ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM

นางสาว โสพัส สมยศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF EXTERNAL HUMIDIFIER ON THE PERFORMANCE OF PEMFC POWER MODULE

Ms. Sorot Somyot

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM
โดย	นางสาว โสพิส สมยศ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. เทอดไทย วัฒนธรรม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โสฬส สมยศ : ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM (EFFECT OF EXTERNAL HUMIDIFIER ON THE PERFORMANCE OF PEMFC POWER MODULE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. อังคีร์ ศรีภคากร, หน้า.

บทความนี้เสนอผลการศึกษาการทำงาน อุปกรณ์เพิ่มความชื้น การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบโมดูล (PEM Fuel cell power module) ในกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน (Membrane humidifier) เพื่อระบุผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง การทดสอบทั้งหมดกระทำภายในห้องควบคุมอากาศที่สามารถกำหนดระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบได้ การทดสอบกระทำภายใต้สภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิ 25, 30 และ 35°C มีปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.012, 0.014 และ 0.016 g/g ในแต่ละสภาวะของระดับความชื้นอากาศป้อนทำการทดสอบดึงภาระทางไฟฟ้าจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงตั้งแต่ 100 ไปจนถึง 800 วัตต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มได้ทั้งอุณหภูมิและน้ำให้แก่อากาศป้อน ผลการเปรียบเทียบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่า การบริโภคไฮโดรเจนที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออากาศมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 35°C กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าการบริโภคไฮโดรเจนสูงกว่ากรณีที่ใช้ถึง 10% และ 15% ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศ 25°C สมรรถนะของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะสูงกว่ากรณีที่ใช้ แต่เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นสมรรถนะของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถทำงานได้ที่ภาระสูงเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวต่ำกว่าที่ระบบกำหนด ในส่วนของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม พบว่า กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นสามารถลดการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของระบบได้ โดยที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่ำกว่ากรณีที่ใช้ถึง 6.7% และในการพิจารณาสมรรถนะของทั้งระบบ พบว่า มีเพียงกรณีที่อากาศอุณหภูมิ 25°C เท่านั้นที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ใช้ นอกเหนือจากอุณหภูมิดังกล่าวประสิทธิภาพของกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่าทั้งหมดและมีค่าสูงสุด 54.5% ที่อุณหภูมิอากาศ 35°C ในผลการทดสอบของงานวิจัยชิ้นนี้ ระบบที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าและเสถียรภาพสูงกว่าระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต โสฬส สมยศ
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2553

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170507921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORDS : FUEL CELL / PEM / MEMBRANE HUMIDIFIER

SOROT SOMYOT : EFFECT OF EXTERNAL HUMIDIFIER ON THE PERFORMANCE OF PEMFC POWER MODULE.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ANGKEE SRIPAKAGORN, Ph.D., ... pp.

The present work investigates the performance of a membrane humidifier (MHX) and PEM fuel cell power module in the case where the MHX is installed and removed. The tests are performed within a climate-controlled room in which the temperature and relative humidity levels can be regulated. Test conditions are 25, 30 and 35°C constant temperature and moisture content 0.012, 0.014 and 0.016 $g/g_{dry\ air}$. At each condition, the fuel cell module is controlled to supply electrical load from 100 to 800 W. The results show that MHX increases both the temperature and the moisture content of the inlet air. Hydrogen consumption of both cases is the same at ambient temperature of 25° C. When the ambient temperature is raise d, hydrogen consumption of the case that works without MHX is higher than PEM that works with MHX. At 30°C and 35°C of ambient, the maximum differences in hydrogen consumption are 10% and 15% respectively. A Polarization curve shown that PEM with MHX performed better than PEM without MHX at all ambient conditions except at ambient temperature 25°C that PEM without MHX perform slightly better than PEM with MHX, but when air temperature is 30 and 35°C PEM without MHX performance decreases rapidly and system cannot perform at high load when ambient temperature is 35°C. For auxiliary consumption, once the MHX is removed, auxiliary consumption decreases. At ambient temperature of 25°C, the difference of auxiliary consumption between both cases is 6.7%. Finally, in terms of the performance of overall system, only at ambient temperature of 25°C that without MHX performs better than PEM with MHX. When the air temperature is increased, the performance of the system with MHX is better than the system without MHX for all ambient conditions. The maximum system efficiency is 54.5% at ambient temperature of 35°C. For this research, PEM with MHX has better performance and stability than PEM without MHX.

Department : Mechanical Engineering Student's Signature ใสพัส สมยศ
Field of Study : Mechanical Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ ดำเนินงานจนสำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยการช่วยเหลือ ความเสียสละและน้ำใจจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวทางในการค้นคว้าข้อมูล อย่างใจใส่ ให้เวลา เมตตาและเป็นธุระในการจัดหาทุนวิจัยมาโดยตลอด พร้อมยังให้ความเอ็นดูแม้ในขณะที่ผู้วิจัยจะเฉื่อยหรือท้อแท้ในบางช่วงของการทำงาน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณและจักระลึกบุญคุณของท่าน พร้อมนำแนวคิดในการทำงานไปใช้พัฒนาตนเองในการดำรงชีวิตต่อไปในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ประธานกรรมการ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการทดสอบ พร้อมให้ทางผู้วิจัยหยิบยืมเซนเซอร์และอุปกรณ์การวัดหลักทั้งหมดในการทดสอบนี้ งานวิจัยชิ้นนี้จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากท่านเช่นกัน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความอนุเคราะห์ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมให้การช่วยเหลือในหลากหลายด้าน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เทอดไทย วัฒนธรรม ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์กบ น้องอรรถ พี่นิสิต ที่ให้การช่วยเหลือและสละเวลาเป็นอย่างมาก พี่โกวิท ที่คอยให้การช่วยเหลืออย่างดีและไม่เคยบ่ายเบี่ยง ขอบคุณพี่โบ้ พี่เหมี่ยว ทราย ใบเตยและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังและช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดี ขอบคุณปูเล่ แอมจะมีวันนี้ไม่ได้เลยถ้าขาดเพื่อนคนนี้

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่และพี่ชายอันเป็นที่รักยิ่งที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ความรัก ไม่เคยปล่อยปละละเลยและให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน

หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดในส่วนใดเกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และจะขอปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..จ

กิตติกรรมประกาศ ....ฉ

สารบัญ ....ช

สารบัญตาราง ....ญ

สารบัญภาพ..ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 6

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์. 6

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...6

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง 7

2.2 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง 10

2.3 การจัดการกับน้ำ 11

2.2.1 ปริมาณน้ำภายในเมมเบรน 11

2.2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง 12

2.2.3 การเพิ่มความชื้นแก่ระบบเซลล์เชื้อเพลิง 12

2.4 เซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความชื้นต่ำ 12

2.4.1 สมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความชื้นต่ำ 13

2.4.2 การเพิ่มสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความชื้นต่ำ 13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง 19
3.1 ระบบย่อยภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง 19
3.1.1 เซลล์แถว 20
3.1.2 ระบบป้อนอากาศ 20
3.1.3 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจน 20
3.1.4 ระบบเก็บข้อมูล 20
3.1.5 ระบบระบายความร้อน 21
3.1.6 ระบบไฟฟ้าควบคุม 21
3.2 การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 21
3.2.1 การเริ่มทำงาน 22
3.2.2 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์และการไล่น้ำ 22
3.2.3 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถว 26
3.3 การเก็บข้อมูลในการทดสอบ 28

บทที่ 4 การทดสอบงานวิจัย 30
4.1 แนวทางการทดสอบ 30
4.2 การเตรียมการทดสอบ 31
4.2.1 การติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง 31
4.2.2 การติดตั้งเซนเซอร์ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น 34
4.2.3 การติดตั้งเซนเซอร์ในกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น 38
4.2.4 การเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณและเก็บบันทึกข้อมูล 39
4.2.5 การวัดปริมาณการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ 39
4.3 การควบคุมสภาวะอากาศ 40
4.3.1 ห้องควบคุมสภาวะอากาศ 40
4.3.2 สภาวะอากาศแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ 41
4.4 ขั้นตอนการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง 42

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 44
5.1 อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน 44
5.1.1 ผลการศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศป้อน 45

หน้า

5.1.2 ความพยายามในการศึกษาการเพิ่มปริมาณน้ำของอากาศป้อน 46
5.2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง 48
5.2.1 การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน 48
5.2.2 Polarization curve 50
5.2.3 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม 55
5.3 สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 58

บทที่ 6 บทสรุป 63

รายการอ้างอิง 70

ภาคผนวก 73
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบเบื้องต้น............................. 74

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 ความถี่ของการไล่น้ำในการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง 25
ตารางที่ 4-1 ความต้องการของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 32
ตารางที่ 4-2 สภาวะของอากาศที่ทำการทดสอบ...42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 องค์ประกอบภายในของเซลล์เชื้อเพลิง....... 8
รูปที่ 2-2 การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน......9
รูปที่ 2-3 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ stack 9
รูปที่ 2-4 ตัวอย่างองค์ประกอบของ power module 10
รูปที่ 2-5 ผลของความดันทำงานที่มีต่อค่า Cell Voltage ของเซลล์เชื้อเพลิง 14
รูปที่ 2-6 ผลของความดันทำงานที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง 15
รูปที่ 2-7 Polarization curve ณ อุณหภูมิทำงานต่างๆ 16
รูปที่ 2-8 ผลของอุณหภูมิทำงานต่อ cell voltage และ cell resistance ของเซลล์เชื้อเพลิง 17
รูปที่ 2-9 ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อค่า cell voltage 18
รูปที่ 3-1 แผนผังการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง 19
รูปที่ 3-2 การบริโภคพลังงานของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 25°C 23
รูปที่ 3-3 การบริโภคพลังงานของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 30°C 23
รูปที่ 3-4 การบริโภคพลังงานของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 35°C 24
รูปที่ 3-5 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ25°C 26
รูปที่ 3-6 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ30°C 27
รูปที่ 3-7 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ35°C 27
รูปที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทำงาน ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°Cและ 35°C 28
รูปที่ 4-1 แผนผังระบบป้อนอากาศทั้งสองกรณี 31
รูปที่ 4-2 ถังบรรจุไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% ขนาด 7 ลูกบาศก์เมตร พร้อม Pressure regulator 32
รูปที่ 4-3 หน้าหลักของโปรแกรม NexaMon 33
รูปที่ 4-4 Electronic Load ยี่ห้อKIKUSUI รุ่น PLZ1004W 33
รูปที่ 4-5 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงก่อนการดัดแปลง 35

หน้า

รูปที่ 4-6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่
ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น..36
รูปที่ 4-7 การเพิ่มระยะห่างระหว่างเซลล์แถวและอุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อนติดเซนเซอร์ 36
รูปที่ 4-8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ YAMATAKE รุ่น HTY7843 37
รูปที่ 4-9 การติดเซนเซอร์เข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น 37
รูปที่ 4-10 การวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาทิ้ง 38
รูปที่ 4-11 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่
ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น 39
รูปที่ 4-12 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น WT1030 40
รูปที่ 4-13 ภาพจำลองการจ่ายไฟฟ้าแก่คอมเพรสเซอร์ก่อนและหลังติดตั้ง
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 40
รูปที่ 4-14 แผนผังห้องควบคุมสภาวะอากาศ 41
รูปที่ 5-1 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน 44
รูปที่ 5-2 อุณหภูมิอากาศป้อนหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็น
25°C 30°C และ 35°C 45
รูปที่ 5-3 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 49
รูปที่ 5-4 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C 49
รูปที่ 5-5 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C 50
รูปที่ 5-6 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 51
รูปที่ 5-7 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C 52
รูปที่ 5-8 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C 52
รูปที่ 5-9 Polarization curve ของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกสภาวะ
อากาศทดสอบ 53

หน้า

รูปที่ 5-10 Polarization curve ของกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกสภาวะอากาศทดสอบ 54
รูปที่ 5-11 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 57
รูปที่ 5-12 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C 57
รูปที่ 5-13 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C 58
รูปที่ 5-14 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 25°C 59
รูปที่ 5-15 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 30°C 60
รูปที่ 5-16 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 35°C 60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ความต้องการการใช้งานยานยนต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบันส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากยานยนต์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันนั้นใช้พลังงานจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและทางเสียง บริษัทรถยนต์รวมทั้งประเทศต่างๆ จึงเริ่มมีความสนใจที่จะนำยานยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงมาทดแทนเครื่องยนต์สันดาปภายในตั้งแต่ปี ค.ศ.1990 เป็นต้นมา[1] เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน(PEMFC)ได้รับความสนใจเป็นพิเศษเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เนื่องจากมีอุณหภูมิทำงานต่ำและมีการตอบสนองที่ไว และเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อได้เปรียบกว่าในแง่ของแหล่งที่มาของเชื้อเพลิงเนื่องจากใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงจึงมีความหลากหลายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และในเชิงประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในอย่างน้อย 30% นอกจากนั้นเซลล์เชื้อเพลิงยังมีส่วนประกอบน้อยชิ้นและไม่ส่งเสียงดังเหมือนเครื่องยนต์สันดาปภายใน [2]

อย่างไรก็ดี การที่จะนำเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมาใช้ทดแทนเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น ยังมีปัญหาอีกหลายด้านที่พึงพิจารณา ทั้งเรื่องขนาด น้ำหนัก ความคงทน ราคาและการลดความซับซ้อนของเซลล์เชื้อเพลิงลง นอกจากปัญหาที่กล่าวมาแล้วยังมีปัญหาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงให้เหมาะสม โดยปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับประสิทธิภาพนั้นจำแนกได้เป็น 3 ข้อด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาของคอมเพรสเซอร์ การจัดการกับความร้อนและการจัดการกับน้ำ[3]

ปัญหาของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในระบบป้อนอากาศนั้น เกิดจากคอมเพรสเซอร์ที่มีใช้ในปัจจุบัน อาจบริโภคกำลังไฟฟ้าได้สูงถึง 25% ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แถว (stack) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงโดยรวมลดลงอย่างมาก[4] หลายงานวิจัยพยายามปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบป้อนอากาศให้มีค่าสูงขึ้น เช่น ศึกษาระบบควบคุมที่ใช้ควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการอากาศและความดันของ เซลล์แถว [5-6] หรือการทดลองใช้อากาศขาออกมาขับ expander ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อช่วยลดความต้องการทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ [4]

การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีความจำเป็น เนื่องจากอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพ เสถียรภาพและอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง ขณะทำงานเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะผลิตความร้อน ความร้อนดังกล่าวส่งผลให้ตัวเซลล์เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่หากความร้อนที่เซลล์ผลิตมีปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เมมเบรนแห้ง ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์ลดลง มีผลให้เมมเบรนมีอายุการใช้งานที่สั้นลงและเมมเบรนอาจจะเสื่อมสภาพได้ในที่สุดเมื่อต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิที่สูงมากๆ การระบายความร้อนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงจึงมีความจำเป็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม วิธีการระบายความร้อนสามารถทำได้หลายวิธีโดยขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์เชื้อเพลิง อาจใช้อากาศที่ป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวระบายความร้อนสำหรับเซลล์ขนาดเล็ก หากเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอาจมีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อนเพิ่มเติม เช่น พัดลมระบายอากาศ น้ำหล่อเย็น เป็นต้น [7] ปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการความร้อนจัดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ทั้งในแง่ของการหาช่วงอุณหภูมิทำงานที่ดีที่สุดภายใต้สภาวะต่างๆ[8] การปรับปรุงเมมเบรนให้สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น [9-10] และการเสริมแผ่นกราไฟต์แบบพิเศษเข้าไปในเซลล์แถวเพื่อช่วยระบายความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิง [11] เป็นต้น

การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการน้ำของเซลล์เชื้อเพลิง จัดได้ว่าเป็นอีกเรื่องที่น่าสนใจอย่างมาก เมมเบรนที่มีใช้ในปัจจุบันต้องทำงานภายใต้ความชื้นที่เพียงพอ หากปริมาณความชื้นภายในเมมเบรนมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้ ionic resistance มีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดต่ำลงเนื่องจาก ohmic loss แต่หากปริมาณความชื้นภายในเมมเบรนมีค่าสูงเกินไปหรือภายในเซลล์นั้นมีปริมาณน้ำมากเกินกว่าความต้องการของเซลล์จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีลดลงเนื่องจากน้ำไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของตัวทำปฏิกิริยา(reactant) [12] โดยสรุปแล้ว ปริมาณน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับเมมเบรนนั้นต้องอาศัยแหล่งน้ำจากภายนอกร่วมกับปริมาณน้ำที่เซลล์ผลิตได้เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการของเมมเบรน แหล่งน้ำจากภายนอกดังกล่าวนิยมใช้ตัวทำปฏิกิริยาที่มีความชื้นสูงป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง การเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงวิธีนี้สามารถเลือกได้ว่าจะเพิ่มความชื้นให้แก่ตัวทำปฏิกิริยาเพียงด้านใดด้านหนึ่งหรือเพิ่มความชื้นให้กับตัวทำปฏิกิริยาทั้งสองด้านก็ได้ตามความเหมาะสม จากผลงานวิจัยที่พยายามจะศึกษาหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่า เซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานได้ดีเมื่ออากาศป้อนมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50% และจะมีประสิทธิภาพดี

ที่สุดเมื่อทำงานโดยใช้อากาศป้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ราว 60% - 70% ขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรนและสภาวะในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป [13-14]

อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแก่ตัวทำปฏิกิริยาจึงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ต้องทำงานภายใต้สภาวะที่อากาศแห้งหรือมีความชื้นไม่เพียงพอ อย่างไรก็ดีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ใช้ในยานยนต์จะต้องมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบติดตั้งอยู่กับที่ เนื่องจากการออกแบบเพื่อใช้ในยานยนต์ต้องการระบบที่มีน้ำหนักเบาและกะทัดรัด การใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ต้องมีแหล่งน้ำเสริมและแหล่งพลังงานเสริมสำหรับขดลวดความร้อนเหมือนเซลล์เชื้อเพลิงแบบติดตั้งอยู่กับที่จึงไม่เหมาะสม วิธีการเพิ่มความร้อนและความชื้นสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงในยานยนต์จึงนิยมใช้อากาศขาออกที่ได้รับความร้อนและความชื้นจากเซลล์แถว มาผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเพื่อเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิของอากาศขาเข้าให้มีค่าสูงขึ้นและใกล้เคียงกับความต้องการของเมมเบรนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามทิศทางการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในยานยนต์ในอนาคตมีเป้าหมายที่จะเลิกใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นให้ได้ภายในปี ค.ศ. 2015 อันใกล้นี้ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาสูง อายุการใช้งานต่ำและทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากทั้งยังทำให้ขนาดและน้ำหนักของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจึงไม่เหมาะแก่การใช้งานในยานยนต์ สำหรับวิธีแก้ปัญหานั้นจำเป็นที่จะต้องรอให้การปรับปรุงเมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีงานวิจัยเกี่ยวข้องอย่างแพร่หลายในปัจจุบันประสบความสำเร็จในการผลิตและทดสอบเมมเบรนที่สามารถทำงาน ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้นและความชื้นต่ำได้ เพื่อที่จะไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นดังกล่าวอีกต่อไป [3]

ในช่วงเวลาเดียวกันนี้กลับมีหลากหลายแนวทางวิจัยที่พยายามจะทดสอบการทำงานของเมมเบรนชนิดที่ยังคงต้องการความชื้นในการทำงานสูงโดยไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าว เช่นงานวิจัยของ Jianlu Zhang และคณะ โดยการทดสอบเริ่มจากการนำเอาเซลล์แถวมาทดสอบบนแท่นทดสอบที่ทำการควบคุมให้อากาศขาป้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0% เพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะทำงานภายใต้สภาวะดังกล่าว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าเป็น 0% ยังมีค่าต่ำกว่าเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศเป็น 100% อยู่มาก แต่หากจำเป็นจะต้องทำงานที่สภาวะดังกล่าวเซลล์เชื้อเพลิงจำต้องถูกกำหนดให้ทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำภายในเมมเบรน อัตราการไหลของอากาศก็ต้องลดลงเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์ และอากาศป้อนต้องมีความดันสูงขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์ [15]

อีกแนวทางในการวิจัย Guo-Bin Jung และคณะพยายามทดสอบระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น แต่อาศัยข้อได้เปรียบทางภูมิประเทศที่มีความชื้นภายในอากาศสูงอยู่แล้วป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง โดยไม่ใช้คอมเพรสเซอร์ช่วยอัดอากาศแต่ทำการออกแบบแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้ว(bipolar plate)ใหม่ให้มีช่องทางเปิดสำหรับอากาศขาเข้ามากขึ้น การศึกษานี้ทำในเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพกพา แต่ก็ยังพบปัญหาในการระบายความร้อนเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศยังคงไม่เพียงพอ การศึกษาจึงบ่งชี้ว่าในปัจจุบันแม้กระทั่งเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพกพายังคงต้องการอัตราการไหลที่สูงจึงยังคงหลีกเลี่ยงการใช้คอมเพรสเซอร์ไม่ได้ และจากผลการทดสอบยังพบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศป้อนมีค่าสูงกว่า 55% เซลล์เชื้อเพลิงจึงจะมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพที่ดี [16]

จากแนวทางที่ Guo-Bin Jung และคณะที่เลือกจะใช้ข้อได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ ที่เห็นว่าความชื้นในอากาศมีค่าสูงอยู่แล้วและไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นอีก ผู้วิจัยจึงได้ตระหนักว่าอากาศในประเทศไทยและประเทศอื่นๆในภูมิภาคเดียวกันก็มีข้อได้เปรียบในการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนสูงกว่าประเทศอื่นๆที่มีความชื้นในอากาศค่อนข้างต่ำ เนื่องจากประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร มีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงถึง 76% จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น แต่ก็ยังสรุปไม่ได้ว่าในเซลล์เชื้อเพลิงที่ขนาดใหญ่กว่าขนาดพกพา เซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานโดยใช้ข้อได้เปรียบทางภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวแล้วไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้หรือไม่ และจากงานวิจัยของ Jianlu Zhang และคณะที่บ่งชี้ให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่ความชื้นต่ำได้ และการปรับเปลี่ยน parameter บางตัวมีส่วนช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงให้ดีขึ้นได้นั้นเป็นเพียงการทดสอบบนแท่นทดสอบ หากผู้วิจัยเลือกที่จะทำการทดสอบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบ power module ซึ่งเป็นระบบที่ใกล้เคียงกับการใช้งานแบบยานยนต์มากยิ่งขึ้นจะได้ผลการทดสอบที่แตกต่างออกไปหรือไม่ นอกเหนือจากกรณีดังกล่าวแล้วหากสภาวะอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและสภาวะแวดล้อมหลายปัจจัย สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มขึ้นก็คือ หากความชื้นภายในอากาศมีค่าต่ำกว่าปกติในบางวันระบบควบคุมจะต้องทำการปรับเปลี่ยน parameter ใดบ้างเพื่อรักษาเสถียรภาพและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงไว้

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะทดสอบถึงบทบาทของของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง และระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้งานจริงในประเทศที่มีความร้อนและความชื้นสูงยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นหรือไม่ และหากจำเป็นที่จะต้อง

ทำงานภายใต้สภาวะอากาศที่ความชื้นต่ำกว่าปกติเนื่องจากความชื้นของสภาวะอากาศภายนอกต่ำในบางเวลาจะต้องทำการปรับเปลี่ยน parameter ใดบ้างเพื่อรักษาเสถียรภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงไว้ โดยในการศึกษาจะพิจารณาเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของระบบเซลล์เชื้อเพลิง NEXA power module อันประกอบไปด้วยระบบป้อนเชื้อเพลิง ระบบป้อนตัวทำปฏิกิริยาระบบระบายความร้อนและระบบคอนโทรล ซึ่ง power module ดังกล่าวต้องสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติและใช้แหล่งจ่ายไฟสำรองเฉพาะตอนเริ่มทำงาน หลังจากนั้นไฟฟ้าที่ใช้ป้อนแก่ระบบภายใน power module จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิงเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับทั้งประสิทธิภาพของตัวเซลล์แถวเองและประสิทธิภาพของอุปกรณ์เสริม (auxiliary)

ในการทดสอบจะใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงและอากาศเป็นออกซิแดนท์แล้วเปรียบเทียบการทำงาน ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของเซลล์แถวเมื่อใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นในระบบป้อนอากาศกับระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พร้อมทั้งพิจารณาถึงผลกระทบต่อการทำงาน การบริโภคกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายความร้อน เนื่องจากในระบบที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นย่อมที่จะมีความต้องการอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกันออกไป และความร้อนที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงก็ย่อมมีการเปลี่ยนแปลง อาจส่งผลให้การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายอากาศเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน

นอกเหนือจากกรณีดังกล่าวแล้วยังต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับกรณีที่ความชื้นในอากาศต่ำกว่าปกติจะส่งผลกระทบใดบ้างต่อเซลล์เชื้อเพลิง จำเป็นที่จะต้องมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศป้อน ความดันทำงานหรืออุณหภูมิทำงานหรือไม่ เพื่อที่จะให้เซลล์เชื้อเพลิงภายใต้สภาวะการดังกล่าวได้

ขนาดและน้ำหนักรวม การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ความซับซ้อนของระบบ ก็เป็นปัจจัยที่จะต้องพิจารณาในการทดสอบนี้ การศึกษาจะได้บ่งชี้ว่า ในประเทศที่มีสภาวะอากาศที่มีความร้อนและความชื้นในอากาศใกล้เคียงกับความต้องการของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นจะเป็นข้อได้เปรียบที่ทำให้สามารถเลิกใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเมมเบรนหรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาถึงบทบาทของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง
2. ศึกษาถึงผลการทำงาน การบริโภคไฟฟ้าและประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายความร้อน ในกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
3. เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พร้อมทั้งสรุปแนวทางการออกแบบระบบป้อนอากาศของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานภายในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนในครั้งนี้ จะทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปแบบของ Power module ขนาด 1.2 kW แล้วศึกษาหาข้อดีข้อเสีย ผลกระทบต่ออุปกรณ์เสริมหลักภายใน Power module สำหรับกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจบทบาทของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง
2. เข้าใจพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ทั้งในกรณีที่มีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นร่วมอยู่ด้วยและกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นร่วมอยู่ ภายใต้ภาระคงที่
3. ทราบถึงผลกระทบต่อ Power module ในกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ทั้งผลกระทบต่อการบริโภคกำลังไฟฟ้าภายใน module น้ำหนักและขนาดรวมของ module ที่เปลี่ยนแปลงไป ความซับซ้อนของระบบ
4. สามารถบ่งชี้ถึงโอกาสของทางเลือกที่จะไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายใน Power module ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนในอนาคตได้
5. ทราบถึงแนวทางในการออกแบบ ระบบป้อนอากาศภายใน PEMFC power module ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทยและแถบประเทศอื่นๆ ที่มีลักษณะภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

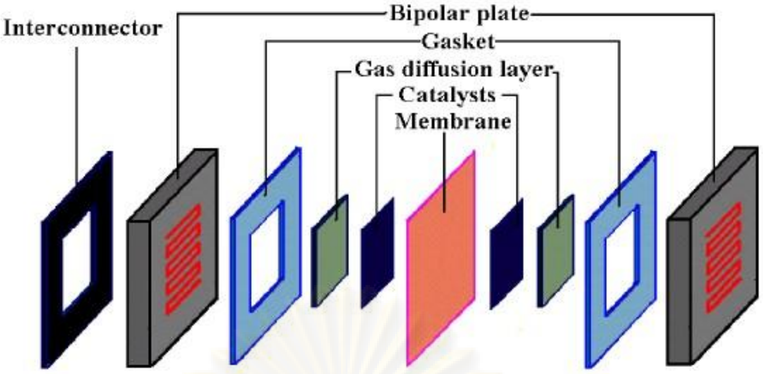
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 ประกอบไปด้วยเนื้อหา 4 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกมีเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบภายในเซลล์เดี่ยวซึ่งจะอธิบายการทำงานปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ รวมไปถึงการเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ส่วนที่สองมีเนื้อหาเกี่ยวกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงและการทำงาน ส่วนที่สามเกี่ยวกับการจัดการกับน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง ความสำคัญของน้ำต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงและการเพิ่มระบบน้ำภายในเซลล์ และในส่วนสุดท้ายของบทนี้ได้นำตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานภายใต้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและการปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานภายใต้ความชื้นต่ำ

2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่สร้างพลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเมมเบรน โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นไฮโดรเจนและตัวทำปฏิกิริยา(reactant) อีกตัวที่อาจเป็นออกซิเจนหรืออากาศก็ได้ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบไปด้วยส่วนของเมมเบรนและประกบด้วยชั้นของ catalyst layers และ diffusion layer ทั้งสองด้าน ส่วนที่อยู่ตรงใจกลางนี้ทั้งหมดถูกเรียกว่า Membrane Electrode Assemblies (MEA) ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ถัดออกมาจะเป็นชั้นของปะเก็น (gasket) ที่ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ไฮโดรเจนและออกซิเจนรั่วออกจากพื้นที่ที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยา ถัดจากนั้นจึงเป็นชั้นของแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้ว (bipolar plate) ที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นกำกับทิศทางการไหลของไฮโดรเจนและออกซิเจน นอกเหนือจากนี้แผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วยังทำหน้าที่เป็นตัวส่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายในเซลล์ออกไปอีกด้วย ลักษณะของการจัดเรียงชั้นต่างๆภายในเซลล์เป็นไปตามรูปที่ 2-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-1 องค์ประกอบภายในของเซลล์เชื้อเพลิง [29]

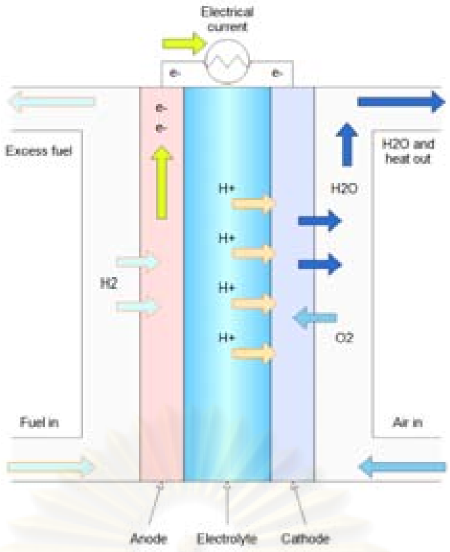
การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มจากการป้อนไฮโดรเจน (H_2) ให้วิ่งผ่านแผ่นกำกับทิศทางการไหลของแก๊สเข้าสู่ขั้วแอโนด และป้อนออกซิเจนหรืออากาศเข้าสู่แผ่นกำกับทิศทางการไหลด้านแคโทด ซึ่งที่ขั้วแอโนดจะใช้แพลทินัม (Platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแยกแก๊สไฮโดรเจน(H_2) เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) ดังสมการ

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad (2\text{-}1)$$

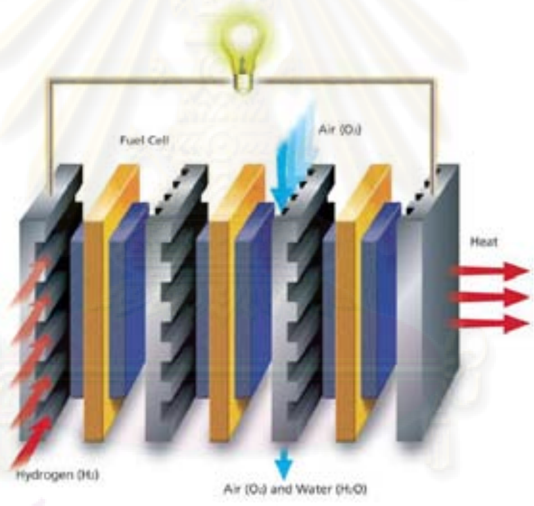
ไฮโดรเจนไอออนจะวิ่งผ่านเมมเบรนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งเมมเบรนนั้นจะยอมให้แค่ไอออนบวกหรือโปรตอนผ่านเท่านั้น ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะต้องวิ่งผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า ณ ขั้วแคโทดจะมีปฏิกิริยาที่เกิดจากอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนไอออนรวมเข้ากับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำดังสมการ

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \qquad (2\text{-}2)$$

รูปที่ 2-2 แสดงปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเพียงหนึ่งเซลล์ จากปฏิกิริยาดังกล่าว เซลล์เชื้อเพลิงสามารถให้ค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 1 โวลต์ การเพิ่มแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำได้ง่ายเพียงนำเซลล์เชื้อเพลิงมาต่ออนุกรมเข้าด้วยกันก็จะได้แรงดันไฟฟ้าและกำลังเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-3 โดยปกติจะเรียกการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงหลายๆเซลล์รวมเข้าด้วยกันนี้ว่าเซลล์แถว (stack) [17-18]



รูปที่ 2-2 การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน [30]



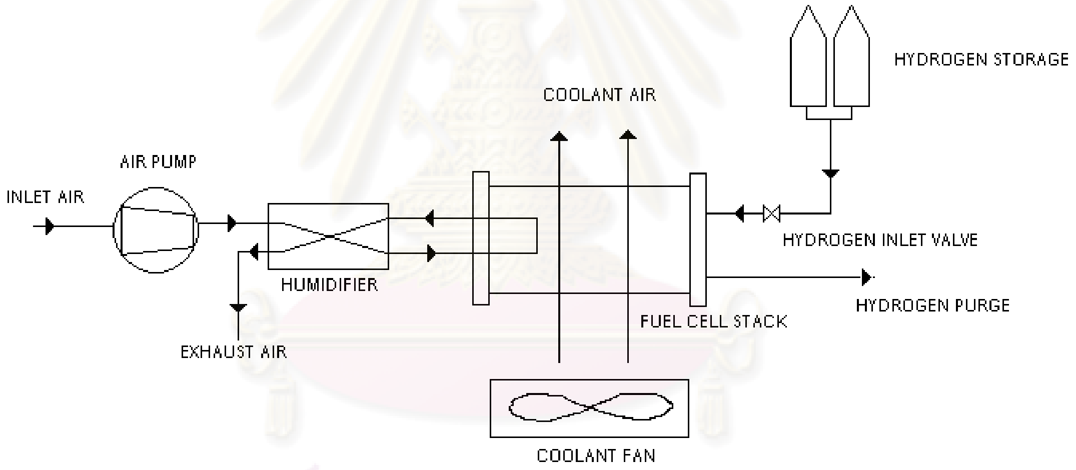
รูปที่ 2-3 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ stack [31]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของเซลล์แถวจำเป็นต้องประกอบไปด้วยหลายระบบย่อย ทั้งระบบป้อนไฮโดรเจน ระบบป้อนอากาศเข้าสู่เซลล์แถว ระบบระบายความร้อน เป็นต้น เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยระบบย่อยดังกล่าวจะถูกเรียกว่า “ระบบเซลล์เชื้อเพลิง” ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในหัวข้อถัดไป

2.2 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง [PEMFC Power Module]

PEMFC power module หรือ Proton Exchange Membrane Fuel Cell Power Module คือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีอุปกรณ์เสริม (Auxiliary) ร่วมอยู่ด้วยและมีระบบที่เชื่อมต่อให้การทำงานเป็นไปในรูปแบบที่สมบูรณ์ ทำให้สามารถทำงานแบบ stand-alone ได้ หากเป็นระบบเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็กจะถูกออกแบบให้สามารถพกพาได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นใดอีกและสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะถูกออกแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้สามารถเคลื่อนย้ายได้เหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาสู่การใช้งานยานยนต์ โดยอุปกรณ์เสริมสำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าวจะทำหน้าที่ป้อนอากาศ ไฮโดรเจน ระบายความร้อน ควบคุมระดับอุณหภูมิและความดันทำงานของเซลล์แถวให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ นอกเหนือจากนี้อาจออกแบบให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงประกอบไปด้วยระบบปลีกย่อยอื่นๆ เช่น ระบบปรับปรุงคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์ให้มีค่าสม่ำเสมอ ระบบจัดการกับน้ำให้มีค่าที่เหมาะสมต่อความต้องการเมมเบรน เป็นต้น



รูปที่ 2-4 ตัวอย่างองค์ประกอบของ power module

อุปกรณ์เสริมที่มีความจำเป็นได้แก่ คอมเพรสเซอร์ พัดลมระบายความร้อน อุปกรณ์เพิ่มความชื้น เซนเซอร์และระบบคอนโทรลอื่นๆ ดังแสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง auxiliary เข้ากับ stack ในรูปที่ 2-4

การทำงานของ power module เริ่มจากการป้อนตัวทำปฏิกิริยาเข้าสู่ระบบ โดยในด้านแคโทดจะมีระบบป้อนอากาศเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ซึ่งทำหน้าที่อัดอากาศแล้วส่งผ่านไปยังอุปกรณ์เพิ่มความชื้น เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณความชื้นให้แก่อากาศป้อนก่อนที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์

แถว สำหรับด้านแอโนดจะมีระบบป้อนไฮโดรเจนผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลแล้วเข้าสู่ด้านแอโนด ในระหว่างที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานเซลล์แถวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี จึงต้องมีพัดลมระบายความร้อนคอยช่วยระบายความร้อนทิ้ง เพื่อทำให้เซลล์แถวรักษาระดับอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้และป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายภายในเมมเบรน ซึ่งมักจะเกิดการเสียหายเมื่อต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิสูง

ในระหว่างที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงาน อุปกรณ์เสริมต่างๆ จะใช้ไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิตได้โดยไม่ใช้แหล่งจ่ายไฟสำรองเลย ซึ่งจากการศึกษา พบว่า อุปกรณ์เสริมหลักที่มีการบริโภคกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แถวสูงสุด ได้แก่ คอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายความร้อน ตามลำดับ [23] ในการกำหนดสภาวะในการทำงานจึงไม่สามารถละเลยการพิจารณาถึงปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์เสริมเหล่านี้บริโภคได้เลย ในงานวิจัยนี้จึงจะนำการบริโภคกำลังไฟฟ้าของทั้งคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายอากาศมาเป็นหนึ่งในปัจจัยในการพิจารณาสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง ดังที่ได้เกริ่นไว้ในบทนำ

2.3 การจัดการกับน้ำ

การจัดการกับน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ได้รับความสนใจและมีหลากหลายงานวิจัยพยายามที่จะศึกษา ในหัวข้อนี้จึงมีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับความสำคัญของปริมาณน้ำภายในเซลล์ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์และการเพิ่มน้ำจากภายนอกเข้าสู่เซลล์ รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

2.3.1 ปริมาณน้ำภายในเมมเบรน [18-20]

ค่า protonic conductivity ของเมมเบรนมีค่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเมมเบรนและปริมาณน้ำสะสมภายในเมมเบรนนั้น หากเมมเบรนมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอจะส่งผลให้เมมเบรนแห้ง ค่า conductivity ภายในเมมเบรนมีค่าลดลง ทำให้ค่า ohmic loss มีค่าเพิ่มขึ้นและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ลดลงเนื่องจาก ohmic loss ที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในอีกกรณีหนึ่ง หากมีการป้อนไอน้ำเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงมากเกินไปอาจทำให้เกิดปริมาณน้ำสะสมในเซลล์มากเกินจนไปก่อให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์มีปริมาณลดลง ส่งผลให้การจัดการกับปริมาณน้ำให้มีค่าที่เหมาะสมกลายเป็นกุญแจสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง นอกเหนือจากนั้นยังส่งผลต่ออายุการใช้งานของเมมเบรนและความคงทนของ catalyst อีกด้วย

2.3.2 การเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง [18,21]

น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิง อัตราของน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี มีค่าดังสมการ

$$N_{H_2o,gen} = \frac{i}{2F} \qquad (2\text{-}3)$$

โดย $N_{H_2o,gen}$ คือ อัตราของน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมีหน่วยเป็น $mol\,s^{-1}\,cm^{-2}$ และ F คือ Faraday's constant

ในขณะที่โปรตอนเคลื่อนที่จากฟากฝั่งแอโนดสู่ฝั่งแคโทด โปรตอนจะอุ้มน้ำไปยังฝั่งแคโทดด้วย กลไกนี้ถูกเรียกว่า "electroosmotic drag" ส่งผลให้ด้านแคโทดมีปริมาณน้ำสูงกว่าด้านแอโนดมาก ทั้งจากน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีและน้ำที่ได้จากปฏิกิริยา electroosmotic drag ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า "water diffusion back" ซึ่งใช้เรียกภาวะน้ำเคลื่อนที่ย้อนกลับจากด้านแคโทดสู่ด้านแอโนดเนื่องจากปริมาณน้ำที่ด้านแคโทดสูงกว่าด้านแอโนดมาก

2.3.3 การเพิ่มความชื้นแก่ระบบเซลล์เชื้อเพลิง [22]

ในกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงมีระดับน้ำในเซลล์ไม่เพียงพอ ความชื้นภายในเซลล์ต่ำ สมรรถนะของเซลล์จะมีค่าต่ำลงไปด้วยตามเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 ปริมาณน้ำในเมมเบรน การป้อนน้ำจากภายนอกให้แก่เซลล์จึงกลายเป็นสิ่งจำเป็นและสามารถทำได้หลากหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือการเพิ่มความชื้นให้แก่ตัวทำปฏิกิริยา โดยการออกแบบให้ตัวทำปฏิกิริยาเคลื่อนที่ผ่านเครื่องเพิ่มความชื้นก่อนจะเข้าสู่เซลล์ นอกเหนือจากนี้ ระบบที่ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความชื้นภายนอกสามารถออกแบบให้อากาศที่ออกจากเซลล์ไหลกลับมาป้อนน้ำให้แก่อากาศขาเข้าเพื่อเพิ่มระดับความชื้นแก่อากาศป้อนก่อนที่จะไหลเข้าสู่เซลล์

2.4 **เซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความชื้นต่ำ**

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อากาศในบรรยากาศเป็นออกซิแดนท์ในการเข้าทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจะมีสภาวะของอากาศป้อนที่เข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับอากาศแวดล้อม หากเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อากาศแวดล้อมความชื้นต่ำ ซึ่งไม่เหมาะต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดังได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงที่ต้องทำงานภายใต้อากาศที่มีความชื้นต่ำและการเพิ่มสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงในสภาวะอากาศดังกล่าว มีเนื้อหาดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1 สมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความชื้นต่ำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเมมเบรนที่ใช้ภายในเซลล์เชื้อเพลิงต้องการให้มีความชื้นภายในเมมเบรนสูงจึงจะทำงานได้ดี เนื่องจาก ค่า protonic conductivity ของเมมเบรนนั้นจะมีค่าที่ดีก็ต่อเมื่อปริมาณความชื้นภายในเซลล์มีค่าเพียงพอดังที่เคยกล่าวไปในหัวข้อ การเพิ่มความชื้นแก่เซลล์จึงมีความจำเป็นโดยในหลากหลายการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงนิยมติดอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแก่อากาศไว้ภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความชื้นแก่อากาศขาป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง แต่ก็มีอีกหลายงานวิจัยที่พยายามจะศึกษากรณีที่อากาศป้อนมีความชื้นต่ำเนื่องจากการไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะยังคงทำงานได้ดีหรือไม่ ผลการศึกษาพบว่า สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อเซลล์ทำงานที่ความชื้นต่ำยังคงมีค่าต่ำกว่าตอนที่เซลล์มีความชื้นสูงอยู่มาก แต่ก็ยังพบว่ามีหลายปัจจัยที่สามารถปรับปรุงเซลล์ที่มีความชื้นในการทำงานต่ำมีค่าสมรรถนะที่ดีขึ้นได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้พยายามรวบรวมผลการวิจัยที่บ่งชี้ว่า หากเซลล์เชื้อเพลิงมีอากาศป้อนที่ความชื้นต่ำ จะสามารถแก้ไขให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นได้โดยอาศัยปัจจัยดังต่อไปนี้

2.4.2 การเพิ่มสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานภายใต้ความชื้นต่ำ

การเพิ่มสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานภายใต้ความชื้นต่ำสามารถทำการปรับค่าในการทำงานได้หลายค่า ได้แก่ ความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง อัตราการไหลของตัวทำปฏิกิริยา เป็นต้น รายละเอียดการเพิ่มสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานภายใต้ความชื้นต่ำมีดังต่อไปนี้

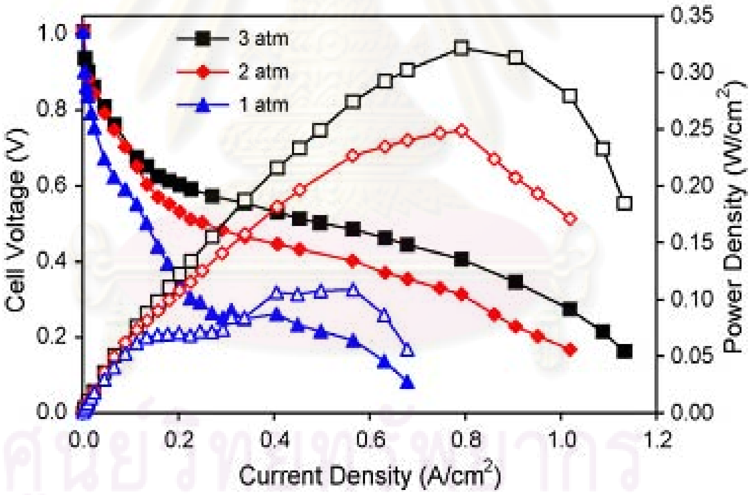
(ก) ความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง [15,18,24]

โดยปกติแล้วเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนนั้นสามารถทำงานในที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าความดันบรรยากาศก็ได้ ระดับความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะถูกควบคุมโดย backpressure regulator ที่ติดตั้งไว้ที่ขาออกของตัวทำปฏิกิริยาทั้งสองด้าน สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศนั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่ในการเลือกว่าจะใช้ความดันทำงานที่เท่าใดยังจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง Power consumption ที่มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบด้วย นอกจากนี้ยังมีปัญหาการรั่วของตัวทำปฏิกิริยาที่ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน

ในการทดสอบหาค่าความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสม ทาง J.L.Zhang ได้แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดสอบของเขาและคณะออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน โดยวิธีแรก

เขาได้ใช้วิธีประเมินประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจากค่าcell voltage และค่า power density เทียบกับค่า current density และสำหรับวิธีที่สองเขาจะเพิ่มการพิจารณาค่า kinetic and mass transfer resistances ที่ประเมินจากค่า In-situ AC Impedance diagnosis เข้าไปร่วมกับการพิจารณาในวิธีแรก

ในการทดสอบครั้งแรกของเขา J.L.Zhang [15] ที่ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิทำงานเป็น 80-120°C โดยใช้อากาศแห้งเป็นออกซิแดนท์แล้วใช้วิธีการวิเคราะห์วิธีแรก พบว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจาก 1 atm เป็น 2 atm และ 3 atm ตามลำดับ ค่า Cell voltage ของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป 2-5 เขาให้เหตุผลว่า การลดค่าความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะส่งผลในเชิงลบต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงถึงสองด้านด้วยกัน ด้านแรกคือส่งผลให้เกิด partial pressure drop ขึ้นภายในช่องทางการไหลของตัวทำปฏิกิริยาทั้งสอง และในด้านที่สองคือการเพิ่มขึ้นของ volumetric flow rate เมื่อทำงานที่ความดันต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีที่ความดันสูงขึ้นและใช้ค่า mass flow rate คงที่

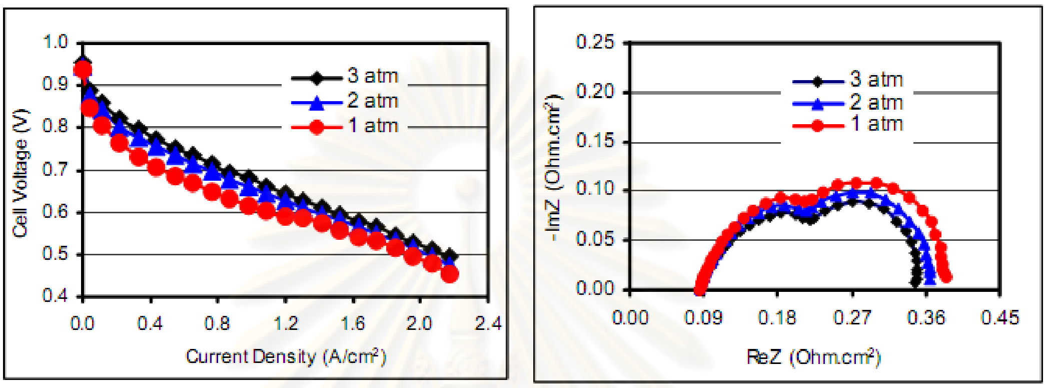


รูปที่ 2-5 ผลของความดันทำงานที่มีต่อค่า Cell Voltage ของเซลล์เชื้อเพลิง [15]

ผลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นแรกสอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นที่สองของ J.L.Zhang [24] ที่ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 70°C และใช้ตัวทำปฏิกิริยาที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100% แล้วใช้วิธีการวิเคราะห์วิธีที่สอง พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจาก 1 atm . ไปเป็น 2 และ 3 atm. ค่า Cell voltage ของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วยเช่นเดียวกันกับงานชิ้นแรกดังแสดงในรูปที่ 2-6 (a) และจากผลของ In-situ Ac Impedance

diagnosis แสดงให้เห็นว่า kinetic and mass transfer resistances มีค่าลดลงเมื่อความดันทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-6 (b)

จากการทดสอบทั้งสองครั้งของเขาพบว่า เมื่อทำการเพิ่มความดันทำงานเซลล์เชื้อเพลิงจะส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าดีขึ้นไม่ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานโดยไม่ได้รับความชื้นจากภายนอกเลยหรือทำงานโดยได้รับความชื้นจากภายนอกเป็นปริมาณสูงก็ตาม



รูปที่ 2-6 ผลของความดันทำงานที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง [24]

(a) ผลต่อ cell voltage (b) ผลต่อ In-situ AC Impedance diagnosis

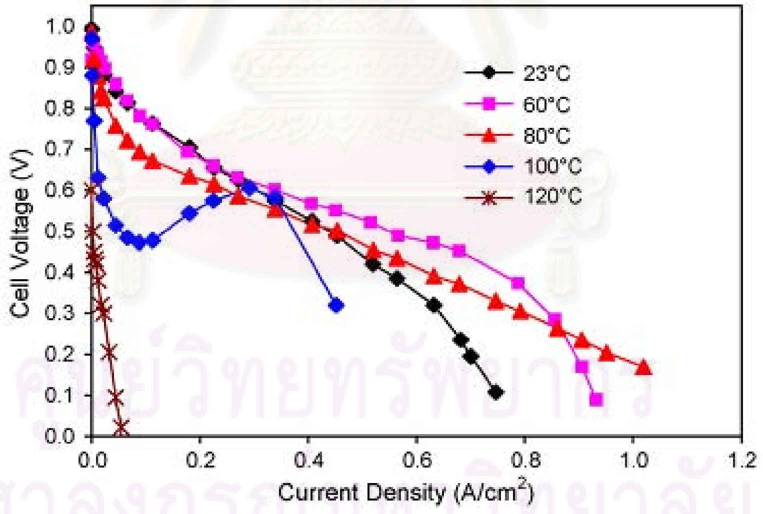
(ข) อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง [15,25]

อุณหภูมิทำงานเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์ดีขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ค่า reaction kinetic ของทั้งไฮโดรเจนและออกซิเจนจะมีค่าสูงขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงก็จะทำให้น้ำภายในเมมเบรนระเหยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำสะสมภายในเซลล์ลดลงซึ่งจะส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของเซลล์ การควบคุมอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้มีค่าที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและหลีกเลี่ยงไม่ได้

ในการศึกษาหาอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบที่ความชื้นต่ำหรืออากาศแห้งนั้น เมื่อทำการทดสอบแล้ววิเคราะห์ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งนั้นเป็นไปได้ยากที่จะสรุปให้แน่ชัดได้ว่าผลการทดสอบที่ได้เกิดจากสาเหตุใด ในงานวิจัยบางชิ้น อาจใช้การเปรียบเทียบผลของ polarization curve หรือใช้การเปรียบเทียบค่า cell voltage ควบคู่ไปกับ ค่า internal resistance ในการบ่งชี้ว่าอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมควรมีค่าเป็นเท่าไร ดังงานวิจัยตัวอย่างต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

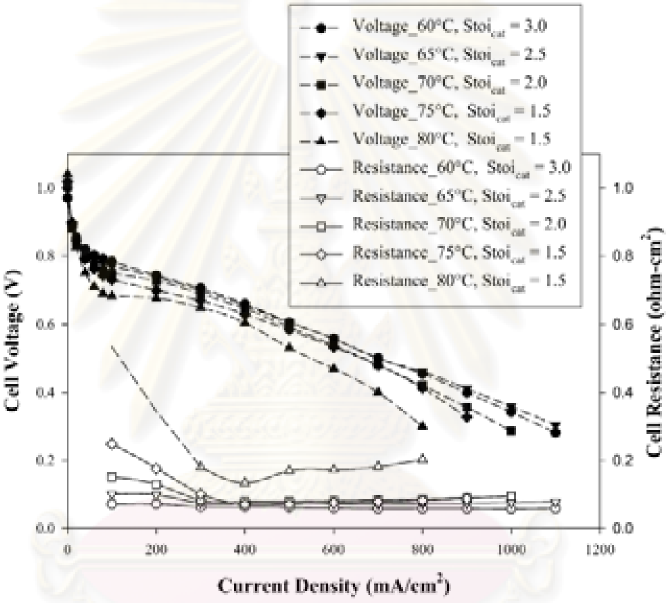
ในงานวิจัยของ J. Zhang และคณะ [15] ได้ทดสอบผลของอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีค่าเป็น 23ºC 60ºC 80ºC 100ºC และ 120ºC ต่อเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อากาศแห้งเป็นออกซิแดนท์ พบว่า อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดเป็น 60ºC โดยวิเคราะห์จาก polarization curve ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-7 โดยเขาได้อธิบายผลการทดสอบว่าในช่วงที่ current density มีค่าต่ำ ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าที่ดี เมื่ออุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 23ºC และ 60ºC ที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าวจะให้ค่า current density ที่ใกล้เคียงกันมาก น่าจะเนื่องมาจากขณะที่current density มีค่าต่ำนั้น และที่เซลล์เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิทำงานเป็น 23ºC เซลล์จะมีปริมาณน้ำสะสมภายในเซลล์สูงกว่าเมื่ออุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 60ºC แต่ ณ อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 60ºC เซลล์จะมีค่า reaction kinetics ที่ดีกว่า ณ อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง 23ºC และเมื่อทดสอบที่ current density สูงขึ้น พบว่า ที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 60ºC จะให้ค่า current density ที่ดีกว่า ณ อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบค่าอื่นๆ เนื่องมาจากผลของค่า reaction kinetics ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะมีผลมากกว่าผลจากการสูญเสียปริมาณน้ำที่สะสมภายในเซลล์



