

琨

行政院原子能委員會 委託研究計畫研究報告

(富氫氣體輔助燃燒之內燃機運轉性能測試)

計畫編號：942001INER025

受委託機關(構)：崑山科技大學

計畫主持人：廖慶聰

所內共同主持人：黃慶村

崑山科技大學共同主持人：洪榮芳

計畫成員：許晉嘉、蔡賢德、陳智勇、陳榮勳、謝嘉文

報告日期：94年12月12日

	頁碼
目錄	I
圖目錄	II
表目錄	IV
中文摘要	1
英文摘要	2
計畫目的	3
計畫緣起	4
執行方法與進度說明	6
結論與建議	36
參考文獻	38

圖目錄

圖 1 引擎實驗系統配置圖	6
圖 2 引擎動力計及控制系統	8
圖 3 富氫氣體導入管路	8
圖 4 富氫氣體導入管路防逆火裝置	8
圖 5 引擎廢氣量測系統	9
圖 6 富氫氣體添加總流率對於引擎制動均效壓力的影響 (油門開度: 1/6)	14
圖 7 富氫氣體添加總流率對於引擎輸出馬力的影響 (油門開度: 1/6)	14
圖 8 富氫氣體添加總流率對於引擎制動熱效率的影響 (油門開度: 1/6)	15
圖 9 CO 污染排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 1/6)	15
圖 10 引擎 O ₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 1/6)	16
圖 11 引擎 NO _x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 1/6)	17
圖 12 富氫氣體添加總流率對於引擎溫度的影響 (油門開度: 1/6)	17
圖 13 富氫氣體添加總流率與 bmep 的關係 (油門開度: 3/6)	18
圖 14 富氫氣體添加總流率與引擎輸出馬力的關係 (油門開度: 3/6)	18
圖 15 富氫氣體添加總流率與熱效率的關係 (油門開度: 3/6)	19
圖 16 CO 污染排放與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 3/6)	19
圖 17 O ₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 3/6)	20
圖 18 NO _x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 3/6)	21
圖 19 富氫氣體添加總流率對於引擎溫度的影響 (油門開度: 3/6)	21
圖 20 引擎 bmep 與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 6/6)	22
圖 21 引擎輸出馬力與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 6/6)	23
圖 22 引擎熱效率與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 6/6)	23
圖 23 CO 污染排放與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 6/6)	24
圖 24 O ₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度: 6/6)	24

圖 25 NO _x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：6/6)	25
圖 26 富氫氣體添加總流率對於引擎溫度的影響 (油門開度：6/6)	26
圖 27 (O ₂ +N ₂ +CO ₂)/fuel 比與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6-6/6)	28
圖 28 (O ₂ +N ₂ +CO ₂)/fuel 比與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6-6/6)	29
圖 29 CO 排放濃度與(O ₂ +N ₂ +CO ₂)/fuel 比值的關係 (油門開度：1/6-6/6)	29
圖 30 HC 排放濃度與(O ₂ +N ₂ +CO ₂)/fuel 比值的關係 (油門開度：1/6-6/6)	30
圖 31 CO ₂ 排放濃度與 N ₂ /fuel 比的關係 (油門開度：1/6-6/6)	30
圖 32 NO _x 排放濃度與(N ₂ +CO ₂)/fuel 比的關係 (油門開度：1/6-6/6)	31
圖 33 CO 與 NO _x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)	32
圖 34 CO ₂ 與 NO _x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)	33
圖 35 HC 與 NO _x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)	33
圖 36 添加富氫氣體燃料與使用其他燃料所操作之最大空燃比比較	35

表目錄

表 1 引擎規格	6
表 2 富氫氣體添加流率 (Throttle opening=1/6)	10
表 3 富氫氣體添加流率 (Throttle opening=3/6)	11
表 4 富氫氣體添加流率 (Throttle opening=6/6)	12

中文摘要

隨著世界環保意識的抬頭與能源的短缺，控制環境污染及有效利用能源乃為各界所注目。車輛的污染乃為都會區的主要空氣污染源，故能源的有效利用與污染排放的減量，乃為改善都會區空氣污染的最有效方法。

引擎使用潔淨能源為燃料，為現今世界的主要趨勢。由於氫氣燃料具有較快的火焰傳播速率，可在極稀的混合氣下正常燃燒，若為引擎燃料添加劑，可有效降低引擎的污染排放，並改善熱效率，達到省油效果。

本計畫目的在於以富氫氣體為汽油的添劑，導入引擎為燃料，進行引擎測試。經實驗測試，可獲得以下結果：在較低油門時，高轉速的馬力輸出較小，但增加富氫氣體的添加量，可獲得較高的馬力輸出。在油門全開的狀況下，無添加富氫氣體者（原引擎）可獲得最大馬力，隨著富氫氣體的增加，馬力即快速下降。在中油門者，引擎的最大馬力約出現在富氫氣體供應率介於 14.0-25.0L/min 之間，轉速越低，最大馬力出現在較高富氫氣體添加量狀況；反之，轉速越高，最大馬力則出現在較低富氫氣體添加量狀況。在各種油門開度下，均有其富氫氣體供應臨界值，若超出此一臨界值，CO 排放濃度即快速上升。在各狀況下（油門全開時，引擎轉速 5000-6000rpm 者除外），NO_x 排放濃度的最高點約出現在富氫氣體添加率介於 9.0-25.0L/min 之間，若添加率高於 30.0-38.0L/min 以上，則 NO_x 的排放濃度幾乎均可降至兩位數以下。 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 13.5 以下，CO 排放濃度幾乎隨 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比呈線性下降； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比大於 13.5 者，則 CO 排放濃度幾乎為零。 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 13.5 以下，HC 的污染排放濃度與 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 的關係幾乎成對數關係下降； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 11.0 附近，HC 濃度幾乎垂直上升。最高 NO_x 排放濃度約出現在 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比介於 13.5-17.0 之間。

英文摘要(Abstract)

Reducing air pollution and fuel consumption has become the significant event in the world because of the environmental protection and the shortage of energy. The exhaust emissions from the vehicles are the main sources of air pollution in the urban zone. Therefore, the improvements of energy using efficiency and emission reduction are the ways to improve the air quality of city. Thus, fuelling engine with clean energy has become the worldwide trend nowadays. Hydrogen has the properties of high flame speed and wide range of lean burn limit. If it is fuelled for engine, the results of low exhaust emission, higher thermal efficiency and fuel saving could be achieved more easily than by other hydrocarbon fuels.

The aim of this project was to use the hydrogen-rich gas as the addition of the gasoline motorcycle engine. The results were obtained as follows: Lower power was obtained in the case of high engine speed in the case of partial throttle, however, higher power could be obtained by increasing hydrogen-rich gas fuel. Further, under the case of wide open throttle, the engine fuelled only with gasoline could obtain the highest power, and the power decreased with the increasing hydrogen-rich-gas flow rate. In the case of half throttle, the peak power existed between the rates of 14.0-25.0L/min hydrogen-rich gas supplied. There were critical values of hydrogen-rich gas supplying rate for different throttle openings. Higher CO concentration was obtained if the supplying rate exceeded the critical value. In addition, the maximum NO_x concentration appeared around the rates of 9.0-25.0L/min hydrogen-rich-gas supplied. Moreover, CO, HC, CO₂ and NO_x concentrations had significant relationships with $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel}$ ratio, especially, the maximum NO_x concentration appeared between the $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel}$ ratio of 13.5-17.0. This parameter could be used for describing the exhaust emissions for the engine fuelled with gasoline and hydrogen-rich gas.

1. 計畫目的

隨著世界環保意識的抬頭與能源的逐漸短缺，降低環境污染及提高能源的使用效率已成為世界各國的研究主題，各界均紛紛投入潔淨能源的生產及應用技術的開發、改善燃料的燃燒效率及降低污染排放等方面的研究。

本計畫主要目的在於，以多種不同富氫氣體供應率為機車引擎的添加燃料，於引擎動力計上進行實驗測試，改變引擎轉速及油門開度，以獲得在各種狀況下引擎的扭力及馬力輸出，並量測油耗及污染排放，以瞭解在各種富氫氣體添加量的情況下的引擎性能、油耗及污染排放等特性。

2. 計畫緣起

車輛的污染乃為都會區的主要空氣污染源，故能源的有效利用與污染排放的減量，乃為改善都會區空氣污染的最有效方法。為降低都會區的空氣污染，電動車輛被視為一種最具有潛力的交通工具之一，但是受限於目前電瓶蓄電技術無法獲得革命性的突破，以傳統電瓶為供電系統的電動車輛仍無法受到大部分民眾的信任採用。以現有內燃機的架構，維持原供油系統，導入富氫氣體為輔助燃料，為一種可有效改善原內燃機引擎污染排放的有效方法之一。因為氫氣燃料具有較快的火焰傳播速率，可獲得稀油燃燒效果，亦因而可有效降低引擎的污染排放，並可改善熱效率。

在這一方面的研究已有逐年增加的趨勢 Yi [1] 等人以氫燃料缸內噴射的方式進行探討，與汽道噴射方式作比較，缸內噴射式的優點在於不會有回火的危險，而且容積效率較高 Blarigan 等人[2]將氫氣燃料應用於壓縮比為 14 的火花點燃式引擎上，發覺以體積百分比為 30% 氫氣加上 70% 的天然氣(Natural Gas)，在無須排氣後處理的情況下，幾乎為零污染排放。Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi 等人[3]以數學模式探討氫氣 - 汽油混合物的燃燒特性，發現 8% 氫氣質量百分比之下可獲得最佳的熱效率，質量百分比 10% 之下 CO 排放可獲得 73.8% 的改善，但 NO_x 的上升卻達 100%，在質量百分比 10% 時，燃油消耗比量(Specific Fuel Consumption, SFC)可獲得改善。Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi 等人[4]以氫氣及乙醇為汽油的添加劑，以數學模式加以模擬分析，獲得以 4% 氫氣及 30% 乙醇添加在汽油中，可獲得 49% CO、39% NO_x、49% 燃油消耗比量及 4-5% 的熱效率與功率輸出的改善或提升。Yi 等人[5]針對氫氣燃料引擎，分別以汽道噴射與缸內直噴方式實驗比較，發現氣道噴射可獲得低負載時較佳的熱效率，缸內直噴則在可獲得較穩定的高負載特性，故最佳的引擎操作方式即分別採用此兩種噴射方式，以獲得極佳的引擎操作特性。Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi 等人[6]以氫氣及乙醇為汽油添加劑進行研究，發現氫氣燃料引擎添加乙醇最大的好處在於改善 NO_x 的排放，研究結果並提出使 NO_x 不增加的最少乙醇添加量的關係曲線，也指出可獲得低 NO_x 及 CO 的安全操作區域。Cohn 等人[7]採用電漿轉換器產生富氫氣體，與汽油混合進入現有內燃機引擎燃燒，熱效率及污染排放均獲得明顯改善，配合三元觸媒轉化器使用，可獲得極低的污染排放。Bromberg 等人[8-9]以電漿轉換器產生氫氣，配合原有供油系統所提供的燃料，可使引擎操作在極稀的混合氣範圍，NO_x 及 HC 等污染排放均獲得有效降低，且使引擎熱效率大為提

升。

由以上的文獻回顧可知，以氫氣為引擎的添加燃料，而且以最佳的氫氣添加比例，可在引擎熱效率及污染排放方面獲得改善。本計畫目的在於以富氫氣體為汽油的添加劑，導入引擎為燃料輔助燃燒，進行實驗測試。測試項目包括引擎的馬力輸出、扭力輸出、廢氣排放特性等運轉性能、引擎的燃料消耗及溫度等運轉特性，以改善引擎的熱效率與污染排放等。

