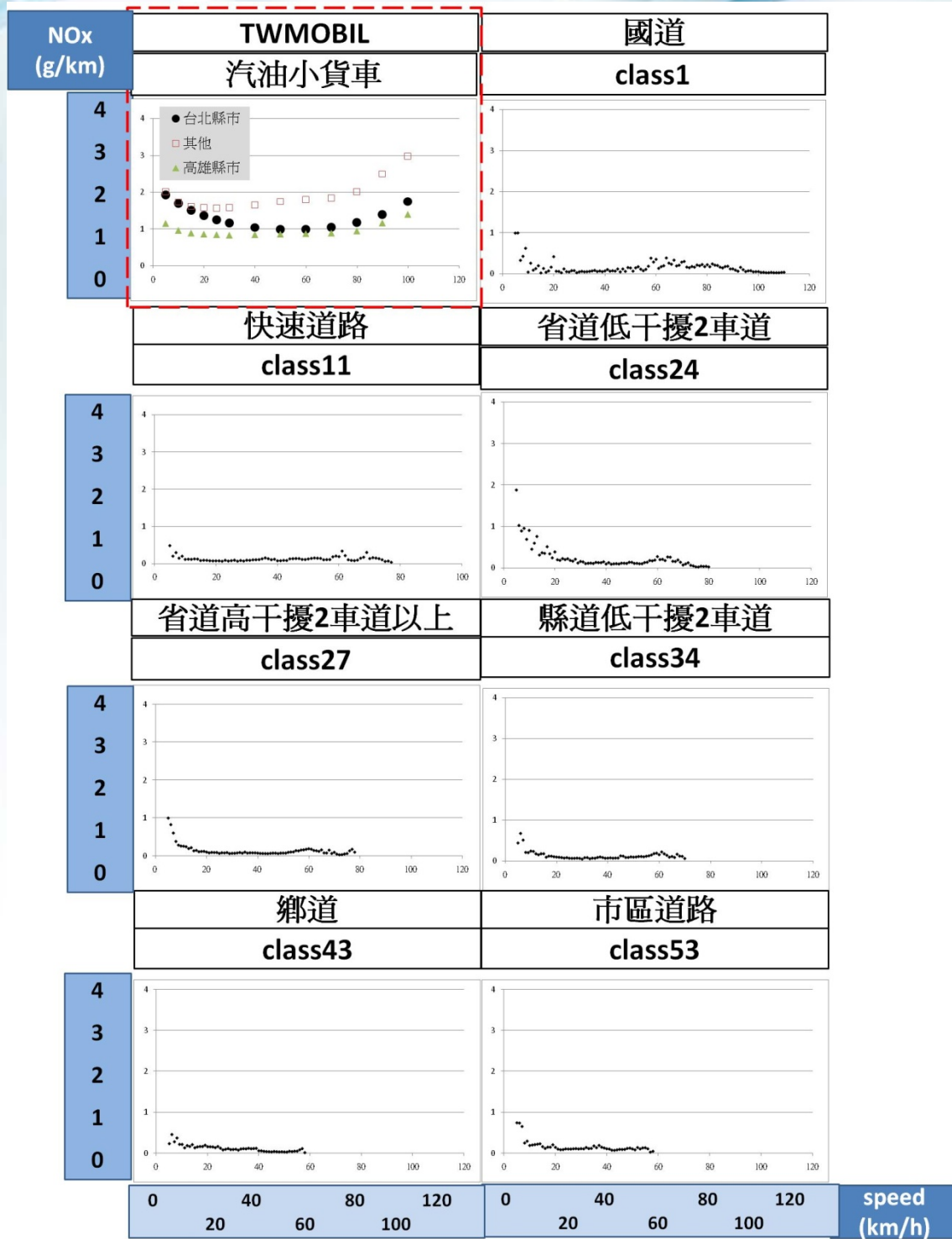
此外，本研究由各道路類型之 NOx-V 分布趨勢中亦有另一項發現：不同道路類型之 NOx 排放動態曲線，在低速時的數值有較為明顯的差異存在；但大致上在 V<60 之前，皆呈

