



迴轉式流道對質子交換膜燃料電池性能影響之實驗研究

Experimental Study on the Performance of the Proton Exchange Membrane Fuel Cells with Circumrotated Flow Channels

蔡錦山¹ 賴致呈² 高柏超² 黃柏銓²

Chin-Shan, Tsai¹, Chih-Cheng, Lai², Po-Chao, Kao², Po-Chuan, Huang²

南榮技術學院 工程科技研究所副教授¹
南榮技術學院 機械工程系學生²

Graduate School of Engineering Science and Technology, Nan Jeon Institute of Technology, Associate Professor¹
Department of Mechanical Engineering, Nan Jeon Institute of Technology, Student²

摘要

本研究主要是以低電阻、厚度為1mm之JIS C2800黃銅板作為雙極板流道材料，製作迴轉式及指叉迴轉式流道，並探討不同型式之流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。各雙極板之流道及肋部寬度皆為2mm，本研究所使用之質子交換膜材質為Nafion NRE211，其作用面積為3.5cm×3.5cm。以扭力扳手組裝燃料電池時，其扭力值設定為42.5kgf-cm。

由實驗結果顯示，在高電流密度時，當增加氫氣及氧氣流量時，各式雙極板流道之燃料電池效能隨之提昇。在本研究之實驗條件下，當以相同之供氣方式及燃料流量時，指叉迴轉式燃料電池之性能優於迴轉式流道。迴轉式流道燃料電池之性能，其供氣方式為外進內出優於內進外出；指叉迴轉式流道燃料電池之性能則以外進內出最佳、內進外出次之、外進外出最差。

關鍵字：雙極板、迴轉式、指叉迴轉式、質子交換膜燃料電池

Abstract

Two bipolar plates, namely circumrotated and interdigitated-circumrotated flow channels, are used to analyze the performance of the proton exchange membrane fuel cells (PEMFC). The bipolar plates are made of low resistance brass plate, JIS C2800, with 1mm thickness in the study. Both the flow channels and ribs width are 1mm for all designs of bipolar plates. The membrane material is Nafion NRE211 with active area 3.5cm×3.5cm. The calibrated torques wrench is used to assemble the PEMFC, and the suggested torque is 42.5kgf-cm.

The experimental results show that the PEMFCs have better performance while hydrogen and oxygen flow rates increase under high current densities. While the fuel supply conditions and fuel flows are the same, the PEMFC performance of the interdigitated-circumrotated flow channel is better than the circumrotated flow field. The fuel supply condition of outer inlet and inner outlet is better than inner inlet and outer outlet for the PEMFC performance with the circumrotated flow channel. The fuel supply condition of outer inlet and inner outlet has the best PEMFC performance with the interdigitated-circumrotated flow channel, inner inlet and outer outlet gets the second place, and outer inlet and outer outlet is the worst of all under the experimental conditions of the study.

Keywords: bipolar plate, circumrotated, interdigitated-circumrotated, proton exchange membrane fuel cell



一、前言

質子交換膜燃料電池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)可直接將燃料之化學能轉換成電能，其能源利用率高達40~60%，實際應用於交通載具系統時最高可達到43%，高於傳統之內燃機系統。質子交換膜燃料電池因無需經過燃燒過程即可將化學能直接轉換成電能，因此其效率可高於傳統發電方式、較為環保，並具有低操作溫度、低污染、高效率、高能量密度、啟動快速、良好的暫態響應等優點，且因設計簡單、使用壽命長，因此應用範圍極為廣泛[1-3]。

有關流道幾何形狀對PEMFC性能之影響的研究相當多，所探討之雙極板流道主要包括直通式平行流道(straight channel)、蛇形流道(serpentine channel)及指叉型流道(interdigitated channel)[4-7]。

Susai et al. [8]研究以石墨與熱固性樹脂為基材的合成雙極板，利用樹脂的高度可塑性來做形狀複雜的外型，流道區則貼上石墨，以增加電子傳導性、抗腐蝕性與耐熱性。設計液態水由雙極板頂端沿流道流下，直接濕潤交換膜，使流道同時有燃料氣體與液態水在其中流動，實驗證明交換膜可隨時都處於潤濕度極好的狀態下。

隋升、顧軍和李光強[9]之研究顯示，限制PEMFC性能的主要因素是陰極氧催化還原過程與反應物傳遞過程的動力學條件，亦即PEMFC陰極側的反應較陽極側的反應慢，因此PEMFC的性能是由陰極側反應速率快慢決定。