3. 執行方法與進度說明

3.1 執行方法

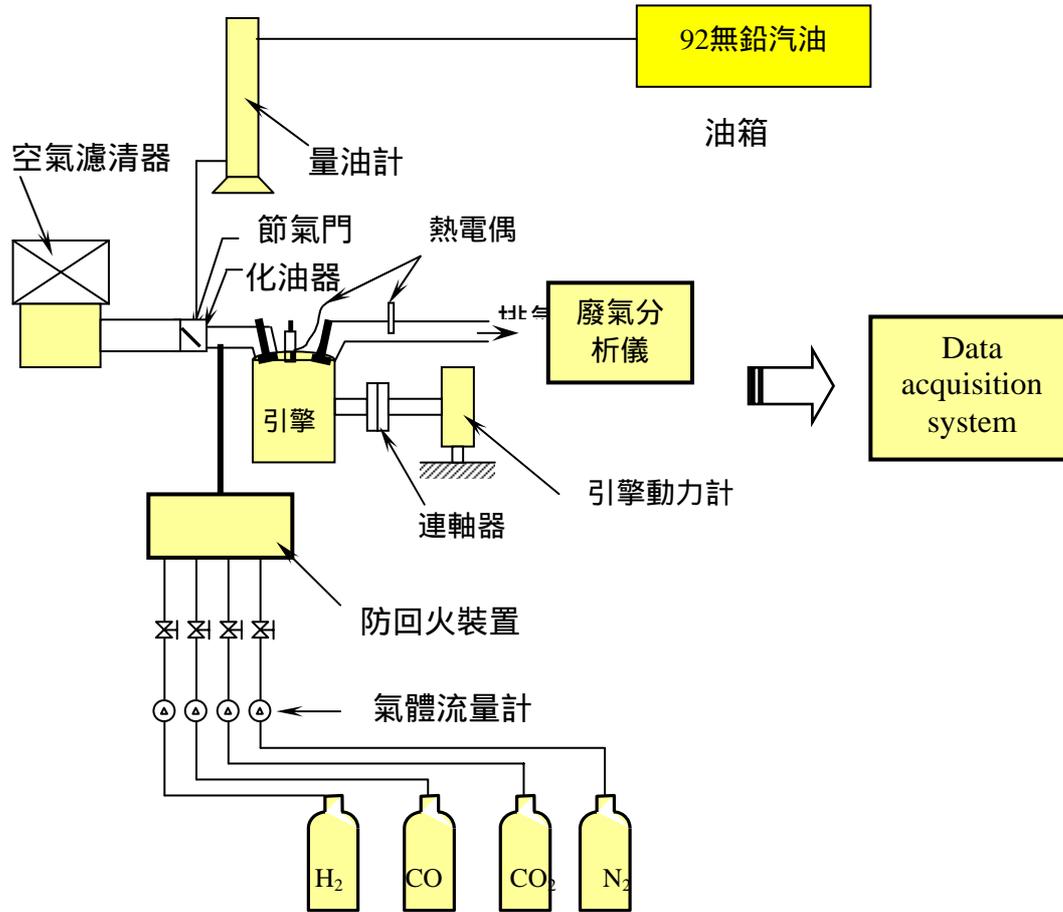


圖 1 引擎實驗系統配置圖

表 1 引擎規格如

引擎形式：單缸氣冷式四行程引擎
缸徑：52.4 mm
行程：57.8 mm
移程容積：124 cm ³
壓縮比：9.2 : 1
壓縮壓力：12/570 (kg/cm ² /rpm)
供油系統：CV type carburetor
進氣閥開：0° BTDC
進氣閥關：25° ABDC
進氣閥開：33° BBDC
進氣閥關：0° ATDC
燃料：92 無鉛汽油加富氫氣體
富氫氣體成份：20%-H ₂ , 10%-CO, 5%-CO ₂ , 65%-N ₂

本計畫所採用的載具為機車引擎，引擎規格如表 1 所示。所採用的燃料為汽油添加不同比例氫氣的燃料，其中氫氣 - 汽油比例以質量百分比表示，原引擎的供油系統維持不變，於進氣系統部分稍作修改，以便導入氫氣燃料。引擎實驗系統配置如圖 1 所示。

3.1.1 實驗系統建立

- a. 引擎的架設：包括引擎支架的設計 加工及引擎的架設固定等(如圖 2 所示)
- b. 汽油供應系統建立：引擎原供油系統維持不變，需配置有汽油消耗量油計。
- c. 引擎進氣系統：引擎進氣系統會稍加修改，以銜接一富氫氣體導入接管，另外，引擎進氣流率亦需量測（如圖 3 所示）。
- d. 氫氣燃料供應系統的建立：除了維持原引擎的供油系統之外，化油器的油針亦需稍加修改，以降低汽油供應量，汽油供應量減少的部分即是氫氣供應的部分。化油器入口處設計一接頭，以便導入富氫氣體燃料。為防止火焰的回火(Backfire)，在富氫氣體供應管路靠近進氣歧管處加裝一個火焰防止回火裝置(Flame Trap)，以防止引擎回火時火焰回衝至氫氣管路中。燃料供應系統中亦裝有流量控制器，分別控制氫氣、二氧化碳、一氧化碳及氮氣等氣體的體積流率，以調配出富氫氣體中各種氣體的體積百分比。隨即進入混合室中均勻混合，經過火焰防止回火裝置之後，再導入引擎進氣系統（如圖 4 所示）。
- e. 溫度量測系統建立：引擎溫度以 K-type 熱電偶量測，分別裝置於火星塞座、油底殼及引擎排氣管等處，量測汽缸頭（火星塞） 機油及排氣溫度。熱電偶的訊號分別經由溫度傳送器將訊號放大之後，傳輸至資料蒐集系統由電腦軟體加以擷取、記錄。
- f. 引擎廢氣量測系統：排氣管經過加工修改接上導管，將引擎排氣導引至廢氣分析儀，以分析排氣中的成份及百分比（如圖 5 所示）。
- g. 資料蒐集系統建立：包括資料蒐集軟體及硬體的建立（如圖 2 所示）。

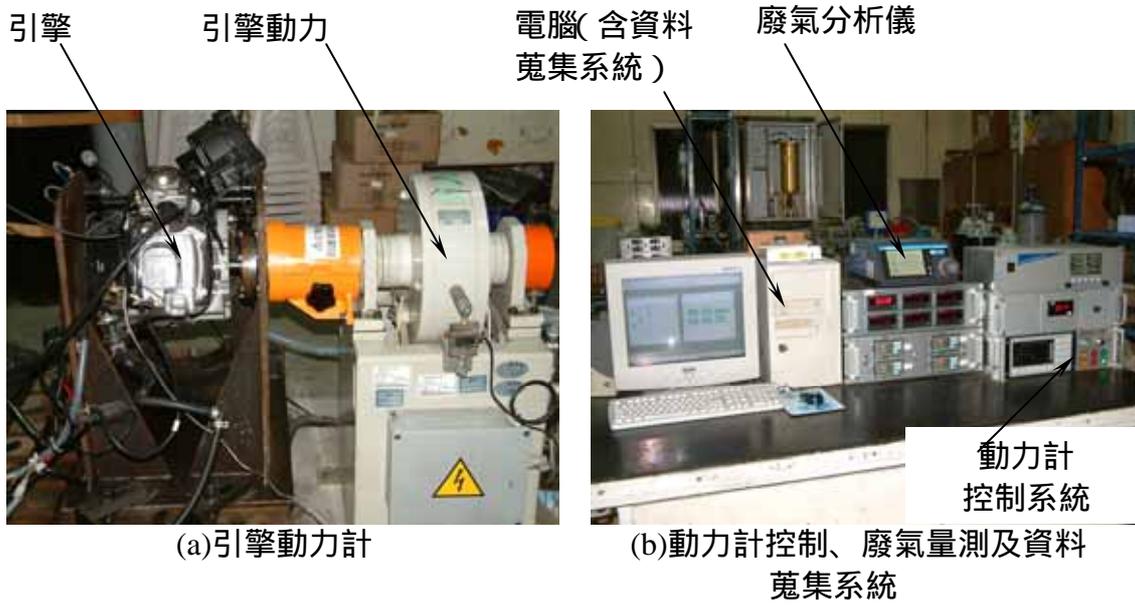


圖 2 引擎動力計及控制系統

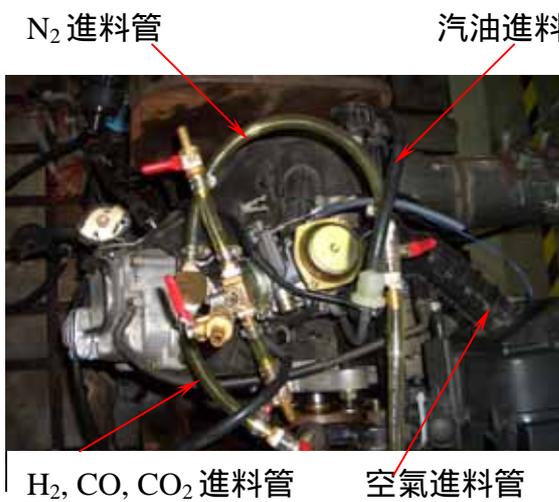


圖 3 富氫氣體導入管路



圖 4 富氫氣體導入管路防逆火裝置



CO/HC/CO₂/O₂ 分析儀



NOx 分析儀

圖 5 引擎廢氣量測系統

3.1.2 實驗規劃

- a. 管線配置規劃：包括電線、訊號線、液體燃料及富氫氣體燃料供應管線等的安排與配置。
- b. 實驗參數規劃：為引擎操作條件的設定，包括引擎轉速、油門開度、汽油供應率及富氫氣體燃料添加百分比等。富氫氣體燃料添加百分比由下列計算式(1)-(4)求得，實際百分比仍由引擎進氣狀況決定。富氫氣體成份計算及實測值如表 2-4 表所示。

$$\dot{m}_{H_2} Q_{H_2} + \dot{m}_{CO} Q_{CO} + \dot{m}_{gas} Q_{gas} = \dot{Q} \quad (1)$$

$$x\dot{m} Q_{H_2} + 7x\dot{m} Q_{CO} + (1-8x)\dot{m} Q_{gas} = \dot{Q} \quad (2)$$

$$\dot{m}_{H_2} = x\dot{m} = \rho_{H_2} \dot{V}_{H_2} = \rho_{H_2} (0.2\dot{V}) \quad (3)$$

$$\dot{V} = \frac{x\dot{m}}{0.2\rho_{H_2}} \quad (4)$$

- c. 使添加氫氣燃料的操作狀況下的輸入能量與原引擎者相等，以方便作比較。
- d. 儀器設備校正：包括動力計荷重規的校正、廢氣分析儀的校正、量油計的校正等。

表 2 富氫氣體添加流率* (Throttle opening=1/6)

N(rpm)	x**(%)	xR**(%)	V _{H2} (l/min)	V _{co} (l/min)	V _{co2} (l/min)	V _{N2} (l/min)	Total Vol flow (l/min)
3000	2	1.9	1.5183	0.7591	0.3796	4.9343	7.48
3000	4	3.9	3.0365	1.5183	0.7591	9.8686	15.1
3000	6	6.2	4.5548	2.2774	1.1387	14.8030	22.8
3000	8	8.9	6.0730	3.0365	1.5183	19.7373	30.6
3000	10	10.4	7.5913	3.7956	1.8978	24.6716	38
3000	12	12.9	9.1095	4.5548	2.2774	29.6059	45.6
4000	2	1.75	1.5183	0.7591	0.3796	4.9343	7.48
4000	4	3.7	3.0365	1.5183	0.7591	9.8686	15.1
4000	6	5.7	4.5548	2.2774	1.1387	14.8030	22.8
4000	8	8.2	6.0730	3.0365	1.5183	19.7373	30.6
4000	10	9.6	7.5913	3.7956	1.8978	24.6716	38
4000	12	11.5	9.1095	4.5548	2.2774	29.6059	45.6
5000	2	1.6	1.5183	0.7591	0.3796	4.9343	7.48
5000	4	3.37	3.0365	1.5183	0.7591	9.8686	15.1
5000	6	5.4	4.5548	2.2774	1.1387	14.8030	22.8
5000	8	7.8	6.0730	3.0365	1.5183	19.7373	30.6
5000	10	8.7	7.5913	3.7956	1.8978	24.6716	38
5000	12	11.3	9.1095	4.5548	2.2774	29.6059	45.6
6000	2	1.47	1.5183	0.7591	0.3796	4.9343	7.48
6000	4	2.95	3.0365	1.5183	0.7591	9.8686	15.1
6000	6	4.6	4.5548	2.2774	1.1387	14.8030	22.8
6000	8	6.6	6.0730	3.0365	1.5183	19.7373	30.6
6000	10	7.9	7.5913	3.7956	1.8978	24.6716	38
6000	12	9.8	9.1095	4.5548	2.2774	29.6059	45.6

