

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

燃料電池之小型甲醇重組器暫態反應特性研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-168-015-

執行期間：91年12月01日至92年10月31日

執行單位：崑山科技大學機械工程系

計畫主持人：洪榮芳

計畫參與人員：詹前歆 邱韋丞 施宏杰 鍾金良 侯嘉福 黃國原

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 3 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
期中進度報告

燃料電池之小型甲醇重組器暫態反應特性研究
Transient Performance of Small Methanol Reformer
for a Fuel Cell System

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2212 - E - 168 - 015

執行期間：91年12月01日至92年10月31日

計畫主持人：洪榮芳

共同主持人：

計畫參與人員：詹前歆 邱韋丞 施宏杰 鍾金良 侯嘉福 黃國原

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年 二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學

中 華 民 國 93 年 01 月 16 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

燃料電池之小型甲醇重組器暫態反應特性研究

Transient Performance of Small Methanol Reformer for a Fuel Cell System

計畫編號：NSC 91-2212-E-168-015

執行期限：91 年 12 月 01 日至 92 年 10 月 31 日

主持人：洪榮芳 崑山科技大學機械工程系

計畫參與人員：詹前歆 邱韋丞 施宏杰 鍾金良

侯嘉福 黃國原

崑山科技大學機械工程系

一、中文摘要

本計畫係針對小型甲醇重組器冷起動暫態過程進行實驗研究。實驗參數為氧氣/甲醇莫耳數比、進料流率、加熱功率及加熱溫度等，以探討重組器反應特性，期能於冷起動等暫態過程，重組器能夠於短時間之內產生反應，快速產出氫氣。

本研究的實施方法為製作一小型甲醇重組器，配置有甲醇燃料桶、液體燃料霧化器、加熱器及觸媒等。觸媒溫度可經由氧氣/甲醇莫耳數比及溫控裝置控制。甲醇經由液體霧化器霧化，然後進入重組器本體管路中。在進入觸媒之前，先經由加熱器配合甲醇與氧氣的反應熱預先提升混合氣溫度，促使觸媒快速產生反應。於重組器的出口設置氣體取樣裝置，經冷凝後將之導引進入氣相層析儀進行分析。

由實驗結果得知冷起動暫態反應的特性，在加熱功率 960W、加熱溫度 80 °C、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min 時，能於最短時間內快速起動，自冷起動開始，約 220 秒即開始產出氫氣，達氫氣穩定產量所需時間約 4~5 分鐘；在觸媒出口溫度約 100 °C 左右即開始反應，產出氫氣，並於約 350 秒時達氫氣最大產量。

關鍵詞：燃料電池、甲醇重組器、暫態特性

Abstract

The transient characteristics of a small methanol reformer for a fuel cell were investigated. The major studied parameters were, oxygen/methanol (O/C) ratio, fuel supply rate, heating power and heating temperature. The compositions of the product gases from the reformer were measured. To get the rapid hydrogen production in the transient conditions of the reformer was the main aim of the project.

In this study, a small methanol reformer with fuel, air and water injectors, heaters and a catalyst was constructed. The methanol was injected into the reformer after vaporizing, and then came into the catalyst. In order to obtain the fast response of reaction in the

transient conditions, eight glow plugs were mounted in the inlet of the catalyst, and the flow temperature could be well controlled. The product gases were measured at the exit of the catalyst.

The results showed that the best response of cold start was with 960W heating power, 80°C heating temperature, 14mL/min methanol and 70L/min air supply rates. The time it took to reach the stable H₂ production was about 4-5 minutes. In general, H₂ production began at 100°C of catalyst outlet temperature; and the stable production achieved at the temperature of 350°C.

Keywords: fuel cell, methanol reformer, transient performance

二、緣由與目的

都會區嚴重的污染問題，為現今世界各國所必須共同面臨的問題，一般均認為電動車輛為解決此一問題的有效方法之一，但受限於電池蓄電量及充電時間等問題，以傳統電池的供電方式一直無法普遍被接受。

燃料電池被認為最有希望解決此一問題的明日之星，但燃料電池使用於小型車輛，氫氣的來源及儲存是首先必須面臨的問題。因為氫氣為相當易燃的氣體，所以若以氣態直接裝灌於高壓鋼瓶中，危險性相當高。目前已開發出合金儲氫罐，可供燃料電池式電動車輛安全使用。但是以小型重組器直接於車上生產氫氣取代儲氫罐，應該是最具前瞻性的方式。但重組器尚有諸如冷起動反應速率、暫態反應及體積大小等亟待克服的問題。

