

車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之效益分析

A Study of Energy Efficiency of Heavy Duty Vehicles Relative to Strategies of Control Regulations and Effectiveness Analysis of Energy Saving Technology

林大鈞 Ta-Chun Lin¹

陳柏君 Po-Chun Chen²

王傳賢 Chuan-Hsien Wang³

摘要

依據交通部運輸研究所推估，2012 年底，國內機動車輛中，大客車、大貨車兩者合計占總機動車輛 1.0%，但所造成的能源消耗占公路總能耗的 27.1%，且大貨車總能耗 20.9% 是僅次於自小客車 48.3% 的車種。以 1.0% 的車輛數貢獻 27.1% 的能耗，凸顯重型車輛在能耗議題上的重要性。本研究透過對國內客貨運車隊資料的蒐集，瞭解國內客貨運輸業者的車隊規模、行駛型態與營運績效，以及業者應用車輛節能技術的現況，以及業者在節能技術投資決策時之主要考量因子；並依據所蒐集資料，進行節能輪胎、空氣動力套件(側裙)、車輛輔助單元 APU 共計 3 項節能技術導入國內客貨運車隊之經濟效益分析。分析結果可知，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)適合導入城際型運輸，且 2 年內可還本，適合業者導入；車輛輔助單元(APU)則視業者營運時，每日使用時間的長短決定投資效益，較適合導入都會型運輸。

關鍵詞：客運業者、貨運業者、能耗、節能技術、效益分析

一、前言

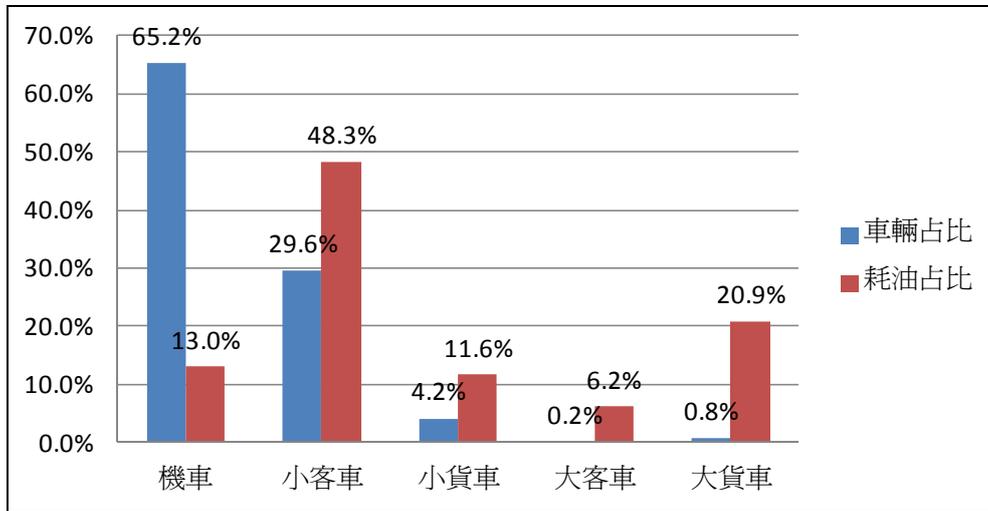
國際間針對重型車輛之能源效率與 CO₂ 排放，已陸續提出各式新管制策略與實施方法，以有效改善運輸部門能源消耗與溫室氣體排放。國內過去對於重型車輛的營運與能耗情形掌握程度較有限，特別是貨運車隊的部分，然而，依據交通部運輸研究所推估，2012 年底，國內機動車輛中，大客車、大貨

¹ 鼎漢國際工程顧問公司分析師 (聯絡地址：臺北市信義區松山路 130 號 5 樓，電話：02-27488822ext.522，E-mail:willim@thi.com.tw)。

² 鼎漢國際工程顧問公司高級規劃師(聯絡地址：臺北市信義區松山路 130 號 5 樓，電話：02-27488822ext.217，E-mail:grace@thi.com.tw)。

³ 財團法人車輛研究測試中心環保能源部環能研究課課長(聯絡地址：彰化縣鹿港鎮鹿工南七路六號，電話：04-7811222ext.2203，E-mail:bryan@artc.org.tw)。

車兩者合計占總機動車輛 1.0%，但所造成的能源消耗占公路總能耗的 27.1%，且大貨車總能耗 20.9%是僅次於自小客車 48.3%的車種。以 1.0%的車輛數貢獻 27.1%的能耗，凸顯重型車輛在能耗議題上的重要性。



資料來源：運輸部門溫室氣體排放清冊，交通部運輸研究所，2013 年

圖 1 2012 年各車種數量與能耗占比

目前國際間在推動能源效率提升的策略有數種，包括政策面、市場面、營運面、技術面均有，其中，近年來針對車輛系統之節能技術發展，已越來越進步，例如空氣動力套件、節能輪胎、電動車、Hybrid、Stop/Start 系統...等，如表 1 所示。且據 AEA Technology plc 的研究顯示，各種技術的節能效果，更與車輛主要的營運與行駛型態有密切關聯，以表 2 中 AEA 的研究結果為例，Stop/start 系統與 Hybrid 在市區短程類型的節能效果明顯優於城際和長途運輸。

表 1 節能技術應用於不同用途車輛之節能效果

技術項目	市區運輸車輛(快遞/宅配等)	政府公務車輛(如垃圾車)	城際運輸車輛	長途運輸車(拖車/貨車/國道快速巴士)	市區公車
	頻繁起步/煞停	低速+頻繁起步煞停	涵蓋高速定速+市區起步煞停	高速定速+少部分市區行駛	低速+頻繁起步煞停
空氣動力-拖車/車體	1%	0%	11%(貨車)	11%	0%
空氣動力-整流裝置	0%	0%	1%	0.4%	0%
低滾動阻力磨胎	1%	1%	3%	5%	1%
寬基輪胎(single wide tyres)	4%	4%	6%	5%	4%
自動胎壓調整	1%	—	2%	3%	1%
輕量化	2.2%	4.7%	2.2%	2.2%	6.0%
廢熱回收-電子式復合增壓	1%	1%	2.5%	3%	2%

廢熱回收	1.5%	1.5%	2.5%	5%	1.5%
電動車	100%	100%	100%	100%	100%
Stop/start 系統(怠速 熄火/起步輔助)	6%	6%	3%	1%	4%
Full Hybrid EV	20%	20%	10%	7%	30%
飛輪式 (Flywheel)Hybird	15%	15%	7.5%	5%	20%
液壓式 Hybrid	10%	15%	0%	0%	15%
自動手排系統 AMT	5%	5%	1.5%	1.5%	5%
替代能源之車身動 力源(電動化)	0%	15%	15%(貨車)	15%	0%

資料來源：Reduction and Testing of Greenhouse Gas(GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles, AEA, Feb 2011

為了解國內客貨運車隊，在車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之現況與看法，本研究透過實際與國內客貨運業者訪談與調查，綜整國內客貨運業者經營之節能策略與導入節能技術的評估決策關鍵因素，分述如下。

1. 節能策略首重環保駕駛教育訓練養成

環保駕駛的推廣已經有一段時間，不論是客貨運業者均認為，駕駛行為的改善是最能夠在短期間內便得到顯著效果的方法，而且與其他節能技術不同的是，駕駛行為的改善不需要投入太多的成本，且得到的效果不僅僅是在節省能耗，例如，對客運業者而言，良好的駕駛行為也有助於提升乘客搭乘車輛時的舒適度。

2. 節省油耗所遇到的主要問題

對業者而言，節省油耗所遇到的問題，除了一些無法由業者控制主導的因素如油價、政府政策外，多屬於內部管理與因營運需求而與節能相抵觸的行為。管理層面上，大部份的業者在實施內部油耗管理制度的過程，普遍遇到實施獎勵的公平性問題，特別是貨運業者的路線更為複雜。

營運需求的部分，對客運業者而言：(1)市區公車在市區內行駛時，主要受交通狀況影響，停等時間產生怠速油耗；(2)國道客運行駛路線長，管控駕駛較為不易；對貨運業者而言：(1)宅配物流業者在市區內繞行送貨，經常重複起步又停止導致油耗增加；(2)港口貨櫃裝卸貨物的情況，不適合停等熄火；(3)冷凍貨櫃車輛裝卸貨物時，若熄火將影響貨櫃的供電；(4)垃圾清運車輛按表定時間操作，為準時抵達目的地，而不得不採行較不節能的駕駛方式，且清理車必須使用到壓縮機器，亦還無法用怠速熄火的方式節能。

3. 影響業者節能技術投資決策的關鍵因素

本研究彙整業者對於節能技術的投資決策，最主要的關鍵影響因素於表 2。由於業者畢竟是以營利為主要目的，節能技術的投資利潤與還本年期更是業者重視的因子，大部分業者均認為投資一項節能技術設備，應能夠在 2~4 年還本，才願意投資。

表 2 影響業者節能技術投資決策的關鍵因素

關鍵因素	客運	貨運
投資利潤與還本年期	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2~4 年 ✓ 受到地方營業用車輛的車齡要求，多數客運業者對於還本年期的容忍期更短 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2~4 年 ✓ 經濟實力較雄厚的貨運業者，可接受的還本年期相對較長 ✓ 資本額較小的中小型企業，對於節能設備的投資成本的上限，普遍比客運業者更低
政府補貼與配套措施之研擬	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 獎勵機制的補貼、誘發性政策，較為公平 ✓ 新車補助應以車輛的差價（先免除節能減碳車輛之貨物稅），加上因應新型車輛所增加的維護費用，再減掉節能效益，作為購車補助費用上限 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 獎勵機制的補貼、誘發性政策，較為公平 ✓ 扶植國內節能設備的發展，長期下方能降低節能設備的購置成本 ✓ 貨運業營運型態複雜，更需注重不同營運型態的節能策略
節能設備效能	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 節能設備對於業者而言，仍是充滿不確定性因素的技術 ✓ 節能設備之安全性與可靠性能夠得到政府的合格認可 	
車輛裝設節能設備後的顧慮	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 車輛的安全 ✓ 節能設備是否通過車輛原廠的保證 ✓ 節能設備的採購通常為大批採購，因此會特別重視節能設備安裝後，對於車輛行駛時的績效影響 	

客貨運業者對於節能技術的投資，多數仍採取較為保守的態度，因此一項節能技術要能夠吸引業者，除了要確實具備節能效益，還要得到公信力的支持。若能夠提供經濟效益分析的模型，對於一項好的節能技術之推廣、給予業者投資決策的參考，均是有益處的。因此，本研究依據國內客貨運業者營運資料，分析國內客貨運業者之行駛型態，釐清適合作為經濟效益模型的重要參數。

二、國內客貨運業者之行駛型態

本研究主要依據蒐集之行車記錄器資料，分析國內客貨運業者實際營運之行駛型態。客運的部分，主要可分為國道客運與市區公車兩類，兩者所呈現的行駛型態也有極大的不同，圖 2 為國道客運與市區公車在一趟旅次下之速率分布圖與行駛狀態的占比，城際型的國道客運可長時間維持在高速行駛，因此定速的占比高達 61%，而市區公車呈現走走停停，且怠速狀態的占比達 42%。

