

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**ระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ**

**WATER LEVEL CONTROL SYSTEM BY PI**



**ประสิทธิ์ บุญจ่าย  
สมศักดิ์ อริวัฒน์ประชากุล**

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

๑/๗.  
๑/๕/๖๘  
๑๕๕๐

**ปีการศึกษา ๒๕๕๐**

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....**81784**

วัน,เดือน,ปี.....**24...๕...2551**

b. 119 34294  
i. ....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ  
WATER LEVEL CONTROL SYSTEM BY PI



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ

นาย ประสิทธิ์ บุญจ่าย

นาย สมศักดิ์ อธิวัฒน์ประชากุล

ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเรื่องการออกแบบและสร้างชุดทดลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ (PI, Proportional Integral) ในด้านชุดทดลองได้สร้างชุดทดลองตามขอบเขตของปริญญานิพนธ์ ซึ่งในการสร้างชุดทดลองนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. โปรแกรมควบคุมจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม 2. ชุดทดลอง จะประกอบด้วย บั๊มน้ำ ถังน้ำ ชุด Actuator ฯลฯ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะสื่อสารผ่านการ์ดรุ่น เอ็มซีอาร์รี่ เอ็น ไอ 6221 การทำงานของชุดทดลองจะเริ่มต้นโดยที่โปรแกรม LabVIEW จะรับรู้ระดับความสูงของน้ำได้จากเซนเซอร์วัดความดันของน้ำจากนั้นโปรแกรม LabVIEW จะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมออกมาจากนั้นสัญญาณควบคุมจะถูกส่งเข้าสู่วงจรเพื่อขยายสัญญาณและไปควบคุมวาล์วอัตโนมัติให้เปิดมากน้อยตามขนาดของสัญญาณเพื่อควบคุมระดับความสูงของน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ

การทดลองการควบคุมระดับน้ำจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีคือ การทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นและการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น ซึ่งในการทดลองจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์พีไอ (PI, Proportional Integral) การหาค่าพารามิเตอร์พีไอ (PI, Proportional Integral) จะทำได้ด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Root Locus โดยจะทำการกำหนดค่าการพุ่งเกิน (Overshoot) และค่า Settling time ซึ่งจากการหาค่าด้วยวิธี Root Locus จะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์พีไอ (PI, Proportional Integral) ที่ต้องการ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ป้อนลงในโปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดลองแล้วชุดทดลองสามารถควบคุมระดับน้ำได้ตามต้องการและจากการทดลองระบบควบคุมมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับพฤติกรรมทางทฤษฎี

## The Water Control System by PI (Proportion Integral)

Prasit Boonjai

Somsak Atiwatprachakul

Aunnat Pinsophon

Advisor

### Abstract

This dissertation is to present the design and the inventory of experiment set for the water control system by PI (PI is Proportion Integral) In this case, the experiment set is constructed from the scope area of this dissertation which is inventory two group. Firstly, the program will control by Lab View's Program. Secondly, the experiment set is including water pump, water tank and other. Both of the experiment set will be communicate through card M series NI 6221. This working system will begin from Lab View's Program. It will process data and send the control signal and then the control signal will be control the level of the water in the preferable level.

The experiment of the water control system is in 2 case that is the experiment to control the water level without any effect with other tanks and the experiment to control the water level with any effect with other tanks. The mains important things of both this experiment is to know the level number of PI parameter (PI, Proportion Integral) To measure the PI parameter (PI, Proportion Integral) is be able by the program of the MATLAB with the Root Locus by under control of the overshoot and setting time. To get the result of PI parameter (PI, Proportion Integral) that you need. And then the out of the PI parameter will be put in the set's programmed. From the experiment the behavior system control is like the experiment of theory.

### กิตติกรรมประกาศ

ในตอนเริ่มแรกที่ข้าพเจ้าเริ่มทำปริญญาโทเรื่อง ระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ นั้น ข้าพเจ้าขาดความรู้และความเข้าใจในเรื่องระบบควบคุมและความรู้เกี่ยวกับทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ แต่เพราะข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกันจึงทำให้สามารถทำปริญญาโทเรื่อง ระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ ได้สำเร็จ ซึ่งบุคคลแรกที่มีส่วนสำคัญคือ ผศ.ดร.อนุศักดิ์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาโทนี้เสร็จลงได้ด้วยดี ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือมาโดยตลอด ซึ่งต้องขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรของภาควิชาเครื่องกล รวมทั้งคณาจารย์ จากภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนๆและน้องทุกคนที่ให้ ความช่วยเหลือ และกำลังใจให้ผู้จัดทำมาโดยตลอดและท้ายที่สุดนี้ ขอบขอบคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาโทฉบับนี้ ขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประสิทธิ์ บุญจ่าย  
สมศักดิ์ อธิวัฒน์ประชากุล

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ	3
2.2 ประเภทของการควบคุม	4
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ	5
2.4 รูปแบบการควบคุม	9
2.5 ระบบเกี่ยวกับระดับของเหลว	13
2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	15
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบสร้าง	18
3.1 การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)	19
3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)	26
3.3 หลักการทำงาน โปรแกรม	28
บทที่ 4 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินรากล	30
4.1 บทนำ	30
4.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของรากล	30
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	33
5.1 ผลการทดลองไหลควาล์ว	33
5.2 การทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำ	34
5.3 การทดลองวาล์วควบคุม	34
5.4 ระบบควบคุม	36
5.5 การทดลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรม MATLAB	36
5.6 การทดลองกับกระบวนการจริง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
5.7 วิจัยรณัผลการทดลอง	43
บทที่ 6 สรพผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา	45
6.1 สรพผลการดำเนินงาน	45
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ	3
รูปที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop	4
รูปที่ 2.3 แสดงระบบควบคุมแบบปิด	4
รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control	5
รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control	5
รูปที่ 2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ	6
รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป	7
รูปที่ 2.8 แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF	9
รูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม	10
รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control	11
รูปที่ 2.11 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)	12
รูปที่ 2.12 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียว	13
รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอัตราการไหล	14
รูปที่ 2.14 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยาต่อกันแบบที่ 1	15
รูปที่ 2.15 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยาต่อกันแบบที่ 2	16
รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ	18
รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองของวาล์วควบคุม	19
รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมวาล์ว	21
รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรที่สร้างขึ้น	21
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรวินโดว์ดีเทค (Window Detect)	22
รูปที่ 3.6 แสดงวงจร PID	22
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเซอร์โวแอมพลิไฟร์ ชนิดควบคุมกระแส	23
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรปรับ Zero-Span ของ Potentiometer	23
รูปที่ 3.9 แสดงวาล์วควบคุมที่สร้างขึ้น	24
รูปที่ 3.10 แสดงแผงวงจรของวาล์วควบคุมที่สร้างขึ้น	24
รูปที่ 3.11 แสดง Sensor ที่ใช้งาน	25
รูปที่ 3.12 แสดงแผงวงจรของการวัดระดับที่สร้างขึ้น	25
รูปที่ 3.13 แสดงการได้รับและประมวลผลสัญญาณรบกวน เอ็มซีอาร์ซี เอ็น ไอ 6221	26
รูปที่ 3.14 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรบกวน CB-68LP	26
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่าง Front Panel ของ โปรแกรม LabVIEW	28
รูปที่ 3.16 แสดงไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม LabVIEW	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.1 แสดงระบบควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง	31
รูปที่ 4.2 แสดงเดินของรากลของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีโอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง	32
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการปรับอัตราขยายเพิ่มขึ้นจนได้ผลตามข้อกำหนดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง	32
รูปที่ 5.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ	33
รูปที่ 5.2 แสดงกราฟระหว่างระดับความสูงของน้ำและอัตราการไหล	34
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟความสูงของระดับน้ำกับแรงดันไฟฟ้า	34
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการไหลของน้ำ	35
รูปที่ 5.5 แสดงกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการไหลของน้ำที่ประมาณเป็นเส้นตรง	35
รูปที่ 5.6 แสดง Block-Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดียว	36
รูปที่ 5.7 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	36
รูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองแบบ Open Loop ของกระบวนการระดับน้ำแบบถึงเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	37
รูปที่ 5.9 แสดงเส้นทางเดินรากลของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมพีโอกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำถึงเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	38
รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนอง Closed-loop ต่ออินพุทแบบ Unit Step	39
รูปที่ 5.11 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	40
รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองแบบ Open Loop ของกระบวนการระดับน้ำแบบถึงเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	40
รูปที่ 5.13 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	41
รูปที่ 5.14 แสดงผลตอบสนอง Closed-loop ต่ออินพุทแบบ Unit Step	42
รูปที่ 5.15 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการระดับน้ำแบบถึงเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่นที่ $K_p = 0.12$ , $K_I = 0.0124$ และเป้าหมายระดับความสูงคือ 15เซนติเมตร	42
รูปที่ 5.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการระดับน้ำแบบถึงเดียวแบบที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่นที่ $K_p = 0.12$ , $K_I = 0.0124$ และเป้าหมายระดับความสูงคือ 15เซนติเมตร	43
รูปที่ ก-1 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น	48
รูปที่ ก-2 แสดง Front Panel ของโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น	49
รูปที่ ข-1 แสดงลายกัควงจรควบคุมมอเตอร์	50
รูปที่ ข-2 แสดงลายกัควงจรขยายสัญญาณอุปกรณ์วัดระดับน้ำ	50

## คำย่อและสัญลักษณ์

$U(t)$	หมายถึง	สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุทของตัวควบคุม
$e(t)$	หมายถึง	ค่าความคลาดเคลื่อน
$\varepsilon$	หมายถึง	ของค่าเคทแบนด์
$K_p$	หมายถึง	อัตราขยาย (Proportional Gain)
$G_c(s)$	หมายถึง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม
$K_D$	หมายถึง	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative
$K_I$	หมายถึง	ค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral
$R$	หมายถึง	ค่าความต้านทานการไหลของของเหลว
$Q$	หมายถึง	อัตราการไหลของของเหลว
$C$	หมายถึง	ค่าความจุ $C$ (Capacitance) ของภาชนะบรรจุ
$A$	หมายถึง	พื้นที่หน้าตัดของถังน้ำ
$N_1$	หมายถึง	จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับมอเตอร์
$N_2$	หมายถึง	จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับวาล์ว
$\theta_1$	หมายถึง	ระยะแทนที่เชิงมุม ของเพลามอเตอร์
$\theta_2$	หมายถึง	ระยะแทนที่เชิงมุม ของเพลาวาล์ว
$N_3$	หมายถึง	จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้
$P.O.$	หมายถึง	ค่าพุ่งเกิน (Percent overshoot)
$T_s$	หมายถึง	เวลาเข้าที่ (Settling time)
$S_d$	หมายถึง	ตำแหน่งของรากที่สำคัญ (Dominant closed-loop poles)
$\omega_n$	หมายถึง	ความถี่ธรรมชาติที่ไม่มีภาระหน่วง (Undamped natural frequency)
$\xi$	หมายถึง	อัตราการหน่วง (Damping ratio)
$G_p(s)$	หมายถึง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ
$Z_c$	หมายถึง	ซีโรของตัวควบคุม

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญานิพนธ์

ระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการวัด และการควบคุมเป็นหลัก โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตสูงสุด และคุณภาพที่ดีที่สุด โดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ลดการใช้พลังงานและลดจำนวนของอุปกรณ์ รวมทั้งการประหยัดวัสดุ การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตทำให้ลดการใช้แรงงานของผู้ปฏิบัติงานด้วย หลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติส่วนใหญ่จะใช้การป้อนกลับจากค่าที่วัดได้มาควบคุมกระบวนการ เรียกว่าการควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) กล่าวได้ว่าระบบควบคุมอัตโนมัติคือการควบคุมปริมาณผลผลิตของระบบให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยการอาศัยปริมาณการวัดจากผลผลิตที่ได้แล้ว นำมาเทียบกับค่าที่ต้องการ โดยผ่านระบบป้อนกลับ

ในอุตสาหกรรมการผลิตได้นำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติในแบบต่างๆ มาใช้ในกระบวนการผลิตมานานแล้ว โดยเฉพาะระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI เนื่องจากรูปแบบของตัวควบคุมแบบ PI เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะการตอบสนองของกระบวนการนั้นจะเร็วหรือช้าอย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมแบบ PI ก็สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

ในโรงงานอุตสาหกรรมมีกระบวนการต่างๆ มากมาย ซึ่งการควบคุมกระบวนการเหล่านี้จะใช้ตัวควบคุมหลายๆ ตัวมาควบคุมกระบวนการหลายๆ ส่วน ทำให้การแยกแยะกระบวนการเพื่อศึกษาเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งยังให้ผลตอบสนองที่ล่าช้าในกรณีที่กระบวนการมีขนาดใหญ่ และทางภาคศึกษามีแบบจำลองกระบวนการเพื่อให้นักศึกษาน้อย ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะจัดทำแบบจำลองกระบวนการเพิ่มเติม โดยจะจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและให้ผลตอบสนองที่รวดเร็วกว่า อีกทั้งกระบวนการที่สร้างขึ้นมาสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อให้ผู้ที่เริ่มศึกษามีความรู้ความเข้าใจก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติงานกับกระบวนการที่มีความซับซ้อนต่อไป

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำถึงเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำถึงเดียวแบบที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น
- 1.2.3 เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก (Root Locus Techniques)
- 1.2.4 ชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Automatic control และ Mechanical measurement เพื่อให้ นักศึกษาเข้าใจในทฤษฎีมากยิ่งขึ้น

#### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือระบบควบคุมที่โอ
- 1.3.2 ชุดทดลองนี้ออกแบบและสร้างเป็นระบบควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดียวและแบบสองถัง
- 1.3.3 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำจะกระทำเฉพาะทางเข้าถังน้ำ โดยให้อัตราการไหลออกของน้ำในถังคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ในการควบคุมระดับน้ำนั้นจะทำการควบคุมระดับความสูงของน้ำถึงใดถึงหนึ่งในสองถึงเท่านั้น

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงานและออกแบบกระบวนการโดยรวม

1.4.2 ศึกษาการทำงาน และการใช้งานของเครื่องควบคุมที่มีใช้ในปัจจุบัน

1.4.3 ออกแบบกระบวนการในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.3.1 แท็งก์น้ำจำนวน 2 แท็งก์ต่อกันแบบ Interact

1.4.3.2 นำบอลวาล์วที่มีโดยทั่วไปมาใช้ในการควบคุมการไหล โดยสร้างชุด Actuator ขึ้นเอง

1.4.3.3 ศึกษา และเลือกใช้ Pressure Sensor วัดความดันสำหรับวัดระดับของเหลว

1.4.3.4 สร้างชุดทดลอง

1.4.3.5 ศึกษาและออกแบบกระบวนการควบคุม โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวประมวลผล

1.4.3.6 ทดสอบสมรรถภาพของกระบวนการควบคุม และตัวควบคุมที่สร้างขึ้น

1.4.3.7 สรุปผลและทำการเขียนรายงานการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งนำเสนอผลงาน

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้ชุดทดลองสามารถทำงานได้ตามขอบเขตของโครงการ

1.5.2 เพื่อที่จะให้นักศึกษาได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการการทำงานของระบบควบคุม

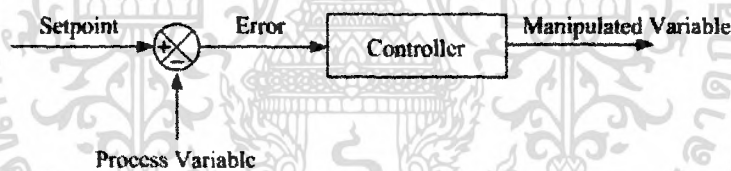
## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

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

ในการทำงานเช่นนี้ ระบบควบคุมดังรูปที่ 2.1 จะต้องได้รับการออกแบบมาให้มีส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการควบคุม 4 อย่างดังนี้

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



รูปที่ 2.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ

การปฏิบัติการ 3 อย่างที่ต้องมีในระบบควบคุมคือ

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

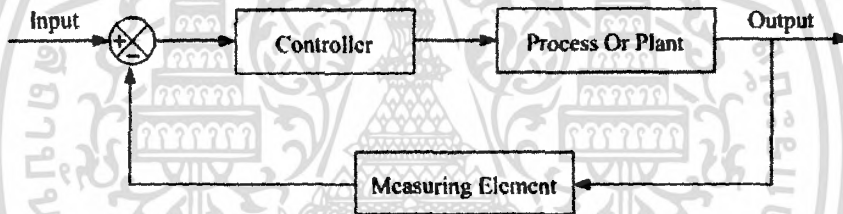
ระบบควบคุมอาจแบ่งอย่างง่าย ๆ ออกเป็น 2 แบบคือ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) และระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) เป็นระบบควบคุมเอาต์พุตของระบบ จะไม่มีผลต่อการควบคุม นั่นคือเอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกส่งกลับหรือป้อนกลับเพื่อมาเปรียบเทียบกับอินพุตดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop) เป็นระบบควบคุมซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบปิด ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณการป้อนกลับ เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อน ให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าที่ต้องการ สัญญาณการป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณจากเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันก็ได้ ระบบควบคุมแบบปิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงระบบควบคุมแบบปิด

## 2.2 ประเภทของการควบคุม

### 2.2.1 การควบคุมแบบไปข้างหน้า (Feed forward control)

จุดประสงค์ของการควบคุมแบบไปข้างหน้า คือ การวัดการรบกวนกระบวนการและการชดเชยให้กับมัน ก่อนที่ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ถ้าหากเราประยุกต์ใช้ได้ ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ และนำมาประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย

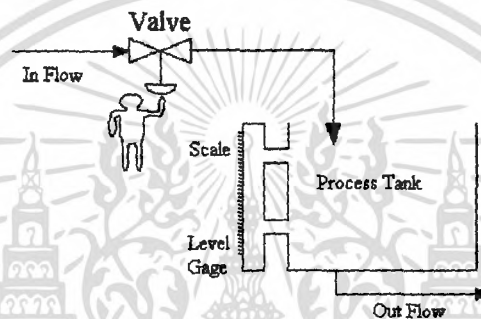
### 2.2.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed back control)

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นวิธีการที่ง่ายที่ชดเชยการรบกวนกระบวนการทุกชนิด ตัวรบกวนกระบวนการทุกตัวจะมีผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมและเมื่อค่าตัวแปรเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตให้กลับเข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่มันสามารถชดเชยการรบกวนได้เพียงหลังจากที่ตัวแปรที่ถูกควบคุม เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้แล้วเท่านั้น นั่นคือ การรบกวนจะกระจายไปยังกระบวนการทั้งหมด ก่อนที่การควบคุมแบบป้อนกลับจะชดเชยให้มัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

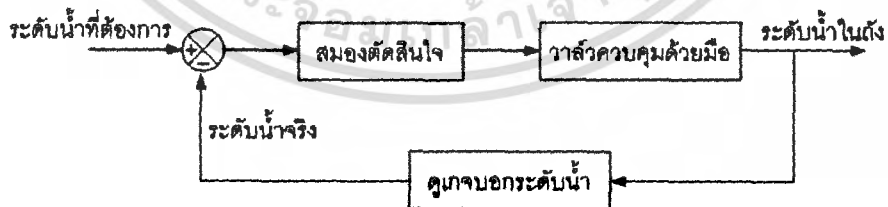
### 2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมนั้น คือการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อัน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ค่าความดัน (Pressure), ค่าอัตราการไหล (Flow rate), ค่าระดับ (Levels), ค่าความเป็นกรดค่า (PH) และค่าอื่นๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสมในอดีต การควบคุมกระบวนการต่างๆ จะเลือกใช้การควบคุมแบบง่ายๆ ด้วยมือ (Manual control) ซึ่งอาศัยพนักงานควบคุม (Operator) ซึ่งจะคอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุม ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมระดับน้ำในถังดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

จากรูป การควบคุมระดับน้ำในถังจะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับน้ำในถังว่าได้ที่ต้องการหรือไม่ โดยใช้สายตาจากเกจวัดระดับ (Level gauge) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่งการให้มือทำหน้าที่เปิด หรือ ปิดวาล์ว เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.5

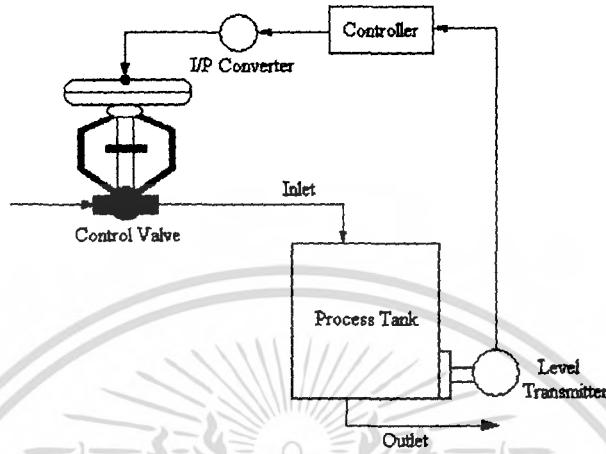


รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

จะเห็นว่า การควบคุมแบบนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานตามความจริงแล้ว มนุษย์ หรือพนักงานควบคุมนั้น ไม่สามารถทำงานให้ดีได้เท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบัน โรงงานที่

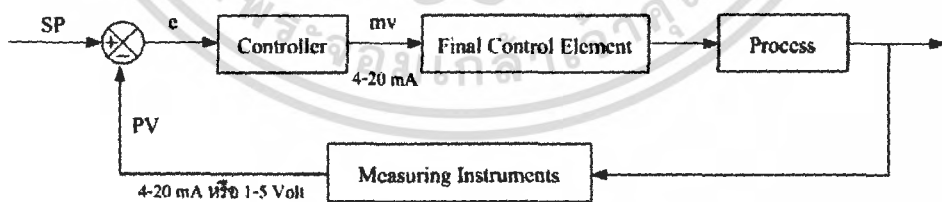
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่เป็นแบบ Manual Control ตามรูปที่ 2.4 ถ้านำมาทำการควบคุมอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.6 ระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัดโดยเครื่องวัดระดับ (Level transmitter) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุมจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิดหรือปิด เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อยๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.7 จะสังเกตเห็นว่า ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไป ประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วนคือ

### 2.3.1 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

อุปกรณ์วัดจะเป็นตัววัดปริมาณทางฟิสิกส์ เชิงกล และเชิงไฟฟ้าของตัวแปรกระบวนการ ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณที่สามารถส่งออกมา ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีเทอมสำคัญประกอบกัน 3 เทอม คือ พิกัด (Range) ของเครื่องมือวัด ถูกกำหนดโดยค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของตัวแปรกระบวนการที่ทำการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกเปรียบเทียบไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50psig นั่นคือ อุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณดังกล่าวมีพิกัด 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด (Span) ของเครื่องมือวัด คือความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิกัด (Range) นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้มีช่วงการวัดเท่ากับ 30 psig ส่วนซีโร่ (Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิกัดซึ่งมีค่า 20 psig

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

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ในระบบอัตโนมัติใดๆตัวตรวจจับสัญญาณเป็นตัวเชื่อมอันดับแรกในสายงานของงานควบคุมเพื่อตรวจสอบว่า อะไรจะเกิดขึ้นเหมือนกับการตรวจสอบไม่ให้มีการหักเห ไปจากข้อกำหนด

เครื่องมือวัด(Measuring instrument) คือการรวมตัวของตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) และตัวแสดงค่า (Indicator) การวัดสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ของ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรงหรือเปลี่ยนแปลงโดยให้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เรารู้แล้วแต่ปรับค่าให้มีคุณรูปที่แท้จริงเหมือนกัน ในวิธีที่ 2 นี้กรรมวิธี ของการวัดเกี่ยวกับการกำหนดค่าที่แน่นอนให้เท่ากันระหว่างปริมาณค่า 2 ค่าที่คล้ายกัน

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ต้องมีพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ต้องรู้ว่าผลอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) กำลังวัดปริมาณค่าอันหนึ่ง ในกรณีที่ดีที่สุด ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) ไม่ควรเปลี่ยนแปลงที่ดำรงอยู่ก่อนที่จะทำการวัด ในทางปฏิบัติจะกระทำได้ยากมาก

2. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) บางชนิดผลตอบสนองต่อคุณสมบัติอื่นเสียมากกว่าสิ่งพื้นฐานที่ต้องการเช่น โวลต์มิเตอร์จะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อค่าเฉลี่ย (Average) ของสัญญาณกระแสสลับหรือค่าพีค (Peak) ดังนั้นมีความสำคัญในการเลือกตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องให้มั่นใจไว้ว่า มันจะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อคุณสมบัติที่เราต้องการเท่านั้น

3. ความเร็วของผลตอบสนอง (Response) ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของกระบวนการ

### 2.3.2 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม มีเอาต์พุตหรือให้เกิดผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎและรูปของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกและกำหนดไว้ล่วงหน้า ค่าเป้าหมายและตัวแปรของกระบวนการนั่นเอง

ปัจจุบันเครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ ชนิดคือ เครื่องควบคุมแบบนิวเมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรรวม (Logic circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

### 2.3.3 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final control element)

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control valve) ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ในเทอมของอัตราขยายนั้นเป็นสิ่งที่ง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิคเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้น ได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออกหรือตัวแปรผลตอบสนองหารด้วยการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชันอินพุต ทางออกของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์คือ สัญญาณกระแส 4 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์

วาล์วควบคุมโดยทั่วไปแล้วใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย จะพบในกระบวนการที่ควบคุมอัตราการไหล วาล์วควบคุมมีการทำงานคล้ายกับตัวต้านทานการไหลที่ปรับค่าได้ (Variable Restriction) โดยการเปลี่ยนแปลงการเปิดปิดและจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอัตราการไหล

### 2.3.4 กระบวนการ (Plant or Process)

กระบวนการ หมายถึงระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการเช่นกระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process variable: PV)

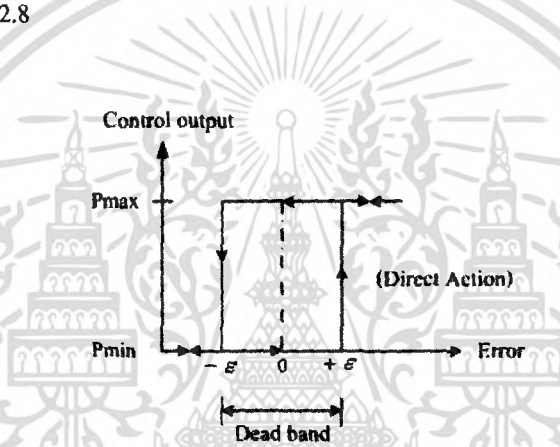
การควบคุมแบบอัตโนมัติจากรูปที่ 2.7 มีขั้นตอนการทำงานคือ อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ (Pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของของเหลวเป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับค่า

อ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย ( $S_p$ ) และตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ จะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใดๆนั้น จะต้องศึกษาถึงชนิดและการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย รวมถึงวิธีการปรับแต่งต่างๆเสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้องในอันที่จะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

## 2.4 รูปแบบการควบคุม

### 2.4.1 ฏิกิริยาการควบคุมแบบ On-Off

การควบคุมแบบ เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยจะพบเห็นค่อนข้างมากในอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน เช่น กาน้ำร้อน หรือการควบคุมระดับน้ำในแท็งก์น้ำเป็นต้น โดยการควบคุมจะทำงานเพียง สถานะ คือ เปิด(100%) กับปิด (0%) ลักษณะของระบบควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงฏิกิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤต ( $+\epsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต ( $-\epsilon$ ) ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุตที่อยู่ในช่วงเดดแบนด์ (Dead band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้เกิดช่วงเดดแบนด์ขึ้นเพื่อป้องกันการ On-Off บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุม หรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดดแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนัก เพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของกระบวนการควบคุมลดลง ฏิกิริยาการควบคุมแบบ On-Off สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U(t) = \begin{cases} 0\% & , e < -\epsilon \\ 100\% & , e > +\epsilon \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $U(t)$  = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม  
 $e(t)$  = ค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\varepsilon$  = ของค่าเดทแบนด์

#### 2.4.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

กริยาการควบคุมแบบ Proportional นั้น เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุตที่ได้ ออกมาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากกระบวนการ หมายถึง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ตามความสัมพันธ์

$$\text{output} \propto \text{input} \quad (2.2)$$

โดย  $U$  คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม

$E$  คือ Input ที่ออกจากตัวควบคุม

จะได้  $U \propto E$  (2.3)

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

$$U = K_p E \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม

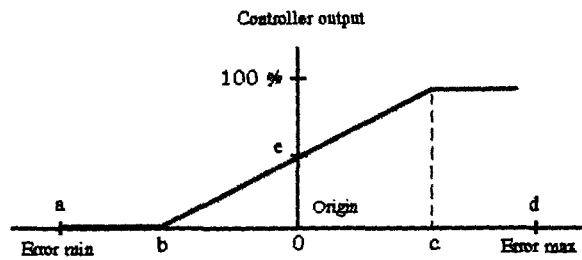
จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.9 จะได้ว่า

$$G_c = U/E \quad (2.5)$$

$$G_c = K_p \quad (2.6)$$

โดยในที่นี้อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ส่งออกไปนั้น จะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.10 โดยแกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งคือ ค่าสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่า Error (แกนนอน) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าสั่งที่ออกจากตัวควบคุม (แกนตั้ง) ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตได้ว่าแม้มีค่า Error เป็นศูนย์ค่าสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่ได้เป็นศูนย์ด้วยเนื่องจากโดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการทิ้งไว้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control

### 2.4.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

หลักการการทำงานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปฏิยานุพันธ์ของอินพุตตามสมการ

$$U(t) \propto \int_0^t e(t) \quad (2.7)$$

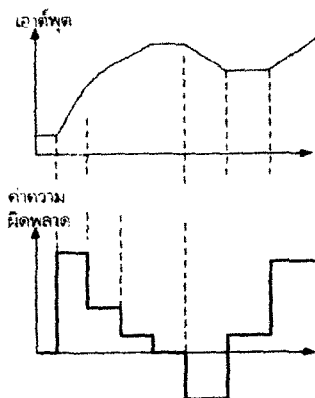
$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) \quad (2.8)$$

ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.9)$$

$$G_c(s) = \frac{K_I}{s} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.10 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ  $K_I/s$  โดยที่  $K_I$  เป็นค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากกระบวนการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากกระบวนการมีค่าเท่ากับที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 2.11 แสดงการตอบสนองของระบบจะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย แต่โดยทั่วไปเราจะไม่ใช่วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียวเนื่องจากระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-Control เข้ามาควบคุมร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น



รูปที่ 2.11 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

#### 2.4.4 กิริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

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

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

เมื่อ	$U_D(t)$	=	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative
	$K_D$	=	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative
	$\frac{de(t)}{dt}$	=	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t

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

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้

ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

#### 2.4.5 กิริยาการควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)

พีไอ-คอนโทรล คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ พี-คอนโทรล ไอ-คอนโทรล ดังนั้นสมการของ  $U_{PI}(t)$  สามารถหาได้ดังนี้

$$U_{PI}(t) = K_p e + K_I \int e dt \quad (2.12)$$

ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.13)$$

Transfer function ของตัวควบคุมแบบพีไอคือ (2.14)

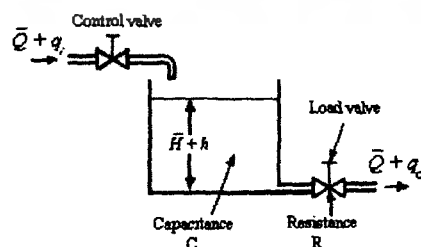
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (2.14)$$

เมื่อ  $U_{PI}(t)$  = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอ การคอนโทรลแบบพีไอ สามารถแก้ข้อผิดพลาดของปร็อบพอร์ตชันแนลคอนโทรล และลดโอเวอร์ชูทที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลทเนื่องจากอินทิกรัลคอนโทรล

#### 2.5 ระบบเกี่ยวกับระดับของเหลว

ในการพิจารณาการไหลของของเหลว จะต้องคำนึงถึงค่าความต้านทาน (Resistance) และค่าความจุ (Capacitance) เพื่อที่จะอธิบายถึงคุณลักษณะทางพลศาสตร์ของระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลว โดยจะพิจารณาจากการไหลผ่านท่อสั้นๆ ที่ต่ออยู่ระหว่างภาชนะบรรจุสองใบ ค่าความต้านทานการไหลของของเหลวจะกำหนดได้ว่าเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างระดับของเหลวในภาชนะบรรจุทั้งสอง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล นั่นคือ

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta Q} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.12 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาระบบควบคุมระดับของเหลวในรูป 3 ในระบบนี้ของเหลวจะไหลผ่านวาล์วออกจากภาชนะ ถ้าการไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่สถานะคงตัว (Steady state) และความสูง (Head) เมื่อกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไหลควาล์วคงที่ จะกำหนดได้จาก

$$Q = KH \quad (2.16)$$

และค่าความต้านทานของไหลควาล์ว ( $R$ ) จะหาได้ดังนี้

$$R = \frac{dH}{dQ} = \frac{h}{q_i} \quad (2.17)$$

จะเห็นว่าค่าความต้านทานในกรณีของการไหลแบบราบเรียบนั้นจะเป็นค่าคงที่ซึ่งคล้ายคลึงกับค่าความต้านทานไฟฟ้า

ในกรณีที่การไหลผ่านสิ่งกีดขวางเป็นแบบปั่นป่วน อัตราการไหลที่สภาวะคงที่จะหาได้จาก

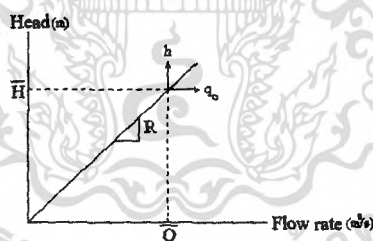
$$Q = K\sqrt{H} \quad (2.18)$$

ค่าความต้านทานในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนจึงมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{dH}{dQ} = \frac{2h}{q_i} \quad (2.19)$$

ดังนั้น ค่าความต้านทานในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนจึงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและความสูง

ในทางปฏิบัติเราจะไม่ทราบค่าของสัมประสิทธิ์การไหล ( $K$ ) ดังนั้นการหาค่าของความต้านทานจึงอาจทำได้โดยการสร้างกราฟ ระหว่างระดับความสูงของน้ำและอัตราการไหลจากข้อมูลที่ได้อาจการทดลองและทำการวัดความชันของแผนภูมิแสดงตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอัตราการไหล

ค่าความจุ  $C$  (Capacitance) ของภาชนะบรรจุนั้นกล่าวได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของของเหลวที่สะสมอยู่ขึ้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความสูง นั่นคือ

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta H} \quad (2.20)$$

สังเกตว่าความจุ (Capacity;  $m^3$ ) นั้นต่างกับค่าความจุ  $m^2$  ค่าความจุของภาชนะบรรจุจะมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของภาชนะบรรจุ ถ้าพื้นที่ หน้าตัดของภาชนะบรรจุมีค่าคงที่ ค่าความจุก็จะมีค่าคงที่ตลอดทุกระดับความสูง

เนื่องจากอัตราการไหลเข้าลบด้วยอัตราการไหลออกในช่วงเวลาสั้นๆ ( $dt$ ) นั้นจะเท่ากับจำนวนของของเหลวที่ไปเพิ่มในภาชนะบรรจุ จึงได้ว่า

$$C \frac{dh}{dt} = q_i - q_o \quad (2.21)$$

จากนิยามของค่าความต้านทาน ความสัมพันธ์ระหว่าง  $q_o$  และ  $h$  คือ

$$q_o = \frac{h}{R} \quad (2.22)$$

แทนค่า  $q_o$  ลงในสมการ สมการดิฟเฟอเรนเชียลของระบบเมื่อ  $R$  มีค่าคงที่จึงเป็นดังนี้

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \quad (2.23)$$

จากสมการที่ (2.23) เมื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ กำหนดให้  $h(0) = 0$  และ  $\frac{dh(0)}{dt} = 0$  จะได้ดัง

$$h(t) = Rq_i (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (2.24)$$

สมการ 2.23 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่รับอินพุตจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเข้าจากถัง และให้เอาต์พุตออกมาควบคุมระดับความสูงของน้ำในถัง

สมการ 2.24 เป็นสมการของระดับความสูงที่เป็นฟังก์ชันของเวลาซึ่งสมการนี้จะช่วยให้ทราบถึงผลตอบแทนของระบบในโดเมนของเวลา

## 2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 2.6.1 การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

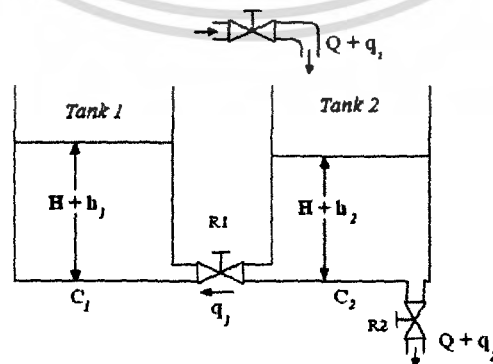
จากสมการ 2.23 เมื่อ Take Laplace และ ให้ initial condition มีค่าเท่ากับ 0 จะได้

$$RCsH(s) + H(s) = RQ_i(s) \quad (2.25)$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1} \quad (2.26)$$

เมื่อ  $Q_i$  เป็น Input และ  $H$  เป็น Output

### 2.6.2 การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น



รูปที่ 2.14 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อดังอื่น ดังรูปที่ 2.14 จะทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดย  $q_1$  คืออัตราการไหลของน้ำเข้าถัง  $h_2$  คือระดับน้ำที่ต้องการควบคุม สำหรับถังที่ 2 เรามี

$$C_1 dh_1 = q_1 dt \quad (2.27)$$

$$q_1 = \frac{h_2 - h_1}{R_1} \quad (2.28)$$

เมื่อแทน สมการที่ (2.25) ลงในสมการที่ 2.24 จะได้

$$R_1 C_1 \frac{dh_1}{dt} + h_1 = h_2 \quad (2.29)$$

สำหรับถังที่ 2 เรามี

$$C_2 dh_2 = (q - q_1 - q_2) dt \quad (2.30)$$

เมื่อ

$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \quad (2.31)$$

และแทนสมการ (2.25) และ (2.28) ลงในสมการ 2.27 จะได้

$$R_2 C_2 \frac{dh_2}{dt} + \frac{R_2}{R_1} h_2 + h_2 = R_2 q + \frac{R_2}{R_1} h_1 \quad (2.32)$$

กำจัด  $h_1$  จากสมการที่ (2.26) และ (2.29) จะได้

$$R_1 C_1 R_2 C_2 \frac{d^2 h_2}{dt^2} + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) \frac{dh_2}{dt} + h_2 = R_2 q + R_1 R_2 C_1 \frac{dq}{dt} \quad (2.33)$$

ทำการ Take Laplace สมการ 2.30 โดยเงื่อนไขเริ่มต้นเท่ากันศูนย์ จะได้

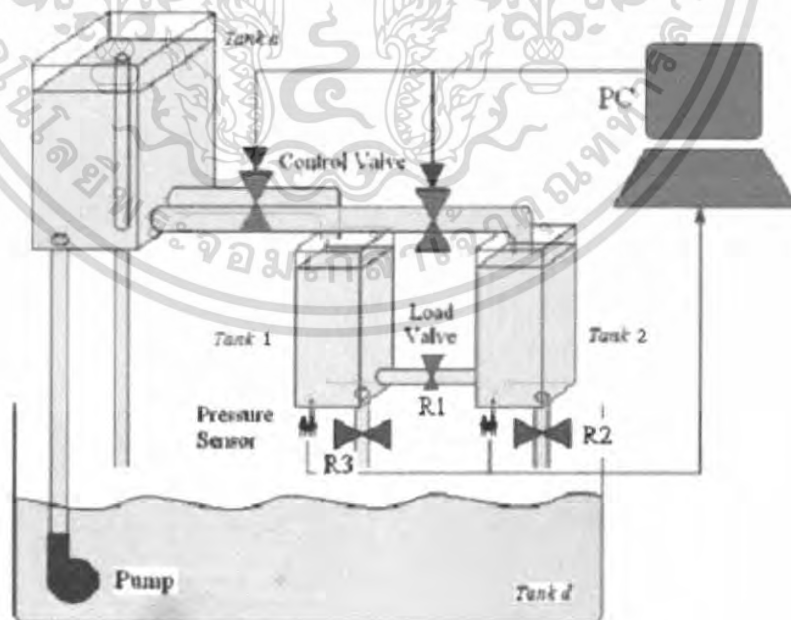
$$\frac{H_2}{Q_1} = \frac{R_2 (R_1 C_1 s + 1)}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1} \quad (2.34)$$

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบสร้าง

ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนของซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งส่วนของซอฟต์แวร์ คือ โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สำหรับควบคุมการทำงาน โดยรับค่าระดับความสูงของน้ำในถังที่ต้องการ และควบคุมค่าเป้าหมายให้เป็นไปตามที่ต้องการ และส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์นั้น ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ และวงจรต่างๆดังต่อไปนี้

1. บิ๊มน้ำขนาด 2,800 ลิตรต่อชั่วโมง
2. ถังน้ำขนาด 10 x 10 x 35 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ
3. ถังน้ำขนาด 15 x 15 x 35 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
4. ถังน้ำขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
5. เซนเซอร์วัดความดัน Motorola MPX 2101
6. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ A/D และ D/A
7. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
8. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ
9. วาล์วขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 5 อัน
10. เฟืองขนาด 60 ฟัน จำนวน 2 ชิ้น
11. เฟืองขนาด 20 ฟัน จำนวน 2 ชิ้น
12. เฟืองขนาด 15 ฟัน จำนวน 2 ชิ้น



รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ

### 3.1 การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

#### 3.1.1 ขนาดของถังน้ำ

เริ่มต้นกำหนดให้

1. ความสูงของถังพักน้ำด้านบน = 0.3 เมตร
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Load valve = 0.5 นิ้ว = 0.0127 เมตร
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Control valve = 0.5 นิ้ว = 0.0127 เมตร

จากสมการหาอัตราการไหล

$$Q = \sqrt{2ghA} \quad (3.1)$$

และ Control Valve เมื่อเปิดมากที่สุดจะมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ

$$\frac{\pi}{4} \times 0.5^2 \text{ ตารางนิ้ว} = \frac{\pi}{4} \times 0.0127^2 \text{ ตารางเมตร}$$

#### 3.1.2 การหาขนาดของถังพักน้ำด้านล่าง

ปริมาตร ถัง a = 15 x 15 x 30 = 6750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง b = 10 x 10 x 30 = 3000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง c = 10 x 10 x 30 = 3000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รวมปริมาตรทั้ง 3 ถัง เท่ากับ 12, 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นจะเลือกใช้ขนาดของถังพัก d = 30 x 30 x 30 เซนติเมตร

ซึ่งจะให้ปริมาตร 27, 000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

#### 3.1.3 การหาขนาดปั๊ม

จากการหาขนาดของถังน้ำ ที่ถัง a มีความสูงของระดับน้ำที่ 30 cm ซึ่งจากสมการที่ 3.1 เราสามารถหาอัตราการไหลออกของน้ำจากถัง a ได้จากการสมมุติอัตราการไหลของน้ำออกจากถัง a ซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากับอัตราการสูบน้ำเข้าถัง a ของปั๊มน้ำ จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำมีขนาด 1.75 cm ดังนั้นอัตราการสูบน้ำเข้าถัง a ของปั๊มคือ

$$Q_{\text{pump}} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.3} \times \left( \frac{\pi}{4} \times 0.0175^2 \right) = 5.835 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 2100 \text{ l/hr}$$

ดังนั้น เลือกใช้ปั๊มที่มีขนาด 2800 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีขายในท้องตลาด

#### 3.1.4 วาล์วควบคุม (Control Valve)

เนื่องจากวาล์วควบคุมที่มีขายทั่วไปจะเป็นแบบ Solenoid Valve ซึ่งให้กิริยาการควบคุมเป็นแบบเปิด-ปิด (On-Off Control) ส่วนวาล์วควบคุมที่ให้กิริยาการควบคุมแบบ PI นั้นจะมีราคาแพงมาก จึงเลือกวิธีการสร้างวาล์วควบคุมขึ้นเอง โดยใช้ Ball Valve ที่มีขายโดยทั่วไป ขนาด 1/2 นิ้ว มาสร้างเป็นวาล์วควบคุม โดยสร้างชุด Actuator ขึ้นมา ซึ่ง Actuator จะประกอบไปด้วย motor ที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากส่วน Controller โดยจะใช้ตัวต้านทานซึ่งสามารถปรับค่าได้มาใช้ในการวัดตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปของวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการเปิด-ปิดของวาล์ว ใช้การหมุนเพียง 90 องศา ถ้าใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนวาล์วโดยตรง มอเตอร์ก็จะหมุนเพียง 90 องศาด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องใช้เฟืองมาช่วยทดรอบเพื่อให้มอเตอร์หมุนได้จำนวนรอบมากขึ้น และการหมุนมีความนิ่งขึ้น ณ ตำแหน่งสมดุล โดยที่การหมุนของวาล์วก็ยังเป็น 90 องศาตามเดิม

จากสมการอัตราเฟืองทด

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (3.2)$$

โดยที่  $N_1$  คือ จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับมอเตอร์

$N_2$  คือ จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับวาล์ว

$\theta_1$  คือ ระยะแทนที่เชิงมุม ของเพลามอเตอร์

$\theta_2$  คือ ระยะแทนที่เชิงมุม ของเพลาวาล์ว

ในกรณีนี้ต้องการให้มอเตอร์หมุน 2 รอบ ต่อการหมุนของวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ และให้จำนวนฟันเฟืองของมอเตอร์เท่ากับ 15 ฟัน จะได้

$$\frac{15}{N_2} = \frac{1/2}{1}$$

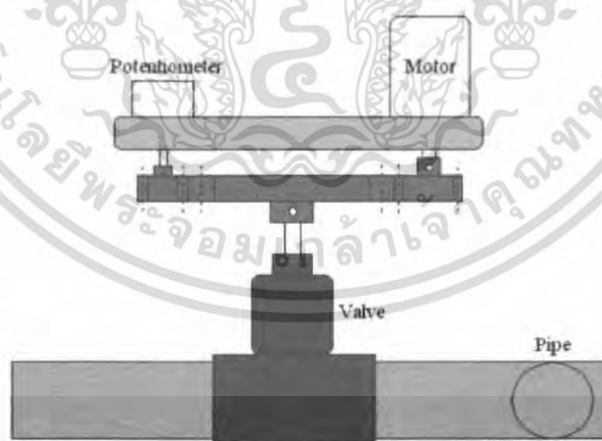
$$\therefore N_2 = \frac{(2)(15)}{1/2} = 60 \text{ ฟัน}$$

สำหรับตัวด้านทานปรับค่าได้จะสามารถหมุนได้ 270 องศา ในขณะที่วาล์วหมุนได้ 90 องศา เมื่อแทนค่าลงในสมการ 3.2 จะได้

$$\frac{60}{N_3} = \frac{270}{90}$$

$$\therefore N_3 = \frac{(60)(90)}{270} = 20 \text{ ฟัน}$$

โดย  $N_3$  คือ จำนวนฟันของเฟืองที่ต่อกับตัวด้านทานปรับค่าได้

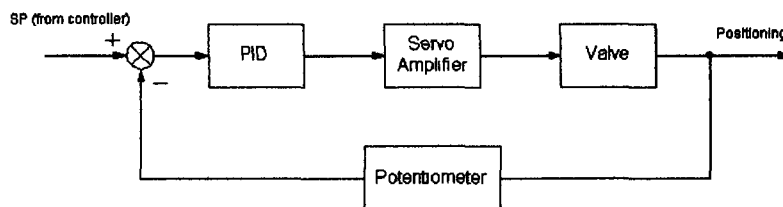


รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองของวาล์วควบคุม

ในส่วนของการควบคุมจะรับค่า Manipulate (mv) มาจากตัวควบคุม ซึ่งค่า mv จะเป็นค่า Set Point ของการควบคุมตำแหน่งของวาล์ว ค่าที่ได้จากวงจร PID จะส่งไปให้กับวงจรเซอร์โวแอมพลิไฟร์ (Servo Amplifier) ชนิด

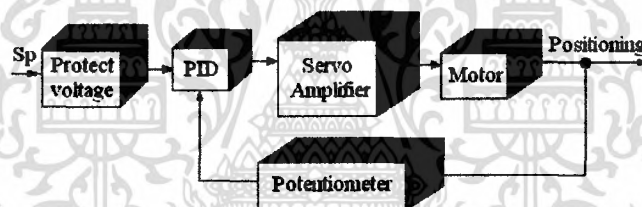
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมกระแสในการขับเคลื่อนมอเตอร์ และใช้ Potentiometer ในการวัดตำแหน่งของวาล์ว เพื่อนำมาป้อนกลับ ให้แก่การควบคุมตำแหน่งวาล์ว บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมวาล์ว แสดงดังในรูปที่ 3.3

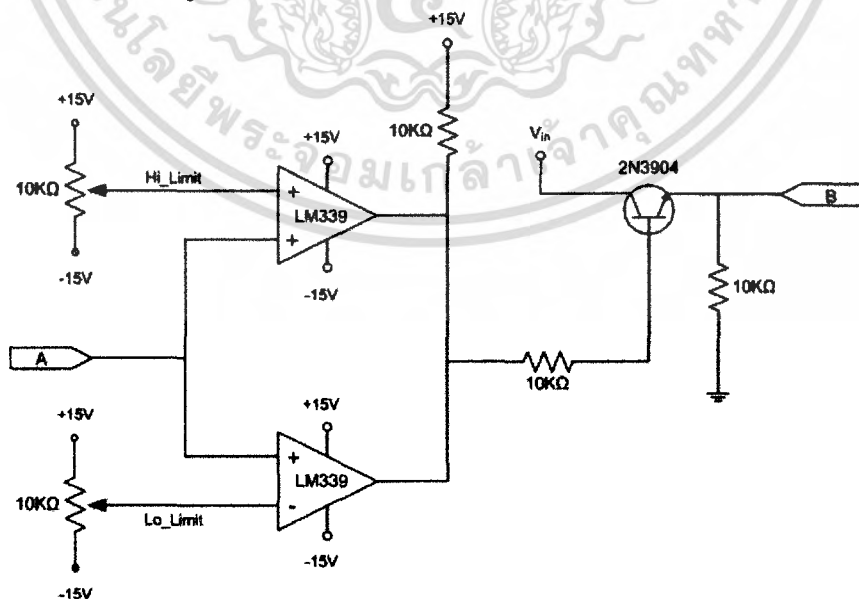


รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมวาล์ว

จากบล็อกไดอะแกรม วงจรที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุม จะรับค่าแรงดันไฟฟ้า 1.5-4 V จากนั้นจึงผ่านวงจรวินโดว์ดีเทค ซึ่งจะป้องกันในช่วงแรงดันเกิน 4 โวลต์ หรือต่ำกว่า 1.5 โวลต์ ซึ่งถ้าแรงดันเกินหรือน้อยกว่า วงจรจะตัดสัญญาณที่จะเข้าสู่วงจร PID ถ้าสัญญาณอยู่ในช่วงที่กำหนดสัญญาณจะผ่านเข้าสู่วงจร PID สัญญาณที่ออกจาก PID จะผ่านไปยังวงจรเซอร์โวแอมพลิฟาย์ เพื่อขับเคลื่อนวาล์ว และใช้ Potentiometer เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของวาล์วเพื่อทำการป้อนกลับ



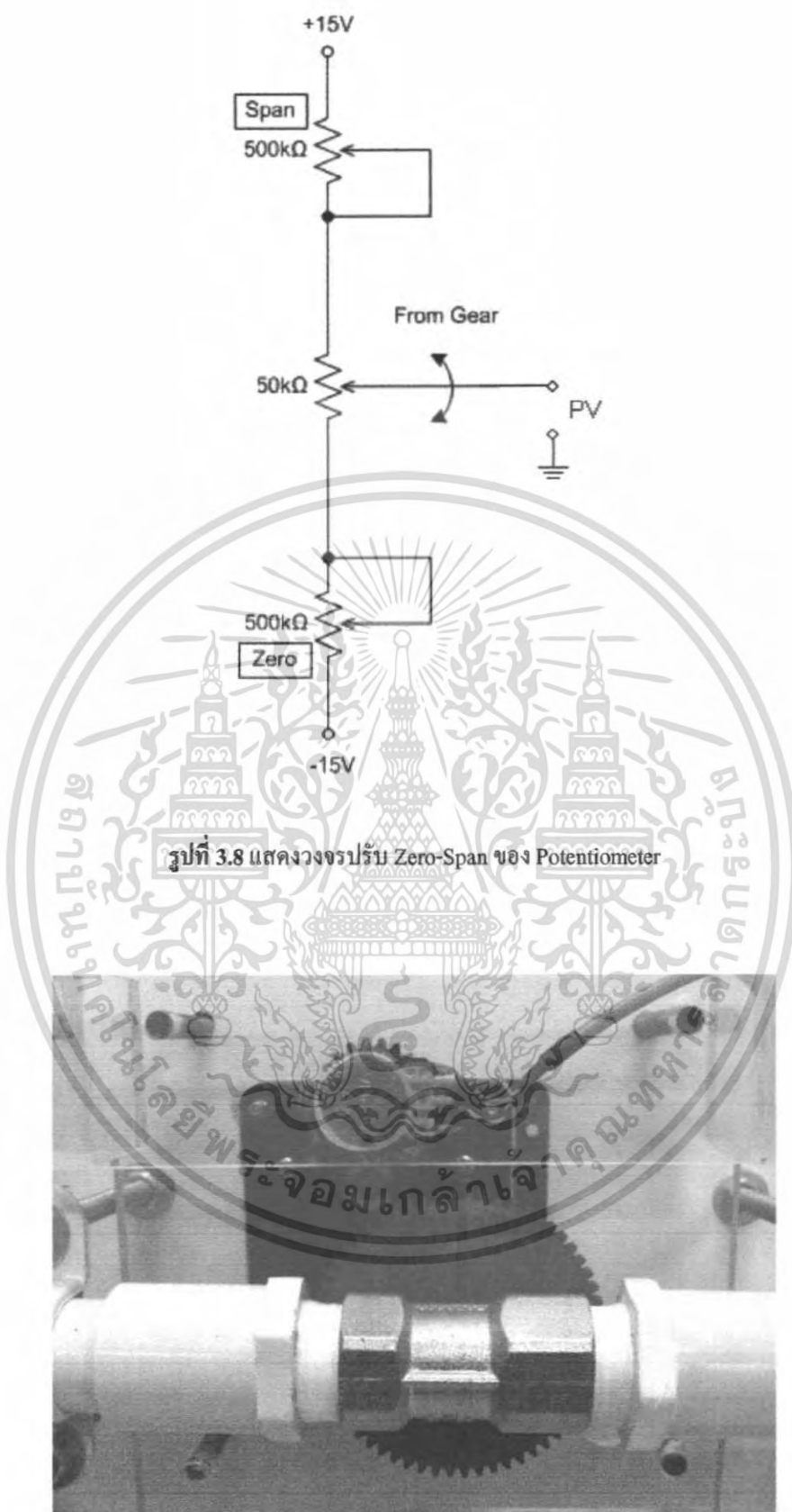
รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรวินโดว์ดีเทค (Window Detect)

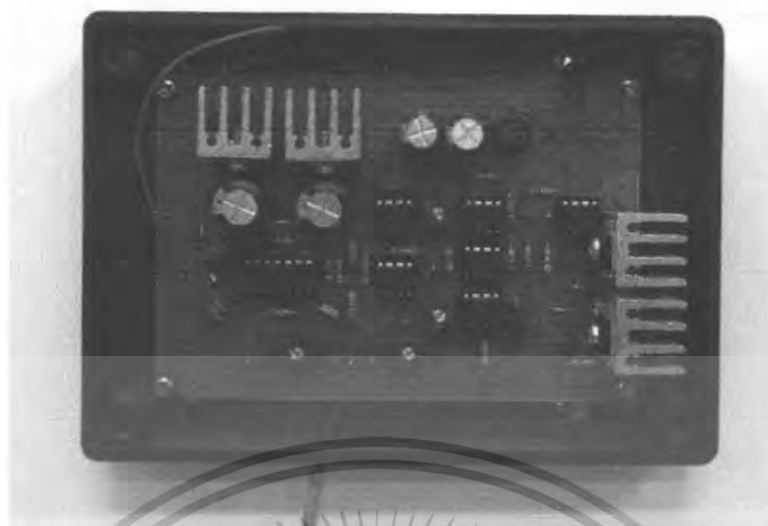
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.9 แสดงวาล์วควบคุมที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงแผงวงจรของวาล์วควบคุมที่สร้างขึ้น

### 3.1.5 ชุดอุปกรณ์การวัดระดับ

อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับน้ำ เลือกใช้ Sensor รุ่น MPX 2010 DP CASE 344C-01 ของบริษัท Motorola ซึ่งสามารถวัดความดันได้สูงถึง 10 kPa โดยจะให้เอาต์พุต (Output) ออกมาในรูปแบบของผลต่างของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ และ การนำค่าแรงดันที่ได้ไปใช้งานต้องผ่านวงจร Instrument Amplifier จากนั้นจึงผ่านวงจร Zero-Span เพื่อให้ได้แรงดัน 4-9 โวลต์

การต่อเซ็นเซอร์เพื่อใช้ในการวัดระดับน้ำจะใช้สายยางขนาด 6 มิลลิเมตร ที่ต่อมาจากด้านก้นถังน้ำ ต่อเข้าทางด้านความดันสูงของตัวเซ็นเซอร์ และทางด้านความดันต่ำของตัวเซ็นเซอร์จะเปิดไว้เพื่อให้เจอกับบรรยากาศ เนื่องจากถังน้ำที่ใช้ในกระบวนการเป็นถังน้ำแบบเปิด จึงทำให้ความดันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับน้ำเพียงอย่างเดียว โดยความดันแตกต่างที่เข้าสู่ตัวเซ็นเซอร์คือ

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{high} - P_{low} \\ &= (\rho gh + P_{atm}) - P_{atm}\end{aligned}\quad (3.3)$$

$$\Delta P = \rho gh$$

โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ 1000 kg/cm<sup>3</sup>

$g$  คือ แรงโน้มถ่วงโลก 9.81 m/s<sup>2</sup>

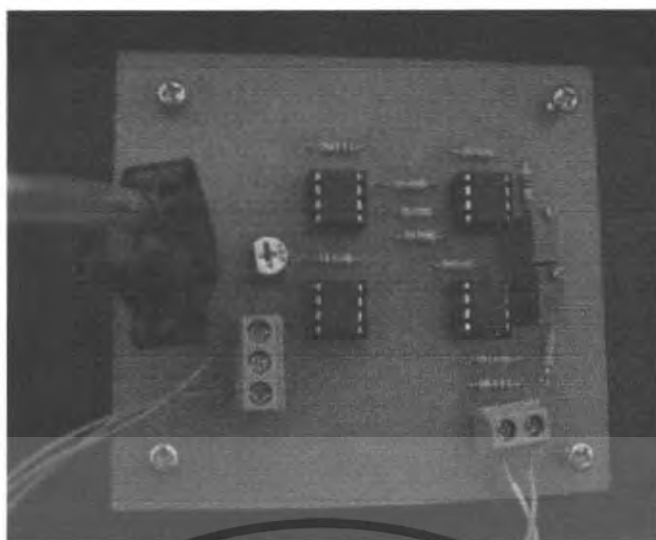
$h$  คือ ระดับน้ำที่วัด m.

$\Delta P$  คือ ความดันแตกต่าง KPa



รูปที่ 3.11 แสดง Sensor ที่ใช้งาน

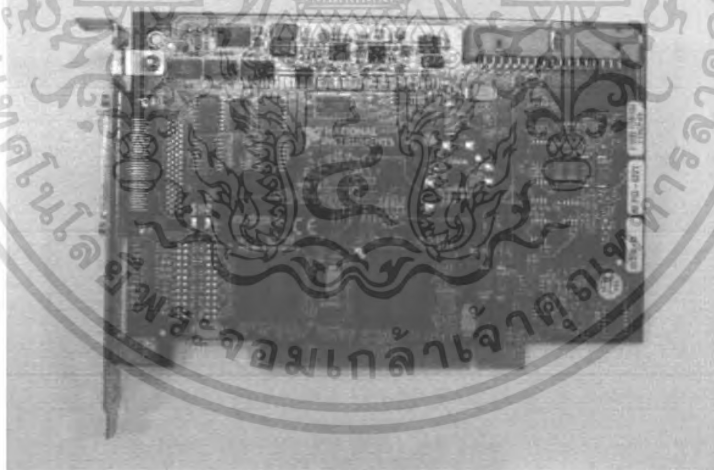
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงแผงวงจรของการวัดระดับที่สร้างขึ้น

### 3.1.6 ชุดอินเตอร์เฟซ (Interface)

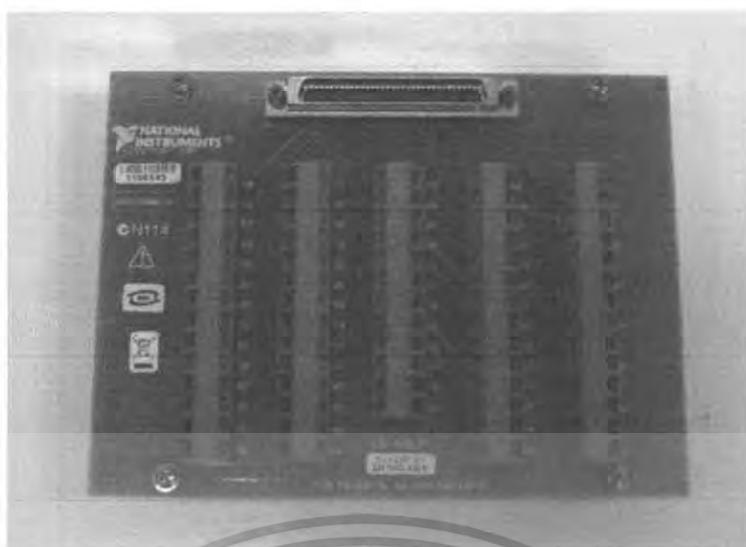
สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล และส่งสัญญาณออกไปสู่วาล์วควบคุม จะเลือกใช้ การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีซี เอ็น ไอ 6221 (DAQ Card M Series Multifunction NI 6221)



รูปที่ 3.13 แสดงการ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีซี เอ็น ไอ 6221  
(DAQ Card M Series Multifunction NI 6221)

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่นเอ็นไอ 6221 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จะใช้ร่วมกับพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP ซึ่งมีช่องเชื่อมต่อแบบขนานจำนวน 68 ช่องดังแสดงในรูปที่ 3.14 รองรับการรับส่งสัญญาณ ทั้งแบบอนาลอกและดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณขาเข้า ซึ่งจะส่งมาจากเซนเซอร์ ที่จะแปลงสัญญาณแรงดันของน้ำในถังเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่นเอ็นไอ 6221 สามารถรับสัญญาณขาเข้าได้พร้อมกัน 16 ช่องทาง และสามารถส่งสัญญาณขาออกได้พร้อมกัน 2 ช่องทาง รองรับการรับส่งสัญญาณทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัล สื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพีซีไอบัส (PCI Bus) โดยมีคุณสมบัติอื่นๆดังต่อไปนี้

ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	0 ถึง 50 องศาเซลเซียส
ช่วงอุณหภูมิในการเก็บรักษา	:	-20 ถึง 70 องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์	:	10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีการกลั่นตัว (10-90%, noncondensing)
กำลังไฟหลัก	:	+5 VDC ( $\pm 5\%$ ) 0.5 ถึง 1.5A
กำลังไฟที่ช่องต่อสัญญาณเข้าออก	:	+4.65 to +5.25 VDC, 1A
ช่องทางในการติดต่อ	:	PCI BUS
จำนวนบิต	:	32 บิต
ช่วงสัญญาณสูงสุดในการรับเข้าและส่งออก	:	$\pm 10$ VDC
ความถี่ของแหล่งกำเนิดสูงสุด	:	80 MHz

### 3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

LabVIEW คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับ Visual Basic แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text base Programming เช่น Text-base จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

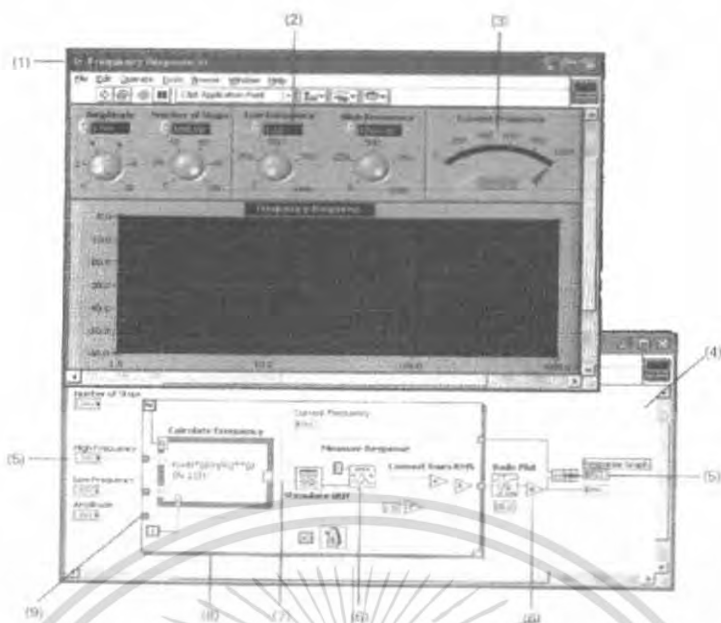
LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆที่ซับซ้อนได้เหมือน Text base เช่นภาษา C โดยใช้ Formula Node และ LabVIEW การทำงานจะเน้นทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น การเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล หรือส่งข้อมูลผ่านทาง Internet ทำให้หลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานวัดคุม และอัตโนมัติ (Automation)

### 3.2.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูปรูปที่ 3.15 เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นได้เองอย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัด หรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ผู้ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ

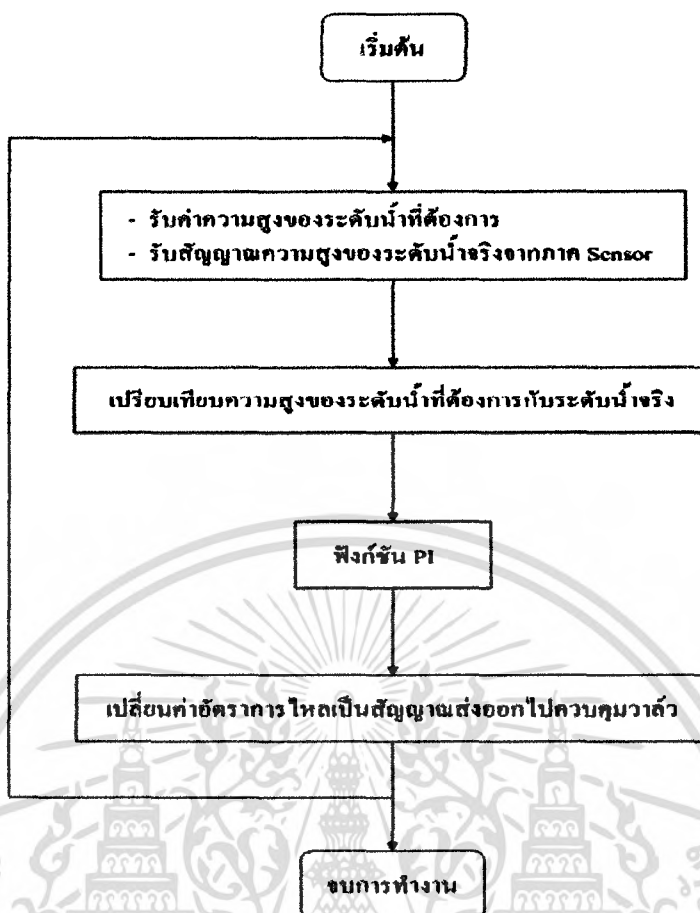
1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ดDAQ(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ดIMAQ(สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB(สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. Analysis หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้ว อาจจะผ่านฟังก์ชันการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ทั้งในรูปแบบสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาหรือ สัมพันธ์กับเวลาที่วัดได้ จะสามารถแสดงสัญญาณในรูปแบบที่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงาน หรือการเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่าง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW

### 3.3 หลักการทำงานของโปรแกรม

หลักการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.37 โดยเริ่มต้น โปรแกรมจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากส่วนของเซนเซอร์วัดความดันน้ำผ่านไอคอน DAQ Assistant สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระดับความสูงของน้ำหน่วยเป็นเซนติเมตร จากนั้นผู้ใช้จะทำการป้อนระดับความสูงของน้ำที่ต้องการเข้าไป โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบระดับความสูงที่ต้องการกับระดับความสูงจริง ค่าที่ได้ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาด (Error) ค่านี้จะถูกส่งไปเข้ากระบวนการฟิว ซึ่งจะให้ค่าออกมาเป็นอัตราการไหลที่ต้องการ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์ เซนเซอร์วัดความดันน้ำก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากลับมาอีกเพื่อทำการคำนวณต่อ โดยโปรแกรมจะหยุดเมื่อระดับความสูงของน้ำจริงมีค่าเท่ากับระดับความสูงของระดับความสูงของน้ำที่ต้องการ เมื่อนั้นค่าความผิดพลาด (Error) จะมีค่าเป็นศูนย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมก็จะมีค่าคงที่



รูปที่ 3.16 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินราก (Root Locus Technique)

#### 4.1 บทนำ

ในการออกแบบตัวควบคุมพีไออนั้น ในปัจจุบันมีวิธีการหาค่าได้หลายวิธี ซึ่งจำแนกออกได้สองประเภท ประเภทที่หนึ่งคือ ประเภทไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการส่วนประเภทที่สองจำเป็นต้องทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ ซึ่งทราบได้จากการประมาณค่าของกระบวนการ ซึ่งในการประมาณค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ ก็มีอยู่หลายวิธีในปัจจุบันขอไม่ลงรายละเอียดในส่วนนี้ ในส่วนนี้จำเป็นต้องทราบฟังก์ชันหลังการประมาณแล้ว

สิ่งแรกที่ต้องการในการออกแบบระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม คือ ตัวแปรที่ต้องการควบคุม เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ นอกจากเวลาเข้าที่ (Settling time  $T_s$ ) และค่าพุ่งเกิน (Percent overshoot P.O.) ก็เป็นส่วนหนึ่งในการต้องการที่ต้องการให้ระบบมีผลตอบสนองตามวัตถุประสงค์ ซึ่งขอนิยามในส่วนนี้ว่า ข้อกำหนดของระบบ (Specification of Control System)

#### 4.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก

จากข้อกำหนดของผลตอบสนองในสภาวะชั่วขณะ คือค่าพุ่งเกินและเวลาเข้าที่ต้องการนั้น จะใช้ในการคำนวณหาค่าของอัตราการหน่วง (Damping ratio:  $\zeta$ ) ความถี่ธรรมชาติที่ไม่มีการหน่วง (Undamped natural frequency:  $\omega_n$ ) และตำแหน่งของรากที่สำคัญ (Dominant closed-loop poles:  $S_d$ ) ของระบบควบคุมแบบวงเปิด จากสมการต่อไปนี้

$$P.O. = 100e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \% \quad (4.1)$$

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (4.2)$$

$$S_d = -\zeta\omega_n \pm j\sqrt{1-\zeta^2} \quad (4.3)$$

ค่าของ  $\zeta$ ,  $\omega_n$  และ  $S_d$  ที่หาได้จากสมการที่ (4.1),(4.2),(4.3) ตามลำดับ จะใช้ในการออกแบบตัวควบคุม และเงื่อนไขของมุมในวิธีทางเดินราก รากของสมการคุณลักษณะจะอยู่ที่จุด  $S_d$  จะได้จะต้องสอดคล้องกันกับเงื่อนไขของมุม คือ

$$\angle G_c(s_d)G_p(s_d) = \pm(2k+1)\pi; k = 0,1,2... \quad (4.2)$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอสมการ (2.14) ดัง (4.4) สามารถเขียนอยู่อีกรูปแบบหนึ่งดัง (4.5) เมื่อ  $Z_c$  คือซีโรของตัวควบคุม

$$G_c = \frac{K_p(s + \frac{K_I}{K_p})}{s} \quad (4.4)$$

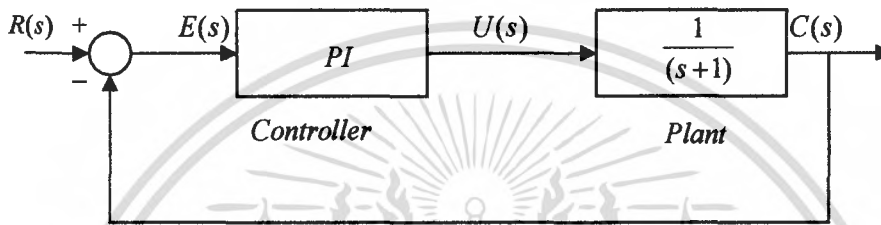
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c = \frac{K_p(s+z_c)}{s} \quad (4.5)$$

เมื่อ  $Z_c = \frac{K_I}{K_p}$

วิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอที่กำหนดให้ซีโรของตัวควบคุมเป็นค่าจริงแสดงได้ดังตัวอย่างที่ 4.1 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 4.1 การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับกระบวนการอันดับหนึ่งชนิดศูนย์แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงระบบควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง

ข้อกำหนดในการออกแบบคือ  $T_s \leq 2 \text{ sec} (\pm 2\%)$   $P.O. \leq 5\%$   $e_{ss} = 0$

ขั้นตอนที่ 1 จากสมการที่ 4.1 หากจุด  $S_d = -2 \pm j2.0974$

ขั้นตอนที่ 2 หามุมจากเงื่อนไขดังสมการที่ 4.2 จะได้

$$\angle(s_d + z_c) - [\angle(s_d) + \angle(s_d + 1)] = -180$$

$$\angle(s_d + z_c) - [133.6383 + 115.4909] = -180$$

และ  $\angle(s_d + z_c) = 69.1292$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าแห่งซีโรของตัวควบคุมโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติจะได้

$$z_c = |\text{Re}(s_d)| + \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(69.1292)} = 2 + \frac{2.0974}{\tan(69.1292)} = 2.7988$$

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอจากเงื่อนไขของขนาดจากทฤษฎีทางเดินรากจะ

ได้

$$K_p = \frac{|s_d||s_d + 1|}{|s_d + 2.7988|} = 2.98$$

ขั้นตอนที่ 5 วาดทางเดินรากของระบบจะต้องผ่านจุด  $S_d$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2

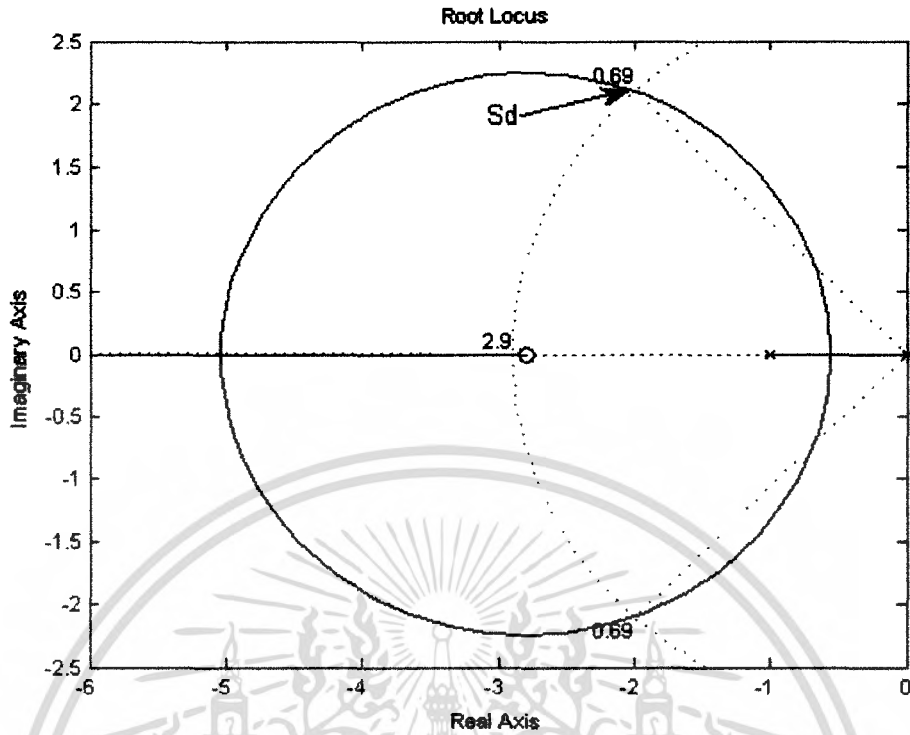
ขั้นตอนที่ 6 ป้อนอินพุทแบบ Unit Step พล็อตผลตอบสนองของระบบ ถ้าผลตอบสนอง

ของระบบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดสามารถปรับอัตราขยายของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นจนผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งผลแสดงดังรูปที่ 4.3

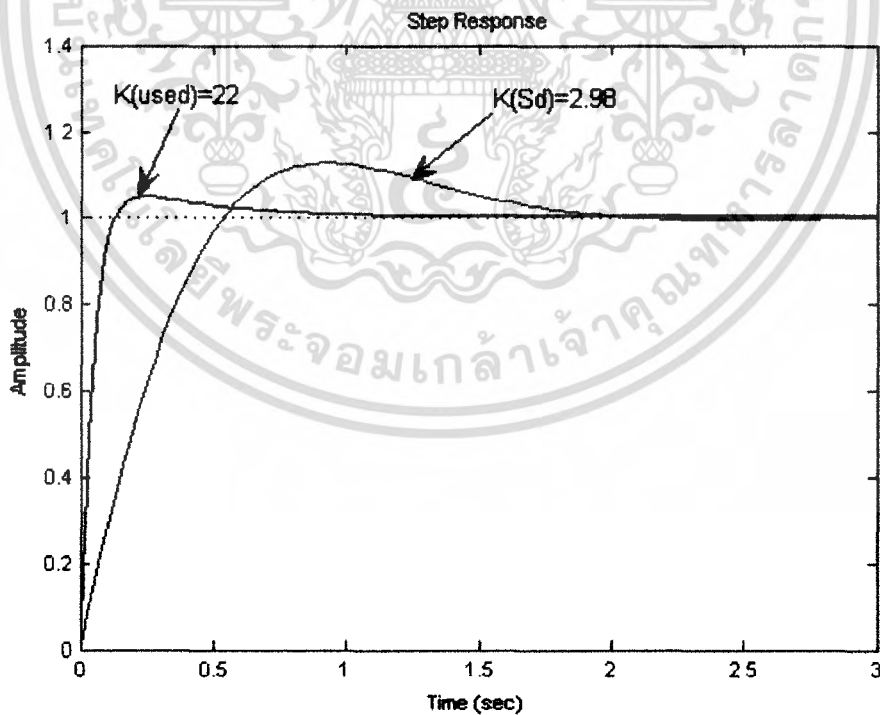
จากวิธีการข้างต้นจะได้ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอดัง(4.6)

$$G_c = \frac{2.98(s + 2.7988)}{s} \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงเคินของรากของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง



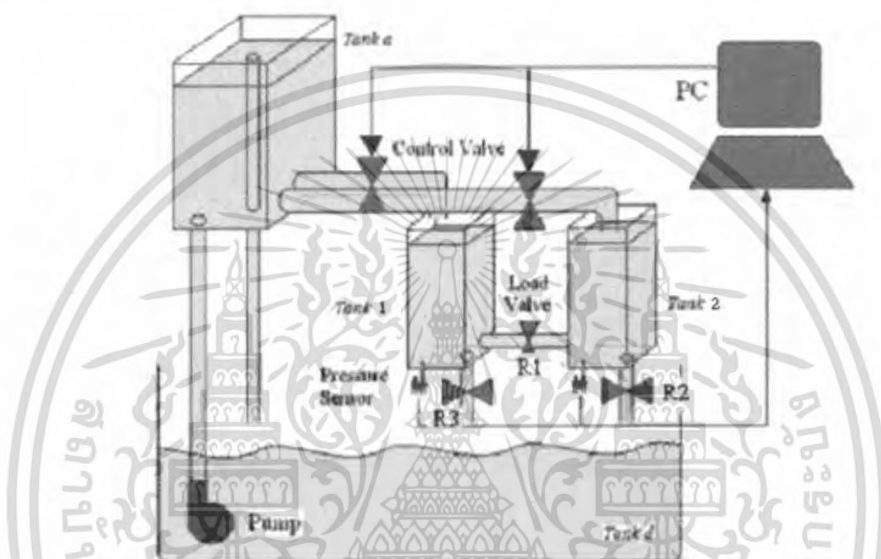
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการปรับอัตราขยายเพิ่มขึ้นจนได้ผลตามข้อกำหนดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอกับกระบวนการอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการ และ บทที่ 4 เกี่ยวกับการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมด้วยรูด-ล็อกส ซึ่งในบทนี้จะเป็นนำทฤษฎีต่างๆที่ได้ศึกษาจากบทที่ 2 และบทที่ 4 มาทำการทดลองกับชุดกระบวนการดังรูปที่ 5.1 และแสดงผลการทดลองที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีเป็นเช่นไร ดังนั้นผลการทดลองจึงแยกออกได้เป็นดังนี้



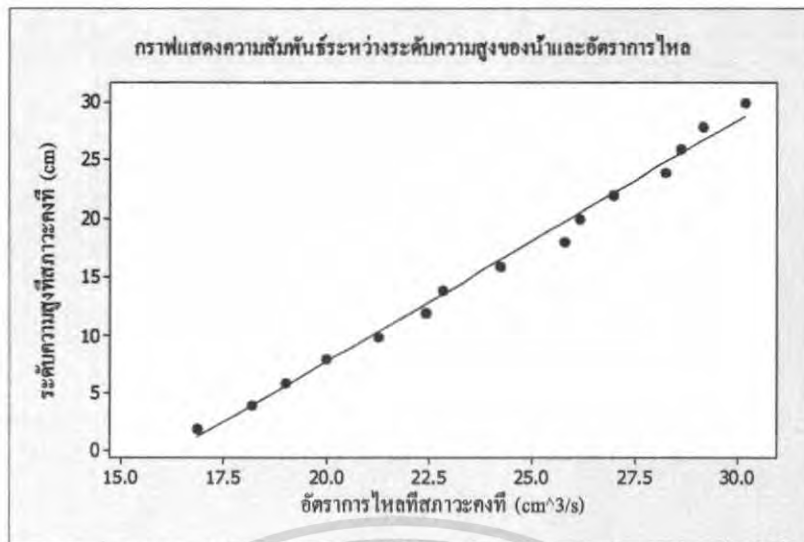
รูปที่ 5.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ

#### 5.1 ผลการทดลองไหลควาล์ว

ในการทดลองระบบควบคุมนี้ เราสามารถจำลองการทำงานของระบบได้จากการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อดูแนวโน้มการตอบสนองของระบบต่อคำสั่งของผู้ควบคุมซึ่งในระบบควบคุมระดับน้ำเราสามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากหัวข้อ 2.5 ได้ดังนี้

ค่าความต้านทานการไหลของน้ำ(หัวข้อ 2.5) คือความค่าความชันของกราฟรูปที่ 5.2 เมื่อกำหนดให้วาล์ว  $R_2$  เปิดที่มุม 45 องศา เราสามารถกำหนดตำแหน่งวาล์วที่ตำแหน่งใดๆก็ได้แต่ในการทดลองนี้จะเลือกที่ตำแหน่ง 45 องศา ซึ่งแต่ละองศาการเปิดของวาล์วจะทำให้ค่าความต้านทานนี้ไม่เท่ากันแต่ในการทดลองนี้ที่ 45องศา มีค่าเท่ากับ  $R=2.107 \text{ s/cm}^2$  ซึ่งตำแหน่งมุมของวาล์วและค่าความต้านทานการไหลนี้จะนำไปใช้ทุกๆกรณีของการทดลอง แสดงดังรูปที่ 5.2

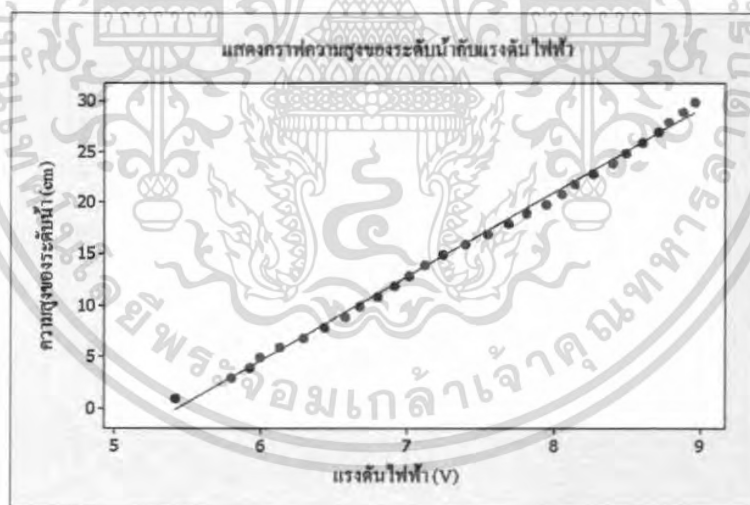
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟระหว่างระดับความสูงของน้ำและอัตราการไหล

### 5.2 การทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

การทดลองการวัดระดับน้ำ จะทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ค่าต่างๆ และวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ นำมาเขียนกราฟแสดงผลระหว่างความสูงของระดับน้ำ เทียบกับแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5.2

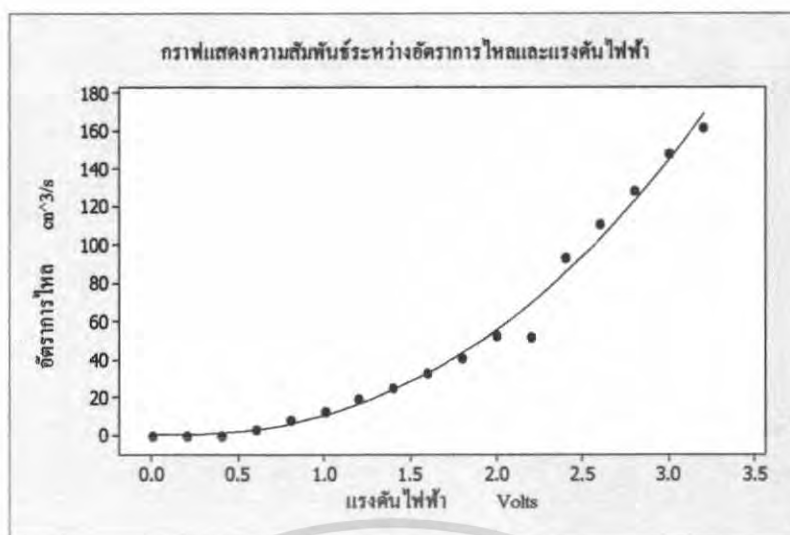


รูปที่ 5.3 แสดงกราฟความสูงของระดับน้ำกับแรงดันไฟฟ้า

### 5.3 การทดลองวาล์วควบคุม

การทดลองในส่วนของวาล์วควบคุมจะเป็นการทดสอบคุณลักษณะของวาล์ว ทำการทดลองโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ แล้ววัดอัตราการไหลที่ได้นำมาเขียนกราฟแสดงผลระหว่างอัตราการไหล เทียบกับแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

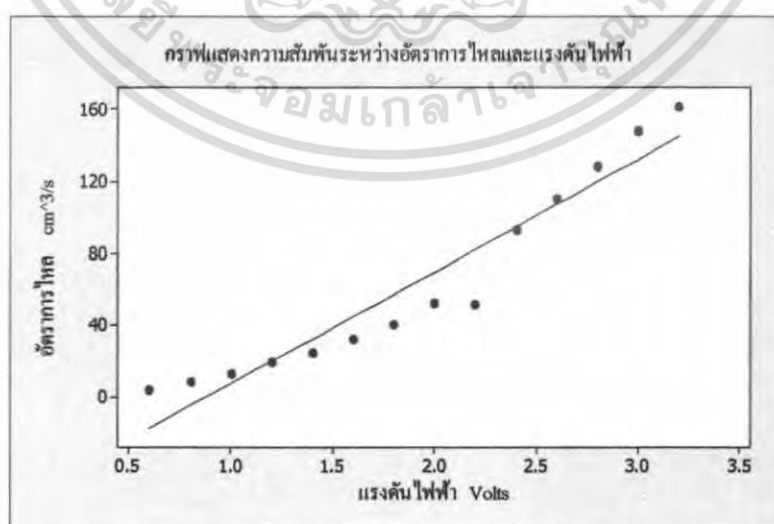


รูปที่ 5.4 แสดงกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการไหลของน้ำ

การทดลองวาล์วควบคุมเพื่อหาค่าGainของวาล์ว ขั้นตอนการทดลองได้อธิบายดังต่อไปนี้ ค่าความชันของกราฟในรูปที่ 5.3 นั้นมีค่าไม่คงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวาล์วควบคุมมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่เนื่องจากระบบที่จะควบคุมนั้นจะต้องเป็นระบบเชิงเส้นจึงต้องประมาณกราฟในรูปที่ 5.3 ให้เป็นกราฟเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 5.4

ค่าGainของวาล์วควบคุมเท่ากับ  $251.27 \frac{cm^3}{s-volts}$  ส่วนค่าGainที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล ไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่จะส่งออกไปควบคุมวาล์ว ดังสมการที่ 5.1 Transfer function ของวาล์วควบคุม

$$\frac{Q_i}{V_{DC}} = 251.27 \frac{cm^3}{s-volts} \quad (5.1)$$

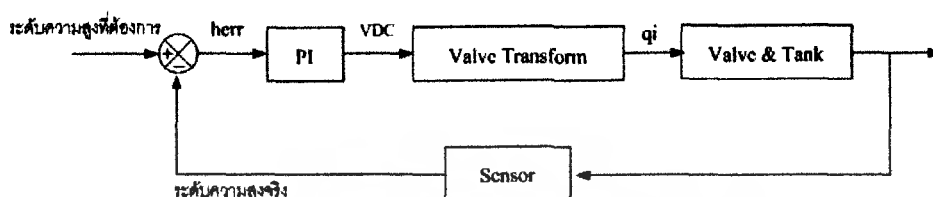


รูปที่ 5.5 แสดงกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการไหลของน้ำที่ประมาณเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังสองถังที่ควบคุมระดับความสูงที่ถังใดถังหนึ่งนั้นสามารถอธิบายการทำงานได้โดยแสดงแบบ Block Diagram ได้ดังรูปที่ 5.5



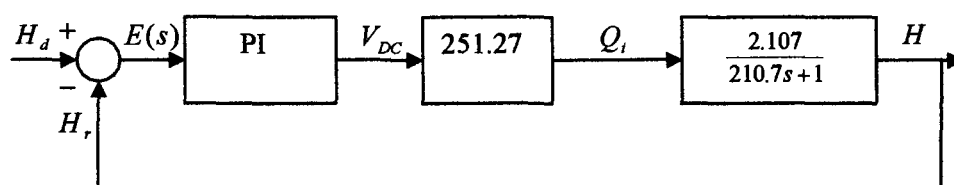
รูปที่ 5.6 แสดง Block-Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียว

โดยการทำงานของชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวจะเริ่มต้นเมื่อโปรแกรมควบคุมจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากส่วนของเซนเซอร์วัดความดันน้ำ สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระดับความสูงของน้ำหน่วยเป็นเซนติเมตร จากนั้นผู้ใช้จะทำการป้อนระดับความสูงของน้ำที่ต้องการเข้าไป ระบบจะทำการเปรียบเทียบระดับความสูงที่ต้องการกับระดับความสูงจริง ค่าที่ได้ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาด (Error) ค่านี้จะถูกส่งไปเข้ากระบวนการพีไอ ซึ่งจะให้ค่าออกมาเป็นอัตราการไหลที่ต้องการ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าผ่านทางสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัญญาณแรงดันควบคุม (Valve Transform) เพื่อส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์ และเมื่อระดับความสูงของน้ำในถังเปลี่ยนแปลงไป เซนเซอร์วัดความดันน้ำก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากลับมาอีกเพื่อทำการคำนวณต่อ โดยระบบจะหยุดเมื่อระดับความสูงของน้ำจริงมีค่าเท่ากับระดับความสูงของระดับความสูงของน้ำที่ต้องการ เมื่อนั้นค่าความผิดพลาด (Error) จะมีค่าเป็นศูนย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมก็จะมีค่าคงที่

## 5.5 การทดลองระบบควบคุมทั้งหมดด้วยโปรแกรม MATLAB

### 5.5.1 กระบวนการระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

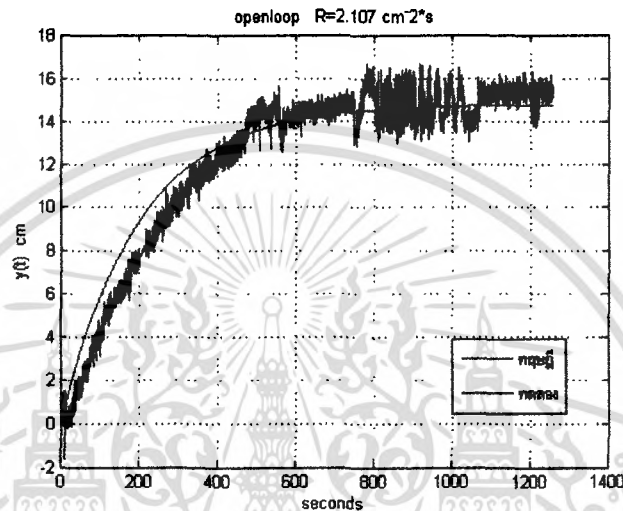
กระบวนการควบคุมซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 5.1 การทดลองนี้ มีวิธีดังนี้ คือจะควบคุมระดับความสูงของน้ำในถังที่ 2 และปิดไหลควาล์ว  $R_3$  และ  $R_1$  ไม่ให้น้ำไหลผ่าน เปิดไหลควาล์ว  $R_2$  ที่ตำแหน่ง 45 องศา กำหนดให้ระดับความสูงของน้ำเป็น 15 cm และสามารถอธิบายเป็น Block diagram ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.7 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการ จำเป็นต้องทดสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของแบบจำลองว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากกระบวนการจริงมากน้อยเพียงใด จะทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองในสมการที่ (2.23) เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการจริง โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ตำแหน่งคงที่ทำให้มีอัตราการไหลเข้าถังเท่ากับ  $4.352 \text{ cm}^3 / \text{s}$  ซึ่งการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ผลตอบสนองของแบบจำลองในช่วงเวลา 0-400 วินาทีจะมีค่ามากกว่าของกระบวนการจริง และความผิดพลาดระหว่างแบบจำลอง กับกระบวนการจริงมีค่าไม่เกิน 10% แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองแบบ Open Loop ของกระบวนการระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

จากสมการ Transfer Function (2.23) เมื่อแทนค่า R, C ลงไปเราจะได้

$$\frac{H_2}{Q_1} = \frac{2.107}{210.7s+1} \quad (5.1)$$

จากหัวข้อที่ 4.2 สมการที่ 4.5 Transfer Function ของตัวควบคุมคือ

$$G_c = \frac{K_p(s+z_c)}{s} \quad (5.2)$$

ในหัวข้อที่ 4.2 ได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก ดังนั้นข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบคือ

$$\text{Percent Overshoot (P.O.)} \leq 16\% \quad \text{Setting Time (T}_s\text{)} (\pm 2\%) \leq 80 \text{ sec}$$

ขั้นตอนที่ 1 จากสมการที่ 4.1 หาจุด  $S_d = 0.05 + j0.0857$

ขั้นตอนที่ 2 หามุมจากเงื่อนไขดังสมการที่ 4.2 จะได้

$$\angle(S_d + z_c) - [\angle S_d + \angle(S_d + 0.0047)] = -180 \text{ และ } \angle(S_d + z_c) = 58.121$$

ขั้นตอนที่ 3 หาตำแหน่งซีโรของตัวควบคุมโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติจะได้

$$z_c = |\text{Re}(s_d)| + \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(58.121)} = 0.05 + \frac{0.0857}{\tan(58.121)} = 0.1037$$

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราขยายของตัวควบคุมพีโอจากเงื่อนไขของขนาดจากทฤษฎีทางเดินรากจะได้

$$K_p = \frac{|s_d||s_d + 0.0047|}{|s_d + 0.1037|} = 0.0378$$

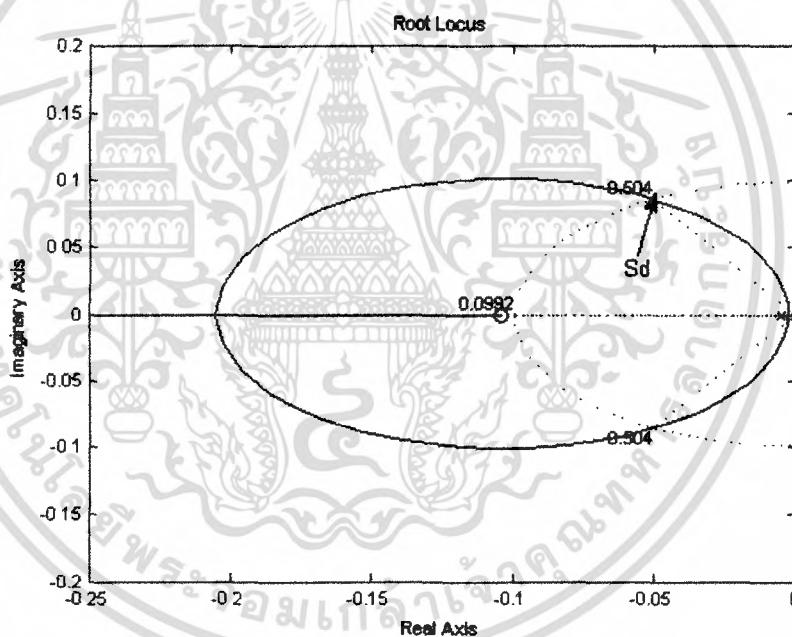
ขั้นตอนที่ 5 วาดทางคิรากลของระบบจะต้องผ่านจุด  $S_d$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.7

ขั้นตอนที่ 6 ป้อนอินพุทแบบ Unit Step พล็อตผลตอบสนองของระบบ ถ้าผลตอบสนองของระบบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดสามารถปรับอัตราขยายของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นจนผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งผลแสดงดังรูปที่ 5.8

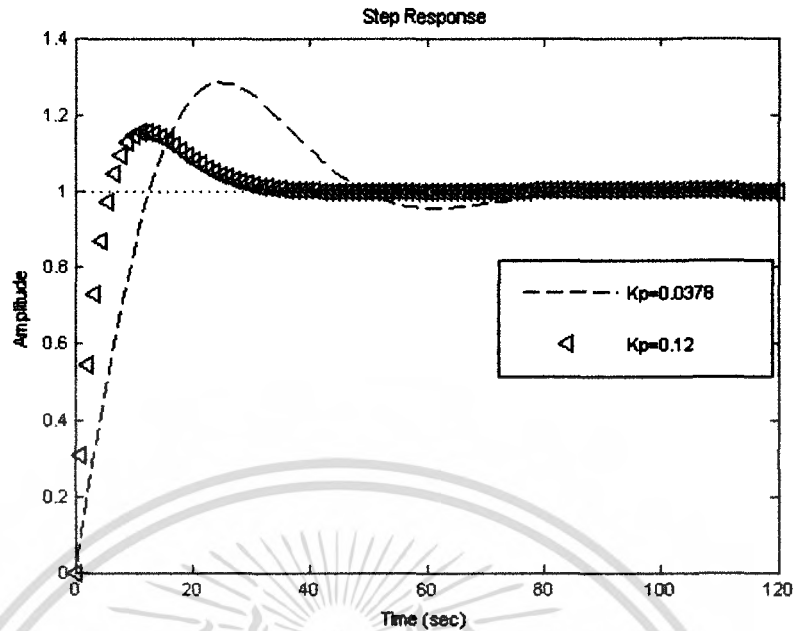
จากขั้นตอนข้างต้นจะได้ตัวควบคุม พีไอดัง (5.3)

$$G_c = \frac{0.0378(s + 0.1037)}{s} \quad (5.3)$$

ซึ่งทางคิรากลของระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.7 และผลตอบสนองต่ออินพุทแบบ Unit Step แสดงดังรูปที่ 5.8 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า  $K_p = 0.12$  เป็นค่าปรับละเอียดหลังจากออกแบบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผลตอบสนองตามกำหนดไว้ข้างต้น



รูปที่ 5.9 แสดงเส้นทางคิรากลของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำถังเตี๊ยมแบบที่ไม่มีปฏิกริยาต่อถังอื่น



รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนอง Closed-loop ต่ออินพุตแบบ Unit Step

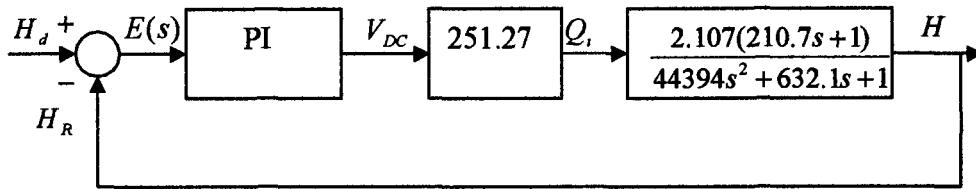
#### 5.5.1 กระบวนการระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่มีปฏิริยาต่อถังอื่น

กระบวนการควบคุมซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 3.1 การทดลองนี้ มีวิธีดังนี้ คือจะควบคุมระดับความสูงของน้ำในถังที่ 2 และปิดไหลควาล์ว  $R_3$  ไม่ให้น้ำไหลผ่าน เปิดไหลควาล์ว  $R_1, R_2$  ที่ตำแหน่ง 45 องศา กำหนดให้ระดับความสูงของน้ำเป็น 15 cm โดยที่กำหนดค่าความต้านทานการไหล  $R_1, R_2$  มีค่าเท่ากับ  $2.107 \text{ cm}^3/\text{s}$  และสามารถอธิบายเป็น Block diagram ดังรูปที่ 5.9 ก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการ จำเป็นต้องทดสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของแบบจำลองว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากกระบวนการจริงมากน้อยเพียงใด จะทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองในสมการที่ (5.3) เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการจริง โดยเปิดควาล์วควบคุมที่ตำแหน่งคงที่ทำให้มีอัตราการไหลเข้าถึงเท่ากับ  $16.6369 \text{ cm}^3/\text{s}$  แสดงดังรูปที่ 5.10 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าผลตอบสนองที่ได้จากสมการที่ (5.3) ไม่สอดคล้องกับผลตอบสนองจากกระบวนการจริงเป็นเพราะเหตุผลหลายประการดังที่ได้สมมติเอาไว้เช่น ค่าความต้านทานการไหลของ  $R_1 = R_2$  ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะไม่เท่ากัน และค่าความต้านทานการไหลจะไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น

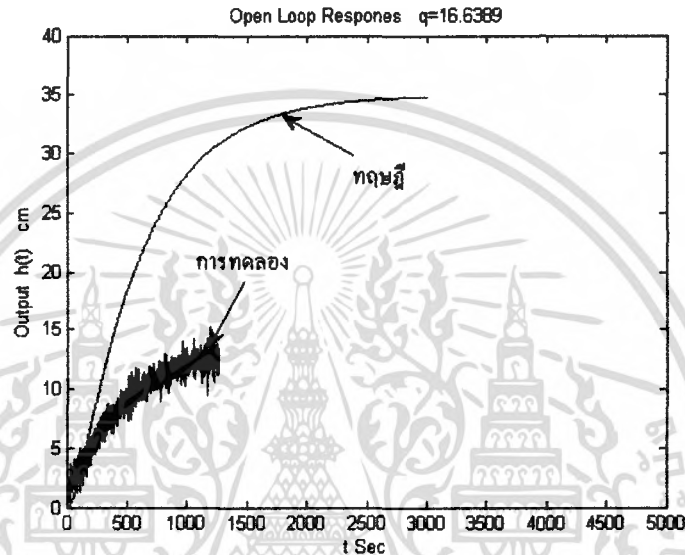
จากสมการ 2.30 เมื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และกำหนดให้  $h_2(0) = 0, \frac{dh_2(0)}{dt} = 0, \frac{d^2h_2(0)}{dt^2} = 0$

$\frac{dq_1}{dt} = 0$  , R, C จะได้

$$h(t) = 41.0116 * e^{-0.0018t} + 5.9527 * e^{-0.0124t} + 35.0582 \quad (5.3)$$



รูปที่ 5.11 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยาต่อตั้งอื่น



รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองแบบ Open Loop ของระบบระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยาต่อตั้งอื่น

จากสมการ Transfer Function (2.31) เมื่อแทนค่า R, C ลงไปเราจะได้

$$\frac{H_2}{Q_i} = \frac{2.107(210.7s + 1)}{44394s^2 + 632.1s + 1} \quad (5.4)$$

จากหัวข้อที่ 4.2 สมการที่ 4.5 Transfer Function ของตัวควบคุมคือ

$$G_c = \frac{K_p(s + z_c)}{s} \quad (5.5)$$

ในหัวข้อที่ 4.2 ได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก ดังนั้นข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบคือ

$$\text{Percent Overshoot (P.O.)} \leq 16\% \quad \text{Setting Time (T_s)} (\pm 2\%) \leq 80 \text{ sec}$$

$$\text{ขั้นตอนที่ 1 จากสมการที่ 4.1 หาจุด } S_d = 0.05 + j0.0857$$

ขั้นตอนที่ 2 หามุมจากเงื่อนไขดังสมการที่ 4.2 จะได้

$$[\angle(S_d + z_c) + \angle(S_d + 0.0047)] - [\angle S_d + \angle(S_d + 0.0124) + \angle(S_d + 0.0018)] = -180$$

และ

$$\angle(S_d + z_c) = 55.4439$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าแห่งซีโรของตัวควบคุม โดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติจะได้

$$Z_c = |\operatorname{Re}(s_d)| + \frac{|\operatorname{Im}(s_d)|}{\tan(55.4439)} = 0.05 + \frac{0.0857}{\tan(55.439)} = 0.109$$

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราขยายของตัวควบคุมพีโอจากเงื่อนไขของขนาดจาทฤษฎีทางเดินรากจะได้

$$K_p = \frac{|s_d||s_d + 0.0018||s_d + 0.0124|}{|s_d + 0.0047||s_d + 0.109|} = 0.036$$

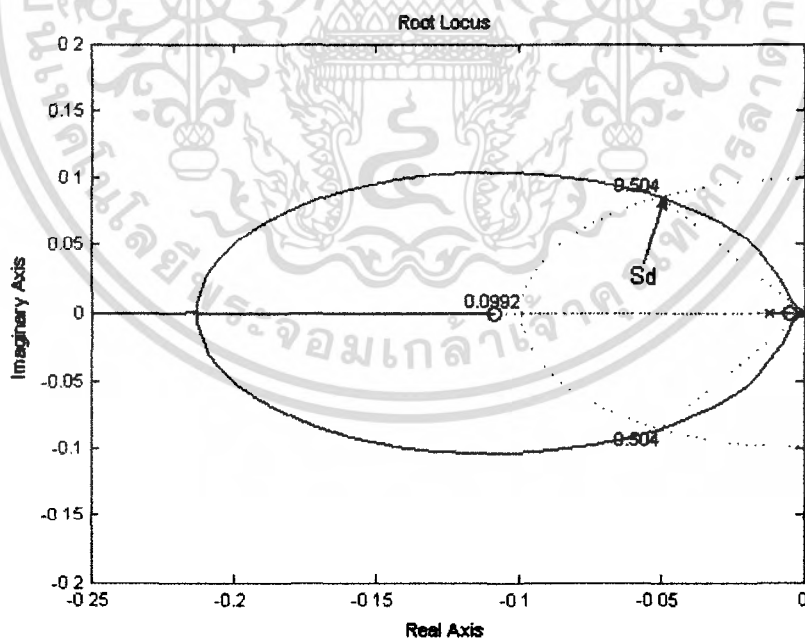
ขั้นตอนที่ 5 วาดทางเดินรากของระบบจะต้องผ่านจุด  $S_d$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.11

ขั้นตอนที่ 6 ป้อนอินพุทแบบ Unit Step พล็อตผลตอบสนองของระบบ ถ้าผลตอบสนองของระบบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดสามารถปรับอัตราขยายของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นจนผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งผลแสดงดังรูปที่ 5.12

จากขั้นตอนข้างต้นจะได้ตัวควบคุม พีโอดัง (5.6)

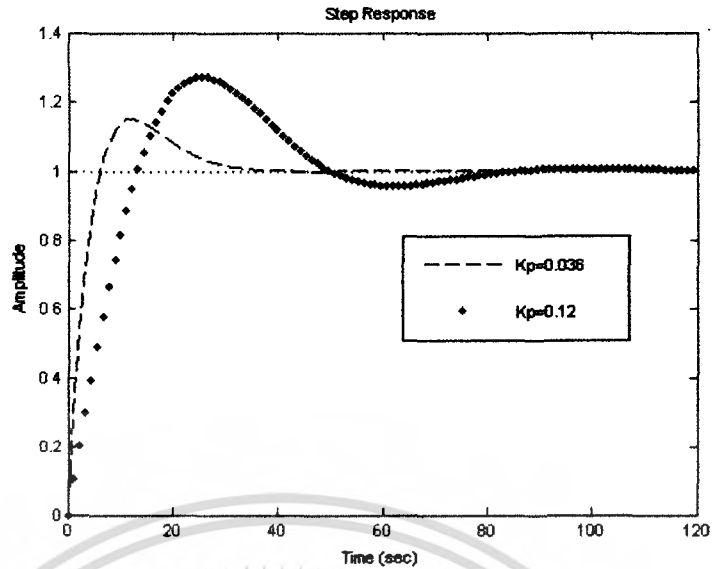
$$G_c = \frac{0.036(s + 0.109)}{s} \quad (5.6)$$

ซึ่งทางเดินของรากของระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.11 และผลตอบสนองต่ออินพุทแบบ Unit Step แสดงดังรูปที่ 5.12 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า  $K_p = 0.12$  เป็นค่าปรับละเอียดหลังจากออกแบบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผลตอบสนองตามกำหนดไว้ข้างต้น



รูปที่ 5.13 แสดง Block diagram ของการควบคุมระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

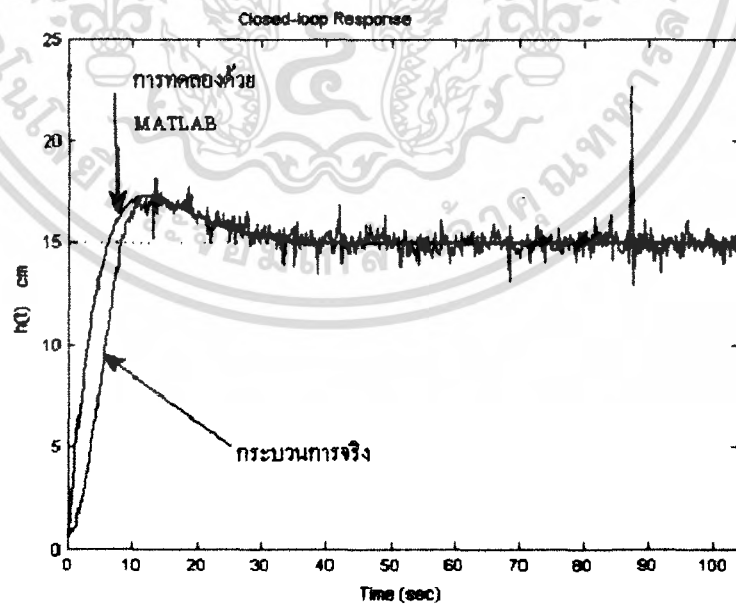


รูปที่ 5.14 แสดงผลตอบสนอง Closed-loop ต่ออินพุทแบบ Unit Step

## 5.6 การทดลองกับกระบวนการจริง

### 5.6.1 กระบวนการระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อตั้งอื่น

ในการนำตัวควบคุมพีไอที่ได้ออกแบบไปใช้งานจริง ซึ่งได้นำเอาพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่แล้วมาทำการเซตค่าพารามิเตอร์ใน โปรแกรม LabVIEW (ภาคผนวก) ซึ่งได้ผลตอบสนองในเวลาจริงแสดงดังรูปที่ 5.13



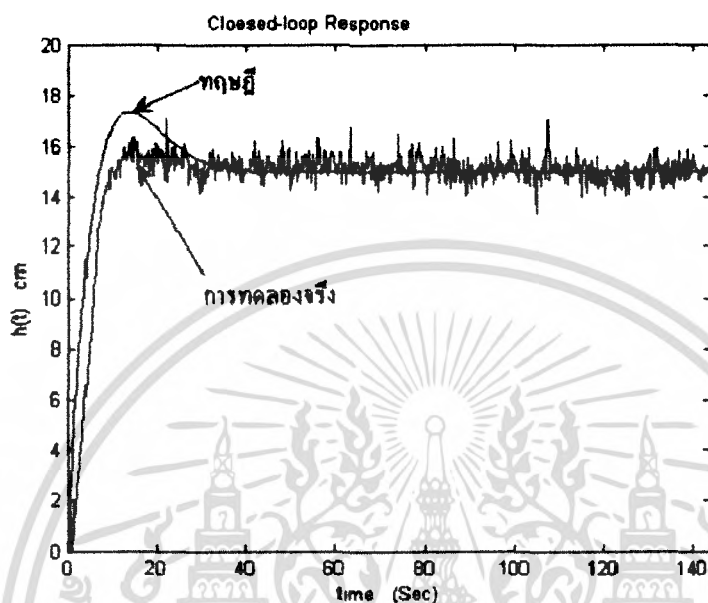
รูปที่ 5.15 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อตั้งอื่นที่

$K_p = 0.12$ ,  $K_I = 0.0124$  และเป้าหมายระดับความสูงคือ 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.6.2 กระบวนการระดับน้ำถังเดียวแบบที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

ในการนำตัวควบคุมพีไอที่ได้ออกแบบไปใช้งานจริง ซึ่งได้นำเอาพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่แล้วมาทำการเซตค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม LabVIEW (ภาคผนวก) ซึ่งได้ผลตอบสนองในเวลาจริงแสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น ที่  $K_p = 0.12$ ,  $K_I = 0.0124$  และเป้าหมายระดับความสูงคือ 15 เซนติเมตร

### 5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. การทดลองหาค่า Gain ของโพลควาล์วหรือค่าความต้านทานของวาล์ว ที่สมมติว่าคงที่ตลอดความสูงของระดับน้ำในถังและคงที่ตลอดทุกๆ อัตราการไหลของน้ำผ่านโพลควาล์วนั้น เพื่อให้ระบบเป็นระบบเชิงเส้น แต่ในความเป็นจริงค่าความต้านทานของโพลควาล์วจะไม่เท่ากันตลอดทุกค่าความสูงของระดับน้ำ

2. จากการทดลองแบบ Open-Loop ของระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อกัน แสดงให้เห็นว่าสมการคณิตศาสตร์ที่เราสร้างขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้องพอสมควร

3. จากการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอโดยใช้เทคนิค Root Locus หาค่า Gain ( $K_p$ ) และตำแหน่งของซีโรของตัวควบคุมที่ทำให้ระบบมีผลตอบสนองตามที่ต้องการ แต่ค่า Gain ที่ได้จากการออกแบบนั้นเมื่อมา simulation บนโปรแกรม MATLAB จากรูปที่ 5.8, 5.12 พบว่าไม่ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ จำเป็นต้องปรับค่า Gain ให้ได้ค่าตามที่ต้องการเองตามประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

4. ตำแหน่งซีโรของตัวควบคุมมีผลทำให้ระบบมีความเสถียรภาพและค่าเวลาที่ระบบเข้าสู่ช่วงสภาวะคงที่ ส่วนค่า ( $K_p$ ) ที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระบบมีผลตอบสนองเร็วแต่เกิด Overshoot สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากผลการทดลองแบบ Open Loop ของควบคุมระดับน้ำแบบดั้งเดิมที่มีปฏิริยาต่อกันแสดงให้เห็นว่าสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นและค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองนั้น ไม่ถูกต้อง ถ้าเราทำการทดลองหาค่าความต้านทานของวาล์วที่ 3 ได้ถูกต้องระบบก็จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา

ในการดำเนินงานโครงการออกแบบและสร้างระบบควบคุมระดับน้ำด้วยวิธีพีไอ ได้ทำการสร้างชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ โดยกำหนดให้มีการควบคุมวาล์วเฉพาะที่ทางเข้า ส่วนวาล์วในทางออกจะเป็นไหลควาล์วที่สามารถปรับมุมมองขาของการเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระบบ ทั้งในแง่ของเวลาที่ระบบใช้ในการรักษาสมดุลของระดับน้ำ และระดับน้ำสูงสุดที่จะสามารถตอบสนองต่อคำสั่งได้

ในส่วนของวาล์วควบคุม ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์หลักของโครงการงานชิ้นนี้ได้มีการศึกษาถึงทางเลือกในการใช้วาล์วหลากหลายแบบ โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานรวมถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้จริง ทางผู้จัดทำได้เลือกที่จะสร้างวาล์วควบคุมขึ้นเองโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นตัวขับเคลื่อนวาล์วควบคุมดังที่ได้ให้รายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ในขณะที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำนั้นก็ได้ออกใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน โดยดูจากความเหมาะสมในการใช้งาน เมื่อพิจารณาจากปริมาณของระดับน้ำที่ต้องการวัดในถังควบคุม ส่วนในด้านของโปรแกรมควบคุมก็ได้ใช้ โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลและควบคุมระบบ จากการที่โปรแกรมนี้อาศัยแนวคิดแบบใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ทำให้มีข้อดีตรงที่เป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและพัฒนาต่อ รวมไปถึงง่ายต่อการเชื่อมต่อข้อมูลทั้งรับเข้าและส่งออกสัญญาณต่ออุปกรณ์ภายนอก

#### 6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ (PI, Proportional Integral) จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีคือ การทดลองควบคุมระดับน้ำแบบดังเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกริยากับถึงอื่นและการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบดังเดี่ยวที่มีปฏิกริยากับถึงอื่น ซึ่งในการทดลองทั้ง 2 กรณีจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์พีไอของแต่ละกรณี ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์พีไอจะทำการหาค่าได้ด้วยวิธี LooT locus บนโปรแกรม MATLAB โดยจะทำการกำหนดค่าการพุ่งเกิน (Overshoot) และค่า Settling time หลังจากทำการหาค่าพารามิเตอร์พีไอแล้วจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์พีไอในแต่ละกรณี จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์พีไอที่ได้ป้อนลงใน โปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์พีไอที่ได้จากการหาค่ามานั้นสามารถควบคุมระดับความสูงของน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ทั้ง 2 กรณี จากนั้นนำผลการทดลองมาทำกราฟเทียบกับกราฟทางทฤษฎีแล้วทั้ง 2 กรณี ซึ่งจากการนำกราฟที่ได้มาเทียบกับกราฟทางทฤษฎีแล้วนั้นจะเห็นว่ากราฟที่ได้จากการทดลองมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับกราฟทางทฤษฎี แต่ในการทดลองจะมีค่า Rise time และ ค่า Overshoot น้อยกว่าทางทฤษฎี ซึ่งค่าค่า Rise time และ ค่า Overshoot ที่น้อยกว่าทางทฤษฎี ที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การรับส่งข้อมูลจะทำทุกๆ 203 มิลลิวินาที ซึ่งจะทำให้การควบคุมเกิดความล่าช้ากว่าทางทฤษฎีไปบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความต้านทานของโพลีควาล์วที่ใช้ในนั้นสมมติให้คงที่แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าความต้านทานของโพลีควาล์วจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของน้ำ

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบในระหว่างการทดลองพบว่า เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลาานาน แผงวงจรควบคุมมอเตอร์ที่สร้างขึ้นจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งเสี่ยงต่อการที่จะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเปราะบางเกิดความเสียหายได้ โดยเฉพาะ ไอซีเบอร์ BD139 BD140 LM7812 และ LM7912 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟและให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ต้องการนั้นจะเกิดความร้อนขึ้นได้ง่าย ทางผู้จัดทำได้แก้ปัญหาโดยการติดครีบริบายความร้อน ซึ่งก็ช่วยระบายความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

ส่วนของวาล์วควบคุมที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนและมีตัวต้านทานแบบปรับค่าได้มาเป็นตัวจับการเคลื่อนไหวของมอเตอร์นั้น พบว่ายังมีลักษณะของการรักษาสมดุลที่ยังไม่เพียงพอ ทำให้ตอบสนองต่อสัญญาณที่ได้รับจากส่วนของโปรแกรมประมวลผลได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้ระดับความสูงของน้ำในถังมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระดับที่ต้องการ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้หลายแนวทาง ทั้งการเพิ่มจำนวนของฟันเฟืองที่อยู่ระหว่างตัวมอเตอร์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อให้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้สามารถจับการเคลื่อนไหวของตัวมอเตอร์ได้ละเอียดขึ้น หรือการเปลี่ยนลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปใช้แบบที่มีความละเอียดมากขึ้น

สำหรับส่วนของการวัดระดับน้ำนั้น ตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดเป็นลักษณะวัดแรงดันเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ ซึ่งเมื่อวาล์วควบคุมเปิดจนสุด อัตราการไหลของน้ำจะมากจนส่งผลให้ระดับของน้ำในถังควบคุมเกิดการล้น ซึ่งส่งผลต่อสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าที่ส่งออกไปเข้าสู่โปรแกรมประมวลผล รวมไปถึงการเกิดสัญญาณรบกวนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ทำให้ไม่สามารถวัดระดับความสูงของน้ำได้อย่างแม่นยำนัก โดยสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นเป็นส่วนสำคัญของการคำนวณหาอัตราการไหลเข้าสู่ถังควบคุมระดับน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดค่าความผิดพลาดที่ทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมให้ระดับน้ำมีค่าตรงกับระดับที่ต้องการได้

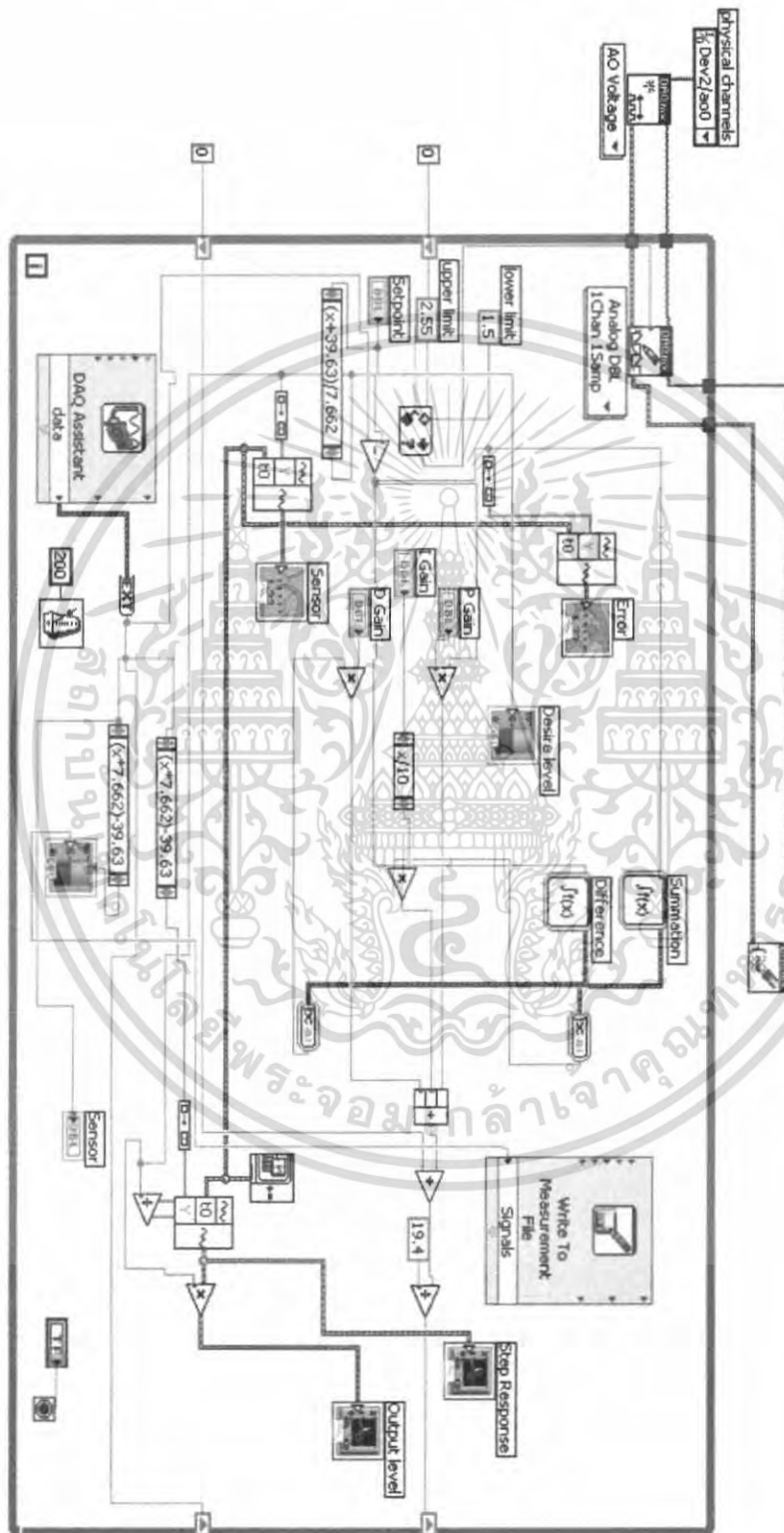
ในส่วนของโพลีควาล์วที่ทางออกของถังน้ำ b และ c ได้ทำการต่อสายยางเพื่อระบายน้ำทิ้งสู่ถัง d ซึ่งจากการต่อสายยางนั้นทำให้เกิดปัญหาในการหาค่าความต้านทานการไหลของวาล์วทั้งสองเพราะเมื่อวาล์วทั้งสองมีการงอตัวหรือบิดตัวจะทำให้ค่าความต้านทานการไหลมีค่าสูงมากขึ้น ซึ่งจะทำการแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนจากสายยางมาเป็นการใช้ท่อ PVC มาใช้ในการระบายน้ำสู่ถัง d แทน

### บรรณานุกรม

- [1] โคม ศิริศักดิ์โสภิต, สุภิร เจนจิรโฆษิต, อคฺลย์ พัฒนถักดี, การควบคุมระดับของไหลในท่อสองท่อที่ต่อถึงกันโดยใช้คอมพิวเตอร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534
- [2] กิตติ ตีรเศรษฐ, พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม, พิมพ์ครั้งที่ 5, ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
- [3] รศ.สุมาลี อุณหวิชัย, ระบบควบคุม, ว.เพ็ชรสกุล จำกัด. 2545
- [4] รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต, สุภาพร จำปาทอง, เรียนรู้พีแอลซีด้วยตนเอง, ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2547
- [5] เจริญ เพชรภูมิ, เรียนลัด LabVIEW, ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2547
- [6] Ogata K, System Dynamics, 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice-Hall Inc, 1998
- [7] Richard C. Dorf, Modern Control Systems, 10<sup>th</sup> Edition., Pearson Educational Inc. 2003
- [8] Jeffrey Travis, Jim Kring, LabVIEW For Everyone, 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice-Hall Inc.2007

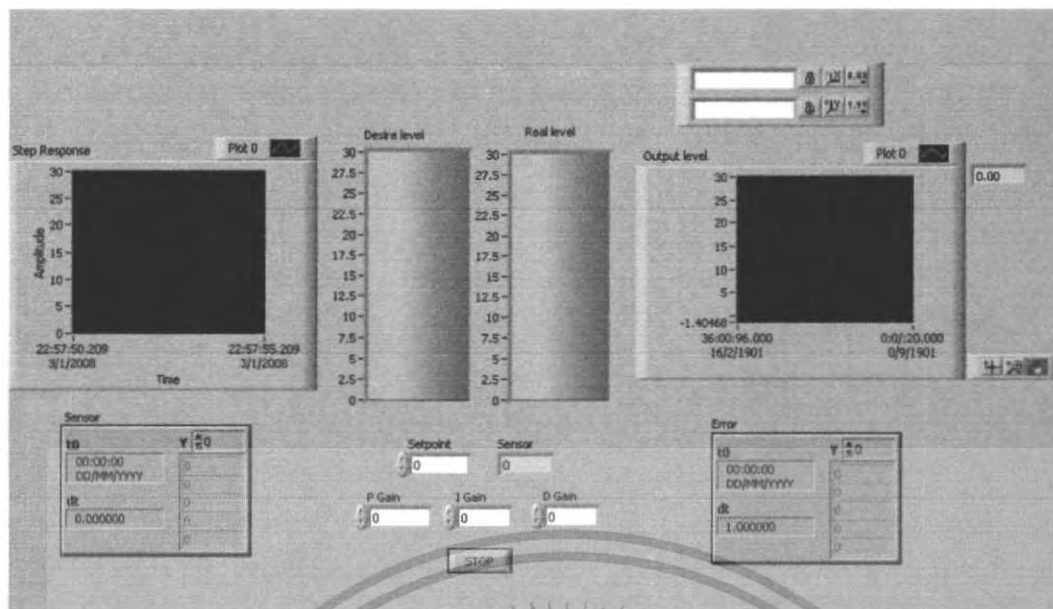
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
การเขียนโปรแกรมการควบคุมโดยโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ ก-1 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แสดง Front Panel ของโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

