

การพัฒนาระบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบหลายหน้าที่
THE DEVELOPMENT OF MULTI-FUNCTION WATER LEVEL
PROCESS CONTROL SYSTEM



นายณัฐกานต์ เหลืองวิไล
นายธีรชัย วงศ์คำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....50420
วัน,เดือน,ปี.....13 พ.ค. 2547

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

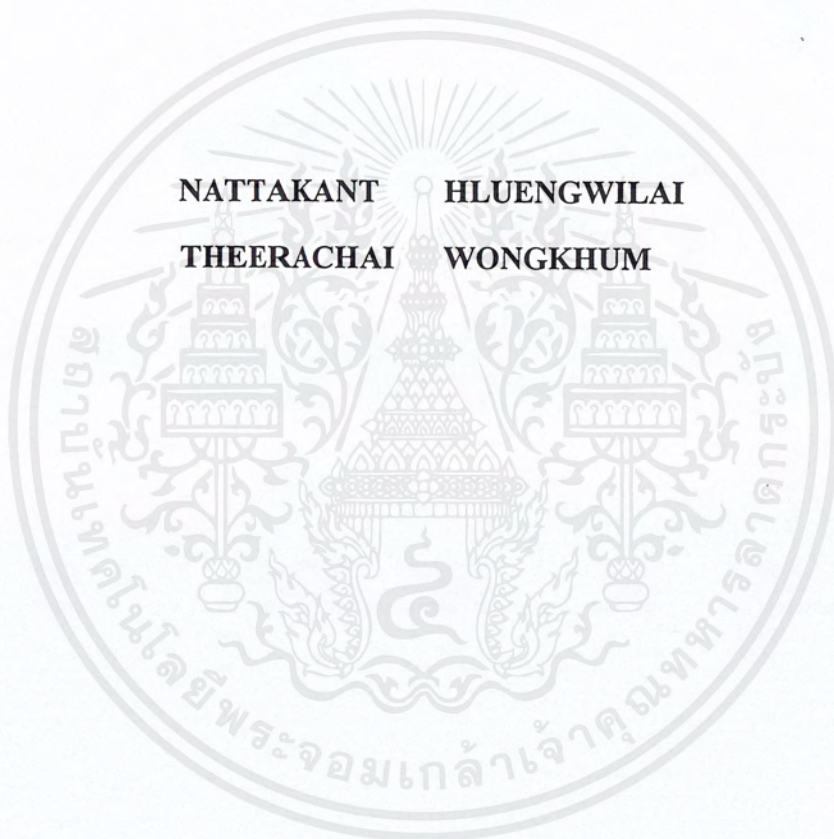
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE DEVELOPMENT OF MULTI-FUNCTION WATER LEVEL
PROCESS CONTROL SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาระบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบหลายหน้าที่
THE DEVELOPMENT OF MULTI-FUNCTION WATER LEVEL
PROCESS CONTROL SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณัฐกานต์ เหลืองวิไล รหัสประจำตัว 43015463
นายธีรชัย วงศ์คำ รหัสประจำตัว 43015465

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
อาจารย์อาจินต์ น่วมสำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 25 มีนาคม 2546

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาระบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบหลายหน้าที่ THE DEVELOPMENT OF MULTI-FUNCTION WATER LEVEL PROCESS CONTROL SYSTEM	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณัฐกานต์	เหลือวงวิไล
	นายธีรชัย	วงศ์คำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ	กองรัตน์
	อาจารย์อาจินต์	น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2545	

บทคัดย่อ

ในการศึกษาทางพลศาสตร์กระบวนการจะนำเอาทฤษฎีคณิตศาสตร์มาอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือคุณลักษณะทางพลศาสตร์ของกระบวนการ แต่ทฤษฎีคณิตศาสตร์ไม่อาจแทนที่ได้ทั้งหมด การทดลองจึงยังจำเป็นอยู่ที่ช่วยอธิบายให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นเมื่อนำไปรวมกับการอธิบายจากทฤษฎีคณิตศาสตร์ ปริญญานิพนธ์นี้จึงเสนอแบบจำลองกระบวนการในรูปแบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบกระบวนการได้หลายลักษณะสำหรับนำไปใช้ศึกษาทางด้านพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุมต่อไป

Thesis Title	The Development Of Multi-Function Water Level Process Control System
Authors	Mr. Nattakant Hluengwilai Mr. Theerachai Wongkhum
Thesis Advisors	Assoc.Prof. Viriya Kongratana Mr. Arjin Numsomran
Year	2002

ABSTRACT

In studying process dynamic system ,we must be able to model dynamic system and analyze dynamic characteristic. Mathematic theory is used for explaining them that is called mathematical model. The mathematical model of dynamic system is defined as a set of equation that represents the dynamic of system accurately or, at least , fairly well. Although mathematical model doesn't explain dynamic system completely. Experimentation can help additionally to explain dynamic system. This thesis is present “ the water level process control system “ that is created for studying process dynamic system of water level process control. The model is designed as multi-function to support variety experimentation format and flexible to change format.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับปรึกษาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์อานันต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธนิตย์ ศรีสุวรรณวัฒน์และรศ.วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำวิจัยและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ พร้อมทั้งแนะนำวิธีแก้ปัญหาอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ทุกคนที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมด ตลอดจนสถานที่ จนสามารถทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณเทียนชัย สุขศรี นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้แนะแนวทางคำปรึกษาแก่ผู้ทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ เพื่อนทุกท่าน ซึ่งคอยเป็นกำลังใจที่ดี ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้การศึกษาอันเป็นสิ่งที่ดีที่สุดในชีวิต

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 เนื้อหาในปริญญานิพนธ์เล่มนี้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คุณสมบัติของของไหล	3
2.1.1 ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ.....	3
2.2 ของไหลสถิต(Fluid Static)	4
2.2.1 การแสดงความดันเป็นความสูงของของเหลว	5
2.2.2 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ(Absolute and Gauge Pressure)	6
2.3 สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity)	7
2.4 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหล	8
2.4.1 พลังงานจลน์ของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ (Kinetic Energy)	8
2.4.2 พลังงานศักย์ (Potential Energy)	8
2.4.3 สมการพลังงานสำหรับการไหลแบบ steady flow ของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Energy Equation for Steady Flow of Incompressible Fluid)	8
2.4.4 เฮด (Head)	10
2.5 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ(Automatic Control)	11
2.5.1 การควบคุมกระบวนการ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.2 ตัวแปรที่สำคัญและจุดประสงค์ที่สำคัญของกระบวนการควบคุม	
แบบอัตโนมัติ	13
2.5.3 การควบคุมแบบปรับขนาดเซตค่าและแบบติดตามเป้าหมาย (Regulatory and Servo Control)	13
2.5.4 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์การวัดและควบคุม	14
2.5.5 ยุทธวิธีสำหรับการควบคุมการควบคุมแบบป้อนกลับ	14
2.6 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการควบคุมกระบวนการ	17
2.6.1 อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	17
2.6.2 วาล์วควบคุม(Control Valve)	19
2.6.3 เครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ	20
2.7 ชนิดของเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ	25
2.7.1 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller:P)	25
2.7.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (Proportional-Integral-Controller : PI)	26
2.7.3 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนและดิริเวทีฟ (Proportional-Derivative-Controller : PD)	28
2.7.4 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและดิริเวทีฟ (Proportional-Integral-Derivative Controller : PID)	29
2.8 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน	30
2.8.1 การปรับค่าของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols	30
2.8.1.1 การคำนวณจากวิธี Process Reactive Curve	31
2.8.1.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method	32
2.8.1.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation	33
บทที่ 3 องค์ประกอบของกระบวนการ	35
3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้	35
3.1.1 ถังน้ำ (Tank) โปร่งใส	35
3.1.2 ทรานสมิตเตอร์สำหรับความดันแตกต่าง(D/P Transmitter)	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1.3 ปั๊มน้ำ(Pump)	40
3.1.4 ถังพักน้ำ(Bulk Tank)	41
3.1.5 วาล์วควบคุม(Control Valve)	42
3.1.6 Current Loop Supply	43
3.1.7 Electromagnetic Flowmeter	44
3.1.8 โรตاميเตอร์(Rotameter)	46
3.1.9 วาล์วปรับตำแหน่งการเปิด-ปิดที่มีจำนวนรอบมากรอบ	46
3.1.10 วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)	47
3.1.11 มาตรวัดความดัน(Pressure Gauge)	48
3.1.12 ตัวบันทึกสัญญาณ(Recorder)	48
3.1.13 ตัวควบคุมกระบวนการ(Controller)	49
3.2 ภาพจริงของกระบวนการจำลอง	50
บทที่ 4 รูปแบบของกระบวนการจำลอง	51
4.1 กล่าวนำ	51
4.2 ลักษณะรูปแบบของกระบวนการ	51
4.3 โมเดลของกระบวนการ	53
4.3.1 องค์ประกอบของกระบวนการ	53
4.3.1.1 Valve On-Off flow	53
4.3.1.2 Valve turn Parameter	54
4.3.1.3 Control Valve	54
4.3.1.4 Rota meter	54
4.3.1.5 Magnetic Flow	54
4.3.1.6 Bypass Valve	54
4.3.2 กระบวนการอันดับหนึ่ง(First Order System)	54
4.3.3 กระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน (Second Order System Interacting)	55
4.3.4 กระบวนการอันดับสองที่มีผลกระทบต่อกัน	56

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.5 กระบวนการอันดับสาม	56
4.3.6 กระบวนการที่มีหลายตัวแปรอินพุตหลายตัวแปรเอาต์พุต (MIMO: Quadruple Tank)	57
4.4 สรุปรูปแบบของกระบวนการ	58
บทที่ 5 การหาคุณลักษณะของกระบวนการ	59
5.1 กล่าวนำ	59
5.2 การหาค่าอัตราการไหลของกระบวนการ	59
5.3 การหาค่าอัตราการไหลระหว่างถังที่ระบบมีผลต่อกัน (Interacting system)	60
5.4 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับหนึ่ง (First Order System)	61
5.5 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน (Noninteracting Second Order System)	63
5.6 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับสองที่ระบบผลกระทบต่อกัน (Interacting Second Order System)	66
5.7 บทสรุป	69
บทที่ 6 การศึกษาพลศาสตร์กระบวนการจากการทดลอง	70
6.1 กล่าวนำ	70
6.2 การพิจารณาเลือกจุดทำงานของกระบวนการ	70
6.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากการทดลอง	71
6.4 สรุป	75
บทที่ 7 การทดลองจากกระบวนการ	76
7.1 องค์ประกอบของการควบคุมกระบวนการ	76
7.1.1 องค์ประกอบในส่วนการควบคุมการไหลของกระบวนการ	76
7.1.2 การคำนวณอัตราขยายจากอุปกรณ์การวัด	77
7.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ	78
7.3 การทดลองควบคุมแบบจำลองกระบวนการ	80

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

7.3.1 การทดลองควบคุมระดับน้ำของกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยวิธี (Ziegler–Nichols Method)	81
7.3.2 การทดลองควบคุมระดับน้ำของกระบวนการอันดับสอง แบบไม่มีผลกระทบต่อกัน โดยวิธี (Ziegler – Nichols Method).....	83
7.4 บทสรุป	87
บทที่ 8 บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น	89
8.1 บทสรุป	89
8.2 ปัญหาและอุปสรรค	89
8.3 แนวทางแก้ไขและการพัฒนา	89
บรรณานุกรม	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve32	
2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method33	
3.1 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 139	
3.2 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 239	
3.3 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 339	



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ของเหลวในภาชนะเปิด	5
2.2 แสดงเขตความดันกับเขตบอกระดับความสูง	5
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันแบบต่าง ๆ	6
2.4 การไหลภายใน Stream tube	7
2.5 ของไหลในระบบควบคุมปริมาตร	9
2.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	11
2.7 ระบบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	12
2.8 อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันลม	14
2.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	15
2.10 ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	16
2.11 การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับการชดเชย ด้วยการป้อนกลับ	17
2.12 แสดงวงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	20
2.13 (a) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม (Courtesy of Taylor Instrumentation)	21
2.13 (b) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ(Courtesy of Fisher Controls)	22
2.13 (c) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ(Courtesy of Foxboro Co.)	22
2.13 (d) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ	23
2.14 วงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	24
2.15 วงรอบการควบคุมของระดับของเหลว	24
2.16 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ P	25
2.17 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ P	26
2.18 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PI	27
2.19 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบ PI	27
2.20 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PD	28
2.21 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PID	29
2.22 แสดงค่าสูงสุดของค่า Maximum Overshoot ที่ต้องการเมื่อปรับ โดยวิธี Ziegler-Nichols	30
2.23 แสดงผลตอบสนอง เมื่อใช้วิธี Process reaction Curve	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องเมื่อปรับ โดย ใช้วิธี Ultimate Method	32
2.25 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation	34
3.1 ถังน้ำ	35
3.2 ช่วงสเกลของถังน้ำแต่ละถัง	36
3.3 D/P Transmitter Model STD920-A1N-00000-M-E9	37
3.4 แสดงการติดตั้งD/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถัง	38
3.5 ช่วงความดันแตกต่างของถังเปิด	38
3.6 D/P Transmitter Model UNE11-SLK4 *B /TBR	40
3.7 ป้อนน้ำ	41
3.8 การต่อ Valve Bypass	41
3.9 ถังพักน้ำ	42
3.10 วาล์วควบคุม	43
3.11 Current Loop Supply	44
3.12 การต่อ Current Loop Supply	44
3.13 Electromagnetic Flow ส่วนที่เป็นตัววัด(Integral Type)	45
3.14 Electromagnetic Flow ส่วนที่ตัวควบคุม(RemoteType)	45
3.15 Rotameter	46
3.16 วาล์วปรับค่าได้	47
3.17 วาล์วปีกผีเสื้อ	47
3.18 มาตรวัดความดัน	48
3.19 ตัวบันทึกสัญญาณ	49
3.20 ตัวควบคุมกระบวนการ	50
3.21 ภาพจริงของกระบวนการจำลอง	50
4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	52
4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	52
4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ประกอบอยู่ในกระบวนการจำลองและไดอะแกรมของกระบวนการ	53
4.4 แสดง Valve ที่ใช้ในกระบวนการอันดับหนึ่ง	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงกระบวนการ 2 อินพุต 1 เอาท์พุต (Multi Input Single Output :MISO)	55
4.6 แสดงกระบวนการจำลองอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน	55
4.7 กระบวนการอันดับสองที่มีผลกระทบต่อกัน	56
4.8 แสดงกระบวนการจำลองแบบอันดับสาม	56
4.9 แสดงกระบวนการแบบ 4 ถัง (Quadruple Tank Process)	57
5.1 แสดงการหาค่าอัตราการไหลออกจากถัง	59
5.2 แสดงการหาค่าอัตราการไหลระหว่างถัง	60
5.3 แสดงกระบวนการระดับน้ำแบบอันดับหนึ่ง	61
5.4 แสดงกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน	63
5.5 แสดงกระบวนการอันดับสองที่ระบบผลกระทบต่อกัน (Interacting Second Order System)	66
6.1 แสดงการเลือกจุดการทำงานของอัตราการไหล	71
6.2 รูปแบบกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน	72
6.3 แสดงการเลือกช่วงการทำงานจากระดับความสูงของถังและDischarge ของน้ำที่ไหลออกจากถัง	72
6.4 แสดงการเลือกช่วงการทำงานจากระดับความสูงของถังและความสัมพันธ์ของ ระดับน้ำที่ไหลเข้าจากถัง	74
7.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบจากการทดลอง	76
7.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมอัตราการไหล	77
7.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนอุปกรณ์การวัด	77
7.4 กระบวนการแบบอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน	78
7.5 แสดง Reaction Curve ที่ได้จากกระบวนการอันดับหนึ่ง	82
7.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่ง	83
7.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน	84
7.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมแบบ PI	85
7.9 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมแบบ PID	86
7.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบ PID	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในการศึกษาพลศาสตร์กระบวนการ ก็เพื่อมุ่งหวังที่จะอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ในกระบวนการไม่ว่าจะเป็นคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นการอธิบายถึงคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ เมื่อทราบถึงเหตุและปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงก็นำไปสู่การกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในลักษณะการควบคุม

การอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือพลศาสตร์กระบวนการนั้นจะอาศัยหลักทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาอธิบาย แต่หลักทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ก็ไม่สามารถมาแทนที่ได้ทั้งหมด เช่น การจำลองพลศาสตร์กระบวนการจากคอมพิวเตอร์แม้ว่าจะช่วยให้เกิดความเข้าใจและสะดวกในการใช้อย่างเช่นโปรแกรม Matlab แต่ผลที่ได้จะเป็นลักษณะทางอุดมคติต่างกับการใช้งานจริง ดังนั้นการศึกษพลศาสตร์กระบวนการจากการทดลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นอยู่ และแบบจำลองกระบวนการโดยทั่วไปนั้น ได้ออกแบบมาสำหรับรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้นหรือปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ไม่มาก ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้นำมาสู่การทำปริยุฏนิพนธ์นี้คือการพัฒนาชุดจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ที่สามารถปรับรูปแบบลักษณะของกระบวนการได้หลากหลายและยืดหยุ่นต่อการใช้งานมากขึ้น กระบวนการจำลองที่หลากหลายจะช่วยให้ผู้ศึกษาได้รับทักษะและความรู้จากการทดลองทางด้านพลศาสตร์กระบวนการมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปริยุฏนิพนธ์

ปริยุฏนิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาพัฒนาและการสร้างกระบวนการจำลองกระบวนการการควบคุมระดับน้ำ โดยกระบวนการจำลองนี้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบกระบวนการได้หลายลักษณะสำหรับศึกษาพลศาสตร์และการควบคุม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน และโครงสร้างของกระบวนการควบคุม
2. ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์และอุปกรณ์การวัดในกระบวนการได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของกระบวนการที่มีผลทางพลศาสตร์กระบวนการ
4. นำแบบจำลองกระบวนการไปศึกษาถึงคุณลักษณะของกระบวนการและการควบคุม

