

ระบบรวบรวมข้อมูลและควบคุมสำหรับหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม



นาย ราชวัลลภ แจ่มมงคล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DATA ACQUISITION AND CONTROL SYSTEM FOR  
A PEM FUEL CELL STACK**

Mr. Rachavanlop Chanmonkon

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2550

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์      ระบบรวบรวมข้อมูลและควบคุมสำหรับหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็่ม  
โดย                              นาย ราชวัลลภ แจ่มมงคล  
สาขาวิชา                      เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

รองคณบดีฝ่ายบริหารรักษาราชการแทน  
.....  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ )

..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. เกื้อวลี พฤษภาทร )

..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุด )

ราชบัณฑิตยสถาน : ระบบรวบรวมข้อมูลและควบคุมสำหรับหน่วยเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (DATA ACQUISITION AND CONTROL SYSTEM FOR A PEM FUEL CELL STACK)

อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 99 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการวัดเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อรวบรวมและบันทึกค่าปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานและสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงผ่านโปรแกรม LabVIEW® ตัวแปรที่ทำการวัดค่าและเก็บบันทึกคือ อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ความดันลด อัตราการไหลของแก๊ส กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า การบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกเป็นไฟล์ excel หรือรูปภาพตามความต้องการของผู้ใช้งาน การควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงทำได้โดยการปรับอัตราการไหลของแก๊ส ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สหรือการกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าผ่านเครื่อง Electronic load อุปกรณ์ทั้งสองประเภทจะติดต่อสื่อสารและส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมโดยผ่านช่องสัญญาณ RS232 ข้างเซลล์เชื้อเพลิงมีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อน การทำงานของพัดลมระบายความร้อนเป็นระบบเปิด-ปิด ควบคุมการทำงานโดยโปรแกรม LabVIEW® ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... เคมีเทคนิค ..... ตายมือชื่อนิสิต ..... วรวิมล วัฒนกุล .....  
 ภาควิชา ..... เคมีเทคนิค ..... ตายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... วรวิมล วัฒนกุล .....  
 ปีการศึกษา ..... 2550

## 4872440123 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : PEMFC / FUEL CELL /data acquisition

RACHAVANLOP HANMONKON: DATA ACQUISITION AND CONTROL SYSTEM FOR A PEM FUEL CELL STACK. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. PORNPOTE PIUMSOMBOON, 98 pp.

This study is to develop a data acquisition and control system for a PEM fuel cell stack. The system is acquiring and recording important variables during the operation of the fuel cell. The system also provides tools for controlling the connecting equipment via LabVIEW<sup>®</sup> program. The measured and recorded variables are temperature, humidity, pressure, pressure drop, flow rate, current and voltage. The acquired data can be recorded in various forms such as excel-type file, in picture-type file etc. To control the fuel cell, users can adjust mass flow controllers or set the desired value of current or voltage via the computer. The communication and transfer data between instrument and computer was conducted by using RS-232 ports. To remove the excess heat from the reaction, the electric fan was installed. An on-off controller type was used and LabVIEW<sup>®</sup> was the tool for implementation.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ....Chemical Technology ..... Student's signature *Rachavanlop Chanmonkon*

Field of study...Chemical Technology..... Advisor's signature *Pornpote Piumsomboon*

Academic year ..... 2007 .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ ถ้าหากขาดความช่วยเหลืออันดียิ่งของ  
รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้มอบ  
คำแนะนำในทุกๆ ด้าน ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ด้วยดี  
ตลอดมา

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชา  
เคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิง, ศูนย์ปิโตรเลียมและ  
เทคโนโลยีปิโตรเคมี ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือตลอดเวลาที่ทำงานวิจัย  
สุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดจนมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฉ

## บทที่

1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
2. เซลล์เชื้อเพลิง .....	4
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบพีอีเอ็ม .....	4
2.2 การต่ออนุกรมของเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้แผ่น bipolar plate .....	6
2.3 อัตราการป้อนแก๊ส .....	7
2.4 ระบบผันกลับไม่ได้ของเซลล์เชื้อเพลิง .....	7
2.5 โพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี .....	9
2.6 โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า .....	9
2.7 โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล .....	10
2.8 กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง .....	11
2.9 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง .....	12
2.9.1 อิทธิพลของน้ำที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง .....	12
2.9.2 อิทธิพลของความดันแก๊สที่ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง .....	13
2.9.3 อิทธิพลของอุณหภูมิการทำงาน of เซลล์เชื้อเพลิง .....	14
2.9.4 อิทธิพลของความดันลดต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง .....	14

บทที่	หน้า
3. อุปกรณ์วัดและระบบควบคุม .....	15
3.1 อุปกรณ์ในงานวัดค่า .....	16
3.1.1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน .....	16
3.1.2 อุปกรณ์เสริม .....	17
3.2 ค่าความผิดพลาดและไม่แน่นอนของการทำงาน .....	17
3.2.1 ชนิดของความผิดพลาด .....	17
3.2.2 ชนิดของความไม่แน่นอน .....	18
3.3 ตัวแปรสถิติในการปฏิบัติงาน .....	19
3.3.1 ความถูกต้อง .....	19
3.3.2 ความแม่นยำ .....	20
3.3.3 ความละเอียด .....	21
3.3.4 จี๊ดเริ่มเปลี่ยน .....	22
3.3.5 ความไวเชิงสถิติ .....	22
3.3.6 ความเป็นเชิงเส้น .....	23
3.3.7 ฮิสเตอร์รีซิสและความสามารถในการผลิตซ้ำ .....	23
3.3.8 เดคเบนค์ .....	24
3.3.9 แบคเลข .....	24
3.3.10 ครีฟต์ .....	24
3.4 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์ .....	25
3.5 หลักการปรับสภาพแบบแอนาล็อก .....	27
3.5.1 การเปลี่ยนระดับสัญญาณ .....	27
3.5.2 การทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น .....	27
3.5.3 การแปลงสัญญาณ .....	27
3.5.4 การกรองและการสมดุลของอิมพีแดนซ์ .....	28
3.6 การขยายสัญญาณ .....	28
3.6.1 คุณสมบัติของออปแอมป์ .....	28
3.6.2 การขยายสัญญาณแบบกลับขั้ว .....	29
3.7 แนวคิดเชิงระบบ .....	30
3.8 การควบคุมระบบป้อนกลับ .....	31
3.9 ความไว .....	33



บทที่	หน้า
3.10 ชนิดของระบบควบคุมพื้นฐาน .....	35
3.10.1 เครื่องควบคุมแบบสองตำแหน่งหรือตัวควบคุม แบบเปิด-ปิด .....	35
3.10.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน .....	36
3.10.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล .....	37
3.10.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ .....	39
3.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	39
4. วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	41
4.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย .....	41
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย .....	41
4.2.1 เซลล์เชื้อเพลิง .....	41
4.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์ และส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ .....	42
4.2.2.1 DAQcard PCI 6014 .....	42
4.2.2.2 Ni 9211 .....	42
4.2.2.3 SCC CI20 .....	43
4.2.2.4 SCC 68 .....	43
4.2.2.5 SCC RLY01 .....	44
4.2.3 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดค่าที่เกิดขึ้นภายในระบบ .....	44
4.2.3.1 อุปกรณ์วัดความชื้น .....	44
4.2.3.2 อุปกรณ์วัดความดัน .....	45
4.2.3.3 อุปกรณ์วัดความดันลด .....	45
4.2.3.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส .....	46
4.2.3.5 Electronic Load .....	47
4.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	47
4.3.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง .....	47
4.3.2 ขั้นตอนหลังการทดลอง .....	48
5. ผลการทดลองและอภิปรายผล .....	49
5.1 การเลือกชนิดอุปกรณ์ตรวจวัด .....	53
5.2 โปรแกรม LabIEW® .....	53

บทที่	หน้า
5.2.1 ส่วนการวัดและแสดงผล .....	56
5.2.2 ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหล ของแก๊ส และ electronic load .....	58
5.2.3 ส่วนบันทึกผล .....	65
5.3 ลักษณะการทำงานในส่วนต่างๆของโปรแกรม .....	66
5.3.1 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวัด แสดงผลและบันทึกข้อมูล .....	66
5.3.2 การทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่ .....	73
5.3.3 การทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลคงที่ .....	78
5.3.4 การทำงานรูปแบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง .....	82
5.4 การระบายความร้อน .....	85
6. สรุปผลการทดลอง .....	88
เอกสารอ้างอิง .....	89
ภาคผนวก .....	90
ภาคผนวก ก. ....	91
ภาคผนวก ข. ....	92
ภาคผนวก ค. ....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	99

## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 3.1 ชนิดทรานซิสเตอร์.....	26
ตาราง 5.1 คำสั่งพื้นฐานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส.....	64
ตาราง 5.2 คำสั่งพื้นฐานของเครื่อง electronic load .....	64
ตาราง ก. 1 หมายเลขช่องสัญญาณที่ต่อกับอุปกรณ์วัด .....	91



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
2.1	การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวีเอ็ม ..... 5
2.2	ชั้นเซลล์เชื้อเพลิง ( fuel cell stack ) ..... 6
2.3	แผ่นสองขั้ว (bipolar plate ) ..... 6
2.4	กราฟโพลารไรเซชัน ..... 8
2.5	กราฟโพลารไรเซชันที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 14
3.1	ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม ..... 16
3.2	วิธีการของความถูกต้องและความแม่นยำในการยิงเป้า ..... 20
3.3	ความไวเชิงเส้นของเครื่องมือวัดแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น ..... 23
3.4	ตัวอย่างเส้นโค้งเอาต์พุต-อินพุตที่แสดงผลค่าฮิสเตอร์รีซิส ..... 24
3.5	ผลของครีฟต์ศูนย์และครีฟต์ความไวต่อคุณสมบัติของเครื่องมือวัด ..... 25
3.6	ลักษณะของออปแอมป์ ..... 28
3.7	คุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ ..... 29
3.8	การขยายแบบกลับขั้วโดยใช้ออปแอมป์ ..... 29
3.9	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม ..... 31
3.10	แผนภาพบล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมแบบปิด ..... 32
3.11	แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณผิดพลาด ..... 32
3.12	ตัวควบคุมสองตำแหน่งหรือตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ..... 35
3.13	บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบเชิงเส้น ..... 36
3.14	บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล ..... 37
3.15	บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลแบบฟังก์ชันถ่ายโอน ..... 38
3.16	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอนุพันธ์ ..... 39
4.1	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวีเอ็ม ..... 41
4.2	DAQcard PCI 6014 ..... 42
4.3	NI 9211 ..... 42
4.4	SCC CI20 ..... 43
4.5	SCC 68 ..... 43
4.6	SCC RLY01 ..... 44
4.7	อุปกรณ์วัดความชื้น ..... 44

	หน้า
4.8	อุปกรณ์วัดความดัน ..... 45
4.9	อุปกรณ์วัดความดันลด ..... 45
4.10	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส ..... 46
4.11	SDPOC ควบคุม mass flow controller ..... 46
4.12	Electronic Load ..... 47
5.1	หน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง ..... 49
5.2	ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดต่างๆภายในหน่วยทดสอบ ..... 50
5.3	อุปกรณ์วัดความดัน ..... 50
5.4	อุปกรณ์วัดความชื้นและวัดอุณหภูมิ ..... 51
5.5	เซลล์เชื้อเพลิงและพัดลมระบายความร้อน ..... 53
5.6	ผังการทำงานโดยรวมของระบบรวบรวมข้อมูลที่พัฒนาขึ้นภายใน โปรแกรม LabVIEW® ..... 55
5.7	แผนผังการทำงานของการวัดและแสดงผล ..... 56
5.8	ผังของโปรแกรมส่วนวัดและแสดงผล ..... 57
5.9	แผนภาพการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและ electronic load ..... 59
5.10	คำสั่งของส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหล ของแก๊สและ electronic load ..... 60
5.11	คำสั่งอัตราการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโปรแกรมและเครื่องมือ ..... 61
5.12	ส่วนการป้อนคำสั่งแก่เครื่องมือ ..... 62
5.13	ส่วนแสดงผล ..... 63
5.14	แผนภาพการทำงานของส่วนบันทึกผล ..... 65
5.15	ลักษณะการทำงานของโปรแกรมส่วนวัด แสดงผลและบันทึกข้อมูล ..... 66
5.16	หน้าจอการแสดงผลของตัวแปรต่างๆภายในเซลล์เชื้อเพลิง ..... 67
5.17	หน้าจอการแสดงผลของตัวแปรต่างๆแบบกราฟ ..... 68
5.18	การทำงานของหน้าจอแสดงผลแบบกราฟ ..... 69
5.19	เพิ่มเอกสารของข้อมูล ..... 70
5.20	ก. กราฟจากโปรแกรม LabVIEW® ..... 71

	หน้า
5.20	ข. กราฟจากข้อมูลที่บันทึก ..... 72
5.21	แผนผังการทำงานของการทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่ ..... 74
5.22	หน้าจอการควบคุมของ โปรแกรมเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่ ..... 75
5.23	หน้าจอขณะทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่..... 76
5.24	กราฟความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สและกระแสไฟฟ้า ที่เกิดขึ้น โดยตั้งการทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ ..... 77
5.25	กราฟความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สกับกำลังที่ โดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ ..... 77
5.26	แผนผังการทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่ ..... 79
5.27	หน้าจอการทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่ ..... 80
5.28	หน้าจอขณะทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่ ..... 80
5.29	ผลของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อกำหนดอัตราการไหลของแก๊สคงที่ ..... 81
5.30	ผลของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่ ..... 82
5.31	แผนภาพการทำงานรูปแบบการควบคุมกำลังไฟฟ้า ..... 83
5.32	หน้าจอการควบคุมของ โปรแกรมควบคุมกำลังไฟฟ้า ..... 84
5.33	กราฟกำลังไฟฟ้าและกราฟอัตราการป้อนแก๊ส ..... 84
5.34	แผนภาพการทำงานของพัดลม ..... 86
5.35	การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ เซลล์เชื้อเพลิง พัดลม ..... 87
ข.1	หน้าจอควบคุมการทำงานของ mass flow controller ..... 92
ข. 2	หน้าจอการตั้งค่าอัตราการไหลของ mass flow controller ..... 92
ข. 3	ปุ่มควบคุมอุณหภูมิการทำงานของพัดลมระบายความร้อน ..... 93
ข. 4	หน้าจอควบคุมการทำงานของ electronic load..... 93
ข. 5	ปุ่มควบคุมการปรับตั้งค่าเครื่อง electronic load..... 94
ข. 6	หน้าจอแสดงผลหลักของโปรแกรม..... 94
ค. 1	หน้าจอควบคุมการทำงานของ mass flow controller ..... 95
ค. 2	หน้าจอการตั้งค่าอัตราการไหลของ mass flow controller..... 95
ค. 3	ปุ่มควบคุมอุณหภูมิการทำงานของพัดลมระบายความร้อน ..... 96
ค. 4	หน้าจอควบคุมการทำงานของ electronic load ..... 96



	หน้า
ค. 5 ปุ่มควบคุมการปรับตั้งค่าเครื่อง electronic load.....	97
ค. 6 ปุ่มควบคุมการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า.....	97
ค. 7 หน้าจอแสดงผลหลักของโปรแกรม.....	98



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาพลังงานนับว่าเป็นปัญหาสำคัญของประเทศ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการหาแหล่งพลังงานใหม่และกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานใหม่ที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันปิโตรเลียม และแทนกระบวนการเครื่องยนต์ความร้อน กระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ได้รับความสนใจ กระบวนการหนึ่งคือเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงเป็นกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการเผาไหม้ สาเหตุที่ในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงยังไม่มีการใช้งานเป็นที่แพร่หลายเนื่องจากยังมีปัญหาทางเทคนิคอีกมากมายที่ต้องการพัฒนาเพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้จริง

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีคือพลังงานไฟฟ้า น้ำและความร้อน เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิด สามารถแบ่งได้ตามชนิดของสารที่ทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เซลล์เชื้อเพลิงที่นิยมนำมาใช้งานในระบบขนส่งและมีการศึกษากันมากที่สุดคือ เซลล์เชื้อเพลิงฟอสเฟตและเซลล์เชื้อเพลิงชนิดใช้เมทานอลโดยตรง เนื่องจากเซลล์ทั้ง 2 ชนิดมีขนาดเล็ก เหมาะสำหรับนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เช่น รถยนต์ โทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ เซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดจะใช้เมทานอลทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์เหมือนกัน แต่ต่างกันที่ชนิดเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิงคือ ไฮโดรเจนกับออกซิเจน และเมทานอลกับออกซิเจน ตามลำดับ เมื่อเริ่มกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีหลายประการ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณแก๊สที่ใส่เข้าไป ดังนั้นในระหว่างการใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงจึงต้องมีการควบคุมการทำงานที่เหมาะสมเพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานที่น่าสนใจในอนาคต ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการคิดค้นและพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก การวิจัยได้แบ่งออกเป็นหลายแนวทาง เช่น การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงและการควบคุมเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น เนื่องจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีความซับซ้อนและขึ้นกับตัวแปรหลายตัว กระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีการควบคุมส่งผลให้ต้องมีการประมวลข้อมูลจากกระบวนการตลอดเวลาและนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับเปลี่ยนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สุด

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นกระบวนการการเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย เช่น การป้อนแก๊ส ความชื้นของแก๊สที่เข้า อุณหภูมิของเซลล์ น้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ดังนั้นกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงซับซ้อนยุ่งยาก วิธีที่จะให้การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพดีที่สุดจึงต้องอาศัยการควบคุมกระบวนการและตัวแปรต่างๆ ได้ถูกต้องและแม่นยำ

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างระบบรวบรวมข้อมูล และควบคุมหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ และสามารถควบคุมกระบวนการทำงานของเซลล์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ โดยตัวแปรที่จะทำการวัดและควบคุมได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ความต่างศักย์ไฟฟ้า อุณหภูมิ ความดันแก๊สที่ป้อนเข้า คือ อากาศและไฮโดรเจน ความดันที่เปลี่ยนแปลงไปของแก๊ส ความชื้นของแก๊ส นอกจากนี้ยังศึกษาการสร้างระบบตรวจวัดและระบบควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงมีการทำงานที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเกิดความถูกต้องเที่ยงตรงมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์

สร้างระบบควบคุมการทำงานและวัดปัจจัยต่างๆ ที่เกิดภายในเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานเซลล์เชื้อเพลิงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์วัดที่ใช้ในการทดลอง
3. ติดตั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์วัด
4. ประกอบอุปกรณ์วัดและโปรแกรมควบคุมเข้ากับชุดทดลองเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม
5. พัฒนาระบบควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงโดยผ่าน โปรแกรมที่ออกแบบไว้
6. วิเคราะห์ สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

#### 1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลของเซลล์เชื้อเพลิงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์วัดที่ใช้ในการทดลอง
3. จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง
4. ทดลองการทำงานระหว่างโปรแกรม LabVIEW® และอุปกรณ์วัด
  - อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
  - อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
  - อุปกรณ์วัดความดัน
  - อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง
  - อุปกรณ์วัดความชื้น
5. ทดลองการทำงานระหว่างโปรแกรม LabVIEW® และกระบวนการควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม
  - ทดลองการเปิด-ปิดเซลล์เชื้อเพลิง
  - การควบคุมปริมาณการไหลของแก๊ส
  - ทดสอบการวัดปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์
6. พัฒนาระบบควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์
7. วิเคราะห์และสรุปผล เขียนวิทยานิพนธ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง
2. ได้ระบบควบคุมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เซลล์เชื้อเพลิง

#### 2.1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบฟิวเอ็ลล์

เซลล์เชื้อเพลิงแบบฟิวเอ็ลล์มีหลักการทำงานคล้ายแบตเตอรี่ทั่วไป คือเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดหนึ่ง แต่เซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์จะให้กระแสไฟฟ้าต่อเนื่องโดยไม่ต้องอัดกระแสไฟฟ้าเข้าไปใหม่ เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน จะมีการป้อนเข้าอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ น้ำ ไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยา

ช่วงการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์ จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิค่า ประมาณ 60-100 องศาเซลเซียส ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบพกพา เพื่อทดแทนการใช้แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย เพราะแบตเตอรี่ที่หมดพลังงานจัดเป็นขยะมีพิษยากต่อการจัดเก็บและทำลาย

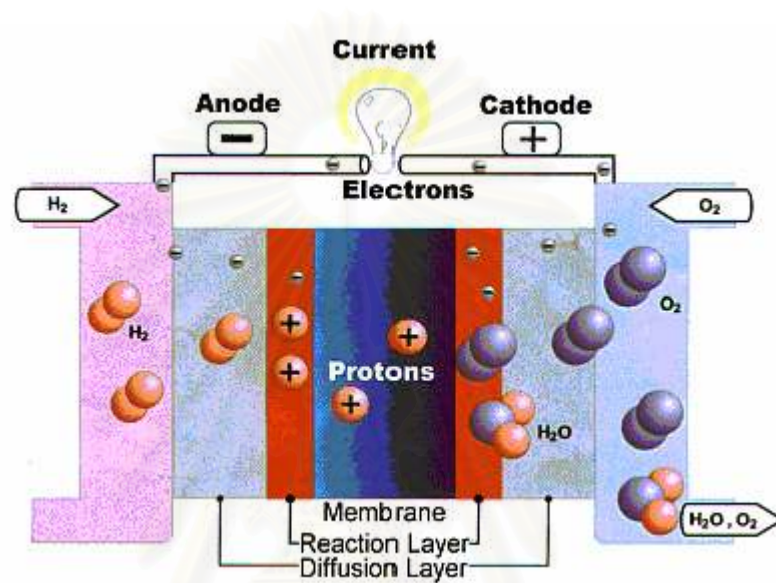
เซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ช่องทางไหลของแก๊ส เป็นตัวกำหนดทิศทางของสารป้อนที่จะเข้าทำปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง
2. ขั้วไฟฟ้าหรือขั้วอิเล็กโทรด (electrode) แบ่งออกเป็น 2 ขั้วด้วยกันคือ ขั้วแอโนด (anode) และขั้วแคโทด (cathode) เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา
3. เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (proton exchange membrane) ทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด

ภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst layer) เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยทั่วไปมักใช้สารแพลทินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะอยู่ระหว่างชั้นของขั้วอิเล็กโทรดและชั้นของเมมเบรน ขั้วอิเล็กโทรดจะผลิตจากแกรไฟต์ (graphite) ที่เป็นวัสดุนำไฟฟ้าได้ และมีลักษณะเป็นรูพรุน (porous media) เพื่อให้แก๊สไหลผ่านได้ ส่วนเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะเป็นสารพอลิเมอร์จำพวก perfluorosulphonic acid polytetrafluoroethylene copolymer มีชื่อทางการค้าคือ Nafion มีลักษณะเป็นเมมเบรนพอลิเมอร์บางๆ คุณสมบัติเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (polymer electrolyte membrane) ซึ่งอนุญาตให้โปรตอน ( $H^+$ ) และน้ำผ่านได้เท่านั้น

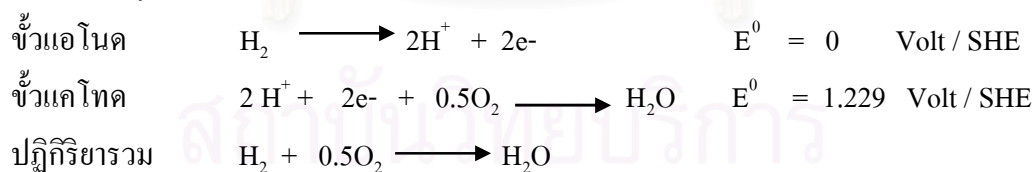
หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์แสดงดังรูปที่ 2.1 แก๊สไฮโดรเจนที่ถูกป้อนเข้าทางขั้วแอโนด จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็น

อิเล็กตรอนและโปรตอน อิเล็กตรอนที่ได้จะวิ่งมาตามตัวนำไฟฟ้า ผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (load) เพื่อมายังขั้วแคโทด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ในขณะที่เดียวกัน โปรตอนจะแพร่ผ่านเมมเบรนมายังขั้วแคโทดโดยที่ขั้วแคโทดจะมีการป้อนแก๊สออกซิเจนเข้ามา เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ระหว่างโปรตอน ออกซิเจนและอิเล็กตรอนที่บริเวณขั้วแคโทด โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ น้ำ ดังรูป



รูปที่ 2.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม [1]

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์คือ

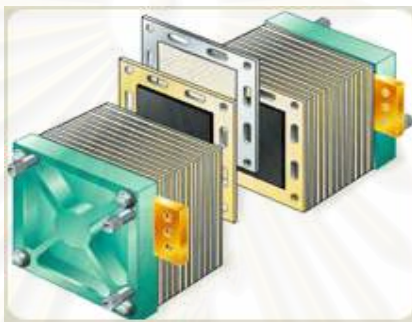


เซลล์เชื้อเพลิง 1 เซลล์ จะให้ศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี ( $E^0$ ) = 1.229 V ที่ภาวะมาตรฐาน (1 บรรยากาศ 25 องศาเซลเซียส)



## 2.2 การต่ออนุกรมเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้แผ่น bipolar plate

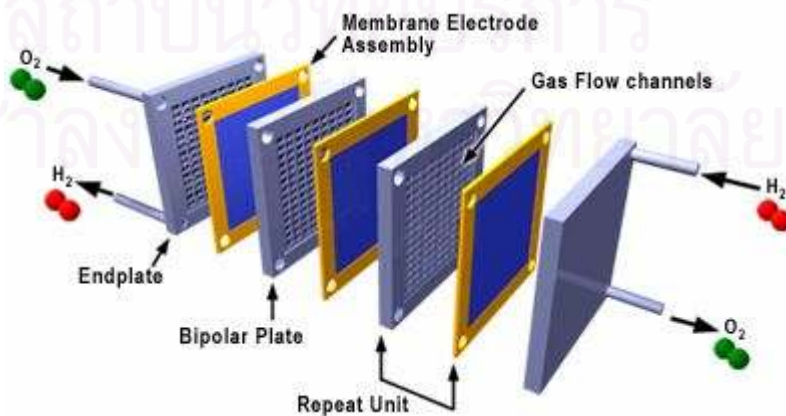
เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม 1 เซลล์ ให้ศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี 1.229 โวลต์ แต่ในการทำงานจริงเซลล์เชื้อเพลิงจะให้ศักย์ไฟฟ้าได้เพียง 0.6-0.7 โวลต์ เนื่องจากภาวะผันกลับไม่ได้ของระบบ ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามต้องการจึงจำเป็นต้องนำเซลล์หลายๆเซลล์ มาต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน เรียกว่าชั้นเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack) เพื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของระบบให้สูงเพียงพอต่อความต้องการนำไปใช้งานการต่ออนุกรมของเซลล์เชื้อเพลิงเรียกว่าชั้นเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ชั้นเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack) [1]

การต่อเซลล์เชื้อเพลิงเข้าด้วยกัน จะใช้แผ่นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดีที่ทำหน้าที่เป็นทั้งขั้วแคโทดและขั้วแอโนด พร้อมมีการออกแบบช่องทางไหลของแก๊สเพื่อช่วยกระจายแก๊สให้สัมผัสขั้วอิเล็กโทรดได้อย่างทั่วถึง วัสดุชิ้นนี้เรียกว่า แผ่นสองขั้ว (bipolar plate) แสดงดังรูปที่

2.3



รูปที่ 2.3 แผ่นสองขั้ว (bipolar plate) [1]

## 2.3 อัตราการป้อนแก๊ส

แก๊สที่ป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงคือแก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจน ค่าอัตราการป้อนของแก๊สมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าดังนี้

$$\dot{m}_{H_2} = \frac{I}{2F} M_{H_2} \quad (2.1)$$

$$\dot{m}_{O_2} = \frac{I}{4F} M_{O_2} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่มีการป้อนน้ำเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{I}{2F} M_{H_2O} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\dot{m}$  = อัตราของแก๊สที่ป้อน (g/s)

$M$  = มวลโมเลกุลของสาร (g/mol)

$I$  = กระแสไฟฟ้า (A)

$F$  = ค่าคงที่ฟาราเดย์ (faraday 's Law) มีค่า 96,489 A s/mol

## 2.4 ระบบผันกลับไม่ได้ของเซลล์เชื้อเพลิง

ในการเดินเซลล์เชื้อเพลิง กระบวนการที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆซึ่งแสดงได้ในรูปของกราฟโพลาริเซชัน (Polarization) ศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงในสภาพตามความเป็นจริงจะมีค่าน้อยกว่า ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี เนื่องจากเกิดค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวหรือการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าที่ต้องนำมาลบออกไป (overpotential,  $\eta$ ) โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่ได้จริง ( $E_{cell}$ ) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_{cell} = E_{cell}^0 - \eta_{act} - \eta_{ohm} - \eta_{mass} \quad (2.4)$$

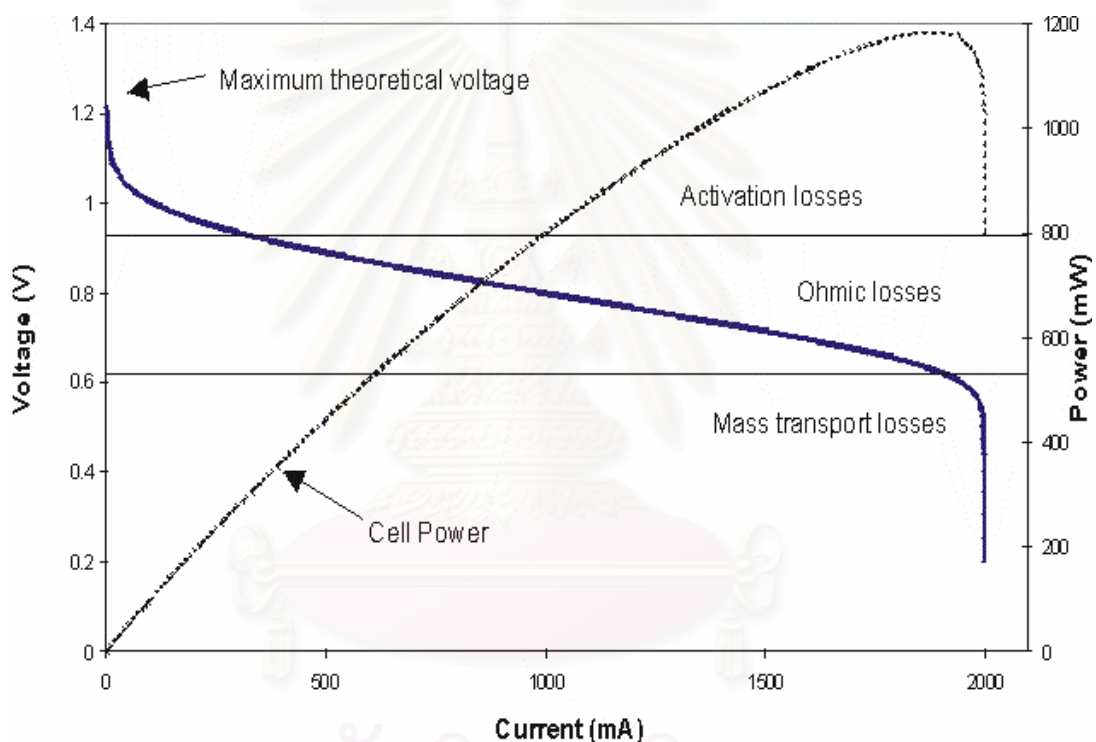
โดย  $E_{\text{cell}}^0$  คือ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้ามาตรฐานไฮโดรเจน หรือ ศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี

$\eta_{\text{act}}$  คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี

$\eta_{\text{ohm}}$  คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า

$\eta_{\text{mass}}$  คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล

เมื่อนำศักย์ไฟฟ้ากับความหนาแน่นกระแสที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง มาเขียนกราฟโพลาริเซชันจะแสดงได้ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟโพลาริเซชัน [2]

