

ออกแบบและผลิตรบบการวัดและควบคุมอัตโนมัติของโรงไฟฟ้าชีวมวล  
ขนาดชุมชน

Design of instrumentation and automatic control for small generation



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น มิใช่ให้ผู้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ออกแบบและผลิตระบบการวัดและควบคุมอัตโนมัติของโรงไฟฟ้าชีวมวล  
ขนาดชุมชน

Design of instrumentation and automatic control for small generation



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น มิใช่ให้ผู้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Design of instrumentation and automatic control for small generation



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ออกแบบและผลิตรบบการวัดและควบคุมอัตโนมัติของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดชุมชน

Design of instrumentation and automatic control for small generation

ผู้จัดทำ

1. นาย สรวิชญ์ พูลสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 60011025
2. นาย สิทธินท์ วงศ์ทิชาวัฒน์ รหัสประจำตัว 60011057
3. นาย อลงกรณ์ รอดรักษ์ รหัสประจำตัว 60011172

( ผศ.ดร.สุตภัส คุ้มเขามาเมือง )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# ออกแบบและผลิกระบบการวัดและควบคุมอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า ชีวมวลขนาดชุมชน

นายสรวิชญ์	พูลสวัสดิ์	60011025
นายสิทธิพันธ์	วงศ์ทิชาวัฒน์	60011057
นายอลงกรณ์	รอดรักษ์	60011172
ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา		
ปีการศึกษา 2563		

## บทคัดย่อ

ปัญหานี้พื่อนำเสนอการยกระดับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก small biomass power contributor(SBP) โดยการออกแบบระบบการวัดค่าเพื่อทำการวิเคราะห์ของโรงไฟฟ้า และจากระบบนี้สามารถสร้างระบบความปลอดภัย กระทำโดยการใช้เครื่องเก็บข้อมูล(data acquisition)ซึ่งคืออุปกรณ์รับค่าสัญญาณจากอุปกรณ์วัด แปลงมาเป็นข้อมูลตัวเลขทางดิจิทัลที่ควบคุมและจัดการด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม labview ซึ่งเป็นโปรแกรมเครื่องมือเสมือนทางวิศวกรรมใช้ในการออกแบบระบบวัดและควบคุมผ่านการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเชิงกราฟฟิกที่เรียกว่า g code ในการแสดงผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสร้างระบบความปลอดภัย ในส่วนของการควบคุมนั้นเป็นการควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็น แก๊สปิโตรเลียมเหลวและชีวมวลเป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิคงที่และสามารถควบคุมได้ง่าย จากระบบทั้งหมดนี้เราจะได้มาซึ่งโรงไฟฟ้าชีวมวลอัจฉริยะ(smart SBP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Design of instrumentation and automatic control for small generation

Sorrawit Poolsawat 60011025

Sittinat Wongtishawat 60011057

Alongkorn Rodrak 60011172

Assis.Prof.Dr.Sutapat Kwankaomeng Advisor

## Abstract

This thesis presents the upgrading of small biomass power contributor. By designing a measurement system to perform power plant analysis, and from this system can create a safety system by using a data acquisition Which is a signal receiving device from a measuring device Converted to digital numeric data controlled and manipulated by computer. Using labview, a virtual engineering tool program used to design measurement and control systems through programming in a graphical language known as g code. To display results, analyze performance and build a safety system. In the part of control system using to manipulate fuel feed rate. From all these systems we can get a smart biomass power plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## II

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ก็เพราะคำแนะนำ และการช่วยเหลือในทุกๆด้าน จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง

ขอขอบคุณที่ปริญญาเอกพี่อุ้ม (พงษ์นรินทร์ สว่างวงษ์) ที่คอยให้แนะนำและคอยช่วยเหลือ ให้งานดำเนินไปราบรื่น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยสั่งสอนให้ความรู้มาตลอดจนกระทั่งปริญญาานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จ

และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดมา ซึ่งข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

นายสรวิชญ์ พูลสวัสดิ์  
สิทธิรินทร์ วงศ์ทิชาวัฒน์  
อลงกรณ์ รอดรักษ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมุติฐาน.....	2
1.4 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 แผนการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 .....	5
2.1 เทอร์โมคัปเปิล.....	5
2.2 PRESSURE TRANSDUCERS.....	13
2.3 Encoders[7].....	20
บทที่ 3 .....	24
3.1 เครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ชื่อรุ่น Data Logger (AI210).....	24
3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.....	30
3.3 โปรแกรม Labview.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 .....	36
4.1 Biomass .....	36
4.2 Gasifier .....	38
4.3 Combustion.....	40
บทที่ 5 .....	45
5.1 การออกแบบระบบการวัด และความปลอดภัย.....	45
5.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับระบบบันทึกค่าจากอุปกรณ์วัดและการแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Labview.....	47
5.3 การออกแบบโปรแกรมสำหรับแจ้งเตือนความปลอดภัยเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดโดยใช้โปรแกรม Labview.....	55
บทที่ 6 .....	57
6.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ .....	57
6.2 ประเภทของการควบคุม .....	59
6.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	59
6.4 รูปแบบการควบคุม.....	65
6.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อน.....	70
บทที่ 7 .....	74
7.1 แนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม .....	74
7.2 อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุม.....	74
7.3 การออกแบบระบบควบคุมในส่วนของฮาร์ดแวร์(Hardware) .....	76
7.4 การออกแบบระบบควบคุมในส่วนของซอฟต์แวร์(Software) .....	76
บทที่ 8 .....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ผลการทดสอบระบบควบคุม.....	82
8.3 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ.....	82
บทที่ 9 .....	83
9.1 สรุปผลงานวิจัย.....	83
9.2 ข้อเสนอแนะ.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีที่กำหนดของเทอร์โมอิลิเมนต์ .....	10
ตารางที่ 2.2	แสดงความคลาดเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิล ASTM .....	13
ตารางที่ 3.1	แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องบันทึกข้อมูล ชื่อรุ่น Data Logger (AI210).....	25
ตารางที่ 3.2	แสดง ASCII บางส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับ module .....	29
ตารางที่ 3.3	แสดงคำสั่งทั้งหมดในการติดต่อกับ AI210 ผ่าน ASCII Protocol .....	29
ตารางที่ 4.1	ศักราชชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552 .....	36
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติของชีวมวล .....	37
ตารางที่ 5.1	แสดงชนิดของเครื่องมือวัด, การแจ้งเตือนเมื่ออันตราย และ เป้าหมายของการวัด...45	
ตารางที่ 7.1	แสดงความหมายของแต่ละบิตในคำสั่ง 4824H.....	78
ตารางที่ 7.2	แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ .....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 2.1	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่สร้างจากตัวนำที่ไม่เหมือนกันสองตัว.....	5
รูปที่ 2.2	แสดง EMF เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน.....	8
รูปที่ 2.3	การสร้าง strain gage แบบพื้นฐาน .....	15
รูปที่ 2.4	pressure transducer แบบลูกสูบพร้อม diaphragm ซीलสำหรับลูกสูบ .....	15
รูปที่ 2.5	Pressure transducers แบบ Diaphragm .....	16
รูปที่ 2.6	Pressure transducer แบบท่อ.....	16
รูปที่ 2.7	วงจรถึง Potentiometer สำหรับวัดความเครียดแบบไดนามิก .....	17
รูปที่ 2.8	วงจรถึง Potentiometer สำหรับวัดความเครียดแบบไดนามิกแบบมีตัวเก็บประจุและตัวขยายสัญญาณ .....	17
รูปที่ 2.9	วงจรถึง WHEATSTONE BRIDGE สำหรับการวัดความเครียดแบบคงที่และแบบไดนามิก .....	18
รูปที่ 2.10	Block diagram ขององค์ประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดความเครียด .....	19
รูปที่ 2.11	Absolute Contact Encoder Disk .....	20
รูปที่ 2.12	Magnetic Coding แบบทั่วไป.....	21
รูปที่ 2.13	งานหมุน Incremental encoder และสัญญาณ output.....	22
รูปที่ 2.14	ความละเอียดของ encoder.....	23
รูปที่ 3.1	แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ชื่อรุ่น Data Logger (AI210) .....	25
รูปที่ 3.2	แสดงภาพขนาดของเครื่อง Data Logger (AI210).....	26
รูปที่ 3.3	แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล .....	27
รูปที่ 3.4	แสดงไดอะแกรมการต่อ AI210 กับอุปกรณ์วัดค่าชนิดต่าง ๆ.....	27
รูปที่ 3.5	แสดงไดอะแกรมการต่อ AI210 กับ Pressure transducer และ Thermocouple.....	28
รูปที่ 3.6	แสดงไดอะแกรมส่วนประกอบของคำสั่งหนึ่งชุด.....	28
รูปที่ 3.7	แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno.....	30
รูปที่ 3.8	แสดงไดอะแกรม Pinout Arduino รุ่น Uno (ATmega328P).....	31
รูปที่ 3.9	แสดงหน้าจอการเขียนโปรแกรมและหน้าจอแสดงผล.....	32
รูปที่ 3.10	แสดงตัวอย่าง Block diagram.....	33
รูปที่ 3.11	แสดงชนิดของข้อมูลหลักบนโปรแกรม Labview.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### VIII

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.12 แสดง front pane และ object.....	35
รูปที่ 4.1 Updraft Gasifier .....	38
รูปที่ 4.2 กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์.....	40
รูปที่ 4.3 กระบวนการเผาไหม้ตามความเป็นจริง.....	41
รูปที่ 4.4 สมดุลความร้อนของระบบเผาไหม้.....	42
รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพตำแหน่งเครื่องมือวัด และ แผนภาพของระบบ .....	46
รูปที่ 5.2 แสดงการออกแบบโปรแกรมเพื่อส่งคำสั่ง visa .....	47
รูปที่ 5.3 แสดง object Write buffer และ read buffer.....	48
รูปที่ 5.4 แสดงการตั้งค่าคำสั่ง ความถี่ของคำสั่ง และเวลาในการทำงาน.....	48
รูปที่ 5.5 การออกแบบโปรแกรมเปลี่ยนอักขระเป็นตัวเลข.....	49
รูปที่ 5.6 การแยกข้อมูลไปแสดงผล .....	49
รูปที่ 5.7 แสดงการออกแบบโปรแกรมเพื่อแปลงจากกระแสไฟเป็นความดันโดยใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์.....	50
รูปที่ 5.8 แสดงการออกแบบโปรแกรมแสดงผลผ่านกราฟโดยใช้คำสั่ง bundle .....	50
รูปที่ 5.9 แสดงคำสั่ง bundle.....	51
รูปที่ 5.10 แสดง code ที่เขียนลงไปบนบอร์ด Arduino เพื่อรับค่าความเร็วรอบ .....	51
รูปที่ 5.11 แสดงการออกแบบการรับค่าความเร็วรอบจากบอร์ด Arduino มาแสดงผลบน labview.....	52
รูปที่ 5.12 แสดงการแสดงผลความเร็วรอบรูปของ meter บน โปรแกรม labview.....	52
รูปที่ 5.13 แสดง block diagram ของระบบแสดงผล.....	53
รูปที่ 5.14 แสดงส่วนของหน้าจอแสดงผลและกราฟ .....	54
รูปที่ 5.15 แสดงส่วนการตั้งค่าการเชื่อมต่อและการแสดงผล .....	54
รูปที่ 5.16 แสดงการต่อวงจรภายในตู้ระบบการวัด.....	55
รูปที่ 5.17 แสดงหน้าจอแสดงผลแจ้งเตือนอุณหภูมิเกิน.....	55
รูปที่ 5.18 แสดงในส่วนโปรแกรมของहारแจ้งเตือน .....	56
รูปที่ 6.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ.....	57
รูปที่ 6.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop.....	58
รูปที่ 6.3 แสดงระบบควบคุมแบบปิด.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4	แสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบ Manual Control .....	60
รูปที่ 6.5	แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้แบบ Manual Control	60
รูปที่ 6.6	แสดงการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ .....	60
รูปที่ 6.7	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป .....	61
รูปที่ 6.8	แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF .....	65
รูปที่ 6.9	แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่ไม่มีตัวควบคุม .....	66
รูปที่ 6.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control .....	67
รูปที่ 6.11	แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง).....	68
รูปที่ 6.12	ระบบเทอร์โมมิเตอร์ .....	73
รูปที่ 7.1	แสดงแผนผังระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	75
รูปที่ 7.2	แสดงแผนผังการต่อสายระหว่างควบคุมอุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์.....	76
รูปที่ 7.3	แสดงการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล(ไม้อัดแท่ง) .....	77
รูปที่ 8.1	แสดงการจำลองการทดลองระบบควบคุม .....	79
รูปที่ 8.2	แสดงการเชื่อมต่อพอร์ต RS-485 .....	80
รูปที่ 8.3	แสดงโปรแกรม Serial Port Monitor ใช้ในการดูค่าพารามิเตอร์ .....	81
รูปที่ 8.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิ .....	81
รูปที่ 8.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความถี่ .....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในยุคสมัยนี้ เราต่างรับรู้ได้ถึงความแตกต่างของปัญหาที่โลกกำลังเผชิญจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาที่ใหญ่และอันตรายที่สุดที่คนเพียงส่วนน้อยเท่านั้นตระหนักถึง นั่นก็คือ ‘ภาวะโลกร้อน’ ที่เกิดจากการบริโภคพลังงานในแต่ละวัน อันก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบตามมา นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้พยายามแก้ปัญหาด้วยนวัตกรรมมากมาย และหนึ่งในนั้นก็คือนำพลังงานทางเลือกที่สร้างมลภาวะน้อยที่สุดหรือแทบไม่สร้างมลภาวะเลย ยกตัวอย่างเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ อย่างไรก็ตาม พลังงานที่กล่าวมาข้างต้นแม้เป็นพลังงานสะอาด แต่มีข้อจำกัดเรื่องสภาพอากาศและสภาพภูมิประเทศ

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ทำการศึกษาพลังงานทางเลือกที่เป็นอิสระจากเงื่อนไขทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศโดยให้ความสำคัญกับสิ่งที่เราทุกคนมี รวมถึงต้องสร้างมลพิษน้อยด้วย เป็นที่มาของ ‘โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดชุมชน’ ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดชุมชนสำหรับภาคการเกษตรหรือภาคส่วนอื่น ๆ ที่ต้องการผลิตไฟฟ้าจากผลผลิตที่เหลือที่สามารถนำไปผลิตมวลชีวภาพได้ เนื่องจากมวลชีวภาพเป็นสิ่งที่หาได้โดยทั่วไป เมื่อนำไปทำการกึ่งเผาไหม้โดยแก๊สซิไฟเออร์จะทำให้เกิดมลภาวะน้อยลงอย่างมาก ก่อนนำไปเผาไหม้ต่อใน ห้องเผาไหม้ ที่เป็นการเผาไหม้ภายนอกส่งต่อความร้อนไปยังเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจนได้รับความร้อนเพียงพอที่จะสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างไรก็ตาม กระบวนการข้างต้นนั้นค่อนข้างซับซ้อนและเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรมนุษย์ ทำให้เป็นเรื่องยากที่โรงไฟฟ้าขนาดชุมชนนี้เหมาะกับผู้ใช้งาน

จากความซับซ้อนที่กล่าวมาข้างต้น โรงไฟฟ้าขนาดชุมชนนี้จึงต้องการระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อวัดอุณหภูมิ และความดันตามส่วนต่าง ๆ เพื่อให้อยู่ภายใต้ความปลอดภัย นอกจากนี้ยังแจ้งเตือนเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น นอกจากนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิ ความดัน หรือค่าความเร็วรอบที่วัดได้ยังสามารถนำมาหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า และควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงไปยัง gasifier เพื่อกำหนดค่า

อุณหภูมิให้คงที่ ระบบควบคุมจึงถูกคิดค้นขึ้นเพื่อให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้นและลดการใช้ทรัพยากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 การออกแบบและผลิตรบบการวัดและจัดเก็บข้อมูลสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน
- 1.2.2 สร้างระบบรักษาความปลอดภัยสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยแจ้งเตือนเมื่อมีอันตรายเกิดขึ้น
- 1.2.3 สร้างระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่เตาเผาเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

## 1.3 สมมุติฐาน

- 1.3.1 ระบบการวัดและการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้งานได้จริงและมีความแม่นยำสูง
- 1.3.2 มีสัญญาณเตือนที่เตือนก่อนเกิดอันตราย
- 1.3.3 ระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลใช้งานได้จริงและลดความยุ่งยากในการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวล

## 1.4 ทฤษฎีพื้นฐาน

เตาเผากับเครื่องยนต์จะทำงานได้ราบรื่นและมีประสิทธิภาพจะต้องมีระบบควบคุมและระบบวัดค่าที่ดีเพื่อควบคุมให้การดำเนินงานเป็นปกติและสามารถนำข้อมูลจากการดำเนินงานมาวิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดชุมชนนั้น การทำงานของเตาเผาและเครื่องยนต์เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้อุปกรณ์ทั้งสองสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต้องอาศัยระบบการวัดค่าและระบบควบคุมที่ดีเพื่อให้การผลิตไฟฟ้าคุ้มค่า และที่สำคัญไปกว่านั้นคือความปลอดภัยของผู้ดำเนินงาน จึงจำเป็นต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยที่สามารถใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.5.1 ระบบการวัด

1.5.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาระบบการวัดและควบคุมที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ โรงไฟฟ้าขนาดชุมชนเพื่อช่วยปรับปรุงการเก็บข้อมูลให้สะดวกและมีประสิทธิภาพ มากขึ้น

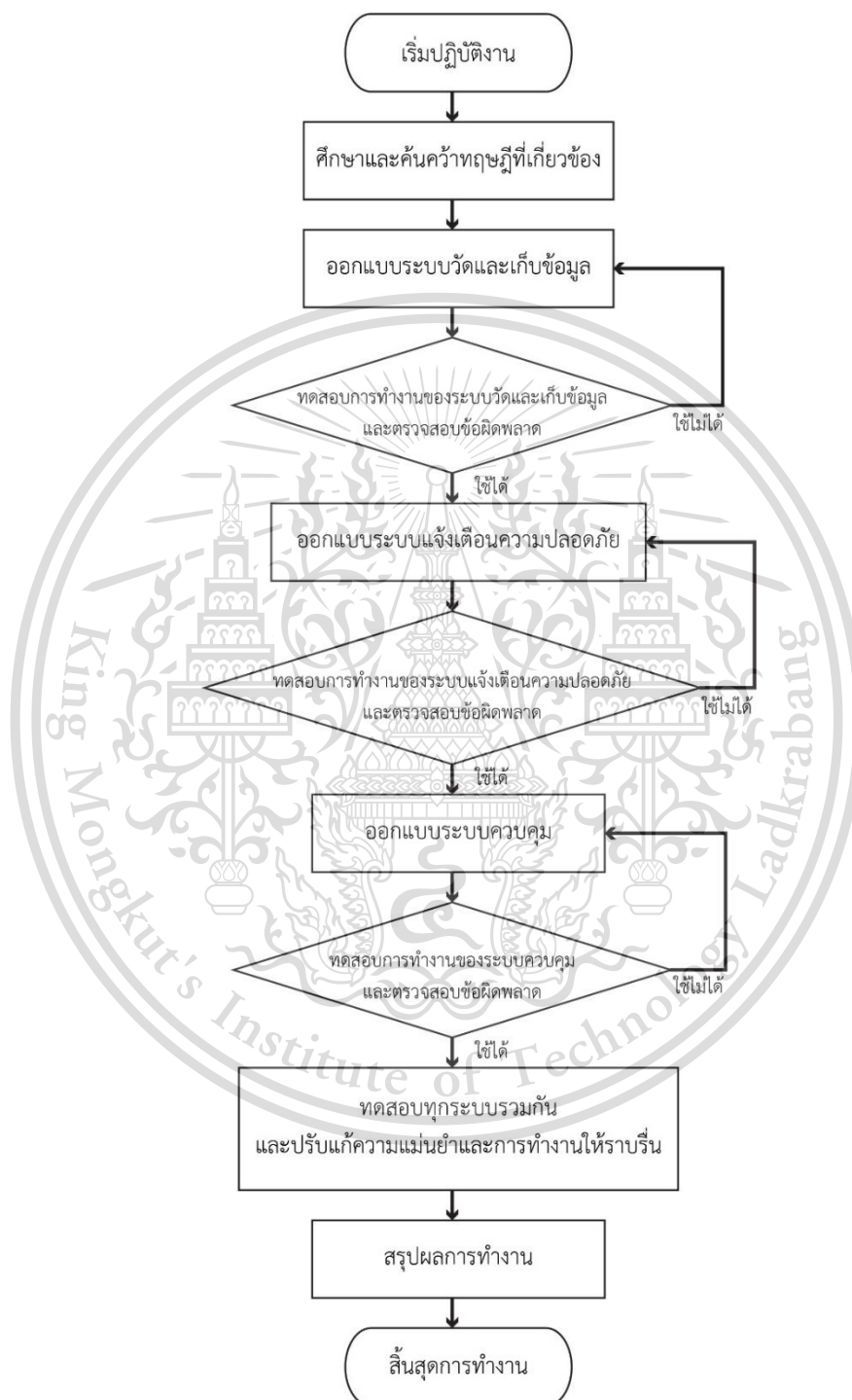


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.7 แผนการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

# เครื่องมือวัด

### 2.1 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ หรือเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) Thermocouple ประกอบด้วย ลวดโลหะตัวนำ 2 ชนิดที่แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม นำมาเชื่อมปลายทั้ง 2 เข้าด้วยกัน โดยเรียกปลายนี้ว่า Measuring point หรือ Hot junction ( $T_1$ ) (จุดวัดอุณหภูมิ) ซึ่งเป็นจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิ และจะมีปลายอีกข้างหนึ่งของลวดโลหะปล่อยวาง ซึ่งเรียกว่า Cold junction ( $T_2$ ) (จุดอ้างอิง) ซึ่งหากจุดวัดอุณหภูมิ และจุดอ้างอิง มีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจร Thermocouple ทั้งสองข้าง

#### 2.1.1 สาเหตุของแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล

พิจารณาตัวนำเดี่ยวในการไล่ระดับอุณหภูมิก่อน ตัวนำสัมผัสกับศักย์ไฟฟ้าที่สามารถมองได้ว่าเกิดจากการแปรผันของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระในตัวนำ อิเล็กตรอนในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าอิเล็กตรอนในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ การแพร่กระจายของอิเล็กตรอนนี้ทำให้เกิดความต่างศักย์ตามเส้นลวดที่มีการไล่ระดับอุณหภูมิขนาดของผลกระทบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตัวนำสถานะโลหะและอุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวนำ

พิจารณาสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวนำสองตัวที่แตกต่างกันดังแสดงใน รูปที่ 2.1 เนื่องจากแนวโน้มที่แตกต่างกันของตัวนำทั้งสอง ในการสร้างความหลากหลายของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ (และมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในการสร้างศักย์ไฟฟ้า) สายไฟทั้งสองจึงสร้างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์สุทธิคือความต่างศักย์ที่ปลายเปิด(ที่เครื่องมือวัดเชื่อมต่ออยู่) นี่คือพื้นฐาน สำหรับเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิล ปลายเปิดเรียกอีกอย่างว่าปลายอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล

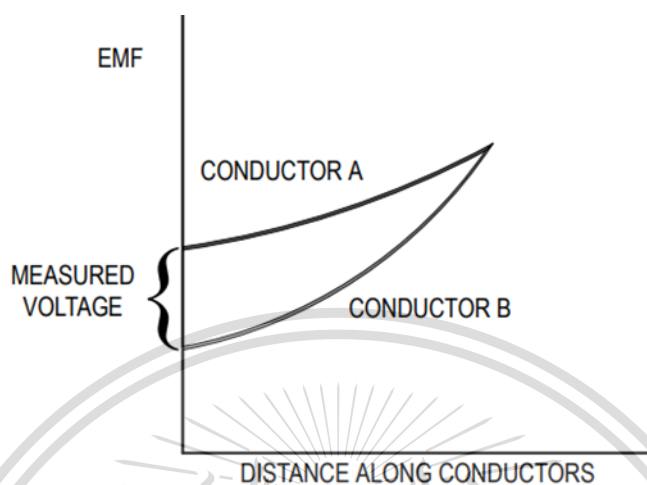
ควรสังเกตว่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายเปิดคือแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (OCV) นั่นคือมันเป็นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าในลูปของเทอร์โมคัปเปิล หากมีกระแสอยู่ก็จะลด

ความแตกต่างของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระที่รับผิดชอบต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (emf) ดังนั้นการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจึงต้องทำในลักษณะที่ทำให้แน่ใจไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ได้ว่ากระแสไฟฟ้าไหลเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในทางปฏิบัติหมายความว่าอิมพีแดนซ์อินพุตของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าต้องมีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.1 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่สร้างจากตัวนำที่ไม่เหมือนกันสองตัว

### 2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck [1]

ส่วนที่เป็นเนื้อเดียวกันของตัวนำที่สัมผัสกับอุณหภูมิ  $T_0$  ที่ปลายด้านหนึ่งและอุณหภูมิ  $T_1$  ที่ปลายอีกด้านมี ความต่างศักย์ไฟฟ้า  $V$  ระหว่างปลายทั้งสองด้าน แรงดันไฟฟ้าได้จากสมการต่อไปนี้

$$V = S (T_1 - T_0) \quad (2.1)$$

ซึ่ง  $S$  = ค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck ( $\mu V/^\circ C$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck (เรียกอีกอย่างว่า "thermoelectric power") เป็นคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเช่นความหนาแน่น การนำความร้อนหรือความต้านทานไฟฟ้า ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของตัวนำ แต่จะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิ เนื่องจากการขึ้นอยู่กับอุณหภูมินี้ความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการ 2.1 จึงเป็นการประมาณการประมาณนี้เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของวงจรถอร์โมคัปเปิล แต่ไม่เพียงพอสำหรับการทำนายแรงดันไฟฟ้าที่จะสังเกตได้สำหรับเทอร์โมคัปเปิลเฉพาะในการไล่ระดับอุณหภูมิที่เฉพาะเจาะจง

ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความแตกต่างของอุณหภูมิตามตัวนำอาจใช้เพื่อทำนายประสิทธิภาพของเทอร์โมคัปเปิลวิเคราะห์การกำหนดค่าเทอร์โมคัปเปิลและแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับเทอร์โมคัปเปิลเทอร์โมคัปเปิล ขั้นตอนนี้เรียกว่าการวิเคราะห์ลูปเทอร์โมคัปเปิล แนวทางนี้เป็นเพียงการสรุปแรงดันไฟฟ้าสำหรับแต่ละส่วนที่เป็นเนื้อเดียวกันของตัวนำ ตัวอย่างเช่นถ้าเราเลือกที่จะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นกระบวนการซื้อสรุปที่ปลายเปิดของตัวนำ A แรงดันไฟฟ้าจะเป็นดังนี้ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V = S_A(T_1 - T_0) + S_B(T_0 - T_1) \quad (2.2)$$

contribution      contribution  
from                  from  
conductor A        conductor B

นี่คือพีชคณิตเช่นเดียวกับ

$$V = S_A(T_1 - T_0) + S_B(T_0 - T_1) \quad (2.3)$$

หรือ

$$V = (S_A - S_B)(T_1 - T_0) \quad (2.4)$$

สังเกตว่าความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck สำหรับตัวนำทั้งสองปรากฏในสมการ 2.4 สิ่งนี้เกิดขึ้นเสมอในการวิเคราะห์เทอร์โมคัปเปิลลูปและเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจในเทอร์โมคัปเปิลเทอร์โมคัปเปิล เรียกว่าสัมประสิทธิ์ Seebeck สัมพัทธ์ (ระหว่างวัสดุ A และวัสดุ B) และเขียนว่า “ $S_{AB}$ ” นั่นคือ

$$S_{AB} = S_A - S_B \quad (2.5)$$

ดังนั้นจึงอาจเขียนสมการ 2-6 ได้ดังนี้

$$V = S_{AB}(T_1 - T_0) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

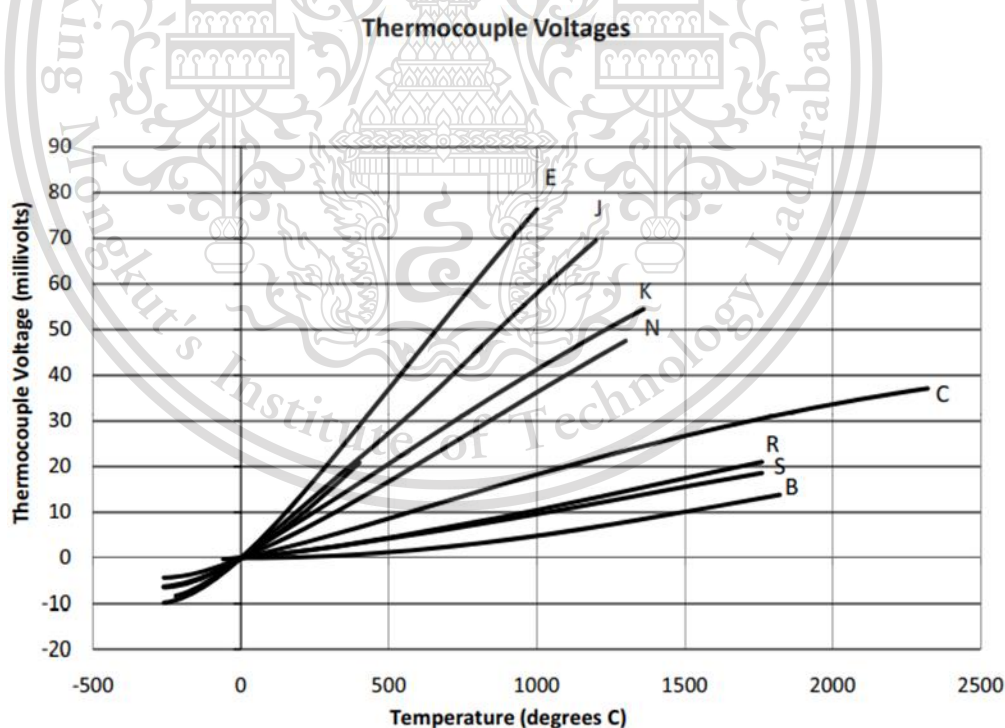
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.3 การแปลง EMF เป็นอุณหภูมิ [2]

ก่อนหน้าที่เราได้เห็นแล้วว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (OCV) ของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายจุดต่อการวัดและปลายเปิด ในการหาอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อการวัดเราต้องทราบอุณหภูมิที่ปลายเปิดและคำนึงถึงอุณหภูมินั้น อุณหภูมิอ้างอิงที่สะดวกที่สุดและทำซ้ำได้คือ  $0^{\circ}\text{C}$  ส่วนผสมของซิปปน้ำแข็งและน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการจับปลายเปิดที่  $0^{\circ}\text{C}$

ในการวัดอุณหภูมิในช่วงต้นด้วยเทอร์โมคัปเปิลอ่างน้ำแข็งถูกใช้สำหรับการอ้างอิง (แนวทางนี้ยังคงใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบซึ่งกลายเป็นแนวทางปฏิบัติมาตรฐานในการพัฒนาข้อมูลการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลสำหรับอุณหภูมิอ้างอิง  $0^{\circ}\text{C}$  รูปที่ 2.2 แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเทียบกับการวัดอุณหภูมิทางแยกสำหรับประเภทเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานสำหรับอุณหภูมิอ้างอิงที่  $0^{\text{C}}$  หากวางปลายอ้างอิงไว้ในอ่างน้ำแข็งการสอบเทียบนี้สามารถใช้เพื่อให้ได้อุณหภูมิของจุดต่อการวัดตารางแบบย่อสำหรับเทอร์โมคัปเปิลของสหรัฐอเมริกาทั่วไปทั้งหมดมีอยู่ในภาคผนวก C อินเทอร์เน็ตช่วยให้เข้าถึงตารางได้ง่ายด้วยความละเอียดมากขึ้นการค้นหาเว็บสำหรับ "ตารางเทอร์โมคัปเปิล" มีตัวเลือกมากมายสำหรับการรับตารางที่มีความละเอียดสูง



รูปที่ 2.2 แสดง EMF เทอร์โมคัปเปิลเล็กทรอนิกส์สำหรับเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.4 ประเภทเทอร์โมคัปเปิล [3]

2.1.4.1 เทอร์โมคัปเปิล ASTM เทอร์โมคัปเปิลเก้าตัวที่ได้รับมาตรฐานโดย American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้รับการกำหนดตัวอักษร J, T, K, E, N, C, S, R และ B ข้อกำหนดสำหรับการกำหนดเทอร์โมคัปเปิล หนึ่งในประเภทตัวอักษรเหล่านี้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเทียบกับพฤติกรรมอุณหภูมิไม่ใช่อ่งค์ประกอบ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในองค์ประกอบของเทอร์โมคัปเปิลประเภทใดก็ได้ที่จัดทำโดยผู้ผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างในองค์ประกอบเหล่านี้ อาจเกิดจากความแตกต่างบางประการในการสอบเทียบและการลดลงของประสิทธิภาพ เทอร์โมคัปเปิล ASTM รุ่นเก่าได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงต้นศตวรรษที่ยี่สิบ ล่าสุดที่ได้รับการรับรองจาก ASTM คือ Type N และ Type C องค์ประกอบที่ระบุของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 2-1 เป็นเรื่องปกติที่จะกำหนดสายไฟแต่ละเส้นสำหรับแต่ละประเภทตามชื่อของเทอร์โมคัปเปิล หากแรงดันไฟฟ้าบนสายไฟเป็นบวกเมื่อปลายเปิดอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดต่อสายไฟจะถูกกล่าวว่าเป็นเทอร์โมคัปเปิลประกอบเชิงบวกและอีกเส้นหนึ่งกล่าวว่าเป็นเทอร์โมคัปเปิลประกอบเชิงลบ การกำหนดตัวอักษรเทอร์โมคัปเปิลตามด้วยตัวอักษร "P" สำหรับเทอร์โมลิเมนต์บวกและตัวอักษร "N" สำหรับเทอร์โมลิเมนต์เชิงลบเมื่อต้องการระบุสายไฟที่แยกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีที่กำหนดของเทอร์โมอิเลเมนต์

Element	JP <sup>b</sup>	JN, TN, EN <sup>a</sup>	TP	KP, EP	KN	NP	NN	RP	SP	RN, SN	BP	BN	CP	CN
	Nominal Chemical Composition, %													
Iron	99.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbon	b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Manganese	b	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sulfur	b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Phosphorus	b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Silicon	b	—	—	—	1	1.4	4.4	—	—	—	—	—	—	—
Nickel	b	45	—	90	95	84.4	95.5	—	—	—	—	—	—	—
Copper	b	55	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chromium	b	—	—	10	—	14.2	—	—	—	—	—	—	—	—
Aluminum	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Platinum	—	—	—	—	—	—	—	87	90	100	70.4	93.9	—	—
Rhodium	—	—	—	—	—	—	—	13	10	—	29.6	6.1	—	—
Magnesium	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tungsten	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	74
Rhenium	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	26

<sup>a</sup>Types JN, TN, and EN thermoelements usually contain small amounts of various elements for the control of thermal emf, with corresponding reductions in the nickel or copper content, or both.

<sup>b</sup>Thermoelectric iron (JP) contains small but varying amounts of these elements.

2.1.4.2 ความเข้ากันได้ทางเคมี วัสดุที่ใช้สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลถูกกำหนดโดยสารเคมีบางชนิด เนื่องจากการโจมตีนี้จะปนเปื้อนหรือทำลายสายไฟจึงต้องพิจารณาความเข้ากันได้ของสารเคมีเมื่อเลือกเทอร์โมคัปเปิลสำหรับใช้ในสภาพแวดล้อมเฉพาะ นี่เป็นข้อพิจารณาเบื้องต้นสำหรับเทอร์โมคัปเปิลสายแยกที่เปลือยหรือเปิดเผย ข้อมูลความเข้ากันได้สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละประเภทแสดงไว้ในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Type J อาจใช้ในการออกซิไดซ์การลดหรือเฉื่อยในบรรยากาศ สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 0 °C ถึง 760 °C การออกซิเดชัน และ การโจมตีโดยบรรยากาศที่มีกำมะถันส่งผลกระทบต่อลวด เหล็ก ด้านบนประมาณ 540 °C ทำให้ Type J ไม่เหมาะสมในสถานการณ์นี้ ขาเหล็กมีความไวต่อการเกิดสนิมในสภาพแวดล้อมที่ชื้นและเป็นสนิมและเปราะบางที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 0 °C

Type T อาจใช้ในการออกซิไดซ์ลดหรือเฉื่อยในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิระหว่าง -200 °C ถึง 370 °C Type T มักใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำ ชัด จำกัด สูงสุดของอุณหภูมิ ในการใช้งานเกิดจากการออกซิเดชัน อย่างรวดเร็วของทองแดง ที่อุณหภูมิสูงขึ้น เทอร์โมคัปเปิล Type T เป็นตัวเลือกที่พบ บ่อยที่สุดสำหรับการใช้งานสำหรับการแช่แข็ง อย่างไรก็ตามรายงานฉบับหนึ่งที่เผยแพร่เมื่อเร็ว ๆ นี้สรุปว่าเทอร์โมคัปเปิล Type T ไม่เป็นไปตามขีดจำกัดความผิดพลาดของมาตรฐาน ASTM ระหว่างอุณหภูมิ -100°C และ -200°C รายงานแนะนำให้แก้ไขมาตรฐานสำหรับอุณหภูมิระหว่าง -100°C และ -200°C ณ วันที่ทำวิจัยเล่มนี้มาตรฐานยังไม่ได้รับการแก้ไขสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า -100°C ซึ่งความแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญผู้ใช้ควรขอรายงานการสอบเทียบเบื้องต้นจาก ซัพพลายเออร์เทอร์โมคัปเปิลรวมถึงการสอบเทียบที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว

Type K ควรใช้ Type K ในบรรยากาศที่ออกซิไดซ์หรือเฉื่อยสำหรับอุณหภูมิระหว่าง -200 °C ถึง 1260 °C เทอร์โมคัปเปิลประเภท K ไม่ควรสัมผัสกับบรรยากาศที่กำลัลด หรือออกซิไดซ์ และ ลดแบบสลับกัน นอกจากนี้ไม่ควรใช้ในการลดบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำเนื่องจากจะทำให้เกิด "การเน่าสีเขียว" ซึ่งเป็นปฏิกิริยา ออกซิเดชันพิเศษของธาตุบวกร Type K ไม่เหมาะสำหรับใช้ในบรรยากาศที่มีกำมะถันและในสุญญากาศ ประเภท K มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยาที่ยุ่งยาก

Type E ควรใช้ประเภท E ในบรรยากาศที่ออกซิไดซ์และเฉื่อยสำหรับอุณหภูมิระหว่าง -200 °C ถึง 900 °C เช่นเดียวกับ Type K เทอร์โมคัปเปิล Type E ไม่เหมาะสำหรับการลดสภาพแวดล้อมการ สลับออกซิไดซ์ และ การลดสภาพแวดล้อมสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนความเข้มข้นต่ำและ สภาพแวดล้อมสุญญากาศ Type E มีประสบการณ์การเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยา เช่นเดียวกับ Type K

Type N ควรใช้ในการออกซิไดซ์และบรรยากาศเฉื่อยสำหรับอุณหภูมิระหว่าง -200 °C ถึง 1260 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Type N ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทน Type K ซึ่งมีความไวต่อการเน่าสีเขียวน้อยกว่า และ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยาที่ยุ่ยากซึ่งมีผลต่อเทอร์โมคัปเปิล Type ไม่ควรใช้ Type N ในการลดสภาพแวดล้อมหรือในสุญญากาศ Type R และ S ควรใช้ในการออกซิไดซ์หรือบรรยากาศเฉื่อยสำหรับอุณหภูมิระหว่าง 0 °C ถึง 1480 °C ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการลดสภาพแวดล้อม เทอร์โมคัปเปิลเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากไอระเหยของโลหะและอโลหะ ประเภท R และ S ควรอยู่ในอลูมินาแทนที่จะเป็นท่อป้องกันโลหะเนื่องจากโลหะจากปลอกโลหะสามารถแพร่กระจายไปยังลวดเทอร์โมคัปเปิลและปนเปื้อนได้ ประเภท R และ S มีประโยชน์น้อยกว่าประเภท B ที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากการเจริญเติบโตของเมลต์พีซมากขึ้นทำให้ลวดมีความไวต่อการโจมตีของสารเคมี

Type B อาจใช้ในสภาพแวดล้อมที่ออกซิไดซ์หรือเฉื่อยสำหรับอุณหภูมิระหว่าง 870 °C ถึง 1,700 °C ชัด จำกัด อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck ที่เล็กมากสำหรับ Type B ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ไม่ควรใช้ประเภท B ในการลดสภาพแวดล้อม มันได้รับผลกระทบจากไอระเหยของโลหะและอโลหะและควรอยู่ในอลูมินามากกว่าท่อป้องกันโลหะ ประเภท B มีความไวต่อเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงน้อยกว่าประเภท R หรือ S

Tungsten-Rhenium Tungsten-Rhenium เทอร์โมคัปเปิลใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิสูง (สูงถึง 2315 °C) เหมาะสำหรับบรรยากาศที่ลดหรือเฉื่อย ผู้ผลิตนำเสนอเทอร์โมคัปเปิลทั้งสแตนรีเนียมที่แตกต่างกันสามแบบ แต่ละแบบมีส่วนของทั้งสแตน และ รีเนียมที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม American Society for Testing and Materials ได้รวมไว้ในมาตรฐานเทอร์โมคัปเปิลเฉพาะเทอร์โมคัปเปิลที่มีทั้งสแตน 95 เปอร์เซ็นต์และรีเนียม 5 เปอร์เซ็นต์ในขาเดียวและทั้งสแตน 74 เปอร์เซ็นต์และรีเนียม 26 เปอร์เซ็นต์ในขาอีกข้างหนึ่ง เทอร์โมคัปเปิลนี้ถูกกำหนดให้เป็น Type C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.5 ความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล ASTM [3]

ความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลแสดงไว้ใน ตารางที่ 2.2 แสดงความคลาดเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิล ASTM โปรดทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลนั้นกำหนดให้เป็นความไม่แน่นอนของอุณหภูมิในส่วนหนึ่งของช่วงและเป็นเปอร์เซ็นต์ของอุณหภูมิในช่วงที่เหลือของช่วง

ตารางที่ 2.2 แสดงความคลาดเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิล ASTM

Thermocouple Type	Temperature Range °C	Tolerance (Reference Junction at 0°C)	
		Standard Tolerance	Special Tolerance
		°C or percentage of °C (whichever is greater)	°C or percentage of °C (whichever is greater)
T	0 to 300	± 1 or ± 0.75%	± 0.5 or ± 0.4%
J	0 to 700	± 2.2 ± 0.75%	± 1.1 or ± 0.4%
E	0 to 900	± 1.7 or ± 0.6%	± 1 or ± 0.4%
K or N	0 to 1250	± 2.2 or ± 0.75%	± 1.1 or ± 0.4%
R or S	0 to 1450	± 1.5 or ± 0.25%	± 0.6 or ± 0.1%
B	670 to 1700	± 0.5%	± 0.25%
C	0 to 2315	± 4.4 or 1%	—
T	-200 to 0	± 1 or ± 1.5%	—
E	-200 to 0	± 1.7 or ± 1%	—
K	-200 to 0	± 2.2 or ± 2%	—

## 2.2 PRESSURE TRANSDUCERS

### 2.2.1 บทนำ [4]

Transducer และ transmitter บางครั้งใช้แทนกันได้ และ ในบางครั้งมีความหมายที่ต่างกัน อย่างสิ้นเชิง คำจำกัดความพื้นฐานที่สุดของ transducer คือการแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีก รูปแบบหนึ่ง (เช่นความดันเป็นกระแสไฟฟ้า) สัญญาณปกติมักจะอยู่ในช่วง mV ที่เกิดจาก transducer โดยตรง จากนั้นจะแปลงความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อวงจรปรับสภาพสัญญาณถูกพิจารณาว่า transducer, pressure transmitter จะมี transducer สองตัวตัวหนึ่งสำหรับ input เปลี่ยนความดันเป็นความต้านทานหรือแรงดันไฟฟ้า และ อีกตัวสำหรับ output เปลี่ยนความต้านทานหรือแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส (mA)

ความแตกต่างระหว่าง transmitter และ transducer มีความคลุมเครือ อย่างไรก็ตามความแตกต่างดูเหมือนง่าย transmitter จะสร้างและส่งออกสัญญาณที่ปรับขนาดเพื่อแสดงปริมาณที่แน่นอนของตัวแปรที่จะวัด สัญญาณจาก transmitter มักจะอยู่ที่ 4 ถึง 20 mA

## 2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานและสมบัติของ STRAIN-GAGE [5]

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน และความเครียดในฟอยล์ หรือ ลวดที่ใช้ในการสร้าง strain-gage สามารถแสดงเป็น

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} \quad (2.7)$$

หรือ

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (2.8)$$

โดยที่ K ถูกกำหนดให้เป็น gage factor ของฟอยล์หรือลวด  $\Delta R$  คือการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเนื่องจากความเครียด R คือความต้านทานเริ่มต้น  $\Delta L$  คือการเปลี่ยนแปลงความยาว L คือความยาวเดิมของลวดหรือฟอยล์ และ  $\Delta L / L$  คือความเครียดของยูนิตที่ลวด หรือ ฟอยล์อยู่ภายใต้

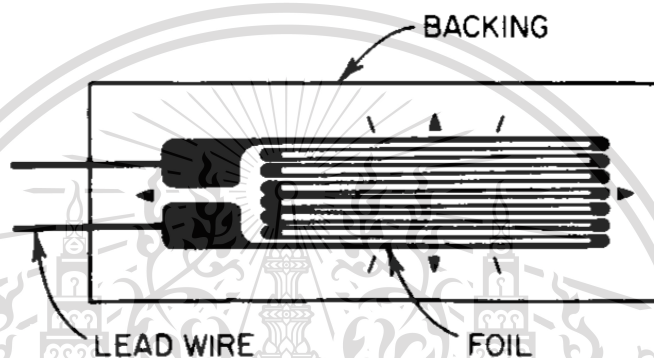
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.2.3 STRAIN-GAGE CONSTRUCTION [5]

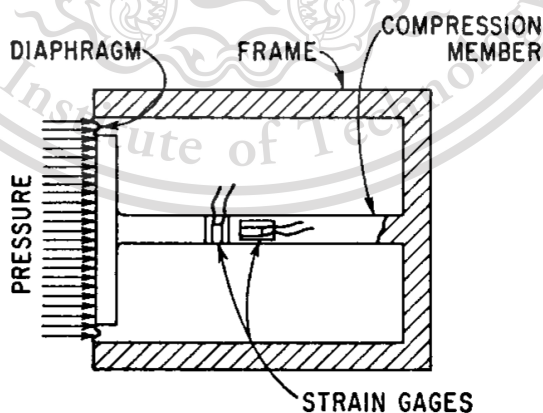
strain gages ส่วนใหญ่เป็นแบบฟอยล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แม้ว่าเครื่องวัดความเครียดแบบลวด จะใช้เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ เช่นที่อุณหภูมิสูง strain gages แบบฟอยล์มักทำโดยกระบวนการพิมพ์วงจร เนื่องจากฟอยล์ที่ใช้ใน strain gages ต้องมีความละเอียด หรือ บางเพื่อให้มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพียงพอ (โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 60 ถึง 350 โอห์ม) จึงยากที่จะจัดการ ตัวอย่างเช่นฟอยล์ที่ใช้ใน gages มักมีความหนาประมาณ 0.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 การสร้าง strain gage แบบพื้นฐาน

### 2.2.4 การสร้าง pressure transducer จาก STRAIN GAGES [6]

โดยทั่วไปแล้วการสร้าง pressure transducer จาก strain gages มีสามประเภทหลักๆ คือ ลูกสูบ, diaphragm และ ท่อ โดยประเภทลูกสูบความดันจะกระทำต่อพื้นผิวที่เรียบของลูกสูบ โดยความเครียดจะส่งผลต่อ strain gages เพื่อวัดแรง รูปที่ 2.4



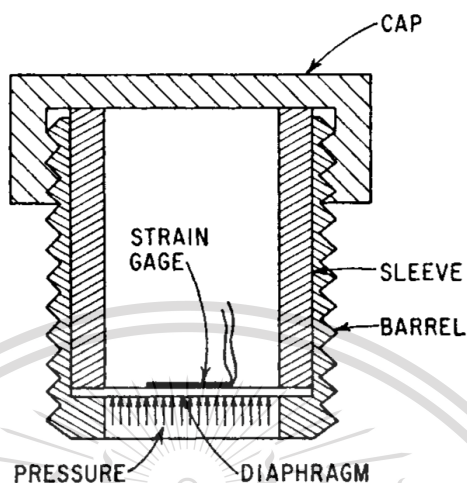
รูปที่ 2.4 pressure transducer แบบลูกสูบพร้อม diaphragm ซึ่ลสำหรับลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

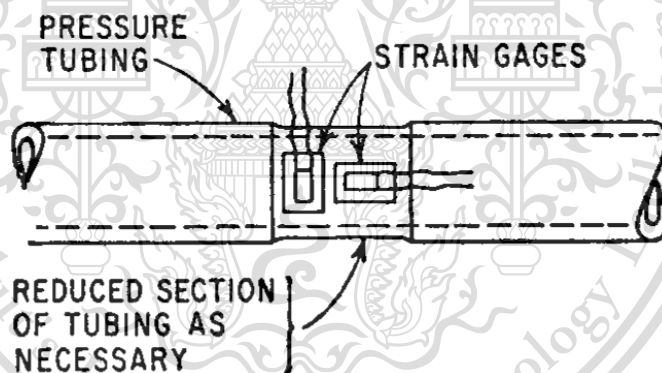
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

pressure transducers แบบ Diaphragm แสดงใน รูปที่ 2.5 ให้ strain gages ติดโดยตรงกับด้านหลังของ diaphragm เพื่อให้ความเครียดของ diaphragm วัดความดัน



รูปที่ 2.5 Pressure transducers แบบ Diaphragm

Pressure transducer แบบท่อ แสดงใน รูปที่ 2.6 ในแบบท่อนี้ strain gages จะถูกนำไปติดอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของท่อ ที่มีความดันของของไหลกระทำอยู่ที่ผนังด้านใน



รูปที่ 2.6 Pressure transducer แบบท่อ

### 2.2.5 วงจรที่ใช้กับ STRAIN-GAGE และการวัดค่า [6]

มีวงจรจำนวนมากที่ใช้กับ strain gage ที่มีกระแสกระตุ้น และมีสัญญาณที่สอดคล้องกับความเครียดของ strain gage วงจรแต่ละประเภทมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป โดยสองวงจรที่พบเห็นได้มากที่สุดคือ วงจร potentiometer และ วงจร Wheatstone bridge

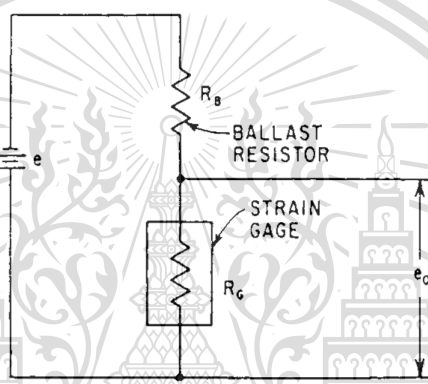
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

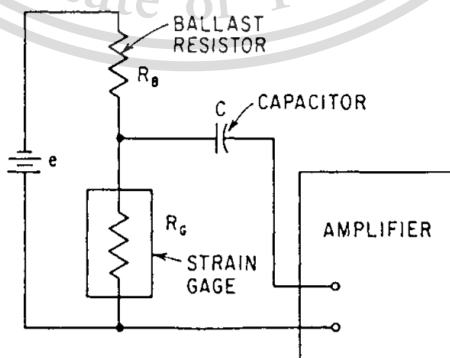
## 2.2.6 POTENTIOMETER CIRCUIT [6]

รูปที่ 2.7 วงจร potentiometer circuit (บางครั้งเรียกว่าวงจร half-bridge) เป็นวงจรที่เรียบง่ายที่สุดในการใช้งานกับ strain gage ในวงจรนี้ความต้านทาน  $R_B$  (เรียกว่าตัวต้านทาน ballast) มีความสำคัญค่อนข้างสูงในการ รักษาสภาพการไหลของกระแสในวงจรให้คงที่ และ เป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของความต้านทานของ strain gage  $R_G$  กระแสไฟฟ้าจ่ายโดยแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง  $e$  สัญญาณ output จากวงจร potentiometer ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ strain gage ถูกกำหนดเป็น  $e_o$



รูปที่ 2.7 วงจร Potentiometer สำหรับวัดความเครียดแบบไดนามิก

วงจรนี้เหมาะสมอย่างยิ่งกับการใช้วัดความเครียดแบบไดนามิก หรือ ความผันผวน แต่ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการวัดแบบสถิตหรือความเครียดแบบคงที่และแบบไดนามิกรวมกัน การวัดความเครียดแบบไดนามิกปกติแล้วต้อง block กระแสตรงเพราะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกนั้นคงที่ (ศูนย์ความเครียด) เพื่อให้วัดเฉพาะส่วนที่ผันผวนเท่านั้น ทำได้โดยการใส่ตัวเก็บประจุ  $C$  ระหว่าง output ของวงจร Potentiometer กับ input ของตัวขยายสัญญาณต่อไปนี้ดังแสดงใน รูปที่ 28



รูปที่ 2.8 วงจร Potentiometer สำหรับวัดความเครียดแบบไดนามิกแบบมีตัวเก็บประจุและตัวขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในเชิงการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

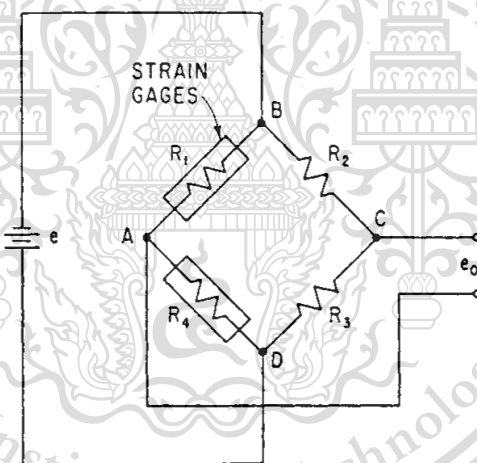
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สัญญาณ AC ซึ่งเป็นตัวแทนของการสลับของความเครียดที่ gage ถูกส่งผ่านตัวเก็บประจุ อิทธิพลอื่น ๆ นอกเหนือจากความเครียดที่อาจเปลี่ยนความต้านทานของ strain gage (เช่นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ) ยังทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตในวงจรนี้ได้ แต่เนื่องจากการเชื่อมต่อของตัวเก็บประจุกับตัวขยายสัญญาณเป็นตัวกรองสัญญาณความถี่สูง การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขาออกที่เกิดจากอุณหภูมิจึงถูกลดทอนลงอย่างมาก นอกเสียจากว่าขนาดของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะสูงพอที่จะมีความสำคัญเท่ากับสัญญาณของความเครียดสลับ

## 2.2.7 WHEATSTONE BRIDGE [6]

ในวงจร potentiometer จำเป็นต้อง block กระแสตรงของแรงดันไฟฟ้าขาออกด้วยตัวเก็บประจุก่อนแล้วจึงไปยังเครื่องขยายสัญญาณ ผลเช่นเดียวกันนี้สามารถทำได้โดย block กระแสตรงของสัญญาณโดยการเชื่อมต่อวงจร potentiometer แบบขนาน และ รับสัญญาณ output จากจุดที่เกี่ยวข้องในสองสายของวงจร ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจร WHEATSTONE BRIDGE สำหรับการวัดความเครียดแบบคงที่และแบบไดนามิก

วงจรมีโดยทั่วไปเรียกว่า WHEATSTONE BRIDGE และเป็นวิธีการที่แม่นยำที่สุดวิธีหนึ่งที่รู้จักกันในการวัด (หรือเปรียบเทียบ) ความต้านทาน ข้อดีของ WHEATSTONE BRIDGE ที่เหนือกว่าวงจร potentiometer คือ

1. มีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการจัดวงจรสำหรับการลดสัญญาณการรบกวนจากอุณหภูมิและการยกเลิกหรือแยกสัญญาณที่ปนเปื้อน
2. ความสามารถในการวัดความเครียดแบบสถิตและไดนามิกรวมกันอย่างแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

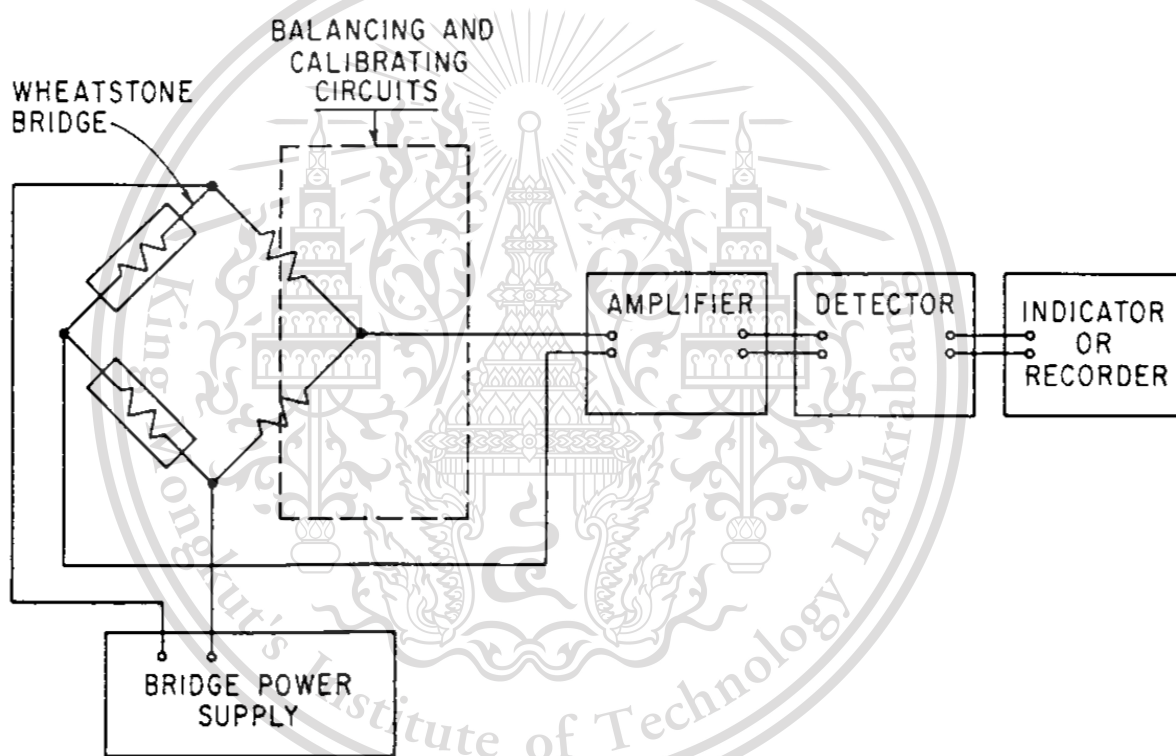
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. แทบจะเป็นอิสระจากข้อผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวต้านทานในตัวนำที่เชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าเข้ากับวงจร

## 2.2.8 SELECTION OF INSTRUMENTS FOR STRAIN MEASUREMENT [6]

แรงดันไฟฟ้าขาออกจากวงจร potentiometer สำหรับวัดความเครียด หรือ Wheatstone bridge สำหรับวัดความเครียดมีขนาดเล็กมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำสัญญาณไปยังระดับที่สามารถใช้เพื่อบ่งชี้ หรือ บันทึกได้อย่างสะดวก เพื่อให้มั่นใจถึงประสิทธิภาพ และความแม่นยำที่น่าพอใจควรพิจารณาระบบเครื่องมือทั้งหมดตั้งแต่แหล่งจ่ายไฟไปจนถึงเครื่องมือบันทึกข้อมูล รูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดความเครียด ใน Block diagram



รูปที่ 2.10 Block diagram ขององค์ประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.3 Encoders[7]

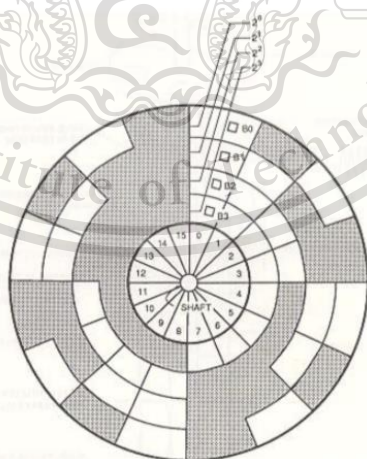
Encoders คือเครื่องกลที่เป็นตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าซึ่ง output ได้มาจากการอ่านรูปแบบ code บนจานหมุน Encoders สามารถจำแนกได้ตาม

- วิธีที่ใช้ในการอ่าน code: contact หรือ non-contact
- ประเภทของ output: absolute encoder หรือ incremental encoder
- ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ใช้ในการสร้าง output: การนำไฟฟ้า, แม่เหล็ก, ออปติก, ประจุไฟฟ้า

### 2.3.1 Contact Encoders

Contact encoders คือ encoder ที่การสัมผัสระหว่าง brush หรือ pin sensor กับแผ่นจานหมุนประกอบด้วยชุดของวงแหวนหรือ track ที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันซึ่งเป็นแถบโลหะบางที่ติดกับจานหมุนดัง รูปที่ 2.11 โดย tracks ทั้ง 4 ใน รูปที่ 2.11 จะแสดง binary code ที่ประกอบด้วย  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ ,  $2^3$  ซึ่ง contact sensor ที่เกี่ยวข้องกับระบุมั่วที่  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  และเปลี่ยนเป็นรหัสตัวเลข 0 ถึง 15 เมื่อแผ่นจานหมุน sensor จะสัมผัสสลับกันระหว่างแถบนำไฟฟ้าและฉนวนที่อยู่ติดกัน สร้างชุดคลื่นรูปแบบ square wave ขึ้น

ความแตกต่างทางประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเชื่อมส่วนต่าง ๆ ของแผ่นจานหรือการสึกหรอของหน้าสัมผัส



รูปที่ 2.11 Absolute Contact Encoder Disk

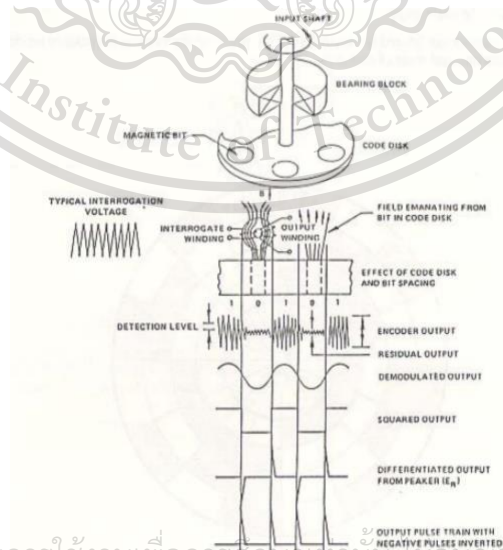
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.3.2 Magnetic Encoder

Magnetic encoder ถูกพัฒนาเพื่อแทนที่ Contact encoder ในเรื่องความเร็วในการหมุนที่จำกัด Magnetic encoder ทำงานโดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความถี่คลื่นแม่เหล็ก, ความเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็ก หรือความอิมตัวของแม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละวิธี การเหนี่ยวนำ flux โดย magnetically coded disc จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยหมุนเสริมหรือขัดขวางสถานะเดิมในการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในแต่ละวิธีจะมีสถานะปกติอยู่ 2 สถานะ สอดคล้องกับหลักการของเลขฐาน 2 ซึ่งประกอบด้วย 0 และ 1 เท่านั้น ความถี่คลื่นแม่เหล็กจะนำไปใช้ในการแสดงสถานะของวงจร ถ้าเกิดการสั่นพ้องจะแสดงสถานะเป็น 1 และถ้าไม่เกิดการสั่นพ้องจะแสดงสถานะเป็น 0 สำหรับวิธีที่ใช้การอิมตัวของแม่เหล็ก ตัวเหนี่ยวนำจะมีสภาพได้ทั้งอิมตัวและไม่อิมตัว ความต้านทานแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ 1 และ 0 สลับกันไป ความละเอียดของ Magnetic encoder ถูกจำกัดด้วยขนาดของจุดแม่เหล็กและสามารถถูกทำให้สับสนโดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุดแม่เหล็กบน tracks ที่อยู่ติดกัน Magnetic encoder สามารถก้าวข้ามความเร็วพื้นฐานที่ถูกจำกัดของ Contact encoder และมีอายุการใช้งานที่นานขึ้นจากการกำจัดสัมผัสทางกายภาพระหว่างจานหมุนกับ Sensor นอกจากนี้ Magnetic encoder ยังทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ไม่เป็นมิตรกับ Contact encoder ซึ่งสามารถใช้เทคนิคแกนแม่เหล็กได้ ยิ่งไปกว่านั้นความหนาแน่นของ flux แม่เหล็กที่สูง หรือความหนาแน่นของรังสีสามารถทำลายลวดลายบนจานหมุน หรือขัดขวางกระบวนการของแกนอิมตัว จำเป็นต้องมีความระมัดระวังต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการใช้ Magnetic encoder ในระบบ โดย รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนของ magnetic encoding แบบทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.12 Magnetic Coding แบบทั่วไป  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

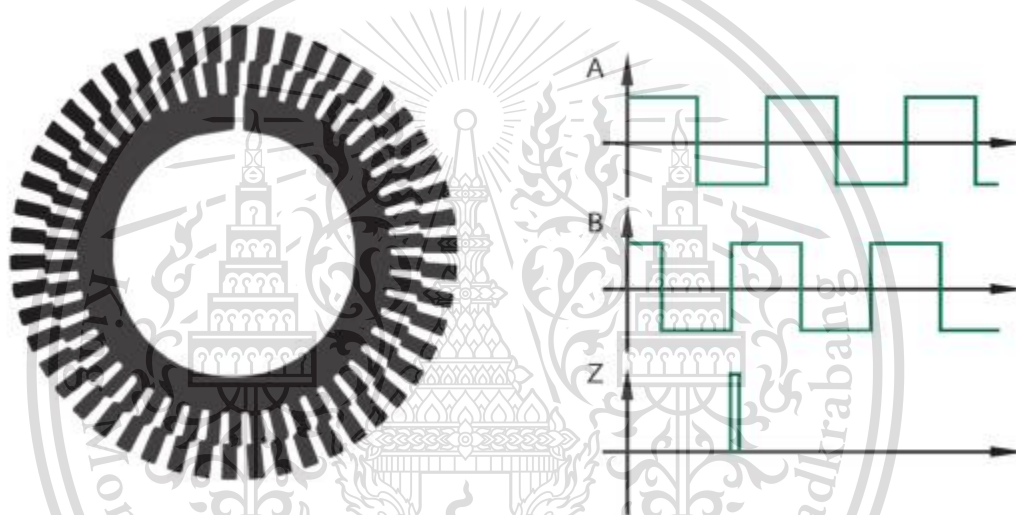
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.3.3 Incremental vs. Absolute output

ในการอธิบายก่อนหน้านี้นี้ มีการอ้างอิงถึงรูปแบบ code ในงานหมุดง รูปที่ 2.11 ซึ่ง output ที่ได้ของ encoder จะออกมาในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลที่แสดงตำแหน่งเชิงมุมสัมบูรณ์ของตัวเพลลา encoder ซึ่งนั่นก็คือรูปแบบของ Absolute encoder

ถ้ารูปแบบของ code บนงานหมุดถูกแทนที่ด้วยรูปแบบ code ดัง รูปที่ 2.13 output ของ encoder จะกลายเป็นชุดของสัญญาณ pulses ที่สามารถนับเพื่อกำหนดตำแหน่งเพลลาที่สัมพันธ์กับจุดอ้างอิง ลักษณะนี้เรียกว่า Incremental encoder ซึ่ง encoder ประเภทนี้มักให้จุดอ้างอิงเป็นค่า 0 และให้ output เป็นสัญญาณคู่ซึ่งนำมาใช้สำหรับกำหนดตำแหน่ง และทิศทางการหมุน



รูปที่ 2.13 งานหมุด Incremental encoder และสัญญาณ output

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน แต่ละแบบนั้นมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน Absolute coder ไม่จำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งใหม่หลังจากสูญเสียพลังงานหรือถูกสัญญาณรบกวน ส่วน Incremental encoder จะใช้งานง่ายกว่าและราคาถูกกว่า

### 2.3.4 ความผิดพลาดของ Encoder

ความผิดพลาดของ Incremental encoder แบ่งเป็น 3 ประเภท 1) ความผิดพลาดเชิงปริมาณ 2) ความผิดพลาดของเครื่องมือ 3) ความผิดพลาดของการประมาณค่าในวงจร (หากมีการติดตั้ง encoder ไว้) ความผิดพลาดเชิงปริมาณเกิดขึ้นเนื่องจาก encoder ไม่สามารถระบุการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นภายในความละเอียดหนึ่งควอนตัมในจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง นี่คือองค์ประกอบของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด และเกิดขึ้นซ้ำกันทุกควอนตัมของ input การเคลื่อนที่ ใน encoder ที่สมบูรณ์แบบซึ่งไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเพียงเอกสารทางกล, ออปติก หรืออิเล็กทรอนิกส์จากอุดมคติ ตำแหน่งเชิงมุมที่ถูกต้องของ input จากเพลลา ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการอ่านค่าที่กำหนดถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งเชิงมุมตรงกลางระหว่างจุดเปลี่ยนจากสัญญาณ 0 ไปสู่สัญญาณ 1 ความผิดพลาดเชิงปริมาณคือความเบี่ยงเบนของ input จากเพลาจากตำแหน่งกึ่งกลาง สำหรับการอ่านค่าที่กำหนด ด้วยความผิดพลาดสูงสุด  $\pm 1/2$  ของการหมุนเชิงมุมระหว่าง 2 bits ต่อเนื่องกัน ตัวอย่างเช่น rotary incremental encoder ที่สร้างสัญญาณ pulse 360 ครั้งรอบ มีความผิดพลาดเชิงปริมาณ  $\pm 1/2$  องศาเชิงมุมดัง **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง**



รูปที่ 2.14 ความละเอียดของ encoder

ความผิดพลาดของเครื่องมือคือผลรวมของความผิดพลาดของรูปแบบบนจานหมุนและความไม่สมบูรณ์ทางกลของ encoder ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประเภทของแบร์ริง, ความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบ, ความเรียบของพื้นผิว, การตั้งค่าอุปติก และการจัดวางตำแหน่งของ encoder ทำให้เกิดความผิดพลาดประเภทนี้ ผู้ผลิตมักจะตรวจสอบความผิดพลาดเหล่านี้โดยเทียบกับ encoder ตัวที่เป็นมาตรฐาน

ความผิดพลาดของการประมาณค่าในวงจร (หากมีการติดตั้ง encoder ไว้) เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของสัญญาณอนาล็อกจากเครื่องตรวจจับแสงและการประมวลผลในภายหลัง ความไม่สมบูรณ์เหล่านี้ประกอบด้วย การเปลี่ยนเฟส หรือเกิด dc offset ในสัญญาณ square wave ของ encoder ที่สร้างความผิดพลาดของตำแหน่งในจุดตัดของสัญญาณ 0 ซึ่งมีผลต่อการนับจำนวน pulse ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวยระยะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 3

# ระบบบันทึกข้อมูล

### 3.1 เครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ชื่อรุ่น Data Logger (AI210)

เครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รุ่น AI 210 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้งานเป็นตัวบันทึกข้อมูล จะสามารถรับค่าที่ได้จากอุปกรณ์ภายนอกตัวอย่างเช่น Thermocouple, Pressure, Flow, Voltage, Current, etc. ค่าที่วัดได้มาสามารถนำไปดำเนินการต่อได้ ดังนี้

- แสดงผลแบบ Real time แสดงค่าที่วัดได้ในรูปแบบตัวเลขแบบฉับพลันที่จอแสดงผลของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- แสดงกราฟแบบ Real time ในรูปแบบของกราฟแนวโน้มทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าวัดในช่วงเวลาที่ผ่านมา
- บันทึกค่าที่วันในในรูปแบบของไฟล์ต่าง ๆ ได้แก่ Word ,Excel แล้วจึงสามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อตามวัตถุประสงค์ต่อ

#### 3.1.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ชื่อรุ่น Data Logger (AI210)

Analog Input Module AI210 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณ Analog Input ได้ 8 ช่อง, Digital Input 4 ช่อง และควบคุม Digital Output ได้ 4 ช่อง โดยสามารถโปรแกรม Analog Input ให้ใช้ร่วมกับ Sensor หลายชนิด เช่น Thermocouple, RTD หรือ Voltage เป็นต้น การเชื่อมต่อกับ AI210 สามารถทำได้โดยผ่านทาง Port RS-232 หรือ RS-485 ทำให้ สามารถพัฒนาโปรแกรมบน PC, PLC หรือ จอ Touch Screen เพื่ออ่านค่า Input และควบคุม Digital Output ของ AI210 ได้ โดย Protocol ที่ใช้เชื่อมต่อดังนั้นมีให้เลือกหลายแบบ เช่น MODBUS ASCII, MODBUS RTU และสามารถข้อมูลไปใช้ในโปรแกรมบน Windows อื่น ๆ เช่น MS Excel, MS Word จึงสามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อตามวัตถุประสงค์ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซีอรุ่น Data Logger (AI210)

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องบันทึกข้อมูล ซีอรุ่น Data Logger (AI210)

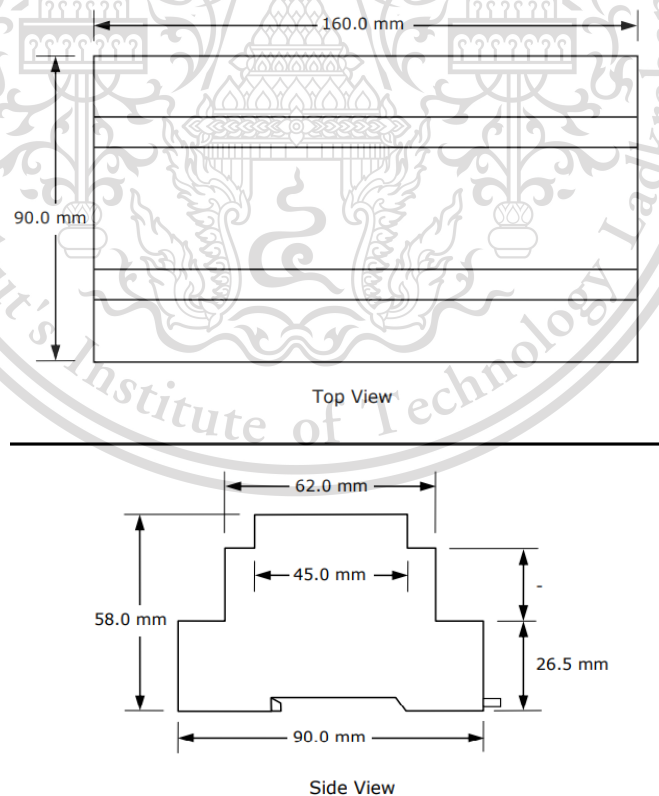
<p>Serial Interface</p> <p>Serial Standards:</p> <p>RS232 Connector RJ12 6 Pin</p> <p>RS485 (Isolated) 2 Pin Terminal Block</p> <p>Loading : RS485 Max 32 Unit</p> <p>Distance :</p> <p>RS232 Length 15 m.</p> <p>RS485 Length 1 Km.</p> <p>Protocol: MODBUS (ASCII, RTU), Wisco ASCII</p> <p>Support Software: Citect, Wonderware, Lab View, Fix, Genesis, etc.</p>	<p>Analog Input</p> <p>Number of Channel: 8 Channels up to 24 Channels (EX24 Module)</p> <p>Input Type: Programmable Input</p> <p>Input Range: Thermocouple (R, S, K, E, J, T, B) RTD (Cu10, PT100, PT1000)</p> <p>Resistance (0 to 600 <math>\Omega</math>, 0 to 1.2 K<math>\Omega</math>, 0 to 4 K<math>\Omega</math>)</p> <p>Voltage mVDC (0 to 80, 0 to 150 mVDC)</p> <p>Voltage (0 to 1, 0 to 5, 0 to 15, 0 to 30 VDC)</p> <p>Current (4 to 20, 0 to 20, 0 to 40 mA)</p> <p>ADC Resolution: 16 Bits</p> <p>Isolation: Relay Isolated</p>
<p>Recording</p> <p>Recording Interface: 1 Sec - 18 Hours (Programmable)</p> <p>Record Mode: Stop When Full or Roll Over</p> <p>Data Format: Can be Exported to MS Excel</p>	<p>Power Requirements</p> <p>Power Supply: 85 to 230 VAC (12 to 35 VDC Optional)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Digital Input Number of Channel: 4 Channels Sensor Type: wet Contact (Optoisolated) wet Contact (DI to GND): ON: 12 to 24 VDC OFF: 0 to 3 VDC Digital Output Number of Channel: 4 Channels Output Type: NPN Open Collector	Environmental Limits Operating Temperature: 0 to 55 °C Operating Humidity: 5 to 95% RH Storage Temperature: 0 to 70 °C Power Consumption Standby: 280 mA @ 12 VDC (3.5 W) Start Record: 350 mA @ 12 VDC (4.5 W)
Physical Characteristics Dimension: W160 x H90 x D60 mm. Mounting: DIN Rail	Serial Parameter Baud Rate: 4800, 9600, 19200, 57600 Data Bits: 8 Stop Bits: 1 Parity: None



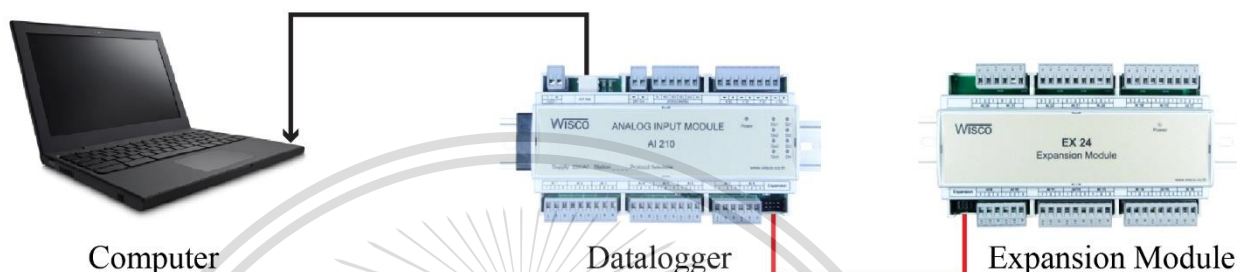
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรที่ซื้อหรือเช่าใช้เท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.2 แสดงภาพขนาดของเครื่อง Data Logger (AI210)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.2 การเชื่อมต่อเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

การเชื่อมต่อกับ AI210 สามารถทำได้โดยผ่านทาง Port RS-232 หรือ RS-485 โดยใช้โปรแกรมของทางเครื่อง Data Logger AI210 โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อดังนี้



Computer

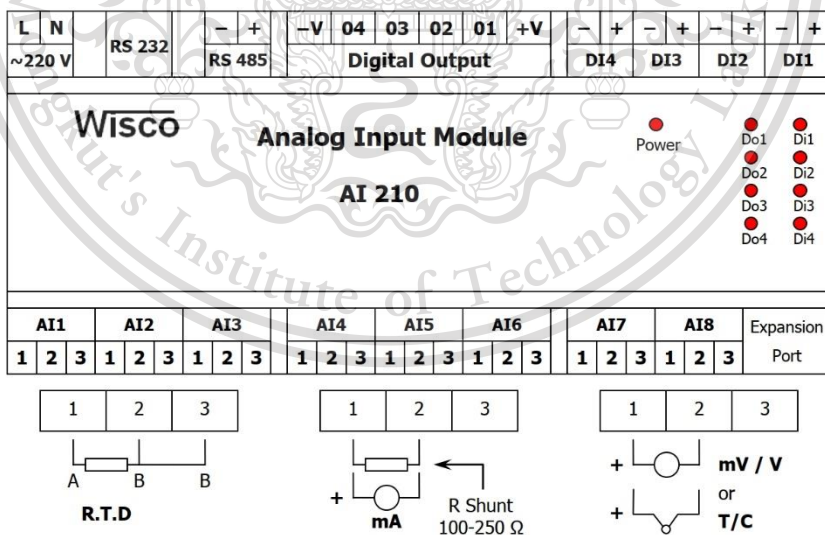
Datalogger

Expansion Module

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

### 3.1.3 การเชื่อมต่อเครื่องบันทึกข้อมูลกับเครื่องมือวัด

การใช้เครื่องมือวัดได้แก่ Thermocouple และ Pressure transducer มีลักษณะการเชื่อมต่อไปยัง Data Logger AI210 ที่แตกต่างกันโดยมีลักษณะการเชื่อมต่อดัง รูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5 ดังนี้

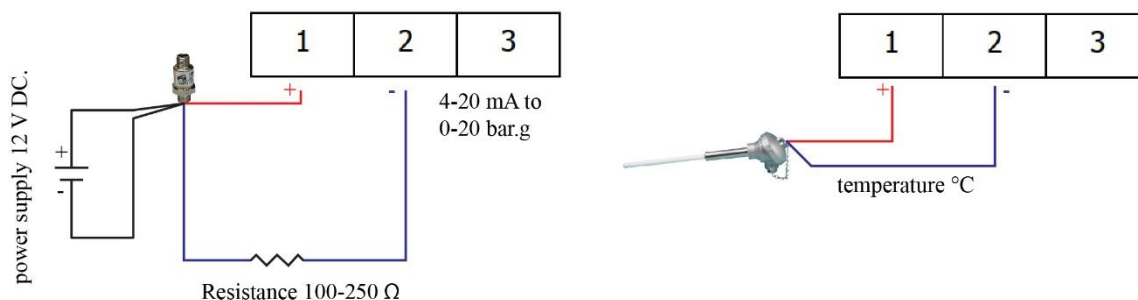


รูปที่ 3.4 แสดงไดอะแกรมการต่อ AI210 กับอุปกรณ์วัดค่าชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 แสดงไดอะแกรมการต่อ AI210 กับ Pressure transducer และ Thermocouple

### 3.1.4 การติดต่อกับโมดูลโดยใช้ Wisco ASCII Protocol

การเชื่อมต่อ AI210 สามารถเชื่อมต่อได้สองมาตรฐานคือมาตรฐาน RS-232 และ RS-485 โดยมาตรฐาน RS-232 จะเป็นการเชื่อมต่อระหว่าง AI210 กับ PC หนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น ส่วนมาตรฐาน RS-485 จะสามารถเชื่อมต่อกันได้ครั้งละหลายเครื่องโดยสามารถเชื่อมต่อ AI210 ได้ทั้งหมด 32 เครื่อง พร้อมกัน รวมกับเครื่องคอมพิวเตอร์อีก 1 เครื่อง โดยทั้งสองมาตรฐานจะใช้ข้อกำหนด Protocol เดียวกัน ในการติดต่อกับ AI210 มีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกับโมดูล AI210 จะเป็นรหัส ASCII ทั้งหมดและในคำสั่งชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.6 แสดงไดอะแกรมส่วนประกอบของคำสั่งชุดหนึ่งชุด

ไบต์เริ่มต้น ไบต์แรกที่ยกให้โมดูลรู้ว่าได้เริ่มต้นของชุดคำสั่งโดยจะใช้อักขระ '#' เป็นตัวเริ่มต้น

หมายเลขประจำเครื่อง หมายเลขประจำเครื่องที่ใช้อ้างอิงโมดูลสำหรับกรณีที่มีการต่อใช้งานพร้อมกันตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยสามารถกำหนดได้ที่ DIP Switch ภายใน โมดูล ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 00h-1Fh และห้ามให้หมายเลขประจำเครื่องซ้ำกัน

คำสั่ง คำสั่งที่ใช้กับโมดูล AI210 จะมีทั้งหมด 19 คำสั่ง

ไบต์จบ ไบต์สุดท้ายที่ยกให้โมดูลรู้ว่าสิ้นสุดของชุดคำสั่ง โดยจะใช้ [CR](Carriage Return) ซึ่งเป็นอักขระตัวที่ 13 ในตาราง ASCII ปิดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 แสดง ASCII บางส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับ module

Character	#	0	0	R	A	I	1	2	4	5	8	CR
ASCII Code	23H	30H	30H	52H	41H	2AH	31H	31H	34H	35H	38H	0DH

คำสั่งทั้งหมดที่ใช้ในการติดต่อกับโมดูล AI210 (Wisco ASCII Protocol) โดย((H) = Heximal Value, (D) = Decimal Value, (E) = Extension Module, xx = check sum, [CR] = carriage return)

ตารางที่ 3.3 แสดงคำสั่งทั้งหมดในการติดต่อกับ AI210 ผ่าน ASCII Protocol

Function	Command	AI210 Response
RAI = Read AI Value (H)	#00RAI12458[CR]	AI>0FD1,05A3,...,072E[CR]
RAIF = Read AI Value (D)	#01RAIF1357[CR]	AI>12.1,470,...,-0.5[CR]
RAIX = Read AI Value (E,H)	#02RAIXA9C24F[CR]	AI>0FD1,05A3,...,072E[CR]
RAIFX = Read AI Value (E,D)	#03RAIFXE21310[CR]	AI>12.1,470,...,-0.5[CR]
RDI = Read Digital Input	#04RDI234[CR]	DI>010[CR]
RDO = Read Digital Output	#05RDO[CR]	DO>1001[CR]
RADIO = Read All I/O	#07RADIO[CR]	AI>0FD1,...,0110,0011[CR]
RADIOF = Read All I/O (H)	#08RADIOF[CR]	AI>15.2,...,0110,0011[CR]
RADIOX = Read All I/O (E)	#09RADIOX[CR]	AI>0FD1,...,0110,0011[CR]
RADIOFX = Read All I/O (E,H)	#0ARADIOFX[CR]	AI>15.2,...,0110,0011[CR]
REE = Read EEPROM	#0BREE0020001F4[CR]	EE>0320FF45...A79Dxx[CR]
RRI = Read R Shunt	#0CRRI2368[CR]	RIN>15.4,205,9.73[CR]
RRIX = Read R Shunt (E)	#0DRRIX6123EC[CR]	RIN>39.6,3.5,...,4.48[CR]
RTY = Read AI Type	#0ERTY1457[CR]	TYPE>1,1,3,12[CR]
RTYX = Read AI Type (E)	#0FRTYX450457[CR]	TYPE>11,12,...,6[CR]
WDO = Write Digital Output	#11WDO13,11[CR]	DO>OK[CR]
CRWEE = Write EEPROM	#12WEE00100021234B7[CR]	EE>OK[CR]
WRI = Write R Shunt	#13WRI5=247.5[CR]	RIN(5)>OK[CR]
WTY = Write AI Type	#14WTY1=1,8=12,21=9[CR]	TYPE>OK[CR]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ที่เผยแพร่ลงเน็ต และต้องยังอ้างอิงเจ้าของเอกสารไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino เป็นภาษาอิตาลี ออกเสียงว่า “อา-ดู-อิ-โน” เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ของบริษัท Atmel Corporation เป็นตัวประมวลผล ที่พัฒนาจากโครงการ Wiring ซึ่งเป็นโปรเจกต์ปริญาโท ในรูปแบบ Open Source คือเปิดเผยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Hardware และ Software เพื่อให้นำไปพัฒนาต่อยอดได้ ด้วยแนวคิดที่ว่า การจะนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานเป็นเรื่องยากเพราะต้องมีความรู้ทั้งด้านโครงสร้าง รีจิสเตอร์และการใช้งาน Software รวมทั้งขั้นตอนการโปรแกรมชุดคำสั่งลงในตัวไอซีต้องใช้เครื่องมือที่มีความยุ่งยากมาก จึงได้พัฒนาบอร์ด Arduino สำเร็จรูป พร้อม Arduino IDE ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ สำหรับควบคุมบอร์ดและพัฒนาชุดคำสั่งที่เรียกว่า “บูทโหลดเดอร์” (Bootloader) สำหรับโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เพื่อทำหน้าที่ติดต่อดีจิสเตอร์และเป็นเครื่องโปรแกรมทำให้การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno

### 3.2.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno (ATmega328P)

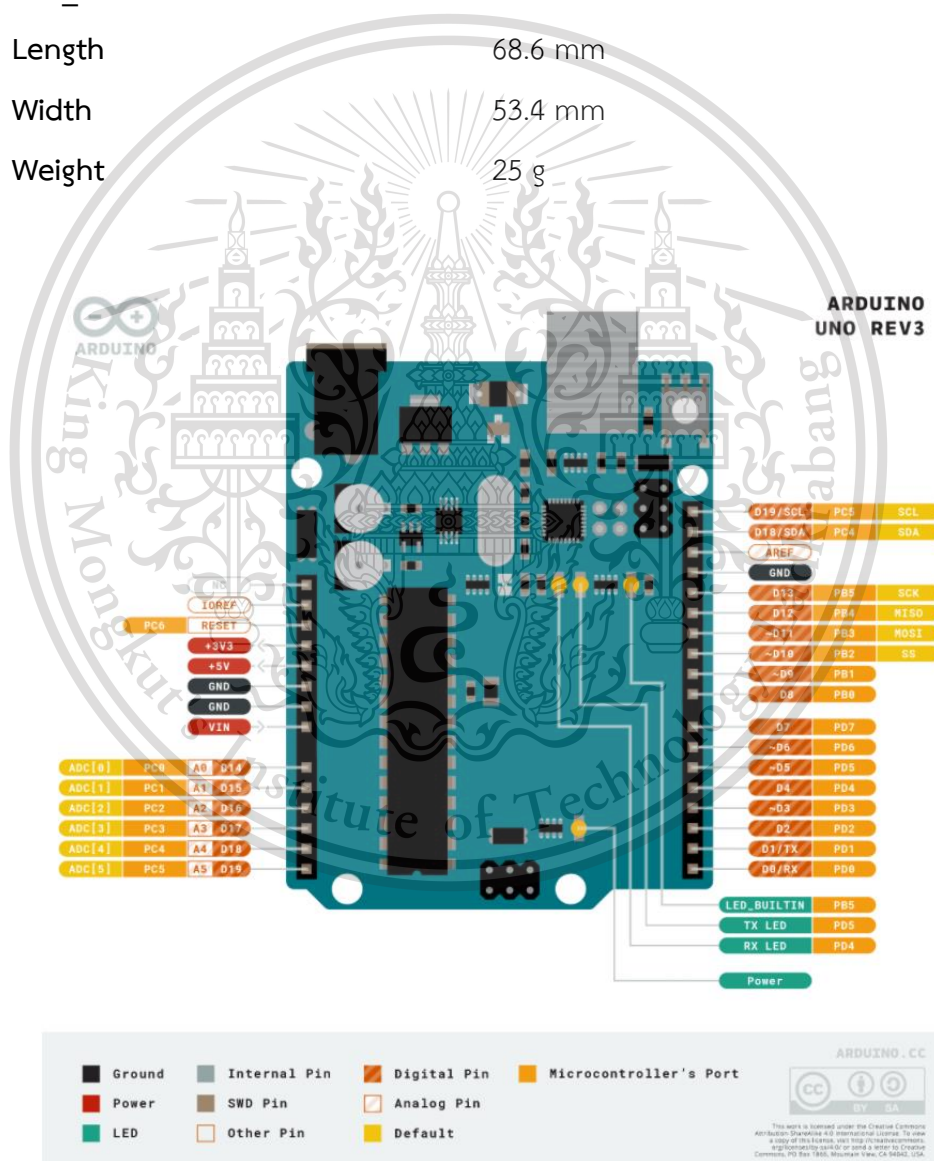
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g



รูปที่ 3.8 แสดงไดอะแกรม Pinout Arduino รุ่น Uno (ATmega328P)

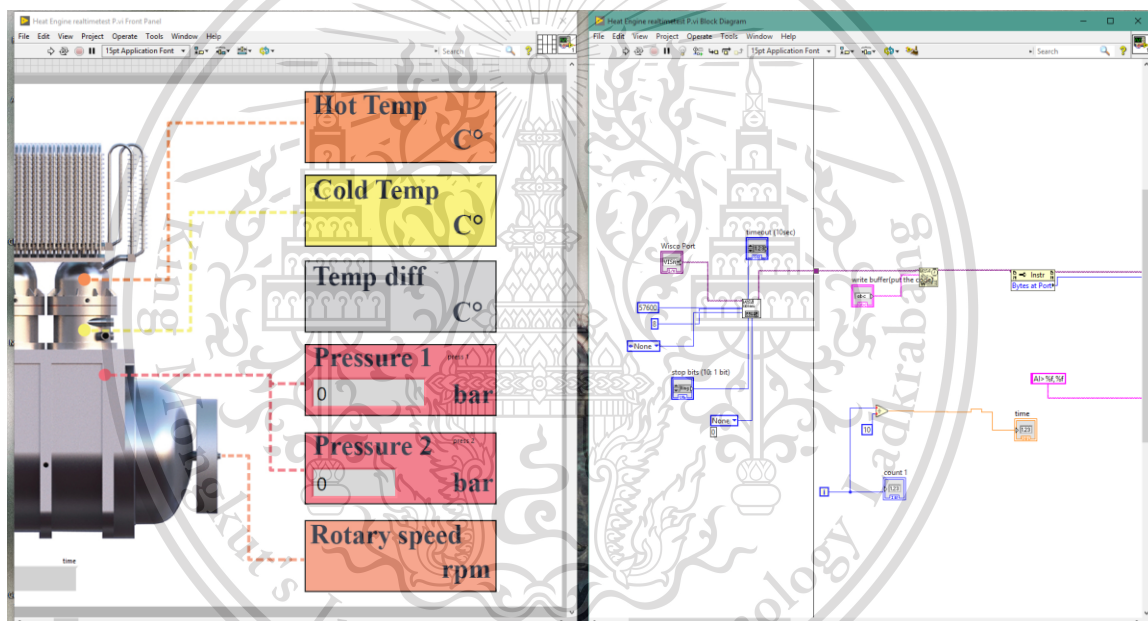
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 โปรแกรม Labview

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัด สำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทาง วิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมคือการจัดการในด้านการวัด LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ คือไม่ต้องเขียน code หรือคำ สั่งใด ๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกว่า ภาษา G (Graphical Language)



รูปที่ 3.9 แสดงหน้าจอการเขียนโปรแกรมและหน้าจอแสดงผล

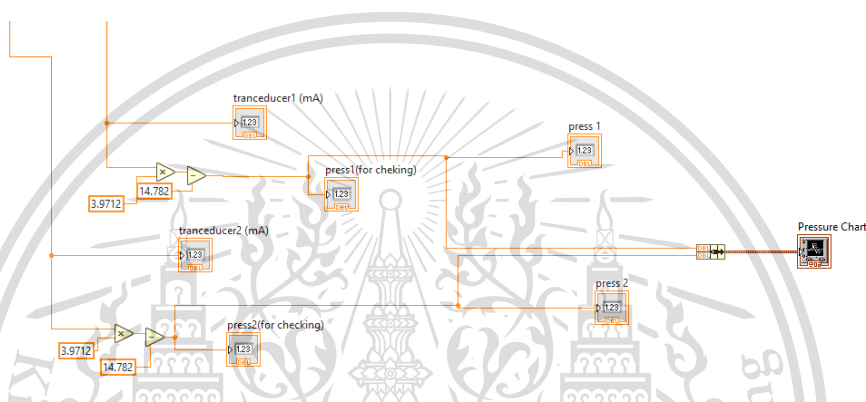
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.1 Block Diagram ของโปรแกรม Labview

Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของภาษา G ส่วนประกอบภายใน Block Diagram จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้น ในแต่ละส่วนเหล่านี้ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับบริการต่อสาย (Wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านี้ซึ่งต้องใช้ความสัมพันธ์ตามชนิดของข้อมูล ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผล



รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่าง Block diagram

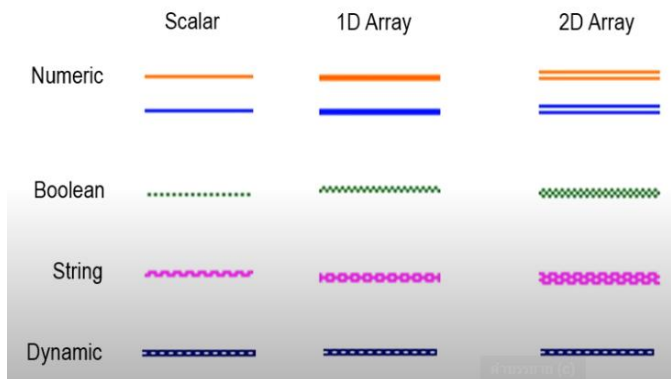
### 3.3.2 ชนิดของข้อมูลของโปรแกรม Labview

ชนิดของข้อมูลในโปรแกรม labview มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเขียนโปรแกรมภาษา G เนื่องจากความสัมพันธ์แต่ละคำสั่งที่ต้องใช้ชนิดข้อมูลให้ตรงตามเงื่อนไขของแต่ละคำสั่ง และยักรวมถึง Icon และ Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 แสดงชนิดของข้อมูลหลักบนโปรแกรม Labview



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

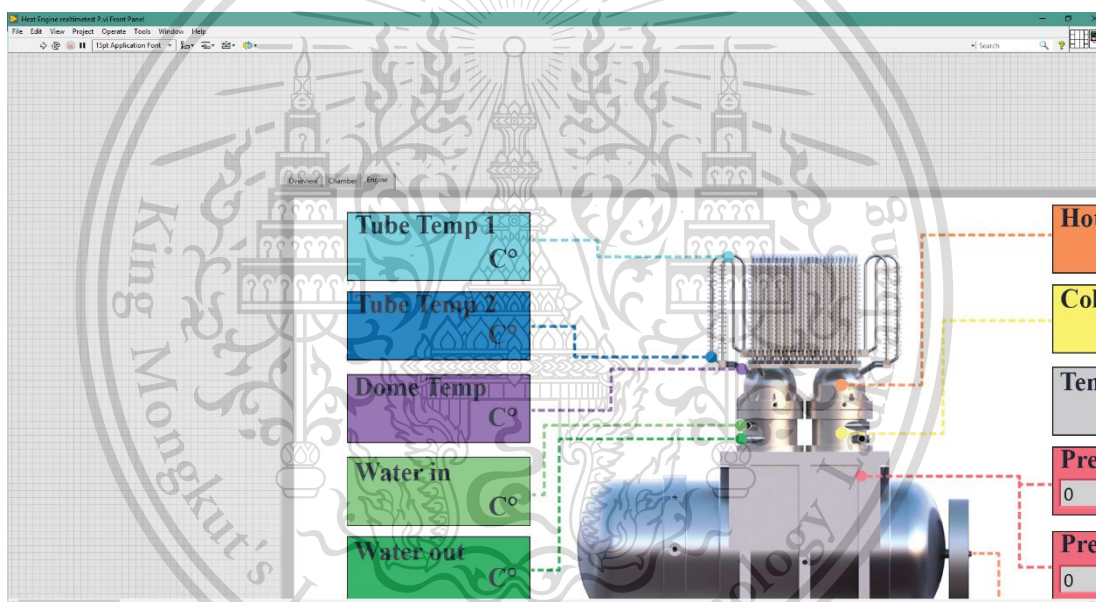
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้จะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันด้านหลังฉากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน , Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่ว ไปสำหรับ VI แต่ละงานจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

- Front Panel
- Block Diagram
- Icon และ Connector



รูปที่ 3.12 แสดง front pane และ object

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เตาเผา ชีวมวล และประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า

### 4.1 Biomass

ชีวมวล[Biomass] หมายถึงวัสดุหรือสารอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม หรือภาคการเกษตร ซึ่งสามารถนำมาผลิตพลังงานทดแทนได้ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับปัญหาด้านพลังงาน จากฟอสซิล ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด สำหรับศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้น ๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวล

ตารางข้างล่างแสดง ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552

ตารางที่ 4.1 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวล		ศักยภาพพลังงาน	
			เหลือใช้ (ตัน)	ความชื้น (MJ/kg)	(TJ)	(ktoe)
อ้อย	66,816,446	ขานอ้อย	4,190,794.31	14.40	60,347.44	1,428.54
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86	5,532.52
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90	14.27	50,096.25	1,185.87
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65	6,216.73
ลำเหือง	190,480	คั้น/เปลือก/ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35	78.41
ข้าวโพด	4,616,119	ชัง	584,539.15	18.04	10,545.09	249.62
		สาคัน	2,758,777.36	18.04	49,768.34	1,178.11
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปลือก	1,024,868.34	17.86	18,304.15	433.29
		ใบ	162,970.06	17.62	2,871.53	67.97
		กะลา	38,959.04	18.46	719.18	17.02
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824.24	516.62
มันสำปะหลัง	30,088,025	สาคัน	2,439,236.19	18.42	44,930.73	1,063.60
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88	799.89
		ก้าน	628,990.82	15.40	9,686.46	229.30
มะพร้าว	1,380,980	กาม	464,250.95	16.23	7,534.79	178.36
		กะลา	128,936.58	17.93	2,311.83	54.73
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53	110.68
<b>รวม</b>	<b>145,853,073</b>		<b>59,539,905.20</b>		<b>504,339.40</b>	<b>11,938.67</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.1.1 องค์ประกอบของชีวมวล [9]

องค์ประกอบของชีวมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

- 1) ความชื้น (Moisture) หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ชีวมวลโดยส่วนมากจะมีค่าความชื้นสูง ซึ่งชีวมวลที่นำมาผลิตพลังงานควรมีความชื้นไม่เกิน 50%
- 2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter ดังนั้นชีวมวลที่มีค่า Volatiles matter สูง แสดงว่าเผาไหม้ได้ง่าย
- 3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ หรือขี้เถ้า (Ash) คือส่วนที่เป็นผงละเอียดของเชื้อเพลิงหลังจากผ่านกระบวนการเผาไหม้

ตารางข้างล่างแสดง[10] คุณสมบัติของชีวมวล

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของชีวมวล

พืช	ส่วนประกอบ	ค่าความร้อนค่า (kJ/kg)	ความชื้น (%)	ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> )
ข้าว	ฟางข้าว	12,330	10.00	125
	แกลบ	14,204	8.20	150
อ้อยโรงงาน	ใบ	15,479	9.20	100
	ชานอ้อย	7,368	50.73	120
มันสำปะหลัง	เหง้ามันสำปะหลัง	5,494	59.40	250
	ลำต้น	7,560	48.40	Na
	หางใบ	1,760	78.40	Na
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ชังข้าวโพด	16,220	7.00	Na
	ลำต้น	9,830	41.7	na
ปาล์มน้ำมัน	ทะลายน้ำมัน	7,240	58.60	380
	เส้นใยปาล์ม	11,800	31.84	250
	กะลาปาล์ม	18,267	12.00	400
	ลำต้นปาล์ม	7,540	48.40	na
ยางพารา	ไม้ยางพารา	8,600	45.00	450
ยูคาลิปตัส	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6,745	50.00	na
มะพร้าว	ขุมมะพร้าว	6,272	na	270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

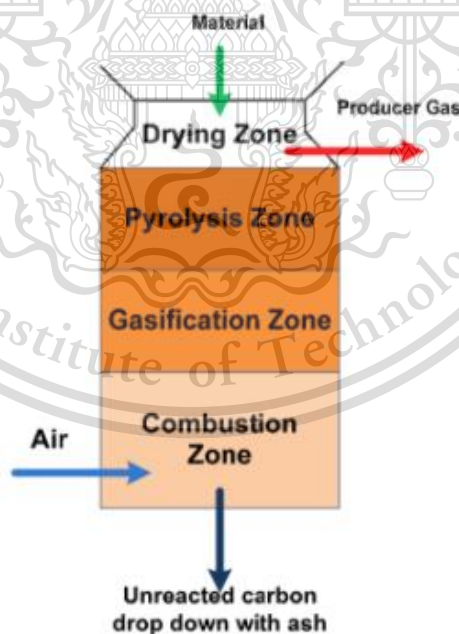
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 4.2 Gasifier

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล[11] คือการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้อากาศน้อยกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีการเผาไหม้สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซที่สามารถติดไฟได้ เช่น CO, CH<sub>4</sub> และ H<sub>2</sub> ซึ่งกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบหม้อไอน้ำ แต่มีข้อดีคือมีราคาต้นทุนไม่สูงมาก มีกระบวนการทำงานและการบำรุงรักษาที่ง่ายกว่า และเหมาะที่จะใช้ในโรงไฟฟ้าระดับชุมชน

### 4.2.1 กระบวนการทำงานของ Updraft Gasifier

Updraft Gasifier ดัง รูปที่ 4.1 เป็นกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น โดยเชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ส่วนอากาศจะไหลขึ้นด้านบนสวนทางกัน ทำให้ Updraft Gasifier ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง เหมาะนำไปใช้ในการผลิตความร้อน และสามารถใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูง แต่จะใช้ก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลที่ค่อนข้างสกปรก และมีปริมาณซีเถ้าเยอะ



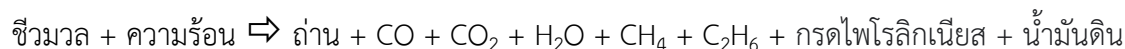
รูปที่ 4.1 Updraft Gasifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

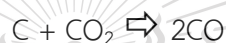
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

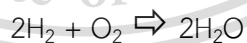
4.2.1.1 การอบแห้ง (Drying) เป็นขั้นตอนการระเหยความชื้นออกจากชีวมวลด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100-135 °C โดยมีปฏิกิริยาดังนี้



4.2.1.2 Reduction เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตการเชื้อเพลิง โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 600 ถึง 700 °C ได้ผลผลิตเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรเจน และมีเทน โดยมีปฏิกิริยาดังนี้



4.2.1.3 การเผาไหม้ (Combustion) เป็นขั้นตอนทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยส่งอากาศเข้ามาทำปฏิกิริยากับก๊าซเชื้อเพลิง โดยก๊าซเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยมีปฏิกิริยาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.2.2 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบ Gasifier

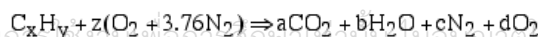
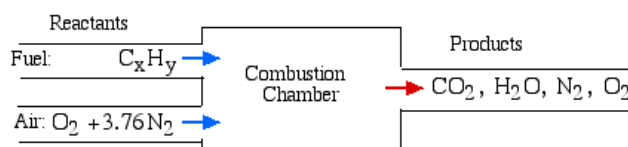
$$\eta_{th} = \frac{(H_g \times Q_g) + (Q_g \times \rho_g \times C_p \times \Delta T)}{H_s \times M_s} \times 100\% \quad (4.1)$$

โดยที่	$\eta_{th}$	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ [%]
	$H_g$	คือ	ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง [kJ/kg]
	$Q_g$	คือ	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซเชื้อเพลิง [m <sup>3</sup> /s]
	$\rho_g$	คือ	ความหนาแน่นของก๊าซเชื้อเพลิง [kg/m <sup>3</sup> ]
	$C_p$	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซเชื้อเพลิง [kJ/kgK]
	$\Delta T$	คือ	ผลต่างอุณหภูมิระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา [K]
	$H_s$	คือ	ค่าความร้อนของชีวมวล [kJ/kg]
	$M_s$	คือ	อัตราการสิ้นเปลืองชีวมวล [kg/s]

### 4.3 Combustion

#### 4.3.1 กระบวนการเผาไหม้[12]

กระบวนการเผาไหม้โดยพื้นฐานคือการที่เชื้อเพลิง (สารประกอบไฮโดรคาร์บอน) ทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ (อากาศ หรือออกซิเจน) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น โดยเชื้อเพลิงกับตัวออกซิไดซ์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและปล่อยความร้อนเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ภายใต้กฎสมมูลมวล กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์นั้นเรียกว่า Stoichiometric Combustion คือการที่คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และไฮโดรเจนทั้งหมดในเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากลายเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณการในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 4.2** กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3.2 อากาศตามทฤษฎี และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

ปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเผาไหม้สมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎี (Theoretical Air หรือ Stoichiometric Air) โดยการเผาไหม้สมบูรณ์นั้นจะไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เลย ถ้าเกิดมีปริมาณอากาศต่ำกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีจะทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องปกติที่ต้องใช้ปริมาณอากาศมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีเพื่อป้องกันเหตุการณ์นี้ ซึ่งอากาศส่วนเกินนี้จะทำให้มีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ การวัดปริมาณอากาศที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการเผาไหม้คืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF) ดังสมการ

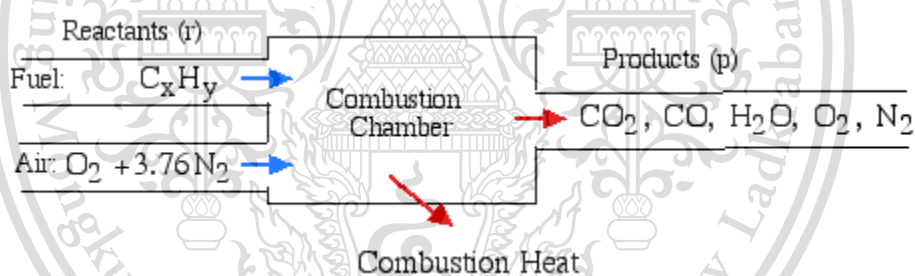
$$AF = m_{\text{air}}/m_{\text{fuel}} \quad (4.2)$$

โดยที่ AF คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

$m_{\text{air}}$  คือ มวลอากาศ [kg]

$m_{\text{fuel}}$  คือ มวลเชื้อเพลิง [kg]

ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้ตามความเป็นจริงจะเป็นดัง รูปที่ 4.3



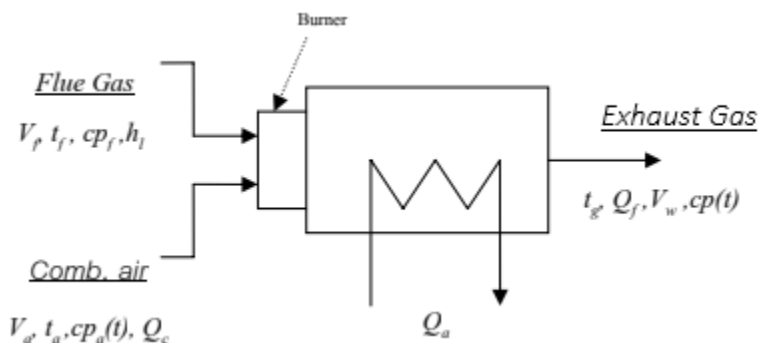
รูปที่ 4.3 กระบวนการเผาไหม้ตามความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 4.3.3 การคำนวณสมดุลความร้อนของระบบเผาไหม้[13]



รูปที่ 4.4 สมดุลความร้อนของระบบเผาไหม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อพิจารณาระบบเผาไหม้ดัง รูปที่ 4.4 **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** สมดุลความร้อนของระบบจะเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

#### 4.3.3.1 ความร้อนที่เข้าในระบบรับความร้อน

$$Q_{in} = t_f c_{p_f} V_f + V_f h_1 + V_a \int_{t_b}^{t_a} \{c_{p_a}(t)\} dt \quad (4.3)$$

$$= t_f c_{p_f} V_f + V_f h_1 + Q_c \quad (4.4)$$

#### 4.3.3.2 ความร้อนที่ออกจากระบบไปกับก๊าซไอเสีย

$$Q_{out} = V_w \int_{t_b}^{t_g} \{c_p(t)\} dt \quad (4.5)$$

$$= Q_f \quad (4.6)$$

#### 4.3.3.3 การคำนวณสมดุลความร้อน

$$Q_{in} = Q_a + Q_{out} \quad (4.7)$$

$$Q_a = Q_{in} - Q_{out} \quad (4.8)$$

$$= t_f c_{p_f} V_f + V_f h_f + Q_c - Q_f \quad (4.9)$$

#### 4.3.3.4 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_a} \quad (4.10)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่	$t_f$	คือ	อุณหภูมิเชื้อเพลิง [ $^{\circ}\text{C}$ ]
	$cp_f$	คือ	ค่าความจุความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง [ $\text{kcal}/^{\circ}\text{Cm}^3_N$ ]
	$V_f$	คือ	อัตราการไหลของเชื้อเพลิง [ $\text{m}^3_N/\text{hr}$ ]
	$h_l$	คือ	เอนทัลปีของเชื้อเพลิง [ $\text{kcal}/\text{m}^3_N$ ]
	$V_a$	คือ	อัตราการไหลของอากาศ [ $\text{m}^3_N/\text{hr}$ ]
	$t_a$	คือ	อุณหภูมิอากาศ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
	$cp_a(t)$	คือ	ค่าความจุความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ $t$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] [ $\text{kcal}/^{\circ}\text{Cm}^3_N$ ]
	$Q_c$	คือ	ความร้อนสัมผัสของอากาศ [ $\text{kcal}/\text{hr}$ ]
	$Q_a$	คือ	ความร้อนออก [ $\text{kcal}/\text{hr}$ ]
	$t_g$	คือ	อุณหภูมิก๊าซไอเสีย [ $^{\circ}\text{C}$ ]
	$Q_f$	คือ	ความร้อนของก๊าซไอเสีย [ $\text{kcal}/\text{hr}$ ]
	$V_w$	คือ	อัตราการไหลของก๊าซไอเสีย [ $\text{m}^3_N/\text{hr}$ ]
	$cp(t)$	คือ	ค่าความจุความร้อนของเชื้อก๊าซไอเสียที่อุณหภูมิ $t$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] [ $\text{kcal}/^{\circ}\text{Cm}^3_N$ ]
	$\eta$	คือ	ประสิทธิภาพของระบบเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การออกแบบระบบการวัด การแสดงผล และความปลอดภัย

### 5.1 การออกแบบระบบการวัด และความปลอดภัย

ตารางที่ 5.1 แสดงชนิดของเครื่องมือวัด, การแจ้งเตือนเมื่ออันตราย และ เป้าหมายของการวัด

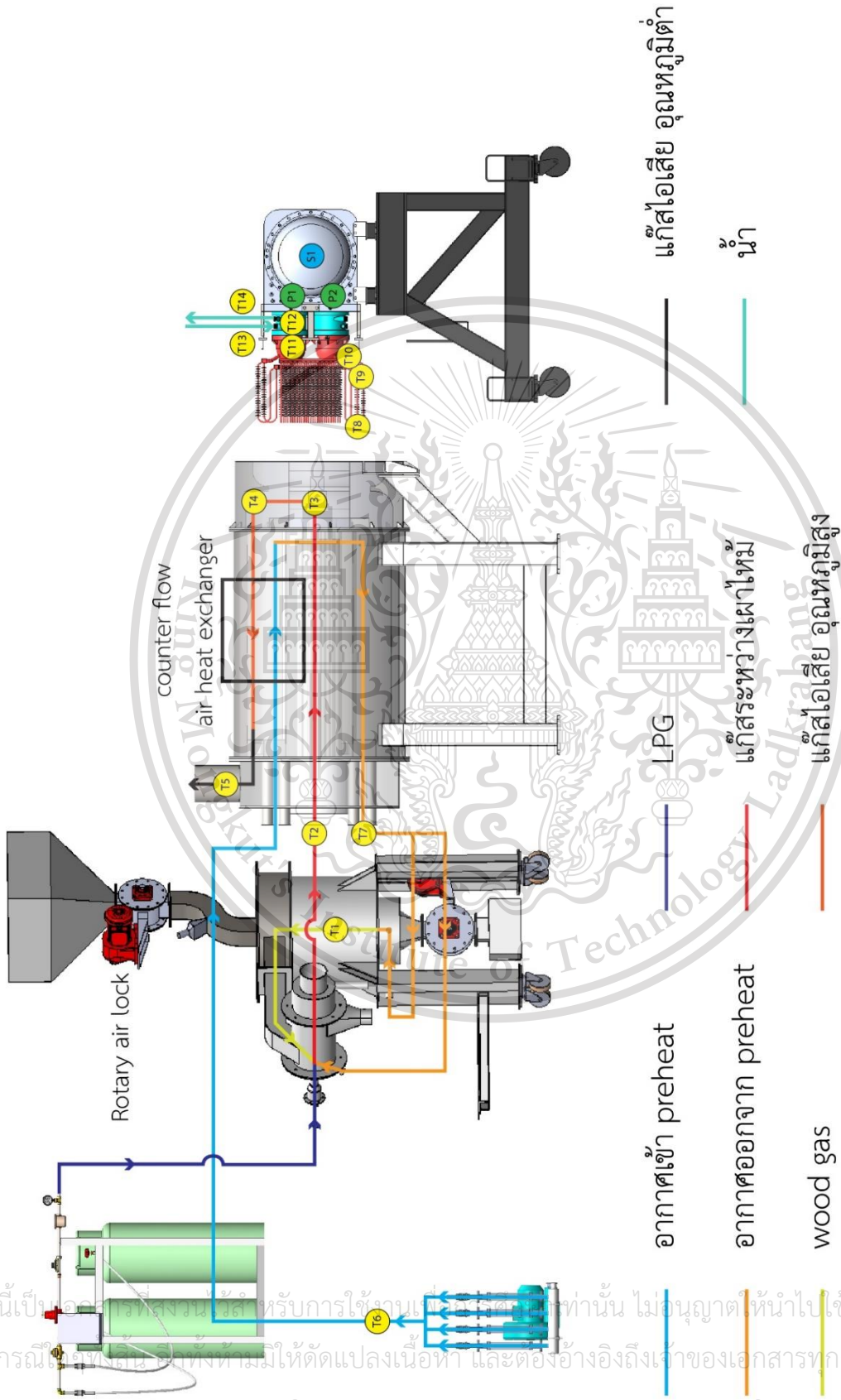
หมายเลข	ชนิดของเครื่องมือวัด	การแจ้งเตือนเมื่ออันตราย	เป้าหมายของการวัด
T1	thermocouple type k	-	ภายใน updraft gasifier
T2	thermocouple type k	-	ก่อนเข้าเตาเผา
T3	thermocouple type k	มี เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 900 °C	ตอนปะทะกับ heat exchanger ของ เครื่องยนต์
T4	thermocouple type k	-	หลังกลับมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์
T5	thermocouple type k	-	อากาศไอเสีย
T6	thermocouple type k	-	อากาศอุณหภูมิห้อง
T7	thermocouple type k	-	อากาศหลังออกจาก preheat
T8	thermocouple type k	-	อุณหภูมิปลาย tube
T9	thermocouple type k	-	อุณหภูมิโคน tube
T10	thermocouple type k	-	อุณหภูมิโคน tube ก่อนเข้า dome
T11	thermocouple type k	-	อุณหภูมิลูกสูบฝั่งร้อน
T12	thermocouple type k	-	อุณหภูมิลูกสูบฝั่งเย็น
T13	thermocouple type k	-	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องยนต์
T14	thermocouple type k	-	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกเครื่องยนต์
P1	pressure transducer	มี เมื่อความดันมากกว่า 20 bar.g	ความดันลูกสูบหมายเลข 1
P2	pressure transducer	มี เมื่อความดันมากกว่า 20 bar.g	ความดันลูกสูบหมายเลข 2
SP	rotary encoder	-	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ Stirling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเรียนการสอน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่งของเครื่องมือวัด และ แผนภาพของระบบแสดงดัง รูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพตำแหน่งเครื่องมือวัด และ แผนภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้จัดทำมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

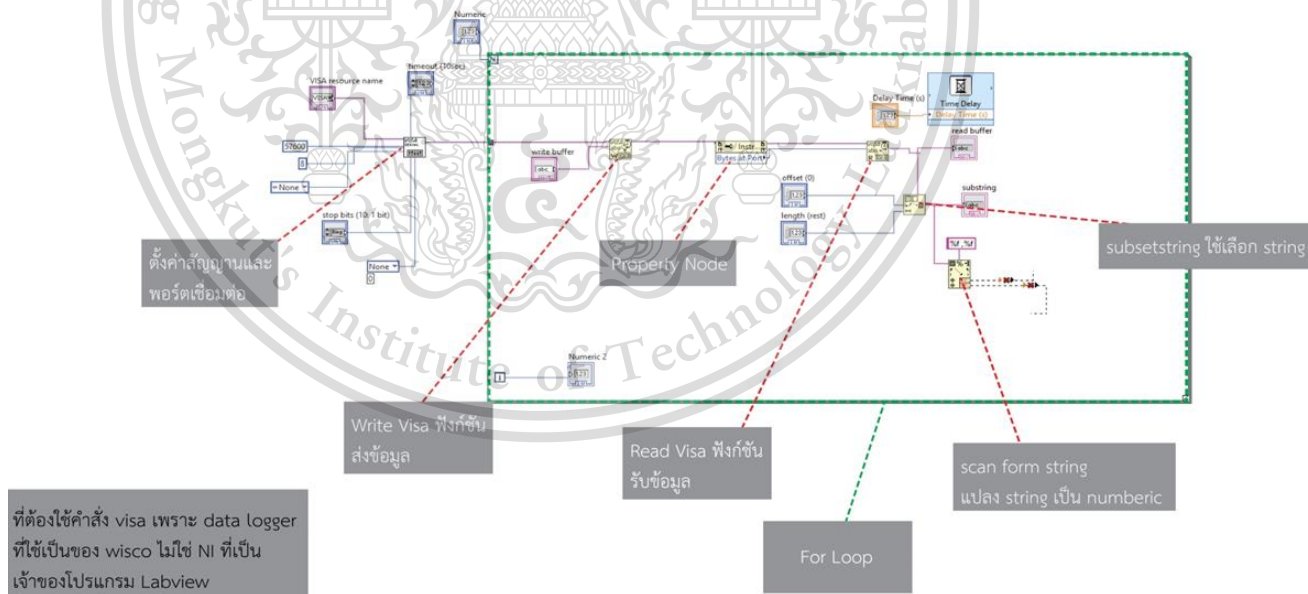
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 5.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับระบบบันทึกค่าจากอุปกรณ์วัดและการแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Labview

โปรแกรม Labview เป็นโปรแกรมเขียนภาษาเชิงกราฟิก(g language)สามารถเขียนโปรแกรมให้รับค่าจาก data logger ค่าเหล่านั้นมาแสดงผลและ monitor ได้ ซึ่งเราจะใช้โปรแกรม Labview เป็นหลักในงานวิจัยนี้

### 5.2.1 การออกแบบโปรแกรม Labview เพื่อการสื่อสารระหว่างโปรแกรมและ Data logger

เนื่องจากอุปกรณ์บันทึกค่า Data logger AI210 เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตมาจากบริษัทบุคคลที่สามจึงทำให้การส่งสัญญาณในการที่ใช้ในการติดต่อนั้นไม่สามารถทำได้โดยตรงเหมือนกับ Data logger ที่ผลิตมาจากบริษัท national instruments (ผู้สร้างโปรแกรม labview) จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโปรแกรมให้ส่งสัญญาณ Protocol หรือที่เรียกว่าคำสั่ง visa ที่ตรงกับหลักของเครื่อง Data logger AI210 ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1.4 โดยมีการออกแบบโปรแกรมดัง รูปที่ 5.2



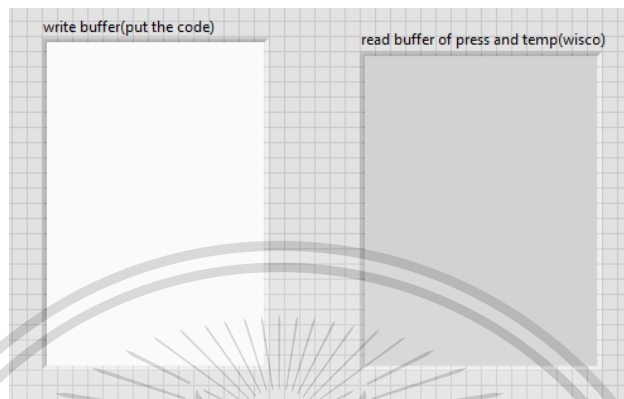
รูปที่ 5.2 แสดงการออกแบบโปรแกรมเพื่อส่งคำสั่ง visa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

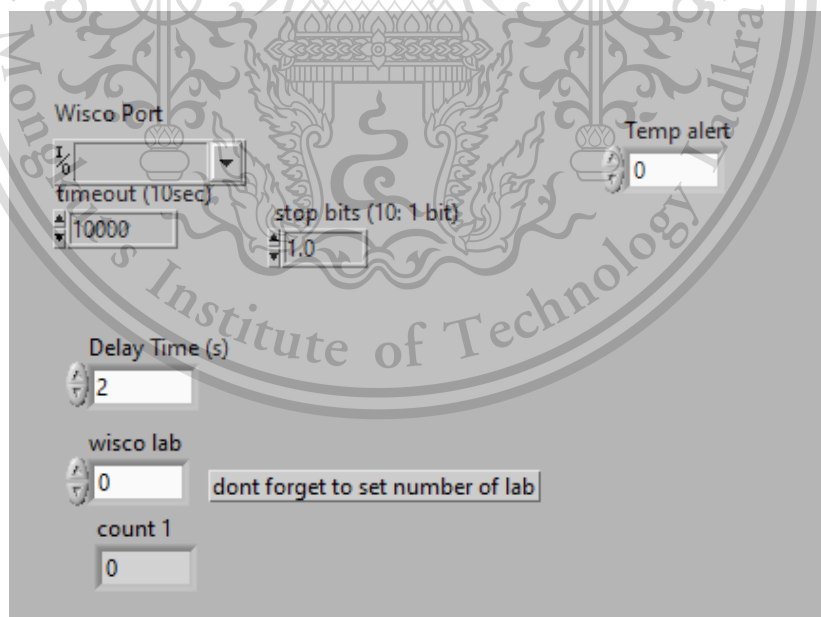
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 5.2 เมื่อทำการรันโปรแกรมที่เราสามารถเขียนคำสั่ง visa ได้ผ่านทาง front panel ทาง object ที่เรียกว่า Write buffer จากนั้นสามารถรับค่าที่เครื่อง Data logger AI210 ตอบกลับมาได้ที่ Object ที่เรียกว่า read buffer



รูปที่ 5.3 แสดง object Write buffer และ read buffer

ก่อนที่จะมีการส่งคำสั่ง visa ไปนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตั้งค่าสัญญาณให้ตรงอุปกรณ์ของเราแล้ว เวลาตามที่เราเห็นว่าเหมาะสมตามการดำเนินการกระบวนการ ดังรูปที่ 5.4



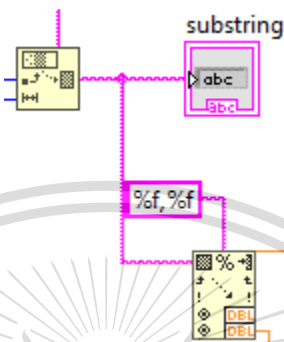
รูปที่ 5.4 แสดงการตั้งค่าคำสั่ง ความถี่ของคำสั่ง และเวลาในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

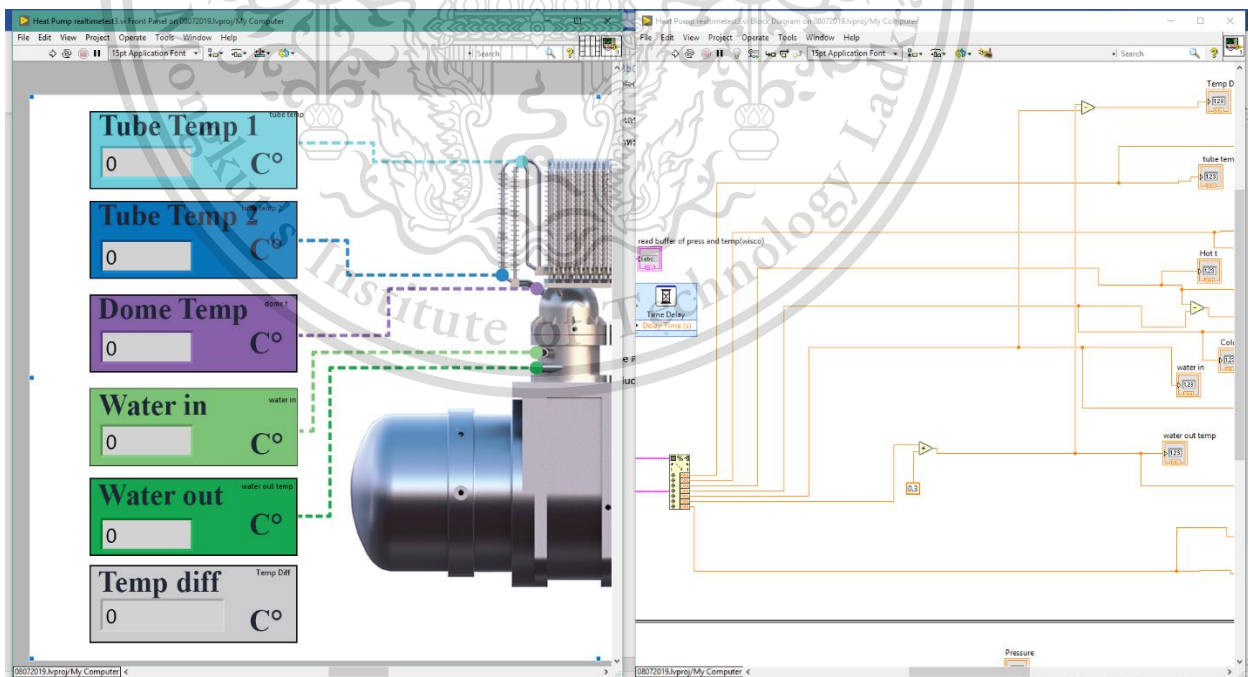
เมื่อ Data logger AI210 ส่งข้อมูลกลับมาจะได้ข้อมูลที่เป็นอักขระเราจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนอักขระเหล่านั้นเป็นตัวเลขเพื่อที่จะนำค่าที่ตัวเลขไปดำเนินการต่อไปสามารถทำได้ดัง รูปที่ 5.5 ด้วยการออกแบบโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง scan string ด้วยการลบอักขระส่วนเกินก่อนการใช้คำสั่ง scan string คือคำสั่ง string subset



รูปที่ 5.5 การออกแบบโปรแกรมเปลี่ยนอักขระเป็นตัวเลข

5.2.2 การออกแบบการแสดงผลจาก Thermocouple และ Pressure transducer

เมื่อได้ข้อมูลที่เป็นค่าตัวเลขออกมาเลขเราจะนำค่าเหล่านั้นไปแยกแสดงผลตามลำดับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตาม Port บน data logger สามารถทำให้เราทราบได้ว่าค่าที่ได้มานั้นได้มาจากแหล่งใด



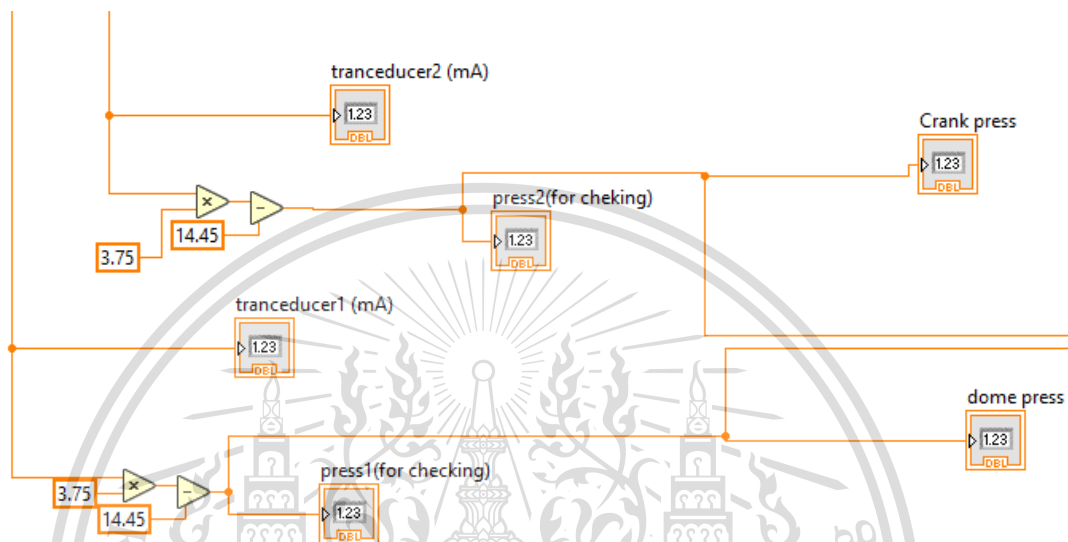
รูปที่ 5.6 การแยกข้อมูลไปแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

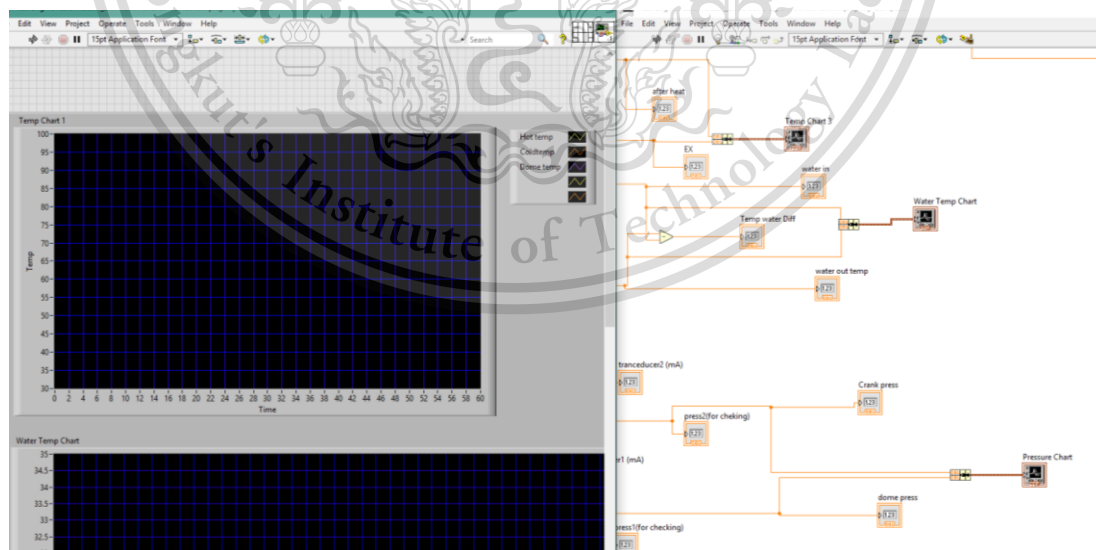
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำหรับ thermocouple ค่าที่ได้จากเครื่อง data logger AI210 นั้นเป็นค่าอุณหภูมิ โดยตรงสามารถนำมาใช้แสดงผลได้เลย แต่ในส่วนของ Pressure transducer ที่ในการวัดความดันนั้น ค่าที่ได้รับจะเป็นค่ากระแสไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีการแปลงจากค่ากระแสไฟฟ้าเป็นความดันก่อนนำไปแสดงผล



รูปที่ 5.7 แสดงการออกแบบโปรแกรมเพื่อแปลงจากกระแสไฟเป็นความดันโดยใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์

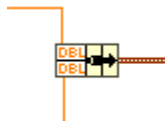


รูปที่ 5.8 แสดงการออกแบบโปรแกรมแสดงผลผ่านกราฟโดยใช้คำสั่ง bundle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.9 แสดงคำสั่ง bundle

### 5.2.3 การออกแบบการแสดงผลความเร็วรอบผ่านบอร์ด Arduino โดยใช้ labview

การออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลความเร็วรอบจากบอร์ด Arduino สูโปรแกรม labview นั้นมีความคล้ายการการรับข้อมูลจาก Data logger เพียงเราจะไม่มีการส่งคำสั่งไปยังบอร์ดโดยตรง แต่ได้มีการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ดไว้ก่อนแล้ว บอร์ดจึงส่งค่าที่วัดได้มาแสดงผลยัง labview แทนที่จะแสดงผลบนโปรแกรมของ Arduino เอง

```

Rotary_speed [Arduino 1.8.13 | Windows 9.0.0]
File Edit Sketch Tools Help
Rotary_speed
volatile unsigned int counter = 0; // This variable will increase on the rotation of encoder
unsigned long lastTime = 0; // will store last time value was send
const long interval = 1000; // interval at which to send result in milli seconds, 1000 ms = 1 second

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // set pin to input
  pinMode(2, INPUT); // set pin to input
  digitalWrite(2, HIGH); // turn on pullup resistor
  //Setting up interrupt
  //A10 assigns pulse from encoder's activated state. AttachInterrupt 0 is DigitalPin no. 0 on most Arduino.
  attachInterrupt(0, a10, RISING);
}

void loop()
{
  // Check if it's time to send data
  if (timeInterval())
  {
    sendData();
    resetSampling();
  }
}

void a10()
{
  // a10 is activated in digitalPin no 2 is going from LOW to HIGH
  counter++;
}

void sendData()
{
  //Serial.print("Pulse pr second = ");
  //Serial.print(counter); // Send to cout / case
  float speedOut = map(counter, 0, 400, 0, 100); // change from 400 pulse pr / second to 100 m/h
  float speedRpm = counter/6.00; // change from 400 pulse pr / second to 400 r/h
  Serial.print("Speed = ");
  Serial.print(speedOut);
  Serial.print("rpm = ");
  Serial.print(speedRpm);
}

void resetSampling()
{
  counter = 0;
}

boolean timeInterval() {
  unsigned long currentTime = millis();
  // Check if it's time to make an interrupt
  if (currentTime - lastTime >= interval)
  {
    lastTime = lastTime + interval;
    return true;
  }
  else if (currentTime < lastTime)
  {
    // After 50 day millis() will start 0 again
    lastTime = 0;
  }
  else
}

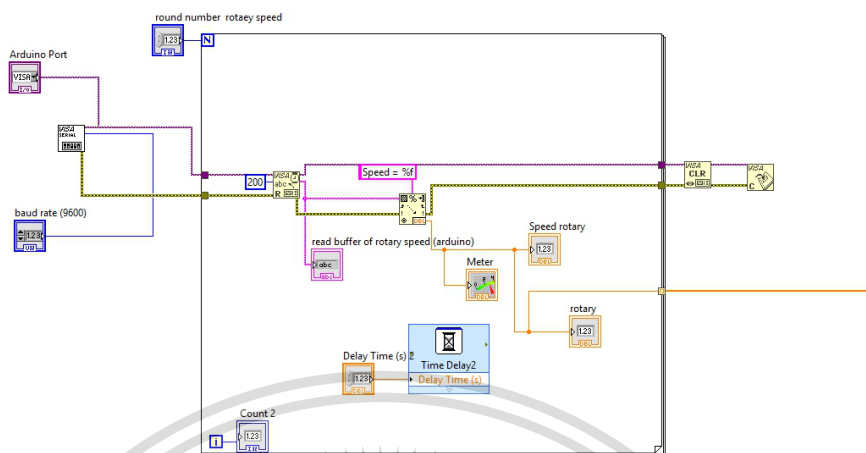
```

รูปที่ 5.10 แสดง code ที่เขียนลงไปบนบอร์ด Arduino เพื่อรับค่าความเร็วรอบ

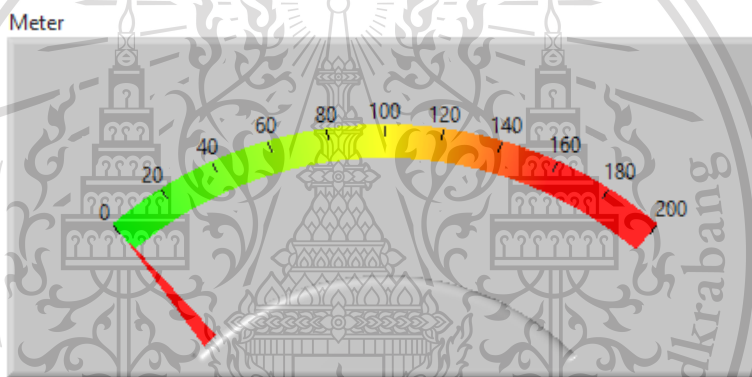
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.11 แสดงการออกแบบการรับค่าความเร็วรอบจากบอร์ด Arduino มาแสดงผลบน labview

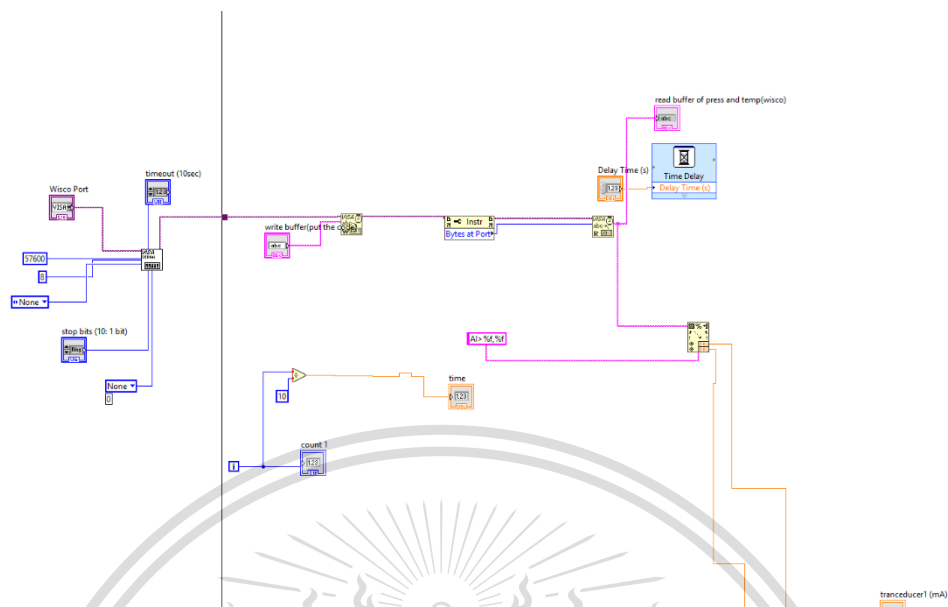


รูปที่ 5.12 แสดงการแสดงผลความเร็วรอบรูปของ meter บน โปรแกรม labview

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

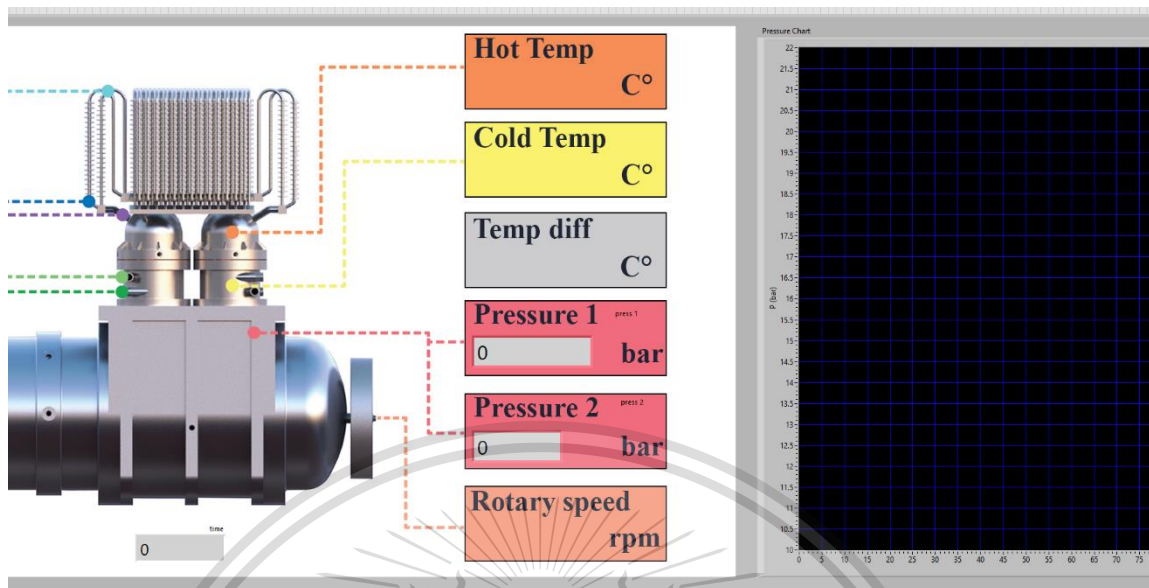


รูปที่ 5.13 แสดง block diagram ของระบบแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

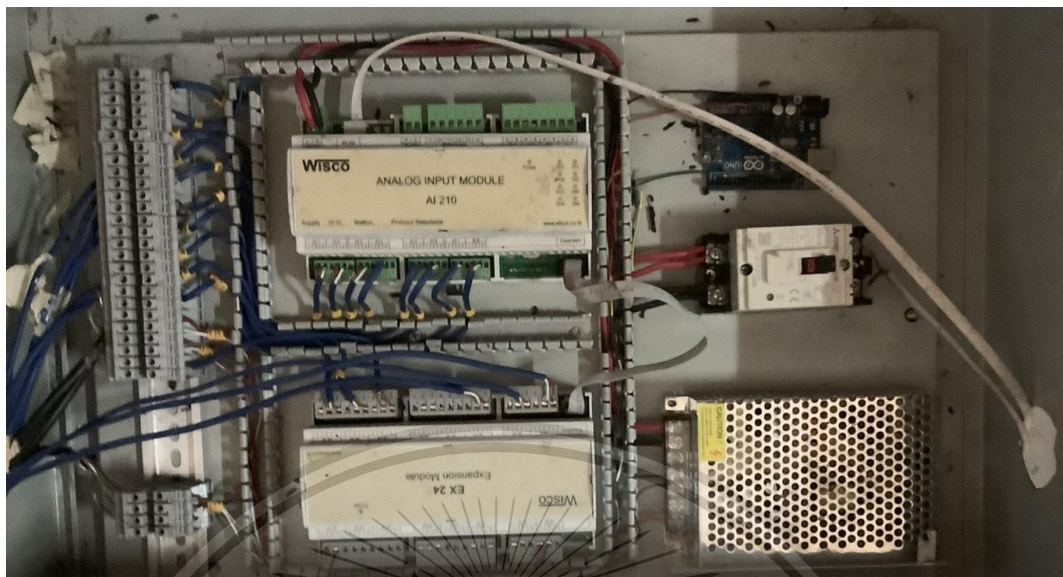
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.14 แสดงส่วนของหน้าจอแสดงผลและกราฟ

รูปที่ 5.15 แสดงส่วนการตั้งค่าการเชื่อมต่อและการแสดงผล

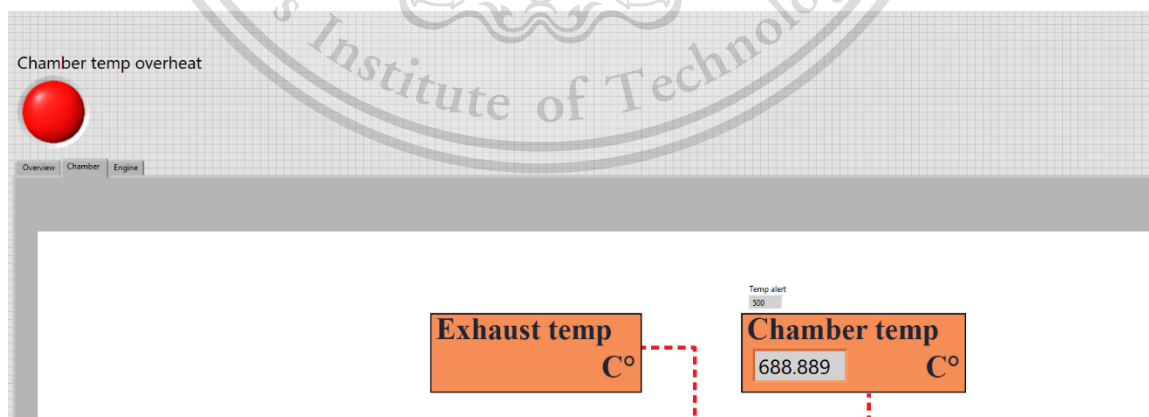
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงการต่อวงจรภายในตู้ระบบการวัด

### 5.3 การออกแบบโปรแกรมสำหรับแจ้งเตือนความปลอดภัยเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดโดยใช้โปรแกรม Labview

ในหน้าแสดงผลการแจ้งเตือนความปลอดภัยเราต้องระบุค่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ช่อง temp alert ในรูปที่ 5.4 เพื่อระบุค่าที่ต้องการระวังในการทดลองนั้นๆก่อน และเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนด จะไปแสดงผลในโปรแกรมเป็นการเปิดหลอดไฟสีแดงเพื่อให้รู้ว่าควรทำการหยุดทำการทดลอง ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แสดงหน้าจอแสดงผลแจ้งเตือนอุณหภูมิเกิน

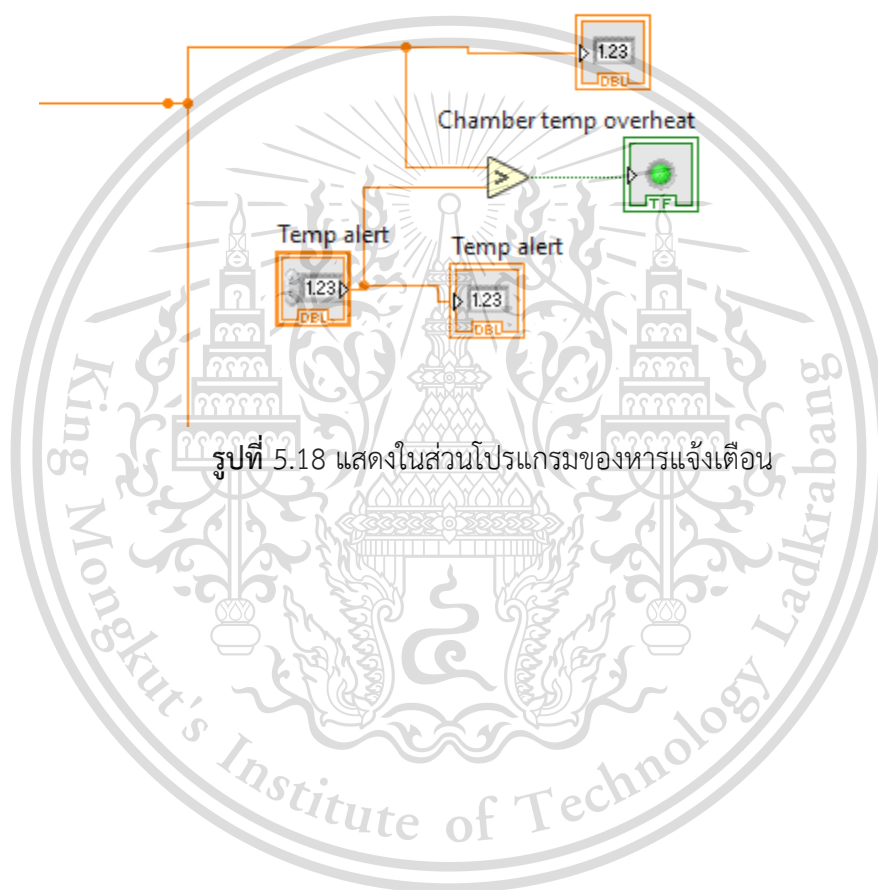
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิจาก chamber เพราะเป็นแหล่งจุดเชื้อเพลิงที่ทำให้ติดไฟ ซึ่งอาจจะมีการระเบิดขึ้นได้

ในหน้าโปรแกรมเรากำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 แสดงในส่วนโปรแกรมของหารแจ้งเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

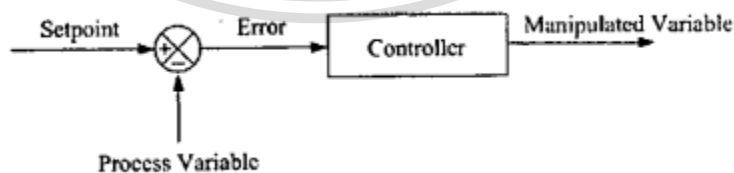
## ทฤษฎีและหลักการ

### 6.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

การควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ เป็นการควบคุมที่มีการรับค่าตัวแปรกระบวนการ (Process variable) เช่น อุณหภูมิ (Temperature), ความดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flows) และ ค่าตำแหน่งต่างๆ (Composition) ในการควบคุมกระบวนการให้เป็นผลสำเร็จได้นั้น เราต้องหาความคลาดเคลื่อน (Error) โดยการวัดค่าตัวแปรเหล่านี้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ (Set point) แล้วตัดสินใจว่าทำอย่างไรกับค่าความแตกต่างนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เราต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยผู้ปฏิบัติการ (Operator) แต่ในโรงงานส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวแปรต่างๆเหล่านี้มากมาย ทำให้ต้องใช้คนมากตามไปด้วย

ในการทำงานเช่นนี้ ระบบควบคุมดังรูปที่ 6.1 จะต้องได้รับการออกแบบมาให้มีส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการควบคุม 4 อย่างดังนี้

1. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) เป็นอุปกรณ์ตัวแรก (Primary element)
2. ตัวส่งผ่านสัญญาณ (Transmitter) เป็นอุปกรณ์ตัวที่สอง (Secondary element)
3. ตัวควบคุม (Controller) เป็นสมองของระบบควบคุม
4. อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final control element) เป็นตัวส่งสัญญาณไปที่ระบบ



รูปที่ 6.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การปฏิบัติการ 3 อย่างที่ต้องมีในระบบควบคุมคือ

1. การวัด (Measurement) เป็นการวัดค่าตัวแปรที่ถูกควบคุม ที่กระทำโดยตัวตรวจจับสัญญาณ และตัวส่งผ่านสัญญาณ
2. การตัดสินใจ (Decision) ขึ้นอยู่กับการวัดตัวควบคุมต้องตัดสินใจว่าจะทำอะไรเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตามที่เรต้องการ
3. การกระทำ (Action) เป็นผลงานการตัดสินใจของตัวควบคุมจะต้องถูกกระทำโดยอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย

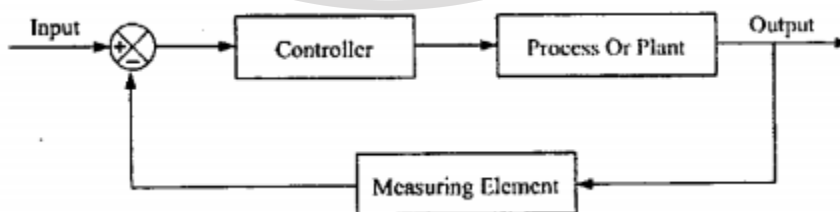
ระบบควบคุมอาจแบ่งอย่างง่าย ๆ ออกเป็น 2 แบบคือ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) และระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) เป็นระบบควบคุมเอาต์พุตของระบบ จะไม่มีผลต่อการควบคุม นั่นคือเอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกส่งกลับหรือป้อนกลับเพื่อมาเปรียบเทียบกับอินพุตดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop

ระบบควบคุมแบบปิด (Close loop) เป็นระบบควบคุมซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบปิด ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณการป้อนกลับ เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าที่ต้องการ สัญญาณการป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณจากเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันก็ได้ ระบบควบคุมแบบปิดแสดงได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงระบบควบคุมแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 6.2 ประเภทของการควบคุม

### 6.2.1 การควบคุมแบบไปข้างหน้า (Feed forward control)

จุดประสงค์ของการควบคุมแบบไปข้างหน้า คือ การวัดการควบคุมกระบวนการและการชดเชยให้กับมัน ก่อนที่ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ถ้าหากเราประยุกต์ใช้ได้ ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ และนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากเป้าหมาย

### 6.2.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control)

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นวิธีการที่ง่ายที่ชดเชยการรบกวนกระบวนการทุกชนิด ตัวรบกวนกระบวนการทุกตัวจะมีผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมและเมื่อค่าตัวแปรเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตให้กลับเข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่มันสามารถชดเชยการรบกวนได้เพียงหลังจากที่ตัวแปรที่ถูกควบคุม เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งได้แล้วเท่านั้น นั่นคือ การรบกวนจะกระจายไปยังกระบวนการทั้งหมด ก่อนที่การควบคุมแบบป้อนกลับจะชดเชยให้มัน

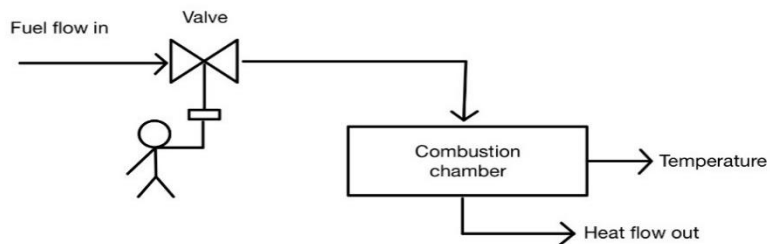
## 6.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่างๆในอุตสาหกรรมนั้น คือการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ค่าความดัน (Pressure), ค่าอัตราการไหล (Flow rate), ค่าระดับ (Levels), ค่าความเป็นกรดต่าง (PH) และค่าอื่นๆให้มีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสมในอดีต การควบคุมกระบวนการต่างๆจะเลือกใช้การควบคุมแบบง่ายๆด้วยมือ (Manual control) ซึ่งอาศัยพนักงานควบคุม (Operator) ซึ่งจะคอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุม ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



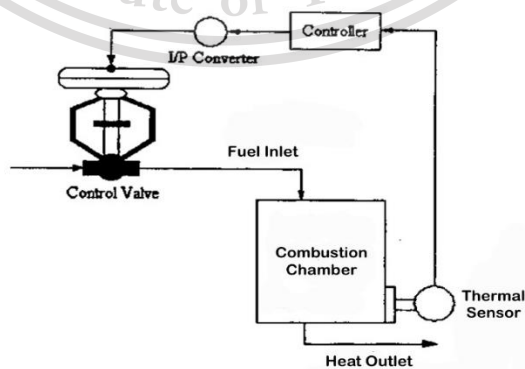
รูปที่ 6.4 แสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบ Manual Control

จากรูป การควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ว่าได้ที่ต้องการหรือไม่โดยใช้สายตาคุณค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (Thermal sensor) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่งการให้มือทำหน้าที่เปิด หรือ ปิดวาล์ว เพื่อปล่อยเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 6.5



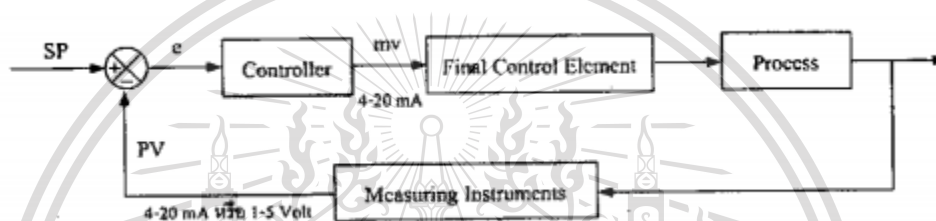
รูปที่ 6.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้แบบ Manual Control

จะเห็นว่า การควบคุมแบบนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานตามความจริงแล้ว มนุษย์ หรือพนักงานควบคุมนั้น ไม่สามารถทำงานได้ดีเท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบัน โรงงานที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่เป็นแบบ Manual Control ตามรูปที่ 2.4 ถ้านำมาทำการควบคุมอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังรูปที่ 6.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 6.6 แสดงการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.6 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้กระบวนการจะถูกวัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermal sensor) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุมจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิดหรือปิด เพื่อให้การปล่อยเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อยๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 6.7 จะสังเกตเห็นว่า ระบบควบคุมอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วนคือ

### 6.3.1 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)

อุปกรณ์วัด หมายถึง ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor), ตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer), หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่นๆในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดตามทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง 5 โวลต์ หรือสัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นต้น

อุปกรณ์วัดจะวัดเป็นตัววัดปริมาณทางฟิสิกส์ เชิงกล และเชิงไฟฟ้าของตัวแปรกระบวนการ ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณที่สามารถส่งออกมา ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีเทอมสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ประกอบกัน 3 เทอมคือ พิกัด (Range) ของเครื่องมือวัด ถูกกำหนดโดยค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของตัวแปร ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่ทำการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกเปรียบเทียบไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50 psig นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณดังกล่าวมีพิสัย 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด (Span) ของเครื่องมือวัด คือความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิสัย (Range) นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้มีช่วงการวัดเท่ากับ 30 psig ส่วน (Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิสัยซึ่งมีค่า 20 psig

ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมกระบวนการต่างๆทางอุตสาหกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณแบบอัตโนมัติ นั้น เป็นการรักษาระดับปริมาณในการทำงานทางฟิสิกส์ ซึ่งรูปแบบการควบคุมจะใช้ตัวควบคุมที่ทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ ดังนั้น ในการทำงานจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดที่ทำหน้าที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆที่ควบคุม โดยสัญญาณที่วัดได้จะนำไปใช้ในการตัดสินใจสร้างลักษณะควบคุมไปที่เหมาะสมต่อไป อุปกรณ์เหล่านี้อาจจะได้แก่ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor), ทรานสดิวเซอร์ (Transducer), หรืออุปกรณ์วัดสัญญาณอื่นๆที่ทำหน้าที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ หรือตัวแปรกระบวนการ และส่งสัญญาณที่วัดได้ให้กับตัวควบคุมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์เลือกสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ในระบบอัตโนมัติใดๆตัวตรวจจับสัญญาณเป็นตัวเชื่อมอันดับแรกในสายงานของการควบคุมเพื่อตรวจสอบดูว่า อะไรจะเกิดขึ้นเหมือนกับการตรวจสอบไม่ให้เกิดการหักเหไปจากข้อกำหนด

เครื่องมือวัด (Measuring instrument) คือการรวมตัวของตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) และตัวแสดงค่า (Indicator) การวัดสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ของตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรงหรือเปลี่ยนแปลงโดยให้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เรารู้แล้วแต่ปรับค่าให้มีคุณรูปที่แท้จริงเหมือนกัน ในวิธีที่ 2 นี้กรรมวิธีของการวัดเกี่ยวกับการกำหนดค่าที่แน่นอนให้เท่ากันระหว่างปริมาณค่า 2 ค่าที่คล้ายกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ต้องมีพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ต้องรู้ว่าผลอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) กำลังวัดปริมาณค่าอันหนึ่ง ในกรณีที่ดีที่สุด ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) ไม่ควรจะเปลี่ยนสถานะที่ดำรงอยู่ก่อนที่จะทำการวัด ในทางปฏิบัติจะกระทำได้อย่างยากมาก

2. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) บางชนิดผลตอบสนองต่อคุณสมบัติอื่นเสียมากกว่าสิ่งพื้นฐานที่ต้องการเช่น โวลต์มิเตอร์จะมีผลการตอบสนอง (Response) ต่อค่าเฉลี่ย (Average) ของสัญญาณ กระแสสลับหรือค่าพีค (Peak) ดังนั้นมีความสำคัญในการเลือกตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องให้มั่นใจว่ามันจะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อคุณสมบัติที่เราต้องการเท่านั้น

3. ความเร็วของผลตอบสนอง (Response) ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนสถานะของกระบวนการ

### 6.3.2 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม มีเอาต์พุตหรือให้เกิดผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎและรูปของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกและกำหนดไว้ล่วงหน้า ค่าเป้าหมายและตัวแปรของกระบวนการนั่นเอง

ปัจจุบันเครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ ชนิดคือ เครื่องควบคุมแบบนิวมิติกส์ ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรรตรรกะ (Logic circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

### 6.3.3 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final control element)

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมี

อยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control valve) ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนช่องทางใดๆ  
ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ในทอมของ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อัตราขยายนั้นเป็นสิ่งง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัดโดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิคตเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้นได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออกหรือตัวแปรผลตอบสนองทางด้วยการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชันออกในกรณี ทางออกของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์คือ สัญญาณกระแส 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์

วาล์วควบคุมโดยทั่วไปแล้วใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย จะพบในกระบวนการที่ควบคุมอัตราไหล วาล์วควบคุมมีการทำงานคล้ายกับตัวต้านทานการไหลที่ปรับค่าได้ (Variable Restriction) โดยการเปลี่ยนแปลงการเปิดปิดและจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอัตราการไหล

#### 6.3.4 กระบวนการ (Plant or Process)

กระบวนการ หมายถึงระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการเช่นกระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process variable : Pv)

การควบคุมแบบอัตโนมัติจากรูปที่ 6.7 มีขั้นตอนการทำงานคือ อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรของกระบวนการ (Pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของของเหลว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Sp) และตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ จะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใด ๆ นั้น จะต้องศึกษาถึงชนิดและการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายรวมถึงวิธีการปรับแต่งต่างๆเสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้องในอันที่จะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

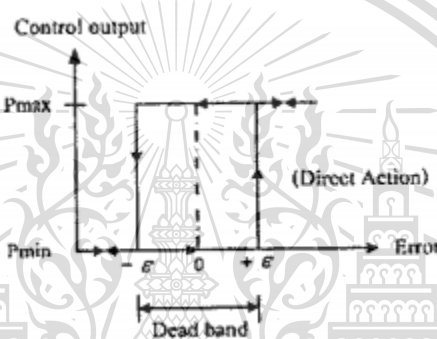
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 6.4 รูปแบบการควบคุม

### 6.4.1 กริยาการควบคุมแบบ On-Off

การควบคุมแบบนี้ เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยจะพบเห็นค่อนข้างมากในอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน เช่น กาน้ำร้อน หรือการควบคุมระดับน้ำในแทงก์น้ำเป็นต้น โดยการควบคุมจะทำงานเพียง สถานะ คือ เปิด (100%) กับปิด (0%) ลักษณะของระบบควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF

จากรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤต ( $+\epsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต ( $-\epsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุตที่อยู่ในช่วงเดดแบนด์ (Dead band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้เกิดช่วงเดดแบนด์ขึ้นเพื่อป้องกันการ On-Off บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมหรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดดแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนัก เพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของกระบวนการควบคุมลดลง กริยาการควบคุมแบบ On-Off สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U(t) = \begin{cases} 0\% & , e < -\epsilon \\ 100\% & , e > +\epsilon \end{cases} \quad (6.1)$$

เมื่อ  $U(t)$  = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม

$e(t)$  = ค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $\epsilon$  = ค่าเดดแบนด์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 6.4.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

กริยาการควบคุมแบบ Proportional นั้น เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือเอาต์พุตที่ได้ ออกมาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากกระบวนการ หมายถึง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม แะถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัว ควบคุมก็จะมีค่าน้อยลง ตามความสัมพันธ์

$$\text{output} \propto \text{input} \quad (6.2)$$

โดย  $U$  คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม

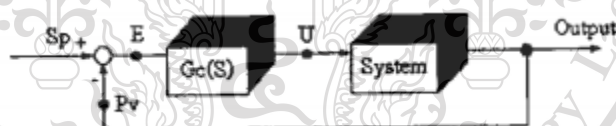
$E$  คือ Input ที่ออกจากตัวควบคุม

จะได้

$$U \propto E \quad (6.3)$$

โดย  $K_p$  คือ ค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยาย (Proportional Gain)

$$U = K_p E \quad (6.4)$$



รูปที่ 6.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่ไม่มีตัวควบคุม

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 6.9 จะได้ว่า

$$G_c = U/E \quad (6.5)$$

$$G_c = K_p \quad (6.6)$$

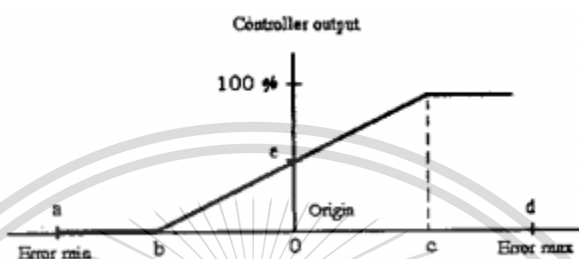
โดยในที่นี้อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ ส่งออกไปนั้น จะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 6.10 โดยแกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งคือ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่า Error (แกนนอน) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม (แกนตั้ง) ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตได้ว่าแม้มีค่า Error เป็นศูนย์ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่ได้เป็นศูนย์ด้วยเนื่องจากโดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการทิ้งไว้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control

#### 6.4.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

หลักการการทำงานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปริยานุพันธ์ของอินพุตตามสมการ

$$U(t) \propto \int_0^t e(t) \quad (6.7)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) \quad (6.8)$$

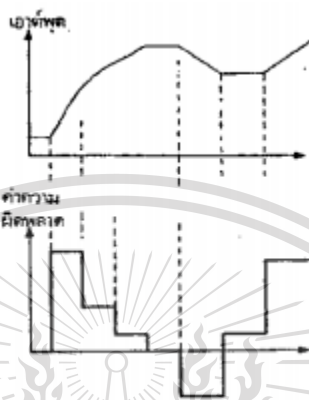
ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (6.9)$$

$$G_c(s) = \frac{K_I}{s} \quad (6.10)$$

จากสมการที่ 6.10 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ  $K_I/s$  โดยที่  $K_I$  เป็นค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากกระบวนการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกเอกสารนี้เป็นจากกระบวนการมีค่าเท่ากับที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 6.11 แสดงการอาร์คไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองของระบบจะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย แต่โดยทั่วไปเราจะไม่ใช่ใช้วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียวเนื่องจากระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-Control เข้ามาควบคุมร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น



รูปที่ 6.11 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกันระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

#### 6.4.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กริยาการควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (6.11)$$

เมื่อ  $U_D(t)$  = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

$K_D$  = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้ ส่วนมากแล้วจะใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่นเช่น ใช้ร่วมกับการควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอนุพันธ์หรือ พีดี (PD-Control) ถ้าตัวควบคุมเชิงสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลจะเรียกว่า ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัล หรือพีไอ (PI-Control) และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบอินทิกรัลเราจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Control)

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

#### 6.4.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID)

พีไอดี-คอนโทรล คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ พี-คอนโทรล ไอ-คอนโทรล และดี-คอนโทรล ดังนั้นสมการของ  $U_{PID}(t)$  สามารถหาได้ดังนี้

$$U_{PID}(t) = K_P e + K_I \int e dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (6.12)$$

เมื่อ  $U_{PID}(t)$  = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอดี

การคอนโทรลแบบพีไอดี สามารถแก้ข้อพิเศิตของปร็อพออร์ชันแนลคอนโทรล และ ลดโอเวอร์ชูทที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลท เนื่องจากอินทิกรัลคอนโทรล และจะให้ผลตอบสนองได้รวดเร็ว ตามคุณสมบัติของดิริเวทิฟคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 6.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อน

ระบบความร้อนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ระบบความร้อนนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ในรูปแบบความต้านทานและความจุ ถึงแม้ว่าความจุความร้อนและความต้านทานความร้อนอาจจะแสดงผลได้ไม่ตรงเท่ากับ Lumped parameters เนื่องจากความร้อนมักจะกระจายไปทั่ววัตถุ (สำหรับการวิเคราะห์ที่แม่นยำต้องใช้แบบจำลอง Distributed parameters) อย่างไรก็ตาม เพื่อลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์ เราจะถือว่าระบบความร้อนสามารถแสดงโดยแบบจำลอง Lumped parameters ได้ โดยสสารที่มีความต้านทานต่อการไหลของความร้อนมากจะมีความจุความร้อนน้อย และสสารที่มีความจุความร้อนมากจะมีความต้านทานต่อการไหลของความร้อนน้อย

ก่อนที่เราจะเข้าสู่เรื่องแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อน เราจะต้องทำความเข้าใจเรื่องหน่วยความร้อนก่อน

### 6.5.1 หน่วยความร้อน

ความร้อนคือพลังงานที่ถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยหน่วย SI ของความร้อนคือจูล (J) และยังมีหน่วยอื่นๆที่มักใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรมคือกิโลแคลอรี (kcal) และ Btu (British thermal unit) ซึ่งสามารถแปลงหน่วยได้ดังนี้

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 2.389 \times 10^{-4} \text{ kcal} = 9.480 \times 10^{-4} \text{ Btu}$$

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J} = 1/0.860 \text{ Wh} = 1.163 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J} = 778 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f$$

จากมุมมองของวิศวกรรม กิโลแคลอรีสามารถพิจารณาเป็นจำนวนพลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1 กิโลกรัม จาก 14.5°C ถึง 15.5°C ได้ และ Btu สามารถพิจารณาเป็นจำนวนพลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1 ปอนด์ขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮด์ที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ (หน่วยเหล่านี้ให้ค่าประมาณเดียวกันกับที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 6.5.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

ความร้อนนั้นสามารถถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกร่างหนึ่งได้สามทาง คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ในส่วนนี้เราจะพิจารณาแค่ระบบที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อน และการพาความร้อนเท่านั้น จะพิจารณาการแผ่รังสีก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของตัวปล่อยความร้อนสูงมากเมื่อเทียบกับตัวรับ ระบบความร้อนส่วนใหญ่ในกระบวนการควบคุมจะไปรวมการแผ่รังสีความร้อน และมักจะอธิบายในรูปแบบของความต้านทานความร้อนและความจุความร้อน

สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนและพาความร้อน

$$q = K\Delta\theta$$

เมื่อ

$q$  = อัตราการถ่ายเทความร้อน, kcal/s

$\Delta\theta$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิ, °C

$K$  = ค่าสัมประสิทธิ์, kcal/s °C

ค่าสัมประสิทธิ์  $K$  กำหนดให้

$$K = \frac{kA}{\Delta X} \quad \text{สำหรับการนำความร้อน}$$

$$= HA \quad \text{สำหรับการพาความร้อน}$$

เมื่อ

$$k = \text{การนำความร้อน, kcal/m s } ^\circ\text{C}$$

$$A = \text{พื้นที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทความร้อน, m}^2$$

$$\Delta X = \text{ความหนาของตัวนำ, m}$$

$$H = \text{สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, kcal/m}^2 \text{ s } ^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 6.5.3 ความต้านทานความร้อนและความจุความร้อน

ความต้านทานความร้อน  $R$  สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างสองวัตถุสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$R = \frac{\text{ความเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างของอุณหภูมิ } ^\circ\text{C}}{\text{ความเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทความร้อน } \text{kcal/s}}$$

ดังนั้นกำหนดให้ความต้านทานความร้อนสำหรับการนำความร้อนและการพาความร้อนเป็นดังนี้

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{1}{K}$$

เนื่องจากค่าการนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเกือบคงที่ ความต้านทานความร้อนสำหรับการนำและการพาความร้อนจึงมีค่าคงที่ กำหนดให้ความจุความร้อน  $C$  เป็นดังนี้

$$C = \frac{\text{ความเปลี่ยนแปลงของความร้อนกักเก็บไว้ } \text{kcal}}{\text{ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ } ^\circ\text{C}}$$

ดังนั้นความจุความร้อนคือผลคูณของความร้อนจำเพาะและมวลของวัตถุ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$C = mc$$

เมื่อ

$$m = \text{มวลของวัตถุ, kg}$$

$$c = \text{ความร้อนจำเพาะของวัตถุ, kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

### 6.5.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อน: ระบบเทอร์โมมิเตอร์

พิจารณาปรอทผนังแก้วบางของระบบเทอร์โมมิเตอร์ที่แสดงดังรูป 2.12 สมมติให้เทอร์โมมิเตอร์มีอุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิปกติ  $\bar{\theta}^{\circ}\text{C}$  (อุณหภูมิห้อง) ที่  $t=0$  เทอร์โมมิเตอร์แช่อยู่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ  $\bar{\theta} + \theta_b^{\circ}\text{C}$  เมื่อ  $\theta_b$  คืออุณหภูมิของอ่างน้ำ (ซึ่งอาจจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงได้) วัตถุจากอุณหภูมิห้อง  $\bar{\theta}$  ดังนั้นอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ ณ ขณะนั้นเป็น  $\bar{\theta} + \theta^{\circ}\text{C}$  โดย  $\theta$  คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของเทอร์โมมิเตอร์ โดยมีเงื่อนไขคือ  $\theta(0) = 0$  พลวัตของระบบเทอร์โมมิเตอร์นี้สามารถมองในรูปของความต้านทานความร้อน  $R$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{kcal/s}$ ) ซึ่งต้านการถ่ายเทความร้อน และความจุความร้อน  $C$  ( $\text{kcal}/^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งกักเก็บความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

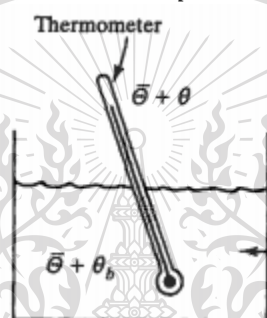
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบความร้อนนี้สามารถสร้างได้ด้วยการพิจารณาสมดุลความร้อนดังนี้ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าเทอร์โมมิเตอร์ที่  $dt$  วินาที เป็น  $q dt$  เมื่อ  $q$  (kcal/s) คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมมิเตอร์ ความร้อนนี้ถูกกักเก็บไว้ในความจุความร้อน  $C$  ของเทอร์โมมิเตอร์ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $d\theta$  จะได้สมการสมดุลความร้อนดังนี้

$$C d\theta = q dt \quad (6.13)$$

ดังนั้นความต้านทานความร้อนสามารถเขียนได้เป็น

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{\Delta\theta}{q}$$



รูปที่ 6.12 ระบบเทอร์โมมิเตอร์

อัตราการถ่ายเทความร้อน  $q$  สามารถเขียนในรูปของ  $R$  ได้ดังนี้

$$q = \frac{(\bar{\theta} + \theta_b) - (\bar{\theta} + \theta)}{R} = \frac{\theta_b - \theta}{R}$$

เมื่อ  $\bar{\theta} + \theta_b$  คืออุณหภูมิของอ่างน้ำ และ  $\bar{\theta} + \theta$  คืออุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ เพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการ 6.13 ใหม่ได้เป็น

$$C \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_b - \theta}{R}$$

หรือ

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_b$$

เมื่อ  $RC$  คือเวลาคงที่ นี่คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## แนวคิดและการออกแบบระบบควบคุม

### 7.1 แนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะปรับปรุงการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล ให้มีความสะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการดำเนินงาน จึงทำการศึกษาธรรมชาติการทำงานของโรงไฟฟ้า และพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการนี้คือ ไม้อัดแท่ง จากนั้นจึงออกแบบระบบควบคุมให้สอดคล้องกับการทำงานของโรงไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากการลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่ห้องกึ่งเผาไหม้หรือแก๊สซิไฟเออร์ ที่ห้องกึ่งเผาไหม้เองจะมีการใช้อากาศจากแวลวล้อมลำเลียงเข้ามาเพื่อใช้ในการเผาไหม้ และใช้ในการพันดักขี้เถ้าหรือกากเชื้อเพลิงที่เหลือจากปฏิกิริยากึ่งเผาไหม้เพื่อไม่ให้ไหลเข้าไปใน ส่วนต่อไปนั่นคือห้องเผาไหม้ที่จะมีการลำเลียงอากาศเข้ามา และการจุดไฟจากแก๊สหุงต้มต้มจนทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้จากนั้นจึงใช้ความร้อนจากส่วนนี้ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ระบบการควบคุมต้องการที่จะควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามความต้องการผู้ใช้งาน จากกระบวนการเหล่านี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของห้องกึ่งเผาไหม้และห้องเผาไหม้คือ อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงชีวมวล และอัตราการไหลเข้าของอากาศ ซึ่งในแต่ละอุณหภูมิจะมีค่าของปัจจัยเหล่านี้ที่เหมาะสมที่จะไม่ก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ลดประสิทธิภาพการเผาไหม้

### 7.2 อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุม

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีความแตกต่าง กับเชื้อเพลิงอย่างแก๊สหุงต้ม หรือน้ำมันสำหรับพาหนะทั่วไป คือเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยานั้นช้ากว่าจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมที่สามารถปรับแต่งรูปแบบการส่งออกหรือเอาต์พุตที่มีลักษณะเฉาฟโต้ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อเดลต้า รุ่น DTE10T และใช้ตัวควบคุมนั้นส่งออกเอาต์พุตไปสั่งการอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของ

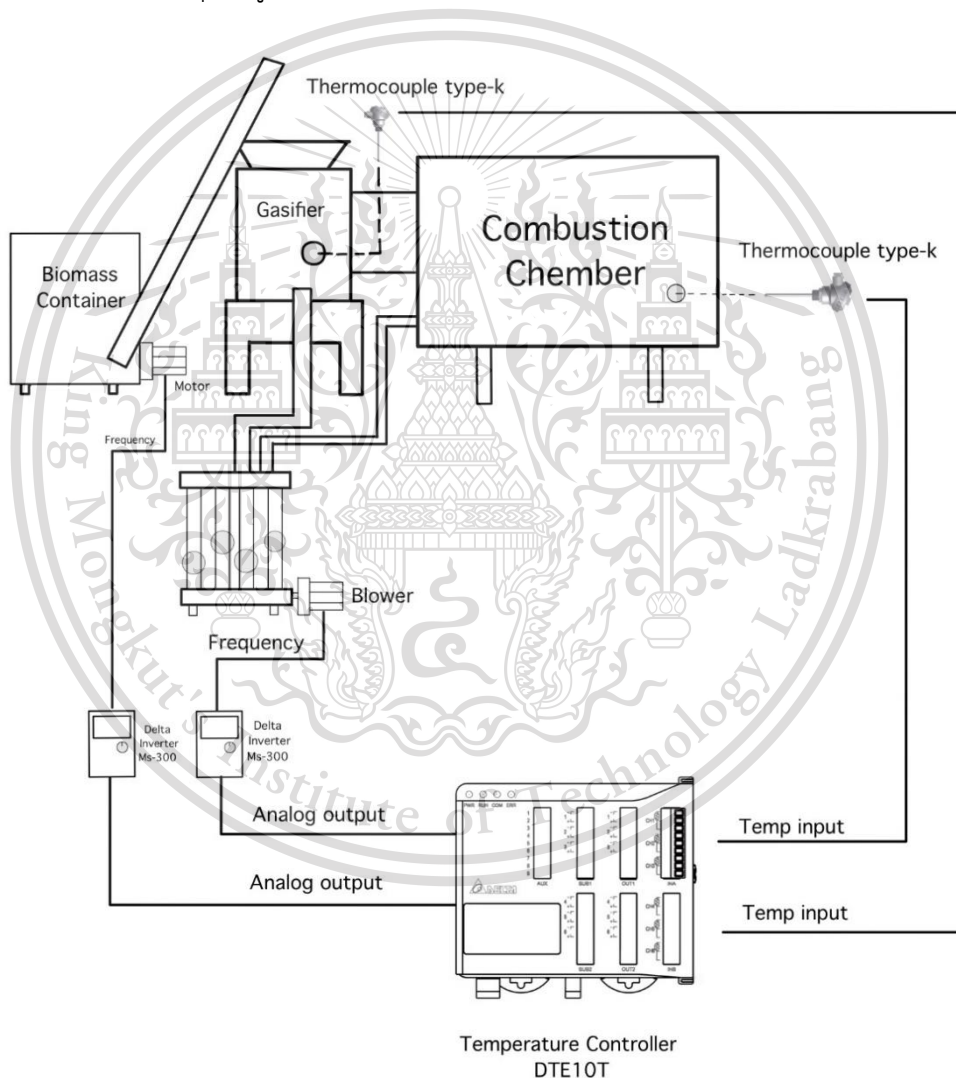
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เชื้อเพลิงชีวมวล และอัตราการไหลของอากาศผ่านมอเตอร์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิเป็นไปตามที่  
ต้องการ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ และวงจรต่างๆเหล่านี้

1. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิยี่ห้อ delta รุ่น dte10t 1 เครื่อง
2. อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ delta รุ่น ms-300 2 เครื่อง
3. อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อจาเดน จำนวน 1 เครื่อง
4. มอเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 2 เครื่อง
5. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค 2 ตัว



รูปที่ 7.1 แสดงแผนผังระบบควบคุมของโรงไฟฟ้าชีวมวล

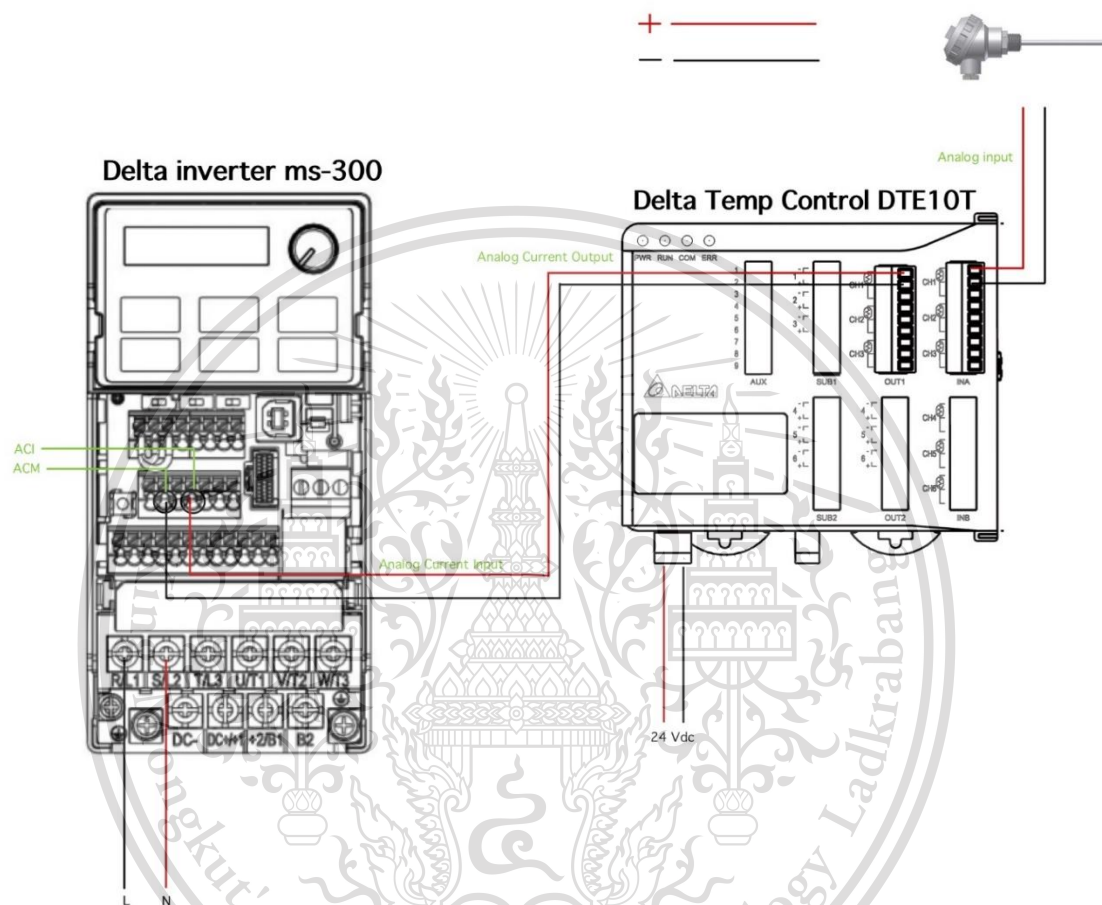
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 7.3 การออกแบบระบบควบคุมในส่วนของฮาร์ดแวร์(Hardware)

#### 7.3.1 การเดินสาย(Wiring)ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 7.2 แสดงแผนผังการต่อสายระหว่างควบคุมอุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์

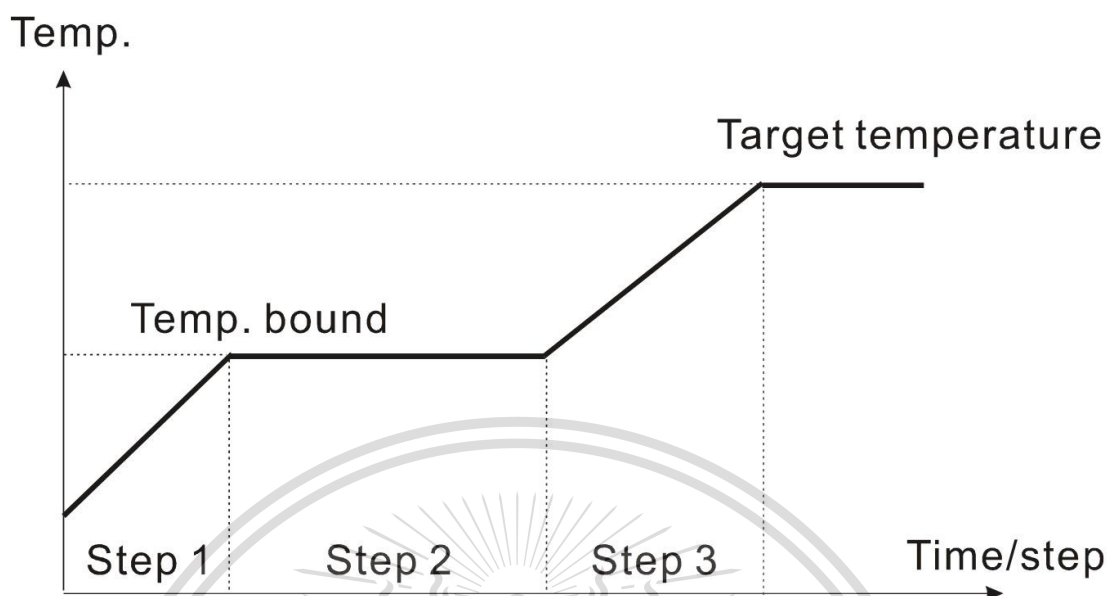
### 7.4 การออกแบบระบบควบคุมในส่วนของซอฟต์แวร์(Software)

จากธรรมชาติของการเผาไหม้ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทำให้ระบบควบคุมนั้นมีหลักการคือการจ่ายปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มลดอุณหภูมิ เป็นไปอย่างมีลำดับขั้นตอนที่จำเพาะ เป็นไปตามดังรูปที่ 7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 7.3 แสดงการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล(ไม้อัดแท่ง)

จากรูปที่ 7.3 ขั้นตอนแรกจะมีการจ่ายปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิหรือเอาต์พุตได้แก่ อัตราการไหลเข้าของเชื้อเพลิง และอากาศ จากนั้นในขั้นตอนที่สองการจ่ายเอาต์พุตจะคงที่และช่วงเวลาไว้ระยะหนึ่งเพื่อปล่อยให้เกิดปฏิกิริยากึ่งเผาไหม้ในแก๊สซิไฟเออร์ จนกว่าอุณหภูมิจะเพิ่มจนถึงอุณหภูมิค่าขอบเขต (Temp bond) ต่อมาจะหน่วงเวลาจนอุณหภูมิค่าขอบเขต(Temp bond) คงที่ และจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือการเพิ่มการจ่ายเอาต์พุตจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่เราต้องการ โดยการทำงานเหล่านี้มีชื่อเรียกว่าฮอตรันเนอร์คอนโทรล(Hot runner control) ซึ่งก็คือหนึ่งในฟังก์ชันของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมียี่ห้อ delta รุ่น dte10t ฟังก์ชันฮอตรันเนอร์คอนโทรลประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

1. ทำให้ร้อนขึ้นโดยปริมาณเอาต์พุตคงที่
2. การควบคุม PID แบบตั้งเวลา
3. เพิ่มความร้อนให้ถึงอุณหภูมิเป้าหมาย (SV)

#### 7.4.1 การใช้งานฟังก์ชันฮอตรันเนอร์คอนโทรล

การตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถตั้งค่าได้ผ่านตัวเครื่องและจะมีการใช้การเชื่อมต่อผ่านพอร์ต RS-485 เพื่อเป็นหน้าจอตอบกลับแสดงค่าพารามิเตอร์กับผู้ใช้งาน

เปิดการใช้งานฟังก์ชันโดยการเขียน 1234H ไปที่ที่อยู่ 47F1H จากนั้นเขียน 0060H ไปที่ที่อยู่ 4824H ความหมายของแต่ละบิตสามารถดูได้จากตารางที่ 7.1 สำหรับการใช้งานเพิ่มเติมสามารถ

เอกสารนี้เป็นได้จากภาคผนวก ก สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 แสดงความหมายของแต่ละบิตในคำสั่ง 4824H

bits in 4824H	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Flag	--	Hot runner control	Slope control	--	Latch	CT	EVENT	--

ตารางที่ 7.2 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

CH	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
Temp. bound (unit: 0.1°)	1960H	1961H	1962H	1963H	1964H	1965H	1966H	1967H
Constant output volume (unit: 0.1%)	1968H	1969H	196AH	196BH	196CH	196DH	196EH	196FH
Timed time (unit: min.)	19B0H	19B1H	19B2H	19B3H	19B4H	19B5H	19B6H	19B7H
Target temperature (unit: 0.1°)	1008H	1009H	100AH	100BH	100CH	100DH	100EH	100FH
Slope (unit: 0.1°)	1970H	1971H	1972H	1973H	1974H	1975H	1976H	1977H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

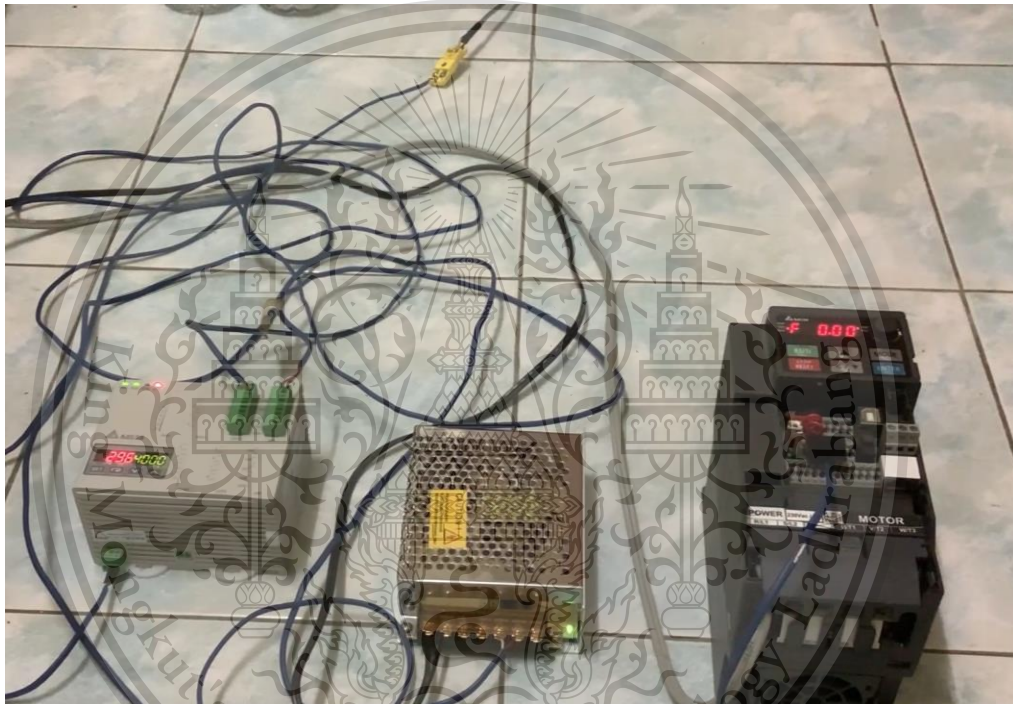
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 8

### การทดสอบระบบควบคุม

เนื่องด้วยจุดประสงค์ของการสร้างระบบควบคุมนั้นคือการทำให้โรงไฟฟ้ามีความง่าย สะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน อีกทั้งยังเพื่อควบคุมประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ดังนั้นการทดสอบของระบบควบคุมจึงทดสอบให้ระบบนั้นใช้งานได้จริงตามสถานการณ์ และลำดับการทำงานของโรงไฟฟ้า



รูปที่ 8.1 แสดงการจำลองการทดลองระบบควบคุม

#### 8.1 การออกแบบการทดสอบระบบควบคุม

เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา(โควิด-19)ในปัจจุบันการสอบการใช้งานระบบควบคุมกับโรงไฟฟ้าชีวมวลนั้นไม่สามารถจัดทำได้ จึงได้ทำการออกแบบการทดสอบเสมือนออกมาโดยใช้แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นแก๊สหุงต้ม(แอลพีจี) ที่สามารถให้ค่าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อดูพฤติกรรมหรือการทำงานของระบบควบคุม ให้เป็นไปตามที่ออกแบบการเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 8.1.1 การออกแบบการเผาไหม้

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นชีวมวลนั้นโดยส่วนใหญ่ จะเป็นปฏิกิริยาเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ การจ่ายเชื้อเพลิงชีวมวล และอากาศเข้าสู่ห้องกึ่งเผาไหม้หรือแก๊สซิไฟเออร์ จึงจำเป็นต้องมีลักษณะจำเพาะโดยจะมีการจ่ายไปเป็นลำดับและช่วงเวลา เพื่อให้อุณหภูมิขึ้นไปถึงอุณหภูมิที่เราต้องการ เพราะเหตุนี้การควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลและอากาศ ที่ถูกควบคุมมาจากอินเวอร์เตอร์อีกทีต้องมีเอาต์พุตที่คงที่ในตอนแรกจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับไป

### 8.1.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบควบคุม

1. ทำการเดินสายระหว่างควบคุมอุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 7.2
2. จากนั้นทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันฮอตรันเนอร์คอนโทรลผ่านการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ต RS-485 และใช้โปรแกรม Serial Port Monitor ในการดูค่าพารามิเตอร์ที่ได้ตั้งค่าไว้สามารถใช้ตารางที่ 8.2 ในการดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการทดสอบนี้ตั้งค่าไว้ที่การจ่ายเอาต์พุตที่ความถี่ค่าที่เริ่มต้นที่ 10 Hz จากนั้นรอกจนอุณหภูมิคงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วจึงเพิ่มความถี่ ครั้งละ 2 Hz จนถึง 20 Hz จนอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้คือ 400 องศาเซลเซียส

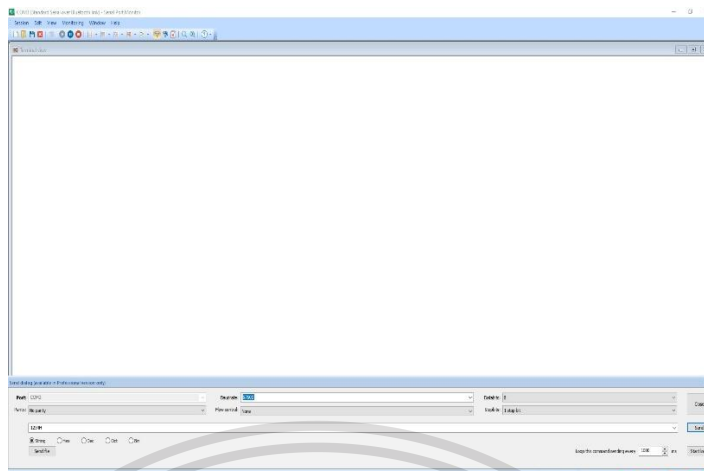


รูปที่ 8.2 แสดงการเชื่อมต่อพอร์ต RS-485

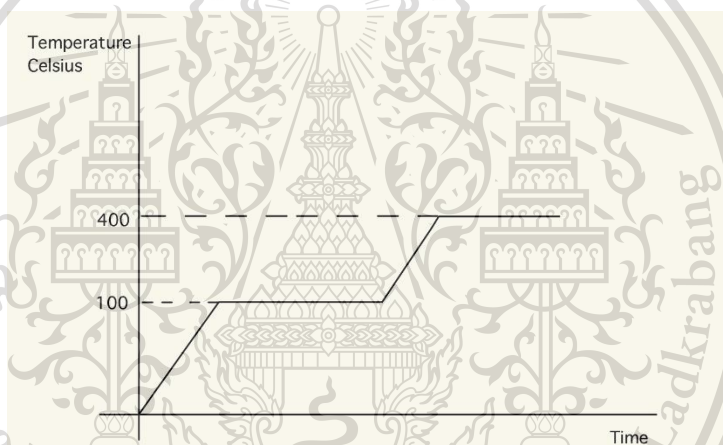
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

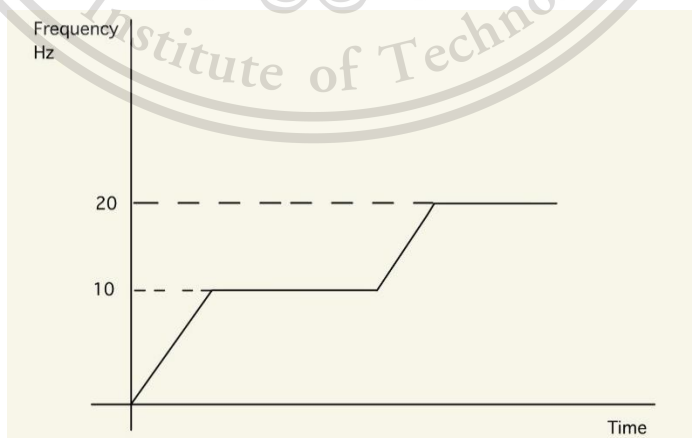
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 8.3 แสดงโปรแกรม Serial Port Monitor ใช้ในการดูค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิ



รูปที่ 8.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 8.2 ผลการทดสอบระบบควบคุม

หลังจากการทดสอบระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามค่าที่ตั้งไว้ ดังหัวข้อที่ 8.1.2 สามารถดูรูปภาพการทดลองได้ที่ภาคผนวก ข

## 8.3 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

หลังจากการทดสอบระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งสอดคล้องการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวล นั่นคือมีการจ่ายเอาต์พุตที่คงที่ที่ค่าหนึ่งไปจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงค่าแรกที่ตั้งไว้จากนั้น จากนั้นมีการเพิ่มเอาต์พุตอย่างช้าๆ ไปจนถึงอุณหภูมิเป้าหมาย

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นเพียงแค่การจำลองการเผาไหม้ของชีวมวล ซึ่งในสถานการณ์จริงนั้น อาจจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข เพื่อการทำงานที่สมบูรณ์ของระบบควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

### 9.1 สรุปผลงานวิจัย

การดำเนินการเป็นไปตามวัตถุประสงค์การออกแบบและสร้างระบบวัดสามารถวัดค่าสถานะต่างๆได้แก่ อุณหภูมิ และความดันของโรงไฟฟ้าชีวมวลและแสดงผลค่าสถานะเหล่านั้นในรูปแบบของกราฟได้แบบเรียลไทม์ จากระบบวัดค่านี้สามารถพัฒนานำค่าเหล่านั้นมาใช้ในการสร้างระบบแสดงผลประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบเรียลไทม์ และสร้างระบบรักษาความปลอดภัยที่จะแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วงอันตราย

ในส่วนขอระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงนั้นได้มีการออกแบบและสร้างให้สอดคล้องกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล นั่นคือมีการจ่ายเอาต์พุตที่คงที่ที่ค่าหนึ่งไปจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงค่าแรกที่ตั้งไว้จากนั้น จากนั้นมีการเพิ่มเอาต์พุตอย่างช้าๆ ไปจนถึงอุณหภูมิเป้าหมาย

### 9.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดสอบระบบควบคุมนั้นยังเป็นเพียงการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่าระบบนั้นสามารถทำงานได้จริงทั่วไในการใช้งานจริงนั้นอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเผาไหม้ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมทดสอบกับโรงไฟฟ้าชีวมวลจริงเพื่อการทำงานของระบบควบคุมจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เพื่อเป็นการพัฒนาระบบควบคุมสมควรที่จะมีการบูรณาการเข้ากับทฤษฎีการเผาไหม้หาจุดเหมาะสมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล ณ อุณหภูมิต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงหรืออากาศที่เหมาะสม

เพื่อเป็นขยายขอบเขตการทำงานอย่างครอบคลุมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลหลายชนิดของระบบควบคุมสมควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.