氫氣可經由甲醇、天然氣、輕油等碳氫燃料，經重組程序取得[1]，重組的方法有部分氧化法(Partial Oxidation)、水蒸汽重組法(Steam Reforming)等，其中甲醇燃料具容易分解、反應溫度低(約 250 °C)的特性，相當適合使用水蒸汽重組法[2]。

國內工研院能資所於 82 年即有燃料電池用重組器的研究成果發表。鄭煜騰[3]於重組器設計要點及其

發展進行探討分析。宋隆裕[4]則針對甲醇燃料重組器進行理論及實驗研究，發現重組反應溫度提高，甲醇轉化效率提高，但 CO 濃度也相對升高，建議重組器出口溫度控制在 180 ~310 之間。宋隆裕[5]亦針對甲烷水蒸汽重組器進行測試研究，發現重組產物中 CO 已符合燃料電池要求；另建議 S/C (水/甲醇莫耳數) 比不要太高，會浪費熱量於水的加熱；亦建議未來應在啟動、變負載時進行研究。陳泓政等人[6]製作一小型甲醇重組器，以金屬擔體配合 Cu-ZnO/Al₂O₃ 為觸媒，進行諸多參數的研究，發現 S/C=1.8, O/C=0.2(氧氣/甲醇莫耳數比) 可得最佳運作。

最近幾年於重組器方面，國外更如火如荼地進行研究發展，尤其於車上直接產生氫氣為主要目標，亦針對起動特性、動態特性等進行探討，但截至目前為止，都尚未能符合實際行車的需求。所以在冷起動及動態特性方面，仍有許多尚待努力之處。

德國及丹麥等國在甲醇重組器方面有一連串的研究發表，其中亦有針對冷起動、動態特性等問題作研究者。Hohlein 等人[7]製作一甲醇水蒸汽重組系統，分別操作在 240、260 及 280 等狀況，發現重組器產出氣體之 CO 濃度與加熱模式、重組器溫度變化曲線關係密切；亦認為起動特性仍不符合預期要求。Emonts 等人[8]建立一甲醇水蒸汽重組器，發現低負載時，甲醇的轉化效率可達 100%，操作溫度由 260 提升至 280 時可獲得明顯的改善，但溫度再升高改善則不明顯；另外亦發現，溫度越高 CO 濃度越高，負載增加 CO 則越低。Wiese 等人[9]的研究仍以甲醇水蒸汽重組器為研究對象，研究狀況包括靜態、動態及起動等狀況，他們發覺從起動算起，約十分鐘之後才會有反應；另外亦發現供油系統的反應速率影響重組器的動態反應至鉅，若改成噴射方式則會獲得改善。Han 等人[2]則建立一 3kW 的甲醇重組器進行研究，冷起動之後經過 15 分鐘達最大的氫氣輸出。此一系統的熱效率高達 89%，為現今所有發表資料中效率最高者。

由以上的回顧可知，甲醇重組器反應溫度低，最希望應用於移動車輛者，為從事此一研究領域者的主要研究對象。但起動特性、動態特性等仍是問題的焦點，且目前的研究結果都尚未能符合移動車輛實際應用的需求，尚有諸有需要研究解決的問題，故本研究以此為主題進行研究。

三、研究設備與方法

3.1 研究設備

本研究的主體架構重組器，由本實驗室自行設計組裝。本體週邊包括燃料供應系統、氣流溫度控制系統、氣體取樣分析系統等。其中重組器的觸媒由工研院化工所提供，觸媒規格如表 1 所示。蜂巢式陶瓷擔體塗佈上觸媒，主成分為 Pt 加上混合氧化物 Cu-ZnO/Al₂O₃；燃料供應系統主要包括液體燃料供應系統及氣體供應系統，液體燃料供應系統包括過濾

器、電動燃料泵、調壓閥、流量計、燃油噴嘴；氣體供應系統包括調壓閥、過濾器、流量計、單孔與多孔氣嘴。液體燃料甲醇經由燃油噴嘴將其霧化。氣流溫度控制系統包括加熱塞、溫度控制器、溫度擷取裝置等。每支加熱塞加熱功率為 120W，本系統總共裝置八支，可同時提供 960W 的加熱功率，可針對進入觸媒的氣流作適當的溫度控制；本系統的 K-type 熱電偶分別裝置於燃料噴霧前端及後端、觸媒進口、觸媒出口及漸縮管的最小直徑處等。觸媒出口溫度為加熱控制器回授訊號。氣體取樣分析系統包括氣相層析儀(GC, Agilent 6850)、冷凝器、抽氣泵、取樣袋及氣密針等。實驗配置如圖 1 所示。

3.2 研究方法

本文以研究冷起動特性為主，採用部分氧化法(Partial Oxidation)來進行冷起動實驗研究，找出冷起動之最佳實驗參數與操作程序，實驗參數有加熱功率(Heating Power)、加熱溫度(Heating Temperature)、甲醇進料率以及空氣流率。實驗的進行，依序先開啟氣相層析儀待測狀態、起動資料蒐集系統。一切準備就緒後，隨即開啟加熱系統，並導入空氣將加熱塞熱量帶進觸媒預熱，經過 10 秒鐘後，液體燃料供應系統即開始進料，同時利用氣體取樣泵每隔 60 秒以取樣袋取樣一次，並立即分析氣體產出的暫態特性，直到氣體產出成分達穩定為止。分析完後的取樣袋必須予以抽真空，亦即不能留下任何氣體在取樣袋內。冷起動測試每次間隔需達六小時以上，待重組器本體各部位溫度均已回到室溫才可再進行下一次的冷起動測試。在穩態特性方面，本研究採用的重組方法為部分氧化法，首先以甲醇供應流率為基準，並依 O/C 比推算出所需的空氣供應流率。本研究採用甲醇供應率分別為 14、10 及 6mL/min, O/C 則介於 0.12~0.97 之間。

氣相層析儀為本研究的重要量測設備之一，檢量線的決定影響氣體成分的量測準確性至鉅。檢量線的決定，必須分別準備三種不同濃度之待測氣體注入氣相層析儀以求出檢量線，而且 R² (相關係數) 必須維持在 0.999 以上。往後的氣體濃度即根據此曲線求出。本系統所採用的攜行氣體(Carrier gas)為氫氣(Ar)。所採用的管柱(Column)為 SUPELCO 1-2390-U。氣相層析儀設定條件為，攜行氣體流率(Carrier Gas Flow) 10mL/min、注射口溫度(Inlet temperature)100、爐溫(Oven temperature)160、偵測器溫度(Detector temperature)200。

四、結果與討論

於實驗開始，即先分別針對不同加熱功率，配合不同加熱溫度、甲醇進料率及空氣流率等操作參數來進行探討，找出最佳冷起動之實驗參數與操作程序。圖 2~圖 4 所示即為在上述之設定條件下，從冷起動起，觸媒出口溫度達 200°C 所需時間的比較探討。

首先，圖 2 加熱功率為 960 W 時，於不同甲醇供

應率及不同加熱溫度下，空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 時之時間的影響比較。由圖可知，在設定加熱溫度為 80°C、甲醇進料率 14mL/min 時，空氣流率 70L/min 時可得最佳冷起動效果，時間約為 220 秒；在設定加熱溫度為 60°C、40°C 者，空氣流率 70L/min 時亦可獲得最佳冷起動效果，所需時間分別為 230 秒及 257 秒。接著，在加熱溫度同為 80°C 之下，甲醇進料率 10mL/min 者，空氣流率為 60L/min 時可得最佳冷起動效果，時間約為 260 秒，在其他設定加熱溫度為 60°C、40°C 者，空氣流率 60L/min 時，亦可獲得最佳冷起動效果，所需時間則分別為 270 秒及 275 秒。然而在甲醇進料率 6mL/min 時冷起動所需的時間則均長達 380 秒以上，明顯比前兩者慢了許多。儘管如此，在上述的甲醇及空氣供應進料率下，設定加熱溫度為 80°C、60°C 及 40°C 者，觸媒出口溫度最終都可到達 200°C，亦即觸媒均可達到自行反應的溫度。

圖 3 為加熱功率 720 W 時，於不同甲醇供應率及不同加熱溫度下，空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 之時間的影響比較。由圖可知，在設定加熱溫度為 80°C、甲醇進料率 14mL/min 時，空氣流率為 70L/min 時可得最佳冷起動效果，時間約為 235 秒，在其他設定加熱溫度為 60°C、40°C 者，最佳空氣供應率亦為 70L/min，所需時間則分別為 250 秒及 265 秒。接著，甲醇進料率 10mL/min 時，空氣流率為 60L/min 時可得最佳冷起動效果，時間約在 270~280 秒之間；而在甲醇進料量 6mL/min 時冷起動所需的時間仍然是最長。

圖 4 所示為空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 之時間的影響比較，加熱功率為 480 W，其他設定條件與前述者相同。由圖可知在加熱溫度為 80°C，空氣流率 70L/min 時，可獲得最短冷起動時間，約在 245~280 秒之間。甲醇進料率 10mL/min 時，空氣流率為 60L/min 者，亦可得最佳冷起動效果，時間約在 280~300 秒之間。而在甲醇進料率 6mL/min 時冷起動所需的時間仍為最長。

