

# 機車污染防治技術趨勢探討與管制策略研擬

總計畫主持人：中興大學 機械工程系所 盧昭暉 副教授

## 機車先進污染控制技術發展之研究-期末報告 Study of Motorcycle Emission Control Technology

執行單位：大葉大學 車輛工程研究所

子計畫主持人：張一屏 副教授

計畫編號：NSC 92- EPA - Z - 212 - 001

研究助理人員：張瑞軒、黃俊逸

聯絡方式：彰化縣大村鄉山腳路 112 號大葉大學 車輛工程研究所

E-Mail：[ipchang@mail.dyu.edu.tw](mailto:ipchang@mail.dyu.edu.tw)

處理方式：可立即對外提供參考  
(請打 V) 一年後可對外提供參考  
兩年後可對外提供參考

(必要時，本會得延展發表時限)

執行單位：大葉大學 車輛工程系

中華民國 92 年 12 月 31 日

# 目錄

圖目錄.....	3
表目錄.....	5
計畫摘要.....	6
計畫英文摘要.....	7
一、前言.....	8
1.1 機車排放污染控制.....	8
1.2 機車控制與排汙性能模擬技術.....	8
二、研究方法.....	9
2.1 本計畫之相關研究.....	9
2.1.1 傳統機車引擎部份.....	9
2.1.2 混合動力機車部份.....	9
2.1.3. 燃料電池機車部份.....	9
2.2 比較先進機車引擎排放污染控制技術.....	10
2.3 新的機車動力控制技術如混合動力與燃料電池及電動機車控制技術比較評估.....	13
2.3.1 混合動力機車控制技術.....	13
2.3.2 燃料電池混合動力機車控制技術.....	14
2.3.3 電動機車控制技術.....	16
三、機車性能動態模擬控制技術成果.....	17
3.1 建立機車控制模擬技術.....	17
3.1.1 混合動力機車控制模擬.....	17
3.1.2 燃料電池機車控制模擬.....	20
3.2 模擬結果與討論.....	23
3.2.1 混合動力機車模擬結果.....	23
3.2.2 燃料電池機車模擬結果.....	27
四、結論.....	33
五、成果應用與建議.....	34
5.1 成果應用.....	34
5.2 建議事項.....	34
六、參考文獻.....	35

## 圖目錄

圖 2-1 控制之方塊圖[7] .....	12
圖 2-2 空燃比控制的應用[8].....	12
圖 2-3 觀測個別汽缸的空燃比控制[8].....	12
圖 2-4 個別汽缸空燃比控制的結果[8].....	12
圖 2-5 Self Tuning Regulator (STR)控制器[8].....	12
圖 2-6 傳統式控制與 STR 控制之比較[8] .....	12
圖 2-7 空燃比電子控制發展之系統[8].....	12
圖 2-8 準確性空燃比控制的結果[8] .....	12
圖 2-9 ECB 系統結構圖[9].....	13
圖 2-10 控制結構圖[9] .....	13
圖 2-11 車輛動態管理系統處理程序[9].....	13
圖 2-12 EGR 回授控制[10].....	13
圖 2-13 機車引擎管理系統示意圖[11].....	13
圖 2-14 THS 控制模組[24] .....	14
圖 2-15 邏輯控制動力分配器模組 .....	14
圖 2-16 控制架構圖[22] .....	15
圖 2-17 驗設備架構圖[23].....	15
圖 2-18 控制訊號流程圖[23].....	15
圖 2-19 車輛應用燃料電池動力關鍵技術項目(資料來源：工研院機械所) .....	15
圖 2-20 正向機車燃料電池之模擬控制模組 .....	15
圖 2-21 反向機車燃料電池之模擬控制模組 .....	15
圖 2-22 模糊邏輯控制系統的基本架構[28].....	16
圖 3-1 反向機車扭力輸入條件下之歸屬度函數 .....	17
圖 3-2 反向電瓶殘電量(SOC)輸入條件下之歸屬度函數.....	17
圖 3-3 反向機車車速模式輸入條件下之歸屬度函數 .....	18
圖 3-4 機車扭力和電瓶殘電量之推論結果立體圖 .....	18
圖 3-5 車速和機車扭力之推論結果立體圖 .....	18
圖 3-6 車速和電瓶殘電量之推論結果立體圖 .....	18
圖 3-7 反向模糊動力控制器基本架構圖 .....	19
圖 3-8 反向模糊輸出動力分配比列之歸屬函數 .....	19
圖 3-9 反向燃料電池機車模組 .....	20
圖 3-10 控制器模組 .....	20
圖 3-11 電瓶殘電量(SOC)之歸屬函數 .....	20
圖 3-12 馬達負載之歸屬函數 .....	20
圖 3-13 三角形氫流量之歸屬函數 .....	21
圖 3-14 梯形氫流量之歸屬函數 .....	21
圖 3-15 三角形的氫流量之歸屬函數所推論結果立體圖 .....	23

圖 3- 16 梯形的氫流量之歸屬函數所推論結果立體圖 .....	23
圖 3- 17 輸入測試行車模式車輛速度曲線圖 .....	24
圖 3- 18 車輛行車牽引力變化圖 .....	24
圖 3- 19 輪胎扭力曲線變化圖 .....	24
圖 3- 20 動力分配器至變速箱轉速變化 .....	24
圖 3- 21 動力分配器至變速箱扭力變化 .....	25
圖 3- 22 變速箱輸出至引擎扭力變化 .....	25
圖 3- 23 變速箱輸出至引擎轉速變化圖 .....	25
圖 3- 24 引擎節氣門開度變化圖 .....	25
圖 3- 25 動力分配器分配動力至馬達之扭力變化圖 .....	26
圖 3- 26 動力分配器分配動力至馬達之轉速變化圖 .....	26
圖 3- 27 馬達輸出功率之曲線變化圖 .....	27
圖 3- 28 電瓶殘電量(SOC)變化圖 .....	27
圖 3- 29 燃料電池機車在 ECN 中不同電流密度與燃料電池輸出功率之響應 .....	27
圖 3- 30 燃料電池機車在 ECN 中不同電流密度與 SOC 之響應 .....	27
圖 3- 31 燃料電池機車在 ECN 中不同燃料電池溫度與燃料電池輸出功率之響應 .....	28
圖 3- 32 燃料電池機車在 ECN 中不同燃料電池溫度與 SOC 之響應 .....	28
圖 3- 33 燃料電池機車在 ECN 中不同氫流量與燃料電池輸出功率之響應 .....	28
圖 3- 34 燃料電池機車在 ECN 中不同氫流量與 SOC 之響應 .....	28
圖 3- 35 燃料電池機車在 ECN 中不同氧流量與燃料電池輸出功率之響應 .....	29
圖 3- 36 燃料電池機車在 ECN 中不同氧流量與 SOC 之響應 .....	29
圖 3- 37 燃料電池機車在 ECN 中不同氫內部流道的管徑與燃料電池輸出功率之響應 .....	29
圖 3- 38 燃料電池機車在 ECN 中不同氫內部流道的管徑與 SOC 之響應 .....	29
圖 3- 39 機車 ECN 行車型態圖 .....	30
圖 3- 40 燃料電池機車在 ECN 中馬達輸出功率之響應圖 .....	30
圖 3- 41 燃料電池機車在 ECN 中未經控制 SOC 之響應圖 .....	30
圖 3- 42 燃料電池機車在 ECN 中經模糊邏輯控制器控制的 SOC 之響應圖 .....	30
圖 3- 43 燃料電池機車在 ECN 中經模糊邏輯控制器所控制的氫流量之響應圖 .....	31
圖 3- 44 燃料電池機車在 ECN 中輸出功率之響應圖 .....	31
圖 3- 45 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下 SOC 之響應圖 .....	32
圖 3- 46 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下燃料電池輸出功率之響應圖 .....	32
圖 3- 47 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下所控制的氫流量比率之響應圖 .....	32

## 表目錄

表 1 反向模糊推論規則庫 .....	18
表 2 反向模糊推論規則庫.....	22
表 3 不同動力分配器之模擬結果.....	23

## 計畫摘要

關鍵詞：機車先進排放廢氣控制技術、混合動力及燃料電池機車系統技術之評估

本計畫旨在研究探討機車先進排放廢氣控制技術發展之趨勢，建立國內機車動力與傳動系統相關控制參數對於機車排放污染之影響評估方法。研究已蒐集相關機車之先進污染控制技術、搜尋四行程及二行程機車引擎電子控制系統相關技術文獻並建立資料庫。本計畫比較先進機車引擎排放污染控制技術優缺點、並針對低污染及零污染新的機車動力控制技術如混合動力機車與燃料電池機車及電動機車控制技術加以比較評估。本計畫建立分析相關先進排放廢氣控制技術發展測試模擬技術，評估機車行車型態排放污染等，並能協助工程師改善設計、縮短研發試誤及時辰。研究可提供機車業者與環保單位相關資訊以作為機車動力與傳動系統控制器設計及法規與測試標準建立參考。

## 計畫英文摘要

### ABSTRACT

**Keywords: Advanced Motorcycle Emission Control Technology, HEV and Fuel Cell Motorcycle System Simulation and Evaluation Methodology**

The purpose of this study is to explore the trend of advanced motorcycle emission control technology, establishes the evaluation method for the effects of design and control parameters in the motorcycle powertrain and emission control system on the motorcycle performance and emission. The research went through the related motorcycle advanced emission control technologies and literatures including the four and two-stroke engine electronic emission control papers and reports, these information was integrated into a database for motorcycle manufactures and EPA office reference.

This study compared the advantages and disadvantages of different advanced motorcycle emission control technologies, besides, the newer motorcycle powertrain control technologies of Low Emission Vehicle,(LEV) and Zero Emission Vehicle,(ZEV) such as hybrid electric and fuel cell powered and pure electric motorcycles control technologies were compared and evaluation based on the new generation regulation of motorcycle emission standards were being established.

The simulation methodology established by this study for advanced motorcycle powertrain and control system development can evaluate the forward and backward motorcycle emission performance on the transient driving cycle test. This methodology help the research and development engineers to visualize the effects of design and control parameters' effects on the emission before the controller and motorcycle was being built, thus avoiding the trial and error efforts, saving the R&D time and expanse. This study provides feasible approach for the motorcycle manufactures and information for future motorcycle powertrain control system development and emission test and regulation legislation standard reference.

## 一、前言

近年來，台灣都會地區由於機車輛數量激增，總數超過一千萬輛，已成為空氣、噪音污染的主要來源。為改善空氣及環境品質，並提高能源使用效率，政府環保及能源交通主管單位乃針對國情訂定油耗及污染法規，尤其是在人口密集的都市裡，以要求車輛製造廠致力研發高效率、低污染之引擎。目前各國所訂定之油耗及污染法規均逐年提升，標準日漸嚴格，使得各種控制技術逐漸被應用於機車排氣污染改善。

### 1.1 機車排放污染控制

機車先進污染控制技術可分成引擎燃燒控制與混合動力控制兩方面。其中引擎燃燒控制改善部分，包括引擎管理系統(Engine Management System, EMS)與傳動機構電控系統之整合。機車動力與傳動系統(Powertrain and Drivetrain System)之控制系統，由於受限於機車體積有限，與其駕駛時高動態響應特性，必須有效、準確、穩定控制引擎油門開度與點火、噴油、汽門正時以及諸如機車電控無段變速(ECVT)系統等電控系統。混合動力控制方面包括以引擎與馬達組合成並聯或串聯之混合動力與傳動系統能量管理系統(Hybrid Electric Motorcycle Energy Management System)使其行駛距離與電瓶充放電系統及引擎燃燒控制結合控制。此外以燃料電池包括質子交換膜(PEMFC)或鋅-空氣(Zinc-Air Fuel Cell)等與各式電瓶組合之混合電動機車動力與傳動系統控制，亦是各國先進車廠積極投入研發之項目。機車動力與傳動系統控制器必須以各種控制方法包括如模糊邏輯、類神經網路、最佳化及適應性控制、強健控制等建構、調教合適之系統動態模型與對應之控制器，以使其動態響應性能，符合法規環保排放廢氣及油耗標準與行駛性能要求。

### 1.2 機車控制與排污性能模擬技術

機車之動力系統控制及次系統間之整合性能模擬評估方法可節省研發實際控制器之時間與費用，提高設計能力，並加強其可靠度。機車動力系統性能，由相關控制軟體構建合適之車輛動力系統及傳動系統模型，進行輸出性能之即時動態模擬分析，修正及驗證使其能與實車控制參數比較。傳統內燃機引擎配合先進之電控系統，可使油耗污染大為改善，而且對於引擎與傳動系統之匹配，亦能達到行駛操控要求。混合動力機車動力系統之設計，可以將電源管理控制系統、馬達、燃料電池、發電機之電控系統及傳動控制系統加以整合。因此發展系統控制及次系統間之整合性能模擬，配合各感測器訊號執行工作狀態之判斷與相關參數之控制，可使輸出性能在各種操作狀態下之評估與最佳化設計達到機車性能設計要求。



## 二、研究方法

本計畫之研究將探討機車各種操作狀態如加減速時，輸出扭力與油耗排污等性能參數之動態特性與有相關影響之操作變數間之工程相關性。機車即時動力系統動態模式模擬軟體之建構以量測實驗引擎及馬達於測功計上之實測數據為基礎，配合相關控制系統原理，加以修正其動態響應性能，以期能建立良好之對應關係。希望由輸入之模擬實驗數據包括引擎電子油門開度與車輛行駛暫態負荷扭力隨時間之變化，燃料電池、電瓶與馬達發電機與電瓶充電放電模擬等動態特性，估算電源管理系統控制策略設定之參數。調整預估輸出之牽引力及加速爬坡等性能隨時間之變化，建立相關評估與比對修正相關模型參數之方法。修正模擬動力系統動態模式，及相關電源供應與傳動系統最佳化匹配控制策略，以產生較佳燃料電池混合動力機車動力系統評估計算分析所須之性能，同時協助工程師改善設計、縮短研發試誤及時辰。

### 2.1 本計畫之相關研究

本研究將蒐集之相關文獻，利用國內外各大資料庫，例如：線上全文資料庫 IEEE、SDOS、SAE 及相關之網路搜尋引擎，以關鍵字搜尋之方式來取得相關之技術報告及研討論文。再利用 Microsoft Office/Access 軟體，建立機車廢氣防制技術之資料庫，運用關鍵字之電腦搜尋資料，如作者、論文名稱、文獻來源等，以縮短實車測試人員搜尋相關文獻之時間。其資料庫內容可大概分為三大類，在傳統機車引擎方面共有 24 篇、混合動力車輛方面共有 6 篇、燃料電池車輛方面共有 10 篇，總計共有 40 篇的相關資料。

#### 2.1.1 傳統機車引擎部份

- a. 在空燃比控制方面有適應性控制 1 篇及其它，如前饋和回饋控制、可變汽門正時在冷啟動時的控制等 8 篇。
- b. 燃油噴射控制有模糊邏輯控制 1 篇及其它，如電子化油器、摩托車電噴控制等 3 篇。
- c. 在廢氣再循環(EGR)有模糊邏輯控制、最佳化控制各 1 篇及其它，如控制凸輪軸角度、可變汽門正時及利用系統識別識別出轉移函數再控制各參數等 5 篇。
- d. 三元觸媒轉換器有適應性控制、適應性類神經網路和最佳化控制各 1 篇及其它的控制 1 篇。

#### 2.1.2 混合動力機車部份

在混合動力機車方面的控制有能量管理、動力分配控制、電瓶有效控制、馬達控制、CVT 控制和電子控制煞車系統等 6 篇。

#### 2.1.3. 燃料電池機車部份

在燃料電池機車方面的控制有水和熱的最佳化控制 2 篇、最佳化的動力比例分配和

利用前饋和回饋來控制氫、氧壓力和溫度各 1 篇及其它，如熱回復循環法控制等 6 篇。

## 2.2 比較先進機車引擎排放污染控制技術

四行程 CO 與 HC 控制主要藉由改善點火與化油器之設計、稀燃混合比控制、加裝二次空氣裝置與電腦噴油系統及觸媒轉換器加以改善。觸媒轉換器對排氣污染改善有十分顯著的效果，主要可減少機車排氣中之 HC 與 CO[1]。

現今機車污染防制技術可分成引擎燃燒控制與廢氣再處理兩方面加以改善。其中引擎燃燒控制與改善部分包括：二行程引擎 CO 與 HC 之減少方式中低價解決方案如改善點火系統及化油器供油改善使混合氣控制變稀、燃油加添劑與更換不同燃料如天然氣或液化石油氣，高價解決方案則包括引擎進氣道設計、正時控制、燃燒室設計、火星塞數量與位置調整、減少掃氣損失、引擎控制系統、進排閥口控制、缸內直噴等方法。白煙控制方面則須燃油與機油混合比例控制，使用合成機油較礦物機油少白煙及使用較稀的燃油混合氣可改善白煙[2]。

進氣口之形狀尺寸設計會影響到進氣之渦流的產生相對影響汽缸內部之燃燒特性，進而影響 HC、及 NO<sub>x</sub> 之產生[3]。減少 CO 排放之方法包括快怠速機構：A/F 稀薄化之後，使引擎暖機時間變長，為提高冷引擎時的引擎轉速，以縮短暖機時間。增設加速泵：A/F 稀薄化之後，機車加速性能不佳，因此加裝加速泵，在加速時噴入額外燃料，以提高加速性能。增設斷氣閥：降低怠速 CO，會在急減速時發生後燃現象，因此需在減速時，供給空燃比超過可燃界限的混合氣來消除。使用雙火星塞：為擴大 A/F 稀薄化界限，在燃燒室中安裝雙火星塞的急速燃燒法，可使火焰傳播距離縮短，燃燒時間縮短，因此點火時間可以接近上死點，混合氣的壓力及溫度條件變得有利於點火，進而提高了燃燒效率。使用較稀薄之 A/F，仍能確保良好的駕駛性能，減少 CO 排放。[4]

減少 HC 排放之方法包括燃燒室的形狀：燃燒室壁附近溫度低，由於消焰層作用，發生不完全燃燒，而成為 HC 排出之原因，因此表面積與體積比(S/V)越大，HC 排出量也越多，活性炭罐之燃油蒸發氣體控制系統：為防止油箱、化油器等蒸發的油氣(HC)排出，需將各部分密封起來，不使直接排到大氣中，因此在引擎停止時所產生之油氣儲存在活性炭罐及曲軸箱中。改變點火正時：HC 在大約 650°C 以上的高溫下，能與 O<sub>2</sub> 充分反應成 CO<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>O，因此可以延遲點火正時，以提高後燃及升高排氣溫度減少 HC 排出，但過分延遲點火正時會使輸出扭力、馬力降低，使得駕駛性能下降，所以其需要引擎性能與 HC 消除量之間取得平衡，進而決定點火正時。改變氣門正時：進排氣門開啟重疊度愈大時，時未燃燒混合氣之排出量會增加，而 HC 排放量隨之增加，因此進排氣門開啟重疊度應盡可能縮小。

減少 NO<sub>x</sub> 排放之方法包括空燃比稀薄化：空燃比在理論混合比時，NO<sub>x</sub> 之濃度最高，因此可以考慮使用比理論混合比濃或稀之混合氣。但空燃比過濃時會使 CO、HC 及燃油消耗率增加，過稀會使 HC 增加，輸出馬力減少。

Hunt Frank[6]文獻中發展引擎監視系統(Engine Monitoring System)和廢氣減少系統(Emission Reduction System)，以多個感知器來監測出引擎不同的操作情況，輸入訊號

至中央處理單元(central processing unit)來做判斷及演算，並將輸出訊號至各感知器以監控廢氣減少系統，且依據法規的規定以最佳化的操作情況下來減少引擎所排放的廢氣。Niels J.[7]等人提出如圖 2-1 利用模糊邏輯來控制混合動力車輛的能量管理與動力系統各部的控制。控制器依據加速及煞車踏板的位置、電瓶殘電量、車速及馬達的轉速，以最佳化的方式來分配馬達與引擎的動力輸出，以期能降低油耗與廢氣。Makoto Kawai[8]等人提出一現代控制科技上應用的高精密度的空燃比(A/F)電子控制，特別應用於廢氣減少技術(Emissions Reduction Technology)。觀察者理論已經用來作為在汽缸與自我調整器之間的空燃比的變化補償，且已可用來控制瞬間的情況和擾亂。此創新技術顯現出在控制技術上的進步，且此控制需要高性能的中央處理器以求達到所需的結果，其系統如圖 2-2 至圖 2-8。

Masayuki Soga[9]等人提出一減少廢氣排放及改善油耗的裝置，為一電子控制煞車系統(Electronically Controlled Brake system, ; ECB)。其能平滑地控制每車輪煞車之液壓，且藉由修改其軟體以增加它的機能，其系統如圖 2-9 至圖 2-11 所示。Olbrot[10]等人提出一利用強健控制方法建立一車輛的廢氣再循環系統(Exhaust Gas Recirculation, EGR)的模型，其建立非線性、時間延遲(Time Delay)及排氣動態。此動態系統包含了時間延遲的一階轉移函數的係數，此依據參考訊號(EGR %)。可充分的識別出不同的四種模型，假設出轉移函數中的係數以描繪出系統的動態。其回授控制模型如圖 2-12 所示。高瑞宏[11]提出以噴油引擎之空燃比控制模擬為基礎，再針對實際汽油引擎，施以空燃比控制實驗。引擎模式包括進氣歧管空氣動態，致動器動態，四衝程引擎之時間延遲及含氧感測器動態等。由於含氧感測器只能提供一具有時間延遲 (Time Delay) 且落後之訊號，若以傳統控制設計，則將因其延遲因素而造成系統反應速度之減緩。改善之道可根據引擎模式以前饋控制 (feed-forward) 增加暫態反應速度，並以回授控制降低穩態誤差。在噴油引擎控制方面，由於引擎之動態系統參數與引擎轉速及負載有關，而且也隨著引擎的磨損，老化及維修狀況而改變，使得引擎系統參數具有不確定性。為了處理其不確定性問題，可事先鑑別出引擎在不同條件之參數變化，以增益編排方法來設計其前饋及回授控制器；使用適應性控制方法，在不同操作條件下，辨識引擎參數並隨之調整控制器參數，以達到理想之空燃比控制。

我國之機械工業研究院在動力機械技術方面的研發動態上，應用如圖 2-13 所示意的機車引擎管理系統可有效降低機車之污染排放。機械工業研究所為整合內燃機電子控制技術、成熟的國內機車產業及電子相關產業，開發 50cc 至 250cc 四行程機車之引擎管理系統，以改善機車之廢棄污染排放、燃油消耗及提昇引擎性能，以提昇我國機車產業之國際競爭力及科技形象。為縮短控制系統的開發時程，機械所發展整合式 CAE 技術，應用先進之 MODEL BASED DEVELOPMENT 技術於引擎之控制策略以及邏輯之設計與驗證。

引擎管理系統技術包含：微電腦控制器硬體開發、控制策略及軟體開發、引擎管理系統設計、引擎管理系統零件蒐尋與開發、引擎及車輛調校、污染控制技術、相關測試技術等。

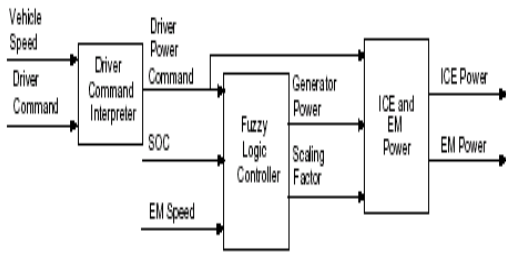


圖 2-1 控制之方塊圖[7]

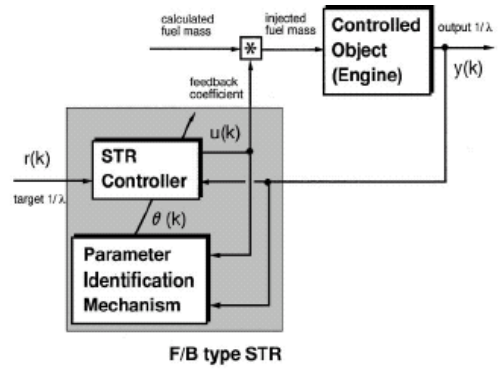


圖 2-5 Self Tuning Regulator (STR)控制器 [8]

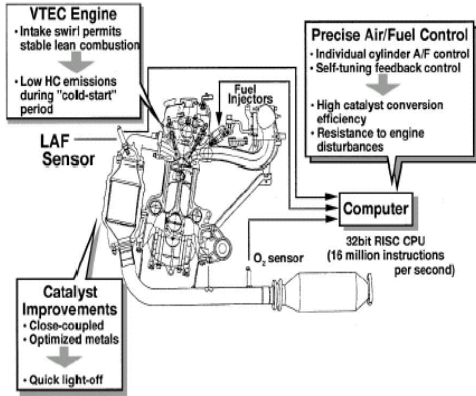


圖 2-2 空燃比控制的應用[8]

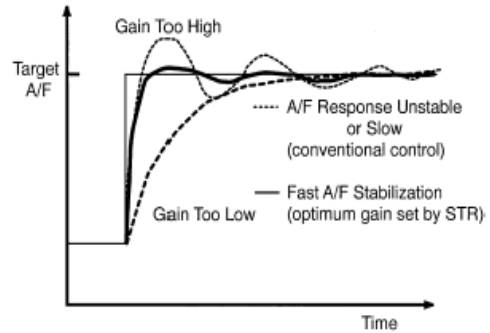


圖 2-6 傳統式控制與 STR 控制之比較[8]

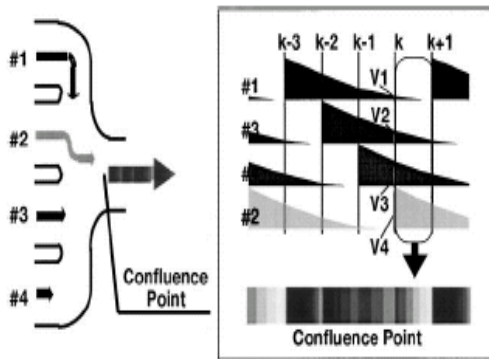


圖 2-3 觀測個別汽缸的空燃比控制[8]

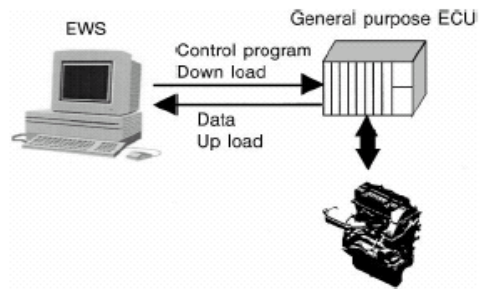


圖 2-7 空燃比電子控制發展之系統[8]

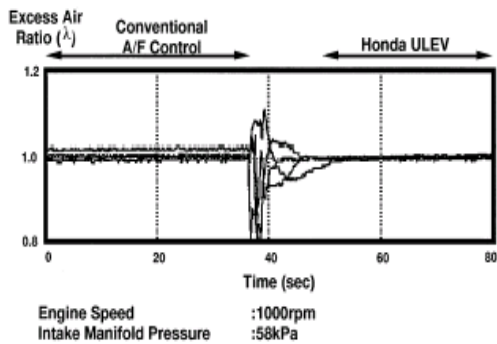


圖 2-4 個別汽缸空燃比控制的結果[8]

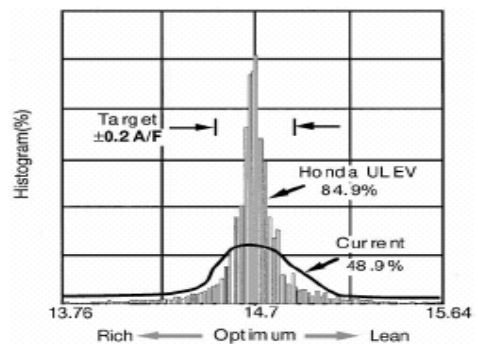


圖 2-8 準確性空燃比控制的結果[8]

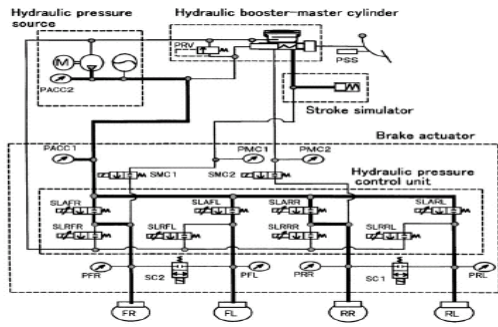


圖 2-9 ECB 系統結構圖[9]

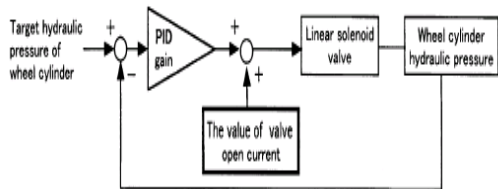


圖 2-10 控制結構圖[9]

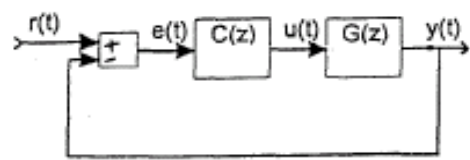


圖 2-12 EGR 回授控制[10]

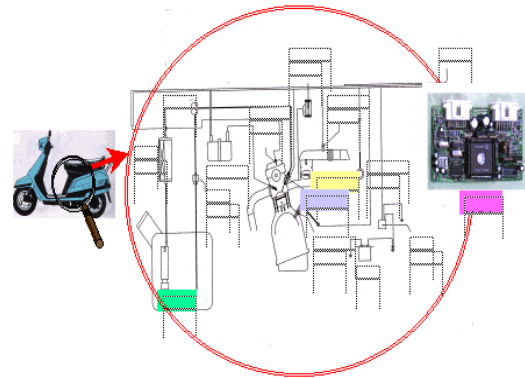


圖 2-13 機車引擎管理系統示意圖[11]

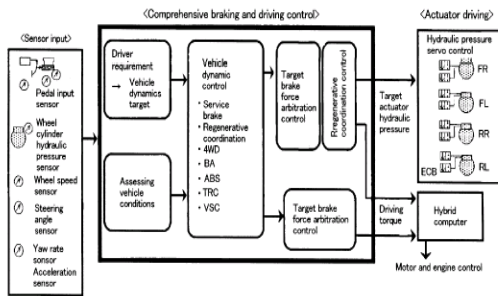


圖 2-11 車輛動態管理系統處理程序[9]

## 2.3 新的機車動力控制技術比較評估

### 2.3.1 混合動力機車控制技術

混合動力機車(Hybrid Electrical Motorcycle)則結合純電動機車的環保及內燃機機車之高續航力之優點，目的是要降低內燃機內燃油混合氣經過燃燒之後所產生的污染，及達到省油的效果。混合動力機車動力系統之設計，可以將引擎電子噴油系統、電子點火系統、電子汽門正時控制系統、馬達、發電機之電控系統加以整合。配合各感測器訊號執行工作狀態之判斷與相關參數之控制，使引擎與馬達之輸出性能在該狀態下達到設計要求。Kimura[24]等人也是描述串、並式的混合動力機車有著被限定的性能，所以從反向的系統能知道所需求的動力，而適當控制馬達的扭力使低能量儲存的電瓶能減少損失。如圖 2-14 所示為針對 Toyota Hybrid System 所設計的控制圖示。本計畫也延續第一年研究計畫利用已建構之正、反向混合動力機車系統，以量測實驗引擎及馬達於測功計(Dynamometer)上之實測數據為基礎，配合相關控制系統原理，加以修正其動態響應性能，以期能建立良好之對應關係。希望由輸入之模擬實驗數據車輛行駛暫態負荷扭力隨時間之變化，修正模擬動力系統動態模式，及相關引擎與傳動系統匹配控制策略，以產

生較佳混合動力機車動力系統評估計算分析所須之性能，同時協助工程師改善設計、縮短研發試誤及時辰。其邏輯控制動力分配器模組，利用邏輯控制關念，利用車輛扭力、車輛速度和電瓶殘電量三個輸入條件來做動力邏輯判斷。如圖 2-15 所示。

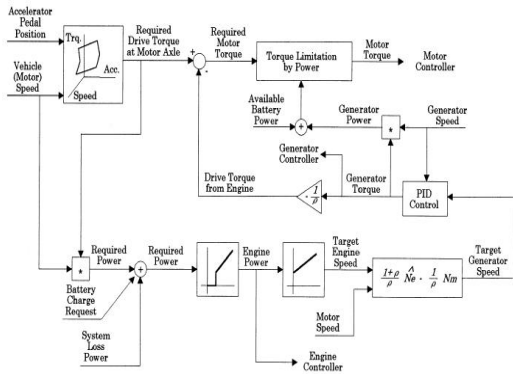


圖 2-14 THS 控制模組[24]

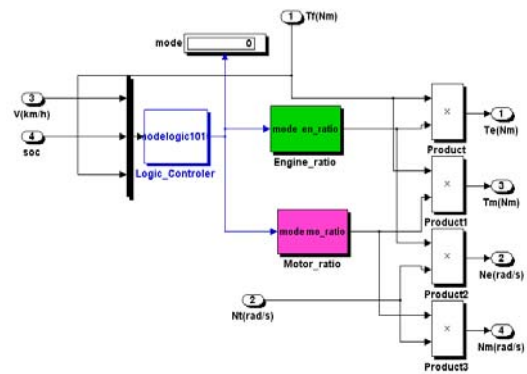


圖 2-15 邏輯控制動力分配器模組

### 2.3.2 燃料電池混合動力機車控制技術

燃料電池混合動力機車：燃料電池可視為一種清潔的發電裝置，其工作原理是利用氫和氧進行化學反應來產生電力，由於電能的產生是由化學能直接轉換而來，使得燃料電池與一般傳統發電系統比較，有簡單、潔淨、效率高及運轉安靜等優點。燃料電池可使用的燃料包括：純氫、甲醇、乙醇、天然氣甚至目前運用最廣的汽油，但不管用何種燃料為動力來源，經過電池內部的化學作用後，利用還原後的氫氣做為動力並排出水蒸氣，一種具實用且零污染的潔淨能源科技。同時其利用化學反應產生的動能，有別於內燃機採行燃燒產生的動能反應，因此運轉過程不會產生噪音；另在實際運用方面，燃料電池具模組化特性，可加大其運用範圍。目前國內已有民間開發燃料電池之混合動力機車，但由於屬於商業機密，其設計參數與相關資料並不易獲得，而其動態性能模擬仍待驗證與改善。

由 Jay[22]等人利用熱力學方程式建構燃料電池模組，而控制器部份，如圖 2-16 所示利用前饋和回饋控制使觀測器求出狀態變數之觀測值  $\hat{x}$  而來作出修正補償。Hyun[23]等人說明燃料電池混合動力車輛有著真正地零污染，為了有效地引起這個系統，從燃料電池系統控制和最佳化每一個動力的比例和電池的系統必須主要解決，為了尋求將來車輛動力系統討論了氫燃料電池混合動力車輛和它的控制的特性。其中所建立的實驗設備架構圖和控制訊號流程圖，如圖 2-17 及圖 2-18 所示。應用在燃料電池混合動力系統，而模擬結果和經實驗的結果相符，目的為方便在未來作更精確地控制而可以利用已建立的模型以減少研發的時間和成本。而現今燃料電池之種類亦有許多種，目前在車輛上應用較可行之燃料電池型式為質子交換膜式(PEM)，其使用之燃料最理想為純氫，效率可達近 60%，且無任何污染造成。但純氫之燃料供應及儲存有其困難，一般亦常用甲醇或汽油，但效率會較低，且需額外設計一燃料轉換器以轉換為氫氣參與電化學反應。

圖 2-19 為在現階段中，燃料電池車輛所需要的關鍵技術項目。本計畫也延續第一

年研究計畫利用已建構之正、反向燃料電池車輛控制系統，利用熱電流及電化學公式建立燃料電池的數學模式，並且在燃料電池操作範圍之內，模擬出燃料電池輸出電壓與電流的特性，並在 Matlab/Simulink 上建立燃料電池模組，其燃料電控制模組如圖 2-20、圖 2-21。

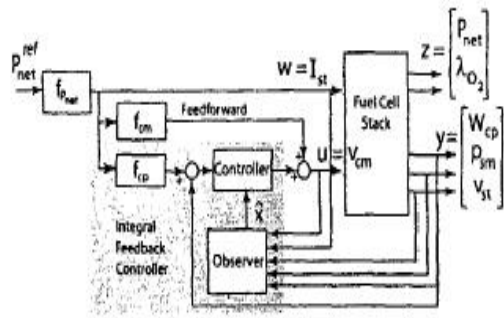


圖 2-16 控制架構圖[22]

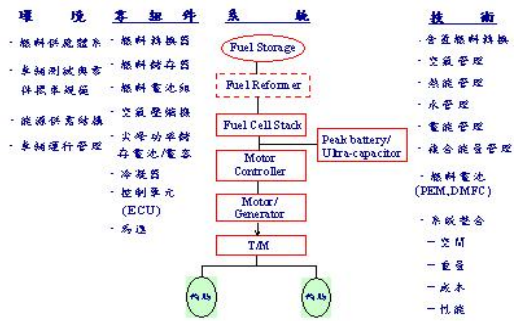


圖 2-19 車輛應用燃料電池動力關鍵技術項目(資料來源：工研院機械所)

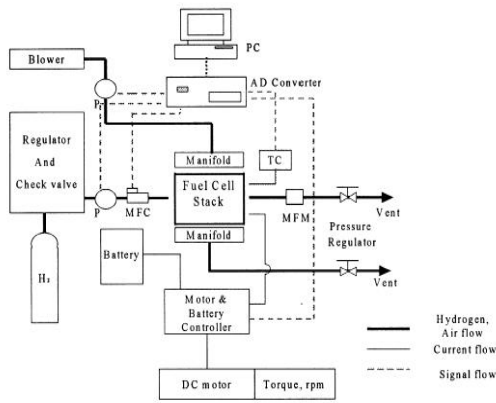


圖 2-17 驗設備架構圖[23]

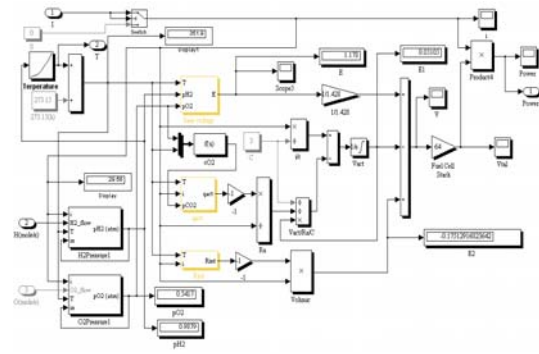


圖 2-20 正向機車燃料電池之模擬控制模組

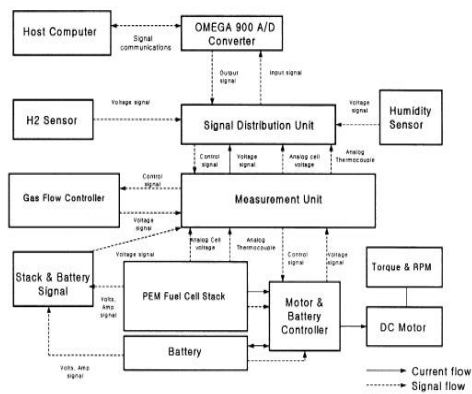


圖 2-18 控制訊號流程圖[23]

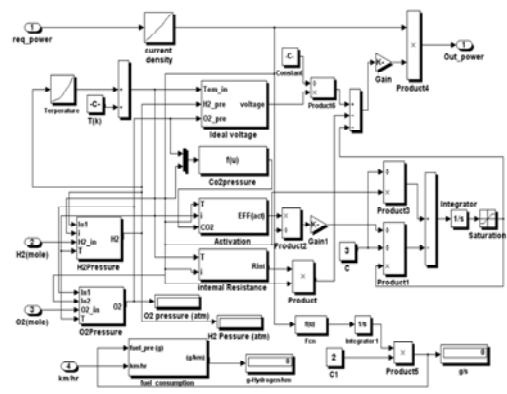


圖 2-21 反向機車燃料電池之模擬控制模組

### 2.3.3 電動機車控制技術

電動機車：電動機車主要是「以電代油」驅動動力系統之交通運輸工具，其關鍵技術包括車體、電池、電動馬達、控制器、傳動系統以及充電器等六大系統。然而，至今電動車最大的瓶頸仍在於電池；由於電池之電容量有限，導致續航力不足，車體過重、充電時間長、生產成本偏高，使得電動車總給人既「貴」且「重」的刻板印象，成為市場銷售障礙，與原先所作之樂觀評估差距甚遠。雖說此不單單僅是電池的問題，包括車輛系統的匹配性、馬達傳動系統的改善而除部份關鍵零件如控制器功率元件、及高性能電池仍需仰賴進口外，其餘零組件幾乎均可由國內自給。各項關鍵零件之國際競爭力主要在於零件更換時效性、產品規格齊備性、及製造成本之比較優勢，所以部份關鍵零件來源掌握在國外大廠手中，使得產業之發展受到相當之限制。

方怡旻[28]說明模糊邏輯控制器的工作原理與一般傳統控制器之所以不同,在於一傳統控制器的輸入值通常為一個明確值而非模糊值,輸出也必定是明確值才能對受控體產生作用.但模糊邏輯控制器則是以語言化的模糊規則為主體,故欲將輸入值與模糊規則相結合,則必須先將輸入值模糊化,同理經過推論單元推理所得到的結果亦須將其反模糊化,才能去控制實際的目標.所以整個模糊邏輯控制系統架構如圖 2-22，基本上包含了五個主要部份：

1. 模糊化介面
2. 資料庫
3. 規則庫
4. 推論引擎
5. 解模糊化介面

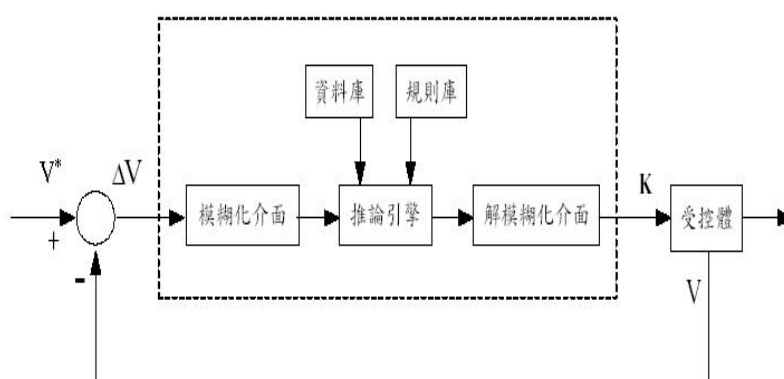


圖 2-22 模糊邏輯控制系統的基本架構[28]



### 三、機車性能動態模擬控制技術成果

#### 3.1 建立機車控制模擬技術

##### 3.1.1 混合動力機車控制模擬

在混合動力機車控制器方面利用模糊邏輯動力分配控制器模組，主要利用機車的踏板開度和 SOC 之間的關係，做為動力分配的主要依據，因應環保要求及低耗油率，讓引擎和馬達的動力作適當的分配，使最後的扭力與轉速達到最佳化。

如圖 3-1 所示反向混合機車扭力之歸屬函數，由車速反向推論，經過機車動態模組和輪胎動態模組，模擬出在不同的車速之下的扭力值，在經過差速器控制模組將輪胎扭力依減速比例縮小，此歸屬函數分為五條曲線，第一條曲線機車扭力值最低，設定在負 25 至負 150 Nm，第二條曲線扭力值為低，設定在 10 Nm 至 25 Nm，第三條曲線機車扭力值為中，設定在 50 Nm 至 75 Nm，第四條曲線機車扭力值為高，設定在 100 Nm 至 115 Nm，第五條曲線扭力值為非常高，設定在 150 Nm 至 200 Nm，其歸屬函數為 1。

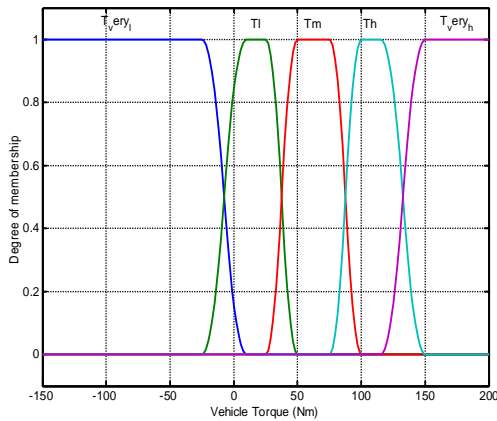


圖 3-1 反向機車扭力輸入條件下之歸屬度函數

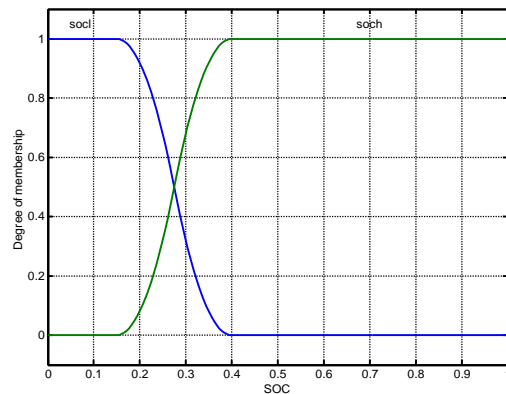


圖 3-2 反向電瓶殘電量(SOC)輸入條件下之歸屬度函數

圖 3-2 所示反向機車電瓶殘電量(SOC)輸入條件下之歸屬函數，此屬函數分為二條曲線，第一條曲線電瓶殘電量低設定在 0 至 0.15，第二條曲線電瓶殘電量高設定在 0.4 至 1，其歸屬函數為 1。圖 3-3 所示反向機車車速輸入條件下之歸屬度函數，此屬函數分為三條曲線，第一條曲線車速為低，設定在 0 km/h 至 15 km/h，第二條曲線車速為中，設定在 40 km/h 至 45 km/h，第三條曲線車速為高，設定在 70 km/h 至 100 km/h，其歸屬函數為 1。

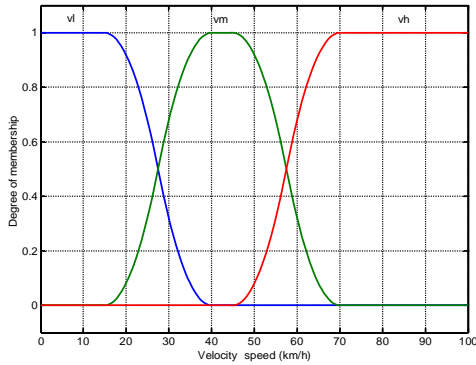


圖 3-3 反向機車車速模式輸入條件下之歸屬度函數

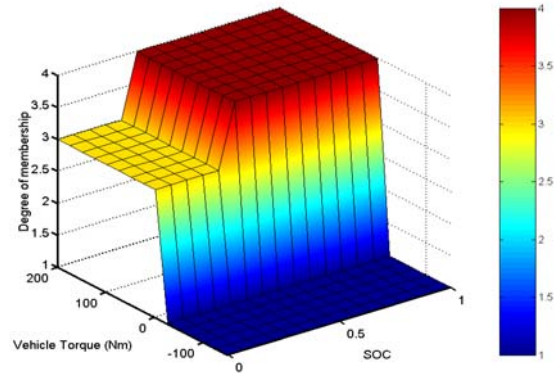


圖 3-4 機車扭力和電瓶殘電量

第二步就必須建立模糊推論機構，也就是整個控制器的重心，其包含了控制規則庫 (Rule Base)、歸屬函數資料庫(Data Base)、及決策邏輯單元(Decision-making Unit)。控制規則庫是經由工程師的經驗、所控制目標特性以及欲控制到的狀態，而來訂這些控制規則庫，如圖 3-4、圖 3-5、圖 3-6 所示。

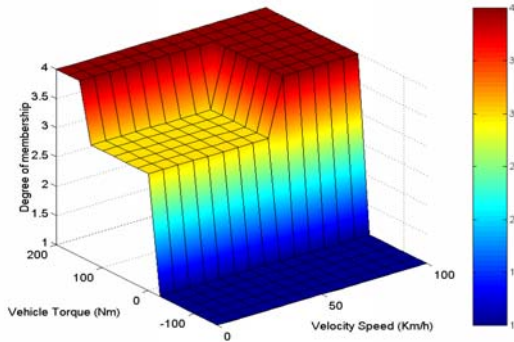


圖 3-5 車速和機車扭力之推論結果立體圖

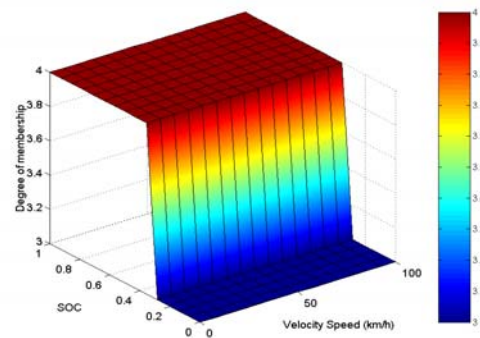


圖 3-6 車速和電瓶殘電量之推論圖

反向機車扭力分配輸出條件下之歸屬度函數。經過電瓶殘電量和機車扭力及車速做為動力分配來源，並利用設計混合動力機車的其本原理，設定理想的動力分配此能達到低耗油量、低噪音等優點，此屬函數分為四條曲線，第一條機車動力分配模式設定在第一模式，歸屬函數為 1，第二條機車動力分配模式設定在第二模式，歸屬函數為 1，第三條曲線機車動力分配模式設定在第三模式，歸屬函數為 1，第四條曲線機車動力分配模式設定在第四模式，歸屬函數為 1；表 1 為反向模糊推論規則庫。其架構可參考如下圖 3-7、圖 3-8 所示。

表 1：反向模糊推論規則庫

1. If (input1 is vl) and (input2 is soc h) and (input3 is Tl) then (output1 is mf1) (1)
2. If (input1 is vl) and (input2 is soc h) and (input3 is Tm) then (output1 is mf1) (1)
3. If (input1 is vl) and (input2 is soc h) and (input3 is Th) then (output1 is mf2) (1)
4. If (input1 is vl) and (input2 is soc h) and (input3 is T very\_h) then (output1 is mf4) (1)
5. If (input1 is vl) and (input2 is soc h) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)
6. If (input1 is vm) and (input2 is soc h) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)

7. If (input1 is vm) and (input2 is soc h) and (input3 is Tl) then (output1 is mf1) (1)
8. If (input1 is vm) and (input2 is soc h) and (input3 is Tm) then (output1 is mf3) (1)
9. If (input1 is vm) and (input2 is soc h) and (input3 is Th) then (output1 is mf2) (1)
10. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_h) and (input3 is T\_very\_h) then (output1 is mf4) (1)
11. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_h) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)
12. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_h) and (input3 is Tl) then (output1 is mf4) (1)
13. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_h) and (input3 is Tm) then (output1 is mf4) (1)
14. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_h) and (input3 is Th) then (output1 is mf4) (1)
15. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_h) and (input3 is T\_very\_h) then (output1 is mf4) (1)
16. If (input1 is vl) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)
17. If (input1 is vl) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tl) then (output1 is mf3) (1)
18. If (input1 is vl) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tm) then (output1 is mf3) (1)
19. If (input1 is vl) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Th) then (output1 is mf3) (1)
20. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)
21. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tl) then (output1 is mf3) (1)
22. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tm) then (output1 is mf3) (1)
23. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_h) then (output1 is mf3) (1)
24. If (input1 is vm) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Th) then (output1 is mf3) (1)
25. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_l) then (output1 is mf1) (1)
26. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tl) then (output1 is mf3) (1)
27. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Tm) then (output1 is mf3) (1)
28. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_l) and (input3 is Th) then (output1 is mf3) (1)
29. If (input1 is vh) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_h) then (output1 is mf3) (1)
30. If (input1 is vl) and (input2 is soc\_l) and (input3 is T\_very\_h) then (output1 is mf3) (1)

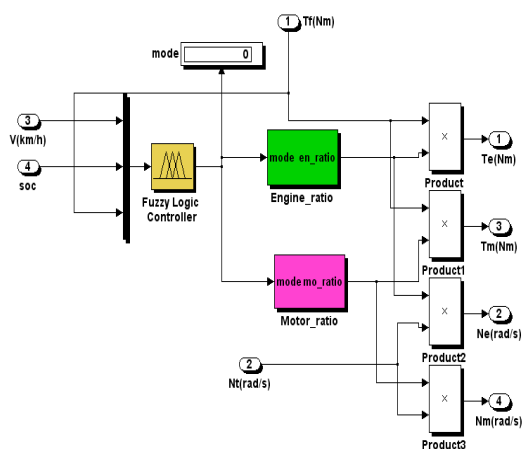


圖 3-7 反向模糊動力控制器基本架構圖

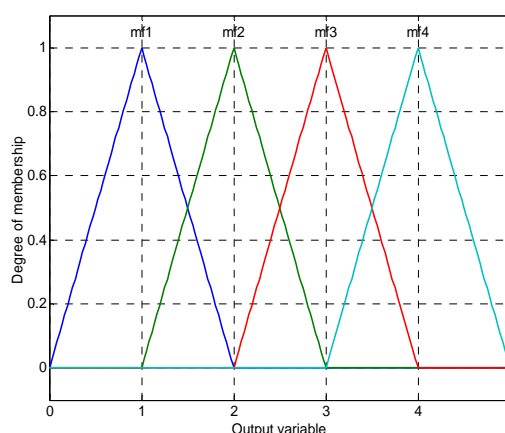


圖 3-8 反向模糊輸出動力分配比列之歸屬函數

### 3.1.2 燃料電池機車控制模擬

在反向燃料電池機車整個模組中，如圖 3-9，而控制器方面利用模糊邏輯控制器模組，如圖 3-10 所示，主要是利用電瓶殘電量(SOC)和馬達的負載做為輸入條件經過模糊邏輯控制器來控制燃料電池氫流量的輸出，使燃料電池與電瓶能得到適當能量分配管理。

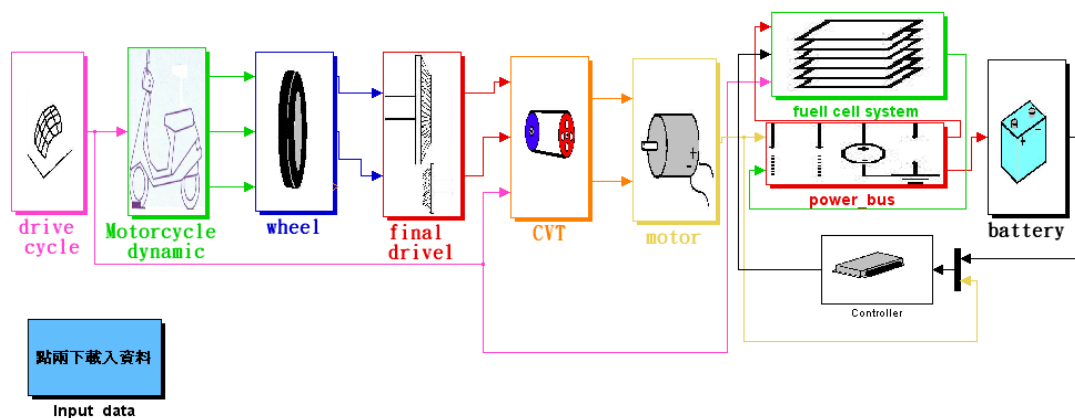


圖 3-9 反向燃料電池機車模組

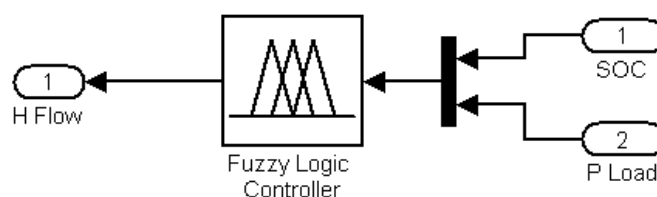


圖 3-10 控制器模組

如圖 3-11 所示電瓶殘電量(SOC)之歸屬函數，由經過動力分配器後所模擬出的值作為模糊控制器的輸入條件之一，此歸屬函數分為五條曲線，第一條曲線 SOC 值極低，設定在 0 至 0.3 %，歸屬函數為 1，第二條曲線 SOC 值低，設定在 0.6 %，第三條曲線 SOC 值中，設定在 0.7%，第四條曲線 SOC 值高，設定在 0.8 %，第五條曲線 SOC 值極高，設定在 0.85 至 1 %。

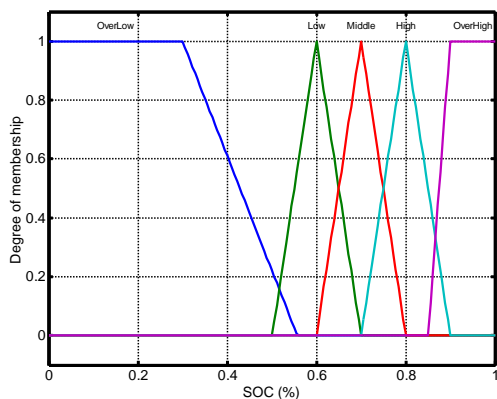


圖 3-11 電瓶殘電量(SOC)之歸屬函數

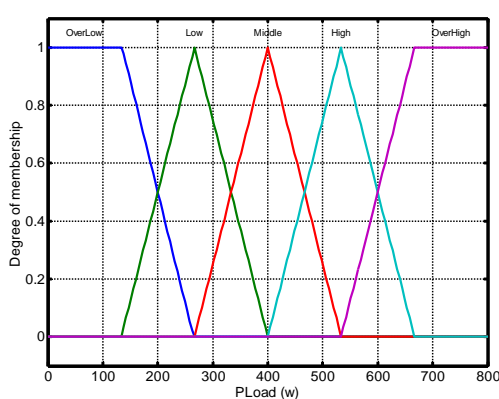


圖 3-12 馬達負載之歸屬函數

如 圖 3-12 所示馬達負載之歸屬函數，由車速反向推論，經過車輛動態模組和輪

胎動態模組及經過差速器控制模組將輪胎扭力依減速比例縮小，使馬達依其負荷模擬出所需知馬達功率其最大功率設定值 800 W，馬達負載輸入條件下之歸屬度函數也作為模糊邏輯控制器之輸入條件，此歸屬函數分為五條曲線，第一條曲線馬達負載值極低，設定在 0 至 125 W，歸屬函數為 1，第二條曲線馬達負載值低，設定在 275 W，第三條曲線馬達負載值中，設定在 400 W，第四條曲線馬達負載值高，設定在 525 W，第五條曲線馬達負載值極高，設定在 675 至 800 W。利用三角形和梯形不同的連續性歸屬函數來比較，改變不同的馬達經過各模組後的輸出負荷時則可以觀察輸出氫流量之歸屬函數的模擬結果。

如圖 3- 13 所示為利用三角形的氫流量之歸屬函數，由經過模糊邏輯控制器計算出所控制的氫流量值，氫流量之歸屬度函數為模糊邏輯控制器之輸出條件，此歸屬函數分為五條曲線，第一條曲線氫流量值極低，設定在 0 至 0.005 mole/s，歸屬函數為 1，第二條曲線氫流量值低，設定在 0.01 mole/s，第三條曲線氫流量值中，設定在 0.015 mole/s，第四條曲線氫流量值高，設定在 0.021 mole/s，第五條曲線氫流量值極高，設定在 0.0225 至 0.03 mole/s。

而如圖 3- 14 所示為利用梯形的氫流量之歸屬函數，同樣地經過模糊邏輯控制器計算出所控制的氫流量值，氫流量之歸屬度函數為模糊邏輯控制器之輸出條件，此歸屬函數也分為五條曲線，第一條曲線氫流量值極低，設定在 0 至 0.005 mole/s，第二條曲線氫流量值低，設定在 0.0075 至 0.0113 mole/s，第三條曲線氫流量值中，設定在 0.0132 至 0.0165 mole/s，第四條曲線氫流量值高，設定在 0.0185 至 0.0219 mole/s，第五條曲線氫流量值極高，設定在 0.0257 至 0.03 mole/s，歸屬函數為 1。

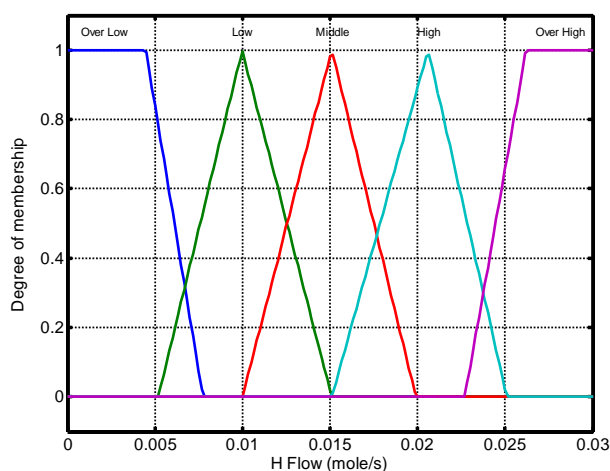


圖 3- 13 三角形氫流量之歸屬函數

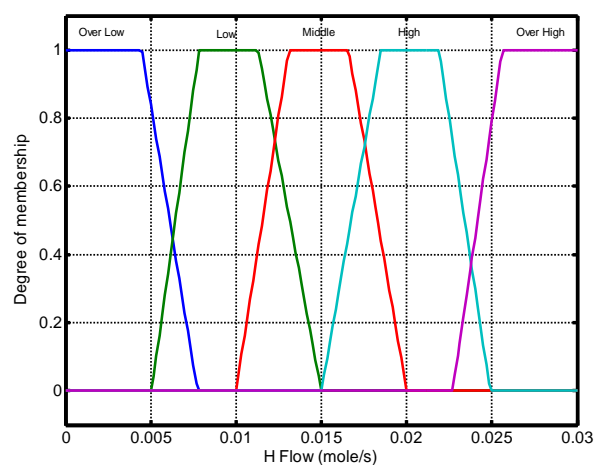


圖 3- 14 梯形氫流量之歸屬函數

以上所述必須要把輸入訊號經由模糊控制器轉換為模糊集合表現的語言變數，這步驟稱為模糊化過程處理。模糊規則庫之建立原則如下：

$$\text{if } (x_{1i} \text{ is } X_1) \text{ and } (x_{2i} \text{ is } X_2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_{ki} \text{ is } X_k) \text{ then } (y_i \text{ is } Y) \quad (1)$$

其中  $X_1$ 、 $X_2$  ..... $X_k$  為模糊集合， $x_{1i}$ 、 $x_{2i}$  ..... $x_{ki}$  為輸入， $y_i$  為輸出， $i$  表第  $i$  個法則， $k$  表有  $k$  個前題，每個輸入皆有其歸函數  $A_i$  來表示其特徵，而在模糊推論的運算法，在本研究中是採用了 Mamdani 所發展的運算法則，如圖 3- 15 所示為利用三角形的氫流量之歸屬函數所推論結果立體圖；如 圖 3- 16 所示為利用梯形的氫流量之歸屬函數

所推論結果立體圖，而表 2 為模糊邏輯控制器內部的規則庫。

**表 2：反向模糊推論規則庫**

1. If (input1 is O-Low) and (input2 is O-Low) then (output1 is O-High) (1)
2. If (input1 is O-Low) and (input2 is Low) then (output1 is O-High) (1)
3. If (input1 is O-Low) and (input2 is Middle) then (output1 is O-High) (1)
4. If (input1 is O-Low) and (input2 is High) then (output1 is O-High) (1)
5. If (input1 is O-Low) and (input2 is O-High) then (output1 is O-High) (1)
6. If (input1 is Low) and (input2 is O-Low) then (output1 is High) (1)
7. If (input1 is Low) and (input2 is Low) then (output1 is High) (1)
8. If (input1 is Low) and (input2 is Middle) then (output1 is High) (1)
9. If (input1 is Low) and (input2 is High) then (output1 is O-High) (1)
10. If (input1 is Low) and (input2 is O-High) then (output1 is O-High) (1)
11. If (input1 is Middle) and (input2 is O-Low) then (output1 is Middle) (1)
12. If (input1 is Middle) and (input2 is Low) then (output1 is Middle) (1)
13. If (input1 is Middle) and (input2 is Middle) then (output1 is High) (1)
14. If (input1 is Middle) and (input2 is High) then (output1 is High) (1)
15. If (input1 is Middle) and (input2 is O-High) then (output1 is O-High) (1)
16. If (input1 is High) and (input2 is O-Low) then (output1 is Low) (1)
17. If (input1 is High) and (input2 is Low) then (output1 is Middle) (1)
18. If (input1 is High) and (input2 is Middle) then (output1 is High) (1)
19. If (input1 is High) and (input2 is High) then (output1 is High) (1)
20. If (input1 is High) and (input2 is O-High) then (output1 is O-High) (1)
21. If (input1 is O-High) and (input2 is O-Low) then (output1 is O-Low) (1)
22. If (input1 is O-High) and (input2 is Low) then (output1 is Low) (1)
23. If (input1 is O-High) and (input2 is Middle) then (output1 is Middle) (1)
24. If (input1 is O-High) and (input2 is soc\_1) then (output1 is High) (1)
25. If (input1 is O-High) and (input2 is O-High) then (output1 is High) (1)

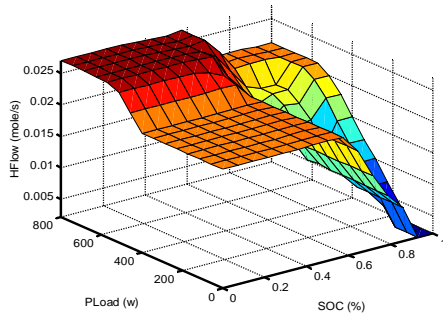


圖 3-15 三角形的氫流量之歸屬函數所推論結果立體圖

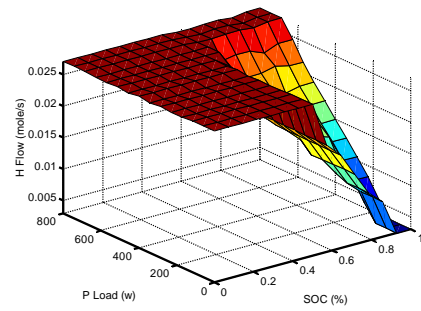


圖 3-16 梯形的氫流量之歸屬函數所推論結果立體圖

而決策邏輯單元也就是模糊推論機構的重點，其具有模擬人類的決策能力，將輸入訊號判斷後決定所應該產生的輸出訊號，而在最後一個步驟則是解模糊化 (Defuzzification)，因為由決策邏輯所產生的輸出訊號是模糊語言變數中，本模擬器利用重心解模糊化法，將模糊輸出對應出到實際明確 (Crisp) 的控制動作。

若有  $n$  個法則解模糊化的輸出值為：

$$y_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

$y_m$ ：表示解模糊化的輸出值， $n$ ：表示為解模糊化規則庫數量， $A_i$ ：表示為輸出面積模糊集合， $y_i$ ：表示為輸出的模糊集合， $i$  表第  $i$  個規則庫之法則。

### 3.2 模擬結果與討論

#### 3.2.1 混合動力機車模擬結果

本研究利用邏輯式和模糊邏輯控制分配器，兩種不同的動力控制模式，進行模擬車輛行駛市區時加減速狀態及車輛各部元件扭力和轉速模擬分析，運用所建立反向並聯式混合動力車輛之動態模型，進行模擬分析並以模糊動力分器之模擬結果做為基準點，減去邏輯動力分配器模擬結果，在除以邏輯動力分配器模擬結果，其結果乘以 100 % 得到引擎性能提升百分比。由

表 3 所示：

表 3 不同動力分配器之模擬結果

	Fuel Mileage (km/l)	HC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)
Fuzzy	29.91	0.3302	2.716	0.6039
Logic	26.55	0.3727	3.09	0.7113
EP%	12.65%	-11.4%	-12.1%	-15%

由模糊動力分配器和邏輯動力分配器分別模擬，並由穩態油耗性能分佈儲值表對應引擎轉速和扭力結果得知，模糊動力分配器所模擬出引擎平均油耗提升 12.65 % 及排出廢氣 HC、CO、NO<sub>x</sub> 分別減少 11.4 %、12.1 % 及 15 % 其污染性問題比邏輯動力分配器有明顯改善。

模擬動力分配器之分配大小，輸入測試行車模式，圖 3-17 發現車速從零秒開始緩慢加速至 76 秒最高車速 19 m/s，76 秒後車速維持 19 m/s 做定速行駛維持 240 秒，至 300 秒後車輛開始做減速蓄電剎車，而車輛蓄電剎車會使馬達產生剎車阻力，使車速較快速下降。

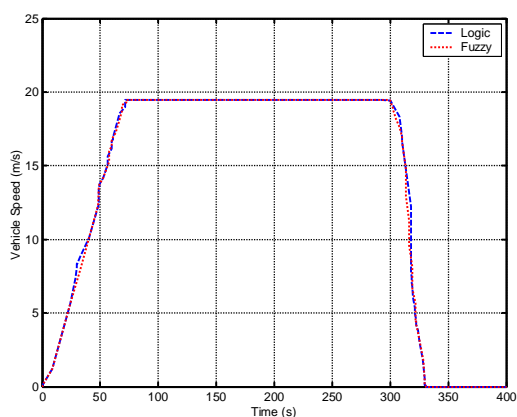


圖 3-17 輸入測試行車模式車輛速度曲線圖

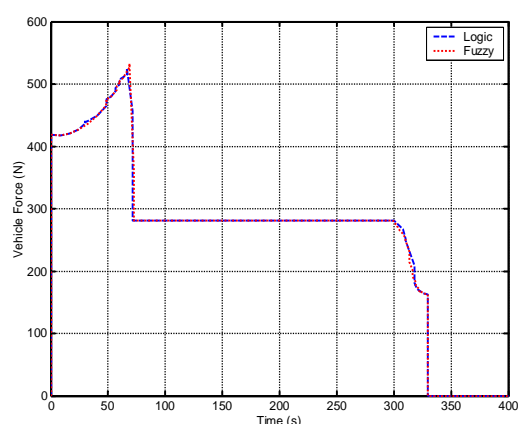


圖 3-18 車輛行車牽引力變化圖

由圖 3-18 發現車輛加速時，車輛本身受到空氣阻力、輪胎摩擦阻力和車輛慣性力影響加速至 68 秒時產生 530 N，至 68 秒至 300 秒由於車輛做定速行駛，無慣性力影響車輛阻力降至 280 N，300 秒以後車輛做減速行駛，由於空氣阻力和輪胎摩擦阻力隨車速降低至 340 秒時降為零，由於測試條件相同所以無經過動力分器做動力分配，所以兩條曲線重疊。

由圖 3-19 發現車輛行車阻力經過輪胎控制模組，在 68 秒時產生輪胎扭力 186 Nm，68 秒至 300 秒輪胎扭力維持 120 Nm，至 300 秒以後由於受到減速慣性力的影響，使輪胎扭力反向推動馬達產生剎車蓄電功能。

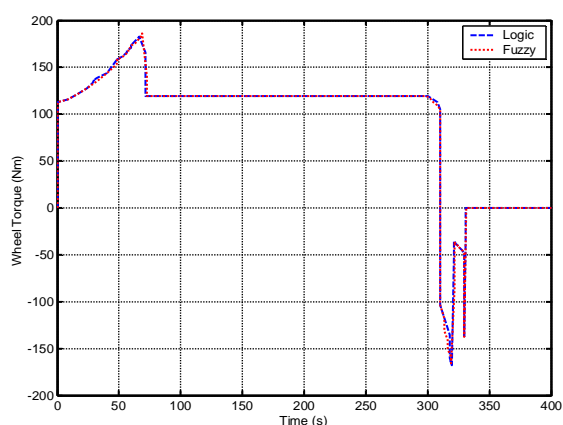


圖 3-19 輪胎扭力曲線變化圖

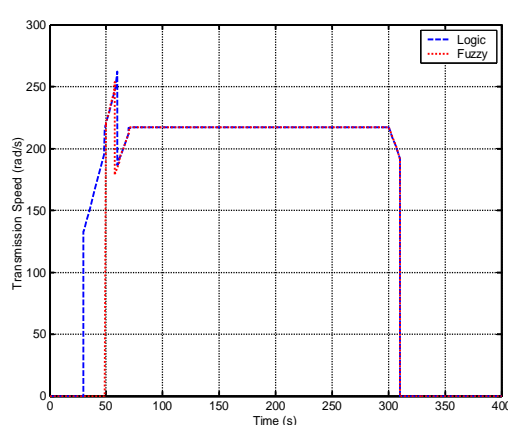


圖 3-20 動力分配器至變速箱轉速變化

由圖 3-20 可發現 30 秒時經由最終傳動轉速經過邏輯動力分配器開始分配到轉速，至 60 秒時達到最高轉速 262 rad/s，而使用模糊動力分配器在 50 秒，分配到最終傳動轉速，在 50 秒分配到最高轉速 250 rad/s，70 秒至 300 秒邏輯動力分配器和模糊動力分配器曲線重疊，動力分配器分配到轉速為 217 rad/s，300 秒之後車輛減速引擎無轉速



輸出，所以曲線轉速降為零。

由圖 3- 21 可發現 30 秒時經由最終傳動扭力經過邏輯動力分配器分配到扭力至 60 秒時達到最高扭力 40 Nm，使用模糊動力分配器在 50 秒時，分配到最終傳動扭力，在 57 秒分配到最高扭力 40 Nm，70 秒至 300 秒邏輯動力分配器和模糊動力分配器扭力曲線重疊，動力分配器分配到扭力為 20 Nm。

由 圖 3- 22 可發現 30 秒至 60 秒經由邏輯動力分配器變速箱輸出扭力變化產生最大扭力 45 Nm，而使用模糊動力分配器在 50 秒分配到最高扭力為 43 Nm，70 秒至 300 秒邏輯動力分配器和模糊動力分配器輸出扭力曲線大致相同，動力分配器分配到扭力為 22 Nm。

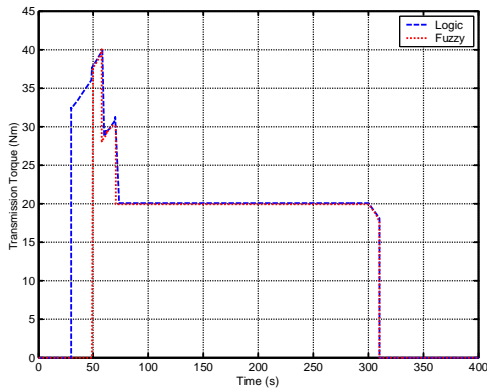


圖 3- 21 動力分配器至變速箱扭力變化

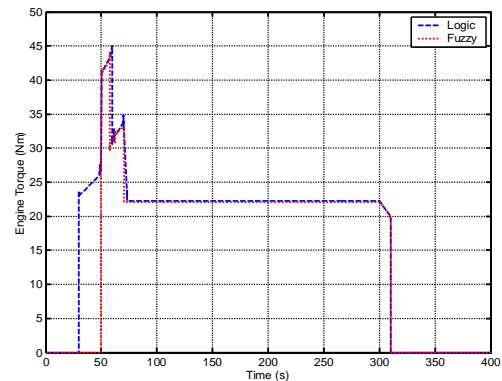


圖 3- 22 變速箱輸出至引擎扭力變化

由圖 3- 23 可發現 30 秒至 50 秒經由邏輯動力分配器，變速箱輸出轉速變化產生最高轉速 331rad/s，而使用模糊動力分配器在 50 秒，分配到最高轉速 331 rad/s，70 秒至 300 秒邏輯動力分配器和模糊動力分配器轉速曲線大致相同，動力分配器分配到轉速維持在 217rad/s。

由 圖 3- 24 可發現 30 秒至 50 秒經由引擎扭力和轉速對應出最大節氣門開度為 85 %，而使用模糊動力分配器在 50 秒時，經由引擎扭力和轉速所對應出節氣門開度 85 %，70 秒至 300 秒邏輯動力分配器和模糊動力分配器由於曲線大致相同，動力分配器分配到節氣門開度維持在 41%的節氣門開度。

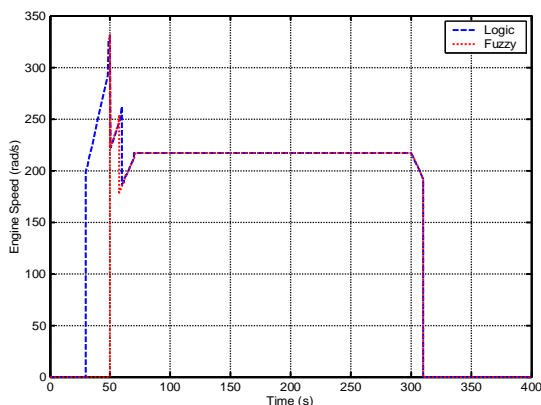


圖 3- 23 變速箱輸出至引擎轉速變化圖

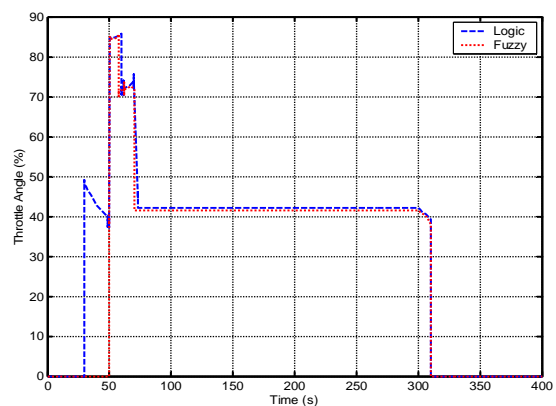


圖 3- 24 引擎節氣門開度變化圖

由圖 3- 25 發現邏輯動力分配器從 0 秒至 30 秒分配到最大扭力 32 Nm，30 秒至 60 秒分配 0 Nm 輸出，此段時間由引擎輸出扭力，則模糊動力分配器 0 秒至 50 秒分配到

最大扭力為 43 Nm，70 秒至 300 秒兩條曲線維持 8.5 Nm，300 秒以後由於車輛做減速剎車蓄電，其減速慣性力所產生最大扭力 31Nm 全部分配到馬達。

由 圖 3- 26 發現邏輯動力分配器分配到轉速從 0 秒至 30 秒分配到最大轉速 133 rad/s，30 秒至 60 秒分配 0 Nm 輸出，此段時間由引擎輸出轉速，而模糊動力分配器 0 秒至 50 秒分配到最大轉速 217 rad/s，70 秒至 300 秒兩條曲線分配到 93 rad/s，310 秒以後由於車輛做減速剎車蓄電，其減速慣性力所產生最大轉速 265 rad/s 全部分配到馬達。

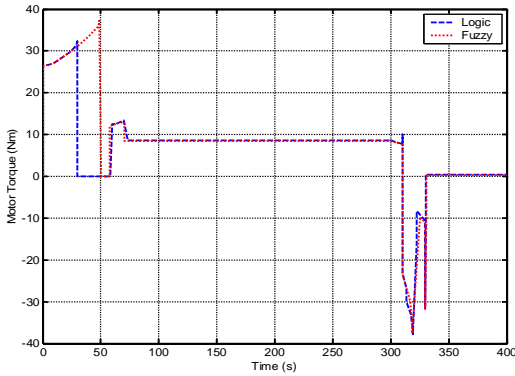


圖 3-25 動力分配器分配動力至馬達之扭力變化圖

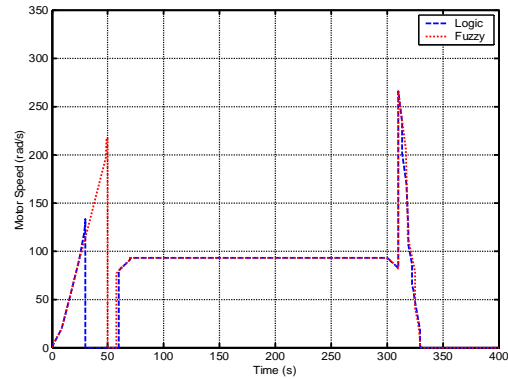


圖 3-26 動力分配器分配動力至馬達之轉速變化圖

由圖 3- 27 發現邏輯動力分配器所分配到馬達扭力和轉速經由馬達儲值表所對應出馬達功率，30 秒時所對應出 5364 W，30 秒至 60 秒無功率輸出，73 秒至 310 秒因車輛定速行駛所耗損 1554 W 功率，310 秒先分配到 3921 W 之後，得到最大蓄電電能為 5000 W，而模糊動力分配器 0 秒至 50 秒分配到馬達扭力和轉速經由馬達儲值表所對應出馬達功率 9665 W，70 秒至 300 秒對應出馬達功率 1547 W，310 秒之後得到最大蓄電電能為 5000 W。

由 圖 3- 28 發現邏輯動力分配器電瓶殘電量 0 秒至 30 秒緩慢下降至 0.6981，30 秒至 60 秒由於引擎輸出功率，所以電瓶殘電量維持一定，60 秒至 310 秒由於車輛做定速行駛電瓶殘電量成比例下降至 0.6841，310 秒之後由於車輛做減速剎車蓄電，將所發出電能回充電瓶，使電瓶殘電量有明顯上升至 0.6857，而模糊動力分配器 0 秒至 50 秒由於模糊動力分配器馬達輸出功率比邏輯動力分配器高，所消耗功率較高，而在這段期間電瓶殘電量有明顯下降至 0.6938，50 秒至 310 秒電瓶殘電量成比例至 0.6799，同樣 310 秒之後由於車輛做減速剎車蓄電，所發出電能回充電瓶，使電瓶殘電量有明顯上升為 0.6815。

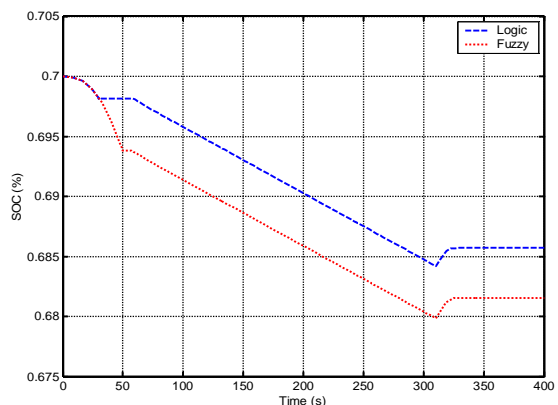
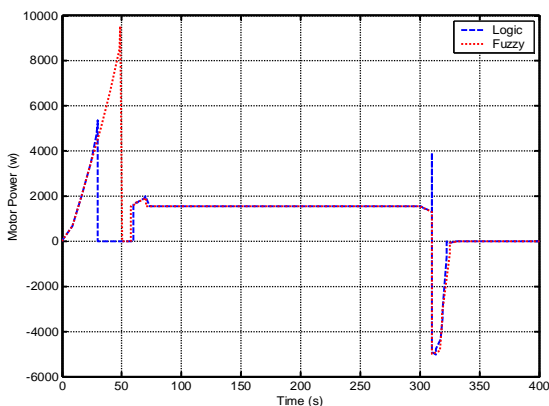


圖 3- 27 馬達輸出功率之曲線變化圖

圖 3- 28 電瓶殘電量(SOC)變化圖

### 3.2.2 燃料電池機車模擬結果

反向的機車燃料電池之模擬控制，可利用熱電流及電化學公式建立燃料電池的數學模式，並且在燃料電池操作範圍之內，模擬出燃料電池輸出電壓與電流的特性，並在 Matlab/Simulink 上建立燃料電池模組，而質子交換膜式燃料電池結構上包含著集電板、多孔性陰陽極、觸媒層及質子交換膜，根據 Nernst[35]所提出方程式，其電流值參考李明三以實際量測單一燃料電池電流密度和電池功率之關係，建立儲值表以對應出燃料電池電流變化情形，在配合 Iqbal[36]提出燃料電池半經驗公式，求出燃料電池電壓，進而求得燃料電池暫態輸出功率和 SOC 之變化情形，當在進行燃料電池機車模擬時，燃料電池模組內部何種控制參數會較影響其輸出功率和 SOC(電瓶殘電量)，所以歸納了以下三個部份來作控制模擬與分析：

第一部份：電流密度、燃料電池溫度。

第二部份：氫、氧流量。

第三部份：氫內部流道的管徑。

其模擬的結果分析為在比較不同地燃料電池內部參數設定來觀測輸出功率和 SOC 之響應，在第一部份中的模擬結果說明改變電流密度的儲值表(Look-up Table)呈凹口向下趨勢的雙曲線及改變燃料電池溫度的儲值表(Look-up Table)在一定的範圍有最大的輸出功率及最大的 SOC，所以在未來針對控制方面可以將電流密度值設定在此範圍，且可以再進行控制氫流量壓力使氫耗損量減少；而溫度的控制方面要注意其範圍，其結果如圖 3- 29、圖 3- 30、圖 3- 31、圖 3- 32。

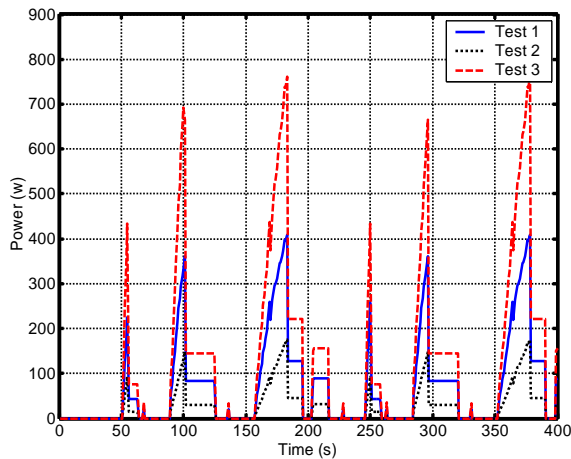


圖 3- 29 燃料電池機車在 ECN 中不同電流密度與燃料電池輸出功率之響應

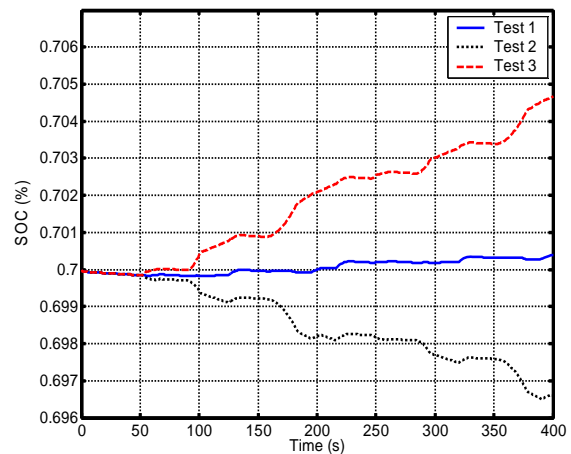


圖 3- 30 燃料電池機車在 ECN 中不同電流密度與 SOC 之響應

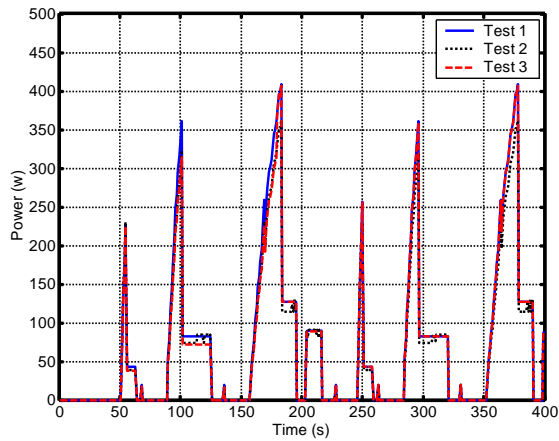


圖 3-31 燃料電池機車在 ECN 中不同燃料電池溫度與燃料電池輸出功率之響應

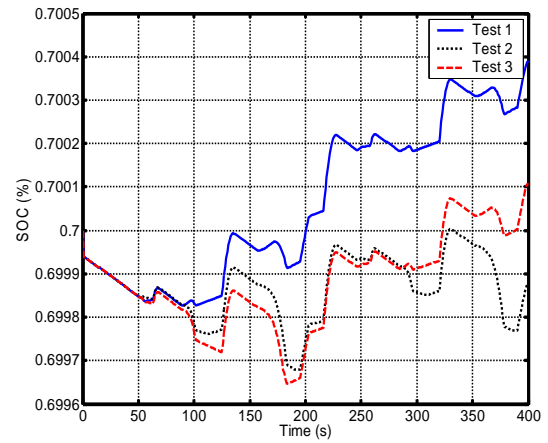


圖 3-32 燃料電池機車在 ECN 中不同燃料電池溫度與 SOC 之響應

而在第二部份中的模擬結果說明針對改變氫、氧流量之後來比較燃料電池模組的輸出功率及 SOC 的影響，模擬結果可知隨著氫流量增加會有較大的輸出功率，但是太大其輸出功率和 SOC 卻會下降，而且經由模擬計算可知在氫流量壓力 0.1 mole/s 時氫的耗損量為 20 克且換算得知每克可走 18.54 km，而在氫流量為 0.2 mole/s 時氫的耗損量為 40 克且換算得知每克可走 7.94 km，所以雖然氫流量為 0.2 mole/s 時有最大的輸出功率和 SOC 但卻沒有較好的燃料經濟性；而氧流量有一定的值才會有較大的輸出功率和 SOC，雖然氧流量不會影響氫的耗損量，但是會影響輸出功率和 SOC，其結果如圖 3-33、圖 3-34、圖 3-35、圖 3-36。

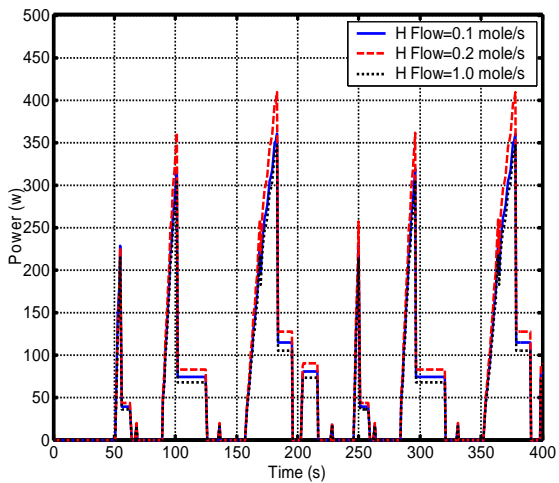


圖 3-33 燃料電池機車在 ECN 中不同氫流量與燃料電池輸出功率之響應

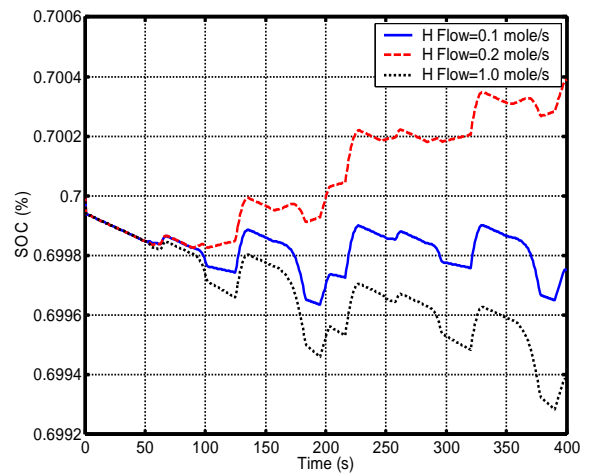


圖 3-34 燃料電池機車在 ECN 中不同氫流量與 SOC 之響應

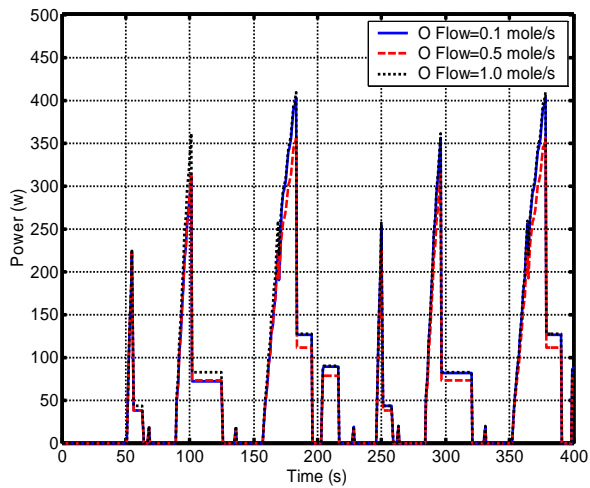


圖 3-35 燃料電池機車在 ECN 中不同氧流量與燃料電池輸出功率之響應

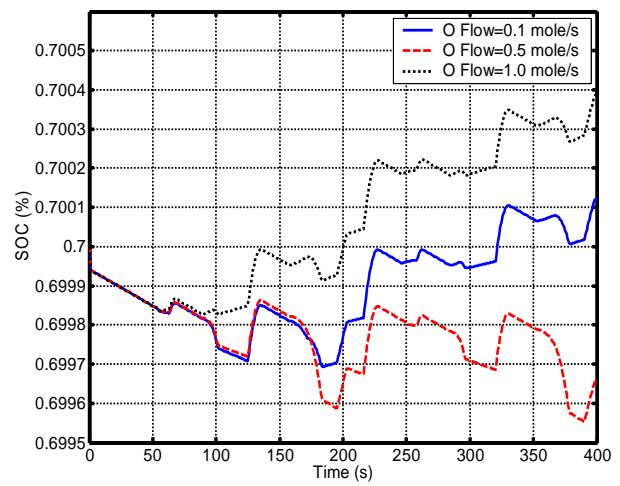


圖 3-36 燃料電池機車在 ECN 中不同氧流量與 SOC 之響應

最後是對第三部份的重點來進行模擬與分析，針對改變氫內部流道的管徑之後來比較燃料電池模組的輸出功率及 SOC 的影響，模擬結果可知氫內部流道管徑有一定的值才会有較大的輸出功率和 SOC，雖然氫內部流道管徑不會影響氫的耗損量，但也是會影響輸出功率和 SOC。所以在未來可以利用較精確的控制法則來控制氫流量壓力、SOC 和水及熱的管理以達到有最大的輸出功率而有最小的氫燃料耗損量，其結果如圖 3-37、圖 3-38。

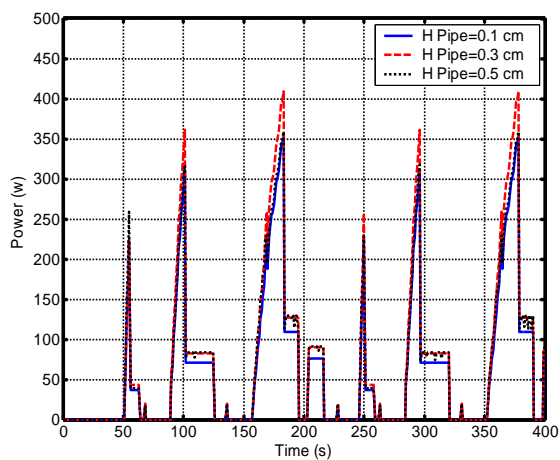


圖 3-37 燃料電池機車在 ECN 中不同氫內部流道的管徑與燃料電池輸出功率之響應

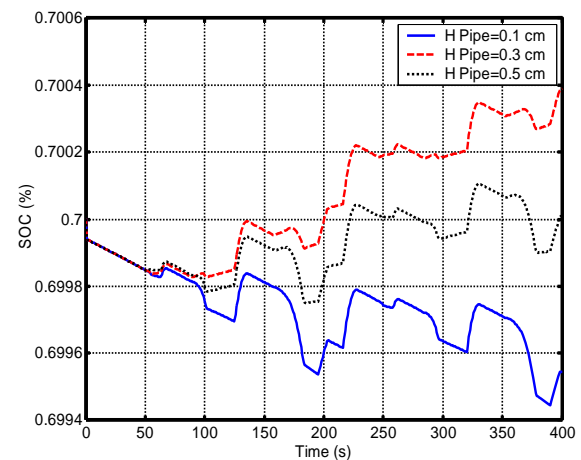


圖 3-38 燃料電池機車在 ECN 中不同氫內部流道的管徑與 SOC 之響應

為了模擬機車行駛市區時的加減速狀態及車輛各部件扭力和轉速的模擬分析，運用所建立反向燃料電池機車之動態模式，模擬模糊邏輯控制器之動態。行車模式採用 ECN(European Community Normalized Driving Cycle)如圖 3-39 中所示，以 400 秒進行模擬，而行車模式包括加速、定速高速行駛及減速等操作項目，在不同的加減速及機車各元件動態響應特性來對控制器作模擬和分析。

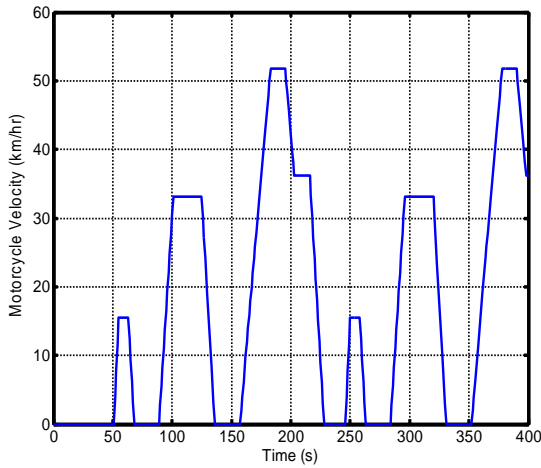


圖 3-39 機車 ECN 行車型態圖

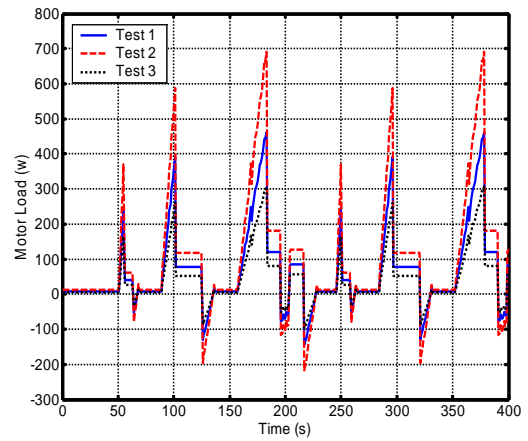


圖 3-40 燃料電池機車在 ECN 中馬達輸出功率之響應圖

以三角形之歸屬函數所建立之輸出氫流量歸屬函數，如圖 3-13 所示，在改變不同的馬達輸出功率，來觀察其響應結果，如圖 3-40 所示為馬達輸出功率之響應圖，在圖形中可以了解，由 ECN 行車模式的輸入條件經過各傳動系統、輪胎模組、車輛動態模組、變速箱及動力分配器計算出馬達所需求之功率，其中 Test 1 曲線為原所求出之馬達需求功率，而 Test 2 和 Test 3 分別為放大和縮小 1.5 倍來觀察在不同的輸入條件下經過模糊邏輯控制器後的模擬結果；而 Test 2 有最大的輸出功率在 184 秒時約 700 w，以 Test 2 為基準與 Test 1 和 Test 3 比較分別降低 35.7 % 和 57.1 %。

圖 3-41 為未經模糊邏輯控制器所控制的 SOC 之響應圖，圖中可發現電瓶殘電量開始時，電瓶殘電量為 0.7，由於沒有控制所以電瓶殘電量由 0.7 一直下降至 0.57。如圖 3-42 所示為經模糊邏輯控制器所控制的 SOC 之響應圖，機車 ECN 需求動力之電瓶殘電量，電瓶殘電量(SOC)為電池目前之儲存電量/電池充滿電時之電容量，控制器的輸入條件分別為電瓶殘電量和馬達的負載來控制氫流量的輸出，由圖形可知道 Test 2 有最低的 SOC 原因為前述 Test 2 有最大的所需求功率所以 SOC 會較低由模擬結束後其 SOC 約 0.6995 %，而 Test 3 有最小的所需求功率所以 SOC 會較接近理想值由模擬結束後其 SOC 約 0.7 %，Test 1 為兩者中間其 SOC 約 0.697 %，其控制的結果為將 SOC 值控制在 0.7 左右而達到預期的控制，但這三種控制模擬結果仍在許可範圍。將此電瓶殘電量回授訊號，做為模糊動力分配控制器之條件之一。

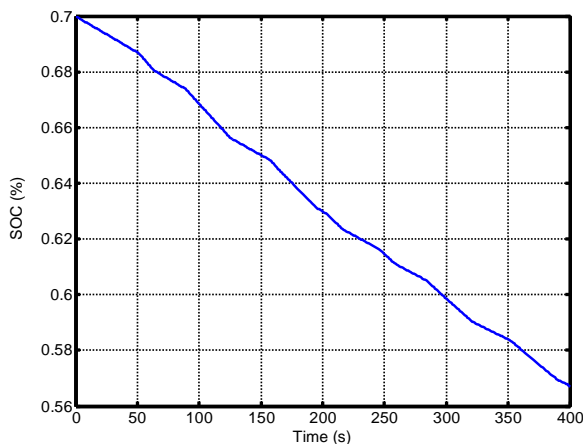


圖 3-41 燃料電池機車在 ECN 中未經控制 SOC 之響應圖

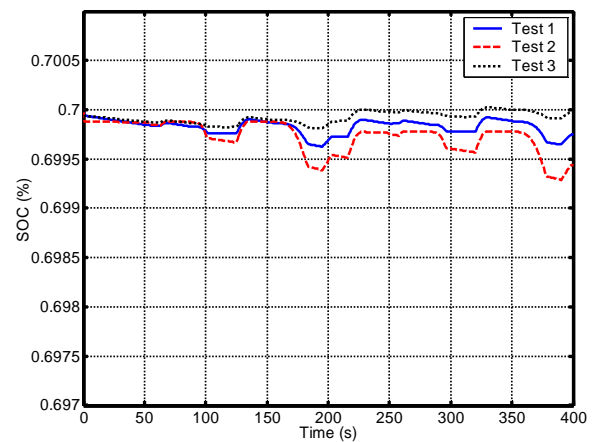


圖 3-42 燃料電池機車在 ECN 中經模糊邏輯控制器控制的 SOC 之響應圖

如下圖 3-43 所示為經模糊邏輯控制器所控制的氫流量之響應圖，經由控制器控制的氫流量是隨著不同的馬達負載和電瓶殘電量做為輸入條件後所控制之結果，其中 Test 2 在 184 秒有最大的氫流量約 0.027 mole/s 原因為 Test 2 有最大的馬達需求功率所以氫流量提供較多使燃料電池有較大的功率以滿足馬達所需求的功率，以 Test 2 曲線為基準與 Test 1 和 Test 3 比較分別降低 22.2 % 及 37.1 %。另外可以簡單算出由 55 g 的燃料筒經過 400 秒模擬結束後 Test 1 曲線還剩 51.94 g 即氫燃料耗損量為 3.06 g，Test 2 曲線還剩 51.85 g 即氫燃料耗損量為 3.15 g，Test 3 曲線還剩 51.99 g 即氫燃料耗損量為 3.01 g；由此結果可知 Test 3 曲線最省燃料而 Test 2 曲線最耗燃料，原因為 Test 3 曲線所需的馬達功率最小所以最省燃料。

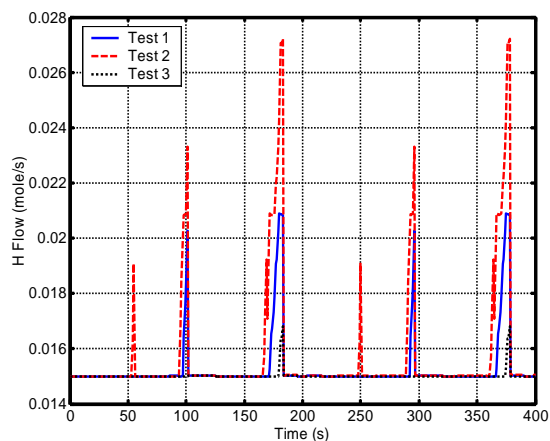


圖 3-43 燃料電池機車在 ECN 中經模糊邏輯控制器所控制的氫流量之響應圖

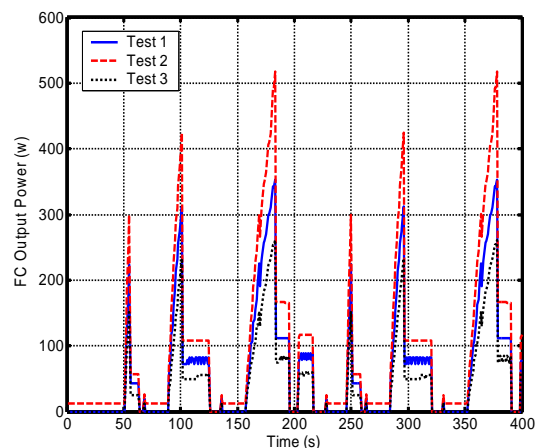


圖 3-44 燃料電池機車在 ECN 中輸出功率之響應圖

如下圖 3-44 所示為燃料電池輸出功率之響應圖，在圖形中可以了解，由 ECN 行車模式的輸入條件經過各傳動系統、輪胎模組、車輛動態模組、變速箱及動力分配器計算出馬達所需求功率在配合模糊邏輯控制器所控制的氫流量配合燃料電池半經驗公式所計算的燃料電池模組輸出功率之結果可知 Test 2 曲線在 184 秒時有最大的輸出功率約 510 w 而 Test 3 曲線有最小的輸出功率約 255 w 原因為 Test 2 的曲線需求的馬達功率最大且氫流量也提供較多至燃料電池所以會有較大的燃料電池輸出功率以滿足所需求的功率，以 Test 2 曲線為基準與 Test 1 曲線和 Test 3 曲線比較分別降低 31.4 % 和 50 %。

不同的三角形和梯形之輸出氫流量的連續性歸屬函數作比較，如圖 3-45 所示為兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下 SOC 之比較結果，其中，Test 1 曲線為梯形之輸出氫流量的連續性歸屬函數，而 Test 2 曲線為三角形之輸出氫流量的連續性歸屬函數，從圖形中可以知道兩種不同的歸屬函數在相同的馬達負荷下曲線重疊，在 400 秒模擬結束時 SOC 值約 0.6997 %。

圖 3-46 為兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下燃料電池輸出功率之比較結果，從圖形中可以知道兩種不同的歸屬函數在相同的馬達負荷下曲線重疊，而在 184 秒時有最大的輸出功率約 350 W。

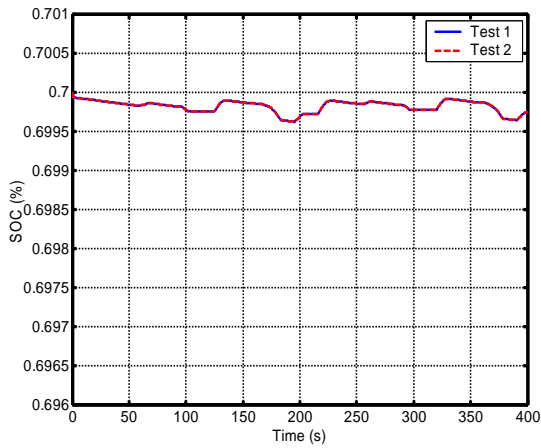


圖 3-45 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下 SOC 之響應圖

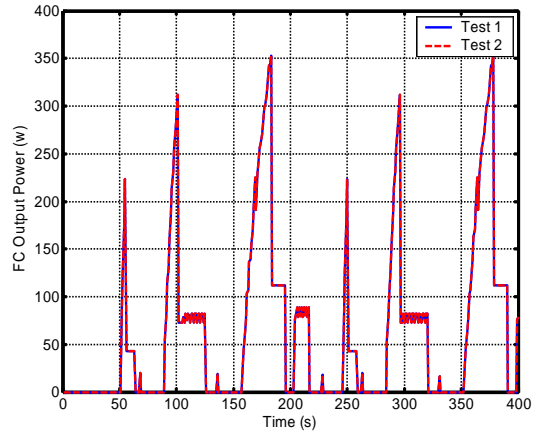


圖 3-46 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下燃料電池輸出功率之響應圖

如圖 3-47 所示為兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下所控制的氫流量比率之比較結果，由前述的模擬比較結果可知道，不同的輸出氫流量歸屬函數對 SOC 和燃料電池輸出功率在此模擬的測試條件下是沒有影響的，但是不同的輸出氫流量歸屬函數下所控制的氫流量比率其模擬結果是不相同的，從圖形中 Test 1 的曲線在 184 秒時有最小的輸出氫流量比率約 0.0201，且由計算結果可知在 55 g 的氫燃料筒中還剩 51.96 g 即氫的耗損量為 3.04 g，而在 Test 2 的曲線中在 184 秒時有最大的輸出氫流量比率約 0.0209，且由計算結果可知在 55 g 的氫燃料筒中還剩 51.94 g 即氫的耗損量為 3.06 g，相較之下，Test 1 的曲線即梯形之輸出氫流量的連續性歸屬函數雖然沒有較大的燃料電池輸出功率和 SOC 但較省燃料。

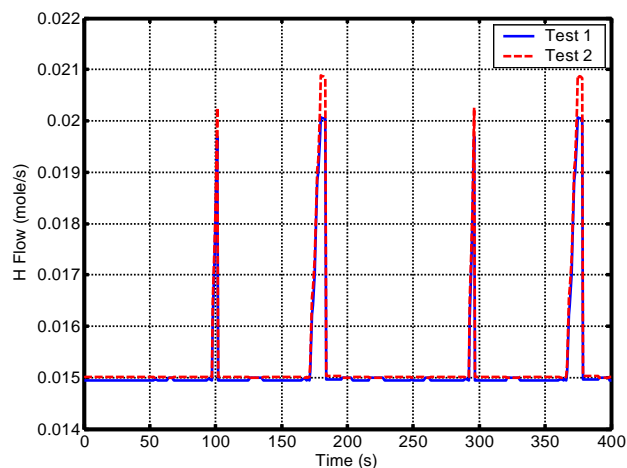


圖 3-47 燃料電池機車在 ECN 中兩種不同的輸出氫流量歸屬函數下所控制的氫流量比率之響應圖



#### 四、結論

本計畫研究探討機車先進排放廢氣控制技術發展之趨勢，建立國內機車動力與傳動系統相關控制參數對於機車排放污染之影響評估方法。研究已蒐集相關機車之先進污染控制技術、搜尋四行程及二行程機車引擎電子控制系統相關技術文獻並建立資料庫。本計畫比較先進機車引擎排放污染控制技術優缺點、新的機車動力控制技術如混合動力機車與燃料電池機車及電動機車控制技術比較評估。

本計畫已建立並聯式混合動力機車和燃料電池機車即時動力系統控制器之模擬軟體與不同輸入控制器參數所影響的車輛動態系統輸出扭力、轉速、廢氣、耗油率等之整合研究。藉以探討機車動態系統模型中，藉由不同行車模式及油門輸入條件下，研究整車動態特性與控制器有關影響之操作變數間之工程相關性，來發展最佳性能分配控制器，藉以控制引擎和馬達輸出性能，在不同輸入模式下，皆能模擬實際車輛性能輸出。本研究利用邏輯式和模糊邏輯控制分配器，兩種不同的動力控制模式，進行模擬機車行駛市區時加減速狀態及機車各部元件扭力和轉速模擬分析，運用所建立反向並聯式混合動力車輛之動態模型，進行模擬分析並以模糊動力分配器之模擬結果與邏輯動力分配器模擬結果加以比較。

在燃料電池機車性能評估分析中，可評估燃料電池機車電瓶消耗率及氫耗損率和不同的模糊邏輯連續性歸屬函數之影響，由不同馬達負荷及車輛各元件動態響應特性，探討控制模式對燃料電池機車之影響及感度。配合模糊控制原理以調整電瓶殘電量與燃料電池氫流量分配之比例，以改善燃料電池機車達到低氫耗損量和電瓶消耗率等目標。因此利用本研究已建立之車輛動態系統模擬軟體，可容易模擬機車動態性能輸出，在控制器的發展中有許多的控制法則而研究找出最有效率的控制結果。現今的研究可以在動態過程之機車動態系統控制參數的定量控制之規劃與方法提供探討車輛動態之良好工具。

由於先進機車動力系統的非線性與複雜度，很難使用解析的方法去求得機車動力系統的最小耗能解，於是我們挑選動態規劃法來進行機車動力系統的最佳化求解。動態規劃法具有適合時變或非線性系統的優點，並可搭配強大的電腦使用。未來可加入利用硬體迴路(Hardware-in-the-Loop,HIL)模擬技術，在控制器未裝置在機車上時，就可先利用電腦輸出模擬訊號，經過控制器的運算後，再由電腦接收訊號，藉此可經由電腦觀測控制器的運算是否正確，進而整合機車控制動態程式之建立，以協助機車業者發展國內機

車電控系統。本計畫亦提供機車業者與環保單位相關資訊，包括先進動力機車動力與傳動系統控制器設計及法規與測試標準建立等，以作為先進動力機車加速更新改善二行程機車排放污染決策之參考。

## 五、成果應用與建議

### 5.1 成果應用

1. 本計畫已由國內外網站 IEEE、SAE、SDOS 蒐集建立機車排放廢氣之污染防制技術文獻電腦搜尋資料庫，可供相關單位研究參考。
2. 比較可用之已知機車引擎控制排放污染防制技術，提供環保署訂定法規與機車業者研發參考。
3. 評估新的動力技術如混合動力機車與燃料電池機車及電動機車控制技術結果評估、性能改善與技術提升參考，協助業者運用相關技術提升國內機車業者研發能力克服技術瓶頸。
4. 建立相關機車行駛型態排放污染分析測試控制模擬技術，可減少實車排放污染測試或排放污染性能預估之時間與經費。
5. 參與本計畫之研究人員，可在計畫中印證機車排放污染改善設計與控制理論整合後，所發揮強大的功能。
6. 運用資料分析、實驗構建機車動態系統模型方法及寶貴的整合技術。

### 5.2 建議事項

1. 新的動力技術如混合動力機車與燃料電池機車控制技術已建立，但尚要配合其共同研究計畫或由研究單位如工研院機械所動機組或車測中心協調測試數據獲得，以比較不同車廠機車排放廢氣測試數據結果。
2. 現今新興的控制技術非常多且成熟，所以如何搭配其最佳的控制方法及控制參數最佳化尚須在更深入的研究探討。
3. 在未來為了淘汰二行程機車所以可以將已建立之新的動力技術配合硬體迴路技術與軟體模擬程式整合，建立氫燃料電池混合動力機車整體控制系統模擬環境使控制器

能實現化。

## 六、參考文獻

- [1]Manufacturers of Emission Controls Association, “Emission Control of Two-and Three-Wheel Vehicles”, 1660 L Street NW , 1999.
- [2]Jiun Horng Tsai, Yih Chyun Hsu, Hung Cheng Weng, Wen Yinn Lin, Fu-Tien Jeng, ”Air pollutant emission factors from new and in-use motorcycles”, Atmospheric Environment 34 –4747,4754,2000.
- [3]Cliff Y. Y. Wu, Yu-Yin Peng, and Tien Ho Gau, ”Emission Control of Four-Stroke Motorcycle Engines”, SAE Paper No.951760, 1995.
- [4]Massahiro Asai, Takaharu Kurosaki, and Kazunori Okada, “Analysis on Fuel Economy Improvement and Exhaust Emission Reduction in a Two-Stroke Engine by Using an Exhaust Valve”, SAE Paper No. 951764, 1995.
- [5]Arcoumanis C., Godwin S. N. and. Kim J. W., ”Effect of Tumble Strength on Combustion and Exhaust Emissions in a Single-Cylinder, Four-Valve, Spark-Ignition Engine”, SAE Paper No.981044,1998.
- [6]Hunt Frank, Kaneyasu Masayoshi, Saikalis George, “Engine and emission monitoring and control system utilizing gas sensors”, Journal of Cleaner Production , Vol: 3, Issue: 4, December, pp. 253 ,1995.
- [7]Niels J. Schoutena, Mutasim A. Salmanb, Naim A. Kheir , “Energy management strategies for parallel hybrid vehicles using fuzzy logic”, Control Engineering Practice 11 ,171 – 177,2003.
- [8]Makoto Kawai, Hideki Hashimoto, Shusuke Akazaki, Youichi Nishimura, Shinichi Daibo , Shinichi Ueda, “High precision A/F control ECU for ultra low emission vehicles”, JSAE Review 20, 191-196, 1999.
- [9]Masayuki Soga, Michihito Shimada, Jyun-Ichi Sakamoto, Akihiro Otomo, “Development of vehicle dynamics management system for hybrid vehicles: ECB system for improved environmental and vehicle”, JSAE Review 23, 459 – 464, 2002.
- [10]Olbrot, A.W., Berri, M.H., Asik, J.R., “Robust Parametrized Controller Design with an Application to Exhaust Gas Recirculation (EGR) System”, Decision and Control, 13-15 Dec 1995.
- [11]<http://www.mirl.itri.org.tw/rd/motive/3/b-4.asp>
- [12]Takahashi, S.Sekozawa, T.,6-10 Nov 1995,”Air-fuel ratio control in gasoline engines based on state estimation and prediction using dynamic models,”Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995, Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on.

- [13] Bastian, A., 26-29 Jun 1994, "Modeling fuel injection control maps using fuzzy logic," Fuzzy Systems, 1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence, Proceedings of the Third IEEE Conference on.
- [14] Olbrot, A.W. Berri, M.H. Asik, J.R., 13-15 Dec 1995, "Robust parametrized controller design with an application to exhaust gas recirculation (EGR) system," Decision and Control, 1995, Proceedings of the 34th IEEE Conference on.
- [15] Bortolet, P.; Merlet, E.; Boverie, S., October, 1999, "Fuzzy modeling and control of an engine air inlet with exhaust gas recirculation," Elsevier Science.
- [16] Kolmanovsky, I. Van Nieuwstadt, M. Sun, J., 08/22/1999 -08/27/1999, "Optimization of complex powertrain systems for fuel economy and emissions," Control Applications, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on.
- [17] Ammann, M. Geering, H.P. Onder, C.H. Roduner, C.A. Shafai, E., 06/28/2000 -06/30/2000, "Adaptive control of a three-way catalytic converter," American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000.
- [18] Brandt, E. P. Yanying Wang Grizzle, J.W., 5, Sep 2000, "Dynamic modeling of a three-way catalyst for SI engine exhaust emission control," Control Systems Technology, IEEE Transactions on.
- [19] Lee, Hyun Seok; Jeong, Kwi Seong; Oh, Byeong Soo, 2, February, 2002, "An experimental study of controlling strategies and drive forces for hydrogen fuel cell hybrid vehicles," Elsevier Science.
- [20] Pukrushpan, J.Y.T. Stefanopoulou, A.G. Hwei Peng, 4, 2002, "Modeling and control for PEM fuel cell stack system," American Control Conference, 2002. Proceedings of the 2002.
- [21] Colella, Whitney G., 1-2, March, 2000, "Market prospects, design features, and performance of a fuel cell-powered scooter," Elsevier Science.
- [22] Ekdunge, Per; Råberg, Monika, 5, May, 1998, "The fuel cell vehicle analysis of energy use, emissions and cost," Elsevier Science.
- [23] Badrinarayanan, P. Eggert, A. Hauer, K.-H., 07/24/2000 -07/28/2000, "The implications of water and thermal management parameters in the optimization of an indirect methanol fuel cell system," Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit, 2000. (IECEC) 35th Intersociety.
- [24] Kimura, Akihiro; Abe, Tetsuya; Sasaki, Shoichi, 3, July, 1999, "Drive force control of a parallel-series hybrid system," Elsevier Science.
- [25] Chau, K.T.; Wong, Y.S., 15, October, 2002, "Overview of power management in hybrid electric vehicles," Elsevier Science.
- [26] Ogden, Joan M., Kreutz, Thomas G., Steinbugler, Margaret M., " Fuels for fuel cell vehicles," Fuel Cells Bulletin Volume: 3, Issue: 16, July, 2000, pp. 5-12.

- [27]Panik, Ferdinand,” Fuel cells for vehicle applications in cars - bringing the future closer,”  
Journal of Power Sources Volume: 71, Issue: 1-2, March 15, 1998, pp. 36-38.
- [28]鄭進興,方怡旻,”以模糊理論設計電動車之能源回收系統,”逢甲大學碩士論文,2002
- [29]Swift, W. Fiskum, R., “Fuel cells for buildings program”, 717 - 718 vol.1, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, 15-19 July 2001.
- [30]Akella, S. Sivashankar, N. Gopalswamy, S., “Model-based systems analysis of a hybrid fuel cell vehicle configuration”, 1777 - 1782 vol.3, American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001, 25-27 June 2001.
- [31]Pera, M.C. Hissel, D. Kauffmann, J.M., “Fuel cell systems for electrical vehicles”, 2097 - 2098, Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th, May 6-9, 2002.
- [32]Maggetto, G. Van Mierlo, J., “Electric and electric hybrid vehicle technology: a survey”, 1/1 - 111, Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles (Ref. No. 2000/050), IEE Seminar, 11 April 2000.
- [33]Bruce Lin, “Conceptual design and modeling of a fuel cell scooter for urban Asia”,  
Journal of Power Sources 86 2000 202–213.
- [34]Correa, J.M. Farret, F.A. Canha, L.N., “An analysis of the dynamic performance of proton exchange membrane fuel cells using an electrochemical model”, 141 - 146 vol.1, Industrial Electronics Society, 2001. IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE, 29 Nov.-2 Dec. 2001.
- [35]Ogden, Joan M., Kreutz, Thomas G., Steinbugler, Margaret M.,” Fuels for fuel cell vehicles”, Fuel Cells Bulletin Volume 3, Issue 16, 5-12, July, 2000.
- [36]Iqbal, “Simulation of a small wind fuel cell hybrid energy system”, 511 - 522 , Elsevier Science, 11 June 2002.
- [37]章文堯, “混合動力車輛反向性能模擬與分析”, 大葉大學 車輛工程學系碩士班 碩士論文, 2003 6.
- [38]Pukrushpan, J.T et.al.,”Modeling and control for PEM fuel cell stack system”.American Control Conference,pp3117- 3122 vol.4,2002.
- [39]Tso, Chuntoa; Chang, Shih-Yuna,”A viable niche market—fuel cell scooters in Taiwan,”International Journal of Hydrogen,2003
- [40]Colella, Whitney G.a,”Market prospects, design features, and performance of a fuel cell-powered scooter,”Journal of Power Sources,2000
- [41]Yoon-Ho Kim and Sang-Sun Kim,”An electrical modeling and fuzzy logic control of a fuel cell generation system”.Energy Conversion, IEEE Transactions on,pp239-244,1999.
- [42]Naso, V et.al.,”Evaluation of the overall efficiency of a low pressure proton exchange membrane fuel cell power unit”.Energy Conversion Engineering Conference and

Exhibit, pp1147-1150 vol.2,2000.

- [43] Iwan, L.C. and Stengel, R.F., "The application of neural networks to fuel processors for fuel-cell vehicles". Vehicular Technology, IEEE Transactions on, pp125-143, 2001.
- [44] Rowe, Andrew and Li, Xianguob, "Mathematical modeling of proton exchange membrane fuel cells". a. Department of Mechanical Engineering, University of Victoria, Victoria, BC, Canada b. Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ont., Canada, pp82-96, 2001.
- [45] Greg Bell ; Carmine Finucci, "Exhaust emissions sensitivities with direct injection on a 50cc scooter," SAE, 02-24-1997.
- [46] Antonino Genovese ; Massimo Conti ; Massimiliano Mangano, "Electric scooter evaluation in real conditions," SAE, 07-09-2002.
- [47] Vittorio Urciuoli ; Brian Mason ; Maurizio Marcacci, "Simulation techniques applied to the development of a 125cc 4 stroke scooter engine," SAE, 02-26-1996.
- [48] S. Mc Elligott ; R. Douglas ; R. J. Kee ; S. Glover, "Stratified scavenging applied to a small-capacity, two-stroke scooter for the reduction of fuel consumption and emissions," SAE, 09-28-1999.
- [49] A. Mallamo, "Development of a catalytic exhaust system for a two-stroke scooter engine," SAE, 09-28-1999.
- [50] Stephen Glover ; Brian Mason, "Evaluation of a low-emissions concept on a 50 cc 2-stroke scooter engine," SAE, 09-13-1995.
- [51] Pierre Duret ; Jacques Lavy ; Chris Allen, "SCIP simplified direct injection for low-emissions small two-stroke engines," SAE, 09-28-1999.
- [52] Wang Songqin ; Bai Jingsheng ; Liu Xin ; Sui Xiuwu ; Lin Manqun ; Zhao Iidi, "The status of Chinese motorcycle emissions and a study of application of catalytic converter on two-stroke scooter," SAE, 09-28-1999.
- [53] Cornel Stan ; Jean-Louis Lefebvre ; Michel Lebrun, "Development, modeling and engine adaptation of a gasoline direct injection system for scooter engines," SAE, 09-28-1999.
- [54] G. Bickle ; T. Yoshikawa ; R. Domesle ; K. Fischer, "Emission control systems for two-stroke engines challenge for catalysis," SAE, 10-19-1998.
- [55] Pierre Duret ; Jean-Charles Dabadie ; Thierry Colliou, "Application of IAPAC fuel injection for low emissions small two-stroke engines," SAE, 09-13-1995.
- [56] David Caponi ; Marco Nuti, "Appraisal of secondary air injection for emission reduction in small 2T SI engines," SAE, 03-06-2000.
- [57] Roberto Gentili ; Stefania Zanforlin ; Stefano Frigo ; Francesco Cozzolino ; Pierluigi Dell'Orto ; Carlo Dover, "Optimization of a stratified charge strategy for a direct-injected, two-stroke engine," SAE, 10-29-2002.

- [58]Mark E. Pitstick ; Danilo J. Santini ; Hemant Chauhan,"Reduction in global warming due to fuel economy improvements and emissions control of criteria pollutants: new US light-duty vehicles (1968-1991),"SAE,,08-03-1992.
- [59]B. H. Engler ; E. Koberstein ; U. Plotzke ; A. G. Dequessa ; Z. N. Wolfgang,"Catalytic emission control for two-stroke engines used in small motorcycles,"SAE,,11-05-1989.
- [60]P. L. Dartnell,"Future engine designs for minimum fuel consumption and exhaust emissions,"SAE,,11-16-1981.
- [61]Cynthia C. Webb ; Bruce B. Bykowski ; Phillip A. Weber ; Dale L. McKinnon,"Using advanced emission control systems to demonstrate LEV II ULEV on light-duty gasoline engines,"SAE,,03-01-1999.
- [62]Toshiaki Inoue ; Toshio Hirota ; Ryuzaburo Inoue ; Takashi Igarashi,"Effect of engine design/control parameters and emission control systems on specific reactivity of S.I. Engine exhaust gases,"SAE,,02-27-1995.
- [63]Manuel A. Gonzalez D. ; Mani Natarajan ; Wendy Clark ; Douglas M. Yost ; Edwin A. Frame ; Leslie R. Wolf ; Thomas E. Kenney ; James C. Ball ; John A. Garbak ; James P. Wallace ; Kenneth J. Wright ; David L. Hilden ; King D. Eng,"Impact of engine operating conditions on low-Nox emissions in a light-duty CIDI engine using advanced fuels,"SAE,,10-21-2002.
- [64]Patrick Kaidantzis ; Per Rasmussen ; Michael Jensen ; Thomas Vesterholm ; Elbert Hendricks,"Robust, self-calibrating lambda feedback for SI engines,"SAE,,03-01-1993.
- [65]Tongwon Lee ; Choongsik Bae ; Changsoo Byoun ; Daeho Yun ; Hyuntak Jang,"Engine controller for the hydrocarbon reduction during cold start in SI engine,"SAE,,05-06-2002.
- [66]R. Hentschel;R.-M. Cernat;J.-U. Varchmin,"In-car modeling of emissions with dynamic artificial neural networks,"SAE,,10-01-2001.
- [67]Antoni Swiatek;Krzysztof Brzozowski;Jacek Nowakowski,"Numerical analysis of transient thermal and conversion characteristics of multisection catalytic converters,"SAE,,10-01-2001.
- [68]L. J. Eriksson,"A review of recent progress in exhaust system design,"SAE,,04-19-1982.
- [69]J. Czerwinski;P. Comte;S. Napoli;P. Wili,"Summer cold start and nanoparticulates of small scooters,"SAE,,03-04-2002.
- [70]Masahiro Asai;Takaharu Kurosaki;Kazunori Okada,"Analysis on fuel economy improvement and exhaust emission reduction in a two-stroke engine by using an exhaust valve,"SAE,,09-13-1995.
- [71]Noriaki Ishibe;Tetsuya Ohira,"Combustion analysis and its optimization in two-stroke engines,"SAE,,09-13-1995.

- [72] Kazuo Sato; Masamitsu Nakano; Haruo Ukawa; Hisashi Inaga, "Further exhaust emission control for two-stroke engines," SAE, 09-12-1994.
- [73] Cornel Stan; Jean-Louis Lefebvre, "Development of a direct-injection concept for two wheelers equipped with two-stroke engines," SAE, 03-01-1999.
- [74] Pan-Hsiang Hsieh; Rong-Fang Horng; Huei-Huay Huang; Yu-Yin Peng; James Wang, "Effects of exhaust charge control valve on combustion and emissions of two-stroke cycle direct-injection S.I. Engine," SAE, 10-19-1992.
- [75] Wladyslaw Mitianiec; Andrzej Bogusz, "Theoretical and experimental study of gas flow through reed valve in a two-stroke engine," SAE, 08-26-1996.
- [76] Tim Anderson; Mark Brandl; Ryan Erickson; Jeff Gillen; Cory Ranweiler; Jan Smith; Neil Swanson; Daniel Utes, "Thorough analysis of a two-stroke cycle engine versus a four-stroke cycle engine: Minnesota State University, Mankato's entry for the SAE Clean Snowmobile Challenge 2002," SAE, 10-21-2002.
- [77] Floyd A. Wyczalek, "Two-stroke engine technology in the 1990's," SAE, 02-25-1991.
- [78] William P. Johnson; Gregory P. Wiedemeier; Kresimir Gebert, "Electronic direct fuel injection (EDFI) for small two-stroke engines," SAE, 09-28-1999.
- [79] Wojciech Marek; Wladyslaw Mitianiec, "Reduction of exhaust gas emission in a two-stroke engine with pneumatic fuel injection," SAE, 07-09-2002.
- [80] Huei-Huay Huang; Yu-Yin Peng; Wei-Li Chiang, "A review of technological approaches for reducing exhaust emissions from two-stroke cycle engine with in-cylinder injection system," SAE, 09-13-1995.
- [81] Haruo Ukawa; Masamitsu Nakano; Kazuo Sato, "A two-stroke cycle engine with poppet valves in the cylinder head part III n application of gaseous fuel direct injection system," SAE, 03-01-1993.
- [82] S. J. Magee; R. Douglas; G. P. Blair; J. P. Cressard, "Reduction of fuel consumption and emissions for a small capacity two-stroke cycle engine," SAE, 09-13-1993.
- [83] Tadashi Murayama; Yoshio Sekiya; Bambang Sugiarto; Takemi Chikahisa, "Study on exhaust control valves and direct air-fuel injection for improving scavenging process in two-stroke gasoline engines," SAE, 02-26-1996.
- [84] Koji Morikawa; Hideharu Takimoto; Takashi Kaneko; Taiichiroh Ogi, "A study of exhaust emission control for direct-fuel- injection, two-stroke engine," SAE, 09-28-1999.
- [85] Rick Cooper; Doug Brouwer; Graham Feasey; James Larkins, "Development of a liquid-fueled PEMFC power plant for a hybrid transit bus," SAE, 08-06-1997.
- [86] Gilmar Mompean Munhoz da Cruz, "Environmental impact of motor vehicles and their control," SAE, 10-13-1992.
- [87] Christopher S. Weaver; Douglas B. McGregor, "Emissions control technology for



locomotive engines,"SAE,,02-28-1994.

[88]Quanlu Wang;Daniel Sperling;Janis Olmstead,"Emission control cost-effectiveness of alternative-fuel vehicles,"SAE,,08-09-1993.

[89]Yimin Gao;Mehrdad Ehsani,"Systematic design of fuel cell-powered hybrid vehicle drive train,"SAE,,08-20-2001.