

實車動態行駛之能源消耗與排放研究

作者：陳佳良、高祥富、江岳翰、莊志偉

摘要

一般為能標準化量測作業，並有效控制各項參數，汽車排放檢測均是在底盤動力計上模擬道路行駛狀況下進行。同時也忽略許多實際存在的問題，例如即時交通阻塞、氣候變化等情況的模擬就非常困難，研究車輛在實際道路上行駛中的排放需求增加，車載型之取樣分析設備日益重要。

本研究所使用之 HORIBA OBS-2200 車載型污染分析取樣設備，可以對行駛車輛中的 CO、CO₂、THC、NO_x 以及 A/F 進行連續取樣，並與衛星定位系統(GPS) 以及溫度、溼度、大氣壓力等環境條件聯繫在一起，從而得到車輛在實際道路上行駛時的排放真實數據；其中包含車速、道路型態與排放關係、交通狀況影響及電子收費 (ETC) 對於車輛排放與燃油經濟性之關聯性。最後並將實際道路行駛狀態轉換成實驗室特定型態進行車輛排放、燃油經濟性測試，透過其研究結果，可以比較實際道路與實驗室兩者之間由於交通狀況、氣候環境所造成的影響差異。

關鍵詞：on-board system(OBS)車載系統、on-board diagnostic(OBD)車上診斷系統

一、前言

關於車輛之能源消耗、車輛排放特性參數之蒐集與調查，一般是在於實驗室裡，利用底盤動力計及污染分析取樣設備，進行行車型態排放量測。這種方法不但已經行之有年，也是各國法規測試所使用之方式。

車輛於實驗室進行測試的優點是：環境情況容易控制，測試結果具有公正性；但其缺點是：無法真正顯示實際環境下，車輛的引擎排放及燃油消耗，因為在實驗室中以特定的「行車型態」來模擬道路行駛狀況，其實無法真正反應現實環境中的交通阻塞、氣候變化等情況。實驗室中所量測到的車輛排放與能源消耗特性參數，無法直接表現出車輛實際行駛中的排放與能

源消耗特性，而需要經過許多步驟的修正與調校，才能用以推估實際行使過程中的車輛排放與能源消耗狀況。

過去這種方式，主要是受到儀器的限制，因此即使有實際道路量測行車狀況下車輛排放之構想，卻始終無法達成。而目前，隨著科技日新月異，這樣的限制逐漸被打破。目前已經有些車載量測設備，可以在車輛行駛過程中，以瞬時同步方式紀錄下車輛排放與能源消耗、引擎轉速與車輛速度等引擎參數特性；以及配合對應的車外環境與地理空間資料等。其資料可進一步與交通資料庫相結合，取得對應的交通設施參數，甚至是車流參數。而整組資料，可用以分析真實交通環境下，行駛中之車輛排放與能源消耗等特性。

而在實際道路上，不同道路類型可能因為路面寬度、道路型態、號誌管制、速度限制等等，影響車輛的行駛狀況，進而影響車輛排放及燃油消耗。為此，本研究選擇國內 5 種主要道路，包含高速公路 (1)、快速道路 (1)、省道 (2) 及縣道 (1) 等不同道路類型，進行測試及資料之收集與研究。比較交通狀況影響、電子收費 (ETC) 及實驗室與實際道路比較，作為不同實驗設計，期望能了解各項參數對於車輛排放及能源消耗關係。

二、研究方法

1. 實驗設備

在能源消耗、車輛排放特性參數之蒐集與調查上，本研究採用車載取樣分析設備 HORIBA OBS-2200，搭配中華 Space Gear 2.4 實驗車輛，組成本研究之調查設備。

HORIBA OBS-2200 車載型污染分析取樣設備具有體積小、功率消耗低，亦採用了耐振動機構，完全可以滿足安裝在車輛上的測試要求，實車搭載設備實

例請參見圖 1。它可以對行駛車輛中的 CO、CO₂、THC、NO_x 以及 A/F 進行連續取樣，並與衛星定位系統(GPS)以及溫度、溼度、大氣壓力等環境條件聯繫在一起，從而得到車輛在實際道路上行駛時的排放真實數據；系統運作概念如圖 2。本設備具有高度的穩定性及精確度，並且符合美國環保署 (EPA) 排放測試法規要求。



圖 1 HORIBA OBS-2200 系統實車搭載

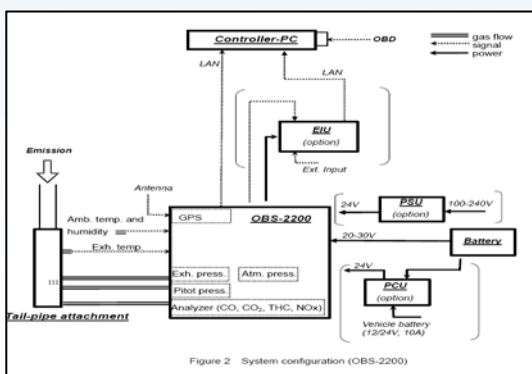


圖 2 OBS-2200 系統運作概念
(資料來源: HORIBA-2200 設備規格)

在實驗室測試執行方面，於車輛研究測試中心之環保能源實驗室，執行各項參數對車輛排放、燃油經濟性影響之測試。實驗採用的車輛為；ALL NEW SPACE GEAR SHORT 之 EXCEED 短車身、2WD、W811U、7 人座。實車詳細規格如下表 1。

表 1 試驗車輛規格表

	項目	車輛規格
1	廠牌	中華
2	車型	Space Gar 2.4L A4 5D
3	引擎型式	直列四汽缸
4	車輛重量 (kg)	2150
5	排氣量 (c.c.)	2350
6	最大馬力 (ps/rpm)	132/5500

7	最大扭力 (kgm/rpm)	19.6/2500
8	燃料系統	直接噴射系統
9	壓縮比	9.5
10	缸徑/衝程 (mm/mm)	86.5/100
11	輪胎尺寸	215/60R16
12	油箱容量 (liter)	66
13	污染排放控制系統	PCV、觸媒轉化器
14	污染排放標準	符合台灣三期排放標準

2. 實驗結果

(1) 交通狀況對於車輛排放、燃油消耗影響

將車輛排放、燃油消耗狀況、車輛行車狀況 (加速、減速、惰轉) 及引擎參數變化等記錄之數據加以分析，可統計出該道路路線之車輛行車動態變化，分析出不同交通狀況對於排放及燃油消耗之關聯性，用以聯結道路交通及車輛行車狀況對於排放及燃油消耗相互間之關聯影響。

本研究將全長 20.6 公里之縣道 (起自車輛研究測試中心，迄至彰化交流道) 分割成 10 個區間，每一個區間為 2.1 公里，計算每 2.1 公里的 CO、HC、NO_x 排放及燃油消耗，將可由各區間之直方圖，比較出在此縣道上不同區間的車輛排放，如圖 3。由研究結果顯示，開始測試的前 2.1 公里因為車輛其引擎尚未達到正常工作溫度，仍屬於冷車狀態，所以污染排放高於其他區間，而 8.3 至 10.3 公里的 CO、HC 排放總和及燃油消耗也高於其他區間。

利用 OBS-2200 所記錄的 GPS 資料，我們可將車輛排放與車輛位置座標連結，如圖 4。地圖上的每一個圓圈代表每 30 秒的平均排放量(g/s)，圓圈的半徑越大，代表 30 秒平均排放量越高，由圖可看出：車輛剛起動出發，由於處於冷車狀態，CO、HC 及 NO_x 排放偏高，圓圈半徑比較大；而再由長條圖得知 8.3 至 10.3 公里的 CO、HC 排放總和較高，對照電子地圖，8.3 至 10.3 公里為鹿港鎮市區，此地區的 CO、HC 平均排放量明顯高於其他地方，且由於車行速度不高許多圓圈重疊，因此在固定里程內 (2 公里) 排放總和較高。

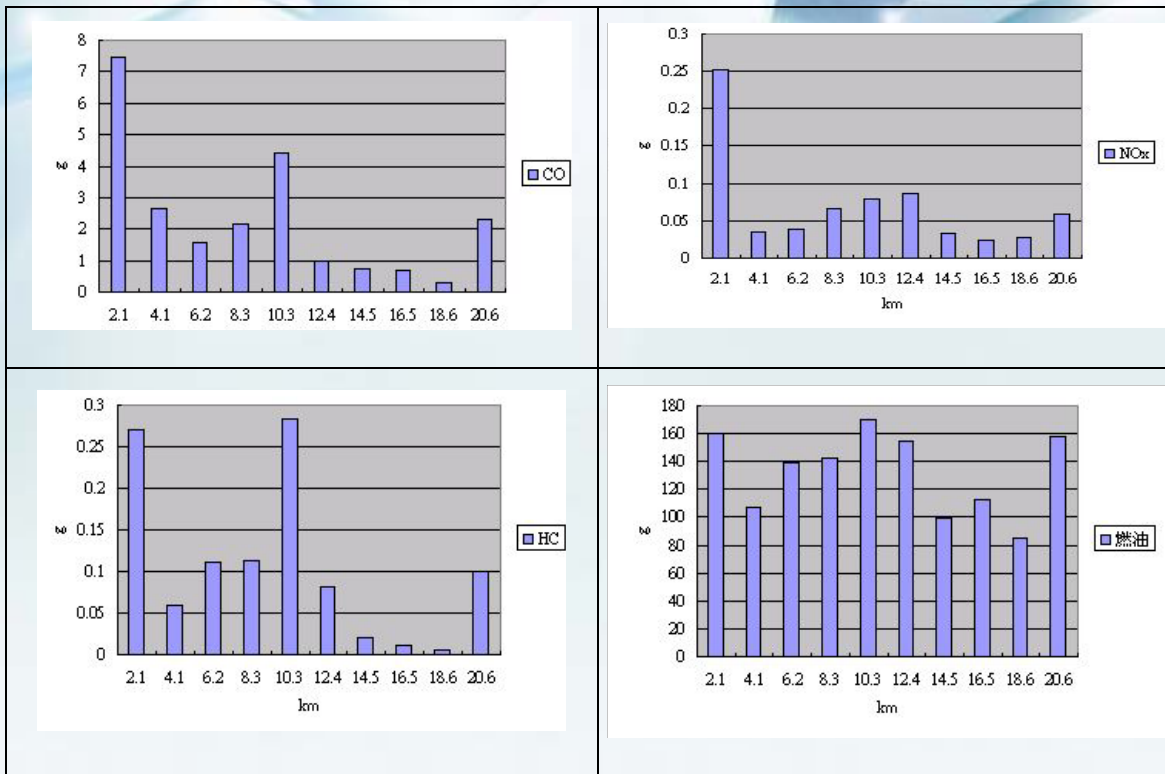


圖 3 縣道下不同區間之車輛排放、燃油消耗變化

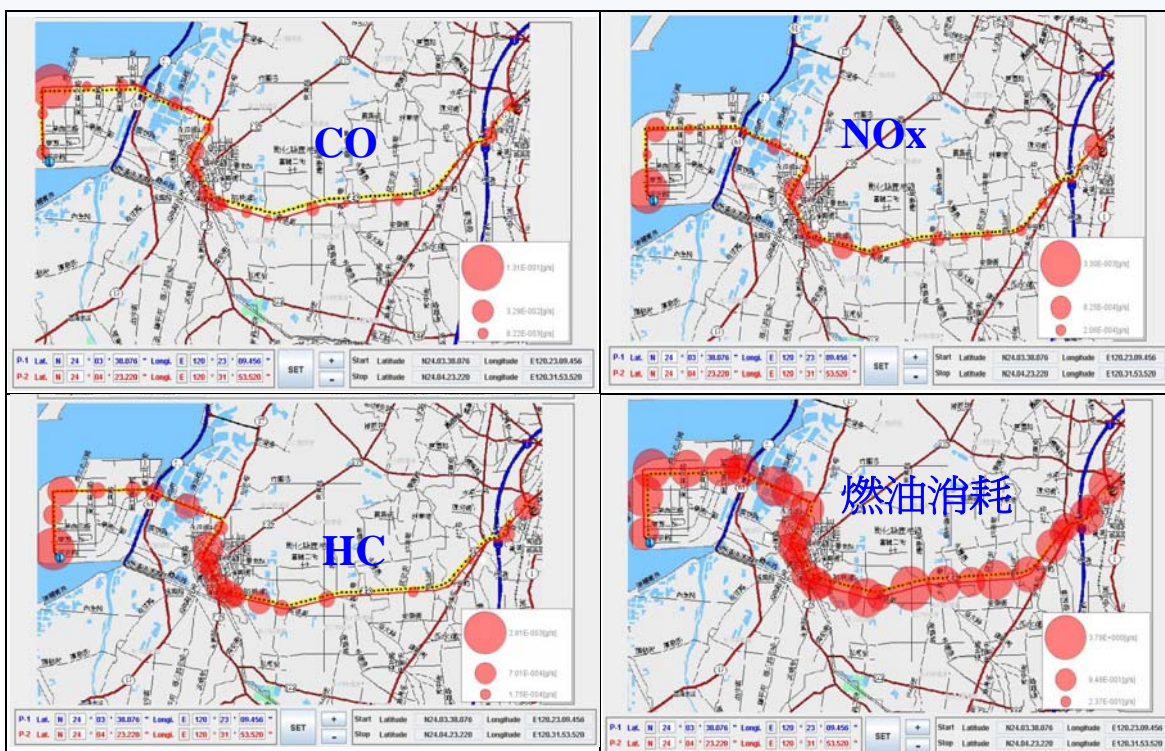


圖 4 結合電子地圖之車輛瞬時排放、燃油消耗變化

(2) ETC 電子收費影響

我國自民國九十五年二月起，在原本的人工收費站增設 ETC 電子收費，為了解車輛通過人工

及電子收費時車輛排放是否有差異，在通過部分收費站時以 ETC 電子收費的方式過站，並記錄車輛排放狀況。由於通過收費站只是整個行駛過程的一小部份，並且佔比不大，其對於整個高速公

路行駛狀態與污染排放影響不大，所以必須針對收費站進站前後之污染排放狀況分出來檢視，因此以通過收費站速度最低的時間點為基準，將前一分鐘及後一分鐘的測試資料區分出來。

其中最大的差異是通過收費站的速度，通過人工收費站的速度，都低於 15 km/h 以下，而通過 ETC 電子收費站的速度則較高，速度都 23 km/h 以上，且集中於 40 km/h 上下，如圖 5。

而進站速度與進站前 1 分鐘及進站後 1 分鐘各污染排放總重量並無密切關係，唯有 CO 的排

放量，由於通過人工收費站後，從較低速度加速行進，通過收費站 200 公尺所排放的總重量，較通過 ETC 電子收費站來的高。

至於燃油消耗的差異，分析進站前後一分鐘之平均速度與燃油經濟性，可發現平均速度比較低者，其燃油經濟性也隨之降低，人工收費及電子收費皆有此現象，顯見平均速度為影響燃油經濟性重要的因子之一。

