

市區公車駕駛行為對油耗影響分析與應用

林克衛¹、莊志偉²

^{1,2}財團法人車輛研究測試中心(副工程師)

E-mail: linkewei@artc.org.tw

能源局計畫編號:100-D0406

摘要

由於車輛油耗與溫室氣體排放議題越來越受到關注，而運輸部門中柴油車輛所佔的能源消耗又屬大宗，所以推動柴油車輛的節能具有立竿見影的成效。而在各項車輛節能的研發中，駕駛行為是影響車輛耗能重要的因素之一。因此本研究以市區公車為對象，利用車載診斷系統(On Board Diagnostics, OBD)所輸出參數取得即時油耗、速度、轉速等資料後進行駕駛行為對於車輛油耗的影響分析。除此之外，多數使用中的柴油車輛並不具有 OBDII 的功能，因此無法了解車輛油耗的情況。本研究透過擷取所獲得的數據，試著透過建立車輛速度、引擎轉速與油耗的關係模型，並進行驗證。期望未來可以使用透過模型建立的方式應用於不同車輛上。而本研究獲得結論如下：(1) 本研究發現，車輛在低速時轉速超過檔位既有之轉速時對於油耗影響最重大，每高出經濟轉速(1200rpm左右)100rpm，則油耗最高增加59%以上。其次是急加速的影響，平均加速度每增加5%時，則油耗增加約3.7%的油耗量。(2) 車輛怠速是影響市區公車油耗的另一個主要因素之一，怠速時的油耗約0.74g/s，約等於3.15L/hr的油耗量。(3) 由本實驗車輛所蒐集的車輛速度、轉速與油耗的關係後建立的油耗預估模型，透過不同旅次的預估與實驗值驗證後，最大誤差約5.43%，而最小誤差約0.55%。

關鍵詞：駕駛行為(Driving behavior)、車載診斷系統(OBD)、油耗(Fuel consumption)

1. 前言

因應全球暖化日益嚴重，政府倡導針對各部門進行宣導與推動各項節能措施。而在運輸部門中，運輸工具對能源的消耗亦占極大的比例，其中，公路運輸尤為嚴重，在公路運輸中，大客車為隨處可見的大眾運輸工具，多屬長時間使用之營業車輛且行駛里程較長，因此對於大客車能源損耗與污染排放之影響是令人關注的重要對象。但過去對於影響大客車能源消耗與污染排放之重要因子的駕駛行為卻鮮少研究，是故本研究以市區公車為研究對象，針對駕駛行為對於油耗影響之議題進行探討。

近年來各國政府均積極調整國家相關之節能政策，而政策之修正方向主要可區分為兩大類：第一類為鼓勵替代能源車輛之開發與使用：例如，補助客運業者購買油電混合大客車；另一類則為降低行駛在道路上車

輛之能源損耗與空氣污染，如積極汰換老舊車輛、提倡節能駕駛觀念。在美國福特汽車公司透過「eco-driving」駕駛訓練，達到節省燃油之目的，之後德國、英國及日本國家車廠紛紛透過 eco-driving 駕駛訓練或環保訓練課程(eco-training)達到節能與減碳的雙重環保效果。大型車節能駕駛對國家與社會之整體層面而言，除可節省能源，亦可降低空氣污染。另一方面，近年油價高漲，汽車運輸業者對於如何節省燃油成本均十分重視，透過節能駕駛訓練可大幅降低油耗成本，並減少車輛零件之損耗，因此許多客運公司或貨運公司都設計「節油獎金」，鼓勵駕駛員儘量避免怠速、超速、及急加速與急減速等較易耗油之行為發生。

由於柴油引擎熱效率高、省油、且燃料成本低、可靠性及耐用性高、高動力/重量比等優點，是海陸運輸之主要動力來源，使得柴油車的應用範圍日漸增加，尤其是行駛里程較長的公共汽車及大型貨車、卡車都是使用柴油引擎。柴油車的數量占機動車輛總數約3%的比例不高，但由於多屬長時間使用之職業用車輛，因此對於能源損耗與空氣污染之影響亦不容小覷。更鑑於此，本研究針對「市區公車」為研究對象，希望透過車輛引擎轉速與車輛速度對於油耗的影響差異，供作節能駕駛推廣與普羅大眾參考，進而勵行節能駕駛提升車輛能源使用效率，並減少溫室氣體排放進一份心力。

1.1 文獻回顧

在歐美，針對駕駛行為影響油耗的研究已行之多年，主要是比較受過節能駕駛訓練後對於車輛油耗的差異。在本研究列舉部分文獻如下：

Evans(1979)研究顯示駕駛者減少加速度的程度，以溫和的方式駕駛並儘量減少急停的次數，假設旅行時間的不變狀況下，節省約14%的油料消耗。

Waters & Laker(1980)以實車實驗駕駛習慣對油耗之影響，結果顯示較溫和的駕駛行為更具減少15%油耗的效果。

Hooker(1988)研究何種因素影響油耗進而研究何種駕駛型態可以最經濟省能，結果顯示換檔時機、行駛速度、急加速為顯著影響之因素，並提出駕駛者將檔位由低速檔轉換至高速檔的時間減少、在引擎經濟轉速下行駛、避免急踩油門或煞車對於節省不必要之油耗皆更顯著貢獻。

Ang & Fwa (1989) 研究中指出，影響大眾運輸客

運車輛的油耗因素分別為車輛特徵、車輛使用率與路線特徵、駕駛行為以及道路環境等因素，而車輛特徵包含車輛廠牌、年份以及汽缸大小等；路線特徵包含旅客承載數、行駛速率、號誌停等數以及道路狀況等。

蔡宗憲(2008)擷取數位行車紀錄器的動態行車資料。研究結果顯示低速時的煞車行為、高速時加速與剎車均會對燃油經濟性造成影響。

Barth, M. & Boriboonsomsin, K. (2009) 研究中以實車模擬方式及即時監控技術來進行污染排放及油耗減量效果之分析，結果發現透過節能駕駛(eco-driving)後，至少可以減少 10%~20% 的污染排放量及油耗。

林彥志(2009)，應用國內客運業者資料分析指出：受過 eco driving 課程的駕駛者，可透過駕駛習慣的改變進而節省 10%~15% 的能源消耗。

張慈芸(2010)，藉由文獻彙整理出影響車輛污染排放及耗能之因子與產、官、學界之訪談，結果得知，政策法令、駕駛個性、駕駛教育訓練、車流特性、道路幾何特性及車輛設計與性能為大客車污染排放及耗能之關鍵影響因子。

2. 實驗設計

本實驗選擇路段為台北市區客運公車，路線涵蓋新北市道路與台北市區道路，其中包括公車專用道。實驗車輛為符合歐盟環保四期法規重型柴油引擎車輛，其規格如下表 1：

表 1 實驗車輛引擎規格表

行駛路線	路線
廠牌	大宇
車型	BS120CN
出廠年份	2009
排氣量 (c.c.)	7640
車重 (公噸)	16.09
最大馬力 (hp/rpm)	296hp/2200rpm
最大扭力 (kg-m/rpm)	115kg-m/1200rpm
污染排放控制系統	SCR
污染排放標準	4 期
雙向平均站距 (km/站)	0.41

車輛在行駛時，主要可區分為四種行駛型態，分別為怠速、巡航、加速與減速。欲從行車記錄器上萬筆的資料中正確搜取出車輛行駛時的型態，須針對行駛型態作出明確的定義。因此，主要參考北卡羅來納州立大學的研究報告 (Methodology For Developing Modal Emission Rates For EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission Systems, EPA420-R-02-027, August 31, 2002)，針對車輛行駛型態採用之定義如下。

1. 怠速狀態：速度與加速度皆等於零的狀態。
2. 加速狀態：速度與加速度皆大於零，且符合下面二者之一。

- (1) 每秒加速度的值應該至少超過 2 公里/小時/秒。
- (2) 加速度不小於 1 公里/小時/秒，且持續 3 秒以上，亦可視為加速行駛狀態。

3. 減速狀態：速度與加速度皆小於零，且符合下面二者之一。

- (1) 每秒加速度的值應該至少小於 -2 公里/小時/秒。
- (2) 加速度小於 -1 公里/小時/秒，且持續 3 秒以上，亦可視為減速行駛狀態。

4. 巡航狀態：所有不屬於怠速、加速、減速 3 種狀態的情況。

2.1 量測設備

仿照國外研究採取車輛 ECM (engine control module) 資料，進行車輛油耗分析的作法，於大客車實驗時，利用 OBD 介面擷取車上電腦(ECU)之各項參數輸出，以探討建構模式的可能作法。運用本中心所開發的一套 OBD II 轉換 RS232 擷取系統架構，如下圖 1，擷取到實驗大客車現有可取得之所有 OBD 參數項目。目前實驗大客車可擷取的 OBD 參數總共有 10 個，其中包含時間、車速與引擎轉速等資料外，其中三個能耗相關參數，分別為「燃料消耗率」(Fuel Rate)、「引擎負載」(Engine Loading) 以及「燃油經濟」(Fuel Economic) 等等，主要參數如下表 2。

表 2 OBD II 擷取之車輛參數

擷取資料名稱	J1939 code	精度
FuelDeliveryPressure	SPN 94	4 kPa/bit
EngineLoading	SPN 92	1 %/bit
EngineTorque	SPN 513	1 %/bit
RPM	SPN 190	0.125 rpm/bit
Speed	SPN 1624	1/256 km/h per bit
FuelRate	SPN 183	0.05 L/h per bit
FuelEconomic	SPN 184	1/512 km/L per bit



資料來源：車輛中心 OBDII 簡報資料

圖 1 OBD II 轉換 RS232 資料擷取模組架構
由車輛 OBDII 取得之車輛資訊設定為每秒 5 筆資料。

3. 資料分析

本研究利用 OBD 擷取車輛動態資訊為每秒 5 筆，取得一固定車輛旅程內實驗數據後再進行數據分析，總筆數為 23710 筆。透過平均方式，將實驗資料減少為每秒一筆數據，再進行資料分析。本研究配合車輛運行里程進行數據量測，總里程為 34 公里，分析的總數據秒

數為 9339 秒，得到此旅程之車輛行車型態如下圖 2。

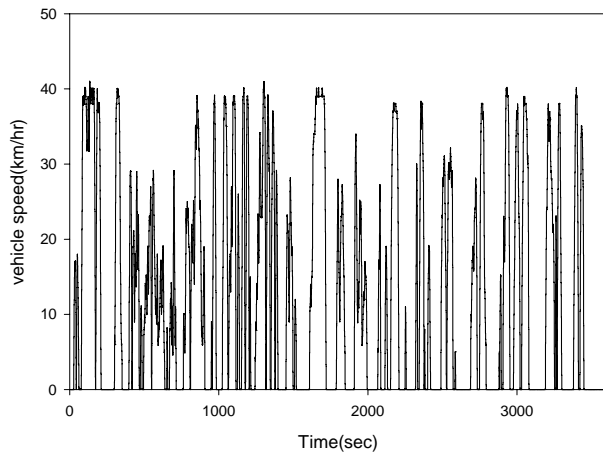


圖 2 市區公車行車型態 (局部)

下表 3 為本研究之市區公車行車資訊，由表中可以看出市區公車路線離峰時段的總平均速度約達到每小時 15 公里，比尖峰時段要高約 8%，而平均巡航速度則都超過每小時 32 公里；路線的停等時間比例，約達 38% 以上。平日尖離峰僅能達 10% 左右，就巡航比例來說約為 13%。至於加速與減速時段，約佔總距離比率達 50% 左右。依照實驗數據分析，此研究車輛在怠速時的油耗約 0.74g/s，換算之後約等於每小時 3.15 公升的油耗量。所以就尖峰時間來說，停等時所消耗的燃油約 4.28 公升。

表 3 總行駛里程下各狀態下的比例

行車特性	行車型態	
	尖峰	離峰
總時間 (hr)	3.40	2.93
總行駛時間 (hr)	2.04	2.01
總行駛里程 (km)	45.26	45.26
平均速度*1 (km/h)	13.3	15.4
平均速度*2 (km/h)	22.2	22.5
平均速度*3 (km/h)	32.4	33.0
最大加速度 (km/h-s)	7	6
平均加速度 (km/h-s)	2.37	2.36
最大減速度 (km/h-s)	-9	-10
平均減速度 (km/h-s)	-2.06	-2.16
停等狀態占總時間比例	40.2%	31.4%
巡航狀態占總時間比例	10.0%	11.9%
加速狀態占總時間比例	23.3%	27.3%
減速狀態占總時間比例	26.5%	29.5%
巡航狀態占總距離比例	24.3%	25.4%
加速狀態占總距離比例	32.5%	32.8%
減速狀態占總距離比例	43.2%	41.8%

註：*1 含停等(總里程/總時間)；*2 不含停等(總里程/總行駛時間)；*3 巡航狀態

4. 結果與討論

4.1 車輛加速度與油耗之關係

而除了車輛停等時間會影響車輛油耗外，加減速度對於車輛油耗的影響遠比停等時來的重要。而加減速度的差異亦是影響車輛油耗的重要因素之一。

在不考慮引擎轉速下時，分析車輛加速度與油耗之關係，由下圖 3 可看出車輛在車輛減速階段 ($a < -1.0 \text{ m/s}^2 \sim a = 0 \text{ m/s}^2$) 車輛油耗差異不大，而其油耗值約都維持在 $0.8 \text{ g/s} \sim 1.1 \text{ g/s}$ 左右，略高於車輛在怠速時的 0.74 g/s 。

而當車輛處於加速階段 ($a > 0 \text{ m/s}^2$) 時，油耗值就明顯急遽上升。就最大加速階段時 ($a > 1.2 \text{ m/s}^2$) (約等於 4.3 km/hr/s) 其油耗值為 6.19 g/s ，比車輛加速度介於 $0.4 \sim 0.6 \text{ m/s}^2$ (約等於 2 km/hr/s ，接近於本研究之車輛平均加速度) 下之油耗高出 69.5%，約 3.65 g/s 。經過趨勢分析後，以本研究之平均加速度 2.36 km/hr/s 下之油耗值約 3.844 g/s ，若增加平均加速度 5%， 2.488 km/hr/s ，則油耗值增加為 3.98 g/s ，約增加 3.7% 油耗量。若以該公司每月用油量 170 萬公升計算，則會增加 6.29 萬公升，以柴油價格 28 元計算，則每月增加 176 萬的燃油費用，可見急加速對於車輛油耗的影響如此巨大。

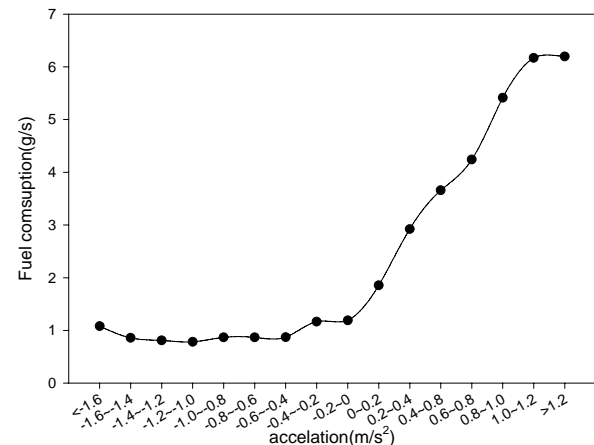


圖 3 車輛加速度對油耗之影響

4.2 車輛速度、轉速與油耗之關係

再分析車輛速度、引擎轉速與油耗之關係，由下圖 4 可看出車輛速度在 $0 \sim 10 \text{ km/hr}$ 時，車輛油耗隨著引擎轉速升高而增加，而當車輛速度愈高時，引擎轉速愈大則油耗呈現陡升趨勢，引擎轉速在 $1300 \sim 1400 \text{ rpm}$ 時，比引擎在經濟轉速區域 $1100 \sim 1200 \text{ rpm}$ 時差異達 28% 以上。

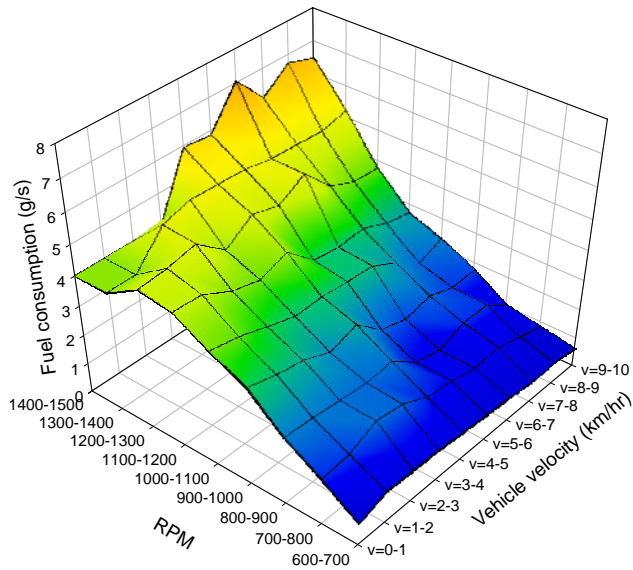


圖 4 車速 0~10km/hr 下之油耗

而由下圖 5 可看出車輛速度在 10~20km/hr 時，車輛油耗隨著引擎轉速升高而增加。而當車輛速度在 10km/hr 附近時，引擎轉速介於 600-800rpm 時，此時車輛呈現高速低轉狀態，顯示車輛應該進檔而未進檔，此時油耗最高差異達到 61%。在經濟轉速區域 1100~1200rpm 下，平均油耗約為 3.59g/s，每增加 100rpm 為 1300rpm 油耗增加約 29%，1400rpm 油耗相對於經濟轉速增加 77%，而當引擎轉速達到 1500rpm 以上則油耗達到 7.531g/s，為經濟轉速的 112%。

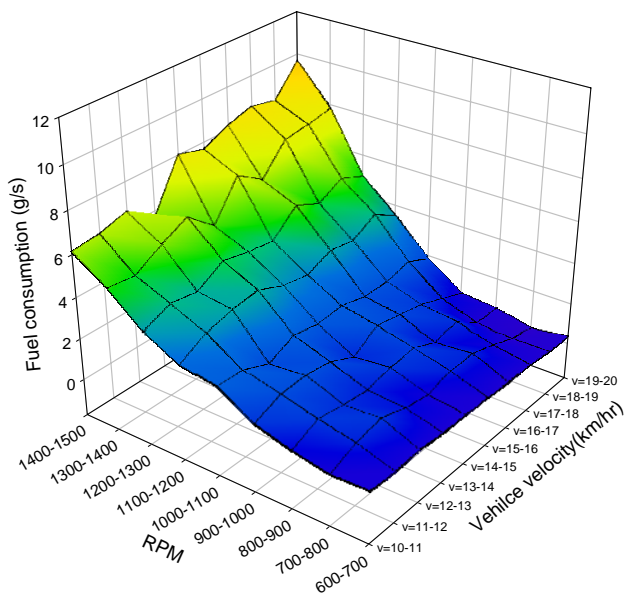


圖 5 車速 10~20km/hr 下之油耗值

而由下圖 6 可看出車輛速度在 20~30km/hr 時，在經濟轉速區域 1100~1200rpm 下，平均油耗約為 3.23g/s，每增加 100rpm 為 1300rpm 油耗增加約 59%，1400rpm 油耗相對於經濟轉速增加 107%，而當引擎轉速達到 1500rpm 以上則油耗達到 8.28g/s，為經濟轉速

的 180%。

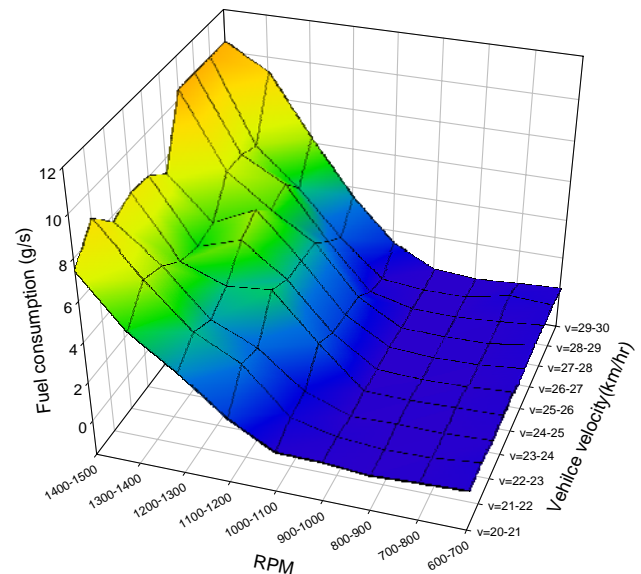


圖 6 車速 20~30km/hr 下之油耗值

而由下圖 7 可看出車輛速度在 30~40km/hr 時，車輛油耗隨著引擎轉速升高而增加。而經濟轉速區域 1100~1200rpm 下，平均油耗約為 1.83g/s，每增加 100rpm 為 1300rpm 平均油耗約增加微 2.355 g/s，達 29%。1400rpm 油耗相對於經濟轉速增加至 3.77g/s，達 106%，而當引擎轉速達到 1500rpm 以上則油耗達到 5.915g/s，為經濟轉速的 223%。而由下圖也可以看出，在經濟轉速區域油耗分布呈現下凹現象，所以車速為 30km/hr~36km/hr 左右，轉速再 1100rpm~1200rpm 是最佳的操作區間，可以提供車輛駕駛作為行車參考。

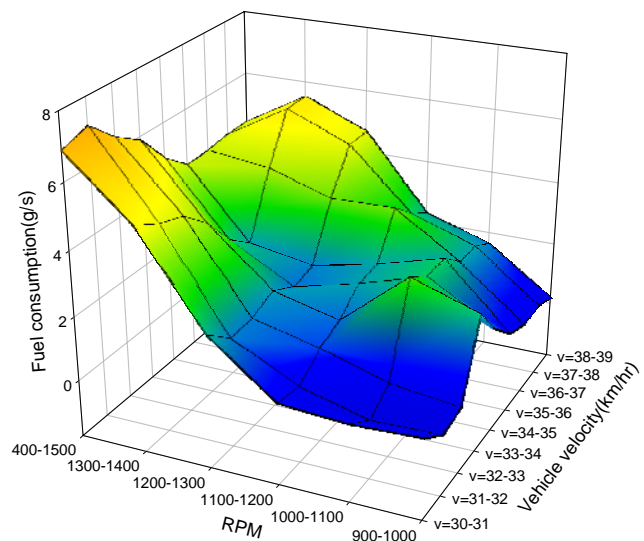


圖 7 車速 30~40km/hr 下之油耗值

4.3 油耗預估模型與應用

四期之前的柴油車輛大部分都不具有 OBD，部分車輛雖具有 OBDII，但仍無法輸出車輛油耗值，只能以傳統方式進行量測，而誤差較大且可能會受加油人員影響較不客觀。現今只有少數車輛可以輸出瞬時油耗與總

油耗，提供使用者或管理者進行油耗管理。而本研究除探討駕駛行為對於油耗的影響外，亦希望透過統計的方式以實驗車輛所取得的車速與引擎轉速的資料庫後，利用統計方式取得車輛油耗對應車輛速度與引擎轉速的關係。

首先篩選不同速度點下的每百轉速的平均油耗，由於台北市區公車的時速限制為40km/hr內，故可以獲得0km/hr到40km/hr下共有40組油耗對應於轉速的方程式。而由於是利用回歸方式建立方程式，除限制 R^2 值皆大於0.95以上外，並限制每各速度點下的油耗值的最大與最小範圍，避免出現不合理的油耗值，再利用Visual C#撰寫預估程式進行不同趟次下的油耗預估。

利用程式進行模擬預估車輛油耗。由下圖8可知，分析5個實測資料與程式預估進行比較，差異最高為第4組實驗值差異為-5.43%，而最低為第2組實驗值，差異為-1.066%。由圖中的結果看來，利用OBD所擷取之實車道路測試的數據進行油耗模型的建立是具有可靠度的。而再進行不同日期下的旅次油耗分析，如下圖9。差異最大的油耗為第一組，相差4.52%，而最接近的油耗數據為第4組，只有0.55%的差異值，其比較之下。由於油耗模型準確度受樣本數的影響很大，所以數據累積是非常重要的要點。

本研究利用OBD的輸出資訊所建立的油耗模型來預估油耗，而未來若可以搭配油耗計，進行油耗與車速極引擎轉速的量測並累積數據，則可建立不具有OBD車輛的油耗模型進而推估同型式的車輛油耗情況。更進一步可以搭配目前車載污染量測系統(PEMS)，進一步建立污染物的模型，則可應用於污染總量的預估應用。

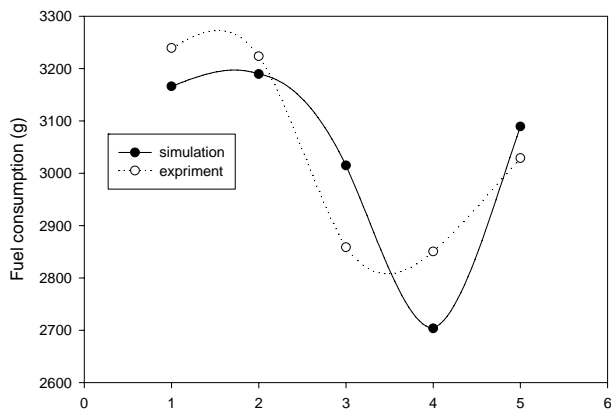


圖 8 油耗實測與預估值(Day 1)

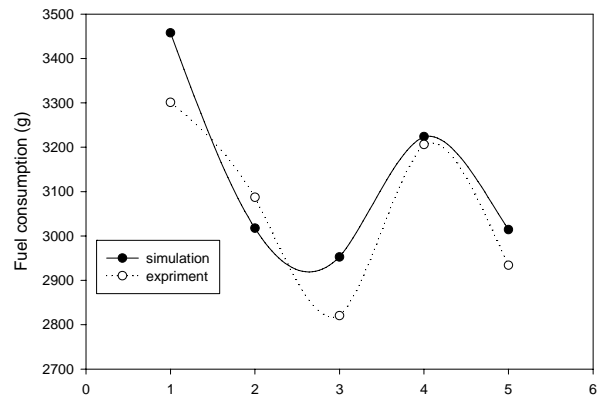


圖 9 油耗實測與預估值(Day 2)

5. 結論

由於車輛油耗與二氧化碳排放議題日益受到重視，因此利用研究駕駛行為對於車輛耗能與污染的研究也日益受到重視。目前，少數四期柴油車輛皆配備有OBDII功能，除可以提供污染控制元件的診斷外，亦可以輸出車輛以及引擎的參數，這些參數是極具參考價值的。本研究利用OBDII輸出之油耗值與車輛的相關參數，透過本研究可以知道以下結論：

- (1) 研究車輛在怠速時的油耗約0.74g/s，換算之後約等於每小時3.15公升的油耗量。所以就尖峰時間來說，停等時所消耗的燃油約4.28公升。
- (2) 最大加速階段時($a > 1.2 \text{ m/s}^2$) (約等於4.3km/hr/s)其油耗值為6.19g/s，比車輛加速度介於0.4~0.6 m/s^2 (約等於2km/hr/s，接近於本研究之車輛平均加速度)下之油耗高出69.5%，約3.65g/s。本研究之平均加速度2.36km/hr/s下之油耗值約3.844g/s，若增加平均加速度5%，2.488km/hr/s，則油耗值增加為3.98g/s，約增加3.7%油耗量。
- (3) 利用道路實測所獲得的數據進行車輛速度與引擎轉速對應油耗的模型建構，並撰寫程式進行車輛不同旅次的油耗預估，比較10組測試結果後可以發現，預估值與實測值相差約在-5.43%~5.18%之間，最小差異約在0.55%，可見本預估模型具有一定之準確性。
- (4) 由於實車道路測試可以真實模擬車輛在道路上的實際情況，因此透過統計的方式找出特定車型的車速與轉速進行分析，由研究顯示預估的油耗值具有一定的可靠度。
- (5) 未來可利用結合車載量測試設備，例如OBS-2200，便可以建立污染排放模型進行車輛污染物的預估，透過建立的車輛擴展到同類型的車輛上，可以作為同一車總每一旅次污染總量的預估。
- (6) 若未來可以建構簡便之車輛速度、引擎轉速，以及油耗數據累積裝置，收集不同車種的參數後，便可以建立不同車種模型。
- (7) 由於利用車輛速度與引擎轉速所建構的模型仍具有誤差，為來除可以收集更多樣本外，亦可以導

入其他參數，例如引擎負載、油門開度等等，藉以修正車輛油耗的模型。

6. 致謝

本研究係經濟部能源局委託車輛研究測試中心辦理之「車輛節能應用技術研究計畫(1/3)」(計畫編號：100-D0406)的部分成果。謹此致謝。

7. 參考文獻

期刊論文：

- [1] Evans, L. (1979), "Driver behavior effects on fuel consumption in urban driving", *Human Factors*, Vol. 21, No. 4, pp. 389-398.
- [2] Waters, M. H. L. & Laker, I. B. (1980), "Research on Fuel Conservation for Cars", Report No. 921, Transportation Research Laboratory, Crowthorne, England.
- [3] Hooker, J. N. (1988), "Optimal driving for single-vehicle fuel economy", *Transportation Research Part A*, Vol. 22, No. 3, pp. 183-201.
- [4] Ang, B. W. & Fwa, T. F. (1989), "A study on the fuel-consumption characteristics of public buses Energy", Volume 14, Issue 12, pp. 797-803.
- [5] 蔡宗憲(2008)，應用數位行車資訊結合駕駛行為與人格特質之油耗因子關聯研究，國立台北大學統計研究所碩士論文。
- [6] 林彥志(2009)，使用公路客運行車紀錄器資料探討營業大客車駕駛人行為適性之研究。逢甲大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- [7] 張慈芸(2010)，大客車污染排放與耗能之關鍵影響因素分析。逢甲大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- [8] Barth, M. & Boriboonsomsin, K. (2009), "Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system", *Transportation Research*, Vol. 14, pp.400-410.

書籍：

- [9] EPA420-R-02-027,2002," Methodology For Developing Modal Emission Rates For EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission Systems"