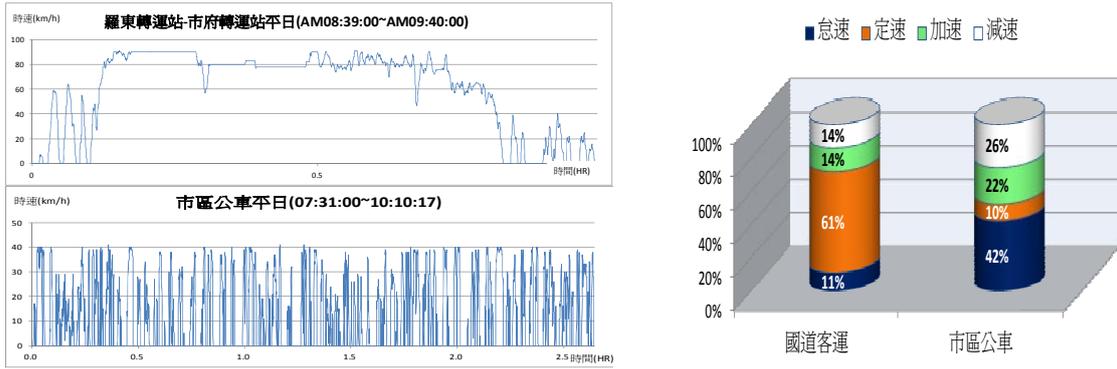


圖 2 國道客運與市區公車行駛速率分布之比較

貨運部分，由於營運型態比客運複雜，行駛型態除了道路交通情狀之影響外，還會受到裝卸貨地點之作業需求而受影響，若未確實實施怠速熄火，便會增加怠速時間的占比，增加不必要的油耗。以圖 3 為例說明，貨車在高雄港區因為作業環境的需求，導致停等未熄火的怠速狀態在港區的時間約有 1 小時之久。

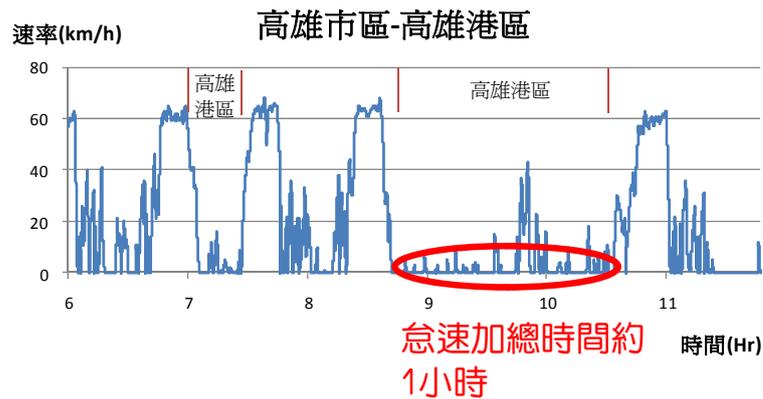


圖 3 貨車單日行車速率分布圖

綜合來說，客貨運車隊的行駛型態，可分為城際型與都會型兩大類。城際型具有行駛距離長、行車速率高、可保持高速巡航、停等占比低的特性；都會型則容易受到交通狀況的影響，多呈現與城際型相反的情況。

三、經濟效益分析方法與參數選擇

客貨運車隊之行駛型態與能耗關聯性較高的關鍵，主要與行駛路線為城際型或都會型有關，受影響的重要參數則包括：(1)行車速率；(2)高速與低速區間占比；(3)行駛距離；(4)貨櫃車滿載或空載。

經濟效益分析的部分，本研究採成本效益分析法(Cost Benefit Analysis)，從民間投資決策角度出發，車輛導入節能技術的成本項目可能包括：設備成

本、工程改裝成本、審驗成本、設備維修成本、訓練成本等；以及評估期滿時設備之殘值，可視為成本減項；而效益項目則主要考量燃油節省。至於空氣污染、噪音等難以轉化為實質資金流動的外部成本，則不予計算。此外，對於投資計畫或方案的影響屬於短期者，無須考慮時間對資金價值的影響，例如節能輪胎使用壽年約在 2 年以內，故可忽略資金的時間價值影響。但是，其他涉及長期(超過 3 年以上)效益或成本項目時，加總不同年期所發生的成本或效益項目時，需要考慮發生時間先後，將各項成本或效益項目均調整成同一年期，始得加總。本研究折現率採用運輸服務業者期望投資報酬率 6.8%，所採用之評估指標和決策判準，為還本期、淨現值、益本比 3 項。

四、節能技術之經濟效益分析

本研究總共對 3 項節能技術進行經濟效益分析，分別是節能輪胎、空氣動力套件(側裙)、車輛輔助單元(APU)。分析過程中，假設車輛每年使用 330 日，油價根據 2013 年 10 月超級柴油價格為 32.4 元/升計算。

1. 節能輪胎

比較分析耐磨型(R156)與節能型(R159)兩種輪胎，在城際客運路線下的節能效益。參數部分，輪胎特性依據輪胎廠商提供之售價與磨耗壽命，節能率則依據車輛中心 2013 年定速巡航測試輪胎結果，詳表 3。

表 3 輪胎特性

輪胎 型號	輪胎價格 (新台幣 元/條)	磨耗壽命 (km, 註 1)	定速巡航測試(註 2)			瞬態對定 速巡航折 減因子 (註 3)		推估瞬態(註 4)	
			速率(kph)	燃油經濟 性 (FE, km/l)	FE(km/l) 提升率%	行駛路線	FE(km/l) 提升率%		
耐 磨 型 (R156)	14,200	395,500	65	5.80	1.58%	0.29%	市區道路	0.45%	
			85	4.84	0.21%	0.75%	高速公路	0.16%	
節 油 型 (R159)	15,600	350,000	65	6.03	5.60%	0.29%	市區道路	1.62%	
			85	5.01	3.73%	0.75%	高速公路	2.95%	

註 1：市區折減因子 50%。

註 2：依據車輛中心 2013/09 試車場大客車定速巡航測試結果。

註 3：依據車輛中心 2010 及 2011 年試車場小客車定速巡航與實驗室 FTP 測試結果。

註 4：瞬態 FE(km/l)提升率%=瞬態對定速巡航折減因子×定速巡航測試 FE(km/l)提升率%

分析結果如表 4 所示，2 路線的行駛型態的參數設定依據實際營運資料設定，可知節能型(R159)輪胎之節油效益遠大於耐磨型(R156)輪胎，且在城際型路線下，約 6~9 個月即可還本，淨效益與益本比均超過決策門檻。

表 4 節能輪胎之成本效益分析結果

路線別	耐磨型(R156)					節能型(R159)				
	節省燃料(l/年)	輪胎使用壽年(年)	還本期(年)	壽年內淨效益(NTD)	壽年內B/C Ratio	節省燃料(l/年)	輪胎使用壽年(年)	還本期(年)	壽年內淨效益(NTD)	壽年內B/C Ratio
臺北高雄	128	1.54	NA	-7,467	NA	1,834	1.36	0.54	40,082	2.52
臺北臺中	133	1.69	NA	-6,567	NA	1,489	1.50	0.68	31,352	2.19

註：「NA」表示在使用壽年內無法達成。

2.空氣動力套件(側裙)

本研究分析之側裙為安裝於貨櫃車頭之整流裝置，分析對象為聯結大貨車。參數部分，側裙特性依據廠商提供之設備成本、安裝工程成本、維護成本、使用壽年、殘值，節能率則依據車輛中心 2013 年定速巡航測試輪胎結果(詳表 5)。另依據本研究蒐集之貨運業者資料設定各種假設情境後，分析結果如表 6。可知，在本研究的各種假設情境下，均可於 2 年以內還本，側裙是相當具有成本效益的節能技術，即便對於節油效益降低之因子等參數效果提升，側裙雖然效益因此減少，但仍然具備投資價值。

表 5 側裙定速巡航節能率測試數據

燃油效率(km/l)	測試車速(km/h)	空力套件	耗油量 (km/l)
空載 16T	60	卸	4.76
		裝	4.82
	90	卸	3.58
		裝	3.78
負載 26.25T	60	卸	3.97
		裝	4.02
	90	卸	2.98
		裝	3.15

資料來源：財團法人車輛研究測試中心。

表 6 側裙之不同情境測試下之成本效益分析結果

分析項目	原始情境	敏感度測試情境		
		市區里程占比	年平均行駛里程	平均燃油經濟性

輸入參數	平均年行駛里程(公里)	184,000	184,000	110,000	184,000
	行駛市區道路占比 (%, 以車公里估算)	11%	47%	11%	11%
	空櫃里程占比 (%, 以個數估算)	27%	27%	27%	27%
	目前高級柴油價格(元/升)	32.4	32.4	32.4	32.4
	目前(未裝設側裙之前)平均燃油經濟性(公里/升)	2.26	2.26	2.26	3.79
	車隊數量(輛)	1	1	1	1
輸出結果	投資成本(萬元/車隊)	6.0	6.0	6.0	6.0
	還本年期(年)	1	2	2	2
	每年節油量(升/車)	3,096	1,844	1,851	1,847
	第一年節油金額(萬元/車隊)	10.0	6.0	6.0	6.0
	前 5 年累計淨效益(扣除裝置成本, 當年幣值, 萬元/車隊)	48.1	26.2	26.3	26.3
	全生命週期(10 年)累計淨效益(淨現值, 萬元/車隊)	84.7	48.2	48.4	48.3

3.車輛輔助單元(APU)

分析兩種 APU 系統，分別是插電式冷凍系統與車載電力系統，分析對象為冷凍貨櫃大貨車。參數部分，APU 特性依據廠商提供之設備成本、維護成本、使用壽年、殘值，節能率部分，2 種系統所產生的耗能(功)率如表 7 所示。其它參數部分，車輛引擎怠速耗油率依據車輛中心實驗測試資料為 2.36(l/hr)，使用成本 74.9 元/hr(2013 價格)，電價 6.5 元/度。

分析結果如表 8 所示，當使用時間相同時，插電式冷凍系統之還本期較車載電力系統佳，二種系統(壽年 10 年)在每日使用時間超過 106 分鐘的情況下，節油效益可大於投資成本，若要能夠 4 年還本，插電式冷凍系統每日至少須使用 186 分鐘，車載電力系統 232 分鐘。

表 7 APU 耗功率測試數據

APU 效率	插電式冷凍系統	車載電力系統
	三相為：功率(P)公式 = $\sqrt{3}$ ×使用電壓(V)×使用	單相為：功率(P)公式=使 用電壓(V)×使用電流(I)×

	電流(I)×功率因素(cosθ)	功率因素(cosθ)
使用電壓(V)	220	220
使用時間(分)	30	75
電流(A)	12.0	13.6
功率因素(cosθ)	0.80	0.75
功率(kW)	3.66	2.24
耗功率(kW-hr)	1.83	2.81

資料來源：財團法人車輛研究測試中心。

表 8 APU 之成本效益分析結果

分析項目	插電式冷凍系統				車載電力系統			
	81	106	186	232	81	106	186	232
每日使用時間	81	106	186	232	81	106	186	232
每年增加用電(度/年)	815	1,066	1,871	2,334	1,250	1,635	2,870	3,579
每年減少用油(升/年)	1,030	1,348	2,366	2,951	1,030	1,348	2,366	2,951
淨現值(萬元新台幣)	2.42	10.36	35.75	50.35	-7.14	0.08	23.19	36.48
益本比	1.09	1.36	2.08	2.41	0.81	1.00	1.51	1.74
還本年期(年，註解)	10	8	4	4	NA	10	5	4

註解：NA 表示在評估期間內(10 年內)無法達成。

五、結論與建議

本研究透過對國內客貨運車隊資料的蒐集，瞭解國內客貨運輸業者的車隊規模、行駛型態與營運績效、以及業者應用車輛節能技術的現況，以及業者在節能技術投資決策時之主要考量因子；並依據所蒐集資料，進行節能輪胎、空氣動力套件(側裙)、車輛輔助單元 APU 共計 3 項節能技術導入國內客貨運車隊之經濟效益分析。歸納結論與建議如下。

1. 結論

(1) 國內客貨運車隊行駛型態，應分為城際型與都會型兩大類

城際型多屬長途運輸類型，有行駛於高快速路網上，特徵是行駛距離長、行車速率高、可保持高速巡航、停等占比低；都會型屬於短途運輸類型，行駛於都會區內為主，特徵與城際型相反。此外，貨運營運型態較客運複雜，怠速占比容易受到裝卸貨作業環境的需求而提高，特別是港區貨運。

(2) 節能技術導入重型車輛的效益與營運型態關聯密切

各類型的節能技術，導入重型車輛的節能效益，與車隊的營運型態關聯

密切，詳表 1。而本研究所分析之 3 項節能技術，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)為適合導入城際型的節能技術，車輛輔助單元 APU 則較適合導入都會型。

(3)節能輪胎與空氣動力套件(側裙)為短期內較具投資價值的節能技術，適合業者評估導入

經由本研究的經濟效益分析可知，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)導入城際型運輸具有效益，且可於 2 年以內還本，適合業者評估導入；車輛輔助單元(APU)則視業者營運時，每日使用時間的長短決定投資效益。本研究的經濟效益分析乃採用蒐集到的資料，提供假設情境，實際上業者進行評估時，可依據業者自身情況評估。

2.建議

(1)節能技術的推廣，應具備公信力，並提供方便業者參考的資訊

現況國內客貨運業者，大部分對於節能設備的投資仍趨於保守，主因在於節能技術無法保證其效益之成熟，本研究建議，未來若要規廣節能技術，應提供具有公信力的數據，或是由具備信譽的政府部門或單位推廣，在各項指標屬於可接受範圍內，方可降低業者投資決策的門檻。本研究亦提供節能技術的經濟效益分析，未來也可利用資訊平台，供業者試算，增加參考依據。

(2)未來應更廣泛蒐集相關參數，以利節能技術推廣效益之評估

本研究雖於研究期間蒐集不同運輸型態之客貨運行車型態，但若要使經濟效分析模型更趨成熟，建議未來應更廣泛蒐集相關參數，以利節能技術推廣效益之評估，並可做為車隊節能減碳改善之分析基礎。

誌謝

本研究承蒙經濟部能源局 100~102 年度「車輛節能應用技術研究計畫(1/3~3/3)」贊助，始得完成，謹此致謝。

參考文獻

交通部統計查詢網，交通部。

運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台，交通部運研所。

林志明、吳玉珍、林信得、林繼國、黃新薰、朱珮芸、楊智凱、張益城、林忠欽(民 101)，101 年運輸政策白皮書—綠運輸，交通部。

陳偉業、陳柏君、劉千豪、劉定一、王穆衡、翁美娟、史習平(民 95)，商用運輸系統智慧化整體研究發展計畫—商用車輛智慧化車上單元設備需求調查、系統整合模組規劃及研發(第一期)，交通部運輸研究所。

陳偉業、陳柏君、陳柏安、劉定一、王穆衡、翁美娟、史習平(民 96)，商用運輸系統智慧化整體研究發展計畫—商用車輛智慧化車上單元設備需求調查、系統整合模組規劃及研發(第二期)，交通部運輸研究所。

倪佩貞、劉國棟、郭明哲、洪義順、楊玉妃、鍾慧諭、陳柏君、李宗益、莊沅融、費雅琴、陳賓權、黃新薰、黃運貴(民 98)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所。

王傳賢等(民 100)，車輛節能應用技術研究計畫(1/3)，經濟部能源局。

王傳賢等(民 100)，車輛節能應用技術研究計畫(2/3)，經濟部能源局。

林大鈞、陳柏君、王傳賢(民國 102)，國內貨運車隊行駛型態特性之分析，地理資訊系統 Vol.7 NO.4

Characteristics of Fuel Consumption and Vehicular Operations of Buses on Taipei's Exclusive Bus Lanes , The Technical Committee for the ASCE publication , Y. C. Hu, Ph.D., PE, W. T. Lin, G. P. Chen and Y. W. Yang, 2011

Reduction and Testing of Greenhouse Gas(GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles, AEA, Feb 2011