

電動公車營運指標、財務效益分析與 發展策略之研究

AN ANALYSIS OF OPERATIONAL BENCHMARKS, FINANCIAL BENEFITS AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR ELECTRIC URBAN BUSES

賴文泰 Wen-Tai Lai¹

(106 年 3 月 1 日收稿，106 年 6 月 5 日第 1 次修改，106 年 12 月 18 日定稿)

摘 要

行政院於民國 103 年宣示 10 年內將臺灣柴油公車全面汰換為電動公車，然迄今之發展不如預期，究其主因是客運業者對電動公車之財務效益、續航力、妥善率仍有疑慮。基於上述背景，本研究首先藉由利用車載機及車電資訊整合系統，蒐集電動公車實際營運資料，分析電動公車用電效率、續航里程、妥善率等營運指標；其次，針對電動公車與柴油公車之生命週期成本進行比較，客觀論述了電動公車之財務效益，進而探討了電動公車較柴油公車具財務優勢之可行策略。分析結果顯示，電動公車車體成本接近合理價格、充電模式改為快速充電、柴油價格上漲或透過排班方式增加電動公車行駛距離時，電動公車可較柴油公車具財務優勢。

關鍵詞： 電動公車；營運指標；生命週期成本

ABSTRACT

The Central Government announced in 2014 its policy to replace all diesel buses with electric buses within 10 years. However, the results of this policy

1. 文藻外語大學國際企業管理系教授（聯絡地址：807 高雄市三民區民族一路 900 號 文藻外語大學國際企業管理系；電話：07-3426031 分機 6627；E-mail：91034@mail.wzu.edu.tw）。

have not met expectations, primarily because of doubts that bus operators have on the financial benefits, driving range and reliability of electric buses. With such a background, this study seeks to, first, arrange for the use of data collected from on-board units on actual operating urban electric buses; and conduct objective analysis of the electric energy efficiency, driving range, and reliability of electric buses. Second, to conduct a comparative analyses of the life-cycle costs of electric and diesel buses. Furthermore, this research analyzes the financial benefits that electric-buses have over diesel, and to use it to develop a feasible strategy for electrification. The analyses shows that when (1) the cost of electric bus bodies are reasonable, (2) the charging regimes are changed to "Fast-Charging Battery", (3) diesel prices rise, or (4) bus schedules are coordinated for electric bus travel distances; Electric buses have financial advantages over diesel buses.

Key Words: *Electric bus; Operation benchmark; Life-cycle cost*

一、前言

因應全球暖化所帶來的負面衝擊，運輸部門的節能減碳策略已廣泛受各方重視，該等策略依據美國交通部分析^[1]可彙整為改變交通型態、提昇運輸系統效率、提昇運具效能、開發替代能源等四大部分；其中，開發替代能源的主要措施是推廣電動車。我國亦不自外於此一發展浪潮，近年來積極推展電動公車、小汽車、機車，其中，對於電動公車更有著全面、明確之發展目標：行政院於民國 103 年 4 月宣示，10 年內將臺灣 6,750 輛柴油公車全面汰換為電動公車。然國內電動公車於民國 100 年由臺北客運首開先河後，迄至民國 105 年之總數僅約 250 輛，顯見國內電動公車於近年來發展緩慢；且依此數量增加趨勢觀之，顯難達成 10 年 6,750 輛電動公車之政策目標。

欲突破電動公車發展緩慢之現況，需適切釐清客運業者購置電動公車之疑慮，該等疑慮根據交通部運輸研究所研究^[2]指出，主要包括：妥善率、續航里程、財務效益等因子，個別因子之具體情形曾在交通部運輸研究所^[2]、經濟部工業局^[3]進行探討。然該兩項計畫在分析妥善率、續航里程等營運指標時，資料來源係客運業者手抄記錄或車輛製造廠所宣稱，此一資料取得方式除可能因人為疏漏而使得資料偏誤外，也影響了採用計算指標公式之適宜性，致使分析結果客觀性值得再予檢視。至於財務效益方面，交通部運輸研究^[2]明確指出了電動公車與柴油公車之成本差額，然因分析作業是採 5 家業者成本之平均值，在部分業者提供資料不確實或路線特性不一致之情形下，影響該結果之客觀性；經濟部工業局^[3]則採模型建構方式，探討不同情境下之電動公車、柴油公車成本差異，其結果僅指出電動公車具財務效益之情境，並未明確指出二者成本之差額。

綜理上文，妥善率、續航里程、財務效益是全面發展電動公車之關鍵因子，然過去計

畫在分析營運指標時，因囿限於資料取得方式、計算公式適宜性，致分析結果值得進一步檢視；財務效益則尚無一客觀或明確之數值，可供客運業者釐清電動公車、柴油公車之成本差值。有鑑於此，本研究首先藉由利用車載機及車電資訊整合系統蒐集實際營運資料，並採適宜計算公式分析電動公車之妥善率、用電效率、續航里程等營運指標；其次，藉實際購置、營運成本資料之蒐集，計算電動公車與柴油公車之生命週期成本，並進行敏感度分析，以客觀論述電動公車之財務效益；最後，立基於各項實證分析結果，對國內電動公車之發展策略提出具體建議。

本文計分為六節，除於本節說明研究背景與動機外，第二節根據相關計畫之研究成果說明國內電動公車營運概況，並針對該等相關計畫進行檢討，此一檢討成果有助於釐清本研究之發展背景；其次，回顧過去有關車輛生命週期成本之文獻，作為本研究設定生命週期成本計算方式之參考。第三節說明營運指標、生命週期成本之分析方法。第四節首先說明應用車載機及車電資訊整合系統蒐集資料所分析之營運指標；其次，以市區公車路線作為分析對象，比較電動公車、柴油公車之成本，該項作業先設定一基本方案，再針對各項成本變動、政府補助等不同情境進行敏感度分析。第五節則由本研究實證分析結果，分析國內電動公車發展緩慢之原因，進而具體建議電動公車發展策略。第六節則綜結本研究之成果，進行結論與建議。

二、國內電動公車發展概況分析與文獻回顧

2.1 國內電動公車營運概況分析與檢討

2.1.1 國內電動公車營運概況分析

電動公車若依電能補充型式予以區分，主要包括：長續航里程慢充式、短續航里程快充式、電池交換式、路線上充電式，其中，路線上充電式於行經具有充電設施之道路時利用集電弓充電，剩餘里程則依靠車載儲能系統供電。在此營運型態下，因需具備道路上充電的基礎設施，故通常在已具無軌電車基礎設施之城市（例如：上海）方具經濟效益。而由於絕大多數之城市並不具有無軌電車基礎設施，故採用之電動公車多為其他 3 項型式，且早期之發展以電池交換式和長續航里程慢充式為主；隨後，隨著電池技術之進步，快充式電動公車漸受各客運業者所採用，目前已在諸多城市（例如：倫敦、北京、重慶、廈門）從事營運。

至於國內現階段之電動公車型式為長續航里程慢充式與電池交換式，二項型式若依已取得交通部車輛安全審驗中心核發車輛認證之車廠予以區分，前者包括：華德動能科技股份有限公司（以下簡稱「華德動能」）、馨盛汽車企業股份有限公司（以下簡稱「馨盛汽車」）、唐榮車輛科技股份有限公司（以下簡稱「唐榮車輛」）及必翔電動汽車公司；後者則僅臺灣立凱綠能移動股份有限公司（以下簡稱「立凱綠能」）。為分析該等電動公車之營

運情形，交通部運輸研究所^[2]曾對擁有電動公車之 8 家客運業者主管進行訪談，其中，有關營運指標、成本之訪談結果摘述如下：

1. 在續航里程方面，客運業者表示車輛廠商提供了過於理想的數據，導致續航里程不符合路線營運需求，需回廠補充電力或是頻繁電池交換方可滿足實際營運需求。在此情形下，續航里程之限制會增加排班調度的困難。
2. 在妥善率部分，業者普遍認為電動公車妥善率不足，而故障原因大部分集中在電池系統，尤其是電池平衡問題。此現象乃因電動公車電池組為上百顆電池芯串、並聯組成，若充放電過程中出現單一電池芯充、放電情形不一，則產生電壓差，當電壓差過大時將造成電池組無法順利運作。
3. 在成本議題方面，雖車體部分領有政府補助，但購車當時未正確掌握充電場站的土地取得、土建設施、電力設施等成本，加計該等成本後，業者普遍反映電動車成本高於一般柴油車。

除上述質性之訪談結果外，交通部運輸研究所^[2]與經濟部工業局^[3]曾蒐集了由客運業者採人工方式記錄或車廠宣稱之資料，進行妥善率、用電效率、續航里程、財務效益之量化分析，其成果說明如下：

(一) 妥善率

交通部運輸研究所^[2]針對 18 條電動公車路線進行妥善率之分析，分析方式是計算「正常營運總車日數」除以「應營運總車日數」之數值，分析成果顯示，民國 101 年、102 年、103 年之妥善率分別為 78.67%、92.06%、92.21%；個別路線平均妥善率最低者為 62.86%，最高者為 100%。

(二) 用電效率

交通部運輸研究所^[2]共計取得 18 條路線耗電量及行駛里程資料，並計算二者之比值作為電動公車用電效率，分析結果顯示，電動大巴平均用電效率介於 0.6411 公里／度電～1.0172 公里／度電；電動中巴則介於 0.72 公里／度電～1.6781 公里／度電。經濟部工業局^[3]則針對「華德動能」、「唐榮車輛」、「立凱綠能」等廠商製造的電動公車進行分析，其中，「華德動能」電動大巴在不開冷氣情境下，於一般道路、市區道路、高速公路之平均用電效率分別為 1.058 公里／度電、0.6 公里／度電、1.2～1.4 公里／度電，電動中巴於一般道路之用電效率為 0.588 公里／度電；「唐榮車輛」、「立凱綠能」所生產電動大巴之平均用電效率則分別約為 0.8 公里／度電、0.64 公里／度電。

(三) 續航里程

交通部運輸研究所^[2]以用電效率乘上車輛電池容量估算續航里程，依此方式估算個別廠牌之結果指出，在插電式電動公車方面，「唐榮車輛」、「華德動能」、「馨盛汽車」電動大巴之續航里程分別為 157.38 公里、210.33 公里、329.57 公里；「華德動能」電動中巴之續航里程則為 94.52 公里。在換電式方面「立凱綠能」電動大巴、中巴之續航里程為 65.16 公里、71.97 公里。經濟部工業局^[3]指出，「華德動能」在不開冷氣情境下，於一

般道路、市區道路、高速公路之續航里程分別為 170-180 公里、100-120 公里、180 公里；「唐榮車輛」、「立凱綠能」之電動大巴續航里程分別約為 150 公里、50-60 公里。

(四) 電動公車與柴油公車成本比較

交通部運輸研究所^[2]根據交通部訂頒之「汽車客運業路線別成本計算制度」，蒐集了 5 家客運業者之 18 項成本資料，經統計其平均值顯示，柴油公車、電動公車每公里成本分別為 43.01 元、52.75 元。經濟部工業局^[3]首先彙整各客運業者訪談結果，獲得柴油、電動公車顯著差異之成本項（包括：燃料、業務費用、場站租金、車輛折舊、各項設備折舊、財務費用等 7 項），採此 7 項成本建構量化分析模型，藉以評估某路線從柴油公車車隊汰換為電動公車車隊所需增加的成本。其結果指出，「能源效率大於 0.8 公里／度電且缺行率小於 5%」是電動公車成本由劣勢轉為優勢的門檻條件。

2.1.2 相關計畫分析成果之檢討

2.1.1 節述及之成果囿限於資料取得方式客觀性或計算方式適宜性，故尚有若干可進一步檢討之處：

(一) 妥善率

交通部運輸研究所^[2]分析妥善率之資料來自各客運業者之維修紀錄，在大部分客運業者僅記錄故障日期與天數之情形下，該指標分析是以「天」為單位（正常營運車日總數／應營運車日總數）。此項計算方式將使妥善率分析結果易產生低估現象；舉例而言，假設某路線有 10 輛車輛，每日班次數為 100 班，若有 1 輛車輛發生故障，經修復後僅影響了 3 個班次，則以班次計算之妥善率為 97%。然若使用營運車日數之計算方式，該故障車輛被視為當日未正常營運，故正常營運車日數、應營運車日數分別為 9 車日、10 車日，據此計算之妥善率為 90%。

(二) 用電效率

用電效率是計算消耗電力與行駛里程之比值，該二項資料來源係來自駕駛員採人工登錄之行車日誌，其易因人為疏漏而產生資料登錄不確實之情形，進而影響用電效率分析結果之客觀性。

(三) 續航里程

續航里程之分析是車輛所裝配的電池容量（度電）乘以用電效率（公里／度電）之數值，該二項資料是由車輛廠商所宣稱，未由實際營運情形所獲得，致客觀性值得再予檢視。

(四) 財務效益分析之檢討

交通部運輸研究所^[2]計算柴油、電動公車之每公里成本，是採 5 家業者平均值，然部分成本數值有偏誤（例如：某家客運業者之柴油車輛折舊成本為 0），或同一成本項但各業者間提供之數值呈明顯差異，例如：電動公車電費最大值為 21.96 元／公里，最小值為 5.42 元／公里，5 家業者所提供單位公里電費之標準差高達 7.28。簡言之，該計畫雖明確指出柴油公車、電動公車之每公里成本，但因資料之客觀性而使得分析結果值得再予檢視。經

濟部工業局^[2]則採模型建構方式，在不同路線長度、技術性能（能源效率、缺行率）情境下，分析電動公車、柴油公車之成本差異，其成果僅指出電動公車具財務效益之情境，尚未明確釐清電動公車、柴油公車財務效益之差額為何？

歸納言之，上述二項計畫分析之營運指標因資料取得方式、計算公式而可能產生偏誤；另柴油公車與電動公車成本之比較，因資料客觀性或未具體提出成本差異數額，尚無法客觀釐清柴油公車與電動公車財務效益之差異。

2.2 車輛生命週期成本相關研究

早期對於低碳車輛成本之研究著重於比較油電混合車（HEV）與傳統車輛，該等研究探討了不同 HEV 車型之成本，其成果在 Santini 等人^[4]之研究進行了彙整。其後，陸續有研究除考慮低碳車輛之製造成本外，另結合營運績效（performance）進行分析（例如：Burke 等人^[5]；Lave 與 MacLean^[6]；Thomas^[7]）。而為反映結合製造成本、營運成本之數值可採生命週期成本（lifecycle cost），Lipman 與 Delucchi^[8]、Delucchi 與 Lipman^[9]即應用生命週期之計算結果，具體比較 HEV 與柴油車、電動車與柴油車之成本，茲說明如下：

Lipman 與 Delucchi^[8]採模擬方法進行了 HEV 與柴油車零售成本與生命週期成本之比較，其計算生命週期成本之具體項目包括：車輛資本成本（vehicle capital cost）、電池成本、燃料成本、保險費用、維護與修理費、引擎機油費、輪胎重置成本、停車、過路費、零件費用、車輛登記費、車輛安全與排放費用、中央與地方稅等。

Delucchi 與 Lipman^[9]則進行電動車與燃油車生命週期成本之比較，其考慮生命週期成本之項目包括：購置成本、每年營運與維護成本、電池重置成本；而為比較電動車與柴油車之生命週期成本，該研究建構了一個包含了 3 項子模式之整合模式，其 3 項子模式分別為：

1. 車輛成本與重量子模式：除車輛製造成本外，另考量銷售成本，二者合計為車輛零售成本（retail cost）。
2. 車輛能源使用（energy use）子模式：此一子模式是在估計車輛行駛所需能源使用數量，其直接影響電池數量，而電池數量之多寡攸關電池成本。
3. 車輛持有週期成本與營運成本子模式（periodic ownership and operating cost）：包含保險、維修、燃油或耗電等項成本。

應用上述 3 項子模式計算生命週期成本之步驟包括：計算週期成本、計算分年週期成本、計算每公里週期成本等，依據此 3 項步驟之計算結果，比較了電動車與燃油車生命週期成本之差異，並進行了敏感度分析。該研究主要結論指出，電池成本降低及使用壽命增長可有效提升電動車之成本競爭力。

三、研究方法

本研究首先應用車載機及車電資訊整合系統蒐集電動車隊實際營運資料，並採適當公

式計算電動公車妥善率、用電效率、續航里程等營運指標；其次，蒐集實際成本數值計算電動公車、柴油公車生命週期成本，藉以比較電動公車、柴油公車之財務效益。二項研究方法具體說明於下：

(一) 應用車載機及車電資訊整合系統分析電動公車營運指標

本研究應用之車載機及車電資訊整合系統是於車上裝設車載機，並結合 GPRS 技術，每 3 秒傳送 1 筆車載機所蒐集之資料至後端主機儲存。此一系統除了具備傳統公車動態系統之功能外，另整合了電能資訊；具體功能包括：遠端即時監控及記錄資訊、遠端即時診斷警訊及設定簡訊、客觀記錄各項行車資訊。其中，本研究應用該系統所蒐集之行駛里程數、起始電量、結束電量、營運班次等資料，並設定各營運指標之計算公式進行分析。

各營運指標計算公式乃基於上述相關計畫之檢討後予以設定，其中，妥善率之計算採用「班次」為單位，即採實際發車班次與表訂營運班次之比值；用電效率採行駛里程所耗用電量估算之；續航里程之定義為電池荷電狀態 (state-of-charge, SOC) 由 100% 至 0% 可行駛里程，在此定義下，續航里程計算方式為實際觀測之行駛里程數除以剩餘電量。各營運指標具體計算公式條列如下：

1. 妥善率：實際發車班次／表定營運班次。
2. 用電效率：(起始電量－結束電量)／行駛里程數。
3. 續航里程：行駛里程數／剩餘電量比例。

(二) 車輛生命週期成本計算方法

本研究參酌了經濟部工業局^[3]之作法，分別計算電動公車、柴油公車之生命週期成本 (即不包含與車輛無關之成本)，據以比較柴油公車與電動公車之財務差異；具體之計算項目、方法係參考 Delucchi 與 Lipman^[9] 之研究，茲說明如下：

1. 計算週期成本

本研究考慮之成本項包括：車體成本、車輛能源使用成本、營運成本，各成本包含項目說明如下：

(1) 車體成本

車體成本是電動公車、柴油公車之零售成本，其中，電動公車車體成本不含電池成本。

(2) 車輛能源使用成本

電動公車車輛能源使用成本包括電池、充電機、充電站之零售或建置成本；柴油公車則無此項成本。

(3) 營運成本

營運成本之計算參考 Lipman 與 Delucchi^[9] 所考量之項目，再衡諸國內實際之情形，納入計算之項目包括：燃料成本、維護與修理費、引擎機油費。

2. 計算分年週期成本

車體成本、車輛能源使用成本依攤提年限進行折舊攤提，並加計每年營運成本後，可將週期成本轉換為分年週期成本。在進行折舊攤提之攤提年限方面，車體成本採 8 年攤提；電動公車之電池、充電機依現階段國內實際情形包括：買斷、租賃兩種型態，本研究採買斷方式進行分析，攤提年限按車輛製造廠商提供之保固年限予以設定；充電站採 15 年攤提。各項攤提年限彙整如表 1。

表 1 計算分年週期成本之攤提年限

項目	攤提年限
車體	分 8 年攤提
電池	車輛製造廠商提供之保固年限
充電機	車輛製造廠商提供之保固年限
維護費	每年維護費
用電	每年用電費
充電站	分 15 年攤提

3. 計算每公里週期成本

分年週期成本除以每年行駛里程數，可計算得每公里週期成本。

四、實證分析結果

4.1 電動公車續航里程、用電效率、妥善率實證分析結果

本研究利用車載機及車電資訊整合系統蒐集電動公車營運資料之對象包括 3 條路線，該 3 條路線所使用之電動公車是同一廠商所製造，其中，「路線 1」是使用電動大巴行駛於高速公路；「路線 2」、「路線 3」則是使用電動大巴、電動中巴行駛於一般道路（該 3 條路線之營運概況彙整如表 2）。透過該等路線實際營運資料之蒐集，可分析不同車輛型式（大巴、中巴）、路線型式（行駛於高速公路、一般道路）之營運指標。

表 2 本研究進行實證分析之路線營運概況

路線名稱	車輛型式	路線型式	路線長度
路線 1	電動大巴	高速公路	74km
路線 2	電動大巴	一般道路	23.2km
路線 3	電動中巴	一般道路	37km

針對 3 條路線進行資料蒐集之期間為民國 103 年 9 月 ~ 民國 104 年 12 月，該等資料採上述公式所計算之結果（彙整如表 3）分析如下：

（一）在妥善率方面

3 條路線妥善率皆高於九成，分別為 99.1%、94.4%、92.2%。

（二）用電效率

1. 「路線 1」之用電效率為 0.92 公里／度電，較「路線 2」之 0.76 公里／度電約高 20%，分析此差異之成因，主要是「路線 2」行駛一般道路，除停等時間較長而衍生較多的怠速耗電外，另需常踩剎車而導致用電效率較差；相對地，「路線 1」行駛高速公路除無需踩剎車外，可採滑行行駛距離較長，連帶使得無需踩踏電門驅動馬達之距離較長，使得用電效率較佳。
2. 比較「路線 2」、「路線 3」之用電效率，可發現「路線 2」（採電動大巴）每度電行駛公里數為 0.76 公里，其明顯小於「路線 3」（採電動中巴）之 1.75 公里。分析其因主要在於電動大巴重量（空重為 1.3 噸）約為電動中巴重量（空重為 0.6 噸）之 2 倍，致電動大巴馬達輸出功率較電動中巴高，隨之衍生較大之耗電量。

（三）續航里程

1. 「路線 1」、「路線 2」係採同一車型（即配置相同電池容量），然電動公車行駛於高速公路之續航里程較一般道路為長（分別為 237.96 公里、218.91 公里），分析其成因主要是行駛於高速公路之用電效率較高所致。
2. 「路線 2」之續航里程較「路線 3」為長，其原因是該電動大巴電池容量（250 度電）遠大於該電動中巴電池容量（110 度電），致「路線 2」之用電效率雖較「路線 3」為小，但續航里程較長。

表 3 營運指標分析結果彙整表

	路線 1	路線 2	路線 3
妥善率(%)	99.1	94.4	92.2
用電效率(公里／度電)	0.92	0.76	1.75
續航里程(公里)	237.96	218.91	187.82

除上述採車載機及車電資訊整合系統進行資料蒐集與分析外，由於客運公司亦同時採人工記錄資料，即於同期間具有車載機及車電資訊整合系統、人工記錄之資料可茲比較。其中，人工記錄是利用手抄方式每日填寫起始里程（公里）、結束里程（公里）、起始電量、結束電量、故障狀況（有／無）。經比較二者資料所分析之營運指標（如表 4）可知，二者間具有某種程度之差異。

表 4 本研究與人工記錄資料分析營運指標之比較

運行路線	路線 1			路線 2			路線 3		
車型	大巴			大巴			中巴		
	車載機	人工記錄	誤差 ^註	車載機	人工記錄	誤差 ^註	車載機	人工記錄	誤差 ^註
妥善率	99.1%	96.7%	2.38%	94.4%	80.6%	14.62%	92.2%	62.9%	31.82%
用電效率 (度電／公里)	1.09	1.20	-10.53%	1.31	1.08	17.92%	0.57	0.90	58.05%
續航里程 (公里)	237.96	201.33	15.39%	218.91	210.33	3.92%	187.82	94.52	49.68%

註：誤差之計算式為(車載機資料－人工記錄資料)／車載機資料。

4.2 電動公車、柴油公車財務效益比較實證分析結果

本研究針對甲類大客車進行電動公車與柴油公車成本財務差異之比較，此一分析作業首先針對各成本項蒐集現況實際數值，據以設定為基本方案，進而比較現況電動公車、柴油公車之成本差異（4.2.1 節）。其次，考量現階段國內電動公車各廠牌之車輛成本差異甚大，營運成本亦因營運里程、用電效率之不同而呈現明顯之差異。因此，本研究立基於基本方案之計算結果下，針對車體成本、車輛能源使用成本、營運成本等變動進行敏感度分析作業，並探討政府現階段補助措施下之電動公車、柴油公車財務效益（4.2.2 節）。

4.2.1 電動公車、柴油公車基本方案之成本比較

現階段國內各家廠商所生產電動公車配置之電池容量不同，導致電池成本、營運成本具明顯差異，其中，電池成本一般會隨著電池容量之增多而增加；在營運成本方面，若配置之電池容量可使每次充完電續航里程滿足每日營運里程，則充電作業可完全在夜間電費離峰時段進行，可降低電費支出。而就現階段國內實際營運經驗顯示，某一車型（以下簡稱「車型 1」）配置較大之電池容量，其於夜間充完電之續航里程足敷每日營運里程；其餘車型（以下簡稱「車型 2」）配置電池容量相對較少，其於夜間充完電之續航里程並無法完全滿足每日營運里程，而需輔以日間充電。在此等特性之差異下，「車型 1」因配置較多電池容量，致該車型之電池成本較高；但因其充電皆在夜間進行，故營運成本較「車型 2」便宜。

基本方案分別就上述二車型進行設定，各項成本之資料來源方面，國內某客運公司（以下簡稱「客運公司 A」）購置有二車型從事營運，其實際之購置成本、營運成本為本研究之主要參考。在此主要參考下，依上文述及步驟所進行之分析作業說明如下：

（一）計算週期成本

1. 電動公車週期成本之計算

車體成本與車輛能源使用成本包括：車體、電池、充電機、充電站等費用，其中，前三者除蒐集「客運公司 A」購置費用外，並蒐集該二車型近期之售價後予以設定；至於充電站建置費用方面，經蒐集實際之建置費用，再依充電站供應之車輛數，採平均分攤方式計算得每輛車之充電站建置費用。至於電動公車營運成本方面，蒐集「客運公司 A」採二車型營運之實際成本予以設定。茲說明如下：

(1) 車體成本

「車型 1」、「車型 2」電動大巴之車體成本皆設定為 650 萬元／輛。

(2) 車輛能源使用成本

(A) 「車型 1」、「車型 2」電池售價分別為 500 萬元、250 萬元。

(B) 「車型 1」充電機每台 30 萬元；「車型 2」充電機每台 78 萬元。

(C) 在每輛車分攤之充電站建置費用方面，「車型 1」為 42.1 萬元、「車型 2」為 38.9 萬元。

(3) 營運成本

營運成本包括電費與維護費用，二者分別由單位里程電價、單位里程維護費用乘以行駛里程數之乘積而得，各項因子於基本方案之設定情形說明如下：

(A) 單位里程電價：現階段電價之計算項目包括經常契約與流動電費，該二項目在不同季節(夏月、非夏月)、時日(平常日、週六、週日)、時段(尖峰時間、離峰時間)有著不同之費率。在該計價方式下，「車型 1」皆於夜間充電，故其基本電費、流動電費皆可使用離峰費率，實際營運所花費之電費為 1.988 元／公里；「車型 2」除主要於夜間充電外，另需輔以日間充電，故其基本電費、流動電費皆需部分使用尖峰費率，爰此，依實際營運資料顯示，其每公里之電費為 4.34 元。

(B) 單位里程維護費用：單位里程之維護費是由全年維護費用除以全年行駛里程數得知，此項數值由實際營運資料顯示，二車型間之差異不大，故每公里維護費用皆設定為 0.43 元。

(C) 行駛里程數：現階段國內市區公車路線每日行駛里程約介於 130 公里~150 公里，公路客運路線約介於 200 公里~240 公里。本研究依市區公車路線進行分析，設定每年行駛里程數為 50,400 公里 (140 公里／天×360 天／年)。

2. 柴油公車週期成本之計算

車體成本蒐集近期市場售價後設定為 475 萬元／輛；營運成本包括燃油費用(包括柴油費、機油費)與維護費用，二費用數值同樣由單位里程油價、單位維護費用乘以行駛里程數得之。其中，行駛里程數同樣設定為 50,400 公里／年；單位里程油價、單位維護費用之設定情形說明如下：

(1) 單位里程油費：單位里程柴油費用採每公升柴油價格除以燃油效率(公里／公升)得之，其中，每公升柴油價格採民國 105 年平均柴油價格(19.64 元／公升)，燃油效率設定為 2.5 公里／公升，依此換算得每公里柴油費為 7.86 元；機油費依「客運公司 A」

實際營運資料設定為 0.37 元／公里，合計柴油公車單位里程油費為 8.23 元／公里。

- (2) 單位里程維護費用：單位里程之維護費是由全年維護費用除以全年行駛里程數得知，此項數值同樣由「客運公司 A」實際營運資料計算得 0.82 元／公里。

依據上述之設定，「車型 1」、「車型 2」電動公車與柴油公車之各項成本彙整於表 5。

表 5 電動公車、柴油公車基本方案之週期成本彙整表

項目	「車型 1」電動公車	「車型 2」電動公車	柴油公車
車體 (萬元)	650	650	475
電池 (萬元)	500	250	—
充電機 (萬元)	30	78	—
充電站 (萬元／輛)	42.1	38.9	—
單位里程電費 (元／公里)	1.98	4.34	—
單位里程油費 (元／公里)	—	—	8.23
單位維護費 (元／公里)	0.43	0.43	0.82

(二) 計算分年週期成本

上述之週期成本依據表 1 所設定攤提年限進行分年週期成本之計算，得知電動公車「車型 1」每年生命週期成本約為 168.7 萬元；電動公車「車型 2」每年生命週期成本約為 183.88 萬元；柴油公車每年生命週期成本約為 104.99 萬元 (如表 6)。若依現階段國內客運業者一般採用之車輛成本攤提年限 (8 年)，將上述分年週期成本值乘以 8，可得電動公車「車型 1」、「車型 2」8 年生命週期成本分別較柴油公車高約 509.9 萬元、631.3 萬元。

表 6 電動公車、柴油公車分年週期成本之比較

電動公車 (「車型 1」)	項目	車體	電池	充電機	充電站	電費	維護費	合計
	金額	650 萬元	500 萬元	30 萬元	42.1 萬元	1.98 元／公里	0.43 元／公里	1,687,031
	攤提年限或數量	8 年	8 年	3 年	15 年	50400 公里	50400 公里	
	成本(元／年)	812,500	625,000	100,000	28,067	99,792	21,672	
電動公車 (「車型 2」)	金額	650 萬元	250 萬元	78 萬元	38.9 萬元	4.34 元／公里	0.43 元／公里	1,838,841
	攤提年限或數量	8 年	5 年	3 年	15 年	50400 公里	50400 公里	
	成本(元／年)	812,500	500,000	260,000	25,933	218,736	21,672	
柴油公車	項目	車體	電池	充電機	充電站	油費	維護費	合計
	金額	475 萬元	—	—	—	8.23 元／公里	0.82 元／公里	1,049,870
	攤提年限或數量	8 年	—	—	—	50400 公里	50400 公里	
	成本(元／年)	593,750	—	—	—	414,792	41,328	

(三) 計算每公里週期成本

生命週期分年成本除以每年行駛里程數，可計算得電動公車「車型 1」、「車型 2」及柴油公車每公里週期成本分別為 33.47 元／公里、36.48 元／公里及 20.83 元／公里；即電動公車「車型 1」、「車型 2」每公里週期成本分別較柴油公車高 12.64 元、15.65 元。

4.2.2 敏感度分析作業

參照國外電動公車之發展經驗，上述車體成本、車輛能源使用成本有機會大幅降低；此外，電動公車、柴油公車營運成本之差值隨著柴油價格、行駛里程長短而變動。爰此，本研究在基本方案之基礎下，進一步進行敏感度分析作業，並結合政府補助金額進行探討。在進行此項分析作業時，因電動公車「車型 1」之 8 年生命週期成本較「車型 2」為低，故採「車型 1」進行敏感度分析。此一作業分別就車體成本、車輛能源使用成本、營運成本之變動及政府補助等情境進行分析，分析內容與結果說明如下：

(一) 車體成本變動敏感度分析

電動公車與柴油公車車體成本之差異主要在於動力系統成本，二者動力系統成本分別為電機系統成本與內燃機成本，而現階段電動系統成本較內燃機成本約低 15~25 萬元；亦即電動公車車體成本應較柴油公車為低或相近。然國內現階段電動公車車體成本（基本方案設定值為 650 萬元）明顯較柴油公車為高（基本方案設定值為 475 萬元），故電動公車車體成本有大幅降低之機會；當減少 30%時，電動公車車體成本（455 萬元）與柴油公車車體成本相近。

(二) 車輛能源使用成本變動敏感度分析

車輛能源使用成本包括：電池與充電機售價及充電站建置成本，其中，電池售價受單位（度電）電池價格高低、配置電池容量多寡之影響；充電機、充電站成本則可隨著建置數量減少而降低。而電池售價又為三者中之主要成本項，故本研究針對電池售價進行敏感度分析。

電動公車電池模組是由電池單體（即電芯）串、並聯而成，而現階段運用於電動車之電芯按正極材料予以區分，主要包括：磷酸鐵鋰、多元複合鋰、鈦酸鋰、錳酸鋰、三元、鎳氫等，其中，國內電動公車多採用磷酸鐵鋰；近年在國外則有大量多元複合鋰之使用。二項電芯之單位價格與電池模組配置容量有著明顯差異，茲說明如下：

1. 「車型 1」採用磷酸鐵鋰電芯，其保固 8 年之每度電售價為 15,432 元；而現階段多元複合鋰電芯保固 8 年之每度電售價約 30,000 元，即多元複合鋰電芯單位價格約為磷酸鐵鋰電芯之 2 倍。
2. 多元複合鋰電芯組成後之充電倍率為 4C（1C 定義為電池容量於 1 小時內完成充放電的電流大小），遠大於磷酸鐵鋰之 0.5C。此高充電倍率之特性可大幅縮短充電時間，舉國外目前已應用多元複合鋰電池之電動公車為例，每次充電時間僅約需 10~15 分鐘。在充電時間短之情形下，充電作業時間可搭配客運業者之排班而進行（例如：每行駛一班

或二班後，利用中間之休息時間進行充電)。因此，每次充完電之續航里程僅需滿足兩次充電作業間之營運里程，進而可減少電池容量。

簡言之，電芯技術特性之改變，可將充電模式由傳統慢速充電改為快速充電後，可大幅降低電動車電池配置容量；然現階段應用於快速充電模式電芯之單位價格較高。因此，本研究進行電池單位價格、電池容量變動之敏感度分析，分析作業之情境設定與結果分述於下：

1. 電池單位價格：隨著電池技術發展日新月異及產量規模日益擴大之趨勢下，近年電池單位價格已有明顯下降之趨勢，且預期未來將持續降低。此一現象可根據智研諮詢集團^[10]之分析成果予以例證，該報告蒐集了中國近年動力電池價格之實際資料，並對未來發展進行分析，其成果指出 2010 年之動力電池平均價格為 3.5 元（人民幣／wh），隨後一路下降至 2016 年至 2.4 元（人民幣／wh），且預期至 2020 年將下降至 1.3 元（人民幣／wh）。根據此一發展趨勢，本研究設定電池單位價格較上述之現況售價減少約 1/3 之情境，即設定磷酸鐵鋰、多元複合鋰之電池單位價格分別為 10,000 元／度電、20,000 元／度電。
2. 電池配置容量：快速充電採設定為 72 度電，其因是現行「公路公共運輸補助電動大客車作業要點」對於快速充電有 60 公里續航里程之要求，經考量用電效率及 SOC 下限等因素，配置 72 度電電池之電動公車可滿足 60 公里續航里程。

上述分析情境下之電池售價彙整如表 7，當慢速充電電池之單位價格減少 1/3 時，電池售價可較「車型 1」減少約 176 萬元。當採快速充電時，在多元複合鋰現階段市場售價減少 1/3 之情境下，電池售價可較「車型 1」各減少約 284 萬元及 356 萬元。

表 7 電池售價之敏感度分析

充電型式	電池單位價格 (元／度電)	電池配置容量 (度電)	電池售價 (萬元)	與「車型 1」電池售價 之差值 (萬元)
慢速充電	15,432	324	500	0
	10,000	324	324	-176
快速充電	30,000	72	216	-284
	20,000	72	144	-356

(三) 營運成本變動之財務效益敏感度分析

電動公車與柴油公車營運成本之差異主要是燃料成本與維護費用，二者中以燃料成本為主要，其估算係採單位里程燃料費用與行駛公里數之乘積，故本研究針對每公升柴油價格與行駛公里數之變動進行敏感度分析。分析作業是計算各情境下電動公車與柴油公車 8 年生命週期成本之差值；而在情境之假設方面，每公升柴油價格下限採近 3 年最低之 14.6

元，上限採 28.1 元（現階段超過此價格之數額由中油公司補貼給客運公司）；每日行駛公里數之上、下限則參酌市區公車路線之營運實務，最低、最高值分別設定為 120 公里、240 公里，並在此上、下限間另假設若干情境。該等情境之計算結果彙整於表 8，茲說明如下：

1. 在各項可能營運成本情境下，電動公車 8 年生命週期成本皆較柴油公車為高。
2. 當柴油價格愈高、行駛里程數愈長時，電動公車營運成本愈低；舉例言之，在基本方案每日行駛里程（140 公里）下，油價上漲至 28.1 元／公升時，電動公車 8 年生命週期成本較基本方案減少 1,364,429 元；在基本方案每公升柴油價格 19.64（元／公升）情境下，每日行駛里程增加至 240 公里時，電動公車 8 年生命週期成本較基本方案減少 1,911,168 元。

表 8 行駛里程、柴油價格變動情境下電動、柴油公車 8 年生命週期成本之差值

里程 油價	120	140	160	180	200	220	240
14.6	6,177,861	5,911,749	5,645,637	5,379,525	5,113,413	4,847,301	4,581,189
16	5,984,325	5,685,957	5,387,589	5,089,221	4,790,853	4,492,485	4,194,117
18	5,707,845	5,363,397	5,018,949	4,674,501	4,330,053	3,985,605	3,641,157
19.64	5,481,132	5,098,898	4,716,665	4,334,431	3,952,197	3,569,964	3,187,730
22	5,154,885	4,718,277	4,281,669	3,845,061	3,408,453	2,971,845	2,535,237
24	4,878,405	4,395,717	3,913,029	3,430,341	2,947,653	2,464,965	1,982,277
26	4,601,925	4,073,157	3,544,389	3,015,621	2,486,853	1,958,085	1,429,317
28.1	4,311,621	3,734,469	3,157,317	2,580,165	2,003,013	1,425,861	848,709

註：縱軸為每公升柴油價格，橫軸為每日行駛里程，表中數字為電動公車 8 年生命週期成本減柴油公車 8 年生命週期成本（單位：元）。

(四) 政府補助情境下之電動公車、柴油公車生命週期成本比較

現階段政府訂有辦法對電動公車、柴油公車進行補助，前者主要循「公路公共運輸補助電動大客車作業要點」，後者則依「公路公共運輸提昇計畫」，二項辦法皆依不同計畫型式（一般型汰舊換新、競爭型新闢路線）、車輛型式（甲類大客車、乙類大客車）給予不同額度之補助。本研究依客運業者最常申請之一般型計畫甲類大客車為對象進行分析，其中，電動公車之補助來自二單位：其一是交通部補助車體價格（不含電池價格）之 49%、充電場站經費之 49%，其二是環保署補助車體價格 50 萬元、電池 100 萬元。依此要點計算「車型 1」可獲之補助金額為 489.1 萬元（交通部補助車體價格 368.5 萬元（650 萬元之 49%）與充電站 20.6 萬元（42.1 萬元之 49%）、環保署補助車體價格 50 萬元與電池 100 萬元）。在柴油公車方面，每輛低地板柴油甲類大客車可獲之最高補助額度為 223.6 萬元。在上述補助金額下，針對二項情境進行分析：

1. 情境 1：電動公車獲購車補助、柴油公車無購車補助

電動公車之補助金額 (489.1 萬元) 減去表 8 之數值如表 9，表 9 之數值為正，表示電動公車獲得購車補助後，其財務效益高於柴油公車；負值則反之。其中，上文設定基本方案情境 (每日行駛里程 140 公里、柴油價格 19.64 元／公升) 之電動公車 8 年生命週期成本較柴油公車高約 20.8 萬元；然隨著柴油價格、行駛距離之增加，電動公車在諸多情境下具財務優勢，例如：當柴油價格高於 24 元／公升之各項情境下，電動公車皆較柴油公車具財務優勢。

表 9 電動公車獲購車補助、柴油公車無購車補助情境下之電動公車財務效益敏感度分析

里程 油價	120	140	160	180	200	220	240
14.6	-1,286,571	-1,020,459	-754,347	-488,235	-222,123	43,989	310,101
16	-1,093,035	-794,667	-496,299	-197,931	100,437	398,805	697,173
18	-816,555	-472,107	-127,659	216,789	561,237	905,685	1,250,133
19.64	-589,842	-207,608	174,625	556,859	939,093	1,321,326	1,703,560
22	-263,595	173,013	609,621	1,046,229	1,482,837	1,919,445	2,356,053
24	12,885	495,573	978,261	1,460,949	1,943,637	2,426,325	2,909,013
26	289,365	818,133	1,346,901	1,875,669	2,404,437	2,933,205	3,461,973
28.1	579,669	1,156,821	1,733,973	2,311,125	2,888,277	3,465,429	4,042,581

註：縱軸為每公升柴油價格，橫軸為每日行駛里程，表中數字為電動公車 8 年生命週期成本減柴油公車 8 年生命週期成本 (單位：元)。

2. 情境 2：電動公車、柴油公車皆獲購車補助

當電動公車、柴油公車同時獲得購車補助 (前者為 489.1 萬元／輛、後者為 223.6 萬元／輛) 時，二者補助金額差值為 265.5 萬元，此數值減去表 8 數值之計算結果如表 10。由表中結果可知，電動公車在多數情境不具財務優勢，其中，基本方案情境之電動公車成本較柴油公車高約 244.4 萬元。

五、實證分析結果應用之建議

5.1 國內電動公車發展課題之檢討

交通部運輸研究所^[2]經訪談客運業者指出，購置電動公車主要考量因素為妥善率良窳、續航力可滿足排班調度、財務效益等，據此，由本研究實證分析結果針對該三項要素於國內發展情形與課題進行檢討如下。

表 10 電動公車、柴油公車皆獲購車補助情境下之電動公車財務效益敏感度分析

里程 油價	120	140	160	180	200	220	240
14.6	-3,522,571	-3,256,459	-2,990,347	-2,724,235	-2,458,123	-2,192,011	-1,925,899
16	-3,329,035	-3,030,667	-2,732,299	-2,433,931	-2,135,563	-1,837,195	-1,538,827
18	-3,052,555	-2,708,107	-2,363,659	-2,019,211	-1,674,763	-1,330,315	-985,867
19.64	-2,825,842	-2,443,608	-2,061,375	-1,679,141	-1,296,907	-914,674	-532,440
22	-2,499,595	-2,062,987	-1,626,379	-1,189,771	-753,163	-316,555	120,053
24	-2,223,115	-1,740,427	-1,257,739	-775,051	-292,363	190,325	673,013
26	-1,946,635	-1,417,867	-889,099	-360,331	168,437	697,205	1,225,973
28.1	-1,656,331	-1,079,179	-502,027	75,125	652,277	1,229,429	1,806,581

註：縱軸為每公升柴油價格，橫軸為每日行駛里程，表中數字為電動公車 8 年生命週期成本減柴油公車 8 年生命週期成本(單位：元)。

首先，在妥善率方面，經由本研究實證分析結果顯示，3 路線妥善率皆已逾九成 (分別為 99.1%、94.4%、92.2%)；另進一步依時間序進行觀察，可發現資料蒐集初期 (民國 103 年 9 月~12 月) 之妥善率較低 (3 路線分別為 86.7%、85.4%、90.9%)，隨後妥善率逐漸攀升。此一電動公車妥善率隨著營運經驗累積而逐漸改善之現象，與交通部運輸研究所^[2]之發現相似 (民國 101 年、102 年、103 年整體妥善率為 78.67%、92.06%、92.2%)，然仍較柴油大客車之 99.83% (交通部運輸研究所^[2]) 為差。

其次，在續航力可滿足排班調度方面，客運業者普遍認為電動公車續航里程之限制增加了排班調度困難 (交通部運輸研究所^[2])，該論述可由本研究實證分析結果提供具體之例證：本研究觀測「路線 1」之平均續航里程為 237.96 公里，此續航里程的計算是 SOC 由 100%至 0%，然為保護電池，實際營運之 SOC 下限不會設定為 0% (通常為 20%)，故實際營運續航里程受 SOC 下限設定之影響而僅為 190.37 (237.96×80%) 公里。此一續航里程數對照該路線里程數 (74 公里) 可知，營運 2 班次後需補充電力方能繼續營運，且因充電模式為慢速充電，補充電力時間甚長，因而影響了排班調度彈性。

慢速充電除影響排班調度彈性外，尚衍生了下述問題：現階段國內慢速充電作業多為「夜間充電，滿足一日營運里程」，而為滿足一天營運里程，電動公車電池容量需滿足該營運里程之續航力，此舉加大了電池容量，隨之，增加了電池購置、重置成本。此外，在上述夜間充電模式下，每輛電動車多配置一台充電機，故當電動車隊規模愈大，充電機數量、充電站空間規模將隨之增大，進而使得充電站、充電機成本較高。簡言之，現階段國內電動公車採慢速充電模式除影響排班調度之彈性外，亦使車輛使用能源成本 (電池、充電機、充電站成本) 較高，連帶地使得電動公車生命週期成本明顯較柴油公車為高。

最後，在電動公車成本較高之情形下，為促使客運業者願意購置電動公車，政府訂有電動公車補助辦法，該補助金額需大於電動公車與柴油公車生命週期成本之差值，電動公車方具財務優勢。然由本研究實證分析結果指出，當電動公車獲得購車補助、柴油公車無購車補助時，在民國 105 年平均柴油價格（19.64 元／公升）、市區公車路線一般行駛里程數（每日 140 公里）之情境下，電動公車財務效益較柴油公車為差；加諸政府近年大幅對柴油公車汰舊換新進行購車補助，電動公車財務劣勢更形明顯。

綜理言之，依據現階段政府對電動公車、柴油公車之補助進行分析，電動公車在諸多情境並不具財務誘因，加諸客運業者對電動公車妥善率良窳、續航里程影響排班調度等疑慮，國內電動公車發展緩慢之現況自不難想見。

5.2 國內電動公車發展策略之建議

由上文之檢討可知，欲全面發展電動公車需致力於提升妥善率、財務效益及續航里程滿足排班調度之措施；其中，在妥善率方面，由本研究實證分析結果顯示，電動公車妥善率已逐步提升，在此一基礎下，為進一步加強客運業者使用之信心，建議政府相關單位可協助健全電動公車之維修體系，具體措施諸如：建構妥善率調查及處理機制，定期邀請客運業者、車廠檢討妥善率及處理機制，並建立分級保養機制，推動客運業者建置 1～3 級保養能量、車廠建立 4～5 級維修機制。

至於續航里程影響排班調度之改善策略方面，可加大電池容量，使續航里程足敷一日營運所需（如上文述及之「車型 1」）。但此舉加大了電池容量，隨之增加了電池購置、重置成本，導致電動公車財務居於劣勢。而為改善電動公車財務劣勢，現階段政府給予電動公車購置補助，然由上述檢討可知，當柴油公車亦同時獲得購車補助時，電動公車在絕大多數之情境具財務劣勢。因此，立基於發展電動公車之立場，建議政府檢討柴油公車購車補助之存廢，或加大電動公車與柴油公車補助金額之差距，以提升客運業者購買電動公車之財務誘因。

然倚賴政府補助僅是治標之策，治本之計需致力於降低電動公車成本之措施。而經由本研究實證分析結果指出，在「車型 1」基本方案之情境下，當電動公車 8 年生命週期成本降低 510 萬元以上時，將較柴油公車具財務優勢。據此，依本研究試算之基礎，檢視電動公車具財務優勢之可行性與策略如下：

1. 車體成本：上文述及，電動公車車體成本應較柴油公車為低或相近，據此，當電動公車車體成本較基本方案減低 30%（約 134 萬元）時，二者之車體成本相近。
2. 車輛使用能源成本：當充電方式由慢速充電改為快速充電時，在電池單位價格隨著技術進步、規模量產而較現階段市場售價減少 1/3 之情境下，電池售價可較「車型 1」基本方案減少約 356 萬元。
3. 營運成本：上述快速充電模式因續航里程較短，無法像「車型 1」皆利用離峰充電，爰此，試算快速充電之電費如下：在充電時段皆利用尖峰時間、每天行駛 140 公里、契約

容量為 300 瓩、車輛規模為 10 輛之情境下，依不同季節（夏月、非夏月）、時日（平常日、週六、週日）之費率計算得全年電費約 210 萬元。進一步依 1 度電／公里之用電效率予以換算，可計算每公里電費為 4.173 元，較「車型 1」基本方案每公里電費（1.988 元）高 2.185 元，營運 8 年電費則高約 88 萬元。

根據上述之探討可知，當車體成本接近合理價格、充電方式由慢速充電改為快速充電、電池單位價格價減少 1/3 時，估算 8 年生命週期成本為 948 萬元，較「車型 1」基本方案減少 402 萬元，且僅較柴油公車 8 年生命週期成本高 108 萬元。若加諸柴油價格上漲或透過排班方式增加電動公車行駛距離，則電動公車有機會較柴油公車具財務優勢。舉例言之，若柴油價格回升至民國 103 年之 32.08 元／公升，則客運公司需支付之柴油價格為 28.1 元／公升（超過此價格之數額由中油公司補貼），此情境下柴油公車 8 年生命週期成本為 977 萬元，已高於上述之 948 萬元。

上述之快速充電模式除有機會讓電動公車較柴油公車具財務優勢外，可改變慢速充電「一輛電動車配置一台充電機」之比例，而改採「多輛電動車配置一台充電機」，進而擷節充電機購置成本與充電站建置成本及土地規模。此外，在每日可進行多次充電下，每日營運里程不用受到充完一次電續航里程之囿限。簡言之，快充式電動公車可降低車輛成本及增加排班調度彈性，在國外已有諸多應用在路線長度不長之營運實績，值得國內發車點可設置充電站之市區公車路線參採。而衡諸國內市區公車路線里程長度大多不長，例如：臺北市、臺南市、高雄市市區公車路線合計 500 條，路線長度 40 公里內之比例占 85%，電動公車可滿足多數市區公車路線營運所需。

六、結論與建議

6.1 結論

本研究首先利用車載機及車電資訊整合系統蒐集了電動公車實際營運資料，客觀分析了電動公車之用電效率、續航里程、妥善率等營運指標。其次，基於過去計畫論證電動公車財務效益之缺失，本研究藉實際購置及營運成本資料之蒐集，具體提供了電動公車、柴油公車生命週期成本之數值，並分析了各項成本變動、政府補助金額等情境下之電動公車財務效益，進而探討電動公車較柴油公車具財務效益之可行性與發展策略。具體獲致之結論說明如下：

1. 過去電動公車營運指標之分析因資料取得方式及計算公式之適宜性，影響了分析結果之客觀性。為此，本研究利用車載機及車電資訊整合系統蒐集電動公車實際營運資料，並使用合宜之計算公式，提供了客觀之電動公車營運指標。
2. 各項營運指標依不同車輛型式（大巴、中巴）、不同路線型式（高速公路、一般道路）進行分析，獲致結果如下：

- (1) 電動公車妥善率隨著營運經驗累積有著逐漸改善之趨勢；然相較於柴油大客車之妥善率，電動公車妥善率仍有提升之空間。
- (2) 電動大巴相較於電動中巴之用電效率為差、續航力則較長，前者之成因是電動大巴重量較電動中巴為重；後者主要是電動大巴電池配置容量大於電動中巴。
- (3) 電動公車行駛於高速公路之續航里程較一般道路為長，其成因主要是電動公車行駛於高速公路之用電效率較行駛於一般道路為佳（約高 20%）。
3. 本研究依每次充完電之續航里程可否滿足每日營運里程為分類，針對現階段國內較普及之二類型電動公車進行財務效益分析。該項作業依民國 105 年平均柴油價格及市區公車路線一般行駛里程設定基本方案。分析結果顯示，二類型電動公車 8 年生命週期成本較柴油公車高 509.7 萬元、631.2 萬元。
4. 在基本方案試算之基礎下，本研究進行了車體成本、車輛能源使用成本、營運成本等因子變動及政府補助情境之敏感度分析作業，分析結果獲致下述之政策意含：
 - (1) 當電動公車車體成本接近合理價格時，電動公車車體成本可較基本方案減少 30%（195 萬元）。
 - (2) 隨著電池單位價格下降及電池配置容量因改為快速充電而減少時，電池售價可較基本方案減少約 356 萬元。
 - (3) 在各項可能營運成本情境下，電動公車 8 年生命週期成本皆較柴油公車為高；然當柴油價格愈高、行駛里程數愈長時，愈能凸顯電動公車營運成本低之優勢。
 - (4) 當電動公車獲購車補助、柴油公車無購車補助時，電動公車於基本方案情境下較柴油公車不具財務效益；若加諸柴油公車獲購車補助，電動公車在絕大多數情境下之財務效益皆較柴油公車為差。因此，為提升電動公車財務效益之競爭力，政府應檢討柴油公車購車補助之存廢，或加大電動公車與柴油公車補助金額之差距。
5. 電動公車具財務競爭力之治本策略應降低電動公車之成本，而由本研究實證分析結果顯示，當電動公車車體成本接近合理價格、電池單位價格下降、電池配置容量因快速充電而減少時，加諸柴油價格上漲或透過排班方式增加電動公車行駛距離，電動公車有機會較柴油公車具財務優勢。

6.2 建議

1. 現階段於國內營運之電動公車僅一家車廠裝設車載機及車電資訊整合系統，故本研究營運指標之實證分析對象僅針對該車廠製造之電動公車。日後，若有其他廠商製造之電動公車裝設可客觀蒐集營運資料之設備，建議後續研究可據以蒐集該等車廠電動公車之營運資料，以更廣泛針對國內電動公車營運情形進行分析。
2. 本研究利用車載機及車電資訊整合系統蒐集資料過程中，發現用電效率及續航力會受駕駛人駕駛行為之影響，然其影響效果如何？如何促使駕駛人落實正確駕駛行為？迄今亦尚無研究從事探討，建議後續研究可針對該等課題進行探討。

3. 快速充電式電動公車可有效降低電池成本、充電站建置成本與土地規模，且可增加排班調度之彈性；亦即此一車型有機會兼顧財務效益及排班調度等關鍵因子，值得國內參採，建議後續研究可進一步探討該型式於國內之適用性。

參考文獻

1. U.S. Department of Transportation, “Transportation’s Role in Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions”, 2010.
2. 交通部運輸研究所，公路公共運輸電動客車經營與運作績效調查，民國 103 年。
3. 經濟部工業局，智慧電動車工業技術輔導推廣計畫—智慧電動車電能創新營運模式之研究：以電動公車為例探討車電分離營運模式與補助政策規劃，民國 103 年。
4. Santini, D. J., Vyas, A. D., Moore, J., and An, F., “Comparing Cost Estimates for US Fuel Economy Improvements by Advanced Electric Drive Vehicles”, EVS-19 Conference, Busan, 2002.
5. Burke, A., Abeles, E., Zhou, L., Sperling, D., and Brodrick, C. J., *The Future of Hybrid-Electric ICE Vehicles and Fuels Implications*, Institute of Transportation Studies, UCD-RR-02-09, University of California, Davis, 2002.
6. Lave, L. B. and MacLean, H. L., “Are hybrid vehicles worth it?”, IEEE Spectrum (March), 2001.
7. Thomas, C. E., “PNGV-Class Vehicle Analysis: Task 3 Final Report”, Directed Technologies, Inc., for the National Renewable Energy Laboratory (Subcontract ACG-8-18012-01), Golden, Co., 1999.
8. Lipman, T. E. and Delucchi, M. A., “A Retail and Lifecycle Cost Analysis of Hybrid Electric Vehicles”, *Transportation Research D*, Vol. 11, 2006, pp. 115-136.
9. Delucchi, M. A. and Lipman, T. E., “An Analysis of the Retail and Lifecycle Cost of Battery-Powered Electric Vehicles”, *Transportation Research D*, Vol. 6, 2001, pp. 371-404.
10. 智研諮詢集團，「2016-2022 年中國動力電池市場運行態勢及投資戰略研究報告」，2016。