รูปที่ 2-7 Polarization curve ณ อุณหภูมิทำงานต่างๆ [15]

ในงานวิจัยของ Minkmas V. Williams และคณะ [25] ที่ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้วทดสอบผลของอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง โดยทดสอบที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 60ºC, 65ºC, 70ºC, 75ºC และ 80ºC แล้ววัดค่า cell voltage และค่า internal resistance เพื่อนำมาพิจารณา

เปรียบเทียบกรณีที่ทดสอบทั้ง 5 กรณี พบว่า ที่ current density เป็น 400 mA/cm^2 ค่า cell voltage จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จาก 60ºC ไปเรื่อยๆจนมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเป็น 75ºC แล้วจึงตกลงเมื่ออุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 80ºC ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาค่า internal resistance ที่เกิดขึ้นแล้ว ก็จะพบว่า ณ อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 80ºC ค่า internal resistance จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ทางคณะวิจัยอนุมานว่าค่า cell voltage ที่ตกลงเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 80ºC เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของค่า internal resistance ที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ผลของอุณหภูมิทำงานต่อ cell voltage และ cell resistance ของเซลล์เชื้อเพลิง[25]

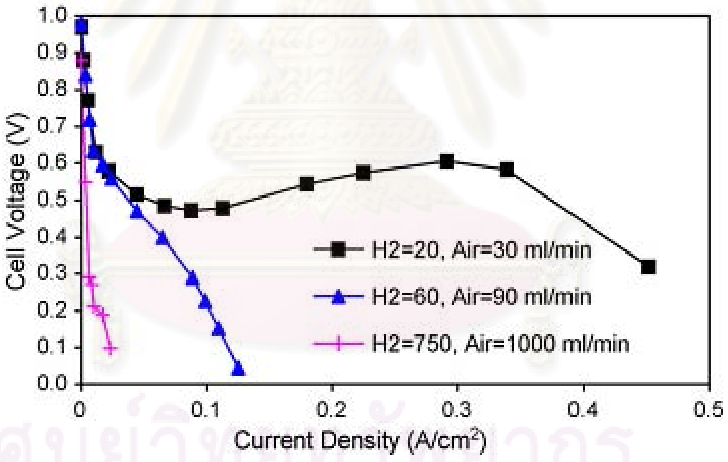
จากผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่ความชื้นต่ำลงจะมีแนวโน้มที่จะมีสมรรถนะที่ดี ณ อุณหภูมิทำงานที่ต่ำเช่นกัน โดยเปรียบเทียบจากอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความชื้นอย่างเหมาะสม ซึ่งมักจะมีค่าประมาณ 80ºC

(ค) อัตราการไหลของตัวทำปฏิกิริยา [15]

อัตราการไหลของตัวทำปฏิกิริยาที่ป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นนอกจากป้อนเข้าไปเพื่อการทำปฏิกิริยาแล้ว ในด้านแคโทด การป้อนออกซิแดนท์ยังต้องให้เพียงพอต่อการไล่น้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในบริเวณด้านแคโทดอีกด้วย การเลือกใช้อัตราการไหลของออกซิแดนท์จึงนิยมให้มีค่าสูงกว่าความต้องการของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

นอกเหนือจากผลดีต่อการกำจัดน้ำภายในเซลล์แล้ว การใช้อัตราการไหลของออกซิแดนท์ที่สูงยังส่งผลให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงสม่ำเสมออีกด้วย แต่การที่อัตราการไหลของออกซิแดนท์สูงนั้นก็ส่งให้คอมเพรสเซอร์กินไฟเพิ่มขึ้น และการใช้อัตราการไหลของออกซิแดนท์สูงในกรณีที่ปริมาณน้ำภายในเซลล์มีค่าต่ำ จะส่งผลให้เมมเบรนแห้งและการเกิดปฏิกิริยาลดลง

ในกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงาน ณ ความชื้นต่ำ กลับพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานได้ดีเมื่ออัตราการไหลต่ำ ดังเช่นการทดสอบของ J.L.Zhang และคณะ [15] ที่พวกเขาทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้อากาศแห้งเป็นออกซิแดนท์แล้วพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่า cell voltage ที่ต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับการทดสอบที่อัตราการไหลต่ำ ณ current density เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-9 โดยเขาได้ให้เหตุผลไว้ว่า ที่อัตราการไหลสูงจะส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำออกจากเมมเบรน มากเกินไปส่งผลให้เมมเบรนแห้งแล้วจึงทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าต่ำลงเมื่อ เทียบกับการทดสอบที่ใช้อัตราการไหลที่ต่ำลงมา



รูปที่ 2-9 ผลของอัตราการไหลของอากาศต่อค่า cell voltage [15]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง) ปัจจัยอื่นๆ [26]

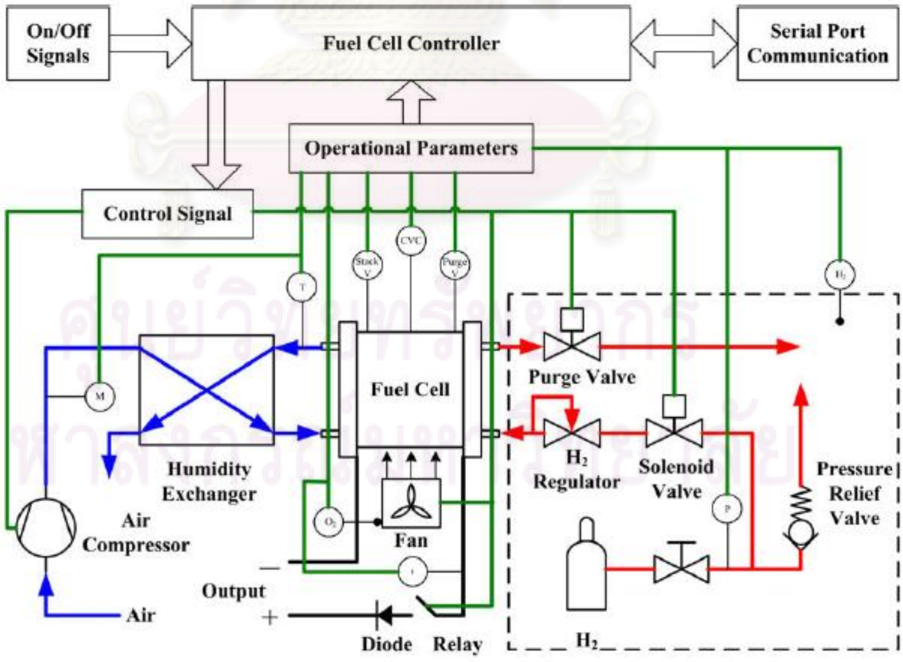
การปรับปรุงสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ความชื้นภายในเซลล์ต่ำยังคงมีผู้ที่ศึกษาในแง่มุมอื่นๆ อีก เช่น ผลของพื้นที่ของอิเล็กโทรด (electrode) ต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การเลือกชนิดของ อิเล็กโทรดและจัดเตรียมอิเล็กโทรดภายในเซลล์ การออกแบบทิศทางการไหลของออกซิแดนท์ โดยออกแบบ แผ่นนำไฟฟ้าสองขั้ว (bipolar plate) ใหม่ โดยมุ่งว่าการควบคุมทิศทางการไหลของไฮโดรเจนและอากาศจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์มีค่าที่ดียิ่งขึ้น ฯลฯ

บทที่ 3
ระบบเซลล์เชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่อยู่ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงของ NEXA power module ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยหลายระบบย่อย ทั้งในส่วนของระบบป้อนอากาศ ระบบป้อนเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ระบบเก็บข้อมูล ระบบระบายความร้อนและระบบไฟฟ้า รายละเอียดเกี่ยวกับระบบย่อยต่างๆ ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงและข้อมูลที่ได้จากการทดสอบใช้งานจริง มีเนื้อหาดังต่อไปนี้

3.1 ระบบย่อยภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย เซลล์แถวที่สามารถผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1.5 กิโลวัตต์ เพื่อใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ภาระและอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์แถวนี้ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% ทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับอากาศ และใช้การระบายความร้อนโดยอากาศเช่นกัน ระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถเคลื่อนย้ายได้และมีน้ำหนักที่เบา สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติหลังจากที่สตาร์ทแล้ว แผนผังการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นไปดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนผังการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง [27]

3.1.1 เซลล์แถว (Stack)

เซลล์แถวในระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและอากาศ โดยผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีดังกล่าวมีเพียงน้ำและความร้อนเท่านั้น เซลล์แถวออกแบบให้มีช่องระบายความร้อนโดยใช้อากาศไหลผ่าน เซลล์แถวสามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้ 43 โวลต์ขณะที่ไม่มีภาระและ 26 โวลต์ขณะที่ภาระสูงสุด ภายนอกเซลล์แถวมีระบบป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อเซลล์แถว โดยตรวจค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวให้ไม่ทำงานขณะที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 26 โวลต์ หากค่าแรงดันต่ำกว่าที่กำหนดระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

3.1.2 ระบบป้อนอากาศ

การไหลของอากาศเข้าสู่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ จะเริ่มจากอากาศผ่านตัวกรองอากาศเข้าสู่คอมเพรสเซอร์แล้วผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์แถว หลังจากนั้นอากาศขาทิ้งจะไหลออกจากเซลล์แถวมาพร้อมกับน้ำที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีแล้วไหลวนเข้าสู่อุปกรณ์เพิ่มความชื้นอีกครั้งเพื่อไปแลกเปลี่ยนน้ำและความร้อนกับอากาศป้อนก่อนที่จะถูกทิ้งออกสู่บรรยากาศ โดยอัตราการไหลของอากาศหลังผ่านคอมเพรสเซอร์จะถูกควบคุมให้มีค่าที่เหมาะสมกับปริมาณภาระ

3.1.3 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์ 99.99% โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นใดๆ และมีวาล์วนิรภัยเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการรั่วไหลของไฮโดรเจน พร้อมกันนี้ภายในระบบจ่ายเชื้อเพลิงประกอบไปด้วยระบบ purge cell ที่ทำหน้าที่ขับเอาน้ำและสิ่งตกค้างอื่นภายในเมมเบรนทิ้งสู่บรรยากาศ เนื่องจากสิ่งตกค้างจำพวกน้ำและไนโตรเจนจะสะสมตัวขึ้นภายในเมมเบรนแล้วสิ่งตกค้างดังกล่าวจะสามารถทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงได้ ในระหว่างที่ระบบจ่ายเชื้อเพลิงทำการ purge cell จะมีการควบคุมให้ก๊าซไฮโดรเจนออกมาพร้อมกับสิ่งตกค้างอื่นๆ ในจำนวนที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้

3.1.4 ระบบเก็บข้อมูล

ระบบเก็บข้อมูลของระบบเชื้อเพลิงสามารถทำได้ในรูปของ excel file โดยผ่านโปรแกรม NexaMon ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะสำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ โปรแกรมดังกล่าวทำการบนโปรแกรม Labview ในการเก็บข้อมูลจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Labview ต่อเข้ากับ

ระบบเก็บข้อมูลของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อที่จะส่งผ่านข้อมูลการทำการ บ่งบอกสถานการณ์ทำงานหรือข้อผิดพลาดในการทำงานที่เกิดขึ้นรวมไปถึงการบันทึกข้อมูล

3.1.5 ระบบระบายความร้อน

การระบายความร้อนภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้น เป็นการใช้อากาศในการระบายความร้อน โดยใช้พัดลมระบายความร้อนเป่าอากาศจากด้านล่างของเซลล์แถวให้ไหลผ่านช่องทางระบายความร้อนของเซลล์แถวขึ้นไปทางด้านบนของเซลล์แถว อากาศบริเวณเหนือเซลล์แถวจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศโดยรอบบริเวณอื่นเล็กน้อยเพราะอากาศบริเวณนี้ได้รับความร้อนมาจากเซลล์แถว การออกแบบระบบป้อนอากาศซึ่งต้องการอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจึงนำข้อได้เปรียบนี้มาใช้ โดยการติดตั้งบริเวณที่คอมเพรสเซอร์จะดูดอากาศเข้าไปป้อนสู่เซลล์แถวไว้ในบริเวณเหนือเซลล์แถว เพื่อที่จะได้อากาศป้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

3.1.6 ระบบไฟฟ้าควบคุม (Electronic Control System)

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยอาศัยระบบไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ภายในระบบควบคุมไฟฟ้าประกอบไปด้วยแผงควบคุมที่จะรับสัญญาณจากเซนเซอร์ต่างๆ ที่ติดตั้งภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถว ค่าอัตราการไหลของอากาศ ค่าความดันของไฮโดรเจน และค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แถว เป็นต้น นอกจากแผงควบคุมจะตรวจสอบค่าสัญญาณต่างๆ แล้ว ยังทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหยุดทำงานอัตโนมัติหากค่าที่ได้รับผิดไปจากค่าที่กำหนด พร้อมแจ้งข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นผ่านโปรแกรม NexaMon อุปกรณ์ทุกชิ้นภายในระบบไฟฟ้าควบคุมใช้ไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิงโดยไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟภายนอก ยกเว้นอุปกรณ์ส่งป้อนข้อมูลที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานพร้อมส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้ อุปกรณ์ดังกล่าวจำต้องใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอกในการทำงาน

3.2 การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ในระหว่างที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงาน ระบบจะไม่ได้อยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ตลอดเวลา เช่น ในขณะเริ่มทำงานเซลล์เชื้อเพลิงต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกจนกระทั่งระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำการผลิตและจ่ายไฟฟ้าเองได้ ระบบจึงจะหยุดการใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอก การเพิ่มขึ้นของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่คงที่ การไล่น้ำที่มักจะพบขณะเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายภาระสูงและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทำงาน เป็นต้น การที่จะศึกษาผลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ในภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

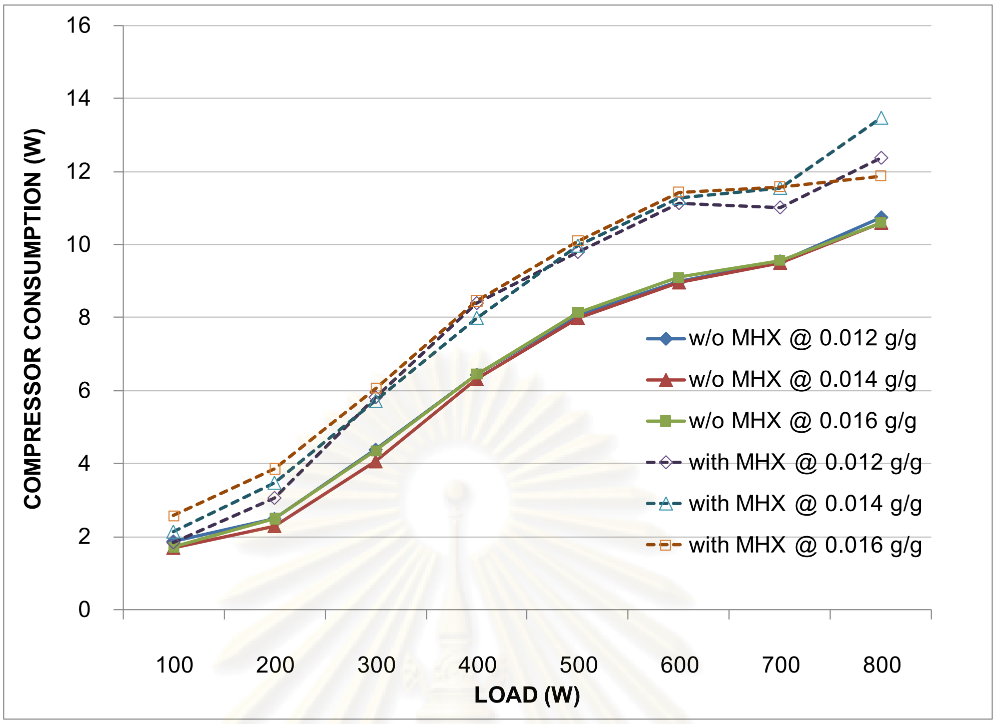
ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยจะเลือกเก็บข้อมูลจากช่วงการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงส่วนที่อยู่ในสภาวะคงตัวมาวิเคราะห์เท่านั้น ผลการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงในสภาวะคงตัวจะแสดงในบทที่ 5 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงหยิบยกเอาการทำงานของระบบส่วนที่ไม่ได้อยู่ในภาวะคงตัวแต่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบนี้มานำเสนอและบันทึกผลการทดสอบไว้ เพื่อที่จะบ่งชี้การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้ละเอียดมากขึ้นและเอื้อต่อการศึกษาการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ต่อไปในอนาคต การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในช่วงที่ระบบไม่ได้อยู่ในสภาวะคงตัวมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 การเริ่มทำงาน

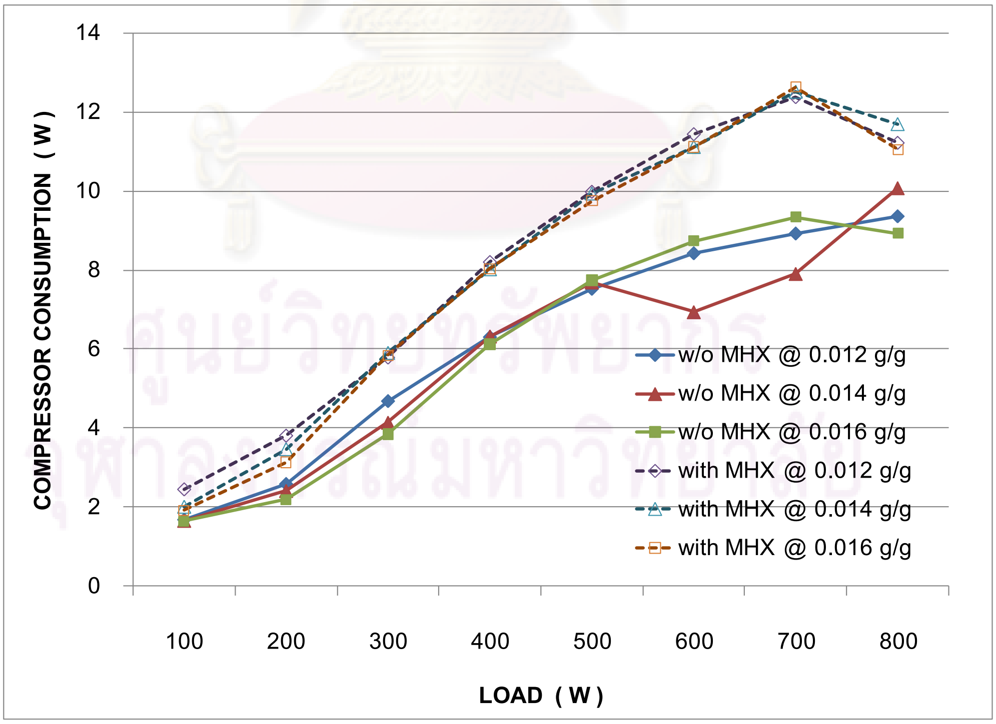
ในการเริ่มทำงาน ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเริ่มทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 18-36 โวลต์จ่ายไฟฟ้าให้แก่คอมเพรสเซอร์วาล์วควบคุมไฮโดรเจนและระบบควบคุมไฟฟ้าเพื่อเริ่มจ่ายอากาศและก๊าซไฮโดรเจนแก่เซลล์แถวในปริมาณที่พอเหมาะ เมื่ออากาศและไฮโดรเจนเข้าทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีแล้วระบบจะหยุดใช้แหล่งไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวแล้วเริ่มนำเอาไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้ภายในเซลล์แถวมาใช้แทน เพื่อที่ระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภายนอกอีก การสลับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าดังกล่าวจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงเริ่มการใช้งานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงเท่านั้น

3.2.2 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์และการไล่น้ำ

ผลการเปรียบเทียบการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น(MHX) ในรูปที่ 3-2, 3-3 และ 3-4 แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้อยู่เสมอเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25, 30 และ 35°C ตามลำดับ เนื่องมาจากกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นระบบจะมีการสูญเสียภายในตัวอุปกรณ์และในท่อมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าในช่วงต้นของการรับภาระเท่านั้น หากทำการทดสอบต่อเนื่อง ณ ภาระเดียวกันเป็นเวลานาน ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระบบทำการไล่น้ำทิ้ง ระดับการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จึงกลับมาที่ระดับใกล้เคียงกับช่วงเริ่มต้นจากนั้นค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในระหว่างที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานต่อเนื่องที่ภาระคงที่ การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามจำนวนครั้งที่ระบบทำการไล่น้ำเสมอ

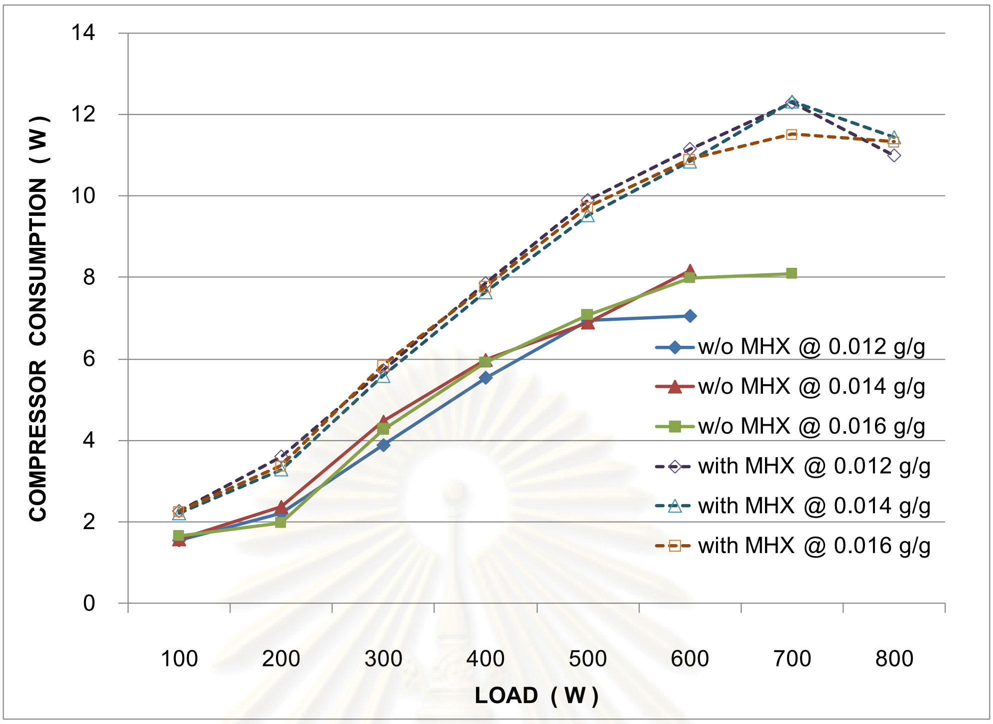


รูปที่ 3-2 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 3-3 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 30°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-4 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ช่วงต้นการทดสอบที่อากาศอุณหภูมิ 35°C

ผลการทดสอบเมื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับคอมเพรสเซอร์ในช่วงต้นการทดสอบด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า พบว่า ในทุกสภาวะการทดสอบ ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์มีค่าไม่เกิน 9% ของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่อุปกรณ์เสริมบริโภค และเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แถวได้พบว่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์มีค่าน้อยกว่า 2% ของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เซลล์แถวผลิตได้ คอมเพรสเซอร์จึงไม่ใช่อุปกรณ์ที่บริโภคกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์เสริมอื่นในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบ ณ ภาระเดียวกันเป็นเวลานานอาจเกิดจากการสะสมตัวของน้ำและสิ่งตกค้างอื่นๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในช่องทางการไหลของอากาศภายในเซลล์แถว ทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องบริโภคกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะรักษาอัตราการไหลให้คงที่ และหลังจากเกิดการไล่น้ำ น้ำและสิ่งตกค้างที่อยู่ตามช่องทางการไหลของอากาศจะถูกขับออกไปจากเซลล์แถว ทำให้คอมเพรสเซอร์มีการบริโภคกำลังไฟฟ้าที่ลดลงมาใกล้เคียงกับตอนต้นอีกครั้ง

ในการทดสอบครั้งนี้ ผู้วิจัยได้บันทึกจำนวนครั้งของการไล่น้ำเอาไว้ ความถี่ของการไล่น้ำระบุไว้ดังตารางที่ 3-1

	ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น (g/g)			ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น (g/g)		
น้ำในอากาศ ($kg_{moist}/kg_{dry\ air}$) / อุณหภูมิ (°C)	0.012	0.014	0.016	0.012	0.014	0.016
25	1	0	0	3	1	2
30	3	4	3	1	2	2
35	2*	1*	2**	1	2	2

หมายเหตุ * ระบบไม่สามารถทำการทดสอบที่ 700 และ 800 วัตต์ได้ เนื่องจากค่าแรงดัน ไฟฟ้าเซลล์แถวต่ำกว่าค่าที่กำหนด

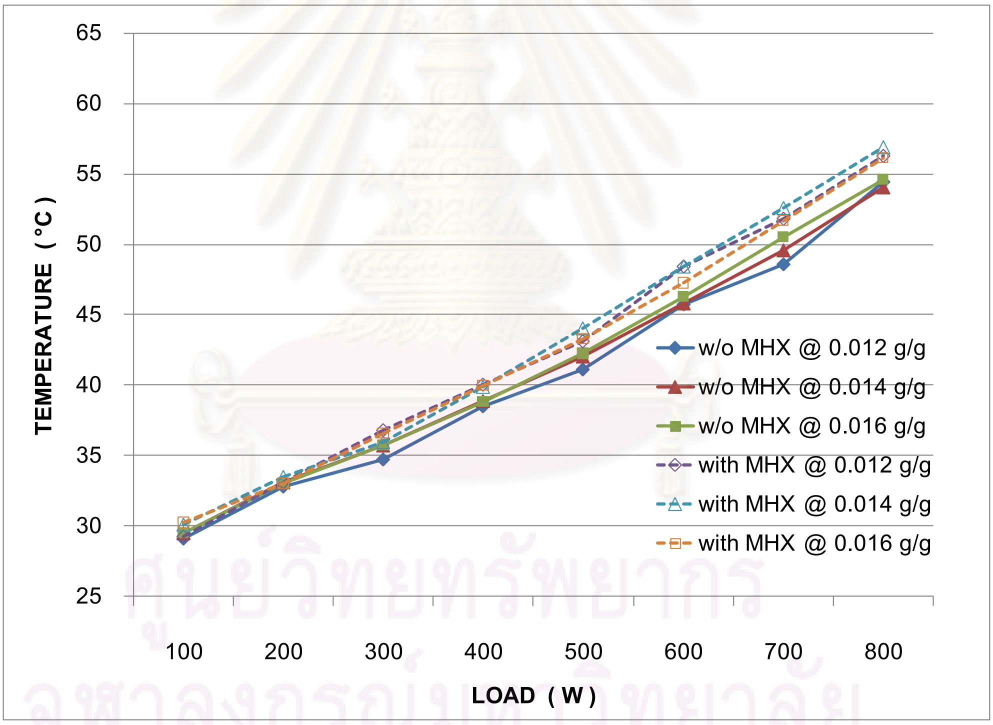
** ระบบไม่สามารถทำการทดสอบที่ 800 วัตต์ได้เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าเซลล์แถวต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ตารางที่ 3-1 ความถี่ของการไล่น้ำในการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง

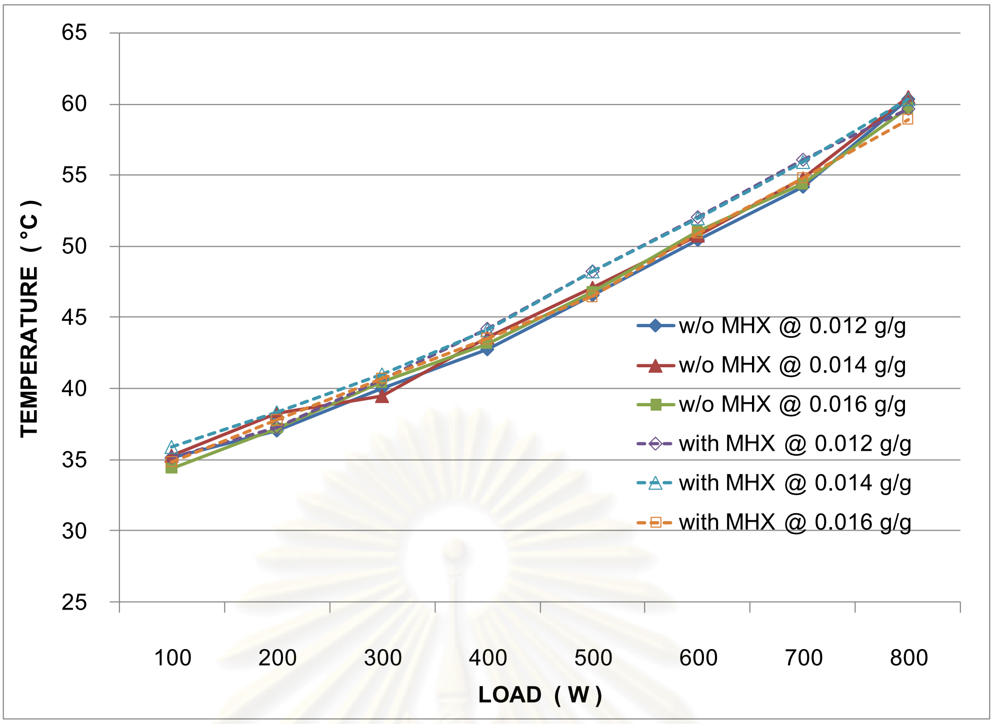
ในระหว่างทำการทดสอบ ผู้วิจัยสังเกตว่าการไล่น้ำจะสอดคล้องกับค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ โดยคอมเพรสเซอร์บริโภคกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นในขณะที่ระบบรับภาระเท่าเดิม จนกระทั่งค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า 14.3 วัตต์ ระบบจะทำการไล่น้ำเสมอ การไล่น้ำทั้งหมดถูกพบเมื่อทำการทดสอบขณะที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงต้องรับภาระสูงกว่า 500 วัตต์ จากรูป 3-2, 3-3 และ 3-4 เมื่อพิจารณาช่วงภาระต่ำความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์กับภาระมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่ที่ภาระสูงกว่า 500 วัตต์ ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะต่ำลงเนื่องจากหลังจากผ่านการไล่น้ำ ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะลดต่ำลง โดยในการไล่น้ำแต่ละครั้งคอมเพรสเซอร์ทำงาน 100% ระบบจะส่งเสียงดังขึ้นจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ อัตราการไหลของอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็น 140 slpm โดยเฉลี่ย เป็นเวลา 10 วินาทีต่อเนื่อง ในแต่ละครั้งที่เกิดการไล่น้ำปริมาณน้ำที่ออกมาจะมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 19.5 กรัม

3.2.3 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถว

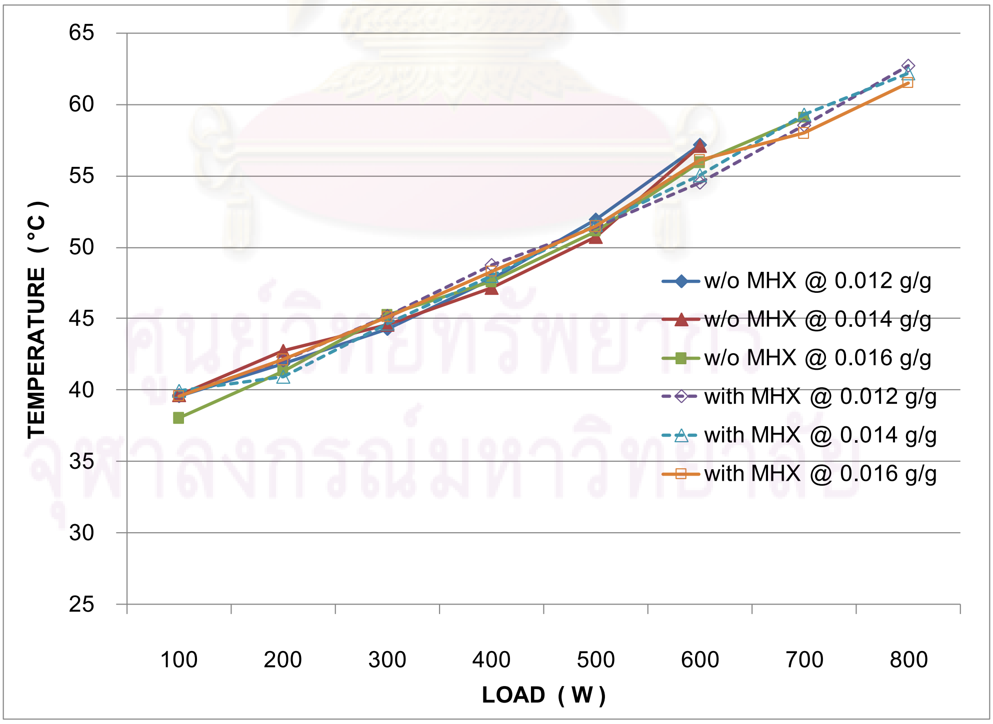
จากเมื่อเริ่มการทดสอบ ค่าอุณหภูมิของเซลล์แถวจะขยับตัวสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องและรักษาระดับไว้คงที่เมื่อเวลาผ่านไปราว 3-4 นาที และเมื่อเพิ่มภาระทางไฟฟ้าอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวจะมีเพิ่มขึ้นแล้วคงที่เมื่อเวลาผ่านไปราว 3-4 นาทีเช่นเดิม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางไฟฟ้าและอุณหภูมิเซลล์แถวจะพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวขณะที่ระบบใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีจะมีค่าต่างกันไม่เกิน 3°C ตลอดการทดสอบ ค่าอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวที่ทดสอบ ณ อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°Cและ 35°C แสดงไว้ดังรูปที่ 3-5, 3-6 และ 3-7 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทำงานที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°Cและ 35°C แสดงไว้ในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-5 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อากาศอุณหภูมิ25°C

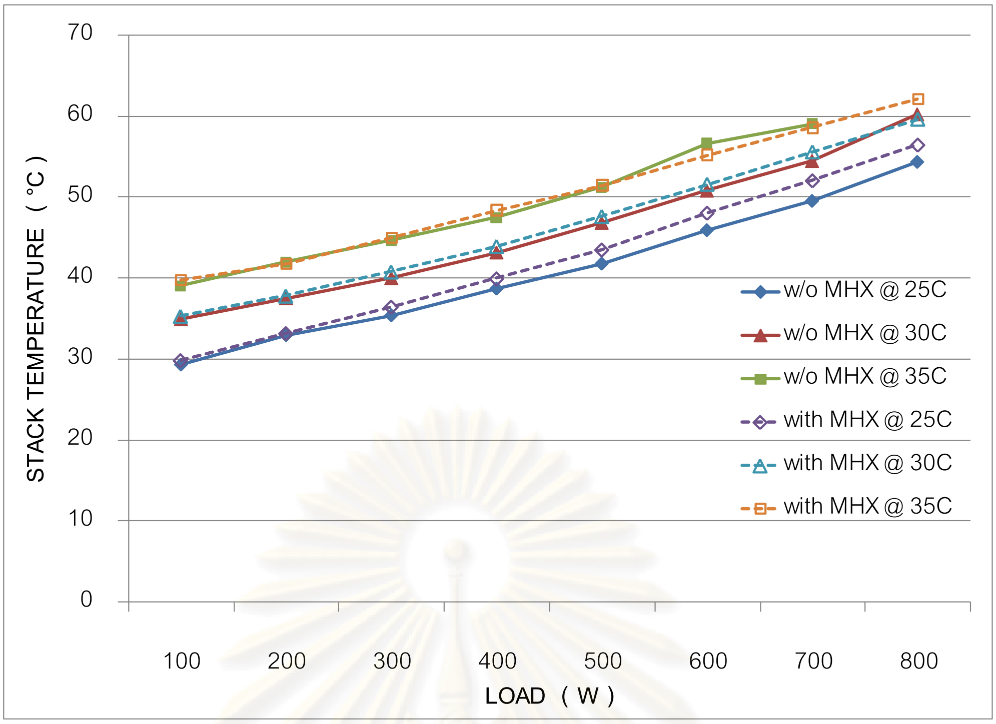


รูปที่ 3-6 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อากาศอุณหภูมิ30°C



รูปที่ 3-7 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อากาศอุณหภูมิ35°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทำงานที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°Cและ 35°C

จากรูปที่ 3-8 พบว่า อุณหภูมิทำงานเฉลี่ยของเซลล์แถวของทั้งสองกรณี ณ แต่ละอุณหภูมิอากาศมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งส่งผลดีต่อการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของเซลล์แถว หากการทดสอบระหว่างกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นส่งผลให้เซลล์แถวทำงานที่อุณหภูมิแตกต่างกันมากเกินไป การเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ทั้งในส่วนของเมมเบรนและชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)จะแตกต่างกันสูงมาก

3.3 การเก็บข้อมูลในการทดสอบ

จากหัวข้อการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำให้ทราบว่าขณะที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงาน ระบบไม่ได้อยู่ในสภาวะคงตัวตลอดเวลา จะมีการไล่น้ำ การเพิ่มขึ้นของค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์และค่าอุณหภูมิทำงานที่จะขยับตัวขึ้นระยะหนึ่งหลังจากระบบรับภาระก่อนที่จะคงตัว ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งหมดในช่วงที่ค่าอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวคงตัว เป็นเวลา 4 นาที หากมีการไล่น้ำเกิดขึ้นระหว่างที่บันทึกผลการทดสอบ ผู้วิจัยจะทำการบันทึกผลใหม่อีกครั้งหลังจากที่ค่าอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวคงตัวกลับมาคงตัว เพื่อที่จะลดปัจจัยอื่นที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลการทดสอบ

ที่แสดงในบทที่ 5 จึงเป็นผลบันทึกขณะที่อุณหภูมิทำงานคงตัวทั้งหมด และการพิจารณาว่าระบบอยู่ในภาวะคงตัวหรือไม่ ผู้วิจัยได้ละทิ้งผลกระทบจากการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่คงที่ เนื่องจากขณะที่การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของอากาศยังถูกควบคุมให้มีค่าคงที่และค่าของการเพิ่มขึ้นของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เซลล์แถวผลิต

เนื้อหาในบทที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ ได้กล่าวถึงเพียงข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิงพร้อมผลการทำงานทั่วไปของระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแนวคิดในการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เท่านั้น ในส่วนของสมรรถนะการทำงานของเซลล์แถวและอุปกรณ์เสริม ณ สภาวะคงตัว ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยจะถูกแสดงไว้ในบทที่ 5 ผลและการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การทดสอบงานวิจัย

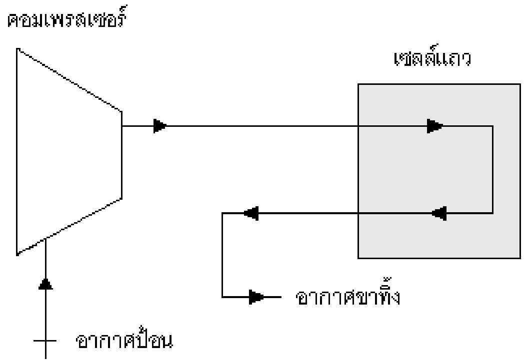
จากเนื้อหาเกี่ยวกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในบทที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ผู้วิจัยพบว่าในการทดสอบของงานวิจัยนี้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการดัดแปลงระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้สามารถถอดเอาอุปกรณ์เพิ่มชื้นออกจากระบบและติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวกลับเข้าไปในระบบได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าควบคุมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง การดัดแปลงระบบเซลล์เชื้อเพลิงจึงจัดได้ว่าเป็นหัวใจของบทนี้ พร้อมกันนั้นยังมีเนื้อหาเกี่ยวกับการวัด การติดตั้งเซนเซอร์ ห้องที่ใช้ควบคุมสภาวะในการทดสอบและขั้นตอนในการทดสอบ ดังจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 แนวทางการทดสอบ

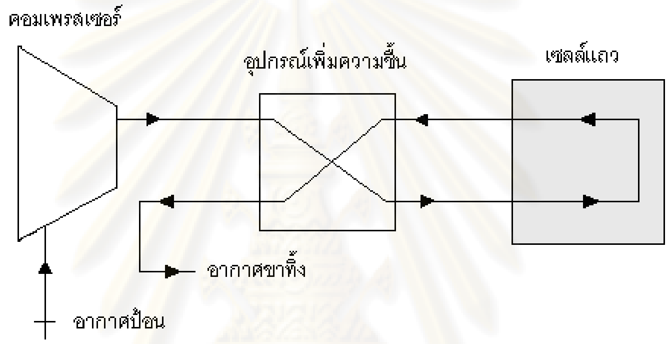
เพื่อศึกษาถึงความสำคัญของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นในระบบป้อนอากาศต่อการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง การทดสอบจึงถูกแบ่งออกเป็นสองกรณีอย่างชัดเจน กรณีแรกเป็นการทดสอบโดยไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นในระบบป้อนอากาศ ดังรูปที่ 4-1(ก) และกรณีที่สองเป็นการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบป้อนอากาศ ดังรูปที่ 4-1(ข)

จากแนวทางการทดสอบเพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้ว ยังต้องทำการทดสอบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม การบริโภคเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพรวมของทั้งสองกรณี เพื่อนำมาบ่งชี้ข้อได้เปรียบเสียเปรียบของการใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบป้อนอากาศของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งในแต่ละหัวข้อที่จะทำการศึกษา มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเซนเซอร์และเก็บข้อมูลระหว่างการทดสอบเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมรรถนะในการทำงานของทั้งสองกรณีทดสอบ การเตรียมการทดสอบทั้งหมดมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น



ข) ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

รูปที่ 4-1 แผนผังระบบป้อนอากาศของทั้งสองกรณี

4.2 การเตรียมการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบเป็นไปตามแนวทางการทดสอบดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ผู้วิจัยต้องทำการดัดแปลงระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้สามารถทำงานได้ตามแนวทางที่วางไว้ ทั้งนี้ การดัดแปลงระบบยังต้องเอื้อต่อการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในตำแหน่งต่างๆ อีกด้วย รายละเอียดของการเตรียมการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.2.1 การติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง

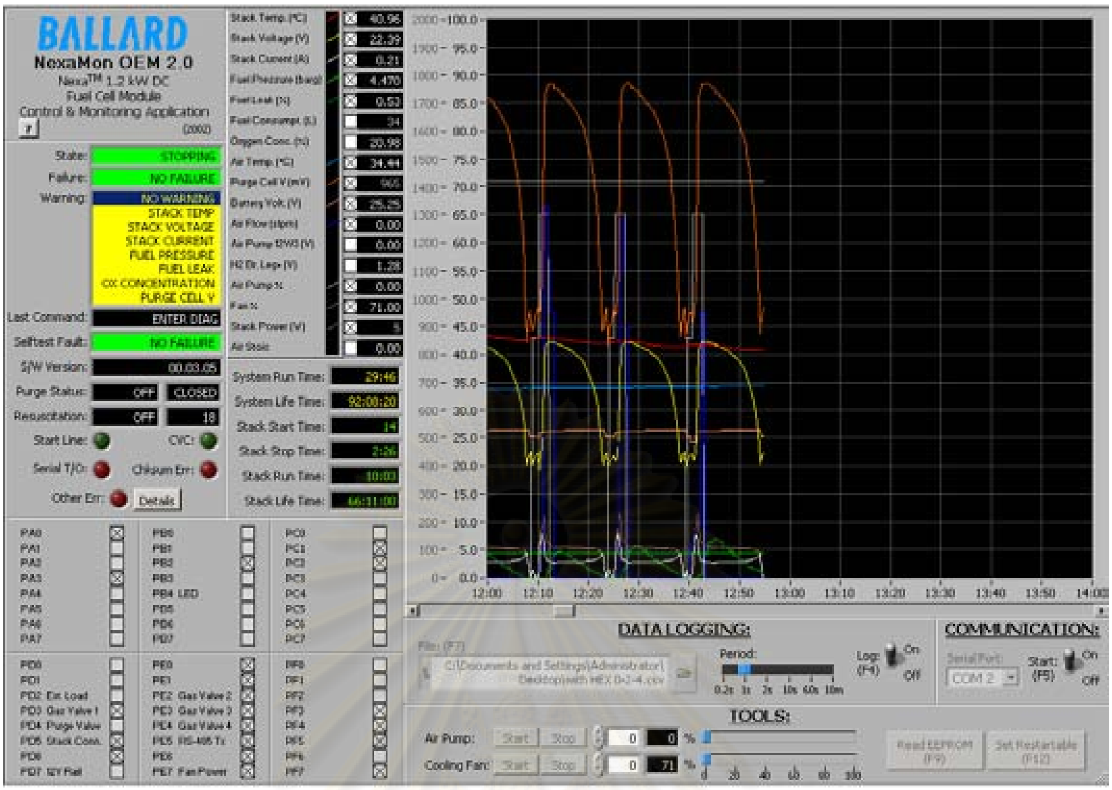
การใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ในการทดสอบจะต้องติดตั้งแหล่งจ่ายไฟขณะเริ่มทำงาน แหล่งเชื้อเพลิงและภาระทางไฟฟ้าปรับค่าได้ ระบบจึงจะสามารถทำการทดสอบได้ ความต้องการของระบบเป็นไปดังระบุในตาราง 4-1

ความต้องการของระบบเซลล์เชื้อเพลิง	รายละเอียด	อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ
แหล่งจ่ายไฟขณะเริ่มทำงาน	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 18-30 โวลต์	DC power supply 24V const.
เชื้อเพลิง	ไฮโดรเจน 99.99% , pressure 70 to 1720 kPa(g)	ถังบรรจุไฮโดรเจน 99.99% พร้อมติดตั้ง pressure gage
ซอฟแวร์ในการสังเกตการทำงานและเก็บข้อมูล	ใช้โปรแกรม NexaMon ที่มาพร้อมกับเครื่อง	คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม LABVIEW
ภาระทางไฟฟ้า	ภาระทางไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 1200 วัตต์	Electronic Load ยี่ห้อKIKUSUI รุ่น PLZ1004W

ตาราง 4-1 ความต้องการของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

รูปที่ 4-2 ถังบรรจุไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% ขนาด 7 ลูกบาศก์เมตร พร้อม pressure regulator

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-3 หน้าหลักของโปรแกรม NexaMon

รูปที่ 4-4 Electronic Load ยี่ห้อ KIKUSUI รุ่น PLZ1004W

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

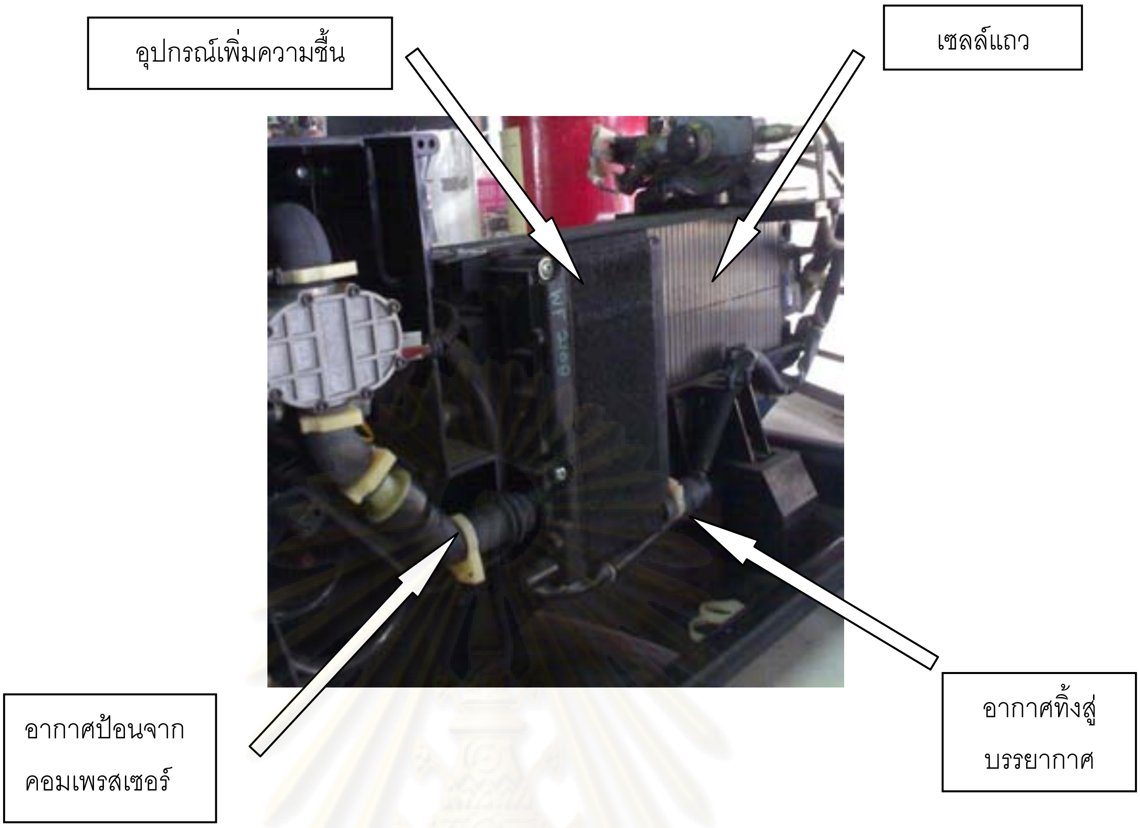
การบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงผ่านโปรแกรม NexaMon สามารถเก็บผลการทำงานที่สำคัญๆ ได้หลายค่า ทั้งในส่วนของ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แถว อัตราการไหลของอากาศ อัตราการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน เป็นต้น แต่หากต้องการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว การทดสอบจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเซนเซอร์เข้าไปเพิ่มในบางตำแหน่ง แต่ตำแหน่งของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นถูกออกแบบให้ยึด

ติดกับเซลล์แถวจึงต้องทำการยืดระยะห่างระหว่างเซลล์แถวและอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเพื่อที่จะติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้น รายละเอียดการดัดแปลงมีดังนี้

4.2.2 การติดตั้งเซนเซอร์ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

การยืนยันว่าสามารถทำการดัดแปลงให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกออกแบบให้มีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบมาทำการทดสอบโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเบื้องต้นแล้วว่าสามารถทำได้จริง โดยทำการถอดอุปกรณ์เพิ่มความชื้นออกจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงแล้วทำการเชื่อมต่อท่อส่งอากาศป้อนจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่เซลล์แถวโดยตรง และทำการดึงภาระจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง 5 ระดับภาระ โดยแต่ละภาระมีค่าไม่เกิน 20% ของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เซลล์แถวจ่ายได้ (240 วัตต์)) และควบคุมอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวให้มีค่าไม่เกิน 40^{o}C (อุณหภูมิทำงานสูงสุดของเซลล์แถวมีค่าไม่เกิน 71^{o}C) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของระบบเซลล์เชื้อเพลิง ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเมมเบรนและอุปกรณ์อื่นๆ จากการทดสอบเบื้องต้นดังกล่าว พบว่า เมื่อถอดอุปกรณ์เพิ่มความชื้นออกจากระบบป้อนอากาศของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เครื่องยังคงสามารถทำงานได้โดยไม่กระทบกับระบบนิรภัยใดๆ ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง นอกเหนือจากนั้น ภายใต้การทดสอบที่ภาระต่ำและอุณหภูมิทำงานต่ำ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน การบริโภคอากาศ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต และค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ระบบให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากและเมื่อภาระเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ผลการทดสอบเบื้องต้นดังกล่าวแสดงในภาคผนวก ก สำหรับการทดสอบครั้งนี้จึงยึดวิธีการเดิมในการทดสอบระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

ในกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น การเตรียมการทดสอบจะค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงถูกออกแบบมาอย่างกะทัดรัดเพื่อที่จะควบคุมไม่ให้ระบบมีขนาดที่ใหญ่และไม่ให้มีชิ้นส่วนที่ซับซ้อนหรือยุ่งยากเกินความจำเป็น ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงแนบประกบเข้ากันกับช่องทางอากาศเข้าและออกของเซลล์แถว โดยไม่มีท่อหรืออุปกรณ์ส่งถ่ายอากาศอื่นใดคั่นกลางระหว่างทั้งสองอุปกรณ์ หากไม่ทำการดัดแปลงการที่จะติดตั้งเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าเข้าไปประหว่างทั้งสองชิ้นนั้นไม่สามารถที่จะทำได้ ดังรูปที่ 4-5