จากรูปที่ 2.4 แสดงการเกิดโพลาริเซชัน พบว่าที่ค่าความหนาแน่นกระแสเท่ากับศูนย์ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎีอยู่ก่อนแล้ว ค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage) ซึ่งเกิดจากการแพร่ข้ามฝั่งของแก๊ส (Fuel crossover) ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดผ่านเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยแก๊สออกซิเจนจะแพร่ข้ามไปเกิดปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนที่ฝั่งแอโนด หรือแก๊สไฮโดรเจนข้ามไปทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ฝั่งแคโทด ส่งผลให้เกิดกระแสภายใน (Internal current) ซึ่งไม่

ส่งผ่านกระแสออกนอกระบบให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าเกินตัวขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเซลล์ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ได้จริงจึงมีค่าลดลงในช่วงนี้

เมื่อความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้น จะพบว่าศักย์ไฟฟ้าลดลงซึ่งเกิดจากโพลาริเซชัน โดยเมื่อสังเกตจากกราฟจะพบว่าสามารถแบ่งช่วงการเกิดโพลาริเซชันออกได้เป็น 3 ช่วง คือ โพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Activation Polarization) โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า (Ohmic Polarization) โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล (Mass Transport Polarization)

## 2.5 โพลาริเซชันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Activation Polarization)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ศักย์ไฟฟ้าส่วนหนึ่งถูกใช้ไปกับการเอาชนะพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเคมี สามารถอธิบายได้โดยสมการของ Tafel คือศักย์ไฟฟ้าที่เกินตัวขึ้นกับความหนาแน่นกระแสดังสมการ

$$\eta_{act} = A \ln \left( \frac{i}{i_0} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ A = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของ Tafel (V)

$i_0$  = exchange current density ( $A/cm^2$ )

## 2.6 โพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า (Ohmic Polarization)

โพลาริเซชันแบบนี้เกิดจากความต้านทานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่บริเวณขั้วไฟฟ้าและที่บริเวณแผ่นสะสมกระแสซึ่งเกิดจากวัสดุที่ใช้มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าไม่ดี หรือความต้านทานในการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่านเมมเบรนจากขั้วแอโนดไปขั้วแคโทด ซึ่งเกิดจากการที่เมมเบรนมี ความชื้นไม่เพียงพอ ทำให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของโปรตอนไม่ดี เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโปรตอนในเมมเบรนจำเป็นต้องมีน้ำในการช่วยพาโปรตอน ดังนั้นโพลาริเซชันเนื่องจากความต้านทานเกิดขึ้นจากความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แต่ละส่วน

ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวที่เกิดจากความต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความต้านทาน (R) ของอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของกระแส (i) ดังนี้

$$\eta_{ohm} = ir \quad (2.6)$$

เมื่อ  $r$  = area specific resistance ของเซลล์เชื้อเพลิง ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )

## 2.7 โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล (Mass Transport Polarization)

โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล เกิดจากเซลล์เชื้อเพลิงหรือตัวออกซิไดซ์ถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณผิวของขั้วไฟฟ้า ทำให้ความเข้มข้นหรือความดันของสารตั้งต้นลดลง เนื่องจากไม่สามารถแพร่ผ่านชั้นต่างๆ เข้าไปถึงที่ผิวของขั้วไฟฟ้าพอต่อการเกิดปฏิกิริยา เป็นผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงตามสมการเนินสต์ ในกรณีที่ใช้แก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ศักย์ไฟฟ้าที่เสียไปจะน้อยกว่าในกรณีของอากาศ เนื่องจากอากาศมีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อใช้อากาศเป็นสารออกซิไดซ์ จำเป็นต้องออกแบบช่องทางเดินแก๊สให้อากาศมีโอกาสได้สัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่ เพื่อให้แก๊สออกซิเจนที่อยู่ในอากาศสามารถแพร่เข้าไปยังบริเวณขั้วไฟฟ้าให้มากที่สุด ทางด้านไฮโดรเจนก็มีโอกาสเกิดโพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวลได้เช่นกัน เกิดจากในกรณีที่ไฮโดรเจนที่ใช้เป็นไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการ รีฟอร์มมิง (reforming) เมื่อไม่สามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนให้กับระบบได้อย่างต่อเนื่องทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่ผิวขั้วไฟฟ้าลดลงทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าเกินตัวมากขึ้น โพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\eta_{mass} = B \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\eta_{mass}$  คือ ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจากโพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล

$B$  = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของสมการโพลาริเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวล

$P_1$  = ความดันที่ผิวหน้าตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อค่าความหนาแน่นกระแสเป็น 0

$P_2$  = ความดันที่ผิวหน้าตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ค่าความหนาแน่นกระแสใดๆ

ถ้ากำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และความหนาแน่นกระแสเป็นเส้นตรง จะได้

$$P_2 = P_1 \left( 1 - \frac{i}{i_l} \right) \quad (2.8)$$

เมื่อ  $i_l$  = ค่าความหนาแน่นกระแสจำกัด (Limiting current)  
เป็นความหนาแน่นกระแสสูงที่สุดที่ทำให้  $P_2$  ลดลงมีค่าเป็นศูนย์ และสามารถเขียนสมการศักย์ไฟฟ้าเกินตัวมากขึ้นกับค่า  $i_l$  ได้ดังนี้

$$\eta_{mass} = -B \ln \left( 1 - \frac{i}{i_l} \right) \quad (2.9)$$

## 2.8 กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงหาได้ดังนี้

$$P = I * V \quad (2.10)$$

เมื่อ  $P$  = กำลังไฟฟ้า (W)

$I$  = กระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง (A)

$V$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง (V)

ในกรณีที่เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้มีมากกว่าเซลล์เดียวค่าศักย์ไฟฟ้าหาได้ดังนี้

$$V = V_{cell} * N_{cell} \quad (2.11)$$

$V_{cell}$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ (V)

$N_{cell}$  = จำนวนเซลล์

กระแสไฟฟ้าหาได้จากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและพื้นที่ผิวของการเกิดปฏิกิริยา

$$I = i * A_{cell} \quad (2.11)$$



$i$  = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ( $A/cm^2$ )

$A_{cell}$  = พื้นที่ผิวที่เกิดปฏิกิริยา ( $cm^2$ )

## 2.9 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มขึ้นกับตัวแปรต่างๆ เช่น ความชื้น ความดัน อุณหภูมิ ดังนั้นเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด การทราบสถานะและผลกระทบ อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งสำคัญ

### 2.9.1 ผลกระทบของความชื้นที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจะขึ้นกับการถ่ายโอนไอออนของไฮโดรเจนและ กระบวนการทำงานของเมมเบรนซึ่งถ้าไม่มีความชื้นหรือความชื้นในเมมเบรนมีค่าต่ำ จะทำให้ ค่าการนำไอออนไม่ดี ดังนั้นปริมาณน้ำในเมมเบรนจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าการนำไอออน ถ้าเมมเบรนมีน้ำปริมาณน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการส่งผ่านไอออนของเมมเบรนลดลง ในทางกลับกันถ้าในเมมเบรนมีน้ำมากเกินไป น้ำจะอุดรูพรุนบนขั้วไฟฟ้าทำให้การแพร่ของแก๊สเข้ามาทำปฏิกิริยาเป็นไปได้ยาก ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงก็ลดลงเช่นกัน

ในเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม ไฮโดรเจนไอออนจะเคลื่อนผ่านเมมเบรนจากแอโนดไป แคโทด โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นตัวพาไปประมาณ 1 - 2.5 โมเลกุลต่อไอออน เรียก กระบวนการนี้ว่า electro-osmotic drag สำหรับการทำงานที่ความหนาแน่นกระแสสูงๆ กระบวนการดังกล่าวอาจทำให้เมมเบรนใกล้ฝั่งแอโนดแห้งได้ ในอีกกรณีคือการใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป อากาศจะทำให้ขั้วไฟฟ้าแห้งได้เร็วกว่า ปริมาณน้ำที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด การแก้ปัญหาคือเพิ่มความชื้นให้กับอากาศและแก๊สไฮโดรเจนก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง

## 2.9.2 ผลกระทบของความดันแก๊สที่ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง

การเพิ่มความดันแก๊ส โดยเฉพาะแก๊สที่เป็นออกซิไดซ์ จะทำให้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์มีค่ามากขึ้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\Delta E_{cell} = \left( \frac{RT}{2F} \right) \ln \left( \frac{P''}{P'} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\Delta E_{cell}$  คือ ความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้น (Volt)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) มีค่า 8.314 J/mol K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ (faraday 's Law) มีค่า 96,489 A s/mol

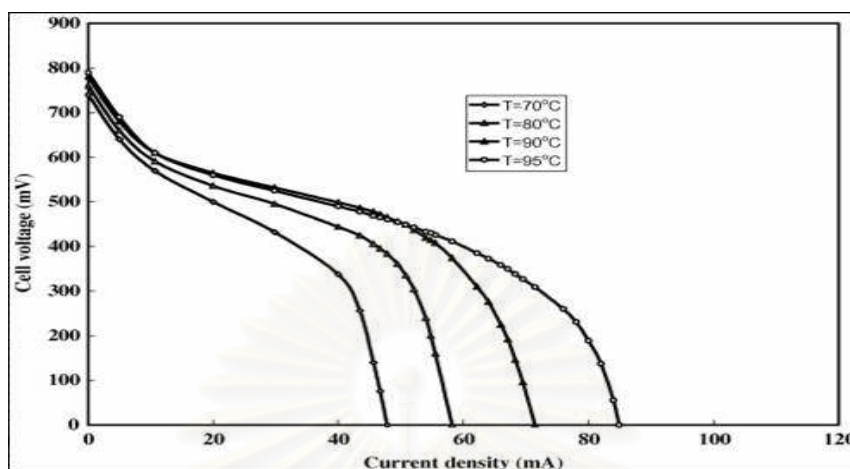
$P''$  คือ ค่าความดันสุดท้าย (atm)

$P'$  คือ ค่าความดันเริ่มต้น (atm)

จากสมการข้างต้นพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์ ควรทำงานที่ความดันสูง ค่าความดันในการทำงานปกติจะอยู่ในช่วง 300 - 500 kPa สำหรับทั้งของแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจน แต่กรณีที่ใช้อากาศเป็นสารออกซิไดซ์ ความดันที่สูงจะลดปัญหาการเกิดโพลาไรเซชันเนื่องจากการถ่ายโอนมวลได้ เนื่องจากเมื่อใช้อากาศเป็นสารออกซิไดซ์โอกาสที่ความเข้มข้นของออกซิเจนบริเวณขั้วไฟฟ้าจะลดลงเร็วกว่าใช้ออกซิเจน ทำให้ความแตกต่างของความดันระหว่างขั้วไฟฟ้าแคโทดกับแอโนดมีมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเอ็ลล์ลดลง ดังนั้นการเพิ่มความดันให้กับสารที่ป้อนเข้าจะสามารถแก้ปัญหาได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.9.3 ผลกระทบของอุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 2.5 กราฟโพลาริเซชันที่อุณหภูมิต่างๆ [3]

รูปที่ 2.5 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง จากกราฟแสดงว่าที่อุณหภูมิสูงจะได้กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ดีขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิการทำงานสูงเกินไป ค่าความต่างศักย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิการทำงานมีค่าสูงเมมเบรนในเซลล์เชื้อเพลิงจะเกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้ภายในเซลล์เชื้อเพลิงขาดความสมดุลของน้ำภายในเซลล์ และค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะเมื่อใช้อากาศเป็นสารออกซิไดซ์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มระบบให้ความชื้นกับแก๊สก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง

### 2.9.4 ผลกระทบของความดันต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

สาเหตุหลักของความดันที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงคือการเกิดน้ำท่วมภายในเซลล์ เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงทำงานจะเกิดน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง แต่ถ้าการถ่ายโอนน้ำทำได้ไม่ดีเกิดน้ำท่วมขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงส่งผลให้ความดันของแก๊สภายในเซลล์เชื้อเพลิงลดลง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงตามไปด้วย ดังนั้นถ้าภายในเซลล์เชื้อเพลิงเกิดความดันลดมากแสดงว่าเกิดน้ำท่วมขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงและส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าน้อยลง

## บทที่ 3

### อุปกรณ์วัดและระบบควบคุม

การทำงานของอุปกรณ์หรือกระบวนการต่างๆ โดยมากต้องมีกลไกที่สำคัญ 2 ส่วนคือ การวัดตัวแปรที่สำคัญและการควบคุมตัวแปรเหล่านั้น การวัดและการควบคุมทำให้การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ มีการทำงานอย่างเหมาะสม การควบคุมระบบได้จะต้องมีการวัด แต่การวัดตัวแปรอาจไม่ต้องควบคุม วัตถุประสงค์ของการวัดและควบคุมคือ

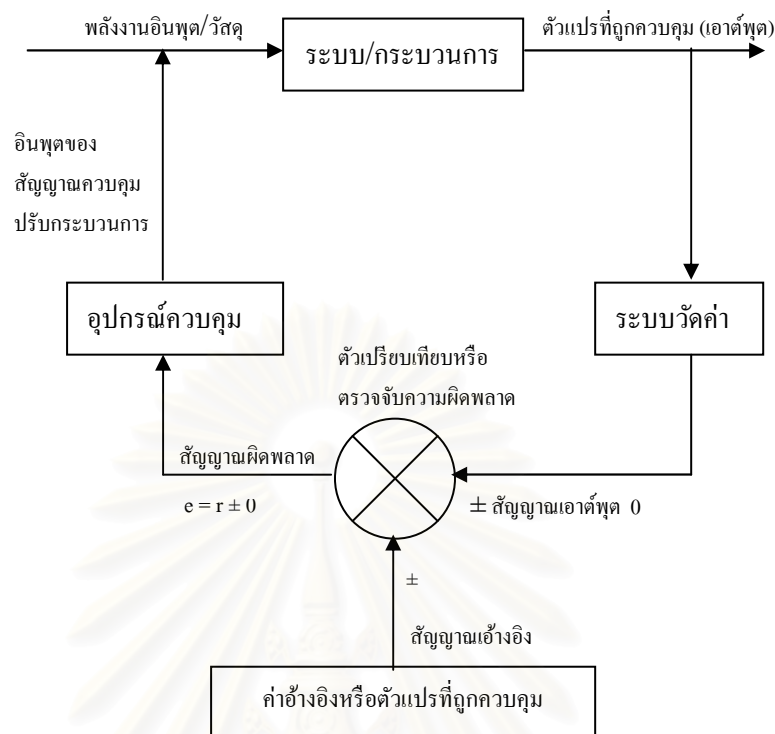
1. การวัดเป็นการแสดงค่าของตัวแปรหรือรายละเอียดต่างๆ ในระบบ อาจนำผลที่ได้มาแสดงบนทีก หรือเก็บค่าเพื่อแปลงสัญญาณส่งให้ระบบอื่น
2. เพื่อนำผลที่ได้มาควบคุมกระบวนการทำงานต่างๆ ให้ได้ผลที่แน่นอนตามต้องการ โดยทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จริงและค่าที่ต้องการทำงานเพื่อปรับเปลี่ยนระบบใหม่ ดังรูปที่

2.1

3. เพื่อจำลองสถานะของระบบ เนื่องจากการใช้งานจริงอาจมีความซับซ้อนและยุ่งยาก ดังนั้นการวัดและควบคุม โดยลดขนาดของระบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับสภาพจริง ทำให้วิเคราะห์การทำงานของระบบ ก่อนทำงานจริงได้

4. เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ การวัดและควบคุมทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบความผิดพลาดของระบบและปรับเปลี่ยนการทำงาน เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม [4]

จากรูป 3.1 การควบคุมเช่นการทำหน้าที่ปรับตัวแปรบางตัวเพื่อขับเคลื่อนกระบวนการไปสู่ค่าเป้าหมาย หรือปรับตัวแปรทุกตัวเพื่อรักษาค่าเป้าหมายไว้ให้คงเดิมในกรณีที่มีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวนระบบ

### 3.1 อุปกรณ์ในงานวัดค่า

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวัดค่าตัวแปรแบ่งได้เป็น 2 อย่าง

#### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน

เป็นอุปกรณ์หลักในระบบ ทำหน้าที่พื้นฐานทั้งหมดประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนอินพุตไปตามการใช้งานที่เราต้องการ เช่น เปลี่ยนความดันให้เป็น กระแสไฟฟ้า

**ตัวปรับสัญญาณ** ทำหน้าที่ปรับสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ ให้ เป็นสัญญาณที่ต้องการ หรือปรับให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือคงที่มากขึ้น

**อุปกรณ์แสดงข้อมูล** เป็นอุปกรณ์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจค่าของสัญญาณได้ง่ายแน่นอน เช่น แอมมิเตอร์ ลักษณะของอุปกรณ์แสดงข้อมูลที่ดี คือ ต้องตอบสนองได้เร็ว มีค่าความเฉื่อย ความผิดพลาดน้อย

### 3.1.2 อุปกรณ์เสริม

เป็นอุปกรณ์ที่อยู่กับระบบที่ทำงาน การใช้งานขึ้นกับความจำเป็นของ ระบบและเทคนิคที่ใช้วัด ประกอบด้วย

**อุปกรณ์สอบเทียบ** เพื่อสอบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้การทำงานถูกต้องสม่ำเสมอ

**แหล่งจ่ายกำลังภายนอก** อุปกรณ์ส่วนใหญ่มักใช้พลังงานจากไฟฟ้าเพื่อให้ทำงานได้

**อุปกรณ์ป้องกัน** ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ในบางครั้งการทำงานของอุปกรณ์อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นต้องมีอุปกรณ์ภายนอกเพื่อปรับสมดุลการทำงานเสมอ

## 3.2 ค่าความผิดพลาดและไม่แน่นอนของการทำงาน

ในการทำงานอาจมีข้อจำกัดในการทำงานหรือมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเกิดขึ้น ดังนั้นผลที่ได้จากการวัดค่า สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตามสภาวะของการทำงาน

### 3.2.1 ชนิดของความผิดพลาด

ค่าผิดพลาด คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดจากการทดลองและวัดค่าจริง สามารถแบ่งได้ดังนี้

**ความผิดพลาดจากระบบหรือความสะสม** เกิดจากค่าที่มีขนาดและทิศทางเดียวกัน ค่าผิดพลาดนี้ทำให้การเปลี่ยนแปลงการอ่านค่าเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง อาจเรียกได้ว่าความผิดพลาดแบบ instrument bias มีสาเหตุได้ดังนี้

1. จากเครื่องมือวัด (Instrument Error) เป็นค่าที่แน่นอนที่เกิดภายในเครื่องมือวัด แก้ไขได้โดย ออกแบบเครื่องมือวัดใหม่ หรือทำการสอบเทียบค่า



2. จากสภาวะแวดล้อม (Environmental Error) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบการทำงาน เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ

3. จากการใส่โหลด (Loading Error) เช่น ค่าความต้านทานจาก แอมมิเตอร์ของวงจร หรือความจุความร้อนของเทอร์โมมิเตอร์และการเปลี่ยนแปลงของภาวะแวดล้อม

**ความผิดพลาดเนื่องจากอุบัติเหตุ หรือความผิดพลาดแบบสุ่ม** คือความผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสุ่มไปมาของตัวแปรในการวัดค่าที่ได้ อาจเป็นไปได้ทั้งค่าบวกหรือลบ ความผิดพลาดจะเป็นได้ 2 ประการคือ เพิ่มค่าหนึ่งหรือลดค่าหนึ่ง สาเหตุของความผิดพลาดแบบนี้คือ

1. การไม่รวมกลุ่มกันของค่าที่จะวัดกับความแน่นอน ในการวัดปริมาณ
2. ขนาดเล็ก เอาต์พุตของเครื่องมือที่วัดจะไม่มีความละเอียดเมื่อต้องการวัดค่าที่มีความแน่นอนสูง

3. จากความบกพร่องที่แน่นอนของระบบ (Presence of Certain System Defects) มีสาเหตุมาจากวัสดุหรือความผิดภายในวัสดุนั้น ค่าที่ได้ อาจจะเป็นด้านบวกหรือลบก็ได้

5. ผลของการไม่สามารถควบคุมได้และการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มของ ข้อมูล (Effect of Unrestrained and Varying Parameters) สาเหตุอาจเกิดจากการรบกวนที่ผู้ทำงานไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสั่นสะเทือนของพื้น

**ความผิดพลาดอื่นๆ** ความผิดพลาดที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มได้มีสาเหตุ ดังนี้

1. ความผิดพลาดจากตัวบุคคล (Personal or Human Error)
2. ความผิดพลาดเนื่องจากส่วนประกอบ การปรับเปลี่ยน (Error due to Faulty Components Adjustment) เช่น เกิดจากการรั่วของกระแสไฟฟ้า ความผิดพลาดแบบนี้จะเกิดขึ้นทันที วิธีแก้คือ วัดค่าให้มีข้อมูลมากพอ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
4. ใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม

### 3.2.2 ชนิดของความไม่แน่นอน (Type of Uncertainties)

มี 2 ประเภทคือ

1. ความไม่แน่นอนภายนอก (External of Uncertainty) เกิดจาก

2. ขีดจำกัดของเครื่องมือตัวเอง เนื่องจากเครื่องมืออาจมีความละเอียดไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถแยกแยะค่าที่ใกล้เคียงกันได้ ดังนั้นการอ่านค่าแสดงโดยมีขอบเขตของค่าที่อ่าน เช่น  $\pm 0.1 \text{ V}$

3. ความไม่แน่นอนภายใน (Internal of Uncertainty) เกิดจากข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล เพราะว่าเป็นการทำงานของเครื่องมือวัดค่าที่อ่านจะไม่คงที่ตลอดเวลา ค่าที่ได้จะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นในสถานะหนึ่งข้อมูลที่ได้จะกระจายไป ดังนั้นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูงจะทำการแก้ปัญหาโดยการวัดซ้ำ

### 3.3 ตัวแปรสถิตในการปฏิบัติงาน (Static Performance Parameter)

#### 3.3.1 ความถูกต้อง (Accuracy)

ความถูกต้องเป็นตัวกำหนดคุณภาพของเครื่องมือวัด โดยความถูกต้องคือ ค่าที่ใกล้เคียงที่สุดของจำนวนที่วัดได้โดยเครื่องมือชนิดนั้น เนื่องจากการใช้งานข้อมูลที่อ่านจากเครื่องมือมีการเปลี่ยนแปลงเสมอ ดังนั้นค่าที่อ่านได้จะถูกกำหนดคุณภาพโดยประสิทธิภาพของเครื่องมือั้น ในทางกลับกันความถูกต้องเป็นสิ่งกำหนดความละเอียดของเครื่องมือด้วย ค่าความถูกต้องแบ่งได้ตามนี้

1. แบ่งตามตัวแปรที่ถูกวัด (Measured Variable) เช่น  $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นค่าความถูกต้องของชนิดเอาต์พุตของเครื่องมือชนิดนั้นเลย
2. คิดเป็นร้อยละเต็มสเกลค่าการอ่านของเครื่องมือชนิดนั้น (Percentage of the Instrument Full-scale Reading) เช่น  $\pm 5\% \text{ FS}$  ค่าที่อ่านหมายถึงมีความไม่แน่นอนในการวัดค่าใดๆอยู่  $\pm 5\%$  ของสัญญาณที่ส่งออกเต็มสเกล
3. คิดเป็นร้อยละของค่าสูงสุดของเครื่องมือวัด (Percentage of Instrument Span) เป็นค่าของร้อยละความผิดพลาดของค่าสัญญาณที่อ่านออกมาได้ของเครื่องมือ
4. คิดเป็นร้อยละของค่าที่อ่านได้จริง (Percentage of the Actual Reading) ค่าความผิดพลาดคิดจากค่าของเอาต์พุตที่อ่านจากเครื่องมือชนิดนั้น

### 3.3.2 ความแม่นยำ (Precision)

ความแม่นยำเป็นความสามารถของเครื่องมือที่อ่านค่าเป็นชุดภายในความถูกต้องของเครื่องมือที่กำหนดไว้ ความแม่นยำของเครื่องมือขึ้นกับความสามารถในการทำซ้ำ โดยที่การอ่านซ้ำๆ ต้องให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเครื่องมือใดสามารถอ่านซ้ำได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีความแม่นยำสูง ค่าความแม่นยำของเครื่องมือสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ค่าความถูกต้องกับความแม่นยำ ค่าความถูกต้องแสดงถึงความสามารถในการอ่านค่าที่แท้จริง ค่าความแม่นยำแสดงความสามารถในการอ่านซ้ำๆ ของเครื่องมือ นั้น โดยสามารถเทียบได้กับการยิงเป้าดังรูปที่ 3.2



ก. ความแม่นยำสูง  
ความถูกต้องต่ำ

ข. ความถูกต้องดี  
ความแม่นยำต่ำ

ค. ความถูกต้องและ  
ความแม่นยำสูง

ง. ความถูกต้องและ  
ความแม่นยำต่ำ

รูปที่ 3.2 ศิกรีขของควมถูกต้อง และควมแม่นยำในการยิงเป้า [4]

รูปที่ ก ความเป็นไปได้ที่จะยิงเป้าด้านนอกของวงกลมทั้งหมด และออกห่างเป้าหมาย ความเป็นไปได้ในแบบนี้แสดงว่าความถูกต้องไม่ดี ความแม่นยำสูง

รูปที่ ข จากรูปกระสุนที่เข้าเป้าจะกระจายออกในรูปสมมาตร แต่จะอยู่ไกลเป้าหมายมากขึ้น แสดงว่าความถูกต้องดี แต่ความแม่นยำต่ำ

รูปที่ ค กระสุนทั้งหมดเข้าไปในเป้าหมาย แสดงว่าความถูกต้องและความแม่นยำสูง

รูปที่ ง กระสุนทั้งหมดที่เข้าเป้ากระจายออกไปทั้งเป้า แสดงว่าความถูกต้องและความแม่นยำต่ำ

ในความเป็นจริง ค่าที่วัดได้จริงอาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริง (True value or actual value) ความแน่นอนมีหน้าที่แสดงถึงความผิดพลาดของค่าที่อ่านได้ ดังนั้นการรายงานผลแสดงในรูปค่าที่คาดหวัง (expected value) แทน แต่ถ้าความสามารถในการวัดอ้างอิงถึงค่าที่คาดหวังเพียงอย่างเดียวก็ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ดังนั้นค่าความผิดพลาดแสดงในรูป ค่าความผิดพลาด

สัมบูรณ์ (absolute error) และความผิดพลาดเชิงร้อยละ (percentage error) ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์แสดงได้ดังนี้

$$e = Y_n - X_n \quad (3.1)$$

เมื่อ

$e$  = ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์

$Y_n$  = ค่าที่คาดหวังได้

$X_n$  = ค่าที่วัดได้

แสดงความผิดพลาดเชิงร้อยละได้ดังนี้

$$\text{percent error} = \frac{\text{absolute error}}{\text{expected error}} (100) \quad (3.2)$$

หรือ

$$\text{percent error} = \frac{e}{Y_n} (100) \quad (3.3)$$

แทน  $e$  จากสมการ

$$\text{percent error} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| (100) \quad (3.4)$$

### 3.3.3 ความละเอียด ( Resolution หรือ Discrimination )

ความละเอียดเป็นค่ากำหนดที่เล็กที่สุดที่เครื่องมือวัดชนิดนั้นสามารถทำการวัดค่าตัวแปรใดๆได้ เครื่องมือที่มีความละเอียดสูงแสดงว่าเครื่องมือชนิดนั้นสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของเอาต์พุตได้ การปรับความละเอียดของเครื่องมือทำได้โดยการออกแบบเครื่องมือใหม่ แต่เครื่องมือบางชนิดความละเอียดของการวัดตัวแปรขึ้นกับความไว

ของสัญญาณที่ส่งออกมา ดังนั้นการปรับปรุงความละเอียดสามารถทำได้โดยการเพิ่มวงจรปรับสภาพสัญญาณให้มีความชัดเจนกว่าเดิมได้

เครื่องมือที่มีการทำงานในรูปแบบดิจิทัล ความละเอียดกำหนดจากการเปลี่ยนแปลงทางพลวัตเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของค่าหนึ่งบิตของเลขฐานสองทางด้านเอาต์พุตของเครื่องมือ การปรับความละเอียดของเครื่องมือชนิดนี้สามารถทำได้โดยการปรับโค้ด (code) รายละเอียดของสัญญาณให้มีความแตกต่างไปจากเดิม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนบิตของการรับส่งข้อมูลให้มากขึ้นกว่าเดิม

### 3.3.4 ขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold)

ขีดเริ่มเปลี่ยนเป็นอีกกรณีที่สามารถแสดงความละเอียดได้ โดยขีดเริ่มเปลี่ยนเป็นการกำหนดค่าที่น้อยที่สุดของด้านอินพุตซึ่งเครื่องมือไม่สามารถตรวจจับค่านั้นทางด้านเอาต์พุตได้ ทั้งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าความละเอียดกำหนดให้เป็นจำนวนสัมบูรณ์ในหน่วยของด้านเอาต์พุต หรือกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนเต็มสเกลก็ได้

ในความเป็นจริงค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและค่าความละเอียดจะไม่มีโอกาสเป็นศูนย์ เนื่องจากในเครื่องมือชนิดหนึ่งจะมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ช่องว่างของขีด ขนาดของเข็มชี้ เป็นต้น

### 3.3.5 ความไวเชิงสถิต (Static Sensitivity)

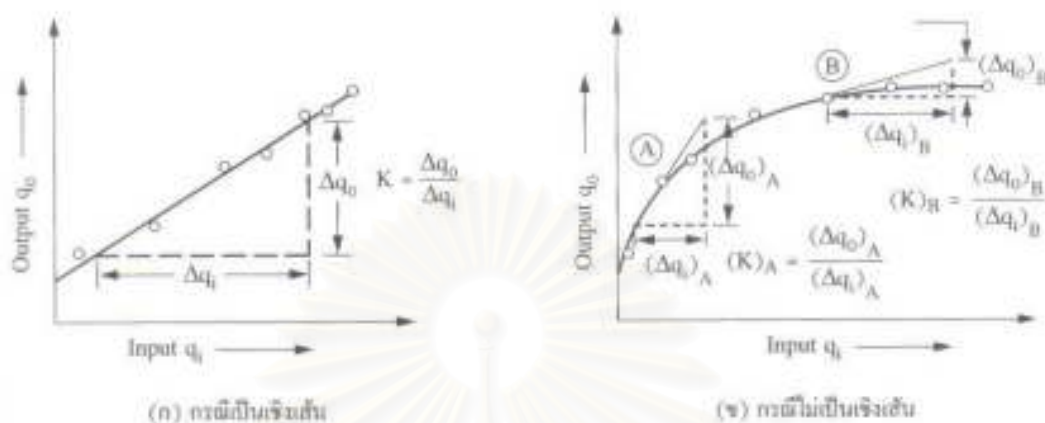
ความไวเชิงสถิตสามารถเรียกได้ว่า สเกลแฟกเตอร์ หรืออัตราขยาย กำหนดค่าจากการสอบเทียบเครื่องมือในเชิงสถิต คุณสมบัติเชิงสถิตของเครื่องมือวัดจะเป็นสัดส่วนของสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณด้านอินพุต แสดงได้ดังนี้

$$\text{static sensitivity} = \frac{\text{change of output signal}}{\text{change of input signal}} \quad (3.5)$$

$$= \frac{\Delta q_o}{\Delta q_i} \quad (3.6)$$

และ

$$\text{static sensitivity } K = \frac{\Delta q_o}{\Delta q_i} \Big|_{q_i} \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.3 ความไวเชิงเส้นของเครื่องมือวัดแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น [4]

ความไวของเครื่องมือที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ทัวไปแล้ว ความสัมพันธ์นี้จะอธิบายในรูปของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน โดยที่ส่วนกลับของความไวจะถูกเรียกว่า ตัวประกอบการเบี่ยงเบน (deflection factor)

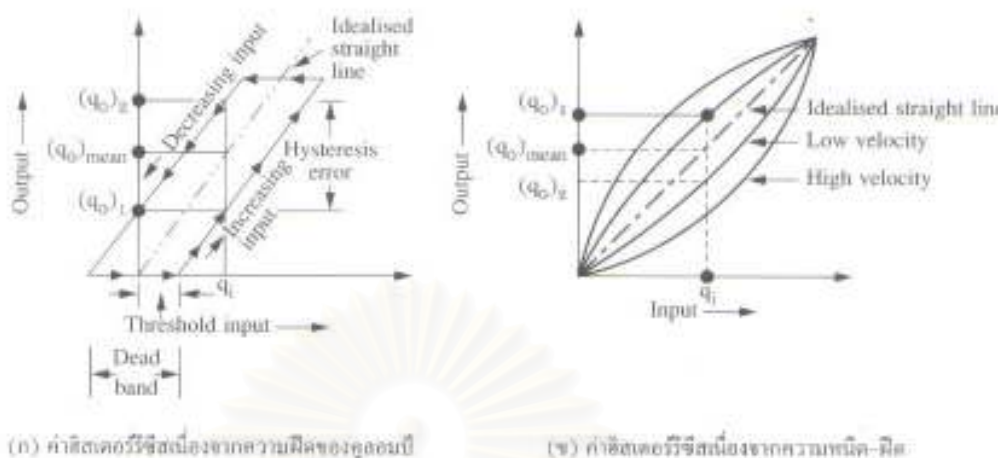
### 3.3.6 ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

ความเป็นเชิงเส้น เป็นสิ่งบอกลักษณะสเกลของเครื่องมือชนิดนั้น ในความเป็นจริง เครื่องมือไม่มีความสามารถเป็นเชิงเส้นที่สมบูรณ์ เนื่องจากเครื่องมือชนิดนั้นจะมีค่าเบี่ยงเบนของเครื่องมือ ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไปจากอุดมคติ

### 3.3.7 ฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis) และความสามารถในการผลิตซ้ำ (Reproducibility)

ฮิสเตอร์รีซิสเป็นการกำหนดขนาดของความผิดพลาดของเครื่องมือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากค่าด้านเอาต์พุตภายในขอบเขตของอินพุตที่กำหนดไว้ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมักจะปรากฏในด้านตรงข้ามกัน เช่น ค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุต แล้วค่าเอาต์พุตก็กลับมาเข้าด้านอินพุตที่ตำแหน่งเดิม ในบางครั้งค่าดังกล่าวจะเสียความยืดหยุ่นเดิมไป ค่าการแสดงความผิดพลาดของฮิสเตอร์รีซิสแสดงได้ดังรูปที่ 3.4





รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเส้น โคว์งเอาต์พุต-อินพุตที่แสดงผลของค่าฮิสเทอรีซิส [4]

### 3.3.8 เดดแบนด์ (Dead Band)

ค่าของเดดแบนด์กำหนดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าที่มากที่สุดที่ เครื่องมือวัดชนิดนั้น ไม่สามารถตอบสนองค่าออกมาได้

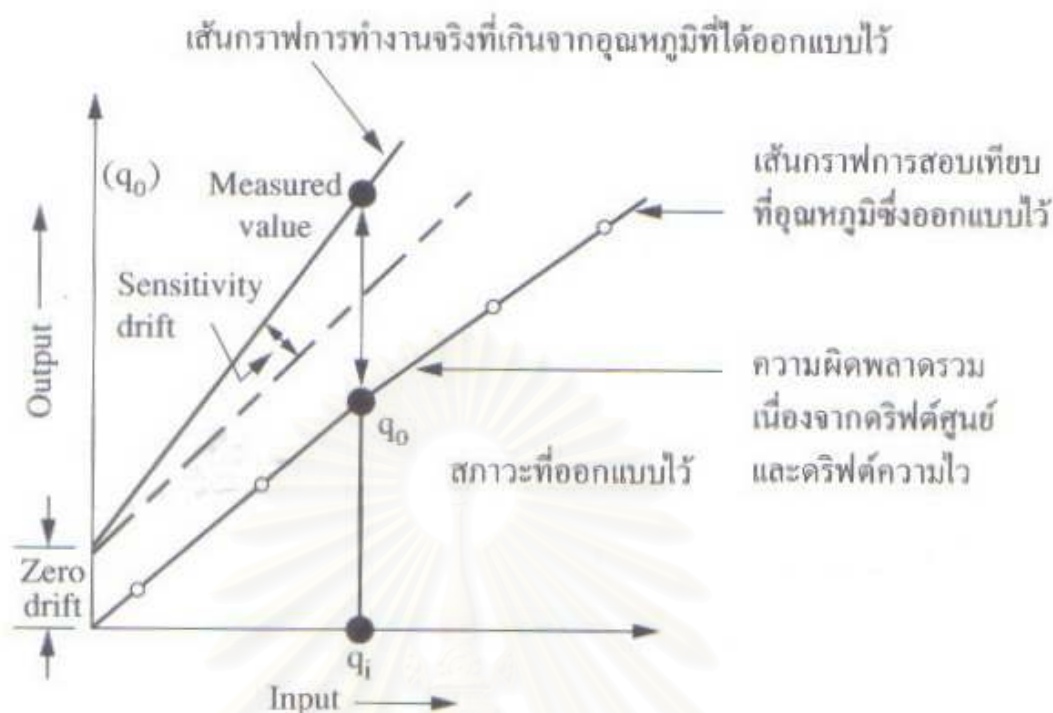
### 3.3.9 แบคแลช (Backlash)

มักจะกำหนดในเครื่องมือวัดค่าชนิดทางกล ค่าของแบคแลชกำหนดได้จากระยะสูงสุด หรือขนาดของมุมสูงสุด ที่มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยการเคลื่อนที่นี้ไม่ทำให้ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่อยู่ถัดไปมีการเคลื่อนที่

### 3.3.10 ดริฟต์ (Drift)

ดริฟต์เป็นการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุตสำหรับอินพุต ที่ป้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความไวของเครื่องมือที่เข้ามาจะมีผลต่อค่าของอินพุต ดังรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.5 ผลของดริฟต์ศูนย์และดริฟต์ความไวต่อคุณสมบัติของเครื่องมือวัด [4]

การเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ เกิดความเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน ดังนั้นเมื่อความต้านทานเปลี่ยนไปความไวหรือสเกลแฟกเตอร์ของเครื่องมือจะเปลี่ยนไป ดังนั้นความชันของเส้น โคน์เอาต์พุตและอินพุตจะเปลี่ยนไป ดังนั้นผลรวมความผิดพลาดของดริฟต์จะเกิดจากผลรวมของดริฟต์ศูนย์ (zero drift) และดริฟต์ความไว (sensitivity drift) เครื่องมือส่วนใหญ่ที่อุปกรณ์เกี่ยวกับหลอดอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องมีการเตรียมพร้อมของดริฟต์ในการใช้งาน สามารถแก้ได้โดยการอุ่นเครื่องก่อนเป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เครื่องมือเกิดความเสถียรก่อนการใช้งานจริงมากที่สุด

### 3.4 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์แบ่งได้หลายประเภทแล้วแต่หลักการที่นำมาใช้แบ่งประเภท แต่วิธีที่นิยมแบ่งมากที่สุดคือดูตัวแปรทางด้านเอาต์พุต ในการแบ่งวิธีนี้มีประโยชน์คือสามารถเลือกวงจรปรับสภาพสัญญาณ การแบ่งทรานสดิวเซอร์แบบนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ส่วนแรกของ

ตารางจะ เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการแหล่งพลังงานภายนอก (passive) และประเภทแหล่งพลังงานภายในตัวเอง (self generating)

ตารางที่ 3.1 ชนิดทรานสดิวเซอร์ [4]

ทรานสดิวเซอร์	การทำงานของอุปกรณ์	การใช้งาน
ทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการพลังงานภายนอก (passive)		
ตัวต้านทานสเตรนเกจ	ลดความต้านทาน ตัวต้านทานที่แปรไปตามความเค้น	ความเครียด แรงบิด ที่เกิดจากแรงทางกล
เทอร์โมมิเตอร์แบบค่าความต้านทาน	ลดหรือเทอร์โมมิเตอร์ที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนมาก	อุณหภูมิ
ฮอตไวร์มิเตอร์	ไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อนที่ใช้ในงานตรวจวัดแก๊ส	อัตราการไหล ความหนาแน่นแก๊สในสูญญากาศ
ไฮโกรมิเตอร์	ค่าความต้านทานจำเพาะของแผ่นโลหะขนาดเล็กเปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้น	ความชื้นสัมพัทธ์
เกจแบบหน้าสัมผัส	ความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสเปลี่ยนแปลงตามชนิดของวัสดุและความหนา	วัดความหนาชิ้นงาน ระดับของของเหลว
ดิฟเฟอเรนเชียลทรานส์ฟอร์มเมอร์	หม้อแปลงที่มีแกนแม่เหล็กทางทุติยภูมิและแกนเหล็กเคลื่อนที่ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน	การเคลื่อนที่ ตำแหน่ง ความดัน แรง
ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้พลังงานภายในตัวเอง (self generating)		
เครื่องกำเนิดแบบขดลวดเคลื่อนที่	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ของแม่เหล็กและคอยล์จะเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุต	ความเร็วของการสั่นสะเทือน ความเร็วของการเคลื่อนที่
เทอร์โมคัปเปิลและเทอร์โมไฟล์	เป็นโลหะต่างชนิดกัน หรือเป็นสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิต่างกัน	อุณหภูมิ การไหลของความร้อน

### 3.5 หลักการปรับสภาพสัญญาณแบบอนาล็อก

เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดตัวแปร ต้องทำหน้าที่เปลี่ยนตัวแปรที่ต้องการวัดค่าให้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณทางนิวเมติก แต่ในการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะไม่อยู่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพของสัญญาณทางอนาล็อกใหม่เพื่อให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่นำไปเชื่อมโยงร่วมกับเครื่องมือชนิดอื่นได้

#### 3.5.1 การเปลี่ยนระดับสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนระดับสัญญาณที่พบบมากที่สุดคือ ตัวขยายสัญญาณ ( amplifier ) หรือตัวลดทอนสัญญาณ ( attenuator ) แรงเคลื่อนโดยทั่วไปในด้านการควบคุมกระบวนการจะมีผลการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ช้า มักใช้วงจรขยายไฟกระแสตรงหรืออุปกรณ์ที่มีผลตอบสนองต่อความถี่ต่ำมาช่วย ข้อสำคัญในการเลือกตัวขยายคืออิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่ตัวขยายรับมาจากเซ็นเซอร์ในการควบคุมกระบวนการ เพราะสัญญาณดังกล่าวถูกแสดงให้เป็นค่าของตัวแปรในกระบวนการเสมอ ดังนั้นจึงทำให้มีการ โหลระหว่างสัญญาณที่ถูกวัดและค่าตัวแปรในบางงาน

#### 3.5.2 การทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น (Linearization)

วิธีการมีสองแบบคือแบบอนาล็อกซึ่งใช้กับงานในช่วงแคบๆ สำหรับในระบบใหม่สามารถจัดการโดยการป้อนค่าฟังก์ชันให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์เป็นตัวจัดการ ข้อดีคือคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้ใกล้เคียงช่วงเวลาจริงมาก

#### 3.5.3 การแปลงสัญญาณ (Conversion)

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจรหนึ่งแต่ไม่ตรงกับความต้องการของอีก วงจรหนึ่ง ดังนั้นต้องมีการแปลงสัญญาณจากค่าหนึ่งไปสู่อีกค่าหนึ่ง เช่น แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดัน เป็นต้น เมื่อได้รับสัญญาณจากกระบวนการวัดแล้วก็ต้องส่งไปสู่กระบวนการควบคุม โดยทั่วไปจะใช้เป็นสัญญาณมาตรฐาน (standard signal) ถ้าเป็นแรงดันจะเป็น 1 – 5 V ถ้าเป็น

กระแสจะมีค่า 4 – 20 mA แต่ส่วนมากจะเป็นสัญญาณกระแส เพราะสัญญาณจะเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดมากกว่าที่จะต่อขนานกัน ในการต่อขนานอาจจะเป็นสาเหตุให้กระแสบางส่วนเกิดการสูญหายไปได้

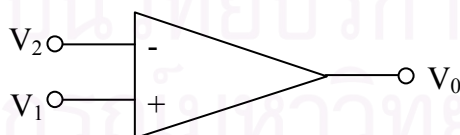
### 3.5.4 การกรองและการสมมูลของอิมพีแดนซ์ (Filtering and Impedance Matching)

สัญญาณทั่วไปที่ใช้งานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะเริ่มทำงาน เป็น สาเหตุให้เกิดพัลส์และสัญญาณที่ต้องการในรูปของการควบคุมกระบวนการ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรความถี่สูง (high pass) หรือวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ (notch filter) เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกจากอุปกรณ์กรองทำได้โดยใช้วงจรประเภทพาสซีฟ ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ หรือวงจรประเภทแอกทีฟที่ใช้หลักการขยายสัญญาณและการป้อนกลับ

### 3.6 การขยายสัญญาณ

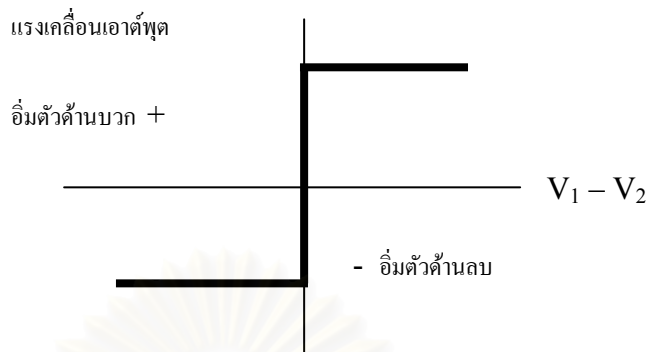
โดยทั่วไปทรานซิสเตอร์และเซมิคอนดักเตอร์มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณและปรับแต่งสัญญาณก่อนแสดงผล เนื่องจากในการใช้งานสัญญาณที่ได้ อาจมีผลกระทบต่างๆ ทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าน้อยเกินไปหรือสัญญาณอาจได้รับการรบกวนโดยสัญญาณอื่นๆ วิธีการปรับแต่งที่แพร่หลายของเครื่องมือคือ ออปแอมป์

#### 3.6.1 คุณสมบัติของออปแอมป์



รูปที่ 3.6 ลักษณะของออปแอมป์ [4]

รูปที่ 3.6 แสดงสัญลักษณ์มาตรฐานของออปแอมป์ โดยทั่วไปออปแอมป์มีอินพุต 2 ขา คือขานอนอินเวอร์ตคิง มีขั้วบวกและขานอนอินเวอร์ตคิง มีขั้วเป็นลบและมีเอาต์พุต 1 ขา



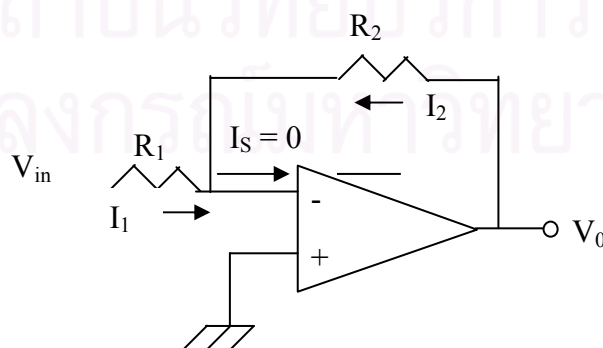
รูปที่ 3.7 คุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ [4]

รูปที่ 3.7 แสดงคุณสมบัติของออปแอมป์ โดยกำหนด  $V_1$  เป็นแรงเคลื่อนทางด้านอินพุตของขานอนอินเวอร์ตติง (ขั้วบวก) และให้  $V_2$  เป็นขาของอินพุตด้านอินเวอร์ตติง (ขั้วลบ) โดยที่มี  $V_0$  เป็นแรงเคลื่อนของด้านเอาต์พุต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า

1. ถ้า  $V_1 - V_2$  เป็นบวก จะอิมิต์ที่ค่าบวก
2. ถ้า  $V_1 - V_2$  เป็นลบ จะอิมิต์ที่ค่าลบ
3. แรงเคลื่อนของฝั่งเอาต์พุตถูกกำหนดโดยแรงเคลื่อนที่จ่ายให้ออปแอมป์

นอกจากนี้ออปแอมป์ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ เช่น อิทพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำ มีอัตราของการขยายสัญญาณสูง มีผลตอบสนองต่อการทำงานรวดเร็ว

### 3.6.2 การขยายสัญญาณแบบกลับขั้ว



รูปที่ 3.8 การขยายแบบกลับขั้วโดยใช้ออปแอมป์ [4]

จากรูปที่ 3.8 ตัวต้านทาน  $R_2$  ทำหน้าที่นำค่าเอาต์พุตป้อนย้อนกลับสู่ค่าอินพุตอีกครั้งของขาอินเวอร์ตติง และ  $R_1$  จะต่อกับแรงเคลื่อน  $V_{in}$  ตรงจุดนี้จะเรียกว่า “จุดรวมสัญญาณ” จากวงจรแสดงว่า

1. หากวงจรไม่ต่อการป้อนกลับของค่าและขั้วบวกลงสู่กราวด์ ถ้า  $V_{in}$  มากกว่า 0 และค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิมตัวที่ค่าลบ ถ้า  $V_{in}$  น้อยกว่า 0 ค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิมตัวที่ค่าบวก

2. หากวงจรต่อค่าป้อนกลับ ค่าด้านเอาต์พุตจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน โดยแรงเคลื่อนที่เปลี่ยนคือที่จุดรวมสัญญาณ จะมีค่าเท่ากับระดับอินพุตที่ขาบวก คือมีค่าเท่ากับศูนย์

3. หากวงจรต่อค่าป้อนกลับ จะไม่มีกระแสไหลผ่านขั้วอินพุตของออปแอมป์ ในกรณีนี้ สามารถเขียนสมการของกระแสที่จุดรวมสัญญาณได้ว่า

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (3.8)$$

เมื่อ  $I_1$  คือกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$

$I_2$  คือกระแสที่ไหลผ่าน  $R_2$

เนื่องจากที่จุดรวมสัญญาณถูกสมมติให้เป็นศูนย์ ดังนั้นจากกฎของโอห์มจะได้

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \quad (3.9)$$

ดังนั้นสามารถเขียนผลตอบสนองของวงจรได้ดังนี้

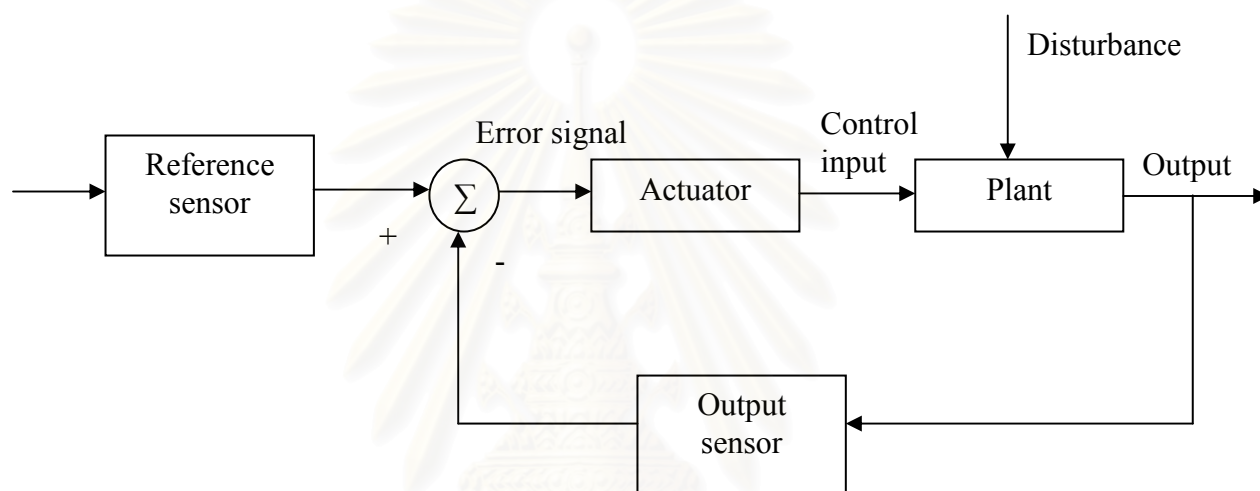
$$V_{out} = \frac{-R_2}{R_1} V_{in} \quad (3.10)$$

### 3.7 แนวคิดเชิงระบบ (The system concept)

ระบบ (System) คือการนำอุปกรณ์หรือชิ้นงานต่างๆ มาใช้งานร่วมกันเพื่อผลที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ระบบควบคุมจะประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกัน สามารถเปรียบระบบย่อยเป็นกล่องๆ หนึ่ง ซึ่งในศาสตร์ของระบบการควบคุมเรียกว่า บล็อกไดอะแกรม (block diagram) ภายในบล็อกไดอะแกรมจะบรรจุฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เรียกว่าสมการฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง



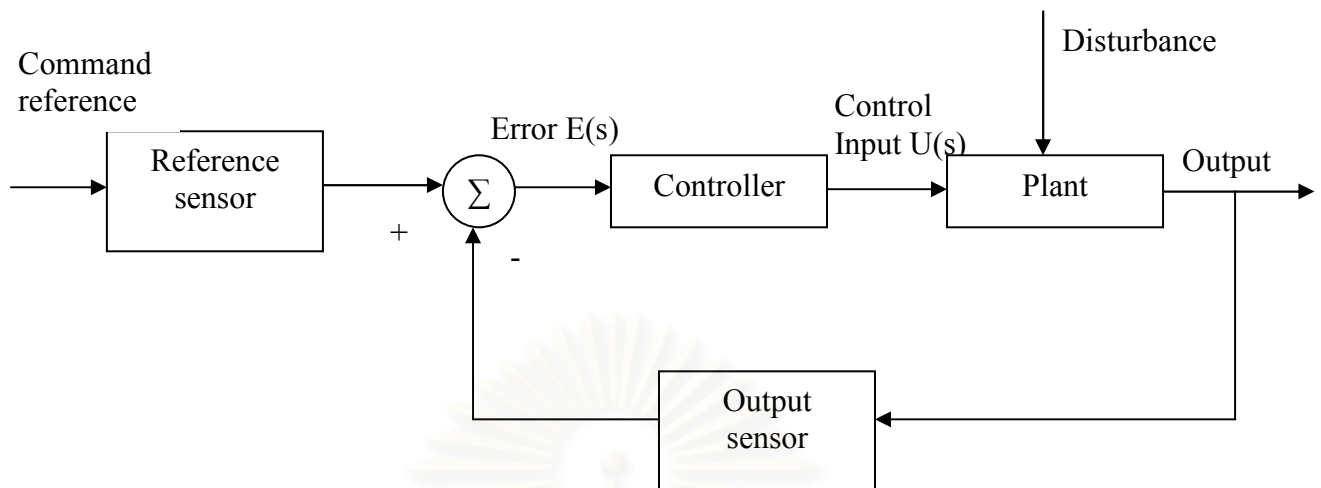
สัญญาณอินพุต (input signal) และสัญญาณเอาต์พุต (output signal) ดังแสดงในรูป 3.9 บล็อกไดอะแกรมที่เรียกว่า “Actuator” จะบรรจุสมการฟังก์ชันการถ่ายโอนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตคือสัญญาณ “error signal” และสัญญาณเอาต์พุตคือ “control signal” สัญญาณ “error signal” คือสัญญาณค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงที่ได้จากบล็อกไดอะแกรมที่เรียกว่า “reference sensor” กับสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์หรือบล็อกไดอะแกรมที่เรียกว่า “output sensor” เป็นต้น



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ [5]

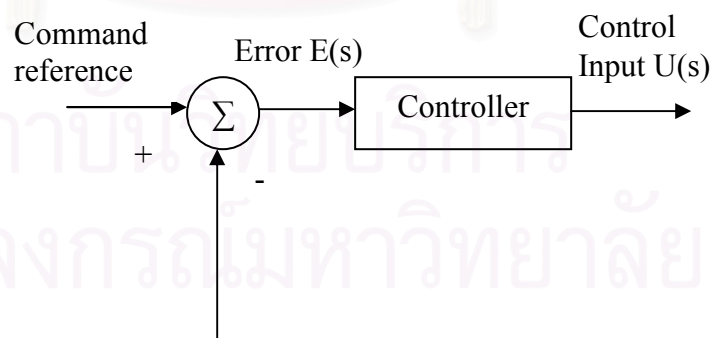
### 3.8 การควบคุมระบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (automatic controller) ที่ได้รับความนิยมคือการควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback controller) ทำหน้าที่คือควบคุมการทำงานกระบวนการ โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากค่าตัวแปรของกระบวนการ โดยเซนเซอร์แล้วนำค่าตัวแปรมาเปรียบเทียบกับเป้าหมาย นำค่าความแตกต่างที่ได้มาสร้างสัญญาณการควบคุม การทำงานลักษณะนี้ทำให้เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์หรือให้มีค่าน้อยที่สุด การทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างสัญญาณควบคุม (control signal) จะเรียกว่าปฏิบัติการควบคุม (control action)



รูปที่ 3.10 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมแบบวงปิด [5]

รูปที่ 3.10 เป็นแผนภาพบล็อกไดอะแกรมที่แสดงระบบควบคุมแบบปิด โดยสัญญาณคำสั่งอ้างอิง (command reference) จะถูกเปลี่ยนรูปด้วยระบบตรวจรู้อ้างอิง (reference sensor) เพื่อเปลี่ยนแปลงให้สัญญาณคำสั่งอ้างอิงมีลักษณะเดียวกับสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้วจะได้สัญญาณผิดพลาด (error signal) สัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งไปยังตัวควบคุม (controller) เพื่อสร้างสัญญาณควบคุม (control input) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมนี้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบที่ต้องการควบคุม (plant)



รูปที่ 3.11 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมและสัญญาณผิดพลาด [5]

### 3.9 ความไว (Sensitivity)

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) ของระบบควบคุมมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ว่าระบบที่ต้องการควบคุมนั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบอย่างไร ระบบที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของระบบมาก เมื่อทำการควบคุมต้องมีความระมัดระวังผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์นั้นด้วย โดยทั่วไปแล้วการออกแบบระบบควบคุมมีความต้องการให้ระบบควบคุมมีความไวน้อยที่สุดเมื่อค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง การคำนวณหาความไวของระบบสามารถหาได้ดังนี้

$$\frac{\omega}{\omega_d} = \frac{K(K_1 + \delta K_1)}{1 + K(K_1 + \delta K_1)} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{KK_1}{1 + KK_1} + \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1}}{1 + \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1}} \end{aligned}$$

เมื่อ  $K$  = controller gain

$K_1$  = controller gain 1

$\omega$  = สัญญาณเอาต์พุต

$\omega_d$  = สัญญาณอินพุต

$\delta$  = ค่าเบี่ยงเบน

เนื่องจาก

$$= \frac{1}{1 + \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1}} = 1 - \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1} ; \left[ \frac{1}{(1+x)} = 1-x \right] \text{ เมื่อ } x \text{ น้อยมาก}$$

ดังนั้น

$$\omega = \left\{ \frac{KK_1}{1 + KK_1} + \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1} \right\} \left\{ 1 - \frac{K\delta K_1}{1 + KK_1} \right\} \omega_d$$

$$\frac{\omega}{\omega_d} = \left\{ \frac{KK_1}{1+KK_1} + \frac{K\delta K_1}{1+KK_1} - \frac{(KK_1)K\delta K_1}{(1+KK_1)^2} - \left( \frac{K\delta K_1}{1+KK_1} \right)^2 \right\}$$

โดยที่  $\frac{K\delta K_1}{1+KK_1}$  มีค่าน้อยมาก

$$\frac{\omega}{\omega_d} = \left\{ \frac{KK_1}{1+KK_1} + \frac{K\delta K_1}{1+KK_1} - \frac{(KK_1)K\delta K_1}{(1+KK_1)^2} \right\}$$

$$\frac{\omega}{\omega_d} = \left\{ \frac{KK_1}{1+KK_1} + \frac{K\delta K_1}{(1+KK_1)^2} \right\} \quad (3.26)$$

ดังนั้น

$$\delta\omega = \frac{KK_1\delta K_1}{(1+KK_1)^2 K_1} \omega_d \quad (3.27)$$

ค่า  $\omega = \frac{KK_1}{1+KK_1} \omega_d$  คือ ค่าความเร็วที่ไม่ได้ถูกรบกวน (unperturbed speed) หรือ ความเร็วที่ไม่ได้ถูกรบกวน

ดังนั้น

$$\frac{\delta\omega}{\omega} = \frac{1}{1+KK_1} \frac{\delta K_1}{K_1} \quad (3.28)$$

ถึงแม้ว่าค่าเบี่ยงเบน  $\delta K_1$  จะเปลี่ยนแปลง 10% แต่  $\delta\omega$  จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเลือกค่า

เกน  $KK_1$  มีค่ามาก ค่าสัดส่วน  $\frac{\delta\omega}{\delta K_1} = \frac{1}{1+KK_1} \frac{\omega}{K_1}$  เรียกว่าความไวของระบบ

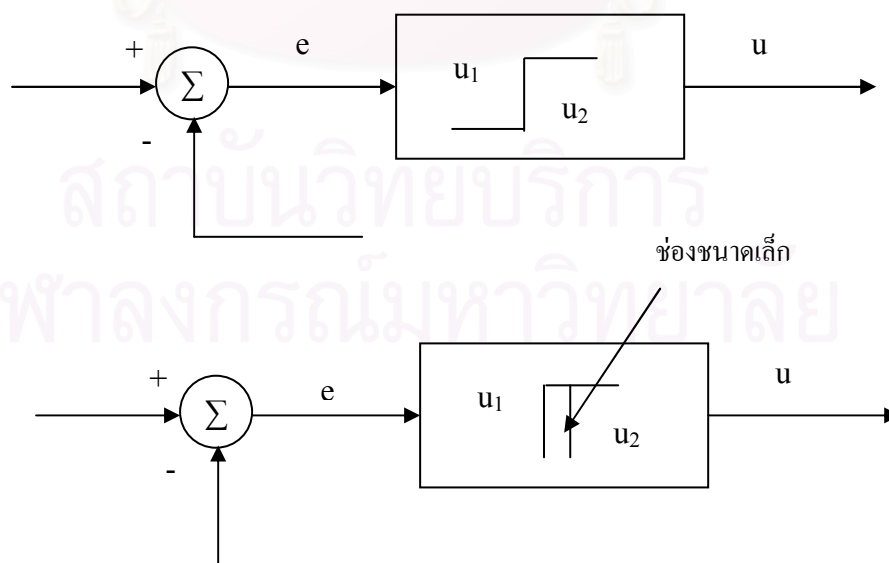
### 3.10 ชนิดของระบบควบคุมพื้นฐาน

อุปกรณ์ควบคุมจะถูกออกแบบเพื่อให้สร้างสัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบเมื่อมีสัญญาณผิดพลาด (error signal) เกิดขึ้น หลักการหรือวิธีการควบคุมนั้นเรียกว่ากฎของการควบคุม (control law) หรือการควบคุม (control action) เมื่อสัญญาณผิดพลาดมีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมายหรือเกิดสัญญาณรบกวนระบบก็ได้ หน้าที่ของตัวควบคุมคือควบคุมตัวแปรของระบบ (system variable) ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ดังนั้นอาจสรุปหน้าที่ของตัวควบคุมได้ดังนี้

- ลดค่าผิดพลาดเมื่ออยู่ในสภาวะอยู่ตัว
- ลดเวลาที่จะเข้าสู่ภาวะคงตัว
- เพื่อให้การตอบสนองในช่วงต้นมีลักษณะตามที่กำหนดไว้ เครื่องควบคุมที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมีดังนี้

#### 3.10.1 เครื่องควบคุมแบบสองตำแหน่งหรือตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด (Two-Position Control หรือ On-Off Control)

ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด พบได้ในอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน อาจเรียกได้ว่าการควบคุมแบบแบนง-แบนง (bang-bang control) ลักษณะการควบคุมแสดงได้ดังรูป 3.12

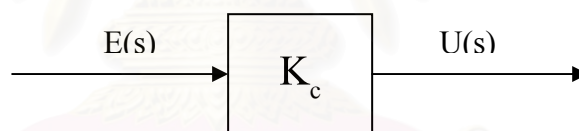


รูปที่ 3.12 ตัวควบคุมสองตำแหน่งหรือตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด [5]

จากรูปที่ 3.12 พบว่าตัวแปรปรับ  $u$  จะมีค่าอยู่ 2 ค่า คือ  $u_1$  และ  $u_2$  ค่าทั้ง 2 ค่าขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณความผิดพลาด ( $e$ ) และระบบควบคุมนี้อาจจะไม่จัดไว้ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ในการใช้งานระบบควบคุมแบบเปิด-ปิดในการใช้งานจริงจะมีเวลาหน่วง (time delay) ของสัญญาณหรือบางครั้งเรียกว่าโอเวอร์ชูต (overshoot) ถ้าพิจารณาจากรูปคือเส้นที่ลากออกข้างนอกช่วงเปิด-ปิด (switch gap) และในทางกลับกันสัญญาณที่ส่งกลับก็จะมีการหน่วงเล็กน้อยเรียกว่าอันเดอร์ชูต (undershoot) ค่าของโอเวอร์ชูตและอันเดอร์ชูตจะได้รับการยอมรับก็ต่อเมื่อค่าคงตัวของเวลา (time constant) ของระบบนั้นมีค่ามากเมื่อเทียบกับเวลาตาม (time lag) ของการทำงานของเครื่องควบคุม

### 3.10.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control, P-control)

การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน สัญญาณควบคุม ( $u$ ) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด ( $e$ ) ที่เกิดจากผลต่างของค่าเป้าหมายอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ทำการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมเชิงเส้น [6]

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องควบคุมและสัญญาณผิดพลาดที่ส่งเข้าไปในระบบสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$u(t) = K_c e(t) \quad (3.29)$$

ถ้าเขียนในรูปแบบผลของการแปลงลาปลาซ จะได้ดังนี้

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_c \quad (3.30)$$



เมื่อค่าเกน  $K_c$  จะเป็นอัตราขยายของเครื่องควบคุมนี้หรือเรียกว่าเกนสัดส่วน ในการใช้การควบคุมแบบสัดส่วน (proportional control) ในงานจริงเช่น การควบคุมตำแหน่งการเปิดปิดวาล์วทำได้ดังนี้

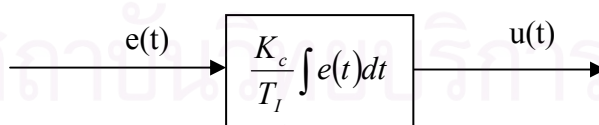
$$y(t) = K_c e(t) + \text{bias} \quad (3.31)$$

โดยที่  $y(t)$  คือตำแหน่งที่ต้องการเปิดปิดวาล์ว และค่า  $x$  เป็นตำแหน่งที่กำหนด การเปิดปิดวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ต้องการมากที่สุด หรือพยายามทำให้ค่าสัญญาณผิดพลาดเป็นศูนย์ ตรงตำแหน่งนี้จะเรียกว่าการปรับใหม่ด้วยมือ (Manual reset) ดังนั้นถ้าตำแหน่งเปลี่ยนไปเป็นระยะ  $e(t)$  แล้ว ตัวควบคุมก็จะทำหน้าที่ปรับเพื่อให้  $y(t)$  มีค่าเท่ากับ  $x(t)$  การควบคุมแบบนี้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณผิดพลาดที่ใช้ในการปรับตำแหน่งของวาล์วให้เต็มสเกลเรียกว่าแถบเชิงสัดส่วน (proportional band) สามารถเขียนเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์กับเกนได้ดังนี้

$$K_c = \frac{100}{\text{band}\%} \quad (3.32)$$

### 3.10.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control)

การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral control) มีรูปแบบดังรูปที่ 3.14

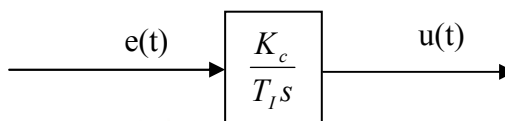


รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอินทิกรัล [6]

จากรูปที่ 3.14 สามารถเขียนสมการของการควบคุมแบบอินทิกรัลดังนี้

$$u(t) = \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt \quad (3.33)$$

ถ้าแปลงเป็นรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอินทิกรัลแบบฟังก์ชันถ่ายโอน [6]

เมื่อเขียนเป็นสมการฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{T_I s} \quad (2.34)$$

โดยที่  $T_I$  = Integral time or reset time

$1/T_I$  = reset rate

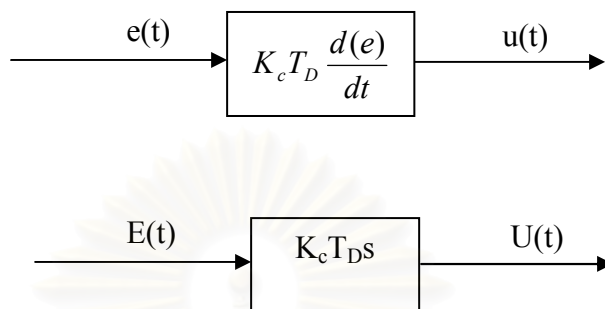
จากรูปแบบการควบคุมแบบอินทิกรัล จะพบว่าสัญญาณควบคุม  $u(t)$  อาจมีค่าค่อนข้างมากโดยที่ค่าไม่ลดลง ทั่วๆไปที่สัญญาณเกิดความผิดพลาด  $e(t)$  มีค่าเป็นศูนย์ในภายหลังหรือเมื่อเวลาผ่านไปแล้วก็ตาม เพราะว่าสัญญาณควบคุมในกรณีของการควบคุมแบบอินทิกรัลขึ้นกับค่าในอดีต (past value) ไม่เหมือนตัวควบคุมแบบสัดส่วน (proportional control) ซึ่งจะมีค่าขึ้นกับค่าของปัจจุบัน

ประโยชน์ของการควบคุมแบบอินทิกรัล เพื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว แต่จะมีผลทำให้ค่าความถี่ของระบบลดน้อยลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.10.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

การควบคุมแบบอนุพันธ์สามารถแสดงในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอนุพันธ์ [6]

โดยที่  $T_D$  = ช่วงเวลาอนุพันธ์

การควบคุมเชิงอนุพันธ์ (Derivative Control) ส่วนมากจะใช้ร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่น เช่น ใช้ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน ซึ่งเรียกรวมกันว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอนุพันธ์หรือพีดี (PD Control) ถ้าเป็นตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับอินทิกรัลเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัลหรือพีไอ (PI Control) และถ้าใช้ทั้ง 3 ตัวร่วมกันจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์จะช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (damping) ให้กับระบบที่ต้องการควบคุม ผลที่ได้จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่โดยทั่วไปตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์จะไม่ทำให้ความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่เดียวกันสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด  $\frac{d(e(t))}{dt}$  ดังนั้น ถ้าสัญญาณผิดพลาดมีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์จะกระเพื่อม (fluctuate) ก่อรบกวนมาก ทำให้ระบบควบคุมไม่เสถียร

### 3.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Su et al.[7]; ศึกษาลักษณะการเกิดน้ำภายในช่องทางไหลของแก๊ส ในเซลล์เชื้อเพลิง ปัจจัยหลักที่นำมาศึกษาคือลักษณะช่องทางไหลของแก๊ส จากการทดลองพบว่าช่องทางไหลแบบ interdigitated และแบบขนานมีโอกาสเกิดน้ำท่วมภายในเซลล์มากที่สุด การเกิด น้ำเกิดที่

บริเวณมุมของช่องทางไหลของแก๊สและเมื่อเวลาผ่านไปแก๊สจะดันน้ำที่เกิดขึ้นมารวมกันในบริเวณตรงกลางของช่องทางไหลของแก๊ส แต่ไม่พบการเกิดน้ำท่วมในบริเวณทางเข้าของแก๊ส

Heideck et al. [8]; ศึกษาการนำชุดไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในกระบวนการควบคุมเซลล์เชื้อเพลิง ในการควบคุมแบ่งการควบคุมเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นความร้อนและไฟฟ้า เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด การสื่อสารภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบ CAN และการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และบอร์ดควบคุมผ่าน RS232 ภาษาที่ใช้เป็นภาษา C และ C++ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผลข้อมูล ส่วนควบคุมสามารถแบ่งแต่ละส่วนได้ดังนี้ การควบคุมความชื้นของไฮโดรเจนที่ป้อนเข้า ปริมาณอากาศที่ป้อนเข้า ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และการจัดการความร้อนที่เกิดขึ้น การจัดการและควบคุมกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนให้เหมาะสมเพื่อนำไปให้แก่ระบบภายนอกเซลล์ การควบคุมการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงระยะไกลโดยผ่านทางอินเทอร์เน็ต

Sun et al. [9]; ศึกษาวิธีการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เนื่องจากการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ บางครั้งต้องทำการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงใหม่เพื่อที่จะสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงเสนอวิธีการที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงใหม่ วิธีการที่ใช้วัดคือนำปะเก็น แทรกระหว่าง ช่องทางเดินของแก๊ส และชั้นแพร่ผ่านของแก๊ส ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือ ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอิเล็กโทรดและช่องทางเดินของแก๊ส ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ถูกลงและเป็นวิธีที่ง่าย สามารถวัดได้ทั้งเซลล์เดี่ยว หลายเซลล์หรือวัฏระบบ

Liu et al. [10]; ศึกษาการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนเซลล์เชื้อเพลิง โดยแบ่งเซลล์เชื้อเพลิงเป็น 12 ส่วนเพื่อพิจารณาว่ากระแสไฟฟ้าเกิดในตำแหน่งใดของเซลล์มากที่สุด ภาวะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานที่ความดัน 3 bar อุณหภูมิ 75 °C จากการทดลองพบว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าจะเกิดได้ดีที่สุดในบริเวณทางเข้าของเซลล์เชื้อเพลิงและจะค่อยๆลดลงจนถึงบริเวณทางออกของเซลล์เชื้อเพลิง แต่เมื่อเปลี่ยนภาวะให้เมมเบรนแห้งพบว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะเกิดได้ดีที่บริเวณตรงกลางของเซลล์เชื้อเพลิง สาเหตุเนื่องจากเมื่อเมมเบรนแห้ง บริเวณทางเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงมีความชื้นน้อยเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเกิดน้อย แต่บริเวณตรงกลางของเซลล์เชื้อเพลิงมีน้ำที่เกิดจากบริเวณทางเข้า ดังนั้นบริเวณตรงกลางมีความชื้นเหมาะสม ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าบริเวณทางเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง

## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. แก๊สไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99 %
2. แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ 99.99 %
3. แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99 %

#### 4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

##### 4.2.1 เซลล์เชื้อเพลิง



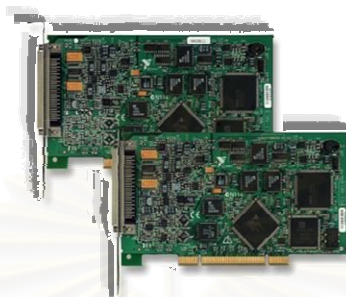
รูปที่ 4.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็ม

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นของบริษัท ElectroChem, Inc. รุ่น FC50-03SP ขนาด 50 W แสดงดังรูปที่ 4.1 เซลล์เชื้อเพลิงมีจำนวนเซลล์ 7 เซลล์ พื้นที่ของอิเล็กโทรดคือ 50 ตารางเซนติเมตร ลักษณะช่องการไหลของแก๊สเป็นแบบเส้นตรง (Straight channel flow pattern)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดและควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงมี 2 ประเภทคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์และส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดค่าที่เกิดขึ้นภายในระบบ

## 4.2.2 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์และส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์

### 4.2.2.1 DAQcard PCI 6014



รูปที่ 4.2 DAQcard PCI 6014 [11]

PCI 6014 ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัด ความชื้น ความดัน และความดันลด เพื่อแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW® และเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลมระบายความร้อนแก่ระบบ คุณสมบัติทั่วไปของ PCI 6014 คือ

- 16 analog inputs at up to 200 kS/s
- 8 digital I/O lines
- 2 analog output
- 16-bit input resolution
- Input Range (V)  $\pm 0.05$  to  $\pm 10$

### 4.2.2.2 Ni 9211



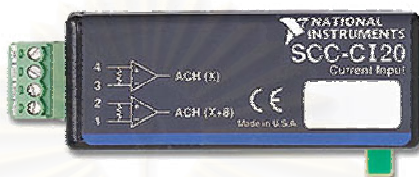
รูปที่ 4.3 Ni 9211 [11]

Ni 9211 เชื่อมกับคอมพิวเตอร์โดยสาย USB Ni 9211 มีหน้าที่รับข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิล เพื่อส่งข้อมูลของอุณหภูมิเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW® มีคุณสมบัติดังนี้



- 4 channels input
- Signal Input Ranges  $\pm 80$  mV
- 24 bit resolution

#### 4.2.2.3 SCC CI20



รูปที่ 4.4 SCC CI20 [11]

เนื่องจากสัญญาณที่ส่งจากเซนเซอร์วัดความดันอยู่ในรูปของกระแส แต่ PCI 6014 สนับสนุนการทำงานของสัญญาณที่เป็นแรงดันเท่านั้น SCC CI20 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณในรูปของกระแสให้เป็นแรงดัน ทำให้ PCI 6014 สามารถรับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดที่ส่งสัญญาณเป็นกระแสได้ กระแสที่สามารถรับได้คือ 4 – 20 mA และแปลงเป็นแรงดันที่ 0 – 5 V มีอินพุต 2 channels

#### 4.2.2.4 SCC 68



รูปที่ 4.5 SCC 68 [11]

SCC 68 ทำหน้าที่เป็น terminal ของสัญญาณต่างๆเพื่อส่งเข้า PCI 6014 ดังนั้นสัญญาณจากอุปกรณ์วัดทั้งหมด เข้ามารวมที่ SCC 68 ก่อนเข้า PCI 6014

#### 4.2.2.5 SCC RLY01



รูปที่ 4.6 SCC RLY01 [11]

SCC RLY01 เป็น relay ชนิดหนึ่งทำหน้าที่สั่งการทำงานของพัดลมเพื่อระบายความร้อน มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- 1 channels
- Nominal switching capacity 5 A at 250 VAC, 5 A at 30 VDC
- Contact resistance 30 m $\Omega$
- Operate time (NC to NO) 5 ms (10 ms max)
- Release time (NO to NC) 4 ms (5 ms max)

#### 4.2.3 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดค่าที่เกิดขึ้นภายในระบบ

##### 4.2.3.1 อุปกรณ์วัดความชื้น



รูปที่ 4.7 อุปกรณ์วัดความชื้น [12]

อุปกรณ์วัดความชื้นเป็นของบริษัท RENSE รุ่น 925 ทำหน้าที่วัดความชื้นของแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจนก่อนเข้าสู่เซลล์และวัดความชื้นของแก๊สออกซิเจนหลังออกจากเซลล์ จำนวนที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 ตัว สัญญาณที่ส่งออกมาเป็นแรงดัน อุปกรณ์ชิ้นนี้วัดได้แต่ความชื้นอย่างเดียวไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้ คุณสมบัติดังนี้

- Power supply	30 VDC
- Output	0 - 10 VDC
- Operating range	0 – 99 %RH

#### 4.2.3.2 อุปกรณ์วัดความดัน

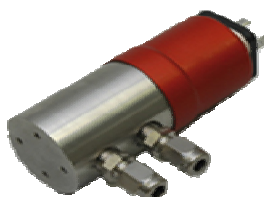


รูปที่ 4.8 อุปกรณ์วัดความดัน [13]

อุปกรณ์วัดความดันเป็นของบริษัทแสงชัยมิเตอร์ รุ่น PA 3026 ทำหน้าที่วัดความดันของแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจนก่อนเข้าสู่เซลล์ สัญญาณที่ส่งออกมาเป็นกระแส 4 – 20 mA มีคุณสมบัติดังนี้

- Range	0 – 50 V
- Output	4 – 20 mA
- Supply	0 – 30 VDC
- Operating range	- 25 °C – 80 °C

#### 4.2.3.3 อุปกรณ์วัดความดันลด



รูปที่ 4.9 อุปกรณ์วัดความดันลด [14]

อุปกรณ์วัดความดันลดตำแหน่งที่วัดคือก่อนเข้าและออกจากเซลล์ของแก๊ส ออกซิเจน และไฮโดรเจนเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความดันหลังเข้าสู่เซลล์ สัญญาณที่ส่งออกมาอยู่ในรูปของความดัน มีคุณสมบัติดังนี้

- Output	0 – 10 V
- Supply	11 – 33 VDC
- Range	0.01 – 25 bar
- Operating range	- 15 °C – 80 °C

#### 4.2.3.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส [15]

อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส เป็นของบริษัท AALBORG ติดตั้งหลังจากถังแก๊สเพื่อปรับปริมาณแก๊สที่เข้าสู่ระบบ มีจำนวน 2 ตัว คือแก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจน การทำงานจะทำงานคู่กับเครื่องควบคุมคือ



รูปที่ 4.11 SDPOC ควบคุม mass flow controller [15]

โมดูล SDPOC ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก mass flow controller เข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านทาง RS 232 และยังรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของ mass flow controller

#### 4.2.3.5 Electronic Load



รูปที่ 4.12 Electronic Load

เป็นของบริษัท Agilent Technologies รุ่น N3300A สามารถกำหนด ความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุด 60 V และกระแสไฟฟ้า 30 A

### 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 4.3.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

1. ตรวจสอบวาล์วขาเข้าทุกตัว ให้เปิดปิดในทิศทางที่ต้องการ เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของแก๊ส และตรวจสอบวาล์วออกให้อยู่ในตำแหน่งปิด
2. ตรวจสอบข้อต่อ และสายไฟต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมการใช้งาน
3. เปิดโปรแกรม LabVIEW®
4. เปิดเครื่องควบคุมการไหลของแก๊ส SDPOC อุ่นเครื่อง 15 นาทีก่อนใช้งาน
5. เปิด Electronic Load และอุ่นเครื่อง 15 นาทีก่อนการทดลอง
6. เปิดแหล่งจ่ายไฟให้แก่เซนเซอร์ทุกตัว

7. ตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW® เพื่อควบคุม SDPOC ให้อยู่ในตำแหน่ง COM1 และเครื่อง Electronic Load ให้อยู่ตำแหน่ง COM2 bit rate 1000
8. ตั้งค่าอัตราการไหลของแก๊สตามที่ต้องการ
9. ตั้งค่าของเครื่อง electronic load ตามขนาดของแรงดันที่ต้องการ
10. เปิดแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจน โดยให้ความดันที่ออกจากถังแก๊สมีค่าประมาณ 5 bar
11. กดปุ่ม OK เพื่อบันทึกค่าของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น อัตราการไหลของแก๊ส กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ขณะทำการทดลอง ที่หน้าจอแสดงผลหน้าแรกของโปรแกรมเพื่อบันทึกข้อมูลในรูปแบบ excel

#### 4.3.2 ขั้นตอนหลังการทดลอง

1. หยุดการบันทึกข้อมูลของ LabVIEW® โดยการกดปุ่ม STOP ที่หน้าจอแรก
2. ปิดวาล์วของถังแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจน
3. ทำการปล่อยแก๊สที่เหลือในระบบออกโดยการเปิดวาล์วเพื่อไล่แก๊ส
4. ปิดแหล่งจ่ายไฟของเซ็นเซอร์ทุกตัว
5. ปิดเครื่องควบคุมการไหลของแก๊ส SDPOC และ electronic load
6. ปิดโปรแกรม LabVIEW®



## บทที่ 5

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองนี้เป็นการออกแบบระบบวัดรวบรวมข้อมูลและควบคุมหน่วยทดสอบ เซลล์เชื้อเพลิง ตัวแปรของเซลล์เชื้อเพลิงที่วัดคือ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า อุณหภูมิ ความดัน ความดันลด ความชื้น การควบคุมใช้พัลลวมเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากเซลล์ วิธีการวัดและควบคุมทำโดยผ่าน โปรแกรม LabVIEW® ทั้งหมด การบันทึกผลการทดลอง บันทึกในรูปแบบตาราง ประเภทของตารางที่บันทึกสามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้งาน เช่น บันทึกในรูปแบบ excel หรือ .txt ตามความสะดวกและการใช้งาน

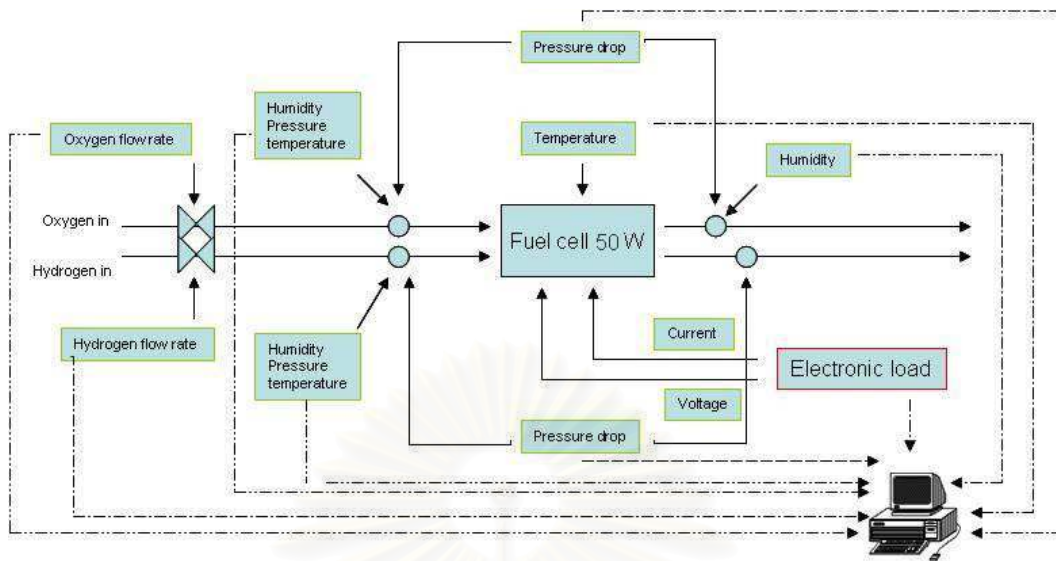
หน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงในการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 หน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้มีขนาด 50 W จำนวน 7 เซลล์ แก๊สที่ป้อนเข้าทางขั้วแคโทดคือแก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าทางขั้วแอโนด แผ่นฝั่งตำแหน่งของอุปกรณ์วัดต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



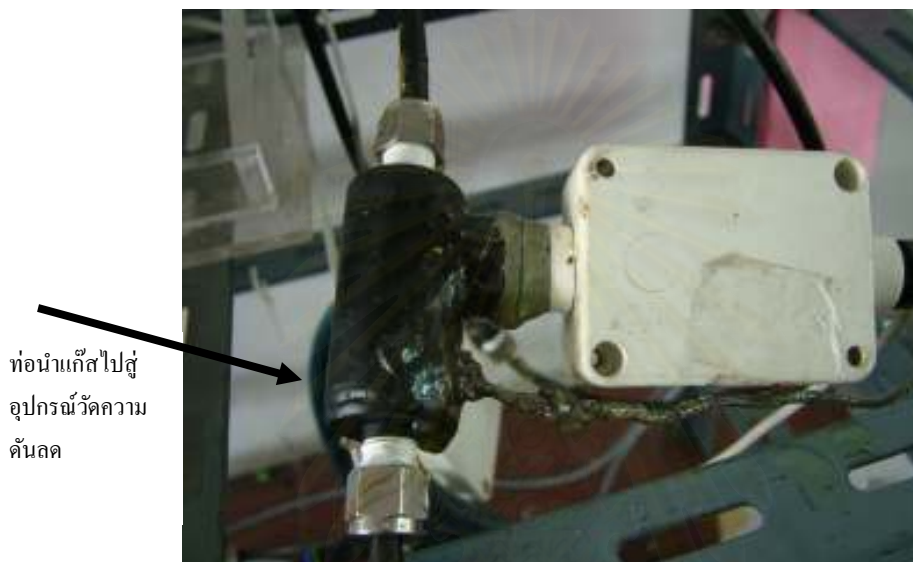
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดต่างๆภายในหน่วยทดสอบ

จากถังแก๊ส แก๊สออกซิเจนจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบโดยการควบคุมปริมาณด้วยเครื่องควบคุมอัตราการป้อนมวลของแก๊ส โดยตั้งค่าปริมาณการไหลของออกซิเจนให้มีค่าเท่ากับปริมาณการไหลของไฮโดรเจน ตามปกติปริมาณการใช้ไฮโดรเจนจะเป็น 2 เท่าของการใช้ออกซิเจน ดังนั้นการตั้งค่าการป้อนออกซิเจนให้เท่ากับไฮโดรเจนเป็นการตั้งปริมาณการป้อนออกซิเจนให้เกินพอ และการควบคุมกระบวนการจะเน้นไปที่การควบคุมการป้อนแก๊สไฮโดรเจน อุปกรณ์ถัดจากเครื่องควบคุมอัตราการไหลคืออุปกรณ์วัดความดันแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์วัดความดัน

รูปที่ 5.3 แสดงอุปกรณ์วัดความดัน จุดประสงค์เพื่อวัดความดันของแก๊สที่จะผ่านเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง ความดันมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดังแสดงในสมการที่ 2.12 โดยในการทดลองนี้ปรับให้แก๊สเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงที่ความดัน 1 bar หรือเท่ากับความดันบรรยากาศ อุปกรณ์ต่อมาจะเป็นอุปกรณ์วัดความชื้นและวัดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์วัดความชื้นและวัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 5.4 แสดงอุปกรณ์วัดความชื้นและวัดอุณหภูมิซึ่งโดยทั่วไปการวัดความชื้นและอุณหภูมิสามารถใช้อุปกรณ์ขึ้นเดียวกันได้ แต่ในระบบนี้ได้แยกอุปกรณ์ทั้งสองออกจากกันเป็น 2 ชิ้น คืออุปกรณ์วัดความชื้นและเทอร์โมคัปเปิ้ล ความชื้นที่วัดได้จะแสดงผลในรูปร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ จุดประสงค์เพื่อวัดความชื้นของแก๊สก่อนผ่านเข้าสู่เซลล์ ความชื้นของแก๊สบริเวณนี้จะมีค่าน้อยเนื่องจากระบบนี้ไม่มีการให้ความชื้นแก่แก๊สก่อนเข้าสู่เซลล์ ดังนั้นความชื้นของแก๊สจะมาจากความชื้นของแก๊สที่อยู่ในถังเท่านั้น เนื่องจากส่วนหัวของอุปกรณ์วัดความชื้นมีขนาดใหญ่กว่าท่อทั่วไป ดังนั้นต้องทำท่อใหม่เพื่อใส่อุปกรณ์วัดความชื้น ท่อที่อยู่ด้านข้างคือท่อที่นำแก๊สไปสู่อุปกรณ์วัดความดันลดคร่อมเซลล์เชื้อเพลิง

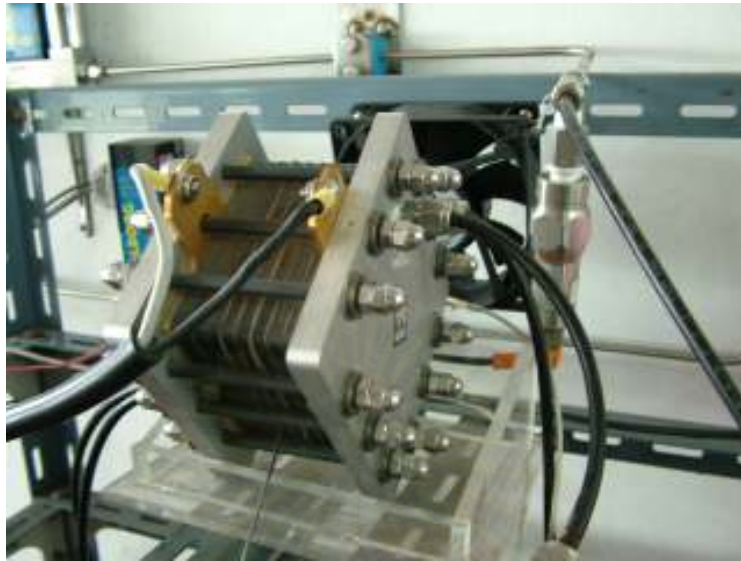
ในส่วนของหน่วยขึ้นเซลล์เชื้อเพลิงปัจจัยที่ทำการวัดคือ อุณหภูมิของเซลล์ ความดันลดคร่อมเซลล์ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์ ความดันลดคร่อมเซลล์เป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถบอกถึงปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงได้ เนื่องจากถ้าในเซลล์เชื้อเพลิงมีน้ำเกิดขึ้น หยดน้ำที่เกิดขึ้นจะไปขวางทางการไหลของแก๊ส ดังนั้น

แก๊สจะไหลผ่านช่องทางเดินแก๊สในเซลล์ได้ยากขึ้น ส่งผลให้เกิดความสูญเสียความดันของแก๊ส การวัดความดันที่ลดลงของแก๊สระหว่างฝั่งขาเข้าและขาออกจากแต่ละขั้วไฟฟ้า ถ้าค่าความดันลดมากแสดงว่าเกิดน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงมาก อุณหภูมิจะถูกรวัดและข้อมูลที่ได้จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่าน USB NI 9211 ค่าความดันลดที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์และเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW<sup>®</sup> กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะถูกวัดโดย electronic load การโอนถ่ายข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ทำโดยใช้การสื่อสารข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ RS232 เข้าสู่คอมพิวเตอร์ทาง COM1 สาเหตุที่การ โอนถ่ายข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปรแตกต่างกันเนื่องมาจากการใช้งาน อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่าเพียงอย่างเดียว ในขณะที่กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้านอกจากจะต้องทราบค่าแล้วยังต้องส่งข้อมูลกลับไปเพื่อทำการควบคุม ดังนั้นการควบคุมตัวแปรโดยผ่านเครื่องมือ electronic load ทำให้สามารถควบคุมค่าความต่างศักย์ตามที่ต้องการได้

ฝั่งแก๊สขาออกจากหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงด้านออกซิเจนจะมีอุปกรณ์วัดความชื้น ในขณะที่ทางฝั่งไฮโดรเจนจะไม่มีการวัดค่าความชื้น เหตุผลของการติดตั้งอุปกรณ์ในลักษณะนี้เป็นเพราะว่า ฝั่งแคโทดเป็นฝั่งที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ดังนั้นน้ำจะเกิดในฝั่งนี้มาก ออกซิเจนที่ไหลออกจากเซลล์จะมีน้ำส่วนหนึ่งออกมาด้วย ดังนั้นค่าความชื้นของแก๊สออกซิเจนเมื่อออกจากเซลล์จะมีค่ามากกว่าค่าความชื้นของออกซิเจนเมื่อเข้าสู่เซลล์ ดังนั้นการวัดความชื้นของออกซิเจนเมื่อออกจากเซลล์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ในทางกลับกันฝั่งแอโนดซึ่งไฮโดรเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไม่มีน้ำเกิดขึ้นและการแพร่ของน้ำจากฝั่งแคโทดผ่านเมมเบรนไปฝั่งแอโนดมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่าความชื้นของไฮโดรเจนเมื่อเข้าสู่เซลล์และออกจากเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากจนถือว่าไม่มีความสำคัญ ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้นของไฮโดรเจนเมื่อออกจากเซลล์เชื้อเพลิงจึงไม่จำเป็น

เซลล์เชื้อเพลิงมีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนขนาด 24 VDC เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อน โดยติดตั้งไว้บริเวณด้านหลังของเซลล์ดังภาพที่ 5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 เซลล์เชื้อเพลิงและพัลลภระบายความร้อน

### 5.1 การเลือกชนิดอุปกรณ์ตรวจวัด

อุปกรณ์วัดที่ใช้ส่งสัญญาณขาออกในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าช่วง  $0 - 10 \text{ V}$  ได้แก่ อุปกรณ์วัดความชื้น อุปกรณ์วัดความดันคลด ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานกับ DAQcard ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลสนับสนุนในรูปแบบของสัญญาณแบบแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้งานควรส่งสัญญาณแบบแรงดันไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์วัดความดันผู้วิจัยไม่สามารถหาประเภทที่ส่งสัญญาณแบบแรงดันไฟฟ้าได้ สัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดความดันจะเป็นสัญญาณแบบกระแสไฟฟ้า  $4 - 20 \text{ mA}$  ดังนั้นในการใช้งานจะต้องแปลงสัญญาณจากกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณนี้เรียกว่า ตัวแปลงสัญญาณ (Signal Condition) สำหรับประเภทของสัญญาณขึ้นกับการใช้งานว่าต้องการสัญญาณที่ส่งออกมาเป็นสัญญาณลักษณะอย่างไร

### 5.2 โปรแกรม LabVIEW®

โปรแกรม LabVIEW® ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองเนื่องจากโปรแกรม LabVIEW® เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานกับอุปกรณ์วัดประเภทต่างๆ ได้หลากหลายชนิด ภายในโปรแกรมมีเครื่องมือสำหรับการสร้างระบบรวบรวมข้อมูลและระบบควบคุมได้

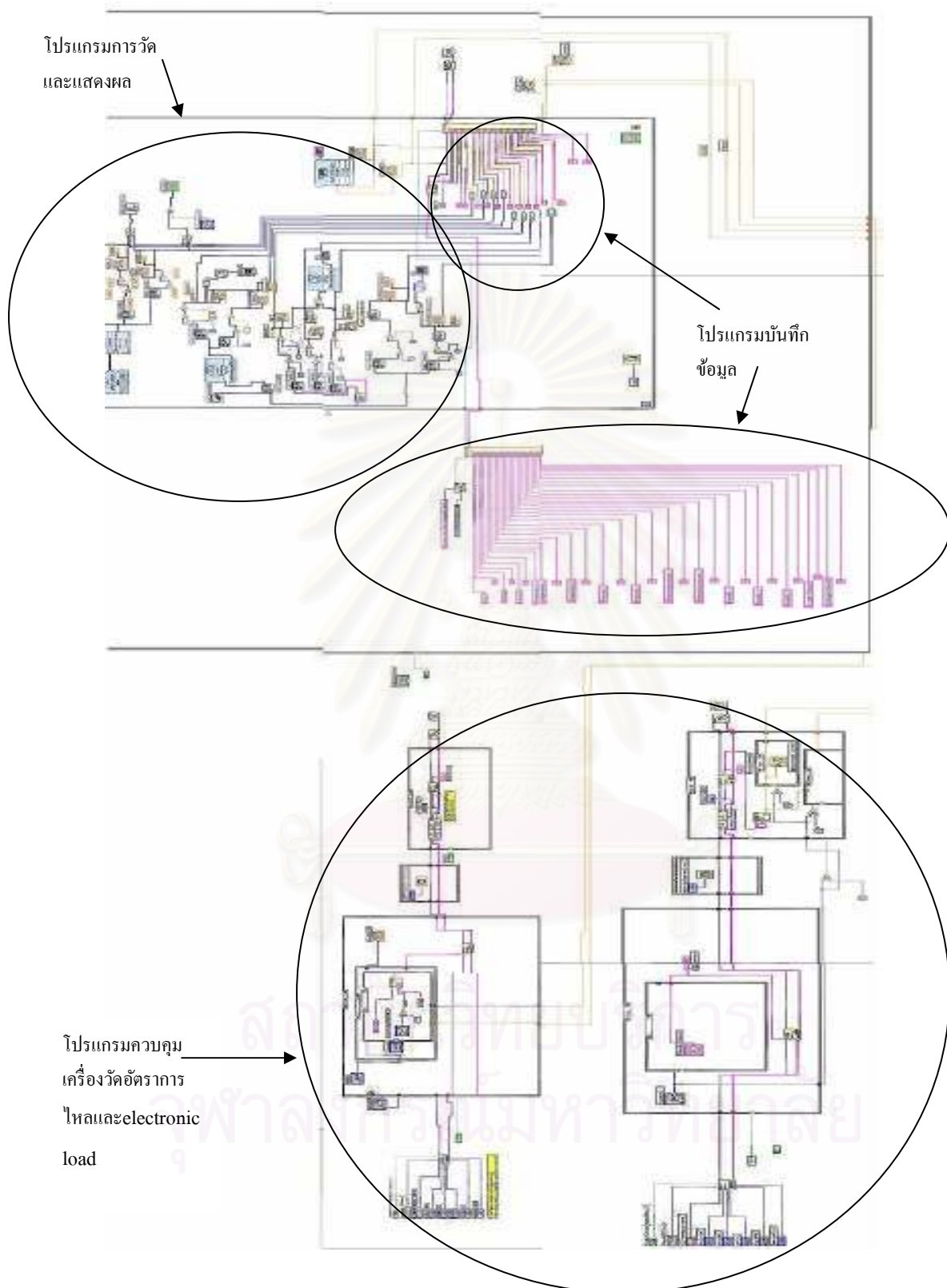


สะดวกโดยโปรแกรมเปิดโอกาสให้ผู้พัฒนาระบบ สามารถสร้างแผงควบคุมเสมือนได้บนจอคอมพิวเตอร์ รวมทั้งแผงแสดงผลในรูปแบบตัวเลขและกราฟ เพื่อให้ผู้ใช้ระบบสามารถใช้งานระบบได้อย่างสะดวก ง่ายต่อการสื่อสารกับอุปกรณ์วัดและแสดงผลออกมาในแบบ real time ได้ นอกจากนี้การควบคุมระบบยังสามารถทำได้โดยการสร้างโปรแกรมเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ในหลายรูปแบบ เช่นผ่านช่องทาง DAQcard PCI RS232 GPIB เป็นต้น และอุปกรณ์ใหม่ๆ ในปัจจุบันต่างให้การสนับสนุนการทำงานในรูปแบบดังกล่าว ทำให้การทำงานของโปรแกรมครอบคลุมเครื่องมือหลายชนิด การจัดเก็บข้อมูลของโปรแกรมสามารถกำหนดตามรูปแบบที่ต้องการจัดเก็บได้ ข้อมูลไม่จำเป็นต้องจัดเก็บในรูปแบบเอกสารเท่านั้น อาจเก็บในรูปแบบของ ตาราง กราฟ หรือรูปภาพ ขึ้นกับการใช้งาน ข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของโปรแกรมคือ ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ( user interface ) เพราะโปรแกรมมีการแสดงหน้าจอในรูปแบบควบคุม ดังนั้นผู้พัฒนาระบบอาจไม่ต้องมีความรู้ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำงานได้ การควบคุมอุปกรณ์วัดต่างๆสามารถทำผ่าน mouse และ keyboard ได้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูปที่ 5.6



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



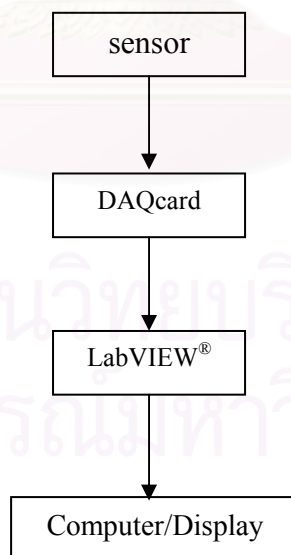


รูปที่ 5.6 ผังการทำงานโดยรวมของระบบรวบรวมข้อมูลที่พัฒนาขึ้นภายในโปรแกรม LabVIEW®

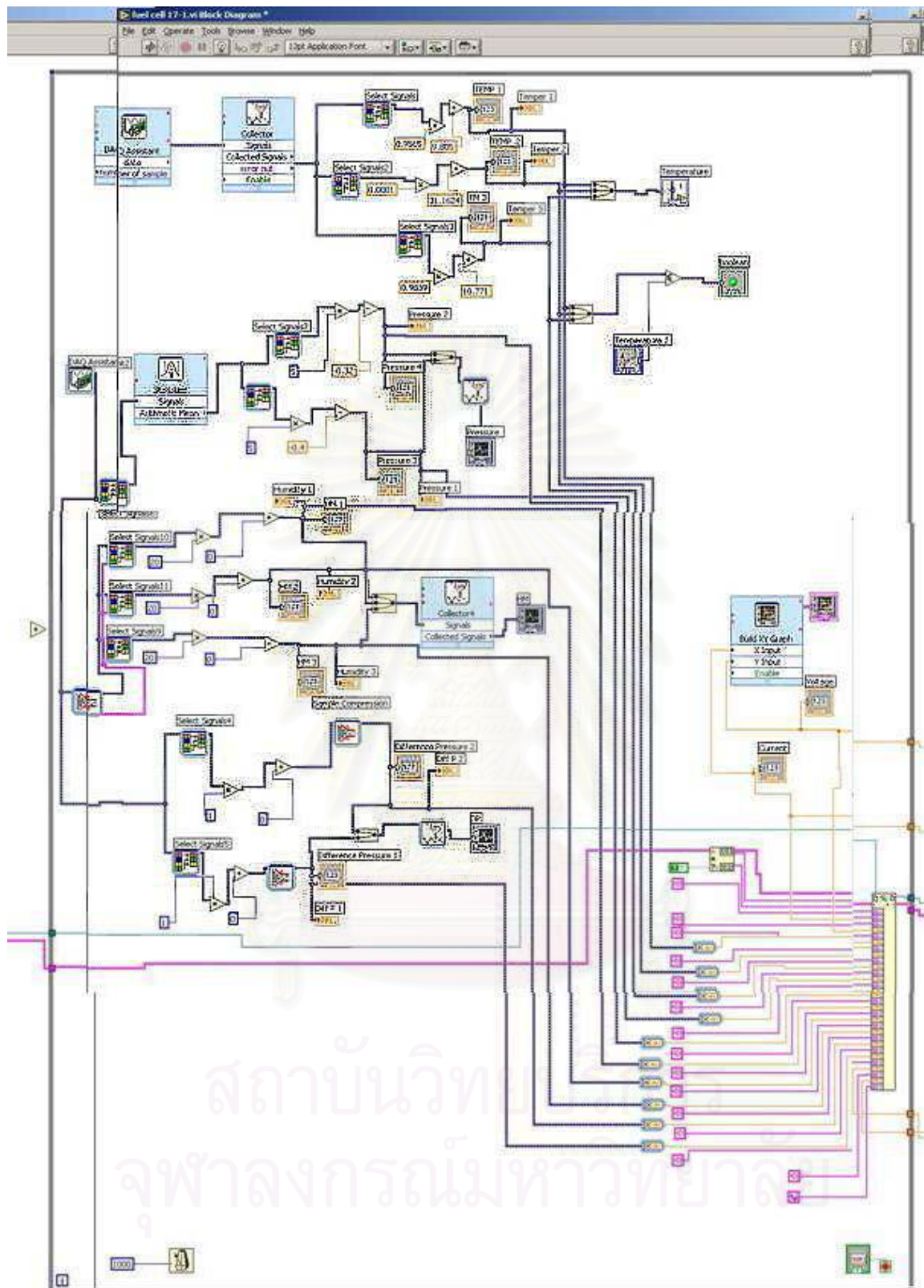
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยหลายส่วนดังต่อไปนี้คือ ส่วนของการวัดและแสดงผล มีหน้าที่รับค่าตัวแปรต่างๆแล้วแสดงผลหน้าจอกอมพิวเตอร์ ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง Electronic load ทำหน้าที่กำหนดและปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนแก๊สเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงและกำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการจากเซลล์เชื้อเพลิง และสุดท้ายส่วนบันทึกข้อมูลทำหน้าที่บันทึกค่าต่างๆที่ได้ในรูปแบบเอกสาร

### 5.2.1 ส่วนการวัดและแสดงผล

ส่วนการวัดและแสดงผลมีหน้าที่หลักคือนำสัญญาณจากอุปกรณ์วัดภายนอกอันได้แก่สัญญาณจากอุปกรณ์วัดการไหลของแก๊ส อุปกรณ์วัดความชื้น อุณหภูมิ ความดัน ความดันลด กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า เข้าสู่โปรแกรม LabVIEW® และแสดงข้อมูลที่ได้ทางหน้าจอแสดงผล การแสดงผลอาจจะเป็นในรูปแบบของกราฟหรือตัวเลขดิจิทัล การวัดและแสดงผลเป็นการทำงานร่วมกันของ อุปกรณ์วัด DAQcard และโปรแกรม LabVIEW® ในคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์วัดทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่างๆมายัง DAQcard ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลเพื่อส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ มีโปรแกรม LabVIEW® ทำหน้าที่ประมวลผลต่างๆและแสดงผลข้อมูลให้ใช้งาน แผนผังการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 5.7

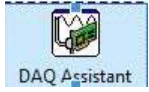

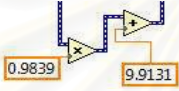



รูปที่ 5.7 แผนผังการทำงานของการวัดและแสดงผล



รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันของโปรแกรมส่วนวัดและแสดงผล

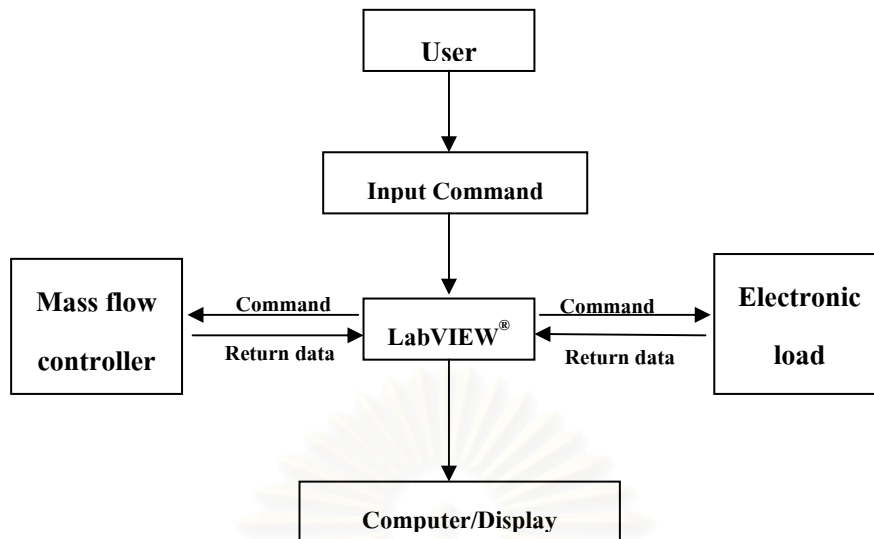
จากรูปที่ 5.8 ในส่วนของการรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดต่างๆ โปรแกรมทำงานโดยใช้

คำสั่ง DAQcard  ที่มี 2 ชุดคือคำสั่งชุดแรกสำหรับรับข้อมูลจากอุณหภูมิ คำสั่งอีกชุดหนึ่งรับข้อมูลจากความดัน ความดันลด และความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากการรับค่าตัวแปรของอุณหภูมิกับความดัน ความดันลด และความชื้นใช้อุปกรณ์คนละชนิดกัน อุณหภูมิใช้แผงรับค่า NI 9211 ในขณะที่ความดัน ความดันลดและความชื้นใช้แผงรับค่า PCI 6014 ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้คำสั่งเดียวกันได้ ถ้าใช้จะเกิดข้อผิดพลาดของคำสั่งได้ ก่อนทำการแสดงผลค่าของตัวแปรมีการปรับสัญญาณ  เพื่อลดการแกว่งของสัญญาณเพื่อให้ผลที่ได้มีการแกว่งน้อยที่สุด จากนั้นมีการปรับสัญญาณค่าที่ได้ให้ถูกต้องโดยการคูณค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง  เมื่อได้ค่าที่ถูกต้องแล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผลในรูปแบบกราฟ  หรือตัวเลขต่อไป

## 5.2.2 ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load

การทำงานของส่วนนี้เป็นการรับค่าและควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง Electronic load แผนภาพทำงานของโปรแกรมส่วนนี้แสดงได้ดังรูปที่ 5.9

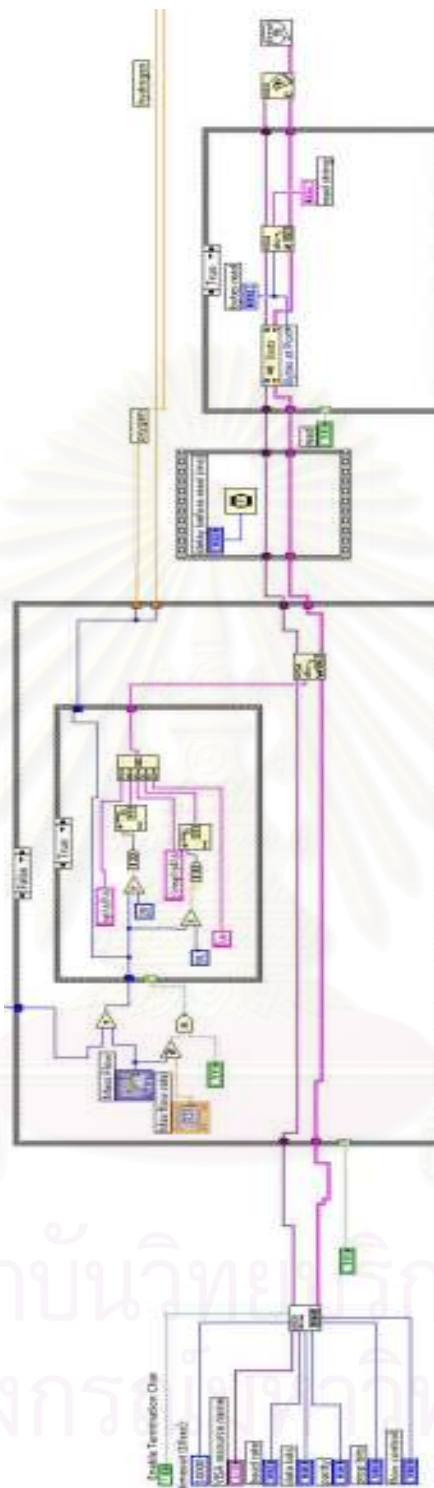
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.9 แผนภาพการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load

จากรูปที่ 5.9 เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load จะทำงานควบคู่กันไป โปรแกรม LabVIEW® นอกจากรับสัญญาณการทำงานแล้วยังส่งคำสั่งเพื่อไปควบคุมเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load ด้วย ในส่วนของสัญญาณชุดนี้ไม่ต้องใช้แผง DAQcard เนื่องจากการรับส่งข้อมูลใช้การส่งสัญญาณผ่านทาง RS232 เข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยตรง

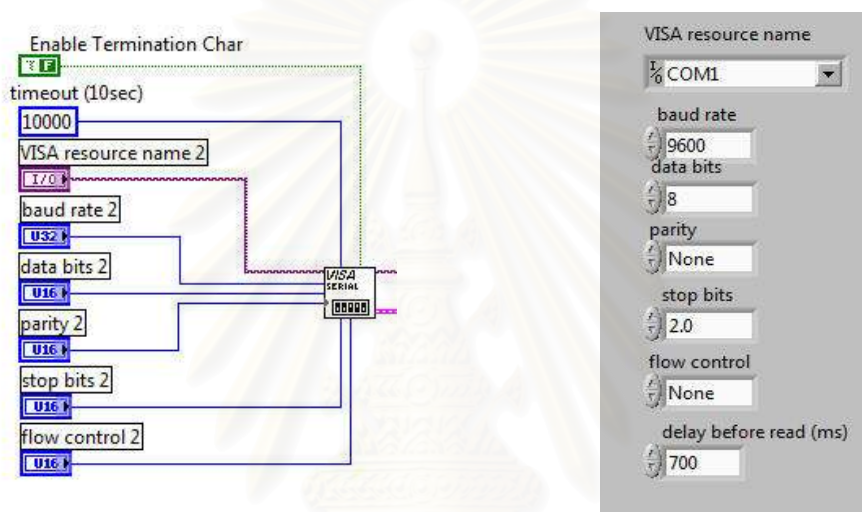




รูปที่ 5.10 คำสั่งของส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการใช้ของแก๊สและ  
เครื่อง electronic load



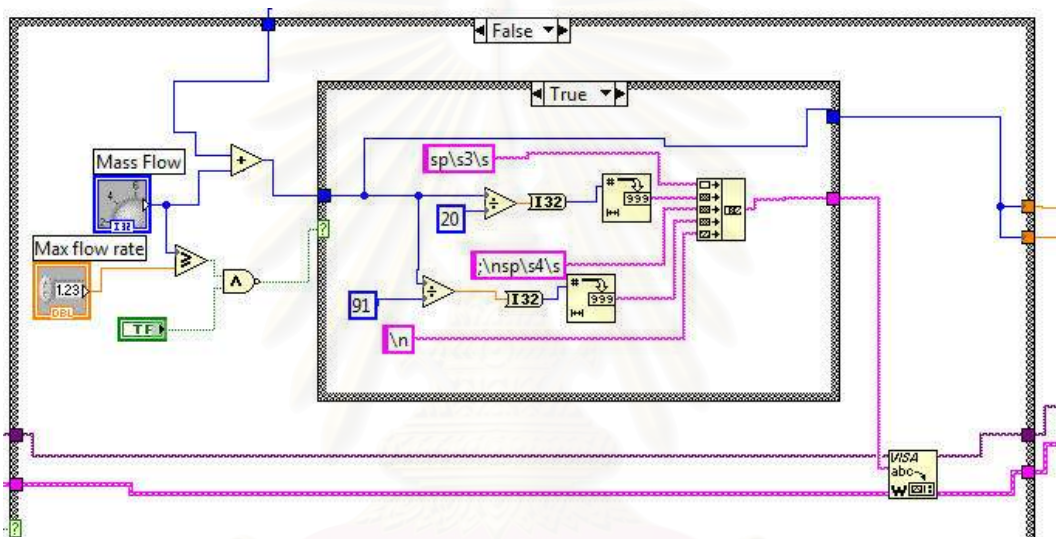
จากรูปที่ 5.10 แสดงคำสั่งของส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load การทำงานของส่วนควบคุมของเครื่องมือทั้งสองชนิดโดยพื้นฐานแล้วมีลักษณะคล้ายกัน สิ่งที่แตกต่างกันคือชุดคำสั่งของการทำงาน ในขั้นตอนแรกของการทำงาน เปรียบเสมือนขั้นตอนให้คอมพิวเตอร์และเครื่องมือได้รู้จักกัน ชุดคำสั่งที่ใช้ในการตั้งค่าสำหรับการสื่อสารข้อมูลว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นอย่างไรอัตราการส่งข้อมูลมีค่าเท่าไรดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 คำสั่งอัตราการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโปรแกรมและเครื่องมือ


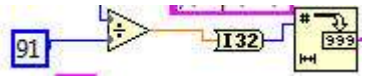
จากรูปที่ 5.11 เป็นคำสั่งที่ทำหน้าที่สำหรับให้ผู้ใช้กำหนดค่าการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมือและ LabVIEW® “VISA resource name” เปรียบเสมือนช่องการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และ LabVIEW® โดยที่ช่องหนึ่งช่องต่อได้กับเครื่องมือ 1 ชิ้นเท่านั้น ในระบบที่พัฒนาขึ้นได้กำหนดให้ใช้ช่องทาง COM1 สำหรับการสื่อสารกับเครื่องควบคุมอัตราการไหลและช่องทาง COM2 สำหรับเครื่อง Electronic load การตั้งอัตราเร็วการอ่านและบันทึกข้อมูลค่าเหล่านี้เป็นค่าเฉพาะของเครื่องมือแต่ละชนิด ดังนั้นค่าที่ตั้งอาจไม่เท่ากัน การตั้งค่าการอ่านและบันทึกข้อมูลทำได้ดังนี้ เครื่องควบคุมการไหลของแก๊สใช้กำหนดวงจรรอ่านข้อมูล 700 ms สำหรับเครื่อง electronic load ใช้อัตรา 1000 ms โปรแกรมมีคำสั่ง Visa เพื่อทำหน้าที่เชื่อมการติดต่อระหว่าง LabVIEW® และอุปกรณ์วัด โปรแกรมสั่งงานแก่อุปกรณ์ปลายทางโดยการป้อนคำสั่งควบคุมลงในโปรแกรม LabVIEW® จากนั้น LabVIEW® ทำหน้าที่ส่งคำสั่งให้

อุปกรณ์ทำงาน การใส่คำสั่งเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานอยู่ที่ส่วนของโปรแกรมภายในเครื่องควบคุม อัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง Electronic load โดยทั่วไปคำสั่งคือการทำงาน ของชุดคำสั่งเป็นภาษา C แต่ว่า LabVIEW<sup>®</sup> ที่ใช้งานได้ออกแบบให้สามารถป้อนคำสั่งแก่ อุปกรณ์หรือเครื่องมือได้ โดยใช้ปุ่มบนหน้าจอแสดงผล ส่วนนี้เป็นข้อดีสำหรับผู้ใช้งานที่มี ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ( user interface ) ที่ง่ายและสะดวก ในบางครั้งผู้ใช้งานโปรแกรม LabVIEW<sup>®</sup> ไม่ใช่ผู้ที่พัฒนาโปรแกรม LabVIEW<sup>®</sup> ถ้าต้องใช้ชุดคำสั่งที่มีการทำงานที่ยุ่งยาก อาจจะ ไม่สะดวก การป้อนคำสั่งในแก่เครื่องมือโดย LabVIEW<sup>®</sup> แสดงได้รูปที่ 5.12

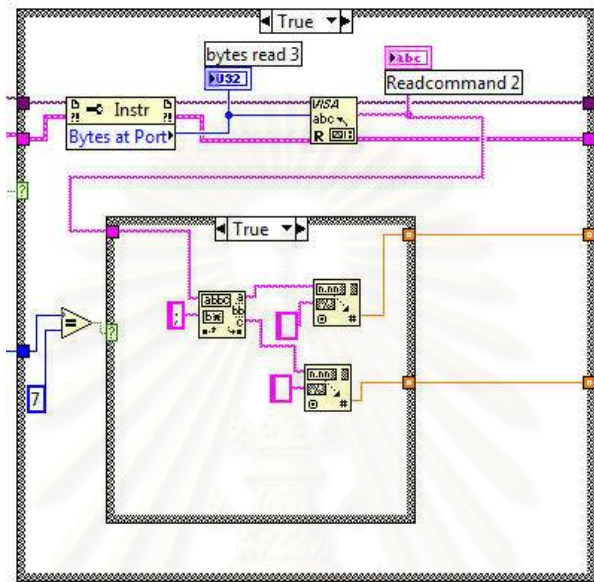


รูปที่ 5.12 ส่วนการป้อนคำสั่งแก่เครื่องมือ

จากรูปที่ 5.12 แสดงส่วนป้อนคำสั่งแก่เครื่องมือ โดยทั่วไปเครื่องมือจะมีชุดคำสั่ง มาตรฐานเพื่อให้ผู้ใช้กำหนดโปรแกรมได้เรียกว่า Standard Commands for Programmable Instrumentation (SCPI) สำหรับควบคุมการทำงานตามที่ต้องการ ดังนั้นการควบคุม เครื่องมือผ่าน LabVIEW<sup>®</sup> คือการป้อนคำสั่ง SCPI เข้าสู่ LabVIEW<sup>®</sup> แล้วส่งคำสั่งให้แก่

เครื่องมือ แต่ว่า LabVIEW<sup>®</sup> สามารถใช้ปุ่มคำสั่ง  ทำหน้าที่รับข้อมูล ในหน้าแสดงผล จะเป็นรูปปุ่มเครื่องมือ จากนั้นภายในโปรแกรมจะทำการแปลงค่าตัวเลขที่ป้อนเข้าให้อยู่ในรูป ของ string เนื่องจากเครื่องมือไม่สามารถรับคำสั่งที่เป็นตัวเลขได้ การทำให้เป็น string ใช้ คำสั่ง  ส่วนคำสั่งอื่นที่ไม่ใช่ตัวเลขสามารถป้อนเป็น string

ได้ `sp\rs\rs` โดยไม่ต้องแปลงค่า เมื่อโปรแกรม LabVIEW® รับคำสั่งทั้งหมดแล้วจึงส่งคำสั่งให้ VIS เพื่อป้อนคำสั่งสู่เครื่องมือต่อไป



รูปที่ 5.13 ส่วนแสดงผล

จากรูปที่ 5.13 เป็นชุดคำสั่งที่ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลคำสั่ง ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือ ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของ string ไม่ใช่ตัวเลข ดังนั้นในการแสดงผล

LabVIEW® ต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยคำสั่ง เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณต่อไปได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 คำสั่งพื้นฐานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส

คำสั่ง	ผลที่ได้
FF [CHANNEL] [VALUE]	ตั้งค่าอัตราการไหลเต็มสเกล
SP [CHANNEL] [VALUE]	ตั้งค่าอัตราการไหลในหน่วย %
DW [CHANNEL] [VALUE]	ตั้งค่าความหนาแน่นของแก๊สที่ใช้
CD	แสดงค่าอัตราการไหล
VM [CHANNEL] [MODE]	ตั้งรูปแบบการทำงานของเครื่อง

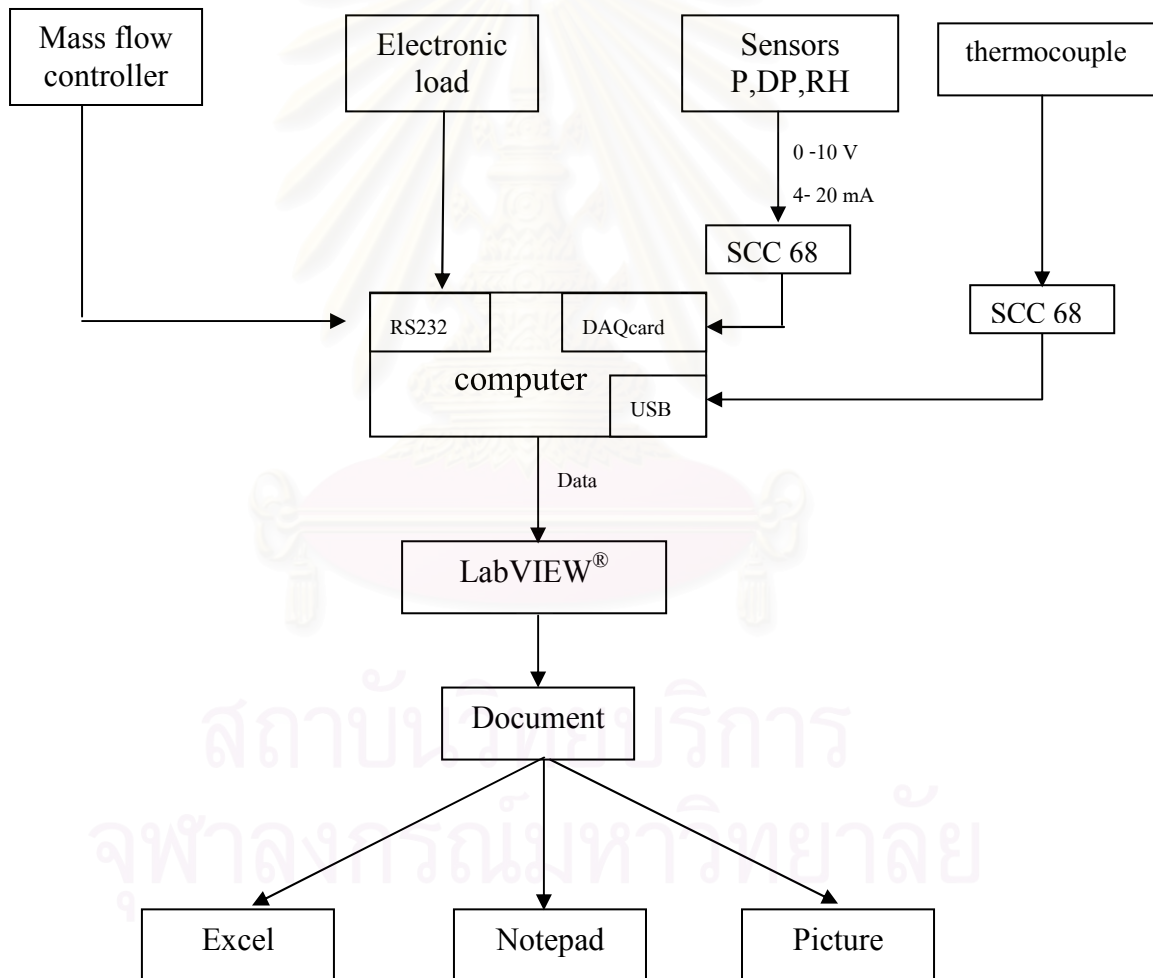
ตารางที่ 5.2 คำสั่งพื้นฐานของเครื่อง electronic load

คำสั่ง	ผลที่ได้
CHAN : LOAD [1-3]	เลือกช่องสัญญาณที่ทำงาน
MODE:[FUNCTION]	ตั้งรูปแบบที่จะวัดค่า
VOLT 50	ให้ค่าความต่างศักย์เท่ากับ 50 V
MEAS:VOLT:ACDC?	วัดค่าความต่างศักย์
MEAS:CURR:ACDC?	วัดค่ากระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 5.1 และ 5.2 เป็นคำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุม เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load คำสั่งเหล่านี้ได้แปลงเป็นรูปชุดคำสั่งของการทำงานใน LabVIEW® ดังนั้นการควบคุมการทำงานของเครื่องมือสามารถทำโดยผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ในรูปแบบกราฟิก ไม่จำเป็นต้องป้อนเป็นคำสั่งแก่เครื่องมือ การใช้งานอุปกรณ์อาจจะมีหน้าที่การทำงานมากกว่านี้ แต่ในส่วนของโปรแกรม LabVIEW® ได้ตั้งเพียงค่าการทำงานพื้นฐานเท่านั้น ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานที่ต้องการทำงานที่นอกเหนือจากการทำงานทั่วไปแล้ว สามารถป้อนคำสั่งของการทำงานอื่นได้โดยตรง โดยการพิมพ์คำสั่งที่ต้องการในหน้าจอกการทำงานของ LabVIEW®

### 5.2.3 ส่วนบันทึกผล

การทำงานของส่วนบันทึกผลจะเริ่มเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม REC เท่านั้น ในบางกรณีผู้ใช้งานอาจไม่ต้องการบันทึกผลข้อมูลจากการทดลองกรณีเช่นนี้ผู้ใช้งานก็ไม่จำเป็นต้องกดปุ่ม REC เมื่อ LabVIEW® เริ่มบันทึกข้อมูลผู้ใช้งานจะถูกถามให้ใส่ชื่อแฟ้มเอกสารและที่อยู่ที่ต้องการเก็บข้อมูลชนิดของเอกสารผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ในขั้นตอนการบันทึกข้อมูลโดย เมื่อพิมพ์ชื่อเอกสารแล้วใส่นามสกุลของเอกสารที่เหมาะสม เช่น .xls .txt เป็นต้น การทำงานของส่วนบันทึกผลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14



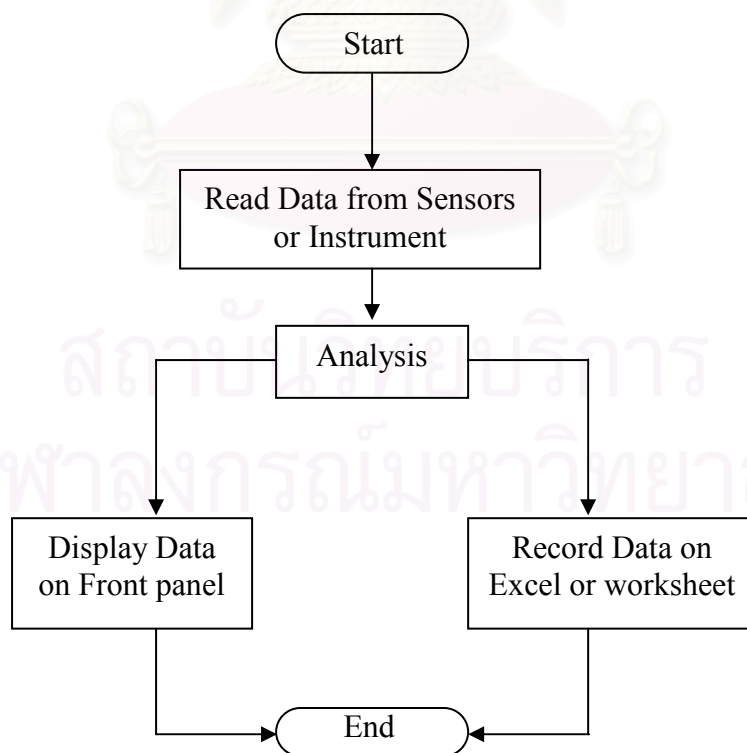
รูป 5.14 แผนภาพการทำงานของส่วนบันทึกผล

### 5.3 ลักษณะการทำงานในส่วนต่างๆของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรม LabVIEW® เพื่อควบคุมเซลล์เชื้อเพลิงมีหลายลักษณะ ดังนั้นโปรแกรมถูกออกแบบให้การทำงานตอบสนองต่อการใช้งานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิงให้มากที่สุด รูปแบบการใช้งาน โปรแกรมร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิงมี 4 หน้าทีคือ

#### 5.3.1 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวัด แสดงผลและบันทึกข้อมูล

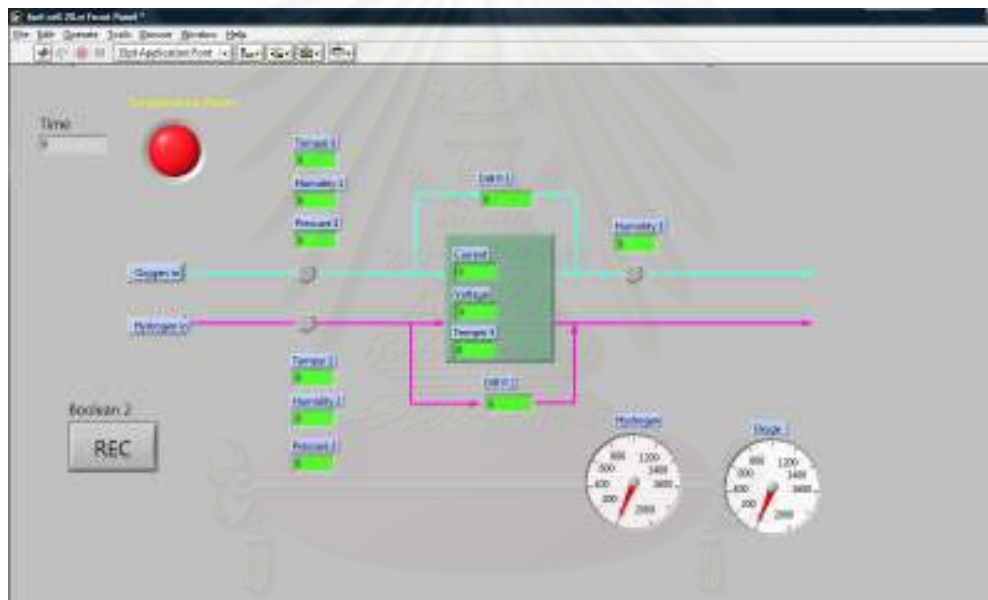
การทำงานในรูปแบบนี้เป็นการทำงานพื้นฐานของโปรแกรม ทุกรูปแบบการทำงานของโปรแกรมจะมีการวัดและแสดงผลเสมอแต่การบันทึกข้อมูลสามารถเลือกทำงานหรือไม่ก็ได้ การแสดงค่าของข้อมูลที่ได้มี 2 แบบคือแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ และแสดงในรูปแบบตัวเลขเป็นค่าแบบ real time ของปัจจัย การบันทึกข้อมูลใช้โปรแกรม excel เป็นมาตรฐาน แต่ผู้พัฒนาอาจเปลี่ยนโปรแกรมตามความต้องการได้ กราฟที่ได้้อาจบันทึกเป็นรูปภาพในนามสกุล .bmp หรือ .jpg ขึ้นกับผู้ใช้พัฒนาโปรแกรม ในการทำงานส่วนการวัด แสดงผลและบันทึกข้อมูลมีลักษณะการทำงานเป็นเหมือนดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ลักษณะการทำงานของโปรแกรมส่วนวัด แสดงผลและบันทึกข้อมูล

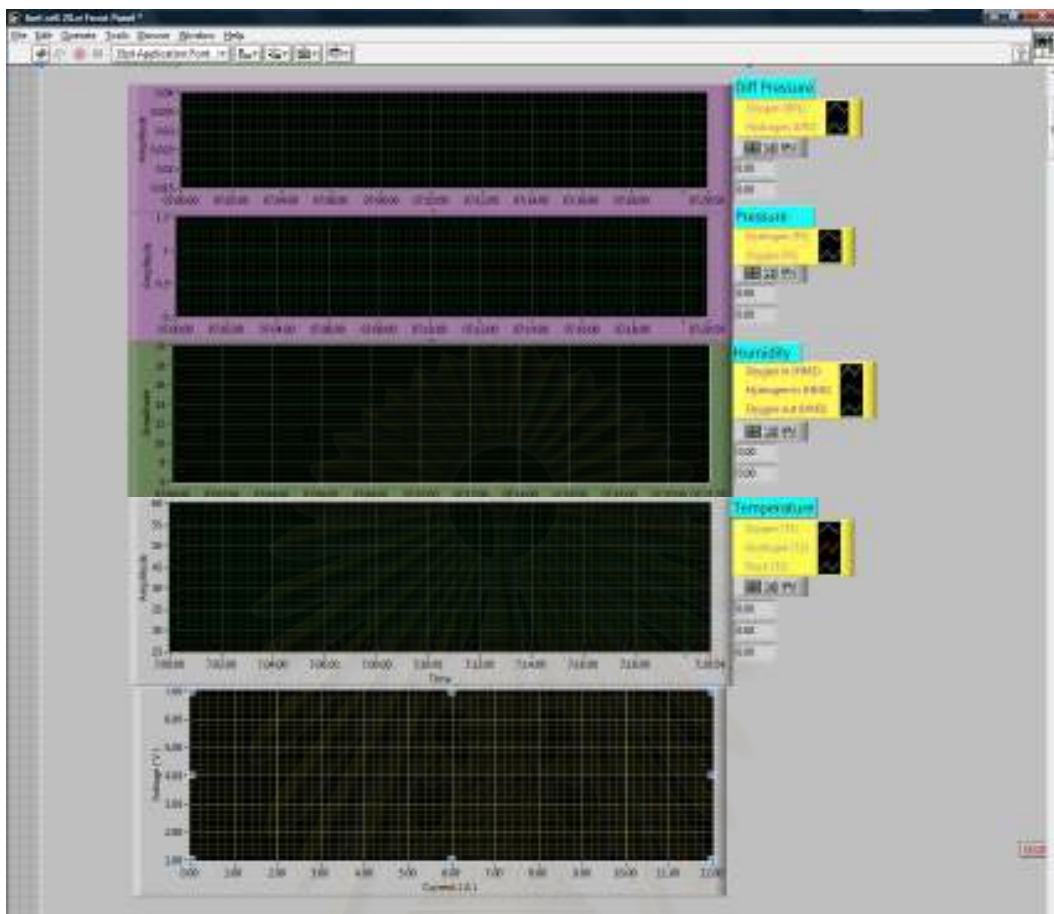


DAQcard ทำหน้าที่รับค่าจากอุปกรณ์วัด การส่งค่าใช้ sample read เท่ากับ 2 และ อ่านข้อมูลที่ 40 Hz เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สและเครื่อง electronic load มีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่ 8 bit ก่อนที่จะทำการแสดงผลข้อมูลจะได้รับการปรับสัญญาณข้อมูลก่อน เนื่องจากมีการรบกวนของสัญญาณ ส่งผลให้มีการแกว่งของสัญญาณค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอุปกรณ์วัดที่มีความไวสูง เช่น อุปกรณ์วัดความดัน ค่าที่วัดได้จะแกว่งมาก ดังนั้นในโปรแกรม LabVIEW® จะมีขั้นตอนการปรับแต่งสัญญาณก่อนนำออกแสดงผล เมื่อผ่านการปรับแต่งสัญญาณแล้วสัญญาณที่ได้ จะถูกส่งมาส่วนของการแสดงผลและการบันทึกข้อมูล จากนั้นการทำงานจะวนกลับไปอ่านค่าอีกครั้ง การวนซ้ำ จะดำเนินไปเรื่อยๆจนผู้ใช้งานสั่งหยุดโปรแกรม หน้าจอแสดงผลของการอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5.16 และรูปที่ 5.17



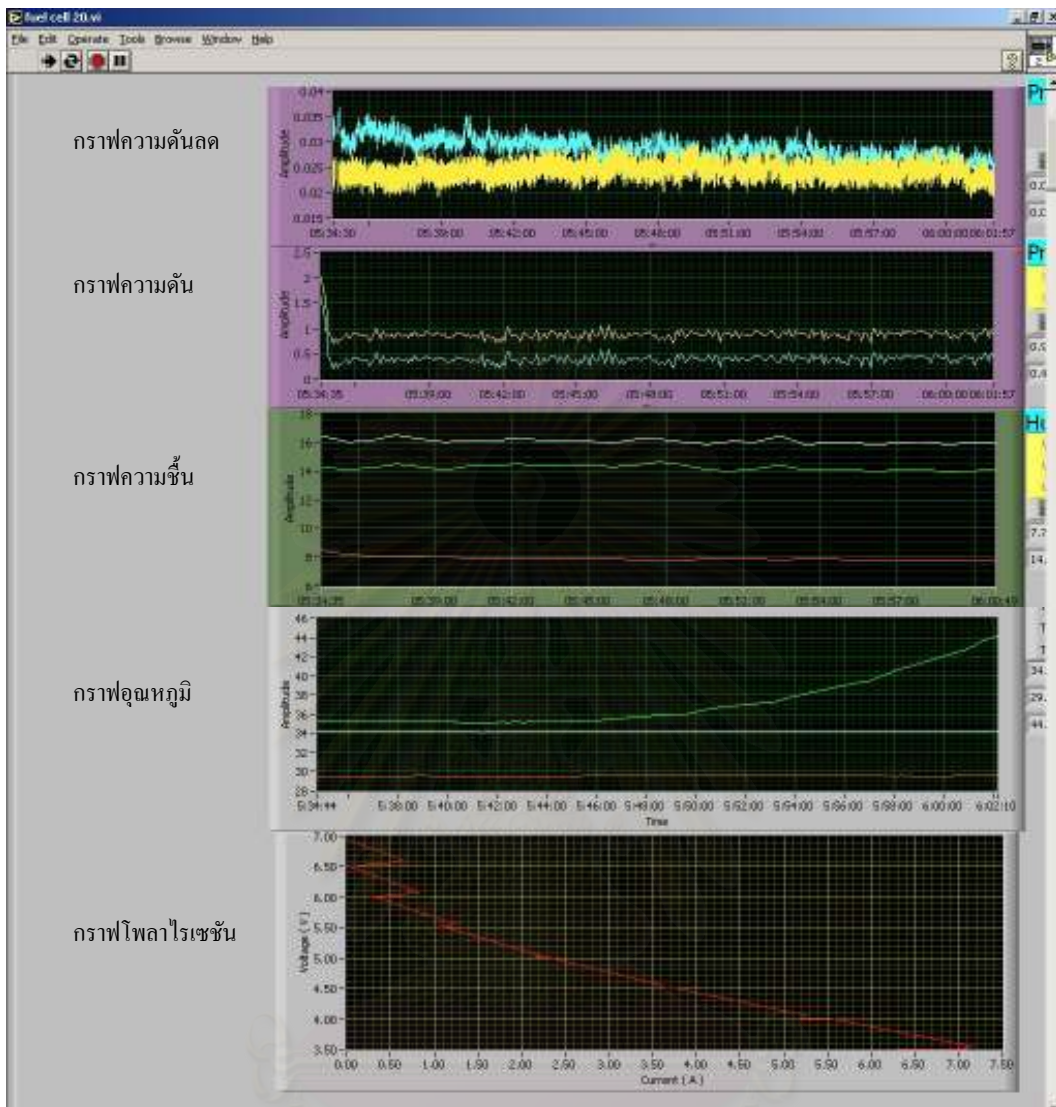
รูปที่ 5.16 ภาพหน้าจอการแสดงผลของตัวแปรต่างๆภายในเซลล์เชื้อเพลิง

จากภาพที่ 5.16 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม ค่าที่นำออกแสดงผลเป็นค่าจากอุปกรณ์วัดต่างๆในเวลาจริงที่วัดค่าได้ การแสดงค่าแสดงในตำแหน่งที่ทำการวัดเซลล์เชื้อเพลิงจริง เช่น แสดงค่าของกระแสและความต่างศักย์ที่วัดได้ที่ตัวเซลล์ ข้อดีของการแสดงค่าแบบนี้คือเพิ่มความสะดวกในการอ่านค่า ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าของตำแหน่งต่างๆของเซลล์ได้ทันทีโดยไม่ต้องจดจำตำแหน่งของอุปกรณ์วัดต่างๆ การแสดงค่าที่ได้แสดงเป็นช่วงวินาทีที่วัดขณะนั้น



รูปที่ 5.17 ภาพหน้าจอการแสดงผลของตัวแปรต่างๆแบบกราฟ

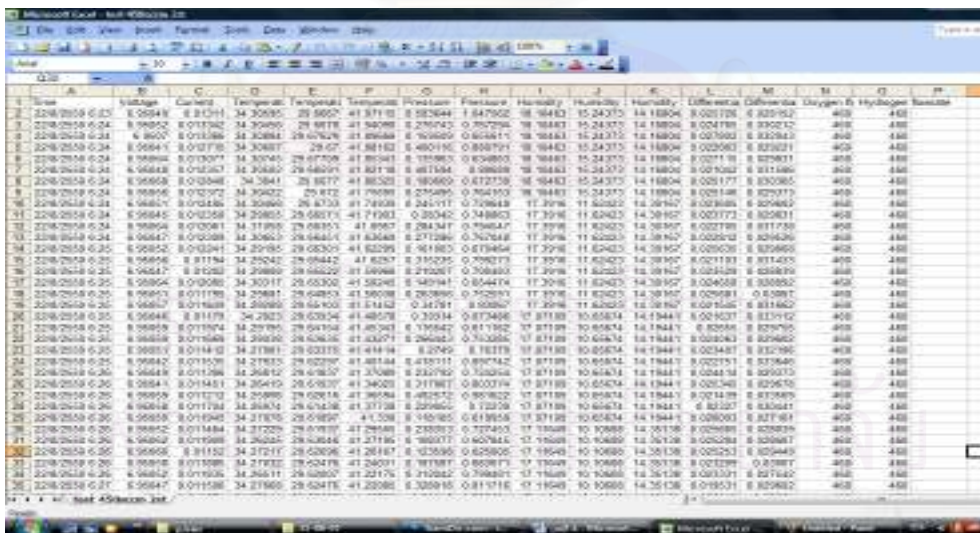
จากรูปที่ 5.17 เป็นการแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงผลของค่าตัวแปรต่างๆที่วัดค่าได้ การแสดงผลโดยกราฟแกน y เป็นค่าที่วัดได้โดยตัวแปรประเภทนั้น เช่น ความดันในหน่วยของ bar เป็นต้น แกน x เป็นแกนเวลาที่วัด กราฟสุดท้ายเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า หรือกราฟโพลาริเซชัน (Polarization curve) ซึ่งเป็นกราฟที่นิยมใช้อธิบายสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การแสดงผลโดยกราฟมีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์เชื้อเพลิงและสามารถเทียบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต่างกันในช่วงเวลาเดียวกัน เมื่อทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรทำให้สามารถวิเคราะห์การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 5.18 การทำงานของหน้าจอแสดงผลแบบกราฟ

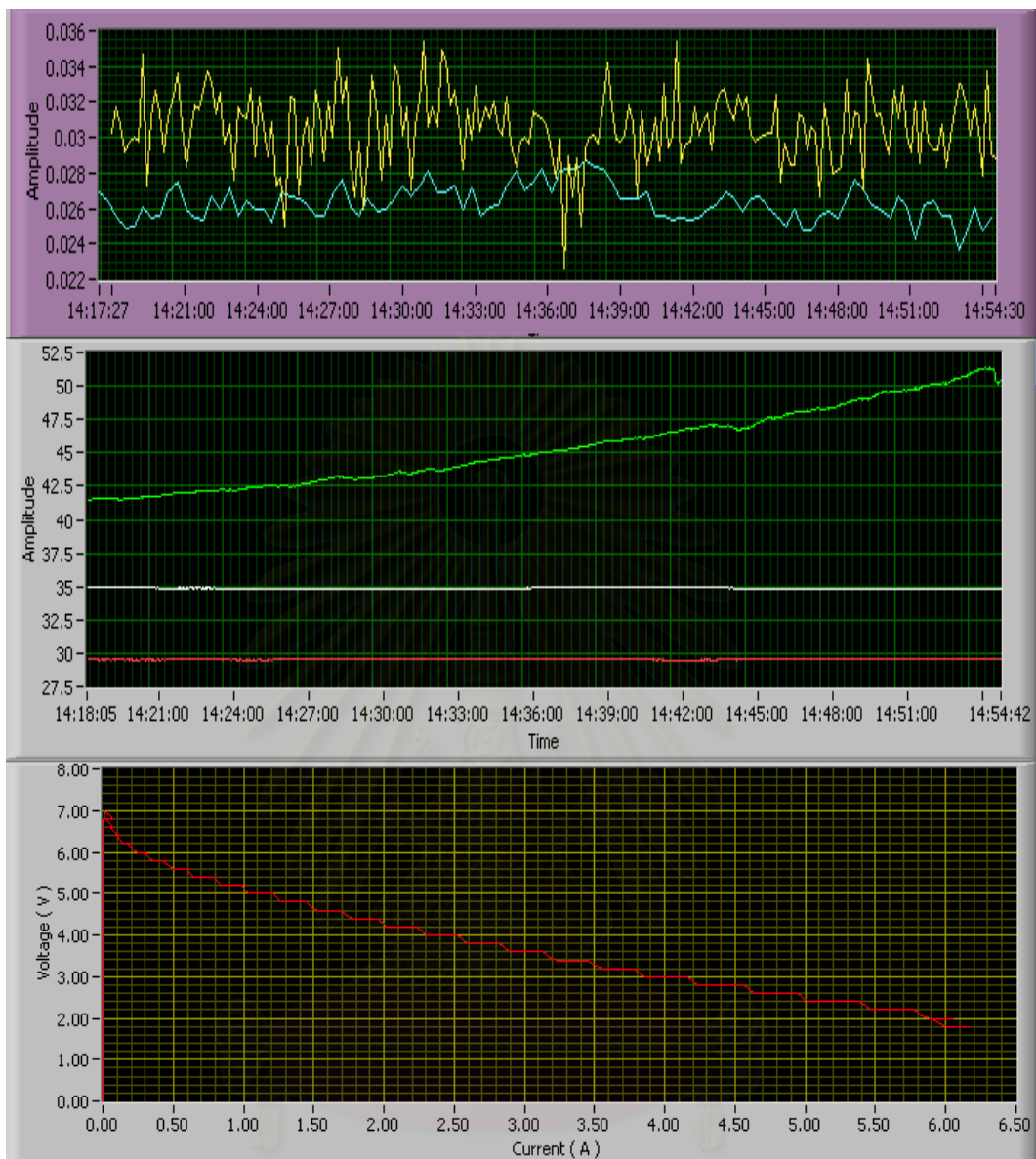
จากภาพที่ 5.18 เป็นการแสดงผลของตัวแปรต่างๆ ในรูปของกราฟเทียบกับเวลาที่ดำเนินการทดลอง ทำให้ทราบแนวโน้มของค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ดังนั้นสามารถปรับภาวะการทดลองตามความเหมาะสมได้ นอกจากนี้ยังสามารถดูความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนไปในขณะที่ทำการทดลองได้ ค่าของตัวแปรที่นำออกแสดงผลในรูปกราฟคือ อุณหภูมิ ความดัน ความดันลด ความชื้น กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยเขียนกราฟแยกตามชนิดของตัวแปร สำหรับตัวแปรกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้านำมาเขียนเป็นกราฟเดียวกันเพื่อแสดงกราฟ polarization ของระบบ

จากภาพค่าของตัวแปร มีค่าค่อนข้างนิ่ง และสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาในรายละเอียด จา กราฟของการแสดงผลจะพบว่าเวลาที่แสดงค่าความดัน ความดันลด ความชื้น และอุณหภูมิ ไม่ใช่เวลาเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกราฟความดัน ความดันลด และความชื้นรับข้อมูลจาก PCI 6014 แต่ว่าอุณหภูมิรับข้อมูลจาก NI 9211 อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลไม่ เท่ากัน PCI 6014 มีการเชื่อมต่อด้วยการอ่านข้อมูลแบบ PCI มีการถ่ายโอนข้อมูลที่ 16 Bit แต่ ว่า NI 9211 มีการถ่ายโอนข้อมูลด้วย USB ที่ 24 Bit ดังนั้นความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลของ ความดัน ความดันลดและความชื้นมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นการแสดงผลแบบ Real time จึงมีความ คลาดเคลื่อนของเวลาอยู่บ้าง สิ่งสำคัญของโปรแกรมในการอ่านค่าและบันทึกผลคือความ ถูกต้องแม่นยำ การแสดงผลของข้อมูลและการบันทึกค่าต้องมีค่าตรงกัน แม้ว่าในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์จะมีความเร็วในการประมวลผลสูง แต่ในความเป็นจริงการอ่านค่าการแสดงผล และการบันทึกข้อมูลอ่านจะมีความเร็วต่างกันและมีการส่งสัญญาณที่ความเร็วไม่เท่ากัน เนื่องจากการวัดข้อมูลโดยเครื่องมือชนิดต่างๆกัน จะมีการส่งสัญญาณที่ไม่เท่ากันอาจเป็น สาเหตุมาจากความไวของเครื่องมือ รูปแบบสัญญาณ หรือความต้านทานในสายไฟ ดังนั้นเวลา ในการแสดงผลและเวลาที่บันทึกข้อมูลอาจไม่ตรงกัน รูปที่ 5.19 แสดงแฟ้มเอกสารที่บันทึก ข้อมูล แฟ้มเอกสารนี้แสดงในรูปของโปรแกรม Excel แต่โปรแกรมสามารถบันทึกเอกสารใน รูปแบบโปรแกรมอื่นได้ เช่น Notepad หรือ Wordpad เป็นต้น



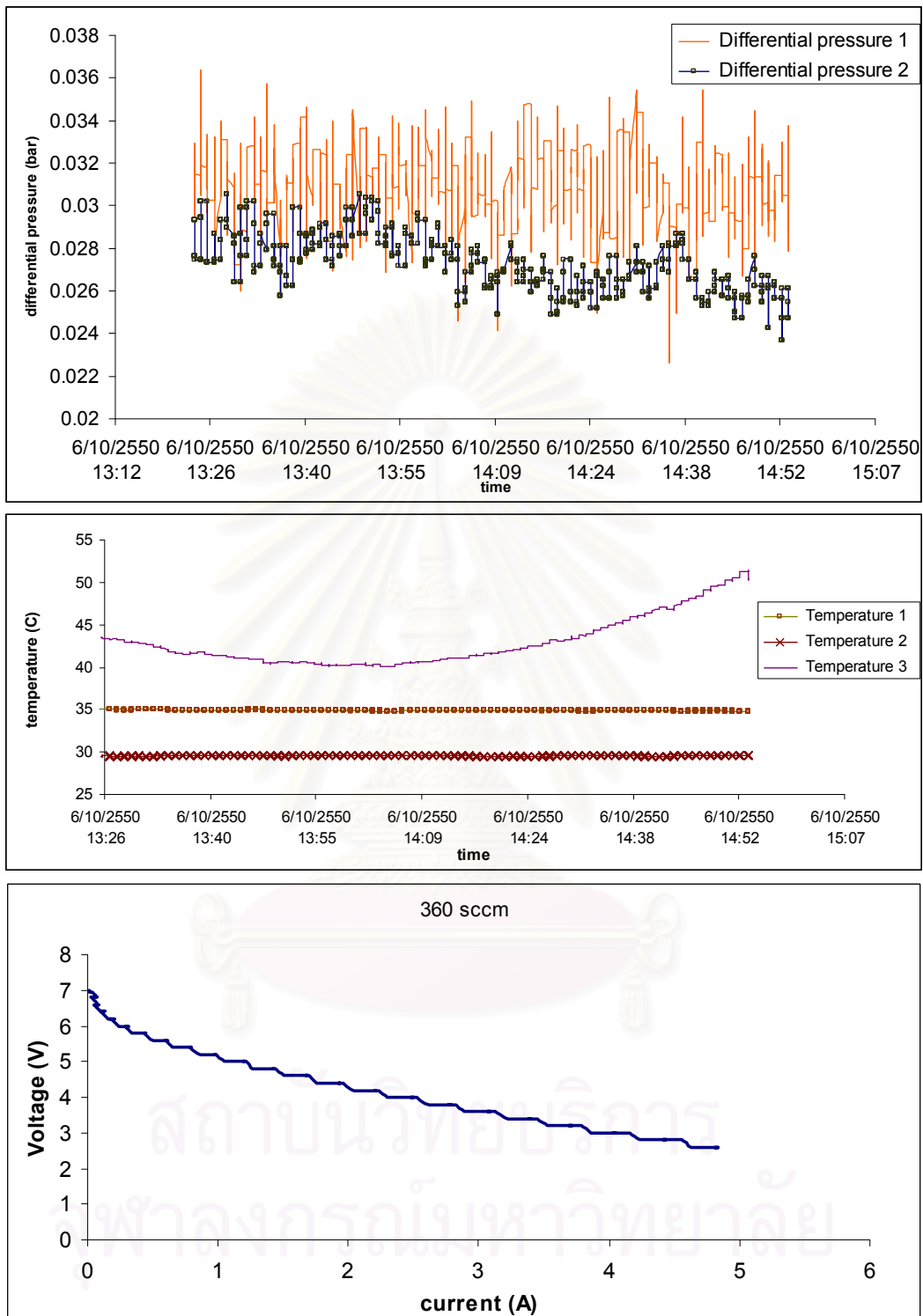
รูปที่ 5.19 แฟ้มเอกสารของข้อมูล





รูปที่ 5.20 ก. กราฟจากโปรแกรม LabVIEW®

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



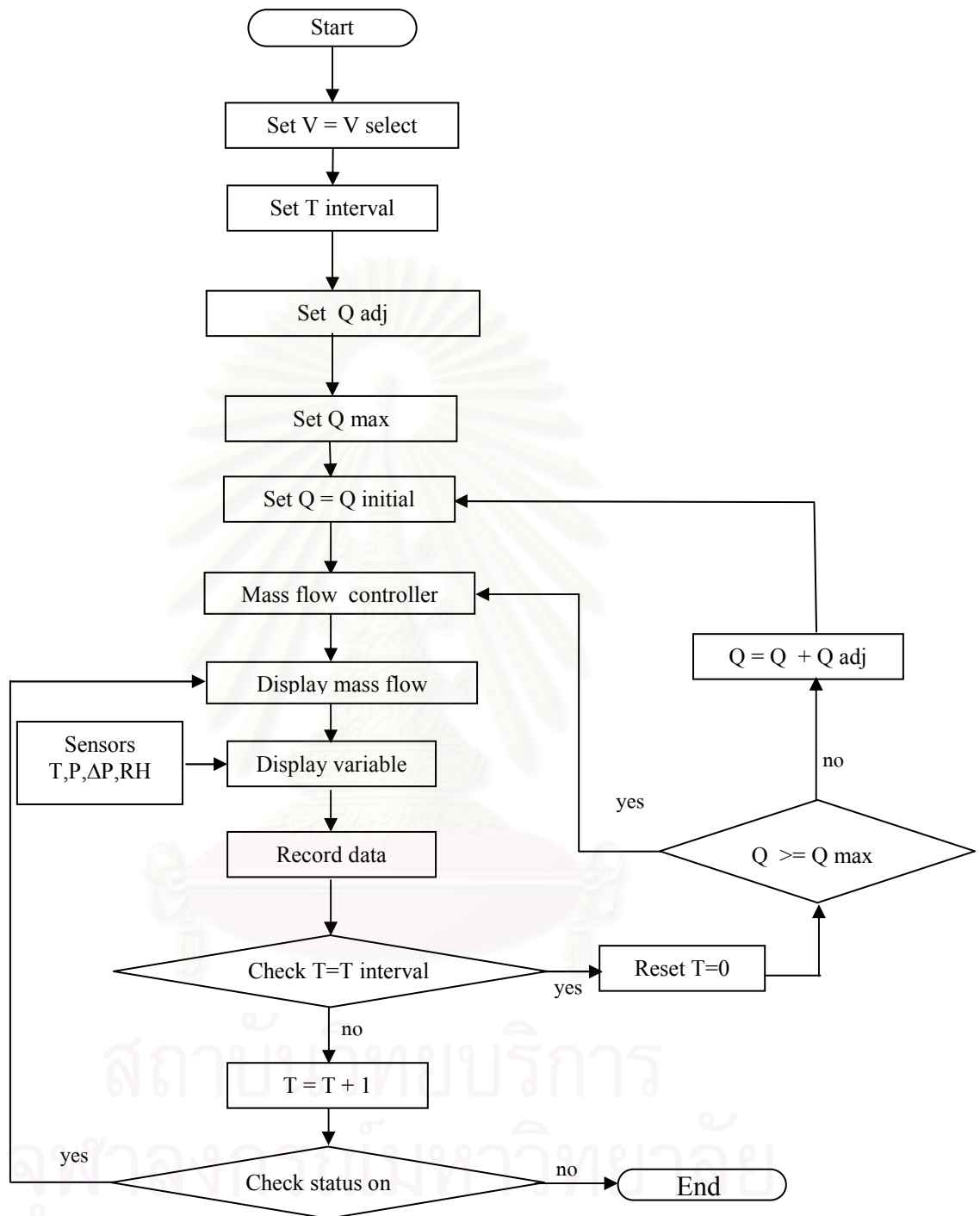
รูปที่ 5.20 ข. กราฟที่ได้จากข้อมูลการบันทึกข้อมูล



จากรูปที่ 5.20 ก. และ 5.20 ข. เป็นภาพแสดงข้อมูลความผันผวน อุณหภูมิและกราฟโพลาริเซชันตามลำดับ ทั้ง 3 ภาพเป็นการเปรียบเทียบค่าที่แสดงผ่านหน้าจอแบบ real time กับกราฟที่ได้จากการนำข้อมูลที่บันทึกเป็นเอกสารมาเขียนกราฟ จากทั้ง 3 ภาพพบว่าลักษณะกราฟของข้อมูลทั้ง 2 แบบเหมือนกัน แสดงว่าความเร็วในการตอบสนองของสัญญาณ ไม่มีผลต่อการแสดงผลของข้อมูลแบบ real time และการบันทึกข้อมูลในเอกสาร เนื่องจากข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลและช่วงเวลาเดียวกัน ข้อมูลที่บันทึกไว้มีความน่าเชื่อถือสอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

### 5.3.2 การทำงานที่กำหนดให้ความต่างศักย์คงที่

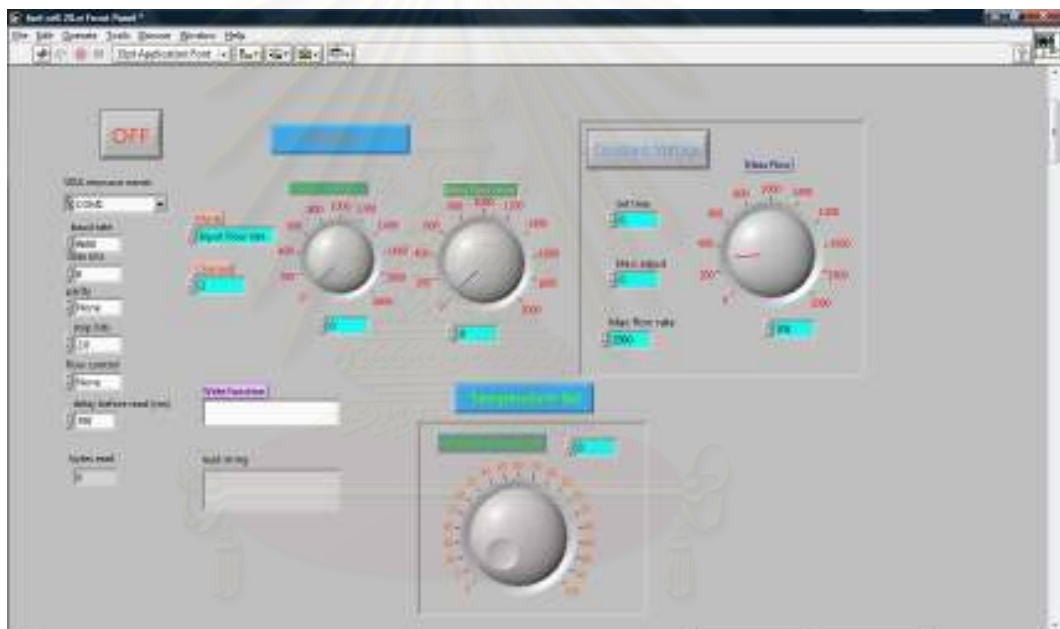
ลักษณะการทำงานที่กำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่เหมาะกับการทำงานที่ต้องการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของแก๊ส เมื่อกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งให้กับเซลล์เชื้อเพลิง เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตกระแสไฟฟ้าโดยในตอนแรกจะมีค่าน้อยและค่อยๆเพิ่มขึ้นจนค่าเข้าสู่สภาวะคงตัว การทำงานในรูปแบบนี้ทำให้ผู้ใช้งานทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้จากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่ศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง



รูปที่ 5.21 แผนผังการทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่

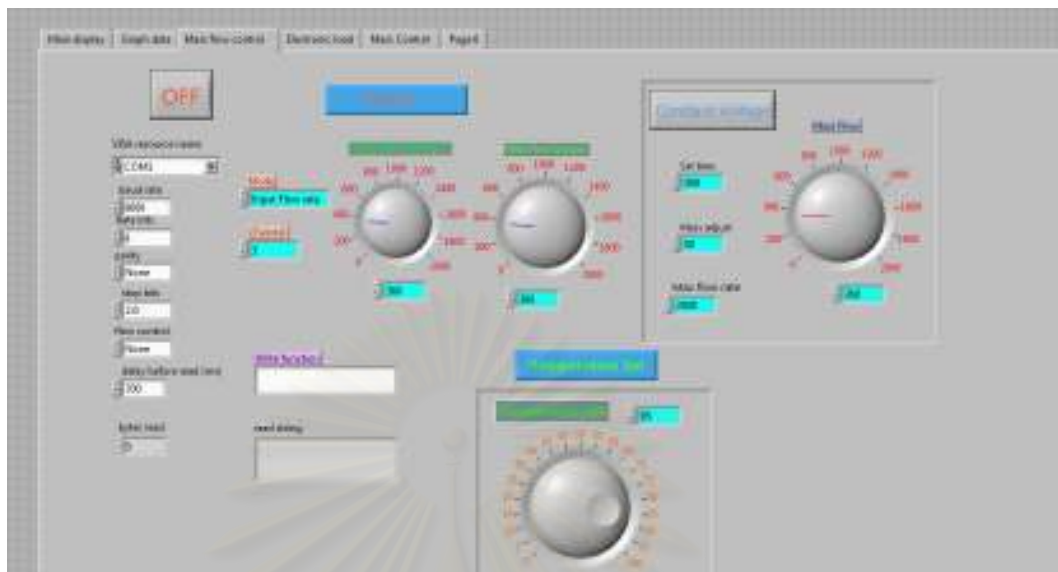
จากรูปที่ 5.21 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ ก่อนการทำงานผู้ใช้ต้องตั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น (V select) เป็นความ

ต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการทำงาน จากนั้นตั้งเวลาที่ใช้ในการป้อนอัตราการไหลในแต่ละค่า ขั้นตอนต่อไปป้อนค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล (Qadj) เป็นค่าอัตราการไหลที่ต้องการให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับขั้นตอนของการป้อนถ้าต้องการให้ค่าอัตราการไหลลดลงให้ใส่เครื่องหมายลบ แต่ถ้าต้องการให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นไม่ต้องใส่เครื่องหมาย และตั้งค่าอัตราการไหลสุดท้ายที่ต้องการ (Q max) และตั้งค่าอัตราการไหลเริ่มต้น (Q interval) เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจนเท่ากับเวลาที่ตั้งไว้ (T) ถ้าอัตราการไหลน้อยกว่าอัตราการไหลสูงที่สุด โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนอัตราการไหลตามระดับที่ตั้งไว้ การทำงานจะวนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอัตราการไหลเท่ากับหรือมากกว่าอัตราการไหลสูงที่สุด โปรแกรมจะไม่เปลี่ยนค่าอัตราการไหลและทำงานไปเรื่อยๆจนผู้ใช้งานหยุดโปรแกรม



รูปที่ 5.22 หน้าจอการควบคุมของ โปรแกรมเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่

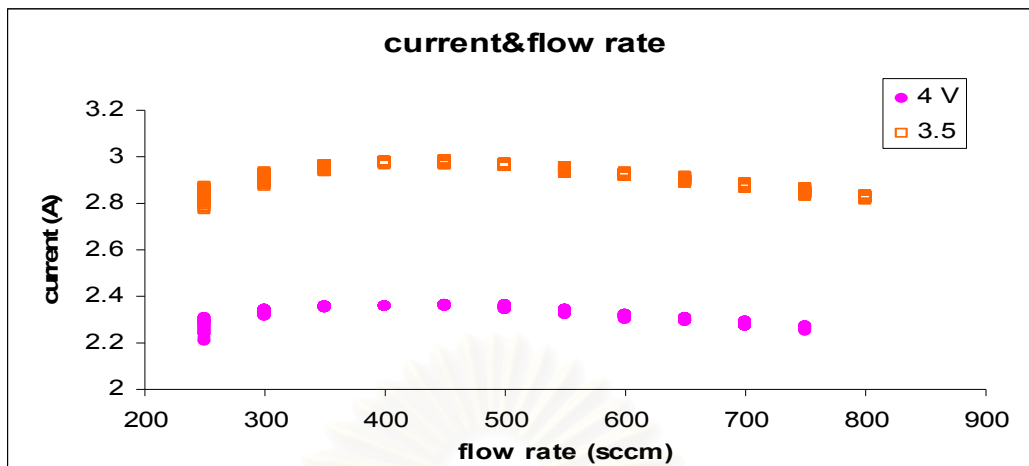
จากรูปที่ 5.22 เป็นส่วนควบคุมของโปรแกรมเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์คงที่ การทำงานของโปรแกรมคือ กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการแก่เซลล์ค่าหนึ่ง electronic load จะทำการดึงกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงที่ค่าศักย์ไฟฟ้า จากนั้นกำหนดค่าปริมาณการไหลของแก๊สเริ่มต้น ปรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแก๊สทีละขั้น จากนั้นกำหนดเวลาที่ป้อนแก๊สในปริมาณต่าง การทำงานในรูปแบบนี้ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ที่ศักย์ไฟฟ้านั้น



รูปที่ 5.23 หน้าจอขณะทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่

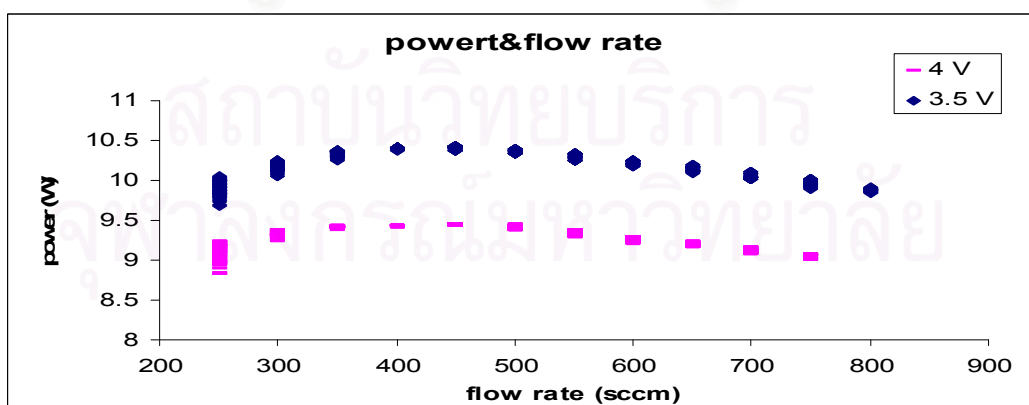
จากรูปที่ 5.23 แสดงหน้าจอขณะการทำงานของโปรแกรม LabVIEW® เมื่อกำหนดให้ ศักย์ไฟฟ้าคงที่ จากรูปมีการทำงานโดยให้อัตราการไหลจากต่ำไปสูง ค่าอัตราการไหล ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นเท่ากับ 50 sccm โดยมีกำหนดเวลาที่ใช้ในการป้อน อัตราการไหลในแต่ละค่าเท่ากับ 300 วินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุดเป็นค่าเพื่อควบคุม ค่าอัตราการไหลสุดท้ายที่ต้องการป้อนเข้าไป ดังนั้นเมื่อค่าอัตราการไหลมีค่าเท่ากับค่าสูงสุด เครื่องวัดอัตราการไหลจะป้อนค่าการไหลเป็นค่าสูงสุดตลอดเวลาจนหยุดการทำงาน จากรูปที่ 5.23 ตั้งค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 2000 sccm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยตั้งการทำงานเมื่อกำหนดให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่

รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากกราฟจะพบว่าการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำ เซลล์เชื้อเพลิงจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าที่ความต่างศักย์สูงๆ และเมื่อพิจารณาการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊ส พบว่าอัตราการไหลของแก๊สไม่ส่งผลต่อค่ากระแสที่เกิดขึ้น ทั้งนี้สามารถเทียบผลได้จากกราฟ โพลลาไรเซชัน โดยจากกราฟโพลลาไรเซชันพบว่าที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียงหนึ่งค่าเท่านั้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สกระแสไฟฟ้าที่ได้จึงไม่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.25 กราฟความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สกับกำลังไฟฟ้าโดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่

รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ของแก๊สกับกำลังไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 V และ 3.5 V จะพบว่าลักษณะกราฟของกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะคล้ายกัน เนื่องจากกำลังเป็นค่าที่ได้จากผลคูณของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นดังนั้นค่าที่ได้เป็นไปในทางเดียวกันคือ ช่วงที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุดคือที่ความต่างศักย์เท่ากับ 3.5 V และพบว่าเมื่อถึงจุดหนึ่งเมื่อเพิ่มอัตราการใช้ของแก๊สก็ไม่ส่งผลให้ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

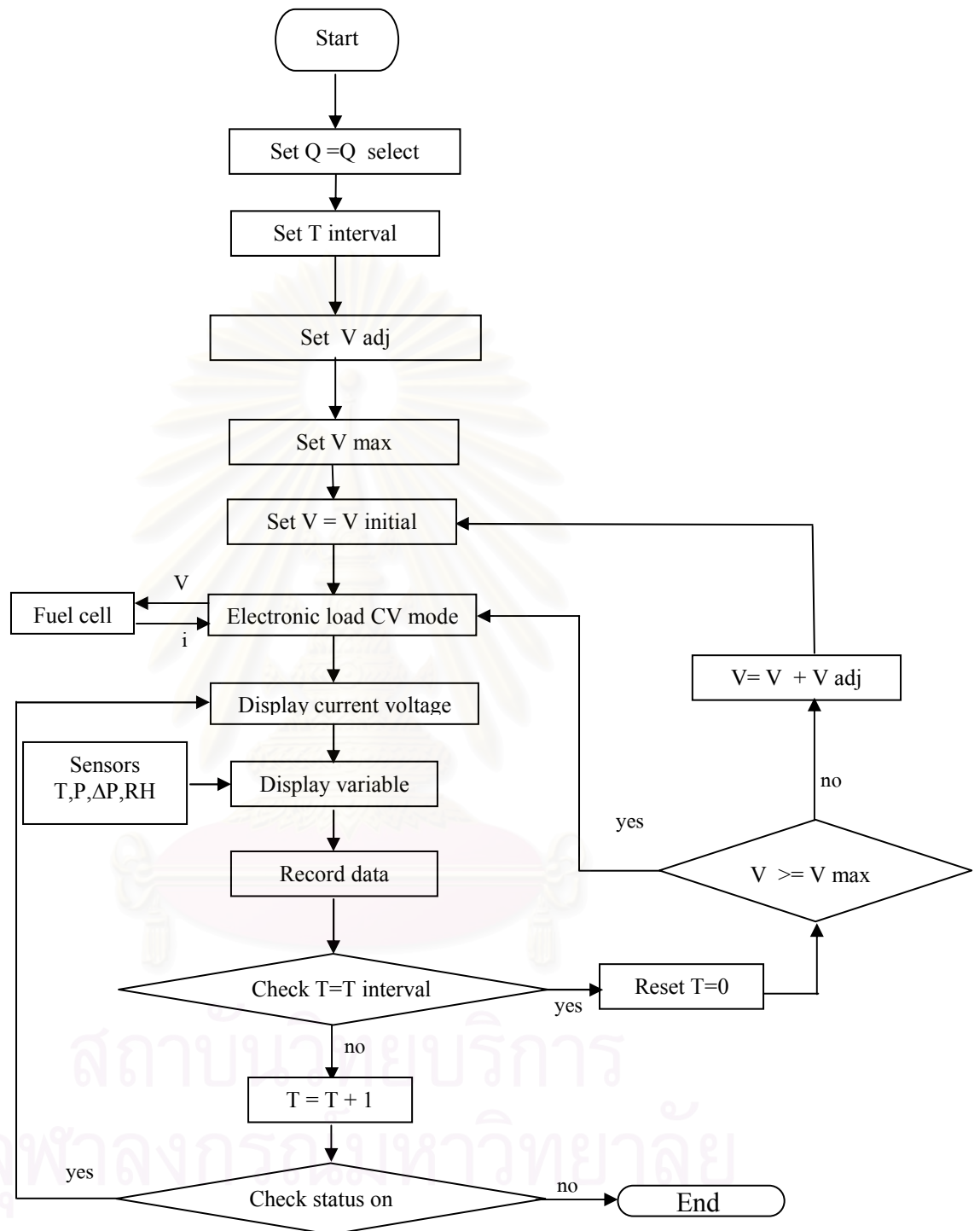
### 5.3.3 การทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการใช้ของแก๊สคงที่

การทำงานในรูปแบบนี้ใช้ในกรณีที่ใช้ต้องการสร้างกราฟโพลาริเซชันสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง โปรแกรมจะทำการกวาดค่าศักย์ไฟฟ้าจากสูงไปต่ำหรือต่ำไปสูงแล้วแต่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงมีรูปแบบการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 5.26



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

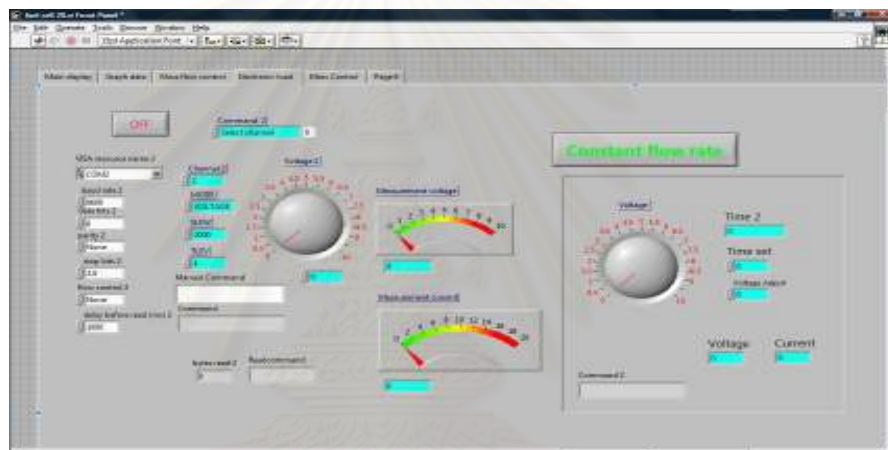




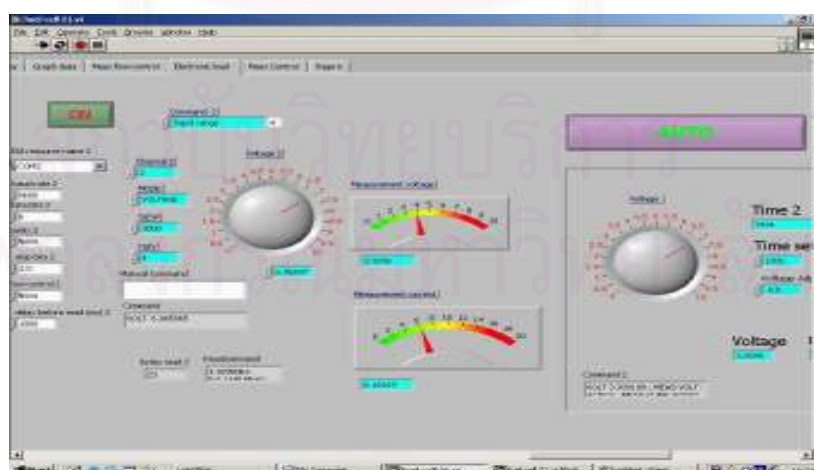
รูปที่ 5.26 แผนผังการทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่

จากรูปที่ 5.26 แสดงแผนผังการทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สมีค่าคงที่ ขั้นตอนการทำงานเป็นดังนี้ เริ่ม โปรแกรมโดยกำหนดค่าอัตราการไหลที่ต้องการ (Q select) ตั้ง เวลาที่ใช้ในแต่ละค่าความต่างศักย์ (T) กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอน (Vadj) ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าถ้าค่าเป็นลบแสดงว่าลดความต่าง ศักย์ไฟฟ้า จากนั้นกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น (V interval) และเริ่มเข้าลักษณะการ ทำงานแบบอัตราการไหลคงที่ เมื่อเวลาที่ดำเนินการครบตามที่ตั้งไว้ (T) ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะ เพิ่มหรือลดลงขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆและจะ หยุดการทำงานเมื่อผู้ใช้งานสั่งหยุดโปรแกรม

หน้าจอแสดงผลการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบนี้แสดงดังภาพที่ 5.27




รูปที่ 5.27 หน้าจอการทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่



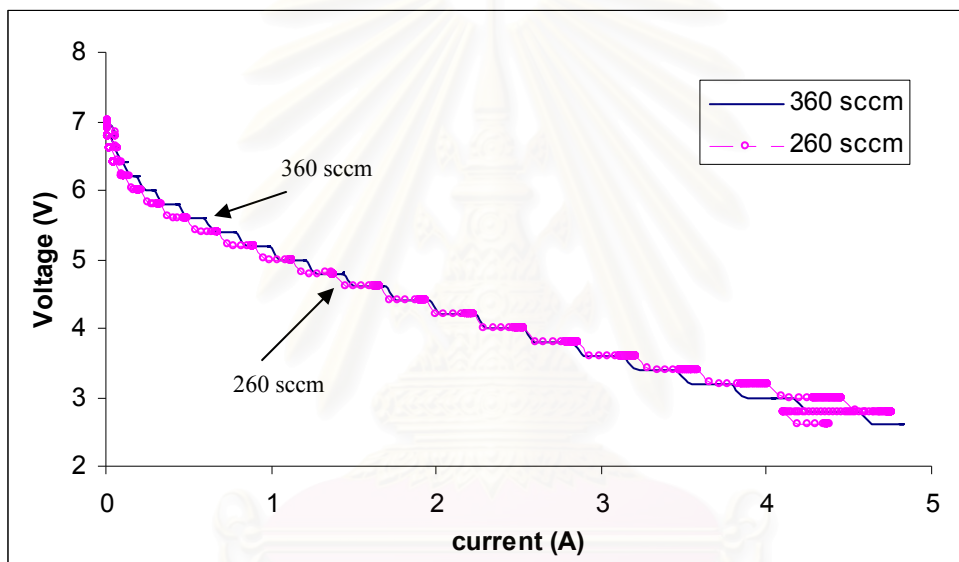
รูปที่ 5.28 หน้าจอขณะทำงานเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่

จากรูปที่ 5.28 เป็นการทำงานในแบบอัตราไหลของแก๊สคงที่ มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นของการทำงานคือ 7 V ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นเท่ากับ

-0.5 V  และได้กำหนดให้เวลาของความต่างศักย์แต่ละค่าเท่ากับ 1200 s

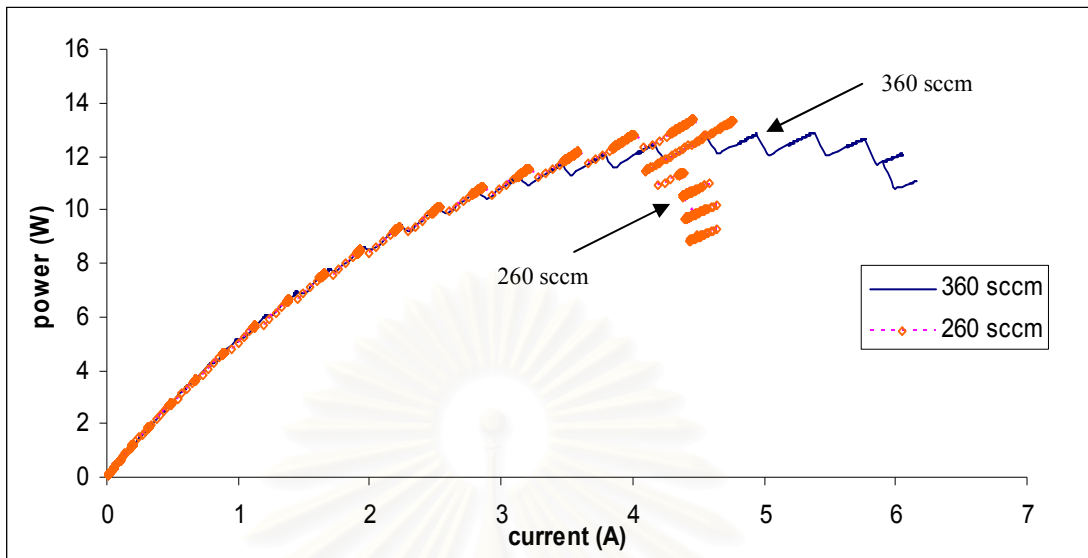
 ดังนั้นในการทำงานทุกๆ 1200 s ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะลดลง 0.5 V ในทางกลับกันผู้ใช้งานสามารถกำหนดเริ่มการทำงานของความต่างศักย์ไฟฟ้าจากต่ำไปสูงได้โดยการไม่ใส่เครื่องหมาย “+” ที่ค่าของการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า

ผลการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 ผลของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อกำหนดอัตราไหลของแก๊สคงที่

รูปที่ 5.29 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้โดยกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สคงที่ จากเส้นกราฟพบว่าในช่วงแรกอัตราการไหลที่ 360 sccm ให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ดีกว่า และที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า 3 V อัตราการไหลของแก๊ส 260 sccm มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและรักษาระดับศักย์ไฟฟ้าไว้ได้ตามเดิม

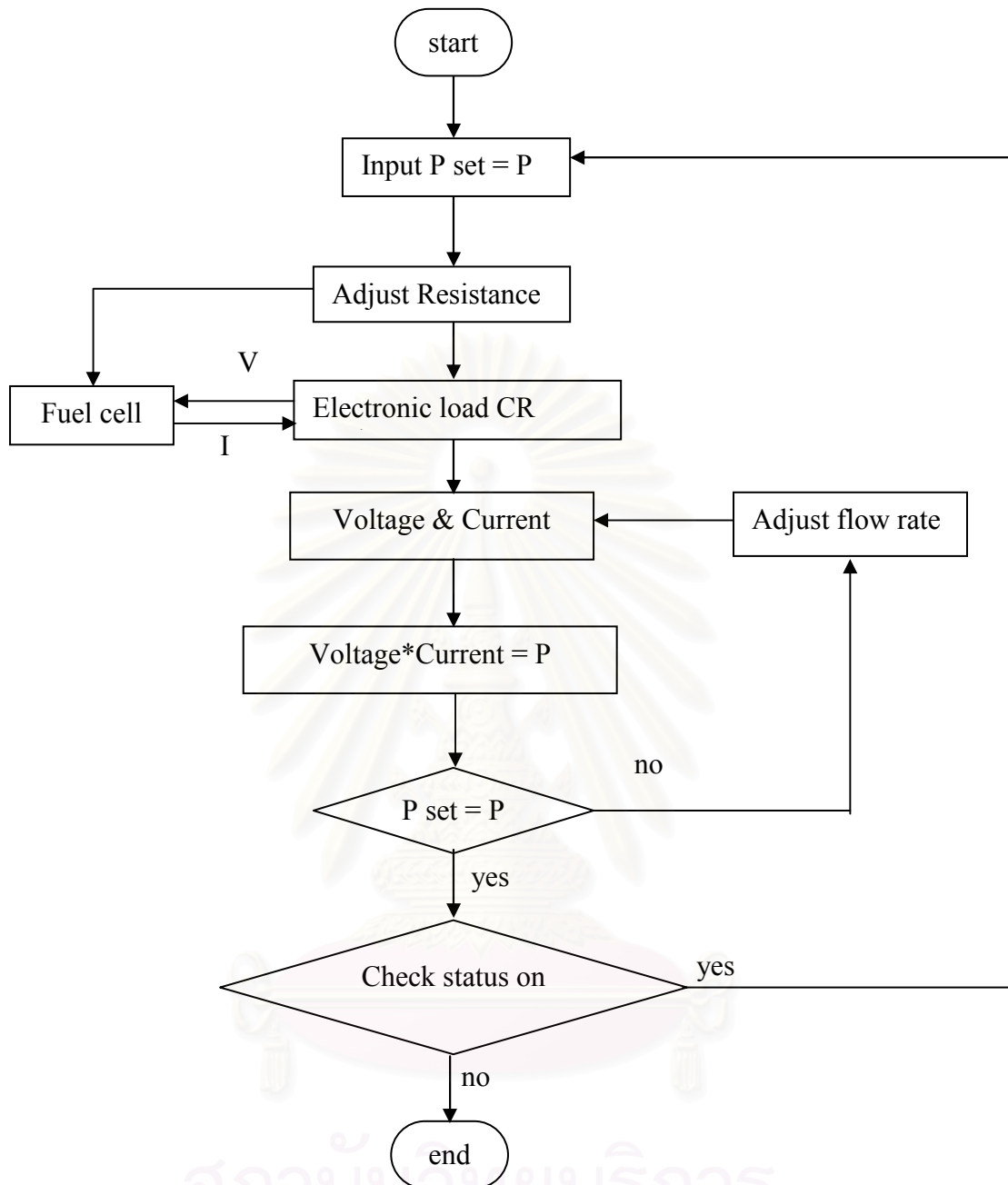


รูปที่ 5.30 ผลของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลคงที่

จากรูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้กับกระแสไฟฟ้า ผลการทดลองนี้เป็นการบันทึกการทดลองชุดเดียวกับรูปที่ 5.29 ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นแนวทางเดียวกัน คือกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหล 360 sccm ดีกว่าอัตราการไหล 260 sccm เนื่องจากที่ 360 sccm มีเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ได้มากกว่า 260 sccm และกำลังไฟฟ้าที่เริ่มลดลงหลังกระแสไฟฟ้าที่ 4 - 5 A เนื่องจากการลดลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงของกระแสสูง

#### 5.3.4 การทำงานรูปแบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง

การทำงานในรูปแบบนี้เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ตั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากเซลล์เชื้อเพลิง โปรแกรมLabVIEW®รับค่ากำลังไฟฟ้าจากผู้ใช้งานจากนั้นปรับการทำงานของ electronic load มาอยู่ในโหมดค่าความต้านทานคงที่และปรับอัตราการไหลของแก๊สเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ใช้งาน ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมLabVIEW® แสดงดังรูปที่ 5.31



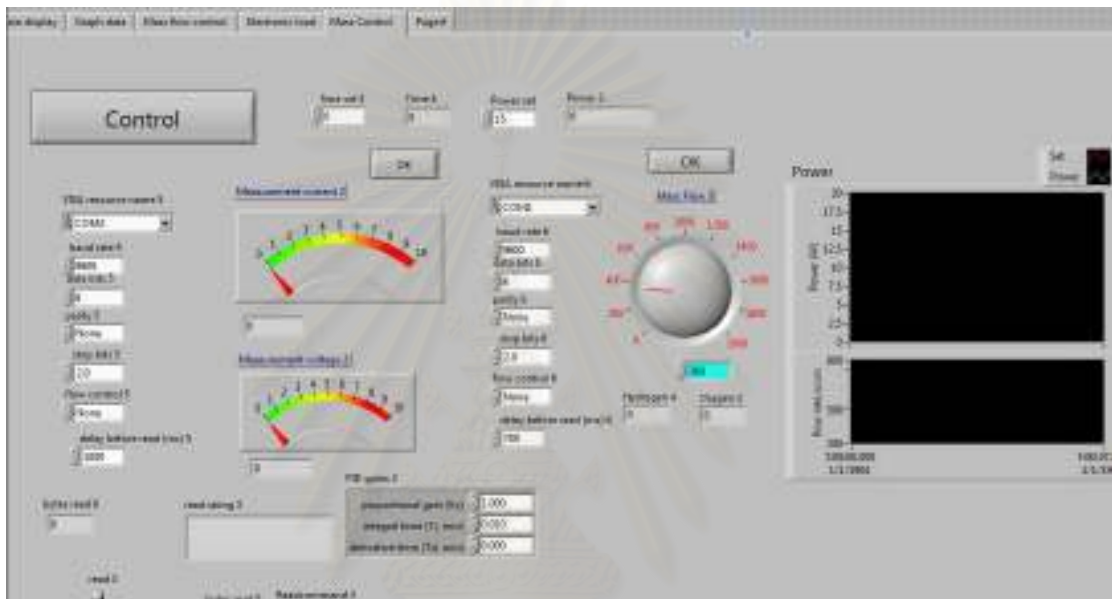
รูปที่ 5.31 แผนภาพการทำงานรูปแบบการควบคุมกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.31 แสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW® ในรูปแบบกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ในขั้นตอนแรกผู้ใช้กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากเซลล์เชื้อเพลิง โปรแกรม LabVIEW® คำนวณค่าความต้านทานที่เหมาะสมและส่งค่าให้ electronic load ทำงานในแบบความต้านทานไฟฟ้าคงที่ (constant resistance) เพื่อปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ จากนั้น electronic load ส่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์

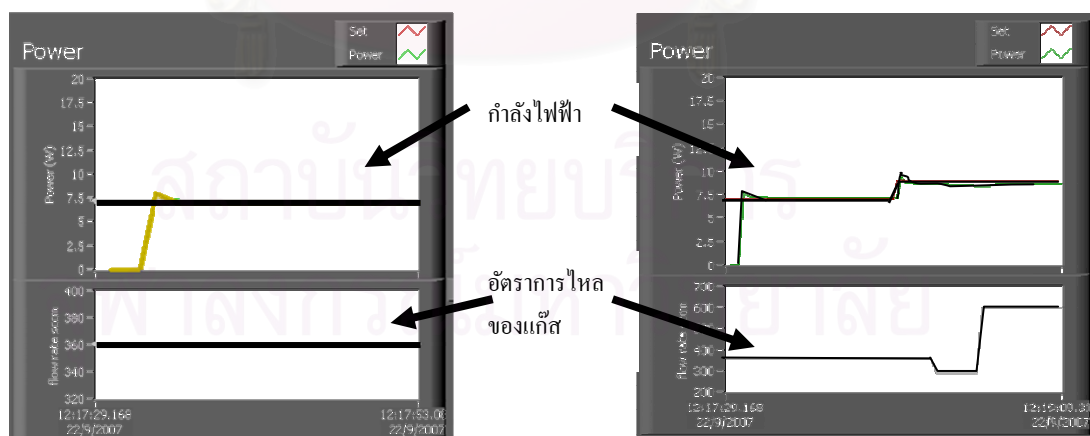
เชื้อเพลิงเข้าโปรแกรม LabVIEW® เพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ถ้ากำลังไฟฟ้ามักมีค่าไม่เท่ากับค่าที่ต้องการ โปรแกรม LabVIEW® จะปรับอัตราการไหลเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ

หน้าจอกำหนดค่าของรูปแบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่

5.32



รูปที่ 5.32 หน้าจอการควบคุมของโปรแกรมควบคุมกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 5.33 กราฟกำลังไฟฟ้าและกราฟอัตราการป้อนแก๊ส

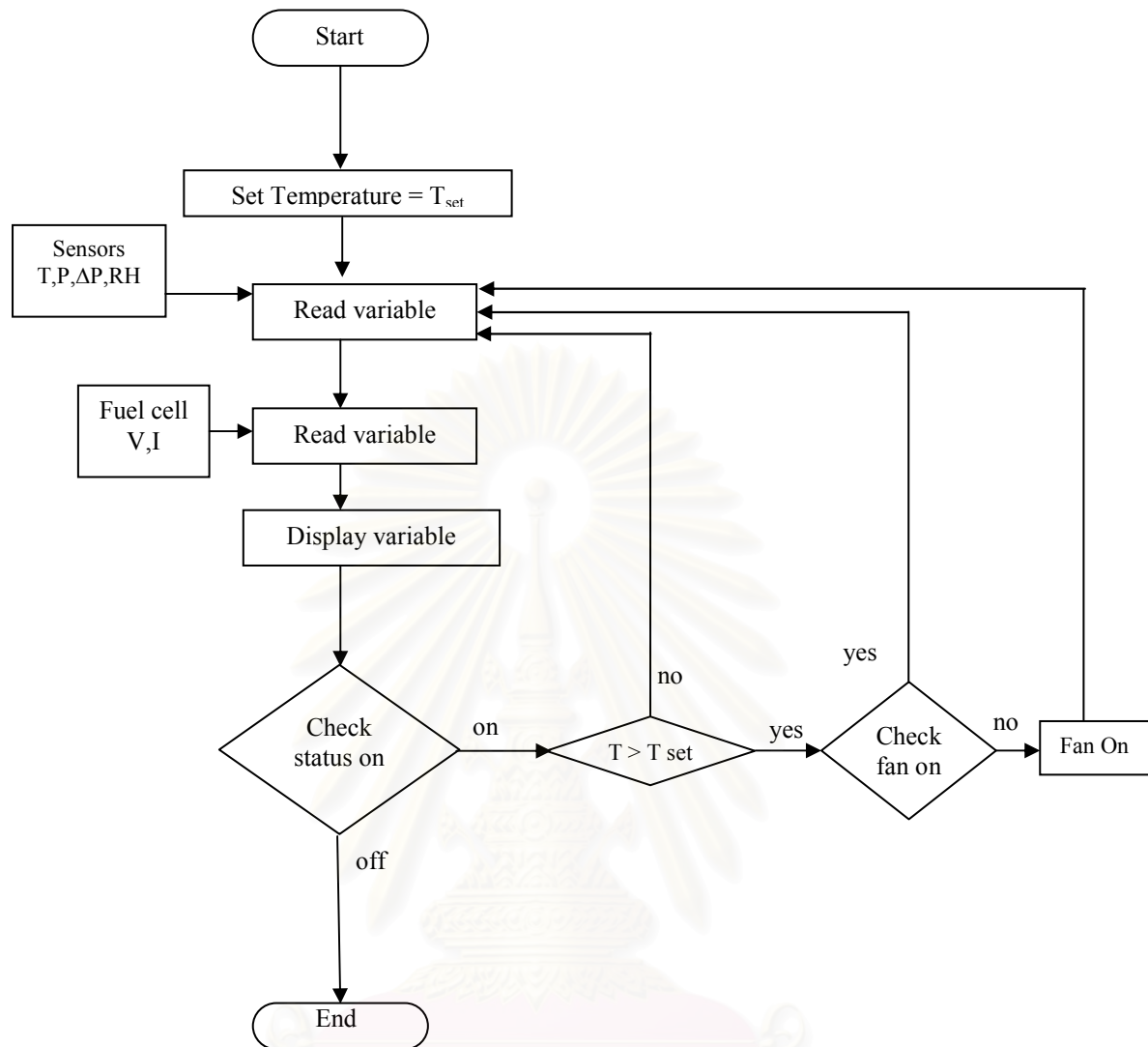


รูปที่ 5.33 ก. กราฟข้างบนแสดงกำลังไฟฟ้าที่ต้องการและกำลังไฟฟ้าที่ได้จริงจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและกราฟข้างล่างแสดงปริมาณการป้อนแก๊สเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง จากกราฟพบว่าเมื่อตั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โปรแกรมLabVIEW®สามารถปรับการทำงานของ electronic load เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการได้และไม่ต้องเปลี่ยนอัตราการป้อนแก๊สเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงได้ค่าตามที่ตั้งค่าไว้ เมื่อเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้าการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นดังรูปที่ 5.35 ข. โปรแกรม LabVIEW® ปรับการทำงานของ electronic load เพื่อให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าค่าที่ต้องการ แต่จากรูปที่ 5.35 ข. แสดงว่าในขั้นแรกอัตราการป้อนแก๊สไม่สามารถทำให้ได้กำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการได้ ดังนั้นโปรแกรมLabVIEW® ทำการปรับอัตราการป้อนแก๊สเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามที่ตั้งค่าไว้

#### 5.4 การระบายความร้อน

เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่กระแสไฟฟ้าสูงๆ จะเกิดการคายความร้อนจำนวนมากจากปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้พัดลม แผนภาพการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5.34

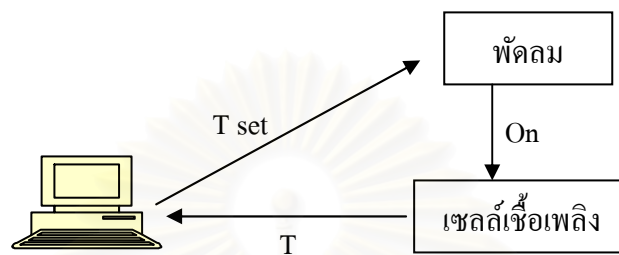
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.34 แผนภาพการทำงานของพัลลม

การทำงานของโปรแกรมLabVIEW<sup>®</sup> มีดังนี้ กำหนดอุณหภูมิที่ต้องการ ( $T_{set}$ ) เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงาน โดยไม่มีการระบายความร้อน เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มทำงาน การทำงานจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเกินกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง พัลลมที่ติดตั้งเพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อน จะทำงาน การทำงานของพัลลมเป็นประเภท เปิด-ปิด ไม่สามารถควบคุมความเร็วของพัลลมตามอุณหภูมิได้ ดังนั้นพัลลมจะเปิดเต็มกำลังตลอดเวลา เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้  $5^{\circ}\text{C}$  พัลลมจะหยุดทำงาน สาเหตุที่กำหนดค่าแบบนี้เพราะว่า การตั้งโปรแกรมของพัลลมหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าเป้าหมายทันที อาจทำให้อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง

สูงขึ้นมาใน เวลาไม่นานหลังจากพัสดมหยุดทำงาน ดังนั้นโปรแกรมLabVIEW® จะกำหนดให้อุณหภูมิของเซลล์ต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ที่ค่าๆหนึ่งเพื่อพัสดมไม่ต้องทำงานและหยุดสลับไปมาอย่างรวดเร็ว แต่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ไม่ควรต่ำเกินไปเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงต่ำลงไป



รูปที่ 5.35 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ เซลล์เชื้อเพลิง พัดลม

รูปที่ 5.35 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์เพื่อระบายความร้อนจากเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการแก่พัดลม จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิจากเซลล์เชื้อเพลิง ถ้าอุณหภูมิเกินกว่าที่กำหนดพัดลมจะทำงานระบายความร้อนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง

## บทที่ 6

### สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบรวบรวมข้อมูลและควบคุมสำหรับหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิง พีอีเอ็ม เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้มีจำนวน 7 เซลล์ ขนาด 50 W บังคับภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่ต้องการวัดค่า คือ อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ความดันลด อัตราการไหล ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า โดยอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานร่วมกับโปรแกรมประมวลผล LabVIEW®

การวัดและแสดงค่าข้อมูลสามารถทำได้แบบ real time sampling rate ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 สัญญาณที่ส่งจากอุปกรณ์ต่างๆเข้าสู่คอมพิวเตอร์อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า ยกเว้นสัญญาณของความดันอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า 4 -20 mA ค่าของอุณหภูมิถ่ายโอนข้อมูลด้วย port USB ที่ความเร็ว 24 Bit ในขณะที่ค่าความชื้น ความดัน ความดันลด ถ่ายโอนข้อมูลด้วย port PCI ที่ความเร็ว 16 Bit กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์และอัตราการไหลของแก๊สมีการถ่ายโอนข้อมูลโดย port RS232 ในรูปแบบของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาด  $\pm 15V$  ที่ 8 Bit

โปรแกรม LabVIEW® ที่พัฒนาขึ้นมีรูปแบบการทำงานในหลายลักษณะการใช้งานขึ้นกับผู้ใช้และวัตถุประสงค์การทำงาน เช่น รูปแบบการติดตามสถานะและแสดงผลการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง รูปแบบการสร้างกราฟโพลาริเซชัน รูปแบบหาค่าลิ่งไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

ข้อมูลที่ได้สามารถจัดเก็บแบบตารางโดยโปรแกรม excel กราฟที่ได้สามารถเก็บแบบรูปภาพได้ การบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกได้ทุกๆ 2 วินาที

โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนและไฮโดรเจนโดยผ่าน port RS232 ความต่างศักย์ไฟฟ้าผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าให้ electronic load ได้โดยผ่านโปรแกรม การระบายความร้อนของระบบ ใช้พัดลมทำหน้าที่ระบายความร้อน การทำงานของพัดลมมีรูปแบบการทำงานแบบเปิด-ปิด

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานควรเพิ่มช่องทางน้ำออกแยกกับทางออกของแก๊ส
2. นั้นอัตราเร็วของพัดลมควรแปรผันตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

## รายการอ้างอิง

- 1 [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/00-01/fuel\\_cells/fuel%20cell%20operation.html](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/00-01/fuel_cells/fuel%20cell%20operation.html)
- 2 <http://chem.hku.hk/~fuelcell/advance.htm>
- 3 Chun-I L., Hsin-Sen C., Effects of temperature on the location of the gas-liquid interface in a PEM fuel cell, *Journal of Power Source* 171 (2007) : 718 -727.
- 4 พจนานฎ สุวรรณมณี, เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2546
- 5 พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, พลศาสตร์และการควบคุมกระบวนการ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ วัฒนาการพิมพ์, 2543.
- 6 วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, การควบคุมระบบพลศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- 7 Su A., Weng, Hang-Bor H., Chun-Ying C., Studies on flooding in PEM fuel cell cathode channels, *Journal of Hydrogen Energy* 31 (2005) : 1031-1039.
- 8 Heidec G., Purmann M., Styczynski Z., Micro-computer control for a fuel cell test bench for residential use, *Journal of Power Source* 127 (2004) : 319-324.
- 9 Sun H., Guangsheng Z., Lie-Jin G., Hongtan L., A novel technique for measuring current distributions in PEM fuel cells, *Journal of Power Sources* 158 (2006) : 326-332.
- 10 Liu Z., Zongqiang M., Bing W., Lisheng W., Current density distribution in PEMFC, *Journaul of Power Sources* 141(2005) : 205-210.
- 11 <http://www.ni.com/>
- 12 [http://www.renseinstruments.com/RI\\_com/RI\\_usa/general\\_purpose.html](http://www.renseinstruments.com/RI_com/RI_usa/general_purpose.html)
- 13 [http://www.sangchaimeter.com/products\\_en.php?target=main&option=detail&proc\\_id=22](http://www.sangchaimeter.com/products_en.php?target=main&option=detail&proc_id=22)
- 14 <http://www.hubacontrol.com/en/products/differential-pressure-transmitter/index.php>
- 15 [http://www.aalborg.com/index.php/main\\_page/product\\_overview/id\\_product\\_overview/24/HPSESSID/70eb18b54f22d9146538163e92325bab](http://www.aalborg.com/index.php/main_page/product_overview/id_product_overview/24/HPSESSID/70eb18b54f22d9146538163e92325bab)



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ก.

## หมายเลขช่องสัญญาณที่ต่อกับอุปกรณ์วัด

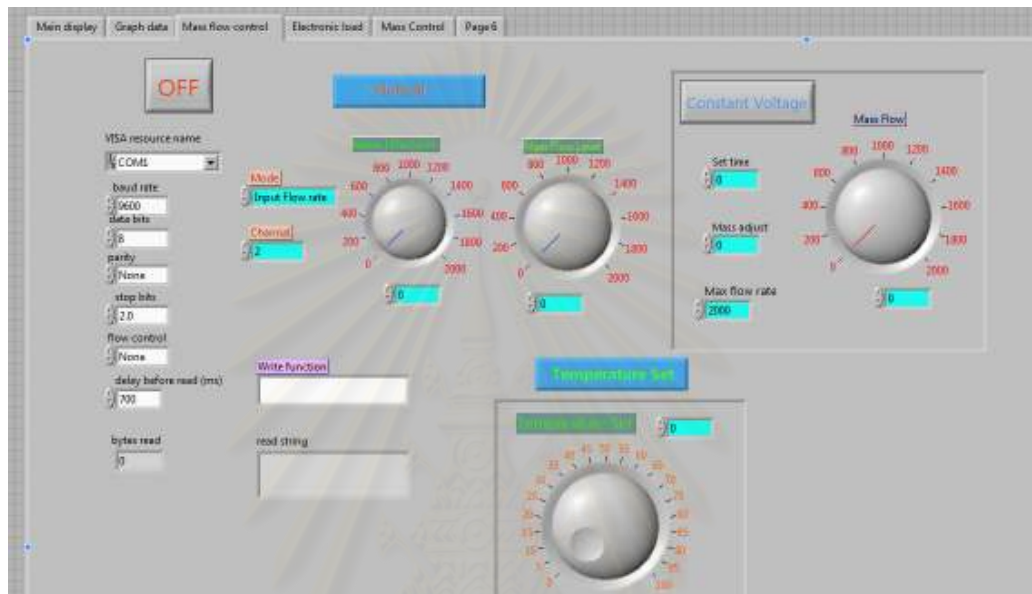
ตารางที่ ก. 1 หมายเลขช่องสัญญาณที่ต่อกับอุปกรณ์วัด

	ช่องสัญญาณ		อุปกรณ์วัด	ตำแหน่งที่ติดตั้ง
	+	-		
NI 9211	0	1	อุณหภูมิ	ออกซิเจนก่อนเข้าเซลล์
	2	3	อุณหภูมิ	ไฮโดรเจนก่อนเข้าเซลล์
	4	5	อุณหภูมิ	เซลล์เชื้อเพลิง
SCC-CI20	Mod1 ACH3	Mod1 ACH4	ความดัน	ออกซิเจน
	Mod2 ACH3	Mod2 ACH4	ความดัน	ไฮโดรเจน
PCI 6014	AI2	AI10	ความชื้น	ออกซิเจนก่อนเข้าเซลล์
	AI4	AI12	ความชื้น	ไฮโดรเจนก่อนเข้าเซลล์
	AI7	AI15	ความชื้น	ออกซิเจนออกจากเซลล์
	AI5	AI13	ความดันลด	ออกซิเจน
	AI6	AI14	ความดันลด	ไฮโดรเจน
COM1	-	-	อัตราการไหลของ แก๊ส	Mass flow controller
COM2	-	-	กระแสไฟฟ้า ความ ต่างศักย์ไฟฟ้า	Electronic load
SCC RLY01	NC	COM	-	พัดลมระบายความร้อน

## ภาคผนวก ข.

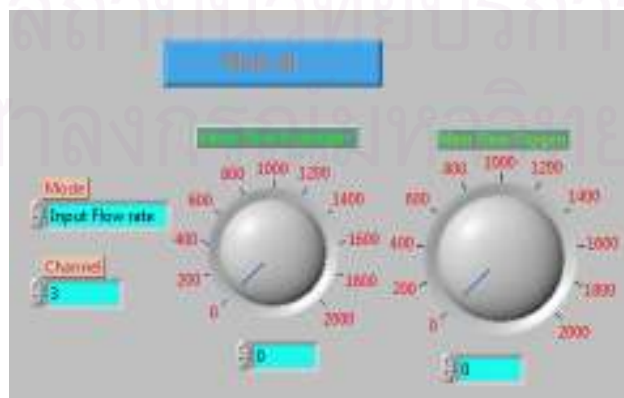
## โปรแกรมวัดค่าและบันทึกข้อมูล

1. เปิดโปรแกรม
2. ตั้งค่าการไหลของแก๊สโดยเลื่อนหน้าโปรแกรมไปที่หน้า Mass flow controller ดังรูปที่ ข.1

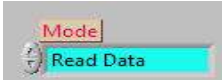


รูปที่ ข. 1 หน้าจอควบคุมการทำงานของ mass flow controller

3. เลือกโหมดเป็น input flow rate เลือก channel 3 ป้อนค่าอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน ในหน่วย sccm ตามต้องการ เปลี่ยนเป็น channel 4 เพื่อป้อนค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน ดังรูปที่ ข. 2




รูปที่ ข. 2 หน้าจอการตั้งค่าอัตราการไหลของ mass flow controller

4. เปลี่ยน mode เป็น Read Data 
5. ป้อนค่าอุณหภูมิสูงสุดที่เพื่อเปิดพัดลมระบายความร้อนแสดงดังรูปที่ ข. 3



รูปที่ ข. 3 ปุ่มควบคุมอุณหภูมิการทำงานของพัดลมระบายความร้อน

6. กดปุ่ม OFF ให้เปลี่ยนเป็น ON 
7. เปลี่ยนหน้าจอเป็นเครื่อง electronic load



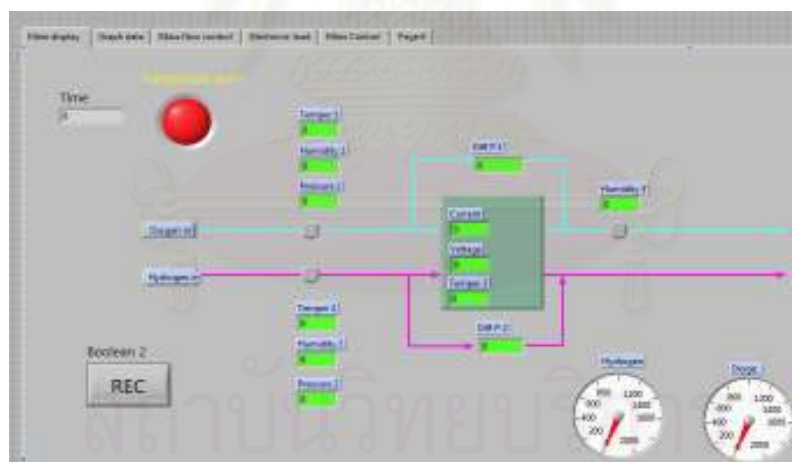
รูปที่ ข. 4 หน้าจอควบคุมการทำงานของ electronic load

8. เลือก command บริเวณปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่อง electronic load ดังรูปที่ ข.5 ตั้งคำสั่งตามลำดับเริ่มจาก select channel เปลี่ยนเป็น channel 2




รูปที่ ข. 5 ปุ่มควบคุมการปรับตั้งค่าเครื่อง electronic load

9. เลือก command ตามลำดับ Mode >> Slew >> Tlev >> Input range >> Measurement โดยป้อนค่าที่ต้องการลงไปในแต่ละคำสั่ง
10. กดปุ่ม OFF
11. เลือก main display ดังรูปที่ ข. 6



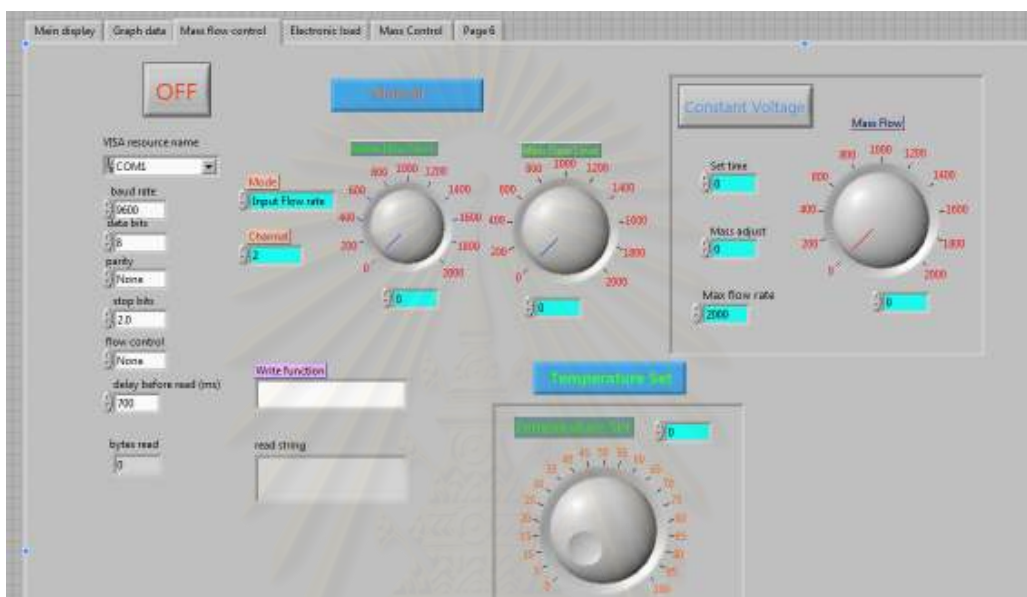
รูปที่ ข. 6 หน้าจอแสดงผลหลักของโปรแกรม

12. ถ้าต้องการบันทึกค่ากดปุ่ม REC เลือกเพิ่มที่เก็บ ตั้งนามสกุลไฟล์เป็น .xls เพื่อบันทึกในรูปแบบ excel
13. กดปุ่ม  เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน

## ภาคผนวก ค.

## โปรแกรมการทำงานแบบอัตราการไหลคงที่

1. เปิดโปรแกรม
2. ตั้งค่าการไหลของแก๊สโดยเลื่อนหน้าโปรแกรมไปที่หน้า Mass flow controller ดังรูปที่ ค.1



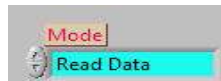
รูปที่ ค. 1 หน้าจอควบคุมการทำงานของ mass flow controller

3. เลือกโหมดเป็น input flow rate เลือก channel 3 ป้อนค่าอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนในหน่วย sccm ตามต้องการ เปลี่ยนเป็น channel 4 เพื่อป้อนค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน ดังรูปที่ ค. 2



รูปที่ ค. 2 หน้าจอการตั้งค่าอัตราการไหลของ mass flow controller

4. เปลี่ยน mode เป็น Read Data



5. ป้อนค่าอุณหภูมิสูงสุดที่เพื่อเปิดพัดลมระบายความร้อนแสดงดังรูปที่ ค. 3



รูปที่ ค. 3 ปุ่มควบคุมอุณหภูมิการทำงานของพัดลมระบายความร้อน

6. กดปุ่ม OFF ให้เปลี่ยนเป็น ON



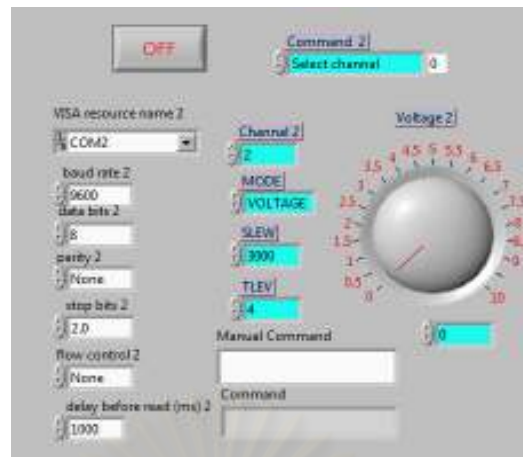
7. เปลี่ยนหน้าจอเป็น electronic load



รูปที่ ค. 4 หน้าจอควบคุมการทำงานของ electronic load

8. เลือก command บริเวณปุ่มควบคุมการทำงานของ electronic load ดังรูปที่ ค.5 ตั้งคำสั่งตามลำดับเริ่มจาก select channel เปลี่ยนเป็น channel 2



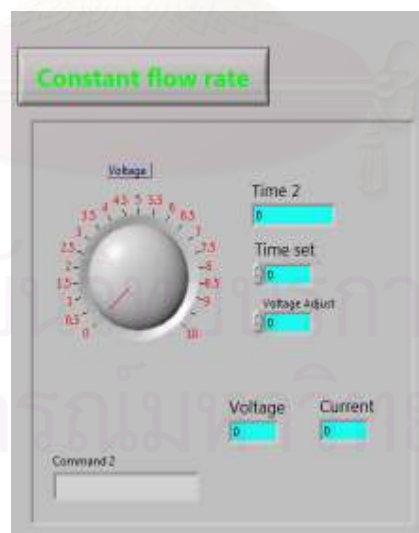


รูปที่ ค. 5 ปุ่มควบคุมการปรับตั้งค่าเครื่อง electronic load

9. เลือก command ตามลำดับ Mode >> Slew >> Tlev >> Input range >> Measurement โดยป้อนค่าที่ต้องการลงไปในแต่ละคำสั่ง
10. ตั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นอีกครั้งที่ Voltage
11. ตั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการให้เปลี่ยนในแต่ละชั้น ในช่อง Voltage adjust

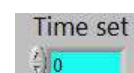


ถ้าต้องการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มไม่ต้องใส่เครื่องหมาย “+” แต่ถ้าต้องการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงใส่เครื่องหมาย “-”

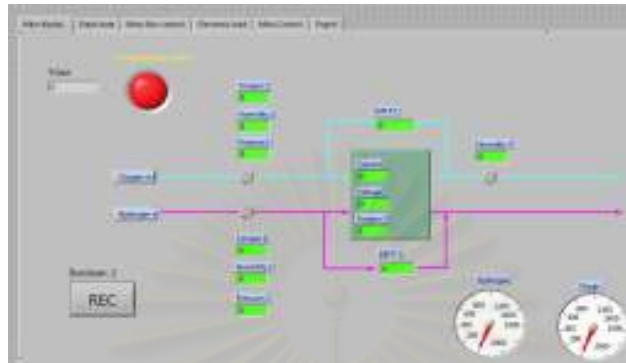


รูปที่ ค. 6 ปุ่มควบคุมการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า

12. ตั้งเวลาที่ต้องการใช้งานของความต่างศักย์ไฟฟ้าแต่ละชั้นที่ช่อง Time set



13. กดปุ่ม Constant flow rate
14. กดปุ่ม OFF
15. ถ้าต้องการบันทึกค่า เลือก main display ดังรูปที่ ค. 7



รูปที่ ค. 7 หน้าจอแสดงผลหลักของโปรแกรม

16. กดปุ่ม REC เลือกเพิ่มที่เก็บ ตั้งนามสกุลไฟล์เป็น .xls เพื่อบันทึกในรูปแบบ excel
17. กดปุ่ม  เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ราชวัลลภ แจ่มมงคล เกิดวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษา  
ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย