

รายการอ้างอิง

- [1] Paola, C., and Supramaniam S. Quantum jumps in the PEMFC science and technology from the 1960 to the year 2000. **Journal of Power Sources** 102 (2001) 253-269.
- [2] Ayoub, K. Introduction of PEM fuel-cell vehicles in the transportation sector of the United Arab Emirates. **Applied Energy** 74 (2003) 125-133.
- [3] Rajesh, K. A., and Xiaohua W. Fuel cell systems for transportation : Status and Trends. **Journal of Power Sources** 177 (2008) 167-176.
- [4] Genre-Grandpierre, R., Hissel, D., and Espanet, C.h. Air supply for fuel cell application : Design of the system, characterization and modeling. **Femto-ST Enisys/FCLAB Institute, University of Franch-Comte.**
- [5] Ali, S., Christophe, E., and Danial, H. Particle swarm optimization applied to the co-design of a fuel cell air circuit. **Journal of Power Sources** 179 (2008) 121-131.
- [6] Mestan, T., Daniel, H., Marie-Cecile, P., and Jean-Marie, K. Energy consumption reduction of a PEM fuel cell motor-compressor group thanks to efficient control laws. **Journal of Power Sources** 156 (2006) 57-63.
- [7] Amir, F., and Zhen, G. Challenges and opportunities of thermal management issues related to fuel cell technology and modeling. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 48 (2005) 3891-3920.
- [8] Jer-Huan, J., Han-Chien, C., Wei-Mon, Y., and Wei-Lian, S. Effects of operating conditions on the performances of individual cell and stack of PEM fuel cell. **Journal of Power Sources** 180 (2008) 476-483.
- [9] Nikhil, H. J., Katherine, D., and Ravindra, D. Synthesis and characterization of Nafion® -MO₂ nanocomposite membranes for higher temperature PEM fuel cells. **Electrochimica Acta** 51 (2005) 553-560.

- [10] Patric, J. Recent developments in high-temperature proton conducting polymer electrolyte membranes. **Current Opinion in Colloid and Interface Science** 8 (2003) 96-102
- [11] Chih-Yung, W., Yu-Sheng, L., and Chien-Heng, L. Performance of a proton exchange membrane fuel cell stack with thermally conductive pyrolytic graphite sheets for thermal management. **Journal of Power Sources** 189 (2009) 1100-1105.
- [12] Liyan, Z., Mu, P., and Shuhai, Q. Model predictive control of water management in PEMFC. **Journal of Power Sources** 180 (2008) 322-329.
- [13] Francesco, U., Orazio, B., Giosue, G., Gaetano, S., and Enza, P. Effect of operative conditions on a PEFC stack performance. **International Journal of Hydrogen Energy** 33 (2008) 3137-3141.
- [14] Yong, H. P., and Jerald, A. C. Development of a PEM stack and performance analysis including the effects of water content in the membrane and cooling method. **Journal of Power Sources** 179 (2008) 584-591.
- [15] Jianlu, Z., and others. PEM fuel cells operated at 0% Relative humidity in the temperature range of 23-120°C. **Electrochimica Acta** 52 (2007) 5095-5101.
- [16] Guo-Bin, J., and others. Experimental evaluation of an ambient forced-feed air-supply PEM fuel cell. **International Journal of Hydrogen Energy** 33 (2008) 2980-2985.
- [17] Gregor Hoogers "Fuel cell technology handbook",2003
- [18] Frano Barbir "PEM Fuel cell theory and practice",2005
- [19] Liyan, Z., Mu, P., and Shuhai,Q. Model predictive control of water management in PEMFC. **Journal of Power Sources** 180 (2008) 322–329.
- [20] Shanna, D. Knights, Kevin M. Colbow, Jean St-Pierre, and David P. Wilkinson. Aging mechanisms and lifetime of PEFC and DMFC. **Journal of Power Sources** 127 (2004) 127–134.

- [21] Hao Wu, Peter Berg, and Xianguo Li. Non-isothermal transient modeling of water transport in PEM fuel cells. *Journal of Power Sources* 165 (2007) 232–243.
- [22] Zhigang Qi, and Arthur Kaufman. PEM fuel cell stacks operated under dry-reactant conditions. *Journal of Power Sources* 109 (2002) 469-476.
- [23] Daisie, D. B., and Michael J. M. Proton exchange membrane (PEM) fuel cell-powered vehicle performance using direct-hydrogen fueling and on-board methanol reforming. *Energy* 29 (2004) 2317-2330.
- [24] Zhang, J.L., Li, H., and Zhang,J.J. Effect of Operating Backpressure on PEM Fuel Cell Performance.
- [25] Minkmas, V., Williams, H., Russell, K., and James, M. Fenton. Operation of Nafion®-based PEM fuel cells with no external humidification : influence of operating conditions and gas diffusion layers. *Journal of Power Sources* 135 (2004) 122-134.
- [26] Warren, H.J., Hogarth, J., and Benziger,B. Operation of polymer electrolyte membrane fuel cell with dry feed : Design and operating strategies. *Journal of Power Sources* 159 (2006) 968-978.
- [27] Yong, T., and others. Experimental investigation of dynamic performance and transient responses of a kW-class PEM fuel cell stack under various load changes. *Applied Energy* 87 (2010) 1410–1417
- [28] Song, C., and others. PEM fuel cell reaction kinetics in the temperature range of 23–120 °C. *Electrochimica Acta* 52 (2007) 2552–2561
- [29] <http://www.energi.kemi.dtu.dk>
- [30] <http://www.nevron.com>
- [31] <http://www.h-tec.com>

ภาคผนวก

ผลการทดสอบเบื้องต้น

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ดัดแปลงระบบเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งให้อากาศป้อนจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่เซลล์แกว (stack) โดยไม่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น พร้อมทั้งทดสอบการติดตั้งเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงเดิมเพื่อยืนยันว่า ระบบจะยังสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการเตือนหรือระบบหยุดทำงานอัตโนมัติขึ้น นอกเหนือจากนี้ยังมีผลการทดสอบระบบที่ดัดแปลงใหม่ที่ภาวะต่ำและอุณหภูมิทำงานต่ำเทียบกับผลการทดสอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิงก่อนได้รับการดัดแปลง

ก.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นทำการทดสอบในวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2552 โดยขณะทดสอบสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็น 34°C และ 63% ตามลำดับ การทดสอบเบื้องต้นพบว่าระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่สามารถทำงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิรภัยใดๆภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อผู้วิจัยนำเอาผลการทำงานเบื้องต้นของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนแบบเก่าที่ทดสอบภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่า ผลการทำงานเบื้องต้นมีค่าการทำงานที่ใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงต่อไปนี้

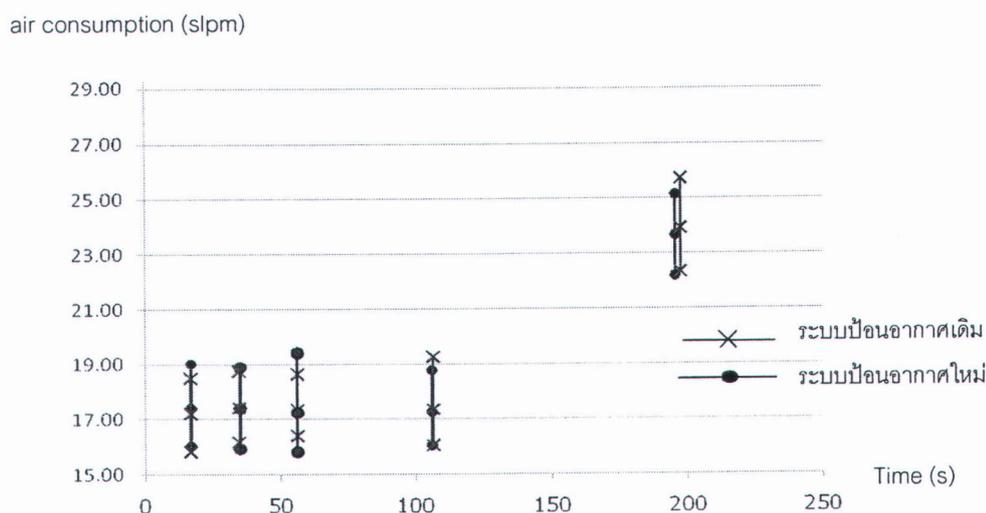
ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคไฮโดรเจนระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่เพื่อศึกษาการทำงานของด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง

จากตารางที่ ก-1 พบว่า ทั้งกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ยังคงมีอัตราการบริโภคไฮโดรเจนที่เท่ากัน

load step	load (W)	hydrogen consumption (L/s)	
		with MHX	without MHX
1	17±1	0.0085	0.0085
2	35±1	0.0113	0.0113
3	56±1	0.0148	0.0148
4	106±2	0.0228	0.0228
5	197±5	0.0390	0.0390

ตารางที่ ก-1 ผลการเปรียบเทียบการบริโภคไฮโดรเจนของระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคอากาศระหว่างกรณีที่ใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่เพื่อศึกษาการทำงานทางด้านแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ยังคงมีอัตราการบริโภคอากาศไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าเฉลี่ยของอัตราการบริโภคอากาศ ณ ภาวะเดียวกันต่างกันสูงสุดเพียง 1.26 % ดังแสดงในรูปที่ 3-4

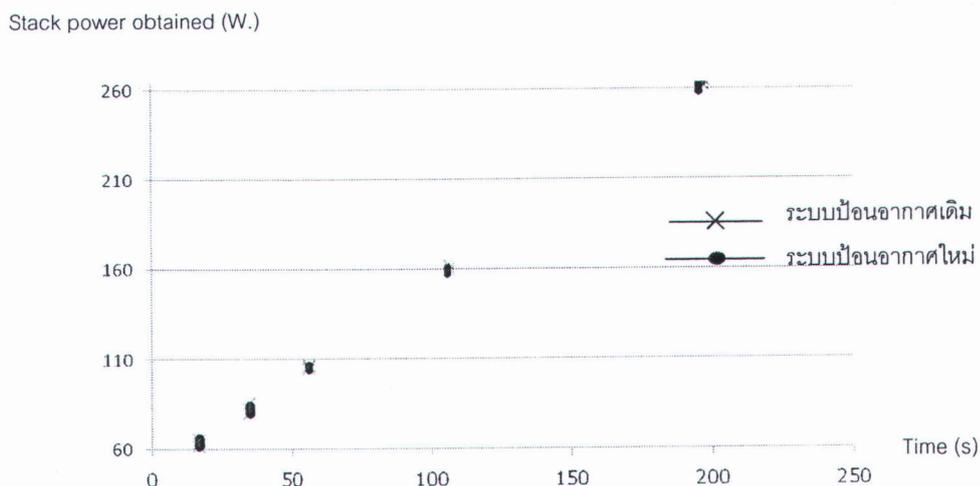


รูปที่ ก-3 การเปรียบเทียบค่าการบริโภคอากาศของระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

หมายเหตุ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการบริโภคอากาศเป็นไปตามความสามารถในการควบคุมอัตราการไหลของคอมเพรสเซอร์

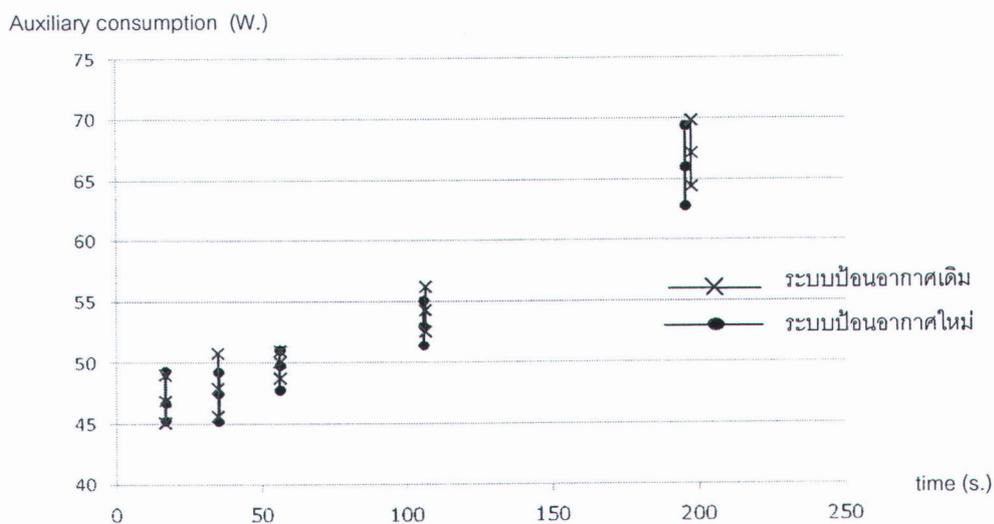
ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต (Stack power obtained) ระหว่างกรณีที่ใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับการพิจารณาค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

จากการทดสอบ พบว่า ที่ภาวะต่ำ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แถวระหว่างกรณีที่ใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แถว ณ ภาวะเดียวกันต่างกันสูงสุดเพียง 1.21 % ดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 การเปรียบเทียบค่า stack power obtained ระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่พบว่าที่ภาระต่ำพบว่า ค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงของทั้งสองกรณีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาระเพิ่มขึ้นและการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมประมาณ 2% ดังแสดงในรูปที่ ก-5



รูปที่ ก-5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่า auxiliary consumption ของระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

*หมายเหตุ ค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต กับภาระที่ป้อนแก่ระบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิตเกิดจากปริมาณการเกิดปฏิกิริยาเคมีและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมีค่าไม่สม่ำเสมอ

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนดังกล่าวเมื่อถอดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นออกเช่นดังระบบป้อนอากาศแบบใหม่ เครื่องยังคงสามารถทำงานได้โดยไม่กระทบกับระบบนิรภัยใดๆ ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

นอกเหนือจากนั้น ภายใต้การทดสอบที่ภาระต่ำและอุณหภูมิทำงานต่ำ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการบริโภคไฮโดรเจน การบริโภคอากาศ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต และค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากและเมื่อภาระเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

จากผลการทดสอบเบื้องต้นนี้ ถูกใช้เป็นแนวทางเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การกำหนดแผนการทดสอบในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบการทดสอบให้มีความรัดกุมยิ่งขึ้นกว่าการทดสอบเบื้องต้น พร้อมทั้งวิเคราะห์ตำแหน่งที่จำเป็นที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อความปลอดภัยในการทดสอบที่ต้องให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อุณหภูมิของ stack ที่สูงขึ้น และรับภาระที่สูงยิ่งขึ้น แล้วนำไปประกอบการวางแผนการทดสอบในงานวิจัยนี้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์



นางสาวโสฬส สมยศ เกิดเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2526 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จ
การศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ.2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550