由於傳統質子交換膜燃料電池所使用之雙極板流道主要為直通式平行流道、蛇形流道及指叉型流道，當長時間使用時燃料電池之雙極板氣體通道極易積水、無法排除、影響燃料電池性能。因此在本研究中將以黃銅板製作迴轉式及指叉迴轉式流道，以加強燃料電池對液態水之排除能力，並進行實驗以探討流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。

二、質子交換膜燃料電池模組之製作與測試

(一) 質子交換膜燃料電池之結構

一般質子交換膜燃料電池之結構，主要可分為膜電極組(MEA)、雙極板及固定板，如圖 1 所示[10]。膜電極組是由陽極、陰極及質子交換膜經熱壓程序製成，使電





極與質子交換膜緊密結合，而輸出更大的功率；製作雙極板之材料有石墨板、金屬板或複合石墨及碳纖維板，為具高導電性及熱的良導體，可加工成各類氣體導流槽，作為反應氣體通道；固定板之作用為固定燃料電池層狀組織與隔絕外部空氣，可利用金屬板或壓克力材質製成。

在本研究中將以具有低電阻、厚度為 1mm 之 JIS C2800 黃銅板作為雙極板流道材料，設計、加工製作迴轉式及指叉迴轉式流道結構，以扭力鉸手組裝質子交換膜燃料電池模組、利用電解器製作氫氣及氧氣進行實驗，並以安培計、伏特計量測燃料電池輸出之電流及電壓值、繪製燃料電池之極化曲線(polarization curve)及功率密度(power density)—電流密度(current density)曲線圖，以探討流道結構對質子交換膜燃料電池性能之影響。

(二) 雙極板流道之製作

在本文中以厚度為 1mm 之 JIS C2800 黃銅板作為雙極板流道材料，其中各流道結構之流道及肋部的寬度皆為 2mm，詳細流道設計圖如圖 2 所示。

在本研究中依所設計之流道結構、尺寸，利用繪圖軟體 AutoCAD 繪製，並加以轉檔為程式傳輸至線切割機，並將黃銅板固定在線切割機上進行加工，如圖 3 所示。由於線切割機之電極與工件為非接觸式，加工時工件所承受的加工應力極小，較不受工件材料強度、硬度及韌度之影響，因此本文以線切割機製作迴轉式及指叉迴轉式流道，圖 4 為已完成加工之雙極板流道。

(三) 質子交換膜燃料電池模組的組裝

燃料電池所使用之質子交換膜為七層膜電極組，其材質為 Nafion NRE211、作用面積為 3.5cm×3.5cm。組裝燃料電池時，所使用之扭力鉸手其扭力值設定為 42.5kgf-cm [11]，質子交換膜燃料電池模組之組裝流程如圖 5、圖 6 所示。

(四) 質子交換膜燃料電池性能的測試

本研究以自行設計、製作、組裝之質子交換膜燃料電池模組進行性能測試，實驗時先以電解器將水電解成氫氣及氧氣，以作為燃料電池之反應燃料；利用安培計、伏特計測得燃料電池之電流及電壓值，並除以膜電極組之作用面積則可求得燃料電池之電流密度及功率密度，而燃料電池之性能測試機台及實驗配置如圖 7 所示。



由於利用電解器電解水以產生氫氣及氧氣時，其輸入電壓不可超過 2V，因此測試燃料電池性能時，應控制電源供應器之電壓值。實驗時電源供應器之輸出電壓分別設定為 1.6、1.7 及 1.8V，可使電解器電解水所產生之氫氣流量分別為 5.53、7.95 及 8.76cc/min。此外，亦可將電解所得之氫氣及氧氣儲存在儲氣筒中備用。

測試質子交換膜燃料電池性能時，將氫氣及氧氣在自製之迴轉式及指叉迴轉式等流道結構之燃料電池模組中混合，可產生電能及水。實驗之反應氣體燃料採連續供氣（氫氣流量為 5.53、7.95 及 8.76cc/min），供氣時燃料可採流道內圈流入、外圈流出（內進外出）、外圈流入、內圈流出（外進內出）及外圈流入、外圈流出（外進外出）等三種方式。本研究之實驗步驟為：