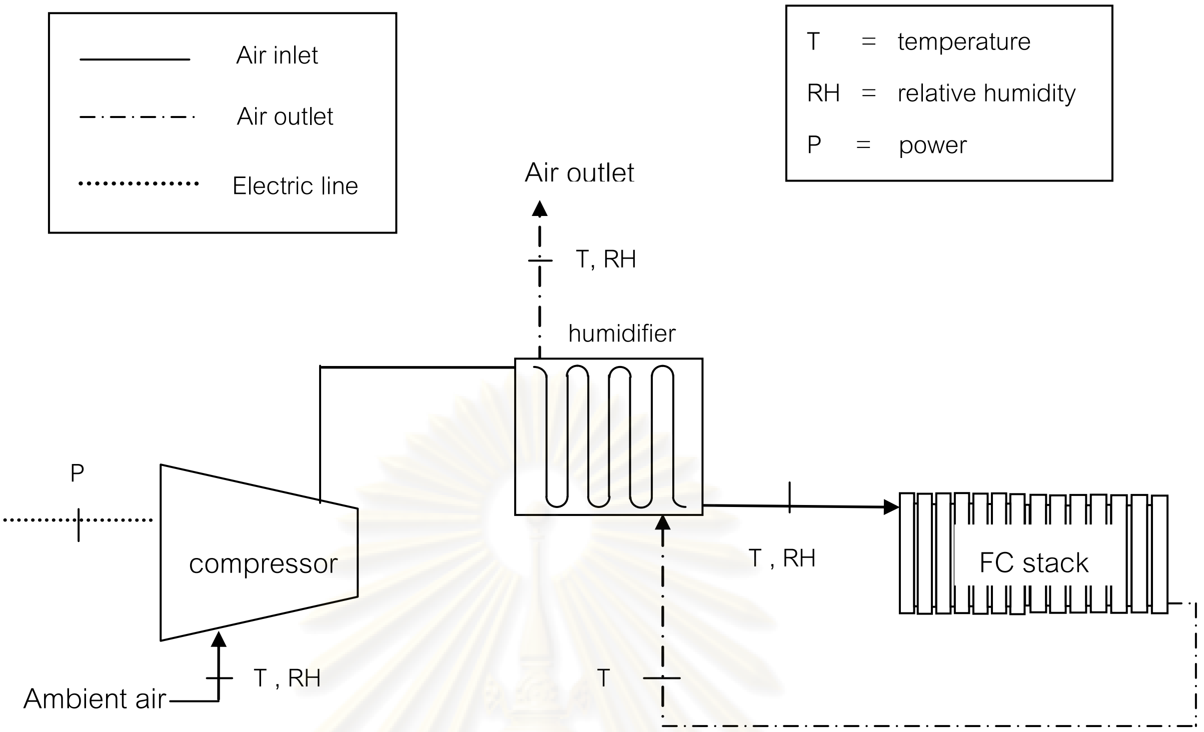


รูปที่ 4-5 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงก่อนการดัดแปลง

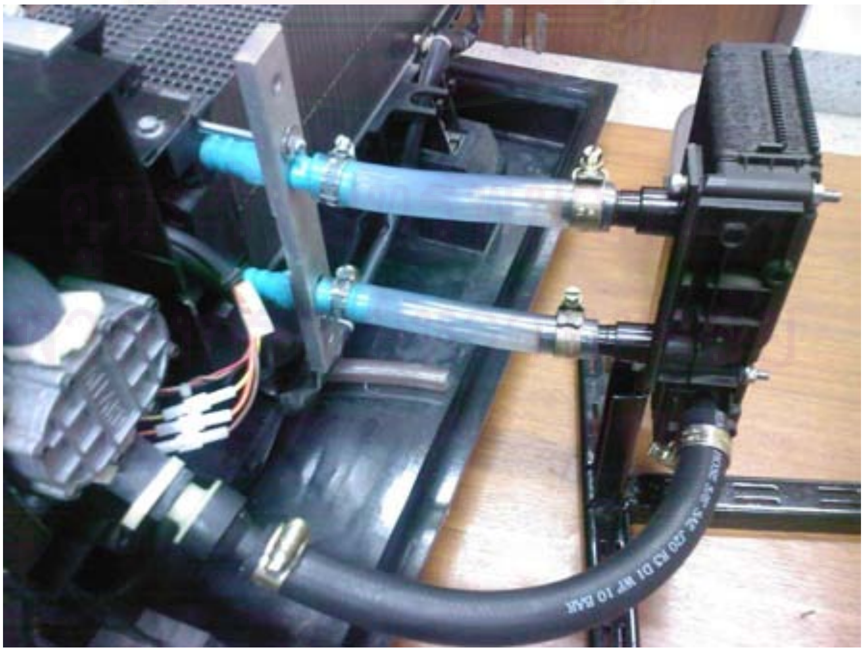
ตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าออกอุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งในกรณีที่ทำงานโดยใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น มีแผนผังในการติดตั้งเซนเซอร์ดังรูปที่ 4-6 ภายในแผนผังดังกล่าวยังแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และน้ำหนักของน้ำที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งรายละเอียดจะนำเสนอต่อไป

จากรูป 4-5 จะเห็นได้ว่าไม่มีตำแหน่งใดที่สามารถติดตั้งเซนเซอร์เข้าไประหว่างเซลล์แถวกับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ ผู้วิจัยจึงทำการยืดระยะห่างของสองอุปกรณ์โดยใช้ท่อพลาสติกใส ให้มีลักษณะดังรูป 4-7 แล้วต่อท่ออากาศป้อนจากคอมเพรสเซอร์ใหม่ให้มีความยาวมากขึ้นพอที่จะต่อเข้ากับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้และที่ตัวอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ผู้วิจัยได้ออกแบบแท่นจับให้มีช่องทางการไหลอากาศยื่นออกมาเพื่อนำมาต่อเข้ากับท่อพลาสติกใส โดยมีความสูงพอเหมาะมั่นคงและไม่ก่อให้เกิดการรั่วระหว่างอุปกรณ์เพิ่มความชื้นและแท่นจับโดยการติดปะเก็นเข้าไปที่หน้าสัมผัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



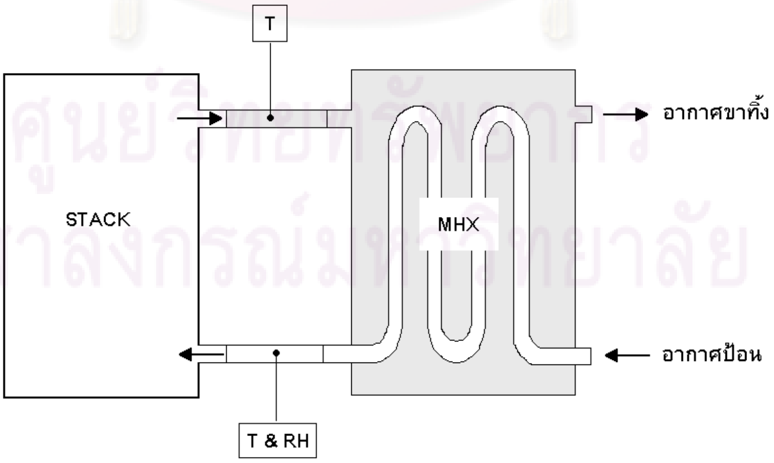
รูปที่ 4-6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น



รูปที่ 4-7 การเพิ่มระยะห่างระหว่างเซลล์แถวและอุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อนติดเซนเซอร์

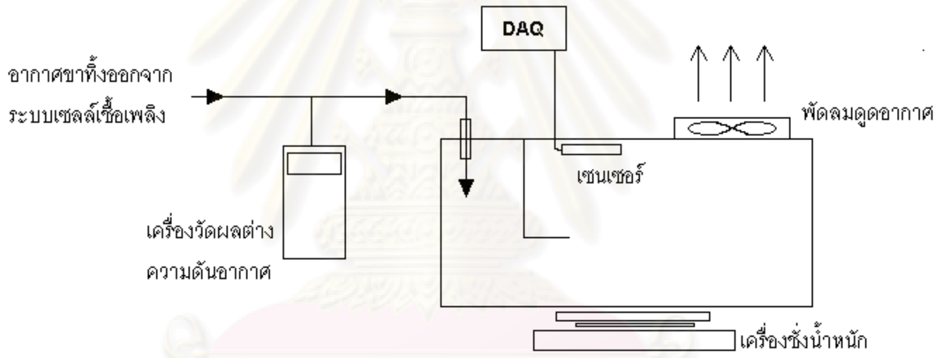
ที่ท่อพลาสติกใสด้านล่างเป็นท่อส่งอากาศป้อนเข้าสู่เซลล์แถว ผู้วิจัยติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ยี่ห้อ YAMATAKE รุ่น HTY7843 ดังรูปที่ 4-8 เข้าไปภายในท่อ เซนเซอร์ดังกล่าวสามารถวัดอุณหภูมิอากาศได้ในช่วง 0-50°C และความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0-100% โดยมีสัญญาณขาออกเป็นกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 มิลลิแอมป์ ส่วนท่อด้านพลาสติกใสด้านบนเป็นท่อส่งอากาศขาทิ้งออกจากเซลล์แถวไปยังอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ซึ่งระหว่างที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานจะมีน้ำออกมาพร้อมมาอากาศขาทิ้งทั้งในรูปของไอน้ำและของเหลว จึงเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิและไม่ทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์เพราะน้ำที่ออกมาพร้อมอากาศอาจก่อ ให้เกิดความเสียหายแก่เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ รูปที่ 4-9 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ในท่อส่งอากาศระหว่างเซลล์แถวและอุปกรณ์เพิ่มความชื้น

รูปที่ 4-8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ YAMATAKE รุ่น HTY 7843



รูปที่ 4-9 การติดเซนเซอร์เข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

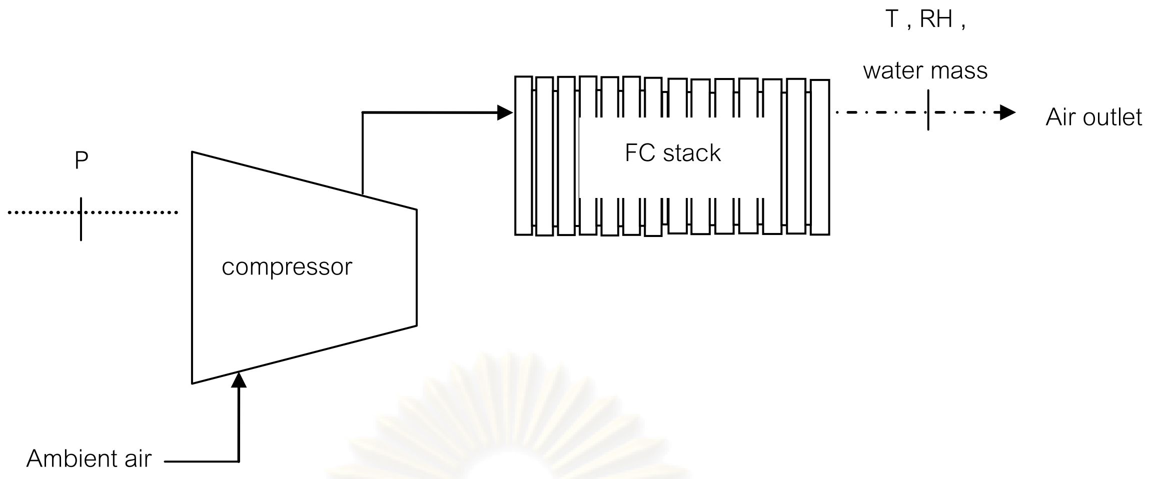
รูปที่ 4-10 บอกตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำที่อากาศขาทิ้งออกจากอุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ผู้วิจัยทำการต่อท่อเข้ากับถังอะคลิลิกที่วางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก ถังอะคลิลิกดังกล่าวออกแบบมาให้เก็บกักน้ำได้เพื่อที่จะชั่งปริมาณน้ำที่ออกพร้อมอากาศขาทิ้งหลังจากอากาศขาทิ้งผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นและในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะใช้เซนเซอร์ชนิดเดียวกันกับที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศป้อน ยี่ห้อ YAMATAKE รุ่น HTY7843 ติดตั้งภายในกล่องอะคลิลิกชิดผนังกล่องด้านบนเพื่อหลบน้ำและไอน้ำที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซนเซอร์ได้ และเพื่อควบคุมความดันภายในท่อส่งอากาศทิ้งให้มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ จะติดตั้งเครื่องวัดผลต่างความดันอากาศไว้ก่อนที่อากาศจะเข้าสู่กล่องอะคลิลิก แล้วใช้การปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลมดูดอากาศขนาด 12 โวลต์ ในการปรับค่าผลต่างความดันอากาศภายในชุดเก็บข้อมูลให้มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ



รูปที่ 4-10 การวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาทิ้ง

4.2.3 การติดตั้งเซนเซอร์ในกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

สำหรับการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น การดัดแปลงระบบนี้ต้องทำการถอดเอาอุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ประกบอยู่กับเซลล์แถวออกจากระบบ แล้วติดตั้งท่อป้อนอากาศที่ได้จากคอมเพรสเซอร์จ่ายเข้ากับเซลล์แถวโดยตรง วิธีการติดตั้งเซนเซอร์จึงมีตำแหน่งที่ต้องวัดน้อย ซับซ้อนน้อยกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น โดยจะทำการวัด เพียงปริมาณน้ำที่ออกมาพร้อมอากาศทิ้ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาทิ้งออกจากเซลล์แถว แผนผังการติดตั้งเซนเซอร์ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นไปดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

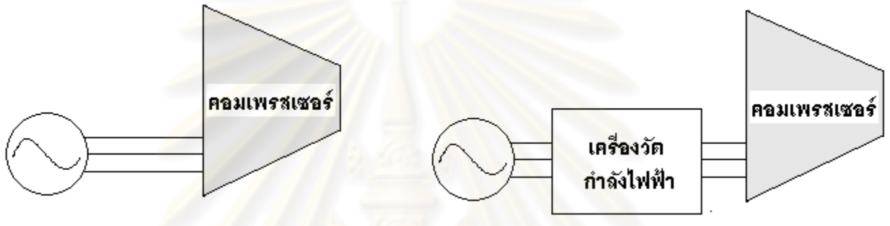
4.2.4 การเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณและเก็บบันทึกข้อมูล

จากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ต้องใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงหลายตำแหน่ง โดยเซนเซอร์ทั้งหมดจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ช่วยแปลงสัญญาณจากสัญญาณ analog เป็นสัญญาณ digital รวมไปถึงโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์และจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ excel file ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ชุดแปลงสัญญาณ DAQ และโปรแกรม LABVIEW มาใช้กับงานดังกล่าว

4.2.5 การวัดปริมาณการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้ใช้คอมเพรสเซอร์ที่บริโภคกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในช่วง ที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มทำงานและรับไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แถวในช่วงการทำงานปกติ แหล่งไฟฟ้าทั้งสองแหล่งนี้จะถูกส่งผ่านแผงวงจรไฟฟ้าให้ป้อนสู่คอมเพรสเซอร์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส การวัดการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จึงใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล YOKOGAWA รุ่น WT1030 ดังแสดงในรูป 4-12 เพื่อตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์บริโภค ณ สภาวะการทำงานต่างๆ ในการทดสอบผู้วิจัยทำการตัดต่อสายไฟเพื่อต่อวงจรไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เข้ากับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ดังแผนภาพอย่างง่ายในรูปที่ 4-13

รูปที่ 4-12 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น WT1030



ก) ก่อนติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ข) หลังติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

รูปที่ 4-13 ภาพจำลองการจ่ายไฟฟ้าแก่คอมเพรสเซอร์ก่อนและหลังติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

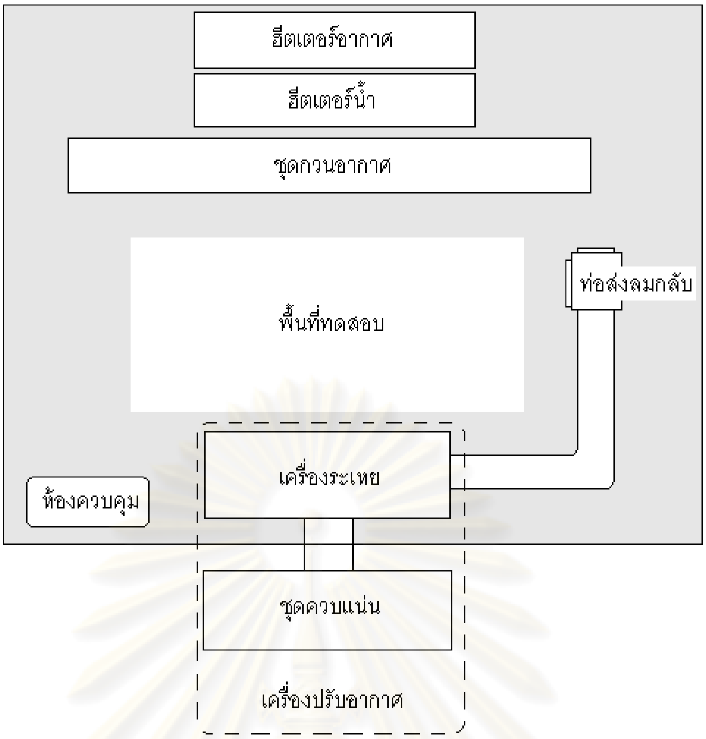
4.3 การควบคุมสภาวะอากาศ

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้คอมเพรสเซอร์อัดอากาศป้อนจากอากาศแวดล้อม การจะควบคุมสภาวะอากาศป้อนให้เป็นไปตามที่ได้วางแผนการทดสอบไว้ จำเป็นที่จะต้องนำระบบเซลล์เชื้อเพลิงและชุดทดสอบทั้งหมดเข้าไปทำการทดสอบภายในห้องที่ควบคุมสภาวะอากาศได้ รายละเอียดของห้องควบคุมสภาวะอากาศและสภาวะอากาศแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ มีดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1 ห้องควบคุมสภาวะอากาศ

ในการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อากาศในบรรยากาศเป็นออกซิแดนซ์เพื่อทราบผลการทำงาน ณ อุณหภูมิและระดับความชื้นในอากาศที่แตกต่างกัน การทดสอบจำเป็นที่จะต้องทำในห้องที่สามารถควบคุมสภาวะอากาศได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบภายในห้องขนาด 5 x 6 x 3.5 m^3 ที่มีเครื่องปรับอากาศ ฮีตเตอร์น้ำ ฮีตเตอร์อากาศ ชุดกวนอากาศ ชุดวัดผลพร้อมระบบควบคุม ห้องทดสอบดังกล่าวสามารถควบคุมค่าของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งได้ละเอียดถึงหลักทศนิยมหนึ่งจุด แผนผังการติดตั้งภายในห้องทดสอบเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 แผนผังห้องควบคุมสภาวะอากาศ

4.3.2 สภาวะอากาศแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อทราบถึงการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นว่ามีสมรรถนะในการทำงานภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกันเป็นอย่างไร สภาวะใดมีความเหมาะสมต่อการทำงาน การทดสอบนี้จึงแบ่งสภาวะในการทดสอบออกเป็น 9 สภาวะอากาศแวดล้อม ในแต่ละสภาวะอากาศจะควบคุมอุณหภูมิของอากาศและปริมาณน้ำในอากาศขณะทดสอบให้เป็นไปดังตารางที่ 4-2

ที่มาของสภาวะอากาศในตารางที่ 4-2 เนื่องมาจาก การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น และผลของอุปกรณ์ดังกล่าวต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ใช้ในการทดสอบนี้สามารถเพิ่มได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศป้อนที่ไหลผ่านอุปกรณ์ การศึกษาจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทดสอบขณะสภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ และทดสอบขณะสภาวะอากาศที่มีปริมาณน้ำคงที่ ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศเป็น เป็น 25, 30 และ 35°C และปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.012, 0.014 และ 0.016 g/g ซึ่งหากทำการเทียบปริมาณน้ำทั้งสามระดับเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ ณ อากาศอุณหภูมิ 25°C จะได้ค่า 60, 70 และ 80% ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่หลายงานวิจัยระบุว่า

เป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง และการเพิ่มอุณหภูมิทดสอบเป็น 30°C และ 35°C แต่รักษาปริมาณน้ำในอากาศให้คงที่เป็นการทดสอบที่หวังจะทราบผลของอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นต่อการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น และเพื่อที่จะทราบผลของปริมาณน้ำในอากาศต่ออุปกรณ์เพิ่มความชื้นผู้วิจัยจึงทดสอบที่ปริมาณน้ำทั้ง 3 ระดับ ที่ทุกๆ อุณหภูมิอากาศที่ทำการทดสอบ

สภาวะอากาศตามตาราง 4-2 จะถูกใช้ในการทดสอบทั้งในกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น วิธีการควบคุมสภาวะอากาศจะเป็นไปตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่แล้ว

สภาวะอากาศ ที่	อุณหภูมิห้องทดสอบ	ปริมาณน้ำในอากาศ ($g_{moist} / g_{dry\ air}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	25°C	0.012	60
2		0.014	70
3		0.016	80
4	30°C	0.012	46
5		0.014	53
6		0.016	59
7	35°C	0.012	35
8		0.014	41
9		0.016	47

ตารางที่ 4-2 สภาวะของอากาศที่ทำการทดสอบ

4.4 ขั้นตอนการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ในการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงประกอบไปด้วยการทดสอบที่หลายสภาวะอากาศ เพื่อให้การทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ในการทดสอบทุกสภาวะอากาศจะปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นและเซนเซอร์ต่างๆ ในห้องปรับสภาวะอากาศ
2. ปรับสภาวะอากาศในห้องทดสอบให้เป็นไปตามตาราง 4-2
3. เปิด DC power supply 24V เพื่อใช้ในการเริ่มทำงาน

4. เปิดโปรแกรม NexaMon พร้อมตั้งชื่อไฟล์
5. เปิดโปรแกรมที่ใช้มอนิเตอร์และบันทึกค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์
6. เปิดถังก๊าซไฮโดรเจน ปรับแรงดันก๊าซ
7. เปิดเครื่องจำลองภาระทางไฟฟ้า เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องวัดผลต่างความดันอากาศ
8. เปิดสวิตท์ระบบเซลล์เชื้อเพลิง
9. เริ่มดึงภาระ 100 วัตต์ รอจนอุณหภูมิเซลล์แถวคงที่แล้วจึงเริ่มบันทึกค่าเป็นเวลา 4 นาที
10. ทำซ้ำข้อ 8 โดยปรับเพิ่มภาระเป็น 200, 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 วัตต์
11. ปิดไฟล์บันทึกค่า ปิดสวิตท์ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ปิดวาล์วก๊าซ
12. ปรับอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศห้องทดสอบให้ตรงกับสภาวะต่อไปตามตาราง 4-2 ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบทั้งหมดอีกครั้ง ทำเช่นนี้ซ้ำจนครบ 9 สภาวะอากาศ
13. เปลี่ยนระบบเซลล์เชื้อเพลิงให้เป็นระบบที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น แล้วทำการทดสอบทั้ง 9 สภาวะอากาศ ตามขั้นตอนเดียวกันกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

ในการทดสอบมีบางสภาวะอากาศที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถเก็บค่าได้ต่อเนื่องถึง 4 นาที เนื่องจากระบบไม่สามารถรักษาเสถียรภาพได้ตลอด 4 นาทีหากระบบต้องทำงานที่ภาระสูงนานเกินไป ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพียง 2 หรือ 3 นาที ตามแต่กรณี โดยพิจารณาระยะเวลาจากช่วงที่ระบบยังคงมีเสถียรภาพ

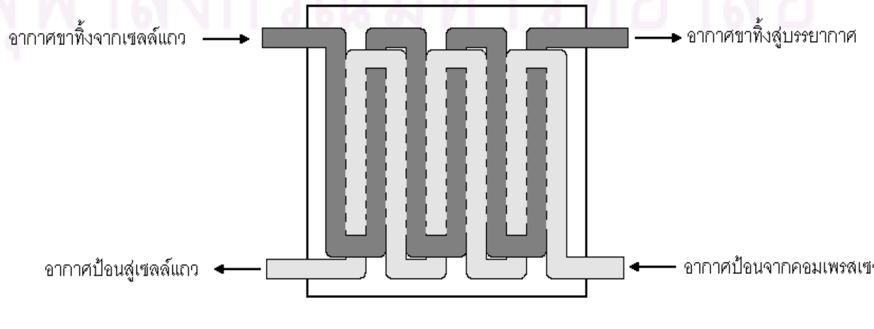
ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง และในส่วนของสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การบริโภคไฮโดรเจน การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมเพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีทดสอบทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น รวมไปถึงผลการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น จะแสดงไว้ในบทถัดไป บทที่ 5 ผลและการวิเคราะห์

บทที่ 5
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การศึกษาการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนว่ามีสมรรถนะแตกต่างกันอย่างไร กระทบต่อการทำงานและสมรรถนะของส่วนใดภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงบ้างนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบพฤติกรรมของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน เพื่อที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ผลสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบ รวมถึงผลกระทบของการใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมและสมรรถนะของทั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง พร้อมวิเคราะห์ขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน ราคาและอายุการใช้งานของตัวอุปกรณ์ต่อระบบเซลล์เชื้อเพลิง ผลการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นและผลการศึกษาการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน

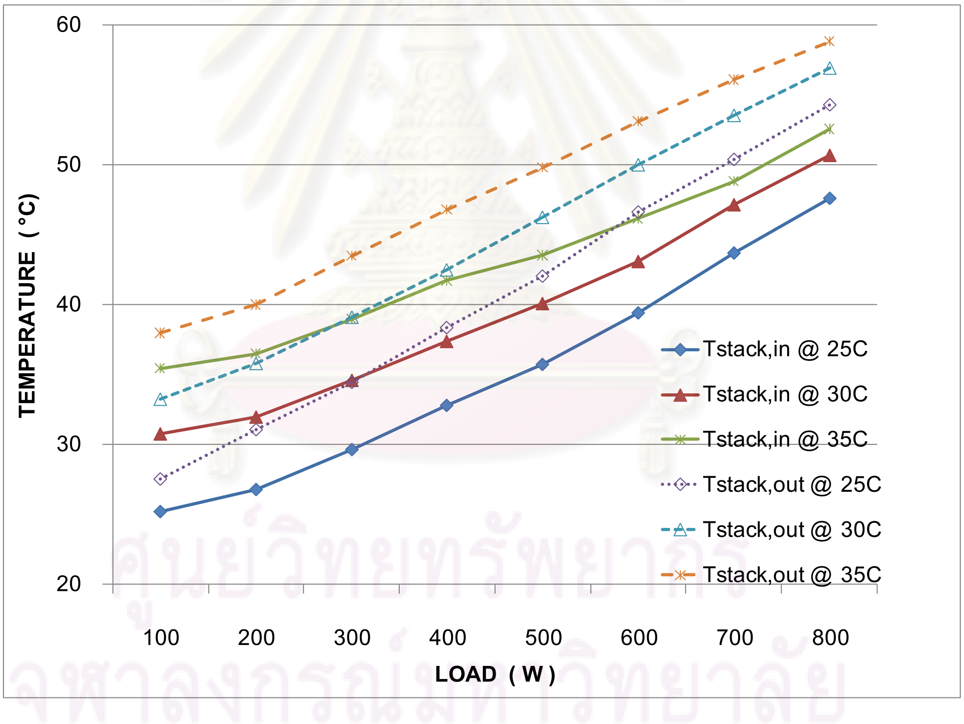
อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม น้ำหนัก 390 g ขนาด 185 x 110 x 40 mm3 มีช่องทางเข้าออกของอากาศทั้งหมด 4 ช่องทาง ดังแผนภาพอย่างง่ายในรูปที่ 5-1 แบ่งเป็นอากาศป้อนที่มาจากคอมเพรสเซอร์ขาเข้าและออกไปสู่เซลล์แถว กับอากาศขาทิ้งจากเซลล์แถวที่ไหลเข้าอุปกรณ์ก่อนปล่อยทิ้งออกไปสู่บรรยากาศ ภายในอุปกรณ์จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนและน้ำ โดยอากาศขาทิ้งซึ่งเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงจะจ่ายความร้อนและน้ำให้แก่อากาศขาป้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำกว่า เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนเข้าไปกับระบบป้อนอากาศของเซลล์เชื้อเพลิงจะทำให้อากาศขาป้อนสู่เซลล์แถวมีทั้งอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5-1 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน

5.1.1 ผลการศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศป้อน

อุปกรณ์เพิ่มความชื้นส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศป้อน (Tstack,in) สู่เซลล์แถวมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากได้รับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศขาทิ้งออกจากเซลล์แถวภายในอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ผลการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศเดียวกัน ณ ปริมาณน้ำในอากาศทั้ง 3 ค่า อุณหภูมิอากาศป้อนหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยแตกต่างกันไม่เกิน 1.5°C ในทุกๆ ภาระทดสอบ จึงใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศป้อนหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจากอุณหภูมิอากาศป้อนของทั้ง 3 ปริมาณน้ำในอากาศ ณ ภาระทดสอบ จากรูป 5-2 พบว่า อากาศป้อนที่ผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศขาทิ้ง (Tstack,out) ออกจากเซลล์แถว โดยที่อุณหภูมิอากาศป้อนสูงสุดจะมีค่าเป็น 47.6°C 50.7°C และ 52.6°C เมื่ออากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิ 25°C 30°C และ 35°C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิอากาศป้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิห้องมาก



รูปที่ 5-2 อุณหภูมิอากาศป้อนหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นและอุณหภูมิอากาศขาทิ้งหลังออกจากเซลล์แถวที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°C และ 35°C

จากผลการทดสอบ พบว่า กรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นอากาศป้อนที่เข้าสู่เซลล์แถวจะมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้เสมอ ดังนั้น นอกจากการที่อากาศไหลผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะได้รับการแลกเปลี่ยนน้ำโดยตรงกับอากาศชื้นที่ออกมาจากเซลล์แถว การที่อุณหภูมิ

อากาศป้อนสูงขึ้นจะส่งผลให้อากาศอุ้มน้ำได้มากขึ้น ปริมาณน้ำที่เข้าสู่เซลล์สำหรับกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นย่อมสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้ สอดคล้องกับความต้องการของเซลล์แถวที่จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิอากาศป้อนสูงและปริมาณน้ำในอากาศสูง ดังนั้น เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงน่าจะทำงานได้สมรรถนะที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นกับอีกหลายปัจจัย ผลการทดสอบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดสอบทั้งหมดระบุไว้ในหัวข้อ 5.2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

5.1.2 ความพยายามในการศึกษาการเพิ่มปริมาณน้ำของอากาศป้อน

ในการทดสอบนี้ ผู้วิจัยวางแผนที่จะศึกษาปริมาณน้ำในอากาศป้อนว่าอุปกรณ์เพิ่มความชื้น เมื่อรับน้ำปริมาณหนึ่งๆ มาจากกระแสอากาศในเซลล์เชื้อเพลิงจะสามารถแลกเปลี่ยนเข้าสู่กระแสอากาศจากบรรยากาศเพื่อจ่ายเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงได้ในปริมาณเท่าใด ซึ่งทำได้โดยการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศป้อนก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ในการศึกษานี้ใช้เซนเซอร์วัดความชื้นยี่ห้อ YAMATAKE รุ่น HTY7843 ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ดี มีขนาดเล็กพอที่จะนำไปติดตั้งในท่อส่งอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่เชื่อมระหว่างอุปกรณ์เพิ่มความชื้นกับเซลล์แถว ติดตั้งภายในท่อส่งอากาศป้อน ดังรูปที่ 4-9 แล้วสอบเทียบค่าที่ได้กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่ใช้เซนเซอร์ชนิดเดียวกันวัด เมื่อทำการติดตั้งเซนเซอร์เข้ากับท่อเชื่อมที่ยึดกับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้วกลับพบว่า ค่าที่เซนเซอร์ในท่อวัดได้มีค่าสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง จึงนำเซนเซอร์ในท่อออกมาวางในตำแหน่งเดียวกันกับเซนเซอร์ตัวสอบเทียบ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ตรงกัน จึงตั้งข้อสงสัยว่าการติดตั้งภายในท่อทำให้เซนเซอร์อ่านค่าได้คลาดเคลื่อน ต่อมาจึงทำการทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ในท่อที่ไม่ได้ต่อเข้ากับอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ตรงกันกับเซนเซอร์สอบเทียบ ทำให้ทราบว่าเซนเซอร์ดังกล่าวสามารถทำงานได้ปกติขณะอยู่ในท่อ จึงติดตั้งเซนเซอร์ที่ท่อที่ยึดกับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นอีกครั้ง ค่าเริ่มขยับตัวเพิ่มขึ้นจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เซนเซอร์สอบเทียบอ่านได้ ทำให้ตั้งข้อสังเกตว่า ผลต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากตัวอุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ส่งผลให้เซนเซอร์ตัวที่อยู่ในท่อที่ยึดติดกับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเซนเซอร์สอบเทียบที่วัดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ จึงนำเอาคอมเพรสเซอร์มาเป่าไล่น้ำที่อาจค้างภายในอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ให้อากาศผ่านตัวอุปกรณ์ก่อนที่จะไหลออกจากท่อที่ติดตั้งเซนเซอร์ไว้ ค่าที่ได้ยังคงสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง จึงเป่าลมสวนทางเข้าไปให้ลมผ่านตัวเซนเซอร์ก่อนเข้าสู่อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องมาก

การทดสอบเพื่อติดตั้งเซนเซอร์ดังกล่าวทำให้ทราบว่า เซนเซอร์สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในท่อได้แต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เซนเซอร์วัดได้สูงกว่าค่าอากาศแวดล้อมภายในห้อง เนื่องมาจาก ภายในอุปกรณ์เพิ่มความชื้น จะมีปริมาณน้ำจำนวนหนึ่งสะสมตัวอยู่ภายในเมมเบรน เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์ อากาศจะได้รับน้ำดังกล่าวมาส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงขึ้น เมื่ออากาศผ่านเซนเซอร์ค่าที่ได้จึงสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม สอดคล้องกับการที่เป่าลมย้อนทางผ่านเข้าท่อที่มีเซนเซอร์เซนเซอร์สู่อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะอ่านได้เท่ากับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม และการที่ทดสอบเป่าลมจากเครื่องอัดอากาศเข้าอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้วผ่านออกทางท่อที่มีเซนเซอร์ด้านใน เป็นเวลานานกว่า 30 นาที ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เซนเซอร์อ่านได้ยังคงมีค่าสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ จึงเป็นไปได้ที่น้ำที่ค้างในเมมเบรนของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีปริมาณสูงมากและสามารถจ่ายน้ำให้แก่อากาศที่ไหลผ่านได้ต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าจะไม่มีอากาศขาจ่ายที่มีปริมาณน้ำในอากาศสูงมาพาน้ำเข้าอุปกรณ์เลยก็ตาม

หลังจากทดสอบการติดตั้งอุปกรณ์แล้วจึงทำการติดตั้งท่อส่งอากาศพร้อมเซนเซอร์เข้าระหว่างอุปกรณ์เพิ่มความชื้นกับเซลล์แถว ค่าที่ได้สูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมเล็กน้อยซึ่งผู้วิจัยประเมินว่าเกิดจากปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ภายในเมมเบรนของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น แต่เมื่อเริ่มทำการทดสอบ ภายในท่อส่งอากาศจากอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเข้าสู่เซลล์แถว อากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะตามผิวทำให้เซนเซอร์ใช้งานไม่ได้อีกครั้ง เนื่องจากเมื่อมีน้ำเกาะตามผิวเซนเซอร์จะส่งผลให้ไม่สามารถแสดงค่าที่ถูกต้องได้ การทดสอบในงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศป้อนหลังผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ ทำให้ไม่สามารถบ่งบอกว่าอากาศที่ผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด

ลักษณะการทำงานสำคัญของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น คือมีการแลกเปลี่ยนน้ำและความร้อน เพราะหากมีการแลกเปลี่ยนเฉพาะน้ำ กระแสอากาศจากบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะสามารถอุ้มน้ำไปสู่เซลล์ เพื่อเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้จำกัด แต่เมื่อกระแสอากาศจากบรรยากาศได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับกระแสอากาศขาทิ้งจากเซลล์แถว อุณหภูมิของอากาศป้อนที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศในบรรยากาศมาก (ดังรูป 5-3) ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมาก

จากการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนดังที่กล่าวไปแล้ว ทำให้ทราบว่าสามารถทราบเพียงว่าอากาศที่ผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเป็นเท่าไร

เท่านั้น ไม่สามารถทราบว่าปริมาณน้ำในอากาศเพิ่มขึ้นมาเท่าไร ในการอธิบายข้อแตกต่างของสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงไม่สามารถทราบปริมาณน้ำที่เข้าไปเพิ่มหลังจากติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ ทราบเพียงแต่ว่าจะมีปริมาณน้ำเข้าสู่เซลล์ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ออกแบบให้ทำการทดสอบที่ปริมาณความชื้นในอากาศแตกต่างกัน 3 ค่าและอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 3 ค่า ซึ่งสามารถนำไปสู่คำตอบเกี่ยวกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำเข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นได้ ผลการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

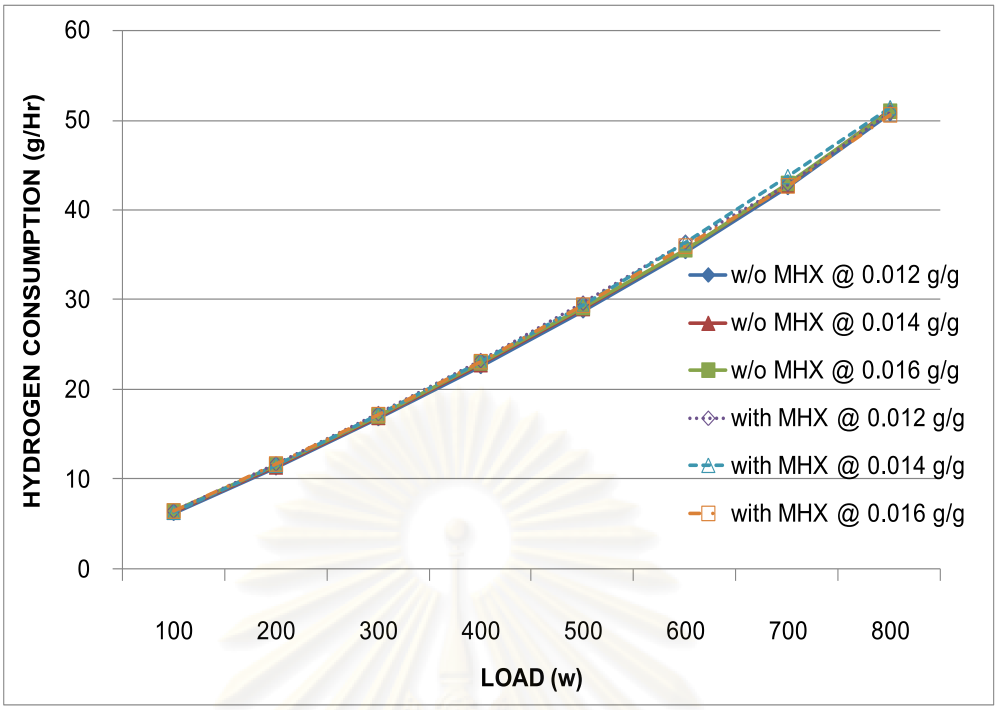
5.2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกได้แก่ การทดสอบที่อุณหภูมิอากาศคงที่และส่วนที่สองคือการทดสอบที่ปริมาณน้ำในอากาศคงที่ การทดสอบทั้งสองส่วนกระทำเพื่อเปรียบเทียบค่าการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน Polarization curve และ การบริโภคกำลังไฟฟ้าเสริมของเซลล์เชื้อเพลิงในทั้งสองกรณี ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

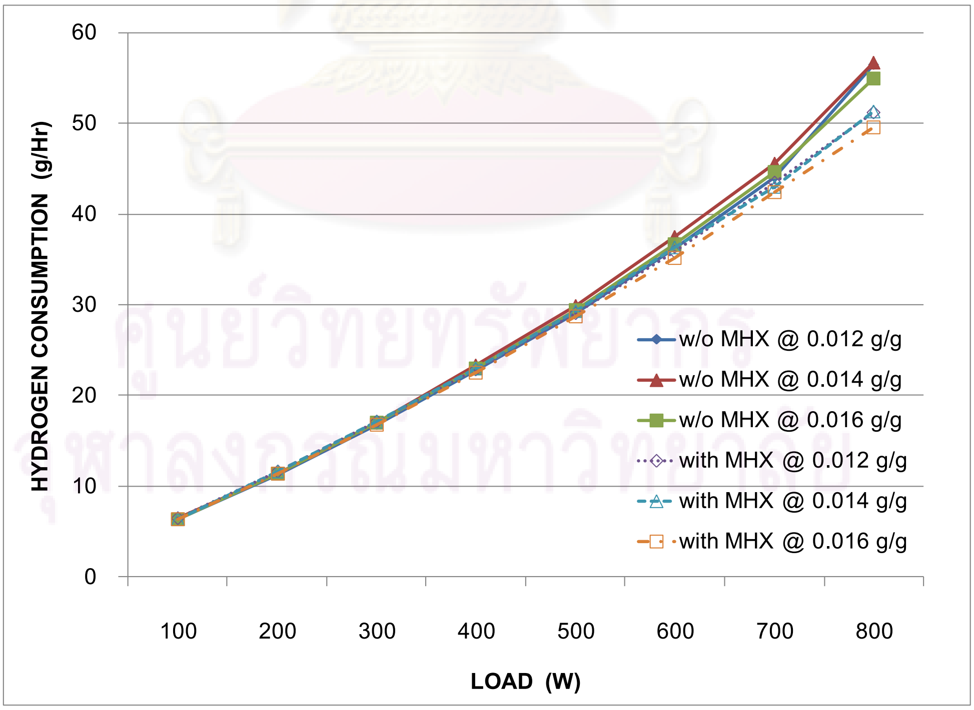
5.2.1 การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

จากรูปที่ 5-3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนระหว่างกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นพบว่า ณ อุณหภูมิห้องเป็น 25°C การบริโภคไฮโดรเจนมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน แต่รูปที่ 5-4 และ 5-5 แสดงให้เห็นว่าการบริโภคเชื้อเพลิงของทั้งสองกรณีเริ่มมีความแตกต่างมากขึ้นตามอุณหภูมิห้องที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิห้องเป็น 30°C กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะบริโภคไฮโดรเจนมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น เห็นความแตกต่างได้ชัดเมื่อภาระสูงขึ้นและแตกต่างกันกว่า 10% ที่ภาระ 800 วัตต์ ในทุกๆระดับความชื้นที่ทดสอบ และที่อุณหภูมิห้องเป็น 35°C ความแตกต่างของการบริโภคไฮโดรเจนระหว่างทั้งสองกรณีชัดเจนขึ้น โดยกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะบริโภคไฮโดรเจนมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทดสอบและมีค่าแตกต่างสูงสุดถึง 15% ที่ 700 วัตต์ ณ ปริมาณน้ำในอากาศทดสอบเป็น 0.016 g/g

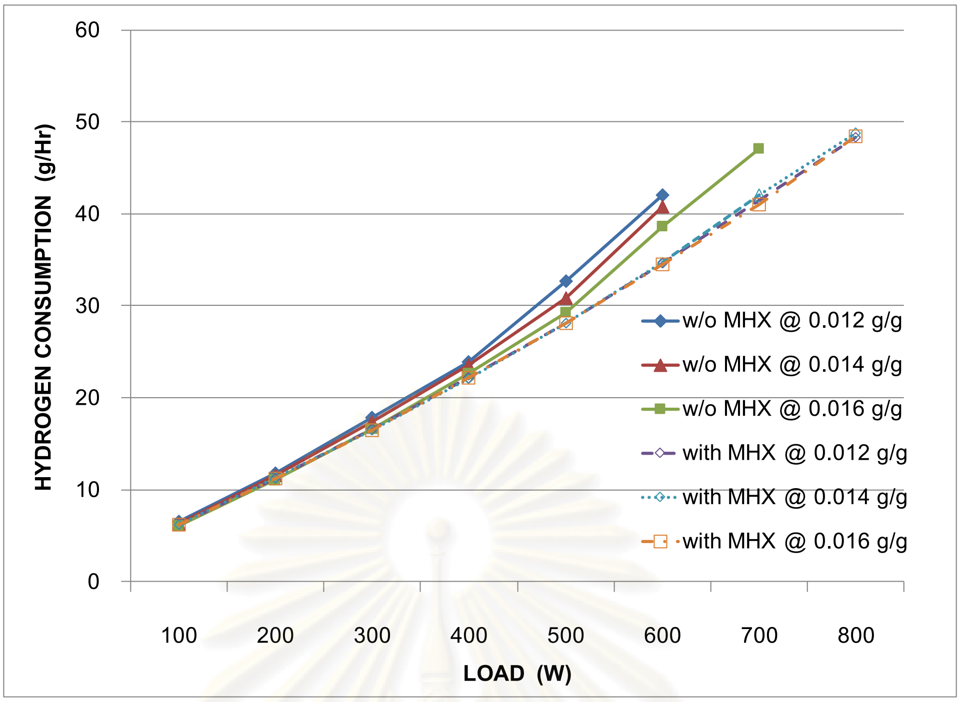
จากผลการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนทำให้ทราบว่าที่อุณหภูมิอากาศสูง ปริมาณน้ำในอากาศจะมีผลต่อการบริโภคไฮโดรเจนในกรณีของเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น โดยเมื่อปริมาณน้ำในอากาศลดลง การบริโภคไฮโดรเจนจะสูงขึ้น แต่กรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นการบริโภคเชื้อเพลิงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละระดับความชื้น ทุกระดับอุณหภูมิทดสอบ



รูปที่ 5-3 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C



รูปที่ 5-4 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น30°C



รูปที่ 5-5 การบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น35°C

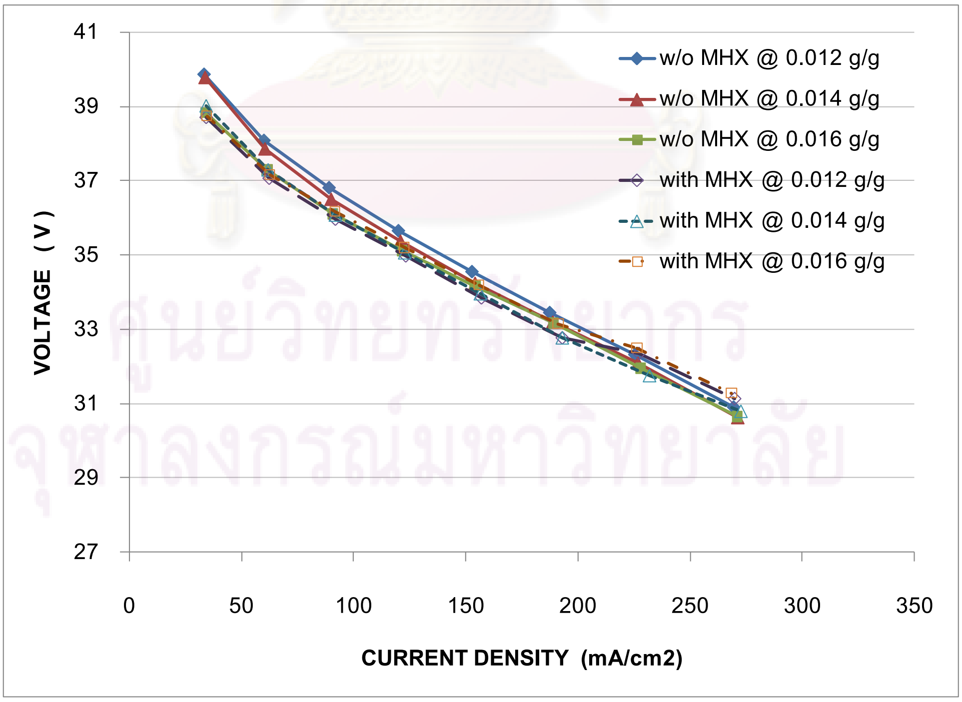
ผลการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่มีค่าการบริโภคมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเมื่ออุณหภูมิอากาศป้อนสูงขึ้นโดยเฉพาะที่ภาระสูง เนื่องจากเซลล์แถวได้รับอากาศป้อนที่มีอุณหภูมิสูงแต่ความชื้นต่ำซึ่งเป็นสภาวะที่อาจส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงแห้งทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์แถวลดลง การจะให้เซลล์แถวจ่ายกำลังไฟฟ้าตามต้องการจำเป็นที่จะต้องจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเข้าไปเพิ่ม เพื่อที่จะให้เซลล์แถวผลิตกำลังไฟฟ้าให้สามารถรองรับภาระดังกล่าวได้ ดังที่พบเมื่อทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C ณ ภาระสูงกว่า 400 วัตต์ การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสูงจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ว่าสมรรถนะในการทำงานของเซลล์แถวต่ำ ณ อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงและแห้งซึ่งจะสอดคล้องกันกับผลของ Polarization curve ดังจะแสดงในหัวข้อถัดไป

5.2.2 Polarization curve

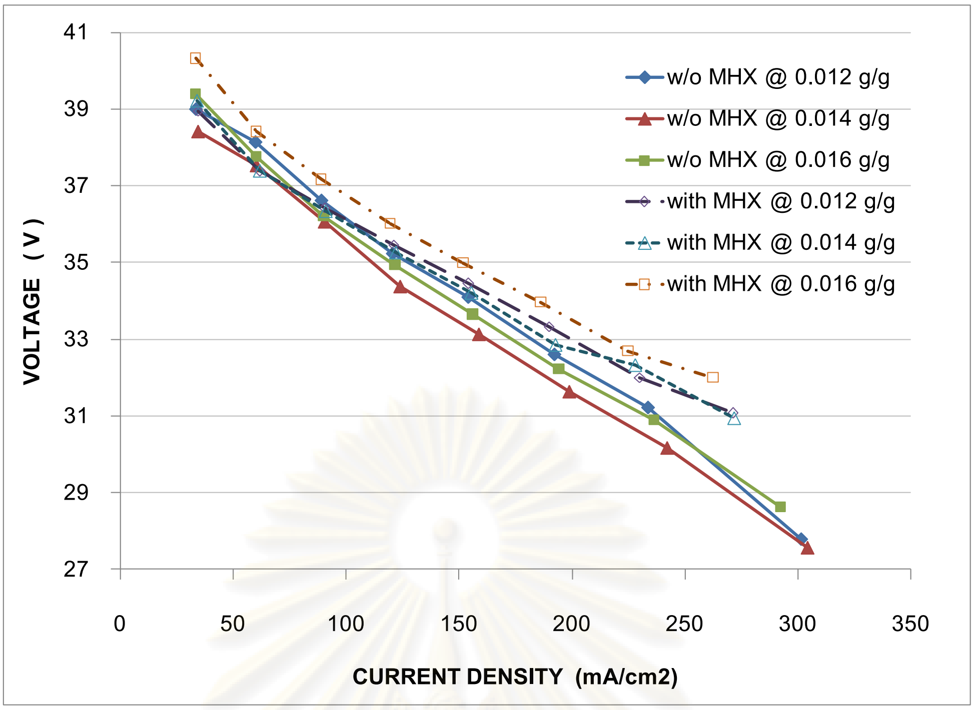
การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงในรายละเอียดจะใช้การวิเคราะห์จากกราฟ Polarization curve ที่เทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวกับค่า Current density จากรูปที่ 5-6 เมื่อทำงานภายใต้อากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25°C เซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกันที่ทุกปริมาณน้ำในอากาศ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวอยู่ในช่วง 30-40 โวลต์

สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 30°C ของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ ดังรูปที่ 5-7 โดยในช่วงที่ Current density มีค่าต่ำสมรรถนะของทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทดสอบที่ภาระสูงขึ้น Current density สูงขึ้น สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าตกลงที่ทุกปริมาณความชื้นในอากาศ ที่ภาระ 800 วัตต์ ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพียง 27 โวลต์ ณ Current density 304 mA/cm2 และเมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่าที่อากาศ 30°C สมรรถนะของกรณีที่มีปริมาณน้ำ 0.016 g/g มีค่าดีที่สุด

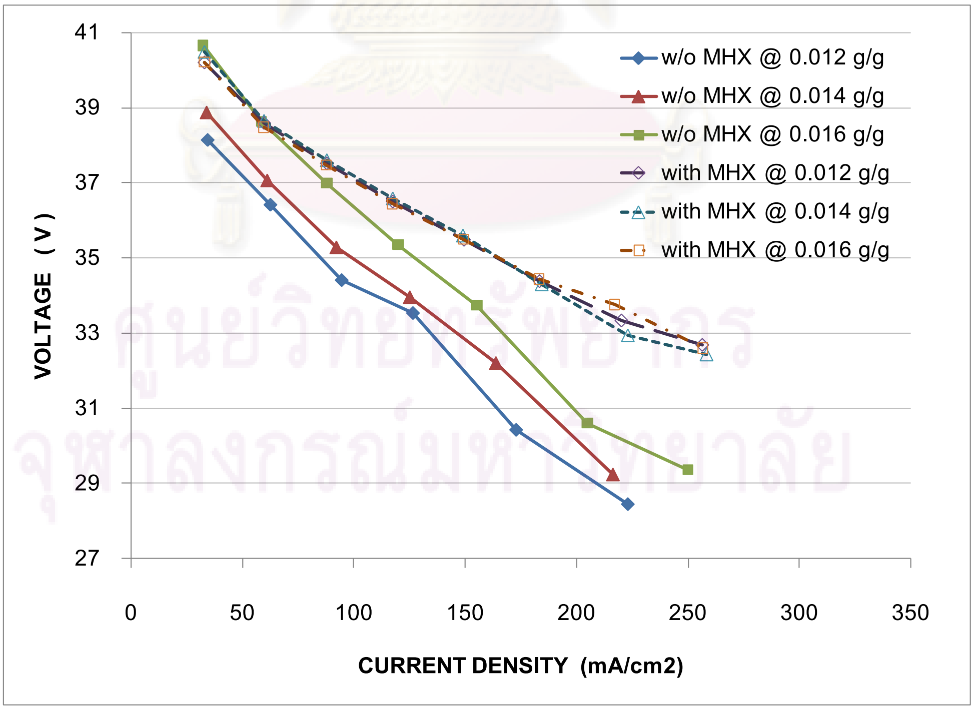
รูปที่ 5-8 แสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อทำงานที่อุณหภูมิอากาศ 35°C กรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีสมรรถนะที่สูงและมีค่าใกล้เคียงกันในทุกปริมาณความชื้น แต่เซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นกลับมีสมรรถนะที่ต่ำมาก สำหรับกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่อากาศอุณหภูมิ 35°C ขณะเซลล์เชื้อเพลิงรับภาระสูงเซลล์เชื้อเพลิงจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ต่ำกว่าขณะที่ทดสอบ ณ อากาศอุณหภูมิ 25°C และ 30°C สูงและเซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถทำการทดสอบได้ทุกภาระที่ออกแบบการทดสอบไว้ เนื่องจากที่ภาระสูง แรงดันไฟฟ้าบางกรณีจะมีค่าต่ำกว่าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงกำหนดไว้ ทำให้ระบบหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 5-6 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น
ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C



รูปที่ 5-7 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C

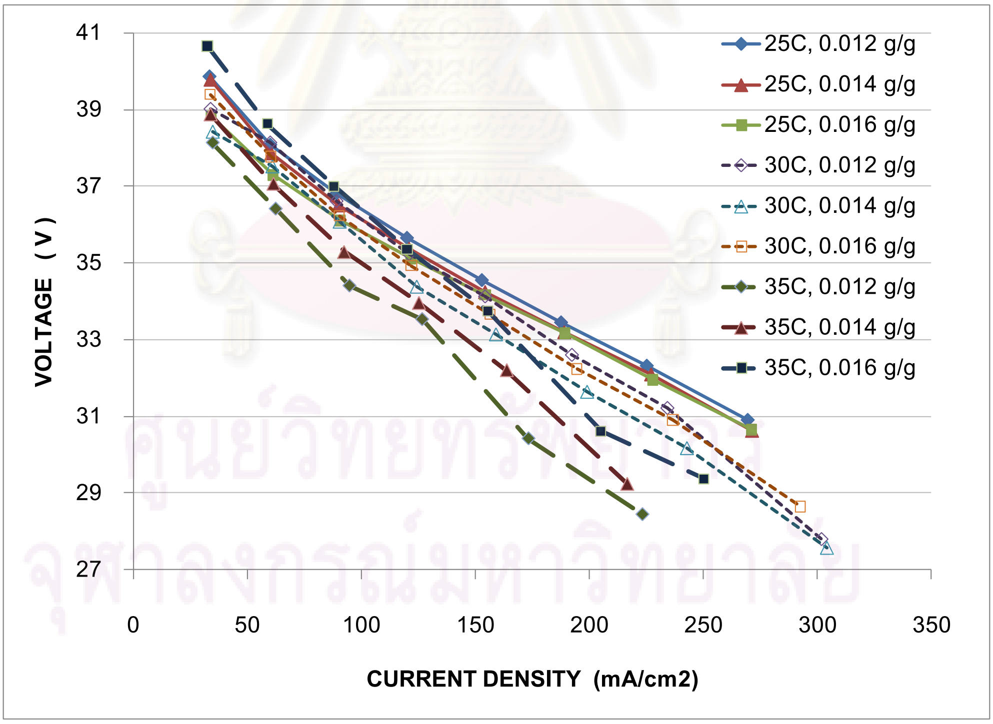


รูปที่ 5-8 Polarization curve ของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5-9 บ่งบอกการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ณ สภาวะอากาศที่ทำการทดสอบได้ชัดยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่า ณ ทุกอุณหภูมิอากาศที่ทดสอบผลของปริมาณน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำจะส่งผลดีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์