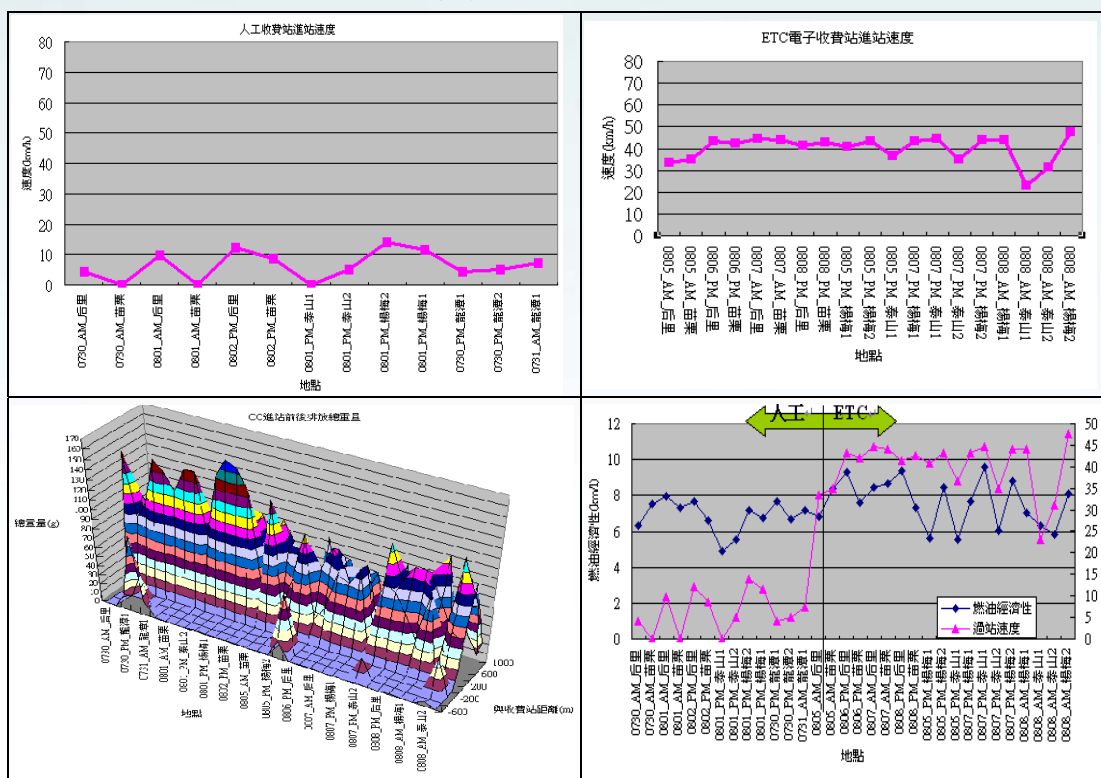


圖 5 進收費站前、後車輛排放與燃油經濟性之變化

(3) 坡道影響

一般實驗室執行行車型態污染測試皆假設車輛是在零坡度的狀況下行駛，即平坦之道路，在此假設下可以得到路面阻力函數 $F=A+CV^2$ ，其中 A 為車輛靜摩擦力， C 為車輛所受之空氣阻力的係數，空氣阻力與速度成二次曲線關係。若車輛在坡度上行駛，除了要對抗上述兩種阻力外，自身的重量因為坡度的變化對於車行產生阻力，其阻力函數為 $F=m*g*\sin(\theta)$ ， θ 為坡度，坡度越陡，

所受的阻力越大。

為了解坡度變化對於車輛污染及油耗的影響，在動力計設定車行阻力為 $F= A+m*g*\sin(\theta)+CV^2$ ，並選定一固定之行車型態進行行車型特污染油耗測試，共進行 0%、2%、3%及 4%四種不同角度之測試。坡度增加車輛所受的阻力增加，對駕駛者而言，若要跟上規定的速度曲線，油門開度必須增加，燃油增加的情況下造成 CO 及 CO₂ 的排放增加，燃油經濟性降低，坡度

與燃油經濟性成二次曲線關係，也因為坡度的影響使 CO 的排放在 3%坡後急速增加。HC 也有相同的情況，惟增加幅度不如 CO 來的大，NOx 則是呈現相反趨勢，較濃的油氣抑制了 NOx 的生成。如圖 6。

