

ชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิิกส์อัจฉริยะ
EXPERIMENTAL SET FOR PID CONTROLLER IN THE INTELLIGENT
HYDROPONIC SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิิกส์อัจฉริยะ
EXPERIMENTAL SET FOR PID CONTROLLER IN THE INTELLIGENT
HYDROPONIC SYSTEM



ปริญญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL SET FOR PID CONTROLLER IN THE INTELLIGENT
HYDROPONIC SYSTEM



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ
Experimental Set for PID Controller in The Intelligent
Hydroponic System

ผู้จัดทำ

1. นายณกศศักดิ์ หอยสกุล รหัสประจำตัว 61010013
2. นายณัฐชัย ชัยเพ็ชร รหัสประจำตัว 61010303

ณัฐฉัตร เต็มพา

(ผศ.ดร.ณัฐฉัตร เต็มพา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ

นายกนกศักดิ์	หอยสกุล	61010013
นายณัฐชัย	ชัยเพชร	61010303
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ	เดไปวา	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดทดลองการควบคุมน้ำด้วยระบบควบคุมพีไอดี เพื่อใช้เป็นชุดทดลองสำหรับศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมพีไอดีและศึกษาฟังก์ชันส่งผ่านของการควบคุมระดับน้ำ โดยชุดทดลองนี้สามารถเลือกควบคุมระดับน้ำในถังเดียวหรือเลือกควบคุมระดับน้ำสองถัง ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันได้ โดยเปรียบแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลองเสมือนกับถังที่สอง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อัลตราโซนิกเซนเซอร์, บัมเปอร์, อินเวอร์เตอร์, โดยที่อัลตราโซนิกเซนเซอร์ทำหน้าที่ในการวัดค่าระดับความสูงของของเหลวในถังน้ำและในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลอง อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ในการปรับอัตราการไหลของบัมเปอร์เข้าสู่ระบบ โดยใช้ฟังก์ชันพีไอดีในโปรแกรมแลปวิวเป็นตัวควบคุม ซึ่งหลังจากสร้างชุดทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละระบบ ซึ่งการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลอง ดังนี้ $K_p = 5$, $K_i = 10$ และ $K_d = 0.01$ และจากการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลอง ดังนี้ $K_p = 5$, $K_i = 25$ และ $K_d = 10$.

EXPERIMENTAL SET FOR PID CONTROLLER IN THE INTELLIGENT HYDROPONIC SYSTEM

Kanoksak Hoisakul 61010013

Nathachai Chaipet 61010303

Asst.Prof.Dr Nattawoot Depaiwa Advisor

Year 2021

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of water control systems in hydroponic system with PID controller to use as an experimental set for instructional media about PID controller and water level control. This experimental set can choose to control the water level in a single tank or choose to control the water level of two tanks interactively. By comparing the hydroponics plots, model like the second tank. Important equipment is ultrasonic sensor water pump and inverter. Ultrasonic sensor measure water level in the process. Inverter adjusts inlet flow rate into the system from water pump controlling with using the PID controller function in the LabVIEW program. After the experimental set have been built. We operate an experiment to find the parameters optimal for each system. the single tank water level control experiment was obtained with parameters optimal for the experiment as follows: $K_p = 5$, $K_i = 10$ and $K_d = 0.01$. and from the two-tank water level control experiment, the parameters were optimal for the experiment is $K_p = 5$, $K_i = 25$ and $K_d = 10$.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เตไปวา ที่ช่วยให้ความรู้ คำปรึกษา แนวทางสำหรับการแก้ไขปัญหา รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ดร.อภิษฎ์ ฤกษ์รัตน์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานอินเวอร์เตอร์กับปั้มน้ำ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความรู้ และสถานที่ในการศึกษา รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ในภาควิชาเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนทำให้ข้าพเจ้าทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสูงสุด และขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกนศักดิ์ หอยสกุล

นายณัฐชัย ชัยเพ็ชร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หัวข้อที่ศึกษา.....	3
2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ระบบควบคุม (Control System).....	4
2.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System).....	4
2.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System).....	4
2.3 ระบบควบคุมพีไอดี	5
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับของไหล.....	9
2.4.1 กฎของเบอร์นูลี.....	9
2.4.2 ลักษณะทั่วไปของการไหลภายในท่อ	10
2.4.3 การวิเคราะห์มิติการไหลภายในท่อ	10
2.5 ทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	14
2.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง.....	14
2.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง.....	15
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการปลูกผัก Hydroponic	16
2.6.1 ระบบเอ็นเอฟที (nutrient film technique; NFT).....	16
2.6.2 ระบบดีเอฟที (deep floating technique; DFT).....	16
2.6.3 ระบบดีอาร์เอฟที (Dynamic Root Floating Technique; DRFT).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ระบบดักแอกควิสสิชั่น (Data Acquisition System).....	17
2.8 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW).....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและการออกแบบชุดทดลอง	19
3.1 กล่าวนำ.....	19
3.2 หลักการทำงานของชุดทดลอง	19
3.2.1 โครงสร้างของระบบควบคุมระดับน้ำ.....	19
3.2.2 เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการของชุดทดลอง	20
3.3 การคำนวณและเลือกอุปกรณ์ในชุดทดลอง.....	20
3.3.1 เครื่องมือวัดระดับของของเหลว.....	20
3.3.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลว.....	22
3.3.3 การคำนวณการเลือกใช้ปั๊ม.....	24
3.3.4 หลักการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์.....	26
3.3.5 อุปกรณ์ DAQ (Data Acquisition System).....	27
3.4 การออกแบบชุดทดลอง.....	28
3.4.1 อุปกรณ์ในชุดทดลอง.....	28
3.5 โปรแกรมแลปวิวสำหรับชุดทดลอง.....	29
3.5.1 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง.....	29
3.5.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง.....	31
บทที่ 4 ขั้นตอนและผลการทดลอง	33
4.1 การสอบเทียบอัลตราโซนิกเซนเซอร์	33
4.1.1 ผลการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของถังที่ 1.....	34
4.1.2 ผลการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลอง.....	35
4.1.3 สร้างโปรแกรมน้อยจากการสอบเทียบในโปรแกรมแลปวิว.....	36
4.2 การหาค่าความต้านทานการไหลของระบบ.....	37
4.2.1 หาค่าความต้านทานของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง.....	37
4.2.2 หาค่าความต้านทานของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง.....	38
4.3 การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ Kp, Ki และ Kd.....	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ V อย่างเป็นทางการถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ปัญหาจากการศึกษา.....	42
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....	10
ตารางที่ 2.2 ค่าความขรุขระของท่อ.....	11
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล.....	23
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของปั๊มรุ่นต่างๆ ของยี่ห้อ Taifu	24
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของปั๊มยี่ห้อ Taifu รุ่น QB60	25
ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ MITSUBISHI FR-D720S-0.4K (0.5 HP).....	26
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสมการการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของถัง 1.....	34
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงสมการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของแปลงผักไฮโดรโปนิกส์.....	35
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_p ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง.....	38
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_i ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง.....	39
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_d ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง.....	39
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_p ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง.....	40
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_i ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง.....	40
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_d ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง.....	41

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมระดับน้ำ.....	3
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงนิยามของระบบควบคุม	4
รูปที่ 2.3 รูปแสดงไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด	4
รูปที่ 2.4 รูปแสดงไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด	5
รูปที่ 2.5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน.....	5
รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์.....	5
รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์.....	7
รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์.....	7
รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์.....	8
รูปที่ 2.10 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์.....	8
รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองจากการนำตัวควบคุมแบบต่างๆไปใช้กับระบบควบคุม.....	8
รูปที่ 2.12 แผนภูมิ Moody chart.....	12
รูปที่ 2.13 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์เนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ.....	12
รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์เนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง.....	13
รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์ข้อต่อรูปแบบต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.16 แบบจำลองการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง.....	14
รูปที่ 2.17 แบบจำลองการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง.....	15
รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์ข้อมูลระบบดาต้าแอกควิสสิชั่น.....	17
รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของ Virtual Instruments.....	18
รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมระดับน้ำ.....	19
รูปที่ 3.2 ระบบการควบคุมระดับน้ำ.....	20
รูปที่ 3.3 โมดูลบน Ultrasonic Sensor.....	21
รูปที่ 3.4 สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นบนขา Trig และ Echo ในโมดูลเซนเซอร์.....	22
รูปที่ 3.5 เซนเซอร์วัดอัตราการไหลรุ่น YF-S201.....	23
รูปที่ 3.6 Performance curve ของปั๊มรุ่นต่างๆของยี่ห้อ Taifu.....	25
รูปที่ 3.7 ปั๊มยี่ห้อ Taifu รุ่น QB60.....	25
รูปที่ 3.8 อินเวอร์เตอร์รุ่น Hitachi X200 Series.....	26
รูปที่ 3.9 Ni USB-6008.....	27
รูปที่ 3.10 รูปภาพชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ.....	28

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 หน้าต่าง Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง	29
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง	29
รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง	30
รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันการเก็บบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง	30
รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี	31
รูปที่ 3.16 หน้าต่าง Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง	31
รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง	31
รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง	32
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่าง Block diagram สำหรับการสอบเทียบ.....	33
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่าง Front panel สำหรับการสอบเทียบ.....	33
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์กับระยะจริงของถังที่ 1.....	34
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์กับระยะจริงของแปลงผักไฮโดรโปนิคส์.....	35
รูปที่ 4.5 โปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของถังที่ 1.....	36
รูปที่ 4.6 โปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของแปลงผักไฮโดรโปนิคส์.....	36
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างตำแหน่งของโปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	37
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลตอบสนองที่ 10 cm ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง.....	37
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลตอบสนองที่ 4 cm ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการควบคุมระดับของของเหลวและอัตราการไหลเป็นปัญหาพื้นฐานที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต บ่อยครั้งที่ถึงสองถึงหรือมากกว่าถูกต่อเข้าด้วยกันและมีการทำงานโดยมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันและในหลายกระบวนการผลิตมีลักษณะการทำงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมในกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมสารเคมี อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม หรือ อุตสาหกรรมการกลั่นและปิโตรเคมี เป็นต้น โดยในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้นมีวิธีการควบคุมและรูปแบบในการควบคุมมากมาย หนึ่งในนั้นคือระบบควบคุมแบบพีไอดี เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายตามการใช้งานเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ต้องการ

โดยในการศึกษาวิชา การควบคุมอัตโนมัติของภาควิศวกรรมเครื่องกล เป็นการศึกษาเพียงภาคทฤษฎีเท่านั้น ผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการจัดทำชุดทดลองที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้โปรแกรมแลปวิว มาเป็นตัววิเคราะห์ ประมวลผลและแสดงผลพร้อมออกมาบนหน้าต่างของโปรแกรม เพื่อให้ผู้เรียนได้มองเห็นถึงลักษณะของการทำงานจริงและช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจการทำงานของระบบง่ายขึ้น

นอกจากนี้การปลูกพืชไร่น้ำหรือการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์กำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายสามารถทำรายได้ให้เกษตรกรหรือผู้ปลูกได้ โดยปัจจุบันมีคนรักสุขภาพและหันมาเลือกรับประทานผักปลอดสารพิษมากขึ้น เพราะสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตได้ เช่น ศัตรูพืช ดิน ระดับน้ำ อัตราการไหล เป็นต้น ทำให้ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพืชได้ และหากมีการควบคุมปัจจัยในด้านของการไหลเวียนน้ำและควบคุมระดับน้ำจะสามารถช่วยเพิ่มการดูดซึ่มออกซิเจนให้กับพืชได้ ผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะนำแปลงผักไฮโดรโปนิคส์มาใช้เป็นแพลตฟอร์มหนึ่งในชุดทดลองด้วย เพื่อให้ผู้เรียนเห็นระบบจริงและนำไปต่อยอดในอุตสาหกรรมต่อไปได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมพีไอดี

1.2.2 เพื่อให้ นักศึกษารุ่นต่อไปได้เรียนรู้การทำงานของระบบควบคุมพีไอดี และลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 เพื่อประยุกต์ใช้งานโปรแกรมแลปวิวในการควบคุมกระบวนการและแสดงผลของชุดทดลองระบบควบคุมพีไอทีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เมื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพีไอที คณะผู้จัดทำมีความคาดหวังดังต่อไปนี้

1.3.1 ชุดทดลองควบคุมพีไอทีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะสามารถควบคุมระดับได้ทั้งรูปแบบ 1 ถึง และ 2 ถึง

1.3.2 ชุดทดลองควบคุมพีไอทีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะสามารถทำงานสอดคล้องกับเซนเซอร์ทั้งหมดที่รับค่า

1.3.3 โปรแกรมแลปวิวสามารถรับค่าจากเซนเซอร์และสามารถแสดงกราฟของระดับน้ำเทียบกับเวลา

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและสร้างชุดการทดลองสำหรับการควบคุมระดับน้ำในถังที่ 1 และระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์แบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique)

1.4.2 แปลงผักไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในชุดทดลองเป็นแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลองขนาด 25X60X10 เซนติเมตร

1.4.3 ใช้โปรแกรมแลปวิวโดยเขียนโปรแกรมเป็นตัวควบคุมแบบ PID โดยสามารถปรับแต่งค่าเกน K_p , K_i และ K_d ได้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษากระบวนการควบคุมแบบพีไอที

1.5.2 ศึกษาการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์

1.5.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมแลปวิว

1.5.4 ออกแบบชุดทดลองควบคุมระดับน้ำในถังที่ 1 และระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์

1.5.5 ออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอทีให้แก่ชุดทดลอง

1.5.6 ติดตั้งและทดสอบอัลตราโซนิกเซนเซอร์, เซนเซอร์วัดอัตราการไหล, ป้อนน้ำ และ อินเวอร์เตอร์ และทำการส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมแลปวิวผ่านการ์ด DAQ NI USB-6008

1.5.7 ทำการปรับค่าเกน K_p , K_i และ K_d และ Maximum overshoot, Setting Time และ Steady State Error ในระบบของชุดทดลองระบบควบคุมพีไอทีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์

1.5.8 ทำการบันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

1.5.9 สรุปและจัดทำรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

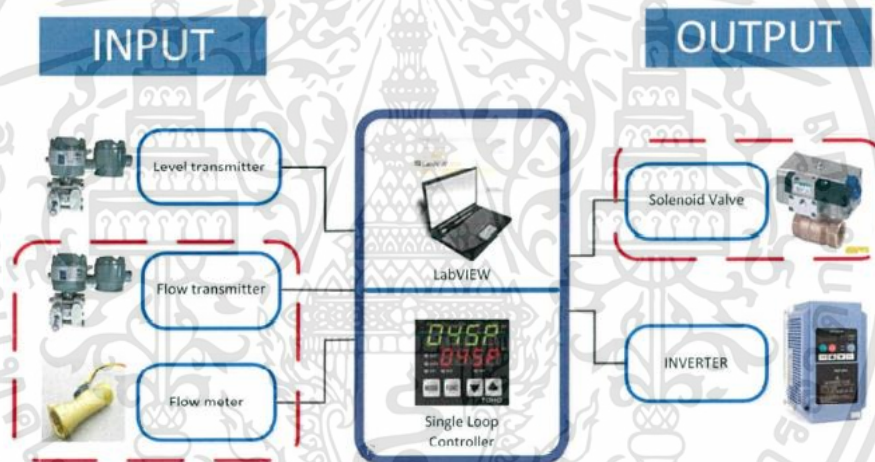
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หัวข้อที่ศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในการศึกษาระบบควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมระดับของเหลว จำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบพีไอดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมระดับของเหลว ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับของไหล รวมถึงหลักการและส่วนประกอบของโปรแกรมแลปวิวซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