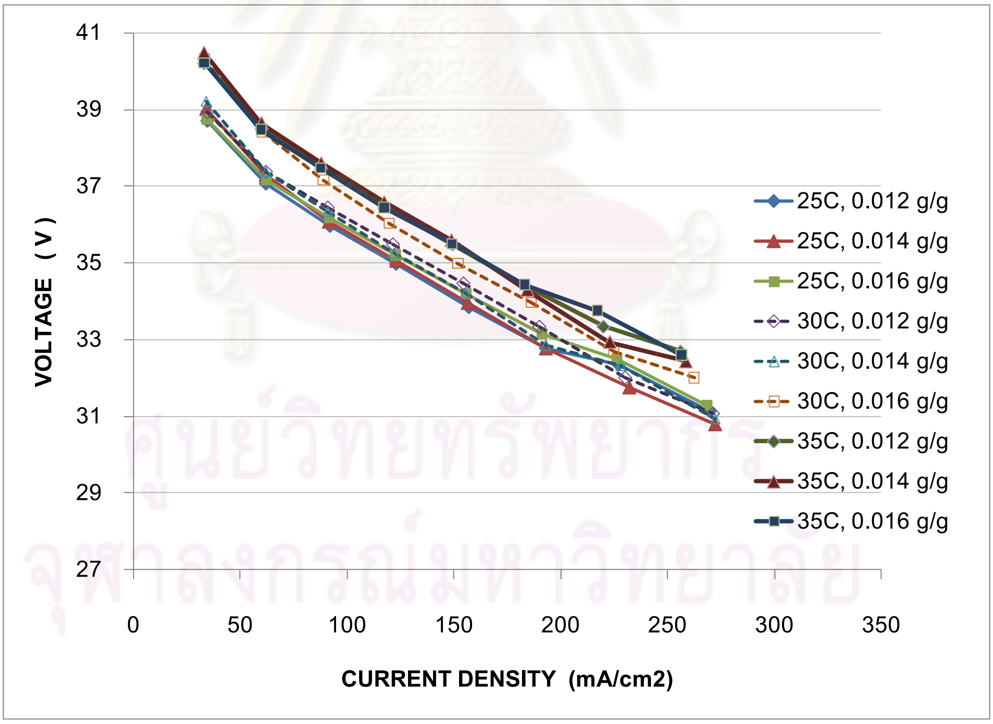
เมื่อทำการทดสอบผลของอุณหภูมิอากาศต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงโดยเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทดสอบจาก 25°C เป็น 30°C และ 35°C ตามลำดับ ณ ปริมาณน้ำในอากาศเท่ากัน พบว่า สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมมเบรนที่ต้องทำงานภายใต้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศป้อนเท่าเดิมความร้อนในอากาศอาจทำให้เมมเบรนสูญเสียน้ำไปพร้อมอากาศทิ้ง เมมเบรนที่ทำงานภายใต้อากาศที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจึงสามารถสูญเสียน้ำได้มากกว่าเมมเบรนที่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำเมื่อพิจารณาในกรณีที่อากาศมีปริมาณน้ำในอากาศที่เท่ากัน เมื่อเมมเบรนสูญเสียน้ำการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจึงต่ำลงทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดต่ำลงไปด้วย



รูปที่ 5-9 Polarization curve ของเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกสภาวะอากาศทดสอบ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5-10 สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนเข้าไปในระบบป้อนอากาศให้ค่าที่แตกต่างจากกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นอย่างมาก โดยสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าดีที่อุณหภูมิสูงและมีสมรรถนะที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C ปริมาณน้ำในอากาศ 0.016 g/g แล้วสมรรถนะที่อุณหภูมิต่ำลงมาเป็น 30°C และ 25°C จะมีสมรรถนะลดลงมาตามลำดับ การที่สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้สมรรถนะที่ดี ณ อุณหภูมิ 35° เนื่องจากอากาศที่อุณหภูมิสูงจะรับน้ำจากอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ดียิ่งกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่เข้าสู่เมมเบรนมีปริมาณสูงขึ้น ส่งผลให้สมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้นตามไปด้วย

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศป้อนเมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีสมรรถนะที่สูง เนื่องจาก การแลกเปลี่ยนมวลของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์จะเกิดขึ้นได้ดีที่เซลล์มีอุณหภูมิสูง ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศป้อนต่ำ



รูปที่ 5-10 Polarization curve ของเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกสภาวะอากาศทดสอบ

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเข้ากับระบบป้อนอากาศของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะมีเสถียรภาพสูงและมีสมรรถนะที่ดีในทุกสภาวะอากาศที่ทดสอบ (อุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศอยู่ในช่วง 25-35°C และ 0.012-0.016 g/g ตามลำดับ) โดยสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิในอากาศมีค่าสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศป้อนเพิ่มขึ้น

การทดสอบในงานวิจัยชิ้นนี้ ออกแบบการทดสอบให้เซลล์เชื้อเพลิงได้รับอากาศป้อนที่มีปริมาณน้ำในอากาศไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับการทดสอบของ C. Song และคณะ [28] ที่ทำการทดสอบ ณ อากาศป้อนมีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100% ตลอดการทดสอบแล้วทำการแปรค่าอุณหภูมิอากาศป้อนให้มีค่า 23-120°C จากผลการทดสอบของ C. Song พบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบมีสมรรถนะที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศป้อนเพิ่มขึ้นจาก 23°C และมีสมรรถนะที่ดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิอากาศป้อนเป็น 80°C ซึ่งแตกต่างจากผลการเพิ่มอุณหภูมิอากาศป้อนในการทดสอบงานวิจัยนี้สำหรับกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น จึงทำให้ทราบว่า หากอากาศป้อนของเซลล์เชื้อเพลิงมีปริมาณน้ำในอากาศที่ต่ำ การเพิ่มอุณหภูมิอากาศจะไม่ส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้นเสมอไป ยิ่งไปกว่านั้น สภาวะอากาศในการทดสอบของ C. Song เมื่ออากาศป้อนอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่เข้าสู่เซลล์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ผลสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจึงน่าจะมาจากผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศป้อน

5.2.3 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม

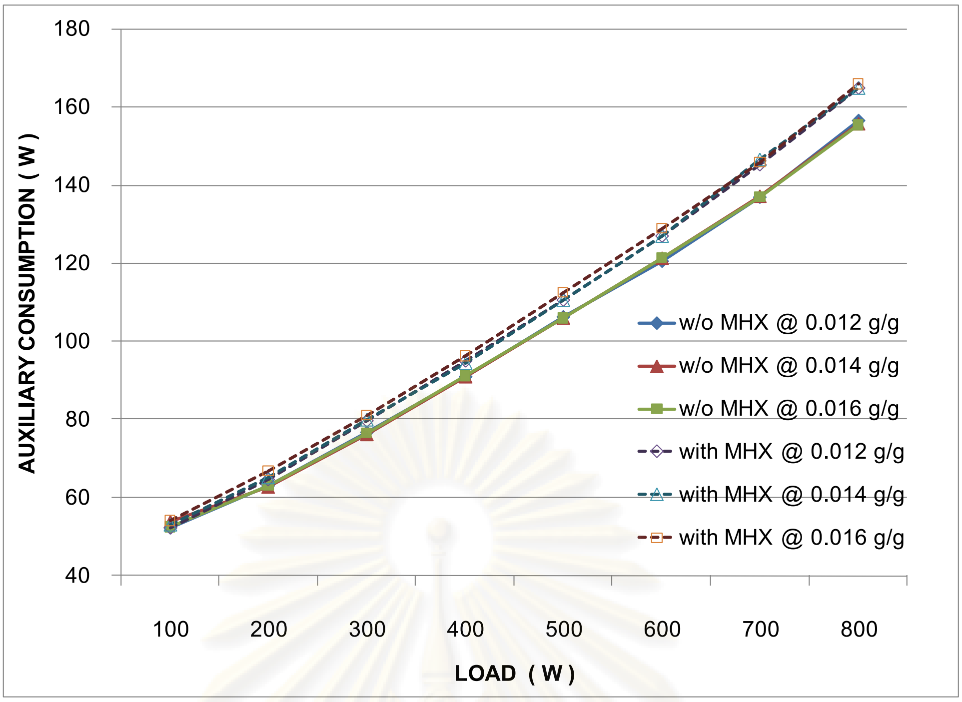
การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมคำนวณจากผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิตได้กับภาระของระบบเซลล์เชื้อเพลิง จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C ในรูปที่ 5-11 พบว่า เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนเข้าไปในระบบ ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมทั้งหมดจะขยับตัวเพิ่มขึ้นในทุกๆ ภาระการทดสอบ โดยจะมีค่าต่างกันสูงสุดถึง 6.73% ที่ปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.016 g/g

จากรูปที่ 5-12 พบว่า การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมทั้งสองกรณี ณ อุณหภูมิอากาศมีค่าเป็น 30°C ยังคงมีค่าแตกต่างกันเด่นชัดเหมือนผลการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศ 25°C เพียงแต่ในช่วงที่ภาระสูงกว่า 500 วัตต์ ความแตกต่างของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมมีค่าแคบลง จากความแตกต่างสูงสุด ณ ภาระ 500 วัตต์ที่มีค่าแตกต่างกัน 6.77% เมื่อทดสอบที่ภาระ 800 วัตต์ จะมีค่าความแตกต่างของทั้งสองกรณีเพียง 2.48% และในรูปที่ 5-13 พบว่า ณ

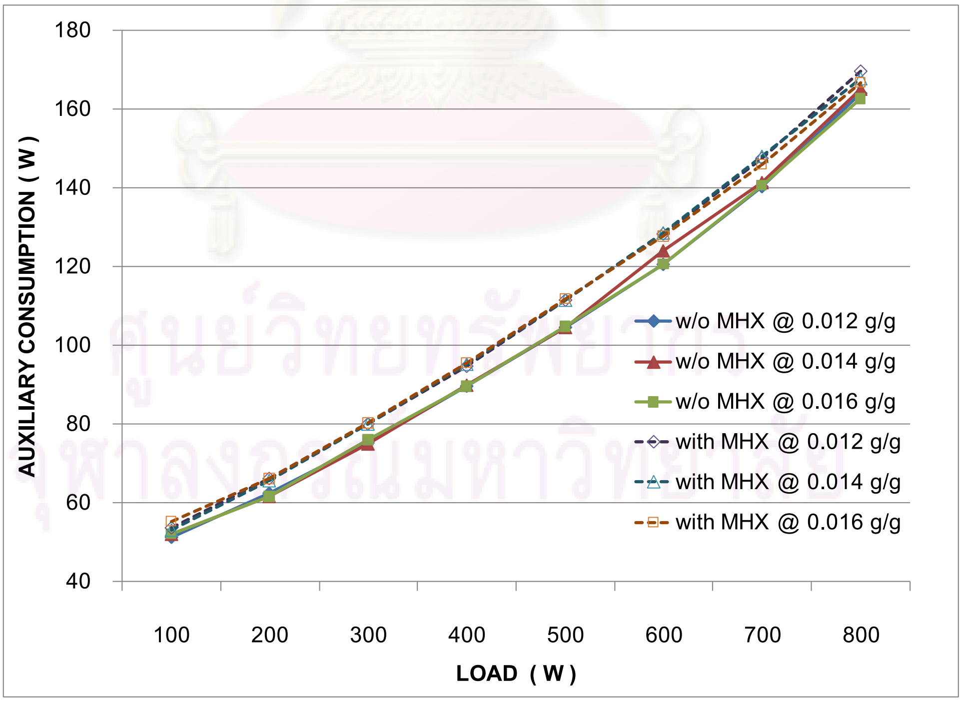
อากาศอุณหภูมิ 35°C ในช่วงภาระต่ำ กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นยังคงมีค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมต่ำว่ากรณีที่ใช้ และเมื่อภาระสูงกว่า 500 วัตต์ การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ภาระ 600 วัตต์ขึ้นไป

จากผลของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของเซลล์เชื้อเพลิง ทำให้ทราบว่า การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นสามารถลดภาระของระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้จริง เนื่องจาก การใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อให้เกิดการสูญเสียภายในอุปกรณ์และภายในท่อที่ยาวเพิ่มขึ้น ระบบที่ซับซ้อนขึ้นส่งผลให้การบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นดังได้แสดงไปแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงต้องทำงานภายใต้สภาวะอากาศที่อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิมการไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลเสียต่อการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม ผลที่ได้นี้ สอดคล้องกันกับการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ขยับตัวสูงขึ้นและสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ลดลง เมื่อทดสอบที่อากาศอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิม ระบบควบคุมและป้อนแก๊สไฮโดรเจนจึงต้องบริโภคกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (จากรูป 5-4 และ 5-5 แสดงการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงขณะทดสอบที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30 และ 35°C) กลายเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงส่งผลดีให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมลดต่ำลงเฉพาะบางสภาวะอากาศเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมไม่เพียงพอที่จะตัดสินได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นหรือไม่

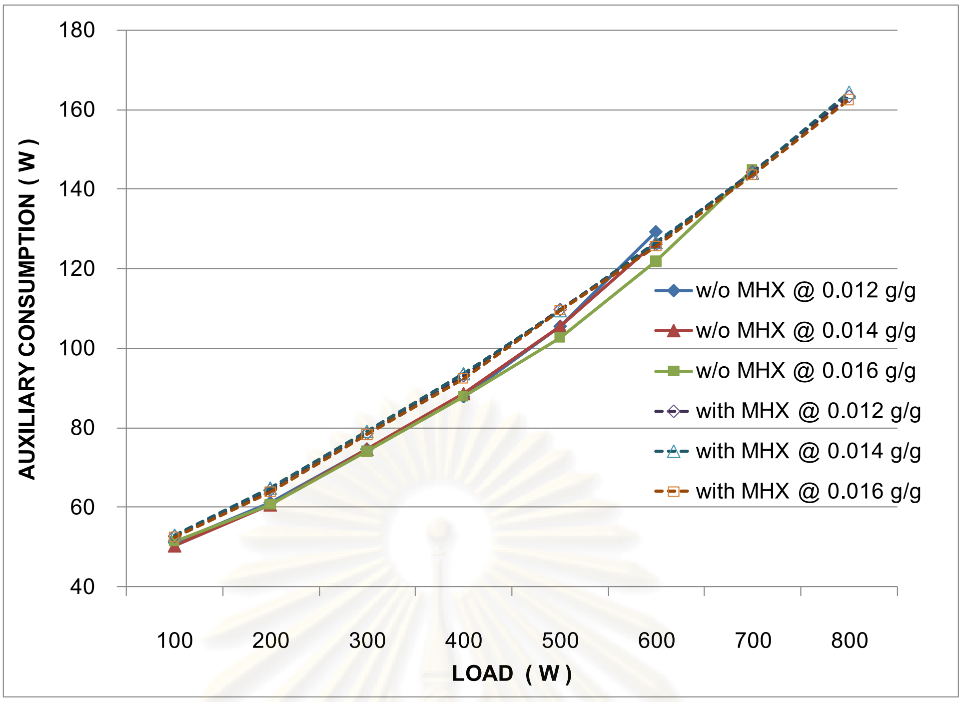
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-11 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C



รูปที่ 5-12 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C

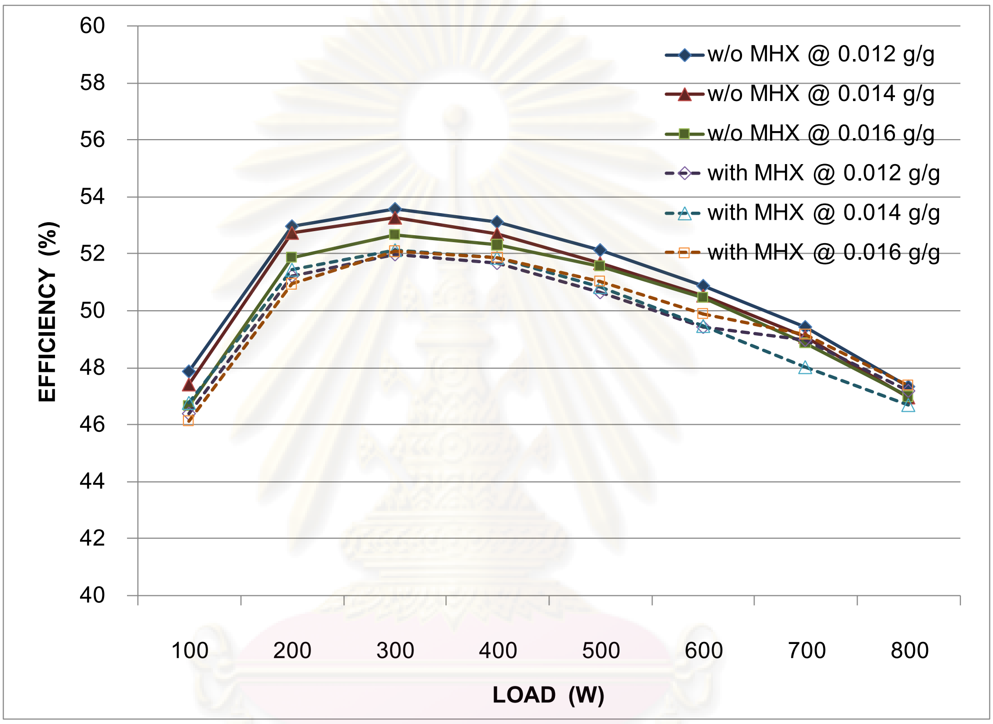


รูปที่ 5-13 การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ณ อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C

5.3 สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

จากค่าการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน Polarization Curve และค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม ที่ได้กล่าวไปแล้วจะพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีสมรรถนะที่แตกต่างกัน โดยรวมแล้วค่าการบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะสูงกว่ากรณีที่ใช้เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง และในส่วนของ Polarization curve เซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ต่ำลงที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงเช่นกัน แต่ในทางกลับกันกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น การจะวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์สมรรถนะของทั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจากการเทียบค่าภาระทางไฟฟ้ากับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงไฮโดรเจน การคำนวณพลังงานจากเชื้อเพลิงจะคำนวณจากผลคูณระหว่างปริมาณไฮโดรเจนกับค่าความร้อนต่ำของไฮโดรเจน (LHV)

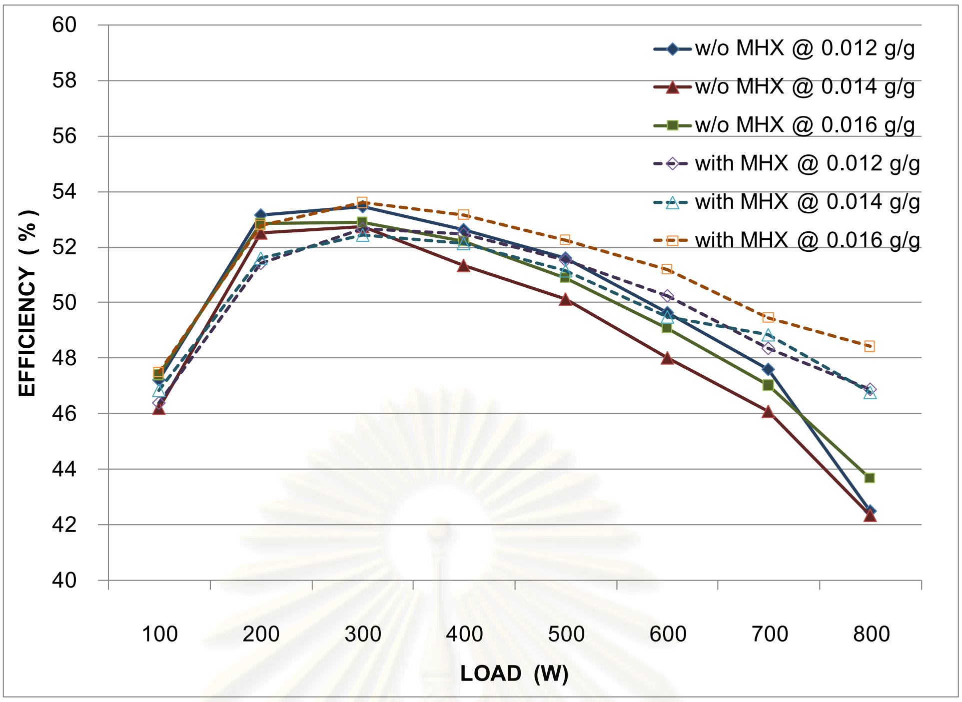
ผลประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 25°C ดังรูปที่ 5-14 พบว่า ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่ใช้เล็กน้อย โดยทั้งสองกรณีจะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระ 300 วัตต์ ระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าประสิทธิภาพเป็น 53.6% และระบบที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพเป็น 52% แล้วยังพบว่าประสิทธิภาพของระบบทั้งสองกรณีจะมีค่าต่ำเมื่อภาระเป็น 100 วัตต์แล้วเพิ่มขึ้นจนประสิทธิภาพระบบสูงสุดที่ 300 วัตต์ จากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อภาระเพิ่มขึ้น



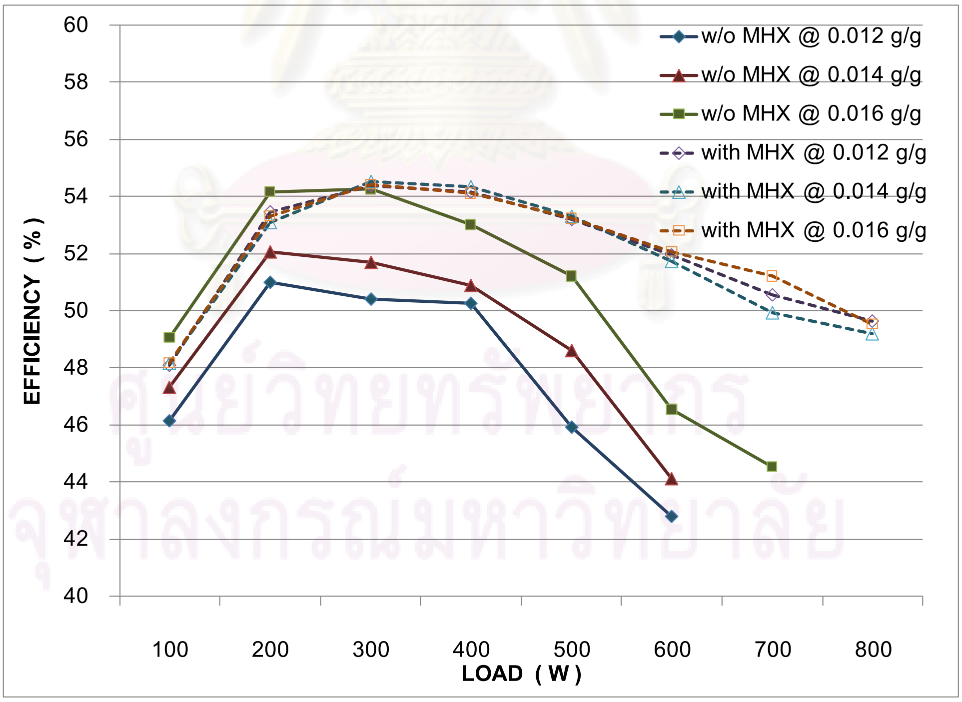
รูปที่ 5-14 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 25°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5-15 พบว่า ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีมีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อากาศแวดล้อม 25°C แต่พบข้อแตกต่างที่ภาระสูง ประสิทธิภาพระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 42.4% เมื่อภาระเป็น 800 วัตต์และปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.012 g/g ขณะที่กรณีที่ใช้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 46.8% ที่ภาระและปริมาณน้ำในอากาศเดียวกัน



รูปที่ 5-15 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 30°C



รูปที่ 5-16 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 35°C

จากรูปที่ 5-16 ผลต่างของประสิทธิภาพระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้แทบทุกสภาวะทดสอบ โดยกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ใช้เพียงช่วงภาระต่ำของการทดสอบที่ปริมาณน้ำ 0.016 g/g เท่านั้น ที่อุณหภูมิอากาศ 35°C นี้ประสิทธิภาพของกรณีที่ไม่ใช้ต่ำ โดยมีค่าเพียง 42.8% ที่ภาระ 600 วัตต์ ปริมาณน้ำในอากาศ 0.012 g/g และไม่สามารถทำการทดสอบที่ภาระสูงกว่า 600 วัตต์ได้

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำในอากาศต่อประสิทธิภาพ พบว่า ปริมาณน้ำในอากาศลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงลดลงทั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ในแทบทุกกรณีที่ทำการทดสอบ

จากผลการศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำให้ทราบว่า ถึงแม้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมลดลง แต่ข้อได้เปรียบดังกล่าวเมื่อนำมาเทียบกับการเพิ่มขึ้นของการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนและสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้ว จัดได้ว่าโดยรวมระบบจะสูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานเมื่อไม่ได้ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบ มีเพียงกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อากาศแวดล้อม 25°C และปริมาณน้ำในอากาศอยู่ช่วง 0.012-0.016 g/g เท่านั้นที่ประสิทธิภาพกรณีที่ไม่ใช้สูงกว่ากรณีที่ใช้เล็กน้อย โดยที่สภาวะอากาศดังกล่าว การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนของทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันแต่สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าดีกว่ากรณีที่ใช้เนื่องจากกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีปริมาณน้ำเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงสูงไปดังผลของความถี่ในการไล่น้ำขณะทดสอบทำให้น้ำไปขัดขวางการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและการที่ระบบไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้สอดคล้องกับการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

อย่างไรก็ตามราคาและอายุการใช้งานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนที่ใช้ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าศึกษา เนื่องจากราคาของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนมีราคาสูงราว 20% ของอุปกรณ์เสริมทั้งหมดและมีอายุการใช้งานที่อ้างอิงจากผู้ผลิตเพียง 800 ชั่วโมงทำงาน ซึ่งเป็นอายุที่น้อยกว่าอายุการใช้งานของเซลล์แถวถึง 4.5 เท่า การเลือกใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงควรพิจารณาจากสภาวะอากาศบริเวณที่จะนำเซลล์เชื้อเพลิงไปใช้ว่ามีอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศเป็นอย่างไร เพื่อที่จะให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้อย่างมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพ หากมีการวางแผนที่จะนำเซลล์เชื้อเพลิงใช้งานในที่อุณหภูมิประมาณ 25°C แต่มีความชื้นในปริมาณที่พอเหมาะต่อความต้องการของเมมเบรน การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นอาจเป็นทางเลือกที่ดีเพราะไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูง แต่หากต้องนำเซลล์เชื้อเพลิงไปใช้ในบริเวณที่มีอากาศร้อนและแห้ง อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความจำเป็นต่อระบบเซลล์เชื้อเพลิงอย่างมาก และหากระบบเซลล์เชื้อเพลิงขาดอุปกรณ์ดังกล่าวอาจส่งผลให้เมมเบรนแห้งและเกิดความเสียหายต่อเซลล์เชื้อเพลิงจนไม่สามารถใช้งานได้ในที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
บทสรุป

