

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246211

ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเบตง์ซีเมนต์พิมพ์แบบ PEM

นางสาวไฉตช สมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2553  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEM



นางสาว ไสพล สมนยศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



EFFECT OF EXTERNAL HUMIDIFIER ON THE PERFORMANCE OF PEMFC POWER  
MODULE

Ms. Sorot Somyot

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

ผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์  
เชื้อเพลิงแบบ PEM

โดย

นางสาว ไสพ์ส สมยศ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคิรี ศรีภคการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคิรี ศรีภคการ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เทอดไทย วัฒนธรรม)

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

246211

บทความนี้เสนอผลการศึกษาการทำงาน อุปกรณ์เพิ่มความชื้น การทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบโมดูล (PEM Fuel cell power module) ในกรณีที่ใช้และไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นแบบเมมเบรน (Membrane humidifier) เพื่อระบุผลของอุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่อสมรรถนะของระบบเซลล์เชื้อเพลิง การทดสอบทั้งหมดกระทำภายในห้องควบคุมอากาศที่สามารถกำหนดระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบได้ การทดสอบกระทำภายใต้สภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิ 25, 30 และ 35°C มีปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.012, 0.014 และ 0.016 g/g ในแต่ละสภาวะของระดับความชื้นอากาศป้อนทำการทดสอบตั้งภาระทางไฟฟ้าจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงตั้งแต่ 100 ไปจนถึง 800 วัตต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์เพิ่มความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มได้ทั้งอุณหภูมิและน้ำให้แก่อากาศป้อน ผลการเปรียบเทียบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงของกรณีที่ใช้และไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้น พบว่า การบริโภคไฮโดรเจนที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออากาศมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 35°C กรณีที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าการบริโภคไฮโดรเจนสูงกว่ากรณีที่ใช้ถึง 10% และ 15% ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศ 25°C สมรรถนะของกรณีที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะสูงกว่ากรณีที่ใช้ แต่เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นสมรรถนะของกรณีที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนที่อุณหภูมิอากาศเป็น 35°C เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถทำงานได้ที่ภาระสูงเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ต่ำกว่าที่ระบบกำหนด ในส่วนของการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริม พบว่า กรณีที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นสามารถลดการบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของระบบได้ โดยที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C การบริโภคกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เสริมของกรณีที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นต่ำกว่ากรณีที่ใช้ถึง 6.7% และในการพิจารณาสมรรถนะของทั้งระบบ พบว่า มีเพียงกรณีที่อากาศอุณหภูมิ 25°C เท่านั้นที่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ใช้ นอกเหนือจากอุณหภูมิดังกล่าว ประสิทธิภาพของกรณีที่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีค่าสูงกว่าทั้งหมดและมีค่าสูงสุด 54.5% ที่อุณหภูมิอากาศ 35°C ในผลการทดสอบของงานวิจัยชิ้นนี้ ระบบที่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้นจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าและเสถียรภาพสูงกว่าระบบที่ไม่ใช้ อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

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

# # 5170507921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : FUEL CELL / PEM / MEMBRANE HUMIDIFIER

SOROT SOMYOT : EFFECT OF EXTERNAL HUMIDIFIER ON THE  
PERFORMANCE OF PEMFC POWER MODULE.

246211

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<sub>dry air</sub>. 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 raised, 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 

Field of Study : ...Mechanical Engineering... Advisor's Signature 

Academic Year : ...2010...

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ ดำเนินงานจนสำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยการช่วยเหลือ ความเสียสละและน้ำใจจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังคีร์ ศรีภคคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวทางในการค้นคว้าข้อมูล อย่างใจใส่ ให้เวลาเมตตาและเป็นธุระในการจัดหาทุนวิจัยมาโดยตลอด พร้อมทั้งให้ความเอ็นดูแม่ในขณะที่คุณวิจัยจะเหนื่อยหรือท้อแท้ในบางช่วงของการทำงาน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณและจักระลึกบุญคุณของท่านพร้อมนำแนวคิดในการทำงานไปใช้พัฒนาดตนเองในการดำรงชีวิตต่อไปในอนาคต

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

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

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เทอดไทย วัฒนธรรม ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์กับ น้องอรรธ พินิติต ที่ให้การช่วยเหลือและสละเวลาเป็นอย่างมาก ที่โกวิท ที่คอยให้การช่วยเหลืออย่างดีและไม่เคยบ่นเบี่ยง ขอขอบคุณพี่โบ๊ พี่เหมี่ยว ทราวย ไบเตยและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังและช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณปู่ แอมจะมีวันนี้ไม่ได้เลยถ้าขาดเพื่อนคนนี้

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่และพี่ชายอันเป็นที่รักยิ่งที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ความรัก ไม่เคยปล่อยปละละเลยและให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน

หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดในส่วนใดเกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และจะขอปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

## 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

	หน้า
บทที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิง .....	19
3.1 ระบบย่อยภายในระบบเซลล์เชื้อเพลิง .....	19
3.1.1 เซลล์แกว .....	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 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แกว .....	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

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
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	78

## สารบัญตาราง

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

## 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 ที่อุณหภูมิอากาศ 25°C .....	26
รูปที่ 3-6 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ 30°C .....	27
รูปที่ 3-7 อุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวของกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ 35°C .....	27
รูปที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทำงานของเซลล์แถวทุกปริมาณน้ำในอากาศที่ทำงาน ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C 30°C และ 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 ยี่ห้อ KIKUSUI รุ่น PLZ1004W .....	33
รูปที่ 4-5 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงก่อนการดัดแปลง .....	35

รูปที่ 4-6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ใช้ 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 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาตั้ง .....	38
รูปที่ 4-11 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดเสริมเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในกรณีที่ไม่ ใช้อุปกรณ์เพิ่มความชื้น .....	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

รูปที่ 5-10 Polarization curve ของกรณีที่ใช้อุปรกรณ์เพิ่มความชื้นทุกสภาวะอากาศทดสอบ .....54

รูปที่ 5-11 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปรกรณ์เพิ่มความชื้น  
 ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 25°C .....57

รูปที่ 5-12 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปรกรณ์เพิ่มความชื้น  
 ที่อุณหภูมิอากาศเป็น 30°C .....57

รูปที่ 5-13 การบริโภคพลังงานของอุปกรณ์เสริมกรณีที่ใช้และไม่ใช้อุปรกรณ์เพิ่มความชื้น  
 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