

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอน
Proton Exchange Membrane Fuel Cell Application**



T119560



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**119560**
วัน,เดือน,ปี.....**B.S.A. 2554**

b. 119560
i.

**ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอน
Proton Exchange Membrane Fuel Cell Application



รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอน

ผู้จัดทำ



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน) อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตรอน

นาย กฤษ	ยวงใย
นาย กิตติคุณ	เกียรติวิทย์สกุล
นาย คทาวุฒิ	รักโนนสูง

รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ฉบับนี้ นำเสนอผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทำงานของ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน (Proton exchange membrane (PEM)) ขนาด 200 วัตต์ 36 โวลต์ จำนวน 39 เซลล์ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิง การศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรเจน ออกซิเจน ความชื้น และอุณหภูมิในขณะที่เซลล์ เชื้อเพลิงกำลังทำงาน เพื่อรักษาเสถียรภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตรอน โดยจะ มีวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะลดแรงดันขาออกให้คงที่ที่ 12 โวลต์ เพื่อที่จะนำมาจ่ายให้กับ โหลด และเป็นไฟเลี้ยงของวงจรควบคุมเพื่อให้สามารถทำงานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ รวมทั้งยังสามารถตัดแบตเตอรี่ออกจากระบบ หลังจากที่เซลล์เชื้อเพลิงมีระบบการทำงานที่ครบสมบูรณ์ และความเร็วยรอบของพัดลมพัดออกซิเจนจะแปรผันตามโหลดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งระบบจะนำ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้แทนพลังงานจากแบตเตอรี่ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นสมรรถนะ ของเซลล์เชื้อเพลิงจากโหลดอิเล็กทรอนิกส์ว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน ความชื้น และ อุณหภูมิที่เหมาะสม จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด และนำเซลล์ เชื้อเพลิงไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้ เช่น เรือเซลล์เชื้อเพลิง และรถไฟฟ้า

Proton Exchange Membrane Fuel Cell Application

Mr. Krit Yongyai
Mr. Kittikhun Keatwinaisakul
Mr. Katawut Raknonsoong
Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern
Advisor 2010

ABSTRACT

This article presents the study of fuel cell(Proton exchange membrane type (PEM)) size 200 W 36 V 39 cells in order to study the behavior of fuel cell(PEM) and the relationship between supplied hydrogen, oxygen, humidity, and temperature, while the generator is working to maintain the stability of the system. The buck converter circuit reduces the constant output voltage at 12 volts to be supplied to the load and the control circuit and run automatically. The battery will be shut down from the system after the fuel cell system completed operation. Speed of the fan to blow oxygen is varied according to load changes. The system is powered by fuel cells instead of using battery power. The results demonstrate the performance of fuel cells that appropriate factors make fuel cells to operate at high efficiency. This prototype PEMFC power supply unit can be used for various application such as electric load and electric vehicle.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและปรึกษาของ รศ.ดร. วีระเชษฐ
ขันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจากท่านและ
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือ
ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างที่เป็นผู้ให้ที่ยิ่งใหญ่และเป็นกำลังใจที่
สำคัญของคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ EMC LAB ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังว่า คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาโทฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบ
แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	6
2.1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง.....	7
2.1.2 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง.....	13
2.1.3 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	17
2.1.4 สรุปข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิง.....	19
2.1.5 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	19
2.1.6 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน.....	20
2.1.7 ระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน.....	23
2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)	24
2.3 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter)	27
2.4 UC3842	29
2.5 การประมวลผลสัญญาณ.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.1 คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ dsPIC	31
2.5.2 แนะนำ dsPIC	32
2.5.3 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010.....	35
2.5.4 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ.....	37
2.5.5 JX-dsPIC3010.....	40
บทที่ 3 การออกแบบวงจรควบคุม	
3.1 การออกแบบกล่องใส่ชิ้นงาน.....	42
3.2 ออกแบบวงจรควบคุม Buck Converter โดยใช้ UC3842	44
3.2.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบวงจรควบคุมกระแส และแรงดัน	44
3.2.2 ออกแบบวงจรควบคุมระบบ PEMFC โดยใช้ Microcontroller	47
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 วัตถุประสงค์	51
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	51
4.3 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้โพลีเอทิลีนทอริกซ์.....	52
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
5.3 สิ่งที่ต้องดำเนินงานต่อ.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงกับพลังงานจากแหล่งอื่น	13
2.2 แสดงข้อดีข้อเสียของลักษณะรูปแบบช่องทางเดินก๊าซแบบต่าง ๆ	16
2.3 แสดงระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน	23
ตอนที่ 1 ทดสอบกับโพลีเอทิลีนทอริกซ์ที่ความดัน 0.3 bar	
4.1 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen	54
4.2 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า	55
ตอนที่ 2 ทดสอบกับโพลีเอทิลีนทอริกซ์ที่ความดัน 0.4 bar	
4.3 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen	56
4.4 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า	58
ตอนที่ 3 ทดสอบกับโพลีเอทิลีนทอริกซ์ที่ความดัน 0.5 bar	
4.5 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen	59
4.6 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า	60
ตอนที่ 4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ	
4.7 ที่ความดัน 0.3 bar	62
4.8 ที่ความดัน 0.4 bar	62
4.9 ที่ความดัน 0.5 bar	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่ออิเล็กโทรไลต์พอลิเมอร์.....	7
2.2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบต่าง	8
2.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก	9
2.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง.....	10
2.5 SOFC สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1-30 kW.....	10
2.6 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมเหลว	11
2.7 เซลล์เชื้อเพลิงแบบย้อนกลับ	11
2.8 เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทิลแอลกอฮอล์โดยตรง	12
2.9 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง.....	13
2.10 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์เดี่ยว.....	15
2.11 รูปแบบช่องทางเดินของก๊าซแบบต่างๆ	16
2.12 กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน.....	18
2.13 ถึงความดันสูง	21
2.14 ถึงความดันสูง	21
2.15 การเก็บในลูกแก้ว.....	21
2.16 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect	24
2.17 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ VH.....	25
2.18 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	27
2.19 Block Diagram ของ UC3842	30
2.20 แสดงแบบการทำงานของ UC3842	30
2.21 ไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010	32
2.22 การจัดหาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	33
2.23 โครงสร้างทางโปรแกรม (Program's model)ของไมโครคอนโทรลเลอร์	38
3.1 แสดงขนาดตัวเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ขนาด 200 W 36 V 39 Cells.....	42
3.2 แสดงขนาดของกล่องอครีลิกใส่ชิ้นงาน	43
3.3 แสดงด้านหน้าของกล่องใส่ชิ้นงาน.....	43
3.4 วงจรกำลังของ Buck Converter.....	46
3.5 Schematic วงจร Buck Converter.....	46
3.6 วงจร Buck Converter	47
3.7 โครงสร้างของ Microcontroller.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 Flow Chart การทำงานของการ Start	48
3.9 Schematic ของระบบควบคุม PEMFC	49
3.10 วงจรควบคุมโดยใช้ Microcontroller.....	49
3.11 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง ขนาด 200 วัตต์ 36 โวลล์ จำนวน 39 เซลล์.....	50
4.1 การเชื่อมต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	52
4.2 schematic การต่อวงจรเพื่อทำการวัดค่า.....	52
4.3 การวัดอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง	53
4.4 การวัด flow rate ของ Hydrogen.....	53
ตอนที่ 1 ทดสอบกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์ที่ความดัน 0.3 bar	
4.5 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	54
4.6 แสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	55
4.7 แสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง.....	56
ตอนที่ 2 ทดสอบกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์ที่ความดัน 0.4 bar	
4.8 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	57
4.9 แสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	57
4.10 แสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง.....	58
ตอนที่ 3 ทดสอบกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์ที่ความดัน 0.5 bar	
4.11 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	59
4.12 แสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์.....	60
4.13 แสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง.....	61
ตอนที่ 4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ	
4.14 แสดงความสัมพันธ์ ประสิทธิภาพของระบบที่แรงดัน 0.3 bar,0.4 bar และ	63
0.5 bar กับโพลดีอิเล็กทริกทอโรนิกส์	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องมาจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน พลังงานทดแทนแหล่งใหม่ๆจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และพลังงานส่วนใหญ่มีอยู่อย่างจำกัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงจึงถูกมองว่าเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และปราศจากมลพิษ เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติซึ่งทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกับที่เกิดจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงคือน้ำ Proton Exchange Membrane (PEMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกมองว่าดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น Solid oxide fuel cell (SOFC) , Molten carbonate fuel cell (MCFC) , Phosphoric-acid fuel cell (PAFC) , Alkaline fuel cell (AFC) เนื่องมาจากมีอุณหภูมิการทำงานต่ำที่สุด ความหนาแน่นของพลังงานสูง มีประสิทธิภาพสูง และใช้เวลาเริ่มต้นเครื่องที่ต่ำ จึงนับได้ว่าเทคโนโลยีไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง PEMFC นี้จะเข้ามามีบทบาทอย่างมากในอนาคตต่อการพัฒนาการใช้พลังงาน เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดและไม่มียมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการวิจัย

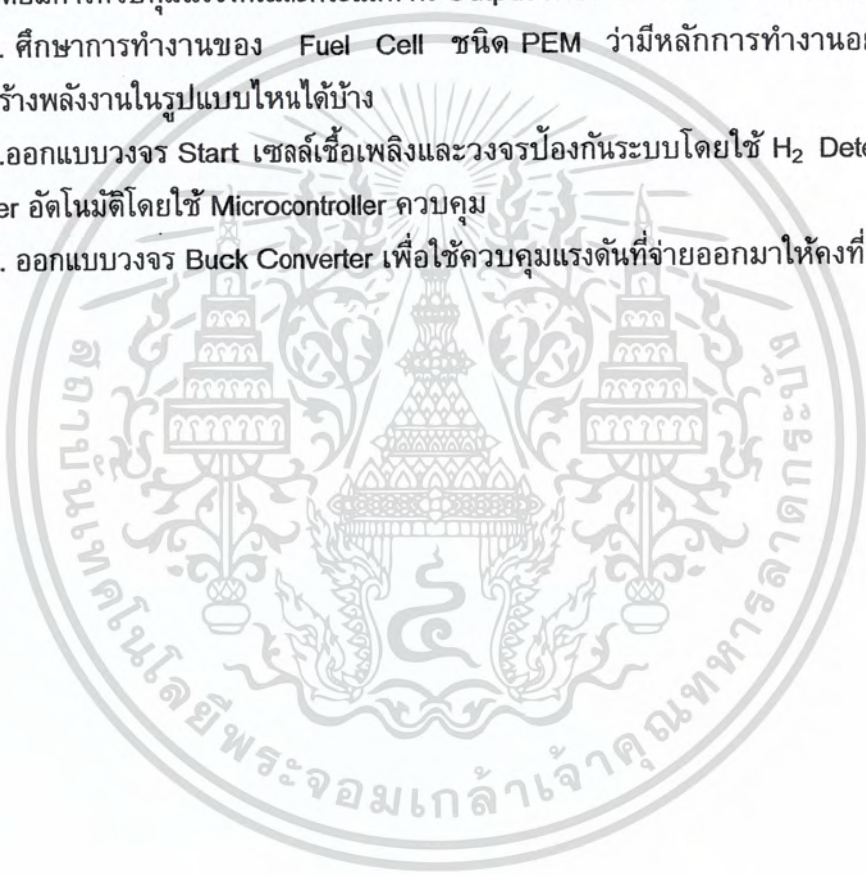
1. เพื่อศึกษาระบบควบคุมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM
2. เพื่อออกแบบ และสร้างระบบควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM
4. เพื่อสามารถนำเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

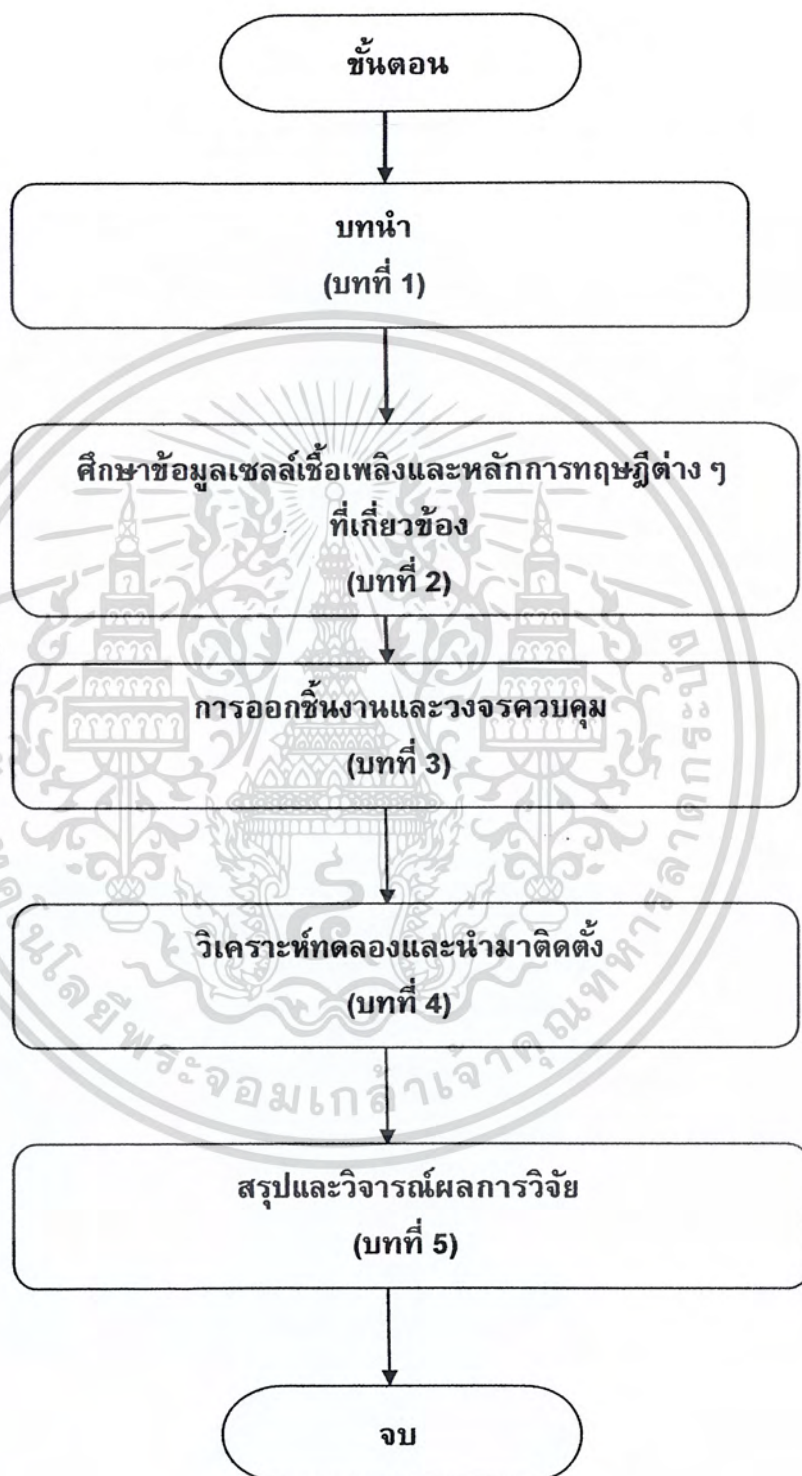
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM
2. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM พร้อมทั้งระบบ Protection
3. ออกแบบและสร้างวงจรบีกอนเวอร์เตอร์
4. ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับ อุณหภูมิและอัตราการไหลของ Hydrogen ที่เกิดขึ้นขณะเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่แรงดัน 0.3 bar, 0.4 bar และ 0.5 bar ว่ามีผลต่อกันอย่างไร
5. ศึกษาหาประสิทธิภาพของระบบที่แรงดัน 0.3 bar, 0.4 bar และ 0.5 bar

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากปริยญาณิพนธ์เก่าที่มีมาและจาก Internet
2. ศึกษาการควบคุมสัญญาณ PWM โดยใช้ UC3842 และ microcontroller เพื่อนำมาใช้ควบคุมกระแสและแรงดัน
3. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานแบบสวิทซ์ซิ่งของมอสเฟตกำลังแบบต่างๆและการทำงานของมอสเฟสในสภาวะต่างๆ
4. ศึกษาการทำงานของ Voltage Control ที่มี output Voltage น้อยกว่า input Voltage โดยมีการควบคุมแรงดันและกระแสด้าน Output เพื่อให้ป้องกันตัวเซลล์เชื้อเพลิง
5. ศึกษาการทำงานของ Fuel Cell ชนิด PEM ว่ามีหลักการการทำงานอย่างไรและสามารถสร้างพลังงานในรูปแบบไหนได้บ้าง
6. ออกแบบวงจร Start เซลล์เชื้อเพลิงและวงจรป้องกันระบบโดยใช้ H₂ Detector และ Thermister อัตโนมัติโดยใช้ Microcontroller ควบคุม
7. ออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อใช้ควบคุมแรงดันที่จ่ายออกมาให้คงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้ความเข้าใจในระบบของ Fuel Cell ชนิด PEM ว่าทำงานอย่างไรและมีการนำพลังงาน Hydrogen มาใช้ในการขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของ Microcontroller dspic18f2010
3. มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของ DC-DC Converter แบบ Buck Converter ทั้งแบบ OPENED LOOP และ CLOSED LOOP สามารถบอกถึงความแตกต่างของ OPENED LOOP และ CLOSED LOOP
5. มีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส
6. สามารถออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้
7. สามารถนำเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้งานต่างๆได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	2553							2554		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาและค้นคว้า	■									
2.ทดสอบ Cell		■								
3.ออกแบบและสร้าง วงจร Buck			■							
4.ออกแบบและสร้าง วงจรควบคุม				■						
5.ออกแบบและสร้าง กล่องใส่ชิ้นงาน						■				
6.วิเคราะห์ทดลอง และนำมาติดตั้ง							■			
7.สรุปผลงานวิจัย			■							

■ แผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้
■ แผนการดำเนินงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-ไฟฟ้า ระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของเชื้อเพลิง ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องผ่านการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อมลภาวะทางอากาศ ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่า เครื่องยนต์เผาไหม้ 1-3 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน ไฮโดรเจน-ไฮโดรคาร์บอน โพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่เป็นที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นแล้วนอกจากพลังงานจะได้น้ำบริสุทธิ์และความร้อนไว้ใช้ตามความเหมาะสมด้วยนอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ชั้นบรรยากาศโอโซนเพราะไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะคล้ายกับเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า แบตเตอรี่ ในด้านที่สามารถอัดประจุใหม่ได้เรื่อยๆ เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไปอย่าง แบตเตอรี่ เพราะต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ในครั้งแรกสูงและยังมีอันตรายที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะ ความคุมหลายประการ แต่ในปัจจุบันได้นำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดเช่น โทรศัพท์มือถือ notebook

ความเป็นมา

เซลล์เชื้อเพลิงถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1839 โดยเซอร์วิลเลียม โรเบิร์ต โกรฟ (Sir William Robert Grove) ผู้พิพากษาชาวเวลส์ที่มีความเป็นนักประดิษฐ์และนักฟิสิกส์ โดยเขามีความเชื่อว่าเมื่อเราสามารถแยกน้ำด้วยไฟฟ้าได้ก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซออกซิเจนในทางกลับกันหากผสมก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนด้วยวิธีที่เหมาะสมก็ควรจะได้พลังงานไฟฟ้าออกมาเช่นกันดังนั้นเขาจึงเริ่มสร้างเครื่องมือทดลองที่เรียกว่า "ก๊าซแบตเตอรี่" ออกมาเครื่องมือของโกรฟถือว่าเป็นต้นแบบของเซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันหลังจากทดลองอยู่นานหลายปี ในที่สุดเขาได้ทดลองผสมไฮโดรเจน และออกซิเจนในสารละลายเล็กโทรไลต์คือ กรดซัลฟูริกและใช้ขั้วแพลทินัมทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและน้ำแต่ว่าในขณะนั้นสิ่งประดิษฐ์ของโกรฟยังไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมามากพอที่จะใช้งานได้

คำว่า "fuel cell" ถูกใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1889 โดยลูดวิก มอนด์ (Ludwig Mond) และชาร์ลส์ แลงเกอร์ (Charles Langer) ทั้งสองพยายามประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานได้จริงโดยใช้อากาศและก๊าซถ่านหิน (coal gas) นอกจากนักประดิษฐ์ทั้งสองคนแล้ว วิลเลียม ไวท์ จาคส์ (William White Jaques) ก็เป็นอีกผู้หนึ่งที่ถูกบันทึกว่าเป็นผู้เริ่มใช้คำนี้เช่นกัน โดยจาคส์เป็นนักวิจัยคนแรกที่ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารละลายเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

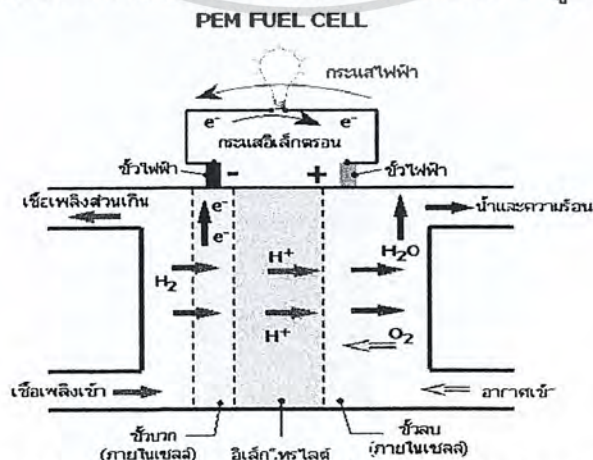
2.1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

Fuel Cells มีหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่สามารถนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์ หลอดไฟ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ได้ โดยชนิดของตัว Fuel Cells จะแบ่งโดยถูกจัดแบ่งตามประเภทอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ได้ดังนี้

1. Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็ง (Solid polymer fuel cell; SPFC) ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ นี้ใช้ซัลโฟเนทโพลีเตตระฟลูออโรเอธิลีน (Sulphonated polytetrafluorene, Nafion) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้มีความหนาเพียง 50um เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จึงมีขนาดเล็กส่งผลให้มีการสูญเสียแบบโอห์มมีค่าลดลงและสามารถผลิตความหนาแน่นของกระแสสูงได้ ปฏิกริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดตรงเป็นธาตุคาร์บอนโดยมี Pt เป็นตัวคะตะลิสต์บรรจุอยู่ทั้งสองด้านของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แก๊สที่เกิดจากกระบวนการปฏิรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่แก๊สที่ใช้ไม่ต้องเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพราะแก๊สดังกล่าวเป็นพิษต่อ Pt ความเป็นพิษดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มปริมาณของอากาศเพียงเล็กน้อยเข้าไปที่ฝั่งแอโนดหรือโดยการใช้โลหะผสมของ Pt กับโลหะอื่นๆ เพื่อความทนทานต่อความเป็นพิษแนวทางแก้ไขอื่นคือการใช้เมมเบรนที่ทำจากโลหะพาราเดียมหรือโลหะผสมระหว่างพาราเดียมกับเงิน ซึ่งเมมเบรนนี้ยอมให้ไฮโดรเจนผ่านแต่ไม่ยอมให้แก๊สผ่านเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ในรูปแผ่นโพลีเมอร์บาง ทำงานในสภาวะอุณหภูมิต่ำประมาณ 80 องศา มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40-50 % สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ช่วง 50-250 KW ในทางทฤษฎีมันให้แรงดันประมาณ 1.23 โวลต์ต่อเซลล์เป็นที่นิยมใช้และถูกนำไปใช้ในรถยนต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงนี้ทำงานที่อุณหภูมิต่ำและใช้สารอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งจึงไม่มีปัญหาการรั่วซึมเกิดการกัดกร่อนน้อยเซลล์แบบนี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารบ้านเรือนและยานพาหนะ

ข้อด้อย ต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์สูงเท่านั้นและโลหะแพลทินัมที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยามีราคาแพงอีกทั้งแผ่นเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนก็มีราคาสูงอีกด้วย

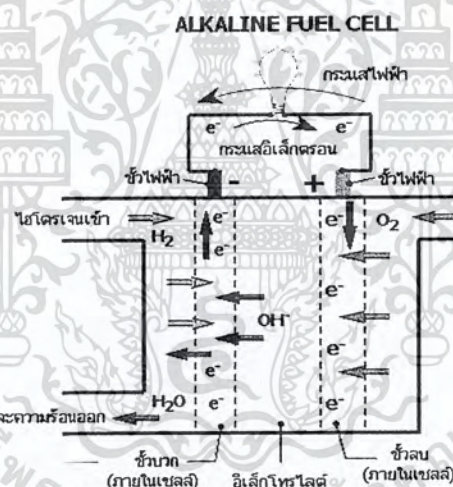


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ภาพที่ 2.1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่ออิเล็กโทรไลต์พอลิเมอร์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Alkaline fuel cell (AFC) เป็นชนิดแรกที่มีการสร้างขึ้นมา เคยถูกใช้ในโครงการอวกาศของสหรัฐในช่วงปี 1960 แต่เนื่องระบบไวต่อการปนเปื้อนมากจึงต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์เท่านั้นทำให้ระบบมีราคาสูงมากไม่สามารถนำมาขายในท้องตลาดได้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ องค์การนาซาใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและน้ำให้กับยานอวกาศในโครงการอพอลโลและโครงการเจมินีมาแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กับเซลล์ชนิดนี้คือ ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์ และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ สภาวะอุณหภูมิที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 150 - 200 องศาเซลเซียส

ข้อดี มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าสูง และใช้สารอิเล็กโทรไลต์(เช่น โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์) ที่ราคาถูก

ข้อด้อย เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จำเป็นต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงซึ่งมีราคาแพงมาก และต้นทุนการผลิตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีราคาแพง ทำให้การใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จำกัดอยู่เฉพาะงานในด้านอวกาศเท่านั้น



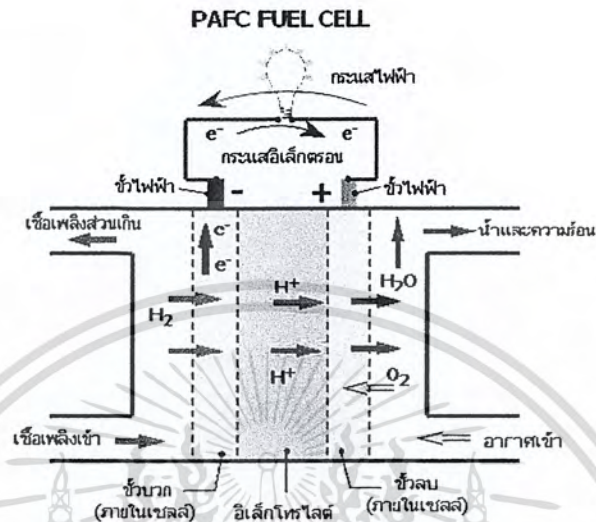
ภาพที่ 2.2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบต่าง

3. Phosphoric-acid fuel cell (PAFC) เป็นระบบที่มีแนวโน้มที่จะถูกนำไปใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าแบบ PEMFC ทำให้ต้องใช้เวลาในการอุ่นระบบที่นานกว่าทำให้มันไม่เสถียรในการนำมาใช้ในรถยนต์ ส่วนประกอบใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ โดยปัจจุบันมีการผลิตเซลล์แบบนี้ออกมาเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เซลล์แบบกรดฟอสฟอริกทำงานในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150 - 200 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้กรดฟอสฟอริกจะนำประจุไฟฟ้าได้น้อย เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถใช้ประโยชน์จากไอน้ำร้อนที่เกิดขึ้นโดยนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าร่วม (cogeneration) ต่อได้

ข้อดี เป็นเซลล์ที่สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดแม้แต่น้ำมันเชื้อเพลิง แต่ต้องกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อด้อย ต้องใช้โลหะแพลทินัมที่มีราคาสูงเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เซลล์มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับเซลล์ชนิดอื่น ชิ้นส่วนภายในจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้ดี

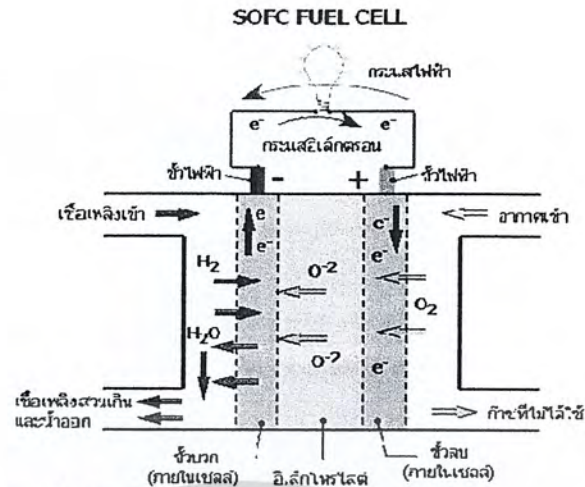


ภาพที่ 2.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก

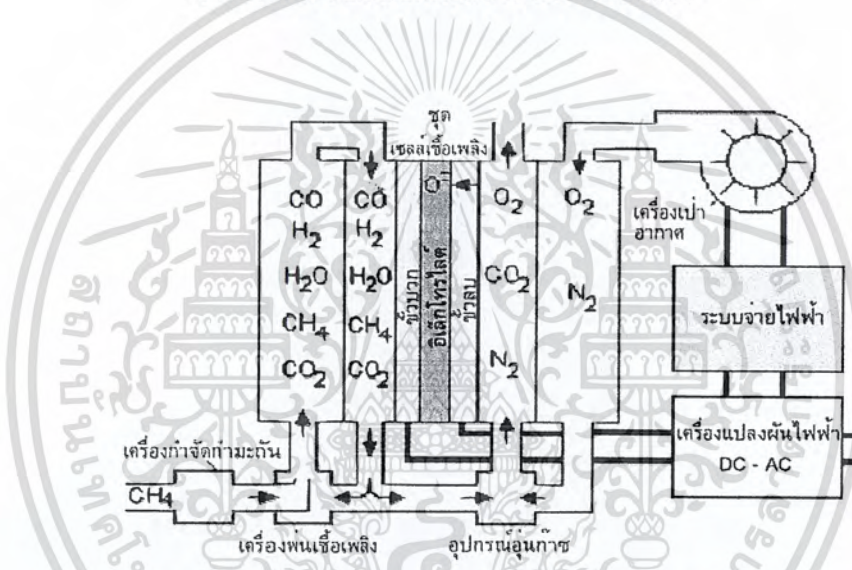
4. Solid oxide fuel cell (SOFC) เป็นระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากแต่เซลล์ไฟฟ้านิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิที่สูงมาก (ประมาณ 1,832 F, 1,000 C) ทำให้มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ แต่ก็มีข้อดีตรงที่ว่า ไอออนอุณหภูมิสูงที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้ สามารถนำไปใช้ป้อนกังหันก๊าซต่อได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และหากนำมาใช้กับระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบความร้อนรวมแล้วจะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่ต้องใช้ระบบรีฟอร์มเมอร์ (reformer) ในการเปลี่ยนสภาพเชื้อเพลิงจึงอาจจะช่วยลดต้นทุนในการสร้างระบบรีฟอร์มเมอร์ (reformer) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิดเพราะเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดี

ข้อด้อย เซลล์ที่ทำงานในสภาวะอุณหภูมิสูงต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่องนาน และจำเป็นต้องสร้างผนังหนาเพื่อป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมา



ภาพที่ 2.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง



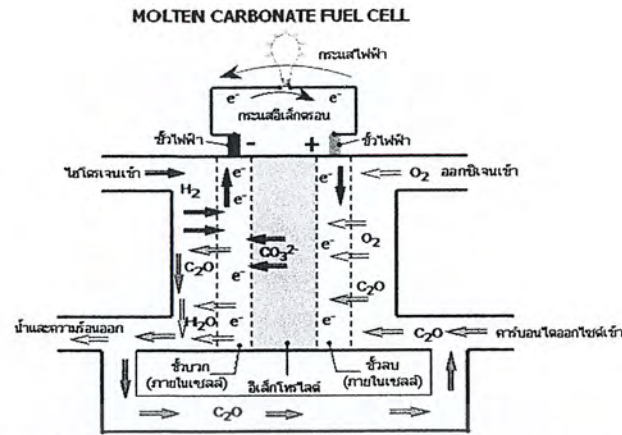
ภาพที่ 2.5 SOFC สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1-30 kW

5. Molten carbonate fuel cell (MCFC) เป็นอีกประเภทหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่ชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าคือที่ประมาณ $1,112^{\circ}F$ หรือ $600^{\circ}C$ และยังสามารถให้น้ำความดันสูงเพื่อมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า SOFC ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุพิเศษ จึงทำให้ระบบนี้ใช้ขั้วประมาณที่น้อยเซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และหากใช้ร่วมกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าความร้อนร่วมแล้วจะมีประสิทธิภาพสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลายชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโพรเพน น้ำมันดีเซล เป็นต้น

ข้อด้อย ที่สภาวะอุณหภูมิสูงจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างมากจึงไม่เหมาะกับการใช้งานขนาดเล็กกว่าเมกกะวัตต์

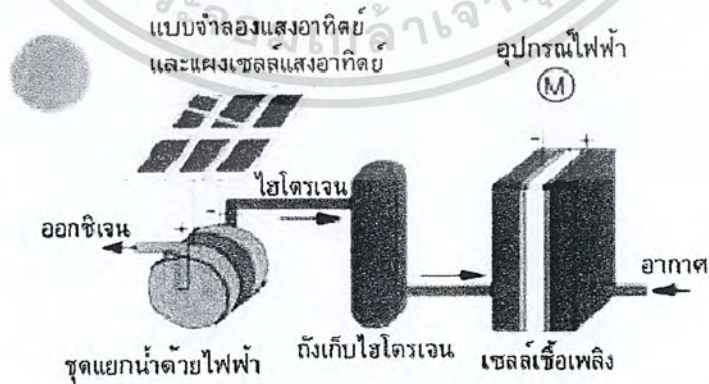
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมเหลว

6. เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ (Regenerative Fuel Cell, RFC)

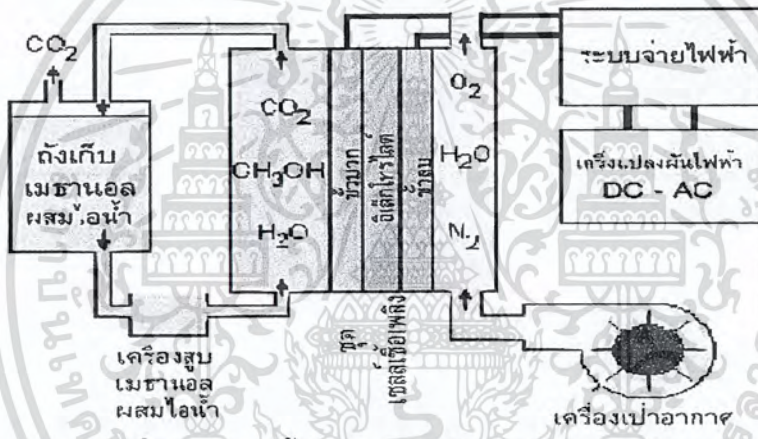
แนวความคิดของเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนกลับเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มทั่วโลกรวมทั้งนักวิทยาศาสตร์ที่ NASA กำลังทำการวิจัย เทคโนโลยีนี้ทำงานบนพื้นฐานเดียวกันกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วคือใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนในการผลิตกระแสไฟฟ้า ความร้อนและน้ำ แต่สิ่งที่แตกต่างคือเซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนกลับมีกระบวนการทำปฏิกิริยาย้อนกลับหรือการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าด้วย โดยส่งน้ำที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงไปยังอุปกรณ์แยกน้ำด้วยไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ น้ำจะถูกแยกออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน แล้วส่งไปยังถังเก็บเพื่อป้อนกลับเข้าเซลล์เชื้อเพลิง ด้วยวิธีการนี้เมื่อสร้างเป็นระบบปิดไฮโดรเจนที่ผลิตจากภายนอกก็ไม่มี ความจำเป็น



ภาพที่ 2.7 เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol) เป็นเซลล์ที่เพิ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แต่มีแนวโน้มที่สามารถจะพัฒนาให้ใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กหรือในรถยนต์ได้ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากเมทานอลได้โดยไม่ต้องผ่านสารเข้าระบบรีฟอร์มเมอร์ ซึ่งแตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ทำงานโดยการป้อนไฮโดรเจนเข้าระบบโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรงมีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิระหว่าง 50 - 100 องศาเซลเซียสเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิก่อนข้างต่ำจึงเหมาะสมที่จะพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น คอมพิวเตอร์ Laptop โทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ยังเหมาะที่จะนำมาใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าแบบเติมเมทานอลด้วย



ภาพที่ 2.8 เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง

8. เซลล์เชื้อเพลิงแบบสังกะสี-อากาศ (Zinc-Air) เซลล์เชื้อเพลิงสังกะสี-อากาศใช้โลหะสังกะสีเป็นขั้วแอโนด เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ก๊าซไฮโดรเจนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนก็ได้ ขั้วแคโทดเป็นอากาศและใช้แผ่นกรองสำหรับแยกก๊าซออกซิเจนออกมาจากอากาศเพื่อป้อนเข้าระบบ เซลล์ชนิดนี้ใช้สารโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิการทำงานของระบบอยู่ในช่วงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

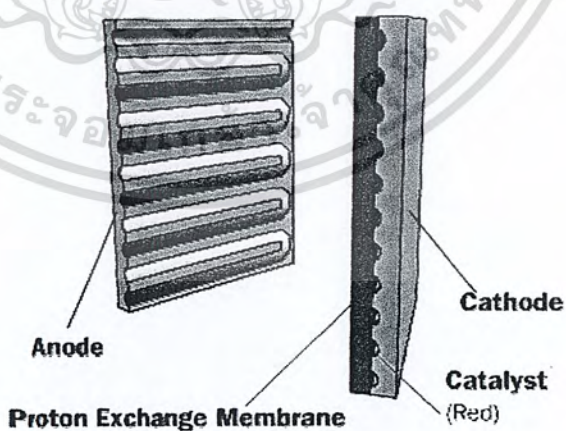
ข้อดี โลหะสังกะสีที่ใช้ทำขั้วแอโนดมีราคาถูก เซลล์ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา และสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบตั้งแต่ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์จนถึงน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อด้อย หลังจากทำปฏิกิริยาเคมีแล้วโลหะสังกะสีจะเปลี่ยนเป็นซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จึงต้องคอยเปลี่ยนแผ่นสังกะสีใหม่เป็นระยะ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงกับพลังงานจากแหล่งอื่น

	Type	Size	Efficiency
Fuel Cells	PEMFC(80°C)	1-500 kW	40%
	PAFC(200°C)	5kW-1.2MW	40%
	MCFC(650°C)	1-20MW	55%
	SOFC(1000°C)	1kW-25MW	45-65%
Engines	Diesel	50kW-6MW	33-36%
	Internal combustion	5kW-2MW	33-35%
	Stirling cycle	1-25kW	20%
Combustion Turbines	Microturbines	25-500kW	26-30%
	Small Turbines	1-100MW	33-45%
Renewables	Solar(PV)	1-100kW	10-20%

2.1.2 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuel Cell มีอยู่ด้วยกันหลายประเภทโดยแบ่งตามประเภทของสารพาประจุ (Electrolyte) โดยจะกล่าวถึงการทำงานโดยละเอียดของเซลล์ประเภท proton exchange membrane เซลล์เชื้อเพลิงจะแบ่งโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่

1. ขั้วแอโนด (Anode) เป็นขั้วลบ มีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา $H_2 \Rightarrow 2H^+ + 2e^-$ โดยที่ขั้วจะมีช่องที่ติดกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งฉาบอยู่บนผิวหน้าของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเข้าไป

2. ขั้วแคโทด (Cathode) เป็นขั้วบวก โดยมีช่องติดกับเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ทำหน้าที่รับโปรตอนและก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยออกมาที่ผิวหน้าของเยื่อซึ่งฉาบตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอก เพื่อรวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา



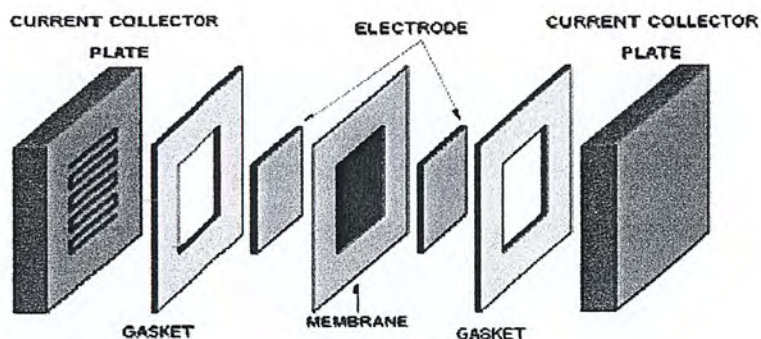
3. สารพาประจุ (Electrolyte) เป็นส่วนที่มากมีความสำคัญ เพราะ เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนชนิดต่าง ๆ และเป็นส่วนที่เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทแตกต่างกัน โดยประเภทที่เรากล่าวถึงอยู่นี้สารพาประจุจะเป็นเพียงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) เท่านั้น ซึ่งมีลักษณะเหมือนแผ่นพลาสติกในการทำครัวโดยจะให้โปรตอนผ่านได้แต่จะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ เกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผงแพลทินัมเคลือบอยู่บนเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจน และ ออกซิเจน ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน PEMFC

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยว

มีส่วนประกอบสำคัญ ดังรูปที่ 1

1. ชั้นเมมเบรน (Membrane)
2. ชั้นอิเล็กโทรด (Electrode)
3. ชั้นการแพร่ของก๊าซ (Diffusion Layer)
4. แผ่นสะสมกระแสและช่องทางเดินก๊าซ (Gas Collector)

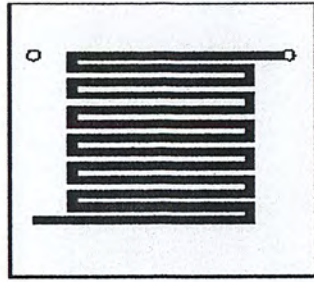


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์เดี่ยว

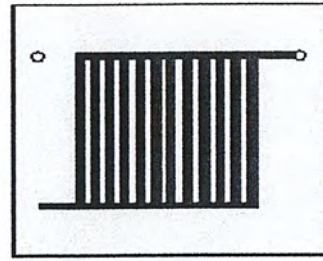
ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ทำหน้าที่ดังนี้

1. ชั้นเมมเบรน (Membrane) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งใช้โพลีเมอร์ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง โครงสร้างทางเคมีของเมมเบรนมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำที่ดีของโปรตอน และเป็นฉนวนของอิเล็กตรอน
2. ชั้นอิเล็กโทรด (Electrode) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย Pt ที่เกาะอยู่บนคาร์บอน
3. ชั้นการแพร่ของก๊าซ (Diffusion Layer) ลักษณะของชั้นการแพร่ของก๊าซเป็นแผ่นที่มีรูพรุน ซึ่งปิดทับแผ่นชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทีหนึ่ง
4. แผ่นสะสมกระแสและช่องทางเดินก๊าซ (Gas Collector) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอิเล็กตรอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชัน (Hydrogen oxidation) ทางด้าน anode มายังโพลดและจากโพลดไปยังบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเจนรีดักชัน (Oxygen reduction) เพื่อให้ครบวงจร และแผ่นสะสมกระแสยังทำหน้าที่เป็นทางเดินก๊าซ ทั้งก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน และยังทำหน้าที่ระบายความร้อนโดยมีลักษณะรูปแบบช่องทางเดินก๊าซ (Menzies, 2000) ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันดังภาพที่ 2.12

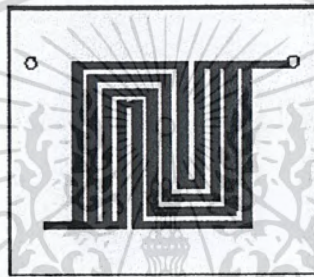
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Serpentine Channel



(ข) Parallel Channels



(ค) Parallel-Serpentine Channel

ภาพที่ 2.11 รูปแบบช่องทางเดินของก๊าซแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีข้อเสียของลักษณะรูปแบบช่องทางเดินก๊าซแบบต่าง ๆ

รูปแบบช่องทางเดินก๊าซ	ข้อดี	ข้อเสีย
Serpentine	น้ำที่เกิดจากการสะสมในช่องทางเดินก๊าซจะถูกผลักออกจากเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว	high pressure drop
Parallel	pressure drop น้อยกว่าแบบ serpentine	pressure drop น้อยกว่าแบบ serpentine
Parallel-Serpentine	pressure drop น้อยกว่าแบบ serpentine	pressure drop น้อยกว่าแบบ serpentine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

หลักการทำงาน คือ H_2 จะถูกปล่อยไปในด้านแอโนดโดยใช้ความดัน เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็เกิดการแตกตัวออกเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนโปรตอนนั้น จะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งจะไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก รวมไปถึงอะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนนี้ จะนำไปใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้เพื่อประโยชน์ในงานด้านต่างๆ แต่เนื่องจาก H_2 เป็นก๊าซที่อันตราย เนื่องจากติดไฟได้ จึงไม่เหมาะสมในการบรรจุ หรือ เคลื่อนย้ายไปมาและทำให้จึงมีการพัฒนา Fuel Processor ซึ่งมีหลักการทำงานคือ

1. ใช้เครื่อง Reformer เปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ, H_2O และ O_2 ให้กลายเป็น H_2 , CO , CO_2
2. ใช้เครื่อง Catalytic Converter เปลี่ยน CO ให้กลายเป็น CO_2
3. จากนั้น ก็นำ H_2 มาใช้ได้ตามต้องการ ส่วน CO_2 ก็ถูกปล่อยสู่อากาศต่อไป

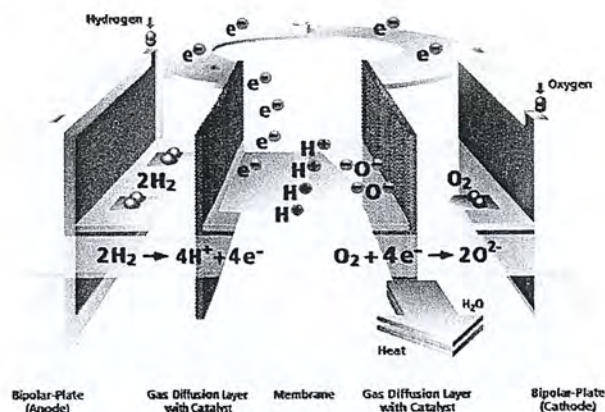
กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน(PEMFC)

PEMFC ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วน ได้แก่ อิเล็กโทรด 1 คู่ (แคโทด และ แอโนด) พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน และตัวเร่งปฏิกิริยา เชื้อเพลิงซึ่งถูกนำมาใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยแก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าไปที่ขั้วแอโนด ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นโดยมีแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นโปรตอนอิเล็กตรอนและความร้อนจะถูกผลิตออกมาตามสมการ



โปรตอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการนำโปรตอนสูง (High Proton Conductivity) แต่ไม่สามารถนำอิเล็กตรอนได้ (Electron Barrier) ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกเพื่อใช้เป็นกระแสไฟฟ้า จากนั้นทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามายังขั้วดังกล่าว ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นจากการที่มีแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้นำเป็นผลิตภัณฑ์ตามสมการ





ภาพที่ 2.12 กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Polymer Electrolyte Membrane)

องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนในการขับเคลื่อนให้เซลล์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ส่วนของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ยึดติดกับขั้วแพลทินัม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารอิเล็กโทรไลต์คือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้อิออนบวกและอิออนลบ แต่สำหรับอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนแล้วเมื่อมีการดูดซับน้ำขึ้นก็จะเกิดการแตกตัวเช่นกัน เพียงแต่อิออนลบที่เกิดขึ้นจะอยู่บนเมทริกซ์ของเมมเบรน ดังนั้นถ้าเป็นพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนก็มักจะหมายถึง เมมเบรนแลกเปลี่ยนอิออน (ion-exchange Membrane) นั่นเอง

พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง พอลิเมอร์เมมเบรนจะยอมให้ประจุบวก (ไฮโดรเจนอิออนหรือโปรตอน) บนเมมเบรนเคลื่อนที่ผ่านจากแอโนดไปยังแคโทดเท่านั้น นอกจากนี้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจะแสดงสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ ดังนั้น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นลวดโลหะไปยังอีกด้านหนึ่งของเซลล์เพื่อให้ครบวงจรนั่นเอง สิ่งเจือปนโดยเฉพาะพวกอิออนของโลหะมักจะมีผลต่อการนำไฟฟ้าของเมมเบรน ถ้าอิออนของโลหะเคลื่อนที่ไปยังเมมเบรนมันจะทำหน้าที่เป็นประจุที่เคลื่อนที่แทนโปรตอนมีผลทำให้สภาพนำของเมมเบรนลดลง

ลักษณะทั่วไปของเมมเบรนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงต้องมีสภาพนำที่สูง มีสมบัติขวางกั้น (Barrier Property) ที่ดี มีความแข็งแรงทางกลที่ดี มีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมี และเป็นฉนวนทางไฟฟ้า เมมเบรนจะต้องมีอันตรกิริยากับน้ำ และให้เกิดสภาพนำที่ดีในสภาวะไฮเดรชัน และต้องยอมให้มีการส่งผ่านน้ำที่เพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดโพลาริเซชันซึ่งเหล่านี้จะมีผลสำหรับในเซลล์เชื้อเพลิง การส่งผ่านของโปรตอนจะเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยโมเลกุลของน้ำที่ขับเคลื่อนไปในระหว่างสายโซ่ในเมมเบรน ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโมเลกุลของไฮโดรเจนจะถูกทำให้แตกตัวออกที่ขั้วแพลทินัมและทำให้เกิดเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) เมื่อโปรตอนไหลผ่านเมมเบรน และอิเล็กตรอนไหลไปตามวงจรทำให้

เกิดความต่างศักย์และนำไปสู่กระแสไฟฟ้าในที่สุด ดังนั้น ในเมมเบรนต้องมีน้ำเพื่อที่จะให้เกิดการคายน้ำว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนไอออนในการพาประจุผ่านเมมเบรนไปได้ ข้อจำกัดนี้ทำให้เมมเบรนชนิดนี้ไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำได้ เนื่องจากน้ำจะระเหยออกไปทำให้สภาพหน้าของโปรตอนลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีน้ำมากเกินไปจะทำให้หน้าท่อมเซลล์ ซึ่งเหล่านี้จะเป็นปัญหาต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้

2.1.4 สรุปข้อดีข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิง

1. ประสิทธิภาพ

เซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สะสมอยู่ในเซลล์เชื้อเพลิงให้เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้ไม่ถูกจำกัดอยู่กับประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ให้เป็นไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมในลักษณะของ Cogeneration ได้

2. ให้กระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก(ให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง) ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่มีขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น

3. ทำงานโดยไม่มีเสียงดัง

เซลล์เชื้อเพลิงนั้นไม่มีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่จึงทำงานได้โดยไม่มีเสียง ดังนั้นภายในห้องโดยสารของรถยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจึงเงียบกว่ารถยนต์ทั่วไปมาก

4. ปราศจากมลพิษ

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นไม่ทำให้เกิดมลพิษ อย่างเช่นในเครื่องจักรเผาไหม้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นเพียงแค่น้ำเท่านั้น

5. ข้อจำกัดของเซลล์เชื้อเพลิง

ข้อจำกัดหลักของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นอยู่ที่ราคาซึ่งค่อนข้างสูงของเซลล์เชื้อเพลิงและการจัดหาก๊าซไฮโดรเจนมาเป็นเชื้อเพลิง

2.1.5 ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

สิ่งที่มักเข้าใจผิดกันอยู่เสมอคือการใช้ธาตุไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ความจริงแล้วไฮโดรเจนไม่ใช่แหล่งพลังงานหลักมันเป็นเพียงตัวเก็บพลังงานและต้องผลิตขึ้นมาจากแหล่งพลังงานอื่นจากหลักการอนุรักษ์พลังงานทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงอาจถูกจำกัดโดยการผลิตงานในขั้นแรก ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมอาจต่ำกว่าเครื่องยนต์เบนซินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งพบได้เมื่อก๊าซไฮโดรเจนต้องถูกอัดภายใต้แรงดันสูงหรือทำให้เป็นของเหลวสำหรับยานยนต์ (การสลายน้ำด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพียง 50%) อีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตไฮโดรเจนโดยการใช้มีเทนซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงถึงราว 80% หรือใช้สารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ซึ่งมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการใช้ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้ อย่างไรก็ตามการหากได้มีการจัดได้ดีภายในโรงงานเราก็สามารถกำจัด CO_2 ได้ง่ายกว่าและดีกว่าปล่อยให้รถยนต์ทุกคันปล่อยก๊าซเสียออกมาโครงการกำจัด CO_2 ปริมาณมากในขั้นตอนนี้ได้ดำเนินการจากบริษัทจากนอร์เวย์ Statoil เซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆไม่พบปัญหาเช่นเดียวกันนี้ เช่น เซลล์เชื้อเพลิงทางชีวภาพ (biological fuel cells) ใช้กลูโคส และ เมทานอล จากเศษอาหารที่มักด้วยจุลินทรีย์อย่างไรก็ตามปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกอย่างหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์จาก Caltech ได้ตั้งข้อสังเกตขึ้นคือหากเราเปลี่ยนจากระบบเก่ามาเป็นเซลล์เชื้อเพลิงทั้งหมด ปริมาณไฮโดรเจนเพียงเล็กน้อยที่รั่วไหลจากการเก็บและขนส่งอาจเป็นอันตรายต่อชั้นโอโซนได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไฮโดรเจนที่ทางกลุ่มตั้งข้อสังเกตได้ถูกปฏิเสธโดยกลุ่มอุตสาหกรรม ปัจจุบันนี้ 50% ของพลังงานในสหรัฐอเมริกาผลิตมาจากถ่านหิน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่สะอาดถ้าไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงมาจากการสลายน้ำด้วยไฟฟ้า ซึ่งยังใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้าเหล่านี้ เราก็ไม่อาจปฏิเสธได้เลยว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมก็จะเกิดขึ้นที่โรงงานไฟฟ้านั้นเอง

2.1.6 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1. เป็นธาตุที่เบาและเล็กที่สุด เบากว่าอากาศ 14 เท่า น้ำหนัก 1mole เท่ากับ 2.02 กรัม ความหนาแน่น 0.086 Kg/m^3
 2. จุดเดือดต่ำ -253 องศาเซลเซียส
 3. ติดไฟง่ายใช้พลังงานจุดไฟน้อย 0.02 mJ มีช่วงการติดไฟกว้าง A/f Ratio=364 ถึง 5
 4. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง 120 MJ/kg สูงกว่าน้ำมันประมาณ 3เท่า
- การจัดเก็บเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีหลายวิธี โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ Tum'g8,u

- 1.การจัดเก็บด้วยวิธีทางกายภาพ
- 2.การจัดเก็บด้วยวิธีทางเคมี

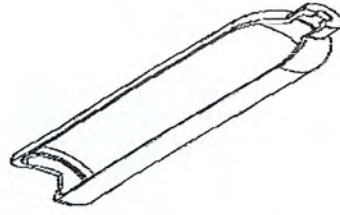
การจัดเก็บด้วยวิธีทางกายภาพ

1. การเก็บในรูปก๊าซในถังความดันสูง
2. การเก็บในรูปของเหลวอุณหภูมิต่ำ
3. การเก็บในลูกแก้ว
4. Cryogenic Adsorption

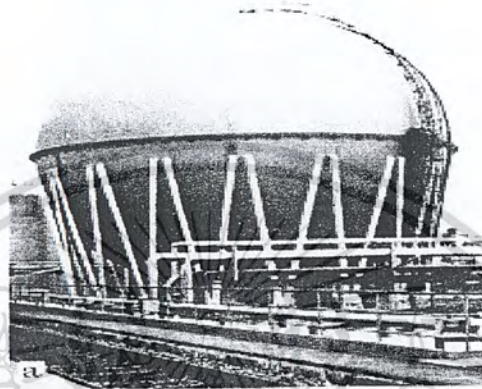
การเก็บในถังความดันสูง

ถังเก็บขนาดใหญ่จะมีรูปทรงเป็นลูกทรงกลมส่วนถังเก็บขนาดเล็กจะเป็นทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



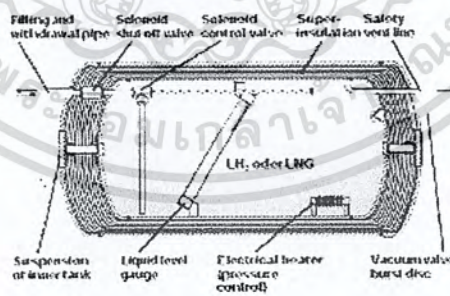
ภาพที่ 2.13 ถึงความดันสูง



ภาพที่ 2.14 ถึงความดันสูง

การเก็บในรูปของเหลว

ไฮโดรเจนกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -253°C และต้องเก็บในถังที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ความหนาแน่น 70 Kg/m^3 ซึ่งต้องมีปริมาณเชื้อเพลิง จำนวนเท่ากันแล้วถึงเก็บไฮโดรเจน เหลวจะมีขนาดใหญ่กว่าถังเก็บเชื้อเพลิงเบนซินถึง 4 เท่า



ภาพที่ 2.15 การเก็บในลูกแก้ว

การเก็บในลูกแก้ว

วิธีนี้ลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 ไมคอน หนาประมาณ 1-10 ไมคอน อาศัยหลักการของการแพร่ของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงผ่านผนังของลูกแก้ว โดยลูกแก้ว จะถูกทำให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $300-400^{\circ}\text{C}$ ที่ความดัน 400-500 bar แล้ว

ไฮโดรเจนแพร่ผ่านผนังของลูกแก้ว หลังจากทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 20°C ความเร็วในการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่ของไฮโดรเจนผ่านผนังลูกแก้วจะลดลงและความดันภายในลูกแก้วลดลงเหลือ 200 bar วิธีนี้สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ 2.6% โดยปริมาตร แต่เนื่องจากความดันภายในลูกแก้วกับบรรยากาศภายนอกมีความแตกต่างกันมาก ไฮโดรเจนจะสามารถแพร่หรือรั่วออกมาได้ หลังบรรจุจึงควรรีบนำมาใช้งาน

Cryogenic Adsorption

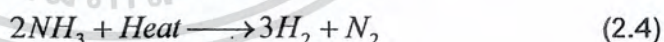
วิธีการจัดเก็บแบบนี้ ไฮโดรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก Cryogenic (คือไฮโดรเจนที่มีอุณหภูมิ 77K) จะไปเกาะ (adsorb) ที่ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งมีรูพรุนอยู่จำนวนมาก การจัดเก็บจะมีความดันและความเย็นโดยไม่มีกรรไกรไหล การจัดเก็บด้วยวิธีนี้เปรียบเทียบกับเสมือนการรวมวิธีการเก็บที่มีความดันสูงกับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำเข้าด้วยกัน ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในอนาคต

การจัดเก็บด้วยวิธีทางเคมี

- 1.การจัดเก็บไฮโดรเจนในรูปแอมโมเนีย
- 2.การเก็บในรูปน้ำ
- 3.การเก็บในรูปเมทัลไฮไดรด์

การเก็บในรูปไฮโดรเจนในรูปแอมโมเนีย

เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนจึงให้ความร้อนเพื่อให้ได้ไฮโดรเจนออกมา โดยกระบวนการแตกตัวนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 600 °C ในอุปกรณ์แยกก๊าซ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้การแตกตัวจะไม่สมบูรณ์และจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ไฮโดรเจนกับไนโตรเจนรวมตัวเป็นแอมโมเนีย (NH₃) ตามเดิม



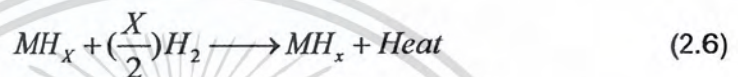
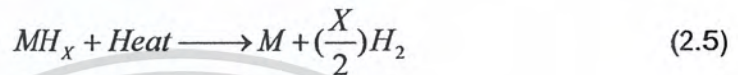
การเก็บในรูปน้ำ

การแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนกับออกซิเจน จะต้องอาศัยกระบวนการแตกตัวที่อุณหภูมิ 2000°C ซึ่งถ้าต้องการให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำต้องใช้กระบวนการทางเคมีอื่นร่วมด้วยโดยใช้โลหะแอลคาไล เช่นลิเทียม(Li) หรือโซเดียม(Na)ทำปฏิกิริยากับน้ำ เพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำ เป็นต้น น้ำ 18g จะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ 2g คิดเป็น 11%

โดยน้ำหนักและน้ำจำนวน 160 ลิตรจะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เทียบเท่าเบนซิน 65 ลิตร (50 kg)

การเก็บในรูปเมทัลไฮไดรไรด์

การเก็บในรูปสารประกอบเคมี โดยใช้เมทัลไฮไดรไรด์ ต้องคำนึงถึงน้ำหนักถังและอุณหภูมิที่เหมาะสม เมทัลไฮไดรไรด์ สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 2-3% ของน้ำหนักถัง



ข้อได้เปรียบการเก็บในรูปเมทัลไฮไดรไรด์

การเก็บไฮโดรเจนด้วยวิธีการนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ความดันสูงมากหรืออุณหภูมิที่เย็นจัด เนื่องจากเป็นการเก็บไฮโดรเจนในรูปของสารประกอบทางเคมีและสามารถคายไฮโดรเจนได้ที่ความดันภายในต่ำ โดยอาศัยการควบคุมความร้อนที่ให้กับโลหะไฮไดรไรด์เพียงอย่างเดียวอีกทั้งโลหะไฮไดรไรด์ไม่สามารถติดไฟได้ ดังนั้นวิธีการเก็บแบบนี้จึงเป็นวิธีทางธรรมชาติที่มีความปลอดภัยที่สุดในขณะนี้

ข้อเสียเปรียบการเก็บในรูปเมทัลไฮไดรไรด์

1. มีน้ำหนักมาก
2. ก๊าซไฮโดรเจนต้องมีความบริสุทธิ์สูงโดยเฉพาะการปนเปื้อนของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และน้ำ

2.1.7 ระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.3 แสดงระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน

สถานะ Liquid

1 kg	140.4 MJ
1 litre	9.36 MJ
1 kg	15 litre
1 litre	0.067 kg
1 litre	2.6 kwh
1 kg	39 kwh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะ Gas (150 bar)

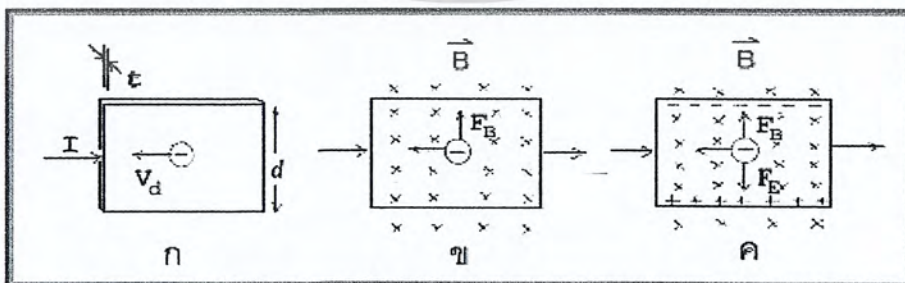
1 kg	140.4 MJ
1 litre	1.46 MJ
1 kg	96.164 litre
1 litre	0.0104 kg
1 litre	0.405 kwh
1 kg	39 kwh

สถานะ Gas (STP)

1 kg	140.4 MJ
1 litre	10.8 MJ
1 kg	1300 litre
1 litre	7.69 kg
1 litre	0.003 kwh
1 kg	39 kwh

2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์



ภาพที่ 2.16 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect

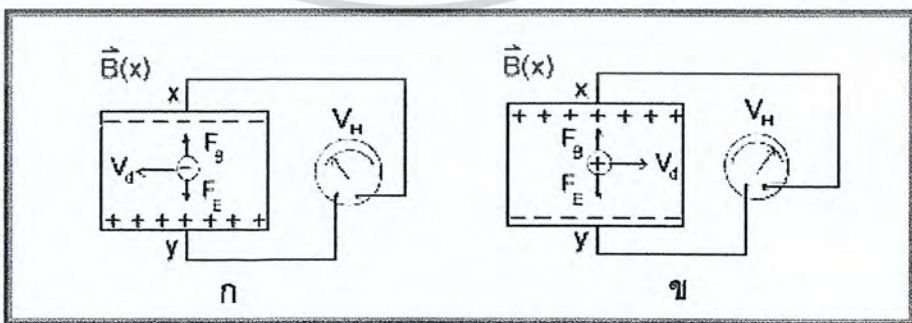
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้ภาพที่ 2.17 ก-ค ดังนี้
 ภาพที่ 2.16 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย
 ภาพที่ 2.16 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง
 ภาพที่ 2.16 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสองทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \tag{2.7}$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผล พิจารณาได้จากสมการ (2.13) หรือสมการ (2.14) ในตอนท้าย) จากสมการ (2.7) จะได้ว่า

$$V_H = E_H \times d \tag{2.8}$$



ภาพที่ 2.17 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังภาพที่ 2.18 ก สภาพัฒ์ของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์ จากภาพที่ 2.17 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในภาพที่ 2.17 ก แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ดังแสดงในภาพที่ 2.17 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และ สภาพัฒ์ของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ จากภาพที่ 2.16 ค ขณะที่แรง แม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$\begin{aligned}(-e)E_h &= (-e)V_d B \\ E_H &= V_d B\end{aligned}\quad (2.9)$$

จากสมการ (2.9) จะได้

$$\begin{aligned}V_H &= E_H d \\ V_H &= V_d B d\end{aligned}\quad (2.10)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA}\quad (2.11)$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง แทนสมการ (2.11) ลงในสมการ (2.10) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA}\quad (2.12)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง

$$V_H = \frac{IB}{net}\quad (2.13)$$

สมการ (2.13) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = neti^{-1}V_H\quad (2.14)$$

ปริมาณ V_H และ t ในสมการ (2.14) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ หัววัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า

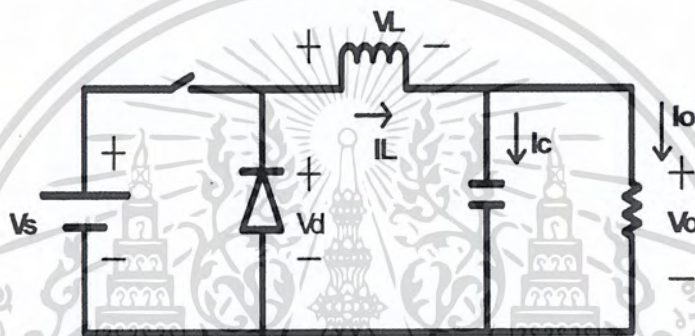
$n \cong 10^{22} \text{m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \cong 10^{28} \text{m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (8) ได้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1T = 10^4 G$

2.3 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter)

วงจรทอนระดับหรือวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกววงจรบักคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) ก็เพราะด้านออกต่ำกว่าแรงดันด้านเข้านั่นเอง



ภาพที่ 2.18 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยแบ่งตามการทำงานของมอสเฟตโดยแบ่งได้ดังนี้

กรณีสวิตช์ปิด (มอสเฟตนำกระแส)

เมื่อมอสเฟตนำกระแสทำให้ไดโอดได้รับการรีเวอร์สไบอัส จากกฎของเคอร์ชอฟท์สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_L = V_i - V_o \quad (2.15)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} \quad (2.16)$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{(V_i - V_o)DT}{L} \quad (2.17)$$

กรณีสวิตช์เปิด (มอสเฟตหยุดนำกระแส)

เมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_2) ไม่สามารถเปลี่ยนทิศการไหลอย่างทันทีทันใดได้ ดังนั้นไดโอดจึงได้รับ Forward Bias จึงทำให้

$$V_L = -V_i \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_L = -V_o = \frac{L di_L}{dt} \quad (2.19)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta_{L,open}}{\Delta T} = -\frac{V_o}{L} \quad (2.20)$$

$$\Delta i_{L(open)} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.21)$$

ในการทำงานที่สภาวะคงตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น จากสมการ (2.21) กับ (2.33)

$$(\Delta i_L)_{closed} + \Delta i_{L(open)} = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{(V_i - V_o)DT}{L} - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.23)$$

$$(V_i - V_o)D - V_o(1-D) = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = D \quad (2.25)$$

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.26)$$

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o}{R} + \frac{(1-D)V_o}{2Lf} \quad (2.27)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o}{R} - \frac{(1-D)V_o}{2Lf} \quad (2.28)$$

ค่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดและความถี่ของการสวิตช์สำหรับโหมดกระแสต่อเนื่องของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

$$(LF)_{min} = \frac{(1-D)R}{2} \quad (2.29)$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.30)$$

หาค่ากระแสลอคคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|\Delta Q| = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.31)$$

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (2.32)$$

$$\Delta i_{L(open)} = \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.33)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.34)$$

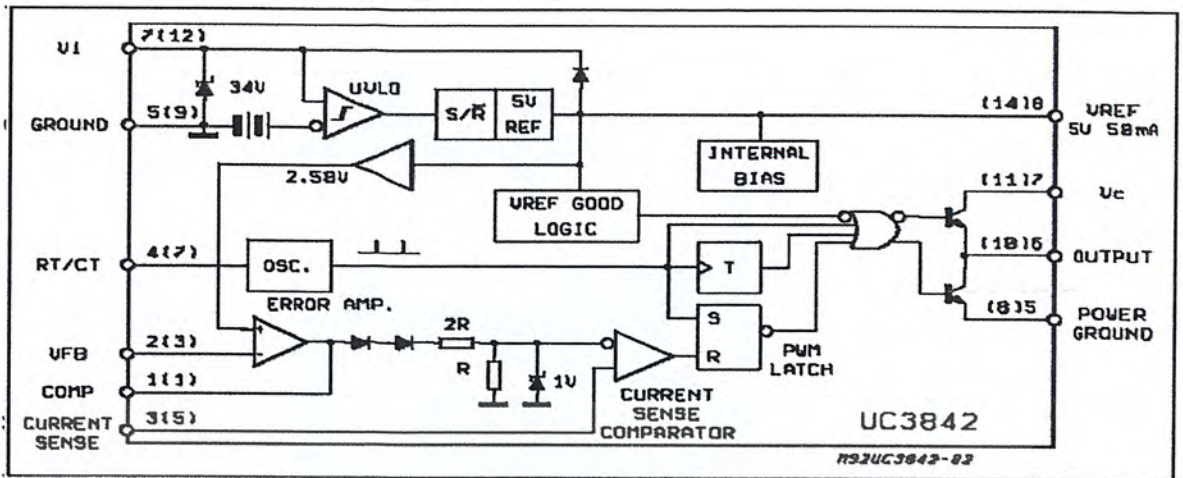
2.4 UC3842

เป็นอุปกรณ์ Current mode Pulse Width Modulation Controller ใช้ในการออกแบบขับ Switching Mode Power ด้านขาออก สามารถกำหนดความถี่ของ สัญญาณ Pulse ได้ โดยการปรับค่าของ R_T และ C_T จากสมการ

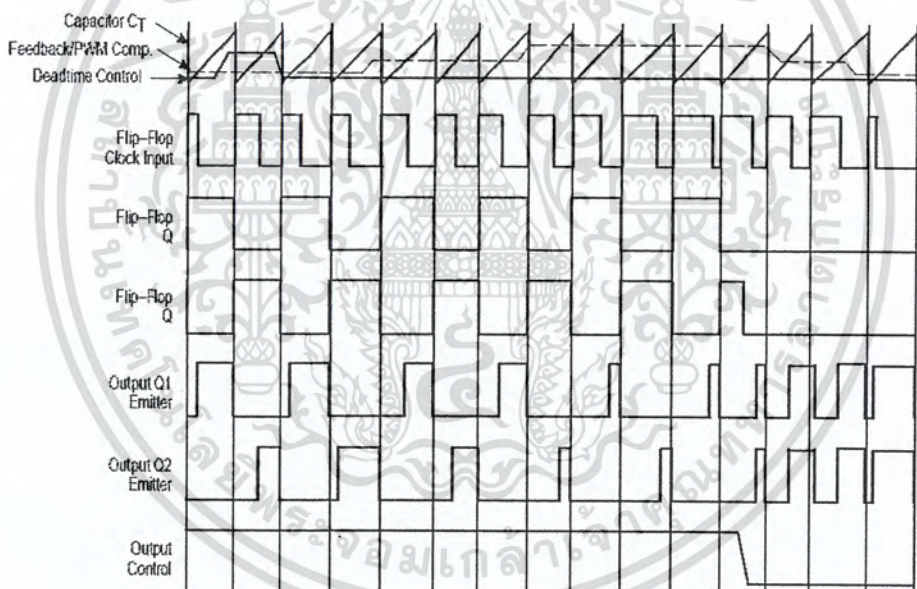
$$f = \frac{1.72}{R_T C_T}$$

และสามารถปรับค่าการ On Duty มากน้อยโดยขึ้นอยู่กับ แรงดันไฟฟ้าที่นำไปตัดผ่าน Saw tooth โดยใช้หลักการของ PWM ภายในของ UC3842 นั้นมี Flip Flop อยู่ 1 ตัว มีการวัดค่า I_{sense} และค่า $V_{feedback}$ ส่วนขาที่ 8 จะบ่อนค่าระดับแรงดันเอาท์พุทที่ต้องการ $V_{reference}$ เป็นการควบคุมแบบ Closed Loop Control โดยการทำงานของ UC3842 ดัง ภาพที่ 2.19

โดย Saw tooth ลูกคลื่นจะอยู่ในทิศทางบวก และนอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ NOR Gates ซึ่งเอาไว้ขับ Output ของ Transistor Q1 และ Q2 ซึ่งจะมีทิศทางเป็นบวกเสมอ



ภาพที่ 2.19 Block Diagram ของ UC3842



ภาพที่ 2.20 แสดงแบบการทำงานของ UC3842

2.5 การประมวลผลสัญญาณ

การประมวลผลสัญญาณจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ประมวลผลโดยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีให้เลือกหลายชนิด เช่น DSP(TI) dsPIC(MICROSHIP)

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip Technology inc. ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวงนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์ใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัล สำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.5.1 คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ dsPIC

1. คุณสมบัติของซีพียู

-เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC

-ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที

-มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้
อย่างอิสระ

-ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต

-มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเอง โดยใช้
กระบวนการทางซอฟต์แวร์

-มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า
1,000,000 ครั้ง

-มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณ
อินเตอร์รัปต์ได้ดี

-มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้

-มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไท
เมอร์

-มีวอตช์ด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้

-มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

-รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial
Programming)

-สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

2. คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

-มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์
ได้เป็นอย่างดี

-มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์จึงทำ
ให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว

-ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเกิล

- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิต
มากๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

- มีวงจรเฟดท์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

3. คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงค์และซอร์ส

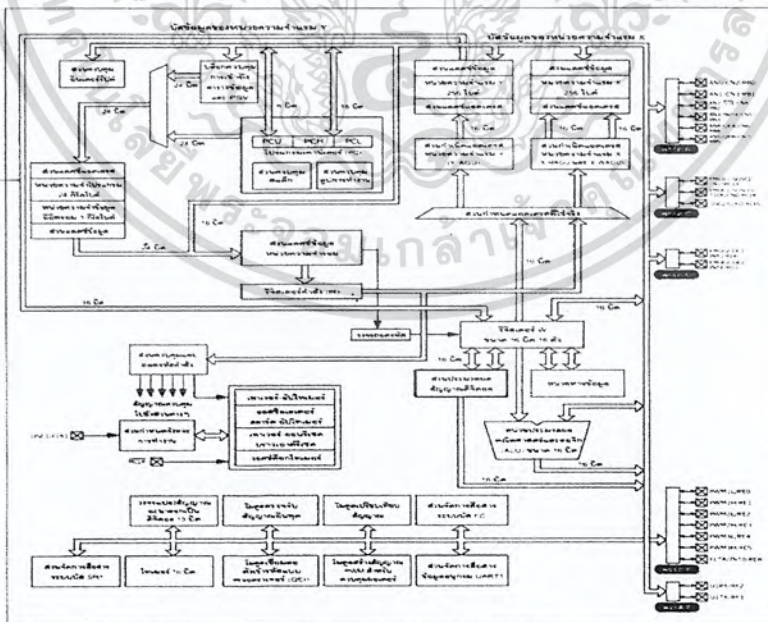
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็น ไทเมอร์ 32 บิตได้

- มีไมโครตรวจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C
- มีไมโครสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 หรือ 12 บิต*
- มีไมโครสร้างสัญญาณ PWM สำหรับการควบคุมมอเตอร์*
- มีไมโครเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดตราเจอร์*

*เป็นคุณสมบัติที่มีในบางเบอร์

2.5.2 แนะนำ dsPIC30F2010

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ที่นำมาใช้ในการเรียนรู้และทดลองของโปรเจกต์นี้คือเบอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งมีขาต่อใช้งาน 28 ขา ในภาพที่ 2.21 แสดงไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010 และการจัดขา สำหรับหน้าที่ของแต่ละขาได้อธิบายโดยสรุปไว้ในตาราง คุณสมบัติทางเทคนิคของ dsPIC30F2010 มีดังนี้



ภาพที่ 2.21 ไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28-Pin SDIP and SOIC

MCLR	1	28	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	27	AVSS
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	26	PWM1L/RE0
AN2/SS1/LVDIN/CN4/RB2	4	25	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	24	PWM2L/RE2
AN4/CEA1/C7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/CEB1/C8/CN7/RB5	7	22	PWM3L/RE4
VSS	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLKI	9	20	VDD
OSC2/CLKO/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSCIT2CK/U1ATX/CN11/RC13	11	18	PGC/EMUC/U1RX/SDH1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	12	17	PGD/EMUC/U1TX/SDO1/SCL/RF3
VDD	13	16	FLT#/INT0/SCK1/PCFA/RE8
EMJD2/OC2/IC2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0

ภาพที่ 2.22 การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 [2]

1. คุณสมบัติของชิพ

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ความจุ 12 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพีรอม 1 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์ มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40 MHz
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟสล็อกภายใน ตั้งแต่ 4 MHz ถึง 10 MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4, 8 หรือ 16 เท่า
- รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเทอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง
- สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
- มีอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

- มีวอตต์ต็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถ้าเกิดสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับ การกำหนดความเร็วในการทำงาน

2. คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอดคิวมูลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเกิล
- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้ประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ ทำได้รวดเร็ว
- มีวงจรเฟตช์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

3. คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงค์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 3 ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด
-ในการเปรียบเทียบข้อมูลสามารถเลือกการทำงานได้ 2 โหมด
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบSPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2C ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็น มาสเตอร์หรือสลาฟได้
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบอิสระ
 - มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
 - มีส่วนกำเนิดดีวีดีไชเกิล 4 ชุด
 - กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
- มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
- สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
 - มีอินพุต Phase A, Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
 - มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
 - แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
 - กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และ x4
 - มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิทัลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
 - สำหรับกำหนดให้ทำงานเป็นไทเมอร์/เคาท์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
 - กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขาด (underflow)
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 บิต 6 ช่อง
 - อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
 - สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและโอเดิล ได้

2.5.3 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010

1. หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลของ dsPIC30F2010 ใช้คำสั่งที่ความยาว 1 เวิร์ด ขนาด 24 บิต โดยมีโปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 23 บิต(จริงๆ แล้วโดยโครงสร้างมี 24 บิต แต่ไม่สนใจบิต MSB ซึ่งก็คือบิต 23 และบิต LSB หรือบิต 0 กำหนดเป็น "0" จึงทำให้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 4 เมกะเวิร์ด) เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F2010 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 12 กิโลไบต์ เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิต จึงบรรจุคำสั่งได้จริง 4 กิโลเวิร์ด

รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (Working register) สำหรับใน dsPIC จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมากโดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอาร์เรย์ขนาด 16 บิต จึงทำให้สามารถรองรับทั้งข้อมูล, ค่าแอดเดรส หรือค่าของรีจิสเตอร์ใดๆ ที่ต้องนำมาประมวลผลโดยใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ W ให้ใช้งานถึง 16 ตัว ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลหลัก ส่วนอีกตัวหนึ่งก็คือ รีจิสเตอร์ W15 จะใช้ทำงานร่วมกับตัวชี้สแต็กในการทำงานของโปรแกรมย่อยและบริการอินเตอร์รัปต์

ด้านการตอบสนองอินเตอร์รัปต์นั้น dsPIC30F2010 มีการจัดสรรพื้นที่เก็บค่าอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ไว้มากถึง 54 ตำแหน่ง และยังสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้อีก 8 ระดับ อีก

ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยความจำ

dsPIC30F2010 มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลเวิร์ด แอดเดรสอยู่ในช่วง 0x000100 ถึง 0x001FFE สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ 2 วิธี คือ

1. โดยใช้การโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรมหรือ ICSP ผ่านทางขา PGD และ PGC (ขาที่ 17 และ 18) แล้วป้อนสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทางขา MCLR

2. โปรแกรมตัวเองในขณะที่ทำงานหรือ RTSP (Run Time Self-Programming)

ส่วนหน่วยความจำข้อมูลแรมนั้น dsPIC30F2010 ได้จัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 256ไบต์ รวมเป็น 512 ไบต์ โดยในแต่ละส่วนจะมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกัน เรียกว่า AGU (Address Generation Unit)

ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม dsPIC30F2010 จัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0x7FFC00 ถึง 0x7FFFFE มีความจุ 1 กิโลไบต์

3. ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP Engine)

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งของ dsPIC เนื่องจาก dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มความสามารถในหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกอย่างมาก โดยในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมีหน่วยจัดการคูณเลขขนาด 17x17 บิตความเร็วสูง, หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU ขนาด 40 บิต อีก 2 ตัว และตัวเลื่อนข้อมูล 2 ทิศทางแบบบารเรล (barrel shifter) ขนาด 40 บิต จึงทำให้สามารถจัดการข้อมูลขนาด 16 บิต ได้เสรีจลื่นภายในสัญญาณนาฬิกาเพียงไซเคิลเดียว

4. โมดูลฟังก์ชันพิเศษ

dsPIC30F2010 ได้รวมเอาโมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 บิต, โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมหรือ SPI, โมดูลสื่อสารข้อมูลบนระบบบัส I2C, โมดูลสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมหรือ UART, ไทเมอร์ขนาด 16 บิตถึง 3 ตัว และที่เป็นพิเศษอีก 2 โมดูลคือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อการควบคุมมอเตอร์และโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ โดยสามารถใช้งานร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมมอเตอร์แบบปิดประสิทธิภาพสูง

5. พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

dsPIC30F2010 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 40 ขา ดังนี้

พอร์ต B มี 9 ขา คือ RB0-RB8

พอร์ต C มี 2 ขา คือ RC13-RC14

พอร์ต D มี 3 ขา คือ RD0-RD3

พอร์ต E มี 7 ขา คือ RE0-RE5, RE8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต F มี 7 ขา คือ RF0-RF6

2.5.4 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ

ในภาพที่ 2.23 แสดงโครงสร้างทางโปรแกรมหรือ Programmer's model ของ dsPIC ที่นักพัฒนาต้องทราบ ซึ่งประกอบไปด้วย

- (ก) รีจิสเตอร์ W ขนาด 16 บิตมากถึง 16 ตัว โดยตัวที่ใช้งานเป็นหลักคือ W0 ส่วนตัวที่ถูกนำไปใช้ในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมี 10 ตัว คือ W4-W13 ส่วน W14 ถูกนำไปใช้ร่วมเป็นตัวชี้เฟรม และ W15 ถูกนำไปใช้ร่วมเป็นตัวชี้สแต็ก
- (ข) แอกลิวเลเตอร์ 40 บิต จำนวน 2 ตัว ใช้ในงานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก
- (ค) โปรแกรมเคาน์เตอร์ ขนาด 24 บิต นำมาใช้ในการแจ้งแอดเดรส 24 บิต โดยไม่สนใจบิต MSB และบิต LSB ต้องเป็น "0"
- (ง) รีจิสเตอร์หลัก อันประกอบไปด้วย

STATUS ซึ่งใช้แสดงสถานการณ์ทำงาน มีขนาด 16 บิต

CORCON ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง มีขนาด 16 บิต

TBLPAG เป็นรีจิสเตอร์กำหนดเพจของตารางข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม มีขนาด 8 บิต

PAVPAG เป็นรีจิสเตอร์แสดงแอดเดรสของพื้นที่โปรแกรม มีขนาด 8 บิต

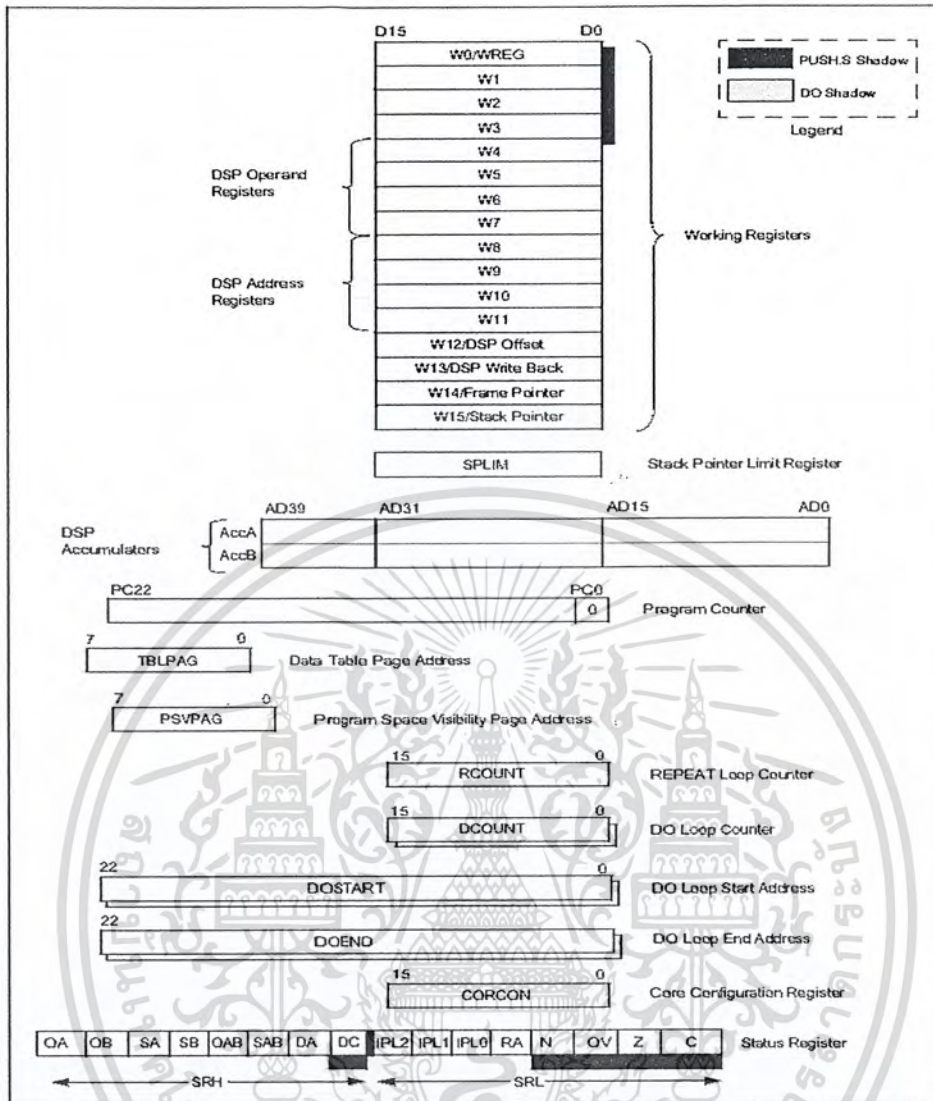
RCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูปที่ทำซ้ำ

DCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูปที่ทำงาน

DOSTART เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมลูป

DOEND เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสปลายทางที่ต้องการทำโปรแกรมลูป

สำหรับรีจิสเตอร์ DCOUNT, DOSTART และ DOEND เป็นรีจิสเตอร์เงา (shadow register) หมายความว่า เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวเพื่อเก็บค่าก่อนที่จะมีการถ่ายทอออกไปทำงาน จึงไม่สามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์เหล่านี้ได้โดยตรง



ภาพที่ 2.23 โครงสร้างทางโปรแกรม (Program's model)ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC [2]

1. สแต็กพอยน์เตอร์และเฟรมพอยน์เตอร์ทางซอฟต์แวร์

ใน dsPIC ได้บรรจุสแต็กพอยน์เตอร์ขึ้นมา โดยใช้รีจิสเตอร์ W15 เป็นตัวชี้ตำแหน่งของสแต็กหรือสแต็กพอยน์เตอร์ (software stack pointer) ซึ่งค่าของ W15 จะเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติตามการกระโดดไปทำงานหรือออกจากโปรแกรมย่อย อย่างไรก็ตาม ก็ยังสามารถใช้งาน W15 เหมือนกับรีจิสเตอร์ W ตัวหนึ่งได้ด้วย แต่ถ้าไม่จำเป็นจริงๆ แนะนำให้สงวนรีจิสเตอร์ W15 นี้ไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวชี้สแต็กหรือสแต็กพอยน์เตอร์จะเหมาะสมกว่า

W15 จะมีค่าเท่ากับ 0x0800 หลังจากการรีเซต ผู้พัฒนาสามารถกำหนดค่าใหม่ได้ตามต้องการภายในขอบเขตของหน่วยความจำข้อมูล

นอกจากนั้นใน dsPIC ยังมีตัวชี้กรอบหรือขอบเขตของสแต็กหรือเรียกว่า เฟรมพอยน์เตอร์ (software frame pointer) ด้วย โดยใช้รีจิสเตอร์ W14 ทำหน้าที่นี้ โดยการกำหนดค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W14 สามารถกระทำผ่านคำสั่ง LNK และ ULNK (คำสั่งภาษาแอสเซมบลี) เช่นเดียวกันก็ยังสามารถใช้งาน W14 นี้ไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นเฟรมพอยน์เตอร์จะเหมาะสมกว่า

2 รีจิสเตอร์ STATUS

ใน dsPIC รีจิสเตอร์ตัวนี้มีความสำคัญมาก เพราะใช้ในการแสดงสถานะการทำงานของซีพียู โดยรีจิสเตอร์ STATUS(SR) มีขนาด 16 บิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ SRH (บิต 8 ถึง 15) และ SRL(บิต 0 ถึง 7)

โดยใน SRH บรรจุกุณการณืบวกลและลบค่าของข้อมูลในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลักที่ 6 บิตบน ส่วนบิต DA ใช้แสดงสถานะการทำงานของกระบวนการวนทำงานหรือทำลูป (DO loop active) สุดท้ายเป็นบิตเฟล็กแสดงการทดัข้มหลักหรือ Digit Carry (DC)

ส่วน SRL บรรจุกุณการณืทำงานของหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU โดยแสดงในรูปของแฟล็ก (flag) ที่บิต C (เกิดการทดั), Z(ค่าเป็นศูนย์), OV (ค่าเกิน), N (เกิดค่าลบ) นอกจากนั้นยังเก็บค่าของการจัดลำดับความสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ไว้ที่บิต IPL0-IPL2 สุดท้ายมีบิตแสดงสถานะการทำงานของกระบวนการ REPEAT ซึ่งแสดงที่บิต RA

3.CORCON รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่บรรจุบิตที่ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและส่วนทำงานโปรแกรมลูปทางฮาร์ดแวร์ นอกจากนั้นยังบรรจุบิตข้อมูลที่ทำงานร่วมกับการอินเตอร์รัปต์

4. รีจิสเตอร์ควบคุมเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางของ dsPIC

ประกอบด้วย

(1) MODCON (Modulo Control Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เอ็นเอเบิลและกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลแบบโมดูล (modulo)

(2) XMODSRT และ XMODEND (X Modulo Start Address Register และ X Modulo End Address Register) : เป็นรีจิสเตอร์ใช้เก็บค่าแอดเดรสตั้งต้น (XMODSRT) และปลายทาง (XMODEND) ของหน่วยความจำข้อมูล Y ที่ใช้การเข้าถึงแบบโมดูล

(3) YMODSRT และ YMODEND (Y Modulo Start Address Register และ Y Modulo End Address Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าแอดเดรสตั้งต้น (YMODSRT) และปลายทาง(YMODEND) ของหน่วยความจำข้อมูล Y ที่ใช้การเข้าถึงแบบโมดูล

(4) XBREV (X Modulo Bit-Reverse Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดขนาดของบัพเฟอร์หรือหน่วยความจำข้อมูลชั่วคราวเพื่อใช้ในการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลแบบกลับบิต

(5) DISICNT (Disable Interrupts Count Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกใช้ในการทำงานของคำสั่ง DISI เพื่อดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ที่มีระดับความสำคัญในระดับ 1 ถึง 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 JX-dsPIC40

40-pin dsPIC microcontroller Project board

บอร์ดพัฒนาโครงการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC รุ่น 40 ขา

1. คุณสมบัติทางเทคนิค

- ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ตัวถัง DIP 40 ขา บนบอร์ดใช้เบอร์ dsPIC30F2010 สัญญาณนาฬิกา
- ทำการโปรแกรมและดีบั๊กได้ด้วย ICDX-30 หรือ ICD2 ของ Microchip (จัดซื้อแยก)
- เลือกโหมดการโปรแกรมและรันด้วยสวิตช์กดเพียงตัวเดียว พร้อมไฟแสดงสถานะ
- มีจุดต่อขาพอร์ตสำหรับทดลองและใช้งาน 5 พอร์ตคือ
RB0-RB8 9 ขา RC13-RC14 2 ขา RD0-RD3 4 ขา
RE0-RE5,RE8 7 ขา RF0-RF6 7 ขา
- มีภาคจ่ายไฟ +5V 800 mA บนบอร์ด -มีสวิตช์ RESET สำหรับรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- จุดต่อโมดูล LCD โดยต่อขา D4-D7 กับพอร์ต RD0-RD3, ขา RS ต่อกับพอร์ต RF และขา E ต่อกับพอร์ต RF1
- วงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 จำนวน 2 ชุด
UART1 ต่อกับพอร์ต RC13และRC14 เลือกด้วยจัมป์เปอร์
UART2 ต่อกับพอร์ต RF4และRF5 เลือกด้วยจัมป์เปอร์
- LED แสดงผลพร้อมตัวต้านทานจำกัดกระแส ทำงานที่ลอจิก "1" 4 ช่อง - ลำโพงเบียวโซ
- สวิตช์กดติดปลั๊ก 4 ช่อง พร้อมตัวต้านทานพูลอัป
- เทอร์มินอลบล็อก 4 ช่องสำหรับต่อกับโมดูล QEI (Quadrature Encoder Input)
- วงจรจ่ายแรงดัน 0-5V สำหรับทดลอง A/D ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้
- พื้นที่สำหรับสร้างวงจรหรือ Proto area 3X2.5 นิ้ว จุดบัดกรี 170 จุด สามารถติดตั้งแผงต่อวงจรขนาดกลางได้
- ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอกผ่านแจ๊คอะแดปเตอร์หรือเทอร์มินอลบล็อก +9V ถึง +16V

2.ICDX-30 บอร์ดดีบั๊กเกอร์และโปรแกรมในวงจรสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และ dsPIC มีคุณสมบัติทางเทคนิคมีดังนี้

- เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม RS-232
- ดีบั๊กเพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช และ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร dsPIC วนได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เป็นเครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช และ dsPIC ได้
- ใช้งานร่วมกับ MPLAB IDE V6.2 ขึ้นไป
- มีฟังก์ชันทั้งหมดที่ต้องใช้ในการดีบั๊ก ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดจุดหยุดการตรวจสอบหรือ break point, การรันโปรแกรมแบบ Single step หรือแบบเต็มพร้อมทั้งแสดงผลการทำงานด้วย
- สามารถอัปเดตเพื่อเพิ่มเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ด้วยตนเองผ่านทางคอมพิวเตอร์
- มี LED แสดงผลการทำงาน POWER (แสดงการจ่ายไฟเลี้ยง) และ BUSY (แจ้งความพร้อมในการทำงาน) และ ERROR (แจ้งสถานะความผิดพลาด)
- สามารถอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- สามารถโปรแกรมบิตกำหนดการทำงานทางฮาร์ดแวร์หรือ configuration bit ได้
- ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอก +9 ถึง +16V
- ใช้แจ็คแบบโมดูลาร์ 6 ขา (modular jack) สำหรับต่อสายสัญญาณเพื่อติดต่อกับบอร์ดเป้าหมาย (target board) โดยมีการจัดขาตรงกับแจ็ค ICD ของ ICD2 ของ Microchip
- ใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช (อนุกรม PIC12F/16F/18F) และ dsPIC ทุกเบอร์ที่รองรับการดีบั๊กในวงจรและการโปรแกรมแบบ ICSP และสามารถเพิ่มเติมได้ในอนาคต

สรุป

บทนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องของการวิจัย เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้อง ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานในการดำเนินการเพื่อใช้ในการปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและได้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆด้วยกันหลายส่วนได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิง วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ ไอซีควบคุมการสวิตซ์ของมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ในระบบป้องกันคือ Thermister และ Hydrogen Detector ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM

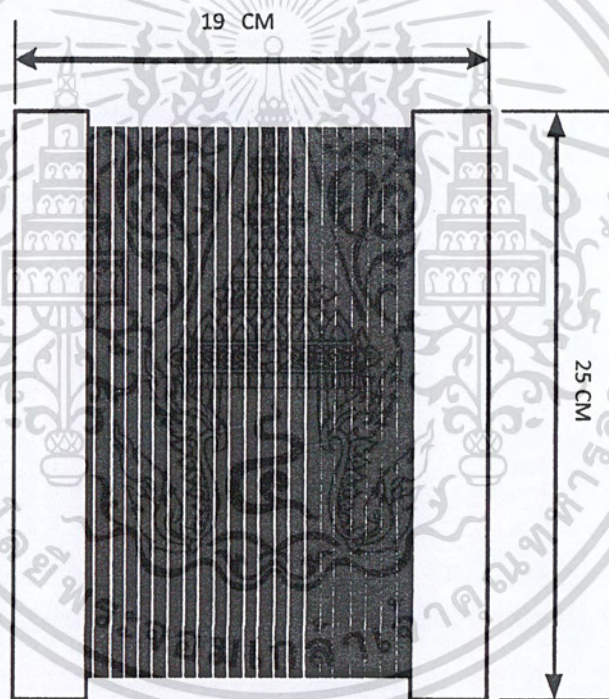
บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

การออกแบบและสร้างมี 2 ส่วนด้วยกัน

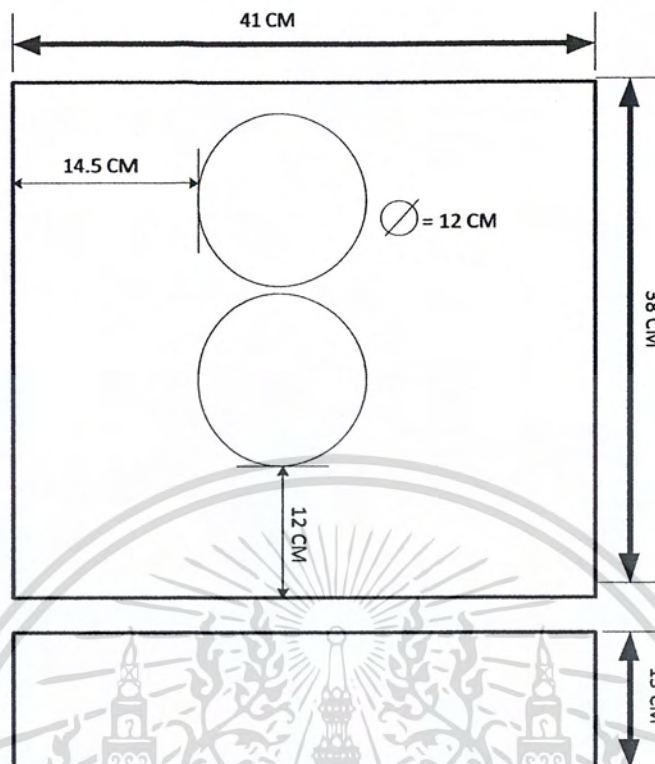
- 1.ออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงาน
- 2.ออกแบบวงจรควบคุมเซลล์เชื้อเพลิง

3.1 การออกแบบกล่องใส่ชิ้นงาน

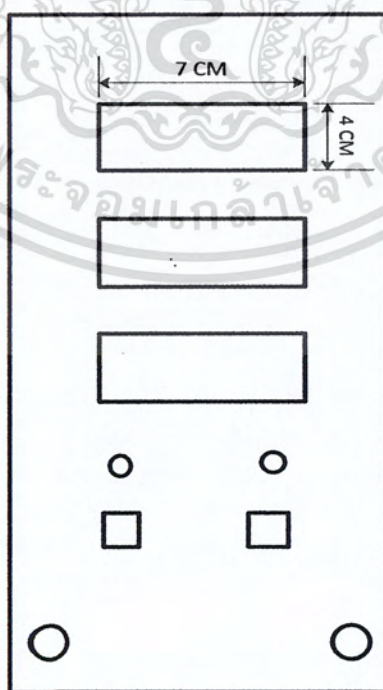


ภาพที่ 3.1 แสดงขนาดตัวเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ขนาด 200 W 36 V 39 Cells

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงขนาดของกล่องอคริลิกใสชิ้นงาน



ภาพที่ 3.3 แสดงด้านหน้าของกล่องใสชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการออกแบบกล่องใส่ชิ้นงาน

การสร้างและออกแบบกล่องใส่ชิ้นงานมีความสำคัญมาก เนื่องจากเราให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของเซลล์เชื้อเพลิง จึงต้องออกแบบให้มีระบบการระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ต้องออกแบบโครงสร้างตัวยึดให้มั่นคงแข็งแรง ให้มีความปลอดภัยในการนำมาใช้งาน

3.2 การออกแบบวงจรควบคุม Buck converter โดยใช้ UC3842

3.2.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบวงจรควบคุมกระแส และ แรงดัน

คือ อุปกรณ์ในการขับ Switching หรือ อุปกรณ์ Switch โดยทั่วไปแล้ว การเลือกใช้ อุปกรณ์ ทุกชนิดที่จะนำมาใช้ในวงจรมีความสำคัญมาก เนื่องจากอุปกรณ์ทุกชนิดมีผลต่อ การควบคุม กระแสและแรงดันแทบทั้งสิ้น

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเกตมีให้เราเลือกใช้หลายชนิดหลายแบบ เช่น การใช้ Microcontroller หรือการใช้ IC ที่มีคุณสมบัติในการขับขาเกตต่างๆ ในการออกแบบวงจร Current mode PWM Controller นี้ใช้ IC เบอร์ UC3842 เนื่องจาก IC UC3842 มีคุณสมบัติเป็นการควบคุมแบบ Close Loop Control คือมีการวัดค่ากระแสไฟฟ้า และค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีแรงดันในการเปรียบเทียบกับค่า V_{REF} ที่ขา 8 มีแรงดัน +5 V แล้วเมื่อมีการนำแรงดันต่างๆ มาเปรียบเทียบกับค่าที่จะต้องให้ Voltage Divider ในการลดระดับแรงดันที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

การกำหนดความถี่ของ UC3842 ก็สามารถที่จะหาค่าได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ

$$\text{for } RT > 5KW \\ f = \frac{1.72}{RTCT}$$

RT = ค่าความต้านทานที่อยู่ที่ขา RT ของ UC3842 เพื่อสร้างความถี่ Oscillator

CT = ค่าของ Capacitor แบบไม่มีขั้วใช้เพื่อการสร้างความถี่ Oscillator

f_{osc} = ความถี่ Oscillator ที่จะนำไปใช้สร้างสัญญาณต่างๆ

หลักการการทำงานของ Buck Converter เพื่อที่จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องคือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นบวกเสมอ สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิดซิ่งในขั้นต้นได้ สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือวงจร Buck Converter สามารถทำหน้าที่เหมือนหม้อแปลง เราจึงทำการออกแบบวงจร Beck Converter เพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบควบคุมการคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ No-load (ค่า Volt per cell = 0.9 V) กำหนดให้ $V_s = 36 \text{ V}$, $V_o = 12 \text{ V}$, $R = 1.7 \Omega$,
 $f = 45 \text{ kHz}$
 หา Duty ratio

$$\frac{V_o}{V_s} = D$$

$$\frac{12 \text{ V}}{36 \text{ V}} = 0.34$$

$$D = 0.34$$

ที่ Full-load (ค่า Volt per cell = 0.6 V) กำหนดให้ $V_s = 24 \text{ V}$, $V_o = 12 \text{ V}$, $R = 1.7 \Omega$,
 $f = 45 \text{ kHz}$
 หา Duty ratio

$$\frac{V_o}{V_s} = D$$

$$\frac{12 \text{ V}}{36 \text{ V}} = 0.34$$

$$D = 0.5$$

หาตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กที่สุดของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ที่โหมดการทำงานกระแสต่อเนื่อง

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.34) \times 1.7}{(2 \times 45 \times 10^3)}$$

$$L_{\min} = 12.4 \mu\text{H}$$

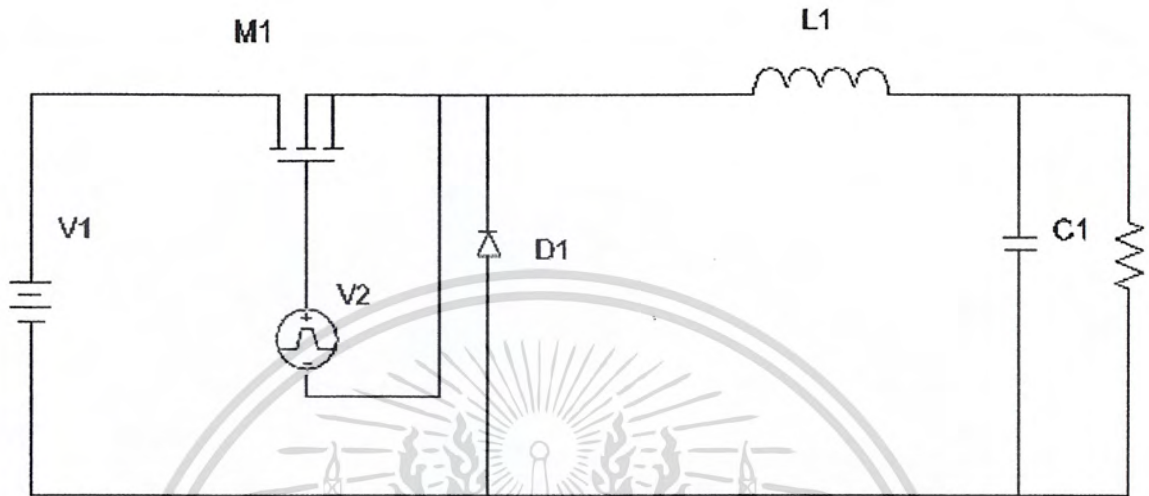
หาตัวเก็บประจุที่ทำให้อัตราระลอกคลื่นเท่ากับ 1 %

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

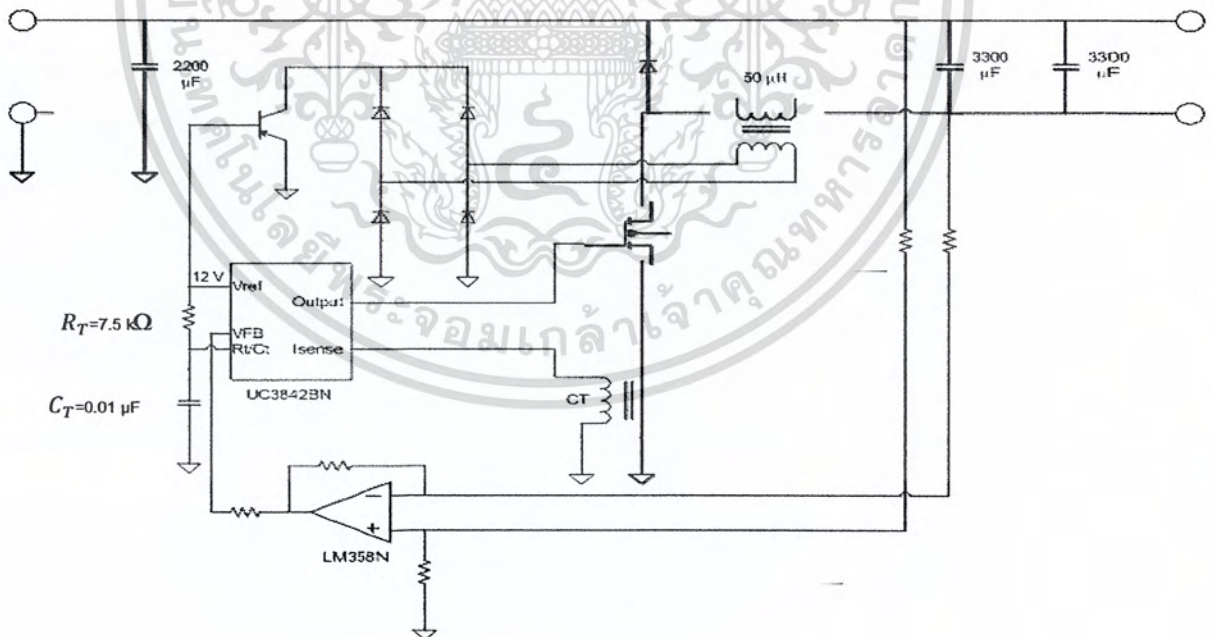
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{1-0.34}{(8 \times 12.4 \times 10^{-6} \times 45000^2 \times 0.01)}$$

$$C = 328.5 \mu\text{F}$$

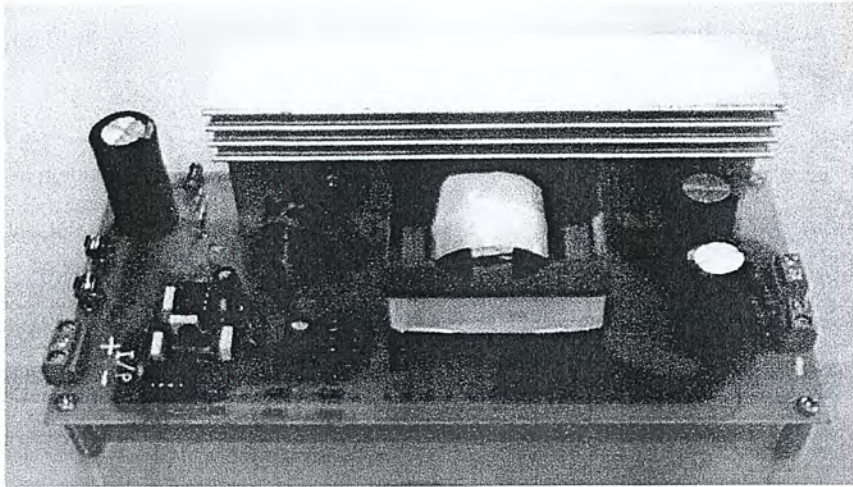


ภาพที่ 3.4 วงจรกำลังของ Buck Converter



ภาพที่ 3.5 Schematic วงจร Buck Converter .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 วงจร Buck Converter

แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าระหว่าง 17-36 โวลต์ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ที่ 12 โวลต์ สามารถจ่ายโหลดได้สูงสุด 180 วัตต์

สรุปการออกแบบวงจร Buck Converter

จากทฤษฎีพื้นฐานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ จะคำนวณได้ค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรได้เท่ากับ 12.4 μH ค่าตัวเก็บประจุของวงจรเท่ากับ 328.5 μF ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.34-0.5 ซึ่งจะถูกควบคุมการสวิตช์ของตัวมอสเฟตโดยตัว Current Mode PWM Controller ที่จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ที่ 12 V

3.2.2 ออกแบบวงจรควบคุมระบบ PEMFC โดยใช้ Microcontroller

1. โครงสร้างของ dsPIC30F2010

28-Pin SDIP and SOIC

MCLR	1	28	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	27	AVSS
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	26	PWM1L/RE0
AN2/SST1/LVDIN/CN4/RB2	4	25	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	24	PWM2L/RE2
AN4/CEA1/C7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/CEB1/C8/CN7/RB5	7	22	PWM3L/RE4
VSS	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLK1	9	20	VDD
OSC2/CLK0/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	11	18	PGC/EMUC/U1RX/SD11/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	12	17	PGD/EMUC/U1TX/SD01/SCL/RF3
VDD	13	16	FLTA/INT0/SCK1/OCFA/RE8
EMUD2/OC2/C2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/C1/INT1/RD0

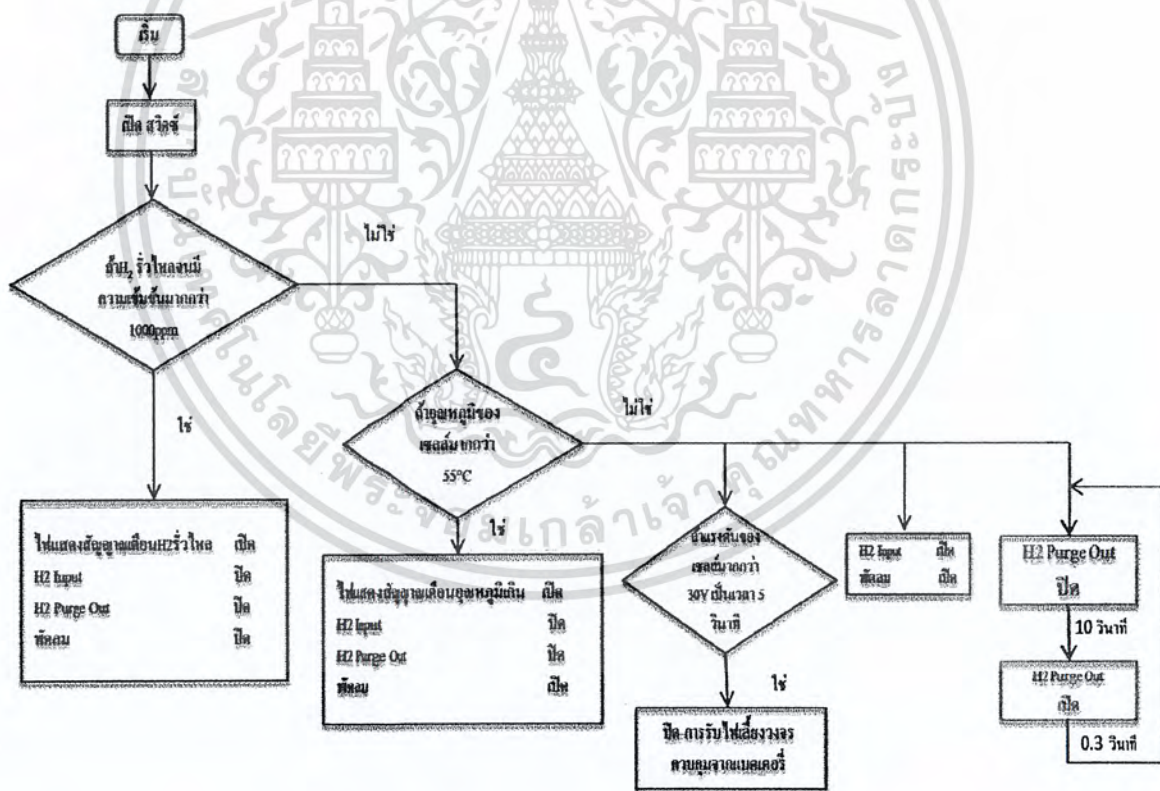
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้เท่านั้น เพื่อลดความเสี่ยงจากพวกรุ่นไปขอความรู้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.7 โครงสร้างของ Microcontroller

เหตุที่เลือกใช้ Microcontroller เบอร์นี้มีการประมวลผลค่อนข้างเร็วและมีคุณสมบัติตรงตามที่เราต้องการคุณสมบัติเพิ่มเติมสามารถดูได้จาก datasheet ภาคผนวก

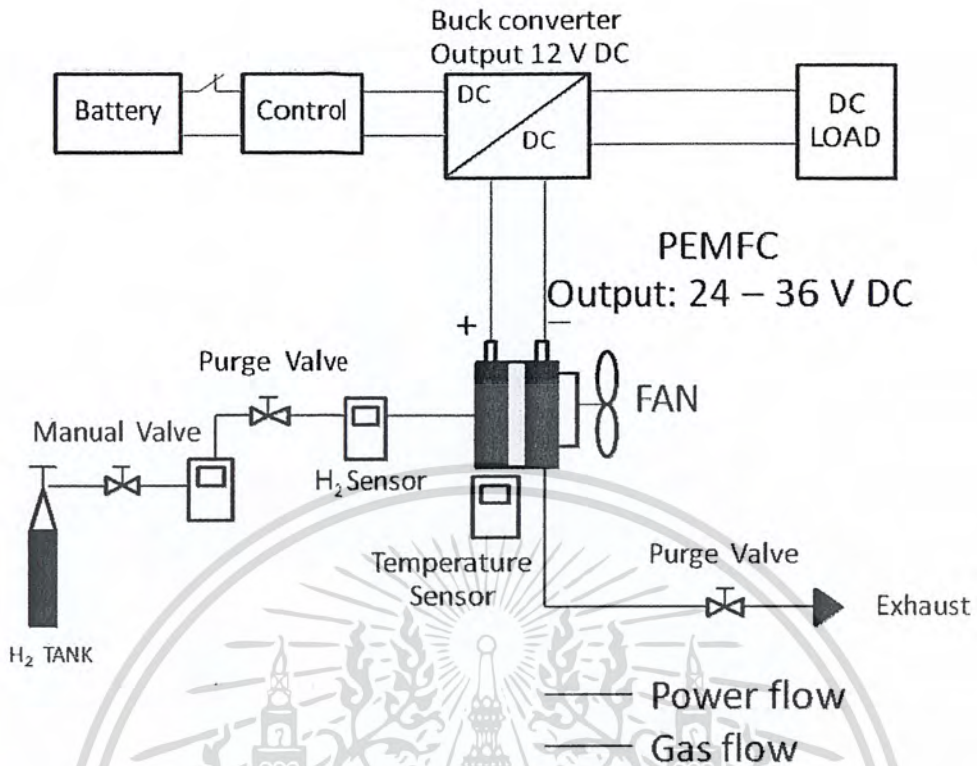
2. ขั้นตอนการทำงานของวงจร Microcontroller ที่ทำการออกแบบ

เมื่อทำการ ON main switch จะทำให้ Microcontroller เริ่มทำงานโดยทำการตรวจเช็คไฮโดรเจนรั่วไหลโดยถ้าหากมีไฮโดรเจนรั่วไหลที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1000 ppm ไฟที่แสดงสัญญาณว่ามีแก๊สไฮโดรเจนรั่วไหลจะติด และวาล์วจะปิดเพื่อไม่ให้เซลล์ทำงาน อีกทั้งยังมีการเช็คอุณหภูมิของเซลล์โดยถ้าหากเซลล์มีอุณหภูมิมากกว่า 55 °C ไฟที่แสดงสัญญาณว่าอุณหภูมิของเซลล์เกินจะติด และวาล์วจะปิดเพื่อไม่ให้เซลล์ทำงาน หลังจากนั้นระบบจะทำงานตามปกติโดยที่วาล์วทางด้านแก๊สไฮโดรเจนขาเข้าจะเปิด วาล์วทางด้านแก๊สไฮโดรเจนขาออกจะปิด 10 วินาที และจะเปิดเป็นเวลา 0.3 วินาทีเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนพัลลวมที่ช่วยระบายความร้อนและนำพาแก๊สออกซิเจนจากบรรยากาศจะเปิด ส่วนความเร็วของพัลลมนี้อาจแปรผันตามกับค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อเซลล์เริ่มทำงานไปเป็นเวลา 5 วินาทีคอนโทรลเลอร์จะสั่งตัดสวิตช์ Relay Coil เพื่อให้ตัดวงจรไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ ดังรูป Flow Chart ดังภาพที่ 3.9

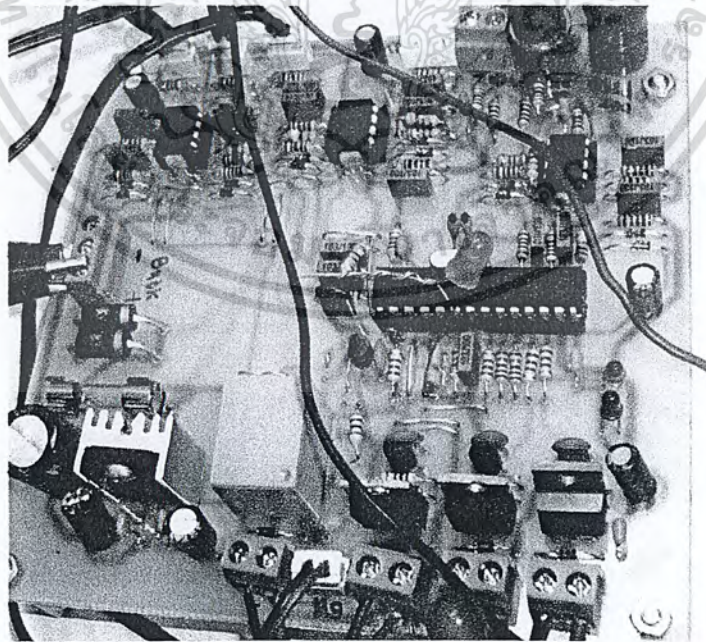


ภาพที่ 3.8 Flow Chart การทำงานของการ Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

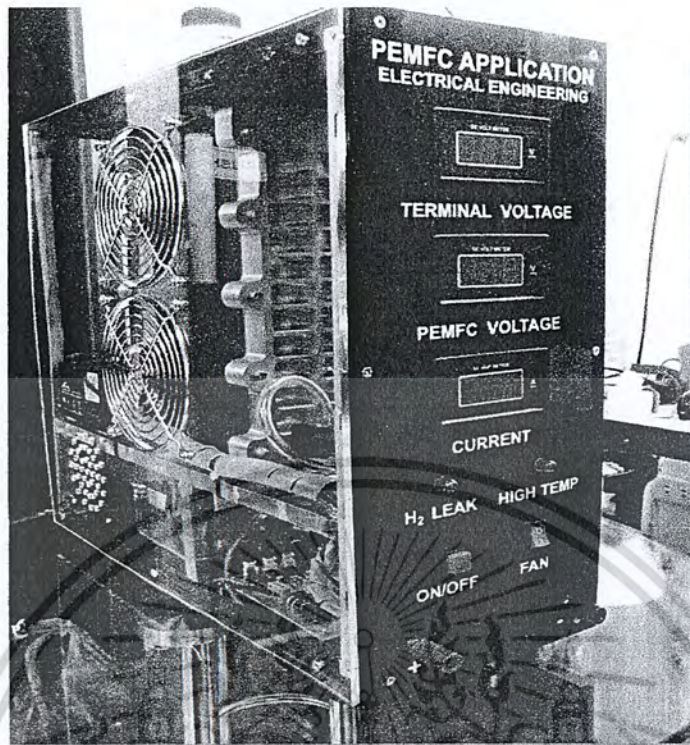


ภาพที่ 3.9 Schematic ของระบบควบคุม PEMFC



ภาพที่ 3.10 วงจรควบคุมโดยใช้ Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง ขนาด 200 วัตต์ 36 โวลต์ จำนวน 39 เซลล์

สรุป

จากการออกแบบในบทนี้ได้มีการออกแบบในหลายส่วนของวงจร โดยแบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆได้ดังนี้ คือ

1. ออกแบบวงจรควบคุมเป็นการออกแบบการควบคุม Duty มีหลักการทำงานคือสามารถปรับลดหรือเพิ่ม Duty ได้โดยอัตโนมัติโดยขึ้นอยู่กับ แรงดันที่แปรเปลี่ยนไปด้วยในกรณีต่างๆ เช่นแรงดันตกก็จะทำให้ Duty มีช่วง on ที่มากขึ้นทำให้คงที่แรงดันไว้ได้ตามที่

2. ออกแบบวงจรกำลัง หรือเรียกอีกอย่างว่า Buck converter ออกแบบให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 180 W

3. การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของ PEMFC ในระบบนี้จะมีการป้องกันทั้งตัวเซลล์เชื้อเพลิงไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไปและป้องกันผู้ใช้จากแก๊สไฮโดรเจนที่รั่วไหล เพราะว่าแก๊สไฮโดรเจนมีคุณสมบัติสามารถติดไฟได้ถ้ามีความเข้มข้นสูงในอากาศ คือระบบจะมีสัญญาณเตือนสถานะที่อันตรายนั้น อีกทั้งยังจะปิดการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนี้โดยทันที

บทที่ 4

การทดลองและผลทดลอง

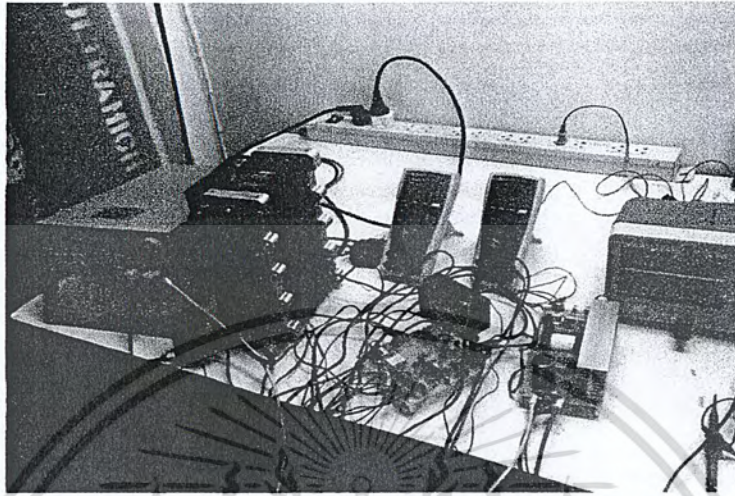
4.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาแรงดันของ Hydrogen ว่ามีผลต่อแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ ของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างไร
2. เพื่อศึกษาอัตราการไหลของ Hydrogen ที่ไหลตเพิ่มขึ้นเป็นอย่างไร
3. เพื่อหาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง DC-DC buck converter และประสิทธิภาพรวมของระบบ ที่แรงดัน 0.3 bar 0.4 bar และ 0.5 bar ตามลำดับ

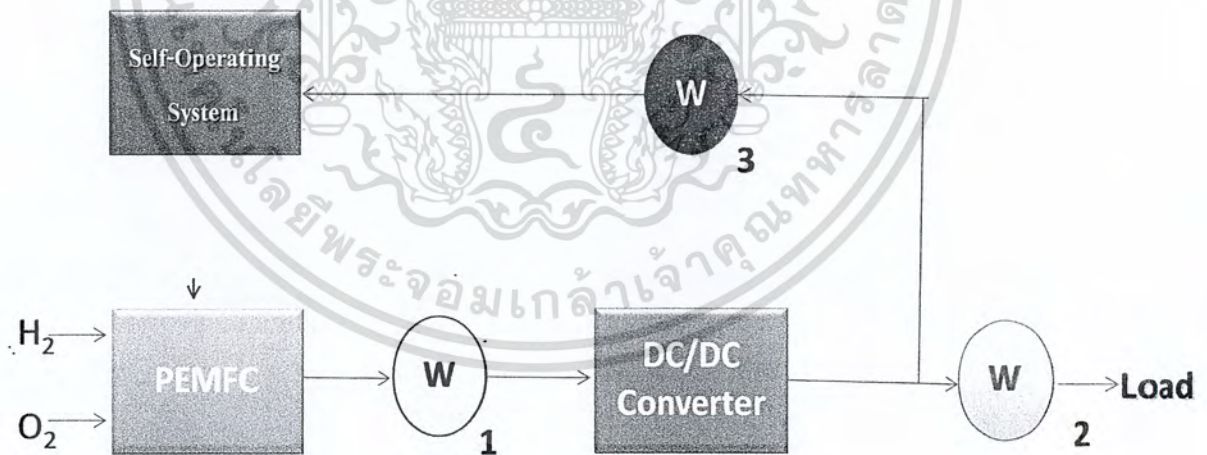
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เซลล์เชื้อเพลิงชนิด Proton Exchange Membrane Fuel Cell ขนาด 200 วัตต์
2. โหลดอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 300 วัตต์
3. ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์
4. ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์
5. H₂ flow sensor
6. ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

4.3 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้โหลดอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.1 การเชื่อมต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์

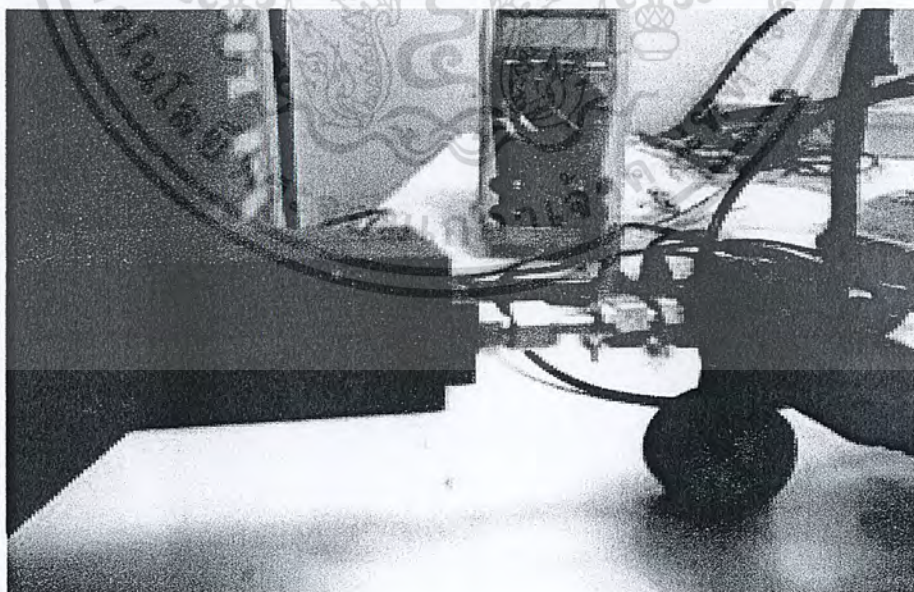


ภาพที่ 4.2 schematic การต่อวงจรเพื่อทำการวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 การวัดอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.4 การวัด flow rate ของ Hydrogen

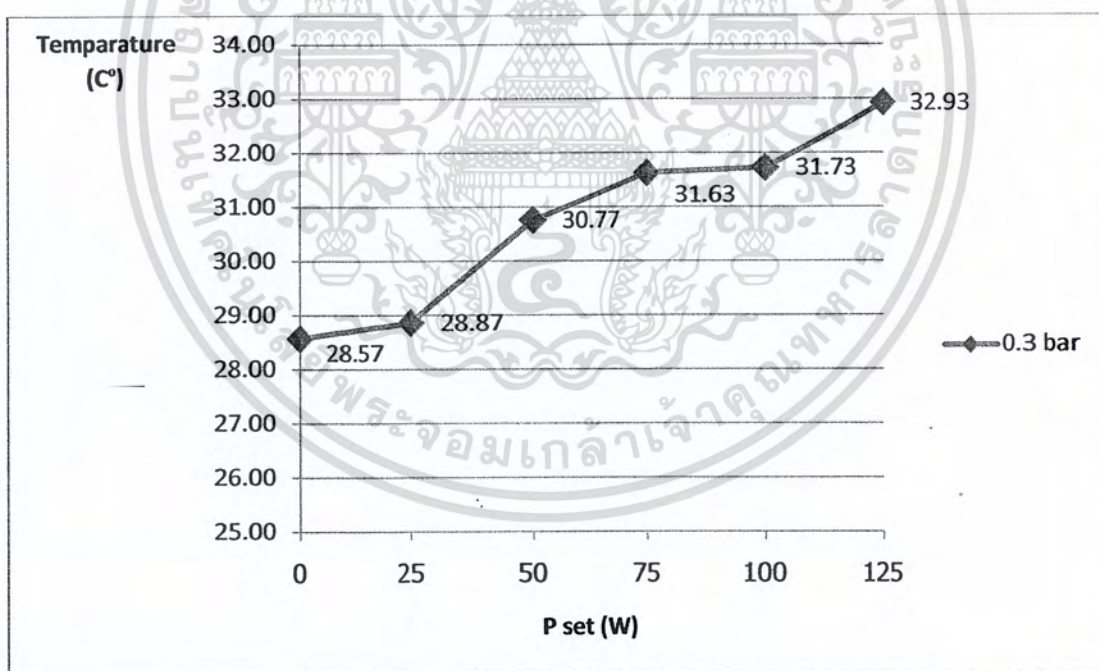
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรการทดลองเราจะวัด กำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแสดังรูป 4.1 ที่ความดันต่างๆกัน

ตอนที่ 1 ทดสอบกับโพลีเอทิลีนที่ความดัน 0.3 bar

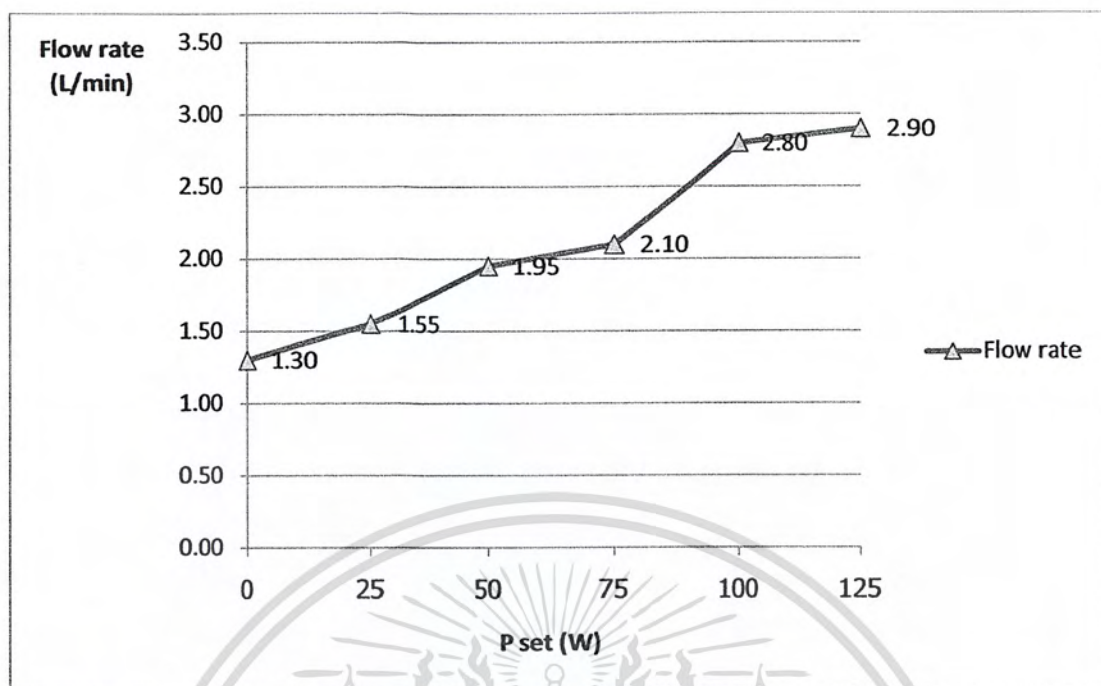
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen

P set (W)	Temperature (C ^o)	Flow rate (L/min)
0	28.57	1.30
25	28.87	1.55
50	30.77	1.95
75	31.63	2.10
100	31.73	2.80
125	32.93	2.90



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลีเอทิลีนที่ความดัน 0.3 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

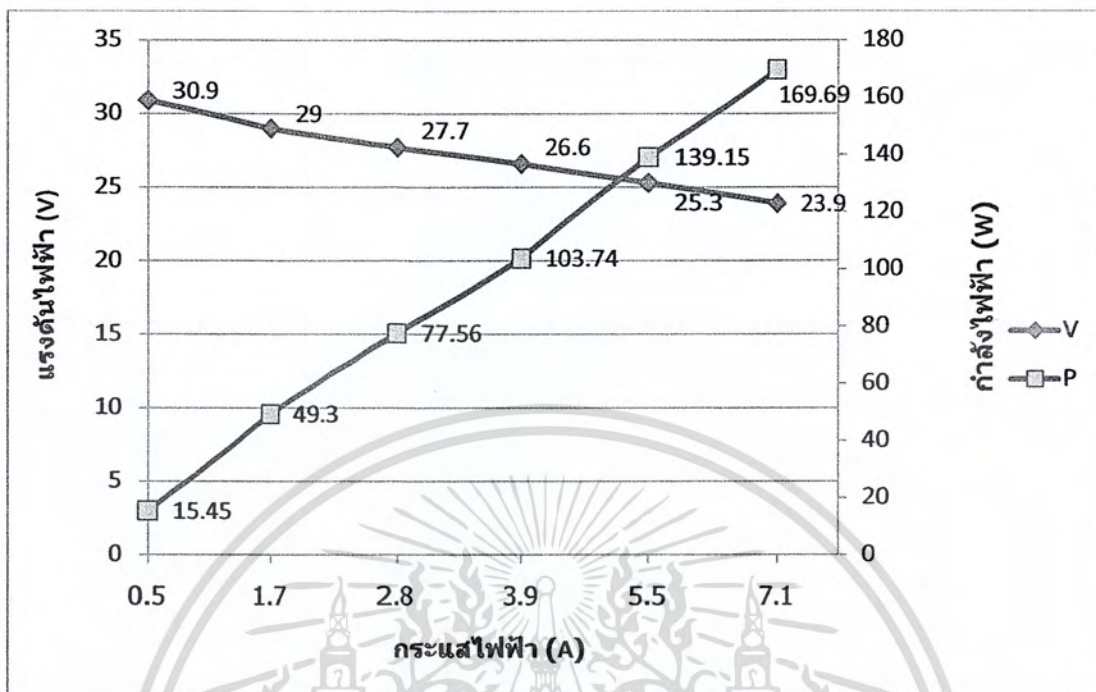


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโวลต์อิเล็กทริก

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า

P set (W)	Voltage PEMFC (V)	Current PEMFC (A)	Power PEMFC
0	30.9	0.5	15.45
25	29	1.7	49.3
50	27.7	2.8	77.56
75	26.6	3.9	103.74
100	25.3	5.5	139.15
125	23.9	7.1	169.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์

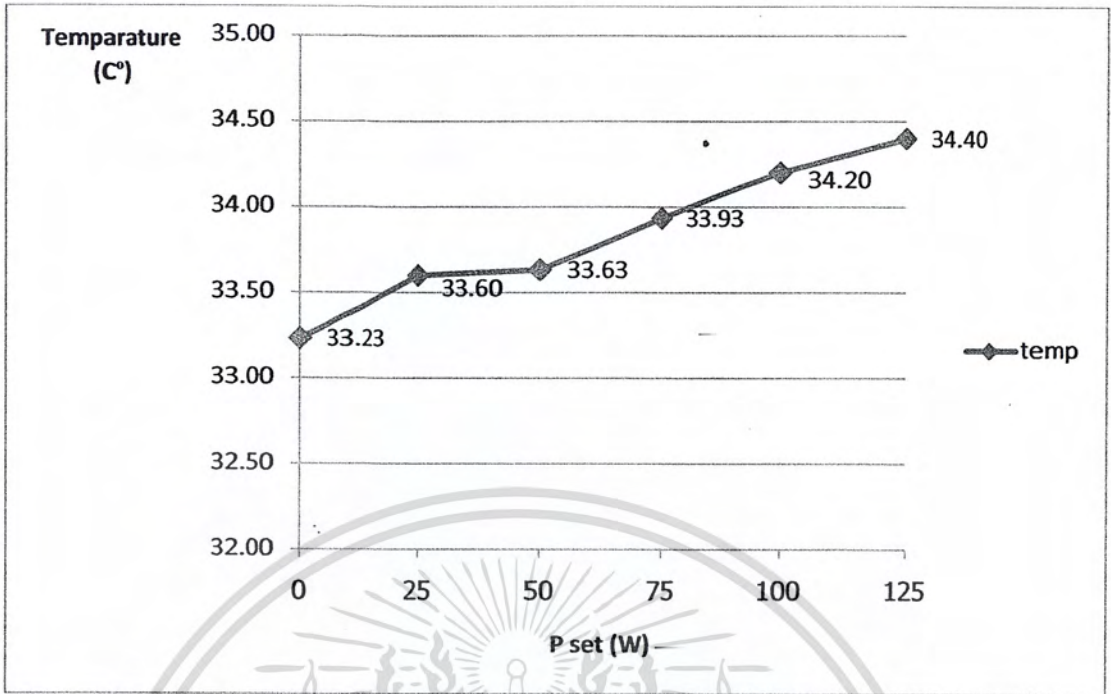
เชื้อเพลิง

ตอนที่ 2 ทดสอบกับโพลีเอทิลีนทอริกซ์ที่ความดัน 0.4 bar

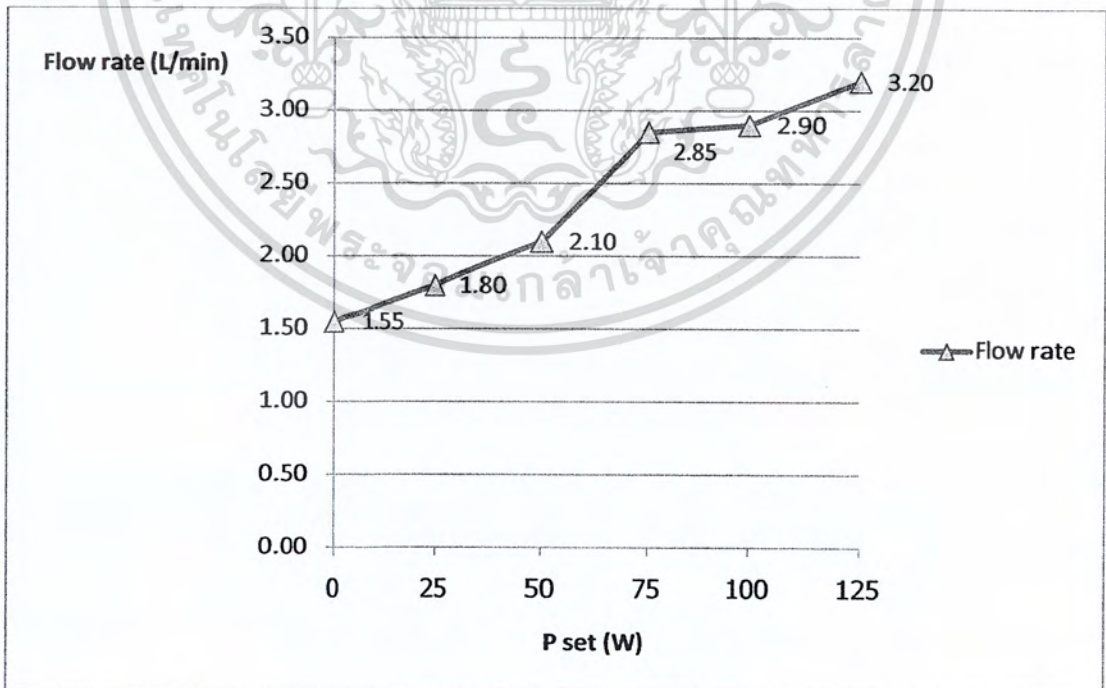
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen

P set (W)	Temperature (C°)	Flow rate (L/min)
0	28.60	1.55
25	29.06	1.80
50	30.86	2.10
75	31.64	2.85
100	31.71	2.90
125	32.74	3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์



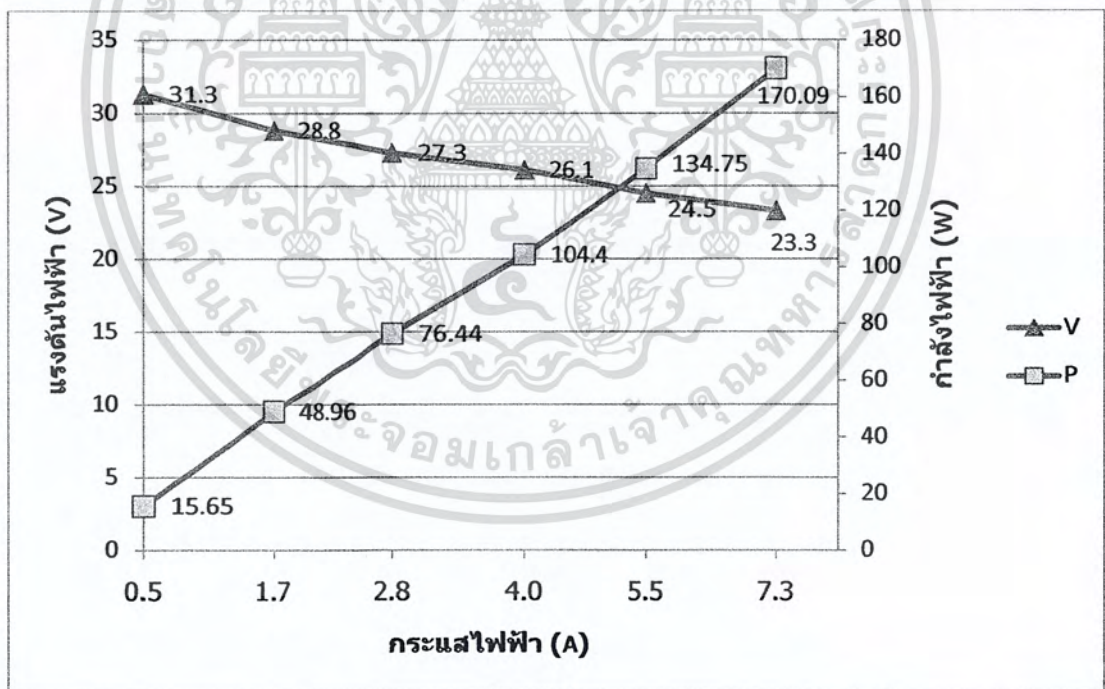
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโหลดอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า

P set (W)	Voltage PEMFC (V)	Current PEMFC (A)	Power PEMFC
0	31.3	0.5	15.65
25	28.8	1.7	48.96
50	27.3	2.8	76.44
75	26.1	4.0	104.4
100	24.5	5.5	134.75
125	23.3	7.3	170.09

ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง



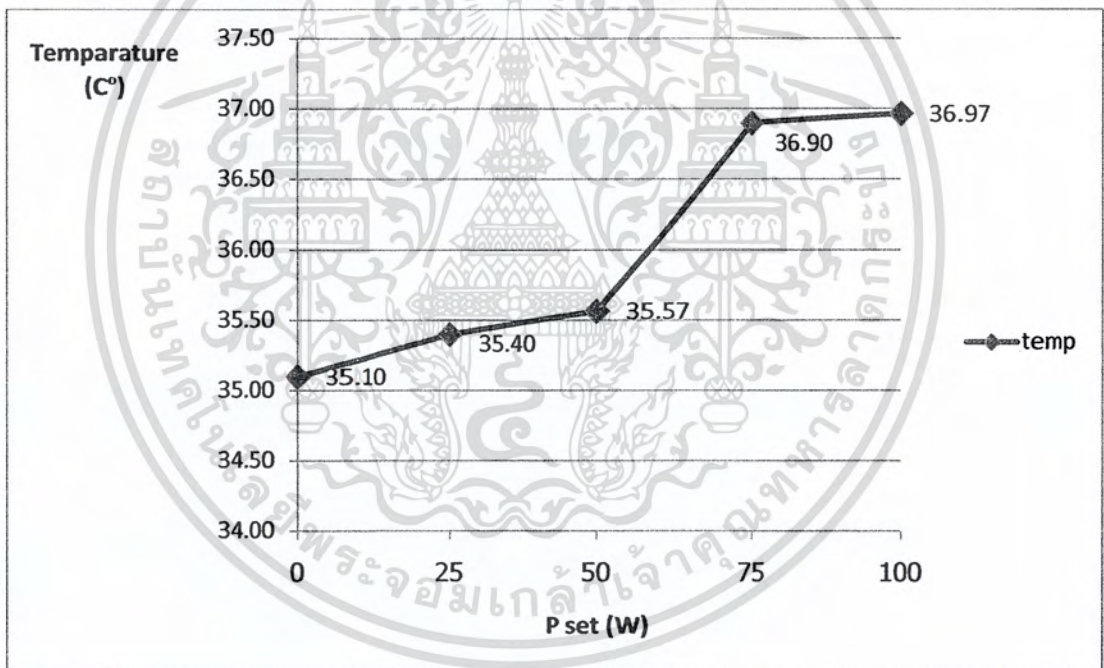
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ทดสอบกับโพลดิอิเล็กทริกส์ที่ความดัน 0.5 bar

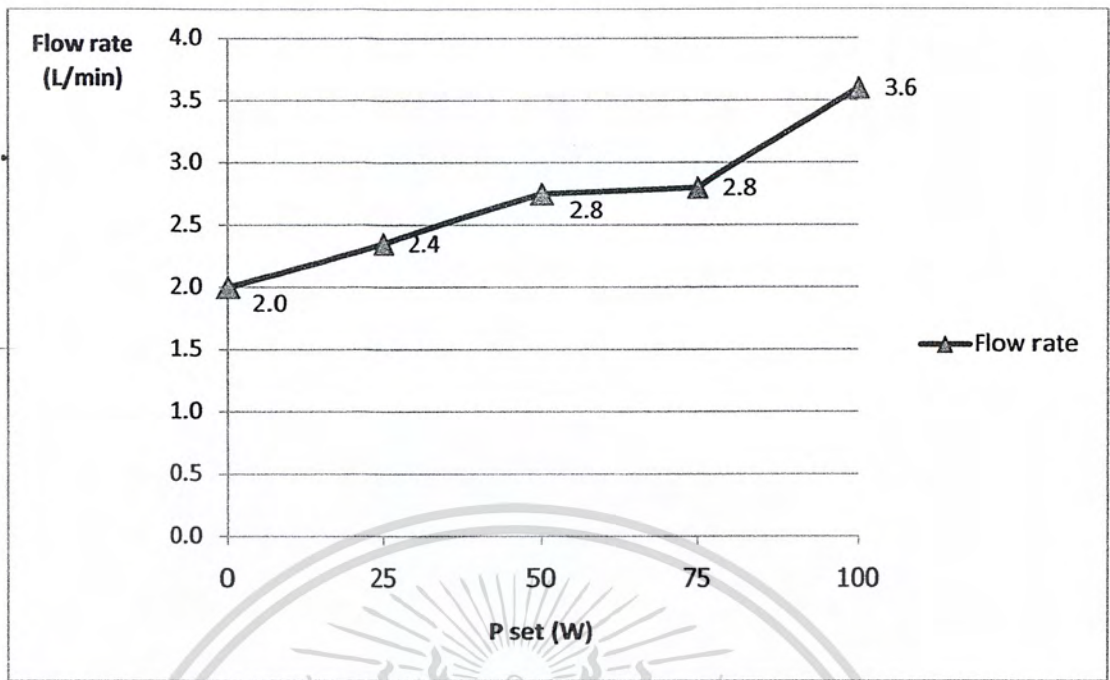
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและอัตราการไหลของ Hydrogen

P set (W)	Temperature (C°)	Flow rate (L/min)
0	35.10	2.0
25	35.40	2.4
50	35.57	2.8
75	36.90	2.8
100	36.97	3.6

ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงกับโพลดิอิเล็กทริกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

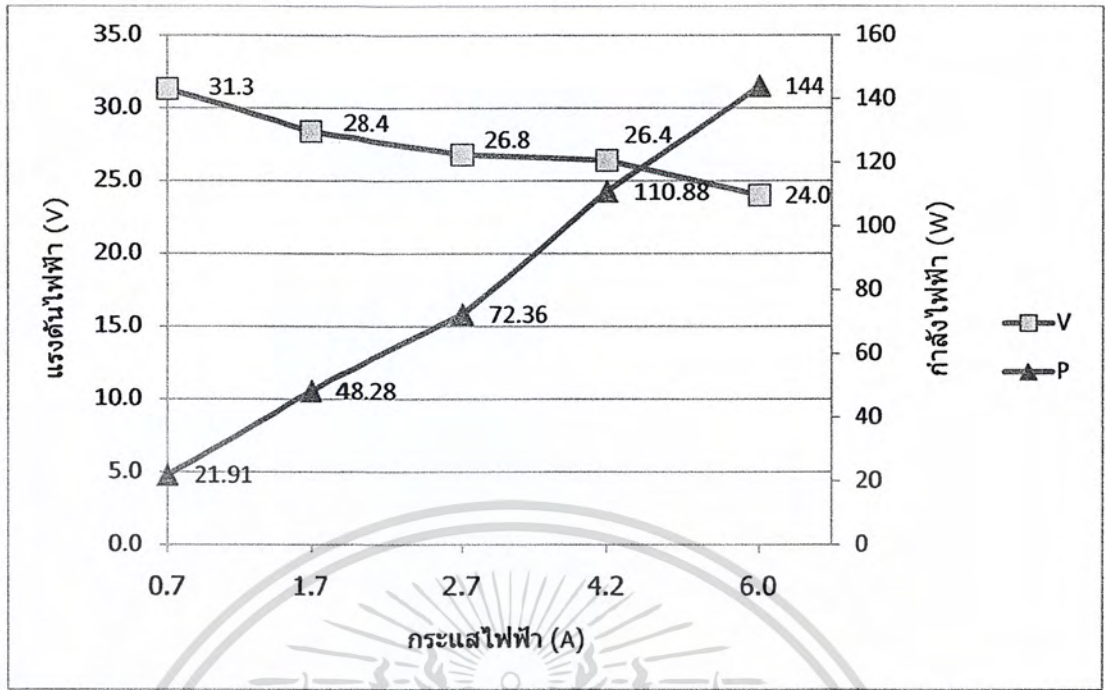


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อัตราการไหลของ Hydrogen กับโหลดอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้า

P set (W)	Voltage PEMFC (V)	Current PEMFC (A)	Power PEMFC
0	31.3	0.7	21.91
25	28.4	1.7	48.28
50	26.8	2.7	72.36
75	26.4	4.2	110.88
100	24.0	6.0	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์
เชื้อเพลิง

สรุปผลการทดลอง

จากกราฟทำให้ทราบว่า อุณหภูมิและอัตราการไหลของ Hydrogen จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของโหลด (Load on Demand) ที่เซลล์เชื้อเพลิงกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้า แต่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงตามกำลังไฟฟ้าจนถึงประมาณ 23 V ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเซลล์ การเพิ่มแรงดัน Hydrogen จะมีผลทำให้อุณหภูมิ อัตราการไหลของ Hydrogen เพิ่มขึ้นตาม

ตอนที่ 4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ

$$\text{สูตรการคำนวณหาประสิทธิภาพ} = \frac{\text{Power Output}}{\text{Power input}} \times 100$$

การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าของ Hydrogen หาได้จากอัตราการถ่ายโอนพลังงานของ Hydrogen
(1 Kw = 15 L/min) คูณกับอัตราการไหลของ Hydrogen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ที่ความดัน 0.3 bar

กำลังไฟฟ้าของโหลด(W)	กำลังไฟฟ้าของ Hydrogen(W)	ประสิทธิภาพของระบบ(%)
0	86.67	0
25	103.33	24.19
50	130.00	38.46
75	140.00	53.57
100	186.67	53.57
125	193.33	64.65

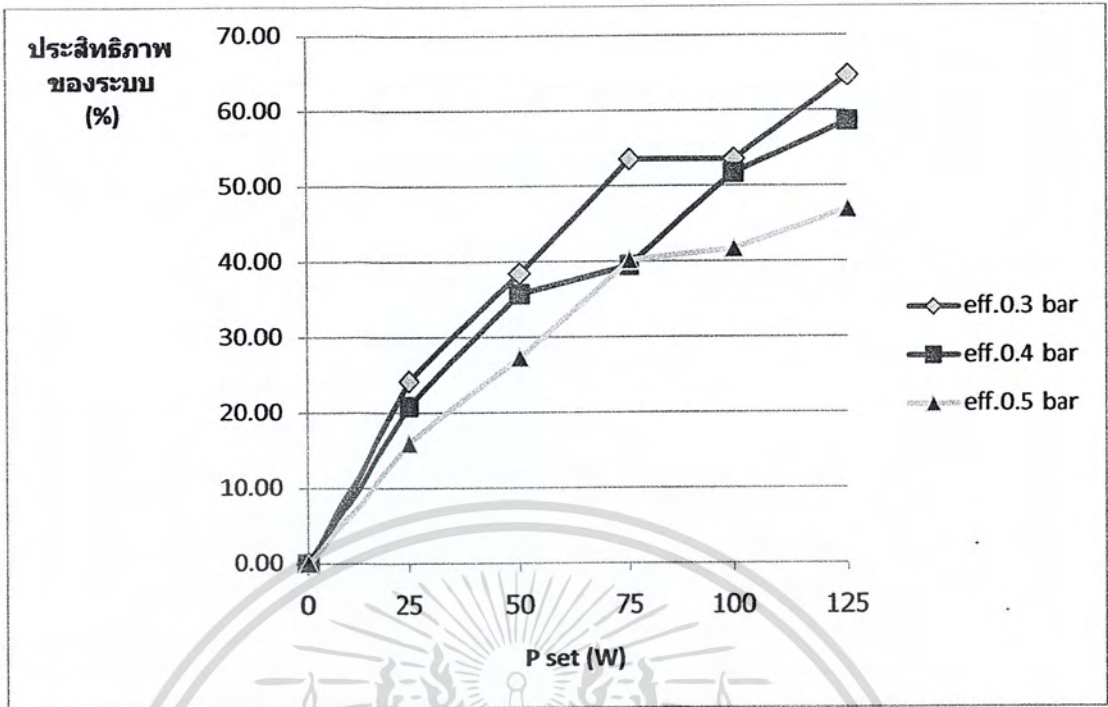
ตารางที่ 4.8 ที่ความดัน 0.4 bar

กำลังไฟฟ้าของโหลด(W)	กำลังไฟฟ้าของ Hydrogen(W)	ประสิทธิภาพของระบบ(%)
0	103.33	0
25	120.00	20.83
50	140.00	35.71
75	190.00	39.47
100	193.33	51.72
125	213.33	58.59

ตารางที่ 4.9 ที่ความดัน 0.5 bar

กำลังไฟฟ้าของโหลด(W)	กำลังไฟฟ้าของ Hydrogen(W)	ประสิทธิภาพของระบบ(%)
0	133.33	0
25	156.67	15.95
50	183.33	27.27
75	186.67	40.17
100	240.00	41.67
125	266.67	46.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ ประสิทธิภาพของระบบที่แรงดัน 0.3 bar, 0.4 bar และ 0.5 bar กับโหลดอิเล็กทรอนิกส์

สรุปผลการทดลอง

จากกราฟประสิทธิภาพของระบบ

ที่แรงดันแก๊สไฮโดรเจน 0.3 bar มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 53.57 %

ที่แรงดันแก๊สไฮโดรเจน 0.4 bar มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 51.72 %

ที่แรงดันแก๊สไฮโดรเจน 0.5 bar มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 41.67 %

ทราบว่าที่แรง 0.3 bar มีประสิทธิภาพดีที่สุด และเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตาม โหลดเป็นคุณสมบัติของ Hydrogen คือ Load on demand

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การดำเนินงานเรื่องการประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอน ได้มีการดำเนินงานตามขอบเขตและและข้อกำหนดของงานวิจัย โดยส่วนที่ได้จัดทำไปแล้วคือ

1. ออกแบบและสร้างกล่องใส่เซลล์เชื้อเพลิง โดยออกแบบตั้งแต่กล่องโครงสร้างต่างๆ จนถึงการจัดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงเข้ากับตัวยึด โดยเน้นความปลอดภัยเป็นหลัก

2. การออกแบบระบบวงจรควบคุมเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ วงจร Buck DC-DC Converter เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ ให้แก่ระบบควบคุมเพื่อจ่ายไฟสู่ภายนอก และออกแบบวงจร Microcontroller เพื่อใช้ในการควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงให้มีการทำงานแบบอัตโนมัติ คือการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สของเซลล์เชื้อเพลิง การเพิ่มอัตราความเร็วของพัดลมเมื่อมีการจ่ายกระแสไหลเพิ่มขึ้น การออกแบบระบบป้องกันเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ การตรวจจับไฮโดรเจน รั่วไหล และการตัดระบบเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่กำหนด

3. ได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงนี้ คือเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายโหลดมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์จะตกลง อุณหภูมิและอัตราการไหลของไฮโดรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นตามโหลดที่มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม โดยแรงดันไฟฟ้าจะตกลงไปไม่ต่ำกว่า 0.6 โวลต์ต่อเซลล์ และอุณหภูมิเฉลี่ยของเซลล์จะต้องไม่เกิน 55 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเกิดความเสียหาย สร้างจร Buck Converter ขึ้นมาเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกให้คงที่ เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้ามียุติสภาพเซลล์เชื้อเพลิงเป็นนวัตกรรม ทำงานโดยการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ไม่เกิดการเผาไหม้จึงไม่สร้างมลภาวะขึ้น จากการทดลองประสิทธิภาพเฉลี่ยของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 33.5 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพเฉลี่ยของ Buck Converter มีค่าเท่ากับ 87.63 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพรวมทั้งระบบเท่ากับ 25.5 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรจะมีการออกแบบระบบควบคุมความชื้นเพราะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สิ่งที่ต้องดำเนินงานต่อ

1. ออกแบบระบบควบคุมปริมาณความชื้น
2. พัฒนาเซลล์ให้สามารถใช้ในทางด้านอุตสาหกรรม เช่น นำไปขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม dsPIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<p30f2010.h>                                #define SW          PORTEbits.RE5
                                                    //Switch
#include<math.h>
                                                    #define HLEAK      PORTCbits.RC13
                                                    //H2 Detector
#include<float.h>
                                                    #define TEMP1      PORTCbits.RC14
                                                    //Thermister1
_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL4);
                                                    #define TEMP2      PORTDbits.RD0
_FWDT(WDT_ON & WDTPSA_512 &                      //Thermister2
WDTPSB_2);
                                                    #define TEMP3      PORTDbits.RD1
                                                    //Thermister3
_FBORPOR(PBOR_ON & BORV_27 &
PWMxH_ACT_LO & PWMxL_ACT_LO &
RST_PWMPIN & PWRT_16 & MCLR_EN);
                                                    #define Led_H2LEAK LATEbits.LATE2
                                                    //LED H2 Leak
_FGS(CODE_PROT_OFF & GWRP_OFF);
                                                    #define Led_TEMP   LATEbits.LATE3
                                                    //LED High Temperator
unsigned char strt_PURGE=0;
                                                    #define H2_IN      LATEbits.LATE1
                                                    //H2 In
float I_IP=0,V_IP=0;
                                                    #define PURGE      LATEbits.LATE4
unsigned long int IIP_sum=0,VIP_sum=0;
                                                    //H2 Purge Out
unsigned int IIP_cnt=0,VIP_cnt=0;
                                                    #define BATT       LATEbits.LATE8
                                                    //Battery
#define      nop()  asm("nop")
#define clwdt() asm("clwdt")
#define reset()   asm("reset")
                                                    #define PWM_ref    4600
                                                    #define OUT_max    4600

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define      OUT_min          400          TRISEbits.TRISE2 = 0;

#define IIP_max              7            TRISEbits.TRISE1 = 0;

#define VIP_min              28          TRISEbits.TRISE3 = 0;

#define IOP_max              4.5         TRISEbits.TRISE4 = 0;

#define IIP_offset           752         TRISEbits.TRISE5 = 1;

#define K_iip                 0.03321    TRISEbits.TRISE8 = 0;

#define K_vip                 0.064

void Initial_Set()
{
//-----I/O definitions-----
//-----Enable interrupt-----
//---Logic I/P---
TRISBbits.TRISB0 = 1;          SR =0;
TRISBbits.TRISB1 = 1;          SRbits.IPL=0;
TRISBbits.TRISB2 = 1;          CORCON = 0x08F6;
TRISCbits.TRISC13 = 1;        CORCONbits.RND =1;
TRISCbits.TRISC14 = 1;        CORCONbits.IPL3 = 0;
TRISDbits.TRISD0 = 1;         INTCON1bits.NSTDIS = 0;
TRISDbits.TRISD1 = 1;         INTCON2bits.ALTVT=0;

//---Logic O/P---
//-----
//-----//
TRISEbits.TRISE0 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **config ไม่ ADC 10 bit** ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADCON1 = 0x0006; //-----
ADPCFG = 0xFFFC; -----//
ADCHS = 0x0000; // config Timer 2 for calculation function
time base
ADCSSL = 0x0003; IEC0bits.T2IE = 0;
ADCON3 = 0x010A; T2CON = 0;
IPC2bits.ADIP = 6; TMR2 = 0;
ADCON2 = 0x0000; IPC1bits.T2IP = 4;
IEC0bits.ADIE = 1; IFS1bits.INT2IF = 0;
ADCON1bits.ADON = 1; // Turn on ADC PR2 = 20000;
//-----// T2CON = 0;
//config Timer 1 for ADC system time base IEC0bits.T2IE = 1;
IEC0bits.T1IE = 0; T2CON = 0x8000; // Start timer2
T1CON = 0; //-----//
TMR1 = 0; //config PWM for fan speed control and
IPC0bits.T1IP = 7; Ultrasonic
IFS0bits.T1IF = 0; PTCON = 0x8000;
PR1 = 4000; IEC2bits.PWMIE = 0;
T1CON = 0; IPC9bits.PWMIP = 5;
IEC0bits.T1IE = 1; IFS2bits.PWMIF = 0;
T1CON = 0x8000; // Start timer1 PTMR = 2500;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PTPER = 1250;
SEVTCMP = 0;
PWMCON1 = 0x0100;
PWMCON2 = 0x0002;
DTCON1 = 0;
FLTACON = 0;
OVDCON = 0x0100;

void Calc_Fnc()
{
//-----ADC Params-----
//-----//
extern float I_IP,V_IP;
extern unsigned long int IIP_sum,VIP_sum;
extern unsigned int IIP_cnt,VIP_cnt;
extern unsigned char iip_RDY,vip_RDY;

static unsigned char CALC_cnt=1;

switch (CALC_cnt)
{
case 1:
if(iip_RDY==1)
{
I_IP =
(IIP_sum/IIP_cnt)*K_iip;
iip_RDY=0;
}
break;
case 2:
if(vip_RDY==1)
{
V_IP =
(VIP_sum/VIP_cnt)*K_vip;
vip_RDY=0;
}
CALC_cnt=0;
break;
default:
CALC_cnt=0;
}
CALC_cnt++;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(SW==1)
PURGE=1;
void _ISR_T1Interrupt(void) // time else
base system counter 10 us Purge_Fnc();
{
return;
IFS0bits.T1IF = 0;
}
if(ADCHS<0 || ADCHS>1)
void _ISR_ADCInterrupt(void) //
10 us
{
ADCHS=2;
ADCHS--;
ADCON1bits.SAMP = 1;
extern unsigned long int
IIP_sum,VIP_sum;
while(!ADCON1bits.SAMP);
extern unsigned int IIP_cnt,VIP_cnt;
ADCON1bits.SAMP = 0;
extern unsigned char iip_RDY,vip_RDY;
return;
static unsigned long int ADC_sum[7];
}
static signed int ADC_value[7];
static unsigned int ADC_cnt[7];
IFS0bits.ADIF = 0;
void _ISR_T2Interrupt(void)
ADC_value[ADCHS] = 0x03FF &
// 1 ms ADCBUF0;
{
switch(ADCHS)
{
IFS0bits.T2IF = 0;
{
case 0: // I input

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ADC_value[ADCHS] -= VIP_cnt =
IIP_offset;                ADC_cnt[ADCHS];

        if(ADC_cnt[ADCHS]>=100)
        {
            ADC_sum[ADCHS] = 0;
            IIP_sum =
ADC_sum[ADCHS];            ADC_cnt[ADCHS] = 0;
            IIP_cnt =
ADC_cnt[ADCHS];        }
            iip_RDY=1;        break;
        ADC_sum[ADCHS] = 0;    }
        ADC_cnt[ADCHS] = 0;    ADC_sum[ADCHS] +=
                                ADC_value[ADCHS];
                                ADC_cnt[ADCHS]++;
        }
        return;
    break;
    case 1: // V input

```

```

                                void _ISR_PWMInterrupt(void)
                                {
                                IFS2bits.PWMIF = 0;
                                VIP_sum =
                                return;
                                }
        ADC_sum[ADCHS];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (I_IP < 2.5)
PDC1=890;

void Fan_Ctrl()
{
extern float I_IP,V_IP;
extern unsigned long int
IIP_sum,VIP_sum;
extern unsigned int IIP_cnt,VIP_cnt;
extern unsigned char iip_RDY,vip_RDY;
if(I_IP < 1)
PDC1= 1250;
else if (I_IP < 1.25)
PDC1=1190;
else if (I_IP < 1.5)
PDC1=1130;
else if (I_IP < 1.75)
PDC1=1070;
else if (I_IP < 2)
PDC1=1010;
else if (I_IP < 2.25)
else if (I_IP < 2.5)
PDC1=890;
else if (I_IP < 2.75)
PDC1=830;
else if (I_IP < 3)
PDC1=770;
else if (I_IP < 3.25)
PDC1=710;
else if (I_IP < 3.5)
PDC1=650;
else if (I_IP < 3.75)
PDC1=590;
else if (I_IP < 4)
PDC1=530;
else if (I_IP < 4.25)
PDC1=470;
else if (I_IP < 4.5)
PDC1=410;
else if (I_IP < 4.75)
PDC1=350;
else if (I_IP < 5)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสาร PDC1=950; สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PDC1=260;
else if (I_IP< 5.5)
        PDC1=200;
else
        PDC1=100;
}
void Purge_Fnc()
{
    static unsigned long int PURGE_cnt=0;
    static unsigned char purge_PER=0;
    if(strt_PURGE==1)
    {
        if(purge_PER==0)
        {
            if(PURGE_cnt==0)
            {
                purge_PER = 1;
                PURGE = 1;
                PURGE_cnt = 300;
            }
        }
        else
        {
            PURGE=0;
            if(PURGE_cnt==0)
            {
                PURGE_cnt--;
            }
        }
    }
}
int main(void)
{
    static unsigned long int
    VBATT_cnt=0,VINLO_cnt=0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

static unsigned int
TEMP_cnt=0,HLEAK_cnt=0;

Initial_Set();

Fan_Ctrl();

Led_H2LEAK =0;

Led_TEMP =0;

BATT =0;

H2_IN =0;

PURGE =0;

PDC1 =1250;
//Set Fan Speed 50% 1250

PWMCON1bits.PEN1L=1;

Loop:
while(SW)
{
    BATT=1;

    Calc_Fnc();

    Fan_Ctrl();

    clrwdt();

    if(TEMP1==1 || TEMP2==1 || TEMP3==1 ||
    HLEAK==1)

        if(HLEAK_cnt<=10)

            if(TEMP1==1 || TEMP2==1 || TEMP3==1)

                {

                    Led_TEMP=1;

                    H2_IN=0;

                }

            else

                {

                    TEMP_cnt=0;

                    Led_TEMP=0;

                }

            }

        }

    }

    if(HLEAK==1)

        {

            if(HLEAK_cnt<=10)

                {

                    Led_TEMP=1;

                    H2_IN=0;

                }

            else

                {

                    TEMP_cnt=0;

                    Led_TEMP=0;

                }

            }

        }

    }

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
HLEAK_cnt++;
else
{
    Calc_Fnc();
    Fan_Ctrl();
    clrwdt();
    H2_IN=0;
    if(TEMP1==1 || TEMP2==1 ||
    TEMP3==1 || HLEAK==1)
    PWMCON1bits.PEN1L=0;
    if(TEMP1==1 ||
    TEMP2==1 || TEMP3==1)
    else
    {
        HLEAK_cnt=0;
        Led_H2LEAK=0;
        if(TEMP_cnt<=10)
        TEMP_cnt++;
    }
}
else
{
    Led_TEMP=1;
    H2_IN=1;
    H2_IN=0;
    strt_PURGE=1;
    strt_PURGE=0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
else
{
    HLEAK_cnt=0;
    TEMP_cnt=0;
    Led_TEMP=0;
    Led_H2LEAK=0;
}
}
if(HLEAK==1)
{
    if(HLEAK_cnt<=10)
    HLEAK_cnt++;
    else
    {
        Led_H2LEAK=0;
        Led_TEMP=0;
        strt_PURGE=1;
        PWMCON1bits.PEN1L=1;
        if(V_IP>30.0)
        {
            Led_H2LEAK=1;
            H2_IN=0;
            if(VBATT_cnt<=454500)
            strt_PURGE=0;
            VBATT_cnt++;
        }
        else
        PWMCON1bits.PEN1L=0;
    }
}
    BATT=0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    else

        VBATT_cnt=0;

    }

}

while(SW)

{

    clrwdt();

    H2_IN=0;

    PURGE=0;

    strt_PURGE=0;

    Led_TEMP=0;

    Led_H2LEAK=0;

    PWMCON1bits.PEN1L=0;

    BATT=0;

}

goto Loop;

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

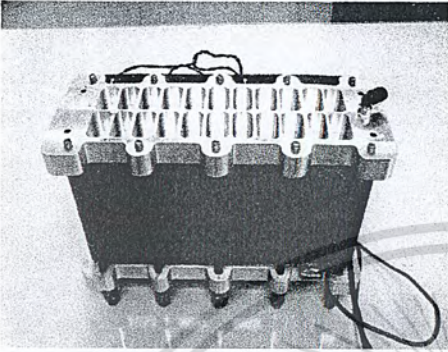
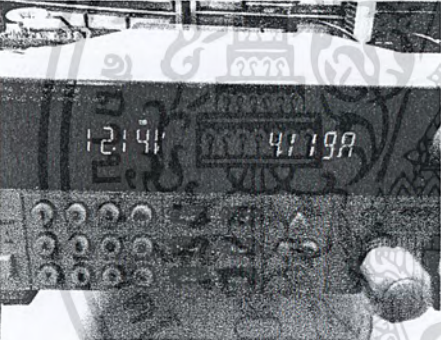
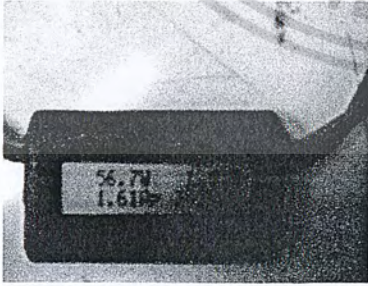
ภาคผนวก ข



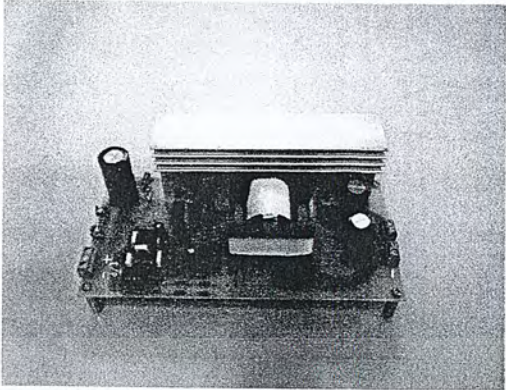
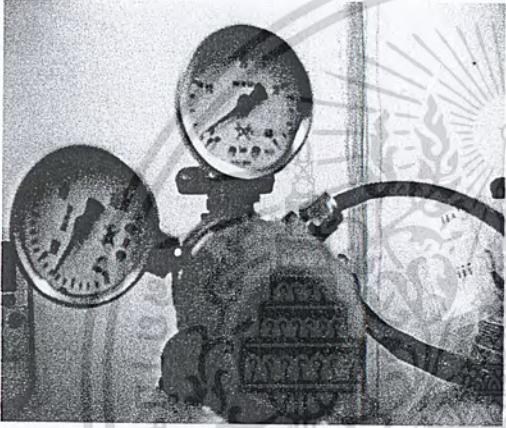

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

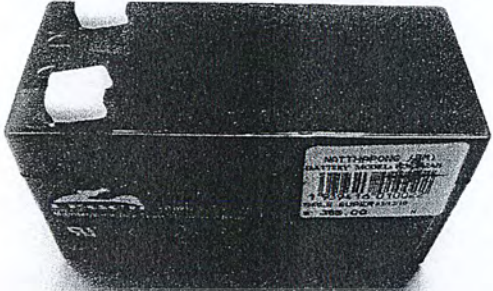
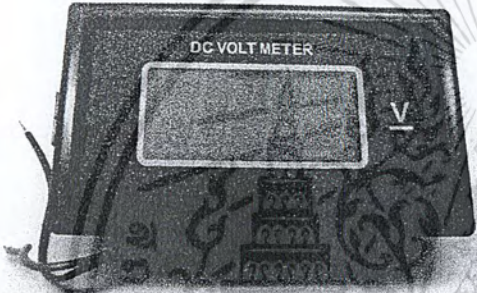
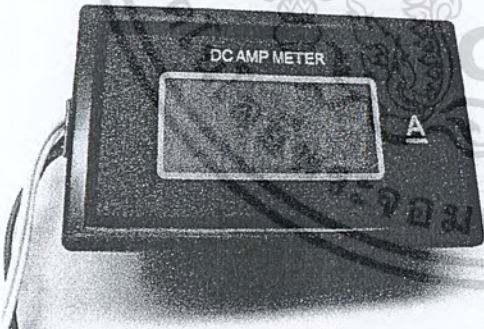
ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติและทดสอบ

รูปถ่าย	รายละเอียด
	PEMFC ขนาด 200 W 36 V 39 CELLS
	ELECTRONIC LOAD ขนาด 300 W
	Doc Wattson Meter


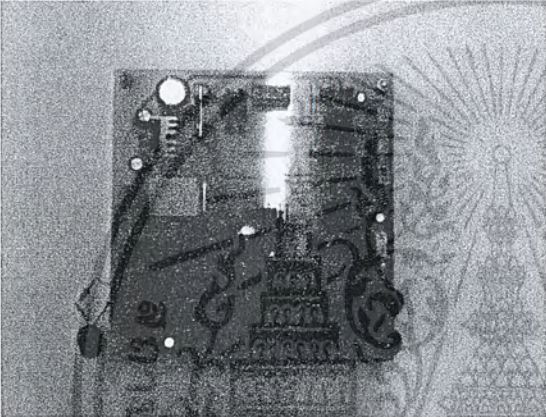

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>BUCK CONVERTER ขนาด 180 W INPUT : 12 – 36 V OUTPUT : 12 V</p>
	<p>วาล์วปรับแรงดัน</p>
	<p>SOLENOID VALVE</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>sealed rechargeable (12 V 1.3AH/20HR)</p>
	<p>DIGITAL VOLT METER</p>
	<p>DIGITAL AMP METER</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>เครื่องวัดอัตราการไหลของไฮโดรเจน (L/min)</p>
	<p>วงจรคอนโทรล</p>
	<p>THERMOMETER</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีรเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics, พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี เจ พรินติ้ง.2548
- [2] ภาณุวัฒน์ อินทร์จันทร์, ศิริพงษ์ กิจวัตร์, สุรสิทธิ์ ลอไชย, "การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM (Development Of Electric Generator-Using PEMFC)" ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [3] Mohan , Undeland and Robins, Power Electronic .New York .John Wiley and Son. Inc.2nd Edition.1995
- [4] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, Power Electronic converter Applicationand Design, John Wiley & Sons, Inc., 1989
- [5] Donald P. Leach. 1992. Discrete and Integrated Circuit Electronics. Santa Clara University.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย กฤษ ยวงโย เกิดวันที่ 29 กันยายน พ.ศ.2531
ที่อยู่ 298 ม.9 ต.ยู่หว่า อ.สันป่าดอง จ.เชียงใหม่ 50120
โทรศัพท์ 085-8667735 อีเมลล์ kt.youngyai@gmail.com
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายกิตติคุณ เกียรติวินัยสกุล เกิดวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ.2531
ที่อยู่ 367 ม.5 ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000
โทรศัพท์ 085-0289913 อีเมลล์ kittikhun.k104@gmail.com
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายคชาวุฒิ รักโนนสูง เกิดวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2532
ที่อยู่ 203 หมู่ 8 ต.บ้านโลก อ.หนองนาคำ จ.ขอนแก่น 40150
โทรศัพท์ 087-2284300 อีเมลล์ ruknonsung@hotmail.com
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้