

模組化輕型電動車之技術

作者

■ 林法正 · 洪英智 國立中央大學 電機工程學系
 ■ 張一屏 · 紀彥琦 大葉大學 機械與自動化工程學系

摘要

近年來，受到溫室效應以及能源短缺之影響，節能減碳之觀念逐漸受到重視，因此傳統使用內燃機引擎之各種交通運輸工具市場需求受到嚴重衝擊。此外，考慮交通條件的改變與汽車使用者習慣的調整，具有高能源轉換效率與零污染排放優點之輕型電動車(Light Electric Vehicle, LEV)被視為未來取代傳統內燃機引擎車輛之最佳選擇。本文之目的即為發展一模組化之智慧型輕量化移動載具前瞻技術，藉由整合包括行車控制器(Electrical Control Unit, ECU)主機板模組、輪內馬達設計、輪內馬達驅動與控制、智能型電池管理技術及行車動態控制系統等技術，提升台灣於輕型電動車之技術競爭力。

模組化之輕型電動車分為五個部份：首先為發展行車控制器，藉由開發行車控制器主機板模組，並以控制器區域網路匯流排(Controller Area Network Bus, CAN Bus)和各模組元件連

結。第二部份為車輪設計，設計直驅式之六相輪內永磁式同步馬達，並為了安全而設計二組線圈並聯運作，以防一組線圈故障，車子仍可運轉，可增加全車系統之安全可靠。第三部份為輪內馬達雙繞組驅動器模組，配合智慧型速度控制，獲得更穩定之輪內馬達控制。第四部份為電能供應部份，全車所需之電源由電池模組提供，並為有效使用有限之電池能量，設計智能型電池能量管理系統，搭配再生煞車控制，延長車輛行駛續航力與節約能源。而輪內馬達之加減速、煞車、電動轉向控制與電池能量管理系統控管等控制命令，則由第五部份行車動態控制模組進行行車動態分析後，由行車控制器主機板模組下達各模組之命令。

模組化輕型電動車之最大特色為採用個人電腦之主機板式概念，將車輛中各元件模組化，並透過CAN Bus介面與行車控制器主機板模組進行連結。因此，使用者可依需求與喜好輕易地組裝、更換或修復，獲得更佳之彈性與

方便性，預期將成為未來交通運輸新主流。

關鍵字：電動車、行車控制器主機板模組、輪內馬達、電池管理、控制器區域網路匯流排、六相永磁式同步馬達、智慧型控制。

一、緒論

近年來，整個地球受溫室效應的影響，造成氣候異常、地表地貌改變及生態的重大衝擊，使得全世界對於環保意識之覺醒，而且重要能源—石油之需求大幅擴張且又面臨日趨枯竭之問題。目前大部份交通工具都以石油為其主要的能源，面臨能源困境與環保意識雙重考慮下，需尋求車輛之潔淨能源以替代汽柴油之使用，並符合節能減碳之要求，因此有生質柴油或者油電混合能源之使用，但是這些車輛結構還是有引擎的燃燒，造成排碳污染。若要完全沒有污染，車輛能源以使用電能，無排放之污染，方為最潔淨符合環保之要求。以電能為動力來源的車輛目前有燃料電池或者是二次電池，但是燃料電池在動態的性能不佳，無法瞬間出力，使得驅動性能不足，因此燃料電池多搭配動力電池共同使用；而單使用電池車輛則受限於一次充電之行駛距離不長與充電時間過長等缺點。這些電動車輛的設計思維仍延續現有燃燒汽油之引擎車輛，其要求為有相同使用的便利性，尤其是長距離的行駛旅程。但是面臨能源枯竭，造成高油價和環保意識抬頭之際，國內高速鐵路有效縮短兩地的時間距離，還有捷運的逐步普及，消費者的用車習慣也逐漸改變，尤其長距離的使用有可能會慢慢減少。另外，在人口集中、土地有限的都會區裡，交通往往是個難解的問題，不少重要都市

或較早開發的城市中，都正面臨著道路與停車空間不足的困境。隨著石油價格的不斷攀升，喚醒了大眾對節能與環保的意識，並進一步思考目前的交通方式和型態，面對此交通條件的改變與汽車使用者習慣的調整，車輛的使用漸漸變成日常生活區域(或都會)行車為主，因此以生活區域行車概念與環境保護角度思維，電動車輛的設計研發應為現今發展的趨勢方向。著眼於此，都會行車之智慧型輕量化電動車輛之模組化前瞻技術即為本文之目標。

二、國內外電動車發展現況

根據2005年EVS21國際電動車研討會資料[1]，義大利首府羅馬市政府已經開始推動電動車輛取代燃油交通工具(計程車、公車)，並持續增加電動公車營運車輛，同時在羅馬市周圍已經建置完成69個電動車輛快充站。2006年羅馬市政府購買600輛電動計程車，並獎勵每位電動計程車駕駛每個月700歐元，是很誘人的政策。根據AUTONET, 2008-08-01報導[2]，21世紀中環保與能源議題發燒，Daimler集團承襲了M-BENZ品牌百年創新的思維與價值觀，在2006年推出第一輛Smart Fortwo ED電動車，目前已經有為數約一百輛的車輛率先於英國市場開放承租，並且為將來Daimler全面量產電動車鋪路。另外，AUTONET, 2008-08-02報導[2]，德國汽車品牌BMW宣布將成立一個獨立的Project i部門研發嶄新的零油耗電動車。BMW表示，將於2010年於北美市場首度發表全電力驅動的「Isetta, Zero Emissions Vehicle, ZEV」零油耗車款，而這只是廣大計畫中的一小塊。而在國內部分，台灣工研院2007年於義

大利米蘭的「國際雙輪車大展」(EICMA)中，發表LEV(Light Electric Vehicle)電動車[3]。由工研院研發的LEV，原名為Ecooter，即結合了Ecology和Motor的意義，表示注重環保的未來性交通工具。另外，工研院於2009年「台北國際車用電子展」中[4]，發表了具有變速功能的電動車技術，展示了未來綠能動力的可能性。其為以PGO摩托動力公司的Bug Rider 500做為展示平台，將電動車技術自短距離速度較慢的移動，推向長距離高速移動的新紀元。2009年另一火熱話題即為國內裕隆集團華創車電之汽車品牌納智捷(LUXGEN)發表了Luxgen EV+ 電動車[5]，以及甫結束的「2010年台北國際車展」中展示之Luxgen7 SUV EV+兩款純電動車[5]，雖然Luxgen EV+與Luxgen7 SUV EV+ 電動車的量產日期仍是個未知數，但是此舉對於納智捷的正面意義倒是相當大，一方面可以持續自身品牌的話題熱度，另一方面也有向其它汽車業者做火力展示的味道，也代表了純電動車為未來車輛產業技術發展之重心。其他國內廠商及財團法人中心如必翔實業公司、車輛測試中心、金屬工業中心等，以及許多國際汽車大廠諸如TOYOTA、NISSAN等，都有相關開發電動汽車之報導；其中必翔公司之GreenRunner電動車除與法國車廠合作開發生產外[6]，更於2009年與中國第一大汽車廠上海汽車集團結盟，豎立跨國合作的標竿。

而在電動車之關鍵零組件發展上，馬達製造廠商如東元電機、富田電機、士林電機、大同電機與台全電機等，銅轉子技術之發展與各式高效率馬達設計與製造，提供了電動車中輪內馬達或大瓦數中置馬達需求的最佳支援。馬

達驅動器上也有台達電子、東元電機、士林電機與明電舍等高效率變頻器的支援，日本三菱汽車集團所開發之iMEV電動車更採用明電舍變頻器[7]。而電動車中最重要的電能管理系統，與電池正負極材料開發製造供應上，則有台達電子、能元科技、宇泉科技、必翔實業、台塑長園能源科技與有量科技等公司，其各式電池模組與電池開發技術更是電動車續航力的保證。因此，電動車與相關關鍵零組件之發展與使用為全世界之大勢所趨。對於電動車輛的研發，許多國家皆投以極大的資源。台灣在傳統油耗車輛上的開發未能取得國際領先引擎，但是在汽車電子與關鍵零組件的發展上，卻具有不亞於其它國家的基礎，像是車載資通訊、車輛電子等，都已具有相當的規模與能量，也成為發展輕型電動車的最好資本。發展輕型電動車主要著眼於兩項重點，一是市場需求的狀況，另一個則是台灣本土技術是否成熟可以支援。特別是當油價高漲、停車愈來愈不方便、環保意識愈強烈時，對於輕型電動車的需求也更為深刻。若是從產業的角度來看，處於全球化競爭的態勢下，要能夠尋找到具有差異化、有利基的產品，才是塑造競爭力的來源。

三、具前瞻性之未來輕型電動車雛型與技術

隨著現今的電子技術不斷地發展，已將原本僅限於消費性產品與個人電腦週邊的電子技術廣泛應用於車輛的各個領域，並改善了車輛的性能，使得車輛在安全、舒適、節能與環保等各方面都有了大幅度地進步。為了要讓車輛能更具有人性化和智慧化的前提下，車輛環

境由原來的電子化、電腦化，逐漸變成日益複雜的網路化。將車上驅動控制系統、車輪轉向控制系統、煞車系統等，利用一套完善車用通訊協定的車內網路系統相互結合，能讓所有資訊相互分享與共用，將會是未來發展之趨勢。有鑑於此，本節中將探討符合世界環保節能趨勢，與國內產業成長自主技術開發的模組化輕型電動車LEV之前瞻技術。

模組化輕型電動車的個人電腦之組裝相同，每一關鍵模組元件可由不同的公司生產，但是都可相容，使用者可依其需要購買組合而成。因此為使模組化概念車容易可行，並以國內3C電子產業專長考量技術為主，本模組化輕型電動車以輪內馬達直接驅動，免除引擎以及機械傳動系統，因此簡化整車機械設計，增加車內空間。除了車體底盤為機械設計外，其餘全為電子電路系統設計，而此正是台灣科技產業強項，有機會發展有競爭力之全技術自主車輛產業。依此概念，區分全車系統之組成廠商如表一所示，可使未來汽車產業如之前個人電腦的蓬勃發展。

表一 全車系統組成之廠商區分

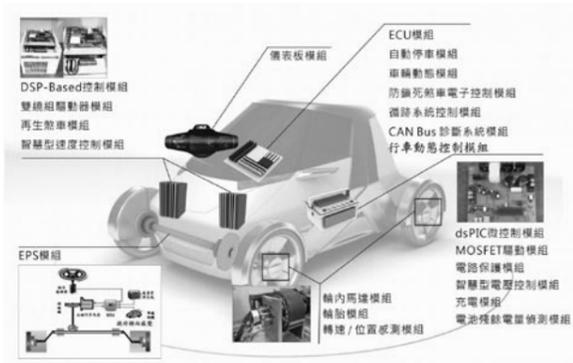
項目	廠商
車體結構	現今之汽車廠
行車控制器主機板模組	電腦主機板廠商或工業電腦廠商
電池模組與電能管理系統	電源供應器與電池廠商
輪內馬達	馬達設計製造廠
馬達驅動與控制模組	變頻器製造廠
GPS電子地圖、車用雷達系統及其他車用電子	3C及其他車用電子廠商

依以上概念，首先先統一輪內馬達規格，各輪內馬達皆配獨立之變頻驅動器。由輪內馬達、馬達驅動與控制模組、電池模組與電能管理系統、行車控制器主機板模組，如此組成了全車驅動系統。而各部份皆有標準規格，可如個人電腦之組成，便於模組化之組裝與販售。

因此在行車控制器主機板模組上建立一標準作業系統，以一套車用通訊協定的車內網路系統CAN Bus連結各模組節點，使所有資訊能相互分享與共用，並透過CAN Bus匯流排傳送節點訊息以達到具有全車診斷系統之自我診斷目的，以顯示故障情況。由於全車除了車體為機械結構，其餘組成都為標準電路模組，使用者可自行更換或者經線上道路救援，直接當場更換修復，以就地修復觀念如同個人電腦之故障修護，如此現有外商主導之引擎以及傳動系統之汽車市場，將可全然變成國內電子產業自主之技術與行銷。

模組化輕型電動車分為五個部份：第一部份為採用嵌入式系統ARM 9為核心之行車控制器主機板模組，該行車控制器主機板模組並規劃具有執行CAN Bus通訊協定之通訊能力，並發展智慧型自動診斷系統，能透過儀表板或車輛故障指示燈，來告知駕駛人目前車輛各模組之狀況。另外配合電動轉向控制(Electrical Power Steering, EPS)與倒車雷達系統，可達成智慧型自動停車功能。第二部份為輪內馬達模組，透過高效率及輕量化之輪內六相永磁式同步馬達設計，以符合電動車之車輪應用。第三部份為輪內永磁式同步馬達與EPS轉向馬達之驅動系統，透過以TMS320F2812數位訊號處理器為主(DSP-Based)之控制模組，能獲得穩定與高效率之兩輪直驅系統，並以智慧型控制達到速度控制及具有再生煞車之功能。第四部份為車用智能型電池管理模組，此模組包括可攜式高能量電池結合另一組安置於電動車上之主動力高功率電池，經由一個直流/直流升壓轉換器，達成電動車的電能供給

機制。第五部份為行車動態控制模組，由於電動車之動態特性是直接影響到車輛行駛的安全性及舒適性，為了減輕駕駛者的體力負擔及提高車輛的操控性，故需進行電動車之主動動態控制與分析。模組化輕型電動車全車架構與模組圖如圖一所示。

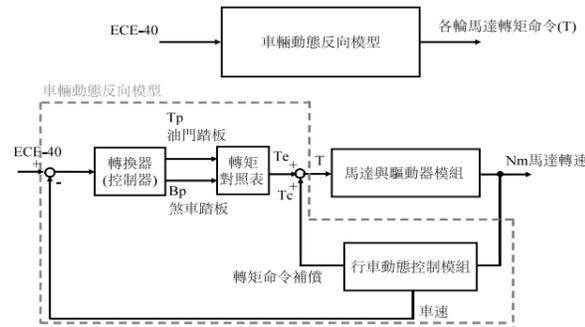


圖一 模組化輕型電動車全車架構與模組圖

四、車輛動態模擬與結果

本節之主旨為使用物件導向動態模擬程式，建立行車動態模擬系統之動態模型，以供車輛續航力、電池殘電量(State of Charge, SOC)、極速與行車動態模擬測試與研究。針對行車動態響應與穩定控制進行研究分析，依據不同輸入之方向盤轉角與車速變化，以及車輛之全車系統參數，進行全車性能之模擬控制分析，以評估所發展及設計之模組化輕型電動車全車性能與效率。行車動態控制模組之控制方塊圖如圖二所示。

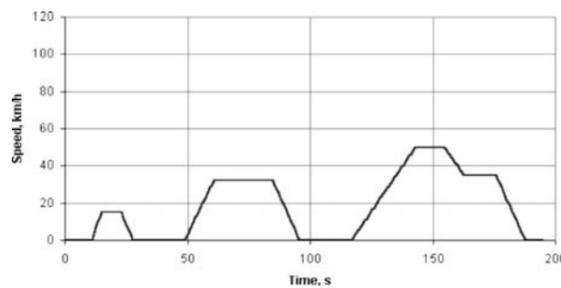
在車輛續航力與SOC測試模擬中，以Matlab/Simulink分別建構車輛反向動態模型、輪內馬達模型、發電機模型與電池殘電量模型等部分，並建構驗證模型以驗證輪內馬達實際轉速對應之實際車輛速度，是否與欲追隨的輪



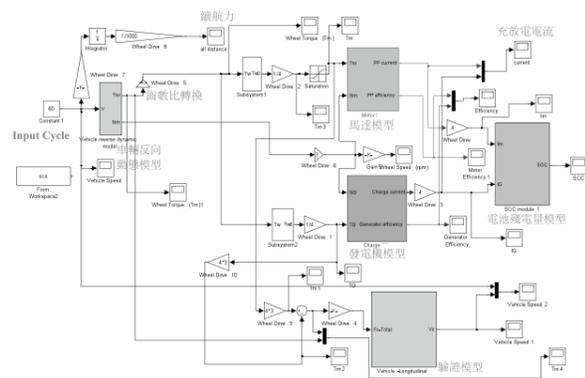
圖二 行車動態控制模組控制方塊圖

入條件如ECE-40標準規範符合。ECE-40之測試循環條件如圖三所示；以Matlab/Simulink建構之車輛續航力與SOC測試模擬模型圖庫如圖四所示。

在車輛極速與行車動態模擬部份，需先建立車輛平面運動動態模型，其包含了車輛橫向運動模型與車輛縱向運動模型[8-11]。車輛平面運動動態模型依據車輛運動學，可以下列



圖三 ECE-40規範



圖四 車輛續航力與SOC測試模擬模型圖庫

方程式表示：

$$\sum F_x = ma_x = m(\dot{V}_x - \dot{V}_y \Omega_z) \quad (1)$$

$$\sum F_y = ma_y = m(\dot{V}_y - \dot{V}_x \Omega_z) \quad (2)$$

$$\sum M_z = I_{zz} \dot{\Omega}_z \quad (3)$$

其中

$$\sum F_x = (F_{xFL} + F_{xFR} + F_{xRL} + F_{xRR}) - \sum R_{xR} \quad (4)$$

$$\sum F_y = (F_{yFL} + F_{yFR} + F_{yRL} + F_{yRR}) - \sum R_{yR} \quad (5)$$

$$\sum M_z = I_1(F_{yFL} + F_{yFR}) - I_2(F_{yRL} + F_{yRR}) + t_1(F_{xFL} + F_{xFR}) - t_2(F_{xRL} + F_{xRR}) - (M_{zFL} + M_{zFR} + M_{zRL} + M_{zRR}) \quad (6)$$

其中 I_1 為前輪與車輛重心距離； I_2 為後輪與車輛重心距離； t_1 為左輪與車輛重心之距離； t_2 為右輪與車輛重心之距離； Ω_z 為車體橫擺率； V_x 與 \dot{V}_x 為車輛縱向速度與加速度； V_y 與 \dot{V}_y 為車輛橫向速度與加速度； m 為質量中心； F_x 為縱向力； F_y 為橫向力； M_z 輪胎回正力矩。由方程式(1)-(6)可建立出車輛橫向運動模型，以計算出四輪輸出之縱向力、橫向力、與回正扭矩計算車輛之側加速度(Lateral Acceleration, a_y)、橫向速度(Lateral Velocity, V_y)、橫擺速度(Yaw Velocity, Ω_z)、側向滑移角(Side Slip Angle, β)等操控性能參數。

另一方面，各輪之正向力(Normal Force, F_z)，可由下列車輛參數計算得知：

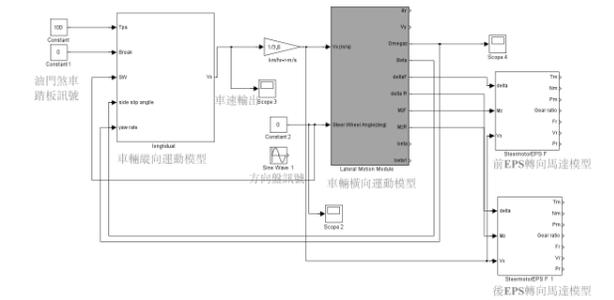
$$Wt_1 + F_{zR}T + ma_y H = 0 \quad (7)$$

$$F_{zL} = mg - F_{zR} \quad (8)$$

其中 H 為車輛重心高度； W 為車重； T 為左右輪距離； L 為前後輪距離； $F_{zFL} = \frac{l_2}{L} F_{zL}$ 為左前輪正向力； $F_{zFR} = \frac{l_2}{L} F_{zR}$ 為右前輪正向力； $F_{zRL} = \frac{l_1}{L} F_{zL}$ 為左後輪正向力； $F_{zRR} = \frac{l_1}{L} F_{zR}$ 為右後輪正向力。由方程式(7)-(8)即可建立出車輛縱向運動模型，以得到各輪之正向力大小。

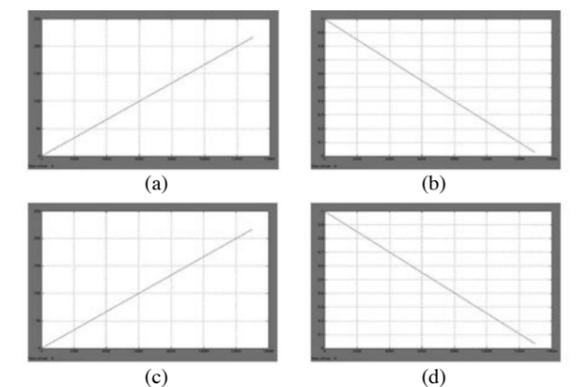
車輛極速與行車動態模擬之模型圖庫如圖

五所示，將油門與煞車踏板之訊號，以及方向盤轉角訊號輸入，經由車輛縱向運動模型、車輛橫向運動模型與EPS轉向馬達模型之計算與分析，即可模擬出車輛在後輪兩輪驅動下之行車動態響應與極速等車輛性能資料。



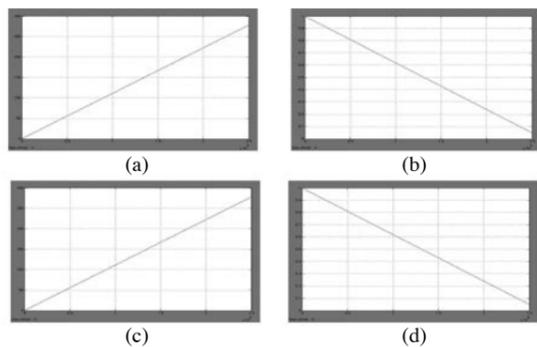
圖五 車輛極速與行車動態模擬模型圖庫

Matlab/Simulink模擬結果如下：本車雖訂為後輪兩輪驅動，但在SOC與續航力模擬中仍進行兩種驅動方式，四輪驅動與兩輪驅動之模擬分析。首先，圖六為60km/h定速下續航力之模擬結果，圖六(a)與圖六(b)為四輪驅動下之總里程數與SOC模擬結果，圖六(c)與圖六(d)為兩輪驅動下之總里程數與SOC模擬結果；圖七為40km/h定速下續航力之模擬結果，圖七(a)與圖七(b)為四輪驅動下之總里程數與SOC模擬結果，圖七(c)與圖七(d)為兩輪驅動下

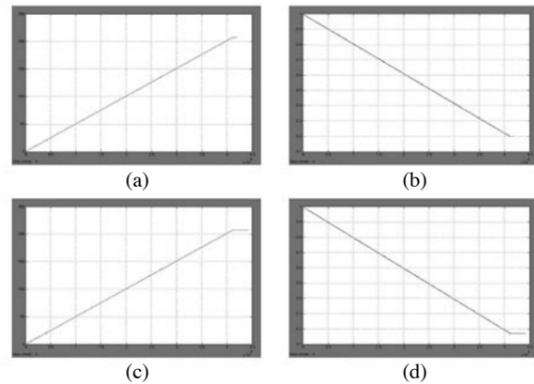


圖六 60km/h定速下續航力之模擬結果：(a)四輪驅動下之總里程數；(b)SOC結果；(c)兩輪驅動下之總里程數；(d)SOC結果

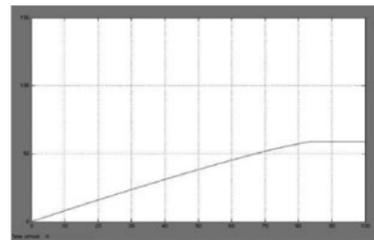
之總里程數與SOC模擬結果；圖八為ECE-40規範下之續航力之模擬結果，圖八(a)與圖八(b)為四輪驅動下之總里程數與SOC模擬結果，圖八(c)與圖八(d)為兩輪驅動下之總里程數與SOC模擬結果。表二為不同測試條件(不同行駛週期與50%及20%電池殘電量時)下續航力與SOC結果比較表。由以上比較中可得知，在各種測試情況下，四輪驅動之續航力表現皆優於兩輪驅動，與常理判斷相符合，唯此差距似乎不大。此因本模擬之概念為測試條件下全車所需之扭力(轉矩)大小，分別由四個馬達(四輪驅動)與兩個馬達(兩輪驅動)所提供，故雖續航力結果差距不大，但對於每個馬達所提供之轉矩大小有相當大的不同。另外，值得一提的是，以本車後輪兩輪驅動方式與全車規格進行ECE-40規範測試，續航力仍可達到200公里，表示本車在電能補充上並不需要頻繁充電或更換電池，降低了在電能供應上的成本且提升了使用者的方便性，更可達到與現有油電混合車相當之效能。另一方面，圖九為後輪兩輪驅動下車輛極速之模擬結果。表三為Matlab/Simulink模擬中所用到之LEV規格與極速、續航力模擬結果之表列。



圖七 40km/h定速下續航力之模擬結果：(a)四輪驅動下之總里程數；(b)SOC結果；(c)兩輪驅動下之總里程數；(d)SOC結果



圖八 ECE-40規範下續航力之模擬結果：(a)四輪驅動下之總里程數；(b)SOC結果；(c)兩輪驅動下之總里程數；(d)SOC結果



圖九 車輛極速模擬結果

五、結論

在未來全世界能源危機與各國厲行節能減碳的大環境下，全球各大車廠無不希望在未來車輛研發上，能夠擁有具代表性且符合環保概念之車款。輕型電動車(LEV)無論在國內外，都是新的產業及領域，而汽車製造業的未來競爭力則取決於尖端科技的開發能力。台灣在IT產業與車載通訊電子等方面，都已具有相當的規模與能量，且因應LEV的發展，朝向世界環保節能趨勢與國內產業成長自主技術開發之目標，與台灣各項本土技術進行結合，加入台灣已具備的車輛電子等部分，再導入個人電腦模組化組裝之概念，訂定出各車用關鍵模組元件之規格與通訊方式，以發展模組化輕型電動車

之相關技術。藉此優勢，將相關概念結合在設計未來前瞻電動車之發展，以利台灣在未來電動車發展上擁有高度競爭優勢與產業主導性，期待再創台灣產業發展之榮景。

誌謝：本文係由國科會計畫編號NSC 98-2218-E-008 -010之經費補助下完成。

表二 續航力及SOC模擬結果比較表

測試條件	@60km/h		@40km/h		@ECE-40	
	SOC 0.2C	SOC 0.5C	SOC 0.2C	SOC 0.5C	SOC 0.2C	SOC 0.5C
2WD	176km	108km	228km	142km	200km	125km
4WD	182km	116km	235km	149km	207km	130km

表三 LEV規格表

LEV規格			
車身長	mm	2920	
車身寬	mm	1620	
車身高	mm	1480	
車身重	kg	650(含2人)	
車身承載	人	2	
電池總容量	V/Ah	168/42.981	
總能量	W-hr	7220.808	
車輛性能	極速	km/h	60
	續航力 (@20%SOC)	@60km/h、40km/h	176km/228km
		@ECE40	200km
能量消耗	W-hr/km (@20%SOC & ECE-40)	36.104	
特點	1.馬達直驅、無傳動機構		
	2.四輪轉向&兩輪驅動		
	3.全車X-By-Wire形式		
	4.具備CAN Bus 2.0通訊介面		

參考資料

- [1] <http://proj.moeaidb.gov.tw/lev/Files/Publication/20061214165150.pdf>
- [2] AUTONET網站, <http://www.autonet.com.tw/>
- [3] 工業技術研究院新聞資料庫, <http://www.itri.org.tw/chi/news/detail.asp?RootNodeId=060&NodeId=061&NewsID=168>
- [4] AUTO-ONLINE新聞資料庫, <http://www.auto-online.com.tw/news/15402>
- [5] Luxgen納智捷, <http://www.luxgen-motor.com.tw/index.asp>
- [6] 必翔電動車, http://www.pihsiang.com.tw/Electric_Car/Car.aspx
- [7] 陳靖惠, 「電動車關鍵模組市場分析—關鍵模組的現在與未來」, 經濟部技術處電動車關鍵模組研討會大會議程手冊, 2009年5月
- [8] 張一屏、紀彥琦、廖建智、洪秉賢, 「車輛四輪獨立轉向系統動態模擬之研究」, 14th車輛工程學術研討會, 2009年10月
- [9] 張一屏、紀彥琦、廖建智、洪秉賢, 「車輛線傳四輪電控轉向系統模擬測試之研究」, 14th車輛工程學術研討會, 2009年10月
- [10] J. Y. Wong, "Theory of Ground Vehicles," John Wiley & Sons, Inc., 3rd Edition, 2001.
- [11] J. Larminie and J. Lowry, "Electric Vehicle Technology Explained," John Wiley & Sons, Ltd, 2003.