1. 將電源供應器、電解模組及負載模組加以組合後，再加入新鮮並除去離子之蒸餾水至電解模組之補充筒中，注意水位不可過高。
2. 利用電源供應器之電壓，將蒸餾水電解成氫氣及氧氣，儲存在儲氣筒中。調整電解器之電壓可改變氫氣及氧氣之流量。使用電源供應器時，其電壓值僅能為 1.6~2.0V。
3. 將氫氣及氧氣在自製迴轉式及指叉迴轉式流道之燃料電池模組中混合，以輸出電能及產生水。
4. 利用負載（可變電阻），可改變燃料電池模組輸出之電壓及電流。
5. 實驗完畢，須將電解模組及燃料電池模組中之蒸餾水倒出，並將各模組分解歸定位。
6. 繪製迴轉式及指叉迴轉式流道電池模組之燃料電池極化曲線圖。
7. 繪製迴轉式及指叉迴轉式流道電池模組之燃料電池功率密度曲線圖。

三、結果與討論

由於質子交換膜之導離子能力與含水量有關，如果薄膜含水量過低，會降低其導離子能力，使燃料電池性能降低；但若薄膜含水量過高，亦會造成液態水堵塞雙極板流道、無法順利供應燃料，燃料電池性能亦會降低。由於傳統之直通式平行流道、蛇





形流道及指叉型流道極易在直角轉角處產生積水、水溢流(flooding)現象，而本研究所使用之迴轉式及指叉迴轉式流道，藉由供應氣體燃料流經轉角、改變流動方向時所產生之動量，可降低液態水對壁面的黏滯效應、減少雙極板流道堵塞。經由實驗觀察，本研究之迴轉式及指叉迴轉式流道，可使流道同時有燃料氣體與液態水在其中流動，具有良好的排水效果，且可直接濕潤交換膜，使其隨時都處於潤濕度極好的狀態下。

為探討燃料流量與質子交換膜燃料電池性能之關係，調整電源供應器之輸出電壓值，以控制電解器產生之氫氣、氧氣流量。由實驗結果發現，在低電流密度時，不同之供氣方式及流道結構之燃料電池性能差異不大；但在高電流密度時，則因濃度過電位(concentration overpotential)之影響，使得各燃料電池輸出之電流密度及功率密度將隨燃料流量之增加而提昇，如圖8~圖11所示。在圖12中，當供氣方式為外進外出之指叉迴轉式流道，氫氣流量為7.95cc/min時具有較佳之燃料電池性能，其可能原因為燃料電池模組已產生漏氣現象，造成燃料洩漏，使得燃料電池性能無法隨流量提昇。

在圖13、圖14中，當供給相同燃料流量情況（氫氣流量為8.76cc/min）、不同之供氣方式（內進外出或外進內出）時，指叉迴轉式流道燃料電池之性能皆優於迴轉式流道。指叉迴轉式流道因燃料可停留在燃料電池中之時間較久、可使燃料之分佈較為均勻，因此具有較佳之極化曲線及燃料電池性能。當供氣方式為外進內出之指叉迴轉式流道燃料電池，在高電流密度時，會因濃度過電位、燃料供應不足造成其性能低於迴轉式流道，如圖14所示。

為探討不同之供氣方式是否會影響燃料電池之性能，在本研究中以內進外出、外進內出及外進外出等三種進氣方式供給氫氣、氧氣。由圖 15 之實驗結果顯示，迴轉式流道燃料電池之供氣方式為外進內出時，其性能優於內進外出；指叉迴轉式流道燃料電池之性能則以外進內出最佳、內進外出次之、外進外出最差，如圖 16 所示。當燃料之供氣方式為外進內出時，隨著氣體燃料由外圈往內圈流動時，氣體流速會增加，使得雙極板流道內氣體燃料對液態水的推力也愈大、增加燃料反應速率、進而提昇燃料電池性能，如圖 15、圖 16 所示，此結果亦與蘇艾等人之研究相符[12]。由本文之實驗結果發現，不同之流道結構、進氣方式皆會影響燃料之分佈情形、反應效率及燃料電池效能。



四、結論

本文以厚度為1mm之JIS C2800黃銅板作為雙極板流道材料，利用自製之迴轉式及指叉迴轉式流道，探討不同型式流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。由實驗結果顯示，可得以下之結論：

1. 當增加氫氣及氧氣流量時，各流道之燃料電池效能隨之提昇。
2. 在本研究中之實驗條件下，當供給相同燃料流量、進氣方式，指叉迴轉式流道燃料電池之性能優於迴轉式流道。
3. 不同之供氣方式會影響燃料電池之效能，其中迴轉式流道之供氣方式為外進內出時，燃料電池之性能優於內進外出；指叉迴轉式流道燃料電池之性能則以外進內出最佳、內進外出次之、外進外出最差。

參考文獻

- [1] K. Kordesch and G. Simader, Fuel cells and their applications, VCH, New York, pp. 51-179, 1996.
- [2] 鄭煜騰、鄭耀宗，“質子交換膜型燃料電池的製造技術”，能源季刊，第二十七卷，第二期，pp. 118，1997。
- [3] 吳千舜、諸柏仁，“燃料電池質子交換膜的最近發展”，CHEMISTRY(THE CHINESE CHEM. SOC., Taipei)，Vol. 62，No. 1，pp.123~138，2004。
- [4] 洪榮崇、陳亭卉，“流道結構對質子交換膜燃料電池性能之研究”，中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，論文編號：A14-035，2009。
- [5] 邱青煌、蘇建誌、張庭璋、余佳陽，“質子交換膜燃料電池於不同流道形式之特性分析”，中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，論文編號：A14-019，2009。
- [6] M.S. Wilson, T.E. Springer, J. Davey and S. Gottesfeld, “Alternative flow-field and backing concepts for polymer electrolyte membrane fuel cells”, Electrochemical Soc. Proc. Ed., S. Gottesfield, G. Halpert, and A. Landgrebe, Vol. 95-23, pp. 115-126, 1995.
- [7] S. Um and C.Y. Wang, “Three dimensional analysis of transport and reaction in proton exchange membrane fuel cells”, in Proc. of the ASME Heat Transfer Division, 2000b.
- [8] T. Susai, A. Kawakami, A. Hamada, Y. Miyake, and Y. Azegami, “Development of a 1kW polymer electrolyte fuel cell power source”, Journal of Power Sources, Vol. 92, pp.



131-138, 2001.

[9] 隋升、顧軍、李光強，”PEMFC 氧電極研究動向”，化學通報，pp. 9，1999。

[10] “質子交換膜燃料電池的結構”，取自：<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!gfF5gRmaQE5oQtPhRc1MyCLDsQ--/article?mid=1454>。

[11] “MEA 測試組裝建議”，群翌能源股份有限公司。

[12] 蘇艾、翁芳柏、徐俊英、陳彥明，”燃料電池之雙極板流道結構”，中華民國專利，I232003，2004。

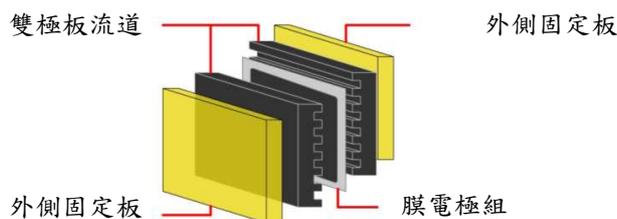


圖 1 質子交換膜燃料電池結構圖[10]

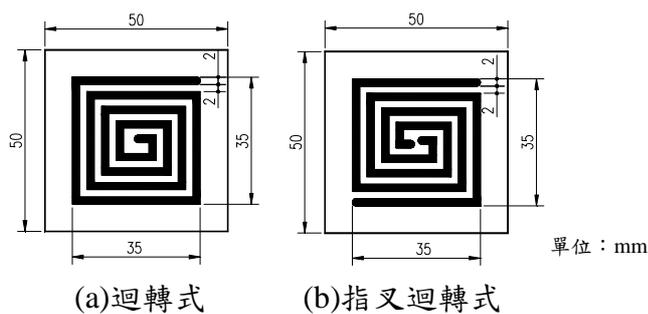


圖 2 質子交換膜燃料電池雙極板流道設計圖



線切割機加工路線模擬 ⇒ 黃銅板安裝於線切割機 ⇒ 線切割機切割雙極板

圖 3 線切割機加工雙極板流道流程圖

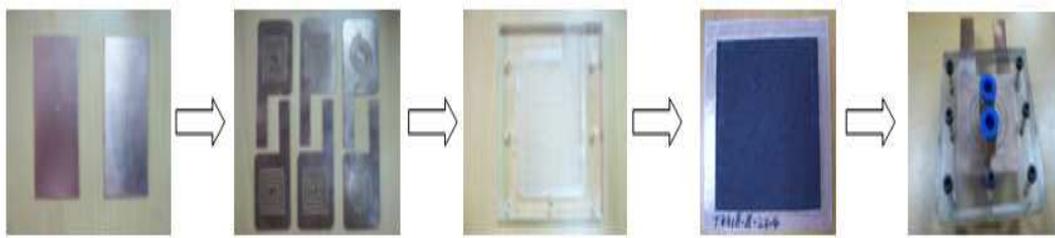


(a)迴轉式

(b)指叉迴轉式

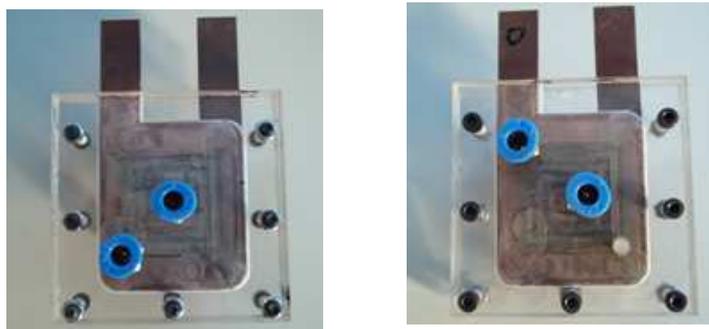
圖4 完成加工之雙極板流道





黃銅板胚料 ⇒ 雙極板流道成品 ⇒ 壓克力板成品 ⇒ 膜電極組 ⇒ 燃料電池模組

圖 5 燃料電池模組製作、組裝流程圖



(a)迴轉式

(b)指叉迴轉式蛇形

圖 6 完成組裝之質子交換膜燃料電池模組

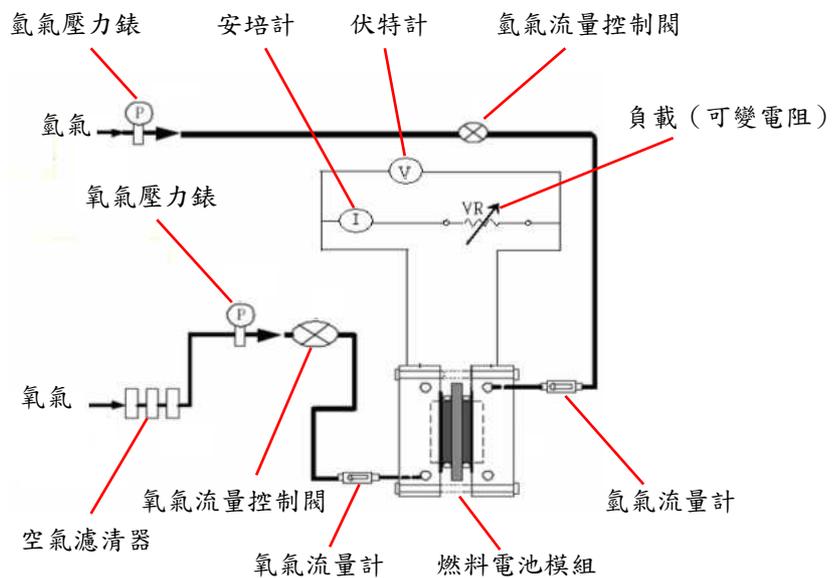
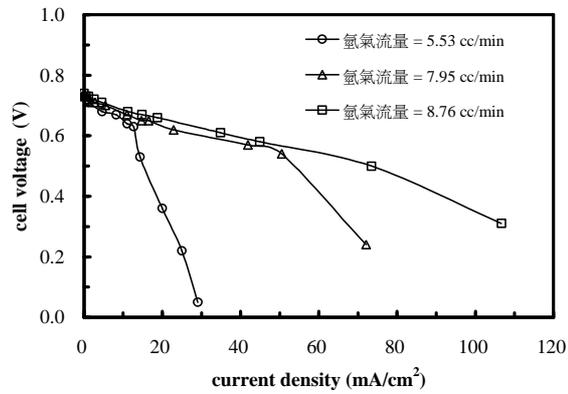
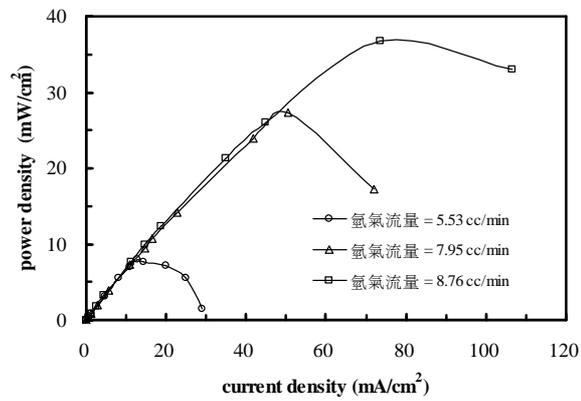