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ กล่าวถึงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองกระบวนการการควบคุมระดับน้ำที่สามารถปรับลักษณะของกระบวนการได้หลายรูปแบบ และนำแบบจำลองกระบวนการไปศึกษาถึงองค์ประกอบของระบบควบคุม คุณลักษณะทางพลศาสตร์กระบวนการและเป็นชุดทดลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำได้

1.4 เนื้อหาในปริญญานิพนธ์เล่มนี้

- บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงภาพโดยรวมและขอบเขตปริญญานิพนธ์เล่มนี้
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 กล่าวถึงองค์ประกอบของกระบวนการ
- บทที่ 4 กล่าวถึงลักษณะรูปแบบกระบวนการ
- บทที่ 5 กล่าวถึงแนวคิดในการหาคุณลักษณะของกระบวนการทางทฤษฎีคณิตศาสตร์
- บทที่ 6 กล่าวถึงแนวคิดการหาคุณลักษณะกระบวนการจากการทดลอง
- บทที่ 7 กล่าวถึงการทดลองจากกระบวนการ
- บทที่ 8 บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของของไหล

ของไหล เป็นชื่อที่ใช้เรียกสำหรับของเหลวและแก๊ส ของไหลเป็นสารที่มีจำนวนมวลคงที่แน่นอนแต่มีรูปร่างไม่แน่นอน เพราะจะเปลี่ยนแปลงตามรูปร่างของภาชนะที่รองรับ แก๊สเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้สูง (High Compressibility) เพราะโมเลกุลของมันอยู่รวมกันอย่างหลวม ๆ ดังนั้นถึงแม้ว่าภาชนะที่รองรับมันจะมีขนาดที่แตกต่างกันก็ตาม มันก็สามารถกระจายตัวหรืออัดตัวได้เต็มภาชนะที่รองรับนั้น ส่วนของเหลวมันจะอัดตัวได้ค่อนข้างน้อย และถ้าหากเอาความดันจากภายนอกออกไปแล้ว(ยกเว้นแรงเนื่องจากความดันไอ) แรงเกาะระหว่างโมเลกุลก็จะเกาะให้โมเลกุลเหล่านั้นจับติดกันไว้ ทำให้ของเหลวมันไม่ขยายตัวอีกต่อไป ดังนั้นของเหลวจึงอาจมีผิวที่เป็นอิสระซึ่งหมายถึงผิวที่ไม่มีความดันใด ๆ มากระทำยกเว้นความดันไอของของเหลวมัน ทั้งของเหลวและแก๊ส ต่างก็มีความสามารถในการถ่ายทอดความดันหรือส่งทอดความดันจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ และเนื่องจากของไหลยอมปรับตัวเข้ากับรูปร่างภาชนะที่ขอมรับ ดังนั้นจึงสามารถใช้ปั๊มส่งของไหลไปตามท่อและเส้นทางที่คิดเลี้ยวต่าง ๆ ได้โดยสะดวก

2.1.1 ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นเฉลี่ย (Mean Density, ρ)

เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลกับปริมาตรของสารนั้น ถ้าความหนาแน่นเฉลี่ยที่ทุก ๆ ส่วนของสารนั้นเท่ากันหมด ก็แสดงว่าสารนั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ในที่นี้จะเรียกความหนาแน่นเฉลี่ยสั้น ๆ ว่าความหนาแน่น

ความหนาแน่น มวล และปริมาตรมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น kg/m^3

m คือ มวล มีหน่วยเป็น kg

V คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น m^3

น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight, γ)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักหรือแรงดึงดูดของโลกกับปริมาตรของสารนั้น ดังนั้นหน่วยของน้ำหนักจำเพาะจึงเป็นหน่วยของแรงต่อหน่วยของปริมาตร เช่น N/m^3

น้ำหนักจำเพาะ และความหนาแน่นนั้น มีความสัมพันธ์กันดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \rho g = \frac{W}{V}$$

ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, v)

ปริมาตรจำเพาะเป็นปริมาตรของสารในหนึ่งหน่วยมวล หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับมวลของสาร ปริมาตรจำเพาะนี้มักใช้กับกรณีที่สารนั้นเป็นแก๊ส หน่วยของปริมาตรจำเพาะ คือ m^3/kg ปริมาตรจำเพาะนี้เป็นส่วนกลับของความหนาแน่น ดังนั้น ปริมาตรจำเพาะกับความหนาแน่นจึงมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$v = \frac{1}{\rho}$$

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, s)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารกับความหนาแน่นมาตรฐาน ความหนาแน่นมาตรฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของของแข็งและของเหลวก็คือ ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่ $4^\circ C$ ภายใต้ความดัน 1 atm. ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ kg}/m^3$ ส่วนความหนาแน่นมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบกับความหนาแน่นของแก๊สก็คือ ความหนาแน่นของอากาศหรือของไฮโดรเจน มีชื่อเรียกความถ่วงจำเพาะนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ แต่มักนิยมใช้กับแก๊ส

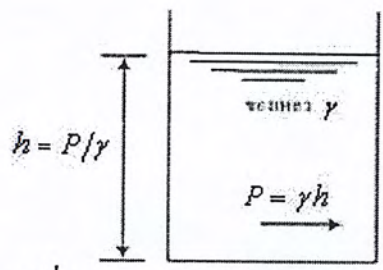
เนื่องจากความถ่วงจำเพาะนี้เป็นอัตราส่วนของหน่วยสองหน่วยที่เหมือนกัน ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะจึงเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ และเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลนั้นแปรค่าตามอุณหภูมิ ดังนั้น จึงต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าเป็นความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิใด

2.2 ของไหลสถิต (Fluid Static)

ของไหลที่อยู่นิ่งกับที่หรือของไหลสถิตจะไม่มีเคลื่อนที่ในก้อนของไหล จะมีก็แต่แรงในแนวตั้งฉากที่เกิดจากความดันเท่านั้น ความดันเฉลี่ยหมายถึงแรงที่กระทำในหนึ่งหน่วยพื้นที่ ดังนั้นถ้า F เป็นแรงที่กระทำในพื้นที่ A ส่วน dF เป็นแรงที่กระทำบน dA ซึ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ แล้ว ความดันก็จะมีค่าเป็น $p = \frac{dF}{dA}$

แต่ถ้าแรง F นั้นกระทำสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งพื้นที่ A แล้ว ความดันก็จะมีค่าเป็น $p = \frac{dF}{dA}$ ในระบบเอสไอ(SI)นั้นความดันจะมีหน่วยเป็น N/m^2

2.2.1 การแสดงค่าความดันเป็นความสูงของของเหลว



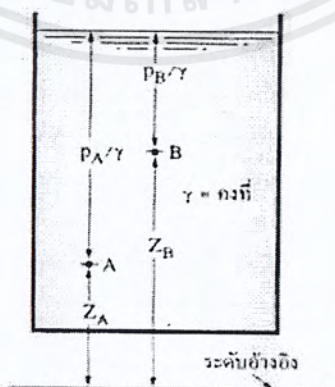
รูปที่ 2.1 ของเหลวในภาชนะเปิด

รูปที่ 2.1 เป็นถังเปิดบรรจุด้วยของเหลวที่ไม่มีความดันอยู่บนผิวเลย แม้ว่าสภาพจริงนั้นจะมีความดันไอของของเหลวอยู่ที่ผิวด้วยก็ตาม ตอนนี้จะตัดเรื่องความดันไอทิ้งเสียก่อน จะสามารถหาความดันที่ระดับความลึก h ใด ๆ ได้เป็น $p = \gamma h$ ถ้า γ เป็นค่าคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่าง p และ h ก็จะเป็นค่าที่แน่นอน นั่นก็คือ ความดันเป็นสัดส่วนกับความสูงของของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะเป็น γ ในการบอกความดันนั้นนิยมบอกเป็นระดับความสูงของแท่งของไหลมากกว่าบอกเป็นแรงต่อพื้นที่

แต่สำหรับในกรณีที่ผิวของของเหลวมีความดันอยู่ด้วยก็ให้เปลี่ยนความดันนั้น เป็นความสูงของเหลวนั้น แล้วบวกความสูงนี้เข้ากับค่า h เพื่อหาความดันรวม

เราเรียกความดันที่บอกเป็นระดับความสูงของของไหลว่า เฮดความดัน(Pressure Head) ในบางครั้งจะบอกความดันที่เกิดขึ้นในของไหลชนิดหนึ่ง ให้เป็นความสูงของของไหลอีกชนิดหนึ่ง เช่น บอกความดันของบรรยากาศ(Barometric Pressure) เป็นมิลลิเมตรของปรอท เป็นต้น

เฮดความดันของของไหลที่อยู่นิ่งนั้นจะลดน้อยลงเมื่อจุดนั้นมีระดับสูงขึ้น หรือ เฮดความดันมากขึ้นเมื่อจุดนั้นมีระดับต่ำลง แสดงด้วยรูป 2.2

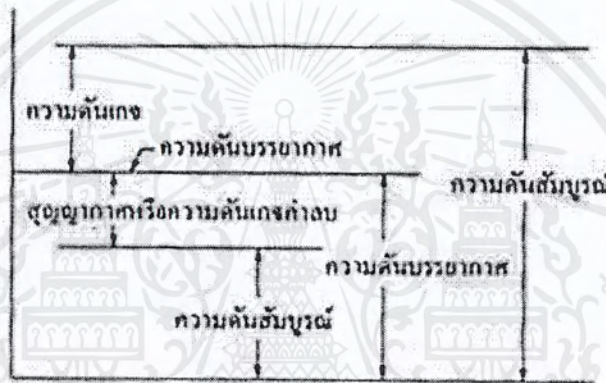


รูปที่ 2.2 แสดงเฮดความดันกับเฮดบอกระดับความสูง

2.2.2 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ (Absolute and Gauge Pressure)

ความดันที่วัดโดยเปรียบเทียบความดันศูนย์สัมบูรณ์นั้นมิชื่อเรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ แต่ถ้าวัดโดยเปรียบเทียบกับความดันของบรรยากาศก็จะเรียกว่า ความดันเกจ ทั้งนี้เนื่องจากเกจวัดความดันทุกอันจะชี้ค่าศูนย์เมื่อเปิดเกิมนั้นสู่บรรยากาศ ดังนั้นความดันเกจจึงเป็นความดันแตกต่างระหว่างความดันของของไหลที่เกิมนั้นวัดอยู่กับความดันของอากาศที่อยู่รอบ ๆ

สำหรับความดันที่มีต่ำกว่าความดันของบรรยากาศนั้น มีชื่อเรียกว่า ความดันสุญญากาศ (Vacuum) ความดันที่อ่านได้จากเกิมนั้นเป็นขนาดความดันที่ต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ และที่เรียกว่า High Vacuum นั้นก็คือความดันสัมบูรณ์ที่ต่ำมาก ๆ นั่นเอง ส่วนสุญญากาศสัมบูรณ์ (Perfect Vacuum) ก็คือความดันศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันแบบต่าง ๆ

ค่าทุกค่าของความดันสัมบูรณ์นั้นจะต้องมีค่าเป็นบวก ถ้าเป็นลบแล้วก็จะหมายถึงแรงดึงซึ่งปกติแล้วจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เลย ถ้าความดันนั้นเป็นความดันที่อยู่เหนือความดันของบรรยากาศ ความดันเกิมนั้นก็จะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเป็นความดันที่ต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ความดันเกิมนั้นก็จะมีค่าเป็นลบหรือเรียกว่าความดันสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.5

จากรายละเอียดที่ผ่านมาได้สมควรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเกจและความดันสัมบูรณ์ดังนี้

$$P_{abs.} = P_{atm} + P_{gauge}$$

ในที่นี้ P_{gauge} จะมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้

ความดันบรรยากาศนี้ยังมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ความดันบารอเมตริก (Barometric Pressure) ความดันดังกล่าวนี้จะแปรค่าตามระดับความสูง และในแต่ละระดับความสูงนั้นมันยังแปรค่าตามเวลาอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของลมฟ้าอากาศ

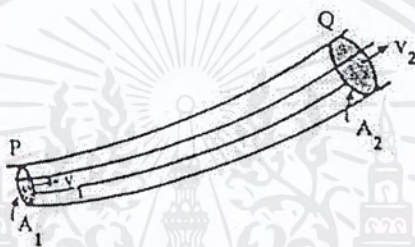
โดยปกติแล้วความดันจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของของเหลวไม่มากนัก ดังนั้น

ในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับของเหลว ความดันที่ใช้จึงมักเป็นความดันเกจ นอกจากนี้ยังมักปรากฏว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีความดันของบรรยากาศอยู่ทั้งสองข้างของแต่ละสมการแต่ก็จะหักล้างกันไป ดังนั้นความดันของบรรยากาศจึงไม่มีความสำคัญอะไรมากนัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวความดันเกจจึงถือเป็นความดันสากลที่ใช้กับพวกของเหลวต่าง ๆ

2.3 สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity)

รูปที่ 2.4 เป็นท่อที่เกิดจากการล้อมรอบของเส้นสตรีมไลน์กลุ่มหนึ่ง เราเรียกท่อดังกล่าวนี้ว่า Stream tube พิจารณาการไหลในรูปที่ 2.4 ให้อนุภาคที่ตำแหน่ง P และ Q มีความเร็ว v_1 และ v_2 ตามลำดับ ให้ A_1 และ A_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับสายกระแสของไหล ที่ตำแหน่ง P และ Q



รูปที่ 2.4 การไหลภายใน Stream tube

ในช่วงเวลา Δt ส่วนของของไหลเคลื่อนที่ได้ระยะทาง $v\Delta t$ ดังนั้นมวลของไหลที่ผ่านพื้นที่ A_1 คือ $\Delta m_1 = \rho_1 g_1 A_1 \Delta t$ เมื่อ Δt จะต้องมีค่าน้อยมากจะทำให้ A_1 และ v_1 เปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่าเป็นค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อ $\Delta t \rightarrow 0$ จะได้ฟลักซ์มวล (Mass flux) ที่ P เป็น

$$\frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 v_1 \quad \text{และที่ Q มีค่าเท่ากับ} \quad \frac{dm_2}{dt} = \rho_2 A_2 v_2$$

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt}$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

ถ้าเป็น Steady flow และของไหลนั้นอัดตัวไม่ได้ ซึ่งมีค่า ρ คงที่นั้นสมการลดรูปเป็น

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\text{อัตราการไหล (Rate of flow : Q) = } A \cdot v$$

2.4 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหล

ถ้าหากพิจารณาพลังงานของก้อนของไหลที่ได้จากการไหลแบบ Steady flow

2.4.1 พลังงานจลน์ของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ (Kinetic Energy)

วัตถุที่มีมวล m และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v จะมีพลังงานจลน์ เป็น

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2$$

หรือเท่ากับ $\frac{v^2}{2}$ เมื่อเป็นพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวล แต่เนื่องจากหนึ่งหน่วยมวลนั้นมีน้ำหนักเป็น g หน่วย ดังนั้น

$$\text{พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก} = \frac{v^2}{2g}$$

การไหลของของไหลจริงนั้น ความเร็วของอนุภาคต่าง ๆ มักแตกต่าง ดังนั้นถ้าหากต้องการหาพลังงานจลน์รวมก็ต้องอินทิเกรตพลังงานจลน์จากทุก ๆ ส่วนของลำน้ำนั้น

2.4.2 พลังงานศักย์ (Potential Energy)

พลังงานศักย์ของอนุภาคของของไหลใด ๆ จะขึ้นอยู่กับระดับความสูงของอนุภาคนั้น ๆ ที่วัดจากระนาบที่กำหนดขึ้น (datum plane) โดยปกติแล้วเราจะสนใจแต่เพียงค่าความแตกต่างของระดับพลังงานเท่านั้น ดังนั้นระนาบที่กำหนดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับความสะดวกของการใช้งาน

ถ้า W คือ น้ำหนักของอนุภาคของของไหล

Z คือ ความสูงของอนุภาคของของไหลที่วัดจากระนาบที่กำหนดให้

ในกรณีนี้พลังงานศักย์ของของไหลก็จะมีค่าเป็น

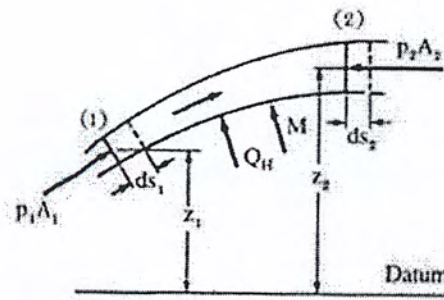
$$P.E. = WZ$$

ฉะนั้น พลังงานศักย์ของของไหลต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักก็จะมีค่า $= Z$

2.4.3 สมการพลังงานสำหรับการไหลแบบ Steady flow ของของไหลที่อัดตัวไม่ได้

(Energy Equation for Steady Flow of Incompressible Fluid)

ในรูปที่ 2.5 เป็นลำของของไหลที่สำหรับใช้กับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ในการหาสมการดังกล่าว กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์มีใจความว่างานจากแรงภายนอกที่กระทำกับระบบใด ๆ จะต้องเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบนั้น



รูปที่ 2.5 ของไหลในระบบควบคุมปริมาตร

ในทางปฏิบัติจะถือว่าของเหลวและไอต่าง ๆ ที่ความดันเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนั้นเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ดังนั้น

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = \text{ค่าคงที่}$$

สำหรับการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์นั้น ตัวแก้ไข α จะมีค่ามากกว่า 1 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เพื่อความสะดวกก็จะตัดค่า α นี้ทิ้งไป จึงทำให้สมการที่ว่าด้วยถ้าหากให้งานจากแรงภายนอกที่กระทำกับของไหลและการถ่ายเทของพลังงานความร้อนนี้เท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลแล้วเหลือเพียง

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \right) + M + q = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \right) + (I_2 - I_1)$$