註：*富氫氣體成份：20%-H₂, 10%-CO, 5%-CO₂, 65%-N₂;

**x 為氫氣質量預估（對於汽油）百分比，xR 為氫氣質量實際百分比。

表 3 富氫氣體添加流率* (Throttle opening=3/6)

N(rpm)	x**(%)	xR** (%)	V _{H2} (l/min)	V _{co} (l/min)	V _{co2} (l/min)	V _{N2} (l/min)	Total Vol flow (l/min)
3000	2	2.7	2.4923	1.2462	0.6231	8.1001	12.4
3000	4	5.8	4.9847	2.4923	1.2462	16.2002	24.8
3000	6	9.1	7.4770	3.7385	1.8693	24.3003	37.1
3000	8	12	9.9694	4.9847	2.4923	32.4004	49.5
3000	10	15.3	12.4617	6.2309	3.1154	40.5006	56.2
3000	12	0	14.9541	7.4770	3.7385	48.6007	0***
4000	2	2.1	2.2253	1.1127	0.5563	7.2322	11
4000	4	4.4	4.4506	2.2253	1.1127	14.4645	22
4000	6	6.5	6.6759	3.3380	1.6690	21.6967	33.1
4000	8	8.9	8.9012	4.4506	2.2253	28.9290	44.1
4000	10	11.6	11.1265	5.5633	2.7816	36.1612	55.2
4000	12	13.6	13.3518	6.6759	3.3380	43.3935	66.3
5000	2	2	2.4478	1.2239	0.6120	7.9555	12.2
5000	4	4	4.8957	2.4478	1.2239	15.9109	24.3
5000	6	6.4	7.3435	3.6718	1.8359	23.8664	36.5
5000	8	8.8	9.7913	4.8957	2.4478	31.8219	48.6
5000	10	11.6	12.2392	6.1196	3.0598	39.7773	60.8
5000	12	13.9	14.6870	7.3435	3.6718	47.7328	72.9
6000	2	1.9	2.8484	1.4242	0.7121	9.2573	14.1
6000	4	3.8	5.6968	2.8484	1.4242	18.5145	28.3
6000	6	5.9	8.5452	4.2726	2.1363	27.7718	42.4
6000	8	8.3	11.3936	5.6968	2.8484	37.0291	56.6
6000	10	10.3	14.2420	7.1210	3.5605	46.2864	66.3
6000	12	0	17.0903	8.5452	4.2726	55.5436	0***

註：*富氫氣體成份：20%-H₂, 10%-CO, 5%-CO₂, 65%-N₂;

**x 為氫氣質量預估（對於汽油）百分比，xR 為氫氣質量實際百分比。

***引擎不穩，無法加入富氫氣體。

表 4 富氫氣體添加流率* (Throttle opening=6/6)

N(rpm)	x**(%)	xR**(%)	V _{H2} (l/min)	V _{co} (l/min)	V _{co2} (l/min)	V _{N2} (l/min)	Total Vol flow (l/min)
3000	2	1.7	2.0005	1.0003	0.5001	6.5017	10
3000	4	3.5	4.0010	2.0005	1.0003	13.0034	20
3000	6	5.2	6.0016	3.0008	1.5004	19.5051	30
3000	8	7.1	8.0021	4.0010	2.0005	26.0068	40
3000	10	8.9	10.0026	5.0013	2.5006	32.5084	50
3000	12	10.3	12.0031	6.0016	3.0008	39.0101	56
4000	2	1	1.7862	0.8931	0.4465	5.8051	8.9
4000	4	2.3	3.5724	1.7862	0.8931	11.6102	17.9
4000	6	3.4	5.3585	2.6793	1.3396	17.4152	26.8
4000	8	4.5	7.1447	3.5724	1.7862	23.2203	35.7
4000	10	5.7	8.9309	4.4654	2.2327	29.0254	44.6
4000	12	6.8	10.7171	5.3585	2.6793	34.8305	53.6
5000	2	0.7	1.9648	0.9824	0.4912	6.3856	9.9
5000	4	1.4	3.9296	1.9648	0.9824	12.7712	19.68
5000	6	2	5.8944	2.9472	1.4736	19.1568	29.6
5000	8	2.8	7.8592	3.9296	1.9648	25.5424	39.3
5000	10	3.4	9.8240	4.9120	2.4560	31.9279	49.3
5000	12	4.1	11.7888	5.8944	2.9472	38.3135	58.9
6000	2	0.6	2.2863	1.1432	0.5716	7.4305	11.4
6000	4	1.2	4.5726	2.2863	1.1432	14.8610	22.9
6000	6	1.8	6.8589	3.4295	1.7147	22.2915	34.3
6000	8	2.5	9.1452	4.5726	2.2863	29.7220	45.7
6000	10	3.2	11.4315	5.7158	2.8579	37.1525	57.2
6000	12	3.8	13.7179	6.8589	3.4295	44.5830	60.9

註：*富氫氣體成份：20%-H₂, 10%-CO, 5%-CO₂, 65%-N₂;

**x 為氫氣質量預估（對於汽油）百分比，xR 為氫氣質量實際百分比。

3.2 進度說明

本計畫以富氫氣體 (20%-H₂, 10%-CO, 5%-CO₂, 65%-N₂) 為機車引擎添加燃料, 進行引擎性能及污染排放測試研究, 目前已完成初步評估, 將分別以引擎扭力(制動均效壓力, bmep)、引擎馬力、熱效率及污染排放分別加以探討, 分述如下:

首先探討油門開度 1/6 的狀況。如圖 6 所示為在各種不同引擎轉速下, 富氫氣體總流率對於制動均效壓力的影響。由圖中可知, 不論引擎轉速高低, 隨著富氫氣體添加量由 0 (原引擎) 增加, bmep 有逐漸提升的趨勢, 亦即引擎扭力隨之增加, 除轉速 6000rpm 之外, 最高點約出現在 15L/min 附近, 添加量再往上提高, bmep 大致上是呈現逐漸下降趨勢。在低油門開度的情況下, 引擎馬力相當低, 故轉速越高則扭力越小, 甚至小到難以維持在定引擎轉速運轉。尤其轉速高達 5000rpm 以上時, 引擎轉速即有難以維持的現象出現。再看圖 7 所示的馬力變化可知, 其趨勢與 bmep 者相近, 較低轉速有較高的馬力輸出, 這是因為在低油門開度之下, 轉速越高進氣流阻越大, 造成較低的進氣效率所致。由馬力曲線大致可以發現, 在較高轉速時, 隨著富氫氣體的添加量的增加, 馬力輸出有逐漸增加的趨勢, 但都相當小。接著再看圖 8 所示的熱效率可知, 整體熱效率的趨勢, 3000rpm 者的最高熱效率約為 23.5% 左右, 最高熱效率的富氫氣體添加率約為 7.8L/min, 與原引擎者的 22.8% 差異不大。之後隨著富氫氣體添加量的增加, 其熱效率呈現降低的趨勢。引擎轉速為 4000rpm 者的最大熱效率則出現在 15L/min 左右, 其變化與 3000rpm 者有類似的趨勢, 隨著富氫氣體添加量的增加, 熱效率亦逐漸降低; 轉速為 5000 及 6000rpm 者, 熱效率的趨勢則與前面兩個轉速者有不同的趨勢, 即隨著富氫氣體的增加, 熱效率卻呈現提升的趨勢, 但其值都不高, 約在 10% 以下。為何會有這樣的趨勢, 接著將由污染排放特性來進一步探討。

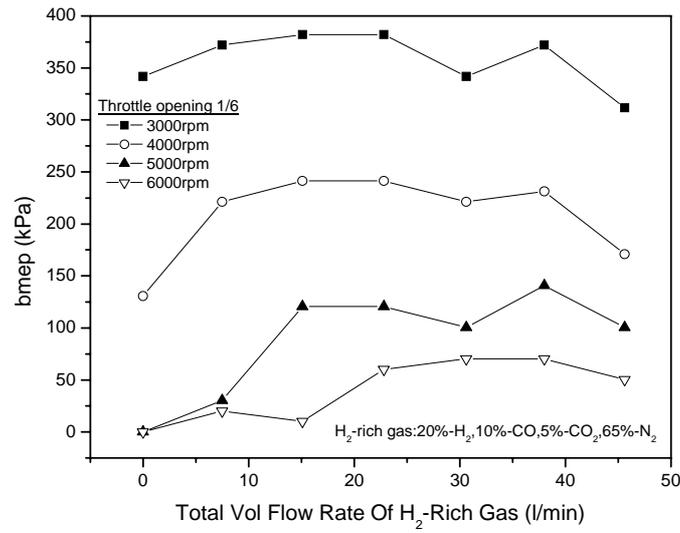


圖 6 富氫氣體添加總流率對於引擎制動均效壓力的影響 (油門開度：1/6)

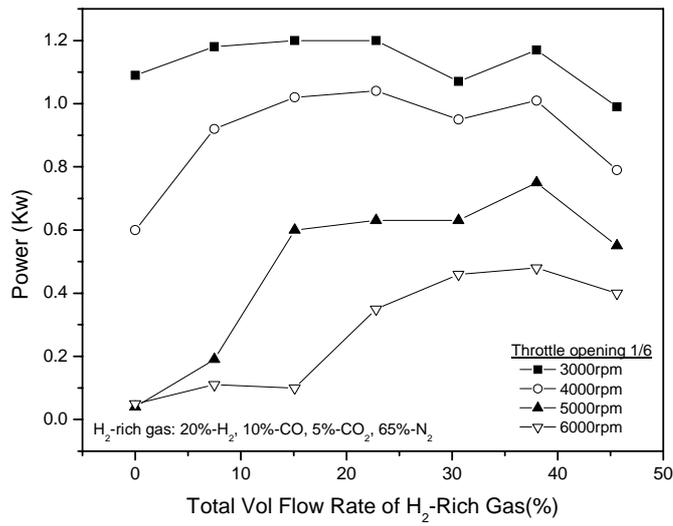


圖 7 富氫氣體添加總流率對於引擎輸出馬力的影響 (油門開度：1/6)

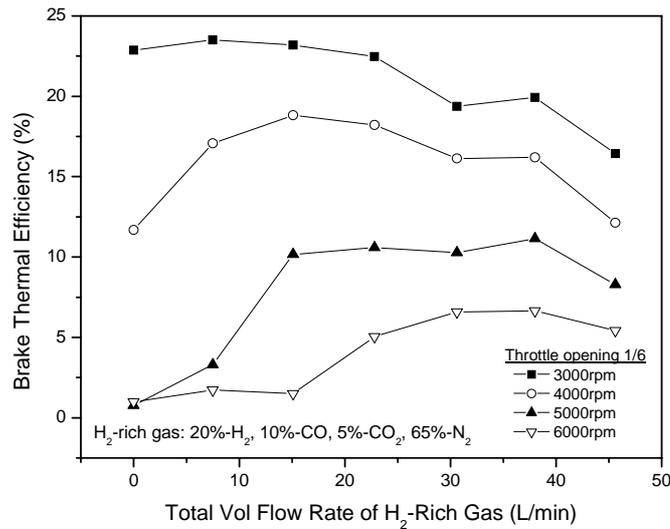


圖 8 富氫氣體添加總流率對於引擎制動熱效率的影響（油門開度：1/6）

接著如圖 9 所示為富氫氣體加量對於 CO 污染排放的影響。由圖中可知，富氫氣體添加率在 38.0L/min 之前，CO 濃度都在 0.5% 以下，代表此時進氣中的氧氣濃度是相當充足的。但隨著富氫氣體提升至 45.6L/min，CO 濃度則突然上升至約 1.5%-2.6% 之間，猜測此時排氣中的氧氣濃度應該已經用完，而使 CO 濃度突然增高。故由圖 10 加以印證可知，排氣中的氧氣濃度的確隨著富氫氣體的增加而降低，至富氫氣體添加率為 38.0L/min 時，排氣中的氧氣濃度只剩下約有 0.3% 左右，但至 45.6% 時排氣中的 O₂ 已完全被消耗掉，故使排氣中的 CO 濃度突然升高。