圖 7 質子交換膜燃料電池性能測試機台及配置圖



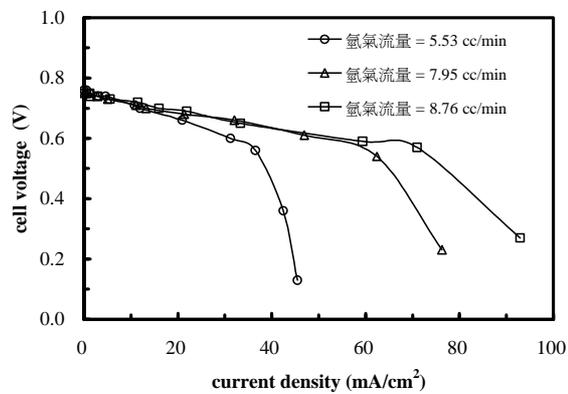


(a)極化曲線



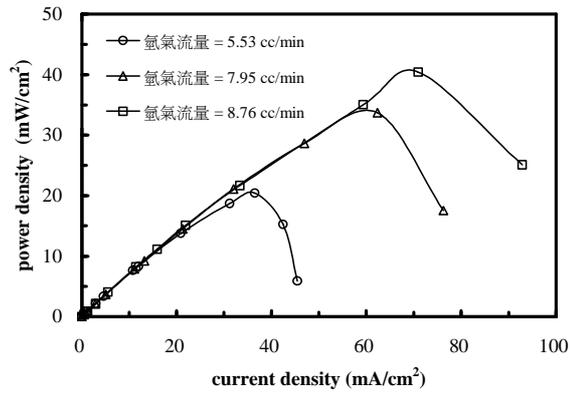
(b)功率密度

圖8 供氣方式為內進外出氫氣流量對迴轉式流道燃料電池性能之影響



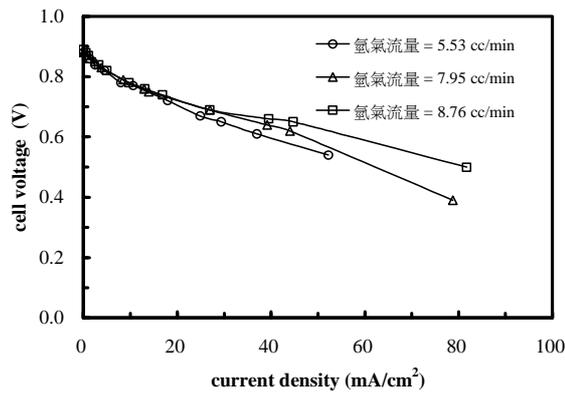
(a) 極化曲線



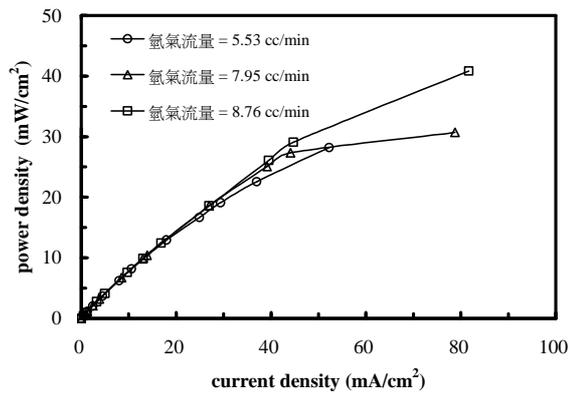


(b) 功率密度

圖9 供氣方式為外進內出氫氣流量對迴轉式流道燃料電池性能之影響



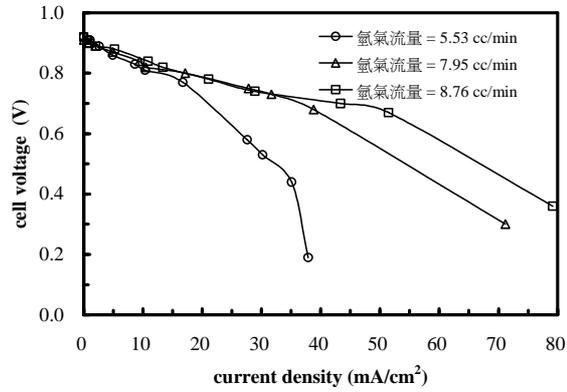
(a) 極化曲線



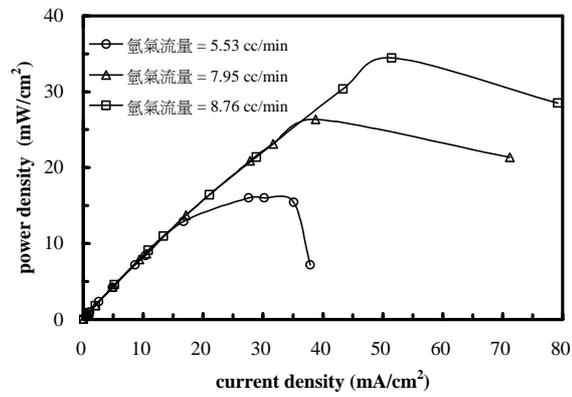
(b) 功率密度

圖10 供氣方式為內進外出氫氣流量對指叉迴轉式流道燃料電池性能之影響



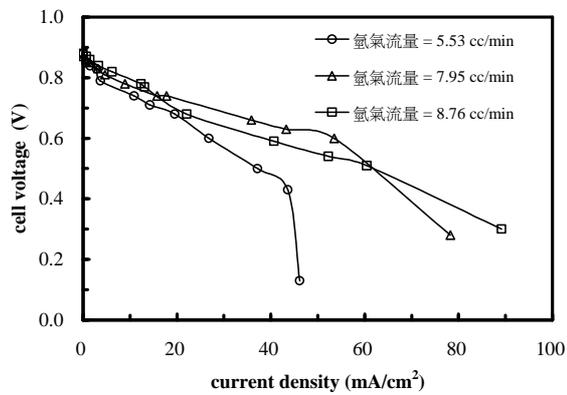


(a) 極化曲線



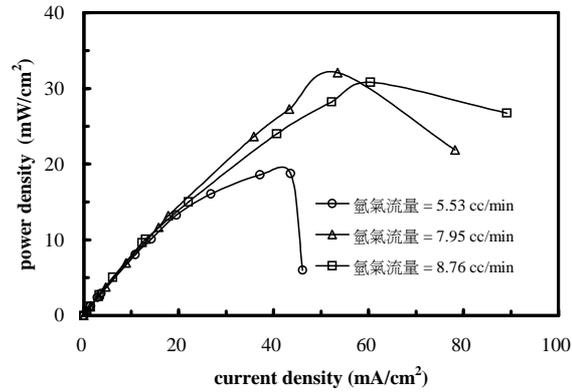
(b) 功率密度

圖11 供氣方式為外進內出氫氣流量對指叉迴轉式流道燃料電池性能之影響



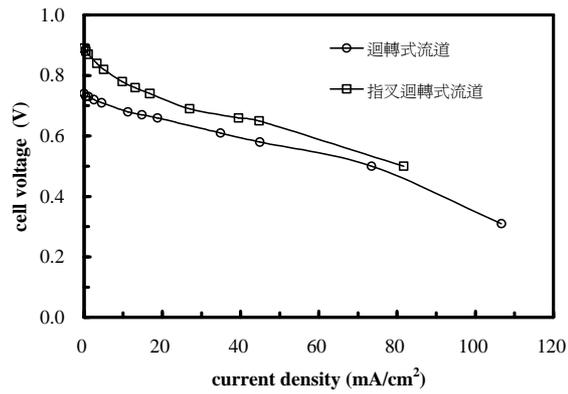
(a) 極化曲線



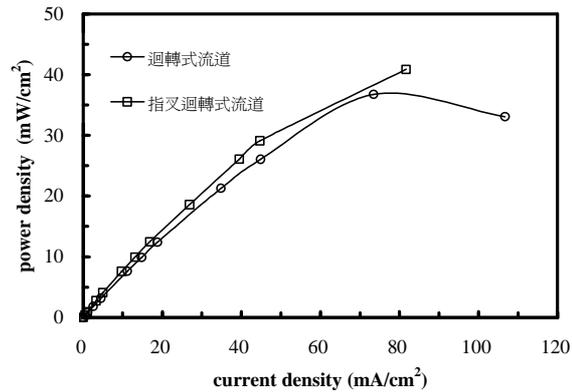


(b) 功率密度

圖12 供氣方式為外進外出氫氣流量對指叉迴轉式流道燃料電池性能之影響



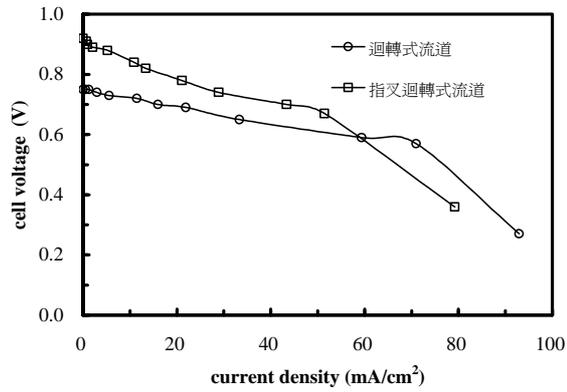
(a) 極化曲線



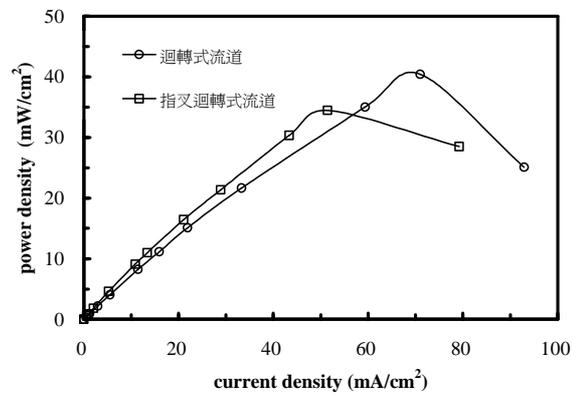
(b) 功率密度