由上述實驗結果得知，在加熱功率 960 W、加熱溫度 80°C、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min 的操作參數下，冷起動所需的時間最短。從冷起動起，到觸媒出口溫度 200°C，約只需 220 秒；在加熱功率 960 W、加熱溫度 60°C、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min 時，冷起動所需的時間次之，約需要 230 秒。

由圖 5 所示為冷起動暫態過程之重組器各部位溫度變化，設定的加熱功率為 960W、加熱溫度為 80°C、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min。T₁ 與 T₂ 分別為燃料噴霧前端及後端之溫度，T₃ 是觸媒進口之溫度，T₄ 為觸媒出口之溫度。由圖中溫度的變化情形可得知，T₁、T₂、T₃ 於冷起動之後，甲醇立即與高溫的空氣和加熱器接觸，致使產生劇烈氧化而急速升溫。本實驗即利用氣流將熱量帶至觸媒加溫，當觸媒出口被加熱至所設定的溫度 80°C 時，加熱器即停止加

熱。此時，因為加熱器已切斷電源停止加熱，故在觸媒之前氣流溫度已下降，甲醇便不會在此氧化，而且此時觸媒溫度已上升，所以即可將空氣流量下降，使甲醇於觸媒產生反應。此時 T₁、T₂ 及 T₃ 的溫度因為加熱器的停止加熱，加上空氣量的減少，使甲醇氧化的熱量降低而迅速下降，T₄ 的溫度則因為觸媒自行反應而迅速升溫。

圖 6 為加熱功率 960W 時之冷起動暫態過程產出之 H₂、CO、CO₂ 氣體成分與觸媒出口溫度變化情形，設定者為最佳冷起動之操作條件，即加熱溫度 80°C、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min。由圖可知，氫氣濃度在觸媒出口溫度 80°C 以下時均為零，原因乃係為加速觸媒的升溫，均是以甲醇與空氣接近理論空燃比的條件下反應，釋放大量熱能針對觸媒及重組器本體加熱，因此幾乎大部分甲醇因劇烈氧化而燃燒掉。故在一開始即有 5% 的 CO₂、CO 及 H₂ 濃度均為零，直到加熱器不再加熱並適量調低空氣流率，甲醇由劇烈氧化變為部分氧化的狀態後，才有氫氣產出，此時觸媒出口溫度約 100°C。之後，觸媒出口溫度即快速上升，H₂ 濃度也快速升高，CO 及 CO₂ 濃度也緩慢上升。當觸媒出口溫度約 350°C 時，氫氣濃度即達穩定狀態，濃度約 37 Vol%。

圖 7、圖 8 分別為加熱功率 720W 及 480W 時之冷起動暫態過程，重組氣體的產出成分與觸媒出口溫度變化。大致上觸媒出口的溫度與 H₂、CO、CO₂ 等氣體濃度的變化趨勢與加熱功率為 960W 者相近，主要差異則在於整體升溫較慢，致使觸媒反應延後，觸媒反應速度略遜於加熱功率 960W 者。

圖 9 為冷起動暫態過程中，不同加熱功率對於觸媒出口溫度變化與 H₂ 產出濃度對照比較。由此圖明顯可知，加熱功率 960W 者，觸媒出口升溫最快，氫氣上升速率也最快，加熱功率 720W 者次之，加熱功率 480W 者，則為最慢。經前面不同加熱功率的實驗探討得知，在三種情況下，加熱功率大者，溫升及 H₂ 產出上升速率較大，但對於 H₂ 產出到達穩定的時間幾乎相同，產出的 H₂ 濃度也相近。

圖 10~圖 12 所示為不同甲醇進料率，重組器達穩定狀況時，O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響。圖 10 所示為甲醇進料率為 14mL/min 者，由圖可知，當 O/C 比為 0.12 時，觸媒出口溫度最低，約維持 250°C，H₂、CO、CO₂ 產出濃度也是最低，分別約為 18.5、2.0、11.5 Vol%；隨著 O/C 比的調高，觸媒出口溫度也隨著上升，使得觸媒反應效率得以提高，並提高 H₂ 產出濃度，直到 O/C 為 0.42 時，H₂ 與 CO 濃度達最高點，分別約 41 Vol% 與 9.4 Vol%，此時觸媒出口的溫度約 350°C。但是如果將 O/C 比繼續提高，雖然觸媒出口溫度也繼續升高，卻致使 H₂ 產出濃度的降低，其原因應為過多的甲醇被燃燒掉所致。然而因為觸媒有一定的工作溫度，所以本研究之觸媒出口溫度控制在 200~400°C 之間，O/C 比則設定在 0.12~0.49 的範圍，未再往上測試。

