

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC WATER LEVEL CONTROL SYSTEM

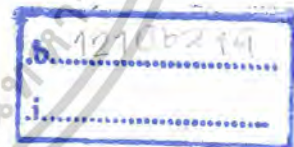


T104297



ภาณุพงศ์ ไชยทอง  
มนัสชัย เตชะกระโทก  
วรภัทร ทิฆมภากย์วิศิษฐ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....104297  
วัน,เดือน,ปี..... 2 พ.ย. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ  
AUTOMATIC WATER LEVEL CONTROL SYSTEM



โดย  
นายภานุพงศ์ ไชยทอง  
นายมนัสชัย เตชะกระโทก  
นายวรภัทร ทิณภักย์วิศิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. อุมนัต พิณโสภณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ

**Automatic water level control system**

ผู้จัดทำ

1. นายภาณุพงศ์ ไชยทอง รหัสประจำตัว 48010669
2. นายมนัสชัย เตชะกระโทก รหัสประจำตัว 48010701
3. นายวรภัทร ทิมภักย์วิศิษฐ์ รหัสประจำตัว 48010766



อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร.อนุวัต พินิจโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ

นายภาณพงศ์ ไชยทอง 48010669  
 นายมนัสชัย เตาะกระโทก 48010701  
 นายวรภัทร ทีฆภาคย์วิศิษฐ์ 48010766  
 ผศ.ดร.อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2551

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเรื่องชุดการทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ (AUTOMATIC WATER LEVEL CONTROL SYSTEM) โดยใช้ระบบควบคุมแบบพีไอ (PI, Proportional Integral) มาควบคุมกระบวนการทำงานของระบบ โดยได้สร้างชุดทดลองตามขอบเขตของปริญญานิพนธ์ ซึ่งชุดทดลองนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นโปรแกรมควบคุมจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม ส่วนที่สองเป็นชุดทดลองซึ่งจะประกอบด้วย บัมพ์น้ำ ถังน้ำ ชุดควบคุมวาล์ว ฯลฯ ซึ่งทั้งสองส่วนจะสื่อสารผ่านการ์ด รุ่น เอ็มซีรียี่ เอ็นไอ 6221 โดยการทำงานของชุดทดลองจะเริ่มต้นโดยที่โปรแกรม LabVIEW จะรับรู้ระดับความสูงของน้ำได้จากเซนเซอร์วัดความดันของน้ำจากนั้นโปรแกรม LabVIEW จะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมออกมา จากนั้นสัญญาณควบคุมจะถูกส่งเข้าสู่ชุดควบคุมวาล์วให้ทำการเปิดวาล์ว โดยวาล์วจะเปิดมากน้อยตามขนาดของสัญญาณเพื่อควบคุมระดับความสูงของน้ำได้ตามที่ต้องการ

การทดลองการควบคุมระดับน้ำจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองกรณีคือ การทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิริยากับถังอื่นและการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยากับถังอื่น โดยการทดลองจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์พีไอ (PI, Proportional Integral) ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์จะใช้วิธี Root Locus แล้วทำการกำหนดค่าการพุ่งเกิน (Overshoot) และค่า Settling time โดยใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ป้อนลงในโปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดลองแล้วชุดทดลองสามารถควบคุมระดับน้ำได้ตามต้องการและจากการทดลองพบว่า การตอบสนองของระบบควบคุมมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับพฤติกรรมทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Automatic water level control system

Panupong Chaitong

Manatchai Torkratok

Vorapat Teekapakvisit

Unnat Pinsophol

Advisor

### Abstract

This project presents an automatic water level control system via using proportional and integral control. The water level control system is divided into two parts; part 1 is a LabVIEW program to control the system and part 2 is a system which consists of water pump, water tank and others. Both of two parts have M series NI 6221 card to communicate with each other. In the beginning, the computer receives signal from pressure sensor and calculates the control action via LabVIEW program and this signal will be sent to valve actuator to open control valve to yield the desired water level.

Water controlling experiment will be divided into two cases. First, experiment in controlling water level in a single tank without any interaction with other tanks. Second, experiment in controlling water level in a single tank with interaction with other tanks. PI parameter needs to be specified before the experiment by using MATLAB, which uses root locus method to determine overshoot and settling time. The parameter will then be used in LabVIEW to control the water level. The experiment has succeeded in controlling the desired water level and LabVIEW has shown to be corresponding to the theory.

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลงด้วยดี ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลท่านแรก คือ ผศ.ดร.อุจน์ต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ท่านให้ความสนใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือมาโดยตลอด ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ซึ่งต้องขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และอาจารย์อีกท่าน คือ รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณะานุสรณ์ จากภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม รวมทั้งรุ่นพี่ปริญญาโทที่คอยให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำ ตี-ชม ความช่วยเหลือ และกำลังใจให้ผู้จัดทำมาโดยตลอดและท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณบิดามารดาที่เป็นแรงบันดาลใจและให้ความสนับสนุนในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญาานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ	3
2.2 ประเภทของการควบคุม	4
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ	5
2.4 รูปแบบการควบคุม	10
2.5 ระบบเกี่ยวกับระดับของเหลว	13
2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	17
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบสร้าง	21
3.1 การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)	22
3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)	45
3.3 หลักการทำงานโปรแกรม	47
บทที่ 4 การออกแบบควบคุมด้วยวิธีทางเดินรากล	48
4.1 บทนำ	48
4.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของรากล	48
4.3 การออกแบบระบบควบคุมของระบบ	49
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	64
5.1 ผลการทดลองชุดวาล์วควบคุม	64
5.2 การทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำ	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

## หน้าที่

5.3 ผลการทดลองโหลดควาล์ว	67
5.4 ผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำ	68
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา	75
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน	75
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	83
ภาคผนวก ค	85
ภาคผนวก ง	93



## สารบัญรูปภาพ

## หน้าที่

รูปที่ 2.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ	3
รูปที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop	4
รูปที่ 2.3 แสดงระบบควบคุมแบบ Close loop	4
รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control	5
รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control	6
รูปที่ 2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ	6
รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป	7
รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม	10
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control	11
รูปที่ 2.10 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)	12
รูปที่ 2.11 แสดงถึงสองใบที่ต่อเข้าด้วยกันด้วยท่อสั้นๆ โดยมีวาล์วเป็นตัวดำเนินการไหล	14
รูปที่ 2.12 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำ	14
รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอัตราการไหล	16
รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น	17
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง $H$ กับอัตราการไหล $Q$	18
รูปที่ 2.16 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น	19
รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ	21
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์การทำงานในระบบควบคุม	23
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดในส่วนการทำงานของ Computer	24
รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่งความสูงอ้างอิง ( $H_i$ ) กับความสูงป้อนกลับ ( $H_f$ )	25
รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและความสูงของระดับน้ำ	25
รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนระบบควบคุมความสูง	26
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการเปลี่ยนค่าความสูง $H_{act}$ เป็นอัตราการไหล	26
รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของความสูง (H) กับอัตราการไหล (Q)	27
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมในการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล $Q_{act}$ เป็นแรงดันไฟฟ้า $V_{sp}$	28
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์อัตราการไหล (Q) กับแรงดันไฟฟ้า (V)	28
รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของโครเวอร์มอเตอร์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3.12 แสงวงจรร PID ของไครเวอร์มอเตอร์	30
รูปที่ 3.13 วงจรขยายกระแสสำหรับปั๊มมอเตอร์	30
รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของมอเตอร์	31
รูปที่ 3.15 มอเตอร์	32
รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของวาล์วควบคุม	32
รูปที่ 3.17 แสดงชุดควบคุมวาล์วที่สร้างขึ้น	33
รูปที่ 3.18 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Potentiometer	33
รูปที่ 3.19 Potentiometer	34
รูปที่ 3.20 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมวาล์ว	34
รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า $V_{sp}$ กับอัตราการไหล	35
รูปที่ 3.22 แสดง Ball valve ที่ถูกดัดแปลงเป็นวาล์วควบคุม	36
รูปที่ 3.23 แสดงชุดเกียร์ควบคุมวาล์ว	36
รูปที่ 3.24 แสดงชุดเกียร์ที่มีการใช้เกียร์ทด	37
รูปที่ 3.25 ชุดควบคุมวาล์ว	38
รูปที่ 3.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของชุดวัดความสูง	38
รูปที่ 3.27 เซนเซอร์วัดความดันของระดับน้ำ	39
รูปที่ 3.28 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงและแรงดันไฟฟ้าที่เซนเซอร์ให้ออกมา	40
รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะการทำงานของ Zero-Span	40
รูปที่ 3.30 แสดงลักษณะการทำงานของ Zero-Span ที่ต้องการ	41
รูปที่ 3.31 แสดงขาต่อของเซนเซอร์วัดความดันน้ำ	42
รูปที่ 3.32 แสดงวงจรร Zero-Span ของเซนเซอร์	42
รูปที่ 3.33 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงและแรงดันไฟฟ้าที่หลังจากการปรับ Zero-Span	43
รูปที่ 3.34 แสดงการ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีริย์ เอ็นไอ 6221	44
รูปที่ 3.35 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP	44
รูปที่ 3.36 แสดงตัวอย่าง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW	46
รูปที่ 3.37 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม LabVIEW	47
รูปที่ 4.1 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น	49
รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_i(s)$ และ $H(s)$	49
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของการไหลที่สถานะคงที่ $\bar{Q}$ กับความสูงที่สถานะคงที่ $\bar{H}$	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมระหว่าง $H_i(s)$ และ $Q_i(s)$	50
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Input $H_i(s)$ และ Output $H(s)$	51
รูปที่ 4.6 การยุบบล็อกไดอะแกรมของความสัมพันธ์ของ $H_i(s)$ และ $H(s)$	51
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของ $H_i(s)$ และ $H(s)$ เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว	51
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่า $H_i=15\text{cm}$ ของระบบถึงเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น แบบ open loop	52
รูปที่ 4.9 แสดงการใช้ระบบควบคุมระดับน้ำกับระบบถึงเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	52
รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมแบบ PI	53
รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบ PI ที่แจกแจงแล้ว	53
รูปที่ 4.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุม PI เป็นแบบ Open loop	53
รูปที่ 4.13 บล็อกไดอะแกรมเมื่อแทนค่า R, C และ Zero	54
รูปที่ 4.14 แสดงทางเดินของรากของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI	54
รูปที่ 4.15 การเลือกหาค่าตำแหน่ง โพลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจาก Root Locus	55
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของ $H(s)$ กับ $H_i(s)$ เมื่อแทนค่า $k_p$ แล้ว	56
รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองทางทฤษฎีของระดับความสูง $H(s)$ ต่อ Step input $H_i(s)$ ที่ $15\text{cm}$ ของระบบถึงเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบ PI	56
รูปที่ 4.18 ระบบควบคุมของถึงเดี่ยวที่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น	57
รูปที่ 4.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมระหว่าง $Q_i(s)$ และ $H_1(s)$	57
รูปที่ 4.20 บล็อกไดอะแกรมระหว่าง $H_i(s)$ และ $Q_i(s)$	58
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของ Input $H_i(s)$ และ Output $H_1(s)$	58
รูปที่ 4.22 การยุบบล็อกไดอะแกรมของความสัมพันธ์ของ $H_i(s)$ และ $H_1(s)$	58
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของ $H_i(s)$ กับ $H_1(s)$ เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว	59
รูปที่ 4.24 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่า $H_i=15\text{cm}$ ของระบบถึงเดี่ยวที่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น แบบ open loop	59
รูปที่ 4.25 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมระดับน้ำแบบถึงเดี่ยวที่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น	59
รูปที่ 4.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลังการใส่ระบบควบคุมแบบ PI	60
รูปที่ 4.27 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุม PI เป็นแบบ Open loop	60
รูปที่ 4.28 บล็อกไดอะแกรมเมื่อแทนค่า R, C และ Zero	60
รูปที่ 4.29 แสดงเดินของรากของระบบแบบถึงเดี่ยวที่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.30 การเลือกค่าตำแหน่งโพลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจาก Root Locus	62
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของ $H_1(s)$ กับ $H_i(s)$ เมื่อแทนค่า $k_p$ แล้ว	62
รูปที่ 4.32 ผลการตอบสนองทางทฤษฎีของระดับความสูง $H(s)$ ต่อ Step input $H_i(s)$ ที่ 15cm ของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบ PI	63
รูปที่ 5.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ	64
รูปที่ 5.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมวาล์ว	65
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับและอัตราการไหล	65
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความสูงของระดับน้ำ	66
รูปที่ 5.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูงของน้ำที่สถานะคงที่	67
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะระบบการควบคุมแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น	68
รูปที่ 5.7 แสดงกราฟการทดลองการตอบสนองต่อ step input ที่ความสูง 15 cm ของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบไม่มีตัวควบคุม	69
รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบระบบเปิด	69
รูปที่ 5.9 แสดงกราฟการทดลองลักษณะการตอบสนองต่อ Step input ที่ 15 เซนติเมตร ของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบใช้การควบคุมแบบ PI	70
รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นที่มีระบบควบคุมแบบ PI	71
รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะระบบการควบคุมแบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น	71
รูปที่ 5.12 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ความสูง 15cm ที่ได้จากการทดลองของระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น	72
รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบระบบเปิด	72
รูปที่ 5.14 แสดงกราฟทดลองการตอบสนองต่อ Step input ของระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น	73
รูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่นที่มีระบบควบคุมแบบ PI	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ ก-1 แสดง Front Panel ของโปรแกรมควบคุมแบบ Open Loop ที่สร้างขึ้น	79
รูปที่ ก-2 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมสำหรับ Open Loop ที่สร้างขึ้น	80
รูปที่ ก-3 แสดง Front Panel ของโปรแกรมควบคุมที่มีตัวควบคุม แบบ PI ที่สร้างขึ้น	81
รูปที่ ก-4 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมที่มีตัวควบคุม แบบ PI ที่สร้างขึ้น	82
รูปที่ ข-1 แสดงลายกัณฑ์วงจรถวลมอเตอร์	83
รูปที่ ข-2 แสดงลายกัณฑ์วงจรรขยายและปรับ zero – span ของเซนเซอร์	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญานิพนธ์

ระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ซึ่งอาศัยพื้นฐานการวัด และการควบคุมเป็นหลัก โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตสูงสุด และคุณภาพดีที่สุด โดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ลดการใช้พลังงานและลดจำนวนของอุปกรณ์ รวมทั้งการประหยัดวัตถุดิบ การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตทำให้ลดการใช้แรงงานของผู้ปฏิบัติงานด้วย หลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติส่วนใหญ่จะทำการป้อนกลับจากค่าที่วัดได้มาควบคุมกระบวนการ เรียกว่าการควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) กล่าวได้ว่าระบบควบคุมอัตโนมัติคือการควบคุมปริมาณผลผลิตของระบบให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยการอาศัยปริมาณการวัดจากผลผลิตที่ได้แล้ว นำมาเทียบเคียงกับค่าที่ต้องการ โดยผ่านระบบป้อนกลับ

ในอุตสาหกรรมการผลิตได้นำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติในแบบต่างๆมาใช้ในกระบวนการผลิตมานานแล้ว โดยเฉพาะระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI เนื่องจากรูปแบบของตัวควบคุมแบบ PI เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะการตอบสนองของกระบวนการนั้นจะเร็วหรือช้าอย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมแบบ PI ก็สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

ในโรงงานอุตสาหกรรมมีกระบวนการต่างๆมากมาย ซึ่งการควบคุมกระบวนการเหล่านี้จะใช้ตัวควบคุมหลายๆตัวมาควบคุมกระบวนการหลายๆส่วน ทำให้การแยกแยะกระบวนการเพื่อศึกษาเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก ซึ่งอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งยังให้ผลตอบสนองที่ล่าช้าในกรณีที่กระบวนการมีขนาดใหญ่ และทางภาควิชาฯมีแบบจำลองกระบวนการเพื่อให้ศึกษาน้อย ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะจัดทำแบบจำลองกระบวนการเพิ่มเติม โดยจะจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว อีกทั้งกระบวนการที่สร้างขึ้นมาสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อให้ผู้ที่เริ่มศึกษามีความรู้ความเข้าใจก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติงานกับกระบวนการที่มีความซับซ้อนต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อสร้างชุดการทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำถึงเดียวแบบที่มีปฏิริยาต่ออ่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก (Root Locus Techniques)

1.2.4 เพื่อเป็นอุปกรณ์การทดลองในวิชา Automatics Control และ Mechanical Laboratory

### 1.3 ขอบเขตของปริิณญาณิพนธ์

1.3.1 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือระบบควบคุมแบบพีไอ (PI, Proportional Integral)

1.3.2 ชุดทดลองนี้ออกแบบและสร้างเป็นระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวและแบบสองถัง

1.3.3 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำจะกระทำเฉพาะทางเข้าถังน้ำ โดยให้อัตราการไหลออกของน้ำในถังคงที่

1.3.4 ในการควบคุมระดับน้ำนั้นจะทำการควบคุมระดับความสูงของน้ำถึงใดถังหนึ่งในสองถังเท่านั้น

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงานและออกแบบกระบวนการโดยรวม

1.4.2 ศึกษาการทำงาน และการใช้งานของเครื่องควบคุมที่มีใช้ในปัจจุบัน

1.4.3 ออกแบบกระบวนการในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) แท็งก์น้ำจำนวน 2 แท็งก์ต่อกันแบบ Interact

(2) นำบอลวาล์วที่มีโดยทั่วไปมาใช้ในการควบคุมการไหลโดยสร้างชุด Actuator ขึ้นเอง

(3) ศึกษา และเลือกใช้ Pressure Sensor วัดความดันสำหรับวัดระดับของเหลว

(4) สร้างชุดทดลอง

(5) ศึกษาและออกแบบกระบวนการควบคุม โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัว

ประมวลผล

(6) ทดสอบสมรรถภาพของกระบวนการควบคุม และตัวควบคุมที่สร้างขึ้น

(7) สรุปผลและทำการเขียนรายงานการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งนำเสนอผลงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้ชุดทดลองสามารถทำงานได้ตามขอบเขตของโครงการ

1.5.2 เพื่อที่จะให้นักศึกษาได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการทํางานของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

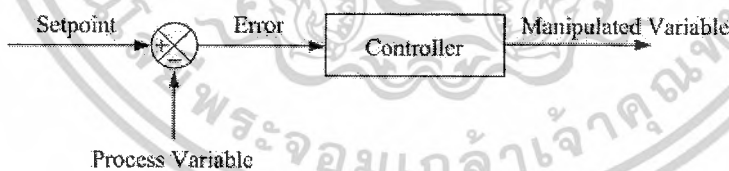
### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

การควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ เป็นการควบคุมที่มีการรับค่าตัวแปรกระบวนการ (Process variable) เช่น อุณหภูมิ (Temperature), ความดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flows) และค่าตำแหน่งต่างๆ (Composition) ในการควบคุมกระบวนการให้เป็นผลสำเร็จได้นั้น เราต้องหาคความคลาดเคลื่อน (Error) โดยการวัดค่าตัวแปรเหล่านี้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ (Set point) แล้วตัดสินใจว่าทำอย่างไรกับค่าความแตกต่างนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เราต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยผู้ปฏิบัติการ (Operator) แต่ในโรงงานส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวแปรต่างๆเหล่านี้มากมาย 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 ที่กระทำโดยตัวตรวจจับสัญญาณและตัวส่งผ่านสัญญาณ
2. การตัดสินใจ (Decision) ขึ้นอยู่กับการวัดตัวควบคุมต้องตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตามที่เรต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกระทำ (Action) เป็นผลงานการตัดสินใจของตัวควบคุมจะต้องถูกกระทำโดยอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย

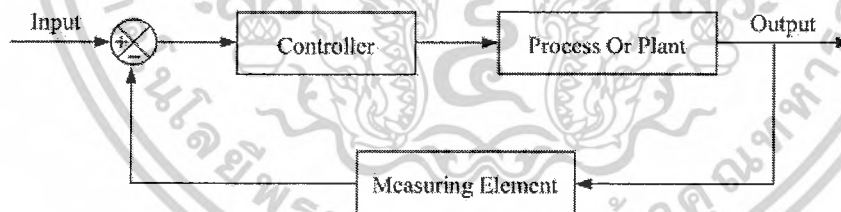
ระบบควบคุมอาจแบ่งอย่างง่ายๆ ออกเป็น 2 แบบคือ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) และระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop) เป็นระบบควบคุมเอาต์พุทของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุม นั่นคือเอาต์พุทของระบบจะไม่ถูกส่งกลับหรือป้อนกลับเพื่อมาเปรียบเทียบกับอินพุทรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop) เป็นระบบควบคุมซึ่งสัญญาณเอาต์พุทจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบปิด ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณการป้อนกลับ เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุทของระบบมีค่าที่ต้องการ สัญญาณการป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณจากเอาต์พุทโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันก็ได้ ระบบควบคุมแบบปิด แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงระบบควบคุมแบบ Close loop

## 2.2 ประเภทของการควบคุม

### 2.2.1 การควบคุมแบบไปข้างหน้า (Feed forward control)

จุดประสงค์ของการควบคุมแบบไปข้างหน้า คือ การวัดการรบกวนกระบวนการและการชดเชยให้กับมัน ก่อนที่ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ถ้าหากเราประยุกต์ใช้ได้ ค่าตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

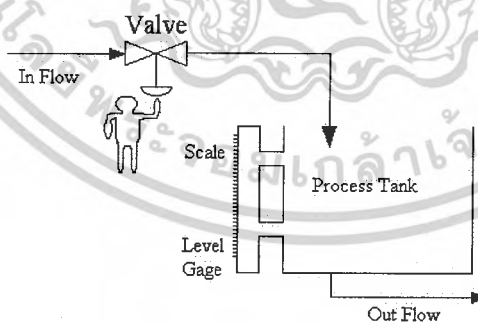
แปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ และนำมาประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย

### 2.2.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed back control)

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นวิธีการที่ง่ายที่ชดเชยการรบกวนกระบวนการทุกชนิด ตัวรบกวนกระบวนการทุกๆตัวจะมีผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมและเมื่อค่าตัวแปรเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุทให้กลับเข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่มันสามารถชดเชยการรบกวนได้เพียงหลังจากที่ตัวแปรที่ถูกควบคุม เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ได้แล้วเท่านั้น นั่นคือ การรบกวนจะกระจายไปยังกระบวนการทั้งหมด ก่อนที่การควบคุมแบบป้อนกลับจะชดเชยให้มัน

### 2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมนั้น คือการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ค่าความดัน (Pressure), ค่าอัตราการไหล (Flow rate), ค่าระดับ (Levels), ค่าความเป็นกรดด่าง (PH) และค่าอื่นๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสมในอดีต การควบคุมกระบวนการต่างๆจะเลือกใช้การควบคุมแบบง่ายๆด้วยมือ (Manual control) ซึ่งอาศัยพนักงานควบคุม (Operator) ซึ่งจะคอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุม ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมระดับน้ำในถังดังรูปที่ 2.4

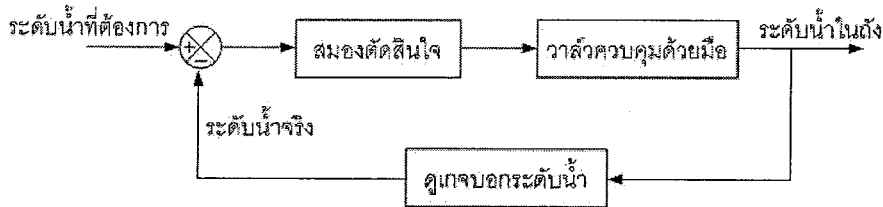


รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

จากรูป การควบคุมระดับน้ำในถังจะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับน้ำในถังว่าได้ที่ต้องการหรือไม่โดยใช้สายตาจากเกจวัดระดับ (Level gauge) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่ง

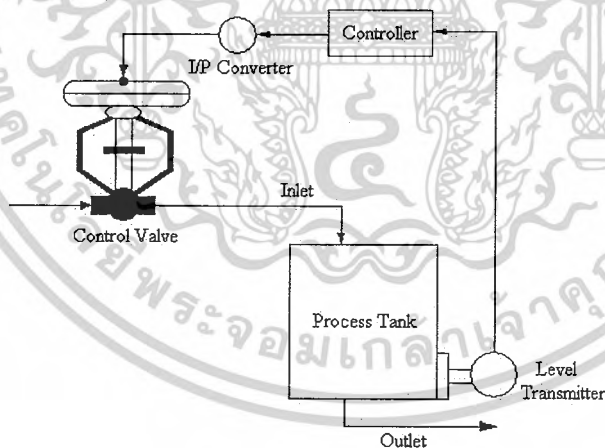
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้มือทำหน้าที่เปิด หรือ ปิดวาล์ว เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานตามความจริงแล้ว มนุษย์ หรือพนักงานควบคุมนั้น ไม่สามารถทำงานให้ดีได้เท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบัน โครงการที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่เป็นแบบ Manual Control ตามรูปที่ 2.4 ถ้านำมาทำการควบคุมอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังรูปที่ 2.6

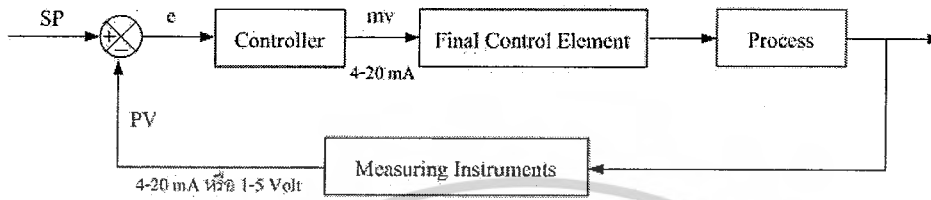


รูปที่ 2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.6 ระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัด โดยเครื่องวัดระดับ (Level transmitter) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุมจะนำไปใช้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิดหรือปิด เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่ทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อยๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.7 จะสังเกตเห็นว่า ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วนคือ

### 2.3.1 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)

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

อุปกรณ์วัดจะเป็นตัววัดปริมาณทางฟิสิกส์ เชิงกล และเชิงไฟฟ้าของตัวแปรกระบวนการ ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณที่สามารถส่งออกมา ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีเทอมสำคัญประกอบกัน 3 เทอมคือ พิกัด (Range) ของเครื่องมือวัด ถูกกำหนดโดยค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของตัวแปรกระบวนการที่ทำการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกเปรียบเทียบไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50psig นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณดังกล่าวมีพิกัด 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด (Span) ของเครื่องมือวัด คือความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิกัด (Range) นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้มีช่วงการวัดเท่ากับ 30 psig ส่วนซีโร (Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิกัดซึ่งมีค่า 20 psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ในระบบอัตโนมัติใดๆตัวตรวจจับสัญญาณเป็นตัวเชื่อมอันดับแรกในสายงานของการควบคุมเพื่อตรวจสอบดูว่า อะไรจะเกิดขึ้นเหมือนกับการตรวจสอบไม่ให้เกิดการหักเหไปจากข้อกำหนด

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

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ต้องมีพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ต้องรู้ว่าผลอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) กำจัดวัดปริมาณค่าอันหนึ่งในกรณีที่ดีที่สุด ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) ไม่ควรจะเปลี่ยนสถานะที่ดำรงอยู่ก่อนที่จะทำการวัดในทางปฏิบัติจะกระทำได้ยากมาก
2. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) บางชนิดผลตอบสนองต่อคุณสมบัติอื่นเสียมากกว่าสิ่งพื้นฐานที่ต้องการเช่น โวลท์มิเตอร์จะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อค่าเฉลี่ย (Average) ของสัญญาณ กระแสลับหรือค่าพีค (Peak) ดังนั้นมีความสำคัญในการเลือกตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องให้มั่นใจว่ามันจะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อคุณสมบัติที่เราต้องการเท่านั้น
3. ความเร็วของผลตอบสนอง (Response) ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนสถานะของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม มีเอาต์พุตหรือให้เกิดผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎและรูปของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกและกำหนดไว้ล่วงหน้า ค่าเป้าหมายและตัวแปรของกระบวนการนั่นเอง

ปัจจุบันเครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ ชนิดคือ เครื่องควบคุมแบบนิวเมติกส์ ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรตรรก (Logic circuits) หรือ ไมโคร โปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

### 2.3.3 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final control element)

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control valve) ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ในทอมของอัตราขยายนั้นเป็นสิ่งง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัดโดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดัน และส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิคคเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้นได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออกหรือตัวแปรผลตอบสนองหารด้วยการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชันออกในกรณี 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 และระดับของของเหลว เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Sp) และตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ จะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใดๆนั้น จะต้องศึกษาถึง ชนิดและการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย รวมถึงวิธีการปรับแต่ง ต่างๆเสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้องในอันที่จะทำให้ การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

## 2.4 รูปแบบการควบคุม

### 2.4.1 ฏริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

ฏริยาการควบคุมแบบ Proportional นั้น เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุท ที่ได้ออกมาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุทที่รับมาจากกระบวนการ หมายถึง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่า มากขึ้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่า เอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ตามความสัมพันธ์

$$\text{output} \propto \text{input} \quad (2.1)$$

โดย  $U$  คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม

$E$  คือ Input ที่ออกจากตัวควบคุม

จะได้ 
$$U \propto E \quad (2.2)$$

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

$$U = K_p E \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.9 จะได้ว่า

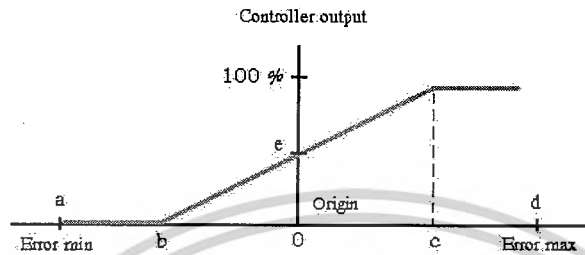
$$G_c = U/E \quad (2.4)$$

$$G_c = K_p \quad (2.5)$$

โดยในที่นี้อินพุทที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่า เอาต์พุทที่ส่งออกไปนั้น จะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.9 โดยแกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งคือ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่า Error (แกนนอน) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม (แกนตั้ง) ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตได้ว่าแม้มีค่า Error เป็นศูนย์ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่ได้เป็นศูนย์ด้วยเนื่องจาก โดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการทิ้งไว้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control

#### 2.4.2 การยการควบคุมแบบ Integral (I)

หลักการทํางานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปริยายพันธ์ของอินพุตตามสมการ

$$U(t) \propto \int_0^t e(t) \quad (2.6)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) \quad (2.7)$$

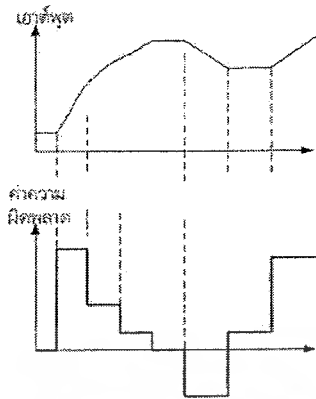
ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.8)$$

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

จากสมการที่ 2.9 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ  $K_I/s$  โดยที่  $K_I$  เป็นค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากระบบการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้จะช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากระบบการมีค่าเท่ากับที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 2.10 แสดงการตอบสนองของระบบจะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามไปด้วย แต่โดยทั่วไปเราจะไม่ใช้วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียว เนื่องจากระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-Control เข้ามาควบคุมร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกันระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

### 2.4.3 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

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

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

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

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

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีความมากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ก่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพได้

#### 2.4.4 กริยาการควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)

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

$$U_{PI}(t) = K_p e + K_I \int e dt \quad (2.11)$$

ทำการ Take Laplace จะได้

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{K_I E(s)}{s} \quad (2.12)$$

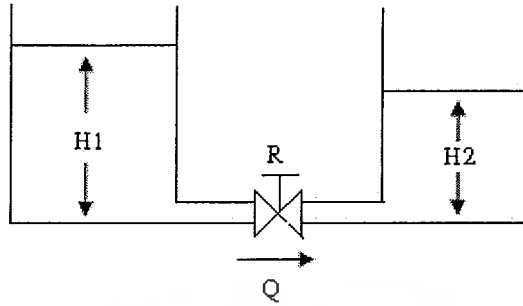
Transfer function ของตัวควบคุมแบบพีไอคือ (2.14)