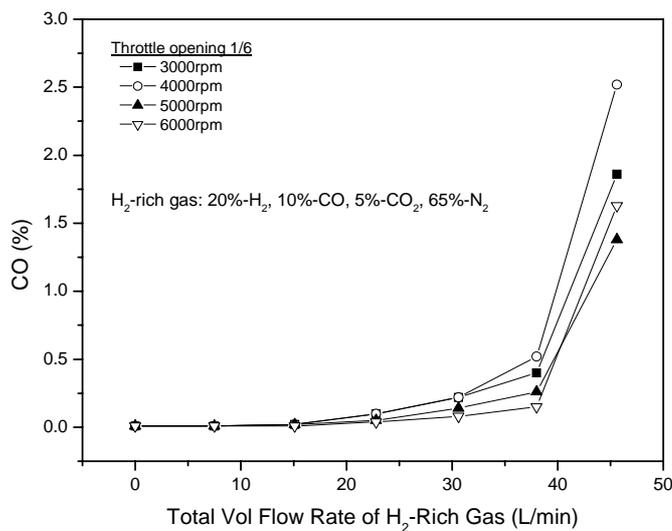


圖 9 引擎 CO 污染排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係（油門開度：1/6）

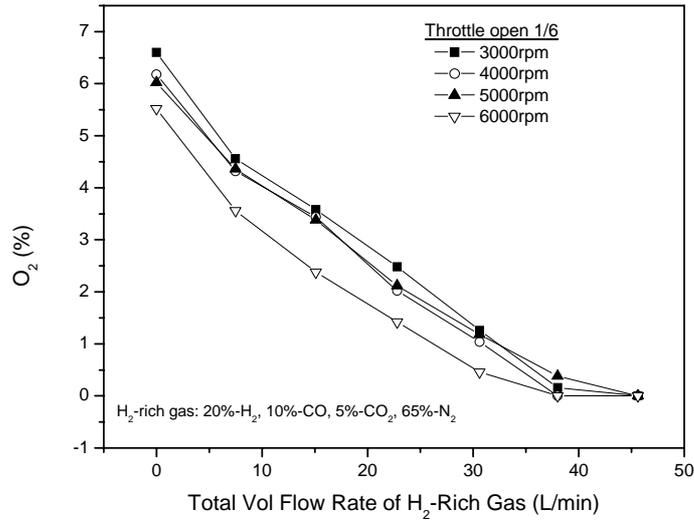


圖 10 引擎 O₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6)

接著再看 NO_x 的變化。如圖 11 所示為 NO_x 隨著富氫氣體添加流率的變化情形。由圖中可知，NO_x 的污染排放，隨著富氫氣體的添加量皆有其峰值的存在，最高峰出現在引擎轉速 3000rpm 富氫氣體添加率 7.8L/min 時。但引擎轉速在 5000rpm-6000rpm 者的 NO_x 排放濃度都在 100ppm 以下，4000rpm 者最高亦僅約 160ppm，但在 3000rpm 者最高濃度則高達 760ppm。NO_x 的濃度與燃燒的最高溫及氧氣濃度有關，亦即，在缺氧的狀況下，NO_x 濃度不可能太高，反之，高溫配合富氧的混合氣及很容易產出高濃度的 NO_x。

圖 12 為富氫氣體供應率對於引擎溫度 (火星塞座溫度) 的影響。由圖中可知，在油門開度為 1/6 的情況下，引擎溫度隨引擎轉速升高而下降，這是因為面所提及，在低油門的狀況下，轉速越高進氣阻力大而使容積效率降低，故使每一循環、甚至單位時間的熱釋放量降低，而使引擎溫度降低。另外由圖亦可知，引擎溫度隨富氫氣體供應率的增加而下降。這是因為富氫氣體供應率增加之後，沖淡氣(Dilution gases)亦隨之增加，氧氣濃度因而相對降低，影響到燃燒室內混合氣的正常燃燒，引擎溫度因而明顯降低。

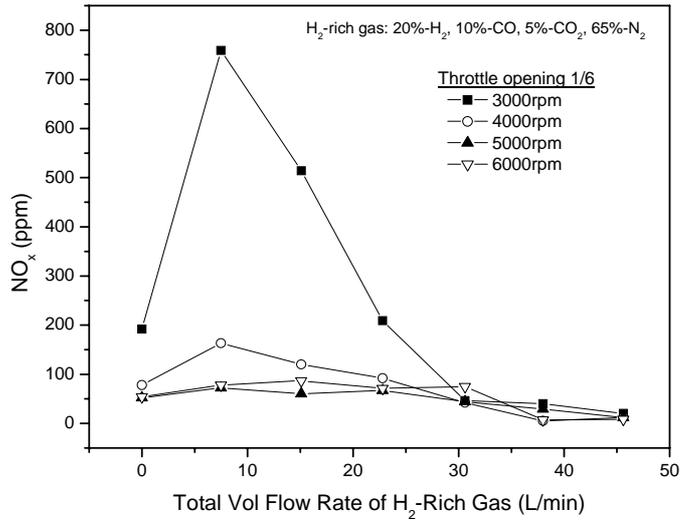


圖 11 引擎 NO_x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6)

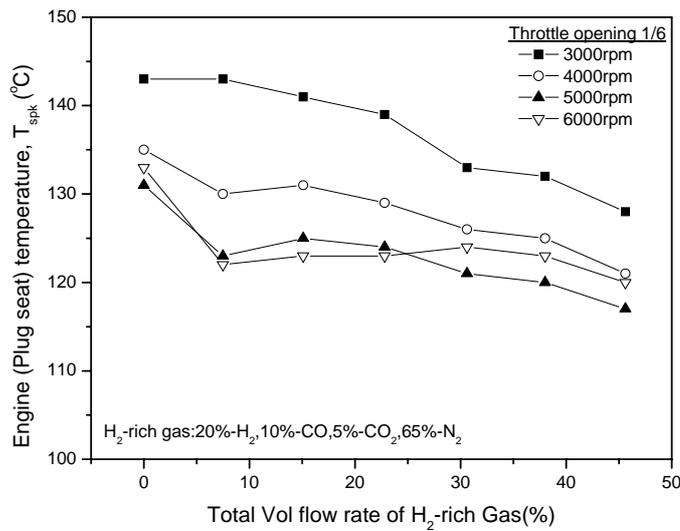


圖 12 富氫氣體添加總流率對於引擎溫度的影響 (油門開度：1/6)

接著探討油門半開(Throttle opening=3/6)時的引擎輸出特性。如圖 13 所示為油門開度 3/6 時，富氫氣體添加總體積流率對於引擎制動均效壓力的影響，由圖中可知，在油門半開的情況下，引擎 bmep 仍隨著轉速的提升而降低。另外，在各種轉速下，未加入富氫氣體(原引擎)，或富氫氣體添加體積流率太高(大約 55.0L/min 以上)，bmep 都是明顯偏低。引擎轉速在 3000-5000rpm 之間，添加流率約在 25.0L/min 附近可獲得最高的 bmep，引擎轉速在 6000rpm 時，富氫氣體添加流率約在 14.0L/min 附近

可獲得最高的 bmep。再看圖 14 所示的輸出馬力可知，與 bmep 的趨勢相似，未添加富氫氣體，或添加太高，都無法獲得較佳的馬力輸出。引擎轉速在 3000-5000rpm 之間，最佳馬力約出現在 25.0L/min 富氫氣體流率時；引擎轉速在 6000rpm 時，則出現在 14.0L/min 富氫氣體添加流率附近。接著看圖 15 所示的熱效率可知，最高熱效率與最大馬力所在的富氫氣體添加率相同，在 14.0-25.0L/min 之間，而馬力輸出隨著轉速的升高而降低。另外，3000rpm 者富氫氣體添加率在大於 25.0L/min、4000-5000rpm 者大於 45.0L/min、6000rpm 者則在富氫氣體大於 14.0L/min 即逐漸下降，大於 55.0L/min 即明顯下降。

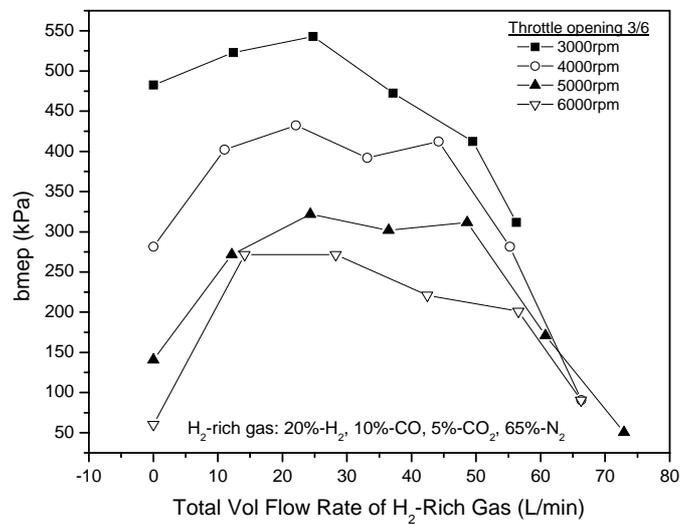


圖 13 富氫氣體添加總流率與 bmep 的關係 (油門開度：3/6)

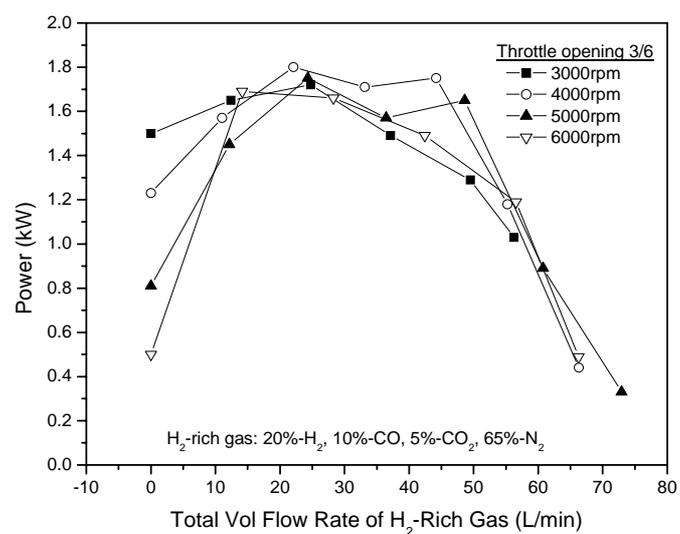


圖 14 富氫氣體添加總流率與引擎輸出馬力的關係 (油門開度：3/6)

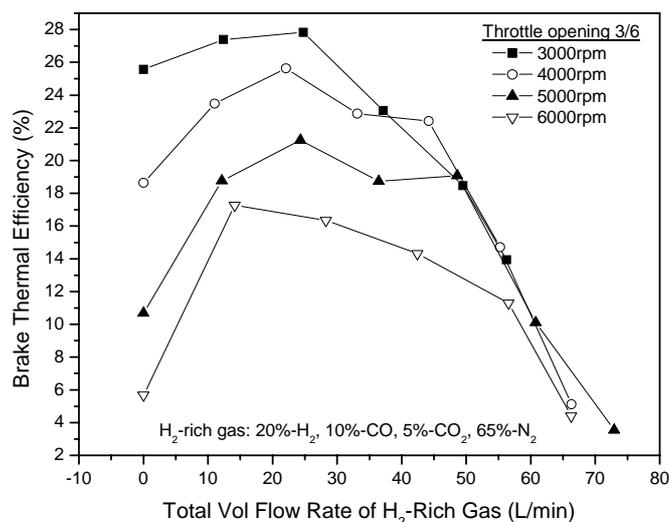


圖 15 富氫氣體添加總流率與熱效率的關係（油門開度：3/6）

接著探討廢氣排放的影響。如圖 16 所示為 CO 的排放，由圖可知，富氫氣體添加流率約在 30.0-35.0L/min 以上時，不論哪一轉速，CO 值都明顯升高。富氫氣體添加率在 55.0L/min 時，CO 污染排放已經高達 5%，可見此時引擎的氧氣應該已經嚴重不足。對照圖 17 所示的 O₂ 濃度可知，隨著富氫氣體的增加，O₂ 隨之明顯下降，添加率約在 35.0L/min 附近，排氣中幾乎已經沒有氧氣的存在，故造成前述 CO 濃度的快速升高。

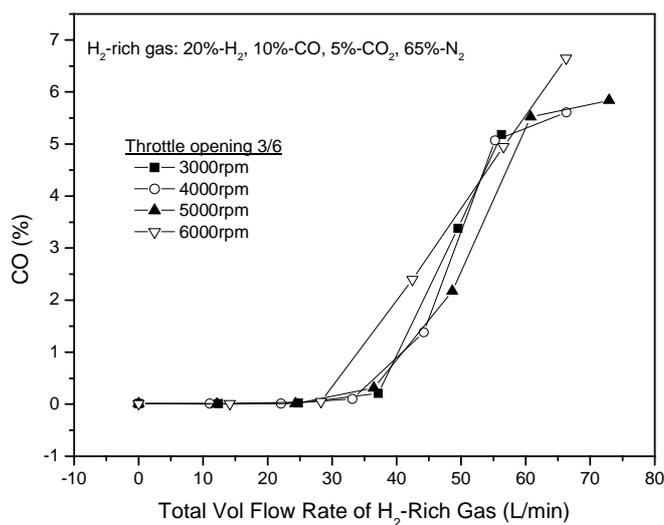


圖 16 CO 污染排放與富氫氣體添加總流率的關係（油門開度：3/6）

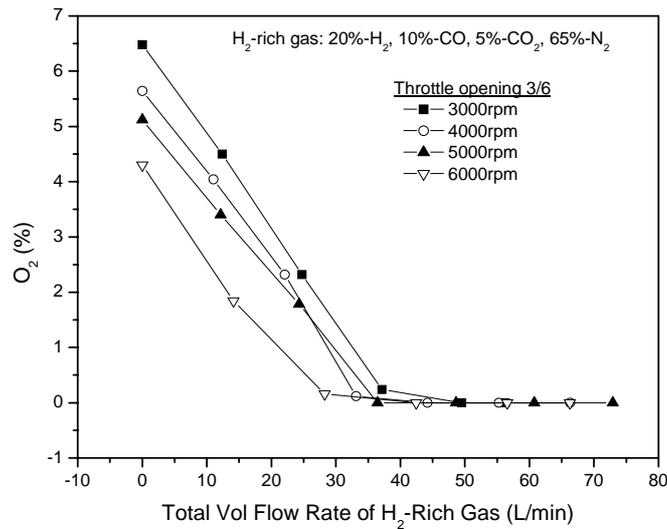


圖 17 O₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：3/6)

再由圖 18 所示的 NO_x 濃度的變化趨勢可知，隨著富氫氣體的增加，NO_x 的濃度呈現先增加，達峰值之後再快速下降，在富氫氣體 36.0L/min 之後，NO_x 濃度已降至 0ppm，因為在此富氫氣體添加量時幾乎已無 O₂ 濃度的存在，因為氧氣濃度不足而無法形成氮氧化物。

接著圖 19 為富氫氣體供應率對於引擎溫度的影響。如圖所示，在油門開度為 3/6 的情況下，引擎溫度隨富氫氣體供應率的改變均有一峰值存在，亦即，由原引擎逐漸增加富氫氣體供應率，引擎溫度隨之提升。由此可見，汽油中添加富氫氣體之後，氫氣的確有促進燃燒的效果，而使大部分燃料在引擎內部燃燒，引擎溫度因而提升；但在溫度到達峰值之後，引擎溫度即隨著富氫氣體供應率的增加而下降。這是因為富氫氣體供應過量之後，沖淡氣(Dilution gases)隨之增加，氧氣濃度相對降低，影響到引擎燃燒室內混合氣正常燃燒，故使熱效率降低，引擎溫度因此而明顯降低。

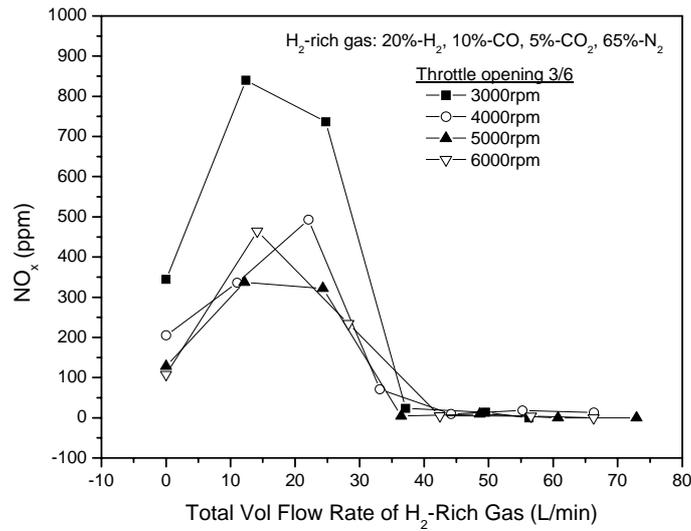


圖 18 NO_x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：3/6)

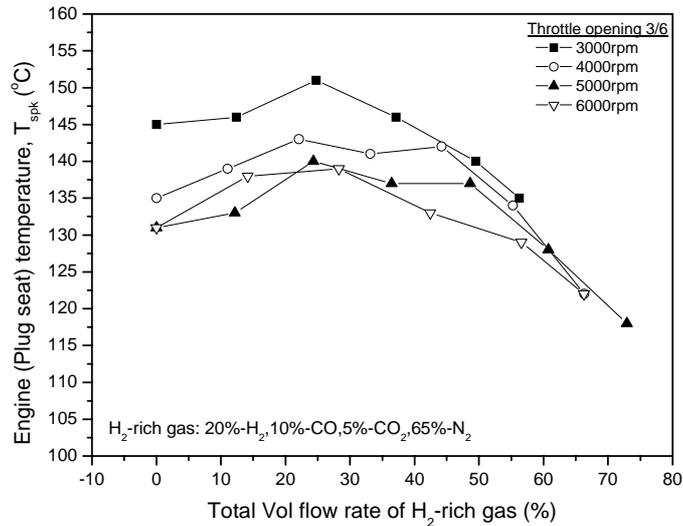


圖 19 富氫氣體添加總流率對於火星塞座溫度的影響 (油門開度：3/6)

接下來探討油門全開(Throttle opening=6/6, WOT (Wide Open Throttle))的引擎輸出特性。首先如圖 20 所示為油門全開，在各種不同引擎轉速下，富氫氣體添加流率對於 bmep 的影響。由圖中可知隨著富氫氣體添加率的增加，bmep 隨之下降，尤其添加率在約 45.0L/min 以上時下降速率即更加快速。再檢視富氫氣體對於馬力的影響，由圖

21 可知，6000rpm 者可得最高的馬力輸出，其次依序為 5000rpm、4000rpm 及 3000rpm 者。因為在油門全開時，進氣阻力遠小於小油門開度者，故進氣量為各油門開度中最大者，而且一般引擎的最大馬力所在轉速大多調諧在 7000rpm 以上，故引擎轉速太低，即無法獲得較高的馬力輸出。另外，由圖中曲線可以發現很重要的一點，即為無添加富氫氣體者（原引擎）反而可獲得最大馬力，隨著富氫氣體的增加，馬力即快速下降。這是因為原引擎的設計，在全油門時屬於相當濃油的操作狀態，故再導入富氫氣體，燃料與沖淡氣都增加，故使油氣混合比更加處於濃油狀態而使馬力降低。6000rpm 者，富氫氣體大約在 57L/min 以上時，馬力即快速由 3.6kW 降至 0.8kW 以下。再比較引擎熱效率，如圖 22 所示，即為油門全開時的熱效率，由圖中可知，3000rpm 於富氫氣體供應率為 10.0L/min 時可獲得最高的熱效率，約 30%，其他轉速則最高熱效率均出現在未添加富氫氣體者，隨著富氫氣體的增加，熱效率越低。大致上，3000rpm 及 4000rpm 相近，5000 及 6000rpm 在 35.0L/min 以下者幾乎相同，35.0L/min 以上者才稍有差異。

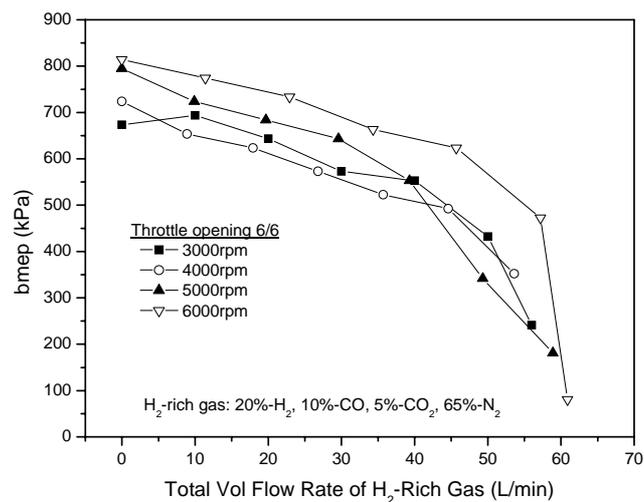


圖 20 引擎 bmep 與富氫氣體添加總流率的關係（油門開度：6/6）

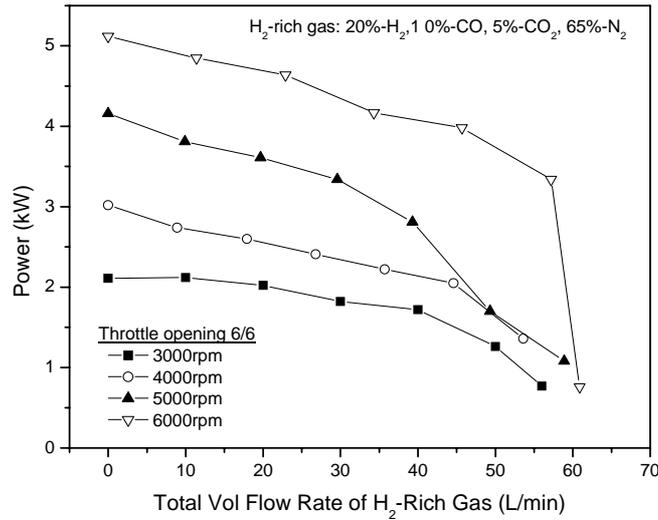


圖 21 引擎輸出馬力與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：6/6)

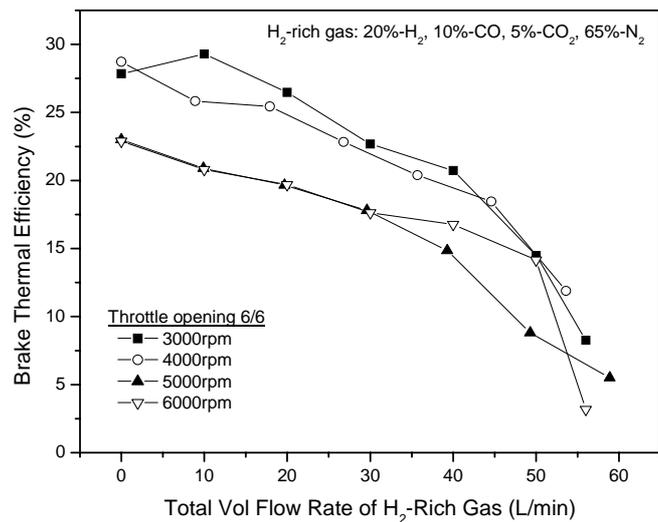


圖 22 引擎熱效率與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：6/6)

接著檢視廢氣的排放情形。首先如圖 23 所示，為富氫氣體添加流率對於 CO 排放的影響。由圖中可知，不同引擎轉速的 CO 濃度分為兩群，3000-4000rpm 者為一群，在添加率 20.0L/min 之前，CO 排放濃度幾乎為零，以後則分別快速上升至約 55.0L/min 的 6.7% 及 7.7%；5000-6000rpm 者為另一群，原供油系統即高達 6% 左右，隨後富氫氣體增加，CO 則亦明顯提高。可見原供油系統的設計，在全開油門、高轉速的運轉狀況下，即以非常濃油的混合氣供油，加入富氫氣體之後，更使燃料與空氣的混合比增濃，而使 CO 排放濃度居高不下，亦影響前述之馬力的輸出。對照圖 24 所示的 O₂ 排放濃度可知，5000-6000rpm 者

在原引擎的運轉狀況下已無氧氣的排放，故富氫氣體添加量越大，將造成缺氧情況更加嚴重，故 CO 居高不下；4000rpm 者，原引擎及添加 8.9L/min 富氫氣體者，還有約 1.0% 的 O₂ 排放濃度，3000rpm 時原引擎者的 O₂ 濃度更高達約 4.8%，直到添加率達 20.0L/min 時尚有 0.6% 的 O₂，這兩種轉速下，於 20.0L/min 之後 CO 才開始上升。

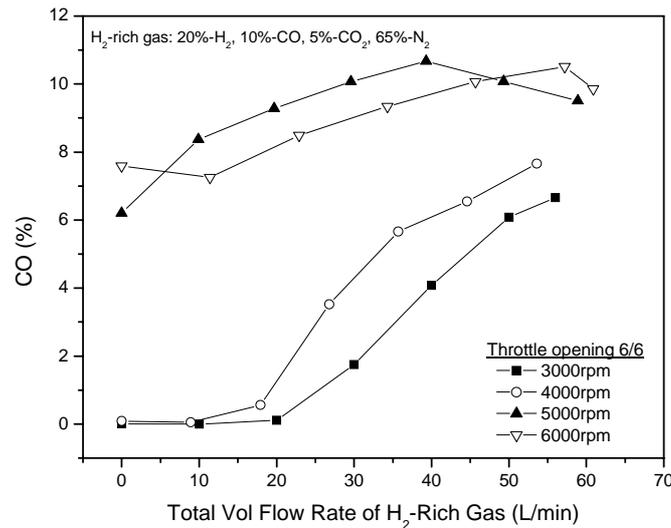


圖 23 CO 污染排放與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：6/6)

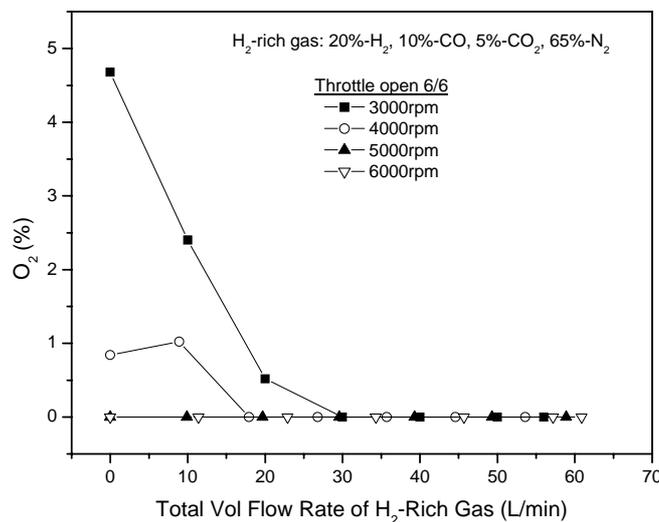


圖 24 O₂ 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：6/6)

接著由圖 25 所示的 NO_x 濃度的變化趨勢可知，引擎轉速 5000-6000rpm 者，原

引擎 NO_x 排放濃度大約為 60-80ppm 左右，富氫氣體添加至 20.0L/min 以上即無 NO_x 的排放。4000rpm 者，由原引擎的 1600ppm 降至富氫氣體添加率為 8.9L/min 時的 1416ppm，再往上提升富氫氣體添加率，NO_x 的排放濃度隨即降到零。3000rpm 運轉狀況下，則由原引擎的 1781ppm 上升至富氫氣體添加率為 10.0L/min 時的 2260ppm，之後即快速下降，至添加率為 30.0L/min 以後，幾乎已無 NO_x 的排放。

接著圖 26 為富氫氣體供應率對於引擎溫度的影響。由圖中所示可知，在油門開度為全開(6/6)的情況下，引擎溫度由未加富氫氣體的原化油器引擎開始，隨著富氫氣體供應率的逐漸增加，引擎溫度隨之提升，達峰值之後即隨著富氫氣體供應率的增加而下降。引擎溫度峰值除了 5000rpm 者出現在富氫氣體供應率 9.9L/min 之外，其他三個轉速約出現在 18.0-23.0L/min 之間。經過峰值之後，引擎溫度即快速下降，這是因為在油門全開的狀況下，5000-6000rpm 之原引擎者的 CO 濃度已相當高，3000-4000rpm 者亦於富氫氣體供應率約在 18.0-20.0L/min 之後即快速升高，在此情況下再增加富氫氣體，燃料供應率增加、沖淡氣也隨之增加，故使氧氣濃度降低，影響混合氣的燃燒而使引擎溫度降低。

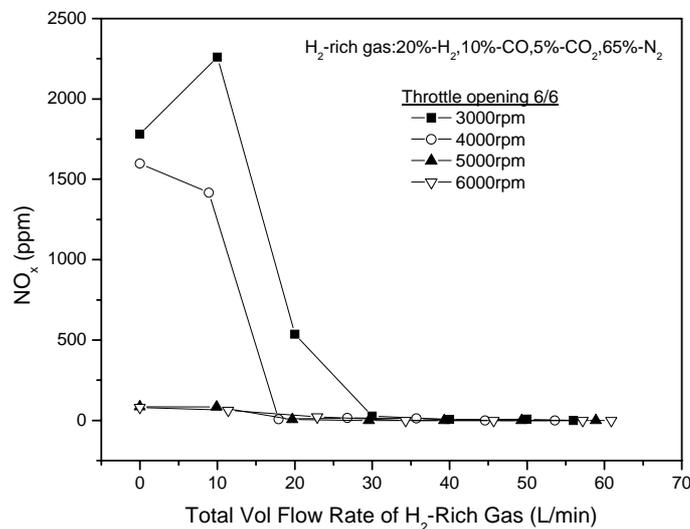


圖 25 NO_x 排放濃度與富氫氣體添加總流率的關係（油門開度：6/6）

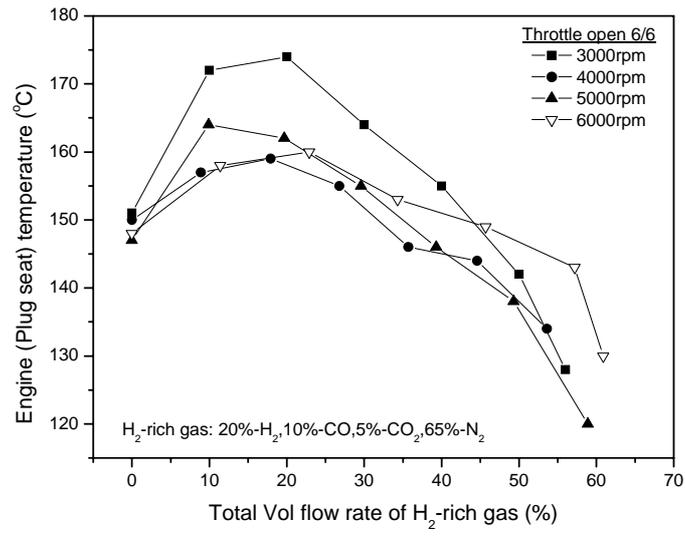
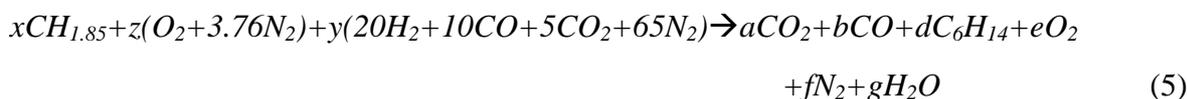


圖 26 富氫氣體添加總流率對於火星塞座溫度的影響 (油門開度：6/6)

進氣混合比及其對於污染排放的影響探討

因為本計畫所採用的燃料為汽油添加富氫氣體，富氫氣體中有可燃的 H_2 及 CO 、不可燃的 CO_2 及 N_2 ，故其空燃比已非原來純汽油的空氣燃油比。首先，以下化學為反應式：



其中 x, z, y, g 為未知的平衡係數， a, b, d, e, f 為已知的係數。根據反應平衡式，定義以下計算式：

$$(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}=(137.28*z+2040y)/(13.85x+320y) \quad (6)$$

$$A/F=137.28*z/(13.85x+320y) \quad (7)$$

(6)式近似一般的空燃比，分子代表氧氣及沖淡氣體，分母為燃料(汽油、 H_2 及 CO)；(7)式純以空氣對燃料(汽油、 H_2 及 CO)的比值。以下將利用這個定義式分別找出影響污染排放的主要因素。首先如圖 27 即表示 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 與富氫氣體供應率的關係。由圖可知， $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 以原引擎者為最高，隨著富氫氣體供應率的增加而成拋物線的趨勢逐漸降低，整體約介於 11.0-19.8 之間，而且較低油門者的值較高，隨著油門的提高而逐漸降低。其中油門全開者(Throttle opening=6/6)。因為混合氣太濃，以致無法添加太多的富氫氣體，最大供應率約只 60L/min，尤其引擎轉速為 5000-6000rpm 者明顯偏低，主要原因在於原引擎供油系統的設計，在全油門、高轉速時供油率相當大，約為 3000-4000rpm 者的兩倍以上，故使其比值明顯降低。圖 28 則將 A/F 與 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 的關係表示出來。整體而言，圖中所示， A/F 隨 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 增加而呈兩條平行線的線性增加；油門全開者為單獨一直線，其他狀況者為另一直線變化。原引擎、中低油門及較大油門之低轉速者都在右上角，在左下角者即是屬於高油門的高轉速狀況者，屬於較濃油（缺氧）的狀況， $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 大致低於 12.0 者。

再看 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 與 CO 、 HC 、 CO_2 及 NO_x 等排放的關係。如圖 29 所示 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 對於 CO 排放的影響，由圖中可知，在 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 為 13.5 之前， CO 的排放濃度與 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 的關係相當明顯，即 CO 濃度幾乎隨著 $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 值的增加呈線性下降； $(O_2+N_2+CO_2)/\text{fuel ratio}$ 值為 13.5

以後，CO 幾乎已變為零。此代表著兩種意義，一者為 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值小時，供油量太高，而且沖淡氣體濃度高，屬缺氧狀態，故 CO 偏高； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值逐漸增大時，均屬富氧氣體供應率較小，或較低油門狀況，逐漸變為稀油操作，故 CO 逐漸變小，可由圖中所示者均為 1/6 油門及 3/6 油門之 3000-4000rpm 的運轉狀況可得知。

接著如圖 30 所示為 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 對於 HC 排放的影響。如圖所示可知 HC 排放與 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 相關性相當高，在 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值 11.0-13.5 之間，HC 濃度幾乎呈對數關係下降； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值於 11.0 附近，HC 成垂直上升，原因應為混合氣太濃、氧氣不足，而使燃燒不佳所致，此可由圖 29 的 CO 濃度獲得印證； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值於 13.5 以上則 HC 濃度均在兩位數以內。

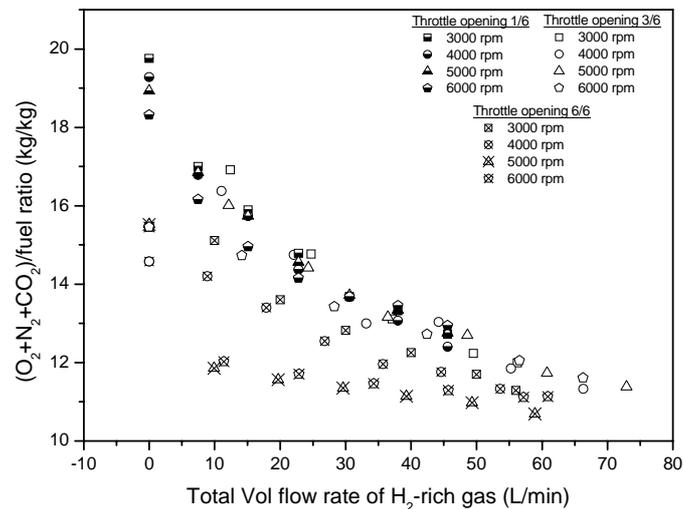


圖 27 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6-6/6)

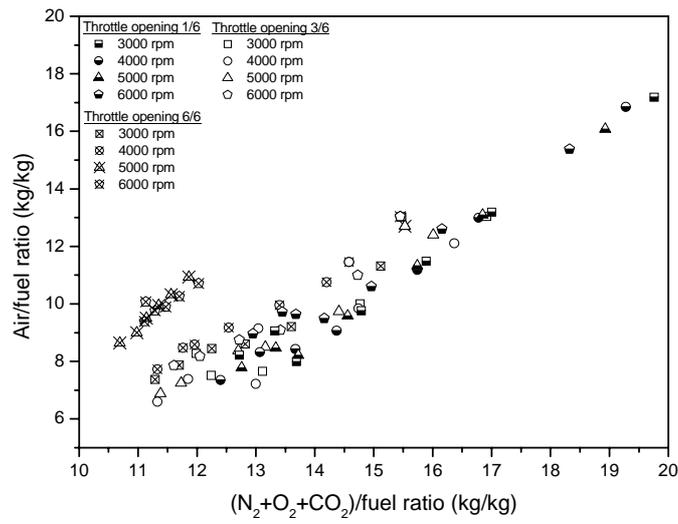


圖 28 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比與富氫氣體添加總流率的關係 (油門開度：1/6-6/6)

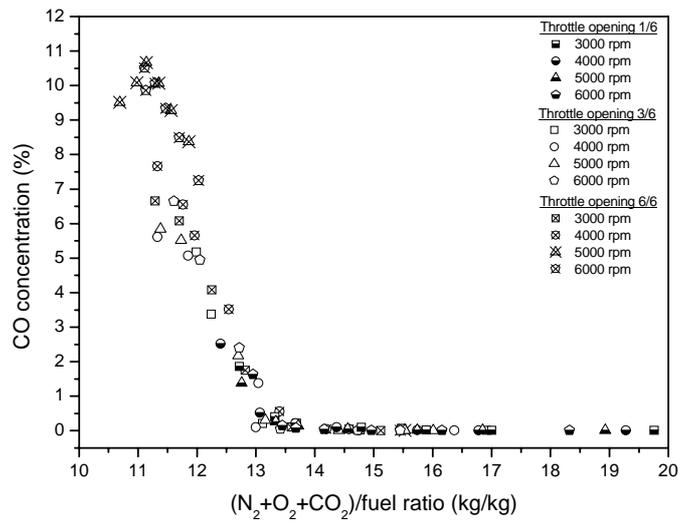


圖 29 CO 排放濃度與 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比值的關係 (油門開度：1/6-6/6)

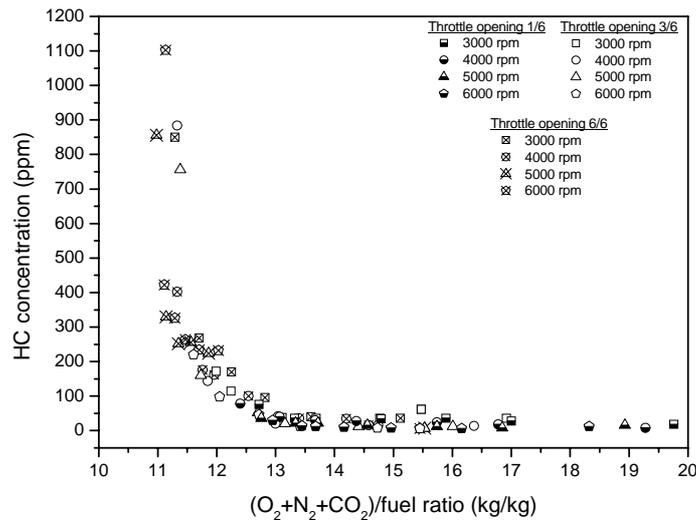


圖 30 HC 排放濃度與 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比值的關係 (油門開度：1/6-6/6)

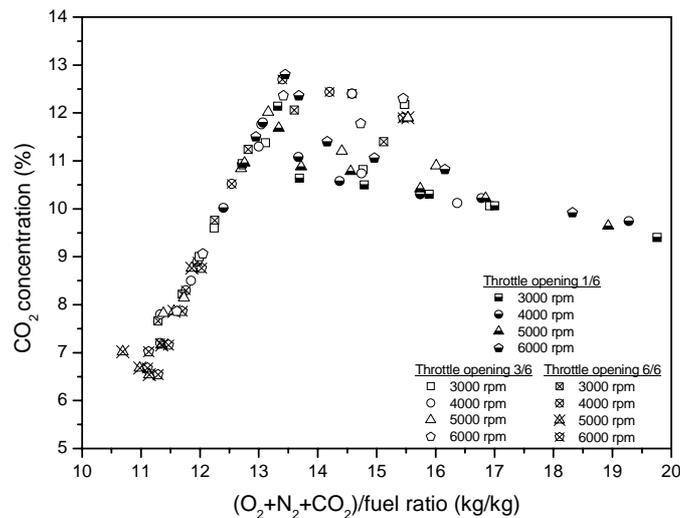


圖 31 CO_2 排放濃度與 $N_2/fuel$ 比的關係 (油門開度：1/6-6/6)

圖 31 則為 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 對於 CO_2 排放的影響, CO_2 的排放代表燃燒的好壞, 燃燒情況好則 CO_2 高, 反之若燃燒不好則 CO_2 偏低。由圖中可明顯看出 CO_2 的排放濃度與 $N_2/fuel$ ratio 關係相當密切。大致可將 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值分成 11.0-13.5 及 13.5-19.8 兩個區段來看。介於 11.0-13.5 者 CO_2 隨著 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值的增加而直線上升。此一區間包括高油門及中低油門高轉速者, 高油門者的 CO_2 值較低, 約於 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ ratio 值在 12.5 以下者; 這是因為混合氣太濃、沖淡氣濃度太高,

造成燃燒不良所致，屬於高油門及低油門的高轉速狀況；另一區間 13.5-19.8 者，CO₂ 濃度則隨著(O₂+N₂+CO₂)/fuel ratio 值增加而下降，亦即，CO₂ 濃度隨著富氫氣體供應率的增加而增加(在富氫氣體添加率為 38.0L/min 之前)，這屬於低油門、低轉速的操作狀況。造成這種現象的原因應該有二：一為低油門、低轉速時熱密度較小，相較於其他較高負載者燃燒溫度較低，故有較小的 CO₂ 排放濃度；另一原因應為富氫氣體添加率的增加，只要在稀釋作用尚未影響到燃燒效果之前，富氫氣體內含的 CO₂ 亦會造成排氣中 CO₂ 濃度的提高。若稀釋作用造成缺氧，則 CO 及 HC 將逐漸升高，CO₂ 濃度則逐漸下降；若稀釋作用太嚴重，造成汽缸內混合氣無法順利燃燒，甚至造成熄火(Misfiring)時，則 CO₂ 及 CO 排放濃度將快速下降、HC 則快速升高。

再看圖 32 所示 (O₂+N₂+CO₂)/fuel ratio 對於 NO_x 排放的影響可知，(O₂+N₂+CO₂)/fuel ratio 值介於 13.5-17.0 之間者，NO_x 排放濃度較高，往上或往下 NO_x 都幾乎為零。對照前述的圖 29 的 CO 濃度可知，在(O₂+N₂+CO₂)/fuel ratio 值於 13.5 以下者，應該是因為油氣太濃造成燃燒不佳，而致使 NO_x 排放濃度降低。

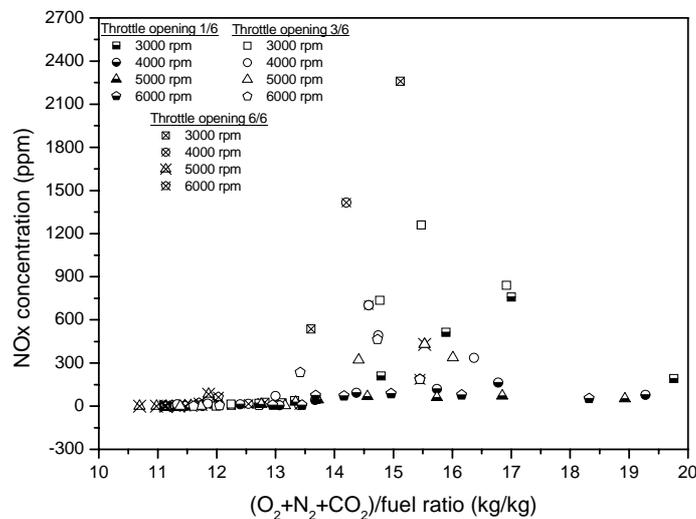


圖 32 NO_x 排放濃度與(N₂+CO₂)/fuel 比的關係 (油門開度：1/6-6/6)

接著再看圖 33-圖 35 所示 CO、CO₂ 及 HC 與 NO_x 的排放濃度的關係，以進一步瞭解燃燒狀況。首先由圖 33 可知，在低油門時，較低的 CO 對應較低的 NO_x 排放，在這情況下應該是因為燃燒溫度較低所致；於高油門高轉速時則是高 CO 對應低 NO_x 濃度，這是因為混合氣太濃造成燃燒效果不佳、燃燒溫度太低所致。最高的的排放在於各轉速下原引擎及富氫氣體添加量約在 25L/min 以下者。再看圖 34 所示，CO₂ 與

NO_x 排放濃度的相對關係可知，最高 NO_x 排放濃度約出現在 CO₂ 濃度介於 9.5-13.0% 之間者，因為此時的燃燒狀況較佳所致；較低 CO₂ 者，在 CO₂ 小於 9.0 以下者，應屬油氣太濃燃燒不佳所致。接著圖 35 表示 HC 與 NO_x 的相互關係可知，HC 約在 50ppm 以上者對應著極低的 NO_x，這一段應該是因為油氣太濃、添加富氫氣體太多，而造成缺氧而使燃燒效果不佳所致。另外，低油門的狀況則是以較低 HC 對應較低的 NO_x，這是因為燃燒溫度較低所致。另外 HC 大約在 25.0ppm 附近則對應著垂直上升的 NO_x 則是在中高油門富氫氣體添加率約在 25.0L/min 者，此時燃燒效果較佳，因燃燒溫度太高所致。

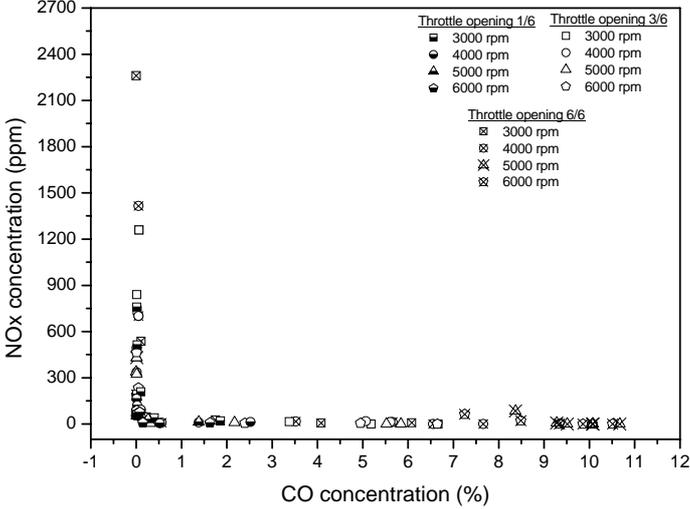


圖 33 CO 與 NO_x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)

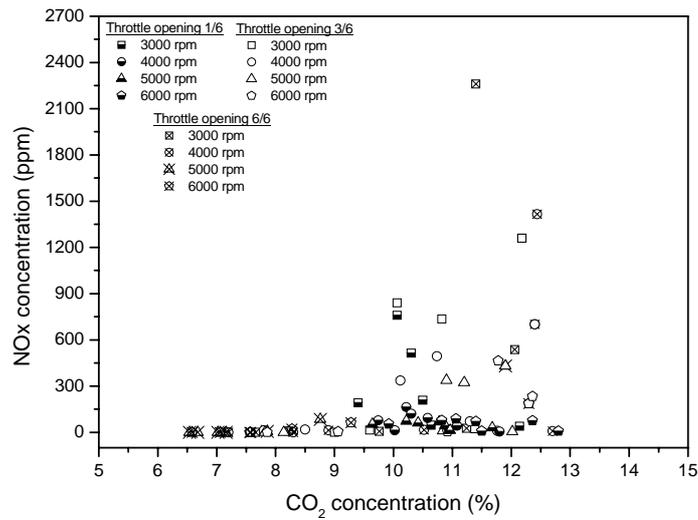


圖 34 CO₂ 與 NO_x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)

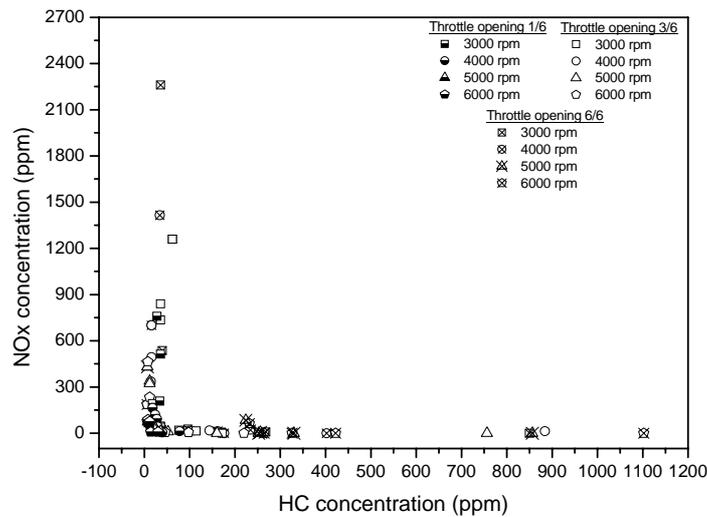


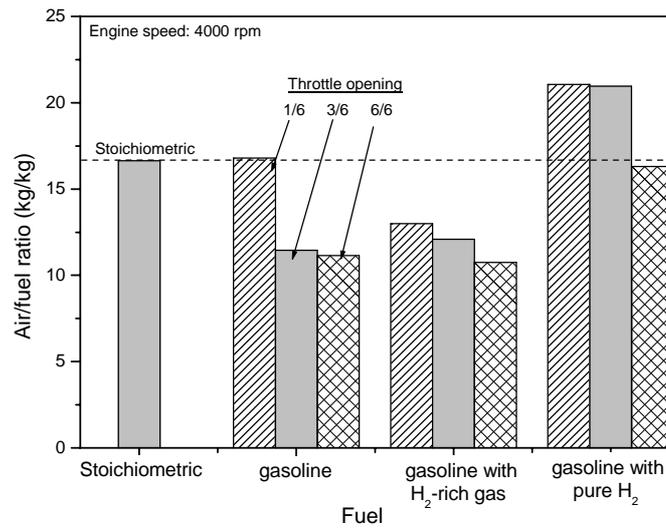
圖 35 HC 與 NO_x 排放濃度的關係 (油門開度：1/6-6/6)

最後針對使用富氫氣體及其他燃料，包括汽油、汽油加純氫氣等在實驗中所測得之最高空燃比，以及汽油添加含有 4% 質量百分比的富氫氣體燃料理論計量燃燒之空燃比的比較。由圖可知，汽油添加含有 4% 質量百分比的富氫氣體燃料理論空燃比為 16.6；使用汽油為燃料者在油門開度為 1/6 時，所得到的空燃比高達 16.8 左右，在其他油門開度 3/6 及 6/6 時，則均為 11.45；使用富氫氣體時，最

大空燃比約為油門開度 1/6 時的 13.0,其次為 3/6 油門開度的 12.1 及 6/6 的 10.75; 若以汽油配合質量百分比約為 4%純氫進行測試,空燃比則明顯提升,在油門開度 1/6 及 3/6 時,所得的空燃比約為 21.0 左右,但在油門全開時則僅約 16.3。可見以純氫為汽油添加燃料時在油門開度為中低油門開度(1/6 及 3/6)時可獲得最高的空燃比,顯見氫氣的確具有可促成稀油燃燒的效果。富氫氣體者所獲得的空燃比反而比較低,主要原因應為富氫氣體中含有高達 70%的沖淡氣(CO₂ 及 N₂),在儘量維持原引擎供油系統的考量下,原系統的供油量並未刻意降低,故無法獲得較稀的混合比。在本研究中,燃料的供應係以原系統能夠正常運轉的情況下導入富氫氣體,亦未刻意做到稀油極限(Lean limit),故無法比出空燃比真正的高低可燃極限。在實際運轉狀況,引擎需要扭力或馬力時,仍須以富油混合氣供油;稀油混合氣的操作狀況仍以低負載(低轉速、低油門)時才可能用得到。另外,富氫氣體中含有高比例的 CO₂ 及 N₂,類似一般引擎控制 NO_x 排放的廢氣再循環(Exhaust gas recirculation, EGR)的功用,故在需要抑制 NO_x 排放時,導入適量的富氫氣體的確有明顯的效果。所以未來可以在燃料供應系統進一步改進,使引擎在低負載時的汽油供應量再減少,以導入更多富氫氣體。但若富氫氣體中的沖淡氣濃度太高,在影響順利燃燒的情況下,將使引擎馬力下降之外,亦無法獲得較佳省油及污染排放的效果。

由以上的分析,可得到以下三種引擎操作策略:

- 1.在引擎需要扭力或馬力時:仍以原引擎的汽油供油系統供油;
- 2.在需要省油的巡航速度時:添加約 3.5-6.0%的氫氣質量百分比的富氫氣體,可獲得最佳的熱效率;
- 3.需要抑制 NO_x 的排放時:添加較多的富氫氣體,以富氫氣體中含有高比例的 CO₂ 及 N₂ 控制 NO_x 的排放 在本引擎中約於 30.0L/min 左右的富氫氣體供應率



(註：stoichiometric 表示燃料為汽油配合氫氣質量百分比為 4% 富氫氣體的理论空燃比)

圖 36 添加富氫氣體燃料與使用其他燃料所操作之最大空燃比比較

4. 結論與建議

結論

引擎性能

- (1) 在較低油門時，低轉速有較高的馬力輸出，高轉速則馬力輸出反而比較小，這是因為轉速越高進氣流阻越大，造成較低的進氣效率所致。但在此低油門的較高轉速運轉狀況下，富氫氣體供應率在 38.0L/min 之前，增加富氫氣體的添加量，可獲得較高的馬力輸出。
- (2) 在油門全開的狀況下，無添加富氫氣體者（原引擎）可獲得最大馬力，隨著富氫氣體的增加，馬力即快速下降。這是因為原引擎在全油門時已具有相當濃油的狀態，故再導入富氫氣體，燃料與沖淡氣濃度都增加，故使油氣混合比更加處於濃油狀態，而使馬力降低。
- (3) 在中油門者，引擎的最大馬力約出現在富氫氣體供應率介於 14.0-25.0L/min 之間，轉速越低，最大馬力出現在較高富氫氣體添加量狀況；反之，轉速越高，最大馬力則出現在較低富氫氣體添加量狀況。

污染排放

- (1) 在低油門者，富氫氣體容許供應率為 38.0L/min 左右、中油門者約在 35.0L/min 左右、油門全開時，引擎轉速 3000-4000rpm 者，容許供應率約為 20L/min，若超出上述各狀況的富氫氣體供應率，CO 排放濃度即快速上升。這是因為氧氣濃度急速下降所造成。油門全開時，引擎轉速 5000-6000rpm 者已無加入富氫氣體的空間，因為原引擎的 CO 污染排放已在 6.0% 以上。
- (2) 在各狀況下（油門全開時，引擎轉速 5000-6000rpm 者除外），NO_x 排放濃度的最高點約出現在富氫氣體添加率介於 9.0-25.0L/min 之間，若添加率太高（約於 30.0-38.0L/min）以上，則 NO_x 的排放濃度幾乎均可降至兩位數以下。
- (3) $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比與富氫氣體供應率呈近似拋物線的負變化關係； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比與 A/F 則呈線性正變化的關係。
- (4) $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 13.5 以下，CO 排放濃度幾乎隨 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比呈線性下降； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比大於 13.5 者，則 CO 排放濃度幾乎為零。
- (5) $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 13.5 以下，HC 的污染排放濃度與 $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 的關係幾乎成對數關係下降； $(O_2+N_2+CO_2)/fuel$ 比於 11.0 附近，HC 濃度幾乎垂直上升。

(6) 最高 NO_x 排放濃度約出現在(O₂+N₂+CO₂)/fuel 比介於 13.5-17.0 之間。

建議

- (1) 在油門全開的狀況下，原引擎的 CO 排放濃度太高，故不適合添加富氫氣體，未來應在供油系統部分作進一步修改，降低原引擎供油量，以利供應更多的富氫氣體。
- (2) 應該進行燃燒分析，以瞭解加入富氫氣體之後的燃燒特性，包括燃燒率、熱釋放率及燃燒變異等。
- (3) 化油器屬被動供油者，供油量隨進氣量而變，較無改變供油量的自主性，若能改成噴油系統，供油量更具彈性，可加入最適當的富氫氣體供應量。但此一方式牽涉到噴油系統軟硬體的配合，較為複雜，非短時間可達成。
- (4) 由實驗分析結果，建議本引擎可以採以下策略操作：
 - a. 在引擎需要扭力或馬力時：仍以原引擎的汽油供油系統供油；
 - b. 在需要省油的巡航速度時：添加約 3.5-6.0% 的氫氣質量百分比的富氫氣體，可獲得最佳的熱效率；
 - c. 需要抑制 NO_x 的排放時：添加較多的富氫氣體，以富氫氣體中含有高比例的 CO₂ 及 N₂ 控制 NO_x 的排放。在本引擎中約於 30.0L/min 左右的富氫氣體供應率。

參考文獻

1. H.S. Yi, S.J. Lee and E.S. Kim, Performance Evaluation and Emission Characteristics of In-Cylinder Type Hydrogen Fuelled Engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 21(7), pp. 617-624, 1996.
2. P. Van Blarigan and J.O. Keller, A Hydrogen Fuelled Internal Combustion Engine Designed for Single Speed/Power Operation, *Int. J. Hydrogen Energy*, 23(7), pp. 603-609, 1998.
3. Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi and Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi, A prediction Study of the Effect of Hydrogen Emission of a Four Stroke Spark Ignition Engine, *Int. J. Hydrogen Energy*, 24, pp. 363-375, 1999.
4. Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi and Haroun Abdul-Kadim Shahad Al-Janabi, Improvement of Performance and Reduction of Pollutant Emission of a Four Stroke Spark Ignition Engine Fuelled with Hydrogen-Gasoline Fuel Mixture, *Energy Conversion and Management*, 41, pp. 77-91, 2000.
5. H.S. Yi, K.Min and E.S. Kim, The Optimised Mixture Formation for Hydrogen Fuelled Engines, *Int. J. Hydrogen Energy*, 25, pp. 685-690, 2000.
6. Maher Abdul-Resul Sadiq Al-Baghdadi, The Safe Operation Zone of the Spark Ignition Engine Working with Dual Renewable Supplemented Fuels (Hydrogen+Ethyl Alcohol), *Renewable Energy*, 22, pp. 579-583, 2001.
7. D.R. Cohn, A. Rabinovich, C.H. Titus and L. Bromberg, Near-term possibilities for extremely low emission vehicles using onboard plasmatron generation of hydrogen. *Int. J. Hydrogen Energy*, 22(7), pp.715-723, 1997.
8. L. Bromberg, D.R. Cohn, A. Rabinovich, J.E. Surma and J. Virden, Compact plastron-boosted hydrogen generation technology for vehicular applications. *Int. J. Hydrogen Energy*, 24, pp. 341-350, 1999.
9. L. Bromberg, D.R. Cohn, A. Rabinovich and J.B. Heywood, Emissions reductions using hydrogen from plasmatron fuel converters. *Int. J. Hydrogen Energy*, 26, pp. 1115-1121, 2001.