圖 11 所示為甲醇進料率 10mL/min 時，重組器達穩定狀況下，O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響。由圖可知，當 O/C 設定在 0.17 時，觸媒出口溫度均可穩定維持在約 240 附近， H_2 、 CO 、 CO_2 產出濃度分別約為 17.4、1.9、11.3 Vol%。隨著 O/C 比的增加，觸媒出口溫度與產出氣體濃度也隨之增加，直到 O/C 為 0.58 時， H_2 與 CO 濃度達最高值，分別約為 36.5 Vol% 與 8.75 Vol%，此時觸媒出口的溫度約 355。然而因為觸媒工作溫度的關係，故 O/C 設定在 0.17~0.69 的範圍，使本研究之觸媒出口溫度得以控制在 200~400。

圖 12 所示為甲醇進料率 6mL/min 時，重組器達穩定狀況下，O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響。由圖可知，其趨勢與前面所述者相近，但溫度以明顯偏低， H_2 濃度最高點出現在 O/C 比為 0.74 時，約為 29.3 Vol%，此時觸媒出口的溫度約 320。

圖 13 所示為重組器達穩定狀時，在各種甲醇供應率與 O/C 比條件下，觸媒出口溫度與 H_2 產出濃度的相對關係的整理比較。首先由於甲醇進料率及觸媒工作溫度限制的關係，所以在不同的甲醇進料率之下，會有不同的 O/C 比範圍。接著，由圖明顯可知，在不同的甲醇進料率之下，對於觸媒出口溫度與 H_2 產出的濃度都有相似的趨勢，亦即當提升 O/C 比，觸媒出口溫度與 H_2 濃度也隨之增加，在甲醇進料率 14mL/min，O/C 為 0.42 時，最佳的 H_2 產出濃度約達 41 Vol%；甲醇進料率 10mL/min，O/C 為 0.58 時，最佳的 H_2 產出濃度則約有 36.5 Vol%；甲醇進料率 6mL/min，O/C 比為 0.74 時，最佳 H_2 產出濃度則降至約只有 29.3 Vol%。在經過此峰值之後，雖然觸媒出口溫度仍繼續上升， H_2 產出濃度卻呈現下降的趨勢。

五、結論與成果自評

結論

由以上一系列的實驗研究結果可知，冷起動方面，加熱功率及甲醇進料率越大，均可獲得較快的冷啟動反應。加熱功率 960W、加熱溫度 80、甲醇進料率 14mL/min、空氣流率 70L/min 時，能於最短時間內快速起動，自冷起動開始，220 秒即開始產出氫氣，達氫氣穩定產量時所需時間約只要 4~5 分鐘；當觸媒出口溫度約 100 左右即開始產出氫氣，並於約 350 時達氫氣最大產出濃度。在不同的加熱功率、配合不同加熱溫度、甲醇進料率及空氣流率下，重組器最終均可達穩定的 H_2 產出。

穩態測試方面，甲醇進料率越大，觸媒出口溫度越高， H_2 的產出濃度也越大。另外，隨著 O/C 比的改變， H_2 的產出濃度均有其峰值的存在。因此 O/C 比的設定，須配合不同的甲醇進料率，才能使觸媒達最佳的 H_2 產出效果。

成果自評

在整體成果方面，已達成部分氧化法在於冷起動

暫態過程的研究測試，並已提出兩個專利申請案 [10-11]，且一篇文章將發表於中華民國燃燒學會第十四屆學術研討會（2004 年）[12]；另外，一篇文章亦將投稿於國外期刊[13]，計畫的其他成果亦將陸續投稿於相關學術期刊。

本計畫的重要成果為，針對小型甲醇重組器的冷起動暫態特性研究，完成重組器測試系統及量測系統的建立，並已完成重組器冷起動的階段性研究測試，掌握諸多促使重組器快速冷起動產出氫氣的操作參數。目前所完成者，以部分氧化法冷起動，約可於 4-5 分鐘之內使重組器達到穩定產出氫氣的階段。因為水蒸氣重組法反應較慢，較難於短時間內達成冷起动的效果，故往後的研究方向，將會先以部分氧化法冷起動，於觸媒達穩定狀態之後即切換至自動熱反應 (Auto-thermal Reforming) 或水蒸氣重組法方面來進行研究，以達到更快速產出氫氣、提高氫氣產出濃度的方向進行研究。

六、參考文獻

- [1] 鄭耀宗，楊正光，蘇華宗，燃料電池發電技術的發展與推廣，能源季刊，第二十五卷，第三期，pp.158-180，八十四年七月。
- [2] Han, J.S., Kim, I.S. and Choi, K.S., Purifier-integrated methanol reformer for fuel cell vehicles, Journal of Power Sources, Vol. 86, pp.223-227, 2000.
- [3] 鄭煜騰，燃料電池用重組器設計要點及新發展，能源季刊，第二十三卷，第三期，pp.107-114，八十二年七月。
- [4] 宋隆裕，燃料電池用甲醇重組器之測試研究，能源季刊，第二十四卷，第一期，pp.69-88，八十三年一月。
- [5] 宋隆裕，燃料電池用甲烷水蒸汽重組反應之測試與分析，能源季刊，第二十四卷，第三期，pp.96-116，八十三年七月。
- [6] 陳泓政，燃料電池用之甲醇重組器氫氣產生研究，國立成功大學航空太空工程系碩士論文，2002 年 6 月。
- [7] Hohlein, B., Boe, M., Bogild-Hansen, J., Brockerhoff, P., Colman, G. and Emonts, B., Hydrogen from methanol for fuel cells in mobile systems: development of a compact reformer, Journal of Power Sources, Vol. 61, pp.143-147, 1996.
- [8] Emonts, B., Hansen, J.B., Jorgensen, S.L., Hohlein, B. and Peters, R., Compact methanol reformer test for fuel-cell-powered light-duty vehicles, Journal of Power Sources, Vol. 71, pp.288-293, 1998.
- [9] Wiese, W., Emonts, B. and Peters, R., Methanol steam reforming in a fuel cell drive system, Journal of Power Sources, Vol. 84, pp.187-193, 1999.
- [10] 洪榮芳，賴維祥，周煥銘，許天秋，施宏杰，

液態燃料之低壓空氣輔助霧化裝置，2003 年 3 月提出申請。

- [11] 洪榮芳, 周煥銘, 詹前歆, 邱韋丞, 可自動切換操作模式之碳氫燃料重組器, 2003 年 12 月提出申請。
- [12] 洪榮芳, 周煥銘, 詹前歆, 邱韋丞, 施宏杰, 鍾金良, 侯嘉福, 小型甲醇重組器冷起動過程之暫態特性研究, (已接受, 將發表於中華民國燃燒學會第十四屆學術研討會, 2004 年)。
- [13] Horng, Rong-Fang and Chou, Huann-Ming, Transient Behavior of a Small Methanol Reformer during Cold-Start Conditions, (will be submitted, 2004).

表 1 重組器規格

本體	
反應室	124 ϕ mm 不銹鋼管
高度	510 mm
噴嘴	燃料、水、空氣
加熱器	120W \times 8 支加熱塞
加熱器電源	12VDC
觸媒	
擔體	陶瓷
直徑	117 ϕ mm
長度	50 mm
成分	Pt 與 Cu-ZnO/Al ₂ O ₃
孔數	64 cells/cm ²

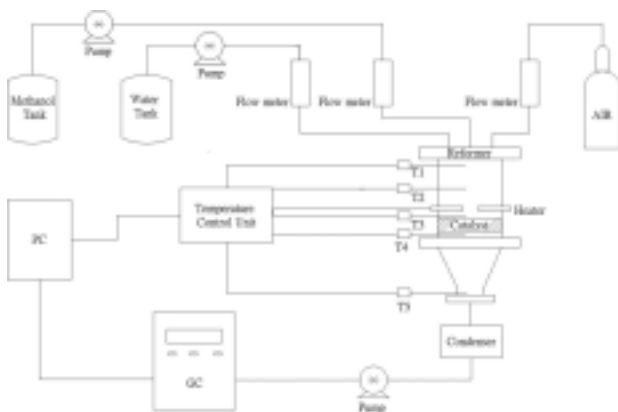


圖 1 甲醇重組器實驗配置圖

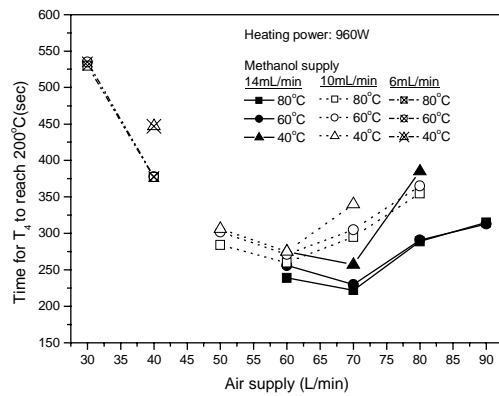


圖 2 加熱功率 960 W 時, 於不同甲醇供應率及不同加熱溫度下, 空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 之時間的影響比較

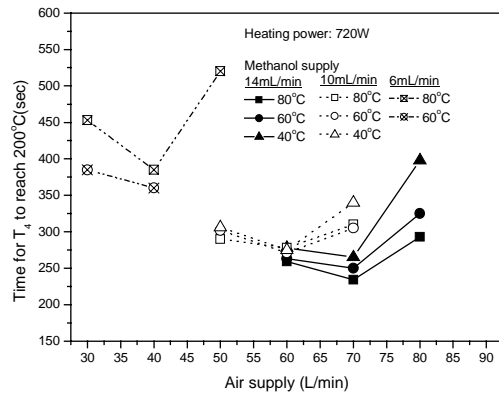


圖 3 加熱功率 720 W 時, 於不同甲醇供應率及不同加熱溫度下, 空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 之時間的影響比較

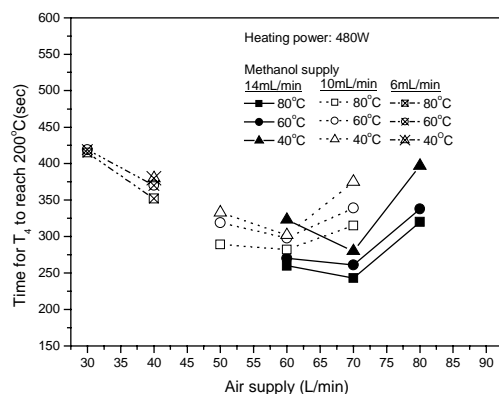


圖 4 加熱功率 480 W 時, 於不同甲醇供應率及不同加熱溫度下, 空氣供應率對於觸媒出口溫度達 200°C 之時間的影響比較

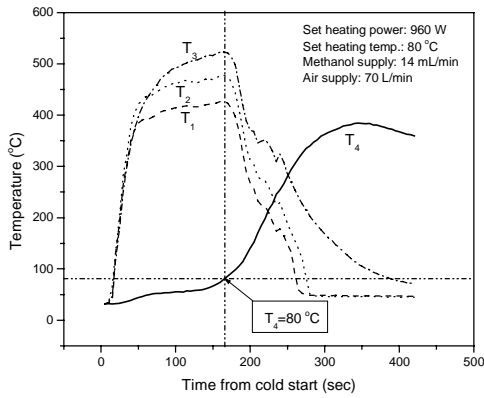


圖 5 冷起動暫態過程之重組器各部位溫度變化

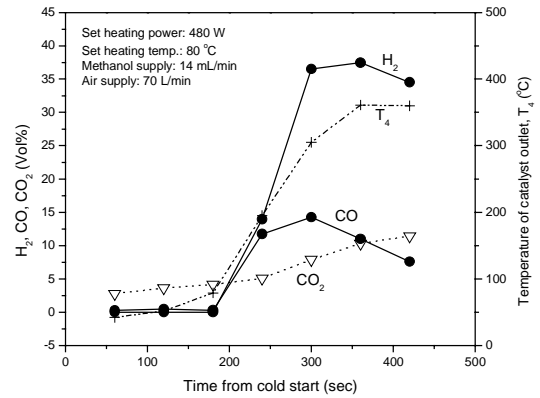


圖 8 冷起動暫態過程之產出氣體成分與觸媒出口溫度變化(加熱功率：480W)

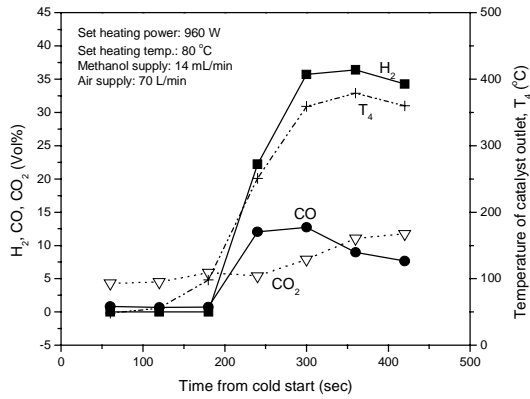


圖 6 冷起動暫態過程之產出氣體成分與觸媒出口溫度變化(加熱功率：960W)

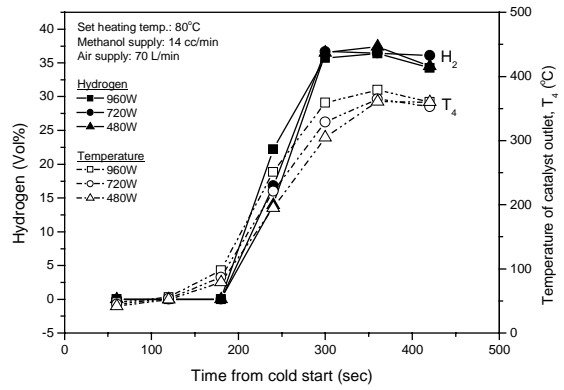


圖 9 冷起動過程中，不同加熱功率對於觸媒出口溫度變化與 H₂ 產出濃度對照比較

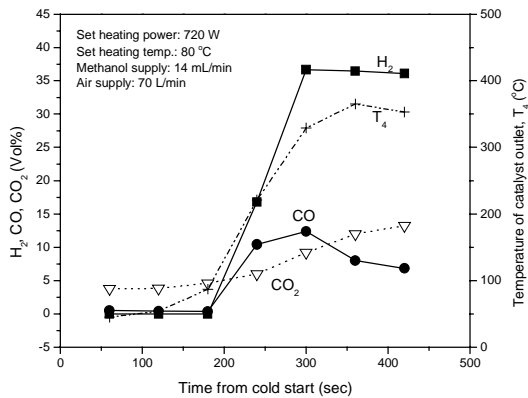


圖 7 冷起動暫態過程之產出氣體成分與觸媒出口溫度變化(加熱功率：720W)

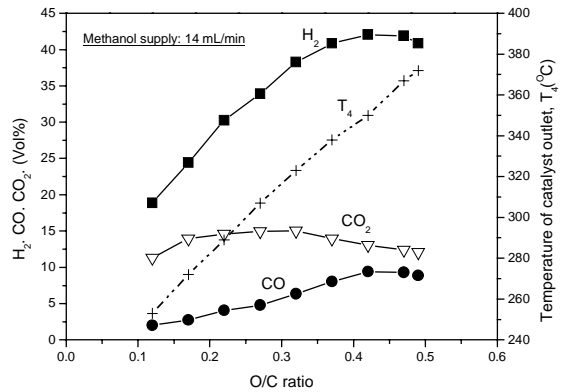


圖 10 重組器達穩定狀況下，O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響 (甲醇進料率：14mL/min)

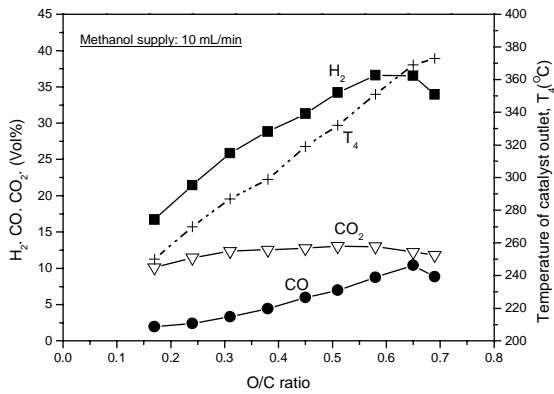


圖 11 重組器達穩定狀況下, O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響 (甲醇進料率: 10mL/min)

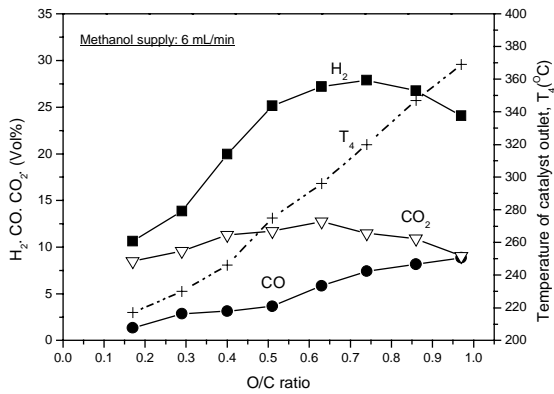


圖 12 重組器達穩定狀況下, O/C 比對於觸媒出口溫度與產出氣體濃度的影響 (甲醇進料率: 6mL/min)

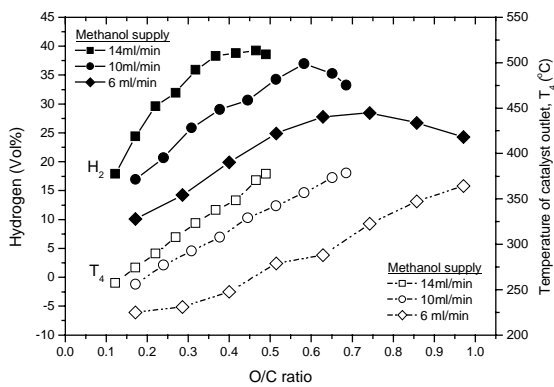


圖 13 重組器達穩定狀況時, 在各種甲醇供應率與 O/C 比條件下, 觸媒出口溫度與 H₂ 產出濃度的相對關係探討