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

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

#### 2.5 ระบบเกี่ยวกับระดับของเหลว

ในการพิจารณาการไหลของของเหลว จะต้องคำนึงถึงค่าความต้านทาน (Resistance) และค่าความจุ (Capacitance) เพื่อที่จะอธิบายถึงคุณลักษณะทางพลศาสตร์ของระบบเกี่ยวกับระดับของเหลว โดยจะพิจารณาจากการไหลผ่านท่อสั้นๆที่อยู่ระหว่างภาชนะบรรจุสองใบดังรูป 2.11



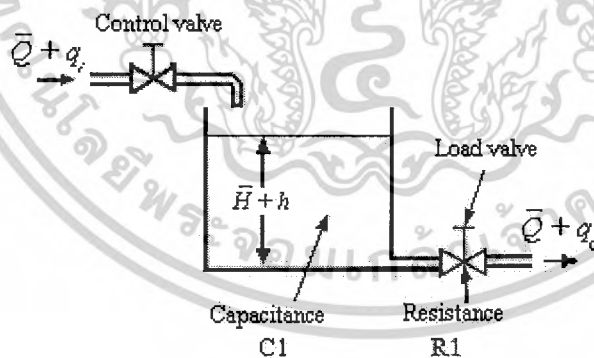
รูปที่ 2.11 แสดงถังสองใบที่ต่อเข้าด้วยกันด้วยท่อสั้นๆ โดยมีวาล์วเป็นตัวต้านการไหล

### 2.5.1 ค่าความต้านทานการไหลของของเหลว

เมื่อพิจารณาการไหลของน้ำผ่านท่อสั้นๆ โดยมีวาล์วต่อถังทั้งสองเข้าด้วยกันดังในรูปที่ 2.11 ค่าความต้านทานจะถูกกำหนดได้ว่าเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างระดับของเหลวในภาชนะบรรจุทั้งสอง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล นั่นคือ

$$R = \frac{\text{change in level difference}}{\text{change in flow rate}} = \frac{\Delta H}{\Delta Q}$$

ระบบควบคุมความสูงระดับน้ำที่ใช้ในกระบวนการในการทดลองเป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำ

จากรูป 2.12 กำหนดให้

$\bar{Q}$  = อัตราการไหลที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state flow rate)

$\bar{H}$  = ความสูงของระดับน้ำที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state head)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$q_i$  = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสถานะคงที่

$q_o$  = อัตราการไหลของน้ำออกจากถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสถานะคงที่

$h$  = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจากสถานะคงที่

$C_1$  = ค่าความจุของถังน้ำ (Capacitance) ของถังที่ 1

$R_1$  = ค่าความต้านทานทางค้ำน้ำออก (Resistance) ของไหลควาล์ว  $R_1$

เมื่อพิจารณาระบบควบคุมระดับของเหลวในรูป 2.12 ในระบบนี้ของเหลวจะไหลผ่านวาล์วออกจากภาชนะซึ่งแบ่งการไหลได้สองแบบคือ

### (1) การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar flow)

เมื่อเป็นการไหลแบบราบเรียบ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่สถานะคงตัว (Steady state,  $\bar{Q}$ ) และความสูงคงที่ (Head,  $\bar{H}$ ) เมื่อกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไหลควาล์วคงที่ จะมีความสัมพันธ์ตามสมการ 2.16

$$\bar{Q} = K_1 \bar{H} \quad (2.14)$$

โดยที่  $K_1$  เป็นค่าคงที่การไหลแบบราบเรียบ

ค่าความต้านทานของไหลควาล์ว ( $R_1$ ) ก็คืออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความสูงจากสถานะคงที่ ( $\Delta \bar{H}$ ) กับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลจากสถานะคงที่ ( $\Delta \bar{Q}$ ) ของถังน้ำจะหาได้ดังนี้

$$\text{จากนิยามความต้านทานการไหล } R_1 = \frac{d\bar{H}}{d\bar{Q}} \quad (2.15)$$

จากสมการ 2.14 จะได้ว่า

$$d\bar{Q} = K_1 d\bar{H} \quad (2.16)$$

$$\frac{d\bar{H}}{d\bar{Q}} = \frac{1}{K_1} \quad (2.17)$$

จากสมการ 2.14 ค่าคงที่การไหล  $K_1 = \frac{\bar{Q}}{\bar{H}}$  และจากสมการ 2.17 จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{1}{K_1} = \frac{\bar{H}}{\bar{Q}} \quad (2.18)$$

### (2) การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ในกรณีที่การไหลผ่านสิ่งกีดขวางเป็นแบบปั่นป่วน อัตราการไหลที่สถานะคงที่จะหาได้จาก

$$\bar{Q} = K_1 \sqrt{\bar{H}} \quad (2.19)$$

โดยที่  $K_1$  คือค่าคงที่การไหลแบบปั่นป่วนและค่าความต้านทานในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนหาได้ดังนี้

จากสมการ 2.18 จะได้ว่า

$$d\bar{Q} = K_1 \frac{1}{2\sqrt{\bar{H}}} d\bar{H} \quad (2.20)$$

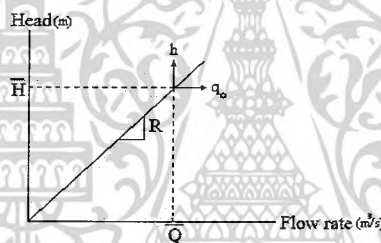
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d\bar{H}}{d\bar{Q}} = \frac{2\sqrt{\bar{H}}}{K_t} \quad (2.21)$$

จากนิยามความต้านทานการไหล  $R_t = \frac{d\bar{H}}{d\bar{Q}}$  และ ค่าคงที่การไหลแบบปั่นป่วน  $K_t = \frac{\bar{Q}}{\sqrt{\bar{H}}}$  จะได้

$$R_t = \frac{2\sqrt{\bar{H}}}{K_t} = \frac{2\bar{H}}{\bar{Q}} \quad (2.22)$$

แต่ว่าในทางปฏิบัติการหาค่าความต้านทานจากสมการ 2.18 หรือสมการ 2.22 นั้นหาไม่ได้ เนื่องจากเราไม่ทราบค่าคงที่การไหล  $K_t$  และ  $K_t$  ดังนั้นในทางปฏิบัติการหาค่าความต้านทานการไหลเรา จะใช้วิธีการเขียนกราฟความสัมพันธ์ของความสูงที่สภาวะคงที่ ( $\bar{H}$ ) กับอัตราการไหลคงที่ ( $\bar{Q}$ ) ที่ได้ จากการทดลองดังแผนภูมิแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.13 แล้วทำการหาค่าความต้านทานการไหลโดยการ วัดความชันของกราฟที่จุดทำงาน รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอัตราการไหล

### 2.5.2 ค่าความจุ C (Capacitance) ของภาชนะบรรจุ

ค่าความจุ C (Capacitance) ของภาชนะบรรจุหรือถังน้ำ นั้นกล่าวได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของของเหลวที่สะสมอยู่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความสูง นั่นคือ

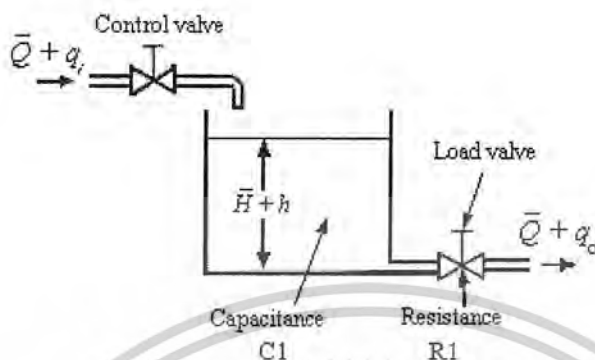
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta H} \quad (2.23)$$

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

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

#### 2.6.1 การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น



รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

จากรูปกำหนดให้

$\bar{Q}$  = อัตราการไหลที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state flow rate)

$\bar{H}$  = ความสูงของระดับน้ำที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state head)

$q_i$  = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสภาวะคงที่

$q_o$  = อัตราการไหลของน้ำออกจากถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสภาวะคงที่

$h$  = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะคงที่

$C_1$  = ค่าความจุของถังน้ำ (Capacitance) ของถังที่ 1

$R_1$  = ค่าความต้านทานทางค่าน้ำออก (Resistance) ของโหลดควาล์ว  $R_1$

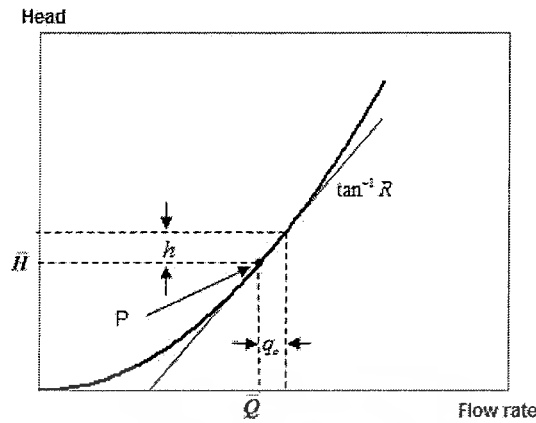
เมื่อพิจารณาจากรูป 2.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในถังในช่วงเวลาสั้นๆ ( $dt$ ) มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในระบบ มีความสัมพันธ์คือ

$$C_1 dh = (q_i - q_o) dt \quad (2.24)$$

โดยที่สมมุติให้ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอัตราการไหลมีลักษณะดังกราฟที่ 2.15 และ

กำหนดให้จุดทำงานคือจุด P โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงจากสภาวะคงที่คือ  $h$  และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลน้ำออกจากสภาวะคงที่คือ  $q_o$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง  $\bar{H}$  กับอัตราการไหล  $\bar{Q}$

จากรูป 2.15 จะได้ว่า

$$d\bar{H} = h \quad (2.25)$$

$$d\bar{Q} = q_o \quad (2.26)$$

จาก  $R_1 = \frac{d\bar{H}}{d\bar{Q}}$  จะได้

$$R_1 = \frac{h}{q_o} \quad (2.27)$$

แทนค่า  $q_o$  จากสมการ 2.27 ลงในสมการ 2.24 จะได้

$$C_1 \frac{dh}{dt} = q_i - \frac{h}{R_1} \quad (2.28)$$

$$C_1 R_1 \frac{dh}{dt} + h = R_1 q_i \quad (2.29)$$

จากสมการ 2.29 เมื่อ Take Laplace และให้ initial condition มีค่าเท่ากับ 0 จะได้

$$L\{C_1 R_1 \frac{dh}{dt} + h\} = L\{R_1 q_i\} \quad (2.30)$$

$$C_1 R_1 s H(s) + H(s) = R_1 Q_i(s) \quad (2.31)$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} \quad (2.32)$$

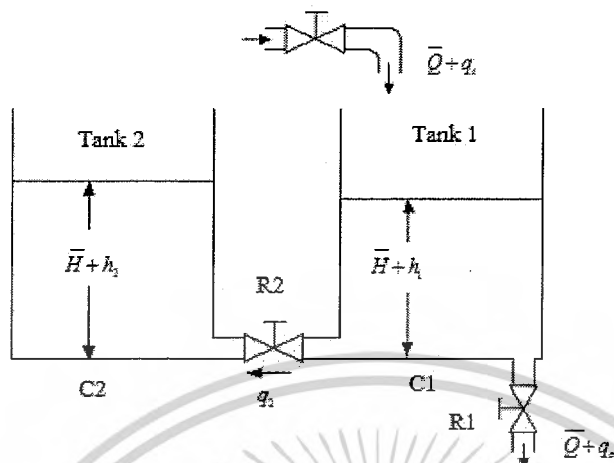
โดยที่  $Q_i(s)$  เป็น Input และ  $H(s)$  เป็น Output

เมื่อกำหนดให้  $Q_i(s)$  เป็น Step input เมื่อนำไปแก้ในสมการ 2.32 จะได้เป็น

$$h(t) = R_1 q_i (1 - e^{-\frac{t}{R C_1}}) \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยาต่อถังอื่น



รูปที่ 2.16 แสดงระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยาต่อถังอื่น

โดยกำหนดให้

- $\bar{Q}$  = อัตราการไหลที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state flow rate)
- $\bar{H}$  = ความสูงของระดับน้ำที่สภาวะคงที่ก่อนการเปลี่ยนแปลง (Steady-state head)
- $h_1$  = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะคงที่ของถังที่ 1
- $h_2$  = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะคงที่ของถังที่ 2
- $C_1$  = ค่าความจุของถังน้ำ (Capacitance) ของถังที่ 1
- $C_2$  = ค่าความจุของถังน้ำ (Capacitance) ของถังที่ 2
- $R_1$  = ค่าความต้านทานการไหลทางด้านน้ำออก (Resistance) ของไหลควาล์ว  $R_1$
- $R_2$  = ค่าความต้านทานการไหลระหว่างถัง (Resistance) ของไหลควาล์ว  $R_2$
- $q_i$  = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสภาวะคงที่
- $q_o$  = อัตราการไหลของน้ำออกจากถังที่เปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลสภาวะคงที่
- $q_2$  = อัตราการไหลของน้ำระหว่างถังทั้งสอง

การทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยาต่อถังอื่น ดังรูปที่ 2.16 จะทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดย  $q_i$  คืออัตราการไหลของน้ำเข้าถัง  $h_1$  คือระดับน้ำที่ต้องการควบคุม สำหรับถังที่ 2 เรามี

$$C_2 dh_2 = q_2 dt \quad (2.34)$$

$$q_2 = \frac{h_1 - h_2}{R_2} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทน สมการที่ (2.25) ลงในสมการที่ 2.34 จะได้

$$R_2 C_2 \frac{dh_2}{dt} + h_2 = h_1 \quad (2.36)$$

สำหรับดังที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรคือ

$$C_1 dh_1 = (q_i - q_o - q_2) dt \quad (2.37)$$

เมื่อ

$$q_o = \frac{h_1}{R_1} \quad (2.38)$$

และแทนสมการ (2.35) และ (2.38) ลงในสมการ 2.37 จะได้

$$R_1 C_1 \frac{dh_1}{dt} + \frac{R_1}{R_2} h_1 + h_1 = R_1 q_i + \frac{R_1}{R_2} h_2 \quad (2.39)$$

จากสมการ 2.39 เมื่อ Take Laplace และให้ initial condition มีค่าเท่ากับ 0 จะได้

$$R_1 C_1 s H_1(s) + \frac{R_1}{R_2} H_1(s) + H_1(s) = R_1 Q_i(s) + \frac{R_1}{R_2} H_2(s) \quad (2.40)$$

จากสมการ 2.36 เมื่อ Take Laplace และให้ initial condition มีค่าเท่ากับ 0 จะได้

$$R_2 C_2 H_2(s) + H_2(s) = H_1(s) \quad (2.41)$$

$$H_2(s) = \frac{1}{(R_2 C_2 + 1)} H_1(s) \quad (2.42)$$

แทนค่าสมการ 2.42 ลงในสมการ 2.40 จะได้ว่า

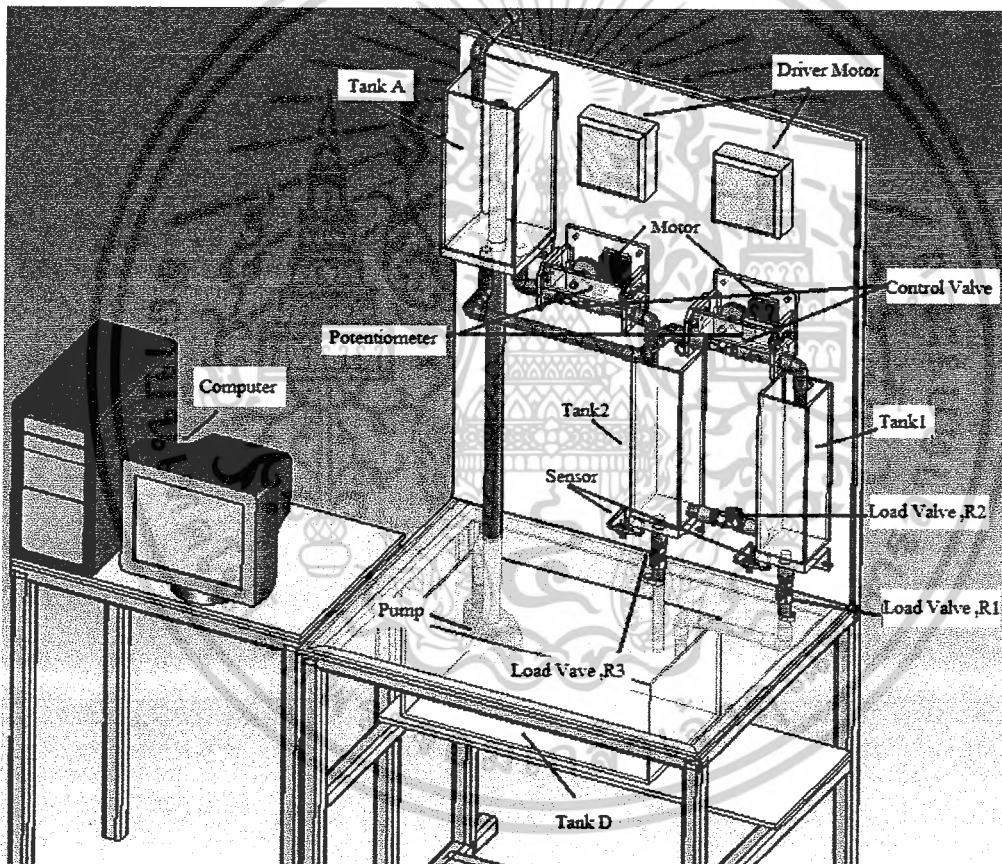
$$\frac{H_1(s)}{Q_i(s)} = \frac{R_1 (R_2 C_2 s + 1)}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2) s + 1} \quad (2.43)$$

โดยที่  $Q_i(s)$  เป็น Input และ  $H_1(s)$  เป็น Output

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการออกแบบสร้าง

ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนของซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งส่วนของซอฟต์แวร์ คือ โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สำหรับควบคุมการทำงาน โดยรับค่าระดับความสูงของน้ำในถังที่ต้องการ และควบคุมค่าเป้าหมายให้เป็นไปตามที่ต้องการ และส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์นั้น ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

1. ปั๊มน้ำขนาด 2,800 ลิตรต่อชั่วโมง
2. ถังน้ำขนาด 96 x 96 x 35 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ (Tank 1 & Tank 2)
3. ถังน้ำขนาด 150x 150 x 35 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ (Tank A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถังน้ำขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ (Tank D)
5. เซนเซอร์วัดความดัน Motorola MPX 2101
6. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ A/D และ D/A
7. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
8. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ
9. วาล์วขนาด ½ นิ้ว จำนวน 5 อัน
10. ชุดขับวาล์ว 2 ชุด

### 3.1 การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

#### 3.1.1 การออกแบบส่วนที่ไม่ได้มีการควบคุมของระบบ

##### (1) ถังน้ำ

##### (1.1) ขนาดของถังน้ำ

เริ่มต้นกำหนดให้

1. ความสูงของถังพักน้ำด้านบน (Tank A) = 0.3 เมตร
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Load valve = 0.5 นิ้ว = 0.0127 เมตร
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Control valve = 0.5 นิ้ว = 0.0127 เมตร

จากสมการหาอัตราการไหล

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

และ Control Valve เมื่อเปิดมากที่สุดจะมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ

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

##### (1.2) การหาขนาดของถังพักน้ำด้านล่าง

ปริมาตร ถัง A (Tank A) = 15 x 15 x 30 = 6750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง 1 (Tank 1) = 10 x 10 x 30 = 3000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง 2 (Tank 2) = 10 x 10 x 30 = 3000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รวมปริมาตรทั้ง 3 ถัง เท่ากับ 12, 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นจะเลือกใช้น้ำของถังพัก D (Tank D) = 30 x 30 x 30 เซนติเมตร

ซึ่งจะให้ปริมาตร 27, 000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (2) ป้อนน้ำ

จากการหาขนาดของถังน้ำ ที่ถัง A มีความสูงของระดับน้ำที่ 30 cm ซึ่งจากสมการที่ 3.1 เราสามารถหาอัตราการไหลออกของน้ำจากถัง A ได้จากการสมมุติอัตราการไหลของน้ำออกจากถัง A ซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากับอัตราการสูบน้ำเข้าถัง A ของปั้มน้ำ จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำมีขนาด 1.75 cm ดังนั้นอัตราการสูบน้ำเข้าถัง A ของปั้มน้ำคือ

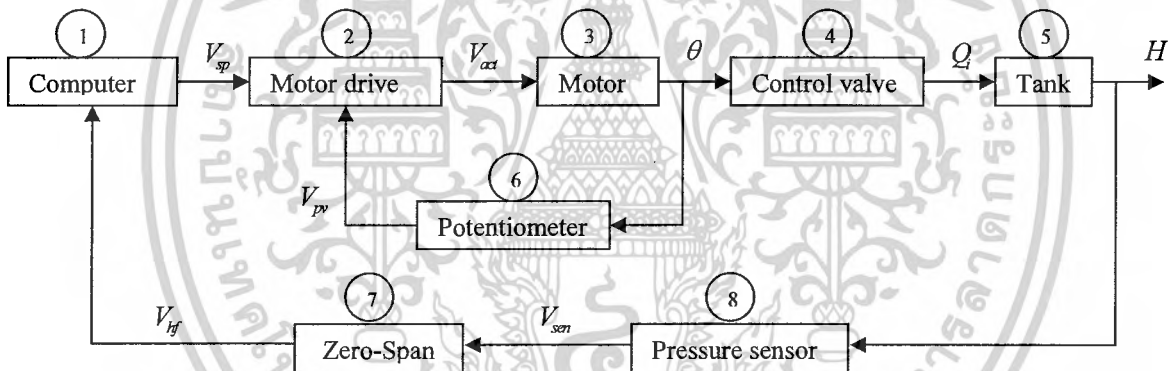
$$Q_{\text{pump}} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.3} \times \left( \frac{\pi}{4} \times 0.0175^2 \right) = 5.835 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

ดังนั้น เลือกใช้ปั้มน้ำที่มีขนาด 2800 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีขายในท้องตลาด

### 3.1.2 การออกแบบส่วนการควบคุมระบบ

ส่วนการควบคุมระบบ คือส่วนที่อุปกรณ์ในการทำงานตามคำสั่งควบคุม ซึ่งแต่ละอุปกรณ์มีการทำงานตามระบบดังรูปที่ 3.2



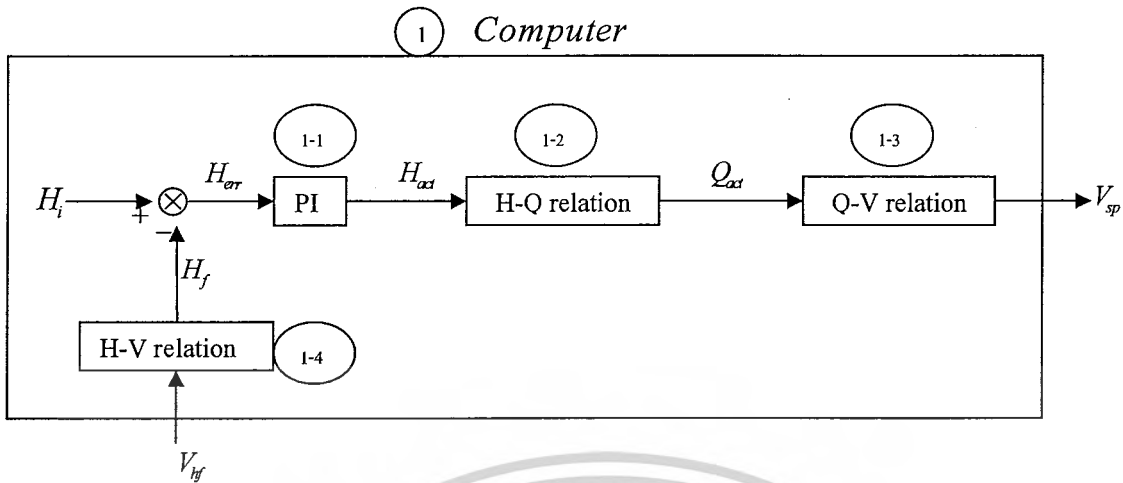
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์การทำงานในระบบควบคุม

จากรูปที่ 3.2 สามารถแยกรายละเอียดในแต่ละอุปกรณ์ได้ดังนี้

#### (1) คอมพิวเตอร์

ส่วนของคอมพิวเตอร์คือส่วนของบล็อกล็อกไดอะแกรมที่ 1 ในรูป 3.2 ซึ่งคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รับสัญญาณป้อนกลับจากระบบมาทำการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมไปสั่งงานการทำงานของระบบ โดยคอมพิวเตอร์จะมีการสร้างระบบควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของรายละเอียดของบล็อกล็อกไดอะแกรมการทำงานของคอมพิวเตอร์ดังรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



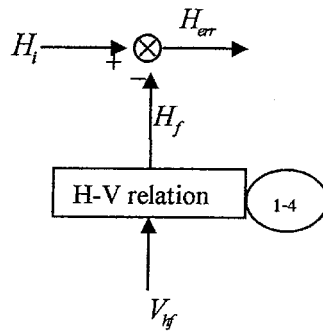
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดในส่วนการทำงานของ Computer

จากรูป 3.3 กำหนดให้

- $H_i$  = ความสูงอ้างอิงที่ต้องการ  
 $H_f$  = ความสูงป้อนกลับ  
 $V_{hf}$  = แรงดันป้อนกลับจาก Pressure sensor  
 $H_{err}$  = ค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง (Height error)  
 $H_{act}$  = ค่าความสูงควบคุมที่เกิดจากการประมวลผลจาก Controller  
 $Q_{act}$  = ค่าอัตราการไหลควบคุมที่ถูกแปลงมาจาก  $H_{act}$  ผ่านความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและความสูง  
 $V_{sp}$  = ค่าแรงดันไฟฟ้าควบคุมที่แปลงจากค่าอัตราการไหล  $Q_{act}$  ผ่านความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและแรงดันไฟฟ้า

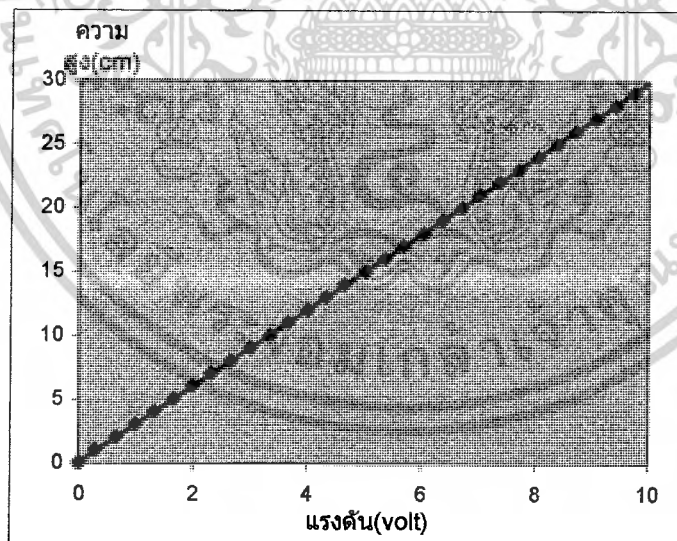
การทำงานของคอมพิวเตอร์สามารถแยกรายละเอียดในขั้นตอนการทำงานดังนี้

(1.1) เป็นขั้นตอนที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบคำสั่งความสูงอ้างอิงที่ต้องการ ( $H_i$ ) กับความสูงป้อนกลับ ( $H_f$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสั่งความสูงอ้างอิง ( $H_i$ ) กับความสูงป้อนกลับ ( $H_f$ )

โดยการทำงานตามรูปที่ 3.4 เริ่มต้นจากการตั้งค่าความสูงอ้างอิงที่ต้องการ ( $H_i$ ) จากนั้นความสูง  $H_i$  จะถูกเปรียบเทียบกับความสูงที่ป้อนกลับ ( $H_f$ ) แล้วให้ผลต่างมาเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง ( $H_{err}$ ) ซึ่งค่า  $H_{err}$  จะถูกส่งเข้าไปที่ระบบควบคุมแบบ PI ในขั้นตอนนี้ความสูงป้อนกลับ ( $H_f$ ) นั้นถูกแปลงมาจากแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ ( $V_{hf}$ ) ผ่านบล็อกไดอะแกรม 1-4 (H-V relation) ดังในรูป 3.4 ซึ่งในบล็อกไดอะแกรมนี้เป็นความสัมพันธ์ความสูงของระดับน้ำ ( $H$ ) ในถังน้ำกับแรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) ที่สภาวะคงที่ (Steady state) ที่เซ็นเซอร์ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าผ่าน Zero-Span ออกมา ซึ่งความสัมพันธ์นี้ได้จากการทดลองในบทที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและความสูงของระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูป 3.5 สามารถหาสมการความสัมพันธ์ของความสูงระดับน้ำ ( $H_f$ ) และแรงดันไฟฟ้า ( $V_{hf}$ ) ได้ตามสมการที่ 3.2 ซึ่งสมการความสัมพันธ์นี้จะนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม Labview

$$H_f = 2.9879 \times V_{hf} (cm) \quad (3.2)$$

เมื่อทราบค่าความสูงป้อนกลับ ( $H_f$ ) แล้วก็สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง ( $H_{err}$ ) ได้ดังสมการที่ 3.3

$$H_{err} = H_i - H_{hf} \quad (3.3)$$

ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนความสูง  $H_{err}$  จะถูกส่งไปเข้าไปในระบบควบคุมแบบ PI ในขั้นตอนต่อไป

(1.2) ขั้นทำการประมวลผลค่าความคลาดเคลื่อน  $H_{err}$  โดยระบบการควบคุมแบบ PI ดังรูปที่

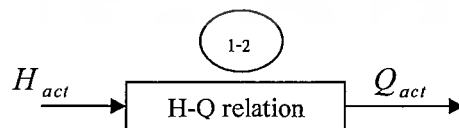
3.6



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนระบบควบคุมความสูง

ระบบควบคุมแบบ PI เป็นส่วนที่อยู่ในบล็อกไดอะแกรมที่ 1-1 ในรูปที่ 3.3 ซึ่งการทำงานในส่วนนี้เป็นดังในรูปที่ 3.6 โดยระบบควบคุมแบบ PI ทำหน้าที่รับค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง ( $H_{err}$ ) เข้ามาทำการประมวลผล แล้วส่งสัญญาณควบคุมความสูง ( $H_{act}$ ) ออกไปสั่งงานในขั้นตอนต่อไป ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมแบบ PI นั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

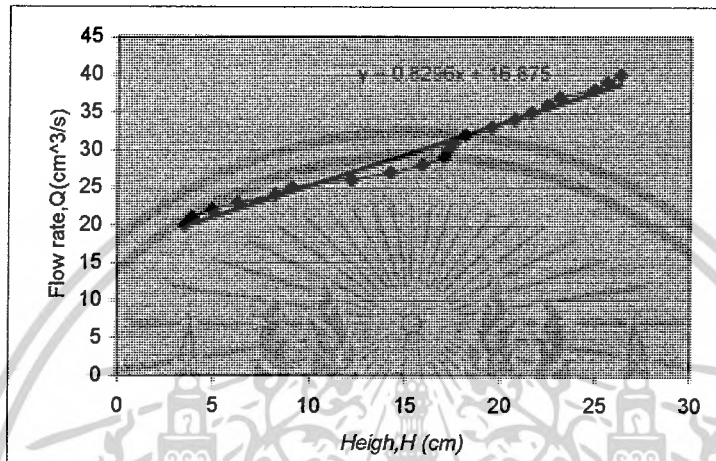
(1.3) เป็นขั้นทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความสูงควบคุม ( $H_{act}$ ) เป็นค่าอัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ )



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการเปลี่ยนค่าความสูง  $H_{act}$  เป็นอัตราการไหล  $Q_{act}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกไดอะแกรมในส่วนการเปลี่ยนค่าความสูงควบคุม ( $H_{act}$ ) เป็นอัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ ) เป็นบล็อกไดอะแกรมที่ 1-2 (H - Q relation) ของรูปที่ 3.3 ซึ่งการทำงานของบล็อกนี้เป็นดังรูปที่ 3.7 โดยค่าความสูง  $H_{act}$  จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าอัตราการไหล  $Q_{act}$  ผ่านความสัมพันธ์ของอัตราการไหล ( $Q$ ) และความสูงของระดับน้ำในถัง ( $H$ ) ที่สภาวะคงที่ (Steady state) ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 5 ดังแสดงกราฟในรูปที่ 3.8



รูป 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของความสูง (H) กับอัตราการไหล (Q)

โดยที่กราฟในรูป 3.8 เป็นผลการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของความสูงของระดับน้ำในถังที่ 1 กับอัตราการไหลในสภาวะคงที่ โดยมีไหลควาล์ว  $R_1$  เป็นตัวต้านทานการไหลซึ่งเป็นการทดลองแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นลักษณะของกราฟในรูป 3.8 จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของไหลควาล์ว  $R_1$  และจากกราฟนี้ สามารถอนุมานเป็นกราฟเส้นตรงซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (Q) กับความสูงของระดับน้ำ (H) ได้ดังสมการที่ 3.4

$$Q = 0.8296H + 16.875 \text{ (cm}^3 \text{ / s)} \quad (3.4)$$

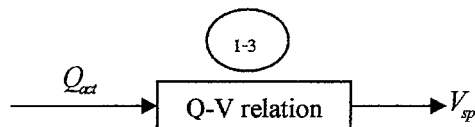
ซึ่งความสัมพันธ์อัตราการไหล (Q) กับความสูงของระดับน้ำ (H) ในสมการ 3.4 จะนำไปใช้กับความสัมพันธ์อัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ ) กับความสูงควบคุม ( $H_{act}$ ) ดังสมการ 3.5 และสมการ 3.5 จะเป็นความสัมพันธ์ของ  $Q_{act}$  กับ  $H_{act}$  ตามบล็อกไดอะแกรม 1-2 ของรูปที่ 3.3

$$Q_{act} = 0.8296H_{act} + 16.875 \text{ (cm}^3 \text{ / s)} \quad (3.5)$$

ค่าความสัมพันธ์ของความสูงของระดับน้ำกับอัตราการไหลในสภาวะคงที่ที่ได้จากการทดลองแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นนี้จะนำไปใช้ในระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่นด้วย เนื่องจากระบบถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่นจะมีตัวต้านทานการไหลของน้ำ  $R_1$  ทางด้านน้ำออกทางเดียวและเป็นตัวเดียวกันกับระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น

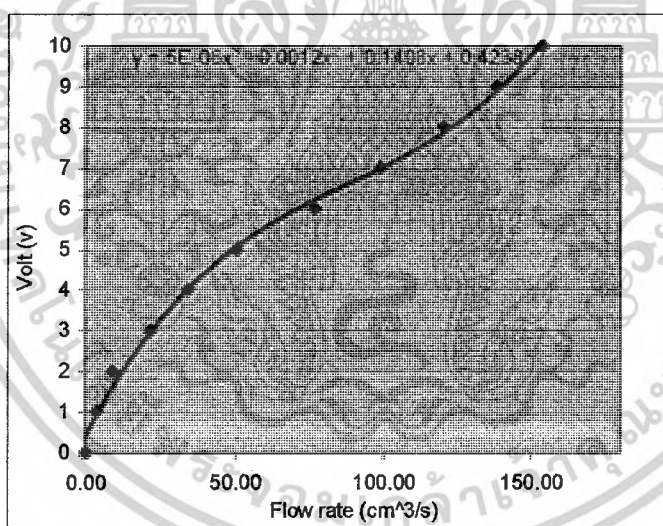
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.4) เป็นขั้นที่เปลี่ยนค่าอัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ ) เป็นแรงดันไฟฟ้าควบคุม ( $V_{sp}$ ) เพื่อส่งสัญญาณแรงดัน ( $V_{sp}$ ) ไปที่มอเตอร์โรตารี



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมในการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล  $Q_{act}$  เป็นแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$

บล็อกไดอะแกรมในส่วนการเปลี่ยนค่าอัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ ) เป็นแรงดันไฟฟ้าควบคุม ( $V_{sp}$ ) เป็นบล็อกไดอะแกรมที่ 1-3 (Q-V relation) ของรูปที่ 3.3 ซึ่งการทำงานของบล็อกนี้เป็นดังรูปที่ 3.8 โดยค่าอัตราการไหล  $Q_{act}$  จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  ผ่านความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) อัตราการไหล ( $Q$ ) ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 5 ดังแสดงกราฟในรูปที่ 3.9



รูป 3.10 แสดงความสัมพันธ์อัตราการไหล ( $Q$ ) กับแรงดันไฟฟ้า ( $V$ )

โดยที่กราฟในรูป 3.10 เป็นผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) ที่สั่งให้ชุดขับเคลื่อนทำงานทำให้เกิดการไหล ( $Q$ ) และจากกราฟสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) กับอัตราการไหล ( $Q$ ) ได้ดังในสมการที่ 3.2

$$V = 5 \times 10^{-6} Q^3 - 0.0012 Q^2 + 0.1408 Q + 0.4238 (\text{Volt}) \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

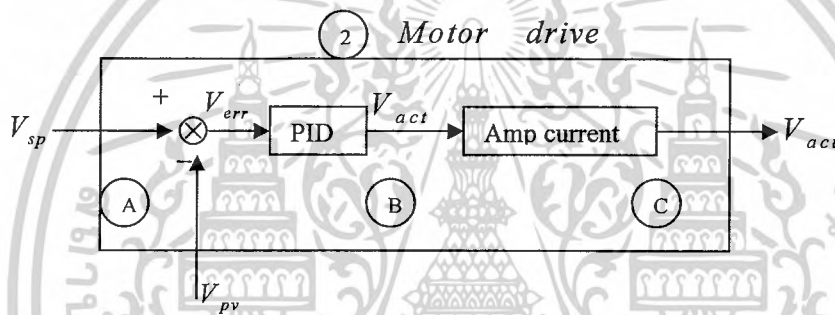
ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า (V) กับอัตราการไหล (Q) ในสมการ 3.3 จะนำไปใช้กับความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าควบคุม ( $V_{sp}$ ) กับอัตราการไหลควบคุม ( $Q_{act}$ ) ดังสมการ 3.4 และสมการ 3.4 จะเป็นความสัมพันธ์ของ  $V_{sp}$  กับ  $Q_{act}$  ตามบล็อกไดอะแกรม 1-3 ของรูปที่ 3.3

$$V_{sp} = 5 \times 10^{-6} Q_{act}^3 - 0.0012 Q_{act}^2 + 0.1408 Q_{act} + 0.4238 (\text{Volt}) \quad (3.7)$$

แรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  จะเป็นสัญญาณแรงดันที่จะถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์แล้วส่งเข้าไปที่มอเตอร์ไครฟ์รี่ที่จะไปควบคุมมอเตอร์ให้ทำการเปิดปิดวาล์วให้เกิดอัตราการไหล ตามการทำงานของระบบควบคุม

## (2) Motor drive

ส่วนของ Motor drive คือ ส่วนที่ 2 ของบล็อกไดอะแกรมในรูป 3.2

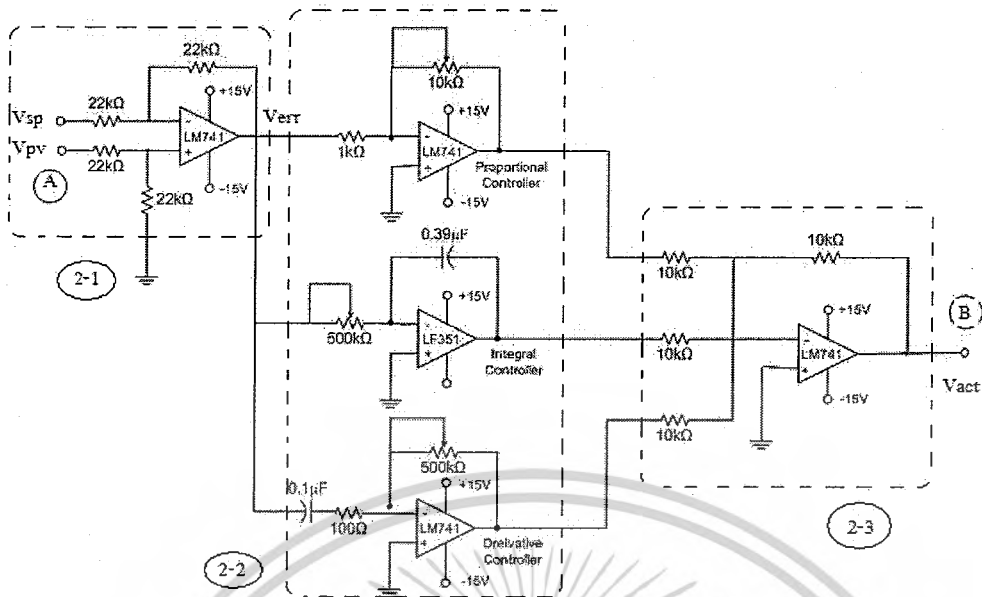


รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของไครฟ์รี่มอเตอร์

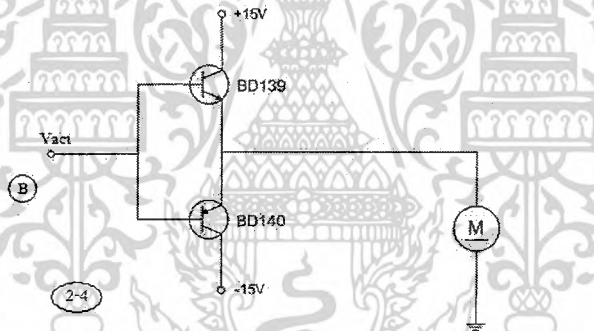
Motor drive เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันอ้างอิงที่มาจาก Computer ( $V_{sp}$ ) โดยกำหนดให้

- $V_{sp}$  = แรงดันไฟฟ้าควบคุม ( $V_{sp}$ ) ที่มาจาก Computer จะเป็นแรงดันอ้างอิง
- $V_{pv}$  = แรงดันที่ถูกป้อนกลับจาก Potentiometer
- $V_{err}$  = แรงดันคลาดเคลื่อน
- $V_{act}$  = แรงดันที่ถูกประมวลโดยตัว Controller PID

บล็อกไดอะแกรมในส่วนของมอเตอร์ไครฟ์รี่จากรูป 3.11 มีลักษณะวงจรไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของวงจรถวลแรงดันดังรูปที่ 3.12 และส่วนที่สองเป็นส่วนของวงจรขยายกระแส รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แสงวงจร PID ของ Motor drive



รูปที่ 3.13 วงจรขยายกระแสสำหรับขับมอเตอร์

(2.1) วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า

วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าในรูป 3.12 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนแต่ละส่วนมีการทำงานดังนี้

ส่วนที่ 2-1 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าควบคุม ( $V_{sp}$ ) ที่มาจาก Computer และที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง แล้วมาทำการเปรียบเทียบกับแรงดันที่มาจาก Potentiometer ( $V_{pv}$ ) แรงดันที่ออกมาจากวงจรนี้จะออกมาในรูปผลต่างของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคือ  $V_{err}$  ซึ่งมีวงจรเป็นรูปในส่วนที่ 2-1 ของรูปที่ 3.12

ส่วนที่ 2-2 ประมวลผลสัญญาณโดยระบบควบคุมแบบ PID

เป็นส่วนที่รับสัญญาณความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้า  $V_{err}$  จากภาคที่ 2-1 โดยมีระบบควบคุมสัญญาณแบบ PID ทำการประมวลผลสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกมา ซึ่งมีวงจรเป็นรูปในส่วนที่ 2-2 ของรูป 3.12

ส่วนที่ 2-3 รวมสัญญาณควบคุม

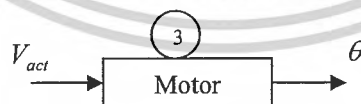
ส่วนนี้เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่มาจากตัวควบคุม PID โดยสัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณที่จะไปควบคุมมอเตอร์ ( $V_{act}$ ) ซึ่งมีวงจรเป็นรูปในส่วนที่ 2-3 ของรูป 3.12 ซึ่งก่อนที่จะส่งไปควบคุมมอเตอร์นั้นสัญญาณ  $V_{act}$  จะต้องผ่านวงจรขยายกระแสในรูปที่ 3.13 ก่อน เนื่องจากในวงจร PID ไม่สามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์ได้เพราะในตัววงจรประกอบด้วยไอซีออปแอมป์ขยายแรงดันเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจ่ายกระแสไฟได้

### (2.2) วงจรขยายกระแส

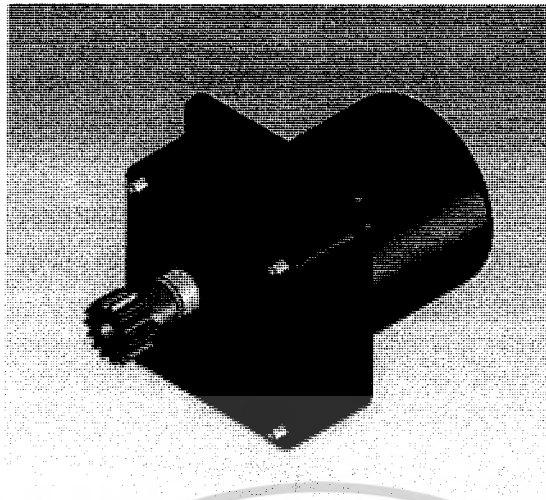
วงจรขยายกระแสเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายกระแสให้กับมอเตอร์ ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ BD139 และ BD 140 ซึ่งมีวงจรเป็นรูปในส่วนที่ 2-3 ของรูป 3.12 โดยที่สัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $V_{act}$  ที่ออกมาจากวงจรขยายกระแสนั้นพร้อมที่จะขับมอเตอร์ได้

### (3) มอเตอร์

ส่วนของมอเตอร์คือส่วนที่ 3 ของบล็อกไดอะแกรมในรูป 3.2 ดังแสดงในรูป 3.10 ลักษณะมอเตอร์ที่ใช้เป็นดังรูป 3.11 ซึ่งแบบเป็น DC มอเตอร์ขนาดแรงดันสูงสุด 12 โวลต์ ทนกระแส 35 มิลลิแอมป์ ซึ่งมอเตอร์จะทำหน้าที่ขับวาล์วควบคุมเพื่อทำการเปิดปิดวาล์วควบคุม โดยทำงานตามสัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $V_{act}$  ที่ส่งมาจากมอเตอร์ไครฟ์แล้วหมุนวาล์วเป็นมุม  $\theta$  ที่องศาต่างๆทำให้น้ำไหลตามการปิดเปิดของวาล์ว



รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของมอเตอร์



รูปที่ 3.15 มอเตอร์

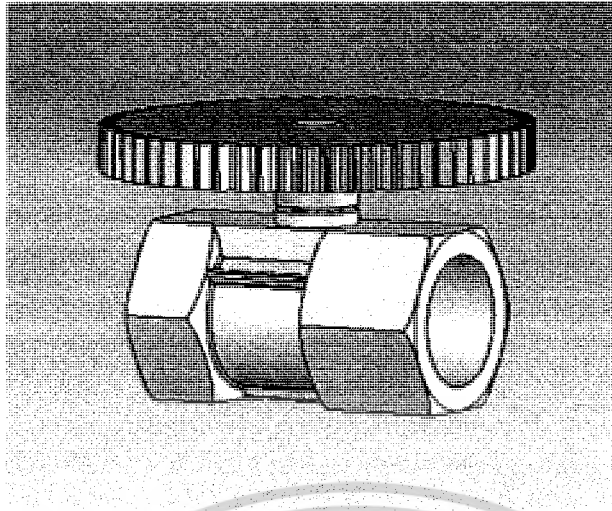
## (4) วาล์วควบคุม

ส่วนของวาล์วควบคุมคือส่วนที่ 4 ของบล็อกไดอะแกรมในรูป 3.2 ดังแสดงในรูปที่ 3.12



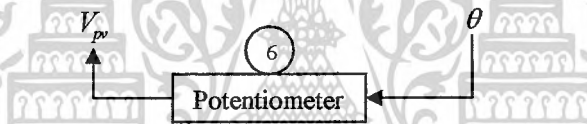
รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของวาล์วควบคุม

เนื่องจากวาล์วควบคุมที่มีขายทั่วไปจะเป็นแบบ Solenoid Valve ซึ่งให้กิริยาการควบคุมเป็นแบบเปิด-ปิด (On-Off Control) ส่วนวาล์วควบคุมที่ให้กิริยาการควบคุมแบบ PI นั้นจะมีราคาแพงมาก จึงเลือกวิธีการสร้างวาล์วควบคุมขึ้นเอง โดยใช้ Ball Valve ที่มีขายโดยทั่วไป ขนาด 1/2 นิ้ว มาดัดแปลงเป็นวาล์วควบคุมดังรูป 3.17 โดยสร้างชุด Actuator ขึ้นมา ซึ่ง Actuator จะประกอบไปด้วย motor ที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากส่วนมอเตอร์ไครฟ์โดยจะใช้ตัวต้านทาน (Potentiometer) ซึ่งสามารถปรับค่าได้มาใช้ในการวัดตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปของวาล์วซึ่งรายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ (6) ชุดควบคุมวาล์ว



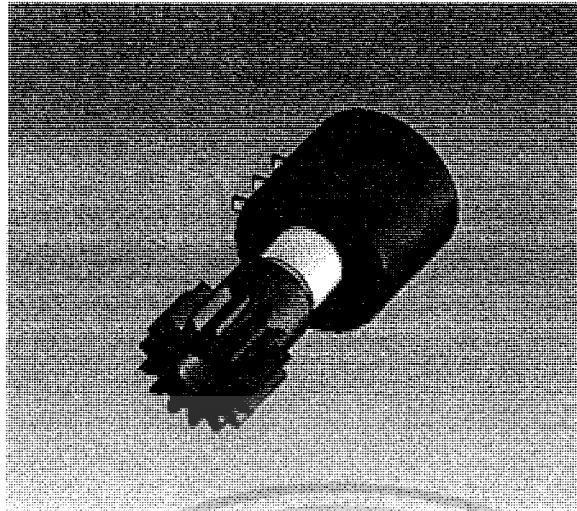
รูปที่ 3.17 แสดงชุดควบคุมวาล์วที่สร้างขึ้น

(5) Potentiometer



รูปที่ 3.18 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Potentiometer

ส่วนของ Potentiometer คือส่วนที่ 6 ของบล็อกไดอะแกรมในรูป 3.2 ทำหน้าที่วัดตำแหน่งมุมของมอเตอร์ที่หมุนวาล์วแล้วส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ  $V_{pv}$  ไปยังมอเตอร์โครฟีเพื่อทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง  $V_{sp}$  แล้วประมวลผลสัญญาณตามลักษณะการควบคุมของมอเตอร์โครฟี ซึ่งลักษณะของ Potentiometer เป็นดังรูปที่ 3.16 มีค่าความต้านทาน 0-10 กิโลโอห์ม

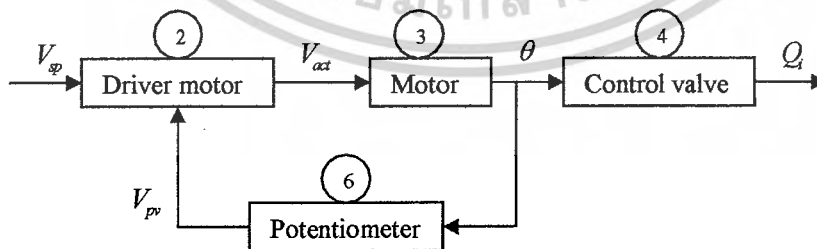


รูปที่ 3.19 Potentiometer

## (6) ชุดการควบคุมวาล์ว

ชุดการควบคุมวาล์วนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็น มอเตอร์ไครฟ์ มอเตอร์ วาล์ว และ Potentiometer ซึ่งก็คือส่วนที่ 2, 3, 4 และ 6 ของรูปที่ 3.2 ประกอบกันเป็นบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.17 และที่ได้สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 3.18

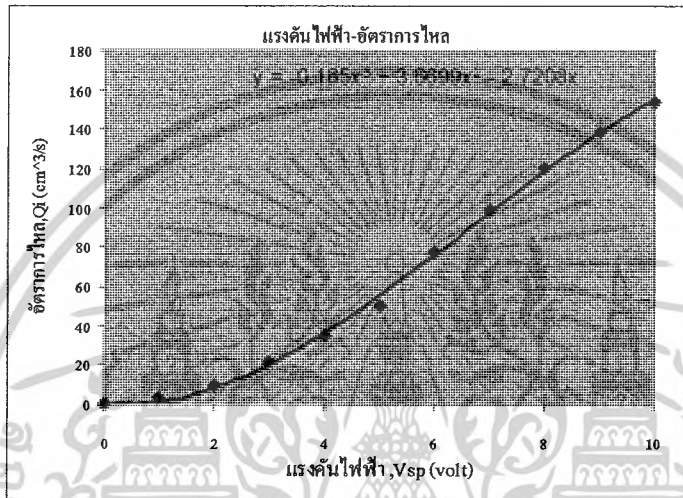
การทำงานของชุดควบคุมวาล์วนั้นเริ่มจากมอเตอร์ไครฟ์รับแรงดัน  $V_{sp}$  มาจากคอมพิวเตอร์ แล้วมาเปรียบเทียบกับแรงดัน  $V_{pv}$  ที่มาจาก Potentiometer แล้วทำการประมวลสัญญาณโดยวงจรในมอเตอร์ไครฟ์แล้วส่งสัญญาณแรงดัน  $V_{act}$  ไปขับมอเตอร์ แล้วมอเตอร์ก็ทำการหมุนวาล์วทำให้เกิดการไหลของน้ำ โดยขณะที่มอเตอร์หมุนนั้น Potentiometer ก็จะวัดตำแหน่งมุมการหมุนของมอเตอร์ไปด้วยเพื่อป้อนกลับสัญญาณไปที่มอเตอร์ไครฟ์ที่จะควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ให้มีความแม่นยำ



รูปที่ 3.20 แสดงบล็อกไดอะแกรมชุดควบคุมวาล์ว

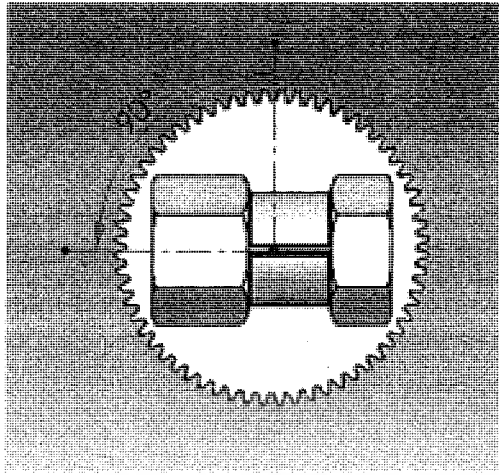
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานของชุดควบคุมวาล์วที่ตั้งได้แสดงในรูปที่ 3.20 ที่รับสัญญาณ  $V_{sp}$  ที่มาจากของคอมพิวเตอร์ และผลลัพธ์ที่ได้ก็คืออัตราการไหลของน้ำ  $Q_i$  ที่เกิดจากการเปิดปิดวาล์ว ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  และอัตราการไหล  $Q_i$  ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะถูกนำไปใช้ในการเขียนคำสั่งในโปรแกรมLabviewซึ่งจะทำการควบคุมอัตราการไหล  $Q_i$  ผ่านการป้อนแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  จากคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 5 ความสัมพันธ์ของ แรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  และอัตราการไหล  $Q_i$  เป็นดังรูปที่ 3.19



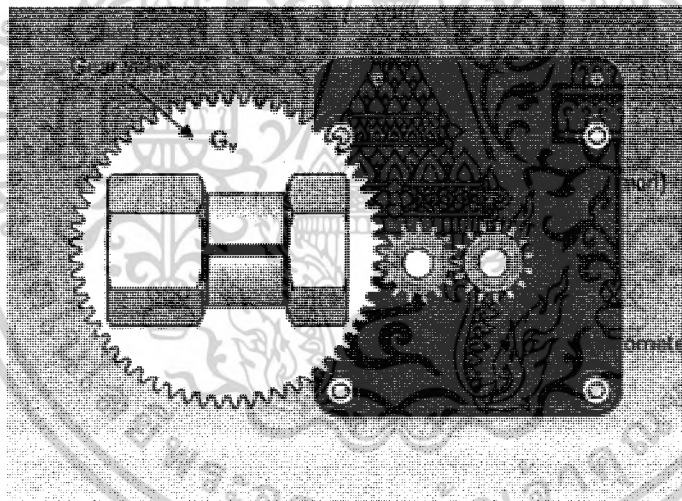
รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  กับอัตราการไหล  $Q_i$

ส่วนของการออกแบบชุดเกียร์ควบคุมวาล์วนั้น ได้ใช้วาล์วที่เป็น Ball valve โดยมีการปิดสุดและเปิดสุดอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยได้มีการดัดแปลงด้วยการใช้เกียร์มาติดตั้งตรงที่แกนหมุนของวาล์ว เกียร์ที่ใช้นั้นเลือกใช้เกียร์ที่มีจำนวนฟันเพียง 60 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตรดังรูป 3.21 และเนื่องจากข้อจำกัดของขนาดเกียร์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดมีขนาดเพียง 60 ฟัน และ 15 ฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 และ 15 มิลลิเมตรตามลำดับ เราจึงใช้ขนาดเกียร์นี้ในการออกแบบชุดขับวาล์ว



รูปที่ 3.22 แสดง Ball valve ที่ถูกดัดแปลงเป็นวาล์วควบคุม

เมื่อทำการเอาเกียร์มอเตอร์ที่มีจำนวนฟันเฟือง 15 ฟันมาติดตั้งที่วาล์วและแนะนำเกียร์ Potentiometer ที่มีจำนวนฟันเฟือง 15 ฟันเช่นกันมาติดตั้งร่วมดังรูป 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงชุดเกียร์ควบคุมวาล์ว

จากรูป 3.22 อัตราการทดของเกียร์วาล์วและเกียร์มอเตอร์คือ

$$m_G = \frac{N_{G_v}}{N_p} = \frac{\theta_p}{\theta_{G_v}} \quad (3.8)$$

$$m_G = \frac{4}{1}$$

โดยที่  $N_{G_v}$  = จำนวนฟันเฟืองของเกียร์วาล์ว

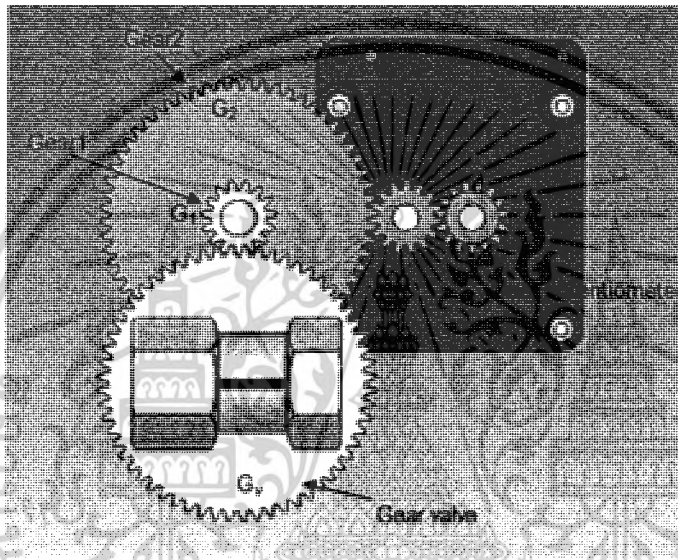
$N_p$  = จำนวนฟันเฟืองของเกียร์มอเตอร์ (Pinion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\theta_{G_v}$  =มุมของเกียร์วาล์วที่หมุน

$\theta_p$  =มุมของเกียร์มอเตอร์ที่หมุน

ดังนั้นเมื่อเกียร์วาล์วหมุน 90 องศาหรือ  $\theta_{G_v} = \pi/2$  นั้นจะทำให้เกียร์หมุนเท่ากับ  $\theta_p = 2\pi$  หรือ 1 รอบ และPotentiometer ก็หมุน1รอบด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจาก Potentiometer นั้นสามารถหมุนได้ถึง 10 รอบ เพื่อให้การวัดตำแหน่งโดยใช้Potentiometerให้มีช่วงการทำงานที่กว้างขึ้น จึงได้ใช้เกียร์ทดได้แก่ Gear1 และ Gear2 เข้ามาในการออกแบบชุดเกียร์ด้วย ลักษณะการติดตั้งก็เป็นดังรูป 3.23

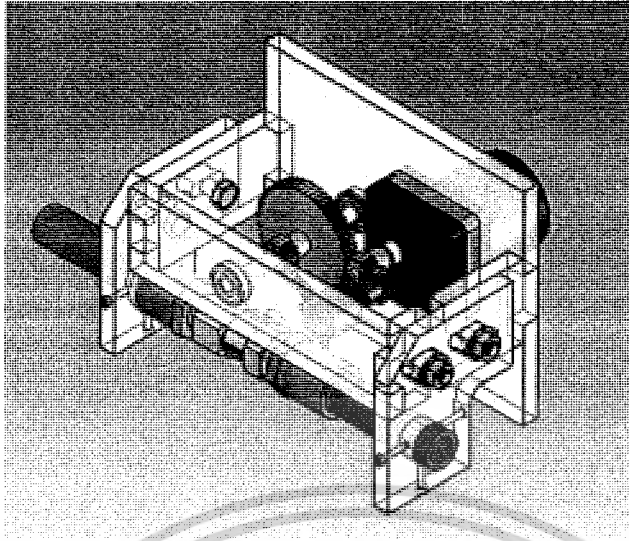


รูปที่ 3.24 แสดงชุดเกียร์ที่มีการใช้เกียร์ทด

จากรูป 2.33 อัตราการทดของเกียร์วาล์วและเกียร์มอเตอร์คือ

$$m_G = \frac{N_{G_v} N_{G_2}}{N_{G_1} N_p} = \frac{60 \cdot 60}{15 \cdot 15} = 16$$

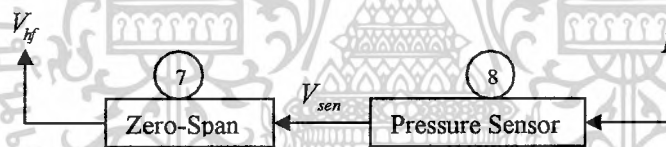
ดังนั้นเมื่อเกียร์วาล์วหมุน 90 องศาหรือ  $\theta_{G_v} = \pi/2$  นั้นจะทำให้เกียร์หมุนเท่ากับ  $\theta_p = 8\pi$  หรือ 4 รอบ และPotentiometer ก็หมุน 4 รอบด้วยเช่นกันทำให้การทำงานของPotentiometer ทำงานในช่วงกว้างขึ้น ซึ่งชุดควบคุมวาล์วที่ได้สร้างขึ้นเป็นดังรูป 2.34



รูปที่ 3.25 ชุดควบคุมความคุ้มค่า

(7) ชุดวัดความสูงของระดับน้ำ

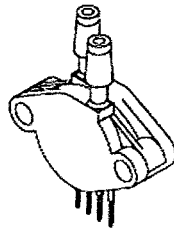
ส่วนของชุดวัดความสูงคือส่วนที่ 7 และ 8 ของบล็อกไดอะแกรมในรูป 3.2



รูปที่ 3.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมในส่วน of ชุดวัดความสูง

ชุดวัดความสูงประกอบด้วยสองส่วนคือ

(7.1) Pressure Sensor อยู่ในส่วนที่เป็นบล็อกไดอะแกรมที่ 8 ในรูป 3.36 โดยเลือกใช้ Sensor รุ่น MPX 2010 DP CASE 344C-01 ของบริษัท Motorola ซึ่งสามารถวัดความดันได้สูงถึง 10 kPa ดังในแสดงในรูป 3.37 โดยจะให้เอาท์พุท (Output) ออกมาในรูปแบบของผลต่างของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ และ การนำค่าแรงดันที่ได้ไปใช้งานต้องผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณ สามารถปรับ zero -span



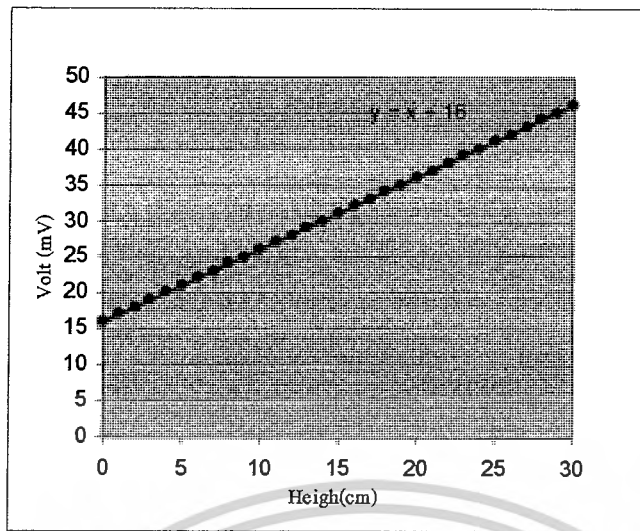
รูปที่ 3.27 เซนเซอร์วัดความดันของระดับน้ำ

การต่อเซนเซอร์เพื่อใช้ในการวัดระดับน้ำจะใช้สายยางขนาด 6 มิลลิเมตร ที่ต่อมาจากด้านบนถึงน้ำ ต่อเข้าทางด้านความดันสูงของตัวเซนเซอร์ และทางด้านความดันต่ำของตัวเซนเซอร์จะเปิดไว้เพื่อให้เจอกับบรรยากาศ เนื่องจากถังน้ำที่ใช้ในกระบวนการเป็นถังน้ำแบบเปิด จึงทำให้ความดันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับน้ำเพียงอย่างเดียว โดยความดันแตกต่างที่เข้าสู่ตัวเซนเซอร์คือ

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{high} - P_{low} \\ &= (\rho gh + P_{atm}) - P_{atm} \\ \Delta P &= \rho gh \\ h &= \frac{\Delta P}{\rho g}\end{aligned}\quad (3.9)$$

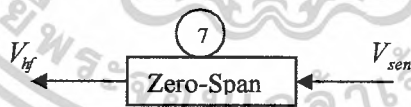
โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ  $1000 \text{ kg/cm}^3$   
 $g$  คือ แรงโน้มถ่วงโลก  $9.81 \text{ m/s}^2$   
 $h$  คือ ระดับน้ำที่วัด  $\text{m}$ .  
 $\Delta P$  คือ ความดันแตกต่าง  $\text{KPa}$

เซนเซอร์จะวัดค่าความแตกต่างของความดันน้ำออกมาในรูปแบบเป็นแรงดันไฟฟ้าออกมาเป็นระดับมิลลิโวลต์ และจากที่ค่าของความสูงนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความแตกต่างของความดันน้ำซึ่งทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของความสูงระดับน้ำและแรงดันไฟฟ้าได้ดังรูป 3.38



รูปที่ 3.28 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงและแรงดันไฟฟ้าที่เซนเซอร์ให้ออกมา

(7.2) Zero – Span อยู่ในส่วนที่เป็นบล็อกไดอะแกรมที่ 7 ในรูป 3.36 เนื่องจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เซนเซอร์ให้ออกมาดังรูปที่ 3.38 นั้นอยู่ในระดับมิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ทำให้การนำไปใช้งานนั้นยากและเกิดการรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ง่าย จึงต้องมีตัวทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดัน และปรับค่าศูนย์ที่ตำแหน่งอ้างอิงเพื่อให้สามารถใช้สัญญาณที่ออกมาใช้ได้ง่ายขึ้น การทำงานของ Zero – Span เป็นดังรูปที่ 3.39 โดยรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่มาจากเซนเซอร์ ( $V_{sen}$ ) มาทำการปรับและขยายโดยวงจรออปแอมป์แล้วส่งแรงดันไฟฟ้า  $V_{hf}$  ออกมาเพื่อเป็นสัญญาณที่จะถูกส่งเข้าไปที่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะการทำงานของ Zero-Span

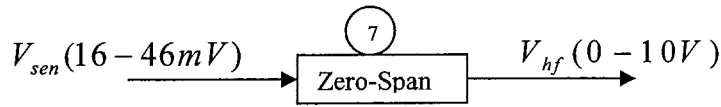
โดย

$V_{sen}$  = แรงดันไฟฟ้าที่เซนเซอร์ให้ออกมา

$V_{hf}$  = แรงดันไฟฟ้าหลังจากการปรับ Zero-Span

การปรับ Zero-Span ที่ต้องการนั้นเป็นดังรูป 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดงลักษณะการทำงานของ Zero-Span ที่ต้องการ

แรงดันไฟฟ้าที่เซอร์ส่งออกมา ( $V_{sen}$ ) ที่ความสูงของระดับน้ำในถังที่ 0 เซนติเมตรคือ 16 มิลลิโวลต์และที่ 30 เซนติเมตรคือ 46 มิลลิโวลต์ แต่แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ ( $V_{hf}$ ) ที่ความสูง 0 เซนติเมตรคือ 0 โวลต์ และที่ 30 เซนติเมตรคือ 10 โวลต์ ดังนั้นความสัมพันธ์ของ  $V_{sen}$  และ  $V_{hf}$  หาได้โดยความสัมพันธ์ตามสมการ 3.2

$$V_{hf} = MV_{sen} + V_{bias} \quad \text{สมการ 3.2}$$

โดย  $M$  = อัตราการขยาย (เท่า)

$V_{bias}$  = แรงดันที่ต้องชดเชยในการปรับค่าศูนย์ สามารถแก้สมการได้ดังนี้

ที่ 0 เซนติเมตร  $V_{sen} = 16$  มิลลิโวลต์ และ  $V_{hf} = 0$  โวลต์

$$0 = 16 \times 10^{-3} M + V_{bias}$$

$$V_{bias} = -16 \times 10^{-3} M \quad (3.10)$$

ที่ 30 เซนติเมตร  $V_{sen} = 46$  มิลลิโวลต์ และ  $V_{hf} = 10$  โวลต์

$$10 = 46 \times 10^{-3} M + V_{bias} \quad (3.11)$$

จากสมการ 3.4 และ 3.5 จะได้

$$M = 333.33 \text{ (เท่า)} \quad (3.12)$$

$$V_{bias} = 5.33 \text{ โวลต์} \quad (3.13)$$

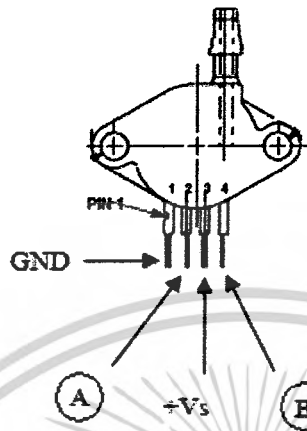
จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{sen}$  และ  $V_{hf}$  ตามสมการ 3.14

$$V_{hf} = 333.33V_{sen} - 5.33$$

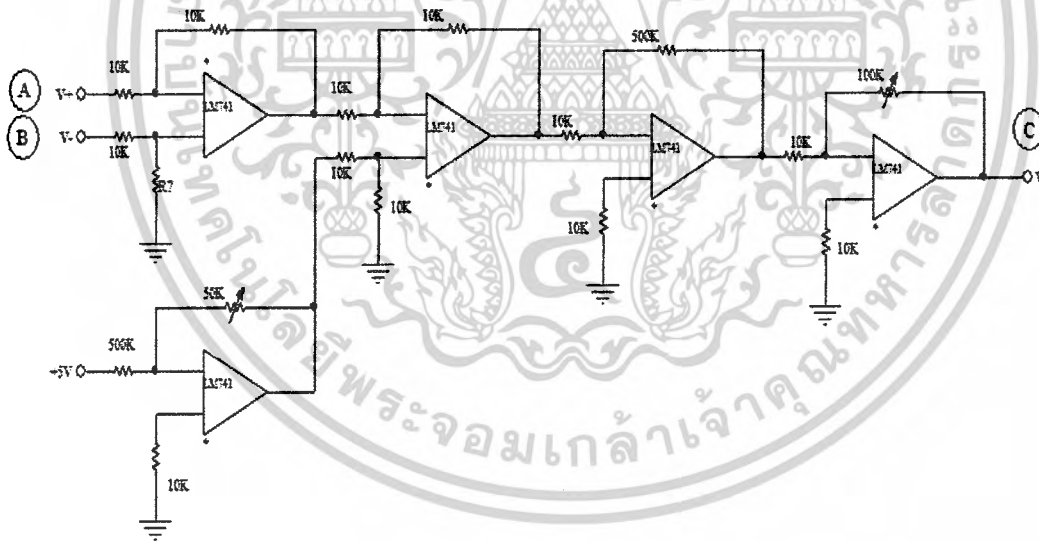
$$V_{hf} = 333.33(V_{sen} - 16 \times 10^{-3}) \quad (3.14)$$

จากสมการ 3.9 เราจะนำไปออกแบบวงขยายแรงดันโดยใช้โอปแอมป์ได้โดยในวงจรโดยให้มีการชดเชยแรงดันแรงดันที่ -16 มิลลิโวลต์ตามสมการ 3.14 และให้มีการขยายเป็น 333.33 เท่า แต่ในการสร้างวงจรจริงนั้นจะต้องมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนค่าการปรับศูนย์ (Zero) และการขยาย (Span) ได้เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งวงจร Zero-Span ที่สร้างขึ้นแสดงเป็นดังรูปที่ 3.42 โดยที่เซนเซอร์จะให้สัญญาณแรงดันออกมาที่ขา 2 และขา 4 โดยขาที่ 2 จะให้แรงดันเป็นออกมาเป็นค่าบวกและขาที่ 4 จะให้แรงดันออกมาเป็นค่าลบดังในรูปที่ 3.41 ซึ่งขา 2 ของเซนเซอร์

จะต่อเข้าจุด A และขา 4 จะต่อเข้าจุด B ของวงจรในรูป 3.42 และแฉะแรงดันจะออกจากวงจรที่จุด C เป็นแรงดันไฟฟ้า  $V_{hf}$  ที่จะป้อนกลับไปทีคอมพิวเตอร์ในการควบคุมระบบต่อไป



รูปที่ 3.31 แสดงขาต่อของเซนเซอร์วัดความดันน้ำ



รูปที่ 3.32 แสดงวงจร Zero-Span ของเซนเซอร์

การปรับค่า Zero-Span ไปที่ค่าอ้างอิงที่ระดับความสูง 0 เซนติเมตรให้มีค่าแรงดัน 0 โวลต์ และที่ความสูง 30 เซนติเมตรเราจะขยายแรงดันให้มีการขยายไปที่ 10 โวลต์นั้นเพื่อที่จะได้ใช้ช่วง

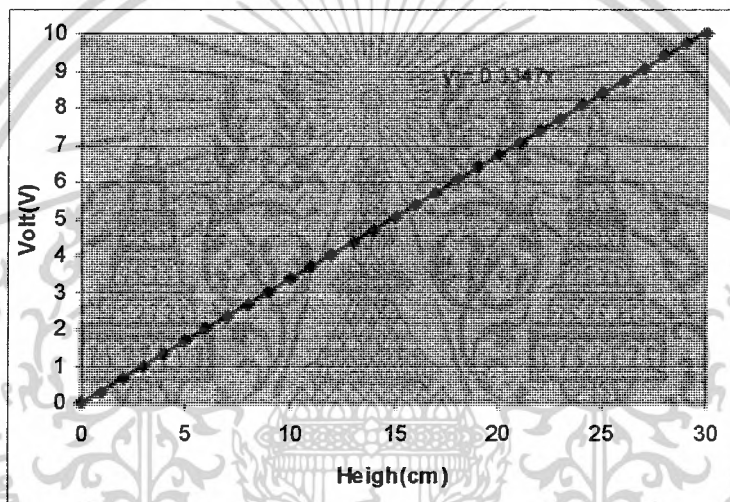
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงดัน 0 – 10 โวลต์ ซึ่งเหมาะที่จะเป็นสัญญาณส่งเข้าคอมพิวเตอร์ที่สามารถรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-10 โวลต์ได้

ความสัมพันธ์ของความแรงดันและความสูงหลังจากการปรับค่า Zero –Span แล้วทำการทดลองวัดค่าแรงดันที่ความสูงต่างๆในบทที่ 5 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูป 3.43 ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ทางสมการได้โดยตรงจากกราฟที่ได้จากการทดลองในได้เป็นสมการที่ 3.10 ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้จะนำไปใช้ในการเขียน โปรแกรม Labview

$$V = 0.3347(H) \quad (3.15)$$

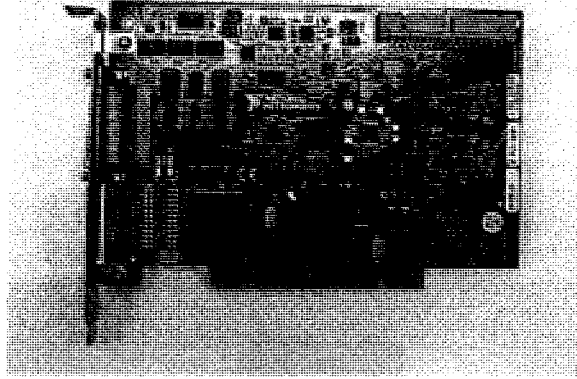
โดย  $H$  = ความสูง  
 $V$  = แรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.33 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงและแรงดันไฟฟ้าที่หลังจากการปรับ Zero-Span

#### (8) ชุดอินเตอร์เฟส (Interface)

สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล และส่งสัญญาณออกไปสู่ วาล์วควบคุม จะเลือกใช้ การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีซีรี่ เอ็นไอ 6221 (DAQ Card M Series Multifunction NI 6221)



รูปที่ 3.34 แสดงการ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีรียี่ เอ็นไอ 6221  
(DAQ Card M Series Multifunction NI 6221)

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่นเอ็นไอ 6221 ดังแสดงในรูปที่ 3.44 จะใช้ร่วมกับพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP ซึ่งมีช่องเชื่อมต่อแบบขนานจำนวน 68 ช่องดังแสดงในรูปที่ 3.45 รองรับการรับส่งสัญญาณ ทั้งแบบอนาลอกและดิจิทัล



รูปที่ 3.35 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณขาเข้า ซึ่งจะส่งมาจากเซนเซอร์ ที่จะแปลงสัญญาณแรงดันของน้ำในถังเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่นเอ็นไอ 6221 สามารถรับสัญญาณขาเข้าได้พร้อมกัน 16 ช่องทาง และสามารถส่งสัญญาณขาออกได้พร้อมกัน 2 ช่องทาง รองรับการรับส่งสัญญาณทั้ง

แบบอนุภาคและดิจิทัล 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
ช่วงสัญญาณสูงสุดในการรับเข้า-ส่งออก	:	$\pm 10$ VDC
ความถี่ของแหล่งกำเนิดสูงสุด	:	80 MHz

### 3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

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

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)

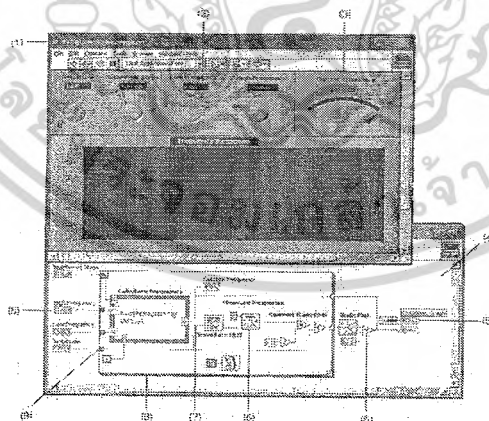
#### 3.2.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดเสมือน ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นได้เองอย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอกอมมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ส่วนที่เขียน โปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัด หรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ดDAQ(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ดIMAQ(สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB(สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. Analysis หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้ว อาจจะผ่านฟังก์ชันการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงผลบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ทั้งในรูปสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาหรือสัมพันธ์กับเวลาก็ได้ จะสามารถแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือการเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

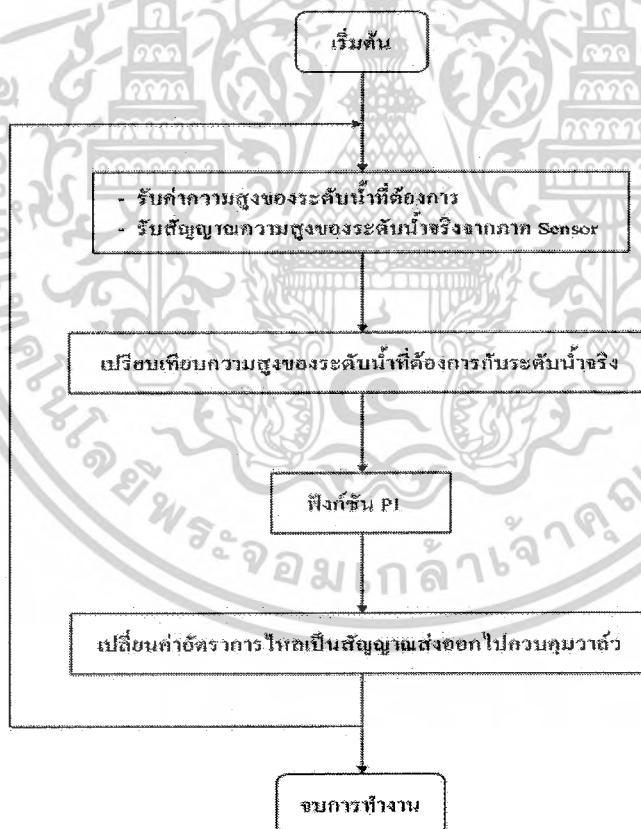


รูปที่ 3.36 แสดงตัวอย่าง Front Panel ของ โปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 หลักการทำงานโปรแกรม

หลักการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.47 โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากส่วนของเซนเซอร์วัดความดันน้ำผ่านไอคอน DAQ Assistant สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระดับความสูงของน้ำหน่วยเป็นเซนติเมตร จากนั้นผู้ใช้จะทำการป้อนระดับความสูงของน้ำที่ต้องการเข้าไป โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบระดับความสูงที่ต้องการกับระดับความสูงจริง ค่าที่ได้ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาด (Error) ค่านี้จะถูกส่งไปเข้ากระบวนการพีไอ ซึ่งจะให้ค่าออกมาเป็นอัตราการไหลที่ต้องการ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์ เซนเซอร์วัดความดันน้ำก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากลับมาอีกเพื่อทำการคำนวณต่อ โดยโปรแกรมจะหยุดเมื่อระดับความสูงของน้ำจริงมีค่าเท่ากับระดับความสูงของระดับความสูงของน้ำที่ต้องการ เมื่อนั้นค่าความผิดพลาด (Error) จะมีค่าเป็นศูนย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมก็จะมีค่าคงที่



รูปที่ 3.37 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินราก

#### 4.1 บทนำ

ตัวควบคุมที่ใช้กันในระบบควบคุมป้อนกลับอัตโนมัติที่มักถูกใช้ได้แก่ ตัวควบคุมแบบ Proportional control (P), Integral control (I) และ Derivative control (D) ซึ่งการเลือกใช้มีหลากหลายรูปแบบ อยู่ที่ความต้องการที่จะเลือกใช้ควบคุม เช่นเลือกที่จะควบคุมแบบ P อย่างเดียว หรือจะควบคุมแบบ PI หรือจะควบคุมทั้ง PID ส่วนในการทดลองนี้จะใช้ระบบควบคุมแบบ PI

สิ่งแรกที่ต้องการในการออกแบบระบบควบคุม คือ ตัวแปรที่ต้องการควบคุม เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ นอกจากเวลาเข้าที่ (Settling time  $T_s$ ) และค่าพุ่งเกิน (Percent overshoot P.O.) ก็เป็นส่วนหนึ่งในความต้องการที่ต้องการให้ระบบมีผลตอบสนองตามวัตถุประสงค์ ซึ่งขอยืนยันในส่วนนี้ว่า ข้อกำหนดของระบบ (Specification of Control System)

#### 4.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก

จากข้อกำหนดของผลตอบสนองในสถานะชั่วขณะ คือค่าพุ่งเกินและเวลาเข้าที่ต้องการนั้น จะใช้ในการคำนวณหาค่าของอัตราการหน่วง (Damping ratio:  $\xi$ ) ความถี่ธรรมชาติที่ไม่มี การหน่วง (Undamped natural frequency:  $\omega_n$ ) และตำแหน่งของรากที่สำคัญ (Dominant closed-loop poles:  $S_d$ ) ของระบบควบคุมแบบวงเปิด จากสมการต่อไปนี้

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

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

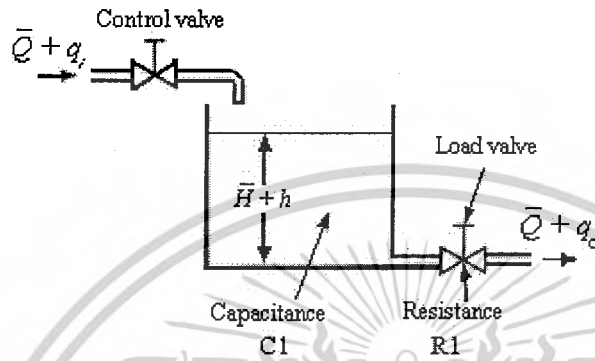
$$S_d = -\xi\omega_n \pm j\sqrt{1-\xi^2} \quad (4.3)$$

ซึ่ง ค่าพุ่งเกิน และค่าเวลาเข้าที่ นั้นจะเป็นสิ่งที่ต้องการหรือข้อกำหนดในการการออกแบบระบบซึ่ง จะใช้ในการทดลองนี้ และสามารถหาค่าต่างๆ ได้จากวิธีการเดินราก (Root locus) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการสร้างกราฟ

### 4.3 การออกแบบระบบควบคุมของระบบ

#### 4.3.1 ระบบควบคุมของถังเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น

##### (1) รูปแบบและการตอบสนองเมื่อระบบเป็นแบบ Open loop

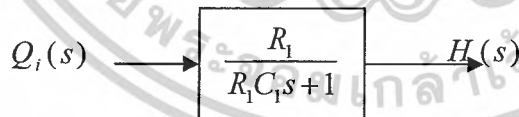


รูปที่ 4.1 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

จากทฤษฎีระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดี่ยวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่นตามบทที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบคือ

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} \quad (4.4)$$

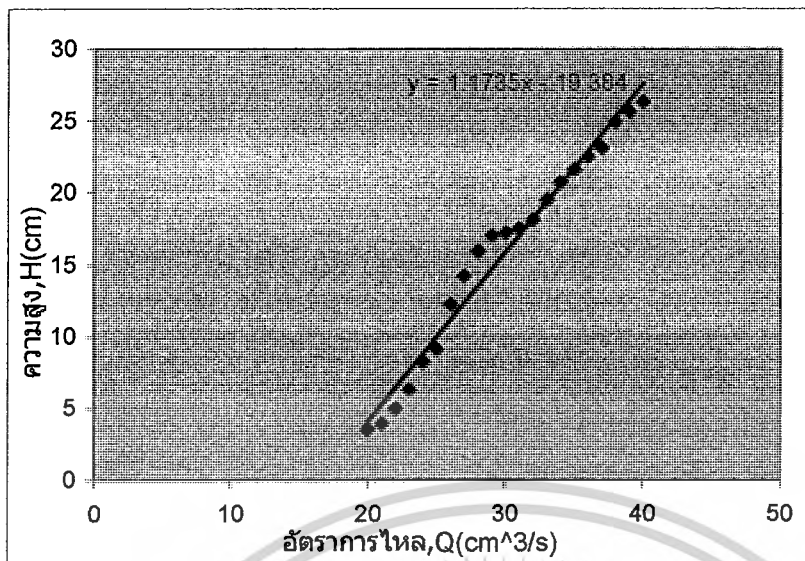
สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $Q_i(s)$  และ  $H(s)$

โดยที่อัตราการไหลน้ำเข้าถัง  $Q_i(s)$  คือ Input และความสูงของถัง  $H(s)$  คือ Out put แต่เนื่องจากตัวแปรที่จะทำการตั้งเป็น Input ของระบบคือความสูง  $H_i(s)$  ซึ่งเราจะต้องเปลี่ยน Input ที่เป็นอัตราการไหล  $Q_i(s)$  ให้เป็น Input ที่เป็นความสูง  $H_i(s)$  ผ่านความสัมพันธ์อัตราการไหลที่สภาวะคงที่  $\bar{Q}$  กับความสูงระดับน้ำในสภาวะคงที่  $\bar{H}$  ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 5 ดังรูป 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

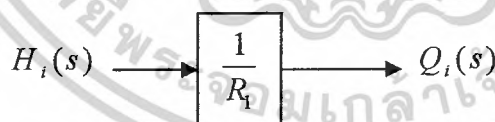


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของการไหลที่สถานะคงที่  $\bar{Q}$  กับความสูงที่สถานะคงที่  $\bar{H}$

โดยความสัมพันธ์ของ  $\bar{Q}$  และ  $\bar{H}$  คือค่าความต้านทานการไหลซึ่งเป็นความชันของกราฟ  $\bar{Q}$  และ  $\bar{H}$  จากรูปที่ 4.3 ความชันกราฟที่จุดใดๆบนเส้นกราฟก็คือค่าความต้านทานการไหลของวาล์ว  $R_1$  ที่จุดทำงานนั้นๆ

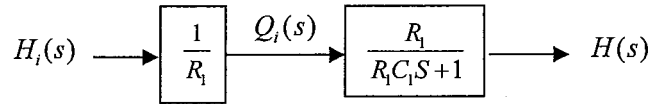
$$R_1 = \frac{dH}{dQ} = \frac{\Delta H}{\Delta Q} = \text{Slope} \quad (4.5)$$

จากความสัมพันธ์ของกราฟในรูป 4.3 เราสามารถเปลี่ยน Input ที่เป็นอัตราการไหล  $Q_i(s)$  ให้เป็น Input ที่เป็นความสูง  $H_i(s)$  ในระบบดังกล่าวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่นผ่านความสัมพันธ์ของ  $\bar{Q}$  และ  $\bar{H}$  ได้คือ



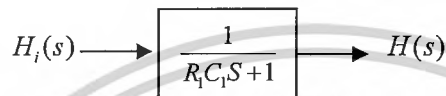
รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมระหว่าง  $H_i(s)$  และ  $Q_i(s)$

โดยที่  $H_i(s)$  คือคำสั่ง Input เป็นความสูงระดับน้ำ เมื่อทำการรวมบล็อกไดอะแกรมจากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.2 และ 4.4 จะได้บล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 4.5



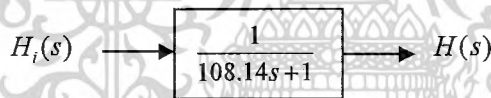
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Input  $H_i(s)$  และ Output  $H(s)$

เมื่อยุบบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.5 จะได้ดังรูปที่ 4.6



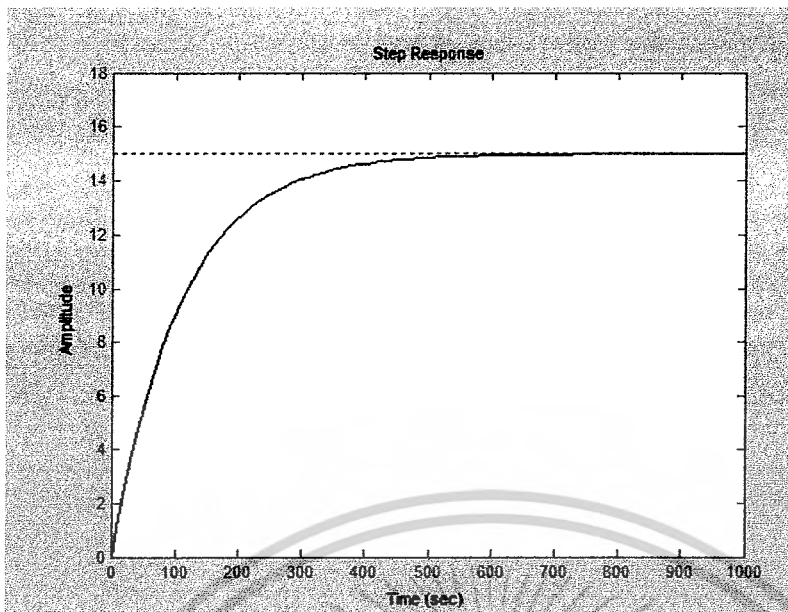
รูปที่ 4.6 การยุบบล็อกไดอะแกรมของความสัมพันธ์ของ  $H_i(s)$  และ  $H(s)$

จากการทดลองในบทที่ 5 สามารถหาค่าความต้านทานด้าน  $R = 1.1735 \text{ s/cm}^2$  และค่าความจุ  $C = 92.16 \text{ cm}^2$  ซึ่งจะได้ค่า  $RC = 108.14$  แล้วแทนค่า  $RC$  ในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.6 ได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของ  $H_i(s)$  และ  $H(s)$  เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว

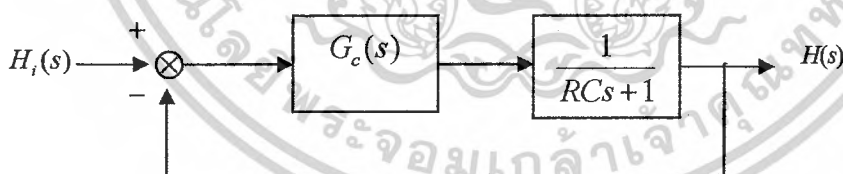
ผลการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่าความสูง  $H = 15 \text{ cm}$  ของระบบดังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น แบบ open loop ในทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่า  $H_1=15\text{cm}$  ของระบบอันดับเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถึงอื่น แบบ open loop

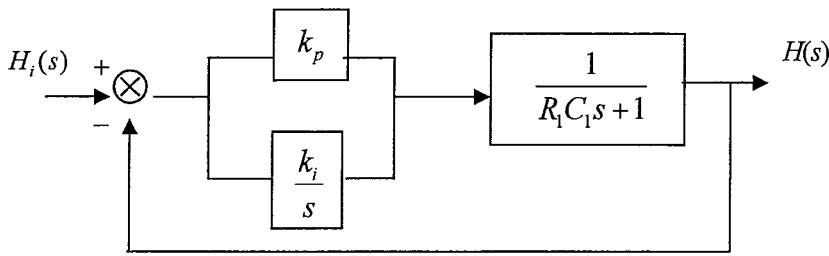
## (2) การออกแบบระบบควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมที่ใช้กับระบบนี้จะเป็นแบบ PI ซึ่งจะทำให้การรับสัญญาณที่เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่มาจากเซนเซอร์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นความสูงแล้ว กับความสูงที่ต้องการแล้วก็ทำการประมวลผลค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมระดับนำแบบอันดับเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่นได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการใช้ระบบควบคุมระดับนำกับระบบอันดับเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถึงอื่น

ระบบควบคุมแบบ PI มีบล็อกไดอะแกรมเป็นดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมแบบ PI

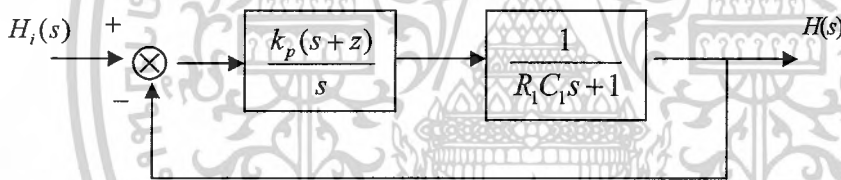
ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบ PI เป็นดังนี้

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (4.6)$$

$$G_c(s) = k_p \left( \frac{s + \frac{k_i}{k_p}}{s} \right) \quad (4.7)$$

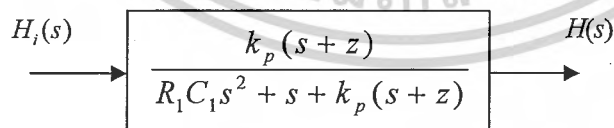
$$G_c(s) = \frac{k_p(s+z)}{s}, \text{ เมื่อ } z = \frac{k_i}{k_p} \quad (4.8)$$

เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมใหม่ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบ PI ที่แจกแจงแล้ว

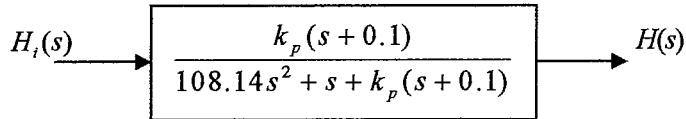
ทำการยุบบล็อกไดอะแกรมจากรูป 4.11 เพื่อให้เป็นแบบ Open loop ได้ดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุม PI เป็นแบบ Open loop

จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากการยุบบล็อก ค่า  $Z$  เป็นอัตราส่วนของ  $k_i/k_p$  และเป็นตำแหน่งของ Zero ของระบบด้วย และในการออกแบบระบบนี้จะทำการออกแบบให้ค่า  $k_p$  มีค่าเป็น 10 เท่าของ  $k_i$  ซึ่งจะได้ค่า  $Z$  เท่ากับ 0.1 เมื่อนำค่า  $Z$  ไปแทนจะได้ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 บล็อกไคอะแกรมเมื่อแทนค่า R, C และ Zero

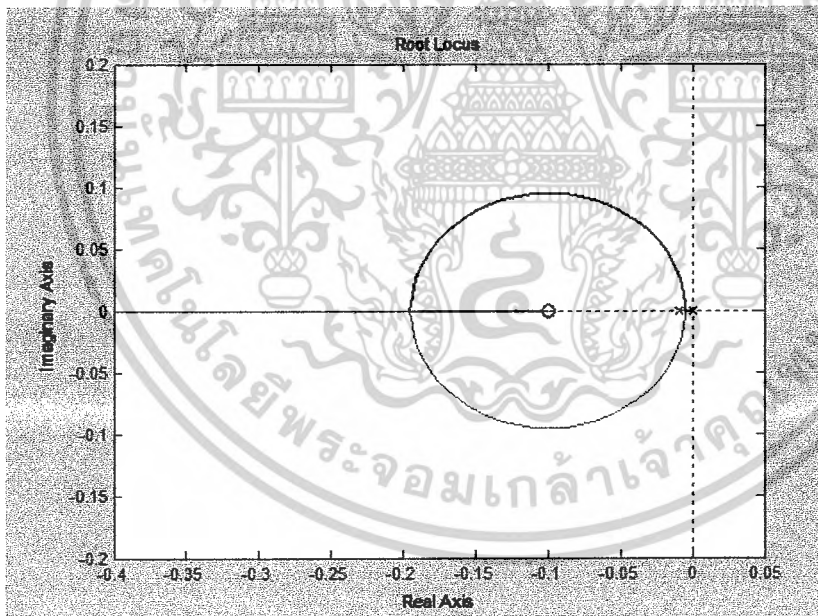
ขั้นตอนต่อไปก็ทำการออกแบบหาค่า  $k_p$  โดยวิธี Root Locus ด้วยโปรแกรม MATLAB ผ่านสมการ Characteristic Equation ซึ่งในที่นี้ก็คือ

$$108.14s^2 + s + k_p(s+0.1) = 0 \quad (4.9)$$

เขียนให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$1 + \frac{k_p(s+0.1)}{108.14s^2 + s} = 0 \quad (4.10)$$

จากสมการสามารถนำไปหาค่าตำแหน่ง Pole และ Zero ด้วยวิธี Root locus โดยโปรแกรม MATLAB ได้ดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงทางเดินของรากของระบบเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI

ในการออกแบบเราสามารถค่าพารามิเตอร์อื่นได้แก่ ค่า Gain (K), ค่าความถี่ธรรมชาติ ( $\omega_n$ ), ค่าอัตราคราหน่วง ( $\zeta$ ), ค่าพุ่งเกิน (% overshoot) และตำแหน่งโพลและซีโร จากกราฟที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดในการออกแบบในที่นี้คือ

ค่าพุงเกิน(%Overshoot) < 5%

เวลาเข้าที่(Setting time)  $T_s < 50$  วินาที

จากสมการ  $T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n}$  จะต้องทำการหาค่า  $\zeta\omega_n$  จากกราฟแล้วนำมาหาค่า  $T_s$  ซึ่งสามารถหา

ได้จากกราฟดังรูป 4.3

จากการเลือกตำแหน่งในกราฟ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือ

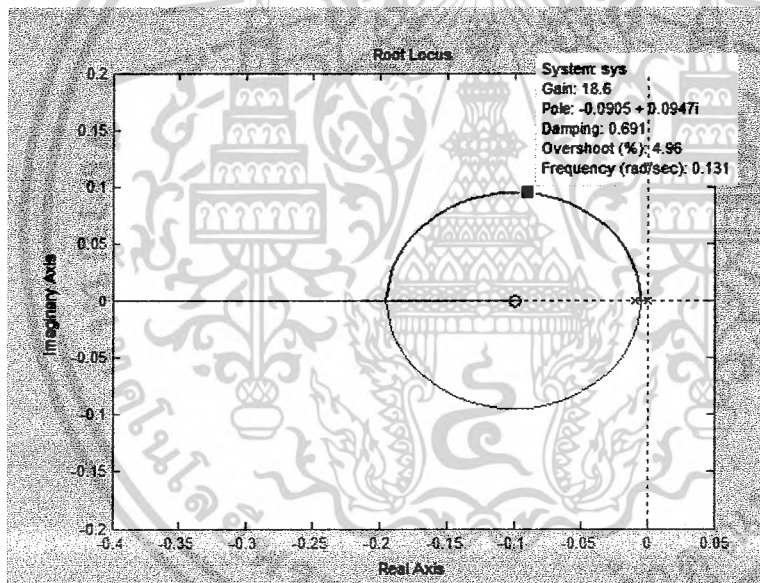
ตำแหน่งโพลคือ  $s_d = 0.0905 \pm 0.0947i$

ค่าพุงเกิน (% Overshoot) = 4.96%

ค่า Gain ( $K_p$ ) = 18.6

ค่า  $\zeta=0.691$ ,  $\omega_n=0.131$  (rad/sec)

จะได้เวลาเข้าที่  $T_s = 44$  วินาที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขตามข้อกำหนด

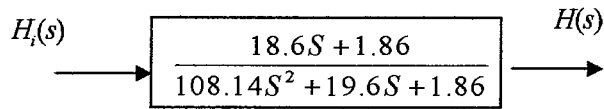


รูปที่ 4.15 การเลือกหาค่าตำแหน่งโพลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจาก Root Locus

### (3) การตอบสนองของระบบทางทฤษฎี

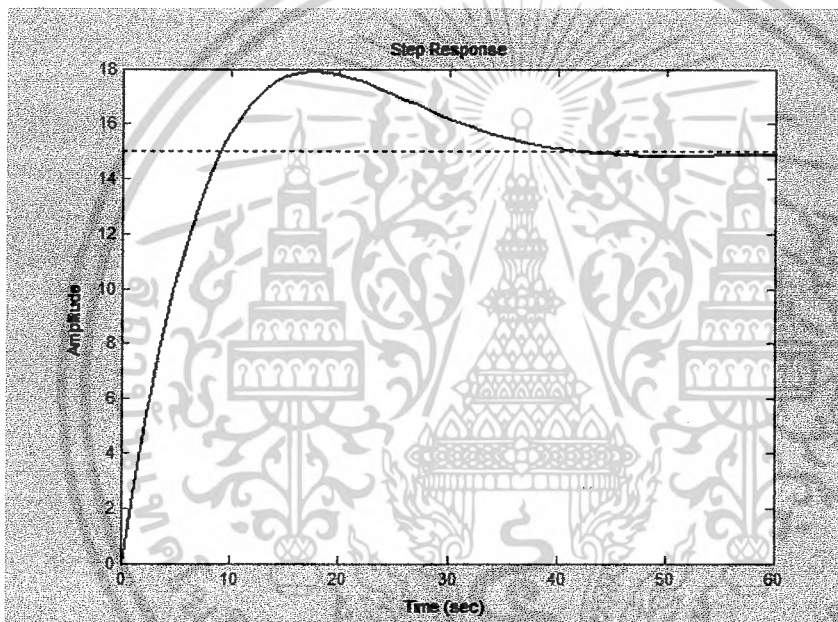
เมื่อทำการหาค่า  $k_p$  ได้เท่ากับ 18.6 ก็จะทำการแทนค่าลงในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.13 จะได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูป 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของ  $H(s)$  กับ  $H_i(s)$  เมื่อแทนค่า  $k_p$  แล้ว

จากบล็อกไดอะแกรมในรูป 4.16 สามารถหาการตอบสนองของ Output ทางทฤษฎีที่เป็น ความสูงของระดับน้ำ  $H(s)$  ต่อ Input ที่เป็นความสูงที่ต้องการ  $H_i(s)$  ที่เป็น Step input ที่ความสูง 15cm เมื่อมีการใช้ระบบควบคุมแบบ PI โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ดังรูป 4.17

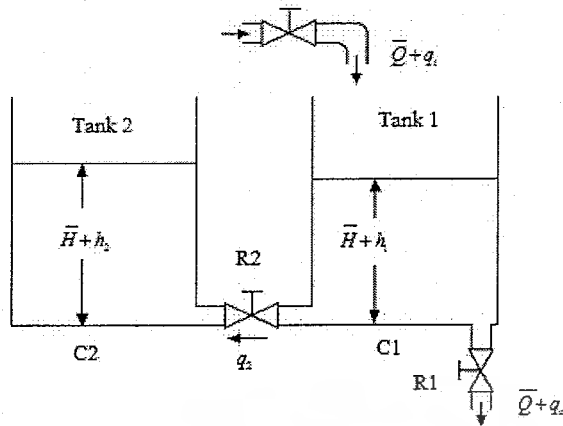


รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองทางทฤษฎีของระดับความสูง  $H(s)$  ต่อ Step input  $H_i(s)$  ที่ 15cm ของ ระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบ PI

#### 4.3.2 ระบบควบคุมของถังเดียวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น

##### (1) รูปแบบและการตอบสนองเมื่อระบบเป็นแบบ Open loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

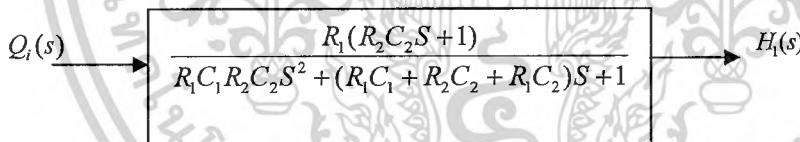


รูปที่ 4.18 ระบบควบคุมของถังเดียวที่มีปฏิกริยากับถังอื่น

จากทฤษฎีในบทที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในรูปที่ 4.18 เป็นดังสมการที่ 4.11

$$\frac{H_1(s)}{Q_i(s)} = \frac{R_1(R_2C_2s+1)}{R_1C_1R_2C_2s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2)s + 1} \quad (4.11)$$

โดย Input เป็นอัตราการไหลของน้ำเข้าถัง  $Q_i(s)$  และ Output เป็นความสูงของระดับน้ำในถังที่ 1  $H_1(s)$  ซึ่งเมื่อนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมจะได้ดังรูปที่ 4.19

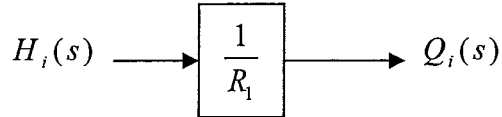


รูปที่ 4.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมระหว่าง  $Q_i(s)$  และ  $H_1(s)$

เช่นเดียวกันกับระบบควบคุมของถังเดียวที่ไม่มีปฏิกริยากับถังอื่น คือ จะเปลี่ยน Input ที่เป็นอัตราน้ำไหลเข้า  $Q_i(s)$  มาเป็น Input ของความสูง  $H_1(s)$  นั้นจะต้องใช้ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่สภาวะคง  $\bar{Q}$  ที่และความสูงของระดับน้ำที่สภาวะคงที่  $\bar{H}$

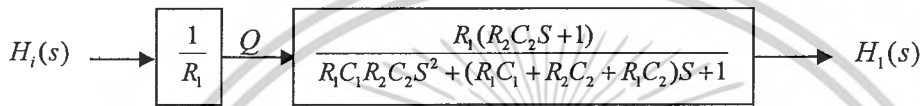
เนื่องจากว่าระบบถังเดียวที่มีปฏิกริยากับถังอื่น นั้นมีทางน้ำออกทางเดียวกันกับระบบแรกคือไหลควั่ว  $R_1$  และที่สภาวะคงที่นั้นระดับความสูงของถังที่ 1 และถังที่ 2 มีความสูงเท่ากัน ซึ่งไม่มีกรไหลระหว่างถังผ่านไหลควั่ว  $R_2$  ซึ่งจะไม่ค่าความต้านทานการไหลในขณะที่อยู่ในสภาวะคงที่ ซึ่งความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับความสูงที่สภาวะคงที่ยังคงเหมือนเดิมกับที่ใช้ในระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกริยากับถังอื่น โดยมีความสัมพันธ์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



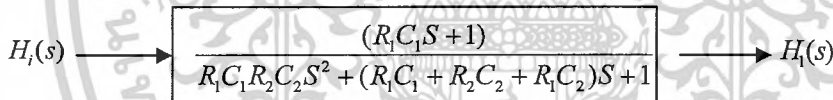
รูปที่ 4.20 บล็อกไดอะแกรมระหว่าง  $H_i(s)$  และ  $Q_i(s)$

ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยน Input ที่เป็นอัตราการไหล  $Q_i(s)$  ให้เป็น Input ที่ เป็นความสูง  $H_i(s)$  ได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของ Input  $H_i(s)$  และ Out put  $H_1(s)$

เมื่อยุบบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.21 จะได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การยุบบล็อกไดอะแกรมของความสัมพันธ์ของ  $H_i(s)$  และ  $H_1(s)$

เมื่อ  $H_i(s)$  คือความสูง (Input),  $H_1(s)$  คือความสูงระดับน้ำของถังที่ 1 (Out put) โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าดังนี้

$$R = 1.1735 \text{ s/cm}^2$$

$$C_1 = C_2 = 92.16 \text{ cm}^2$$

$$R_1 = R_2 = 1.1735 \text{ s/cm}^2$$

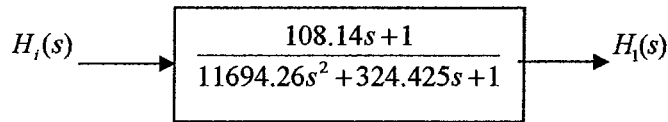
$$R_1C_1 = 108.14 \text{ s}$$

$$R_1C_1R_2C_2 = 11694.26 \text{ s}^2$$

$$R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1 = 324.42 \text{ s}$$

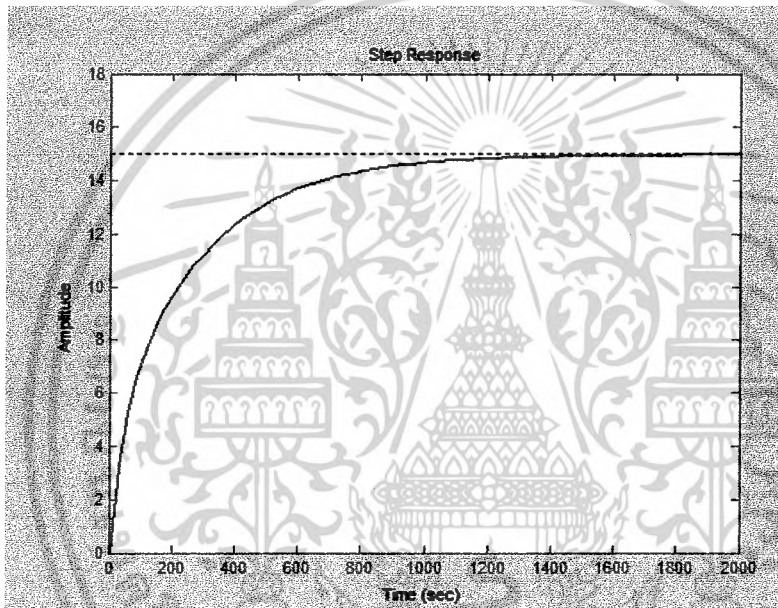
แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในบล็อกระบบในรูปที่ 4.22 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของ  $H_i(s)$  กับ  $H_1(s)$  เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว

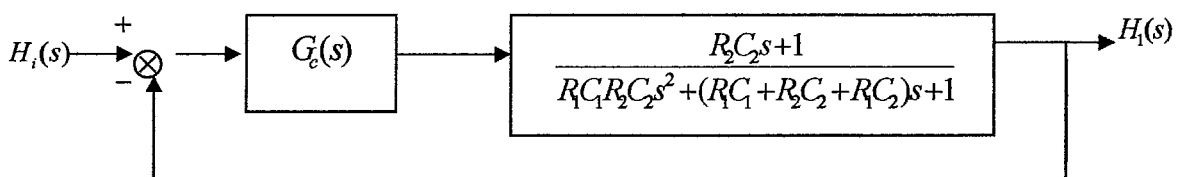
ผลการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่าความสูง  $H = 15\text{cm}$  ของระบบดังเดีวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น แบบ open loop ในทางทฤษฎีตามบล็อกไดอะแกรมที่ในรูปที่ 4.23 โดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นดังรูป 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ค่า  $H_1=15\text{cm}$  ของระบบดังเดีวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น แบบ open loop

## (2) การออกแบบระบบควบคุม (Controller) สำหรับระบบดังเดีวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่น

ตัวควบคุมที่ใช้กับระบบระบบดังเดีวที่มีปฏิกิริยากับถังอื่นจะเป็นแบบ PI ซึ่งสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



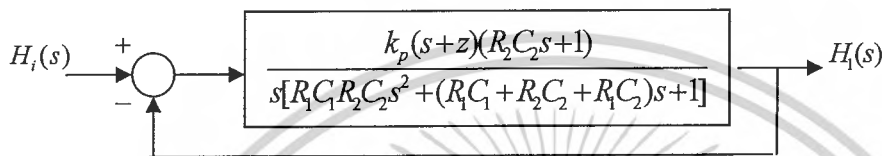
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมระดับนำแบบถึงเดี่ยวยที่มีปฏิกิริยาต่อถั่งอื่น

ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบ PI เป็นดังนี้

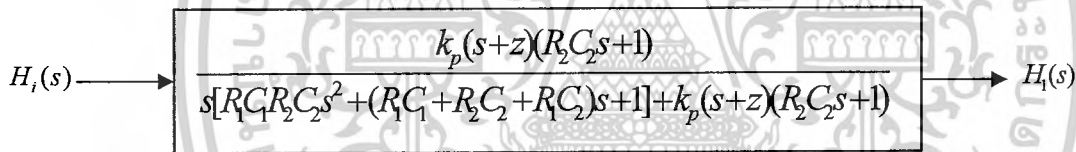
$$G_c(s) = \frac{k_p(s+z)}{s}, \text{ เมื่อ } z = \frac{k_i}{k_p}$$

เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมใหม่ได้ดังนี้



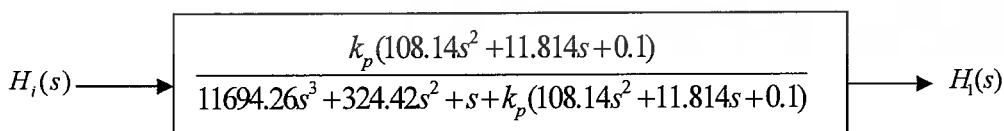
รูปที่ 4.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลังการใส่ระบบควบคุมแบบ PI

ทำการยุบบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.26 เพื่อให้เป็น Open loop ได้ดังนี้



รูปที่ 4.27 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุม PI เป็นแบบ Open loop

จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากการยุบบล็อก ค่า  $Z$  เป็นอัตราส่วนของ  $k_i/k_p$  และเป็นตำแหน่งของ Zero ของระบบด้วย และในการออกแบบระบบนี้จะทำการออกแบบให้ ค่า  $k_p$  มีค่าเป็น 10 เท่าของ  $k_i$  ซึ่งจะได้ค่า  $Z$  เท่ากับ 0.1 เมื่อนำค่า  $Z$  และค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้องไปแทนจะได้ดังนี้



รูปที่ 4.28 บล็อกไดอะแกรมเมื่อแทนค่า R, C และ Zero

ต่อไปก็ทำการออกแบบหาค่า  $k_p$  โดยวิธี Root Locus ด้วยโปรแกรม MATLAB ผ่านสมการ

Characteristic Equation ซึ่งในที่นี้ก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

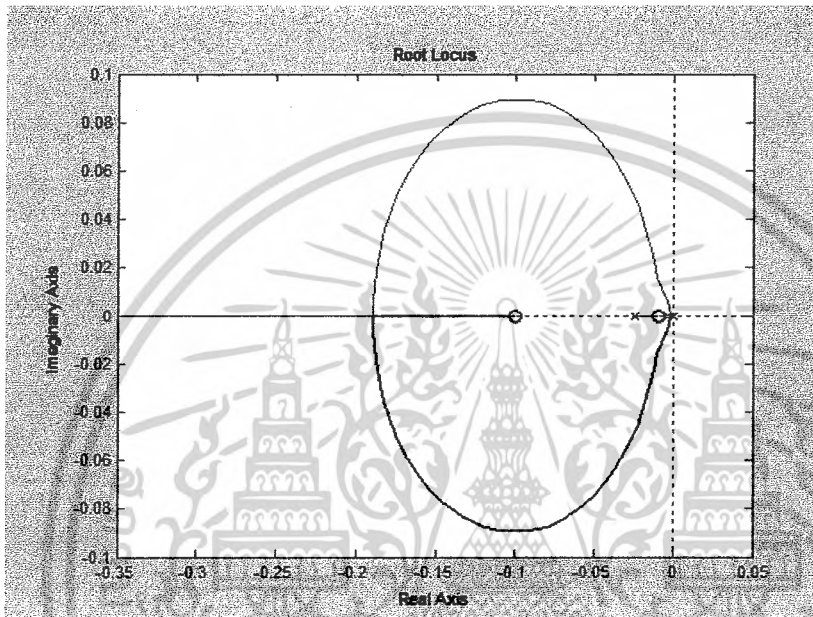
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$11694.26s^3 + 324.42s^2 + s + k_p(108.14s^2 + 11.814s + 0.1) = 0 \quad (4.12)$$

เขียนให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$1 + k_p \frac{(108.14s^2 + 11.814s + 0.1)}{11694.26s^3 + 324.42s^2 + s} = 0 \quad (4.13)$$

จากสมการสามารถนำไปหาค่าตำแหน่งโพลและซีโรด้วยวิธี Root locus โดยโปรแกรม MATLAB ได้ ดังรูป 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงเดินของรากของระบบแบบดังเคียวที่มีปฏิกิริยากับสิ่งอื่น

ในการออกแบบเราสามารถค่าพารามิเตอร์อันได้แก่ ค่า Gain (K), ค่าความถี่ธรรมชาติ ( $\omega_n$ ), ค่าอัตราครน่วง ( $\zeta$ ), ค่าพุ่งเกิน (% overshoot) และตำแหน่งโพลและซีโร จากกราฟที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ได้เลย

ข้อกำหนดในการออกแบบในที่นี้คือ

ค่าพุ่งเกิน(%Overshoot) < 5%

เวลาเข้าที่(Setting time)  $T_s < 50$  วินาที

จากสมการ  $T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n}$  จะต้องทำการหาค่า  $\zeta\omega_n$  จากกราฟแล้วนำมาหาค่า  $T_s$  ซึ่งสามารถหา

ได้จากกราฟดังรูป 4.29

จากการเลือกตำแหน่งในกราฟ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือ

ตำแหน่งโพลคือ  $s_d = -0.0841 \pm 0.0882i$

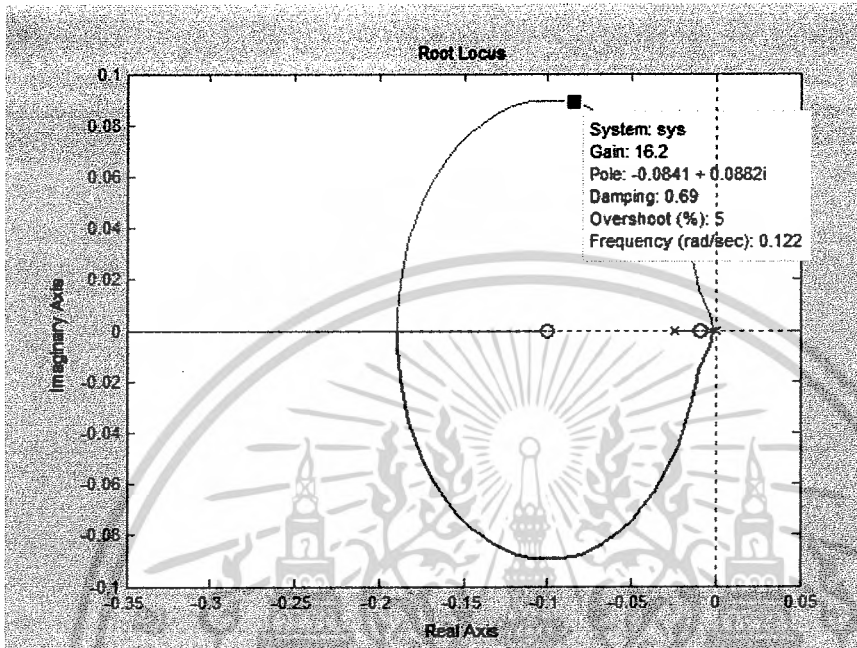
ค่าพุ่งเกิน (% Overshoot) = 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Gain ( $K_p$ ) = 16.2

ค่า  $\zeta = 0.69$ ,  $\omega_n = 0.122$  (rad/sec)

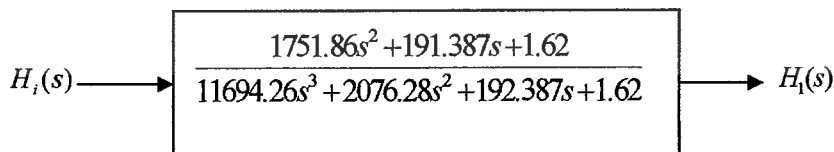
จะได้เวลาเข้าที่  $T_s = 47.5$  วินาที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขตามข้อกำหนด



รูปที่ 4.30 การเลือกหาค่าตำแหน่ง โพลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจาก Root Locus

### (3) การตอบสนองของระบบทางทฤษฎี

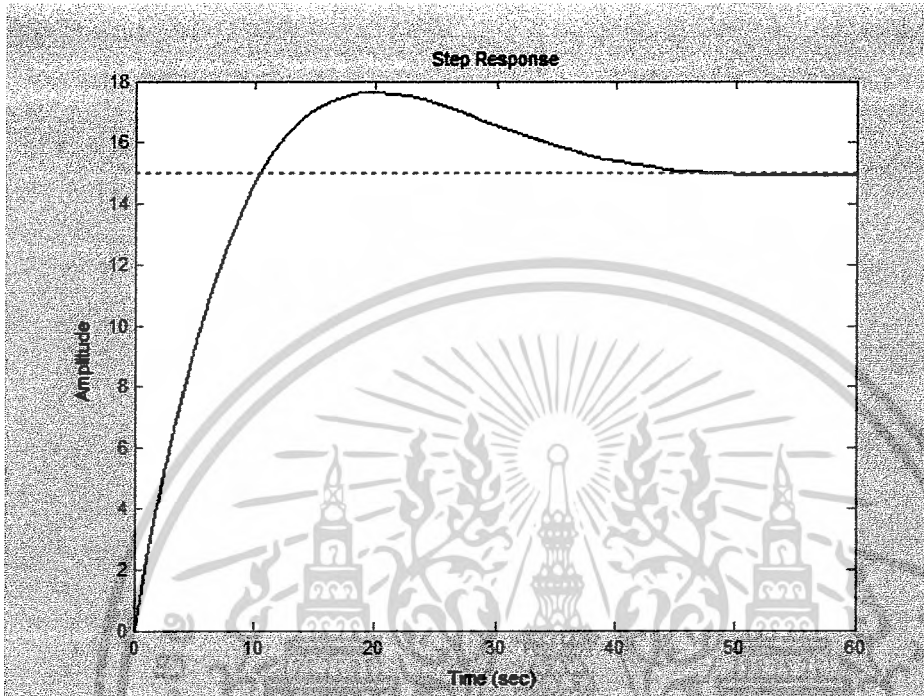
เมื่อทำการหาค่า  $k_p$  ได้เท่ากับ 16.2 ก็จะทำการแทนค่าลงในบล็อกไดอะแกรมที่แสดง ฟังก์ชันถ่ายโอนดังรูป



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของ  $H_1(s)$  กับ  $H_2(s)$  เมื่อแทนค่า  $k_p$  แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมในรูป 4.31 สามารถหาการตอบสนองของ Out put ทางทฤษฎีที่เป็น ความสูงของระดับน้ำในถังที่  $H_1(s)$  ต่อ Input ที่เป็นความสูงที่ต้องการ  $H_i(s)$  ที่เป็น Step input ที่ ความสูง 15cm เมื่อมีการใช้ระบบควบคุมแบบ PI โดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ดังรูป 4.32

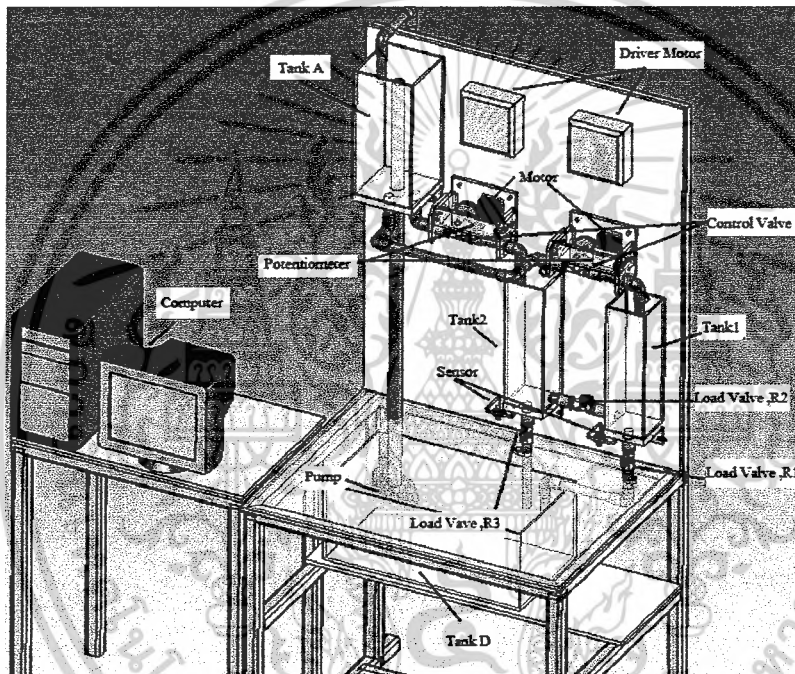


รูปที่ 4.32 ผลการตอบสนองทางทฤษฎีของระดับความสูง  $H(s)$  ต่อ Step input  $H_i(s)$  ที่ 15cm ของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบ PI

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

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

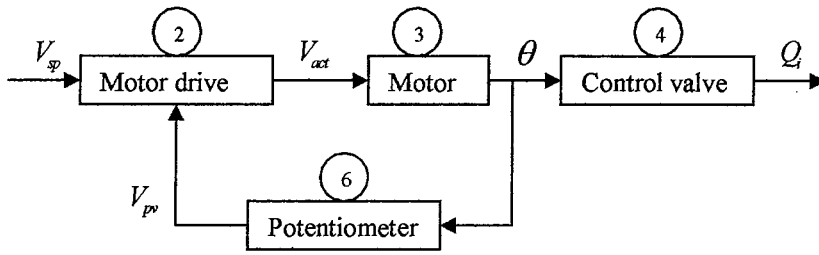


รูปที่ 5.1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ

### 5.1 ผลการทดลองชุดวาล์วควบคุม (Control Valve)

การทดลองของวาล์วควบคุมก็เพื่อหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังน้ำ  $Q_i$  กับแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  ที่ถูกป้อนให้กับมอเตอร์ไครฟ์ดังในรูปที่ 5.2 เพื่อที่จะนำไปเป็นความสัมพันธ์ในการเขียน โปรแกรมควบคุมในLabVIEW ในส่วนของการแปลงค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราการไหลดังในหัวข้อที่ 3.1.2 การออกแบบส่วนการควบคุมระบบ ในส่วนการทำงานคอมพิวเตอร์ในบทที่ 2 ที่ได้กล่าวไว้แล้ว

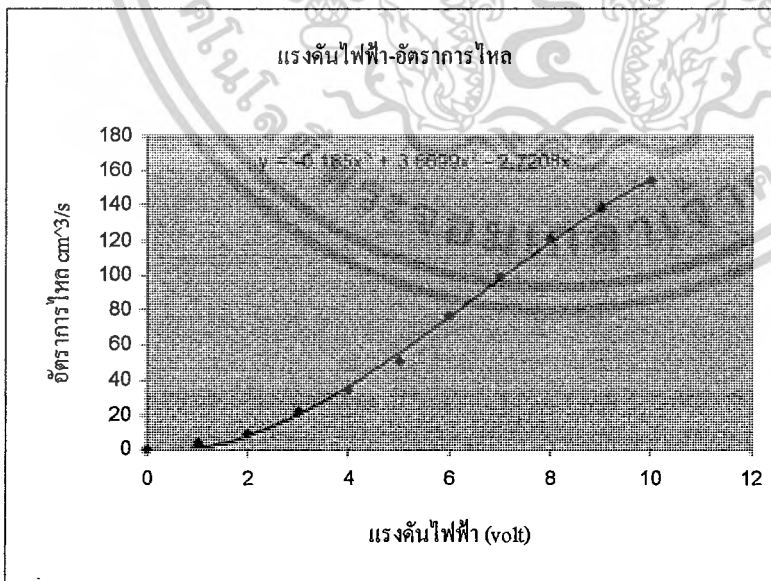
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมวาล์ว

การทดลองในส่วนของวาล์วควบคุมจะเป็นการทดสอบคุณลักษณะของวาล์ว โดยการ ทำงานของวาล์วนั้น จะสั่งแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันที่มาจาก Potentiometer  $V_{pv}$  แล้วจะทำการประมวลผลสัญญาณแรงดันผ่านตัวควบคุมในวงจร PID จากนั้นก็จะผ่านตัวขยาย กระแสเพื่อใช้ในการขับมอเตอร์ แล้วมอเตอร์ก็จะทำการหมุนวาล์วไปที่ตำแหน่งมุมต่างๆ ทำให้น้ำ ไหล โดยจะทำการป้อนแรงดัน  $V_{sp}$  ที่ค่าตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ แล้วจะทำการวัดอัตราการ ไหล  $Q_i$  ที่ค่าแรงดันนั้นๆ จากนั้นจะได้ข้อมูลผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  กับ อัตราการ ไหล  $Q_i$  แล้วนำมาเขียนกราฟได้ดังรูป 5.3

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอัตราการไหลแล้ว ผลการทดลองนี้จะนำมาเป็น ข้อมูลเพื่อใช้ในการทดลองเพื่อควบคุมการไหลจากแรงดันแรงดัน ไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ โดยการสั่ง แรงดัน ไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ แล้วให้ผลออกมาเป็นการไหลที่ค่าต่างๆตามความสัมพันธ์ตามมา



รูป 5.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ไฟฟ้ากับและอัตราการไหล

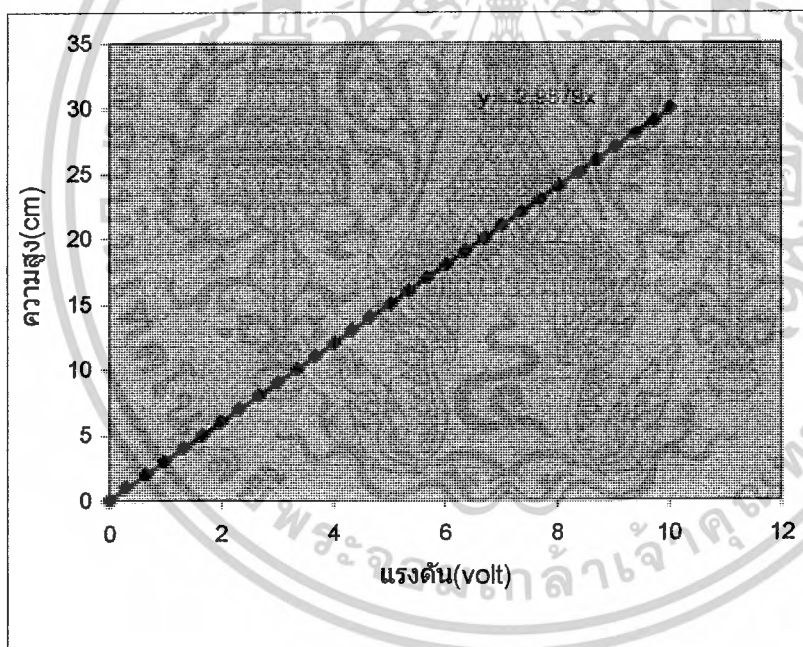
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

การทดลองการวัดระดับน้ำนั้นก็เพื่อที่จะดูความสัมพันธ์ของความสูง และแรงดันที่ส่งออกมาจากตัวเซนเซอร์ซึ่งได้ทำการปรับค่าที่ตำแหน่งความสูง 0 เซนติเมตรให้มีแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ และที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร ให้มีค่าแรงดัน 10 โวลต์ จากนั้นก็จะทำการปรับตำแหน่งความสูงของระดับน้ำโดยเริ่มจาก 0 เซนติเมตรแล้ววัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งนี้ จากนั้นก็ปรับเพิ่มไปที่ละ 1 เซนติเมตร จนครบ 30 เซนติเมตร ซึ่งได้ผลการทดลองแล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นลักษณะเชิงเส้น โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$\text{ความสูง(H)} = 2.9879 \times \text{แรงดันไฟฟ้า (V)}$$

โดยความสัมพันธ์นี้จะใช้ในการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่คอมพิวเตอร์รับมาจากเซนเซอร์แล้วแปลงไปเป็นความสูงเพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมในLabVIEW

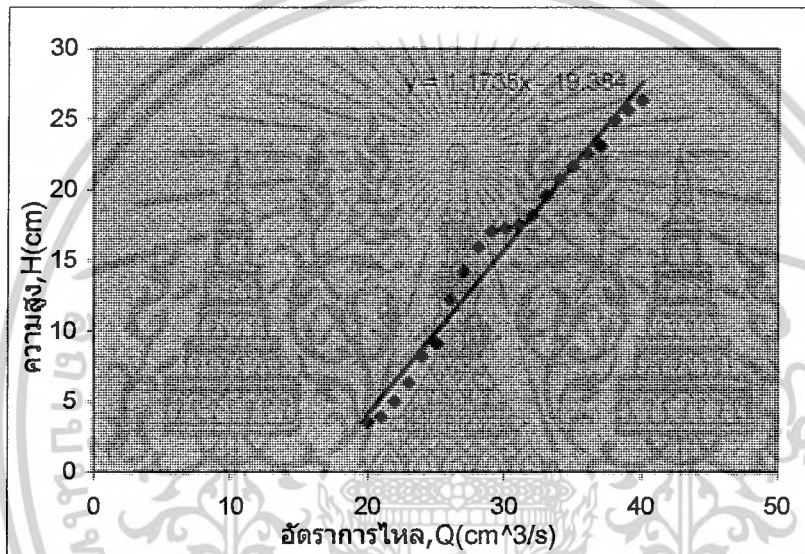


รูปที่ 5.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความสูงของระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ผลการทดลองไหลควาล้ว

ไหลควาล้วในที่นี้ก็คือวาล้วส่วนที่อยู่ทางด้านน้ำไหลออกจากแท็งก์น้ำตามรูป 5.1 ได้แก่  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  แต่ที่ใช้ในการทดลองใช้แค่  $R_1$  และ  $R_2$  ซึ่งไหลควาล้วจะทำหน้าที่ในการต้านการไหลของน้ำหรือมีหรือมีคุณสมบัติความต้านทานการไหล โดยการทดลองนี้จะทำการหาความต้านทานการไหลของ  $R_1$  โดยการปรับวาล้วไปที่ตำแหน่ง 45 องศา แล้วทำการทดลองโดยการตั้งอัตราการไหลที่ค่าต่างๆจากแรงดัน แล้วหาระดับความสูงของน้ำที่อยู่ในสถานะคงที่โดยผลการทดลองนั้นสามารถเขียนกราฟได้ดังในรูป 5.4



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูงของน้ำที่สถานะคงที่

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความสูงคงสมการ

$$R = \frac{dH}{dQ}$$

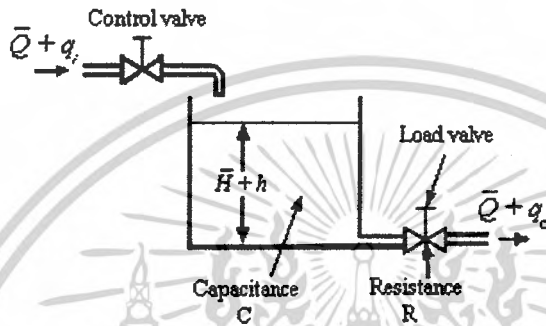
จากรูปที่ 5.5 ค่าความชันของกราฟคือค่าความต้านทานการไหล  $R_1$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.1735 \text{ s/cm}^2$  และค่าความต้านทานนี้จะนำไปใช้ในฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบน้ำ ส่วนค่าความต้านทานของวาล้ว  $R_2$  นั้นจะประมาณให้มีค่าเท่ากับ  $R_1$  เนื่องจากว่าถ้าต้องการทดสอบหา  $R_2$  โดยตรงนั้นจะต้องปิดวาล้วที่  $R_1$  ทำให้เมื่อปรับวาล้วเพื่อมาตำแหน่งเดิมอาจคลาดเคลื่อนได้ เพื่อง่ายแก่การทดลอง จะทำการปรับตำแหน่งวาล้ว  $R_2$  ไปที่ 45 องศา เท่ากันกับ  $R_1$

### 5.4 ผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอะแกรมการทำของระบบควบคุมระดับน้ำนั้นเป็นดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 แล้ว ซึ่งในการทดลองนั้นจะทดลองระบบควบคุมระดับน้ำด้วยกันอยู่สองแบบ กล่าวคือ การควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่นและการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น

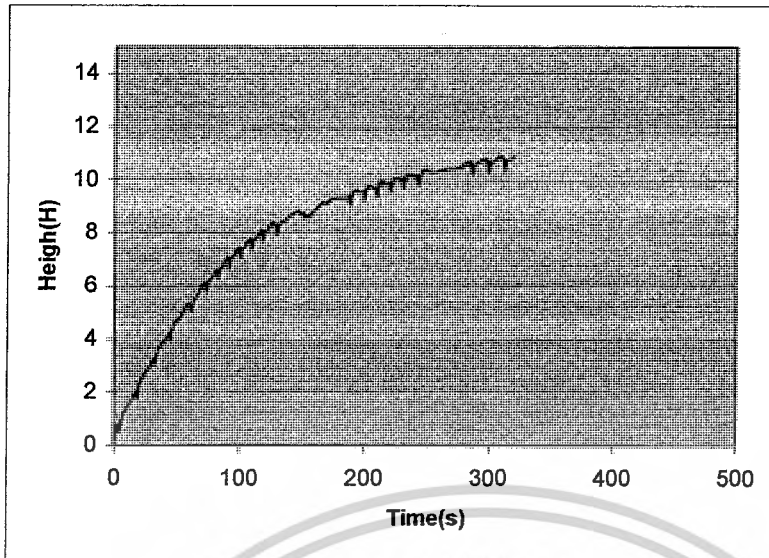
#### 5.4.1 ผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อถังอื่น



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะระบบการควบคุมแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่น

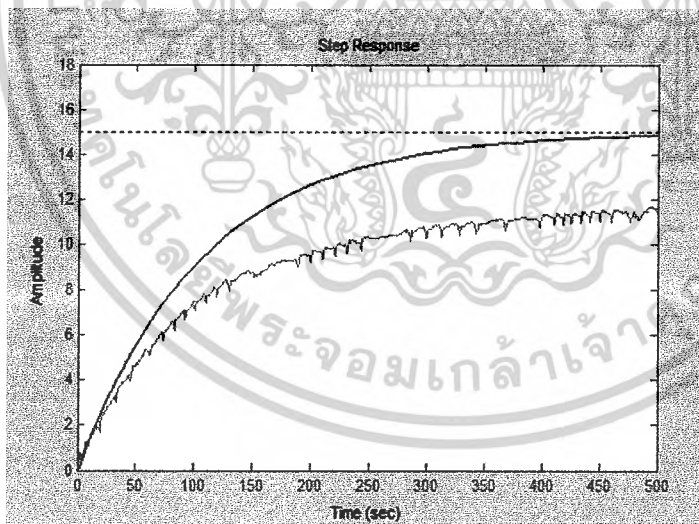
##### (1) การทดลองแบบระบบเปิด (open loop)

การทดลองแบบ Open loop เป็นการทดลองที่ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ จากการทดลองการตอบสนองของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบ Open loop ผลการทดลองที่ได้มีลักษณะดังรูป 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟการทดลองการตอบสนองต่อ step input ที่ความสูง 15 cm ของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบไม่มีตัวควบคุม

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทฤษฎีในบทที่ 4 และผลการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิกิริยากับถังอื่นแบบระบบเปิด

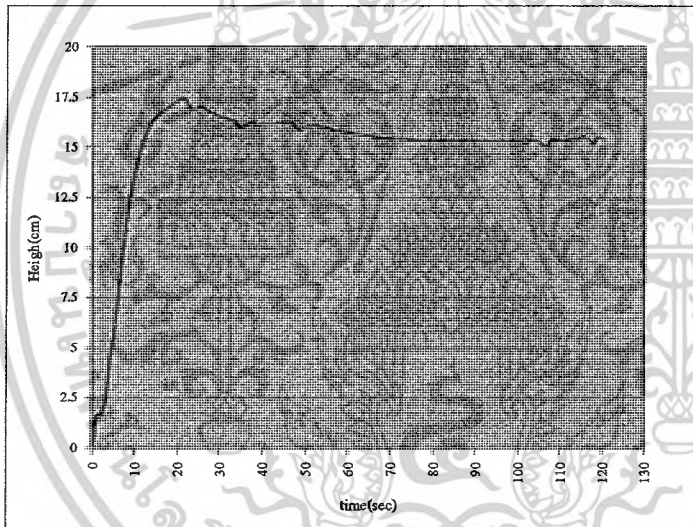
ซึ่งจากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าที่สถานะคงตัวของความสูงที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี อาจเนื่องมาจากตัวแปรที่มีค่าไม่แน่นอน ได้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ค่าความต้านทานของไหลควาล์ว  $R_f$  ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.3 ที่มีค่าเท่ากับ  $1.1735 \text{ s/cm}^2$  ซึ่งได้การประมาณความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งอาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เมื่อนำค่า  $R_f$  ไปแทนค่าในบล็อกไดอะแกรมต่างๆ จะทำให้ความสัมพันธ์นั้นคลาดเคลื่อนได้

2 ค่าความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  ที่ป้อนให้กับชุดควบคุมวาล์วกับอัตราการไหล  $Q_i$  ของน้ำเข้าแท็งก์ที่ได้จากการทดลองที่ 5.1 อาจมีความคลาดเคลื่อนเพราะความสัมพันธ์ที่ได้นั้นมาจากการประมาณค่าความสัมพันธ์เชิงตัวเลข(Least square regression)

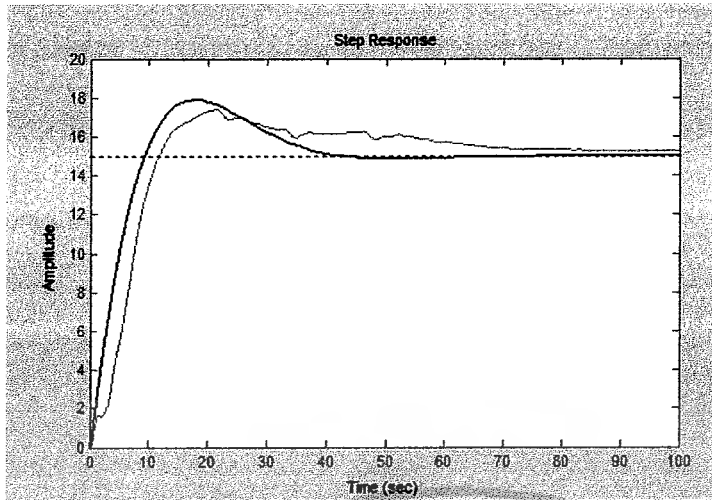
### การทดลองแบบป้อนกลับ (Feed back control)

เป็นการทดลองที่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI มาใช้ในการควบคุมระบบ ลักษณะการโดยการตอบสนองที่ได้จากการทดลองต่อ Step input ที่ความสูง 15 เซนติเมตรของระบบจริงเป็นดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงกราฟการทดลองลักษณะการตอบสนองต่อ Step input ที่ 15 เซนติเมตร ของระบบดังเคียวที่ไม่มีกิริยากับถังอื่นแบบใช้การควบคุมแบบ PI

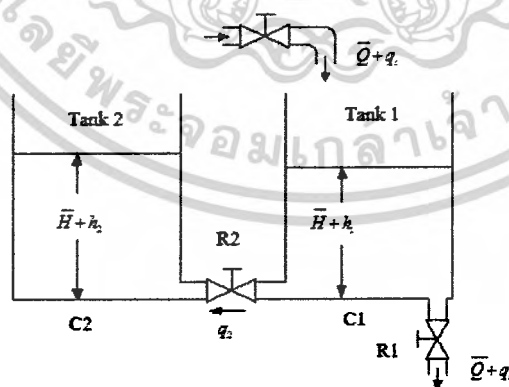
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทฤษฎีในบทที่ 4 และผลการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบดังเดียวที่ไม่มีปฏิริยากับถังอื่นที่มีระบบควบคุมแบบ PI

จากกราฟในรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลองทางทฤษฎี และแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวควบคุมแบบ PI นั้นมีประสิทธิภาพต่อควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการเป็นอย่างดี เมื่อ ส่วนสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยของผลการทดลองเหมือนกันกับสาเหตุจากการทดลองแบบ Open loop ที่ได้กล่าวไว้แล้ว

#### 5.4.2 ผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวแบบที่มีปฏิริยาต่อถังอื่น

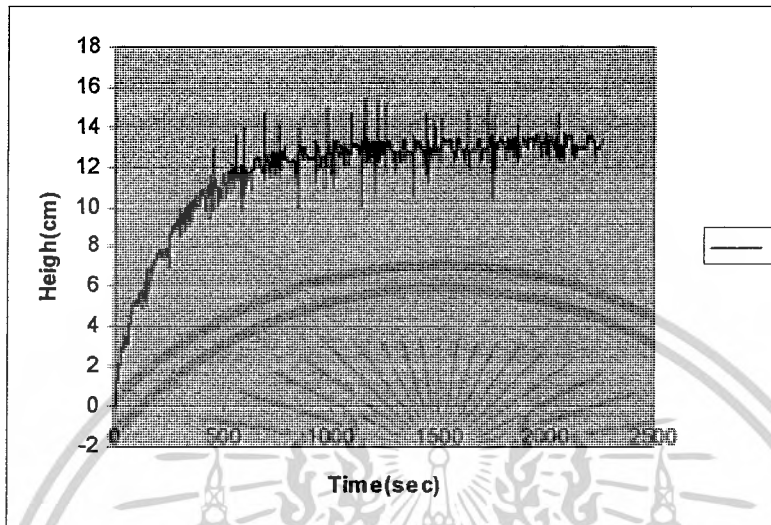


รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะระบบการควบคุมแบบถังเดียวที่มีปฏิริยากับถังอื่น

#### (1) การทดลองแบบระบบเปิด (open loop)

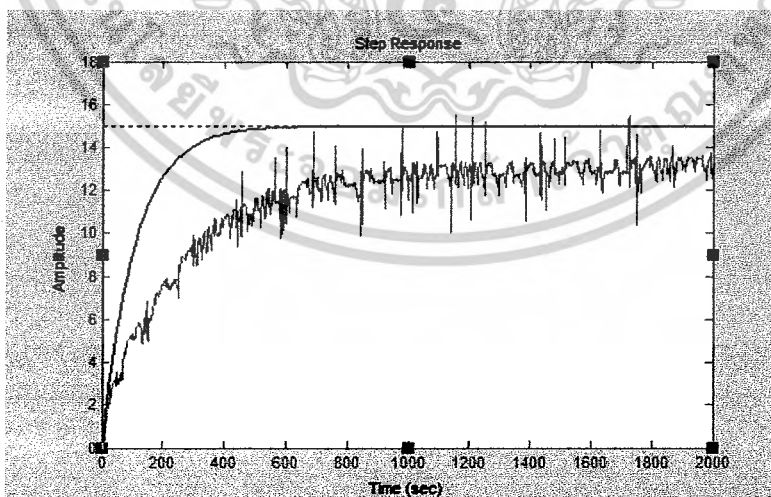
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองการตอบสนองของระบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยากับดังอื่น ผลการทดลองที่ได้มีลักษณะดังรูป 5.12 ซึ่งจะพบว่ามีความถี่ธรรมชาติที่ต่ำกว่ามาก



รูปที่ 5.12 แสดงกราฟการตอบสนองต่อ Step input ที่ความสูง 15cm ที่ได้จากการทดลองของระบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยากับดังอื่น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองทางทฤษฎีในบทที่ 4 มีลักษณะดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบดั้งเดิมที่มีปฏิกิริยากับดังอื่นแบบระบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 5.15 จะพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองมีความสูงที่สภาวะคงตัวต่ำกว่า ความสูงที่สภาวะคงตัวของแบบจำลองทางทฤษฎี อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

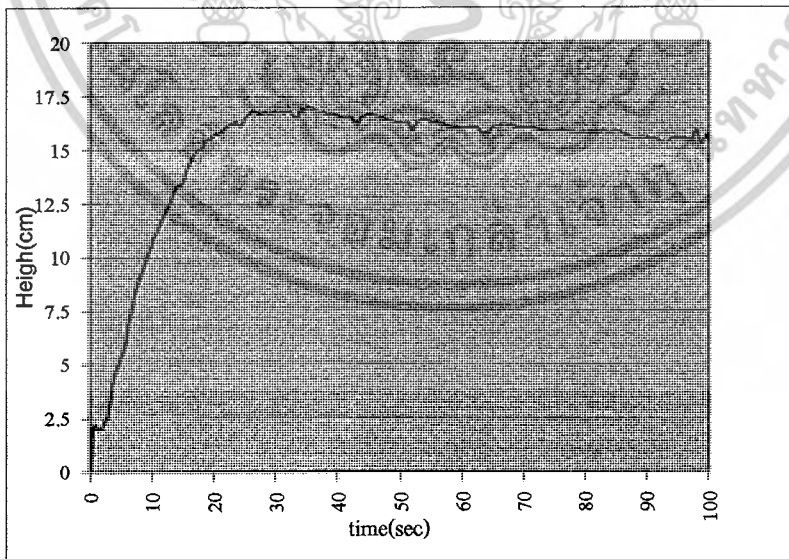
1 ค่าความต้านทานของไหลควาล์ว  $R_1$  ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.3 ที่มีค่าเท่ากับ  $1.1735 \text{ s/cm}^2$  ซึ่งได้การประมาณความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งอาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เมื่อนำค่า  $R_1$  ไปแทนค่าในบล็อกไดอะแกรมต่างๆ จะทำให้ความสัมพันธ์นั้นคลาดเคลื่อนได้

2 ค่าความต้านทานของไหลควาล์ว  $R_2$  นั้นถูกประมาณค่าให้มีค่าเท่ากับ  $R_1$  ซึ่งความคลาดเคลื่อนจากค่าที่แท้จริงเป็นไปได้สูง เมื่อนำค่า  $R_2$  ไปแทนค่าในบล็อกไดอะแกรมต่างๆ จะทำให้ความสัมพันธ์นั้นคลาดเคลื่อนได้

3 ค่าความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  ที่ป้อนให้กับชุดควบคุมวาล์วกับอัตราการไหล  $Q_i$  ของน้ำเข้าแท็งก์ที่ได้จากการทดลองที่ 5.1 อาจมีความคลาดเคลื่อนเพราะความสัมพันธ์ที่ได้นั้นมาจากการประมาณค่าความสัมพันธ์เชิงตัวเลข (Least square regression) จากข้อมูลที่เป็นจุด

## (2) การทดลองแบบป้อนกลับ (feed back control)

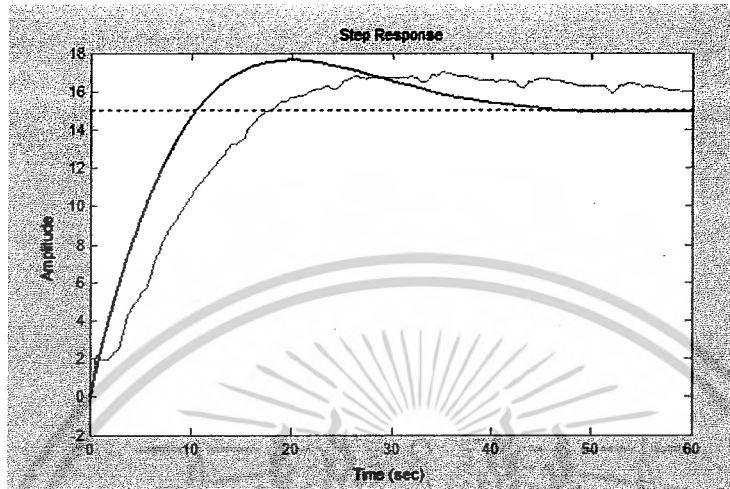
การทดลองแบบป้อนกลับ โดยใช้ระบบควบคุมแบบ PI ของระบบถังเดียวที่มีปฏิกริยากับ ถังอื่นลักษณะการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเป็นดังรูป 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงกราฟทดลองการตอบสนองต่อ Step input ของระบบถังเดียว ที่มีปฏิกริยากับถังอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตอบสนองทางทฤษฎีในบทที่ 4 และผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากทฤษฎีต่อการตอบสนองของระบบถึงเคียวที่มีปฏิกิริยากับถึงอื่นที่มีระบบควบคุมแบบ PI

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางทฤษฎีตามรูปที่ 5.17 จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันแต่ว่าการตอบสนองจากการทดลองช้ากว่าทางทฤษฎีอาจเนื่องมาจากการใช้ตัวกรองสัญญาณที่กรองสัญญาณรบกวนออก แต่ที่แสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวควบคุมแบบ PI นั้นจะทำให้ระบบมีการตอบสนองที่ดีขึ้นจากระบบเดิมที่เป็นแบบระบบเปิด ส่วนสาเหตุของความคลาดเคลื่อนนั้นของผลการทดลองเหมือนกันกับสาเหตุจากการทดลองแบบ Open loop ที่ได้กล่าวไว้แล้ว

## บทที่ 6

### สรุปผลการดำเนินงานและแนวทางในการพัฒนา

ในการดำเนินงาน โครงการออกแบบและสร้างระบบควบคุมระดับน้ำด้วยวิธีพีไอ ได้ทำการสร้างชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ โดยกำหนดให้มีการควบคุมวาล์วเฉพาะที่ทางเข้า ส่วนวาล์วในทางออกจะเป็นไหลควาล์ว ที่สามารถปรับมุมมองขาของการเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระบบ

ทั้งในแง่ของเวลาที่ระบบใช้ในการรักษาสมดุลของระดับน้ำ และระดับน้ำสูงสุดที่จะสามารถตอบสนองต่อคำสั่งได้

ในส่วนของวาล์วควบคุม ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์หลักของ โครงการงานชิ้นนี้ได้มีการศึกษาถึงทางเลือกในการใช้วาล์วหลากหลายแบบ โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานรวมถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้จริง ทางผู้จัดทำได้เลือกที่จะสร้างวาล์วควบคุมขึ้นเองโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงมาเป็นตัวขับเคลื่อนวาล์วควบคุมดังที่ได้ให้รายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ในขณะที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำนั้นก็ได้ออกมาใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดความดันโดยดูจากความเหมาะสมในการใช้งาน เมื่อพิจารณาจากปริมาณของระดับน้ำที่ต้องการวัดในถังควบคุม ส่วนในด้านของโปรแกรมควบคุมก็ได้ใช้ โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลและควบคุมระบบ จากการที่โปรแกรมนี้นี้มีแนวคิดแบบใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ทำให้มีข้อดีตรงที่เป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและพัฒนาต่อ รวมไปถึงง่ายต่อการเชื่อมต่อข้อมูลทั้งรับเข้าและส่งออกสัญญาณต่ออุปกรณ์ภายนอก

#### 6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอ (PI, Proportional Integral) จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีคือ การทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่ไม่มีปฏิริยากับถังอื่นและการทดลองควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียวที่มีปฏิริยากับถังอื่น ซึ่งในการทดลองทั้ง 2 กรณีจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์พีไอของแต่ละกรณี ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์พีไอจะทำการหาค่าได้ด้วยวิธี LooT locus บนโปรแกรม MATLAB โดยจะทำการกำหนดค่าการพุ่งเกิน (Overshoot) และค่า Settling time หลังจากทำการหาค่าพารามิเตอร์พีไอแล้วจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์พีไอในแต่ละกรณี จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์พีไอที่ได้ป้อนลงในโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการทดลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์พีไอที่ได้จากการหาค่านั้นสามารถควบคุมระดับความสูงของน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ทั้ง 2 กรณี จากนั้นนำผลการทดลองมาทำกราฟเทียบกับกราฟทางทฤษฎีแล้วทั้ง 2 กรณี ซึ่งจากการนำกราฟที่ได้มาเทียบกับกราฟทางทฤษฎีแล้วนั้นจะเห็นว่ากราฟที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับกราฟทางทฤษฎี แต่ในการทดลองจะมีค่า Rise time และ ค่า Overshoot แตกต่างจากทางทฤษฎี อาจเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

(1) ค่าความต้านทานของโพลควอเตอร์  $R_1$  นั้นอาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง เพราะว่าการทดลองนั้นกราฟความชื้นซึ่งเป็นค่าความต้านทานประมาณให้เป็นเส้นตรงและให้มีค่าคงที่ตลอด ซึ่งในความเป็นจริงนั้นค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความสูงและอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย และค่าความต้านทานของโพลควอเตอร์  $R_2$  นั้นถูกประมาณให้มีค่าเท่ากับ  $R_1$  เมื่อนำค่าที่ได้ไปล๊อคโคะแกรมที่เป็นความสัมพันธ์ของความสูงและอัตราการไหลนั้นคลาดเคลื่อนได้

(2) เนื่องจากการควบคุมตำแหน่งวาล์วโดยมอเตอร์นั้น มอเตอร์มีการตอบสนองต่อสัญญาณเป็นแบบอันดับสอง ซึ่งมีได้มีการนำมาคำนวณด้วย มีการเกิด overshoot เล็กน้อย อาจส่งผลต่อฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

(3) ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า  $V_{sp}$  ที่ไปควบคุมวาล์วและอัตราการไหลที่เกิดจากการเปิดวาล์วนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เพราะความสัมพันธ์ที่ได้นั้นมาจากการประมาณค่าความสัมพันธ์เชิงตัวเลข (Least square regression) จากข้อมูลที่เป็นจุด

4 สัญญาณที่รับจากเซนเซอร์มีสัญญาณรบกวนสูง จึงต้องมีการใช้ตัวกรองสัญญาณ ซึ่งทำให้สัญญาณมีการหน่วง (Delay) อาจมีผลกระทบต่อารควบคุมได้

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

ไอซีเบอร์ BD139 BD140 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ต้องการนั้นมีการเสียหายได้ง่ายถ้าแรงดันจ่ายไฟให้กับทรานซิสเตอร์มีความผิดพลาด ถ้าต่อมอเตอร์ค้างไว้จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานทันทีซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีสวิทช์ที่คอยปิดเปิดสัญญาณที่ต่อไปที่มอเตอร์เพื่อป้องกันการดึงกระแสทำที่ของมอเตอร์ แต่ทางที่ดีจะต้องออกแบบวงจรให้ที่สามารถป้องกันกระแสเกินและแรงดันตกได้

สำหรับส่วนของการวัดระดับน้ำนั้น ตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดเป็นลักษณะวัดแรงดันเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ ซึ่งเมื่อวาล์วควบคุมเปิดจนสุด อัตราการไหลของน้ำจะมากจนส่งผลให้ระดับของน้ำในถังควบคุมเกิดการสั่น ซึ่งส่งผลต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปเข้าสู่โปรแกรมประมวลผล รวมไปถึงการเกิดสัญญาณรบกวนจากสถานะแวดล้อมภายนอก ทำให้ไม่สามารถวัดระดับความสูงของน้ำได้อย่างแม่นยำนัก โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นเป็นส่วนสำคัญของการคำนวณหาอัตราการไหลเข้าสู่ถังควบคุมระดับน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดค่าความผิดพลาดที่ทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมให้ระดับน้ำมีค่าตรงกับระดับที่ต้องการได้

## บรรณานุกรม

- [1] โคม ศิริศักดิ์โสภิต, สุยิร เจนจิร โหมยิต, อดุลย์ พัฒนถักดี, การควบคุมระดับของไหลในท่อสองท่อที่ต่อถึงกันโดยใช้คอมพิวเตอร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534
- [2] กิตติ ตีรเศรษฐ, พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม, พิมพ์ครั้งที่ 5, ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
- [3] รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต, สุภาพร จำปาทอง. เรียนรู้พีแอลซีด้วยตนเอง. ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2547
- [4] เจริญ เพชรภูมิ, เรียนลัด LabVIEW, ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2547
- [5] ทิมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, การออกแบบลายลงจรพิมพ์ด้วย Protel 99SE
- [6] พงษ์ ชมเชย, คู่มือภาคปฏิบัติ Protel Design Explorer 99SE
- [7] สุภัทรชัย สิงห์บาง, คู่มือการใช้งาน Protel DXP
- [8] Ogata K, System Dynamics, 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice-Hall Inc, 1998
- [9] Richard C. Dorf, Modern Control Systems, 10<sup>th</sup> Edition., Pearson Educational, Inc. 2003
- [10] Jeffrey Travis, Jim Kring, LabVIEW For Everyone, 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice Hall 2007

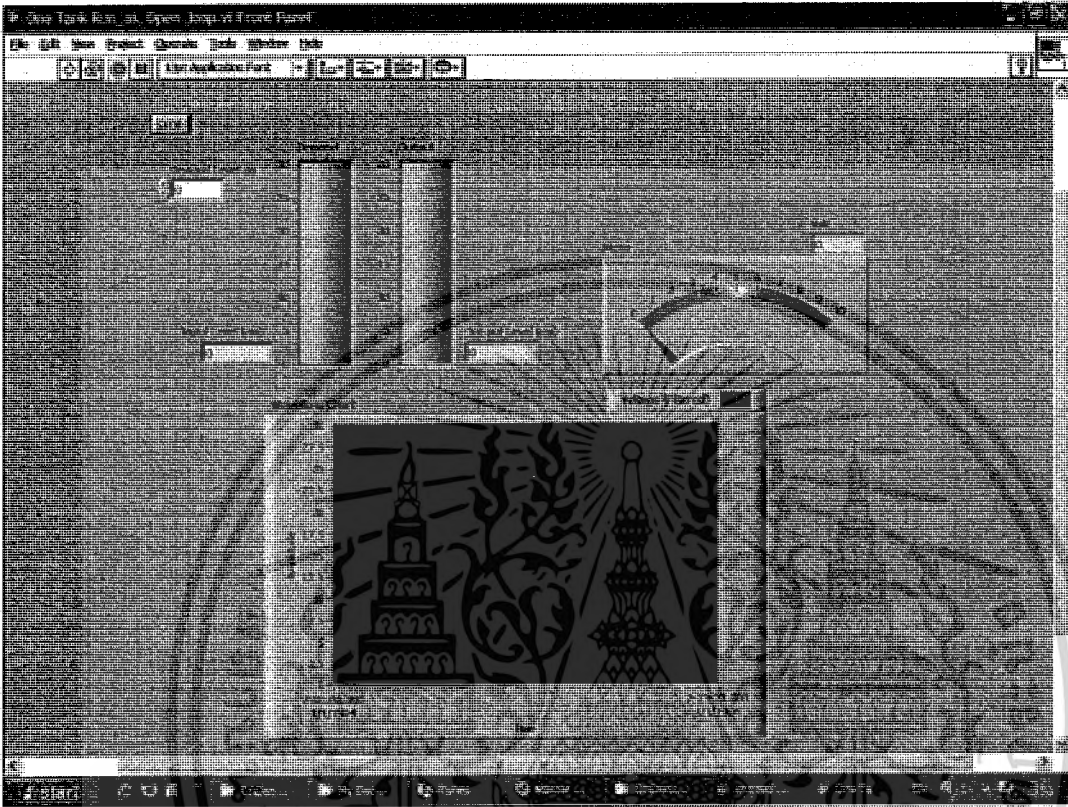
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

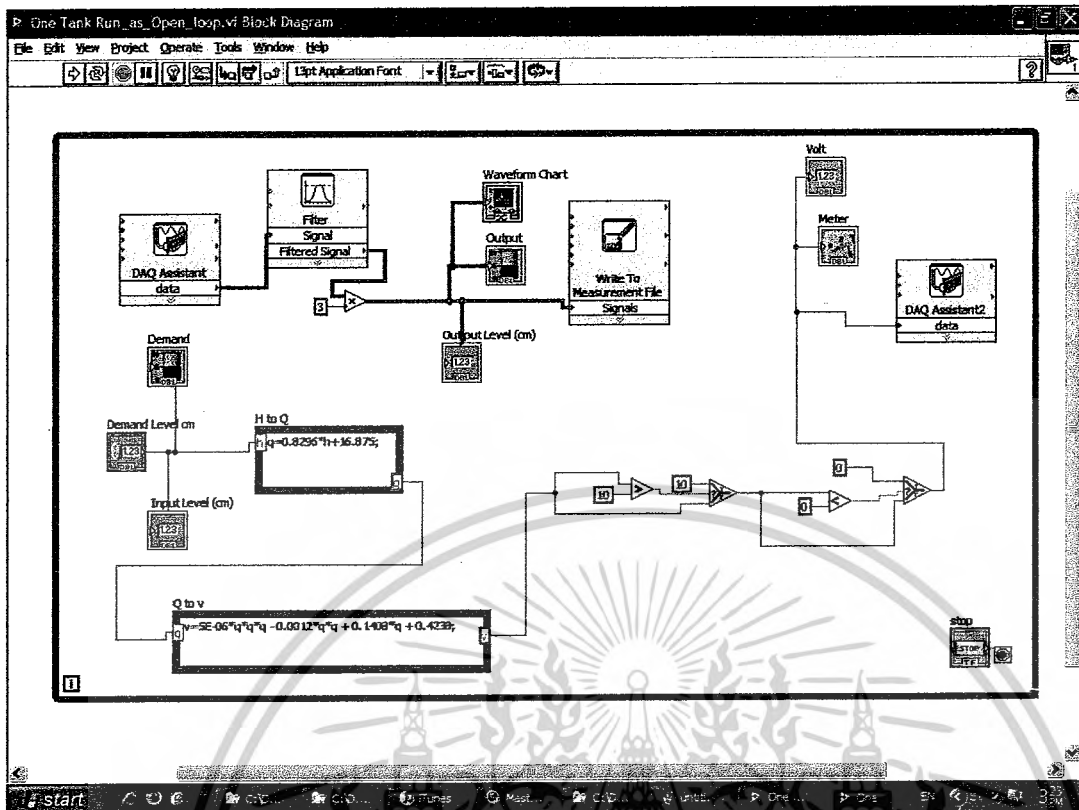
## ภาคผนวก ก

## การเขียนโปรแกรมการควบคุมโดยโปรแกรม LabVIEW



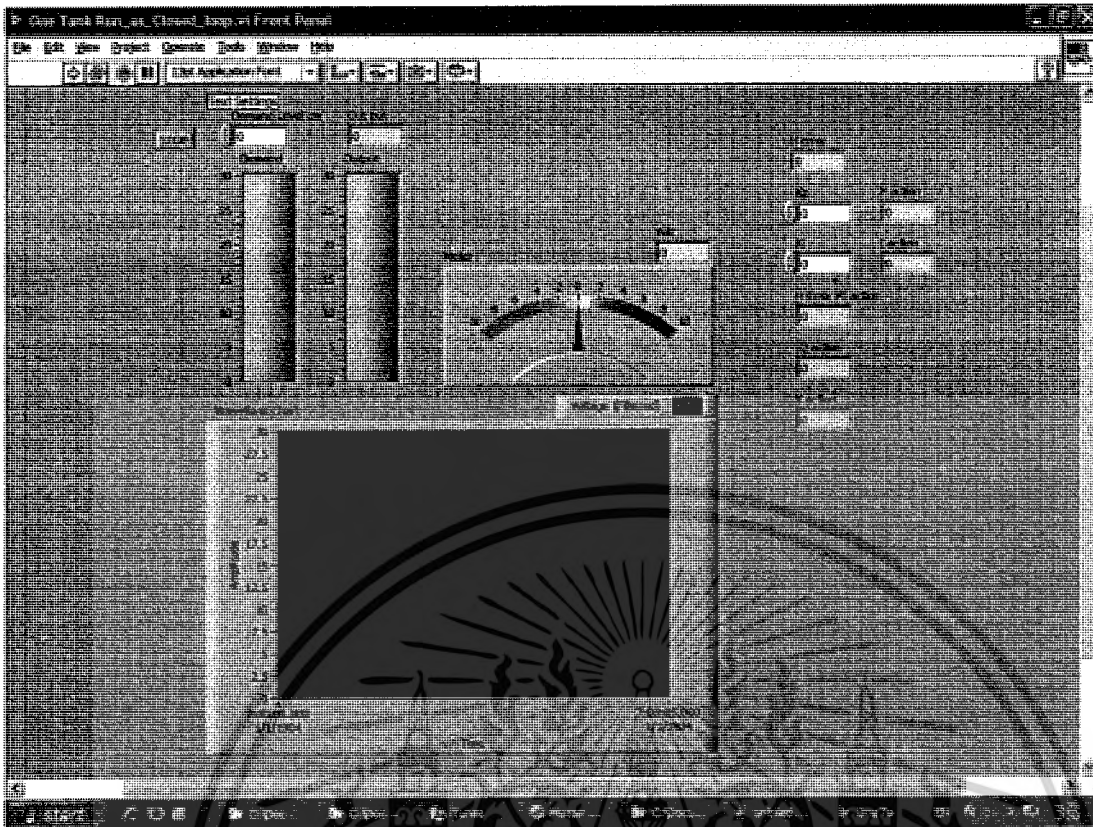
รูปที่ ก-1 แสดง Front Panel ของ โปรแกรมควบคุมแบบ Open Loop ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



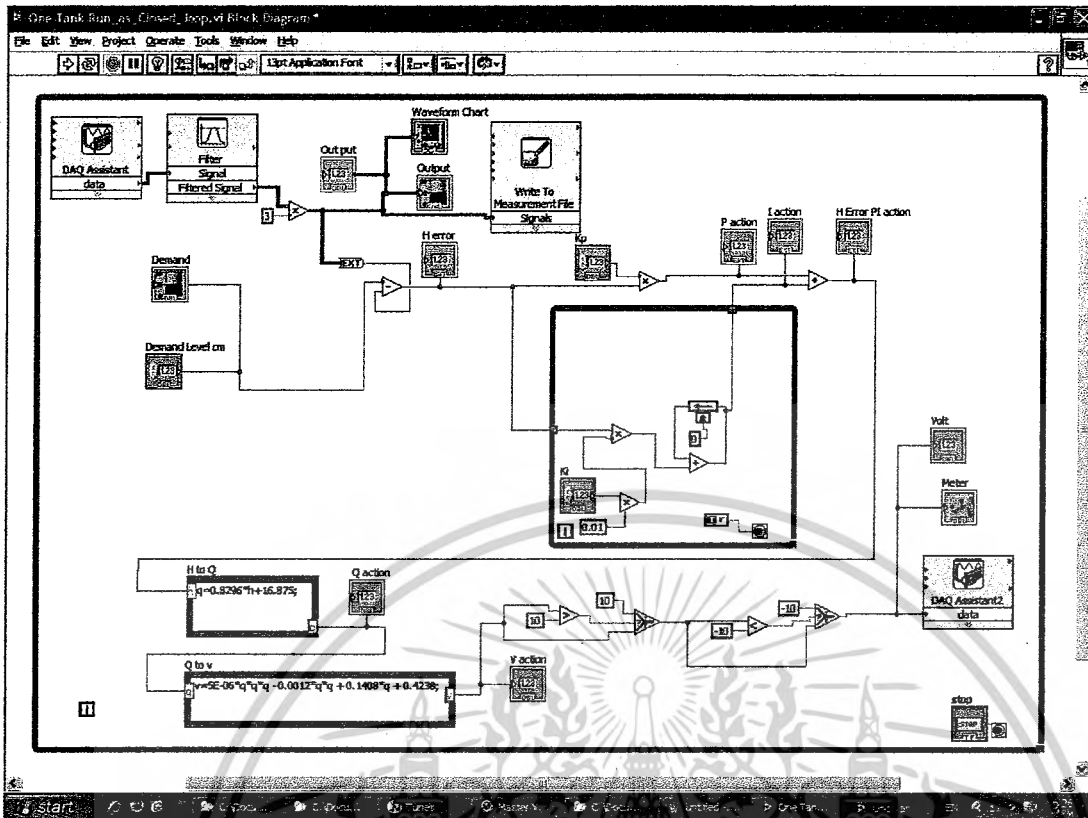
รูปที่ ก-2 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมสำหรับ Open Loop ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 แสดง Front Panel ของโปรแกรมควบคุมที่มีตัวควบคุม แบบ PI ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

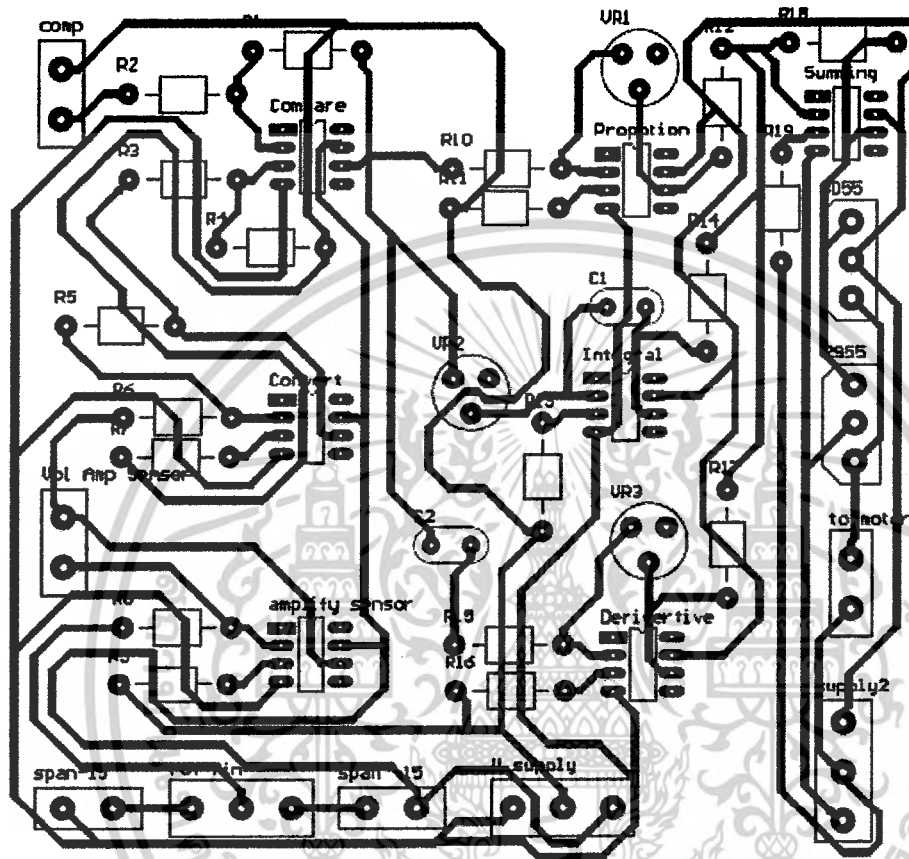


รูปที่ ก-4 แสดง Block-Diagram ของโปรแกรมควบคุมที่มีตัวควบคุม แบบ PI ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

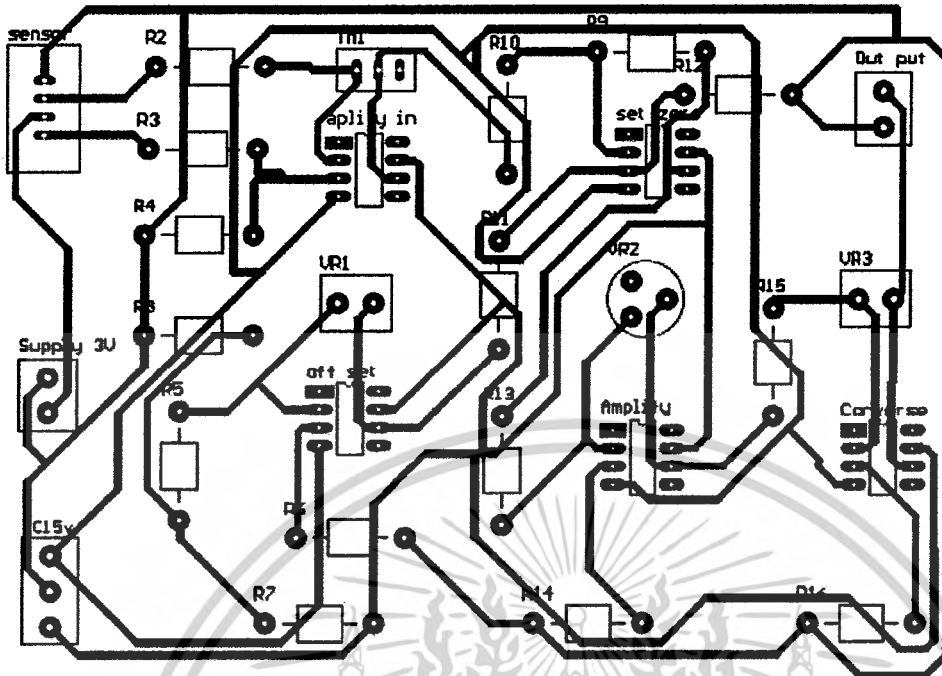
## ภาคผนวก ข

## แผนภาพแสดงสายกัดแผงวงจร



รูปที่ ข -1 แสดงสายกัดวงจรควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-2 แสดงลายกั้ววงจรขยายและปรับ zero – span ของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 10 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010/MPXV2010G series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin film resistor network integrated on each chip. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

### Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratiometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options

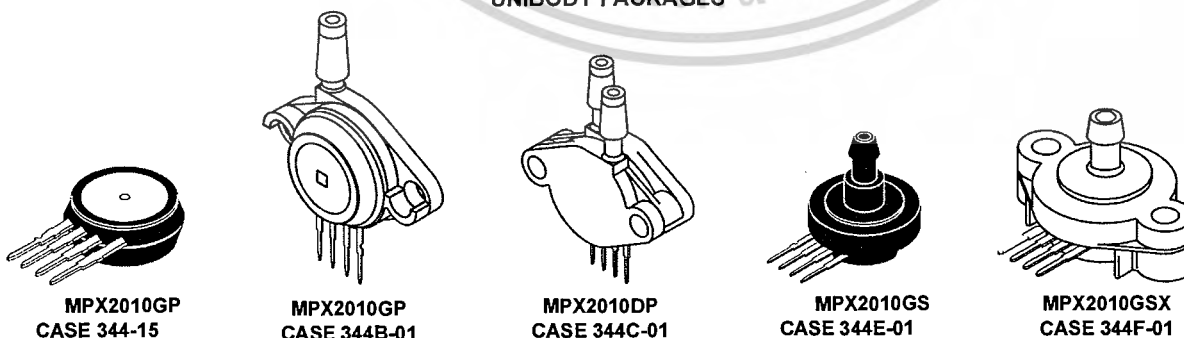
### Typical Applications

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

### ORDERING INFORMATION

Device Type	Options	Case No.	MPX Series Order No.	Packing Options	Device Marking
<b>SMALL OUTLINE PACKAGE (MPXV2010G SERIES)</b>					
Ported Elements	Gauge, Side Port, SMT	1369	MPXV2010GP	Trays	MPXV2010G
	Differential, Dual Port, SMT	1351	MPXV2010DP	Trays	MPXV2010G
<b>UNIBODY PACKAGE (MPX2010 SERIES)</b>					
Basic Element	Differential	344	MPX2010D	—	MPX2010D
Ported Elements	Differential, Dual Port	344C	MPX2010DP	—	MPX2010DP
	Gauge	344B	MPX2010GP	—	MPX2010GP
	Gauge, Axial	344E	MPX2010GS	—	MPX2010D
	Gauge, Axial PC Mount	344F	MPX2010GSX	—	MPX2010D

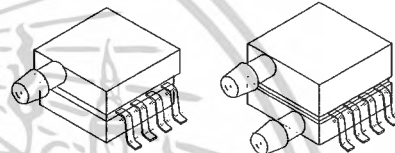
### UNIBODY PACKAGES



## MPX2010 MPXV2010G SERIES

**COMPENSATED  
 PRESSURE SENSOR**  
 0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)  
 FULL SCALE SPAN: 25 mV

### SMALL OUTLINE PACKAGES



MPXV2010GP  
 CASE 1369-01

MPXV2010DP  
 CASE 1351-01

### SMALL OUTLINE PACKAGE PIN NUMBERS

1	GND <sup>(1)</sup>	5	N/C
2	+V <sub>OUT</sub>	6	N/C
3	V <sub>S</sub>	7	N/C
4	-V <sub>OUT</sub>	8	N/C

1. Pin 1 in noted by the notch in the lead.

### UNIBODY PACKAGE PIN NUMBERS

1	GND <sup>(1)</sup>	3	V <sub>S</sub>
2	+V <sub>OUT</sub>	4	-V <sub>OUT</sub>

1. Pin 1 in noted by the notch in the lead.

# PRESSURE SENSORS

## Integrated Pressure Sensors

Product Family <sup>1</sup>	Pressure Rating Maximum (PSI)	Pressure Rating Maximum (kPa)	Pressure Rating Maximum (in H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (cm H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (mm Hg)	Full Scale Span (Typ) (Vdc)	Sensitivity (mV/kPa)	Accuracy 0°C to 85°C (% of VFSS)	Pressure Type <sup>2</sup>				
									A	D	G	V	
MPX4080	11.6	80	321	815	600	4.3	54	±3.0		*			
MPX4100	15.2	105	422	1070	788	4.6	54	±1.8	*				
MPX4101	14.8	102	410	1040	765	4.6	54	±1.8	*				
MPXH6101	14.8	102	410	1040	765	4.6	54	±1.8	*				
MPX4105	15.2	105	422	1070	788	4.6	51	±1.8	*				
MPX4115	16.7	115	462	1174	863	4.6	46	±1.5	*				
	16.7	115	462	1174	863	4.0	38	±1.5				*	
MPX6115	16.7	115	462	1174	863	4.6	46	±1.5	*				
MPX4200	29	200	803	2040	1500	4.6	26	±1.5	*				
MPX4250	36	250	1000	2550	1880	4.7	20	±1.5	*				
	36	250	1000	2550	1880	4.7	19	±1.4	*				
MPXH6250	36	250	1000	2550	1880	4.7	19	±1.5	*				
MPXV4006	0.87	6.0	24	61	45	4.6	766	±5.0	*				*
MPXV5004	0.57	4.0	16	40	29	3.9	1000	±2.5	*				*
MPX5010	1.45	10	40	102	75	4.5	450	±5.0	*				*
MPX5050	7.25	50	201	510	375	4.5	90	±2.5	*				*
MPX5100	14.5	100	401	1020	750	4.5	45	±2.5	*				*
	16.7	115	462	1174	863	4.5	45	±2.5	*				*
MPX5500	72.5	500	2000	5100	3750	4.5	9.0	±2.5	*				*
MPX5700	102	700	2810	7140	5250	4.5	6.0	±2.5	*				*
MPX5999	150	1000	4150	10546	7757	4.5	5.0	±2.5	*				*
MPXH6300	44	300	1200	3060	2250	4.7	16	±1.8	*				*
MPXH6400	60	400	1600	4000	3000	4.7	12	±1.5	*				*
MPXV7002	±0.3	±2	±8	±20	±15.2	4.5	1000	±2.5					*
MPXV7007	±1.0	±7	±28	±70	±53	4.0	286	±5.0	*				*
MPXV7025	±3.5	±25	±100	±254	±190	4.5	90	±5.0	*				*

## Compensated Pressure Sensors

Product Family <sup>1</sup>	Pressure Rating Maximum (PSI)	Pressure Rating Maximum (kPa)	Pressure Rating Maximum (in H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (cm H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (mm Hg)	Offset (mV)	Full Scale Span (Typ) (mV)	Sensitivity (mV/kPa)	Linearity Minimum (% of VFSS)	Linearity Maximum (% of VFSS)	Pressure Type <sup>2</sup>				
											A	D	G	V	
MPX2010	1.45	10	40	102	75	±1.0	25	2.5	-1.0	1.0		*			
MPX2053	7.0	50	201	510	375	±1.0	40	0.8	-0.6	0.4		*			*
MPX2102	14.5	100	400	1020	750	±2.0	40	0.4	-1.0	1.0	*				*
	14.5	100	400	1020	750	±1.0	40	0.4	-0.6	0.4		*			*
MPX2202	29	200	800	2040	1500	±1.0	40	0.2	-1.0	1.0	*				*
	29	200	800	2040	1500	±1.0	40	0.2	-0.6	0.4		*			*
MPX2050	7.0	50	201	510	375	±1.0	40	0.8	-0.3	-0.3		*			*
MPX2160	14.5	100	400	1020	750	±2.0	40	0.4	-1.0	-1.0	*				*
	14.5	100	400	1020	750	±1.0	40	0.4	-0.3	-0.3		*			*
MPX2200	29	200	800	2040	1500	±1.0	40	0.2	-1.0	-1.0	*				*
	29	200	800	2040	1500	±1.0	40	0.2	-0.3	-0.3		*			*

## Compensated Medical Grade Pressure Sensors

Product Family <sup>1</sup>	Pressure Rating Maximum (PSI)	Pressure Rating Maximum (kPa)	Pressure Rating Maximum (in H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (cm H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (mm Hg)	Supply Voltage (Typ) (Vdc)	Offset Maximum (mV)	Sensitivity (mV/kPa)	Linearity Minimum (% of VFSS)	Linearity Maximum (% of VFSS)	Pressure Type <sup>2</sup>				
											A	D	G	V	
MPXC2011	1.45	10	40	102	75	10.0	1.0	2.5	-1.0	1.0		*			
MPX2300	5.8	40	161	408	300	6.0	0.75	5.0	-2.0	2.0		*			*

## Uncompensated Pressure Sensors

Product Family	Pressure Rating Maximum (PSI)	Pressure Rating Maximum (kPa)	Pressure Rating Maximum (in H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (cm H <sub>2</sub> O)	Pressure Rating Maximum (mm Hg)	Offset (Typ) (mV)	Full Scale Span (Typ) (mV)	Sensitivity (mV/kPa)	Linearity Minimum (% of VFSS)	Linearity Maximum (% of VFSS)	Pressure Type <sup>2</sup>				
											A	D	G	V	
MPX10	1.45	10	40	102	75	20	35	3.5	-1.0	1.0		*			*
MPX12	1.45	10	40	102	75	20	55	3.5	-1.0	1.0		*			*
MPX53	7.0	50	200	510	375	20	60	1.2	-0.6	0.4		*			*

<sup>1</sup> The primary core pressure sensor families are listed above. For orderable parts, please see page 7 or [www.freescale.com/sensors](http://www.freescale.com/sensors)

<sup>2</sup> A = Absolute, D = Differential, G = Gauge, V = Vacuum, \* = Available

A change bar appears in the left margin to mark the location of new or revised information.

## NI 6221

The following sections contain information about the PCI/PXI-6221 (68-pin), PCI-6221 (37-pin), and USB-6221 devices.

### PCI/PXI-6221 (68-Pin)

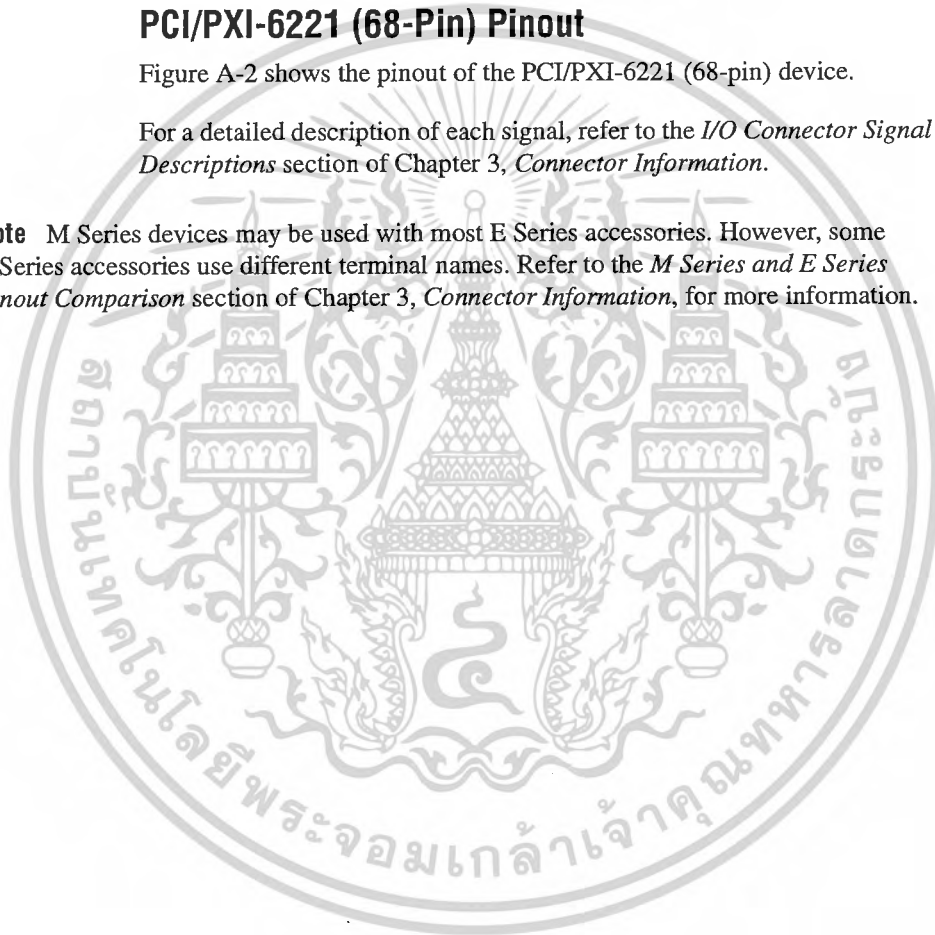
#### PCI/PXI-6221 (68-Pin) Pinout

Figure A-2 shows the pinout of the PCI/PXI-6221 (68-pin) device.

For a detailed description of each signal, refer to the *I/O Connector Signal Descriptions* section of Chapter 3, *Connector Information*.



**Note** M Series devices may be used with most E Series accessories. However, some E Series accessories use different terminal names. Refer to the *M Series and E Series Pinout Comparison* section of Chapter 3, *Connector Information*, for more information.



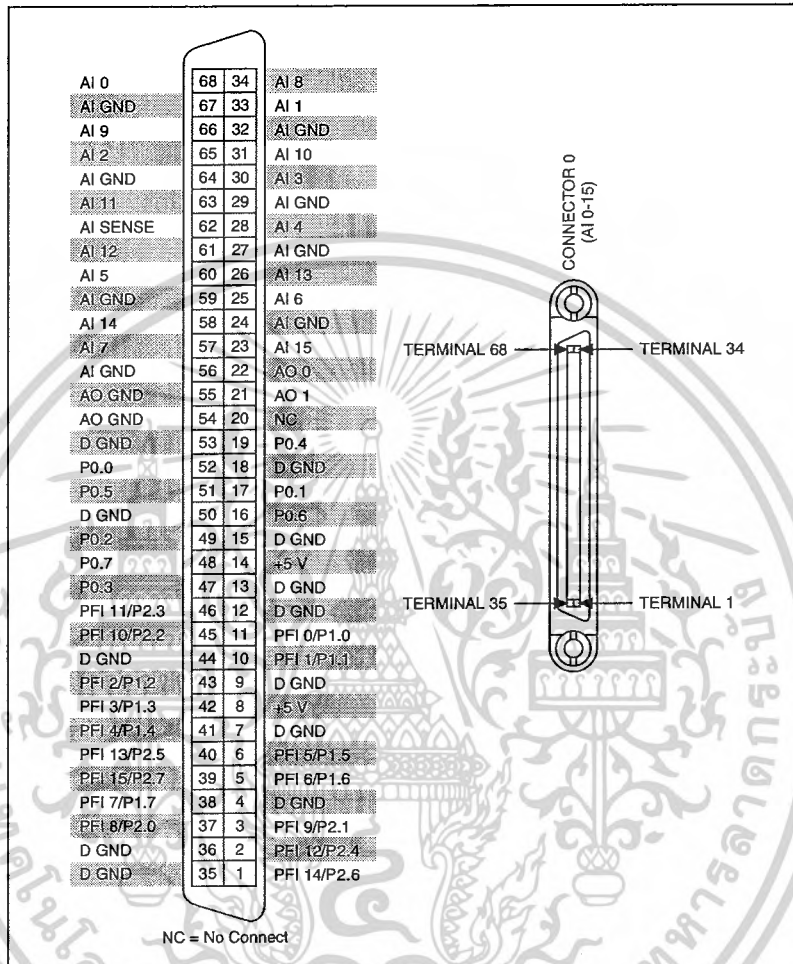


Figure A-2. PCI/PXI-6221 (68-Pin) Pinout

Table A-2. Default NI-DAQmx Counter/Timer Pins

Counter/Timer Signal	Default Pin Number (Name)
CTR 0 SRC	37 (PFI 8)
CTR 0 GATE	3 (PFI 9)
CTR 0 AUX	45 (PFI 10)
CTR 0 OUT	2 (PFI 12)
CTR 0 A	37 (PFI 8)
CTR 0 Z	3 (PFI 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table A-2.** Default NI-DAQmx Counter/Timer Pins (Continued)

Counter/Timer Signal	Default Pin Number (Name)
CTR 0 B	45 (PFI 10)
CTR 1 SRC	42 (PFI 3)
CTR 1 GATE	41 (PFI 4)
CTR 1 AUX	46 (PFI 11)
CTR 1 OUT	40 (PFI 13)
CTR 1 A	42 (PFI 3)
CTR 1 Z	41 (PFI 4)
CTR 1 B	46 (PFI 11)
FREQ OUT	1 (PFI 14)



**Note** For more information about default NI-DAQmx counter inputs, refer to *Connecting Counter Signals* in the *NI-DAQmx Help* or the *LabVIEW Help* in version 8.0 or later.

## PCI/PXI-6221 (68-Pin) Specifications

Refer to the *NI 622x Specifications* for more detailed information about the PCI/PXI-6221 (68-pin) device.

## PCI/PXI-6221 (68-Pin) Accessory and Cabling Options

This section describes some cable and accessory options for M Series devices with one 68-pin connector, such as the PCI/PXI-6221 (68-pin). Refer to [ni.com](http://ni.com) for other accessory options including new devices.

### SCXI

SCXI is a programmable signal conditioning system designed for measurement and automation applications. To connect your M Series device to an SCXI chassis, use the SCXI-1349 adapter and an SHC68-68-EPM cable.

You also can use an M Series device to control the SCXI section of a PXI/SCXI combination chassis, such as the PXI-1010 or PXI-1011. The M Series device in the rightmost PXI slot controls the SCXI devices. No cables or adapters are necessary.

Refer to the *SCXI Advisor*, available by going to [ni.com/info](http://ni.com/info) and entering the info code `rdscad`, for more information.

## SCC

SCC provides portable, modular signal conditioning to your DAQ system. To connect your M Series device to an SCC module carrier, such as the SC-2345, SC-2350, or SCC-68, use an SHC68-68-EPM shielded cable.

Refer to the *SCC Advisor*, available by going to [ni.com/info](http://ni.com/info) and entering the info code `rdscav`, for more information.

## BNC

You can use the SHC68-68-EPM shielded cable, to connect your DAQ device to BNC accessories, such as the following:

- **BNC-2110**—Provides BNC connectivity to all analog signals, some digital signals, and spring terminals for other digital signals
- **BNC-2111**—Provides BNC connectivity to 16 single-ended analog input signals, two analog output signals, five DIO/PFI signals, and the external reference voltage for analog output
- **BNC-2120**—Similar to the BNC-2110, and also has a built-in function generator, quadrature encoder, temperature reference, and thermocouple connector
- **BNC-2090**—Rack-mountable device with 22 BNCs for connecting analog, digital, and timing signals

## Screw Terminal

National Instruments offers several styles of screw terminal connector blocks. Use an SHC68-68-EPM shielded cable to connect an M Series device to a connector block, such as the following:

- CB-68LP and CB-68LPR unshielded connector blocks
- SCC-68 I/O connector block with screw terminals, general breadboard area, bus terminals, and four expansion slots for SCC signal conditioning modules
- SCB-68 shielded connector block with temperature sensor
- TBX-68 DIN rail-mountable connector block
- TB-2706 front panel mounted terminal block for PXI M Series devices

## RTSI

Use RTSI bus cables to connect timing and synchronization signals among PCI devices, such as M Series, E Series, CAN, and other measurement, vision, and motion devices. Since PXI devices use PXI backplane signals for timing and synchronization, no cables are required.

## Cables

In most applications, you can use the following cables:

- **SHC68-68-EPM**<sup>1</sup>—A high-performance cable designed specifically for M Series devices. It has individual bundles separating analog and digital signals. Each differential analog input channel is routed on an individually shielded twisted pair of wires. Analog outputs are also individually shielded.
- **SHC68-68**—A lower-cost shielded cable with 34 twisted pairs of wire
- **RC68-68**—A highly-flexible unshielded ribbon cable

## Custom Cabling and Connectivity

The CA-1000 is a configurable enclosure that gives user-defined connectivity and flexibility through customized panelettes. Visit [ni.com](http://ni.com) for more information about the CA-1000.

Refer to the *Custom Cabling* section of Chapter 2, *DAQ System Overview*, for more information about custom cabling solutions.

<sup>1</sup> NI recommends that you use the SHC68-68-EPM cable; however, an SHC68-68-EP cable will work with M Series devices.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติ<sup>1</sup>

ภาณุพงศ์ ไชยทอง<sup>2</sup>, มนัสชัย เตชะกระโทก<sup>2</sup>, วรภัทร ทีฆภาคย์วิศิษฐ์<sup>2</sup>, อุन्नัต พิณโสภณ<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นเรื่องของการควบคุมระดับของของเหลวโดยวิธีพีไอ (PI, Proportional Integral Derivative) โดยการรับรู้ระดับของของเหลวนั้นสามารถรับรู้ได้จากเซนเซอร์วัดความดันของน้ำเพื่อแปลงเป็นระดับความสูงของของเหลว และเปลี่ยนค่าระดับของของเหลวให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า สัญญาณที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนที่จะถูกส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมออกมา จากนั้นสัญญาณควบคุมก็จะถูกส่งเข้าวงจร เพื่อขยายสัญญาณและไม่ควบคุมวาล์วอัตโนมัติให้เปิดมากน้อยตามขนาดของสัญญาณ เพื่อให้ได้ระดับของของเหลวตามค่าที่เราต้องการ

### Abstract

This project presents a PI water level control system. Water level signal is transmitted from pressure sensor which converts water level to equivalent voltage signal. The computer calculates the control action according to the water level data received via the analog to digital conversion. The control action is then transmitted to the amplifier which then controls the motorized valve. The valve actuates according action to the control action signal to yield the desired water level.

© 2006 Department of Mechanical Engineering, KMUTL. All rights reserved

**Keywords:** PI; water level; level control system

### 1. บทนำ

ระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการวัด และการควบคุมเป็นหลัก โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ผลผลิตสูงสุด และคุณภาพดีที่สุดในต้นทุนต่ำที่สุด ลดการใช้พลังงานและลดจำนวนของอุปกรณ์ รวมทั้งการประหยัดวัสดุ การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตทำให้ลดการใช้แรงงานของผู้ปฏิบัติงานด้วย หลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติส่วนใหญ่จะใช้การป้อนกลับจากค่าที่วัดได้มาควบคุมกระบวนการ เรียกว่าการควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) กล่าวได้ว่าระบบควบคุมอัตโนมัติคือการควบคุมปริมาณผลผลิตของระบบให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยการอาศัยปริมาณการวัดจากผลผลิตที่ได้แล้ว นำมาเทียบเคียงกับค่าที่ต้องการโดยผ่านระบบป้อนกลับ

จากการศึกษาเบื้องต้น [1,2] พบว่าระบบควบคุมระดับน้ำเป็นระบบที่ง่ายต่อการสร้างเป็นชุดทดลอง เพราะสามารถทำการประกอบติดตั้งได้โดยง่าย อีกทั้งการเขียนสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่มีความซับซ้อนมากนัก เนื่องจากเหตุผลข้างต้นทำให้การทำแบบจำลองกับผลการทดลองจริงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเหมาะสมที่จะนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ชุดทดลองสำหรับผู้ศึกษาวิชา Automatic control เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาระบบควบคุมเบื้องต้นโดยในที่นี้เป็นระบบควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลในถังแนวตั้ง โดยการควบคุมทั้งหมด จะอยู่บนคอมพิวเตอร์ผ่านระบบควบคุมแบบพีไอ

<sup>1</sup> ชื่ออังกฤษ "Automatic water level control system"

<sup>2</sup> นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 48010669, 48010701 และ 48010766 ตามลำดับ

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล [kpumat@kmitl.ac.th](mailto:kpumat@kmitl.ac.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สัญลักษณ์**

$A$	พื้นที่หน้าตัดของวาล์ว ( $m^2$ )	$Q$	อัตราการไหลของน้ำ ( $m^3/s$ )
$g$	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m/s^2$ )	$S_p$	ค่าที่ต้องการ
$h$	ความสูงของระดับน้ำ	$\rho$	ความหนาแน่นของน้ำ ( $kg/m^3$ )
$K_D$	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative	$\theta$	ระยะแทนที่เชิงมุม (องศา)
$K_I$	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral	<b>อักษรห้อย</b>	
$K_P$	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional	$a$	ถังพักน้ำด้านบน
$N$	จำนวนฟันเฟือง (ฟัน)	1	เฟืองมอเตอร์
$P$	ความดันระดับน้ำ (kPa)	2	เฟืองวาล์ว
$P_v$	ค่าจริงที่วัดได้จากกระบวนการ	3	เฟืองตัวต้านทานปรับค่าได้

**2. วัตถุประสงค์**

- 2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำ และอัตราการไหลในถังน้ำแนวตั้ง
- 2.2 ชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Automatic control และ Mechanical measurement เพื่อให้ นักศึกษาเข้าใจในทฤษฎีมากยิ่งขึ้น

- 4.9 วาล์วขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 5 อัน
- 4.10 เฟืองขนาด 60 ฟัน จำนวน 1 ชิ้น
- 4.11 เฟืองขนาด 20 ฟัน จำนวน 1 ชิ้น
- 4.12 เฟืองขนาด 15 ฟัน จำนวน 1 ชิ้น

**3. ขอบเขตการศึกษา**

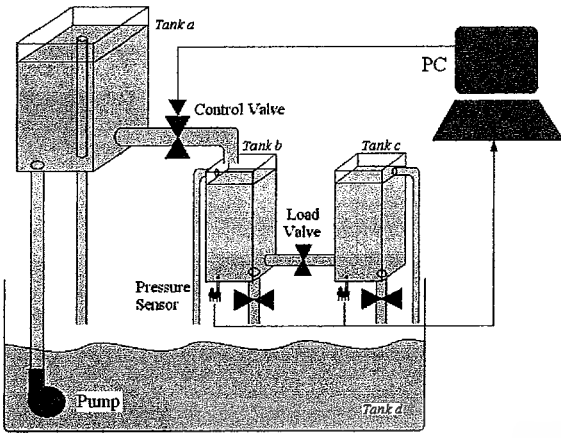
- 3.1 ระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือระบบควบคุมพีไอดี
- 3.2 ชุดทดลองนี้ออกแบบและสร้างเป็นระบบควบคุมระดับน้ำแบบถังเดียว
- 3.3 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำจะกระทำเฉพาะทางเข้าถังน้ำ โดยให้อัตราการไหลออกของน้ำในถังคงที่

กระบวนการทดลองจะเริ่มต้นเมื่อน้ำในถังเก็บน้ำถูกสูบโดยปั๊ม ขึ้นไปไว้ในถังพักน้ำ โดยจะมีรูน้ำล้นไว้ควบคุมเสถียรความดันและแรงดันของน้ำให้คงที่ น้ำจะไหลผ่านวาล์วควบคุมที่รับคำสั่งมาจากคอมพิวเตอร์แล้วไหลเข้าสู่ภาชนะบรรจุ จากนั้นจะไหลออกจากถังผ่านไหลดวาล์ว ในกรณีควบคุมถังเดียว น้ำจะไหลออกสู่ถังเก็บน้ำโดยการปิดวาล์วที่อยู่ระหว่างถังที่หนึ่งและถังที่สอง ส่วนในกรณีที่ต้องการควบคุมระดับความสูงทั้งสองถัง น้ำจะไหลออกจากถังที่หนึ่งเข้าสู่ถังที่สองผ่านไหลดวาล์วที่อยู่ระหว่างถังทั้งสอง โดยระดับของน้ำในถังทั้งสองจะถูกตรวจวัดโดยตัวรับรู้ความดันซึ่งแปรผันกับระดับความสูงของน้ำ และเนื่องจากสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณแบบอนาลอก จึงจำเป็นต้องส่งเข้าอุปกรณ์แปลงสัญญาณ A/D เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล สัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล และส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล อุปกรณ์แปลงสัญญาณ D/A จะแปลงสัญญาณกลับเป็นแบบอนาลอกเพื่อส่งเข้าอุปกรณ์ขยายสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะเป็นตัวควบคุมวาล์วให้ปิด-เปิดตามคำสั่ง เพื่อให้อัตราการไหลเป็นไปตามที่คอมพิวเตอร์ได้ประมวลผลไว้ จนระดับน้ำในถังเข้าใกล้ระดับที่กำหนด ระบบการทำงานของชุดทดลองแสดงในรูปแบบของบล็อกไดอะแกรมได้ในรูปที่ 2

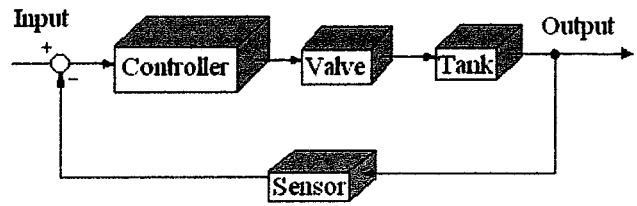
**4. ชุดทดลอง**

- ชุดทดลองดังแสดงไว้ในรูป 1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้
- 4.1 ปั๊มน้ำขนาด 2,800 ลิตรต่อชั่วโมง
  - 4.2 ถังน้ำขนาด 96 x 96 x 35 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ
  - 4.3 ถังน้ำขนาด 15 x 15 x 35 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
  - 4.4 ถังน้ำขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 1 ใบ
  - 4.5 เซนเซอร์วัดความดัน Motorola MPX 2101
  - 4.6 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ A/D และ D/A
  - 4.7 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
  - 4.8 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 2 แสดงบล็อกบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของชุดทดลอง

## 5. PID Control

โดยทั่วไประบบการทำงานแบบอัตโนมัติจำเป็นต้องมีระบบควบคุมอยู่เสมอ ระบบควบคุมแบบที่ง่ายที่สุดคือระบบควบคุมแบบ On-Off ซึ่งจะทำงานโดยส่งสัญญาณออกไปแค่ 0% และ 100% เท่านั้น ลักษณะการทำงานแบบนี้จะทำให้ระบบเกิดการแกว่งขึ้นลง (Oscillation) ถ้าต้องการควบคุมให้ระบบหยุดนิ่ง หรือเข้าสู่ภาวะสมดุล จำเป็นต้องมีตัวควบคุมที่สามารถส่งสัญญาณออกมาระหว่าง 0-100% ได้ด้วย โดยตัวควบคุมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมได้แก่ การควบคุมแบบ PID, การควบคุมแบบ Fuzzy เป็นต้น

## 6. ขั้นตอนการออกแบบชุดทดลอง

ชุดทดลองระบบควบคุมระดับน้ำโดยวิธีพีไอดี ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนของซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งส่วนของซอฟต์แวร์ คือ โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สำหรับควบคุมการทำงาน โดยรับค่าระดับความสูงของน้ำในถังที่ต้องการ และควบคุมค่าเป้าหมายให้เป็นไปตามที่ต้องการ และส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์นั้น ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ และวงจรต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4

### 6.1 ขนาดของถังน้ำ

เริ่มต้นกำหนดให้

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

และ Control Valve เมื่อเปิดมากที่สุดจะมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ

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

เมื่อใช้กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2 การหาขนาดของถังพักน้ำด้านล่าง

ปริมาตร ถัง a =  $15 \times 15 \times 30 = 6750$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง b =  $10 \times 10 \times 30 = 3000$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตร ถัง c =  $10 \times 10 \times 30 = 3000$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

รวมปริมาตรทั้ง 3 ถัง เท่ากับ 12,750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นจะเลือกใช้ขนาดของถังพัก B =  $23 \times 30 \times 60$  เซนติเมตร

ซึ่งจะให้ปริมาตร 41,400 ลูกบาศก์เซนติเมตร

### 6.3 การหาขนาดปั๊ม

กำหนดให้ เมื่อระบบเริ่มสูบน้ำเข้าสู่ถัง a จะเต็มภายในเวลา 10 วินาที และท่อน้ำล้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.5 นิ้ว

$$= 1.27 \text{ เซนติเมตร}$$

จากปริมาตรถัง a = 6750 ลูกบาศก์เซนติเมตร - ปริมาตรของท่อน้ำล้น

$$= 6750 - \left( \frac{\pi}{4} \times 1.27^2 \times 30 \right) = 6712 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_m = \frac{6712}{10} = 671.2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$= 24161/\text{hr}$$

จากสมการหาอัตราการไหล

$$Q = \sqrt{2ghA} \tag{1}$$

$$\text{และ } Q_a = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.3 \times \left( \frac{\pi}{4} \times 0.00635^2 \right)} = 7.68 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 27.71/\text{hr}$$

ดังนั้น เลือกใช้ปั๊มที่มีขนาด 2800 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีขายในท้องตลาด

### 7 วาล์วควบคุม (Control Valve)

เนื่องจากวาล์วควบคุมที่มีขายทั่วไปจะเป็นแบบ Solenoid Valve ซึ่งให้การทำงานของวาล์วเป็นแบบเปิด-ปิด (On-Off Control)

ส่วนวาล์วควบคุมที่ให้การทำงานของวาล์วเป็นแบบ PI นั้นจะมีราคาแพงมาก จึงเลือกวิธีการสร้างวาล์วควบคุมขึ้นเอง โดยใช้ Ball Valve ที่มีขาย

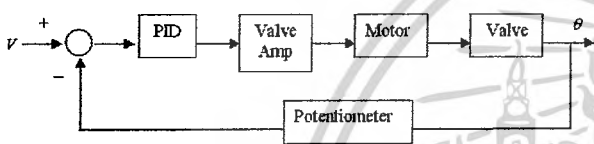
โดยทั่วไป ขนาด 1/2 นิ้ว มาสร้างเป็นวาล์วควบคุม โดยสร้างชุด Actuator ขึ้นมา ซึ่ง Actuator จะประกอบไปด้วย motor ที่ใช้ในการ

ขับเคลื่อน โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากส่วน Controller โดยจะใช้

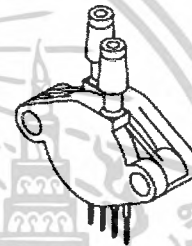
ตัวต้านทาน (Potentiometer) ซึ่งสามารถปรับค่าได้มาใช้ในการวัดตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปของวาล์ว



รูปที่ 3 แสดงชุดควบคุมวาล์วที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวาล์วควบคุม



รูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์วัดระดับน้ำที่ใช้งาน

จากบล็อกไดอะแกรมในรูป 3 วงจรที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุม จะรับค่าแรงดันไฟฟ้า 0-10V เปรียบกับแรงดันป้อนกลับจาก Potentiometer เป็นค่าผลต่าง แล้วสัญญาณจะถูกส่งไปประมวลผลในระบบควบคุมแบบ PID ในวงจรไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะส่งออกไปผ่านตัวขยายกระแสเพื่อขับมอเตอร์ มอเตอร์ก็จะหมุนวาล์วไปที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งมี Potentiometer คอยทำหน้าที่วัดตำแหน่งมุมของวาล์วแล้วให้สัญญาณออกเป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงเพื่อประมวลผลสัญญาณในการควบคุมต่อไป

### 9. ชุดอินเตอร์เฟส (Interface)

สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล และส่งสัญญาณออกไปสู่วาล์วควบคุม จะเลือกใช้ การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น เอ็มซีซีรี่ เอ็นไอ 6221 (DAQ Card M Series Multifunction NI 6221) จะใช้ร่วมกับพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น CB-68LP ซึ่งมีช่องเชื่อมต่อแบบขนานจำนวน 68 ช่อง รองรับการรับส่งสัญญาณ ทั้งแบบอนาลอกและดิจิตอล

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณขาเข้า ซึ่งจะส่งมาจากเซนเซอร์ ที่จะแปลงสัญญาณแรงดันของน้ำในถังเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์

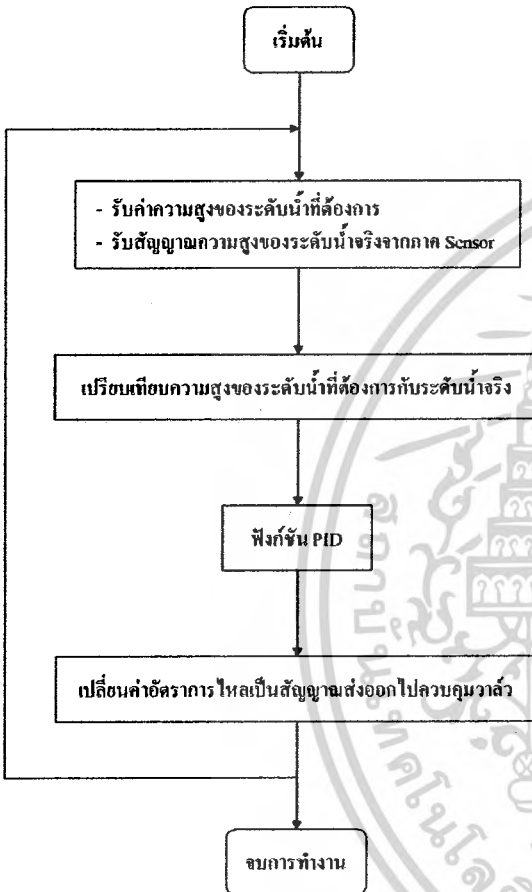
### 8 ชุดอุปกรณ์การวัดระดับ

อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับน้ำ เลือกใช้ Sensor รุ่น MPX 2101 DP CASE 344C-01 ของบริษัท Motorola ซึ่งสามารถวัดความดันได้สูงถึง 10 kPa โดยจะให้เอาท์พุท (Output) ออกมาในรูปของผลต่างของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ และ การนำค่าแรงดันที่ได้ไปใช้งานต้องผ่านวงจร Instrument Amplifier จากนั้นจึงผ่านวงจร Zero-Span เพื่อให้ได้แรงดัน 4-9 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10. การออกแบบส่วนของซอฟต์แวร์ (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



รูปที่ 6 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมแลปวิว

หลักการการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 โดยเริ่มต้น โปรแกรมจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาจากส่วนของเซนเซอร์วัดความดันน้ำผ่านไอคอน DAQ Assistant สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระดับความสูงของน้ำหน่วยเป็นเซนติเมตร จากนั้นผู้ใช้ จะทำการป้อนระดับความสูงของน้ำที่ต้องการเข้าไป โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบระดับความสูงที่ต้องการกับระดับความสูงจริง ค่าที่ได้ซึ่ง

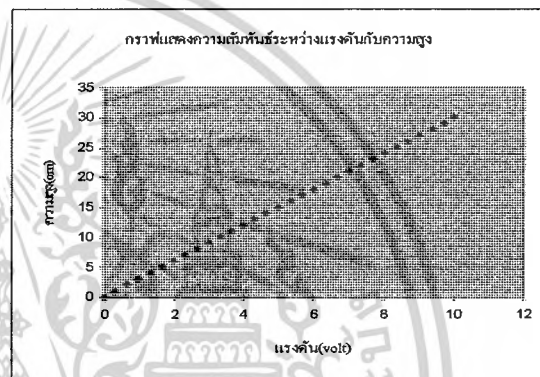
เป็นค่าความผิดพลาด (Error) ค่านี้จะถูกส่งไปเข้ากระบวนการพีโอ ซึ่งจะให้ค่าออกมาเป็นอัตราการไหลที่ต้องการ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมผ่านทางมอเตอร์ เซนเซอร์วัดความดันน้ำก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากลับมา

อีกเพื่อทำการคำนวณต่อ โดยโปรแกรมจะหยุดเมื่อระดับความสูงของน้ำจริงมีค่าเท่ากับระดับความสูงของระดับความสูงของน้ำที่ต้องการ เมื่อนั้นค่าความผิดพลาด (Error) จะมีค่าเป็นศูนย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปควบคุมวาล์วควบคุมก็จะมีค่าคงที่

## 11. การทดลองและผลการทดลอง

### 11.1 การทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

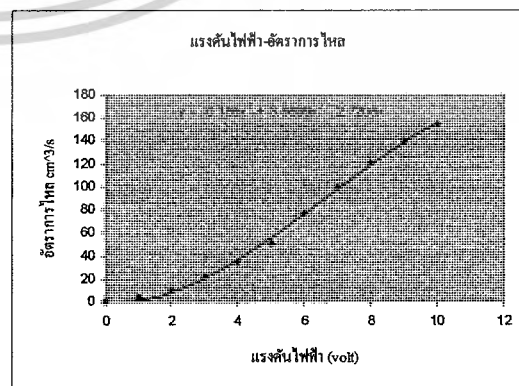
จะทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ค่าต่างๆ และวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงกราฟความสูงของระดับน้ำกับแรงดันไฟฟ้า

### 11.2 การทดลองวาล์วควบคุม

การทดลองในส่วนของวาล์วควบคุมจะเป็นการทดสอบคุณลักษณะของวาล์ว ทำการทดลองโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ แล้ววัดอัตราการไหลที่ได้ ผลการวัดแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงกราฟระหว่างอัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้า

งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 11.3 การทดลองหาค่า Kp, Ki

การทดลองที่ 1 จะทำการเปลี่ยนค่า Proportional Gain (Kp) และ Integral Gain (Ki) แล้วทำการเก็บข้อมูลระหว่างเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปกับระดับความสูงของน้ำ โดยการทดลองจะกำหนดระดับความสูงของน้ำเริ่มต้นคือ 0 ซม. ระดับน้ำเป้าหมายคือ 15 ซม. และให้ Load Valve ด้านล่างเปิด 30 องศา โดยสามารถนำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา โดยให้แกนนอนเป็นเวลาเปลี่ยนแปลงไป (วินาที) และแกนตั้งเป็นระดับความสูงของน้ำในถังที่เปลี่ยนแปลง (เซนติเมตร) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 9, 12, 13 และรูปที่ 14

การทดลองที่ 2 จะทำการเปลี่ยนค่า Proportional Gain (Kp) และ Integral Gain (Ki) แล้วทำการเก็บข้อมูลระหว่างเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป กับระดับความสูงของน้ำ โดยการทดลองจะกำหนดระดับความสูงของน้ำเริ่มต้นคือ 25 ซม. ระดับน้ำเป้าหมายคือ 15 ซม. และให้ Load Valve ด้านล่างเปิด 60 องศา แล้วนำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา โดยให้แกนนอนเป็นเวลาเปลี่ยนแปลงไป (วินาที) และแกนตั้งเป็นระดับความสูงของน้ำในถังที่เปลี่ยนแปลง (เซนติเมตร) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 10, 11, 15 และรูปที่ 16

### 12. สรุปผลการดำเนินงาน

ในส่วนของการออกแบบและสร้างระบบควบคุมระดับน้ำด้วยวิธีพีไอดี ได้ทำการทดลองการควบคุมระดับความสูงของน้ำในถังเดี่ยว แนวตั้ง โดยที่ใส่สถานะเริ่มต้นต่างกันรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลออก ผ่านทางการควบคุมองศาในการเปิด-ปิดไหลดวาล์ว โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองแบบคือ การควบคุมแบบ Proportional (P-Control) และการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI-Control) โดยพบว่า การควบคุมแบบ P-Control นั้นจะให้ระดับความสูงของน้ำใกล้เคียงกับระดับที่ต้องการเมื่อค่า Proportional Gain มีค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.0001 ดังเห็นได้จากรูปที่ 9 และ 10 ซึ่งเมื่อใช้ค่า Proportional Gain มากกว่านี้ ระบบจะตอบสนองคล้ายคลึงกับระบบควบคุมแบบ เปิด - ปิด (On - Off Control) สังเกตได้จากรูปที่ 11 และหากใช้ค่า Proportional Gain น้อยกว่านี้ ระบบจะเกิดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error) สูงซึ่งเห็นได้ชัดจากกราฟผลการทดลองรูปที่ 12 ส่วนการทดลองโดยใช้การควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI-Control) นั้นค่า Proportional Gain ที่เหมาะสมคือ 0.00005 ซึ่งใช้ร่วมกับค่า Integral Gain ระหว่าง 0.000001-0.0000001 จะให้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก ดังเห็นได้จากรูปที่ 13, รูปที่ 14 และรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 16 โดย

ความเร็วของระบบจะขึ้นอยู่กับค่า Proportional Gain เป็นหลัก หากใช้ค่า Proportional Gain มากกว่านี้ระบบจะตอบสนองคล้ายคลึงกับระบบควบคุมแบบ เปิด- ปิด (On-Off Control) และหากใช้ค่า Proportional Gain น้อยกว่านี้ ระบบจะเกิดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error) สูง ทั้งนี้ระบบควบคุมระดับน้ำแบบ Proportional-Integral (PI-Control) นั้นจะช่วยในการลดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error) จากการใช้ระบบควบคุมแบบ Proportional (P-Control) เพียงอย่างเดียวได้

### 13. ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบในระหว่างการทดลองพบว่า เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลานาน แผงวงจรควบคุมมอเตอร์ที่สร้างขึ้นจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งเสี่ยงต่อการที่จะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเปราะบางเกิดความเสียหายได้ โดยเฉพาะ ไอซีเบอร์ BD139 และ BD140 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟเพื่อให้ออเตอร์หมุนในทิศทางที่ต้องการนั้นจะเกิดความร้อนขึ้นได้โดยง่าย ทางผู้จัดทำได้แก้ปัญหาโดยการติดครีระบายความร้อน ซึ่งก็ช่วยระบายความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

ส่วนของวาล์วควบคุมที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนและมีตัวต้านทานแบบปรับค่าได้มาเป็นตัวจัดการเคลื่อนไหวของมอเตอร์นั้นพบว่ายังมีลักษณะของการรักษาสมดุลที่ยังไม่เพียงพอ ทำให้ตอบสนองต่อสัญญาณที่ได้รับจากส่วนของโปรแกรมประมวลผลได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้ระดับความสูงของน้ำในถังมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระดับที่ต้องการ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้หลายแนวทาง ทั้งการเพิ่มจำนวนของฟันเฟืองที่อยู่ระหว่างตัวมอเตอร์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อให้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้สามารถจัดการเคลื่อนไหวของตัวมอเตอร์ได้ละเอียดขึ้น หรือการเปลี่ยนลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปใช้แบบที่มีความละเอียดมากขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนตัวขับเคลื่อนวาล์วควบคุมไปใช้มอเตอร์แบบอื่น ซึ่งอาจจะเป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่มีตัวเอนโคเดอร์คอยจัดการเคลื่อนไหวที่อยู่ภายในตัวเอง ก็จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

สำหรับส่วนของการวัดระดับน้ำนั้น ตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดเป็นลักษณะวัดแรงดันเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ ซึ่งเมื่อวาล์วควบคุมเปิดจนสุด อัตราการไหลของน้ำจะมากจนส่งผลให้ระดับของน้ำในถังควบคุมเกิดการล้น ซึ่งส่งผลต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกไปเข้าสู่โปรแกรมประมวลผล ทำให้ไม่สามารถวัดระดับความสูงของน้ำได้อย่างแม่นยำนัก โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นเป็นส่วนสำคัญของการคำนวณหาอัตราการไหลเข้าสู่ควบคุมระดับน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดค่าความผิดพลาดที่ทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมให้ระดับน้ำมีค่าตรงกับระดับที่ต้องการได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 14. แนวทางในการพัฒนาต่อ

ในโครงการออกแบบและสร้างระบบควบคุมระดับน้ำด้วยวิธีพีไอดี ทางผู้จัดทำได้ทำการสร้างส่วนของฮาร์ดแวร์ไว้เพื่อรองรับการพัฒนาต่อ สำหรับกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบสองถังที่มีปฏิริยาต่อกัน รวมทั้งการหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบสองถังที่มีปฏิริยาต่อกันไว้เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับผู้พัฒนาต่อ ส่วนในด้านทฤษฎีควบคุมก็สามารถพัฒนาประสิทธิภาพให้ดีขึ้นได้ตามแนวทางที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น รวมถึงการพัฒนาในส่วนของโปรแกรมควบคุมให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบสองถัง

#### 15. เอกสารอ้างอิง

- [1] โดม ศิริศักดิ์โสภิต, สุษิร เจนจิโรษิต, อุดุลย์ พัฒนถักดี. การควบคุมระดับของไหลในท่อสองท่อที่ต่อกันโดยใช้ คอมพิวเตอร์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2534
- [2] กิตติ ตีระเศรษฐ์. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539
- [3] รศ.สุมาลี อุณทวนิชย์. ระบบควบคุม. ว.เพ็ชรสกุล จำกัด. 2545
- [4] รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต, สุภาพร จำปาทอง. เรียนรู้พีแอลซีด้วยตนเอง. ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2547
- [5] เจริญ เพชรมณี. หนังสืลัด 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 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้