現 U 字形曲線；而當 $V > 60$ 左右之後，則開始逐漸降低且無一定的變動規律。探討其可能原因，應為 EGR 之作動時機與引擎燃燒室還流量不同所造成：由於其作動時機主要是取決於引擎電腦之判定結果，當引擎燃燒效率狀況較佳時，產生之 NO_x 排量會比較大，此時 EGR 便開始作動；同時，引擎電腦會視車輛當時的引擎運轉狀況（進氣溫度、引擎冷卻水溫、變速箱檔位、引擎怠速、節汽門全開），決定引擎廢氣導入引擎燃燒室還流量（參考圖 3）。即使 EGR 之作動時機會依不同廠家設計而有所不同，但一般而言，車輛在巡航速度下或為

節汽門開度大時，EGR 作動機率相對提高。因此，本研究推論：無論任何道路類型上， NO_x 之排放可能在 $V > 60$ 以後開始受到 EGR 之影響，使得其排放係數降低，且因其作動時機與引擎燃燒室還流量不同，所以無法完全掌握速度與 NO_x 排放之間的關連性。

此外，各道路類型在 $V < 60$ 之前的 NO_x 排放趨勢，雖然皆呈現 U 字型分佈，但其彼此之間的排放動態曲線，則可能受到不同道路類型特性差異之影響，導致相對的 NO_x - V 分布趨勢也不盡相同。



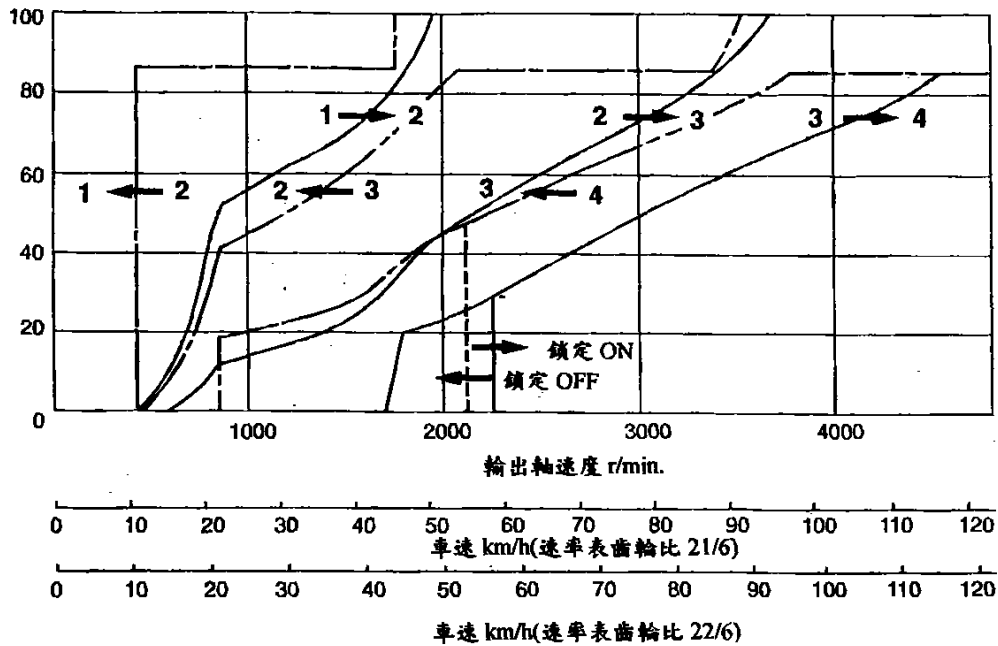


資料來源：本研究。

圖 2 道路實驗與 TWMOBILE 之 NOx-V 分布趨勢圖



節汽門開度 (%)



註：此圖為本實驗車輛之 EGR 作動時機資料，由於不同車輛之感知器訊號提供給電腦進行修正與判斷不盡相同，因此每部車輛之 EGR 作動時機可能有所差異。

資料來源：(中華汽車股份有限公司，2006)

圖 3 EGR 作動時機

四、結論

本研究分別針對車輛排氣控制裝置(廢氣再循環系統)對於 NO_x 排放之影響，以及備有該裝置車輛之 NO_x-V 曲線分布趨勢加以分析，以探討目前國內普遍使用的排放推估模式之適用性。研究過程中以實驗車輛分別在實驗室與道路蒐集 NO_x 之逐秒排放數據，並將研究成果與 MOBILE-TAIWAN 之 NO_x 排放動態曲線加以比對，結果顯示：

1. 無論是在實驗室或實際道路的狀態下，備有 EGR 的實驗車輛所排放之 NO_x 平均值，皆顯著小於 MOBILE-TAIWAN 所提供之排放係數(台北縣市、高雄縣市與其他)。
2. 藉由 NO_x-V 趨勢圖比較本研究與 MOBILE-TAIWAN 兩者之差異後發現，NO_x 之動態曲線分別在實驗室與實際道路呈現不同的分布趨勢。
 - (1) 在實驗室取得之排放係數中，當速度落在 V<30 與 V>70 的兩區間內時，MOBILE-TAIWAN 之 NO_x 排放趨勢恰與本實驗結果相反；相對地，在其餘速度區間內時，則兩者變動方向一致，呈現 U 字型分佈。
 - (2) 在道路實驗所取得之排放係數中，無論任何道路類型上之 NO_x 排放，可

能在 V>60 以後開始受到 EGR 之影響，使得其排放係數開始降低，但由於 EGR 作動時機同時受到引擎轉速與負載影響，所以無法完全掌握速度與 NO_x 排放之間的關連性，相對地，在其餘的速度區間內，則兩者變動方向一致，皆呈現 U 字型分布。

3. 藉由道路實驗之 NO_x-V 趨勢圖比較發現，各道路類型在 V<60 之前的 NO_x 排放趨勢，雖然分布趨勢相近，但其彼此之間的排放係數值，則可能受道路類型特性差異而有所不同。

五、建議

由於本研究成果為單一的實驗車輛之分析結果，因此僅能先與 MOBILE-TAIWAN 在汽油小貨車的 NO_x 排放動態曲線加以比對。然而，根據比對結果得知，隨著廢氣控制技術的演進，國內目前所採用的排放推估模式，應可同步針對其排放係數值加以修正，以確保推估模式適用性。同時，也建議修正目前之排放係數分類方式，除了以原有的「區域別」加以區分之外，亦可由「道路類型別」的角度切入，以提高該排放動態曲線(NO_x-V)在運輸部門中，於運輸計畫評估時的使用彈性。

參考文獻

1. <http://www.carreviews.com.tw/?p=123>
(2008/07/13)。
2. 邱先文，”降低柴油機有害排放 NOx 之廢氣再循環技術[J]”，拖拉機與農用運輸車，第四期，第 11~13 頁 (2001)。
3. 國立中興大學機械工程學系，”低氮氧化物柴油車技術測試評估及推廣使用期末報告”，行政院環境保護署 (2001)。
4. 李娜，張強，房克信等，”EGR 在柴油機中的研究應用[J]”，車用發動機，第二期，第 23~26 頁 (2002)。
5. Yao Chunde, Jing Zhangchao, Fu Xiaoguang & Liu Wensheng, “Effects of Cooled EGR on NOx Emission and Performances of Gasoline Engine.”, Tianjin University Automotive Engineering, Vol.25, No.6, (2003).
6. 國家永續發展之城際運輸需求模式研究 (3/4)，交通部運輸研究所 (2006)。
7. 中鼎公司，”MOBILE-Taiwan 推估模式” (1989)。
8. 溫蓓章等，”能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究(1/2)”，交通部運輸研究所 (2007)。
9. 溫蓓章等，”能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究(2/2)”，交通部運輸研究所 (2008)。
10. 中華汽車股份有限公司，(2006)。