ความเสียดทานของของไหลนี้จะทำให้เกิดการไหลวน(eddy) และไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ขึ้น ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียจากความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวก็จะมีค่าเป็น

$$h_L = (I_2 - I_1) - q = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{g} - q$$

เมื่อ c_v คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล

ในกรณีไม่มีเครื่องจักรทำงานอยู่ในระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) สมการพลังงานก็จะเป็น

$$\frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

เมื่อ h_L คือ พลังงานที่สูญเสียต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหล

สำหรับของไหลจริง ๆ นั้นจะต้องมี h_L เกิดขึ้นด้วยเสมอ บางครั้ง h_L นี้จะมีค่ามาก และในบางครั้งก็จะมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้โดยไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดมากจนเกินไปนัก ในกรณีที่มิต่ำน้อยจนสามารถตัดทิ้งได้นั้นสมการพลังงานจะมีรูปเป็น

$$\frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

หรือเขียนได้ว่า

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z = \text{ค่าคงที่}$$

สองสมการสุดท้ายนี้เรียกว่า สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) จะเห็นได้ว่าสมการเบอร์นูลลีนี้ใช้เฉพาะกับกรณีที่เป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ และเป็นของไหลที่ไม่มีความเสียดทานเท่านั้น

2.4.4 เฮด (Head)

ถ้าพิจารณาเทอมต่าง ๆ ในสมการที่ผ่านมาจะเห็นว่า เทอมแต่ละเทอมนั้นมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวทั้งสิ้น ดังนั้น จึงมีชื่อเรียก $\frac{p}{\gamma}$ ว่า เฮดความดัน(Pressure Head) ซึ่งเป็นความสูงของของเหลวที่เทียบเท่าความดัน p ของของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะเป็น γ และ เรียก Z ว่า เฮดของระดับความสูง(Elevation Head) และเรียก $\frac{v^2}{2g}$ ว่า เฮดความเร็ว(Velocity Head) จะเห็นได้ว่า h_L นี้จะต้องมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวด้วย เราเรียก h_L นี้ว่า เฮดจากความเสียดทาน(Friction Head) หรือ เฮดที่สูญเสียไป(Loss Head หรือ Head Loss) และ เรียกผลบวกของเฮดทั้งสามนี้ว่า เฮดรวม(Total Head) และใช้ H เป็นสัญลักษณ์ของเฮดรวมนี้ นั่นก็คือ

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

ถึงแม้ว่าเทอมต่าง ๆ ในสมการนี้จะมีหน่วยเป็นเมตรก็ตาม แต่ความเป็นจริงแล้วมันหมายถึงพลังงาน Nm ต่อน้ำหนัก N ของของไหล

ในกรณีที่ เป็นของไหลที่ไม่มีความเสียดทาน และอัดตัวไม่ได้ นั้น H_1 จะเท่ากับ H_2 แต่ถ้าเป็นของไหลจริง(Real Fluid) แล้ว

$$H_1 = H_2 + h_L$$

ในกรณีที่ เป็นของไหลจริงนั้นก็จะเห็นได้ว่า ถ้าหากไม่มีเฮดของพลังงาน(Energy Head) M จากเครื่องจักร ที่อยู่ระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) มาเพิ่มให้แก่ของไหลแล้วเฮดรวมของของไหลก็จะลดน้อยลงตามทิศทางของการไหล ดังนั้น

$$M = h_p = H_2 - H_1 + h_L$$

เมื่อ h_p คือ เฮดของพลังงานที่เครื่องสูบน้ำให้แก่ของไหล

แต่ถ้าหากมีกักหน้ในระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) แล้ว

$$M = h_t = H_2 - H_1 + h_L$$

เมื่อ h_t คือ เฮดของพลังงานที่ของไหลให้แก่กักหน้

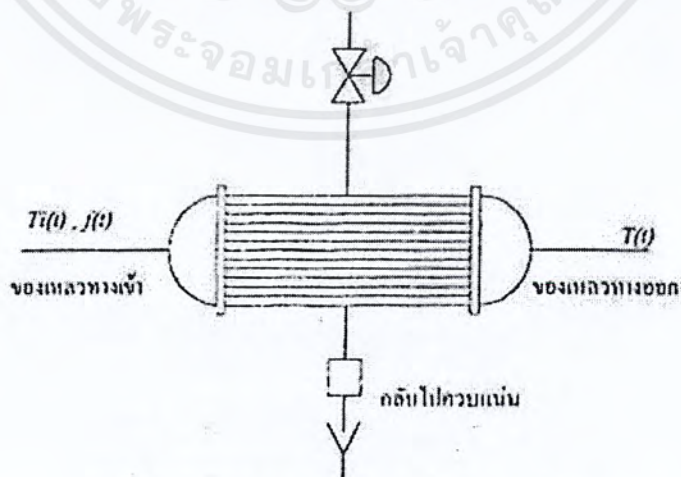
2.5 การควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ

วัตถุประสงค์ของหัวข้อนี้แสดงให้เห็นถึง ความจำเป็นในการควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ คือ การรักษาให้คงไว้ซึ่งตัวแปรกระบวนการที่ต้องการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และปริมาณต่าง ๆ ทางกายภาพ กระบวนการก็คือ ลักษณะทางพลศาสตร์(Dynamic) ตามธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ถ้าไม่ได้มีการควบคุมให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการแล้ว ก็จะมีผลต่อความปลอดภัยในการทำงาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนอัตราการผลิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงระบบควบคุมสองระบบ ที่แสดงให้เห็นการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ และกำหนดเทอมบางเทอมที่ใช้ในการควบคุมจริง

2.5.1 การควบคุมกระบวนการ

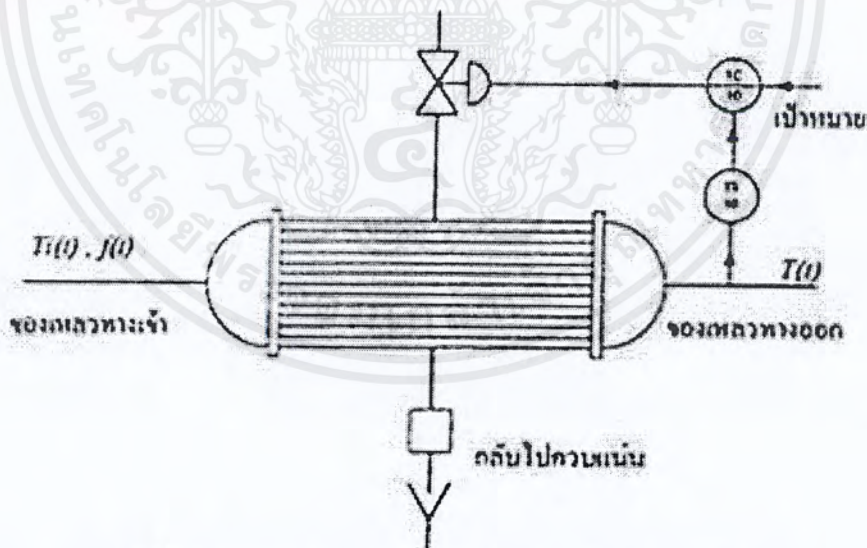
เพื่อให้เกิดแนวความคิดไปในทางเดียวกัน เราจะมาพิจารณากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพลังงานที่ได้รับจะอยู่ในรูปความร้อนแฝงของการควบแน่น ดังรูปที่ 2.6 จุดประสงค์เพื่อที่จะให้ของไหลที่เป็นผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิทางเข้า $T_i(t)$ มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ต้องการ ที่อุณหภูมิทางออก $T(t)$ โดยแหล่งพลังงานความร้อนคือ ไอน้ำที่เกิดจากการควบแน่น พลังงานความร้อนที่ของไหลได้รับ ก็จะเท่ากับพลังงานความร้อนที่ของไหลปลดปล่อยออกมา ถ้าสมมุติว่าไม่มีความร้อนสูญเสียให้กับสภาวะแวดล้อมแต่อย่างใด และนั่นก็แสดงว่าท่อและผนังจะต้องเป็นฉนวนความร้อนอย่างดี จะเห็นว่ากระบวนการนี้มีตัวแปรมากมายที่เปลี่ยนแปลงได้ อันเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิทางออกนั้นเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ต้องการ ถ้าเกิดขึ้นแล้วต้องสร้างกิริยาบางอย่างไปแก้ไขการเบี่ยงเบนนี้ และนั่นก็คือการควบคุมเพื่อที่จะอุณหภูมิทางออกยังคงไว้ซึ่งค่าที่ต้องการ



รูปที่ 2.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

สิ่งที่ต้องกระทำอันดับแรกก็คือ วัดค่าของอุณหภูมิทางออก $T(t)$ จากนั้นเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ ผลจากการเปรียบเทียบจะนำมาซึ่งการตัดสินใจว่าจะต้องทำอะไรต่อไปเพื่อที่จะแก้ไขการเบี่ยงเบนนี้ อัตราการไหลของไอน้ำสามารถจะแก้ไขความเบี่ยงเบนได้ นั่นคือถ้าอุณหภูมิที่วัดได้อยู่เหนือค่าที่ต้องการ วาล์วควบคุมไอน้ำจะต้องทำการปิดเพื่อที่จะตัดหรือลดอัตราการไหลของไอน้ำ(พลังงาน) ถ้าอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ต่ำกว่าค่าที่ต้องการ วาล์วควบคุมไอน้ำก็จะทำการเพิ่มอัตราการไหลของไอน้ำ(พลังงาน) ที่กล่าวมานี้สามารถจะกระทำโดยผู้ปฏิบัติงานได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการต่าง ๆ จะมีตัวแปรมากมายที่จะต้องรักษาไว้ที่ค่าที่ต้องการ การดูแลหรือแก้ไขค่าเหล่านี้จะต้องใช้ผู้ปฏิบัติการมาก และนี่เองเป็นการนำมาซึ่งการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์มาทำการควบคุมตัวแปรเหล่านี้ โดยปราศจากผู้ปฏิบัติงาน

ระบบควบคุมก็จะต้องถูกออกแบบ โดยเพิ่มเติมอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.7 สิ่งแรกที่จะต้องทำก็คือวัดค่าอุณหภูมิทางออก โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจจับ(เทอร์โมคัปเปิล) อุปกรณ์ตรวจจับนี้จะถูกต่ออยู่กับ อุปกรณ์ส่งสัญญาณ มีหน้าที่ทำให้สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับมีขนาดและความแข็งแรงมากขึ้นพอที่จะส่งให้ เครื่องควบคุม เครื่องควบคุมเมื่อได้รับสัญญาณนี้ที่เป็นการสัมพันธ์กับอุณหภูมิทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ การตัดสินใจว่าจะทำอะไรขึ้นอยู่กับผลของการเปรียบเทียบ และส่งสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งไปให้กับ อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ซึ่งจะทำการปรับอัตราการไหลของไอน้ำต่อไป



รูปที่ 2.7 ระบบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากที่กล่าวมาแล้วจะพบว่า มีอุปกรณ์พื้นฐานอยู่สี่อย่างในระบบการควบคุม ได้แก่

- อุปกรณ์ตรวจจับ โดยทั่วไปเรียกว่า Primary Element
- อุปกรณ์ส่งสัญญาณ โดยทั่วไปเรียกว่า Secondary Element

- เครื่องควบคุม เป็น ‘สมอง’ ของระบบควบคุม
- อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย โดยที่พบมากจะเป็นวาล์วควบคุมแต่ไม่เสมอไป อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายอื่น ได้แก่ ปั๊มที่แปรค่าความเร็วได้ สายพานลำเลียง มอเตอร์ไฟฟ้า
- ความสำคัญของอุปกรณ์เหล่านี้ จะมีการกระทำโดยพื้นฐานอยู่ 3 การกระทำ และต้องพบเห็นได้ทุกระบบควบคุม ซึ่งการกระทำเหล่านี้คือ
 - วัดค่า วัดค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมปกติจะใช้ร่วมกันระหว่าง อุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ
 - ตัดสินใจ ผลของการวัดทำให้เครื่องควบคุมตัดสินใจว่าจะต้องทำอะไรเพื่อที่จะรักษาไว้ซึ่งค่าที่ต้องการของตัวแปรที่ถูกควบคุม
 - ส่งกริยาควบคุม ผลของการตัดสินใจเครื่องควบคุมจะต้องส่งกริยาไปกระทำโดยผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

2.5.2 ตัวแปรที่สำคัญและจุดประสงค์ที่สำคัญของกระบวนการควบคุมแบบอัตโนมัติ

ตัวแปรที่จำเป็นได้ถูกกำหนด เพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมอัตโนมัติซึ่งตัวแปรแรกคือ ตัวแปรที่ถูกควบคุม (Controlled Variable) ตัวแปรนี้จะต้องถูกรักษาหรือควบคุมไว้ที่ค่าที่ต้องการ ในตัวอย่างที่เล่ามาอุณหภูมิทางออก $T(t)$ คือตัวแปรที่ถูกควบคุม ตัวแปรที่สองคือ จุดเป้าหมาย (Set Point) เป็นค่าที่ต้องการของตัวแปรที่ถูกควบคุม ตัวแปรการจัดการ (Manipulated Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกใช้ในการจัดการรักษาค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมไว้ที่จุดเป้าหมาย ในตัวอย่าง อัตราการไหลของไอน้ำคือตัวแปรจัดการ ตัวแปรตัวสุดท้ายคือตัวแปรที่สามารถเป็นสาเหตุให้ตัวแปรที่ถูกควบคุม นั้นเกิดการเบี่ยงเบนไปจากจุดเป้าหมายจะถูกกำหนดให้เป็น ตัวแปรรบกวน (Disturbance or Upset) ในกระบวนการส่วนใหญ่จะมีจำนวนของตัวแปรที่รบกวนที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 2.7 เป็นไปได้ที่ตัวแปรรบกวนคือ อุณหภูมิทางเข้า $T_i(t)$ อัตราการไหลของของเหลว $q(t)$ คุณภาพของพลังงานที่ได้จากไอน้ำ สถานะแวดล้อม รอยรั่วไหล ลักษณะของเหลว และอื่น ๆ

2.5.3 การควบคุมแบบปรับเซตและแบบติดตามเป้าหมาย

(Regulatory and Servo Control)

ในบางกระบวนการ ตัวแปรที่ถูกควบคุม จะเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมายอันเนื่องมาจาก สิ่งรบกวนที่เป็นสถานะแวดล้อมทางธรรมชาติ การควบคุมเพื่อที่จะรักษาให้ได้ค่าที่เป้าหมายนั้นในระบบมักจะมีตัวเซตเซตค่าของสิ่งรบกวนเหล่านี้ด้วย แต่ว่าสิ่งรบกวนที่สำคัญมากที่สุดนั้นก็ คือค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงไปตามฟังก์ชันของเวลาได้แก่ Batch Process เพราะฉะนั้นตัวแปรที่ถูก

ควบคุมจะต้องติดตามค่าเป้าหมายอยู่ตลอดเวลา และ Servo Control ได้ถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์นี้

2.5.4 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์การวัดและควบคุม

สัญญาณต่าง ๆ ที่ได้ถูกเตรียมขึ้น เพื่อใช้ในการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ของระบบ ควบคุมนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดในวงการอุตสาหกรรม ปัจจุบันได้แก่ สัญญาณแรงดันลม (Pneumatic Signal) โดยปกติจะมีพิสัยระหว่าง 3 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และน้อยมากที่พบได้แก่พิสัยที่ 6 ถึง 30 หรือ 3 ถึง 27 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงในไดอะแกรมของท่อและเครื่องมือวัด(Piping and Instrument P&ID) สำหรับสัญญาณแรงดันลมคือ  สัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ปกติจะมีพิสัยระหว่าง 4 ถึง 20 mA และน้อยมากที่จะพบพิสัยที่ 10 ถึง 50 mA 1 ถึง 5 และ 0 ถึง 10 โวลต์ สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงในไดอะแกรมของท่อและเครื่องมือวัดคือ  ส่วนชนิดที่สามของสัญญาณซึ่งจะกลายเป็นมาตรฐานคือ สัญญาณแบบดิจิทัล (Digital or Discrete Signal) หรือสัญญาณดิสครีต(Discrete) หรือสัญญาณ 0 และ 1 ใช้สัญลักษณ์ ---/---/---

ในบางครั้งมีความจำเป็น จะต้องเปลี่ยนชนิดสัญญาณจากแบบหนึ่งเป็นสัญญาณอีกแบบหนึ่ง สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ(Transducer) ตัวอย่าง ต้องการจะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแรงดันลมก็ทำได้โดยใช้ อุปกรณ์แปลงสัญญาณแบบกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันลม(I/P Transducer) แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.8 ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าทางเข้าอาจจะเป็น 4 ถึง 20 mA และทางออกเป็นแรงดัน 3 ถึง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้อุปกรณ์แปลงสัญญาณมีอยู่หลายชนิดเช่น แปลงแรงดันลมเป็นกระแสไฟฟ้า(P/I Transducer) แปลงจากแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงดันลม(E/P Transducer) แปลงจากแรงดันลมเป็นแรงดันไฟฟ้า(P/E Transducer) และอื่น ๆ



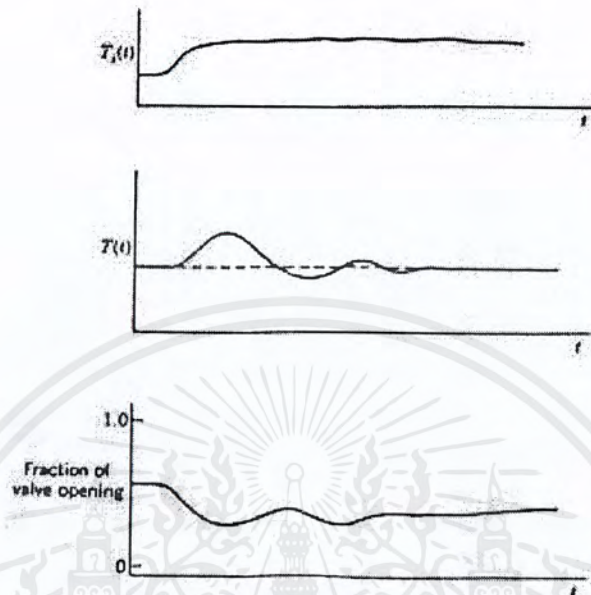
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันลม

2.5.5 ยุทธวิธีสำหรับการควบคุมการควบคุมแบบป้อนกลับ

ผังภาพการควบคุมที่แสดงในรูปที่ 2.7 ถูกจัดให้เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ และถูกเรียกว่าวงรอบหรือลูการควบคุมแบบป้อนกลับ วิธีการนี้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในกระบวนการ โดย James Watt เมื่อประมาณ 200 ปีที่ผ่านมา โดยนำมาประกอบขึ้นเป็นอุปกรณ์รักษาความเร็วให้คงที่ของกลจักรไอน้ำ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของภาระ และนี่ก็คือการนำไปใช้งานของ Regulatory Control ในผังภาพจะพบว่าตัวแปรที่ถูกควบคุม ถูกใช้เป็นตัวป้อนกลับไปยังเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม เพื่อที่จะทำการตัดสินใจในการควบคุมต่อไป สิ่งหนึ่งที่จะต้องทำความเข้าใจในหลักการ
ทำงานของการควบคุมแบบป้อนกลับคือ จะต้องรู้ถึงข้อดีข้อดีและข้อเสียของการควบคุมแบบนี้
ก่อน ต่อไปแสดงให้เห็นโดยยกตัวอย่าง กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ถ้าอุณหภูมิทางเข้าของกระบวนการเพิ่มขึ้น แสดงว่ากระบวนการถูกรบกวน จากสภาวะ
ภายนอก และผลของมันคือความร้อนจะแพร่กระจายเข้าไปภายในกระบวนการ ตลอดไปจนถึง
ทางออก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทางออกสัญญาณจากอุปกรณ์วัดที่ส่งให้เครื่องควบคุม
ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย และนั่นเองเครื่องควบคุมจะต้องออกคำสั่งชดเชย สำหรับสิ่งรบกวนดังกล่าว
โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของไอน้ำ คือทำการปิดวาล์วเพื่อลดอัตราการไหลของไอน้ำ รูป
ที่ 2.9 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของผลสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้น และกิริยาตอบสนองของเครื่องควบคุม

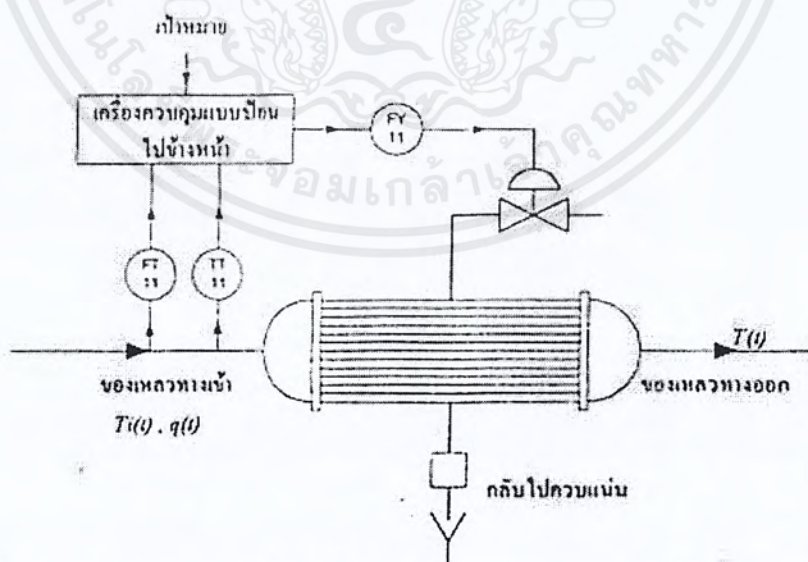
มีสิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่งก็คือ เมื่ออุณหภูมิทางเข้าเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิทางออกเพิ่มขึ้น
ตามจากนั้น จะลดลงต่ำกว่าจุดเป้าหมายและแกว่งไปรอบ ๆ จุดเป้าหมายและสุดท้ายก็เข้าสู่เสถียร
ผลตอบสนองที่มีการแกว่งนี้ แสดงให้เห็นถึงการทำงานของระบบการควบคุมแบบป้อนกลับคือ
เครื่องควบคุมเมื่อพบความผิดพลาดก็จะติดตามแก้ไขความผิดพลาดนั้นเรื่อยไป (Trial and Error)
จนอุณหภูมิเข้าจุดเป้าหมายตามต้องการ ข้อดี ของการควบคุมแบบป้อนกลับนั้นก็คือ เป็นวิธีการง่าย
จะทำการชดเชยทุกค่าหรือทุกแหล่งที่มาของสิ่งรบกวน ที่มีผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุม ทำให้ตัว
แปรที่ถูกควบคุมเบี่ยงเบนไปจากจุดเป้าหมาย เครื่องควบคุมก็จะเปลี่ยนแปลงค่าควบคุมเพื่อให้ตัว
แปรที่ถูกควบคุมเข้าหาจุดเป้าหมายตามเดิม ส่วน ข้อเสีย ของการควบคุมแบบป้อนกลับนั้นก็คือ
แม้ว่าจะสามารถชดเชยค่าสำหรับสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ถูก

ควบคุมมาทำการแก้ไขได้ก็ตาม แต่สิ่งรบกวนนั้นได้เกิดขึ้นมาก่อนหน้านี้แล้วก่อนที่จะแพร่กระจายมาที่ทางออก

งานของวิศวกรก็คือทำการออกแบบผังการควบคุม เพื่อให้สามารถควบคุมให้ได้ค่าที่จุดเป้าหมายตามต้องการ และอีกอย่างหนึ่งที่จะต้องทำก็คือจะต้องปรับแต่งเครื่องควบคุมเพื่อให้สามารถมีทำงาน แบบติดตามแก้ไขน้อยที่สุด(Minimum Trial and Error) และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น วิศวกรจะต้องรู้ถึงคุณลักษณะหรือ บุคลิกภาพ (Personality) ของกระบวนการที่กำลังถูกควบคุม ถ้าเข้าใจถึงบุคลิกภาพของกระบวนการดีแล้ว วิศวกรก็สามารถออกแบบบุคลิกภาพของเครื่องควบคุมให้ได้ดีที่สุด

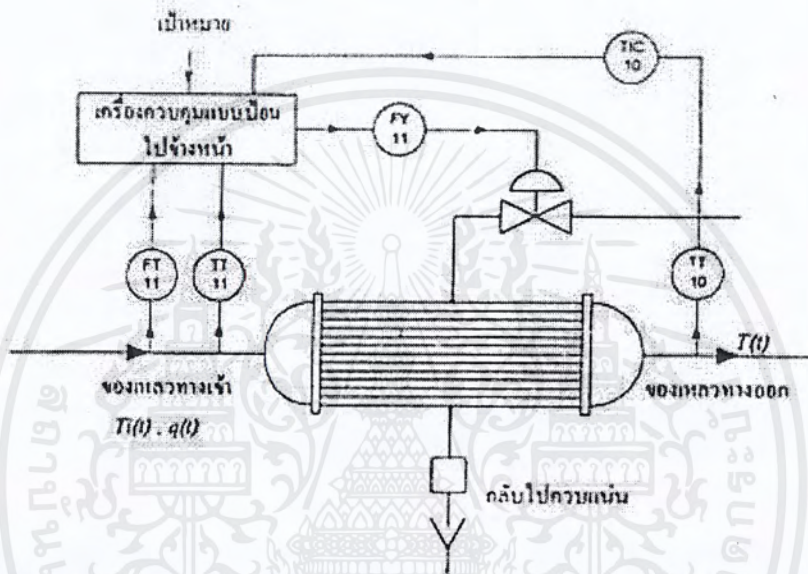
การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Control)

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในกระบวนการอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม กระบวนการบางแบบ การควบคุมแบบป้อนกลับไม่สามารถตอบสนองตามสมรรถภาพตามที่ต้องการได้ วิธีการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าจะแสดงให้เห็นโดยยกตัวอย่าง กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูป 2.6 สมมติว่าสิ่งรบกวนหลักได้แก่อุณหภูมิทางเข้า $T_i(t)$ และอัตราการไหล $q(t)$ เพื่อให้เป็นผลแก่การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า สิ่งรบกวนทั้งสองนี้จะต้องถูกวัด และจากนั้นการตัดสินใจจะต้องทำอย่างไร ที่จะให้อัตราการไหลของไอน้ำไปชดเชยสิ่งรบกวนทั้งสองนี้ รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า เครื่องควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าจะทำการตัดสินใจว่าจะไปควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำอย่างไร ที่จะรักษาค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมให้อยู่ที่จุดเป้าหมายได้



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ระบบการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้านั้น ได้ทำการชดเชยสำหรับสิ่งรบกวนคืออุณหภูมิทางเข้า $T_i(t)$ และอัตราการไหล $q(t)$ เท่านั้น และถ้ามีสิ่งรบกวนอื่น ๆ เข้ามาในกระบวนการแล้ว วิธีการนี้จะไม่ได้ชดเชยให้ ซึ่งอาจจะเกิดการเบี่ยงเบนไปอย่างถาวรของตัวแปรที่ถูกควบคุมจากจุดเป้าหมายได้ เพื่อที่จะแก้ไขการเบี่ยงเบนนี้ การควบคุมแบบป้อนกลับ จะต้องถูกนำมาใช้ร่วมกับการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าจะชดเชยเฉพาะสิ่งรบกวนหลัก $T_i(t)$ และ $q(t)$ เท่านั้น ขณะที่การควบคุมแบบป้อนกลับจะชดเชยทุกสิ่งรบกวนอื่น ๆ ที่เข้ามา



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ร่วมกับการชดเชยด้วยการป้อนกลับ

2.6 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการควบคุมกระบวนการ

2.6.1 อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

อุปกรณ์วัดจะเป็นตัววัดปรากฏการณ์ทางกล ทางไฟฟ้า ของตัวแปรกระบวนการส่วน อุปกรณ์ส่งสัญญาณ จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณที่สามารถส่งออกมา ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้น จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีเทอมสำคัญประกอบกัน 3 เทอมคือ พิกัด(Range) ของเครื่องมือวัดถูกกำหนดโดยค่า สูงและต่ำสุดของตัวแปรกระบวนการที่ทำการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกปรับ เทียบไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50 psig นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณ ดังกล่าวมีพิกัด 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด(Span) ของเครื่องมือวัดคือความแตกต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิกัดนั้น คืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้มีช่วงการวัดเท่ากับ 30psi ส่วน ซีโร(Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิกัดซึ่งมีค่า 20 psig

ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ในเทอมของอัตราขยายนั้นเป็นสิ่งง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัดโดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิกัดเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้นได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออก หรือตัวแปรผลตอบสนองหารด้วยการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชันขับ ในกรณีนี้ทางออกของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์(4 – 20 mA) และทางเข้าเป็นความดันในกระบวนการ (0 – 200 psig) ดังนั้น

$$K_T = \frac{20mA - 4mA}{200psig - 0psig} = \frac{16mA}{200psi} = 0.08 \frac{mA}{psi}$$

ซึ่ง K_T เป็นอัตราขยายของอุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์

หรือถ้าเป็นอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณอุณหภูมิแบบนิวแมติกส์มีพิกัด $100^{\circ}F - 300^{\circ}F$ และอัตราขยายคือ

$$K_T = \frac{15psig - 3psig}{300^{\circ}F - 100^{\circ}F} = \frac{12psi}{200^{\circ}F} = 0.06 \frac{psi}{^{\circ}F}$$

หรืออาจจะพูดได้ว่าอัตราขยายของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณก็คือ อัตราส่วนของช่วงการวัดของทางออกต่อช่วงการวัดของทางเข้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นค่าคงที่ตลอดช่วงของการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามมีอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณบางชนิด ไม่อยู่ในกรณีนี้ เช่น อุปกรณ์วัดความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Sensor) ที่ใช้วัดอัตราการไหล โดยวัดความแตกต่างของความดัน h ที่ตกคร่อมออริฟิซ (Orifice) ซึ่งความแตกต่างของแรงดันนี้จะมีความสัมพันธ์ เป็นกำลังสองของอัตราการไหลแบบปริมาตร (Volumetric flow) F นั่นคือ

$$F^2 \propto h$$

สมการที่ได้อธิบายสัญญาณทางออกของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณความแตกต่างของความดันแบบอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้วัดอัตราการไหลด้วยพิกัด $0 - F_{max}$ gpm จะได้

$$M_F = 4 + \frac{16}{(F_{max})^2} F^2$$

เมื่อ M_F = สัญญาณทางออกของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ, mA

F = อัตราการไหลแบบปริมาตร

$$K_T = \frac{dM_F}{dF} = \frac{2(16)}{(F_{max})^2} F$$

หรือ อัตราขยายที่ภาวะปกติ

$$K'_T = \frac{16}{F_{max}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าอัตราขยายจะไม่คงที่แต่จะเป็นไปตามฟังก์ชันของอัตราการไหล เมื่ออัตราการไหลมาก อัตราการขยายก็จะสูงตามซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว

$$\text{At } \left| \frac{\bar{F}}{F_{\max}} \right| \quad \begin{matrix} 0 & 0.1 & 0.5 & 0.75 & 1.0 \end{matrix}$$

$$\left| \frac{K_T}{K'_T} \right| \quad \begin{matrix} 0 & 0.2 & 1.0 & 1.50 & 2.0 \end{matrix}$$

ดังนั้นอัตราขยายจะแปรค่าไปจากศูนย์ ไปเป็นแบบสองเท่า ของอัตราขยายที่ภาวะปกติ โดยผลลัพธ์ อันนี้เป็นจริงของอัตราไหลที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบควบคุม ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่ที่ผลิต อุปกรณ์ส่งสัญญาณความแตกต่างความดัน จะมีอุปกรณ์ถอดรากที่สอง (Square Root Extractor) รวมไว้ด้วย เพื่อให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณดังกล่าวนั้นมีสัญญาณทางออกที่เป็นเชิงเส้น ผลตอบสนอง ทางพลศาสตร์ของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณโดยทั่วไปจะเร็วกว่ากระบวนการ เนื่องจากค่าเวลาคง ตัวและเวลาล่าช้า สามารถที่จะตัดทิ้งได้ และฟังก์ชันถ่ายโอนของอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นเพียงอัตรา การขยายอย่างเดียว อย่างไรก็ตามถ้าจำเป็นจะต้องนำมาพิจารณาแล้ว ในทางปฏิบัติเราจะแทน ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือวัดด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนแบบอันดับที่หนึ่งหรืออันดับที่สอง

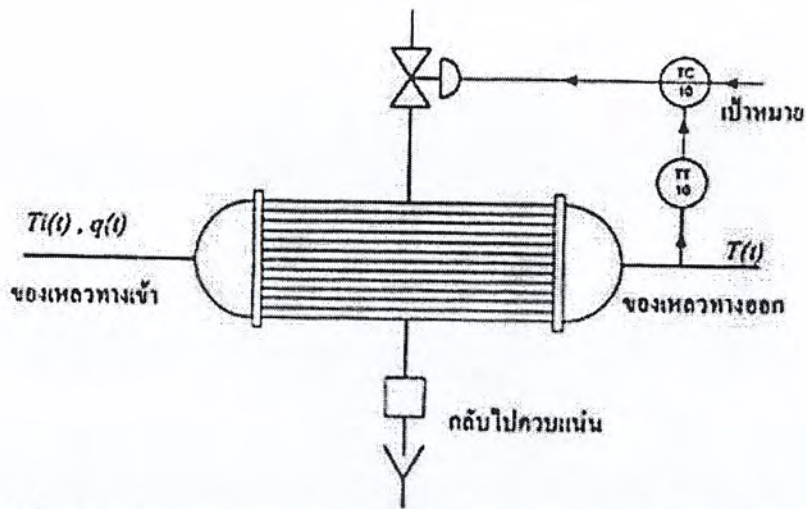
$$G(s) = \frac{K_T}{\tau s + 1} \quad \text{หรือ} \quad G(s) = \frac{K_T}{\tau^2 s^2 + 2\tau\zeta s + 1}$$

2.6.2 วาล์วควบคุม(Control Valve)

วาล์วควบคุมเป็นสิ่งที่ทั่วไปใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย จะพบใน กระบวนการที่ควบคุมอัตราการไหล วาล์วควบคุมมีการทำงานคล้ายกับ ตัวต้านทานการไหลที่ปรับ ค่าได้(Variable Restriction) โดยการเปลี่ยนแปลงการเปิดปิดเพื่อควบคุมอัตราการไหล

กริยาของวาล์วควบคุม (Control Valve Action)

เมื่อเกิดความล้มเหลวหรือผิดปกติของแหล่งจ่ายกำลัง ตำแหน่งของวาล์วจะต้องอยู่ ที่ใด (Fail Position) หลักการของการพิจารณาก็คือเหตุผลของความปลอดภัย ถ้าวิศวกรตัดสินใจใน เรื่องของความปลอดภัยแล้วว่า ควรจะให้วาล์วควบคุมนั้นปิด ก็จะต้องเลือกแบบ ปกติปิด Fail-Closed(FC) และแน่นอนจะต้องมีวาล์วอีกแบบหนึ่งก็คือ แบบ ปกติเปิด Fail – Open(FO) เมื่อเกิด ผิดปกติของแหล่งจ่ายกำลังวาล์วชนิดนี้จะถูกเปิด วาล์วควบคุมแบบนิวเมติกส์นั้นจะใช้ความดัน ลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง วาล์วแบบปกติปิดจะต้องการความดันลมเพื่อที่จะเปิดเพราะฉะนั้นจะเป็น การทำงานแบบ ความดันลมเพื่อเปิด Air to Open(AO) และวาล์วแบบปกติเปิดจะต้องการความดัน ลมเพื่อปิด ซึ่งเป็นการทำงานแบบ ความดันลมเพื่อปิด Air to Close(AC)