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจัดเป็นอุปกรณ์แปรรูปพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน ทั้งเพื่อใช้งานในการผลิตไฟฟ้าในครัวเรือนและการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมีอุณหภูมิทำงานต่ำและมีการตอบสนองที่ไว มีความหลากหลายของแหล่งเชื้อเพลิงแก๊สไฮโดรเจน มีประสิทธิภาพสูง มีส่วนประกอบน้อยชิ้นและขณะทำงานมีเสียงที่เบา แต่การใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงให้เกิดประสิทธิภาพนั้น เซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นที่จะทำงานภายใต้อากาศป้อนที่มีความชื้นสูงเพราะเมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้ในปัจจุบันจะต้องทำงานภายใต้ความชื้นที่เพียงพอ หากปริมาณความชื้นภายในเมมเบรนมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้ ionic resistance มีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดต่ำลงเนื่องจาก ohmic loss แต่หากปริมาณความชื้นภายในเมมเบรนมีค่าสูงเกินไปหรือในภายในเซลล์นั้นมีปริมาณน้ำมากเกินกว่าความต้องการของเซลล์จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีลดลงเนื่องจากน้ำไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของตัวทำปฏิกิริยา(reactant) โดยสรุปแล้ว ปริมาณน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก จากผลงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศป้อนที่เหมาะสมในการทดสอบบนแท่นทดสอบ พบว่าเซลล์แถวจะทำงานได้ดีเมื่ออากาศป้อนมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50% และจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ราว 60% - 70% ขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรนและสภาวะในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป จากข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับศึกษาและพัฒนาไปใช้ในยานยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่มักจะพบว่าทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นร่วมอยู่ด้วยเสมอ เพื่อให้เซลล์แถวได้รับความชื้นที่สูงขึ้นจากระดับที่มีในอากาศแวดล้อม อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนหรือ membrane humidifier หรือ membrane humidifier exchanger (MHX) ได้รับความนิยมในการใช้งานภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ เนื่องจาก มีน้ำหนักเบา ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่และเกิดการสูญเสียแรงดันในระดับที่ยอมรับได้ แต่ข้อเสียคือราคาของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นนั้นอาจสูงถึง 20% ของอุปกรณ์เสริมทั้งหมดภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง แล้วยังทำให้ระบบมีน้ำหนักและความซับซ้อนเพิ่มขึ้น และในบางกรณีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นดังกล่าวอาจส่งผลให้เมมเบรนเสียหายเนื่องจากน้ำท่วมภายในเซลล์ จากเหตุผลที่กล่าวมา ทำให้เกิดแนวคิดในการวิจัยว่า หากระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานภายใต้อากาศแวดล้อมความชื้นสูง จะมีความเป็นไปได้ที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานได้โดยไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นหรือไม่ และในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนเข้าไปกับระบบเซลล์เชื้อเพลิง การทำงานและสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะเปลี่ยนไปหรือไม่ อย่างไร การทดสอบนี้จึงมุ่งหวังที่จะ

ศึกษาผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงว่าเมื่ออากาศป้อนไหลผ่านอุปกรณ์ อากาศจะมีอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศเปลี่ยนไปอย่างไรและการเปลี่ยนแปลงของอากาศส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนและการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมอย่างไร

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Power Module) ที่สามารถผลิตและจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงสุดถึง 1.2 kW ระบบเซลล์เชื้อเพลิงประกอบไปด้วยเซลล์แถว (stack) ระบบป้อนอากาศและเชื้อเพลิง ระบบระบายความร้อน ระบบแสดงการทำงานพร้อมบันทึกผลการทำงานและระบบควบคุมการทำงาน ระบบย่อยทั้งหมดนี้ประกอบรวมเป็นลักษณะโมดูลที่เคลื่อนย้ายหรือนำไปติดตั้งในยานยนต์ได้โดยสะดวก กำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหลักจะใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ภาระทางไฟฟ้าและส่วนรองจะถูกนำมาจ่ายให้แก่อุปกรณ์เสริม (Auxiliary unit) ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง เช่น คอมเพรสเซอร์ อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พัดลมระบายความร้อน แผงควบคุมวงจร เป็นต้น ซึ่งจำเป็นเพื่อให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง ภายในระบบป้อนอากาศมีอุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณน้ำแก่อากาศป้อนที่ไหลผ่าน การทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นนี้จึงกระทำ ณ สภาวะอากาศทดสอบที่อุณหภูมิคงที่และปริมาณน้ำคงที่เพื่อที่จะทราบผลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำว่าส่งผลต่อการทำงานเซลล์เชื้อเพลิงอย่างไร โดยออกแบบการทดสอบให้เป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศป้อนคงที่ ที่ 25, 30 และ 35°C และส่วนที่สองทำการทดสอบที่ปริมาณน้ำภายในอากาศแวดล้อมคงที่ที่ 0.012, 0.014 และ 0.016 $g_{water}/g_{dry\ air}$ การทดสอบจะกระทำภายในห้องควบคุมสภาวะอากาศที่ออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศได้

จากการทดสอบทำให้ทราบว่า ในระหว่างที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงาน ระบบจะไม่ได้อยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ตลอดเวลา ทั้งในส่วนของ การเริ่มทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าถึงสองแหล่ง การเพิ่มขึ้นของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่คงที่ การไล่น้ำที่มักจะพบขณะเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายภาระสูงและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทำงาน การที่จะศึกษาผลการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ในภาวะคงตัว ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยจะเลือกเก็บข้อมูลจากช่วงที่อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวมีค่าคงตัวมาวิเคราะห์การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

ผลการทดสอบการงานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเพิ่มได้ทั้งอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศป้อน โดยใช้อากาศขาทิ้งจากเซลล์เชื้อเพลิงส่งผ่านเข้าอุปกรณ์เพื่อจ่ายความร้อนและน้ำให้แก่อากาศป้อน ผลอุณหภูมิของอากาศป้อนมีค่าเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์โดยแปรผันตรงกับอุณหภูมิของอากาศขาทิ้งที่เพิ่มขึ้นตามค่าภาระทางไฟฟ้า และผลของปริมาณน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้นในงานวิจัยนี้ ไม่สามารถวัดปริมาณน้ำของอากาศป้อนที่เพิ่มขึ้นขณะเซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้ เนื่องจากปัญหาด้านความเหมาะสมของเซนเซอร์ อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้พยายามที่จะศึกษาความสามารถในการเพิ่มน้ำแก่อากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์เพิ่มชื้นและได้ผลว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีเมมเบรนที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้ดีมากและอุปกรณ์สามารถจ่ายน้ำให้แก่อากาศที่ไหลผ่านได้โดยไม่จำเป็นต้องมีอากาศขาจ่ายมาป้อนน้ำแก่เมมเบรนเป็นเวลามากกว่าครึ่งชั่วโมง โดยสรุป อุปกรณ์ดังกล่าวมีความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณน้ำแก่อากาศป้อนสูง

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิง แบ่งการเปรียบเทียบกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นออกเป็น 3 ประเด็นด้วยกัน ได้แก่ การบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน สมรรถนะของเซลล์แถวผ่าน Polarization curve และการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม

ผลการเปรียบเทียบการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน พบว่า ณ อุณหภูมิห้องเป็น 25°C การบริโภคไฮโดรเจนมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน แต่การบริโภคเชื้อเพลิงของทั้งสองกรณีเริ่มมีความแตกต่างมากขึ้นตามอุณหภูมิห้องที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิห้องเป็น 30°C กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะบริโภคไฮโดรเจนมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น เห็นความแตกต่างได้ชัดเมื่อภาระสูงขึ้นและแตกต่างกันกว่า 10% ที่ภาระ 800 วัตต์ ในทุกๆระดับความชื้นที่ทดสอบ และที่อุณหภูมิห้องเป็น 35°C ความแตกต่างของการบริโภคไฮโดรเจนระหว่างทั้งสองกรณีชัดเจนขึ้น โดยกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะบริโภคไฮโดรเจนมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทดสอบและมีค่าแตกต่างสูงสุดถึง 15% ที่ 700 วัตต์ ณ ปริมาณน้ำในอากาศทดสอบเป็น 0.016 g/g จากผลการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนดังแสดง จึงทำให้ทราบว่าที่อุณหภูมิอากาศสูงปริมาณน้ำในอากาศจะมีผลต่อการบริโภคไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น โดยเมื่อปริมาณน้ำในอากาศลดลงการบริโภคไฮโดรเจนจะสูงขึ้น แต่กรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น การบริโภคเชื้อเพลิงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละระดับความชื้น ทุกระดับอุณหภูมิทดสอบ ผลการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่มีค่าการบริโภคมากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเมื่ออุณหภูมิอากาศป้อนสูงขึ้น

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงวิเคราะห์จากกราฟ Polarization curve ที่เขียนเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวกับค่า Current density เซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงกันที่ทุกปริมาณน้ำในอากาศ เมื่อต้องทำงานภายใต้อากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25°C ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แถวอยู่ในช่วง 30-40 โวลท์ สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 30°C ของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ โดยในช่วงที่ Current density มีค่าต่ำสมรรถนะของทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทดสอบที่ภาระสูงขึ้น Current density สูงขึ้น สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าตกลงที่ทุกปริมาณความชื้นในอากาศ ที่ภาระ 800 วัตต์ ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเพียง 27 โวลต์ ณ Current density 304 mA/cm2 และเมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่า ที่อากาศ 30°C สมรรถนะของกรณีที่มีปริมาณน้ำ 0.016 g/g มีค่าดีที่สุด สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อทำงานที่อุณหภูมิอากาศ 35°C กรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีสมรรถนะที่สูงและมีค่าใกล้เคียงกันในทุกปริมาณความชื้น แต่เซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นกลับมีสมรรถนะที่ต่ำมาก สำหรับกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่อากาศอุณหภูมิ 35°C ขณะเซลล์เชื้อเพลิงรับภาระสูง เซลล์เชื้อเพลิงจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ต่ำกว่าขณะที่ทดสอบ ณ อากาศอุณหภูมิ 25°C และ 30°C สูงและเซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถทำการทดสอบได้ทุกภาระที่ออกแบบการทดสอบไว้ เนื่องจากที่ภาระสูงแรงดันไฟฟ้าบางกรณีจะมีค่าต่ำกว่าที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงกำหนดไว้ ทำให้ระบบหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อพิจารณาทุกสภาวะอากาศที่เซลล์เชื้อเพลิงไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นผลของปริมาณน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ดีขึ้น และเมื่อทำการทดสอบผลของอุณหภูมิอากาศต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงโดยเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทดสอบจาก 25°C เป็น 30°C และ 35°C ตามลำดับ ณ ปริมาณน้ำในอากาศเท่ากัน พบว่า สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น โดยสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าดีที่อุณหภูมิสูงและมีสมรรถนะที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C ปริมาณน้ำในอากาศ 0.016 g/g แล้วสมรรถนะที่อุณหภูมิต่ำลงมาเป็น 30°C และ 25°C จะมีสมรรถนะลดลงมาตามลำดับ การที่สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้สมรรถนะที่ดี ณ อุณหภูมิอากาศสูง เนื่องจาก อากาศที่อุณหภูมิสูงจะรับน้ำจากอุปกรณ์เพิ่มความชื้นได้ดียิ่งกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เมมเบรนได้รับน้ำมากขึ้น ส่งผลให้สมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้นตามไปด้วย

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นเข้ากับระบบป้อนอากาศของเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะมีเสถียรภาพสูงและมีสมรรถนะที่ดีในทุกสภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิและปริมาณน้ำในอากาศอยู่

ในช่วง 25-35°C และ 0.012-0.016 g/g ตามลำดับ โดยสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิในอากาศมีค่าสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศป้อนเพิ่มขึ้น

ผลการเปรียบเทียบการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมคำนวณจากผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิตได้กับภาระที่จ่ายให้แก่ระบบเซลล์เชื้อเพลิง จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C พบว่า เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนเข้าไปในระบบ ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมทั้งหมดจะขยับตัวเพิ่มขึ้นในทุกๆ ภาระการทดสอบ โดยจะมีค่าต่างกันสูงสุดถึง 10 วัตต์ หรือ 6.73% ที่ปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.016 g/g การบริโภคกำลังไฟฟ้าเสริมของทั้งสองกรณี ณ อุณหภูมิอากาศมีค่าเป็น 30°C ยังคงมีค่าแตกต่างกันเด่นชัดเหมือนผลการทดสอบที่อุณหภูมิอากาศ 25°C เพียงแต่ในช่วงที่ภาระสูงกว่า 500 วัตต์ ความแตกต่างของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมมีค่าแคบลง จากความแตกต่างสูงสุด ณ ภาระ 500 วัตต์ที่มีค่าแตกต่างกัน 6 วัตต์ หรือ 6.77% เมื่อทดสอบที่ภาระ 800 วัตต์ จะมีค่าความแตกต่างของทั้งสองกรณีเพียง 4 วัตต์ หรือ 2.48% และ ณ อากาศอุณหภูมิ 35°C ในช่วงภาระต่ำ กรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นยังคงมีค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมต่ำว่ากรณีที่ใช้ และเมื่อภาระสูงกว่า 500 วัตต์ การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นที่ภาระ 600 วัตต์ขึ้นไป จากผลของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของเซลล์เชื้อเพลิง ทำให้ทราบว่า การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นสามารถลดภาระของระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้จริง เนื่องจาก การใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นก่อให้เกิดการสูญเสียภายในอุปกรณ์และภายในท่อที่ยาวเพิ่มขึ้น ระบบที่ซับซ้อนขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงต้องทำงานภายใต้สภาวะอากาศที่อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิมการไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลเสียต่อการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม ผลที่ได้นี้ สอดคล้องกันกับการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ขยับตัวสูงขึ้นเมื่อทดสอบที่อากาศอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาณน้ำในอากาศเท่าเดิม ระบบควบคุมและป้อนก๊าซไฮโดรเจนจึงต้องบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นกลายเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงส่งผลดีให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมลดต่ำลงเฉพาะบางสภาวะอากาศเท่านั้น จึงไม่สามารถจัดว่าการไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะช่วยลดการสูญเสียได้

จากค่าการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจน Polarization Curve และค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม ที่ได้กล่าวไปแล้วจะพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้มีสมรรถนะที่แตกต่างกัน

โดยรวมแล้วค่าการบริโภคไฮโดรเจนของกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะสูงกว่ากรณีที่ใช้เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง และในส่วนของ Polarization curve เซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ต่ำลงที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงเช่นกัน แต่ในทางกลับกันกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น การจะวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์สมรรถนะของทั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจากการเทียบค่าภาระทางไฟฟ้ากับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงไฮโดรเจน การคำนวณพลังงานจากเชื้อเพลิงจะคำนวณจากปริมาณไฮโดรเจนคูณกับค่าความร้อนต่ำของไฮโดรเจน (LHV)

ผลประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิอากาศ 25°C พบว่า ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่ใช้เล็กน้อย โดยทั้งสองกรณีจะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระ 300 วัตต์ ระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีค่าประสิทธิภาพเป็น 53.6% และระบบที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพเป็น 52% แล้วยังพบว่าประสิทธิภาพของระบบทั้งสองกรณีจะมีค่าต่ำเมื่อภาระเป็น 100 วัตต์แล้วเพิ่มขึ้นจนประสิทธิภาพระบบสูงสุดที่ 300 วัตต์ จากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อภาระเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีที่อุณหภูมิอากาศ 30°C มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อากาศแวดล้อม 25°C แต่พบข้อแตกต่างที่ภาระสูง ประสิทธิภาพระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 42.4% เมื่อภาระเป็น 800 วัตต์และปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.012 g/g ขณะที่กรณีที่ใช้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 46.8% ที่ภาระและปริมาณน้ำในอากาศเดียวกัน และที่อุณหภูมิ 35°C ผลต่างของประสิทธิภาพระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองกรณีเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้แทบทุกสภาวะทดสอบ โดยกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ใช้เพียงช่วงภาระต่ำของการทดสอบที่ปริมาณน้ำ 0.016 g/g เท่านั้น ที่อุณหภูมิอากาศ 35°C นี้ ประสิทธิภาพของกรณีที่ไม่ใช้ต่ำ โดยมีค่าเพียง 42.8% ที่ภาระ 600 วัตต์ ประมาณน้ำในอากาศ 0.012 g/g และมีแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำลงเมื่อทำการทดสอบที่ภาระสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำในอากาศต่อประสิทธิภาพ พบว่า ปริมาณน้ำในอากาศลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเซลล์เชื้อเพลิงลดลงทั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ในแทบทุกกรณีที่ทำการทดสอบ

จากผลการศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์ชื้อเพลิงทำให้ทราบว่า ถึงแม้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะส่งผลให้ค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมลดลง แต่

ข้อได้เปรียบดังกล่าวเมื่อนำมาเทียบกับการเพิ่มขึ้นของการบริโภคเชื้อเพลิงไฮโดรเจนและสมรรถนะในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแล้ว จัดได้ว่าโดยรวมระบบจะสูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานเมื่อไม่ได้ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นภายในระบบ มีเพียงกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อากาศแวดล้อม 25°C และปริมาณน้ำในอากาศอยู่ช่วง 0.012-0.016 g/g เท่านั้นที่ประสิทธิภาพกรณีที่ไม่ใช้สูงกว่ากรณีที่ใช้เล็กน้อย โดยภาพรวมด้านสมรรถนะอุปกรณ์เพิ่มความชื้นจึงเป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่จำเป็นต่อการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของโมดูล

อย่างไรก็ตามราคาและอายุการใช้งานของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนที่ใช้ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าศึกษา เนื่องจากราคาของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรนมีราคาสูงราว 20% ของอุปกรณ์เสริมทั้งหมดและมีอายุการใช้งานที่อ้างอิงจากผู้ผลิตเพียง 800 ชั่วโมงทำงาน ซึ่งเป็นอายุที่น้อยกว่าอายุการใช้งานของเซลล์แถวถึง 4.5 เท่า ดังนั้น หากมีการวางแผนที่จะนำเซลล์เชื้อเพลิงใช้งานในที่อุณหภูมิประมาณ 25°C แต่มีความชื้นในปริมาณที่สูงเพียงพอต่อการของเมมเบรน การไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้นอาจเป็นทางเลือกที่ดีเพราะไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถนะเซลล์เชื้อเพลิงและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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-Grandpierred, 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® -MO_2 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.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. ผลการทดสอบเบื้องต้น

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ดัดแปลงระบบเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งให้อากาศป้อนจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่เซลล์แถว (stack) โดยไม่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น พร้อมทั้งทดสอบการติดตั้งเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงเดิมเพื่อยืนยันว่า ระบบจะยังสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการเตือนหรือระบบหยุดทำงานอัตโนมัติขึ้น นอกเหนือจากนี้ยังมีผลการทดสอบระบบที่ดัดแปลงใหม่ที่ภาระต่ำและอุณหภูมิทำงานต่ำเทียบกับผลการทดสอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิงก่อนได้รับการดัดแปลง

ก.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

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

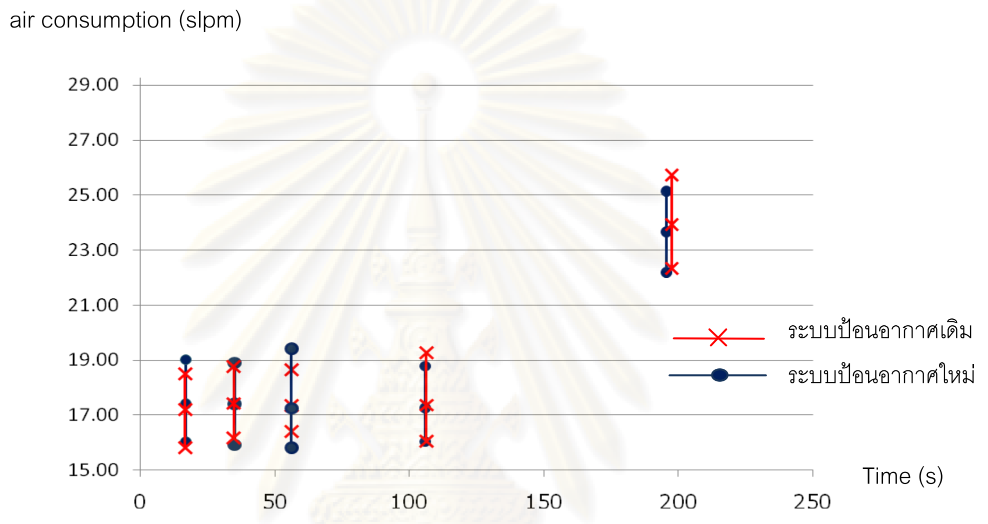
ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคไฮโดรเจนระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่เพื่อศึกษาการทำงานของด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง

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

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคอากาศระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่เพื่อศึกษาการทำงานของด้านแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ยังคงมีอัตราการบริโภคอากาศไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าเฉลี่ยของอัตราการบริโภคอากาศ ณ ภาระเดียวกันต่างกันสูงสุดเพียง 1.26 % ดังแสดงในรูปที่ 3-4

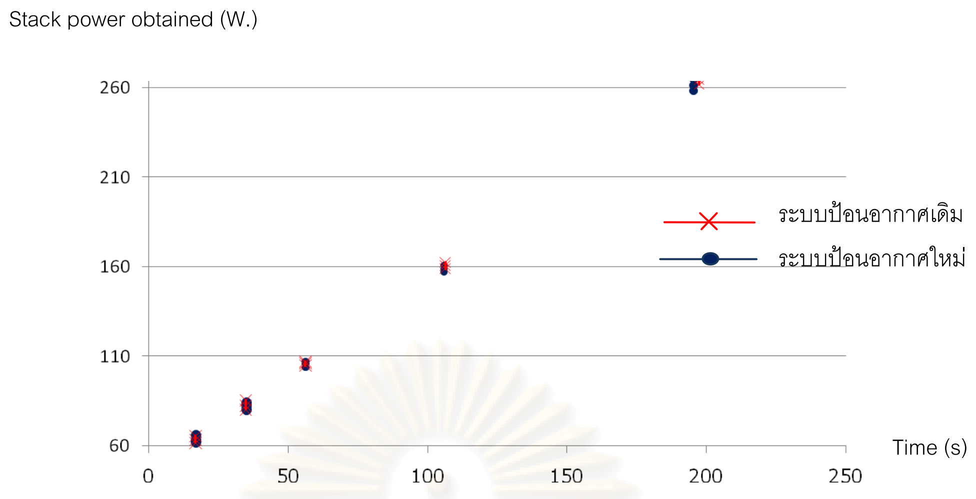


รูปที่ ก-3 การเปรียบเทียบค่าการบริโภคอากาศของระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

หมายเหตุ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการบริโภคอากาศเป็นไปตามความสามารถในการควบคุมอัตราการไหลของคอมเพรสเซอร์

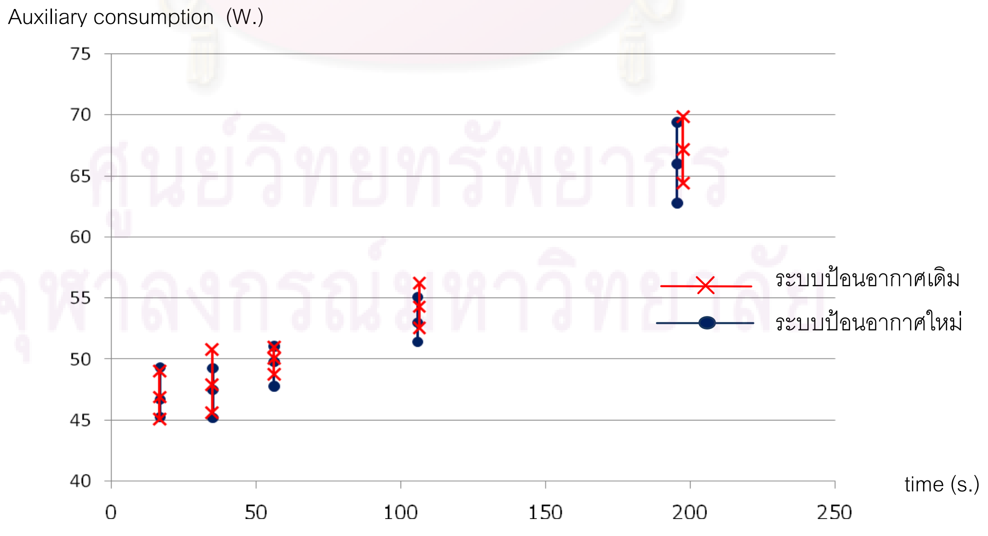
ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต (Stack power obtained) ระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับการพิจารณาค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

จากการทดสอบ พบว่า ที่ภาระต่ำ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แถวระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แถว ณ ภาระเดียวกันต่างกันสูงสุดเพียง 1.21 % ดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 การเปรียบเทียบค่า stack power obtained ระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมระหว่างกรณีที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมกับระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่ พบว่าที่ภาระต่ำพบว่า ค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงของทั้งสองกรณีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาระเพิ่มขึ้นและการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบใหม่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้ระบบป้อนอากาศแบบเดิมประมาณ 2% ดังแสดงในรูปที่ ก-5



รูปที่ ก-5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่า auxiliary consumption ของระบบป้อนอากาศแบบเดิมและแบบใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*หมายเหตุ ค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นค่าที่คำนวณได้จากผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต กับภาระที่ป้อนแก่ระบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิตเกิดจากปริมาณการเกิดปฏิกิริยาเคมีและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมีค่าไม่สม่ำเสมอ

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนดังกล่าวเมื่อถอดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นออกเช่นดังระบบป้อนอากาศแบบใหม่เครื่องยังคงสามารถทำงานได้โดยไม่กระทบกับระบบนิรภัยใดๆ ภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

นอกเหนือจากนั้น ภายใต้การทดสอบที่ภาระต่ำและอุณหภูมิทำงานต่ำ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการบริโภคไฮโดรเจน การบริโภคอากาศ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แถวผลิต และค่าการบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากและเมื่อภาระเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

จากผลการทดสอบเบื้องต้นนี้ ถูกใช้เป็นแนวทางเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การกำหนดแผนการทดสอบในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบการทดสอบให้มีความรัดกุมยิ่งขึ้นกว่าการทดสอบเบื้องต้น พร้อมทั้งวิเคราะห์ตำแหน่งที่จำเป็นที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อความปลอดภัยในการทดสอบที่ต้องให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อุณหภูมิของ stack ที่สูงขึ้นและรับภาระที่สูงยิ่งขึ้น แล้วนำไปประกอบการวางแนวทางในการทดสอบในงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวโสพัส สมยศ เกิดเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2526 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ.2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย