

การพัฒนาและปรับปรุงชุดทดลองสำหรับห้องปฏิบัติการระบบควบคุม

นายสิริชัย สุวิชากรพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2561

Development And Improvement of Sets of Control Laboratory

Mr. Sirichai Suwichakornpong

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

ACADEMIC YEAR 2018

ปริญญานิพนธ์เรื่อง : การพัฒนาและปรับปรุงชุดทดลองสำหรับห้องปฏิบัติการระบบควบคุม  
ชื่อ : นายสิริชัย สุวิชากรพงศ์  
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ นุ่นงาม  
ปีการศึกษา : 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุมัติให้  
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา  
วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภดล วิวัชร โกเศศ)	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ นุ่นงาม)	ประธานกรรมการ
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี)	กรรมการ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัชชัย เสริมพงษ์พันธ์)	กรรมการ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญภา ไพโรจน์อมรชัย)	กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Project Report Title : Development And Improvement of Sets of Control Laboratory  
 Name : Mr. Sirichai Suwichakornpong  
 Major Field : Electrical Engineering  
 Department : Electrical and Computer Engineering  
 Faculty : Engineering  
 Project Advisor : Assoc. Prof. Dr. Suksun Nungam  
 Academic Year : 2018

Accept by the Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North  
 Bangkok in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Electrical  
 Engineering.

..... (Asst. Prof. Dr Nophadon Wiwatcharagoses.)	Chairperson of Department of Electrical and Computer Engineering
..... (Assoc. Prof. Dr. Suksun Nungam)	Chairperson
..... (Assoc. Prof. Dr. Bunlung Neammanee)	Member
..... (Asst. Prof. Chatchai Sermpongpan)	Member
..... (Asst. Prof. Dr. Pennapa Pairodamornchai)	Member

Copyright of the Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering  
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System) ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยมีอุปกรณ์บางอย่างใช้งานไม่ได้และไม่ได้ถูกออกแบบไว้กับแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System) จึงทำการปรับปรุงระบบ plant system ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ทำการศึกษาระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โครงสร้างการทำงานของ PLC และชนิดของปั๊ม ส่วนสุดท้ายคือทำการปรับปรุง flow plant ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ Ultrasonic Level Sensor และเปลี่ยนปั๊มน้ำ

## **Abstract**

This thesis proposes the improvement of the plant system, used in controlled laboratories, which some devices are not working, and not designed for the plant system. Therefore the improved plant system is able to use effectively. By dividing the work into 2 parts: the first part studied the feedback control system, PLC structure and pump type and the last part is to improve the flow plant by installing Ultrasonic Level Sensor and changing the pump.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ นุ่นงาม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้จัดทำ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชชัย เสริมพงษ์พันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญภา ไพโรจน์อมรชัย กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำ ส่งผลให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณรังสฤษฎ์ กองผาพา ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และประสบการณ์อันมีค่าแก่ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเจ้าของหนังสือ เอกสาร และปริญญานิพนธ์ทุกเล่ม ที่ช่วยให้ปริญญานิพนธ์มีความสมบูรณ์

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้จัดทำขอน้อมบูชาแด่พระคุณบิดามารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

สิริชัย สุวิชากรพงศ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ที่มาในการทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำโครงการ	1
บทที่ 2. ทฤษฎี	2
2.1 ความรู้พื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system)	2
2.2 Programmable Logic Controller (PLC)	4
2.3 ประเภทและหลักการของระบบปั๊มน้ำ	6
บทที่ 3. ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.1 ศึกษาการทำงานของ Flow Plant	18
3.2 ศึกษาการทำงานของ plan control system	19
3.3 ศึกษาอุปกรณ์ใน Ultrasonic level sensor	20
3.4 ระบบ Ultrasonic level sensor	35
3.5 การติดตั้ง Ultrasonic level sensor	36
3.6 ผลการทดสอบ Ultrasonic level sensor	38
3.7 การคำนวณหาความสูงของปั๊มน้ำ	41
3.8 การเลือกปั๊มน้ำ	43



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. สรุปผลการดำเนินงาน	46
4.1 สรุปผลการดำเนินงาน	46
4.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ประวัติผู้แต่ง	48

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1    แสดงแรงดันเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุต	34

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop control system)	2
2-2 โครงสร้าง Proportional Controller หรือ P-Controller	3
2-3 P-Controller ที่มี Offset เพื่อกำจัด Steady state error	3
2-4 Step response ของ P-Controller	4
2-5 ระบบ PLC	6
2-6 ป้อนหอยโข่ง	8
2-7 ป้อนเพลาลอย	8
2-8 ป้อนน้ำเครื่องยนต์	9
2-9 ป้อนบาดาลหรือป้อนขับเมอร์ส	9
2-10 แสดงเสถียรภาพ	12
2-11 แสดงรูปร่างภายนอกของโกลบวาล์ว (Globe Valve)	14
2-12 แสดงรูปร่างภายในโกลบวาล์ว (Globe Valve)	15
2-13 แสดงท่อข้อศอก	15
2-14 แสดงข้อศอก 90 องศา รัศมียาวหักศอก	16
2-15 แสดงข้อศอกรัศมียาวและรัศมีสั้น 90 องศา	16
2-16 แสดงข้อศอกลดรัศมี 90 องศา	17
3-1 Flow Plant	18
3-2 ระบบ Plant control system	19
3-3 Arduino Uno R3	21
3-4 กลุ่มขาของบอร์ด Arduino Uno	22
3-5 การต่อไฟเลี้ยงผ่านสาย USB	23
3-6 การต่อไฟเลี้ยงบอร์ดจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงด้วยแจ็ก 2.1 มิลลิเมตร	24
3-7 การต่อไฟเลี้ยงเข้าที่ขา Vin และต่อกราวด์ที่ขา GND	24
3-8 การใช้วงจร Module DC-to-DC Step down Converter LM2596 (3A) ลดแรงดันให้เหลือ 5 V	25

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-9 แสดงพัลส์ดิจิทัลที่แตกต่างกัน	27
3-10 Duty Cycle มีค่าเป็น 100%	28
3-11 Duty Cycle มีค่าเป็น 50%	28
3-12 Duty Cycle มีค่าเป็น 25%	29
3-13 Ultrasonic Module (HC-SR04)	30
3-14 การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	32
3-15 การทำงานของโมดูล HC – SR04	32
3-16 โมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 V เป็นกระแส 4-20 mA	33
3-17 กราฟแสดงกระแสอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของโมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 V เป็นกระแส 4-20 mA	35
3-18 หลักการทำงานของระบบ Ultrasonic level sensor	35
3-19 ภายนอกและภายในของระบบ Ultrasonic Level Sensor	36
3-20 แสดงระบบที่ติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ plan control system	37
3-21 ผลสอบการทดสอบที่สภาวะปกติ	38
3-22 ผลทดสอบการทำการปล่อยน้ำออกจากกระบอกน้ำโดยการปรับ Exit Valve	39
3-23 ผลทดสอบการกักน้ำในกระบอกน้ำโดยการค่อย ๆ ปิด Exit Valve	39
3-24 แสดงการติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ Flow Plant	40
3-25 แสดงการติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor ทำหน้าแทน Flow Transducer	40
3-26 แสดงการคำนวณหาความสูงปั๊ม	41
3-27 แสดงปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง Mitsubishi ชนิดแรงดันสูง รุ่น ACH-375S	43

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของการทำโครงการ

เนื่องจากห้องปฏิบัติการควบคุมได้เปิดให้บริการเป็นเวลานานมากแล้ว ทำให้ชุดอุปกรณ์ทดลองบางส่วนเสื่อมสภาพลงตามอายุการใช้งาน อีกทั้งจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ชุดทดลองใหม่ๆ ด้วยเหตุนี้โครงการนี้จึงต้องการสร้างอุปกรณ์ใหม่บางส่วนและปรับปรุงอุปกรณ์เดิมบางส่วน เพื่อให้ห้องปฏิบัติการได้ให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดิม

การปรับปรุงระบบ plant system ใช้ในห้องปฏิบัติการควบคุมดังกล่าวนี้มีอุปกรณ์บางอย่างใช้งานไม่ได้และไม่ได้ถูกออกแบบไว้กับระบบ plant system จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบ plant system ให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ โครงการนี้จึงเสนอ ขึ้นเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมใหม่และปรับปรุงอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วให้ใช้งานตามสภาพเดิม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมใหม่และปรับปรุงอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วให้ใช้งานตามสภาพเดิม

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

สร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างกระบวนการและตัวควบคุม เช่น ตัวแปลงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า (4-20 mA) ปรับปรุงอุปกรณ์เช่นปั๊มและทรานสดิวเซอร์ ให้ใช้งานได้กับ PLC และ Microcontroller

### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำโครงการ

1.4.1 ทราบถึงระบบการทำงานของ PLC

1.4.2 ได้ชุดอุปกรณ์ใหม่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

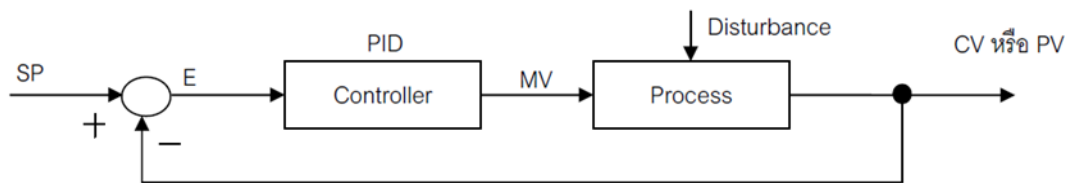
1.4.3 แบบจำลองการควบคุมกระบวนการนี้สามารถเป็นสื่อการเรียนการสอนในอนาคตได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ความรู้พื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system)

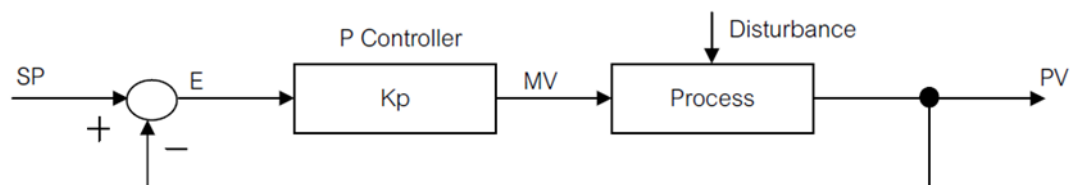
ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) หรือระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop control system) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop control system)

ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ กระบวนการ (process หรือ plant) และตัวควบคุม (controller) ตัวแปรของกระบวนการที่เราต้องการควบคุมเรียกว่า controlled Variable (CV) หรือในทางปฏิบัติจะเรียกว่า process variable (PV) และสามารถทำให้ PV เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ต้องการได้โดยการปรับอินพุตของกระบวนการหรือ Manipulated Variable (MV) กระบวนการนี้ มักจะถูกผลกระทบจากปัจจัยภายนอก (Disturbance) หรือปัจจัยภายในของระบบเอง ซึ่งทำให้ PV เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ต้องการ (Desire Value) ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่า MV ในทิศทางที่ชดเชยผลของ Disturbance เพื่อให้ PV มีค่าที่ต้องการตลอดเวลา การปรับค่า MV นี้จะกระทำโดยอัตโนมัติ โดยใช้ตัวควบคุม (Controller) ระบบควบคุมทำงานโดยนำสัญญาณ PV ป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่า Set Point (SP) แล้วส่งผลการเปรียบเทียบหรือ Error (E) ให้กับตัวควบคุม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับค่า MV ของกระบวนการ ในที่นี้เราจะสมมุติให้กระบวนการเป็น Type 0 กล่าวคือ PV ของกระบวนการจะเข้าสู่ Steady Stage เมื่อ MV มีค่าคงที่และในโครงงานนี้จะใช้ตัวควบคุม P

Proportional Controller หรือ P-Controller ซึ่งมีโครงสร้างดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 โครงสร้าง Proportional Controller หรือ P-Controller

Proportional Controller หรือ P-Controller จะสร้างสัญญาณ MV เป็นสัดส่วนโดยตรง (Proportional) กับ E และมีสมการของตัวควบคุมดังนี้

$$MV = K_p E \quad (2-1)$$

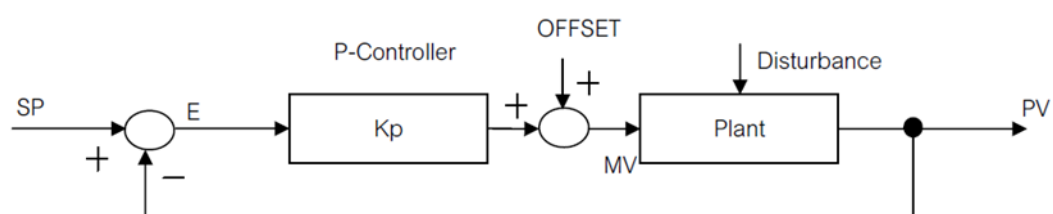
$$\text{โดยที่ } E = SP - PV \quad (2-2)$$

และ  $K_p$  คือ Proportional Gain

แต่โครงสร้างตัวควบคุมลักษณะนี้ไม่สามารถกำจัด Steady stage error ได้ เพราะจากสมการที่ 2-1 ถ้า  $E = 0$  จะทำให้  $MV = 0$  อาจเป็นผลให้กระบวนการไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากไม่มีอินพุตซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลของการปรับค่า  $K_p$  ที่มีต่อ error จากการนำสมการที่ 2-1 มาเขียนใหม่ดังนี้

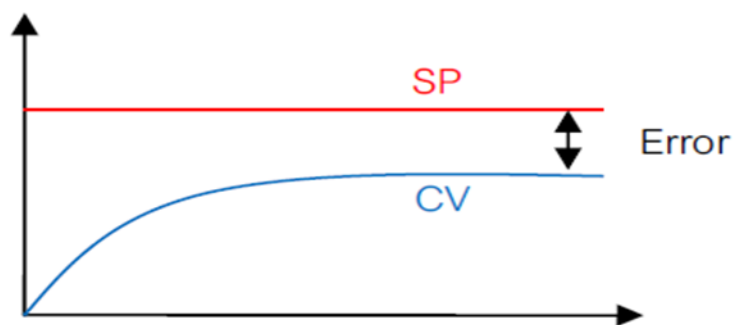
$$E = MV / K_p \quad (2-3)$$

ซึ่งจากสมการที่ 2-3 สามารถลดค่า error ได้ โดยการเพิ่มค่า  $K_p$  แต่ถ้า  $K_p$  มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ (unstable) เราสามารถกำจัด Steady stage error ได้โดยการเพิ่มสัญญาณ Offset ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 P-Controller ที่มี Offset เพื่อกำจัด Steady stage error

อย่างไรก็ตาม Steady stage error จะยังคงมีขึ้นอีกหาก Disturbance มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 Step response ของ P-Controller

ดังนั้น P-Controller จึงเหมาะกับการควบคุมที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก นั่นคือยอมให้มี Steady stage error ในขอบเขตที่จำกัด เช่น การควบคุมระดับของเหลวในถังที่ใช้ถูกลอยเป็นกลไกในการควบคุม ดังนั้นในโครงการนี้ จึงใช้ ultrasonic level sensor เป็นตัวควบคุมแทน

## 2.2 Programmable Logic Controller (PLC)

### 2.2.1 ความหมายของ PLC

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นเช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand alone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมาก ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

### 2.2.2 โครงสร้างของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม PLC ขนาดเล็กส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ได้ หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลสำหรับใช้ใน



การปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM ย่อมาจาก Read Only Memory สามารถโปรแกรมเก็บได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

2.2.2.1 RAM (Random Access Memory) หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็ก ๆ ต่อไว้เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่านและเขียนโปรแกรมลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรบบ่อย ๆ

2.2.2.2 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิด EPROM นี้จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนโปรแกรม การลบโปรแกรมทำได้โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือตากแดดร้อน ๆ นาน ๆ มีข้อดีตรงที่โปรแกรมจะไม่สูญหายแม้ไฟดับ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องเปลี่ยนโปรแกรม

2.2.2.3 EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเหมือนกับ RAM นอกจากนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่า แต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้ง RAM และ EPROM เอาไว้ด้วยกัน

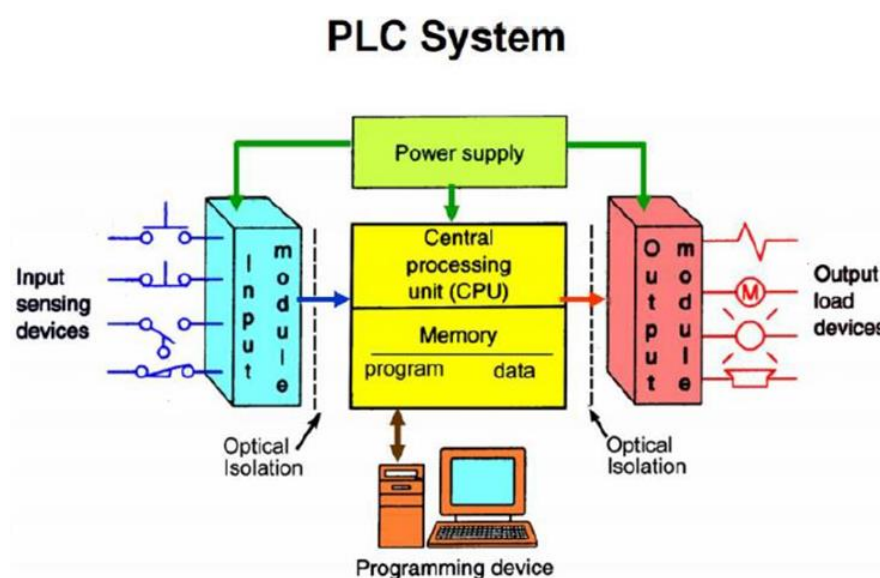
## 2.2.3 การทำงานของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด สเตท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Functions) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า Hard Wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้วการเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุม

ได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่นเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand alone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยจะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมากดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น



ภาพที่ 2-5 ระบบ PLC

## 2.3 ประเภทและหลักการของระบบปั้มน้ำ

ปั้มน้ำ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มแรงดันของน้ำ ทำให้แรงดันน้ำคงที่และส่งน้ำจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเป็นที่นิยมทั้งในที่พักอาศัยและอุตสาหกรรมรวมถึงการเกษตร หรือในบางพื้นที่ที่ต้องสูบน้ำจากใต้ดินขึ้นมาใช้ ประเภทของปั้มน้ำมีทั้งแบบที่เป็นมอเตอร์ (ไฟฟ้า) และแบบที่ใช้เครื่องยนต์ (น้ำมัน) ปั้มน้ำที่ใช้ในบ้านส่วนใหญ่จะเป็นแบบมอเตอร์ (ไฟฟ้า) ส่วนที่เป็นแบบเครื่องยนต์ (น้ำมัน) มักจะใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

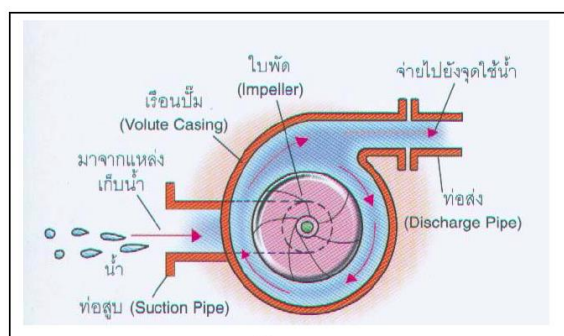
### 2.3.1 การเลือกใช้งานปั้มน้ำประเภทต่าง ๆ

ปัจจัยในการเลือกปั้ม โดยทั่ว ๆ ไปการพิจารณาเลือกปั้ม จะคำนึงถึงขนาดและประเภทของปั้มที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพของเครื่องสูงสุด และมีค่าดำเนินการต่ำสุด ทั้งนี้ ต้องเลือกปั้มเพื่อการใช้งานในด้านต่าง ๆ ปัจจัยดังต่อไปนี้ ควรที่จะต้องนำมาพิจารณา

- (1) คุณสมบัติของของเหลว
- (2) อัตราการสูบ
- (3) พลังงานหรือเสดทั้งหมดที่ได้จากปั๊ม
- (4) ชนิดของระบบท่อที่ปั๊มจะต้องเชื่อมต่อ
- (5) ข้อจำกัดทางด้านท่อคูด ท่อส่ง ขนาดพื้นที่ติดตั้ง น้ำหนักปั๊ม และตำแหน่งติดตั้ง
- (6) ชนิดของแหล่งพลังงานที่จะให้แก่ปั๊ม
- (7) ราคาของปั๊ม ค่าติดตั้ง และค่าการบำรุงรักษา
- (8) เงื่อนไขทางด้านสิ่งแวดล้อม

การเลือกใช้ปั๊มน้ำให้เหมาะกับประเภทของการใช้งาน จะต้องรู้ถึงลักษณะของปั๊มแต่ละอย่างและประเภทการใช้งานที่เหมาะสม ได้แก่

2.3.1.1 ปั๊มหอยโข่ง ชื่อของปั๊มน้ำชนิดนี้มาจากรูปร่างลักษณะของตัวปั๊มที่เหมือนขดของหอยโข่ง เป็นปั๊มชนิดที่คนนิยมใช้กันมาก เป็นปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงข้อดีก็คือใช้งานคล่องตัวและดูแลรักษาได้ง่าย ระบบการทำงานก็จะมีใบพัดอยู่ภายใน และเมื่อใบพัดหมุนจะเกิดแรงเหวี่ยงน้ำส่งน้ำจากส่วนปลายใบพัดเข้าในโพรงหอยโข่ง ปั๊มหอยโข่งจัดว่าเป็นปั๊มน้ำเพลาลอยชนิดหนึ่งเหมาะกับการดึงน้ำเก็บใส่ถัง เหมือนที่ใช้ในการเกษตรคือส่งน้ำไปไกล ๆ หรือดึงน้ำขึ้นไปบนอาคารสูง ๆ ได้ เพราะปั๊มหอยโข่งจะมีแรงม้าสูง มี 1 แรงม้า 2 แรงม้าและสามารถสูบน้ำได้ในปริมาณมากและแรงดันสูง แต่ไม่เป็นระบบอัตโนมัติ ตัวนี้เหมาะกับการใช้งานต่อเนื่องนาน ๆ เหมาะกับงานสูบน้ำสะอาดทั่วไปที่ต้องการปริมาณน้ำปานกลางถึงมาก และสูบส่งได้สูง เหมาะสำหรับงานเพิ่มแรงดันภายในที่พักอาศัยและอุตสาหกรรม งานสูบน้ำในระบบหล่อเย็น เปลี่ยนถ่ายความร้อน งานสูบน้ำในสวนหย่อมหรือสวนผัก งานระบบบำบัดน้ำ ชลประทาน รดน้ำ งานสูบส่งเคมีบางชนิด



ภาพที่ 2-6 ปั๊มหอยโข่ง

2.3.1.2 ปั๊มเพลาลอย สามารถใช้กับน้ำสะอาดเท่านั้น จะมีเพลเป็นส่วนประกอบโดยเพลจะลอยอยู่เหนือของเหลวหรือน้ำ ซึ่งปั๊มชนิดนี้มีการออกแบบมาใหม่ทำให้ไม่ต้องล่อน้ำ ถ้าเป็นแบบอคูมิเนียมจะทนทาน ไม่เป็นสนิมและน้ำหนักเบา และถูกออกแบบมาเป็นแบบ BACK PULL OUT คือสามารถถอดไปบำรุงรักษาได้ง่าย โดยไม่ต้องถอดเพลหรือมอเตอร์ ตัวเรือนปั๊มทำจากเหล็กหล่อ ใบพัดทำจากบรอนซ์ ใช้ซีลกันรั่วชนิดแมคคานิคอลซีล MECHANICAL SEAL น้ำจะไม่รั่วออกจากระบบ เหมาะกับงานที่ทำระบบความเย็น งานดับเพลิง ระบบสปริงเกอร์ งานประปาหมู่บ้าน



ภาพที่ 2-7 ปั๊มเพลาลอย

2.3.1.3 ปั๊มน้ำเครื่องยนต์ ปั๊มน้ำที่ใช้เครื่องยนต์จะมีกลไกที่ซับซ้อนกว่าปั๊มน้ำชนิดอื่น ๆ และมีความทนทานเหมาะกับการใช้งานต่อเนื่องและสามารถรองรับงานสูบน้ำหนัก ๆ ได้ ใช้สูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือบ่อน้ำซึ่งไม่มีแหล่งจ่ายไฟหรือที่ที่ไม่สามารถลากสายไฟเข้าถึงได้ ปั๊มน้ำเครื่องยนต์จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการใช้งานทำการสูบน้ำจากที่แหล่งธรรมชาติเพื่อนำน้ำไปเก็บยังบ่อที่เตรียมไว้



ภาพที่ 2-8 ปั๊มน้ำเครื่องยนต์

2.3.1.4 ปั๊มบาดาลหรือปั๊มซัมเมอร์ส ใช้งานสำหรับการสูบน้ำลึกเช่นการสูบน้ำในบ่อขุดบาดาลที่มีความลึกมาก ๆ ซึ่งการใช้งานเป็นการใช้งานเฉพาะ ดังนั้นจึงไม่ควรนำปั๊มน้ำชนิดอื่นมาใช้แทน เพราะนอกจากจะไม่ได้ประสิทธิภาพดังที่ต้องการแล้ว เครื่องจะเกิดความเสียหายด้วย ปั๊มซัมเมอร์สนี้มีระบบการทำงานเป็นสองส่วนก็คือ ปั๊มน้ำ มอเตอร์ และกล่องคอนโทรลในการควบคุมการทำงานของปั๊ม การเลือกใช้ปั๊มซัมเมอร์สให้เหมาะสมต้องพิจารณาจากชนิดของบ่อบาดาล ความคงที่ของน้ำ ขณะน้ำขึ้นและน้ำลด แรงเคลื่อนไฟฟ้า ให้เข้ากันกับการใช้งานด้วย



ภาพที่ 2-9 ปั๊มบาดาลหรือปั๊มซัมเมอร์ส

## 2.3.2 ปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ (Cavitations) และแรงดันไอ (Vapour pressure)

2.3.2.1 ปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ (Cavitations) คือ ปรากฏการณ์ที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการขยายตัวและยุบตัวลงในภายหลัง สำหรับการเกิดปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอในปั๊ม เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านส่วนต่างๆ ของปั๊มนั้น น้ำมีการเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของปั๊ม และสถานการณ์อื่น ๆ ที่ส่งผลให้แรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ตลอดเวลา โดยลำดับขั้นตอนในการเกิดโพรงไอ มีดังนี้

(1) แรงดันของน้ำในปั๊มลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงผ่านจุดที่มีพื้นที่เล็กด้วยอัตราการไหลของน้ำที่คงที่ หรือน้ำที่เคลื่อนที่อยู่บริเวณปลายใบพัดของปั๊ม ทำให้แรงดันตรงจุดนั้นของน้ำลดต่ำกว่าแรงดันไอของน้ำ จึงทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ หรือฟองไอที่มีแรงดันต่ำกว่าแรงดันไอ การระเหยกลายเป็นฟองไอของน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงดังกล่าวนั้น ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจากเดิมถึงสูงสุดประมาณ 1,700 เท่า โดย

มีลักษณะเป็นฟองสีขาวเคลื่อนที่อยู๋ในน้ำที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และฟองไอนขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

(2) เมื่อฟองไอนที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ต่อไปและเข้าสู่ในจุดที่มีแรงดันในน้ำสูง เช่น ผ่านจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น ก็จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้นแรงดัน ณ จุดดังกล่าวจึงสูงขึ้นและไปบีบ หรือกดให้ฟองไอนดังกล่าวเกิดการยุบตัว แล้วการยุบตัวนี้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็ว อัตราส่วนปริมาตรในการยุบตัวของฟองไอนจากแรงกดเนื่องจากแรงดันที่เพิ่มจะกดให้ฟองไอนยุบตัวกลับภายในเสี้ยววินาที

2.3.2.2 แรงดันไอน (Vapour pressure) เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ โมเลกุลเหล่านั้นก็จะเกิดการเคลื่อนที่ จากนั้นโมเลกุลเหล่านั้นจะวิ่งไปชนกันเองหรือวิ่งชนผนังของภาชนะปิดก็จะเกิดแรงขึ้นซึ่งเมื่อแรงเหล่านี้ที่กระทำต่อพื้นที่ผนัง เรียกแรงนี้ว่า แรงดัน สำหรับในน้ำหรือของเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ แรงดันดังกล่าว ณ อุณหภูมินั้น ๆ เรียกว่า แรงดันไอนอิ่มตัว เช่น แรงดันไอนอิ่มตัวของน้ำ ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 1.013 bar หรือแรงดันไอนอิ่มตัวที่แรงดันบรรยากาศนั่นเอง ดังนั้นที่แรงดันบรรยากาศน้ำจะเดือดหรือเริ่มระเหยตัวที่ 100 องศาเซลเซียส นั่นเอง ทั้งนี้ ของเหลวทุกชนิดจะเดือดหรือกลายเป็นไอนี้ขึ้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบคือน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น อุณหภูมิ และแรงดัน

### 2.3.3 เฮดความดันด้านดูดสุทธิ (Net Positive Suction Head: NPSH)

ในการทำงานของปั๊ม หากความดันทางด้านดูดมีค่าต่ำกว่าความดันของการกลายเป็นไอน์ของของเหลวที่ปั๊มต้องดูด จะทำให้ของเหลวนั้นกลายเป็นไอน์และเกิดโพรงไอน์ขึ้นภายในตัวปั๊มแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มได้ ดังนั้นก่อนที่จะมีการติดตั้งปั๊มน้ำจึงจำเป็นต้องพิจารณาความดันด้านดูดให้มีความเหมาะสมที่ปั๊มแต่ละตัวต้องการ หรือเรียกว่า เฮดความดันด้านดูดสุทธิ (NPSH) ทั้งนี้ NPSH ของปั๊ม่มีอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

2.3.3.1 NPSH ที่ปั๊มต้องการ (Net Positive Suction Head Required: NPSHR) คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบของบริษัทผู้ผลิต เพื่อแสดงว่าปั๊มมีสมรรถนะเท่าใด และทำให้ทราบว่าปั๊มในแต่ละรุ่นมี NPSH ที่ปั๊มต้องการเท่าใด

2.3.3.2 NPSH ที่มีอยู่จริง (Available Net Positive Suction Head: NPSHA) คือ ค่าเฮดด้านดูดที่มีอยู่จริงตามสภาพพื้นที่สำหรับการติดตั้งปั๊มแต่ละตัว เนื่องจากปั๊มจะทำงานได้ตามที่ต้องการนั้น ค่า NPSHA จะต้องมียค่าสูงกว่าค่า NPSHR ดังนั้น ค่า NPSHA จึงเป็นค่าเฮดที่มีความสำคัญมาก

American National Standards Institute (ANSI) และ Hydraulic Institute (HI) ได้กำหนดมาตรฐานไว้ว่า NPSHA ควรที่จะมากกว่า NPSHR อยู่ 10% ( $NPSHA > 1.10 NPSHR$ )

ค่า NPSH ขึ้นอยู่กับความดันไปของของเหลวที่เริ่มถูกปั๊ม พลังงานที่สูญเสียไปในท่อดูด ตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งน้ำหรือแหล่งของเหลว และความดันที่กระทำต่อของเหลวในอ่างนั้น ดังสมการต่อไปนี้

$$NPSHA = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (2-4)$$

เมื่อ  $h_{sp}$  คือ เสดความดันสัมบูรณ์สถิต (Absolute static pressure head) เหนือของเหลวในอ่าง

$$= \frac{P_{SP}}{\gamma} \quad (2-5)$$

$P_{SP}$  คือ ความดันสัมบูรณ์สถิต (Absolute static pressure) เหนือของเหลวในอ่าง

$h_s$  คือ ความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างของเหลวในอ่างกับแนวศูนย์กลางของทางเข้าท่อดูดปั๊ม มีหน่วยเป็น m หรือ ft

ถ้าปั๊มอยู่ต่ำกว่าถังเก็บกักน้ำหรืออ่าง  $h_s$  เป็น +

ถ้าปั๊มอยู่สูงกว่าถังเก็บกักน้ำหรืออ่าง  $h_s$  เป็น -

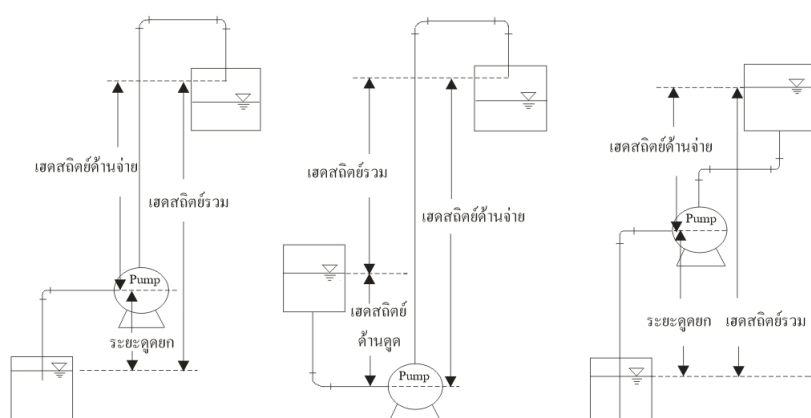
$h_f$  คือ พลังงานที่สูญเสียไปในท่อดูดเนื่องจากแรงเสียดทาน (การสูญเสียหลัก) และการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ต่าง ๆ (การสูญเสียรอง) มีหน่วยเป็น m หรือ ft

$h_{vp}$  คือ เสดความดันไอสัมบูรณ์ (Absolute vapor pressure) ของของเหลว ณ อุณหภูมิของปั๊ม มีหน่วยเป็น m หรือ ft =  $\gamma$

$P_{vp}$  คือ ความดันไอสัมบูรณ์ (Absolute vapor pressure) ของของเหลว ณ อุณหภูมิของปั๊ม

#### 2.3.4 หลักการคำนวณปั๊ม

ระบบปั๊มอาจจะประกอบด้วยท่อ วาล์ว ส่วนประกอบของการติดตั้ง และอื่น ๆ เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบปั๊ม อย่างละเอียดเพื่อใช้ในการเลือกปั๊มนั้น ความต้านทานการไหลของของเหลวที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ จะต้องถูกนำมาคิดคำนวณด้วย ซึ่งการที่จะเอาชนะความต้านทานการไหลของของเหลวในท่อ สิ่งที่จะต้องคิดเพิ่มเติมคือ ระดับเสดความสูงที่เพิ่มขึ้นจากระดับที่ดูดของเหลวขึ้นไปถึงระดับที่ปล่อยของเหลวดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 แสดงเฮดสถิต

#### 2.3.4.1 เงื่อนไขและคำนิยามที่ใช้ในการหาเฮดความสูงของระบบปั๊มที่ต้องการมีดังนี้

(1) ระยะดูดยก (Static Suction Lift) คือ ระยะในแนวตั้งในหน่วยเมตร จากระดับของเหลวที่อยู่ในในแหล่งจ่ายของเหลวถึงตำแหน่งแนวเส้นจุดศูนย์กลางของปั๊ม ซึ่งปั๊มนั้นอยู่นเหนือแหล่งจ่ายของเหลว

(2) เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) คือ ระยะในแนวตั้งในหน่วยเมตร ระหว่างแหล่งจ่ายของเหลว และตำแหน่งแนวเส้นจุดศูนย์กลางปั๊ม โดยปั๊มนั้นอยู่ในระดับล่างของแหล่งจ่ายของเหลว

(3) เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) คือ ระยะในแนวตั้งในหน่วยเมตร จากตำแหน่งแนวเส้นจุดศูนย์กลางปั๊มถึงจุดที่ปล่อยของเหลว

(4) เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head) คือ ระยะในแนวตั้งในหน่วยเมตร ระหว่างแหล่งจ่ายของเหลวถึงจุดที่ปล่อยของเหลว

(5) เฮดความดัน (Pressure Head) คือ แรงดันกระทำที่ทำให้เกิดการไหลคือความแตกต่างของแรงดันเนื่องจากความสูงของของเหลว

(6) เฮดความเร็ว (Velocity Head) คือ พลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของเหลว ซึ่งแสดงในหน่วยเมตร โดยมีสูตรคำนวณคือ  $C^2/2g$

(7) เฮดความต้านทานความสูง (System Resistance Head) คือ ความสูงสมมูลของของเหลวที่ต้องเอาชนะความเสียดทานเนื่องจากอุปกรณ์ภายในท่อเช่น วาล์ว ส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการติดตั้งของท่อในระบบปั๊ม และอื่น ๆ ซึ่งจะนำไปรวมกับเฮดความเร็วและความสูงเสียการไหลด้านเข้าและด้านจ่าย



(8) **เฮดรวมระบบ (System Total Head)** คือ ผลรวมของเฮดความสูงและผลรวมเฮดเสียด

2.3.4.2 หลักการคำนวณความสูงเอเดบัม พลังงานที่สูญเสียในส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบปั๊มมีดังต่อไปนี้

(1) ความสูญเสียความเสียดทานภายในท่อเป็นความเสียดทานการไหลของของเหลวภายในท่อ โดยสูตรการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{c^2}{2g} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $f$  คือ ตัวประกอบความเสียดทาน

$L$  คือ ความยาวท่อ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$d$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m)

$C$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s<sup>2</sup>)

$$C = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2} \quad (2-7)$$

แทนค่าสมการที่ 2-7 ในสมการที่ 2-6 ได้เป็น

$$h_f = f \frac{L}{d} \left( \frac{4\dot{V}}{\pi d^2} \right)^2 \frac{1}{2g} \quad (2-8)$$

$$hf = \frac{8fL}{9\pi^2 d^5} \dot{V}^2 \quad (2-9)$$

$$hf = K_f \dot{V}^2 \quad (2-10)$$

เมื่อ  $K_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$\dot{V}$  คือ อัตราการไหลของของเหลว

2.3.5 ส่วนประกอบของท่อที่ทำให้เกิดความสูญเสียการไหล

2.3.5.1 ความสูญเสียการไหลในท่อที่เกิดจากส่วนประกอบของท่อ ระบบปั๊มจะมีการต่อส่วนประกอบของท่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีทั้งขนาดและทิศทางการเดินของท่อเสมอ ซึ่งจะต้องคิดเป็นส่วนประกอบของท่อที่ต้านทานการไหลของของเหลว ซึ่งเรียกว่า ความสูญเสียการไหลของของเหลวภายในท่อ ที่ต้องนำมาคิดหาเฮดความสูงในระบบปั๊ม ซึ่งความสูญเสียในระบบปั๊มนั้น สามารถอยู่ในรูปของความสูญเสียเสมือนจากความเสียดทานภายในท่อตรง ความยาวเสมือนจะแสดงเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

2.3.5.2 ความสูญเสียการไหลด้านออกและ ความสูญเสียการไหลด้านเข้า

เมื่อของเหลวเข้าที่ท่อจะเกิดความสูญเสียการไหล ซึ่งมีค่าเทียบเป็นเอดความ  
ดังนี้

$$h = 0.5 \frac{C_s^2}{2g} \quad (2-11)$$

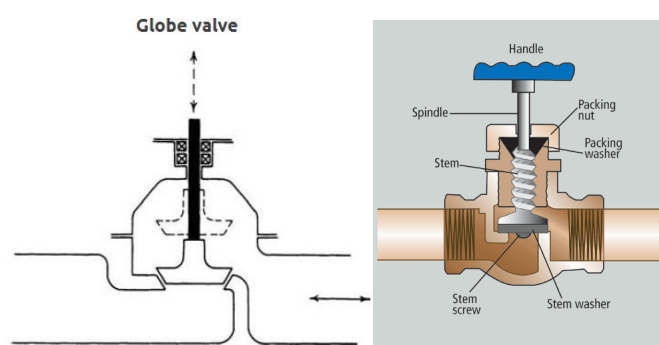
เมื่อของเหลวออกจากท่ออย่างมาก หรือเข้าไปในส่วนที่มีน้ำที่ด้านออก ความ  
สูญเสียการไหลจะเท่ากับ พลังงานจลน์ ซึ่งมีค่าเทียบเป็นเอดความสูงดังนี้

$$h = \frac{C_d^2}{2g} \quad (2-12)$$

โกลบวาล์ว (Globe Valve) เป็นวาล์วปรับปริมาณน้ำ ใช้ในการควบคุมการไหล  
เพราะมีการหักเหทิศทางการไหลของของไหล ให้ขึ้นไปในแนวตั้งฉากจึงหมุนเปิดและปิดได้ง่าย  
กว่า สามารถใช้กับระบบที่มีความแตกต่างความดันสูงมาก ๆ ได้ แต่เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทาง  
การไหล ความดันตกที่ตกคร่อม globe valve มากขึ้นตาม globe valve จึงนิยมใช้เป็นอย่างมากใน  
งานที่ต้องควบคุมอัตราไหลของของไหล โดยปกติแล้วหน้าที่หลัก ๆ ของ Globe Valve จะใช้  
งานควบคุมปริมาณการไหลด้วยการห้วาล์วควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหล (Throttling) แต่  
ยังสามารถใช้ในงานปิด-เปิดได้ด้วยในกรณีที่ต้องการปิด-เปิดบ่อยทั้งนี้เพราะ Globe Valve มีช่วง  
ระยะเคลื่อนที่ไม่มาในการปิดเปิดวาล์ว



ภาพที่ 2-11 แสดงรูปร่างภายนอกของโกลบวาล์ว (Globe Valve)

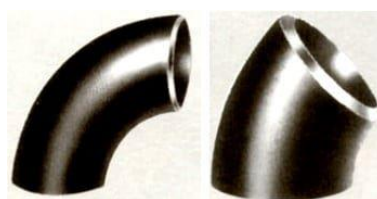


ภาพที่ 2-12 แสดงรูปร่างภายใน โกลบวาล์ว (Globe Valve)

โกลบวาล์ว สามารถนำไปใช้งานในประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

- (1) ความดันสูง (high pressure)
- (2) ความร้อนสูง (high temperature)
- (3) ปรับปริมาณการไหล (regulating)
- (4) ใช้กับ น้ำ น้ำมัน แก๊ส
- (5) ใช้กับไอน้ำ

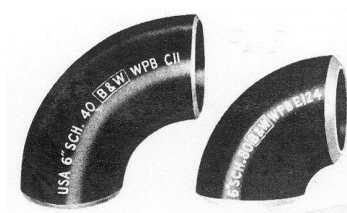
2.3.6 ท่อข้อศอก ข้อศอกใช้มากกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ ของท่อ ให้ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนทิศทางของท่อ ข้อศอกส่วนใหญ่มีให้เลือก 2 แบบคือ  $90^\circ$  และ  $45^\circ$  ข้อศอกมีให้เลือกคือ รัศมีรัศมีสั้น (1D) และรัศมียาว (1.5D)



ภาพที่ 2-13 แสดงท่อข้อศอก

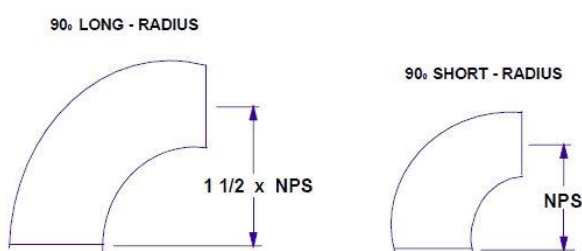
2.3.6.1 ข้อศอก 90 องศา (Elbow Pipe) ติดตั้งอยู่ระหว่างท่อเพื่อเปลี่ยนทิศทางของท่อโดย องศา 90 องศา มีรัศมียาวและสั้น

(1) ข้อศอกรัศมียาว จะมีรัศมีแกนกลางเท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดท่อหรือ 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยปกติข้อศอกรัศมียาว มักจะใช้ในท่อเนื่องจากการสูญเสียแรงดันน้อยกว่า เมื่อเทียบกับข้อศอกสั้นรัศมี โดยต้องใช้พื้นที่มากขึ้นกว่าข้อศอกสั้นรัศมี



ภาพที่ 2-14 แสดงข้อศอก 90 องศารัศมียาวหักศอก

(2) ข้อศอกรัศมีสั้น จะมีรัศมีเป็นเซนติเมตรเท่ากับขนาดระบุของท่อหรือเส้นผ่าศูนย์กลางท่อได้หนึ่งครั้ง ข้อศอกสั้นรัศมีใช้ในพื้นที่จำกัด อย่างไรก็ตามจะมีแรงดันสูงลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการไหลของของเหลวอย่างฉับพลัน



ภาพที่ 2-15 แสดงข้อศอกรัศมียาวและรัศมีสั้น 90 องศา

(3) ข้อศอกลด ถูกออกแบบมาเพื่อเปลี่ยนทิศทาง และลดขนาดของท่อภายในระบบท่อ ข้อศอกลดจะลดข้อต่อท่อ และลดการเชื่อมต่อได้มากกว่าหนึ่งในสาม นอกจากนี้การลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดแนวโค้งของข้อศอกลดลงซึ่งจะช่วย ลดการไหลและลดผลกระทบของกระแส และการพังทลายของของเหลวภายในท่อที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้จะช่วยป้องกันไม่ให้แรงดันตกอยู่ในเส้นข้อศอก

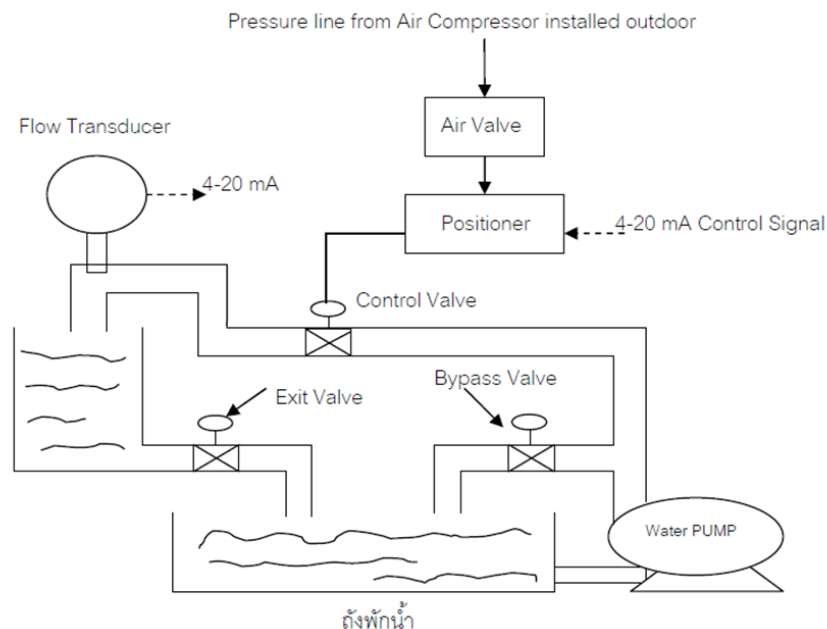


ภาพที่ 2-16 แสดงข้ออกกลดรัศมี 90 องศา

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 ศึกษาการทำงานของ Flow Plant



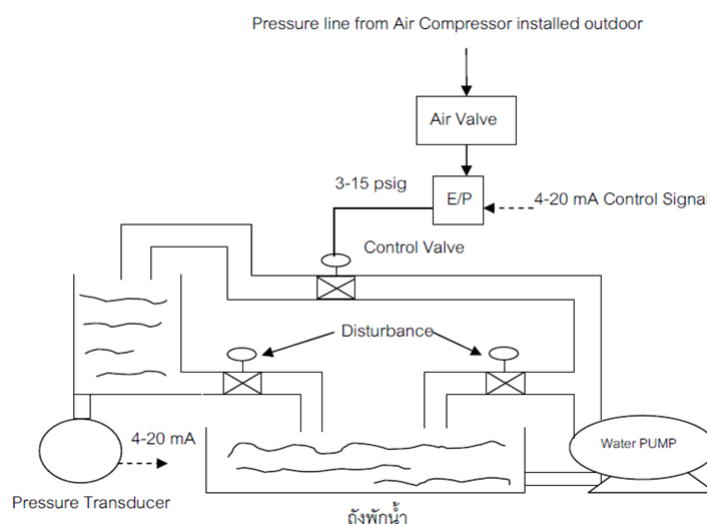
ภาพที่ 3-1 Flow Plant

การทำงานของ Flow Plant เริ่มจาก Water Pump สูบน้ำจากถังพักส่งขึ้นไปตามท่อผ่าน Control Valve แล้วส่งขึ้นกระบอกน้ำที่ด้านล่างของกระบอกน้ำจะมี Exit Valve เพื่อปล่อยน้ำ กลับมาที่ถังพักน้ำส่วนหนึ่งจะไหลผ่าน Bypass Valve กลับเข้าถังพักเพื่อไม่ให้ Water Pump ทำงานหนักในช่วงที่ Control Valve ปิดสนิท

Flow Transducer จะเป็นตัววัดอัตราการไหล (Flow rate) ของน้ำในท่อโดยจะให้สัญญาณ 4-20 mA Control Valve ทำงานด้วยความดันลม โดยมี Valve Positioner ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมตำแหน่งของ ก้านวาล์วให้มีการเปิดตามปริมาณที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ Positionerนี้จะรับคำสั่ง

การเปิด Valve เป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA และจะต่อกับท่อลมไปยัง Air Compressor โดยผ่าน Air Valve ซึ่งเป็น Solenoid ทำหน้าที่เปิดหรือปิดการใช้ลม ดังนั้นจึงต้องเปิด Air Valve ก่อนทุกครั้งที่จะทำการควบคุมและให้ปิดทันทีเมื่อเลิกใช้งานเพื่อประหยัดลมการจำลอง Disturbance ของระบบ อาจทำได้โดยการปรับ Bypass Valve แต่เพื่อความสะดวกและให้เกิดความรวดเร็วในการทดลอง เรา จะเปิด Bypass Valve คงที่และจะทำการจำลอง Disturbance โดยการปรับ Y\_OFFSET ที่ PID-Controller

### 3.2 ศึกษาการทำงานของ plant control system



ภาพที่ 3-2 ระบบ Plant control system

การทำงานของ Plant control system เริ่มจาก water pump สูบน้ำจากถังส่งขึ้นไปตามท่อผ่าน control volume แล้วส่งขึ้นกระบอกน้ำ ที่ด้านล่างของกระบอกน้ำจะมี exit valve เพื่อปล่อยน้ำกลับไปที่ถังพัก น้ำส่วนหนึ่งจะไหลผ่าน Bypass valve กับเข้าถังพักเพื่อไม่ให้ water pump ทำงานหนักในช่วงที่ control volume ปิดสนิท pressure transducer จะเป็นตัววัดระดับน้ำในกระบอกน้ำ โดยจะให้สัญญาณ 4-20 mA control volume ทำงานด้วยลม ดังที่แสดงรายละเอียดในภาพที่ 2-1 แต่สัญญาณที่ส่งไปควบคุม (control signal) เป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ E/P ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA ให้เป็นสัญญาณลมมาตรฐาน (Pneumatic Signal) ขนาด 3-15 psig เพื่อควบคุม control volume

E/P จะต่อกับท่อลมไปยัง Air Compressor โดยผ่าน Air valve ซึ่งเป็น Solenoid ทำหน้าที่เปิดหรือปิดการใช้ลม ดังนั้นจึงต้องเปิด Air valve ก่อนทุกครั้งที่จะทำการควบคุมและให้ปิดทันทีเมื่อเลิกใช้งาน เพื่อประหยัดลม

การจำลอง Disturbance ของระบบทำได้โดยการปรับ exit valve หรือปรับ Bypass Valve แต่ในที่นี้จะใช้การปรับ exit valve เป็นการจำลอง Disturbance โดยให้เปิด Bypass Valve คงที่

### 3.3 ศึกษาอุปกรณ์ใน Ultrasonic level sensor

Arduino Uno R3 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์ส ขนาด 8 บิต คือเปิดเผยข้อมูลทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สู่สาธารณะ ซึ่งหมายความว่าทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของ Arduino สามารถนำไปใช้งานแจกจ่ายได้ฟรีและยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้อีกด้วย แม้ว่า Arduino จะมีขนาดเล็กแต่ก็สามารถทำงานหลายๆอย่างด้วยการเขียนโปรแกรมสั่งงานลงไปและประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เช่น การเกษตรวัดอุณหภูมิและความชื้นในดินพร้อมทำระบบเปิด/ปิดน้ำอัตโนมัติ งานหุ่นยนต์ เช่น การสร้างหุ่นยนต์ได้นำที่ระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับ เป็นต้น เนื่องจาก Arduino เป็นเพียงไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กเท่านั้น ไม่ได้มีระบบประมวลผลและหน่วยความจำที่มากนัก ดังนั้น Arduino จึงไม่ได้เน้นเรื่องการคิดคำนวณหรือประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ แต่มีหน้าที่หลักสองประการดังนี้

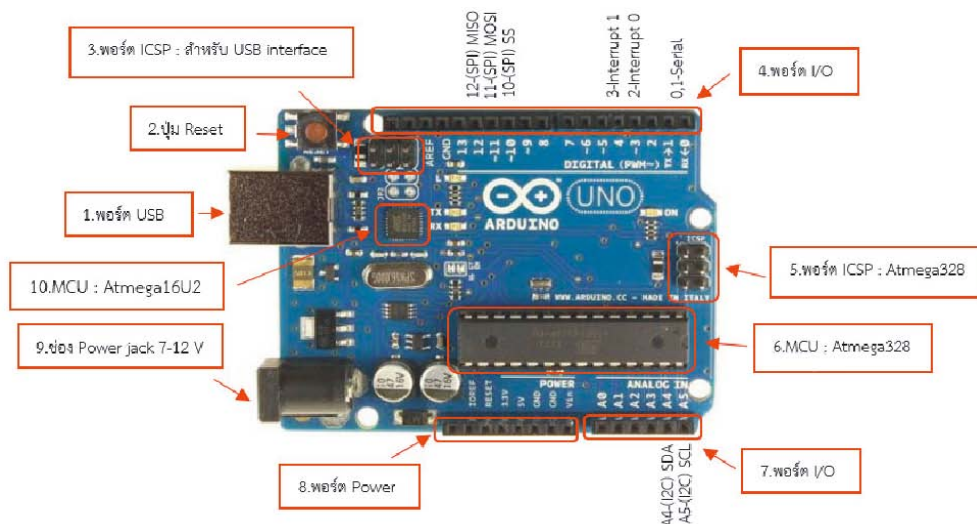
ประการแรก ใช้สำหรับตรวจจับ (sensor) เพื่อรับค่าอินพุตที่มาจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ เช่น รับค่าอุณหภูมิและความชื้นมาจาก sensor เป็นต้น

ประการที่สอง ใช้เพื่อส่งเอาต์พุตเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ ควบคุมเปิด/ปิดไฟภายในบ้าน เป็นต้น



### 3.3.1 ส่วนประกอบของ Arduino Uno

#### 3.3.1.1บอร์ด Arduino Uno



ภาพที่ 3-3 Arduino Uno R3

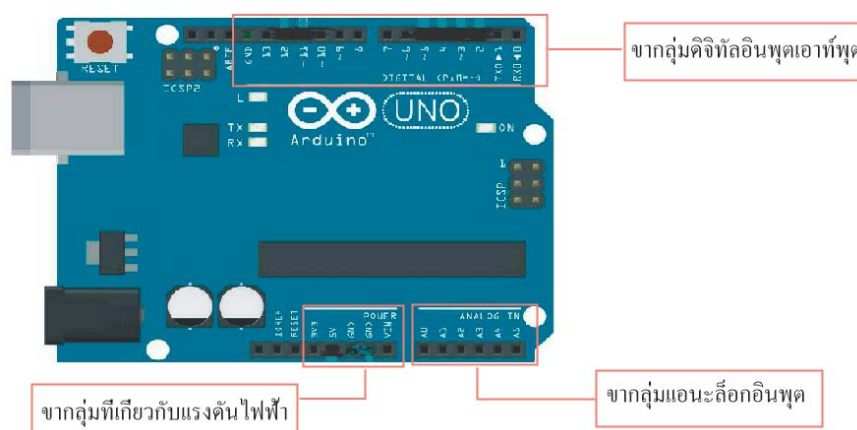
- (1) USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- (2) Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- (3) ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2 ขา ICSP ใช้สื่อสารกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ผ่านระบบ SPI บัส
- (4) I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นเพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
- (5) ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader ขา ICSP ใช้สื่อสารกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ผ่านระบบ SPI บัส
- (6) MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นชิพหลักของ Uno
- (7) I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็นช่องเพื่อใช้รับสัญญาณแอนะล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- (8) Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
- (9) Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

(10)MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อ กับ Computer ผ่าน Atmega16U2

การติดต่อสื่อสารระหว่าง Arduino UNO กับอุปกรณ์ต่างๆ จะติดต่อผ่านทางขาอินพุตหรือเอาต์พุต ซึ่งมีหลักการง่ายๆ ก็คือ ขาที่ใช้รับสัญญาณ ( Sense) เข้ามายังบอร์ด จะกำหนดให้ขานั้นเป็นอินพุต ส่วนขาที่ใช้เพื่อส่งสัญญาณหรือข้อมูลออกไปจาก Arduino UNO ให้กำหนดเป็นเอาต์พุต

### 3.3.1.2 รายละเอียดของบอร์ดของขาต่างๆใน Arduino UNO

บอร์ด Arduino UNO นั้นส่วนประกอบที่น่าสนใจมีอยู่มากมายดังที่ได้กล่าวมา แต่สำหรับขาที่ใช้ งานบ่อยๆ และจำเป็นต้องทราบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้



ภาพที่ 3-4กลุ่มขาของบอร์ด Arduino Uno

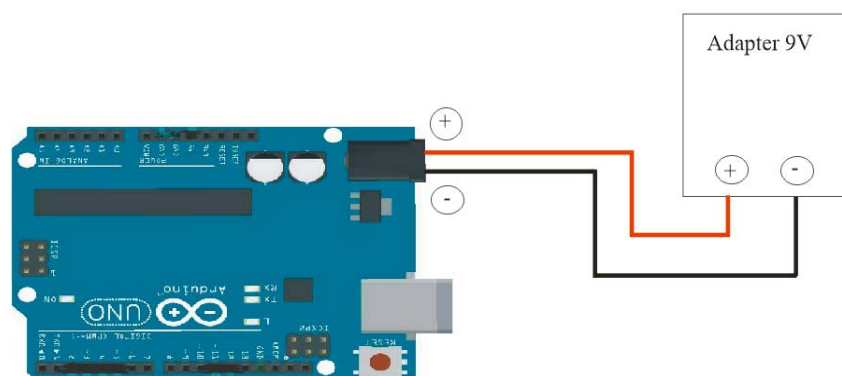
- (1)ขา Vinเป็นขาอินพุตสำหรับต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์จากแหล่งจ่ายไฟภายนอกเข้ามายัง Arduino UNO
- (2)ขาจ่ายไฟ 5 โวลต์ (5 V) ใช้จ่ายไฟ 5 โวลต์สำหรับต่อกับวงจรภายนอกหรือใช้สำหรับต่อขาเข้ากับขา Vccของอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ที่รองรับไฟ 5 โวลต์
- (3)ขาจ่ายไฟ 3.3 โวลต์ (3.3 V) ใช้สำหรับจ่ายไฟ 3.3 โวลต์สามารถนำไปต่อเข้ากับขา Vccของอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ที่รองรับไฟ 3.3 โวลต์ เช่น โมดูลรับส่งสัญญาณบลูทูธ และ โมดูลวัดอุณหภูมิ บางรุ่น เป็นต้น
- (4)ขากราวด์ (GND) ใช้เป็นขาราวด์ร่วมกันระหว่างบอร์ด Arduino UNO กับวงจรภายนอกหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆโดย Arduino UNO ได้เตรียมขาราวด์มาให้ถึง 3 ตำแหน่งด้วยกัน
  - ขากลุ่มดิจิทัลอินพุตเอาต์พุตมีจำนวน 14 ขา (0-13) โดยสามารถเลือกที่จะใช้เป็นโหมคอินพุต หรือโหมคเอาต์พุต สัญญาณที่ผ่านเข้าออกที่ขานี้สามารถเป็นค่าดิจิทัล 0 หรือ 1 และในบางขา

(เช่น ขา 3 , 5 , 6 , 9 , 10 และ 11) ยังสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตในแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ที่สามารถแสดงค่าดิจิทัลที่แตกต่างกันได้ 256 ระดับ (จำนวน 8 บิต) นอกจากนั้นที่ขา 0 และขา 1 ยังสามารถใช้เป็นขาที่รับ และส่งข้อมูลอนุกรมในแบบอะซิงโครนัสตามลำดับ

- ขากลุ่มแอนาล็อกอินพุตมีจำนวน 6 ขา (A0 – A5) เป็นขาอินพุตที่รับค่าแอนาล็อกขนาด 10 บิต ดังนั้นจึงสามารถตรวจสอบความแตกต่างของระดับอินพุตได้ตั้งแต่ 0 – 1023 ระดับ

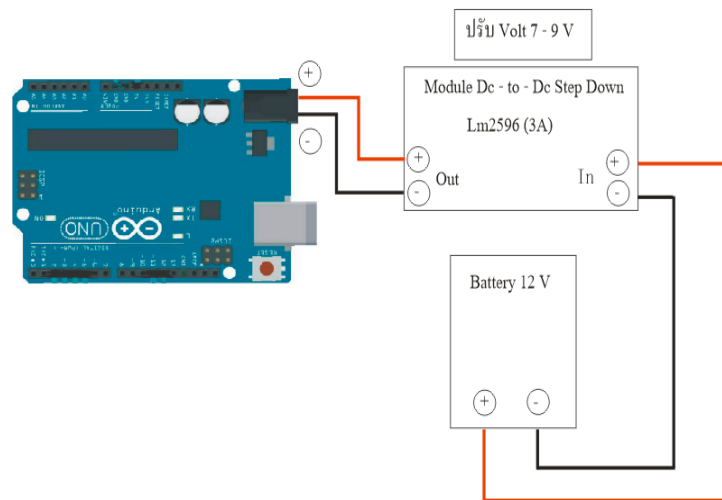
3.3.1.3 การต่อไฟเลี้ยงบอร์ด Arduino UNO R3 ผู้ผลิตจะแนะนำมาว่า แรงดัน Input จะอยู่ในช่วง 7-12 V พื้นฐานของ ATmega328P จะรองรับแรงดันที่ 5V หากป้อนไฟแรงดันที่ 12 V วงจร Regulator จะต้องครอบแรงดัน ถึง 7 V เพื่อป้อนให้กับ ATmega328P ซึ่งความร้อนสะสมที่วงจร Regulator ความร้อนยิ่งสูงก็จะทำให้ไม่ทนจนเสียไปในที่สุด หากใช้งานชั่วขณะสามารถใช้งานได้ แต่ถ้าหากใช้ในระยะเวลาานานๆ ความร้อนสูงๆ สะสมนานๆวงจร Regulator รองรับไม่ไหวซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงควรใช้แรงดัน 9V ซึ่งจะทำให้ใช้ได้ยาวนานไม่มีความร้อนสะสมมากเกินไป ซึ่งวิธีต่อไฟเลี้ยงไปยังบอร์ด Arduino UNO สามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 ต่อไฟเลี้ยงผ่านสาย USB เช่น ต่อสาย USB จากคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ด UNO หรือจะต่อ USB จากอะแดปเตอร์ของโทรศัพท์มือถือก็ได้



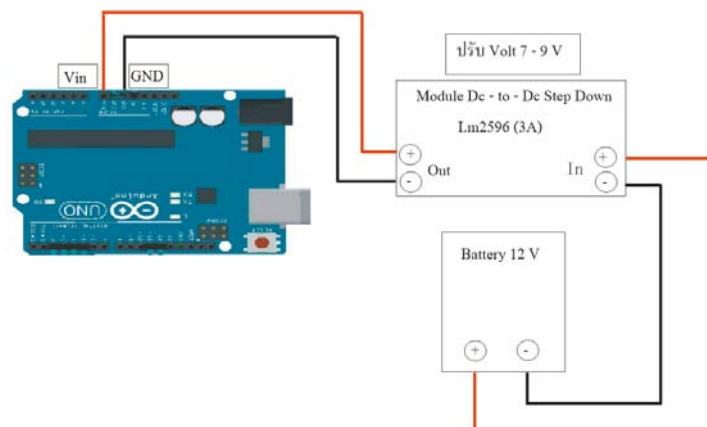
ภาพที่3-5การต่อไฟเลี้ยงผ่านสาย USB

วิธีที่ 2 ต่อไฟเลี้ยงบอร์ดจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงด้วยแจ็ก 2.1 มิลลิเมตร (Barrel Jack) เช่น จากอะแดปเตอร์ 12 V หรือจากแบตเตอรี่แพ็ค แล้ว ใช้วงจร Module DC-to-DC Step down Converter LM2596 (3A) ช่วงแบ่งการครอบ แรงดันก่อนจะป้อน ไปยัง Arduino เพื่อแบ่งเบาภาระให้กับวงจร Regulator



ภาพที่3-6การต่อไฟเลี้ยงบอร์ดจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงด้วยแจ็ก 2.1 มิลลิเมตร

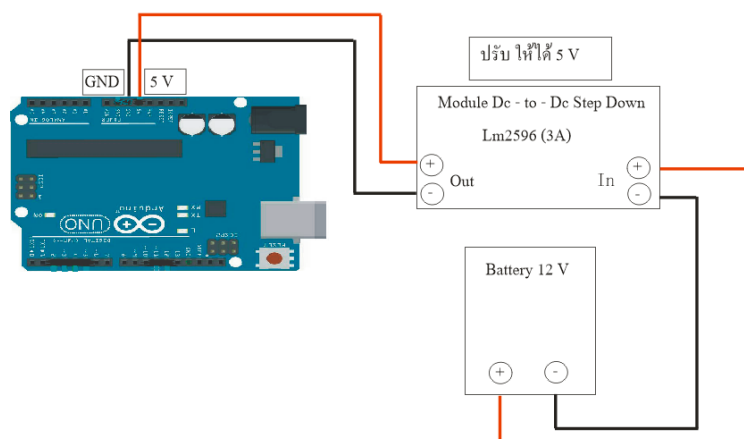
วิธีที่ 3 ต่อไฟเลี้ยงเข้าที่ขา Vin และต่อกราวด์ที่ขา GND เช่นต่อสายแบตเตอรี่แพ็คเป็นคั่น โดยต่อขั้วบวกไปยังขา Vin และจ่อขั้วลบไปยังขา GND



ภาพที่3-7 การต่อไฟเลี้ยงเข้าที่ขา Vin และต่อกราวด์ที่ขา GND

การต่อวิธีที่ 2 และ 3 ดังกล่าวเราอาจจะลดแรงดัน Volt อยู่ที่ประมาณ 7-9 Volt ก่อนป้อนไปยัง Arduino Uno ข้อดี เวลาแบตเตอรี่ใกล้จะหมด Volt จะหมด แต่เรายังอาศัยวงจร Regulator บน Arduino Uno ทำให้ไฟนิ่งข้อเสีย เรายังใช้วงจร Regulator บนตัว Arduino วงจร Regulator ออกแบบมาให้ใช้กระแสสูงสุดที่ 800mA หากเราต่อ Sensor จำนวนเยอะๆ กระแสอาจจะไม่พอได้

วิธีที่ 4 ใช้วงจร Module DC-to-DC Step down Converter LM2596 (3A) ลดแรงดันให้เหลือ 5V แล้วป้อนไปยังช่อง 5V ของ Arduino



ภาพที่3-8 การใช้วงจร Module DC-to-DC Step down Converter LM2596 (3A)

ลดแรงดันให้เหลือ 5V

หลักการทำงานคือเราจะไม่ใช้วงจร Regulator ของ Arduino อีกแล้ว เพราะมีขนาดเล็กรองรับกระแสแรงดันได้น้อย (ตัวเล็กนิดเดียวจะเอาอะไรกับเขาได้ไม่มาก) โดยป้อนไฟ 5V โดยตรงข้อดี เมื่อเราไม่ใช้วงจร Regulator ของ Arduino ทำให้การจ่ายกระแสทำได้เยอะขึ้นดีขึ้นต่อ Sensor ได้เยอะขึ้น การทำงานของ Sensor เสถียรมากขึ้นข้อเสีย การต่อวงจรแบบนี้ไม่แนะนำสำหรับมือใหม่ เพราะอาจจะขาดความระมัดระวัง การต่อวงจรอาจจะทำให้เสียได้ และในส่วนของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดแรงดันก็จะตก ทำให้ Volt ตกด้วย หากเป็นไปได้อาจจะใช้ Regulator IC 7805 ก็ได้เช่นกันเพื่อแก้ปัญหาไฟตกตามแบตเตอรี่เช่นกันข้อควรระวัง แม้ว่าบอร์ด Arduino UNO จะทำงานที่ 5 โวลต์ แต่เราสามารถต่อไฟเลี้ยงบอร์ดได้ตั้งแต่ 6 – 20 V เพราะบอร์ด UNO มีวงจรปรับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) ให้คงที่อยู่แล้ว อย่างไรก็ตามผู้ผลิตก็ได้แนะนำว่าควรต่อไฟเลี้ยงระหว่าง 7 – 12 V เนื่องจากเหตุผล 2 ประการดังต่อไปนี้

ประการแรก ถ้าไฟเลี้ยงบอร์ดต่ำกว่า 7 V จะทำให้ขา 5 V ของบอร์ด Arduino UNO จ่ายไฟต่ำกว่า 5 V การทำงานร่วมกับเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ที่ใช้ไฟจากขานี้อาจทำงานผิดพลาดได้

ประการที่สอง หากไฟเลี้ยงบอร์ดสูงกว่า 12 V บอร์ดจะร้อนเกินไปและอาจเกิดความเสียหายต่อบอร์ดได้

### 3.3.1.4 Arduino และการรับส่งข้อมูลในแบบอนุกรม

Arduino UNO ได้เตรียมขาอินพุตและเอาต์พุตสำหรับต่อกับเซ็นเซอร์ อุปกรณ์หรือวงจรภายนอกเอาไว้ใช้งาน โดยมีขาดิจิทัลจำนวน 14 ขา (0-13) และขาแอนาล็อก 6 ขา (A0-A5) ซึ่งการที่ Arduino UNO จะสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นต้องทราบโปรโตคอล (Protocol) ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์ที่ใช้กำหนดว่าจะสื่อสารกันอย่างไร โดยการสื่อสารแบบอนุกรมที่ควรทราบมี 3 แบบ ดังนี้

(1) UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)เป็นการสื่อสารแบบอนุกรมที่ไม่ใช้สัญญาณนาฬิกา เพียงกำหนดนาฬิกาอัตราการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งสองให้ตรงกันก็สามารถสื่อสารกันได้แล้ว

(2) SPI(Serial Peripheral Interface)เป็นการสื่อสารที่ใช้สัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล โดยใช้สัญญาณนาฬิกาของมาสเตอร์และสเลฟเพื่อเลือกว่าอุปกรณ์ตัวไหนจะติดต่อกัน เราสามารถกำหนดอุปกรณ์ให้เป็นมาสเตอร์ได้เพียง 1 ตัวเพื่อทำหน้าที่ส่งข้อมูล (Singer – Master) แต่สามารถกำหนดอุปกรณ์ให้เป็นสเลฟได้หลายตัว (Multi – Slave) เพื่อรับข้อมูลจากมาสเตอร์ตัวเดียวกัน

(3) I2C (Inter – Integrated Circuit)เป็นการสื่อสารที่สามารถกำหนดอุปกรณ์ให้เป็นมาสเตอร์ได้หลายตัว (Multi – master) และยังสามารถกำหนดสเลฟได้หลายตัว (Multi – Slave) โดยมาสเตอร์จะเป็นผู้กำหนดสัญญาณนาฬิกาและส่งข้อมูลไปยังแอดเดรสของอุปกรณ์ที่เป็นสเลฟ

ดังนั้นก่อนที่จะเรานำอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ต่างๆ มาใช้กับ Arduino UNO เราต้องทราบเสียก่อนว่าอุปกรณ์ดังกล่าวใช้วิธีการติดต่อสื่อสารในแบบไหน จากนั้นจึงเชื่อมต่ออุปกรณ์ตามข้อกำหนดของโปรโตคอล

3.3.1.5การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : UART)เป็นการส่งข้อมูลในแบบอนุกรมธรรมดา ที่วางข้อมูลไปที่ละบิตผ่านสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมจังหวะการส่งข้อมูล ความเร็วในการส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ถูกส่งไปในหนึ่งวินาที เรียกว่า อัตราบอด (Baud Rate) เช่น หากกำหนดอัตราเร็วบอดเป็น 9600 ก็หมายถึง เราสามารถส่งข้อมูลได้ 9600 บิตในหนึ่งวินาที เป็นต้น Arduino UNO ได้เตรียมขา 0 สำหรับรับข้อมูล (RX) และขา 1 สำหรับส่งข้อมูล (TX) โดยจะถูกใช้งานในกรณีดังต่อไปนี้

(1) อัปโหลดโค้ด Sketch UNO ไปยัง Arduino UNO

(2) แสดงข้อมูลไปยังหน้าจอ Serial Monitor

(3) รับข้อมูลจากผู้ใช้งานทาง Serial Monitor

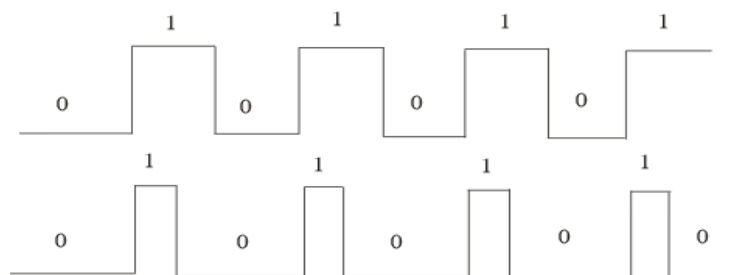
(4) ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกในแบบ UART

การติดต่อสื่อสารระหว่าง Arduino UNO กับอุปกรณ์ต่างๆ จะติดต่อผ่านทางขาอินพุตหรือเอาต์พุต ซึ่งมีหลักการง่ายๆ ก็คือ ขาที่ใช้รับสัญญาณ (Sense) เข้ามายังบอร์ด จะกำหนดให้ขาเป็นอินพุต ส่วนขาที่ใช้เพื่อส่งสัญญาณหรือข้อมูลออกไปจาก Arduino UNO ให้กำหนดเป็นเอาต์พุต

ขาดิจิตอลขาที่ 3 , 5 , 6 , 9 , 10 และ 11 ของ Arduino UNO สามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตในรูปแบบ Pulse Width Modulation ได้ ซึ่ง Pulse Width Modulation มีหลักการทำงานดังนี้

PWM (Pulse Width Modulation) เป็นวิธีที่ทำให้เราสามารถใช้นิยามสัญญาณดิจิตอลที่มีเพียง 2 ค่าคือ 0 กับ 1 แสดงค่าทางแอนะล็อกได้ เช่น แสดงผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน 256 ระดับ เป็นต้น

PWM จะใช้วิธีแสดงค่าดิจิตอลที่มีเพียง 2 ค่าในรูปแบบคลื่น (แสดงเป็น Low หรือ High) หากคลื่นแตกต่างกันผลลัพธ์ของค่าแอนะล็อกที่ได้ก็จะแตกต่างกันดังรูปภาพ



ภาพที่ 3-9 แสดงพัลส์ดิจิตอลที่แตกต่างกัน

จากรูปแม้ว่าคลื่นที่เกิดจากสัญญาณทางดิจิตอลจะมีเพียง 2 ระดับคือ High และ Low แต่เราสามารถวัดความกว้างของคลื่น (Pulse Width) ที่แตกต่างกันมาคำนวณหาจำนวนเปอร์เซ็นต์ของคลื่นที่เป็น High ว่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์จากระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้แสดงคลื่นหนึ่งรอบ (เรียกว่า คาบ หรือ Period) เรียกเปอร์เซ็นต์ที่ใช้บอกถึงเวลาที่ใช้แสดงค่า High ในแต่ละคาบว่า Duty Cycle ซึ่งเราสามารถนำเปอร์เซ็นต์เหล่านี้มาใช้แทนค่าทางแอนะล็อกได้

วิธีคำนวณค่า Duty Cycle สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

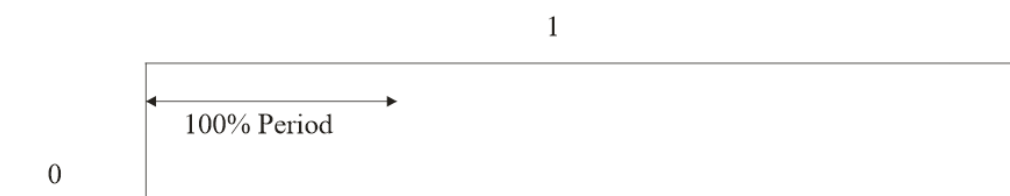
$$\text{Duty Cycle} = t_{\text{High}} / (t_{\text{High}} + t_{\text{Low}}) \quad (3-1)$$

$t_{\text{High}}$  คือ ช่วงเวลาที่คลื่นดิจิตอลเป็น High ที่ปรากฏในหนึ่งคาบ

$t_{\text{Low}}$  คือ ช่วงเวลาที่คลื่นดิจิตอลเป็น Low ที่ปรากฏภายในหนึ่งคาบ

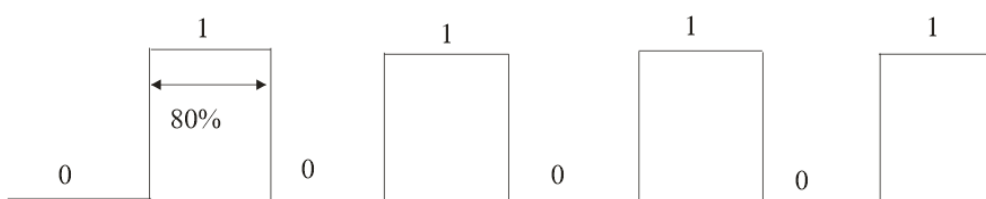
ตัวอย่างคลื่นที่มี Duty Cycle เป็น 100% , 50% , และ 25% ตามลำดับ

กรณีที่ 1 Duty Cycle มีค่าเป็น 100% หมายถึง ระยะเวลาที่แสดงที่แสดงค่าดิจิทัลเป็น High คือ 100% เต็มเมื่อเทียบกับช่วงเวลาหนึ่งคาบ (Period)



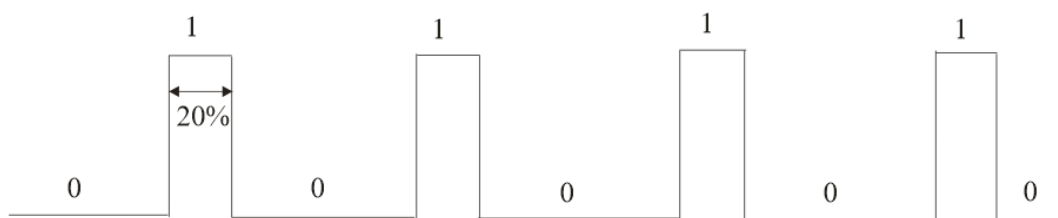
ภาพที่ 3-10 Duty Cycle มีค่าเป็น 100%

กรณีที่ 2 Duty Cycle มีค่าเป็น 50% หมายถึง ระยะเวลาที่แสดงที่แสดงค่าดิจิทัลเป็น High คือ 50% เต็มเมื่อเทียบกับช่วงเวลาหนึ่งคาบ (Period)



ภาพที่ 3-11 Duty Cycle มีค่าเป็น 50%

กรณีที่ 3 Duty Cycle มีค่าเป็น 25% หมายถึง ระยะเวลาที่แสดงที่แสดงค่าดิจิทัลเป็น High จะมีเพียง 25% ดังรูปภาพ



ภาพที่ 3-12 Duty Cycle มีค่าเป็น 25%

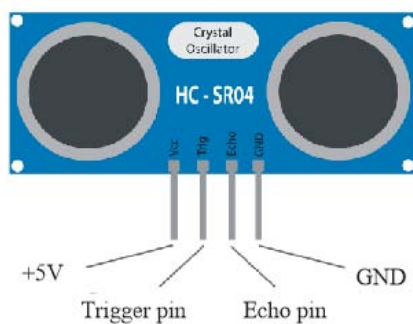


Arduino UNO ได้เตรียมขาที่สามารถจ่ายเอาต์พุตแบบ PWM ขนาด 8 บิต (แอนะล็อก 256 ระดับ) เฉพาะขาดีจิทัลที่ 3 , 5 , 6 , 9 และขาที่ 11 ส่วนขาดีจิทัลอื่นๆ จะสามารถใช้เป็นเอาต์พุตแบบดีจิทัลเท่านั้น (Low หรือ High)

#### คุณลักษณะของบอร์ด Arduino UNO R3

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328P
แรงดันไฟฟ้า	5 V
แรงดันไฟฟ้าอินพุต (แนะนำ) 7-12V	
แรงดันไฟฟ้าอินพุต (จำกัดไว้ที่)	6-20V
ดีจิทัลอินพุตและเอาต์พุต I/O	14 บิต (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM)
แอนะล็อกอินพุต 6 บิต	
แรงดันและกระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละบิตต่อขา I/O	5 V ,40 mA
แรงดันและกระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V	3.3 V ,50 mA
หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory)	32 KB (500 B Boot Loader ATmega328)
หน่วยความจำแรม (SRAM)	2 KB (ATmega328)
หน่วยความจำอีพรอม (EEPROM)	1 KB (ATmega328)
ความถี่ (Clock Speed)	16 MHz
ขนาด	68.6 × 53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

#### 3.3.2 เซนเซอร์ Ultrasonic Module (HC-SR04)



ภาพที่ 3-13 Ultrasonic Module (HC-SR04)

เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 สำหรับวัดระยะทาง สามารถวัดระยะทางได้ตั้งแต่ 2 ถึง 450 เซนติเมตร ใช้ไฟเลี้ยง 5 V กินกระแสไฟฟ้า 3 มิลลิแอมป์ สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ได้

คุณลักษณะของUltrasonic Sensor (HC-SR04)

- (1) ใช้แรงดันไฟฟ้า: DC 5V
- (2) ใช้กระแสไฟฟ้า: 3 มิลลิแอมป์
- (3) อุณหภูมิในการทำงาน: 0-70°C
- (4) ช่วงการตรวจจับ: 2-450 เซนติเมตร
- (5) ตรวจจับความแม่นยำ: 0.3 ซม. +- 1%
- (6) ขนาดเซนเซอร์: 21× 47 ×17 มิลลิเมตร (กว้าง×ยาว ×สูง)

3.3.2.1 หลักการทำงานของUltrasonic Module (HC-SR04)เซ็นเซอร์ Ultrasonic ใช้เสียงสะท้อนกลับในการคำนวณวัดระยะทาง 2 - 400 cmมีขาใช้งาน4ขา ได้แก่ ขาVcc,Trig,Echo,Gnd

- (1) ขา Vccใช้ต่อไฟกระแสตรง 5 V
- (2) ขา Gndใช้ต่อกับกราวด์เพื่ออ้างอิงแรงดันไฟฟ้าระหว่างโมดูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์
- (3) ขา Echo เป็นขาเอาต์พุตของโมดูล HC-SR04 ซึ่งจะส่งสัญญาณบอกให้ทราบว่าเสียงเดินทางไปและกลับใช้เวลานานเท่าไรโมดูลจะพัลลวกับ 5V เอาต์พุตจะเป็น 5V ในขณะที่สิ่งกีดขวางอยู่ในช่วงหรือ 0V หากไม่ออกขาออก
- (4) ขา Trig เป็นขาอินพุตของโมดูล HC-SR04 เมื่อโมดูลได้รับสัญญาณพัลส์ก็จะส่งสัญญาณคลื่นเสียง อัลตราซาวด์ ความถี่ 40 kHzออกไปเพื่อทำการวัดระยะทาง

การวัดระยะทางระหว่างวัตถุ สามารถใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งมีหลักการดังนี้

- เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจะส่งคลื่นเสียงออกไป เมื่อเสียงดังกล่าวไปกระทบวัตถุก็จะสะท้อนกลับมา เนื่องจากเราทราบความเร็วของเสียง ดังนั้นเมื่อทราบเวลาที่เสียงเดินทางไปแล้วกลับก็จะสามารถคำนวณระยะทางระหว่างวัตถุได้

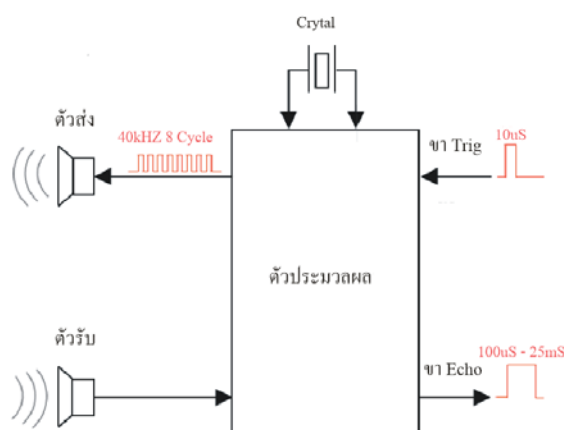
- การคำนวณระยะทาง จะใช้สมการ  $S = V \times T$  เมื่อ S คือระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร และ V คือความเร็วมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที และ T คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที แต่ในทางปฏิบัติการวัดระยะทางด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกกับ Arduino จะเป็นระยะทางที่ใกล้ๆ โดย เซ็นเซอร์

Ultrasonic ใช้เสียงสะท้อนกลับในการคำนวณวัดระยะทาง 2 - 400 cm ดังนั้นเราจึงต้องแปลงหน่วยให้เล็กลงมา (ระยะทางควรมีหน่วยเป็นเซนติเมตรส่วนเวลาก็คจะใช้เป็นไมโครวินาที)

- ความเร็วเสียงคือ 340 เมตร/วินาที หรือ 0.034 เซนติเมตร/ไมโครวินาที ซึ่งเซ็นเซอร์ต้องคำนวณเวลาที่เสียงเดินทางทั้งไปและกลับ ดังนั้นระยะทางในการเดินทางของเสียงจึงเป็น 2 เท่าของระยะห่างจริง เมื่อค่าต่างๆ ลงสมการ  $S = V \times T$  ก็จะได้สูตรการคำนวณของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกเป็นดังนี้

$$S = 0.034 \times \frac{T}{2} \quad (3-2)$$

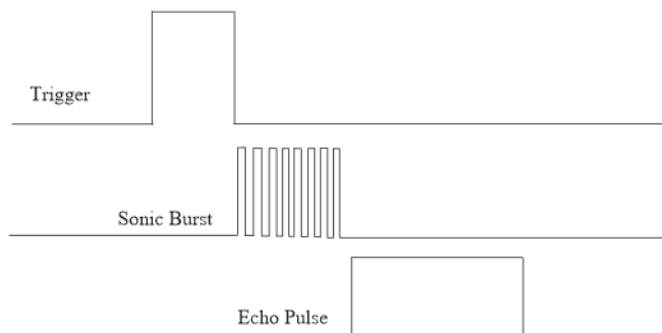
เมื่อ  $S$  คือระยะทางมีหน่วยเป็นเซนติเมตร  
 $T$  คือเวลามีหน่วยเป็นไมโครวินาที



ภาพที่3-14การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

จากภาพที่ 3-14 จะเห็นว่าเมื่อมีการส่งสัญญาณเข้าไปที่ Trig วงจรภายในจะเริ่มสร้างคลื่น 40kHz จำนวน 8 ลูกคลื่นออกไป โดยใช้ความถี่จากคริสตัลเป็นตัวอ้างอิง แล้วตัวส่งที่เปรียบเสมือนลำโพง จะส่งสัญญาณออกไป จากนั้นเมื่อคลื่นวิ่งกลับมาที่ตัวรับ ที่เปรียบเสมือนเป็นไมโครโฟน สัญญาณไฟฟ้าจะผ่านตัวประมวลผล แล้วให้ค่าเอาต์พุตออกมาทางขา Echo ซึ่งแกนหลักของเซ็นเซอร์จะเป็นตัวประมวลผล ซึ่งตัวประมวลผลนี้ ในแต่ละรุ่นก็จะแตกต่างกันออกไป รุ่น HC-SR04 จะใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATtiny24 โดยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกที่นิยมใช้กับ Arduino คือ โมดูล HC-SR04 เนื่องจากราคาไม่แพง และมีความถูกต้องแม่นยำในระดับหนึ่ง

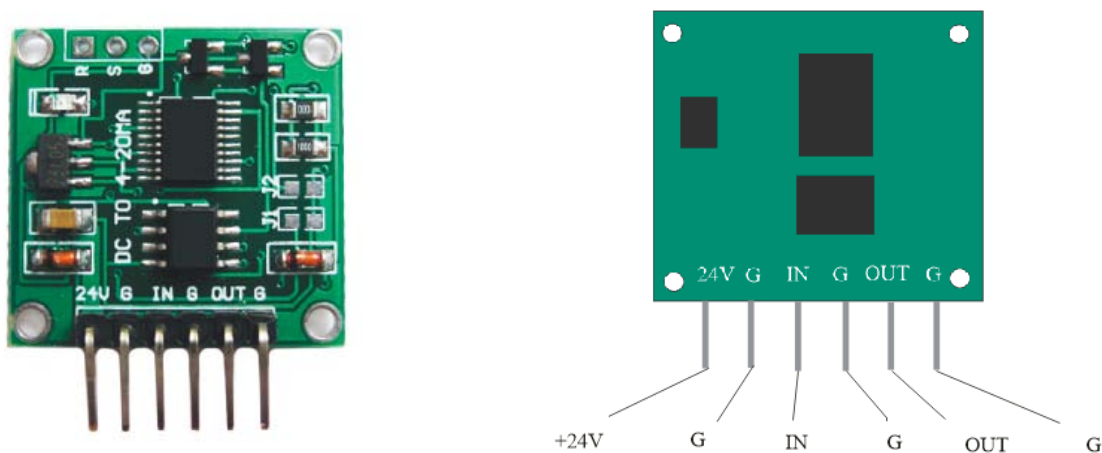
การทำงานของโมดูล HC – SR04 สามารถสรุปได้ดังนี้



ภาพที่3-15 การทำงานของโมดูล HC – SR04

- (1) เมื่อส่งสัญญาณพัลส์ (กว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาที) ไปที่ขา Trig ของโมดูล HC –HR04 โมดูล HC –HR04 จะส่งสัญญาณเสียงออกไป (คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ต จำนวน 8 ไซเคิล)
- (2) ขณะที่โมดูลส่งสัญญาณเสียงออกไปที่ขา Echo ของโมดูล HC –HR04 จะเปลี่ยนจาก LOW เป็น High
- (3) เมื่อโมดูล HC –HR04 ได้รับสัญญาณเสียงสะท้อนกลับที่ขา Echo จะเปลี่ยนจาก High เป็น Low
- (4) เวลาซึ่งขา Echo คงสัญญาณไว้ที่ระดับ High คือเวลาที่เสียงเดินทางไปและกลับ

### 3.3.3 โมดูลแปลงสัญญาณไฟ



ภาพที่ 3-16 โมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5v เป็นกระแส 4-20 mA

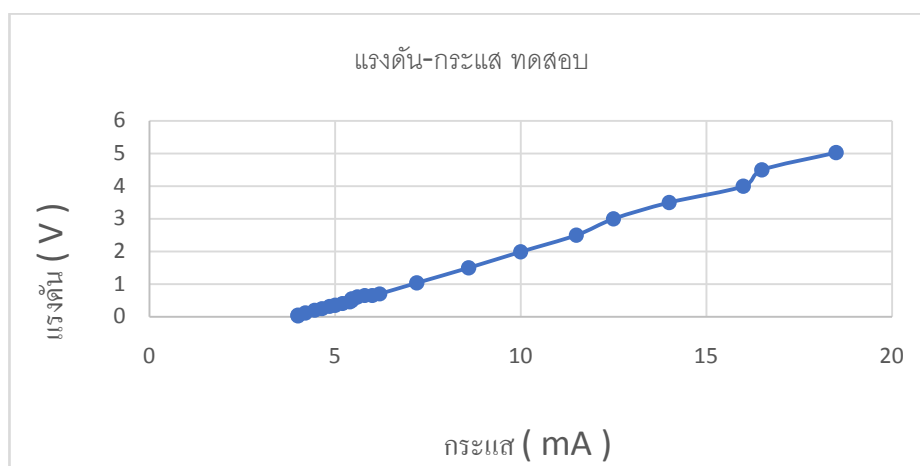
การทำงานของ โมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 Vเป็นกระแส 4-20 mA โมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 Vเป็นกระแส 4-20 mA ใช้ไฟเลี้ยง 9-24 V ทำหน้าที่รับแรงดันอินพุตประมาณ 0-5 V เป็นกระแสเอาต์พุตประมาณ 4-20mA เพื่อส่งสัญญาณไปที่ PLC ในการควบคุมระดับน้ำในกระบอกน้ำ

ผลการทดสอบโมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 Vเป็นกระแส 4-20 mA

ตารางที่3-1แสดงแรงดันเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุต

แรงดัน (V)	กระแส (mA)
0.027	4
0.054	4
0.117	4.2
0.2	4.45
0.25	4.65
0.317	4.85
0.352	5
0.406	5.2
0.458	5.4
0.500	5.45
0.550	5.45
0.605	5.6
0.65	5.8
0.65	6.0
0.70	6.2
1.037	7.2

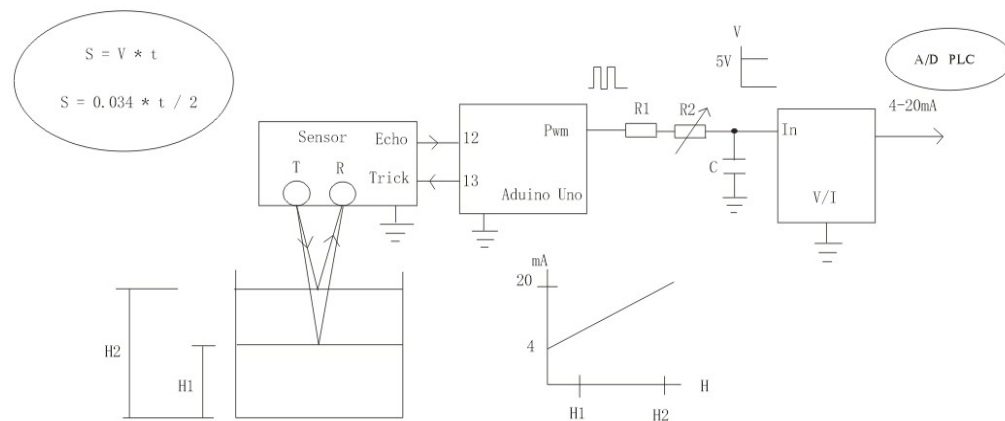
แรงดัน (V)	กระแส (mA)
1.5	8.6
1.99	10
2.5	11.5
3	12.5
3.5	14
4	16
4.5	16.5
5.03	18.5



ภาพที่ 3-17 กราฟแสดงกระแสอินพุตและแรงดันเอาต์พุตของ โมดูลแปลงสัญญาณไฟ  
0-5V เป็นกระแส 4-20 mA

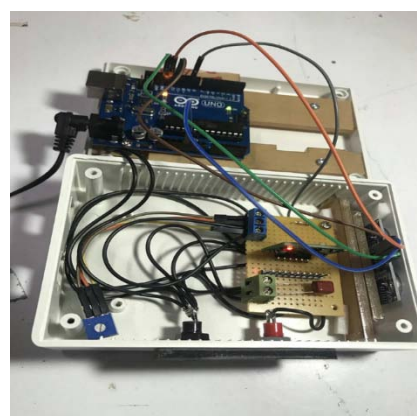
### 3.4 ระบบ Ultrasonic level sensor

### 3.4.1 หลักการทำงานของUltrasonic level sensor



ภาพที่ 3-18 หลักการทำงานของระบบ Ultrasonic level sensor

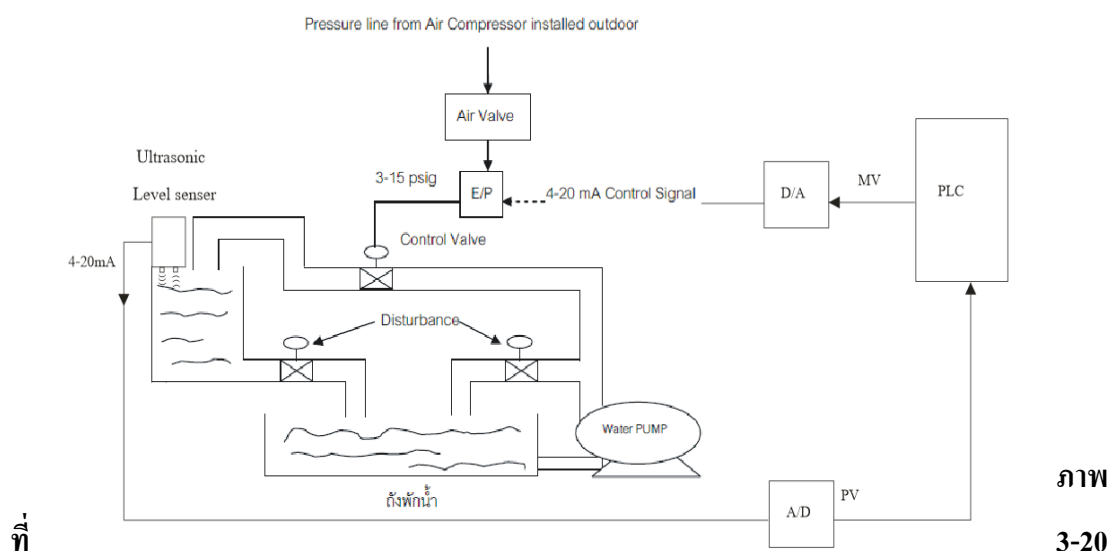
เมื่อขา Trig ของ โมดูล HC – SR04 ได้รับสัญญาณพัลส์จาก Arduino UNO โมดูล HC – SR04 จะส่งสัญญาณเสียงที่เป็นคลื่นอัลตราซาวนด์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์จำนวน 8 ไซเคิลออกไป ขณะที่โมดูลส่งสัญญาณเสียงออกไป ที่ขา Echo ของโมดูล HC – SR04 จะเปลี่ยนสัญญาณจาก Low เป็น High เมื่อโมดูล HC – SR04 ได้รับสัญญาณเสียงสะท้อนกลับมา ที่ขา Echo จะเปลี่ยนจาก Low เป็น High โดยเวลาที่เสียงเดินทางไปและกลับ ที่ขา Echo จะคงสัญญาณไว้ที่ระดับ High และ Arduino UNO จะส่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ไปที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter Circuit, LPF) ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณออกเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5 V โดยสัญญาณแรงดัน 5V จะไปเข้าที่ขา Input ของโมดูลแปลงสัญญาณไฟ 0-5 V เป็นกระแส 4-20 mA และส่งกระแส 45 ถึง 20 มิลลิแอมป์นี้ไปที่ PLC เพื่อควบคุมระดับความสูงของน้ำในกระบอกน้ำให้คงที่



### ภาพที่ 3-19 ภายนอกและภายในของระบบ Ultrasonic Level Sensor

#### 3.5 การติดตั้ง Ultrasonic level sensor

การทำงานของระบบเมื่อติดตั้งและทดสอบ Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ Plan Control System



ภาพ  
3-20

แสดงระบบที่ติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ plan control system

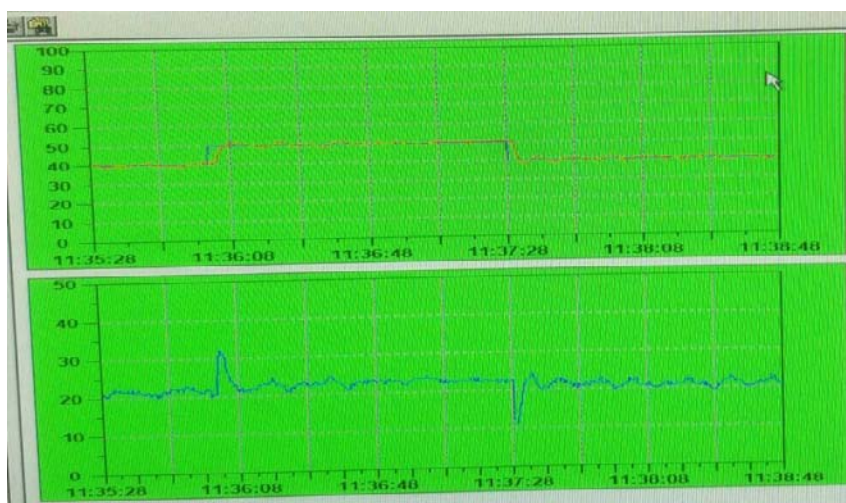
การทำงานของระบบเมื่อติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ plan control system

การทำงานเริ่มจาก Water Pump สูบน้ำจากถังพักส่งขึ้นไปตามท่อผ่าน Control Valve แล้วส่งขึ้นไปยังกระบอกน้ำ ที่ด้านล่างของกระบอกน้ำจะมี Exit Valve คือ Disturbance ซึ่งเป็นผลกระทบจากปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยภายในระบบเอง Ultrasonic Level Sensor จะทำการวัดระดับความสูงของน้ำในกระบอกน้ำแล้วส่งสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA ไปที่ตัวแปลงสัญญาณ โดยจะเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D) จะทำให้ได้การควบคุม ProcessVariable (PV) ของกระบวนการไปยัง PLC และได้ Manipulated Variable (MV) ของกระบวนการจาก PLC ส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (D/A) ทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกคือไฟฟ้ากระแสตรง 4-20 mA ไปยังตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแรงดันลม (E/P) เพื่อควบคุมระดับความสูงน้ำในกระบอกน้ำ



### 3.6 ผลการทดสอบ Ultrasonic level sensor

#### 3.6.1 การทดสอบที่สภาวะปกติ

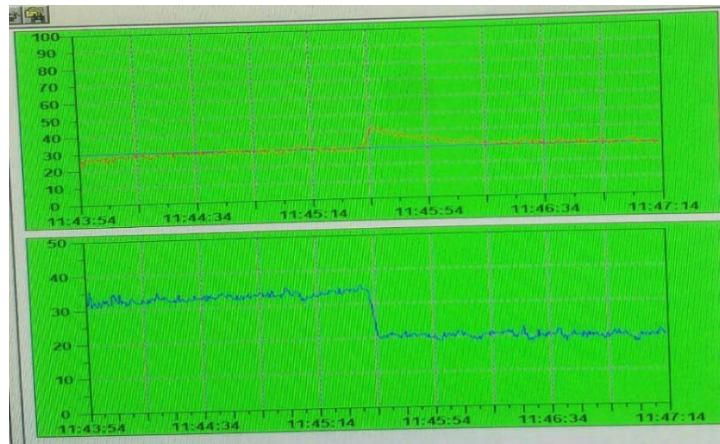


ภาพที่ 3-21 ผลสอบการทดสอบที่สภาวะปกติ

เมื่อทำการปรับ Set Point ( SP ) ของระบบเพิ่มขึ้นไปที่ จาก 40 % ไปที่ 50% จะทำให้ Manipulated Variable (MV) ของระบบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ Process Variable (PV) ของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับความสูงของน้ำเพิ่มขึ้น และเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัว (Steady State) จากนั้นทำการปรับ Set Point (SP) จาก 50% ไปที่ 40% ทำให้ Manipulated Variable (MV) ของระบบลดลงส่งผลให้ Process Variable (PV) ของระบบลดลง ทำให้ความสูงของระดับน้ำจึงลดลงและเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State)

#### 3.6.2 การทดสอบที่สภาวะ ผลกระทบจากปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยภายใน (disturbance)

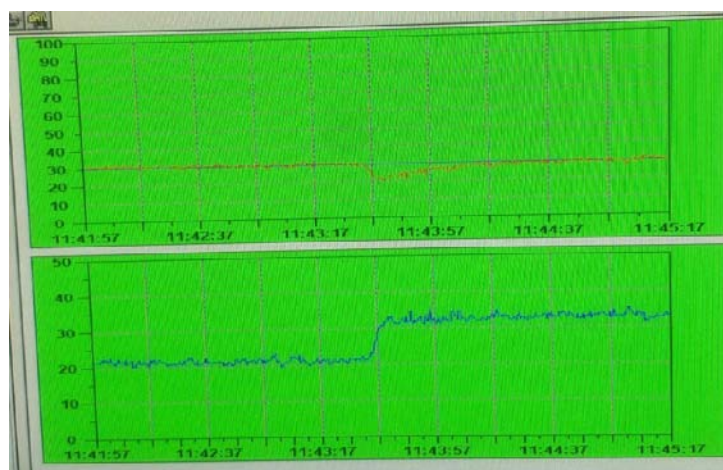
##### 3.6.2.1 เมื่อทำการทำการปล่อยน้ำออกจากกระบอกน้ำโดยการปรับ Exit Valve



ภาพที่ 3-22 ผลทดสอบการทำการปล่อยน้ำออกจากกระบอกน้ำโดยการปรับ Exit Valve

เมื่อทำการทำการปล่อยน้ำออกจากกระบอกน้ำโดยการปรับ Exit Valve จะให้ระดับน้ำในกระบอกน้ำลดลง ทำให้ Process Variable (PV) ของระบบลดลง ดังนั้นระบบจึงต้องทำการเพิ่ม Manipulated Variable (MV) ทำให้ระดับความสูงของน้ำเพิ่มขึ้นสูงกว่าระดับปกติที่ทำการตั้งค่าไว้ เพื่อควบคุมให้ระดับความสูงของน้ำในกระบอกน้ำคงที่

### 3.6.2.2 เมื่อทำการกักน้ำในกระบอกน้ำโดยการ ค่อยๆปิดExit Valve

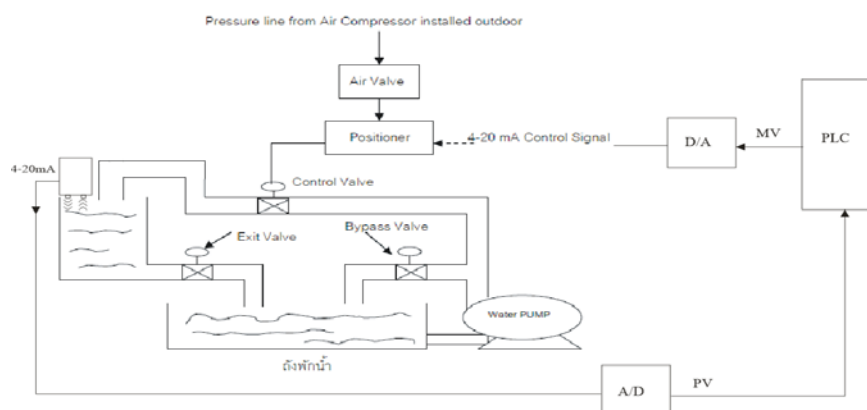


ภาพที่ 3-23 ผลทดสอบการกักน้ำในกระบอกน้ำโดยการค่อยๆปิด Exit Valve

เมื่อทำการปิด Exit Valve จะทำให้ระดับน้ำในกระบอกน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ Process Variable (PV) ของระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบจึงต้องทำการลด Manipulated Variable (MV) ทำให้ระดับความ

สูงของน้ำลดลงสู่ระดับปกติที่ทำการตั้งไว้ เพื่อควบคุมให้ระดับความสูงของน้ำในกระบอกน้ำคงที่

การติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ Flow Plant

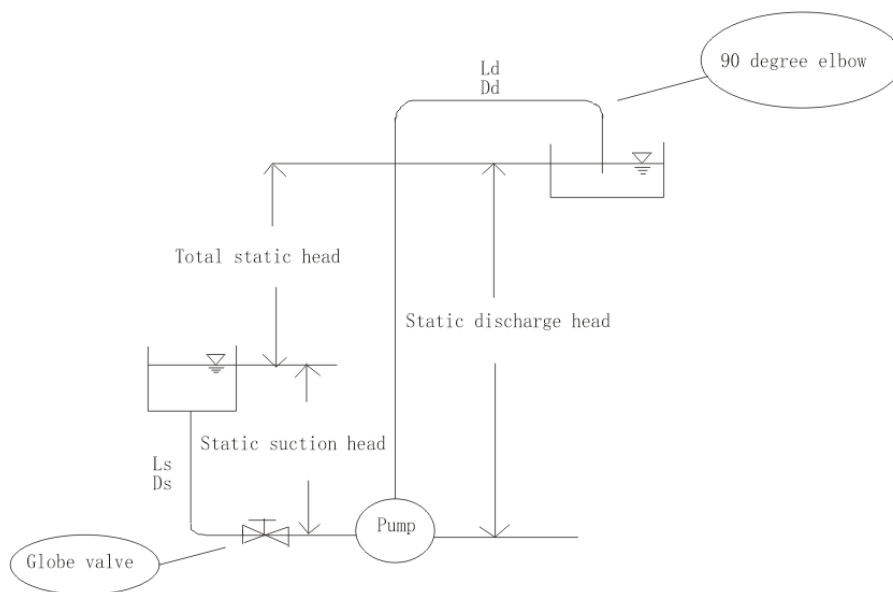


ภาพที่ 3-24 แสดงการติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor เข้ากับ Flow Plant



ภาพที่ 3-25 แสดงการติดตั้ง Ultrasonic Level Sensor ทำหน้าแทน Flow Transducer

### 3.7 การคำนวณหาความสูงของปั้มน้ำ



ภาพที่ 3-26 แสดงการคำนวณหาความสูงปั้มน้ำ

#### วิธีการคำนวณหาความสูงของปั้มน้ำ

Ls คือ ความยาวท่อด้านดูด

Ld คือ ความยาวท่อด้านจ่าย

ds คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อด้านดูด

dd คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อด้านจ่าย

ds = dd = d

เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static suction head) = 0.3 เมตร

เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static delivery head) = 1.8 เมตร

เฮดสถิตย์รวม (Total static head) = 1.8 - 0.3 = 1.5 เมตร

อัตราการไหล (Flow rate)  $\dot{V}$  = 90 ลิตรต่อวินาที

$$\dot{V} = \frac{90}{1000 \times 60} = 0.0015 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที}$$

#### 3.7.1 ด้านดูด (Suction side)

ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 1 นิ้ว = 0.0254 เมตร

$$\text{ความเร็วในท่อดูด (Velocity in suction pipe) } C_s = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0.0015}{\frac{\pi (0.0254)^2}{4}}$$

$$= 2.96 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\begin{aligned} \text{ความสูญเสียการไหล (Entrance loss)} &= 0.5 \frac{C_s^2}{2g} = 0.5 \frac{(2.96)^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.223 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวท่อ (Length of pipe)} = 1.5 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความยาวเสมือนท่อตรง (Equivalent length of straight pipe)}$$

$$\text{ข้อศอกยาวรัศมี 90 องศา (90° elbow) } 30d = 30 \times 0.0254 = 0.762 \text{ เมตร}$$

$$\text{โกลบวาล์ว (globe valve) } 200d = 200 \times 0.0254 = 5.08 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความยาวท่อเสมือนรวม (Total equivalent length)} = 1.5 + 0.762 + 5.08 = 7.342 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ความสูญเสียการไหลเนื่องจากความเสียดทาน (Friction losses)} &= f \frac{L}{d_s} \frac{C_s^2}{2g} \\ &= 0.032 \times \frac{7.342}{0.0254} \times \frac{2.96^2}{2 \times 9.81} \\ &= 4.13 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความสูญเสียการไหลรวมด้านดูด (Total losses on the suction side)} = 0.223 + 3.987 = 4.21 \text{ เมตร}$$

### 3.7.2 ด้านจ่าย (Delivery side)

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วในท่อด้านจ่าย (Velocity in the delivery pipe) } C_d &= \frac{\dot{V}}{\frac{\pi d_d^2}{4}} \\ &= \frac{0.0015}{\frac{\pi (0.0254)^2}{4}} = 2.96 \text{ เมตร/วินาที} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวท่อ (Length of pipe)} = 2.1 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความยาวเสมือนท่อตรง (Equivalent length of straight pipe)}$$

$$\text{ข้อศอกยาวรัศมี 90 องศา (90° long radius elbow) } 2 \times 30d = 2 \times 30 \times 0.0254 = 1.524 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความยาวเสมือนรวม (Total equivalent length)} = 2.1 + 1.524 = 3.624 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ความสูญเสียการไหลเนื่องจากความเสียดทาน (Friction losses)} &= f \frac{L}{d_d} \frac{C_d^2}{2g} \\ &= 0.032 \times \frac{3.624 \times (2.96)^2}{0.0254 \times 2 \times 9.81} \\ &= 2.038 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความสูญเสียการไหลที่ออกจากท่อ (Loss at pipe exit)} = \frac{C_d^2}{2g} = \frac{2.96^2}{2 \times 9.81} = 0.447 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ความสูญเสียการไหลรวมในท่อด้านจ่าย (Total losses on delivery side)} &= 2.038 + 0.447 \\ &= 2.485 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานการไหลในท่อทั้งสองด้าน (Total pipe resistance on both sides)} &= 4.353 + 2.485 \\ &= 6.838 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เสดความสูงระบบรวม (Total system head)} &= \text{เสดความสูงสถิตย (static head)} + \text{ความสูญเสีย} \\ \text{การไหล (losses)} &= 1.5 + 6.838 = 8.338 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นของน้ำ (Density of water)} \quad P &= \text{แรงดึงดูดเฉพาะ (Specific gravity)} \times \\ \text{ความหนาแน่นของน้ำ (density of water)} &= 1 \times 1000 = 1000 \text{ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้า (power)} &= \text{ความหนาแน่นของน้ำ (P)} \times \text{ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g)} \times \\ \text{อัตราการไหล (V)} \times \text{ความสูงรวม (H)} &= 1000 \times 9.81 \times 0.0015 \times 7.99 = 122.693 \text{ วัตต์} = 0.122 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

### 3.8 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ

#### 3.8.1 ปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง Mitsubishi

ชนิดแรงดันสูง รุ่น ACH-375S

ระบบไฟฟ้า : 50 Hz, 220V

ขนาด 370 วัตต์

ส่งสูง (head) เท่ากับ 21.4 เมตร ถึง 10.2 เมตร ซึ่งมากกว่า 8.338 เมตร จึงสามารถใช้ได้



ภาพที่ 3-27 แสดงปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง Mitsubishi ชนิดแรงดันสูง รุ่น ACH-375S

รายละเอียดปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง Mitsubishi ชนิดแรงดันสูง รุ่น ACH-375S

- (1) ขนาด 370 วัตต์ 0.5 แรงม้า ไฟฟ้า 220 โวลต์ ไฟ 2 สาย 1 เฟส
- (2) ขนาดท่อเข้า×ออก เท่ากับ 1×1 นิ้ว สูงสูง 4ถึง24 เมตร อัตราไหล่น้ำมากที่สุด 100 ลิตรนาที
- (3) ปั๊มน้ำขนาดใหญ่สำหรับงานภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม และงานสาธารณูปโภคต่างๆ
- (4) ปั๊มน้ำใบพัดเดี่ยวสำหรับส่งน้ำสูง เหมาะสมสำหรับใช้ส่งน้ำทั่วไป ทั้งในบ้านเรือน ที่พักอาศัย โรงงาน โรงแรม รีสอร์ทต่างๆ ทำน้ำพุประดับสวน ในงานล้างต่างๆ เหมาะสมสำหรับใช้งานร่วมกับถังแรงดัน และสวิตช์แรงดัน เพื่อทำระบบน้ำอัตโนมัติ
- (5) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดซิงโครไนซ์ซึ่งมีสรรถนะในการทำงานสูง
- (6) ตัวปั๊มผลิตจากเหล็กหล่อ และเพลापั๊มผลิตจากสแตนเลส SUS304
- (7) ใบพัดสแตนเลสแบบปิดปลอดสนิม แข็งแรงทนทาน และมีผิวเรียบลื่น ลดแรงเสียดทานในการหมุน ทำให้มีประสิทธิภาพในการสูบน้ำสูง
- (8) มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกแบบปิด ระบายความร้อนด้วยพัดลม มาตรฐานการป้องกัน IP55 ใช้งานกลางแจ้งได้ ฉนวนไฟฟ้า Class F ใ้สำหรับการใช้งานอย่างต่อเนื่อง และเพลามอเตอร์เป็นชิ้นเดียวกับเพลารองสูบ
- (9) ผลิตตามมาตรฐาน IEC 60034-1 และ JIS 4210
- (10) ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันขดลวดร้อนจัดในรุ่น 1/2 แรงม้า ถึง 1.5 แรงม้า
- (11) ให้ความแข็งแรงของรอยเชื่อม สูงกว่าเชื่อมปกติถึง 2 เท่า
- (12) ผ่านการทดสอบใช้งานเกินกว่า 1,000,000 รอบ
- (13) ใช้กับน้ำสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน
- (14) ช่วงความเป็นกรด-ด่างใช้งาน pH 5-9
- (15) อุณหภูมิของเหลวสูงสุดไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส
- (16) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

## บทที่ 4

### สรุป วิจัยรณผล และข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปและวิจัยรณผล

จากการดำเนินงานได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System) โดยการเปลี่ยนการควบคุมระดับของน้ำในกระบอกน้ำด้วย Ultrasonic Level Sensor ซึ่งเป็นการควบคุมระดับน้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้หลักการส่งและรับคลื่นอัลตราโซนิกจากเซ็นเซอร์เพื่อนำไปประมวลผลกลับบอร์ด Arduino Uno เพื่อกำหนดหาระยะห่างระหว่างระดับผิวน้ำกับหัวเซ็นเซอร์ซึ่งจะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปให้ PLC ในการควบคุมปั้มน้ำเพื่อทำการควบคุมระดับน้ำในกระบอกน้ำโดย Ultrasonic Level Sensorจะไปทำหน้าที่แทนอุปกรณ์สวิตช์ถูกลอยและ Flow Transducer ที่ติดตั้งในแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System)

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตสามารถใช้ Inverter มาทำการควบคุมปั้มน้ำในแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System) ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั้มน้ำ ในแบบจำลองการควบคุมกระบวนการ (Plant Control System) ให้ดีขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- 1.สุเชิธร เกียรติสุนทร. **พีแอลซีกับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม** .พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2558.
- 2.ธนิต มาลากร. **ระบบพลวัตและการควบคุม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.
- 3.จิราวุธ วารินทร์. **Arduino Uno พื้นฐานสำหรับงาน IOT**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Prompt, 2561.
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดอนสัน ปงผาบ. **ภาษาซีและArduino**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- 5.การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับ **Arduino**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.ab.in.th/article/24/แนะนำการต่อแหล่งจ่ายให้กับ-arduino>. (วันที่ค้นข้อมูล 19 กรกฎาคม 2562).
- 6.เฮดของปั๊ม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://WWW.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article\\_id=461](http://WWW.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=461). (วันที่ค้นข้อมูล 18 กรกฎาคม 2562).
- 7.ระบบปั้มน้ำอัจฉริยะ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/7166/2/Fulltext.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล 18 กรกฎาคม 2562).
- 8.ข้อต่อกรตมี90 องศา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://th.uvicsteelpipe.com/info/what-is-pipe-fitting-ii-30175018.html>. (วันที่ค้นข้อมูล 19 กรกฎาคม 2562).
- 9.โกลบวาล์ว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.pakoengineering.com/blog/2016/โกลบวาล์ว-globe-valve-เกตวาล์ว-gate>. (วันที่ค้นข้อมูล 19 กรกฎาคม 2562).

### ประวัติผู้แต่ง

ปริญญานิพนธ์เรื่อง : การพัฒนาและปรับปรุงชุดทดลองสำหรับห้องปฏิบัติการระบบควบคุม

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

ชื่อ : นายสิริชัย สุวิชากรพงศ์

ประวัติ

เกิดเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2521 จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคสัตหีบปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2561 ที่อยู่ปัจจุบัน 46/12 หมู่ 10 ซอยวัดกำแพง ถนนพินุลสงคราม ตำบลสวนใหญ่ ตำบลตลาดขวัญ จังหวัดนนทบุรี 11000