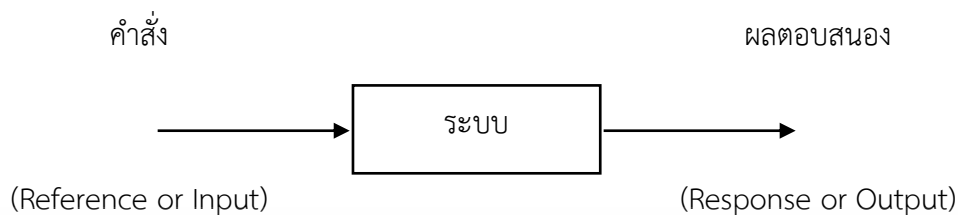
2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมระดับน้ำ [1]

จากงานวิจัย Level Control Plant Model ของ Panu Wattanasri, 2014 กล่าวว่าชุดทดลองการควบคุมระดับน้ำ ระบบดังรูปที่ 2.1 ระดับน้ำในถังจะถูกควบคุมโดยการปรับค่าอัตราการไหลด้านขาเข้าของถังด้วยอินเวอร์เตอร์ทำงานร่วมกับปั้มน้ำ โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุมกระบวนการโดยฟังก์ชันพีไอดีจากโปรแกรมแลปวิวหลังจากตัวควบคุมประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้กับค่าเป้าหมายที่ต้องการจะทำการส่งสัญญาณควบคุมไปยังอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการปรับอัตราการไหลของปั้มน้ำเข้าสู่กระบวนการ โดยในงานวิจัยจะนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้สร้างชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ ในงานวิจัยนี้ [1]

2.2 ระบบควบคุม (Control System)



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงนิยามของระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือ กระบวนการที่รวบรวมส่วนประกอบต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อบังคับหรือสั่งการสิ่งใดสิ่งหนึ่ง (Output) ให้เป็นไปตามความต้องการ โดยพื้นฐานของระบบควบคุมเป็นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนมากนักมาใช้ควบคุมระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรผันตามเวลา โทนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) โดยประเภทของระบบควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

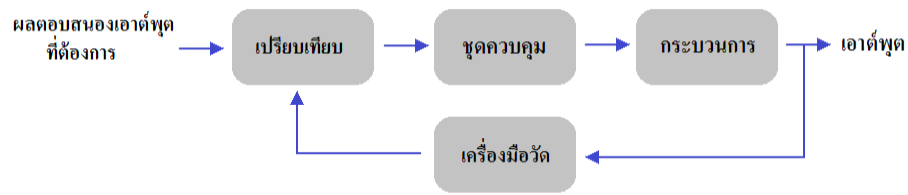
ระบบที่มีการป้อนอินพุต (Input) ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) เข้าที่ระบบ (System) และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุต (Output) โดยไม่มีการนำสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) มาที่ระบบ



รูปที่ 2.3 รูปแสดงไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด [7]

2.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

ระบบที่มีการป้อนอินพุต (Input) ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) เข้าที่ระบบ (System) และมีอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement) นำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบ เพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) ที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 รูปแสดงไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด [7]

2.3 ระบบควบคุมพีไอดี

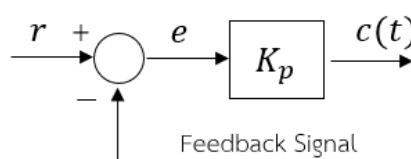
ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative Control หรือ PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบปิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งค่าป้อนกลับที่จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณนั้นเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของผลตอบสนอง (Output) ที่รับมาจากเครื่องมือวัดเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ต้องการ โดยตัวควบคุมจะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของพีไอดีที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ ซึ่งค่าตัวแปรที่ใช้ในระบบควบคุมพีไอดี มีดังนี้

1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของค่าความผิดพลาดด้วยการขยายสัญญาณความผิดพลาดด้วยค่าเกนของตัวควบคุม (K_p) หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน ทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบ และลดความผิดพลาดที่สภาวะที่คงของระบบ บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.5

$$c(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

เมื่อ $c(t)$	คือ	สัญญาณขาออกของพจน์สัดส่วน
K_p	คือ	อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้
e	คือ	ค่าความผิดพลาด
r	คือ	สัญญาณนำเข้า
t	คือ	เวลา



รูปที่ 2.5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

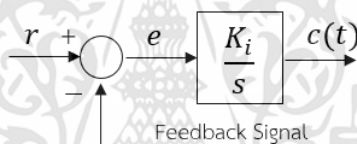
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Controller)

ทำหน้าที่นำเอาค่าสัญญาณความผิดพลาดมาเป็นคำสั่ง (Input) ของตัวควบคุม และทำการสร้างผลตอบสนอง (Output) จากการอินทิเกรตความผิดพลาดเทียบกับระยะเวลาของความผิดพลาดและคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ (K_i) ทำให้ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ของระบบลดลง และมีผลทำให้ความเร็วในการตอบสนองของระบบลดลงด้วย บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.6

$$c(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.2)$$

เมื่อ $c(t)$	คือ	สัญญาณขาออกของพจน์ปริพันธ์
K_i	คือ	อัตราขยายปริพันธ์ , ตัวแปรปรับค่าได้
e	คือ	ค่าความผิดพลาด
r	คือ	สัญญาณนำเข้า
t	คือ	เวลา



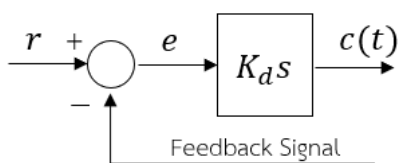
รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์

3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

ทำหน้าที่นำเอาค่าสัญญาณความผิดพลาดมาเป็นคำสั่ง (Input) ของตัวควบคุม และทำการสร้างผลตอบสนอง (Output) จากการอนุพันธ์ความผิดพลาดเทียบกับระยะเวลาของความผิดพลาด และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) ทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น การใช้ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์อาจทำให้ผลตอบสนองของระบบช้าลง บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.7

$$c(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

เมื่อ $c(t)$	คือ	สัญญาณขาออกของพจน์อนุพันธ์
K_d	คือ	อัตราขยายอนุพันธ์ , ตัวแปรปรับค่าได้
e	คือ	ค่าความผิดพลาด
r	คือ	สัญญาณนำเข้า
t	คือ	เวลา



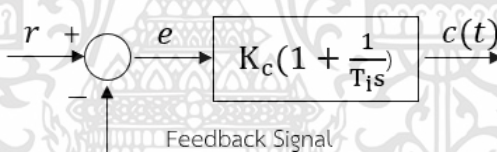
รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

4 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Control: PI Control)

ตัวควบคุมแบบนี้จะใช้ค่าเกนร่วมของปริพันธ์กับพจน์สัดส่วน โดยพจน์ปริพันธ์จะช่วยในการลดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และทำให้ระบบมีการตอบสนองเร็วขึ้นพร้อมทั้งลดค่าความผิดพลาดที่เหลืออยู่ได้จากพจน์สัดส่วน บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.8

$$\text{โดย } K_c = K_p \quad (2.4)$$

$$\frac{K_c}{T_i} = K_i \quad (2.5)$$

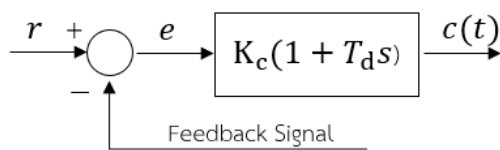


รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์

5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบ PD (Proportional-Derivative Control: PD Control)

ตัวควบคุมแบบนี้จะช่วยลดค่าโอเวอร์ชูตและทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เนื่องจากในพจน์อนุพันธ์ จะช่วยลดโอเวอร์ชูตของผลตอบสนอง โดยมีลักษณะการทำงาน คือ การทำงานร่วมกันระหว่างตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.9

$$\text{โดย } K_c * T_d = K_d \quad (2.6)$$

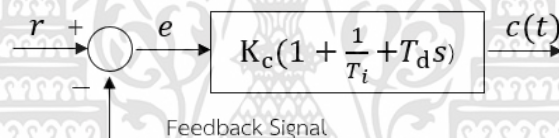


รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์

6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบพีไอดี

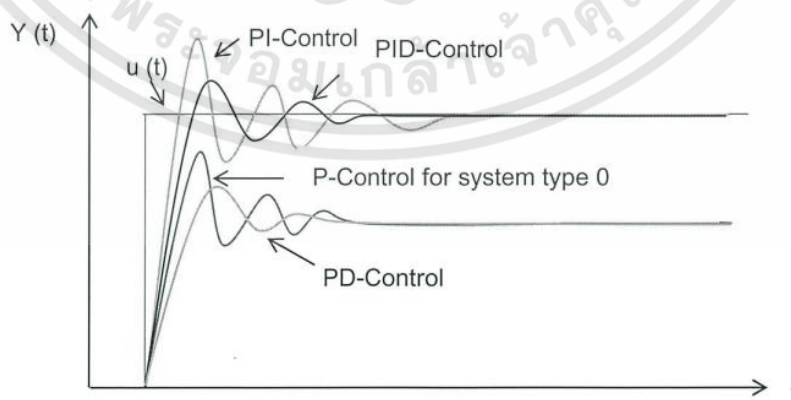
(Proportional-Integral-Derivative Control: PID Control)

ตัวควบคุมแบบนี้ใช้ค่าเกนร่วมกันทั้งพจน์สัดส่วน พจน์ปริพันธ์และพจน์อนุพันธ์ เป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากสามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายตามการใช้งาน โดยการปรับแต่งค่าเกน K_p , K_i และ K_d เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ต้องการ บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์

ตัวอย่างผลตอบสนองของระบบต่ออินพุต (Input) แบบขั้นบันไดของระบบ เนื่องจากการใช้งานระบบควบคุมแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองจากการนำตัวควบคุมแบบต่างๆไปใช้กับระบบควบคุม [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับของไหล

ของไหล หมายถึง สสารที่สามารถขยับตัว หรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อถูกกระทำด้วยแรงเค้นเฉือน และ ของไหลดังกล่าวจะหยุดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก็ต่อเมื่อแรงเค้นเฉือนดังกล่าวหมดไป หมายถึงสภาวะที่ของไหลมีรูปร่างเหมือนภาชนะที่บรรจุของไหลหรือมีแต่แรงเค้นตั้งฉากเท่านั้น

2.4.1 กฎของเบอร์นูลลี

ทฤษฎีของเบอร์นูลลีถูกนำมาใช้สำหรับการวัดอัตราการไหลที่เป็นของเหลว หรือ ก๊าซอย่างแพร่หลาย โดยทฤษฎีของเบอร์นูลลีได้กล่าวไว้ว่า “ของไหลที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอภายในท่อและปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลรวมของเฮดความเร็ว, เฮดความดัน และเฮดความสูงในทุกจุดของท่อมีค่าคงที่” ถ้าเรากำหนดให้ของไหลเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้, ไหลแบบคงที่ และไม่มี ความหนืดจะได้เป็นสมการเบอร์นูลลีดังสมการที่ 2.7

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \gamma Z = \text{ค่าคงที่ตามทิศทางของของไหล} \quad (2.7)$$

เมื่อ p คือ ความดัน (N/m^2)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3)

Z คือ ความสูงของของไหล (m)

ถ้าพิจารณาจากสมการเบอร์นูลลี หรือจากสมการที่ 2.7 จะมีความหมายดังนี้

พจน์แรก เรียกว่า “ เฮดความดัน (Pressure Head: H_p) ” ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แล้ว ถ้าหากเป็นความดันของของเหลวนิยมบอกเป็นขนาดของความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่ตำแหน่งนั้นๆ

พจน์ที่สอง เรียกว่า “ เฮดความเร็ว (Velocity Head: H_v) ” ของเหลวที่ไหลในท่อและเคลื่อนไหวด้วยความเร็วใดๆจะมีพลังงานจลน์อยู่เสมอ ดังนั้นพลังงานจลน์ของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่จะเป็นเฮดรูปแบบหนึ่ง

พจน์ที่สาม เรียกว่า “ เฮดสถิต (Static Head: H_s) ” การทำงานของปั๊มโดยทั่วไป ปั๊มจะสร้างพลังงานให้ของเหลวทำให้เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่สูงกว่า โดยความดันนั้นคิดเป็นขนาดของความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านเข้าและออก ในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบมีค่าเป็นศูนย์

2.4.2 ลักษณะทั่วไปของการไหลภายในท่อ

เราอาจแบ่งรูปแบบการไหลภายในท่อออกเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เมื่ออัตราการไหลของของไหลมีค่าน้อย และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เมื่ออัตราการไหลมีค่าสูง โดยค่าของอัตราการไหลเราจะพิจารณาจากค่าเลขเรย์โนลด์ส์ดังสมการที่ 2.8

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.8)$$

- เมื่อ Re คือ จำนวนเลขเรย์โนลด์ส์
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
 V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 μ คือ ความหนืดของของไหล ($kg/m \cdot s$) ซึ่งหาค่าได้จากตารางที่ 2.1

Table B.2
Physical Properties of Water (SI Units)^a

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m^3)	Specific Weight ^b , γ (kN/m^3)	Dynamic Viscosity, μ ($N \cdot s/m^2$)	Kinematic Viscosity, ν (m^2/s)	Surface Tension ^c , σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v ($[N/m^2(abs)]$)	Speed of Sound ^d , c (m/s)
0	999.9	9.806	1.787 E-3	1.787 E-6	7.56 E-2	6.105 E+2	1403
5	1000.0	9.807	1.519 E-3	1.519 E-6	7.49 E-2	8.722 E+2	1427
10	999.7	9.804	1.307 E-3	1.307 E-6	7.42 E-2	1.228 E+3	1447
20	998.2	9.789	1.002 E-3	1.004 E-6	7.28 E-2	2.338 E+3	1481
30	995.7	9.765	7.975 E-4	8.009 E-7	7.12 E-2	4.243 E+3	1507
40	992.2	9.731	6.529 E-4	6.580 E-7	6.96 E-2	7.376 E+3	1526
50	988.1	9.690	5.468 E-4	5.534 E-7	6.79 E-2	1.233 E+4	1541
60	983.2	9.642	4.665 E-4	4.745 E-7	6.62 E-2	1.992 E+4	1552
70	977.8	9.589	4.042 E-4	4.134 E-7	6.44 E-2	3.116 E+4	1555
80	971.8	9.530	3.547 E-4	3.650 E-7	6.26 E-2	4.734 E+4	1555
90	965.3	9.467	3.147 E-4	3.260 E-7	6.08 E-2	7.010 E+4	1550
100	958.4	9.399	2.818 E-4	2.940 E-7	5.89 E-2	1.013 E+5	1543

^aBased on data from *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table, $g = 9.807 \text{ m/s}^2$.

^cIn contact with air.

^dBased on data from R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ [6]

โดยสำหรับการไหลในท่อกลม

$Re < 2,100$ เป็นการไหลแบบ Laminar flow

$2,100 < Re < 4,000$ เป็นการไหลแบบ Transitional flow

$Re > 4,000$ เป็นการไหลแบบ Turbulent

2.4.3 การวิเคราะห์หัตถิการไหลภายในท่อ

สำหรับการไหลท่อ เรามักสนใจค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยจะแบ่งการสูญเสียเป็น 2 ส่วน คือ การสูญเสียหลัก (Major loss) เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อตรงอันเนื่องมาจากความหนืด ถ้าการไหลเป็นแบบ laminar ค่า Pressure drop จะไม่ขึ้นกับความขรุขระของท่อ แต่ในกรณีของการไหลแบบ Turbulent ค่า Pressure drop จะขึ้นกับความขรุขระในท่อ จะได้สมการ Major loss ดังสมการที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{L,major} = f \frac{l V^2}{D 2g} \quad (2.9)$$

เมื่อ $h_{L,major}$	คือ	ค่าการสูญเสียหลัก (m)
f	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction factor)
l	คือ	ความยาวท่อ (m)
V	คือ	ความเร็วของของไหล (m/s)
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

การไหลแบบ Laminar flow ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) หาได้จากสมการที่ 2.10

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.10)$$

การไหลแบบ Turbulent flow ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณจากสมการที่ 2.11 หรือ 2.12 และสามารถหาได้จาก Moody Chart ดังรูปที่ 2.12

สมการ Colebrook
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.11)$$

สมการ Haaland
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \quad (2.12)$$

เมื่อ ε คือ ค่าความขรุขระของท่อ ซึ่งหาค่าได้จากตารางที่ 2.1

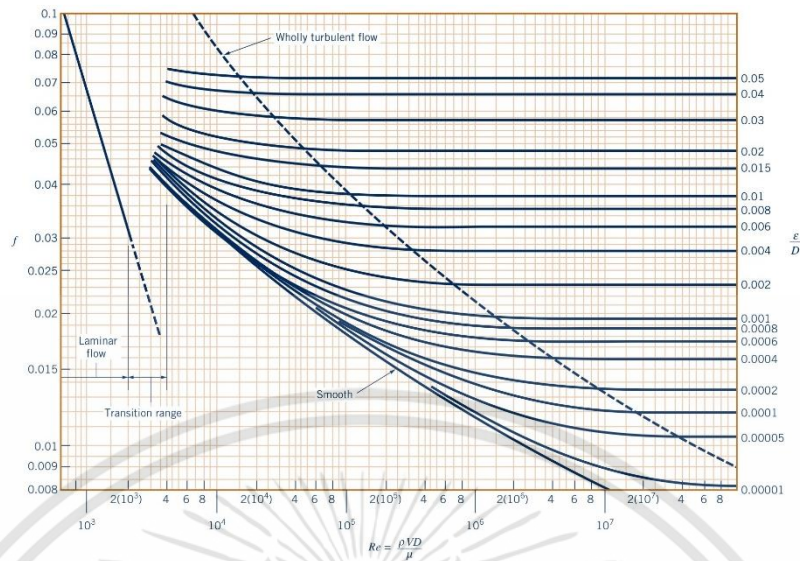
■ Table 8.1

Equivalent Roughness for New Pipes [Adapted from Moody (Ref. 7) and Colebrook (Ref. 8)]

Pipe	Equivalent Roughness, ε	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

ตารางที่ 2.2 ค่าความขรุขระของท่อ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผนภูมิ Moody chart [6]

การสูญเสียรอง (Minor loss) คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลภายในข้อต่อ วาล์ว ทางเข้าทางออกเป็นต้น ซึ่งการหา Head loss หรือ pressure drop ของการไหลผ่านวาล์ว ข้อต่อ หรืออื่นๆ ต้องระบุด้วยค่า loss coefficient, K_L จะได้สมการ Minor loss ดังสมการที่ 2.13

$$h_{L,minor} = K_L \frac{V^2}{2g} \tag{2.13}$$

- เมื่อ $h_{L,minor}$ คือ ค่าการสูญเสียรอง (m)
- K_L คือ สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์ (loss coefficient)
- V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)
- g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ loss coefficient, K_L หาได้จากรูปที่ 2.13

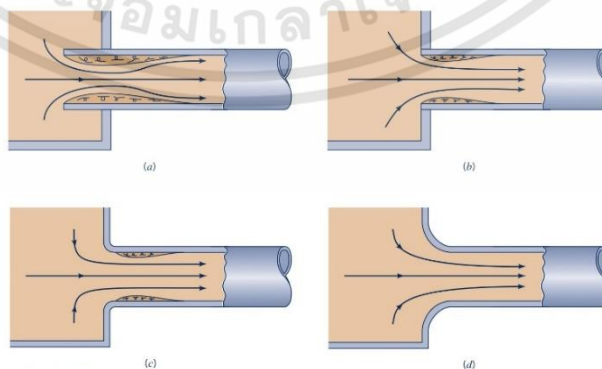


Figure 8.22 Entrance flow conditions and loss coefficient (Data from Refs. 28, 29).
 (a) Reentrant, $K_L = 0.8$, (b) sharp-edged, $K_L = 0.5$, (c) slightly rounded, $K_L = 0.2$ (see Fig. 8.24),
 (d) well-rounded, $K_L = 0.04$ (see Fig. 8.24).

รูปที่ 2.13 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์เนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง loss coefficient , K_L หาได้จากรูปที่ 2.14

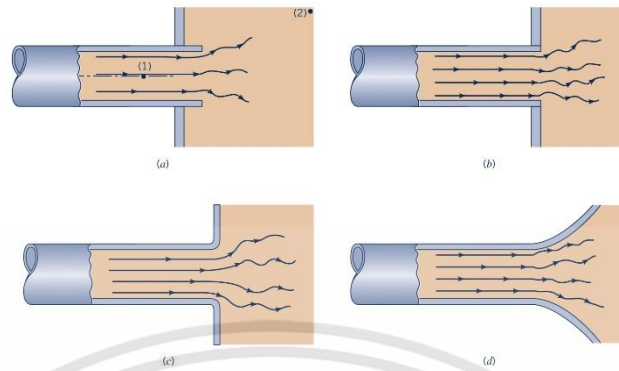


Figure 8.25 Exit flow conditions and loss coefficient. (a) Reentrant, $K_L = 1.0$, (b) sharp-edged, $K_L = 1.0$, (c) slightly rounded, $K_L = 1.0$, (d) well-rounded, $K_L = 1.0$.

รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์เนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง [6]

การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากผ่านข้ออ สามทาง วาล์ว หรือข้อต่อแบบต่างๆ loss coefficient , K_L หาได้จากรูปที่ 2.15

Table 8.2

Loss Coefficients for Pipe Components ($h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$) (Data from Refs. 5, 10, 27)

Component	K_L
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	
	0.08
*e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	0.26
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	2.1
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17
Swing check, forward flow	2
Swing check, backward flow	∞
Ball valve, fully open	0.05
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210

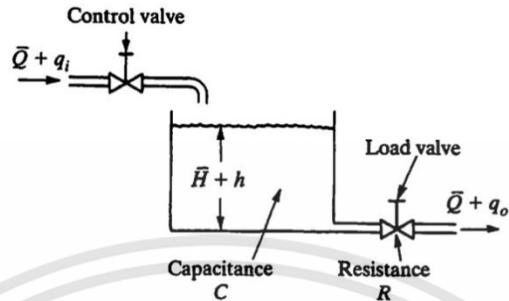
*See Fig. 8.32 for typical valve geometry.

รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์ข้อต่อรูปแบบต่างๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง



รูปที่ 2.16 แบบจำลองการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง [4]

- เมื่อ \bar{H} คือ ระดับน้ำที่สภาวะคงตัว (m)
 h คือ ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว (m)
 \bar{Q} คือ อัตราการไหลของน้ำที่สภาวะคงตัว (m^3/s)
 q_i คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว (m^3/s)
 q_o คือ อัตราการไหลออกของน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว (m^3/s)
 R คือ ค่าความต้านทานการไหล (s/m^2)
 C คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงความสูง (m^2)

จากกฎทรงมวล (Law of Conservation of mass) สามารถเขียนสมการแบบ 1 ถัง ได้ดังนี้

$$Cdh = (q_i - q_o)dt \quad (2.14)$$

$$R = \frac{dH}{dQ} = \frac{h}{q_o} \quad (2.15)$$

แทนสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.14) จะได้

$$C \frac{dh}{dt} = q_i - \frac{h}{R} \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

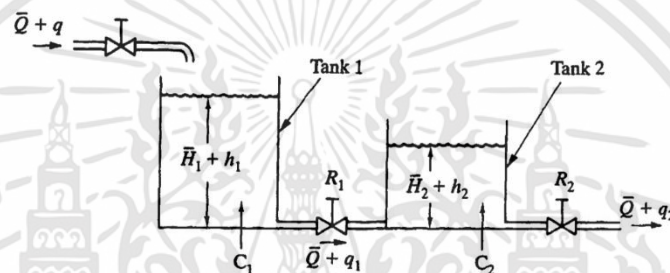
ทำการแปลงลาปลาซสมการ (2.17)

$$RCsH(s) + H(s) = RQ_i(s) \quad (2.18)$$

พิจารณา q_i เป็นอินพุตและ h เป็นเอาต์พุต จะเขียน Transfer Function ของระบบได้ดังนี้

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{1+RCs} \quad (2.19)$$

2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง



รูปที่ 2.17 แบบจำลองการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง [4]

จากแบบจำลองการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง เราสามารถเขียนสมการของถังที่ 1 ได้ ดังนี้

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1} \quad (2.20)$$

$$C_1 = \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (2.21)$$

และเราสามารถเขียนสมการของถังที่ 2 ได้ ดังนี้

$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \quad (2.22)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าพิจารณา q เป็นอินพุตและ h_2 เป็นเอาต์พุต transfer function ของระบบหาได้โดยการกำจัด q_1 , q_1 และ h_1 จากสมการ (2.20) ถึงสมการ (2.23) จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1} \quad (2.24)$$

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการปลูกผัก Hydroponic

เป็นหลักการที่สร้างขึ้นมาเพื่อมองหาทางเลือกอื่นในการปลูกพืชนอกจากการปลูกพืชภายในดิน คือหลักการปลูกพืชโดยไม่ต้องใช้ดินโดยจัดการให้พืชได้รับสารอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ทำให้วิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเริ่มมีความแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน

2.6.1 ระบบเอ็นเอฟที (nutrient film technique; NFT)

เป็นหลักการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายและให้สารอาหารผ่านแผ่นฟิล์มบางๆ มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตรใน การไหลของสารละลายอาจไหลเป็นแบบสลับหรือต่อเนื่องก็ได้ อัตราการไหลที่นิยมอยู่ในช่วง 80-200 ไมครอนต่อนาที โดยระบบ NFT มีการให้น้ำแก่พืชตลอดเวลา โดยไม่ต้องใช้เครื่องควบคุมการให้น้ำ แต่ราคาต่ำค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงและเป็นระบบที่ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะระบบมีโอกาสเสียได้ง่าย

2.6.2 ระบบดีเอฟที (deep floating technique; DFT)

เป็นหลักการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในภาชนะบรรจุสารละลายธาตุอาหารโดยมีความลึกเฉลี่ย 15 – 20 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 50 - 80 เซนติเมตร และยาวเฉลี่ย 1 - 10 เมตร โดยภาชนะนี้มีหน้าที่ทั้งปลูกและบรรจุสารละลาย ซึ่งการปลูกพืช Hydroponic แบบ DFT บรรจุสารละลายธาตุอาหารไว้ในภาชนะปลูกทั้งหมด ทำให้ไม่ต้องมีถังเก็บสารละลาย, ท่อ, ปั๊มน้ำ ช่วยประหยัดต้นทุนได้ แต่รากพืชมีโอกาสขาดออกซิเจนได้ง่าย เนื่องจากรากแช่อยู่ในสารละลายที่ลึกและไม่มีกรไหลเวียนของสารละลาย

2.6.3 ระบบดีอาร์เอฟที (Dynamic Root Floating Technique; DRFT)

เป็นหลักการปลูกผักปลูกพืช แบบน้ำลึกที่พัฒนามาจาก ระบบ DFT ซึ่งเป็นการปลูกพืชโดยให้รากสัมผัสกับสารละลายที่มีความสูง 3-5 เซนติเมตรและจัดให้มีรางปลูกที่ทำจากโฟม เพื่อบังคับให้สารละลายสัมผัสกับรากและได้รับออกซิเจนได้มากขึ้น ระบบ DRFT นี้จึงช่วยให้รากพืชได้รับอากาศได้ดีกว่าระบบ DFT รวมไปถึงการเพิ่มความเร็วในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารให้เร็วขึ้น เพื่อให้รากได้รับอากาศจากสารละลายธาตุอาหารมาทดแทนได้เร็วขึ้น แต่ผู้ปลูกจะต้องความเข้าใจในการปรับระดับน้ำให้เหมาะกับพืชที่ปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบดาต้าแอกควิสชัน (Data Acquisition System)

เป็นกระบวนการเก็บรวบรวมและสัญญาณทางกายภาพหรืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือแรงดันไฟฟ้า และแปลงสัญญาณที่รับมาให้เป็นค่าที่สามารถสื่อสารหรือแสดงให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นได้ จากนั้นทำการจัดการข้อมูลที่ได้เหล่านั้นด้วยซอฟต์แวร์ที่เราเลือกใช้ ซึ่งสามารถรับข้อมูลได้ตามเวลาจริงที่ทำการทดลอง

เรื่องของการวัดและการควบคุมในงานอุตสาหกรรมต้องอาศัยการเชื่อมโยง (Interfacing) กับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถจัดเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบที่มีการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ เรียกว่า Data Acquisition System (DAQ) แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.7.1 เซนเซอร์ (sensors)

มักถูกเรียกว่าทรานสดิวเซอร์ เป็นการแปลงค่าทางกายภาพที่วัดมาได้ เช่น อุณหภูมิ แรง หรือระยะการเคลื่อนที่ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โวลต์หรือกระแส

2.7.2 วงจรปรับสัญญาณ (signal conditioning)

เป็นการทำให้สัญญาณที่รับจากทรานสดิวเซอร์มีคุณภาพ โดยวงจรนี้เปรียบเสมือนการปรับสภาพสัญญาณ เช่น ขยายสัญญาณ ลดทอนสัญญาณ และกรองสัญญาณ เป็นต้น

2.7.3 ตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล

เป็นหลักการทำงานสำคัญในระบบดาต้าแอกควิสชัน ซึ่งหมายถึงการแปลงข้อมูลให้อยู่ในระดับที่โปรเซสเซอร์สามารถตีความได้ โดยยิ่งจำนวนบิตของอุปกรณ์มีค่ามากความละเอียดของข้อมูลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

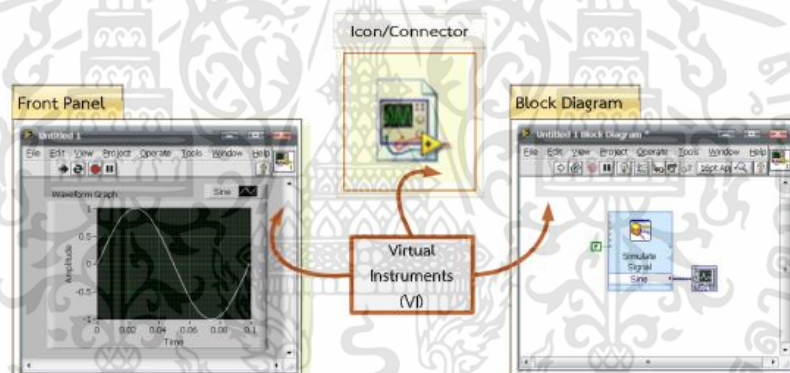


รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์ข้อมูลระบบดาต้าแอกควิสชัน [2]

2.8 โปรแกรมแลปวิว

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์รูปแบบเชิงกราฟิกที่ถูกออกแบบให้สามารถสร้างและจัดการเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพ แลปวิวเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท Graphical Programming Language (G-programming) เป็นการใช้ภาพสัญลักษณ์แทนการเขียนโค้ดหรือคำสั่ง ซึ่งผู้ใช้เพียงจัดวาง Icon, Function, ลงใน Block Diagram และทำการเชื่อมโยงสายสัญญาณ (Wiring) แต่ละองค์ประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับโพลชาร์ต และมีส่วน Front Panel สำหรับใช้เป็นส่วนติดต่อใช้งานกับผู้ใช้ (User Interface)

นอกจากนี้แลปวิวมีความสามารถในการรวม Data Acquisition, Analysis และ Presentation เข้าด้วยกันเพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอกมาทำการวิเคราะห์ และควบคุมอุปกรณ์โดยมีฟังก์ชันต่างๆสนับสนุนการใช้งาน ซึ่งโปรแกรมที่ถูกพัฒนาและเขียนขึ้นจากแลปวิว จะเรียกว่า Virtual Instruments (VI) ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของ Virtual Instruments[2]

Front Panel เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ทำหน้าที่ในการกำหนดคำสั่ง (Input) และเป็นตัวแสดงผลตอบสนอง (Output) โดยในส่วนของ Input ในโปรแกรมจะถูกเรียกว่า Control และ Output จะถูกเรียกว่า Indicator ทั้งตัว Control และ Indicator มีให้เลือกใช้ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น Knob, Bottom, Switch, Graph เป็นต้น

Block Diagram เป็นส่วนที่ผู้พัฒนาโปรแกรมใช้เขียนโปรแกรมเปรียบเสมือน Source code แต่จะอยู่ในลักษณะของรูปภาพ ซึ่งส่วนต่าง ๆ ใน Block Diagram จะถูกต่อเข้าด้วยกัน (wires) เพื่อเป็นทางเดินของข้อมูล

Icon/Connector เป็นส่วนกำหนดสัญลักษณ์ของฟังก์ชันในการทำ VI ให้เป็น Sub VI ซึ่งสามารถเรียกใช้ได้ใน Block Diagram ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา Application ที่มีขนาดใหญ่และง่ายต่อการแก้ไขโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

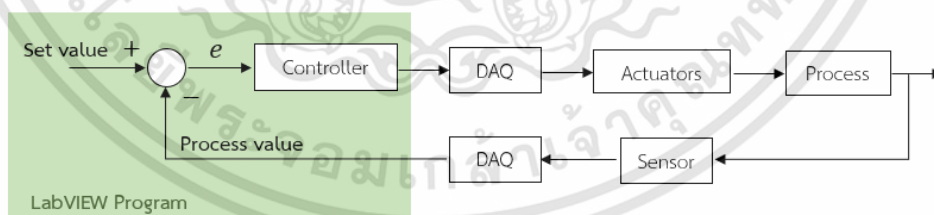
วิธีการดำเนินงานและการออกแบบชุดทดลอง

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับควบคุมระดับน้ำ โดยมีการอธิบายในส่วนของการกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ การคำนวณและการเลือกอุปกรณ์ และในการควบคุมระดับของของเหลวจะใช้โปรแกรมแลปวิวในการสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการและเป็นส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน

3.2 หลักการทำงานของชุดทดลอง

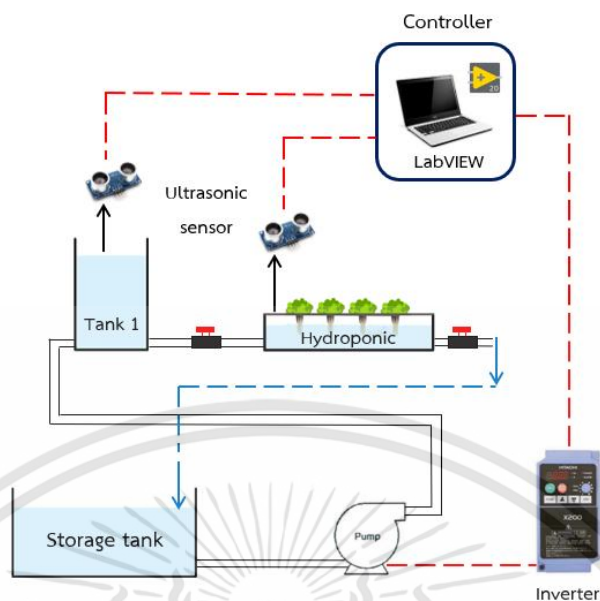
ชุดทดลองนี้เป็นชุดทดลองควบคุมระดับน้ำให้มีระดับน้ำตามที่กำหนด โดยเริ่มต้นจะป้อนค่าความสูงของระดับน้ำ (Set value) ที่ต้องการเข้าไปในโปรแกรมแลปวิวจากนั้นอัลตราโซนิกเซนเซอร์ จะทำการวัดค่าความสูงของระดับน้ำ (Process value) แล้วส่งค่ากลับมาที่โปรแกรมแลปวิวโดยการด DAQ Ni USB-6008 จากนั้นส่งค่าที่ได้ให้กับระบบควบคุมพีไอดีที่อยู่ภายในโปรแกรมแลปวิว เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าเริ่มต้นที่ถูกป้อนเข้าโปรแกรมแลปวิว จากนั้นตัวควบคุมพีไอดี จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปให้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำให้เพิ่มหรือลดอัตราการไหล เพื่อให้ได้ระดับน้ำตามค่าเริ่มต้นที่ถูกป้อนไว้ หากระดับน้ำยังไม่เท่ากับค่าเริ่มต้นที่ถูกป้อนเข้าไป อัลตราโซนิกเซนเซอร์จะวัดความสูงของระดับน้ำแล้วส่งกลับมาที่ตัวควบคุมพีไอดีเพื่อทำการแก้ไขต่อไป สามารถแสดงแผนภาพการทำงาน ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมระดับน้ำ

3.2.1 โครงสร้างของระบบควบคุมระดับน้ำ

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมระดับน้ำที่ต้องการนำมาสร้างเป็นชุดทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย ถังที่ 1 (Tank 1) และแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลอง (Hydroponic) สำหรับควบคุมระดับน้ำ เซนเซอร์วัดระดับ ปั้มน้ำ อินเวอร์เตอร์ และคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.2 ระบบการควบคุมระดับน้ำ

3.2.2 เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการของชุดทดลอง

จากรูปที่ 3.2 ถึงที่ 1 ที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในกระบวนการมีขนาด 25 X 20 X 25 เซนติเมตร จะได้ความจุของถังมีค่าเท่ากับ 12.5 ลิตร ในการควบคุมระดับน้ำในถังที่ 1 กำหนดค่าระดับต่ำสุด 5 เซนติเมตร และ ระดับสูงสุด 20 เซนติเมตร และแปลงผักไฮโดรโปนิกส์จำลองที่มีขนาด 25 X 60 X 10 เซนติเมตร ทำให้ความจุของแปลงผักไฮโดรโปนิกส์จำลองมีค่าเท่ากับ 15 ลิตร ซึ่งถังเก็บน้ำ กำหนดให้มีขนาด 25 X 60 X 25 cm. ซึ่งมีความสามารถในการบรรจุน้ำได้ถึง 37.5 ลิตร โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้กำหนดให้ระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิกส์เป็นแบบ DRFT ซึ่งกำหนดให้มีค่าระดับอยู่ในช่วง 3-5 เซนติเมตร โดยส่วนประกอบของชุดทดลองประกอบไปด้วยท่อ และ ฟิตติ้งขนาด 1/2 นิ้ว

3.3 การคำนวณและเลือกอุปกรณ์ในชุดทดลอง

3.3.1 เครื่องมือวัดระดับของของเหลว

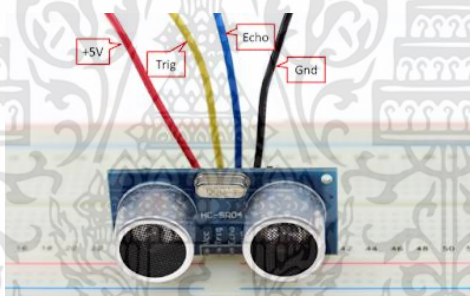
โครงการนี้เลือกใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์รุ่น HC-SR04 ในการวัดระดับความสูงของของเหลวภายในถังน้ำ โดยหลักการทำงานของอัลตราโซนิกเซนเซอร์รุ่น HC-SR04 คือ เซนเซอร์จะใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการวัดระยะห่างจากวัตถุเช่นเดียวกันกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกของค้างคาวและโลมา เป็นต้น ทำให้การวัดระยะทางของเซนเซอร์อัลตราโซนิกไม่จำเป็นต้องใช้การสัมผัสในการวัดหาระยะทางที่มีความสามารถในการวัดที่แม่นยำ มีความเสถียรและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ยังมียังเป็นที่ยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านระบบควบคุม ซึ่งหลักการทำงานคือ เซนเซอร์จะมีตัวรับ และ ส่ง คลื่นอัลตราโซนิก โดยตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกจะส่งคลื่นความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศด้วยความเร็วคลื่นประมาณ 346 m/s แล้วตัวรับคลื่นอัลตราโซนิกจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุที่คลื่นไปตกกระทบ จากนั้นเมื่อเซนเซอร์ทราบข้อมูลความเร็วของคลื่น, เวลาที่ใช้ในการเดินทางไปและกลับก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างของวัตถุได้จากสมการ

$$S = 346 \times 0.5t \quad (3.1)$$

เมื่อ S คือ ระยะห่างของวัตถุ
 t คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด

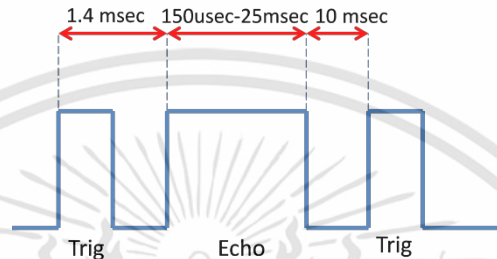
อัลตราโซนิกเซนเซอร์จึงต้องมีโมดูลเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ในการประมวลผล และส่งผลลัพธ์จากการคำนวณเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างและระยะทางที่วัดได้เพื่อให้การคำนวณหาระยะทางเป็นไปได้อย่างง่ายดาย โดยโมดูลเซนเซอร์มีจุดต่อทั้งหมด 4 จุดด้วยกันดังนี้



รูปที่ 3.3 โมดูลบนอัลตราโซนิกเซนเซอร์ [8]

1. ขา VCC ใช้ต่อกับแรงดันไฟเลี้ยงที่ไม่เกิน 5 Volt
2. ขา Trig เป็นขาอินพุตใช้สำหรับรับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 10 μ s เพื่อที่จะกระตุ้นการสร้างคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 40 kHz ออกสู่อากาศจากตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก
3. ขา Echo เป็นขาเอาต์พุตใช้สำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจากโมดูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจหาความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่พบแล้วคำนวณเป็นระยะห่างของวัตถุ
4. ขา GND ใช้สำหรับต่อจุดกราวด์ร่วมกับแรงดันและสัญญาณ

ตามคุณสมบัติของเซนเซอร์นั้นมันจะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 10 ms ส่งเข้าไปที่ขา Trig หลังจากนั้นอีกประมาณ 1.4 ms จึงจะเริ่มมีสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณตั้งแต่ 150 μ s – 25ms เกิดขึ้นที่ขา Echo ซึ่งถ้าหากมีความกว้างกว่าความกว้างดังกล่าว เซนเซอร์จะตรวจไม่พบวัตถุ หลังจากนั้นควรหน่วงเวลาอีก 10 ms แล้วจึงส่งสัญญาณเข้าไปที่ขา Trig ออกไปอีกรอบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นบนขา Trig และ Echo ในโมดูลเซนเซอร์ [8]

3.3.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลว

โครงการนี้เลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลวรุ่น YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter / Sensor ซึ่งเซนเซอร์ชนิดนี้จะวางอยู่ในแนวเดียวกับท่อน้ำภายในระบบ ซึ่งการทำงานของเซนเซอร์ คือ ภายในเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของของเหลวประกอบไปด้วยเซนเซอร์กังหัน (Pinwheel Sensor) ที่ทำหน้าที่ในการวัดปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านเซนเซอร์ และยังประกอบไปด้วย integrated magnetic hall effect sensor ที่ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณพัลส์ไฟฟ้า และยังทำหน้าที่ในการป้องกันน้ำจากท่อน้ำเพื่อให้เซนเซอร์ภายในเครื่องมือวัดอัตราการไหลตัวอื่น ๆ แห่งและปลอดภัย เนื่องจากถังเก็บน้ำของโครงการนี้มีความสูงเท่ากับ 25 cm. แต่ชุดทดลองต้องการควบคุมน้ำให้ให้มีระดับสูงสุดเพียง 20 cm. จึงทำให้มีค่าความเร็วและอัตราการไหลเท่ากับ

$$V = \sqrt{2gh} \quad (3.2)$$

$$Q = VA \quad (3.3)$$

เมื่อ	V	คือ	ความเร็วของของไหล (m/s)
	h	คือ	ความสูงของของไหล (m)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 สามารถหาค่าความเร็วได้เท่ากับ 1.98 m/s และได้อัตราการไหลเท่ากับ 26.98 l/min ชุดทดลองนี้จึงเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล รุ่น YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter Sensor ที่มีความสามารถในการวัดอัตราการไหลได้สูงสุด 30 l/min . เพียงพอต่อการใช้งานในระบบ



รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลรุ่น YF-S201 [9]

ซึ่งคุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลรุ่น YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter Sensor สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Working Voltage	5 V – 18 V
Maximum current	15 mA (DC 5 V)
Nominal pipe connections	1/2 in.
Maximum Flow rate	30 L/min
Maximum water pressure	2.0 MPa
Operating humidity	35% – 90% RH
Operating pressure	under 1.2Mpa
Size	2.5 X 1.4 X 1.4 in.
Accuracy	±10%

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การคำนวณการเลือกปั๊ม

ในการเลือกปั๊มให้เหมาะสมกับกระบวนการจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลากหลาย เช่น ประเภทของปั๊ม, เฮด, อัตราการไหล, ขนาดของปั๊ม เป็นต้น โดยการหาองค์ประกอบต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ความเร็วสูงสุดของระบบ สามารถคำนวณได้จากความสูงของถังน้ำภายในระบบ ซึ่งกำหนดให้ วาล์วทุกตัวในระบบไม่มีการต้านทาน โดยถังน้ำของระบบมีความสูงเท่ากับ 0.25 m จากสมการที่ 3.2 สามารถหาความเร็วสูงสุดของระบบได้เท่ากับ 2.215 m/s และจากสมการที่ 3.3 สามารถหาอัตราการไหลสูงสุดในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1/2 นิ้ว ได้เท่ากับ 30.2 L/min

หาค่า Reynolds Number เพื่อต้องการทราบว่าของไหลมีรูปแบบการไหลแบบใด ซึ่งต้องทำการหาค่าความหนาแน่นของน้ำและความหนืดสมบูร์นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้จากตารางที่ 2.1 จะได้ค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ) เท่ากับ 996.95 kg/m^3 และค่าความหนืดสมบูร์นของน้ำ (μ) เท่ากับ $0.89975 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อภายในขนาด 1/2 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.0017 m จากนั้นแทนค่าในสมการที่ 2.8 สามารถหาค่า Reynolds Number ได้เท่ากับ 41,718 ซึ่งมีค่ามากกว่า 4,000 ทำให้ระบบมีรูปแบบการไหลแบบ Turbulent

จากสมการที่ 2.11 หรือสมการของ Colebrook นำมาหาค่า Friction Factor เนื่องจากชุดทดลองนี้ เลือกใช้เป็นท่อ PVC ขนาด 1/2 นิ้ว โดยจากตารางที่ 2.2 ค่าความขรุขระของท่อ (ϵ) จะมีค่าเท่ากับ 0 ทำให้สามารถหาค่า Friction Factor ได้เท่ากับ 0.02176

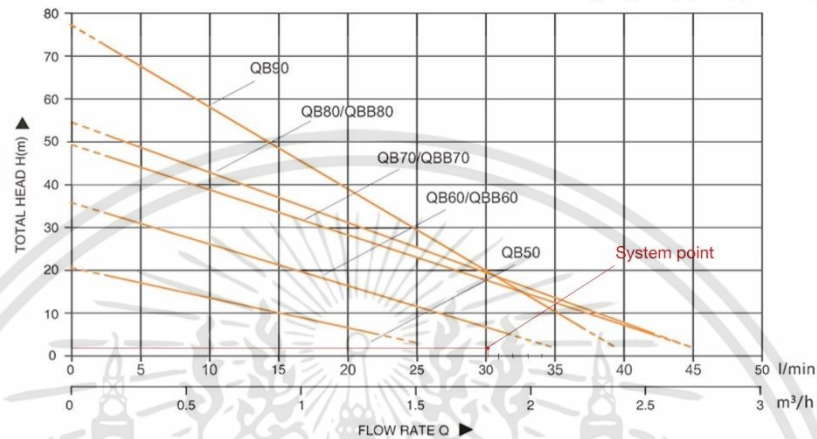
และในชุดทดลองมีความยาวของท่อตรง 1.13 เมตร ที่น้ำต้องไหลผ่านเข้าถังที่ 1 จากนั้นหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของอุปกรณ์ loss Coefficients K_L ของระบบ จากรูปที่ 2.12 , 2.13 และ 2.14 ได้เท่ากับ 3 จากนั้นแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในสมการที่ 2.7 หรือสมการของเบอร์นูลี จะได้เฮดปั๊ม (H_p) สูงสุดของระบบมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร

ชุดทดลองของเราจึงได้เลือกปั๊มยี่ห้อ Taifu ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.2

Model	Power		Inlet/Outlet (In)	Max.Suct (m)	Max.Flow (l/min)	Q(m ³ /h)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	
	kW	hp					0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
QB50	0.22	0.3	1" x 1"	8	25	H(m)	20	17	15	10	5	2					
QB60/QBB60	0.37	0.5	1" x 1"	8	35		35	27	25	18	14	11	5	2			
QB70/QBB70	0.55	0.75	1" x 1"	8	45		48	44	40	37	31	20	16	13	2.5		
QB80/QBB80	0.75	1.0	1" x 1"	8	45		53	45	44	37	27	20	16	13	4	2	
QB90	0.9	1.2	1" x 1"	8	45		75	60	58	41	35	30	22	18	12	2	

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของปั๊มรุ่นต่างๆ ของยี่ห้อ Taifu [10]

จากข้อมูลในรูปที่ 3.6 จุดสีแดงในกราฟคือจุดทำงานของระบบ (System point) ซึ่งอยู่ระหว่างปั๊มรุ่น QB50 และ QB60 ที่มีกำลัง 0.3 HP และ 0.5 HP ตามลำดับ ดังนั้นกลุ่มของเราจึงเลือกใช้รุ่น QB60 เนื่องจากสามารถทำอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 35 L/min ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในชุดทดลองนี้ ขณะที่ ปั๊ม Taifu รุ่น QB50 มีอัตราการไหลสูงสุดเพียง 25 L/min



รูปที่ 3.6 Performance curve ของปั๊มรุ่นต่างๆของยี่ห้อ Taifu [10]

ปั๊มยี่ห้อ Taifu รุ่น QB60 ประกอบไปด้วยคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 ปั๊มยี่ห้อ Taifu รุ่น QB60 [10]

Specification	
Model : QB60	N.120232018
Qmax 35 l/min	Hmax 32 m
Suct. Hmax 8 m	Size 1x1
220 Vac 1Phasae	Frequency 50 Hz
0.37 kW	0.5 HP
In 1.8 A	IP 54

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของปั๊มยี่ห้อ Taifu รุ่น QB60 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 หลักการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงไฟกระแสตรงในค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้าบ้านที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในค่าความต่างศักย์ 220 Volt เพื่อนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับปั้มน้ำต้องมีกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากกว่าปั้มน้ำ พิจารณาความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ รวมถึงแรงบิดของโหลด ตลอดจนสภาพแวดล้อมในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์

โดยอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้ในชุดทดลองนี้คือ อินเวอร์เตอร์รุ่น MITSUBISHI FR-D720S-0.4K (0.5 HP) มีรายละเอียดและคุณสมบัติดังตารางที่ 3.4

Configured Specifications			
Applicable motor capacity(kW)	0.4	Input voltage class	Single-Phase 200 V
Output Specification	Three-Phase	Output capacity(kVA)	1.0
External communications	RS-232/422/485	Representative Standard	CE / UL / CUL
Dimension height(mm)	128	Dimension width(mm)	68
Dimension depth(mm)	142.5	Protective Structure	Enclosed type (IP20)
Output rated current(A)	2.5	RoHS	-

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ MITSUBISHI FR-D720S-0.4K (0.5 HP) [5]



รูปที่ 3.8 อินเวอร์เตอร์ MITSUBISHI FR-D720S-0.4K (0.5 HP) [5]

จากตารางที่ 3.4 อินเวอร์เตอร์มีกระแสไฟฟ้า , กำลังไฟฟ้า และความถี่ที่เพียงพอต่อการใช้งาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 อุปกรณ์ DAQ (Data Acquisition System)

ชุดทดลองนี้เลือกใช้ NI USB-6008 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่รับค่ามาจากเครื่องมือวัดต่างๆแล้วทำการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อกและสามารถแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้ สามารถเชื่อมโยงฮาร์ดแวร์เข้ากับซอฟต์แวร์แลปวิวเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสำหรับการใช้งาน มีความสะดวกในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB และสามารถควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมแลปวิวผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้

คุณสมบัติของ NI USB-6008 มีดังนี้

อนาล็อกอินพุต 8 ช่อง

อนาล็อกเอาต์พุต 2 ช่อง

ดิจิทัลอินพุต/เอาต์พุต 12 ช่อง

Counter ขนาด 32 บิต

ความละเอียดอนาล็อกอินพุต ขนาด 12 บิต

พอร์ตแบบ USB รับส่งข้อมูลแบบ full speed

โครงสร้างองค์ประกอบฟังก์ชันการใช้งานของ Ni USB-6008 มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

USB ไมโครคอนโทรลเลอร์

หน่วยส่งออกข้อมูลดิจิทัล

แหล่งจ่ายไฟภายนอก +5V , 200 มิลลิแอมป์

หน่วยรับและส่งข้อมูลอนาล็อก I/O (input/output)



รูปที่ 3.9 Ni USB-6008

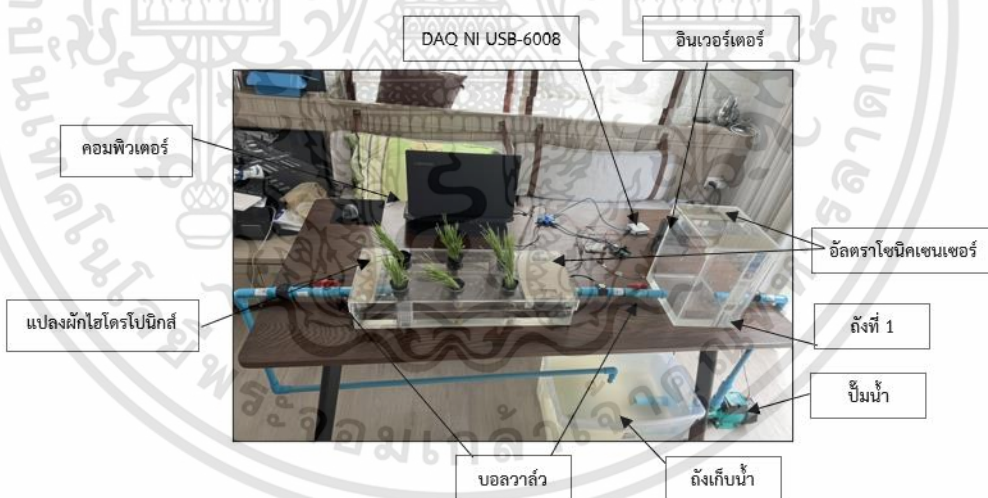
3.4 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง

อุปกรณ์ในการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

1. ถังน้ำอะคริลิกขนาด 25 X 20 X 25 cm.
2. แพลงผักไฮโดรโปนิคส์อะคริลิกขนาด 25 X 60 X 10 cm.
3. ถังเก็บน้ำขนาด 40 X 55 X 30 cm.
4. โต้ะขนาดพื้นที่หน้าตัด 90 X 160 cm. หนา 2 cm และขาโต๊ะมีความสูง 72 cm.
5. ท่อ pvc ตรง ขนาด 4 หุน และ 8 หุน
6. ข้อต่อท่อ pvc ต่างๆ
7. ถ้วยปลูกผักรูปทรงกรวยตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 cm

ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองเริ่มต้นด้วยการออกแบบผ่านโปรแกรม AutoCAD และ สร้างโมเดลจำลองด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS จากนั้นทำการสร้าง โดยเริ่มจากการซื้อชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อได้อุปกรณ์ครบแล้วจึงเริ่มประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนเข้ากัน จึงได้เป็นชุดทดลองดังแสดงในภาพที่ 3.10

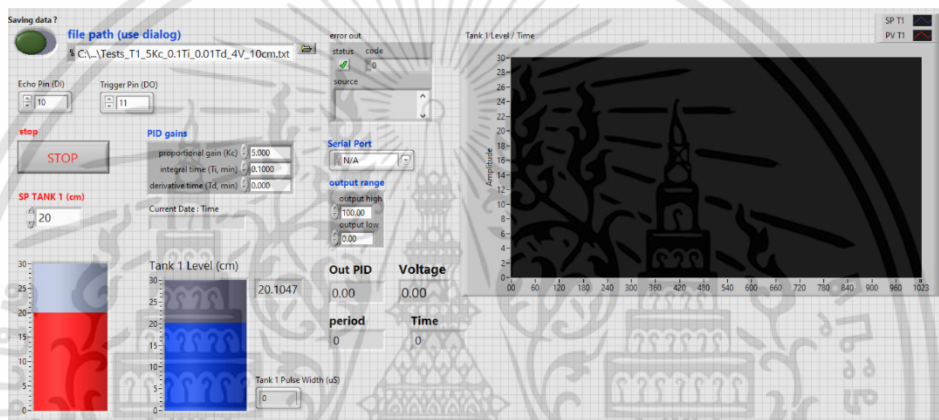


รูปที่ 3.10 รูปภาพชุดทดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์อัจฉริยะ

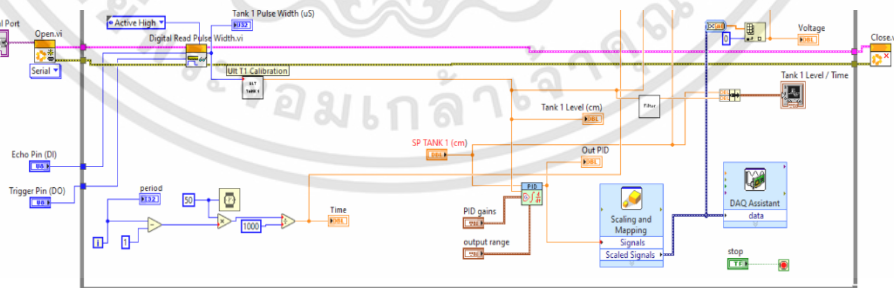
3.5 โปรแกรมแลปวิวสำหรับชุดทดลอง

ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การออกแบบโปรแกรมแลปวิวสำหรับชุดทดลองเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำด้วยฟังก์ชันพีไอทีในโปรแกรมแลปวิว และสร้างหน้าต่างสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน รวมถึงการเก็บข้อมูลสำหรับควบคุมระดับน้ำ ซึ่งแบ่งการออกแบบเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง และการออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง แบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ดังนี้

3.5.1 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง

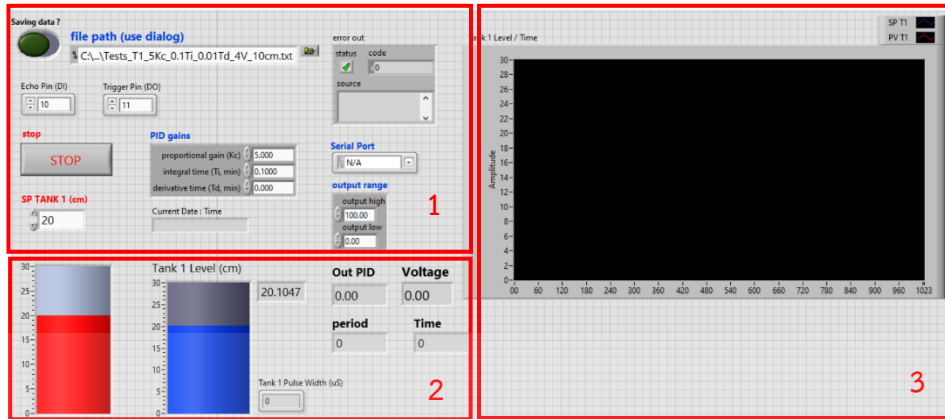


รูปที่ 3.11 หน้าต่าง Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

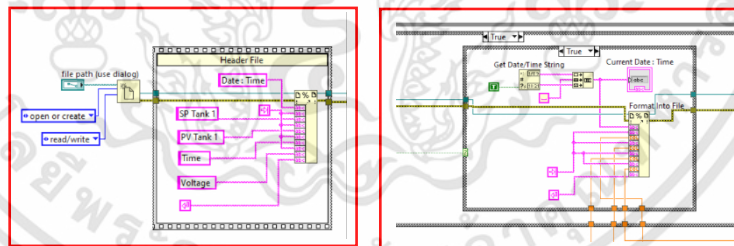


รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง

จากรูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง มีดังนี้
 ส่วนที่ 1 ตำแหน่งนี้ใน Front panel ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง มีไว้เพื่อป้อนค่าอินพุต ที่ต้องการเข้าสู่โปรแกรมแลบวิว คือ ระดับน้ำในถังที่ 1 รวมถึงค่าเกน K_p , K_i และ K_d และเลือกว่าจะเก็บบันทึกข้อมูลผลการทดลองหรือไม่ เป็นต้น

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่แสดงค่าเอาต์พุตที่รับค่ามาจากเซนเซอร์วัดระดับ ของระดับน้ำในถังที่ 1 แสดงผลตามเวลาจริง

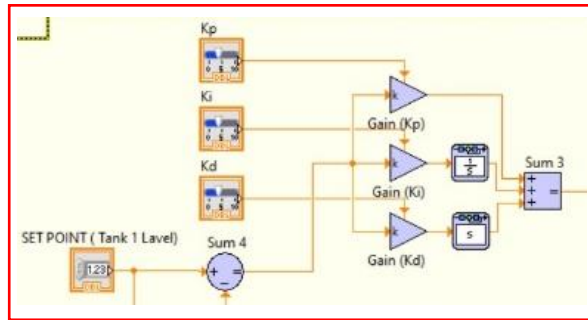
ส่วนที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเริ่มต้นและผลตอบสนองของระบบซึ่งคือระดับความสูงของระดับน้ำในถังที่ 1 ขณะนั้นเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันการเก็บบันทึกข้อมูลของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง

จากรูปที่ 3.14 ฟังก์ชันการเก็บข้อมูล ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปบันทึกลงในไฟล์นามสกุล .txt หรือไฟล์นามสกุล .xlsx ได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลการทดลองต่อไป

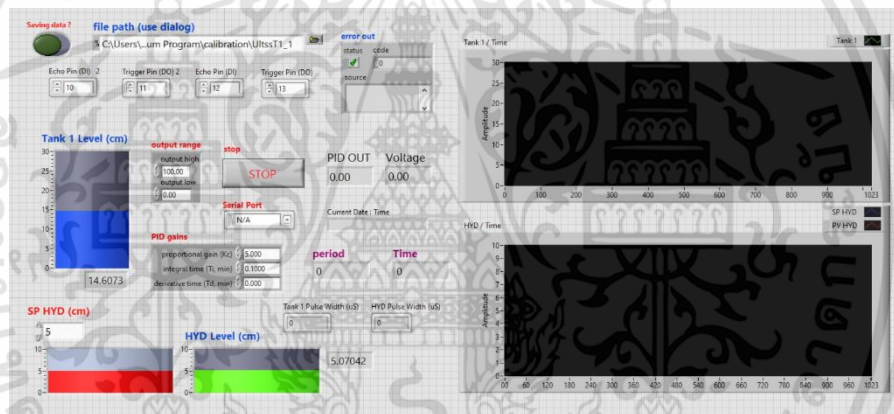
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



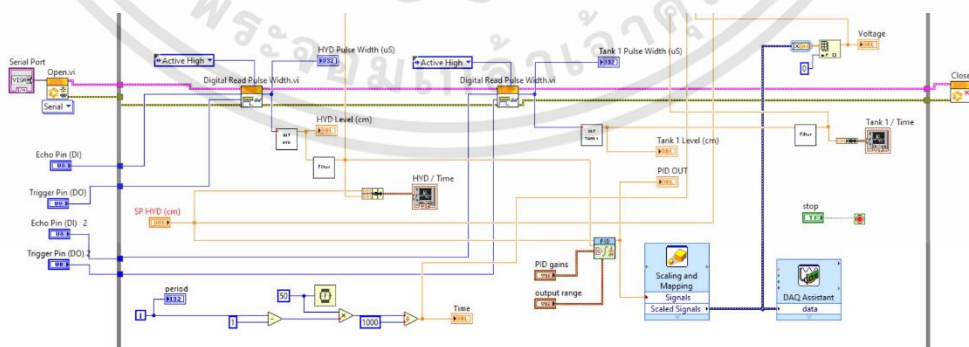
รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี

จากรูปที่ 3.15 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดีหรือสามารถเรียกใช้บล็อกไดอะแกรมที่เป็นฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอดีจากตัวโปรแกรมแลปวิวกี่สามารถทำได้

3.5.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

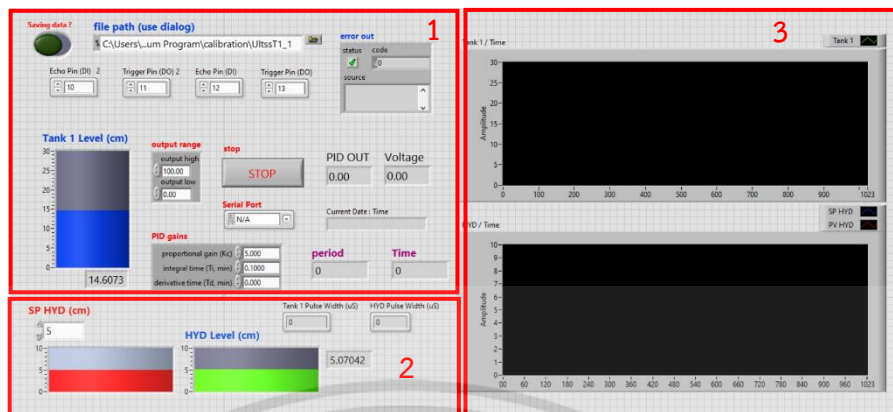


รูปที่ 3.16 หน้าต่าง Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถัง



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ 2 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง

จากรูปที่ 3.18 ส่วนประกอบของ Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง มีดังนี้ ส่วนที่ 1 ตำแหน่งนี้ใน Front panel ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง มีไว้เพื่อป้อนค่าอินพุต (Input) ที่ต้องการเข้าสู่โปรแกรมแลปวิว คือ ระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลอง รวมถึงค่าเกน K_p , K_i และ K_d และเลือกว่าจะเก็บบันทึกข้อมูลผลการทดลองหรือไม่ เป็นต้น

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่แสดงค่าเอาต์พุตที่รับค่ามาจากเซนเซอร์วัดระดับ ของระดับน้ำในถังที่ 1 ระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์แสดงผลตามเวลาจริง

ส่วนที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเริ่มต้น และผลตอบสนองของระบบซึ่งคือระดับความสูงของระดับน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิคส์ขณะนั้นเทียบกับเวลา และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของระดับน้ำในถังที่ 1 ขณะนั้นเทียบกับเวลา

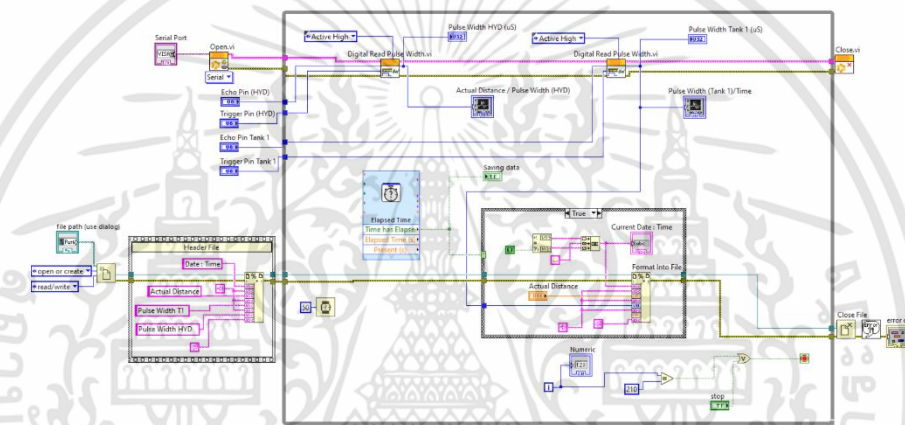
จากรูปที่ 3.14 ฟังก์ชันการเก็บข้อมูล ของระบบควบคุมแบบ 2 ถึง มีลักษณะเดียวกันกับ ฟังก์ชันการเก็บข้อมูล ของระบบควบคุมแบบ 1 ถึง เพียงแต่เพิ่มช่องสัญญาณให้สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้นตามที่ผู้ทดลองต้องการ และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปบันทึกลงในไฟล์นามสกุล .txt หรือไฟล์นามสกุล .xlsx ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลการทดลอง

บทที่ 4

ขั้นตอนและผลการทดลอง

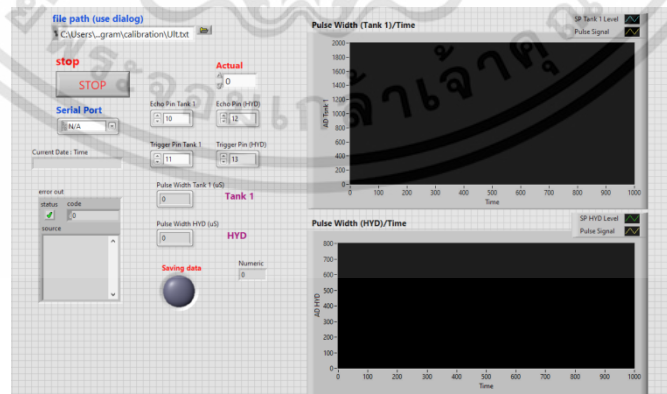
4.1 การสอบเทียบอัลตราโซนิกเซนเซอร์

การเปรียบเทียบค่าระยะทางจริง กับค่าระยะทางของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ เพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดว่ามีมาตรฐานและคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยทำการสอบเทียบผ่านโปรแกรมแลปวิว ซึ่งทำการเก็บค่าสัญญาณพัลส์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทางที่วัดได้ สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมเพื่อทำการสอบเทียบได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่าง Block diagram สำหรับทำการสอบเทียบ

เมื่อเริ่มทำการสอบเทียบผ่านโปรแกรมแลปวิว ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .txt และแสดงผลผ่านทางหน้าต่าง Front Panel ดังรูปต่อไปนี้

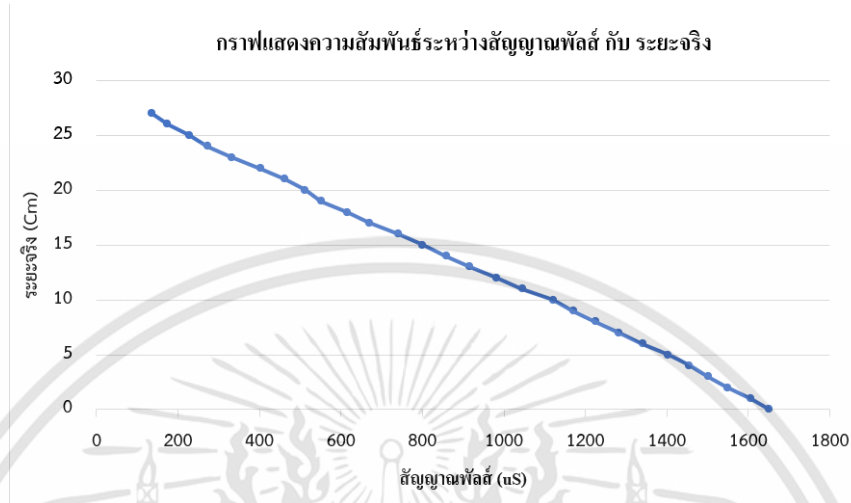


รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่าง Front panel สำหรับการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการสอบเทียบอัลตราโซนิกเซนเซอร์ของถังที่ 1

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบแสดงผลผ่านกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพัลส์และค่าระยะทางจริงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์กับระยะจริงของถังที่ 1

ทำการสอบเทียบค่าระยะจริงทั้งหมด 28 จุด จะได้สมการเส้นตรงทั้งหมด 27 สมการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสมการการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของถัง 1

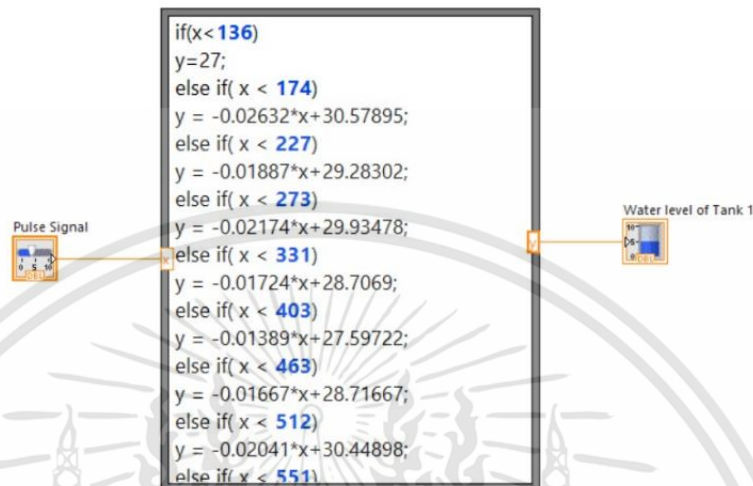
ระยะ (cm)	สมการสอบเทียบ	ระยะ (cm)	สมการสอบเทียบ
0-1	$y = -0.02273*x + 37.52273;$	14-15	$y = -0.01724*x + 28.81034;$
1-2	$y = -0.01724*x + 28.70690$	15-16	$y = -0.01695*x + 28.57627;$
2-3	$y = -0.02083*x + 34.27083;$	16-17	$y = -0.0137*x + 26.16438;$
3-4	$y = -0.02174*x + 35.63043;$	17-18	$y = -0.01852*x + 29.38889;$
4-5	$y = -0.01923*x + 31.98077;$	18-19	$y = -0.01563*x + 27.60938;$
5-6	$y = -0.01613*x + 27.62903;$	19-20	$y = -0.02564*x + 33.12821;$
6-7	$y = -0.01695*x + 28.72881;$	20-21	$y = -0.02041*x + 30.44898;$
7-8	$y = -0.01754*x + 29.49123;$	21-22	$y = -0.01667*x + 28.71667;$
8-9	$y = -0.01818*x + 30.27273;$	22-23	$y = -0.01389*x + 27.59722;$
9-10	$y = -0.02041*x + 32.87755;$	23-24	$y = -0.01724*x + 28.7069;$
10-11	$y = -0.01316*x + 24.75;$	24-25	$y = -0.02174*x + 29.93478;$
11-12	$y = -0.01587*x + 27.58730;$	25-26	$y = -0.01887*x + 29.28302;$
12-13	$y = -0.01515*x + 26.878789;$	26-27	$y = -0.02632*x + 30.57895;$
13-14	$y = -0.01754*x + 29.07018;$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

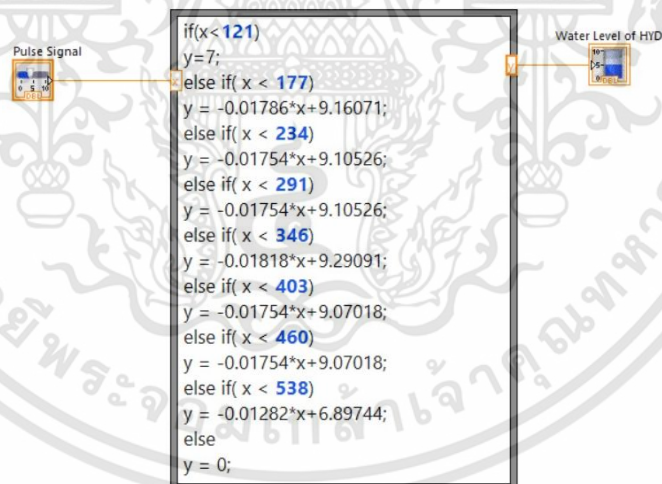
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สร้างโปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบในโปรแกรมแลปวิว

นำสมการสอบเทียบที่ได้ทั้งหมดมาสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทำการส่งค่าระยะทางจริงไปส่งการทำงานของชุดทดลองในขั้นตอนต่อไป ได้โปรแกรมย่อยดังนี้



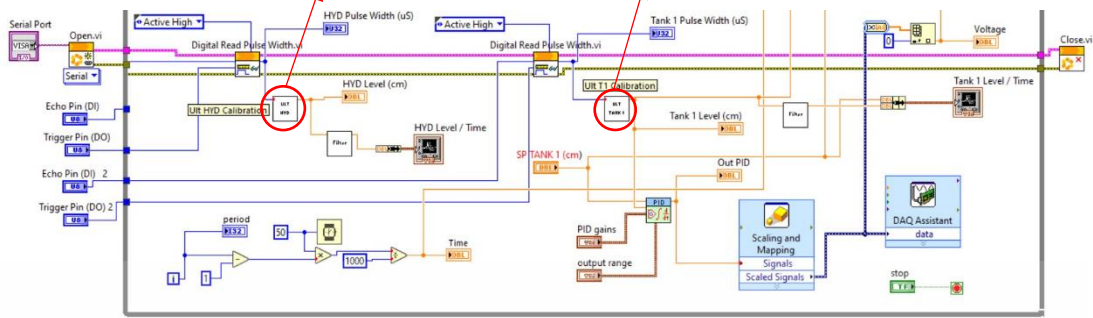
รูปที่ 4.5 โปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของถังที่ 1



รูปที่ 4.6 โปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ ของแปลงผักไฮโดรโปนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างตำแหน่งของโปรแกรมย่อยจากการสอบเทียบ อัลตราโซนิกเซนเซอร์

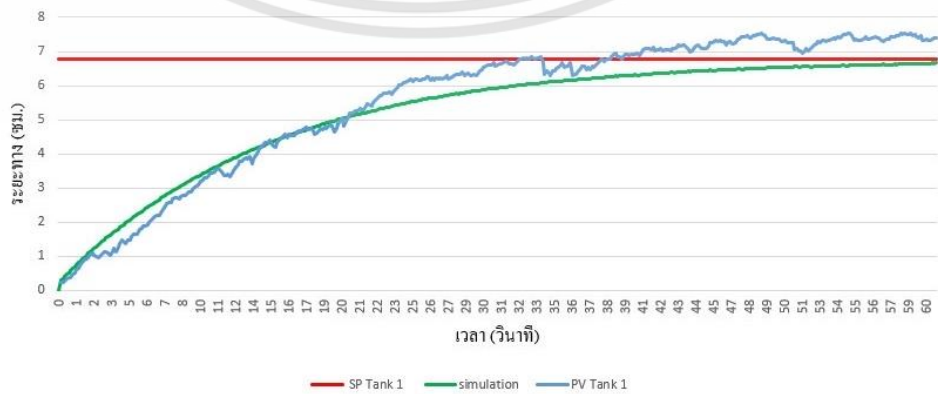
4.2 การหาค่าความต้านทานการไหลของระบบ

ทำการเก็บผลการทดลองการตอบสนองของระบบ โดยในขั้นตอนแรกจะกำหนดค่า $K_p = 5$, $K_i = 10$ และ $K_d = 0$ จากนั้นทำการทดลองโดยโปรแกรมแลปวิวจะเก็บค่าข้อมูลผลตอบสนองของระบบเป็นไฟล์นามสกุล .txt จากนั้นทำการจำลองระบบด้วยโปรแกรมแลปวิวเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบจำลองและระบบจริง จากนั้นทำการอ่านค่าความต้านทานจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรมแลปวิวเมื่อผลตอบสนองของการจำลองและระบบจริงใกล้เคียงกัน

และเนื่องจากขณะที่ระบบอยู่ในสถานะสมดุลระดับน้ำเริ่มต้นอยู่ที่ความสูง 3.23 cm. ในขณะที่ทำการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง และระดับเริ่มต้นน้ำอยู่ที่ความสูง 2.9 cm ในขณะที่ทำการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง ทำให้ขณะทำการจำลองหาการตอบสนองของระบบด้วยโปรแกรมแลปวิวต้องทำการลบค่าความสูงเริ่มต้นดังกล่าวออกจาก Setpoint ของการทดลองด้วย

4.2.1 หาค่าความต้านทานของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง

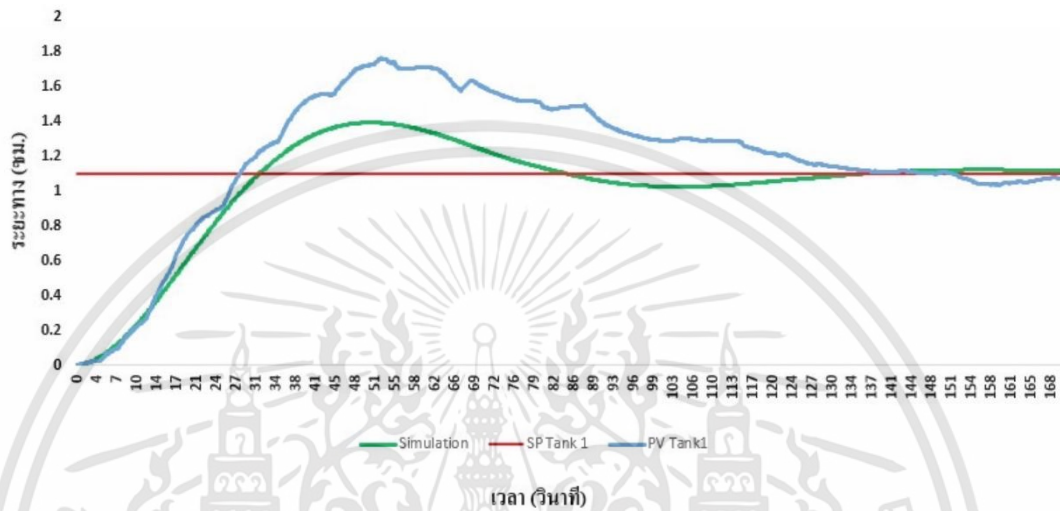
ที่ค่า $R = 0.007 \text{ s/m}^2$ และ $C = 0.05 \text{ m}^2$ ได้ผลตอบสนองของระบบที่จำลองโดยโปรแกรมแลปวิวเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของชุดทดลองดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลตอบสนองที่ 10 cm ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 หาค่าความต้านทานของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

ที่ค่า $R_1 = 400 \text{ s/m}^2$ $R_2 = 0.009 \text{ s/m}^2$ $C_1 = 0.05 \text{ m}^2$ และ $C_2 = 0.15 \text{ m}^2$ ได้ผลตอบสนองของระบบที่จำลองโดยโปรแกรมแลปวิวเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของระบบจากชุดทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลตอบสนองที่ 4 cm ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

4.3 การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d

ในหัวข้อนี้เป็นการทดลองปรับค่า K_p , K_i และ K_d เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มพฤติกรรมของค่าผลลัพธ์ของค่าเกนโดยขั้นตอนการทดลอง คือ ในตอนแรกทำการสุ่มค่าขึ้นมาค่าหนึ่ง จากนั้นทำการปรับค่าตัวหนึ่ง โดยที่เกนอีกสองตัวมีค่าคงที่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของค่าเกนนั้น จากนั้นทำการปรับค่าเกนตัวที่สอง โดยค่าเกนอีกสองตัวที่เหลือคงที่ จากนั้นปรับค่าเกนตัวที่สาม โดยให้ค่าเกนอีกตัวที่เหลือมีค่าคงที่ จากนั้นบันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_p ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง

K_p	K_i	K_d	Setting Time (วินาที)	Output (ซม.)	Steady State Error (%)
2.50	10	0	118.0000	7.2845	7.5999
5.00	10	0	56.0000	6.9648	2.8769
7.50	10	0	82.8000	5.9990	11.3879
10.00	10	0	140.8000	4.8109	28.9379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_p มากขึ้น ค่า Setting time จะมีค่าลดลงจนถึงตำแหน่งค่าเกน $K_p = 5$ หลังจากนั้นค่า Setting time จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น, ค่า Steady state error มีพฤติกรรมคล้ายกับค่า Setting time

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_i ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง

K_p	K_i	K_d	Setting Time (วินาที)	Output (ซม.)	Steady State Error (%)
5	5.00	0	104.0000	7.5094	10.9213
5	6.67	0	96.0000	7.2336	6.8476
5	10.00	0	56.0000	6.9648	2.8769
5	20.00	0	64.0000	7.1937	6.2582

จากตารางที่ 4.4 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_i มากขึ้น ค่า Setting time จะมีแนวโน้มลดลงจนถึงตำแหน่งค่าเกน $K_i = 10$ หลังจากนั้นค่า Setting time จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น, ค่า Steady State Error มีพฤติกรรมคล้ายกับค่า Setting time

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_d ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง

K_p	K_i	K_d	Setting Time (วินาที)	Output (ซม.)	Steady State Error (%)
5	10	0.010	80.0000	7.0867	4.6783
5	10	0.025	99.2000	7.1423	5.5126
5	10	0.050	172.0000	7.0765	4.5275
5	10	0.075	96.0000	7.0338	3.8968

จากตารางที่ 4.5 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_d มากขึ้น ค่า Setting time จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งค่าเกน $K_d = 0.25$ หลังจากนั้นค่า Setting time จะมีค่าลดลง, ค่า Steady state error มีพฤติกรรมคล้ายกับค่า Setting time

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_p ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง

K_p	K_i	K_d	Maximum Overshoot (ชม.)	Setting Time (วินาที)	Output (ชม.)	Steady State Error (%)
5	10	0	0.6541	90.5250	1.0339	6.0073
10	10	0	0.6188	113.6000	1.1659	5.9964
25	10	0	0.5293	104.7250	1.2567	14.2445
50	10	0	0.4888	99.4000	1.1987	8.9681

จากตารางที่ 4.6 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_p มากขึ้น ค่า Setting time จะเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งค่าเกน $K_p = 10$ หลังจากนั้นค่า Setting time จะมีค่าลดลง, ค่า Steady state error มีพฤติกรรมคล้ายกับค่า Setting time คือ ช่วงค่าเกน $K_p = 5$ ถึง $K_p = 10$ ค่า Steady state error จะมีค่าลดลงแล้วหลังจากค่าเกน $K_p = 10$ ค่า Steady state error จะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงอีกครั้งเมื่อค่าเกน $K_p = 25$, ค่า Maximum overshoot มีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเกน K_p เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_i ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง

K_p	K_i	K_d	Maximum Overshoot (ชม.)	Setting Time (วินาที)	Output (ชม.)	Steady State Error (%)
5	5	0	0.7145	117.1500	1.1488	4.4355
5	15	0	0.9469	94.0750	1.1359	3.2673
5	25	0	1.2593	92.3000	1.1315	2.8655
5	50	0	1.5926	79.8750	1.1599	5.4536

จากตารางที่ 4.7 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_i มากขึ้น ค่า Setting time มีแนวโน้มลดลง, ค่า Steady state error ในช่วงค่าเกน $K_i = 5$ ถึง $K_i = 25$ ค่า Steady state error จะมีค่าลดลงแล้วหลังจากค่าเกน $K_i = 25$ ค่า Steady state error จะมีค่าเพิ่มขึ้น, ค่า Maximum overshoot มีค่าผลลัพธ์แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเกน K_i เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าผลลัพธ์เมื่อเปลี่ยน K_d ของการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

K_p	K_i	K_d	Maximum Overshoot (ชม.)	Setting Time (วินาที)	Output (ชม.)	Steady State Error (%)
5	10	0.01	1.4336	138.4500	1.6138	46.7118
5	10	0.10	1.2117	127.8000	1.4652	33.1973
5	10	1.00	1.3811	127.8000	1.5787	43.5209
5	10	10.00	1.2303	118.9250	1.4021	27.4645

จากตารางที่ 4.8 เห็นว่าเมื่อปรับค่าเกน K_d มากขึ้น ค่า Setting time มีค่าผลลัพธ์แนวโน้มน้อยลงเมื่อค่าเกน K_d มากขึ้น, ค่า Steady state error มีพฤติกรรมแกว่งค่าผลลัพธ์เพิ่ม - ลดไปมา เมื่อค่าเกน K_d มากขึ้น, ค่า Maximum overshoot มีพฤติกรรมแกว่งค่าผลลัพธ์เพิ่ม - ลดไปมาเมื่อค่าเกน K_d มากขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเกน K_p ที่มากขึ้นมีผลหลักในการลดค่า Maximum overshoot รวมไปถึงยังสามารถลดค่า Steady state error และ ค่า Setting time ในปริมาณเกณฑ์ที่เหมาะสม, ค่าเกน K_i ที่มากขึ้นมีผลหลักในการลดค่า Setting time รวมไปถึงยังสามารถลดค่า Steady state error และ ค่า Maximum overshoot ในปริมาณเกณฑ์ที่เหมาะสม, ค่าเกน K_d ที่มากขึ้นมีผลหลักในการทำให้ระบบตอบสนองไวขึ้น และ ลดค่า Setting time รวมไปถึงยังสามารถลดค่า Steady state error และ ค่า Maximum overshoot ในปริมาณเกณฑ์ที่เหมาะสม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอถึงการออกแบบและสร้างชุดลองระบบควบคุมพีไอดีในแปลงผักอัจฉริยะโดยมีอุปกรณ์ในระบบคือ อัลตราโซนิกเซนเซอร์เป็นเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณเป็นค่าความกว้างพัลส์เพื่อวัดระดับของเหลวในชุดทดลอง มีอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมอัตราไหลเข้าสู่ระบบ โดยการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ โดยใช้ฟังก์ชันพีไอดีในโปรแกรมแลปวิวเป็นตัวควบคุม

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการออกแบบชุดทดลองโดยการคำนวณเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสม เช่น ปั้มน้ำ อินเวอร์เตอร์ ขนาดของถัง เป็นต้น ออกแบบโปรแกรมแลปวิวสำหรับควบคุมชุดทดลอง ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด และทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบ ซึ่งจากการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลอง ดังนี้ $K_p = 5$, $K_i = 10$ และ $K_d = 0.01$ และจากการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถึง ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลอง ดังนี้ $K_p = 5$, $K_i = 25$ และ $K_d = 10$.

5.2 ปัญหาจากการศึกษา

อัลตราโซนิกเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการตอบสนอง ทำให้มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซนเซอร์ เช่น การสั่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ระหว่างถังที่ 1 และแปลงผักไฮโดรโปนิคส์จำลองในระบบมีระยะห่างน้อยเกินไป เมื่อติดตั้งบอลลวล์และ เซนเซอร์วัดอัตราการไหล มีการใช้ข้อต่อท่อหลายชิ้น ทำให้มีการต้านการเคลื่อนที่ของของไหลในระบบเพิ่มขึ้น ปริมาตรและพื้นที่ฐานของถังที่ 1 น้อยเกินไปทำให้ขณะของไหลไหลเข้าสู่ถังที่ 1 ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนส่งผลให้อัลตราโซนิกเซนเซอร์อ่านค่าได้คลาดเคลื่อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรติดตั้งอัลตราโซนิกเซนเซอร์ให้มั่นคงเพราะอัลตราโซนิกเซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการตอบสนองสูง เพิ่มพื้นที่ฐานหรือเพิ่มปริมาตรของถังที่ 1 ป้องกันหรือลดการไหลแบบปั่นป่วนและยังทำให้เพิ่มความแม่นยำในการอ่านค่าของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาณุ วัฒนศรี, อภิสิทธิ์ แอนดริส และอานูภาพ กุลศรี. 2557. **พลาเน็ตโมเดลการควบคุมระดับน้ำ**. สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ณัฐพล จะสูงเนิน. 2556. **การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเชื่อมโยงฮาร์ดแวร์ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW**. ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] William Palm III, **System Dynamics (Third edition)**, McGraw-Hill Education, United States of America. 2014
- [4] Katsuhiko Ogata, **System Dynamics (Fourth edition)**, Pearson Prentice Hall, United States of America. 2004
- [5] Mitsubishi Electric, **FREQROL-D700 series (FR-D720S-0.4K)**. [Online], Available: <https://th.misumishielectric.com> [20 พฤษภาคม 2565]
- [6] Bruce R. Munson, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, and Alric P. Rothmayer, **Fundamentals of Fluid Mechanics (Seventh edition)**, John Wiley & Sons, Inc. 2013
- [7] Primus co., ltd. **Control System** [Online], Available: <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=210> [14 พฤศจิกายน 2564]
- [8] ชไมพร สมเสนาะ และชิตารัตน์ เตียวสุวรรณ. 2561. **หลักการทำงาน HC-SR04**. [Online], Available: <http://tidarat033.blogspot.com> [14 พฤศจิกายน 2564]
- [9] AB-Maker. **YF-S201 Water Flow Sensor** [Online], Available: <https://www.ab.in.th/product>. [14 พฤศจิกายน 2564]
- [10] Zhejiang taifu pump co., ltd. **QB60 Centrifugal Pump**. [Online], Available: <https://www.chinataifu.com/taifu/AC-DC-details.html?a=39>. [14 พฤศจิกายน 2564]

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์รุ่น MITSUBISHI FR-D720S-0.4K



รูปที่ 1 ก อินเวอร์เตอร์รุ่น Hitachi X200 Series

The operation panel cannot be removed from the inverter.

Operation mode indication
 PU: Lit to indicate PU operation mode.
 EXT: Lit to indicate External operation mode.
 (Lit at power-ON at initial setting.)
 NET: Lit to indicate Network operation mode.
 PU, EXT, Li to indicate External/PU combined operation mode 1, 2.
 These turn OFF when command source is not on operation panel.

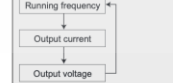
Unit indication
 Hz: Lit to indicate frequency.
 (Flickers when the set frequency monitor is displayed.)
 A: Lit to indicate current.
 (Both "Hz" and "A" turn off when other than the above is displayed.)

Monitor (4-digit LED)
 Shows the frequency, parameter number, etc.

Setting dial
 (Setting dial: Mitsubishi inverter dial)
 Used to change the frequency setting and parameter values.
 Press to display the following:
 • Displays the set frequency in the monitor mode
 • Present set value is displayed during calibration
 • Displays the order in the faults history mode

Mode switchover
 Used to change each setting mode.
 Pressing **EXT** simultaneously changes the operation mode. (Refer to page 33)
 Pressing for a while (2s) can lock operation. (Refer to page 34)

Determination of each setting
 If pressed during operation, monitor changes as below:



Operating status display
 Lit or flicker during inverter operation.
 • On: Indicates that forward rotation operation is being performed.
 Slow flickering (1.4s cycle): Reverse rotation operation
 Fast flickering (0.2s cycle):
 • When **RUN** was pressed or the start command was given, but the operation can not be made.
 • When the frequency command is less than the starting frequency.
 • When the MRS signal is input.

Parameter setting mode indication
 Lit to indicate parameter setting mode.

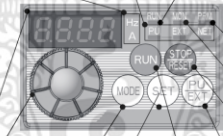
Monitor indication
 Lit to indicate monitoring mode.

Stop operation
 Used to stop Run command.
 Fault can be reset when protective function is activated (fault).

Operation mode switchover
 Used to switch between the PU and External operation mode.
 When using the External operation mode (operation using a separately connected frequency setting potentiometer and start signal), press this key to light up the EXT indication.

(Press **MODE** simultaneously (0.5s) (Refer to page 33), or change Pr. 79 setting to change to combined mode.) (Refer to page 46)
 PU: PU operation mode
 EXT: External operation mode
 Cancels PU stop also.

Start command
 The rotation direction can be selected by setting Pr. 41.



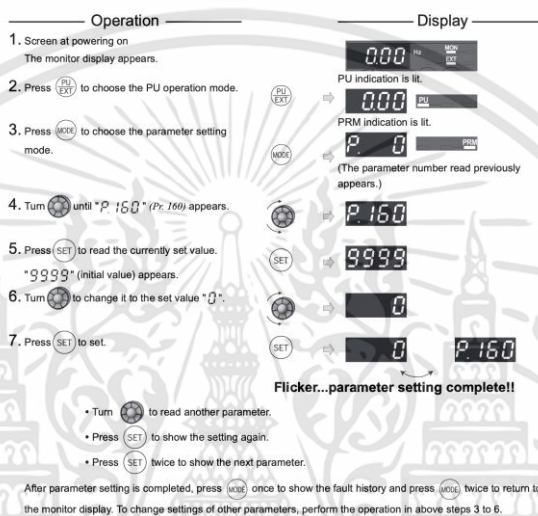
รูปที่ 2 ก การใช้งานหน้า Operation Panel ของอินเวอร์เตอร์รุ่น Hitachi X200 Series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การตั้งค่าเพื่อแสดงพารามิเตอร์สำหรับใช้งานทั้งหมดของอินเวอร์เตอร์

- 1.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 1.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.160 แล้วกด SET
- 1.3 เลื่อน Setting Dial ไปที่ 0 แล้วกด SET
- 1.4 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

3.6.2 To display the extended parameters



รูปที่ 3ก การตั้งค่าเพื่อแสดงพารามิเตอร์สำหรับใช้งานทั้งหมดของอินเวอร์เตอร์

2. การตั้งค่าเพื่อกำหนดค่า Maximum Frequency

- 2.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 2.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.1 แล้วกด SET
- 2.3 เลื่อน Setting Dial ไปที่ 60 แล้วกด SET เพราะต้องการให้รับค่าความถี่สูงสุด 60 Hz
- 2.4 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

3. การตั้งค่าเพื่อกำหนดค่า Minimum Frequency

- 3.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 3.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.2 แล้วกด SET
- 3.3 เลื่อน Setting Dial ไปที่ 0 แล้วกด SET เพราะต้องการให้รับค่าความถี่ต่ำสุด 0 Hz
- 3.4 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

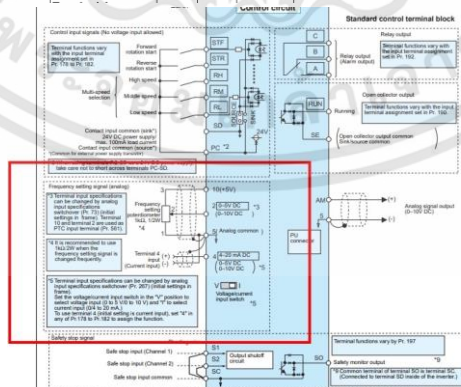
Function	Parameter		Name	Increments	Initial Value	Range	Description	Parameter Copy	Parameter Clear	All Parameter Clear
	Related Parameter									
Manual torque boost V/F	0	⊙	Torque boost	0.1%	6/4/3%*	0 to 30%	Set the output voltage at 0Hz as %. * Initial value depends on the inverter capacity. (0.75K or more/1.5K to 3.7K/5.5K, 7.5K)	○	○	○
	46		Second torque boost	0.1%	9999	0 to 30% 9999	Torque boost when the RT signal is on. Without second torque boost	○	○	○
Maximum/minimum frequency	1	⊙	Maximum frequency	0.01Hz	120Hz	0 to 120Hz	Upper limit of the output frequency.	○	○	○
	2	⊙	Minimum frequency	0.01Hz	0Hz	0 to 120Hz	Lower limit of the output frequency.	○	○	○
	18		High speed maximum frequency	0.01Hz	120Hz	120 to 400Hz	Set when performing the operation at 120Hz or more.	○	○	○

รูปที่ 4ก การตั้งค่าเพื่อปรับความถี่สูงสุด - ค่าสุดท้ายอินเวอร์เตอร์ต้องการรับ

4. การตั้งค่าเพื่อตั้งค่าความถี่สูงสุดที่รับได้ใน Terminal 2 (ทางผู้จัดทำใช้ Terminal 2 เพราะ Terminal 2 สามารถปรับสัญญาณเป็น 0 -5 VDC ให้กับ DAQ NI-USB6008 ได้)

- 4.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 4.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.125 แล้วกด SET
- 4.3 เลื่อน Setting Dial ไปที่ 60 แล้วกด SET เพราะต้องการให้รับค่าความถี่สูงสุด 60 Hz
- 4.4 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

Function	Parameter Related Parameter	Name	Increments	Initial Value	Range	Description	Parameter Copy	Parameter Clear	All Parameter Clear
	125	Terminal 2 frequency setting gain frequency	0.01Hz	60Hz	0 to 400Hz	Frequency of terminal 2 input gain (maximum).	○	x	○



รูปที่ 5ก การตั้งค่าเพื่อปรับการรับความถี่สูงสุดที่ Terminal 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การตั้งค่าเพื่อเลือกประเภทของสัญญาณที่อินเวอร์เตอร์ต้องการเป็นสัญญาณอนาล็อกที่สามารถควบคุมได้ผ่านโปรแกรม LabVIEW ของคอมพิวเตอร์ และสามารถเริ่มการทำงานได้โดยกดปุ่ม RUN บน Operation Panel

- 5.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 5.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.79 แล้วกด SET
- 5.3 เลื่อน Setting Dial ไปที่ 4 แล้วกด SET
- 5.4 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

Operation Panel Indication	Operation Method	
	Start command	Frequency command
	External (STF, STR)	Analog voltage input
	External (STF, STR)	
		Analog voltage input

รูปที่ 6k การตั้งค่าเพื่อการเลือกประเภทของสัญญาณที่อินเวอร์เตอร์ต้องการ

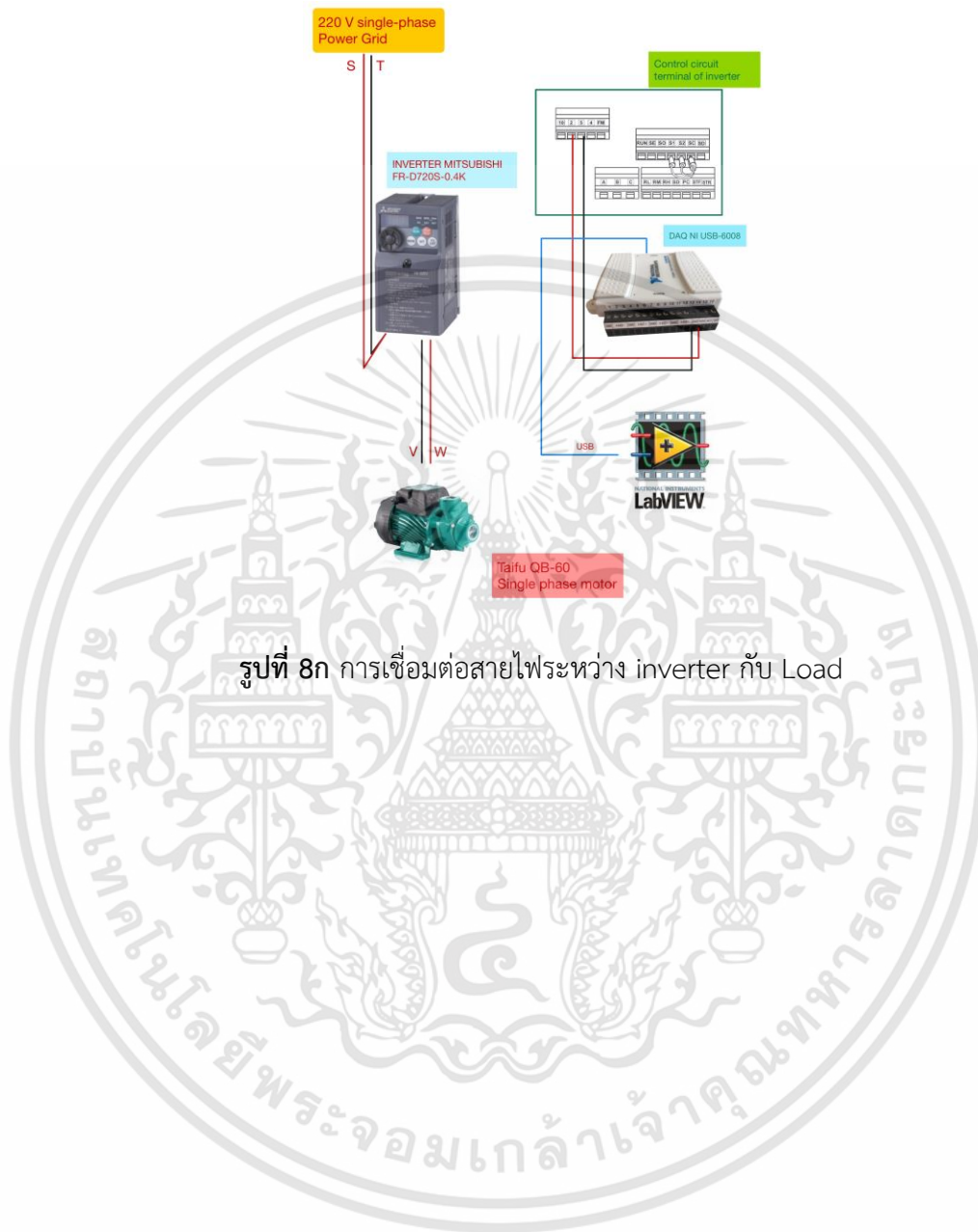
6. การตั้งค่าเพื่อปิดการแจ้งเตือนเรื่องการต่อสายไฟออกจาก Output ไม่ครบเนื่องจาก Output ของ Inverter เป็นไฟฟ้า 3 เฟส แต่บิมน้ำของทางผู้จัดทำเป็นบิมน้ำไฟฟ้า 1 เฟส

- 6.1 เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วให้กดปุ่ม MODE
- 6.2 เลื่อน Setting Dial ไปที่ Pr.251 แล้วกด SET
- 6.3 เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้กด MODE สองครั้งเพื่อออกจากหน้า Parameter Setting

Input/output phase failure protection selection	251	Output phase loss protection selection	1	1	0	Without output phase loss protection	○	○	○
			1	0	1	With output phase loss protection			
	872	Input phase loss protection selection	1	0	0	Without input phase loss protection	○	○	○
			1	1	1	With input phase loss protection			

รูปที่ 7k การตั้งค่าเพื่อปิดการแจ้งเตือนเรื่องการต่อสายไฟออกจาก Output ไม่ครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8ก การเชื่อมต่อสายไฟระหว่าง inverter กับ Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้