

## 重型柴油車輛行駛油耗之關鍵影響因素研究

呂仲生<sup>1</sup>、廖慶復<sup>2</sup>、賴伯佑<sup>3</sup>、張建彥<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup>財團法人車輛研究測試中心(副工程師)  
<sup>4</sup>中華大學運輸科技與物流管理學系(副教授)

E-mail: chungsen@artc.org.tw  
能源局計畫編號: 102-E0414

### 摘要

重型柴油車輛因其引擎具有較高油耗以及較高行駛里程特性，每年消耗油量可達千萬公升以上。除各種節能應用技術蓬勃發展之外，節能駕駛亦成為重要的課題。本研究以重型柴油車輛進行實車油耗實驗，測量不同檔位以及轉速之耗油量，針對可影響車輛行駛油耗之關鍵因素利用簡易貝氏演算法進行探討，並模擬一般常見道路進行綜合行為實車油耗測試。分析結果顯示，節能駕駛的操作如避免急加速或過高之車速並配合高檔位降低引擎轉速可有效降低車輛行駛時之耗油量。

**關鍵詞：**節能駕駛 (Eco-driving)、實車油耗 (Vehicle fuel consumption)、關鍵因素 (Major factor)。

### 1. 前言

近年來國際燃油價格持續波動，商用運輸車輛普遍具有排氣量大、較高油耗且平均行駛里程高之特性，因此其燃油使用及碳排放量之佔比相對較高。由於運輸系統是主要的移動污染源，節能駕駛開始受到一般民眾以及車隊管理者的矚目，只要駕駛者透過節能駕駛的操作，不需額外購買節能相關產品即可有效降低車輛耗油量，因此許多研究文獻或駕駛訓練手冊，均提供如何有效地節能駕駛或環保駕駛。依據英國 Safe and Fuel Efficient Driving (SAFED 計畫) [1] 研究，經由學習節能駕駛知識，平均節能效益可達 10% (1.9%~17% 不等)。美國福特汽車公司、日本日野汽車公司以及瑞典 SCANIA 汽車等其他車廠均已設置節能駕駛訓練中心或者駕駛訓練課程，協助客戶降低車輛耗油量，並於車輛儀表顯示節能範圍協助駕駛。

對於節能駕駛的實際作法坊間有各種方式流傳，然而因目前無一數據可確切證明節能駕駛的實際節油量，且國內現行重型柴油車輛普遍仍屬於舊型車種，無行車電腦計算即時油耗之功能，儀表板亦無節能駕駛輔助之設計，車輛駕駛必須仰賴自有經驗修改其駕駛行為，然而自身經驗及駕駛習慣將導致駕駛者無法接受節能駕駛較為受限制之駕駛方式，進而質疑其節油實質效益，使節能駕駛於推廣過程中易受傳統觀念挑戰。

藉此，本研究透過封閉道路進行實車油耗實驗，藉此建立車輛行駛之油耗資料，並探討影響行駛油耗之關鍵因素，作為國內節能駕駛推廣單位以及訓練機構之參

考，使節能駕駛得以順利推廣，協助商用車隊或者一般民眾改善車輛油耗，達到節能減碳的目標。

### 1.1 文獻回顧

駕駛行為與油耗關係之研究在國際上已行之多年，主要是探討駕駛者接受訓練後以及車隊管理者透過駕駛行為管理制度建立對車輛油耗的影響。本研究列舉相關部分文獻如下：

Leonard [2] 於 1979 年研究顯示若駕駛者避免較大的加速度，使用平緩的方式駕駛車輛並減少急煞車的次數，如行駛時間不變耗油量可減少約 14% 的程度。

Waters 與 Laker [3] 於 1980 年時以實車進行實驗，結果顯示較為平和的駕駛習慣可減少約 15% 的耗油量。

Hooker [4] 於 1988 年針對影響油耗之因素進行研究，探討何種駕駛型態可達到最佳之經濟節能效益，結果顯示換檔時機、車速與急加速行為具有顯著之影響。並說明若駕駛者減少低速檔至高速檔之時間、在引擎經濟轉速區域內行駛、避免急加速及急減速都可減少耗油量。

Ang 與 Fwa [5] 於 1989 年針對大眾運輸車輛油耗因素研究，研究發現其影響因素分別為車輛特徵、車輛使用率、路線特徵、駕駛行為以及道路環境。其中車輛特徵為廠牌、年份以及排氣量；路線特徵為乘客人數、車速、停等號誌次數以及道路狀況等。

蔡宗憲 [6] 於 2008 年利用數位式行車記錄器所擷取之動態行車資料進行分析，資料包含日期、時間、氣候、車號、車速、加速度、經緯度、連續停留時間、旅程時間等，並記錄車輛行駛該路線時之加油時間、公升數以及行駛里程，並建構多變量線性模型尋找影響油耗之重要因素。研究結果顯示較高平均車速、低速煞車行為以及高速時加減速之綜合表現均可能影響耗油量。

Barth 與 Boriboonsomsin [7] 於 2009 年以實車模擬以及即時監控技術來分析污染排放量以及油耗量，結果發現透過節能駕駛至少可降低 10% 至 15% 之耗油量以及污染排放量。

林彥志 [8] 於 2009 年之研究論文中，應用國內客運業者資料分析顯示駕駛者透過節能駕駛課程訓練後，可改善其駕駛習慣，節省 10% 至 15% 之燃油消耗。

Ryosuke 與 Yasuhide [9] 於 2012 年以豐田市 2009 至 2010 年節能駕駛執行狀況進行統計，分析影響節能

駕駛效益之因素，結果顯示車輛使用者以及擁有者檢查駕駛員駕駛行為、車速及行駛距離的頻率，以及個人的因素皆有可能影響節能駕駛實際執行之成效。若期望有較佳之節能成效必須仰賴長時間確實執行節能駕駛。

## 2. 實驗設計

本研究為探討駕駛者以不同檔位、轉速行駛時之消耗油量以及對應車速，於封閉場地進行實車油耗實驗。

### 2.1 實驗車輛與設備

本研究實車油耗實驗使用中華 FUSO 車輛作為研究車輛，安裝油耗計、速度計與資料擷取器進行測試。表 1 為實驗車輛規格表；表 2 為實驗設備規格表；圖 1 為實驗車輛與記錄設備外觀。

表 1 實驗車輛規格表

廠牌	中華	空車重量	3520 kg
車輛型式	FUSO FK617UKS	車輛總載重量	11000 kg
型別	6D16-3AT2C	變速箱齒輪比	
排氣量	7545 c.c.	1	6.875
全長	8175 mm	2	4.189
全寬	2490 mm	3	2.46
全高	2170 mm	4	1.542
軸距	4870 mm	5	1
檔數	前進 6 檔;後退 1 檔	6	0.786
制動馬力	165.5 / 2600	kW / rpm (SAE GROSS)	
引擎扭力	65 / 1600	kg-m / rpm (SAE GROSS)	

表 2 實驗設備規格表

<b>速度計 CORRYSYS-DATRON L-350 Aqua</b>	
範圍	0,3,...,250 kph
輸出	1 ~ 1,000 pulses/m
正確性	< ±0.2%
解析度	1.5 mm
<b>資料擷取器 CORRYSYS-DATRON DAS2-A8</b>	
擷取頻率	20 Hz
通道數	8 電壓 ±10 VDC ; 2 數位 5.0 kHz
<b>油耗計 CORRYSYS-DATRON DFL-2</b>	
範圍	0,5,...,60 l/h
輸出	1,500 pulses/cm <sup>3</sup>
正確性	± 0.5%



圖 1 實驗車輛與記錄設備

### 2.2 實驗方法與條件

本研究實車油耗實驗選擇於天氣穩定、氣溫 20~30 °C、風速小於 5 m/s、路面乾燥之道路進行。實驗過程分別記錄變速箱六個檔位於引擎轉速 1000、1500、2000、2500、3000 轉時之油耗與車速，油耗計算方式採用車輛於目標轉速行駛 200 公尺所消耗之油量，實驗流程如圖 2。

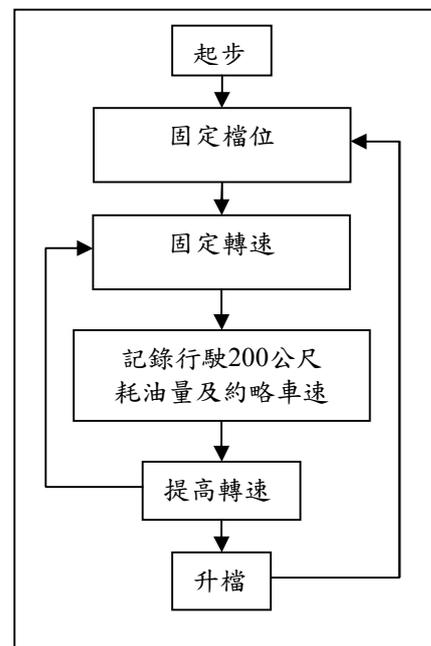


圖 2 實驗流程

## 3. 實驗結果

實車油耗實驗結果如表 3，每個測試點記錄兩次，並將結果繪製成油耗變化曲線如圖 2。

從圖中可看出在每個檔位中提高轉速將使耗油量增加，從一檔 1000 轉至 3000 轉之間耗油量增加了 96.48%，二檔時耗油量變化增加了 96.3%，三檔耗油量

變化增加 91.9%，四檔耗油量變化增加 152.4%，五檔耗油量變化增加 140.48%，六檔耗油量變化增加 180.95%。

因變速箱特性，每個檔位之間都有重疊的車速範圍，在相同車速中車輛能用不同檔位依其對應轉速行駛，若使用檔位較低，轉速即較高，其中因重型車輛低檔位普遍設計為起步使用，因此一至三檔位行駛車速較低，車速重疊範圍較小，四、五、六檔位為常用行駛檔位，重疊車速範圍較大，其中五檔以及六檔重疊車速範圍從時速 40 起最快可至 90 公里。而 40 至 90 車速範圍

為一般駕駛者常用車速區域，駕駛者若使用五檔行駛於 40~60 之間時，在相同車速下其耗油量與使用六檔相比略微增加。即使同樣於相同轉速時，當車輛行駛於車速 20~60 公里時使用高檔位以引擎轉速 1000 轉行駛時所消耗之油量與低檔位及低轉速行駛時相比較少，其原因在於低檔位及低轉速行駛時車速過於緩慢，車輛需較長時間才可駛達測量距離終點，造成距離內消耗之油量與較高車速相比較高。

表 3 檔位、轉速、車速與油耗實驗結果

		1 檔		2 檔		3 檔		4 檔		5 檔		6 檔	
		試驗一	試驗二	試驗一	試驗二	試驗一	試驗二	試驗一	試驗二	試驗一	試驗二	試驗一	試驗二
1000 轉	速度(km/h)	4.5	4.5	7.3	7.3	12.4	12.4	19.8	19.7	30.7	30.5	37.9	38.0
	油耗(ml)	85	84	54	53	37	37	21	22	21	20	22	21
1500 轉	速度(km/h)	6.8	6.8	11.2	11.2	18.9	19.0	30.3	30.1	47.3	47.1	59.8	59.2
	油耗(ml)	92	94	60	60	41	41	27	29	25	27	21	20
	耗油量變化	10.06%		12.15%		10.81%		30.23%		26.83%		-4.65%	
2000 轉	速度(km/h)	9.2	9.2	15.2	15.2	25.5	25.6	40.7	41.0	63.5	63.1	80.6	81.1
	油耗(ml)	116	118	77	78	46	46	40	38	27	25	33	32
	耗油量變化	25.81%		29.17%		12.20%		39.29%		0.00%		58.54%	
2500 轉	速度(km/h)	11.4	11.4	18.7	18.7	31.8	31.7	50.3	50.5	78.6	78.0	99.9	99.7
	油耗(ml)	143	144	90	90	52	53	37	38	47	44	38	44
	耗油量變化	22.65%		16.13%		14.13%		-3.85%		75.00%		26.15%	
3000 轉	速度(km/h)	13.8	13.8	22.7	22.7	38.4	38.2	60.9	60.8	95.0	95.0	119.0	119.7
	油耗(ml)	177	176	106	105	71	71	54	52	55	46	53	59
	耗油量變化	23.00%		17.22%		35.24%		41.33%		10.99%		36.59%	
總耗油量變化		96.47%		96.3%		91.9%		152.4%		140.48%		180.95%	

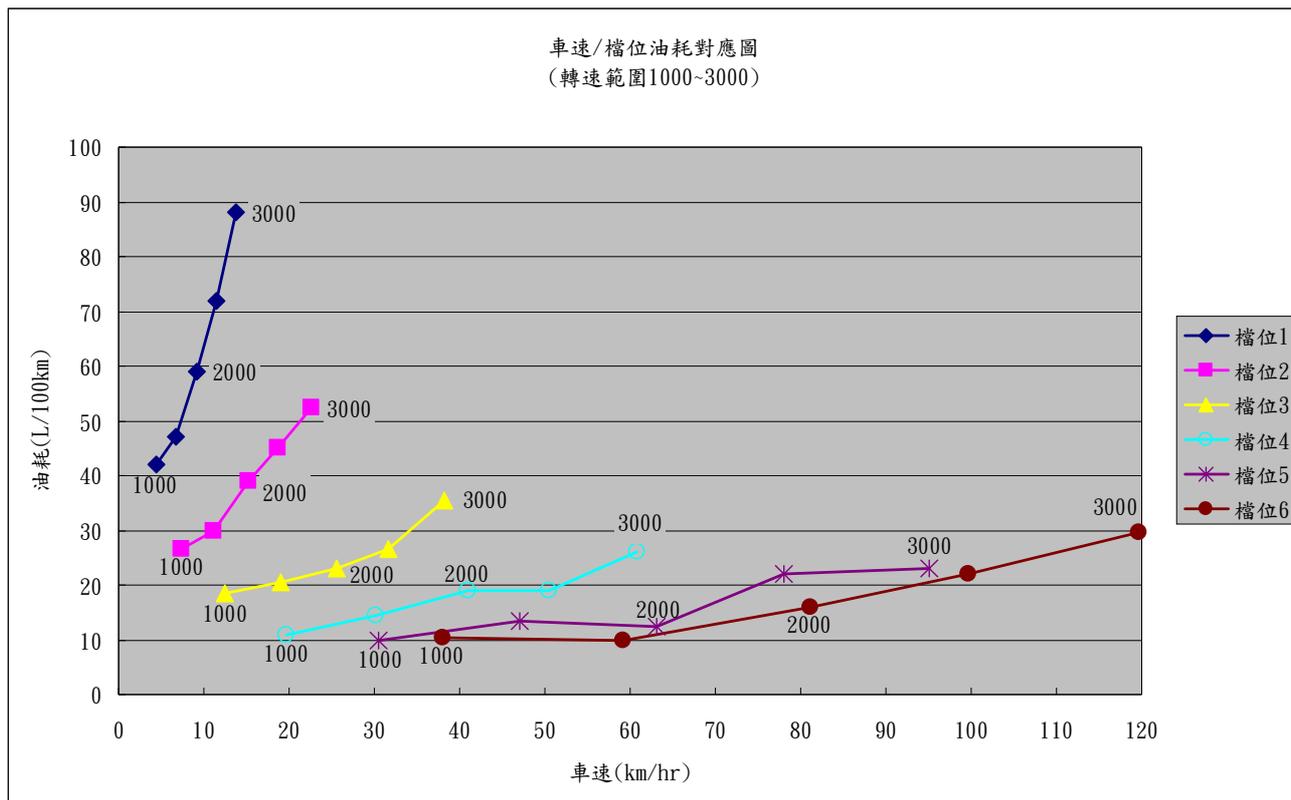


圖 2 車輛於不同檔位、轉速、車速時之耗油量變化

#### 4. 結果與討論

由數據彙整結果顯示車輛於時速 20~60 kph 時使用高檔位及低轉速行駛時具有較佳油耗，本研究亦使用簡易貝氏演算法進行關鍵因素分析。簡易貝氏演算法 (Naïve Bayes Algorithm) 為資料探勘技術中簡易貝氏分類器 (Naïve Bayes Classifier) 之核心演算法。簡易貝氏演算法由於操作簡單，辨識效果佳，因此常用於資料探勘的相關軟體中。在油耗之關鍵影響因素分析中，也可以應用簡單貝氏演算法來找出關鍵影響因素。

假設在已知影響油耗的因素包括速度、轉速和檔位，則可以先算出每一類資料在每一個影響因素所對應的機率，再從中選取機率較大之因素即可。依據表 3 之試驗結果，本研究進一步將試驗一和試驗二的油耗值加以平均，分別探討轉速、速度與油耗之關係，分析步驟說明如下：

(1) 將油耗資料進行 K-means 分群，分為低、中、高三群，此一方法並無預先設定門檻值，係依據事先設定之群數 (例如 K=3)，選取距離最近之相關資料為同一分群，可避免因門檻值設定不合理而產生偏誤，則分析結果如表 4、表 5 所示。

表 4 油耗之分群中心點表

	集群		
	1	2	3
油耗	38.52	86.92	145.67

表 5 各分群資料筆數整理表

集群	1	21.000
	2	6.000
	3	3.000
有效的		30.000
遺漏值		.000

因此，可知最後分群結果第一群 (低油耗) 的集群中心點為 38.52，資料筆數有 21 筆；第二群 (中油耗) 的集群中心點為 86.92，資料筆數有 6 筆；第三群 (高油耗) 的集群中心點為 145.67，資料筆數有 3 筆。

(2) 進行排序，並依 K-means 分群結果加以整理，則低、中、高三群之檔位、速度與油耗如表 6 所示。

表 6 各分群資料之油耗排序表

檔位	轉速	速度	油耗
低油耗			
5	1000	30.6	20.5
6	1500	59.5	20.5
4	1000	19.75	21.5
6	1000	37.95	21.5
5	1500	47.2	26
5	2000	63.3	26
4	1500	30.2	28
6	2000	80.85	32.5
3	1000	12.4	37
4	2500	50.4	37.5
4	2000	40.9	39
3	1500	18.95	41
6	2500	99.8	41
5	2500	78.3	45.5

3	2000	25.55	46	2	2500	18.7	90
5	3000	95	50.5	1	1500	6.8	93
3	2500	31.75	52.5	2	3000	22.7	105.5
4	3000	60.85	53	高油耗			
2	1000	7.3	53.5	1	2000	9.2	117
6	3000	119.35	56	1	2500	11.4	143.5
2	1500	11.2	60	1	3000	13.8	176.5
中油耗							
3	3000	38.3	71				
2	2000	15.2	77.5				
1	1000	4.5	84.5				

(3)計算各影響因素(檔位、轉速、油耗)之水準在各分群中所佔的比例值(機率)，整理如表7所示。

表7 各分群資料之影響因素水準所佔之比例值表

油耗群集	檔位	比例(%)	轉速	比例(%)	速度	比例(%)
低	1	0	1000	23.81	0-20	23.81
	2	9.52	1500	23.81	20.01-40	23.81
	3	19.05	2000	19.05	40.01-60	19.05
	4	23.81	2500	19.05	60.01-80	14.28
	5	23.81	3000	14.28	80.01-100	14.28
	6	23.81			100.01-120	4.77
中	1	33.33	1000	16.66	0-20	66.67
	2	50.00	1500	16.67	20.01-40	33.33
	3	16.67	2000	16.67	40.01-60	0
	4	0	2500	16.67	60.01-80	0
	5	0	3000	33.33	80.01-100	0
	6	0			100.01-120	0
高	1	100	1000	0	0-20	100
	2	0	1500	0	20.01-40	0
	3	0	2000	33.33	40.01-60	0
	4	0	2500	33.33	60.01-80	0
	5	0	3000	33.34	80.01-100	0
	6	0			100.01-120	0

(4)從表7中可知，低油耗群集之高檔位(4、5、6)、低轉速(1000、1500)、速度低或適中(20.01-40)之比例較高；高油耗群集之低檔位(1)、高轉速(3000)、低速(0-20)之比例較高。

(5)若以比例超過50%為門檻，則低油耗群集無關鍵因素，中、高油耗群集的關鍵因素為檔位、速度；若以比例超過30%為門檻，則低油耗群集無關鍵因素，中、高油耗群集的關鍵因素為檔位、轉速、速度。至於比例值之設定則可視需要程度而做彈性調整。

## 5. 綜合行為實車測試

經貝氏簡易演算法分析出影響行駛中、高油耗的關鍵因素為檔位、轉速與車速。本研究針對常見道路行駛型態設計兩套駕駛模式，使用16噸48人座營業大客車以滿載條件於封閉道路進行試驗。

路線設計區分為三段，第一段為市區道路，第二段為郊區道路，第三段為高速路段，共計5.5公里。

第一套駕駛模式為一般駕駛，模擬市區路段駕駛者採用急加速於轉速2200轉時換檔的方式停等三路口；模擬郊區路段時以五檔、車速60公里以錯誤檔位定速行駛；模擬高速路段時行駛車速為90公里定速。

第二套駕駛模式為節能駕駛，模擬市區路段駕駛者採用緩加速於轉速1500轉時換檔的方式停等三路

口；模擬郊區路段時以六檔、車速60公里以正確檔位定速行駛；模擬高速路段時行駛車速為80公里定速。

測試耗油量結果顯示於5.5公里之設計模擬路線中，兩種駕駛行為的耗油量差異達640毫升；使用節能駕駛可減少28.02%之耗油量；時間差異僅68秒。

表8 綜合行為實車測試結果

	5.5公里油耗(ml)	行駛時間(sec)
一般駕駛	2284	322
節能駕駛	1644	400
差異性	640	68

## 6. 結論

透過本研究分析結果可得以下結論：

1. 透過實車油耗實驗可建立車輛於不同檔位、轉速以及車速狀況下的各種耗油量數據庫，耗油量數據可分析出車輛於不同行駛狀況下耗油量的變化，提供駕駛者於特定情況時使用適當之轉速、檔位與車速。
2. 在相同的檔位時，使用較低的引擎轉速或者同車速時的狀況下使用較高檔位可擁有較低的耗油量，然而若車輛行駛車速過低，於固定里程中因行駛車速過慢，導致其與較高的車速相

- 比反而有較多的燃油消耗量。車輛行駛中最佳油耗出現於最高檔位時的最低可行駛轉速，一般重型柴油車輛依其排氣量不同而出現約於1000 RPM 或更低。
3. 利用貝氏簡易演算法可分析出影響不同耗油群集的關鍵因素，若以比例超過50%為門檻，則低油耗群集無關鍵因素，中、高油耗群集的關鍵因素為檔位、速度；若以比例超過30%為門檻，則低油耗群集無關鍵因素，中、高油耗群集的關鍵因素為檔位、轉速、速度。
  4. 因車輛於行駛過程中屬綜合駕駛行為，綜合駕駛行為進行實車油耗測試結果根據平緩加速、提早升高檔位、保持低引擎轉速、高速路段降低車速，於5.5公里之相同模擬路段中可減少28%之耗油量，行駛時間差異僅約68秒。
  5. 實驗結果避免過低或過高速度並配合高檔低轉速的駕駛型態為節油駕駛要領，以綜合行為測試來看，於相同路線中使用節能駕駛需要較多的行駛時間，車輛駕駛者可依其燃油成本與時間成本二者之間做選擇。
  6. 未來可探討將依照不同排氣量增加實車油耗實驗，並考慮不同型式之變速箱傳動方式，以加強實車於不同轉速與檔位時的油耗變化數據庫，將可提供更完整各類重型柴油車輛之最佳油耗曲線，作為一般駕駛者或者商用車隊管理者進行節能駕駛設計時之參考依據。

- [7] M. Barth, K. Boriboonsomsin, "Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system", *Transportation Research*, Vol. 14, pp.400-410, 2009.
- [8] 林彥志, "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, 2009。
- [9] Ryosuke Ando, Yasuhide Nishihori, "A study on factors affecting the effective eco-driving", *Social and Behavioral Sciences*, EWGT, 2012.

## 7. 致謝

本研究為經濟部能源局委託財團法人車輛研究測試中心辦理之「車輛節能應用技術研究計畫(3/3)」(計畫編號:102-E0414)之部分成果。僅此致謝。

## 8. 參考文獻

期刊論文:

- [1] [http://uk-roadsafety.co.uk/ECO\\_Driving/ECO\\_Driving.htm](http://uk-roadsafety.co.uk/ECO_Driving/ECO_Driving.htm), SAFED - Safe and Fuel Efficient Driving - UK Road Safety.
- [2] Leonard Evans, "Driver behavior effects on fuel consumption in urban driving", *Human Factors*, Vol. 21, No. 4, pp. 389-398, 1979
- [3] M. H. L. Waters, I. B. Laker, "Research on Fuel Conservation for Cars", *Transportation Research Laboratory*, Report No. 921, Crowthorne England, 1980.
- [4] J. N. Hooker, "Optimal driving for single-vehicle fuel economy", *Transportation Research Part A*, Vol. 22, No. 3, pp. 183-201, 1988
- [5] B. W. Ang, T. F. Fwa, "A study on the fuel-consumption characteristics of public buses Energy", *Energy*, Volume 14, Issue 12, pp. 797-803, 1989.
- [6] 蔡宗憲, "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, 2008。