圖13 供氣方式為內進外出、氫氣流量為8.76cc/min時流道結構對燃料電池性能之影響



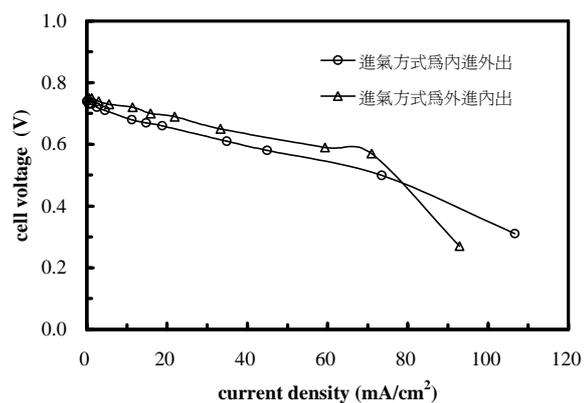


(a)極化曲線



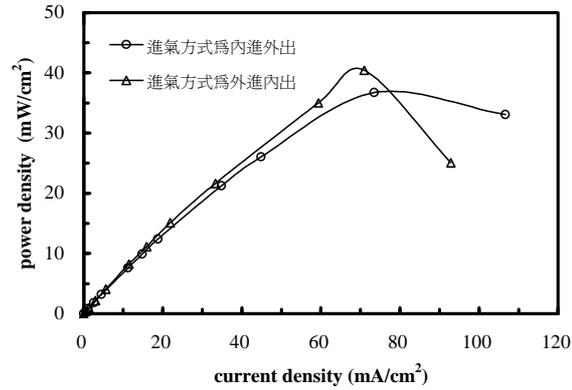
(b)功率密度

圖14 供氣方式為外進內出、氫氣流量為8.76cc/min時流道結構對燃料電池性能之影響



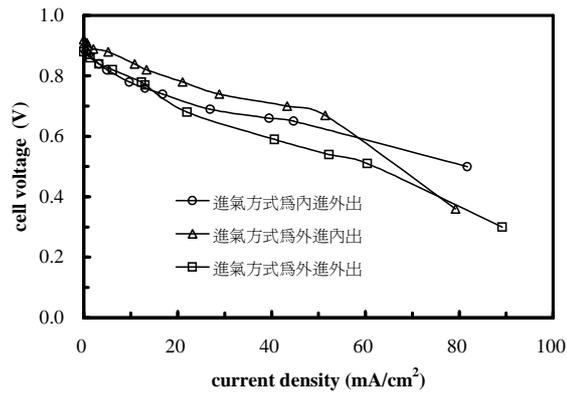
(a) 極化曲線



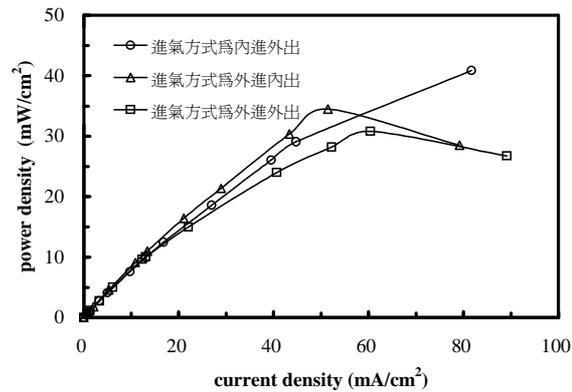


(b) 功率密度

圖15 氫氣流量為8.76cc/min時供氣方式對迴轉式流道燃料電池性能之影響



(a) 極化曲線



(b) 功率密度

圖16 氫氣流量為8.76cc/min時供氣方式對指叉迴轉式流道燃料電池性能之影響