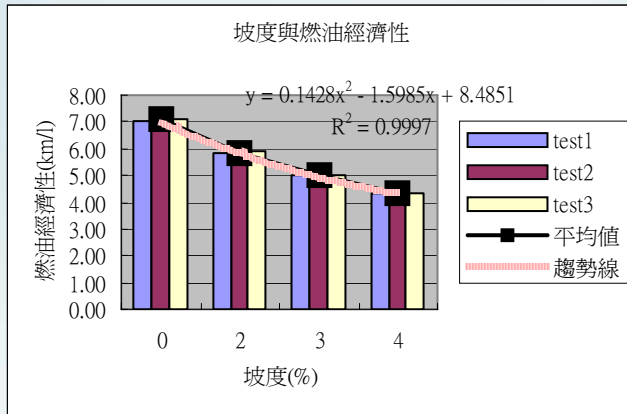


圖 6 坡度變化與燃油經濟性

(4) 實車與實驗室差異

進行實車道路測試時，車輛行駛速度逐秒紀錄下來以了解車行狀況與排放的關係，而為了解實車道路測試與在實驗室測試有何差異，將實車道路測試所紀錄的速度變化，還原至實驗室的駕駛輔助器，使車輛可以在實驗室進行相同速度變化的行駛，並利用實驗室的儀器設備進行污染物採樣分析；但實驗室受制於每組採樣袋只能收集 15 分鐘的測試樣本，無法將整個實車道路測試於實驗室還原測試，因此，在每種道路型態的測試資料中，挑選最具代表性的速度變化，最長 15 分鐘，設定於實驗室駕駛輔助器中，成為測試行車型態。實驗室測試結果直接由採樣袋的濃度、混合氣的體積及行駛里程計算排放係數 (g/km)，實際道路測試則是由各污染物的排放量 (g/s) 積分得總排放重量，再除以總里程而得。

(a) 有無開空調頭燈差異

實車實際道路測試時，為維持 OBS-2200 儀器環境溫度，皆使用車上空調，但一般在實驗室執行法規測試是不開空調來執行，為了解空調的使用對於車輛污染的影響，以開空調的設定下，

執行 EU 及 FTP 法規測試，測試條件除了於測試時使用車上空調外，其他設定包括車重、動力計阻力設定及靜置時間等都與法規測試相同。由測試結果得知，加開空調及頭燈之後，EU 測試 CO 及 HC 排放量明顯增加，NOx 則無明顯增加。在低速的市區型態，雖然開空調進行測試，但 CO 的排放狀況與無開空調的情況並無明顯差異；但在速度較高的非市區型態，在加速度與等速度的轉折處，開空調的狀況下，CO 的排放量會突然增加，HC 排放也有類似之情況，在非市區的行車型態，加速度與等速度的轉折處，開空調的狀況下，HC 排放高於無空調的情況，但增加幅度不如 CO 的排放量來的大。而 NOx 則是呈現相反的趨勢，在非市區的行車型態，加速度與等速度的轉折處，無開空調的情況下排放量反而高於有開空調的狀態。如圖 7。

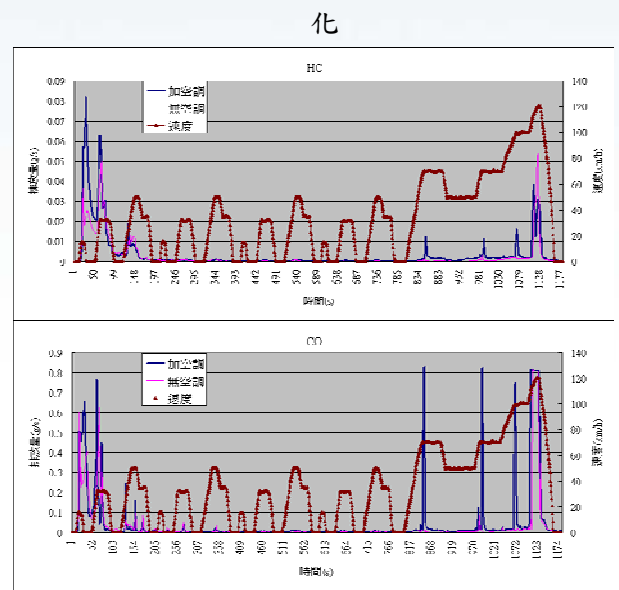


圖 7 開空調之車輛排放變化

FTP 的測試與 EU 不同的是市區與非市區的行車型態測試是分開進行，測試完成後皆可以得到獨立的排放係數 (g/km)。在市區行車型態部分，有無開空調及頭燈對於污染物的排放因子影響不大，而非市區行車型態也是影響不大。由於 FTP 的非市區行車型態最高速度低於 EU 之行車型態，加速度也不若 EU 之行車型態來的高，引擎負荷較低，即使開空調及頭燈的狀態下，仍足

以應付型態的速度變化，不會有降檔的情況產生，自然污染不會突然升高。

燃油經濟性方面，比較開空調與頭燈及無開空調與頭燈的測試結果，加開空調與頭燈後，無論 FTP 市區及非市區或 EU 市區及非市區的測試結果，燃油經濟性皆降低。

(b) 法規行車型態測試

比較 FTP、EU、台北、台中及高雄(三個都會區行車型態由環保署 2003 委託道成公司所作)代表行車型態的污染測試值。

分析結果得知，國內三大都會區代表行車型態測試結果，HC、CO 及 NO_x 的每公里排放克數皆大於目前法規測試 FTP 及 EU 的測試結果，尤其又以 HC 及 CO 的差異最大。探討其原因為，為了減少 CO 及 HC 的排放目前所有車輛都加裝觸媒轉化器，迫使燃燒不完全而產生的 CO 及 HC 再氧化成 CO₂ 及 H₂O，但觸媒轉化器須達到一定的工作溫度其轉化效率才會達到最大值，假如在車輛冷車期間甚至發動瞬間就急拉引擎轉速，因此時觸媒並未達到工作溫度，大量的 CO 及 HC 由引擎排出，通過觸媒無氧化反應便直接排出，造成污染。EU 及 FTP 法規行車型態在引擎發動之初先有超過 10 秒以上的情轉狀態，雖然觸媒無法立即將 CO 及 HC 氧化成 CO₂ 及 H₂O，但此時的引擎情轉轉速低，排出的量也較低，而當廢氣的高溫逐漸提升觸媒的溫度，經過一段時間情轉後，觸媒的轉化效率上升，可處理較多的 CO 及 HC，直到達到工作溫度後，轉化效率達到最高。反觀國內三個代表行車型態，發動後幾乎無情轉便急拉引擎轉速加速車輛，造成大量無法處理的 CO 及 HC 排出。

另外，前 300 秒的污染排放已佔整各型態污染排放的 80%以上，國內三種行車型態皆較法規行車型態來的高，但整個型態的行駛里程卻較法規行車型態的里程來的低，這也是造成國內三種行車型態的測試結果各污染物排放係數(g/km)較

高的原因。

另探討其油耗方面，型態平均速度比較快的 FTP 市區行車型態，其燃油經濟性(km/l)數值越高，而型態平均速度最慢的 EU 市區行車型態其燃油經濟性(km/l)數值最低，其中台北行車型態燃油經濟性的測試結果約為 FTP 市區測試結果的 78.6%，台中市行車型態約為 83.3%，高雄市行車型態約為 79.1%。

三、結論

1. 利用車載污染量測系統與衛星定位系統及電子地圖相結合，可以獲取車輛在不同道路類型之實際行駛下，其排放及燃油消耗之特性外，如進一步與交通資料庫連結，取得對應的交通設施及車流參數，對於實際車輛排放預估及改善交通措施狀況，為可行之研究方法。
2. 電子收費 ETC 與人工收費最大差異在於車速的影響，車輛平均速度比較低者，其燃油經濟性也隨之降低，平均速度為影響燃油經濟性重要的因子之一。研究顯示使用 ETC 電子收費在過站時，車速較人工收費來的高，故燃油的經濟性也較佳；另一部分則是 CO 污染的差異，主要原因為人工收費的車速較低，在通過收費站後要回到高速公路的速限時，低車速之車輛勢必得踩下較多的油門來將車速提高至高速公路的速限，此部分除了影響燃油消耗外，也對 CO 的污染大為增加。
3. 坡度增加車輛所受的阻力增加，對駕駛者而言，油門開度必須增加，燃油增加的情況下造成 CO 及 CO₂ 的排放增加，燃油經濟性降低，同時因為坡度的影響使 CO 的排放在 3%坡後急速增加。
4. 實際道路測試與實驗室測試結果，仍以 CO 污染值的部分差異最大，判斷原因應為實車在實際道路上，由於地形地物的改變，道路或多或少會有坡度變化，而在實驗室執行測試時，由於動力計的限制，大都是假設車輛在坡度為零的平面道路

行駛，當車輛在爬坡時，污染排放變得較為複雜，若車輛自動降檔會使 CO 的排放增加，但在實驗室卻無法重現這樣的現象，造成兩者差異大，而 HC 及 NO_x 則無顯著差異。

5. 在燃油經濟性方面，實際道路測試結果皆小於實驗室的測試結果，由於車輛於實際道路上行駛，道路狀況造成駕駛人員無預期加、減速度變化與外在環境影響（交通號誌、路口、車流、天候等）皆會影響到測試結果。不過研究結果亦顯示行車型態平均速度越快，實驗室與實車道路測試的結果越相近。
6. 加開空調及頭燈之後，EU 測試 CO 及 HC 排放量明顯增加，NO_x 則無明顯增加。FTP 測試，在市區行車型態部分，有無開空調及頭燈對於污染物的排放因子影響不大，而非市區行車型態也是影響不大。至於油耗方面，FTP 測試結果，加開空調及頭燈後平均油耗降低 12.12%，EU 測試則降低 12.25%。
7. 法規行車型態測試與國內三大都會區代表行車型態的測試結果，國內三大都會區的測試污染值皆比法規測試的污染值高，其原因除了一開始觸媒未達工作溫度前的廢氣排放外，另一部分就是法規測試的里程較國內三大都會區的里程長，在各污染物排放係數(g/km)部份，法規因里程長（分母值大）的關係，污染值相對的就較國內三大都會區為低了。

四、參考文獻

1. April 2004 Evaluation of the California Enhanced Vehicle Inspection and Maintenance (Smog Check) Program, Report to the Legislature, submitted by Air Resources Board and Department of Consumer Affairs/Bureau of Automotive Repair, September 2005.
2. Barth et al. (2005), Development of a Heavy-Duty Diesel Model Emissions and Fuel Consumption Model, paper UCB/ITS/PRR/2005/1, University Of California, Berkeley.
3. Barth, Matthew J and Norbeck, Joseph M (1996), Transportation Modeling for the Environment: Final Report, California PATH Research Report: UCB-ITS-PRR-96-6.P.H. Smith, "The Scientific Design of Exhaust and Intake Systems," C. Eng., M.I. Mech E., M.S.A.E (1971),
4. Boulter et al. (2006), OSCAR : On-board emission measurements in Central London, TRL Report: UPR/IE/034/06.
5. Eva Ericsson, Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors, Transportation Research Part D 6 (2001)。
6. Harry C.Watson, Effects of a Wide Range of Drive Cycles on the Emissions from Vehicles of Three Levels of Technology, SAE paper 950221。
7. Hung, W.T. and Tong, H.Y. (2000), Review of vehicle emissions and fuel consumption modeling approaches at signalized road network, Proceedings of the 5th Meeting of Hong Kong society for Transportation Studies, 2 December 2000, Hong Kong, pp234-239.
8. Michel Andre, Driving Cycles for Emission Measurements Under European Conditions, SAE paper 950926。
9. Nam, Edward K. et al. (2002), A Comparison of Real-World and Modeled Emission Under Conditions of Variable Driver Aggressiveness, the 82rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2003.
10. 交通部運輸研究所，能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(1/3)。
11. 車輛耗能效率提升研究計畫，經濟部能源委員會委託辦理，財團法人工業技術研究院，2001、2002。
12. 楊延相、蔡曉林、杜青、劉昌文、劉杰、金中國，“實際道路上的車輛尾氣排放因子和燃油消耗的研究”，燃燒科學與技術，第九卷，第二期，天津

大學內燃機研究所，天津市(2003)。

13. 馬志雄、李孟良、朱西廣、張富興，“乘用車實際行駛工況開發方法的研究”，武漢理工大學學報，第二十六卷，第三期，武漢理工大學汽車工學院、中國汽車技術研究中心，武漢市(2004)。
14. 呂林、鎖國濤，“不同路況下汽車行駛工況的測試與分析”，武漢理工大學學報，第三十卷，第五期，武漢理工大學能源與動力工程學院，武漢市(2006)。
15. 戴村供、黃鍵，“實際路面狀況下的汽車排放測量新方法”，汽車與工程機械，第六期，福建農林大學，福建省(2006)。