รูปที่ 2.12 แสดงวงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากรูปที่ 2.12 เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน คือของไหลในกระบวนการที่ทางออก จะต้องถูกควบคุมอุณหภูมิโดยไอน้ำเมื่อเกิดการล้มเหลวขึ้นแล้วถ้าต้องการให้ปลอดภัยที่สุดนั้นก็ควรจะปิดไอน้ำนั้นเสีย แสดงว่าจะต้องใช้วาล์วควบคุมเป็นแบบ FC ซึ่งจะไม่คำนึงถึงว่ากระบวนการนั้นจะถูกควบคุมต่อไปหรือไม่ แต่ถ้าของไหลในกระบวนการนั้นเป็น โพลีเมอร์ (Polymer) และวาล์วควบคุมไอน้ำถูกปิดก็จะเป็นไม่มีความร้อนให้กับกระบวนการผลก็คือโพลีเมอร์จะกลายสภาพเป็นของแข็งได้ซึ่งในกรณีนี้ก็จะจะต้องเลือกวาล์วควบคุมที่เป็นแบบ FO จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตัดสินใจให้ถูกว่าจะอะไรคือความปลอดภัยสูงสุดหรือเสียหายน้อยที่สุด

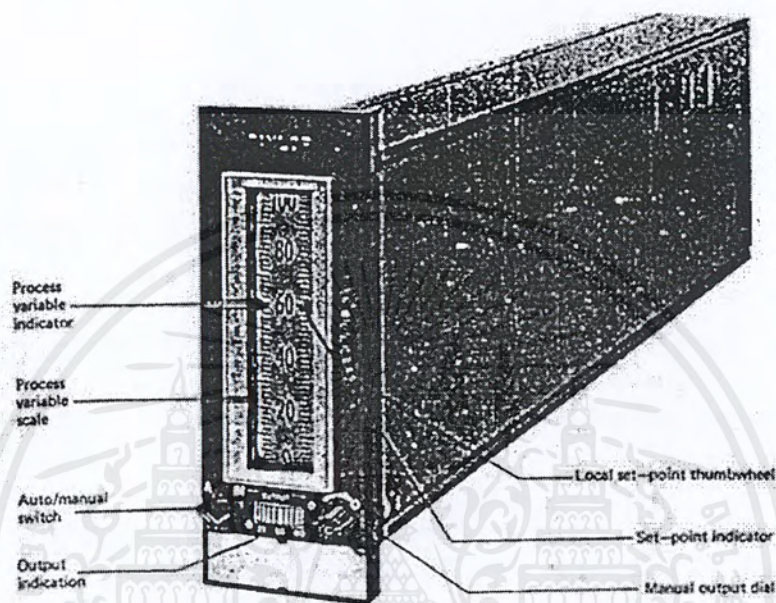
2.6.3 เครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงชนิดควบคุมในอุตสาหกรรมที่สำคัญ และหลักการทำงานที่เป็นทั้งแบบนิวแมติกส์ อิเล็กทรอนิกส์ และใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ พูดอย่างง่ายแล้วเครื่องควบคุมก็คือ สมอ ในวงรอบของการควบคุม เครื่องควบคุมจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการตัดสินใจให้กับระบบควบคุมโดยการเปรียบเทียบสัญญาณของกระบวนการ ที่ได้จากอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณซึ่งก็คือ ตัวแปรที่ถูกควบคุมกับจุดเป้าหมาย จากนั้นก็จะส่งสัญญาณที่เหมาะสมให้กับวาล์วควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายแบบอื่นเพื่อที่จะรักษาไว้ซึ่งค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมที่จุดเป้าหมาย รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นในความแตกต่างของเครื่องควบคุม ปุ่มลูกบิด สวิตช์ และปุ่มกด มีไว้สำหรับเพื่อปรับค่าเป้าหมายอ่านค่าของตัวแปร ที่ถูกควบคุมปรับเปลี่ยนโหมดของการควบคุมระหว่างผู้ปฏิบัติการหรือควบคุมด้วยมือกับแบบอัตโนมัติ สามารถปรับและอ่านสัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมซึ่งเครื่องควบคุมส่วนมากจะมีฟังก์ชันเหล่านี้ให้เลือกใช้งานที่แผงควบคุมด้านหน้า

สวิตช์เลือกโหมดระหว่างควบคุมด้วยมือกับแบบอัตโนมัติเป็นอันหนึ่งที่น่าสนใจเมื่อเมื่อ สวิตช์อันนี้อยู่ในตำแหน่งอัตโนมัติ (Auto) เครื่องควบคุมก็จะมีการตัดสินใจและสัญญาณทางออก

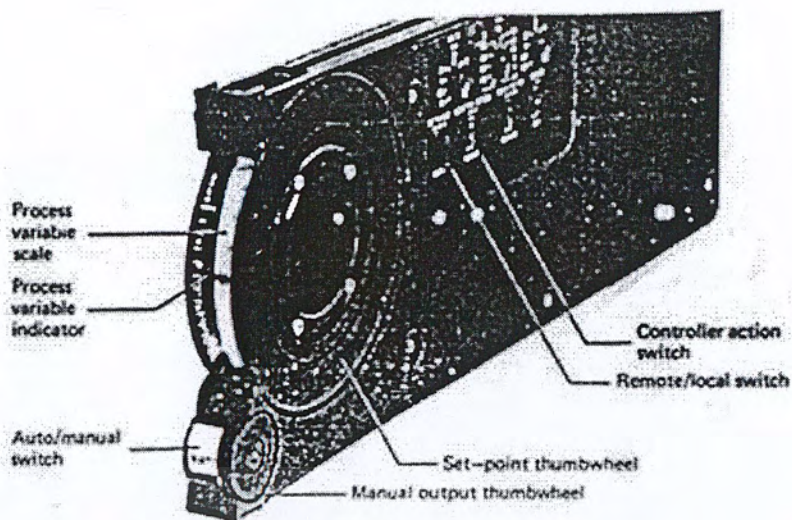
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เหมาะสมจะถูกส่งออกไปให้กับอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายและเมื่อสวิตช์นี้อยู่ในตำแหน่งควบคุมด้วยมือ(Manual) เครื่องควบคุมจะหยุดการตัดสินใจและ ค้าง ค่าของสัญญาณทางออกไว้ที่ค่านั้น สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมสามารถที่จะถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยผู้ปฏิบัติงานหรือวิศวกรด้วยการหมุนปุ่มควบคุมสัญญาณทางออกด้วยมือ ใช้ไค์ดสวิตช์หรือปุ่มกด เครื่องควบคุมแบบนี้เป็นแบบที่ใช้สะดวกและง่ายแต่ราคาแพง

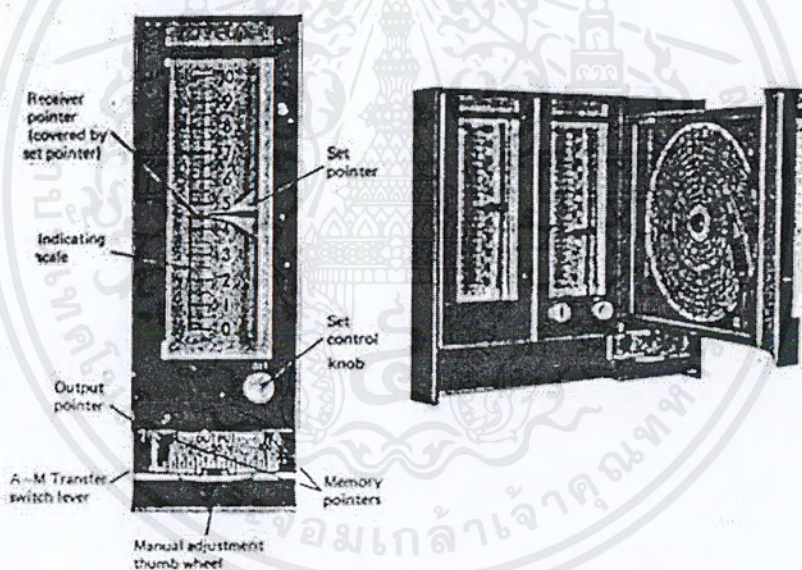


รูปที่ 2.13(a) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม
(Courtesy of Taylor Instrumentation)

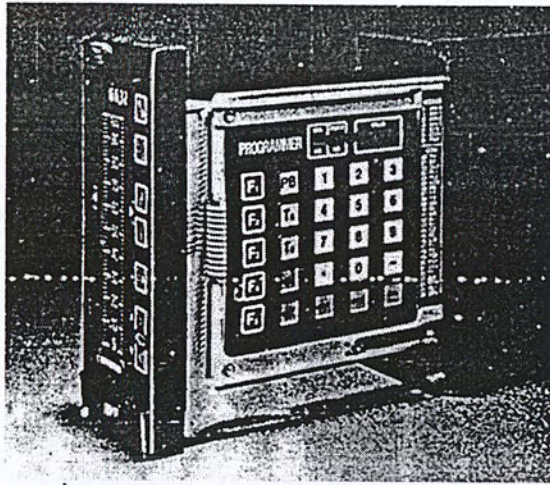
รูปที่ 2.13 (b) และ รูปที่ 2.13(d) แสดงให้เห็นด้านข้างของเครื่องควบคุมซึ่งโดยทั่วไปจะเหมือนกัน มีบางรุ่นด้านข้างจะเป็นแผงควบคุมที่ใช้เลือกวิธีการปรับค่าเป้าหมาย แบบที่หน้าเครื่องหรือแบบรีโมต ถ้าค่าเป้าหมายถูกปรับที่ปุ่มด้านหน้าเครื่องก็แสดงว่าตัวเลือกวิธีปรับค่าเป้าหมายถูกตั้งให้เป็นแบบที่หน้าเครื่องโดยปกติจะกระทำโดยบิดปุ่มหรือสวิตช์ แต่ค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมถูกกระทำการปรับค่าจากอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องควบคุม รีเลย์ คอมพิวเตอร์ แสดงว่าวิธีการปรับค่าเป้าหมายเป็นแบบรีโมต เมื่อใช้วิธีการแบบรีโมตแล้วปุ่มปรับค่าเป้าหมายที่แผงด้านหน้าจะไม่เกิดผลกระทบแต่อย่างใดต่อค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุม ในกรณีนี้เครื่องควบคุมจะรับสัญญาณค่าเป้าหมายจากอุปกรณ์อื่น โดยปกติสัญญาณนี้จะถูกต่อถึงกันทางแผงหลังของเครื่องควบคุม



รูปที่ 2.13(b) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ
(Courtesy of Fisher Controls)



รูปที่ 2.13(c) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ
(Courtesy of Foxboro Co.)

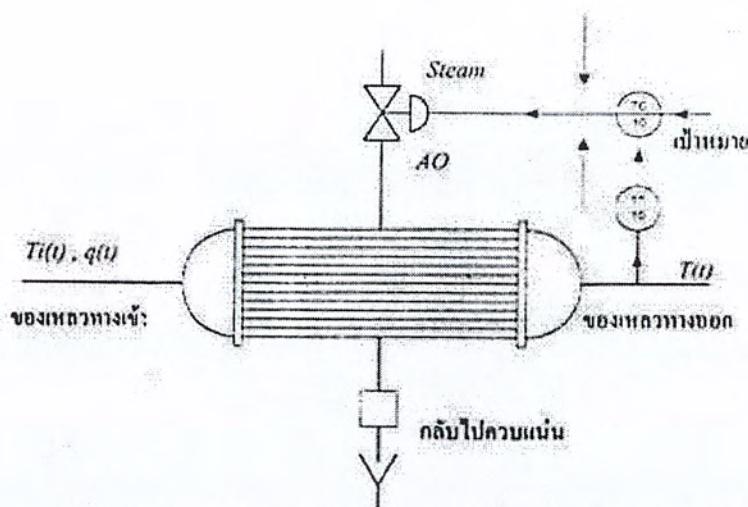


รูปที่ 2.13(d) แสดงเครื่องควบคุมกระบวนการ
(Courtesy of Fisher & Porter)

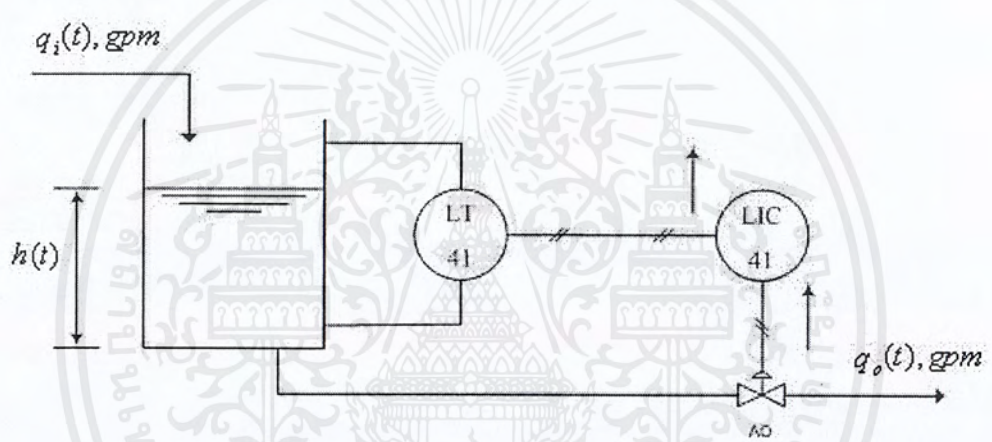
กริยาของเครื่องควบคุม

พิจารณาวงรอบควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ในรูปที่ 2.14 ถ้าอุณหภูมิทางออกของของไหลในกระบวนการได้เคลื่อนที่เหนือจากจุดเป้าหมาย เครื่องควบคุมก็ต้องทำการปิดวาล์วควบคุม ถ้าวาล์วที่ใช้เป็นแบบความดันลมเพื่อเปิด(AO) เครื่องควบคุมจะต้องลดขนาดของสัญญาณทางออก (ความดันลมหรือกระแสไฟฟ้าสวิตช์เปิดในรูป) โดยจะต้องตั้งเครื่องควบคุมไว้ที่ กริยาทางออกแบบกลับ(Reverse Action) บางผู้ผลิตอาจจะเรียกกริยานี้ว่า กริยาลดลง(Decrease) นั้นจะหมายความว่ามีการเพิ่มขึ้นในสัญญาณทางเข้าของเครื่องควบคุมแล้วเป็นผลให้สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมจะลดลง

ต่อไปพิจารณาวงรอบของการควบคุมระดับของเหลวในรูปที่ 2.15 ถ้าระดับของเหลวเคลื่อนที่เหนือจุดเป้าหมายเครื่องควบคุมก็ต้องเปิดวาล์วเพื่อที่จะให้ระดับของเหลวกลับเข้าสู่จุดเป้าหมายเมื่อวาล์วที่ใช้เป็น แบบแรงดันลมเพื่อเปิด(AO) เครื่องควบคุมจะต้องเพิ่มขนาดของสัญญาณทางออก (สวิตช์เปิดในรูป) โดยจะต้องตั้งเครื่องควบคุมไว้ที่ กริยาทางออกแบบตรง(Direct Action) และบางผู้ผลิตจะเรียกกริยานี้ว่า กริยาเพิ่มขึ้น(Increase) คือมีการเพิ่มขึ้นในสัญญาณทางเข้าของเครื่องควบคุมแล้วเป็นผลให้สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมจะเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.14 วงรอบการควบคุมของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2.15 วงรอบการควบคุมของระดับของเหลว

สรุปไว้ว่าในการที่จะเลือกกริยาของเครื่องควบคุมวิสวกรจะต้องรู้ในเรื่องราวต่าง ๆ ดังนี้
อะไรเป็นสิ่งที่ต้องการจะควบคุมในกระบวนการกริยาของวาล์วควบคุม หรืออุปกรณ์ขั้นสุดท้าย
แบบอื่นทั้งสองสิ่งนี้จะต้องถูกนำมาพิจารณาร่วมกัน ผู้อ่านสามารถจะถามตัวเองได้ว่าจะต้องใช้
กริยาเครื่องควบคุมแบบใดสำหรับใช้กับการควบคุมระดับของเหลว ถ้าใช้วาล์วแบบแรงดันลมเพื่อ
เปิด(AO) หรือถ้าระดับของเหลวนั้นถูกควบคุมจากอัตราไหลทางเข้าแทนที่จะเป็นการควบคุมจาก
อัตราไหลทางออก กริยาของเครื่องควบคุมปกติจะตั้งโดยสวิตซ์ที่ด้านข้าง

2.7 ชนิดของเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ

2.7.1 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller:P)

เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นชนิดที่ง่ายที่สุดของเครื่องควบคุม
ทำงานของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนเป็นดังนี้

สมการที่อธิบายการ

$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t))$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t)$$

เมื่อ

$m(t)$ = ทางออกของเครื่องควบคุม , psig หรือ mA

$r(t)$ = ค่าเป้าหมาย , psig หรือ mA

$c(t)$ = ตัวแปรที่ถูกควบคุม , psig หรือ mA เป็นสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

$e(t)$ = สัญญาณผิดพลาด , psig หรือ mA เป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับตัว

แปรที่ถูกควบคุม

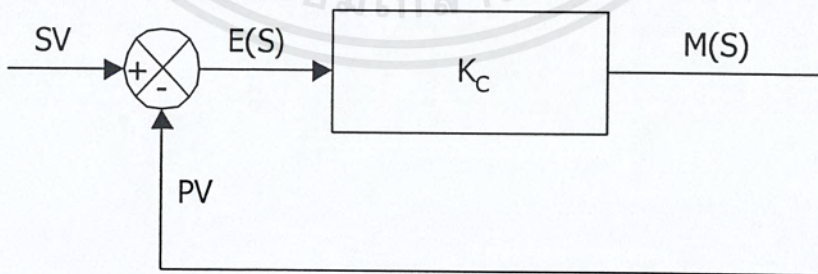
K_c = อัตราการขยายของเครื่องควบคุม , psig/psig , mA/mA

$\bar{m}$ = ค่าไบอัส , psig หรือ mA เป็นค่าทางออกของเครื่องควบคุมเมื่อสัญญาณผิดพลาด

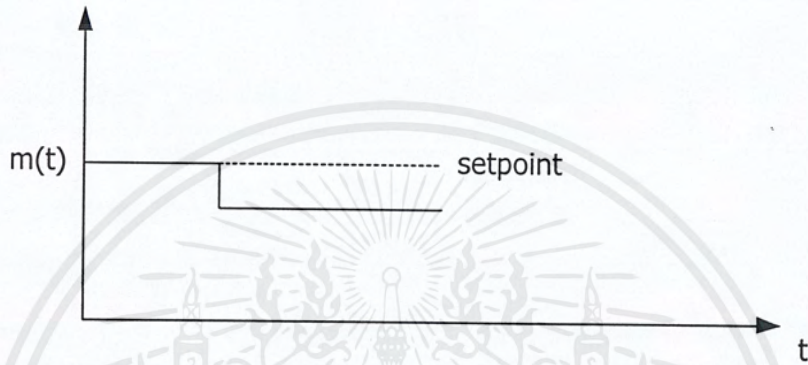
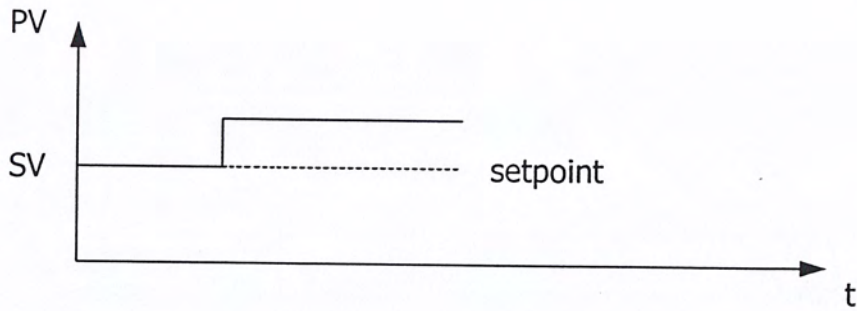
เป็นศูนย์

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c$$



รูปที่ 2.16 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ P



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ P

ข้อดี

- มีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวในการปรับแต่งอัตราขยาย

ข้อเสีย

- การทำงานของเครื่องควบคุมจะเกิดออฟเซต(Off Set)แก่ตัวแปรที่ถูกควบคุม

2.7.2 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล

(Proportional-Integral-Controller : PI)

กระบวนการที่ต้องการขจัดค่าออฟเซต เพื่อต้องการให้ค่าตัวแปรที่ควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมาย จะต้องใช้เทอมอินทิกรัลมาช่วย สมการที่อธิบายการทำงานของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลเป็นดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t)) + \frac{K_c}{T_i} \int (r(t) - c(t)) dt$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt$$

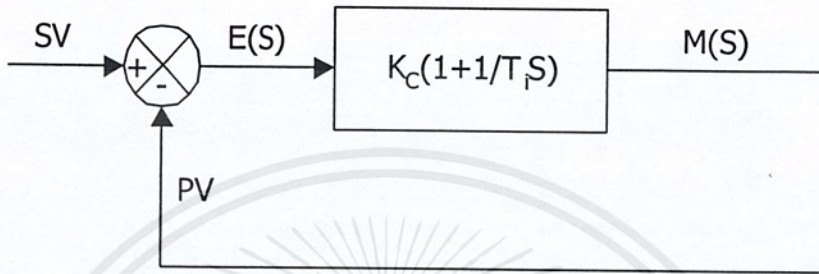
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

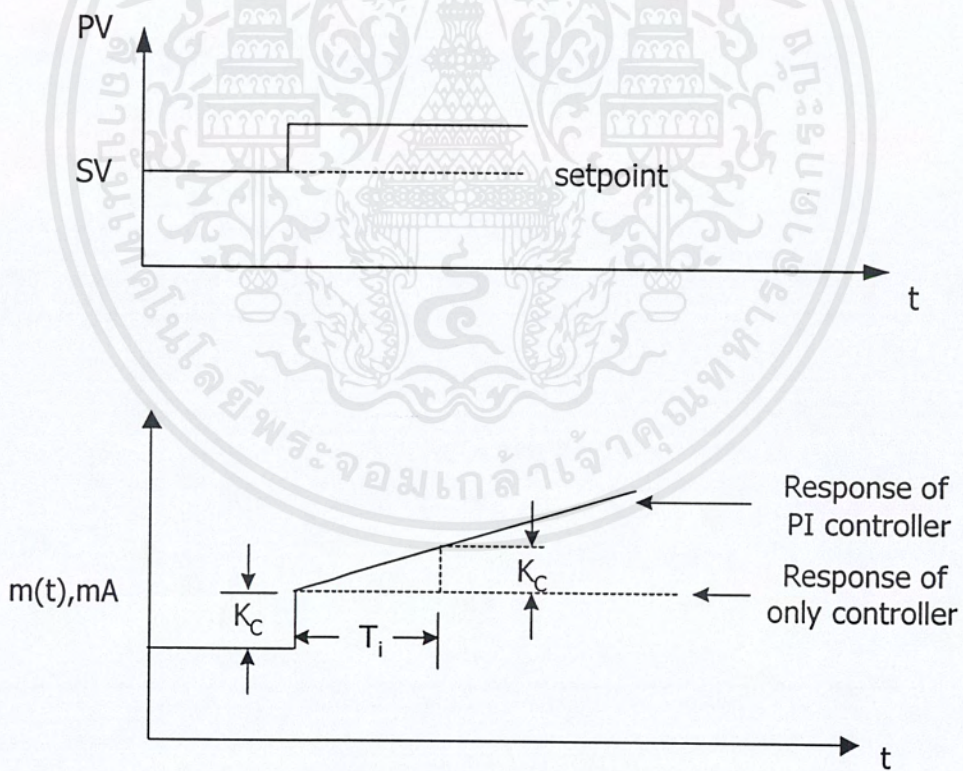
T_i = เวลาในการอินทิเกรตหรือเวลารีเซ็ต , นาฬิกา/จำนวนครั้ง

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$



รูปที่ 2.18 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PI



รูปที่ 2.19 แสดงผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี

- จะทำการขจัดค่ารีเซ็ตให้หมดไป จะเป็นผลให้ค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

ข้อเสีย

- มีค่าพารามิเตอร์สองตัวที่ต้องปรับ ได้แก่ อัตราขยายหรือ Proportional Band และค่าเวลารีเซ็ตหรืออัตรารีเซ็ต

2.7.3 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนและดิริเวทีฟ

(Proportional-Derivative-Controller : PD)

เครื่องควบคุมแบบนี้จะถูกใช้ในกระบวนการที่ใช้เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว แต่ต้องการค่าของการคาดการณ์ล่วงหน้าอีกเล็กน้อย สมการที่อธิบายการทำงานของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับดิริเวทีฟเป็นดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t)) + K_c T_D \frac{d(r(t) - c(t))}{dt}$$

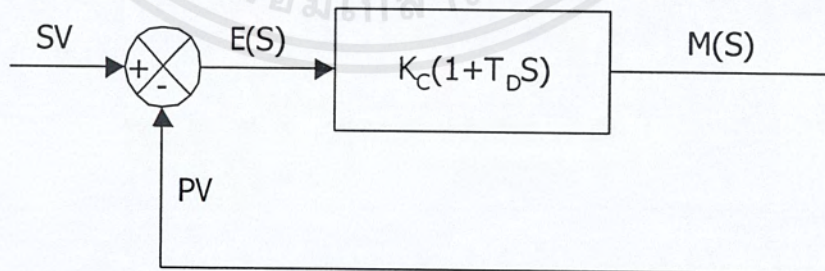
หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_D \frac{de(t)}{dt}$$

เมื่อ T_D = ดิริเวทีฟหรืออัตรามีหน่วยเป็นเวลา, นาที

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c(1 + T_D s)$$



รูปที่ 2.20 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PD

ข้อดี

- ทำให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้นกว่าแบบสัดส่วนอย่างเดียว เป็นผลให้ค่าออฟเซ็ทน้อย

ลง

ข้อเสีย

- ไม่สามารถแก้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงที่หรือค่าออฟเซ็ทได้

2.7.4 เครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและดิริเวทีฟ

(Proportional-Integral-Derivative Controller : PID)

เป็นการนำเอากริยาการควบคุมทั้งสามแบบมาใช้ร่วมกันคือกริยาควบคุมแบบ Proportional ซึ่งจะเพิ่มอัตราขยาย กริยาควบคุมแบบ Integral ที่สามารถแก้ค่าออฟเซ็ทได้ และกริยาควบคุมแบบ Derivative ซึ่งจะเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเมื่อกระบวนการมีการทำงานโดยมองที่อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของความผิดพลาด สมการที่อธิบายการทำงานของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและดิริเวทีฟเป็นดังนี้

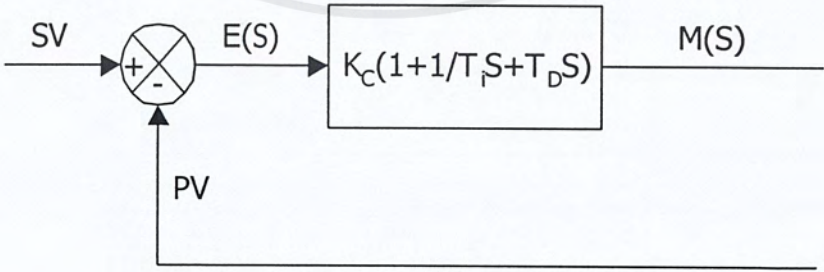
$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t)) + \frac{K_c}{T_i} \int (r(t) - c(t)) dt + K_c T_D \frac{d(r(t) - c(t))}{dt}$$

หรือ

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt + K_c T_D \frac{de(t)}{dt}$$

แปลงลาปลาซจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right)$$



รูปที่ 2.21 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบ PID

ข้อดี

- มีความถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

- จะเร็วและอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

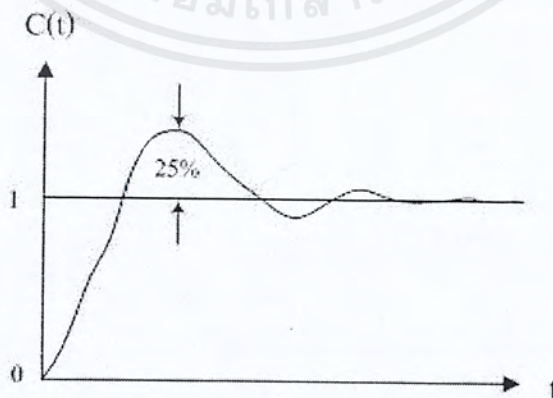
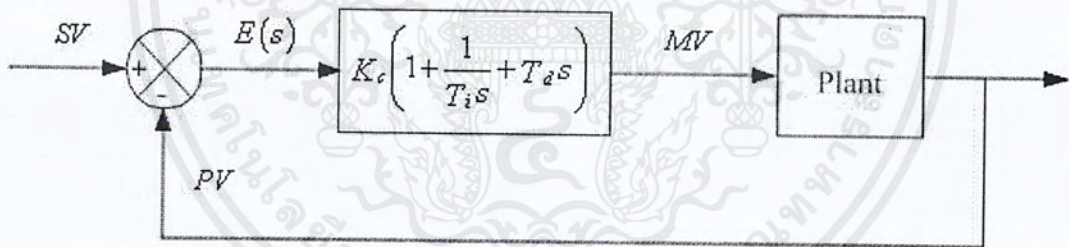
2.8 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักใช้วิธีลองผิดลองถูก ซึ่งการปรับค่าด้วยวิธีนี้นั้นจะต้องอาศัยความชำนาญ ประสบการณ์และความคุ้นเคยกับกระบวนการเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ก็ยังมีวิธีการคิดค้นวิธีที่จะช่วยหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องควบคุม

วิธีการหนึ่งที่จะกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่วิธีที่นำเสนอโดย J.G. Ziegler และ N.B. Nichols โดย J.G. Ziegler และ N.B. Nichols ได้เสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของการควบคุมแบบ PID ไว้ โดยได้ศึกษาผลของ Proportional Band , Integral Time และ Derivative Time ที่มีผลต่อการควบคุมกระบวนการ และเสนอการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมแบบ PI และแบบ PID ไว้

2.8.1 การปรับค่าของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่า K_c , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุมซึ่งมีอยู่ 2 วิธีแต่ในที่นี้จะขอกล่าวแค่วิธีเดียว ซึ่งแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุตแบบ Unit Step มีค่าของ Maximum Overshoot ไม่เกิน 25%



รูปที่ 2.22 แสดงค่าสูงสุดของค่า Maximum Overshoot

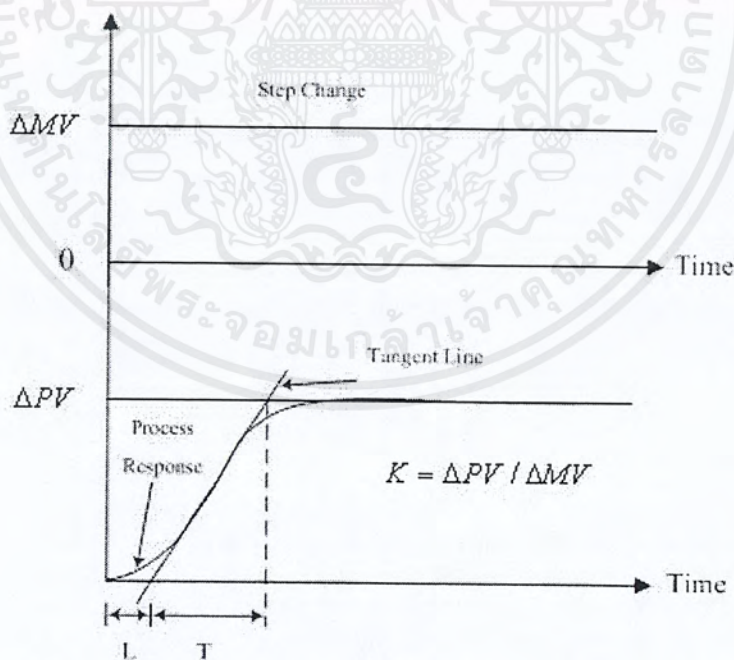
ที่ต้องการเมื่อปรับโดยวิธี Ziegler-Nichols

2.8.1.1 การคำนวณจากวิธี Process Reactive Curve

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูบปิดต่ออินพุตแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มีโพล(Pole)ที่จุดกำเนิด(Origin) หรือไม่มี Dominant Complex Conjugate และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ผลตอบสนองรูปตัว S นี้จะถูกนำมาอธิบายคุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) ด้วยพารามิเตอร์ 3 ค่า คือค่าอัตราขยายของกระบวนการ(Gain:K) ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ(Delay Time: L) และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ(Time Constant:T) โดยค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ(L) และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ(T) จะถูกประมาณโดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด(Maximum Slope) โดยเส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาต์พุต $C(t)$ ที่ $C(t) = K$ ดังรูปที่ 2.23 ส่วนค่าอัตราขยายของกระบวนการ(K) ทราบได้เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่

ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่ง แบบมีการหน่วงเวลา ที่มี Transport Lag คือ

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{(Ts + 1)}$$



รูปที่ 2.23 แสดงผลตอบสนอง เมื่อใช้วิธี Process reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

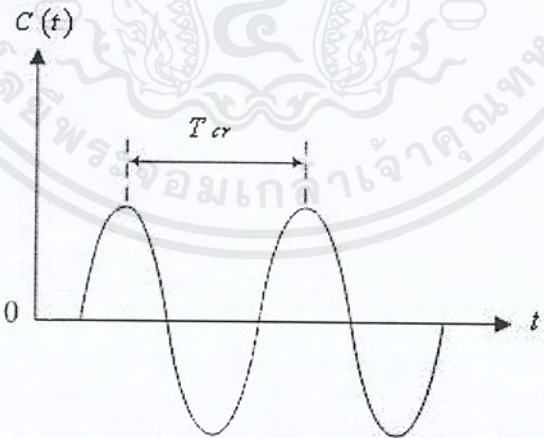
ตามวิธี Process Reaction Curve

Controller Mode	Proportional band PB (%)	Reset(integral) time T_i (sec)	Rate(derivative) time T_d (sec)
PI	100/0.9(T/L)	3.3L	-
PID	100/1.2(T/L)	2L	0.5L

2.8.1.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P แบบลูปปิดต่ออินพุตแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ K_c ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งผลตอบสนองเวลาของกระบวนการเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง(Sustained Oscillations) ดังรูปที่ 2.24 (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องวิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) = อัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง
 T_{cr} (Oscillation Period) = คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.24 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง
เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method

วิธีนี้ไม่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากระบบต้องทำงานใกล้ความไม่เสถียรภาพและใช้เวลาก่อนข้างนานมาก โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงมาก ๆ เช่น กระบวนการควบคุม

อุณหภูมิ สำหรับวิธีนี้ Ziegler – Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ไว้ใน ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID
ตามวิธี Ultimate Method

Controller Type	Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
Proportional only (P)	$K_{cr}/2$	-	-
Proportional-Integral (PI)	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative (PID)	$K_{cr}/1.7$	$T_{cr}/2$	$T_{cr}/8$

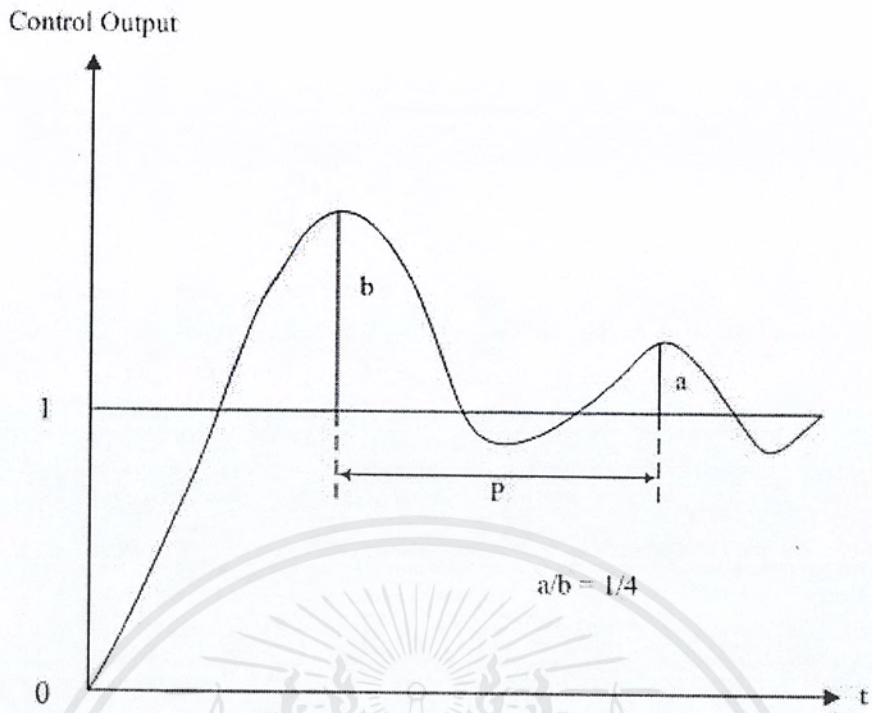
2.8.1.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation

วิธีหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Damped Oscillation เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่มีการปรับค่าของ K_c ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองเวลาของกระบวนการไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะปรับค่าของ K_c ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูปิดมีอัตราการเสื่อม (Quarter Decay Ratio) เท่ากับ 1/4 ดังรูปที่ 2.25 จากนั้นวัดค่าของคาบเวลา P และค่า K_c ที่ปรับจนทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุม มีอัตราการเสื่อมเท่ากับ 1/4 (สมมุติให้เป็น K_{Do}) ไปใช้คำนวณหาค่า K_c , T_i และ T_d ดังนี้

$$K_c = K_{Do}(1/4)$$

$$T_i = P/1.5$$

$$T_d = P/6$$



รูปที่ 2.25 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation

บทที่ 3

องค์ประกอบของกระบวนการ

3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ถังน้ำ (Tank) โปร่งใส มีฝาปิดประกบบนล่างเจาะรูบน เพื่อให้เป็นกระบวนการแบบถังเปิดหรือใช้จุดดูดเพื่อเป็นกระบวนการแบบถังปิดก็ได้ เป็นภาชนะสำหรับใส่น้ำเพื่อควบคุมระดับของน้ำภายในถังนี้

- มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 18.6 cm เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 21.3 cm

- มีความสูง 60 cm

มีท่อนำล้นไหลติดอยู่ศูนย์กลางของถังน้ำ สำหรับระบายน้ำล้นภายในถังน้ำ

- มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 5 cm

- สูง 54.5 cm 3 อัน และ สูง 53.7 cm 1 อัน

มีท่อโปร่งใสติดกับ Tank สำหรับติดตั้งอุปกรณ์การวัดระดับน้ำทางด้านข้างของถัง

- มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.9 cm เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 6.3 cm

- มีความสูง 60 cm

จำนวน 4 ชุด



รูปที่ 3.1 ถังน้ำ

คุณลักษณะของ Tank

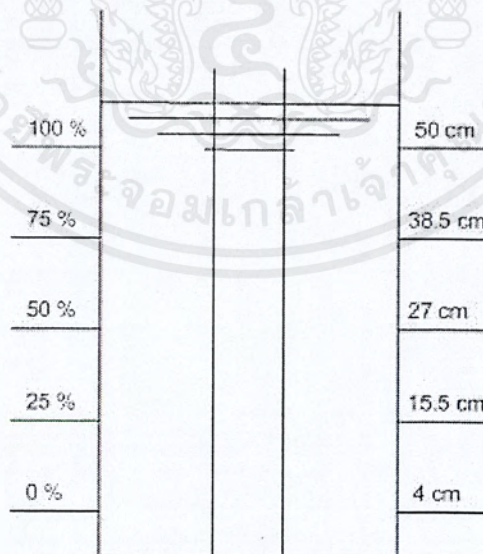
พื้นที่หน้าตัดของ Tank เท่ากับ พื้นที่หน้าตัดของฐานถึง ลบ พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำล้น โดยเส้นผ่านศูนย์กลางในของฐาน(d_A)เท่ากับ 18.5cm และเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำล้นนอก(d_T)เท่ากับ 5 cm

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ถังน้ำ} &= \frac{\pi}{4}d_A^2 - \frac{\pi}{4}d_T^2 \\ &= \frac{\pi}{4}18.5^2 - \frac{\pi}{4}5^2 \\ &= 268.803 - 19.635 \\ &= 249.168 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

ส่วนฐานของถังน้ำเตรียมรูทางน้ำออกไว้ 5 รู คือ

- รูแรก คือ รูที่อยู่จุดศูนย์กลางถังน้ำเป็นรูไว้สำหรับระบายน้ำทิ้งที่รับมาจากท่อน้ำล้น
- รูสอง คือ รูที่ไว้สำหรับเป็นไหลค่น้ำไหลออกจากกระบวนการ
- รูสาม คือ รูที่ต่อเชื่อมไปยังอีกถังหนึ่งสำหรับรูปแบบของกระบวนการที่มีผลกระทบต่อกัน(Interacting)
- รูสี่ คือ รูที่ไว้สำหรับจำลองกระบวนการในสถานะที่มีการรบกวนหรือเกิด Disturbance ขึ้น
- รูห้า สำหรับคัดแปลงเพิ่มเติมต่อไป

ช่วงสเกลของถังน้ำ



รูปที่ 3.2 ช่วงสเกลของถังน้ำแต่ละถัง

3.1.2 ทรานสมิตเตอร์สำหรับความดันแตกต่าง(D/P Transmitter)

เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งสำหรับวัดระดับของเหลวในรูปแบบการวัดความดันแตกต่าง โดยแปลงระดับของเหลวที่วัดได้ส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณ Analog Output 4 – 20 mADC กลับไปให้ Current Loop Supply ที่ Input ขา 1,6 ของ Current Loop Supply ด้วยสายไฟฟ้า 2 เส้นที่เป็นสายไฟเลี้ยง 24 VDC ที่รับมาจาก Current Loop Supply ด้วยเช่นเดียวกัน โดยที่ Output ของ Current Loop Supply ขา 3,4 จะต่อตัวต้านทาน(Resistor) 250 Ω ไว้เพื่อแปลงกระแส 4 - 20 mADC ที่รับมาจาก D/P Transmitter ให้เป็นเอาต์พุตในรูปของแรงดัน 1 – 5 VDC เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตส่งให้ตัวบันทึกสัญญาณ(Recorder) หรือ ตัวควบคุม(Controller)ต่อไป

Model STD920-A1N-00000-M-E9

- มี Measuring Span 250 to 10160 mmH₂O
- ใช้ Supply 10.8 - 45 VDC
- Output 4 – 20 mADC Analog/Digital
- Maximum Working Pressure Rating 140 kgf/cm²
- มี Meter แสดงผลภายในตัว มีสเกล 0-100% ที่เป็น Linear และ 0-10 ที่เป็น Square Root

จำนวน 3 ตัว

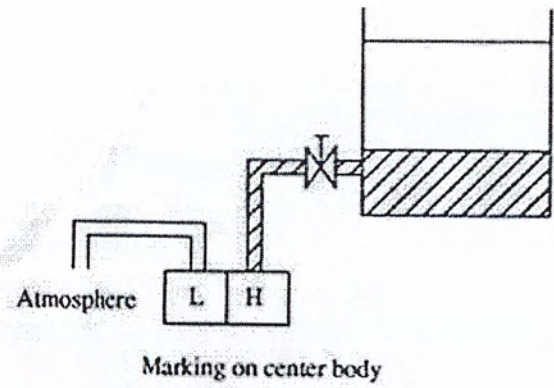


ก. ด้านหน้า



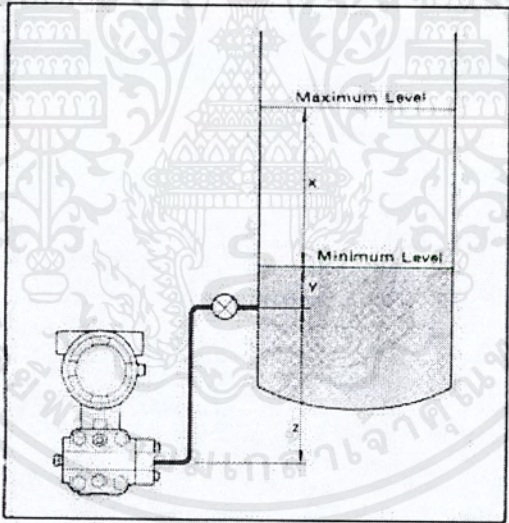
ข. ด้านหลังจุดต่อ High ,Low

รูปที่ 3.3 D/P Transmitter Model STD920-A1N-00000-M-E9



รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งD/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถัง

จากรูปที่ 3.4 เป็นการติดตั้ง D/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถังโดยจะติดตั้ง D/P Transmitter ไว้วัดระดับของถัง แล้วต่อทางด้านHigh ของ D/P Transmitter กับก้นถังน้ำโดยต่อผ่านท่อโปร่งใสที่ติดกับข้างถังน้ำ และทางด้าน Low ของ D/P Transmitter จะเปิดปล่อยว่างไว้กับบรรยากาศภายนอก(Atmosphere)เป็นลักษณะการวัดแบบถึงเปิด



รูปที่ 3.5 ช่วงความดันแตกต่างของถังเปิด

จากรูปที่ 3.5 การคำนวณ

$Span = xG_L$

$Zero\ Suppression = yG_L + zG_s$

G_L คือ ความถ่วงจำเพาะของของเหลวในถังน้ำ

G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของของเหลวในการต่อสาย

การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตของ D/P Transmitter ที่ช่วงระดับน้ำต่าง ๆ ในถังของ Model STD920

ตารางที่ 3.1 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 1

Tank 1 กับ D/P Transmitter TAG. 1			
% ของระดับน้ำ	Output D/P(Volt)	ระดับน้ำ(mmH ₂ O)	ระดับน้ำ(cm)
0 %	1.000	429.0	4
25 %	1.984	530.6	15.5
50 %	2.987	634.3	27
75 %	3.976	736.7	38.5
100 %	5.000	842.0	50

ตารางที่ 3.2 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 2

Tank 2 กับ D/P Transmitter TAG. 2			
% ของระดับน้ำ	Output D/P(Volt)	ระดับน้ำ(mmH ₂ O)	ระดับน้ำ(cm)
0 %	1.000	357.2	4
25 %	2.009	450.7	15.5
50 %	3.022	544.8	27
75 %	4.019	636.8	38.5
100 %	5.000	727.5	50

ตารางที่ 3.3 แสดงเปรียบเทียบค่าช่วงของสเกลกับ D/P Transmitter ตัวที่ 3

Tank 3 กับ D/P Transmitter TAG. 3			
% ของระดับน้ำ	Output D/P(Volt)	ระดับน้ำ(mmH ₂ O)	ระดับน้ำ(cm)
0 %	1.000	1301.3	4
25 %	2.005	1409.7	15.5
50 %	2.991	1515.3	27
75 %	4.002	1623.8	38.5
100 %	5.000	1730.0	50

Model UNE11-SLK4 *B /TBR

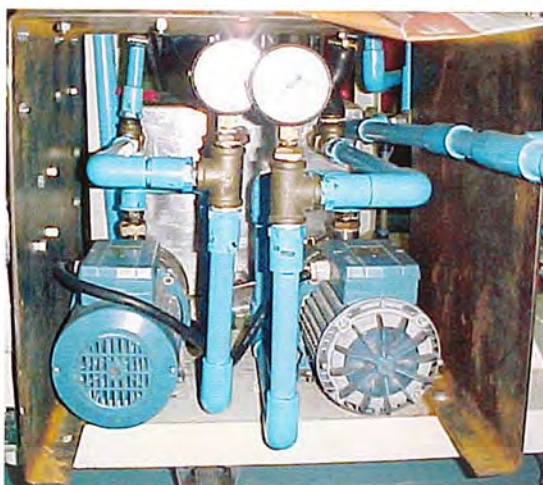
- มี Measuring Span 0 - 250 to 0 - 700 mmH₂O
 - ใช้ Supply 24 VDC
 - Output 4 – 20 mADC Analog
 - Maximum Working Pressure Rating 35 kgf/cm²
 - Meter แสดงผลติดภายในตัว มีสเกล 0-100% ที่เป็น Square Root
- จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.6 D/P Transmitter Model UNE11-SLK4 *B /TBR

3.1.3 ปั๊มน้ำ(Pump) สำหรับสูบน้ำจากถังพักน้ำ(Bulk Tank) จ่ายเข้าน้ำเข้าเป็นอินพุตของกระบวนการ มีลักษณะการเริ่มทำงานแบบ Capacitor Start ควบคุมการทำงานโดย Magnetic Relay เป็นวงจร Start – Stop ปั๊มน้ำ

- มี $H_{\max} 32.5m$ – $Q_{\min} 1m^3/h$
 - มี $H_{\min} 14m$ – $Q_{\max} 4.25m^3/h$
 - มี $0.45kw$ $\cos \phi 0.96$ $\eta 2800/min$
 - ใช้ไฟ 220–240VAC ที่ 50Hz
 - มี $3.2A$ $cl F ip 54s1$
 - มีตัวเก็บประจุ $12.5\mu F$ 450VC
 - น้ำหนัก 9.4 kg
- จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.7 ปั๊มน้ำ



รูปที่ 3.8 การต่อ Valve Bypass

จากรูปที่ 3.8 เป็นการต่อ Valve Bypass สำหรับการปรับอัตราการไหลที่ออกจาก ปั๊มน้ำให้ได้อัตราการไหลผ่าน Control Valve ให้เท่ากันทั้งสองตัว ซึ่งก็คืออัตราการไหลเข้าของทั้งกระบวนการนั่นเอง และยังเป็น การป้องกันความดันย้อนกลับไม่ให้มากเกินไปเมื่อ Control Valve อยู่ในตำแหน่งปิด(กรณีนี้ Action เป็น Air to Open)

3.1.4 ถังพักน้ำ(Bulk Tank) สำหรับพักน้ำของระบบทั้งหมดเพื่อจ่ายให้กับถังน้ำทั้ง 4 ถัง โดยปั๊มน้ำดูดน้ำเข้าระบบ และเป็นที่เก็บน้ำสำหรับน้ำสิ้นในระบบ และน้ำที่ไหลออกจากระบบ และน้ำที่ไหลออกมาจาก Valve Bypass ด้วย

- มีขนาดกว้าง 45.5 cm ยาว 48.5 cm สูง 33 cm

- มีปริมาตร 72,822.75 cm³



รูปที่ 3.9 ถังพักน้ำ

3.1.5 วาล์วควบคุม (Control Valve)

ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลเข้าของของเหลวในระบบ ในรูปแบบการเปิด-ปิดของวาล์ว โดยรับสัญญาณการควบคุม Analog 4-20 mA DC จากตัวควบคุม (Controller) และต้องมีการจ่าย ความดันลมประมาณ 4.2 kgf/cm^2 ที่ Actuator เพื่อจ่ายให้ Diaphragm ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ในกรณีนี้ Actuator เป็น Reverse Action คือ Air to Open ก็คือเมื่อมีลมมาถึงเปิดวาล์ว เมื่อ Controller ส่งสัญญาณ 20 mA มายัง Control Valve จะถูกวงจร I to P Positioner แปลงกระแสเป็นความดัน 15 psi เพื่อขับให้วาล์วอยู่ในตำแหน่งเปิดสุด

Model MK1

- Pipe Size 3/4 inches
- Pressure Rating CL150
- Body A216WCB
- Trim SUS316
- Flow Characteristic Equal Percentage
- Air Supply 4.2 kgf/cm^2
- Action Air to Open
- Signal 4 – 20 mA

มี I/P Positioner

- Input 4-20 mA
- Output 3 – 15 psi
- Supply Pressure 30 to 150 psi

จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.10 วาล์วควบคุม

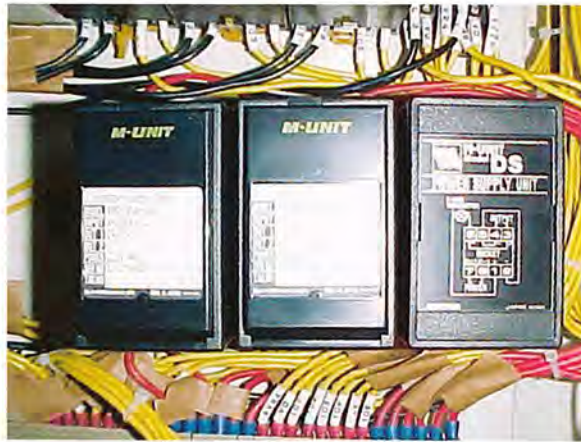
3.1.6 Current Loop Supply

ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 24 VDC ที่ขา 1,6 ให้ D/P Transmitter 4 ตัว และ Electromagnetic Flowmeter 2 ตัว โดยภายในวงรอบ(Loop) จะมีกระแส 4 ถึง 20 mA ที่รับมาจาก อุปกรณ์ D/P Transmitter และ Electromagnetic Flowmeter ส่งออกที่ Output 1 ที่ขา 3,4 แต่ที่ Output 1 นี้ จะต่อตัวต้านทาน(Resistor) 250 Ω คร่อมเอาไว้เพื่อให้ที่ Output 1 นี้ เป็นแรงดัน 1 ถึง 5 VDC เพราะเนื่องจากอุปกรณ์ที่ต่อกับ Output 1 ของ Current Loop Supply จะรับค่าเป็นแรงดันซึ่งก็คือ ตัวบันทึกสัญญาณ(Recorder) และตัวควบคุมอัตโนมัติ(Controller) ส่วนที่ Output 2 ที่ขา 2,5 ให้ต่อลัดวงจร(Short)ไว้เพื่อให้ภายในวงจรครบเป็นวงรอบ(Current Loop)

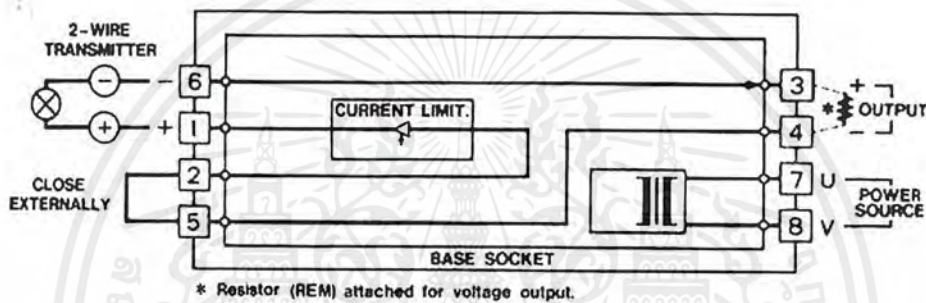
Model DS – 24 – H

- เป็น M – Unit ; Plug – in base socket
 - เป็น Supply Output 24 VDC
 - ใช้ Power Source 220 VAC
 - มี Input 4 – 20 mA DC
 - มี Current Rating 22 mA DC max.
 - ที่ Output Signal 4 – 20 mA DC จะมีตัวต้านทาน 250 Ω ต่ออยู่พื้นฐาน
- Socket ทำให้มี Output Signal 1 – 5 VDC

จำนวน 6 ตัว



รูปที่ 3.11 Current Loop Supply



รูปที่ 3.12 การต่อ Current Loop Supply

3.1.7 Electromagnetic Flowmeter

เป็นอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของของเหลว โดยอาศัยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเมื่อมีของเหลวไหลผ่านและของเหลวนี้นี้ต้องสามารถนำไฟฟ้าได้ด้วย สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ตัวนี้เพื่อนำมาวัดอัตราการไหลออกทั้งหมดที่ได้จากปั๊มแต่ละตัวที่จะเป็นอินพุทของกระบวนการต่อไป โดยติดตั้งที่ตำแหน่งหลังจาก Control Valve ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัดอัตราการไหลทั้งหมดที่ออกจากปั๊มแต่ละตัว โดยทิศทางการไหลจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกไหลขึ้นสำหรับจ่ายน้ำให้ถึงด้านบนในส่วนนี้จะต่อผ่าน Rotameter สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำจ่ายขึ้นถึงน้ำส่วนบน ส่วนที่สองจะไหลแยกออกมาเพื่อจ่ายให้น้ำส่วนด้านล่าง โดยจะทราบอัตราการไหลจากการหักล้างอัตราการไหลที่ได้จาก Magnetic Flow กับ Rotameter และส่วนที่เป็นตัว Remote จะต่อสายสัญญาณติดตั้งแยกออกมาต่างหากกับตัวที่เป็นตัววัด โดยที่ตัว Remote นี้จะรับแหล่งจ่าย 24 VDC จาก Current Loop Supply และเมื่อตัวจับสัญญาณความเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจากการวัดอัตราการไหลออกมาได้ ก็จะได้สัญญาณ Analog Output ออกมา 4-20 mADC ส่งกับไปให้ Current Loop Supply

SMT 3000**Model** SWM20B 0025P1 21SV XXXX

- EX 327.7

คู่กับตัวที่เป็น Remote

Model SMT20B XXSV5 XXX

- EX 327.7

จำนวน 1 ตัว

SMT 3000**Model** SWM20B 0025P1 21SV XXXX

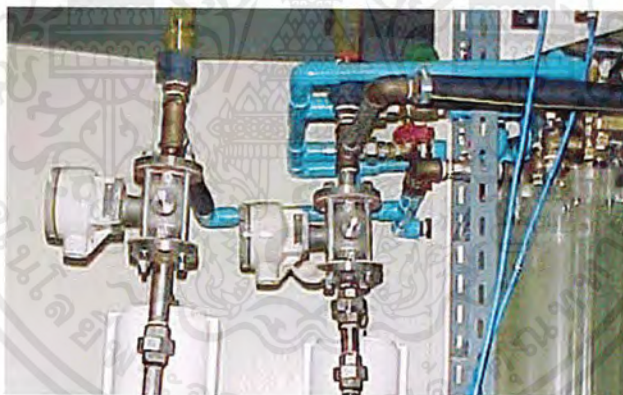
- EX 323.7

คู่กับตัวที่เป็น Remote

Model SMT20B XXSV5 XXX

- EX 323.7

จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.13 Electromagnetic Flow ส่วนที่เป็นตัววัด(Integral Type)



รูปที่ 3.14 Electromagnetic Flow ส่วนที่ตัวควบคุม(RemoteType)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 โรตاميเตอร์(Rotameter)

เป็นตัววัดอัตราการไหลของน้ำโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ โดยจะมีลูกลอยอยู่ภายในหลอดแก้วเรียว ที่มีสเกลสำหรับบอกค่าอัตราการไหลที่หลอดแก้วภายนอก โดยการวัดจะอาศัยแรงดันน้ำผลักดันลูกลอยเกิดแรงลอยตัวขึ้น และที่ตัวลูกลอยนี้จะมีคานาแน่นมากกว่าของไหล เมื่อแรงลอยตัวสมดุลกับน้ำหนักของลูกลอยก็จะได้อัตราการไหลที่ตำแหน่ง

โรตاميเตอร์นี้จะต่อกับท่อน้ำที่แยกมาจาก Electromagnetic Flow เป็นท่อน้ำที่จะจ่ายน้ำให้ถึงส่วนบน

- มีสเกลเป็นลิตรต่อชั่วโมง (l/h)

- $\rho = 1 \text{ kg/l}$

จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.15 Rotameter

3.1.9 วาล์วปรับตำแหน่งการเปิด-ปิดที่มีจำนวนรอบมากรอบ

มีลักษณะเป็นแบบมือหมุนได้ตัวสีแดงและตัวสีเขียว ไว้สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในรูปของการเปิด – ปิด พื้นที่ของท่อที่จะให้น้ำไหลเข้าและออกจากถัง ถ้าพิจารณาในลักษณะน้ำไหลออกจากถังจะเป็นการปรับพื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำออก ทำให้อัตราการไหลเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับการปรับ มีลักษณะเหมือนความต้านทานการไหลของ Flow เช่นกัน และถ้าพิจารณาในลักษณะของ Flow ที่ไหลเข้าถังก็จะเป็นการต้านทานการไหลเข้าของ Flow ของถังเช่นเดียวกัน

การปรับจะพิจารณาโดยการประมาณจำนวนรอบของการหมุน Valve ที่เปิดสุดหรือปิดสุด โดยจะถือเอาว่าการเปิดสุด(100%) เท่ากับ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. วาล์วตีแดง



ข. วาล์วตีเขียว

รูปที่ 3.16 วาล์วปรับค่าได้

3.1.10 วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

เป็นวาล์วเปิด-ปิด (On – Off) ไว้สำหรับควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ (Flow) ที่จะไหลเข้าในกระบวนการ ใช้วาล์วในส่วนนี้เป็นตัวปรับรูปแบบการทำงานโดยเปิด-ปิดควบคุมทิศทางการไหลของน้ำที่จะเข้าในแต่ละถังตามรูปแบบของกระบวนการที่ต้องการทำการทดลอง รูปแบบของกระบวนการนั้นจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.17 วาล์วปีกผีเสื้อ

3.1.11 มาตรวัดความดัน(Pressure Gauge)

ใช้สำหรับวัดความดันที่จ่ายออกมาจากปั๊มน้ำ และใช้ในการประมาณความดันที่จ่ายเข้า Control Valve



รูปที่ 3.18 มาตรวัดความดัน

3.1.12 ตัวบันทึกสัญญาณ(Recorder)

เป็นตัวบันทึกสัญญาณของกระบวนการในรูปแบบของกราฟที่แสดงออกมาถึงคุณลักษณะของกระบวนการแบบต่าง ๆ โดยจะต่อกับ Output 1 ของ Current Loop Supply เพื่อรับสัญญาณไฟ 1 – 5 VDC ที่ส่งมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ของกระบวนการ เช่น D/P Transmitter , Magnetic Flow มา Plot ค่าเป็นรูปกราฟตามสัญญาณที่ส่งมา

$\mu R1000$

Model 436003 Suffix /C

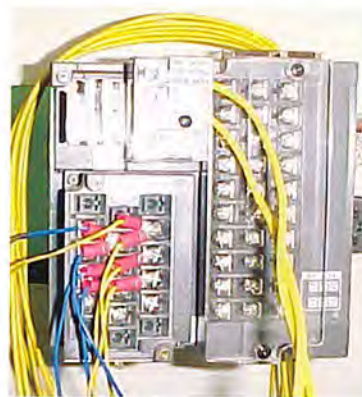
- ใช้ Supply 100 - 240 VAC

- Frequency 50/60 Hz

โดยรุ่นที่ใช้สามารถ Plot พร้อมกันได้ 3 หัวเข็มเพราะมี 3 Channel และมีการแสดงผลที่เป็นตัวเลขและการแสดงผลที่เป็นกราฟแท่งในแนวนอนด้วย และยังสามารถแสดงผลใน Mode Auto คือแสดงทีละ Channel วนไปเรื่อย ๆ หรือแสดงใน Mode Manual คือ แสดงผลทีละ Channel ส่วนในการใช้ก็จะต้องปรับค่าสเกลที่ใช้ตาม Input ที่รับมา ปรับหน่วยตามต้องการ ปรับค่าช่วงของสเกลที่ต่ำสุดและสูงสุด ปรับค่าความเร็วในการ Plot ว่าต้องการกี่ cm/min หลังจากตั้งค่าต่าง ๆ เสร็จแล้วเมื่อต้องการบันทึกสัญญาณก็กดปุ่ม REC



ก. ด้านหน้า



ข. ด้านหลัง

รูปที่ 3.19 ตัวบันทึกสัญญาณ

3.1.13 ตัวควบคุมกระบวนการ (Controller)

เป็นตัวควบคุมกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง คือ

Model : SLPC Programmable Indicating Controller

Analog Input 1 to 5 VDC 5 Points

Analog Output 1 to 5 VDC 2 Points

Manipulated Output Signal 4 to 20 mADC 1 Point

การนำมาใช้งานในกระบวนการจำลองเป็นการใช้งานในส่วนของการ Programming A Basic PID Controller ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานพื้นฐานของตัวควบคุมซึ่งสามารถเรียกใช้งานได้จากการเขียนโปรแกรมเรียกใช้งาน

การต่อใช้งานจะนำสัญญาณเอาต์พุตจาก D/P Transmitter ซึ่งเป็นสัญญาณ 1 to 5 VDC ต่อเข้ากับขั้ว (Terminal) ในส่วน Analog Input และสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม 4 to 20 mADC จะถูกต่อเข้ากับวาล์วควบคุมของกระบวนการ

ในการเรียกใช้งาน Programming A Basic PID Controller ในการทดลองเมื่อทำการต่อสายสัญญาณเข้าอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้ว จะต้องเขียนโปรแกรมสำหรับการทำงานที่เป็นการทำงานเบื้องต้นดังนี้ ในกรณี การควบคุมแบบ Single Loop ที่มีตัวแปรอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว คือ

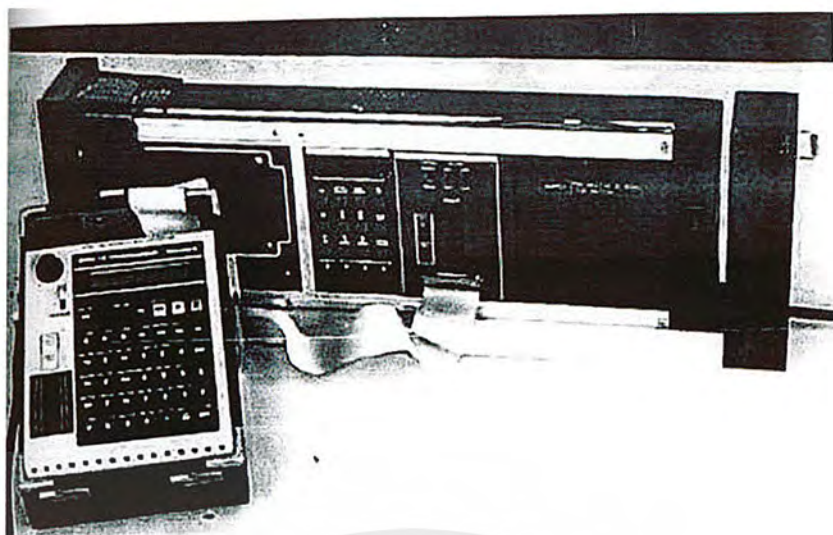
LD X1 การรับค่าอินพุตจากอุปกรณ์ภายนอก

G BSC การเรียกใช้ Programming A Basic PID Controller

ST Y1 นำค่าเอาต์พุตสู่อุปกรณ์ภายนอก

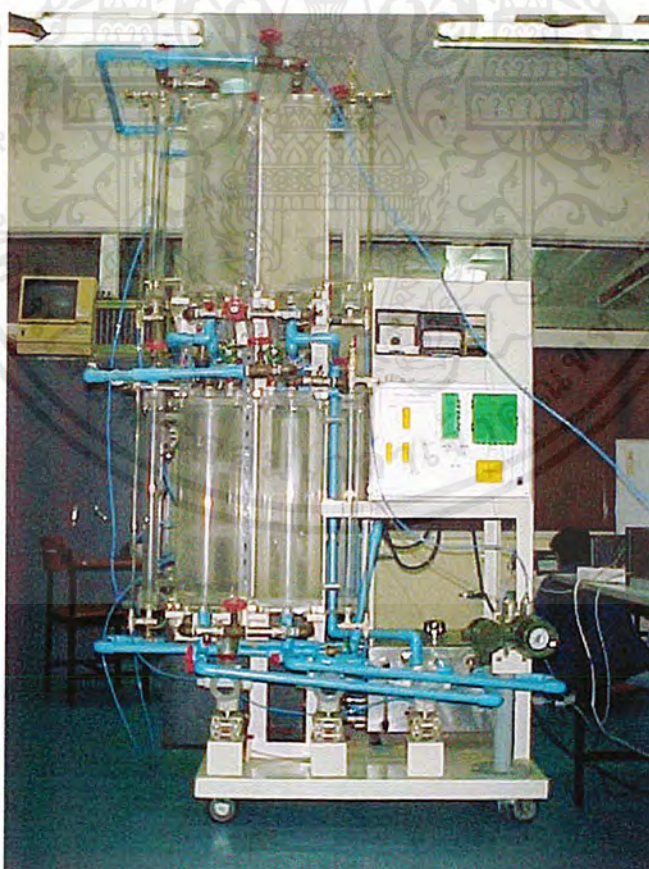
END จบโปรแกรม

เมื่อจบโปรแกรมแล้วก็สั่งให้ตัว SLPC ทำงานโดยโยกสวิตช์ไปตำแหน่ง RUN ก็สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.20 ตัวควบคุมกระบวนกร

3.2 ภาพจริงของกระบวนกรจำลอง



รูปที่ 3.21 ภาพจริงของกระบวนกรจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของกระบวนการจำลอง

4.1 กล่าวนำ

ในการทดลองทางพลศาสตร์กระบวนการเพื่อให้ผู้ศึกษาได้รับทักษะมากที่สุด สามารถสังเกตได้ถึงการแปรค่าในตัวแปรต่าง ๆ อัตราการไหลของพลังงานหรือมวลภายในกระบวนการขณะทำการวัดและควบคุมจึงต้องการกระบวนการจำลองที่มีหลายลักษณะเพราะกระบวนการจำลองแต่ละแบบมีคุณลักษณะที่ต่างกัน เช่น ระบบอันดับหนึ่งและอันดับสองเมื่อพิจารณาคุณลักษณะผลตอบสนองต่อเวลาก็ยังพิจารณาแตกต่างกัน กระบวนการจำลองที่หลากหลายจึงช่วยเพิ่มความเข้าใจและทักษะได้มากขึ้น

4.2 ลักษณะรูปแบบของกระบวนการ

แบบ กระบวนการจำลองได้ถูกออกแบบให้มีหลายลักษณะเพื่อสามารถเลือกใช้งานตามความเหมาะสมโดยในที่นี้ขอแบ่งรูปแบบของกระบวนการจำลองตามลักษณะของตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุต

1. กระบวนการที่มีตัวแปรอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว(Single Input Single Output Process : SISO)
2. กระบวนการที่มีตัวแปรอินพุตหลายตัวแปรและตัวแปรเอาต์พุตหลายตัวแปร(Multi Input Multi Output Process : MIMO)

โดยทั่วไป กระบวนการแบบ SISO ที่มีตัวแปรอินพุตเดียวและตัวแปรเอาต์พุตเดียวเมื่อนำมาพิจารณาทางพลศาสตร์ก็สามารถแบ่งย่อยได้ตามอันดับของกระบวนการซึ่งกระบวนการจำลองที่ได้สร้างขึ้นสามารถจัดรูปแบบเบื้องต้นได้เป็น

Single Input Single Output แบบ First Order

Single Input Single Output แบบ Second Order ของ Interacting

Single Input Single Output แบบ Second Order ของ Non Interacting

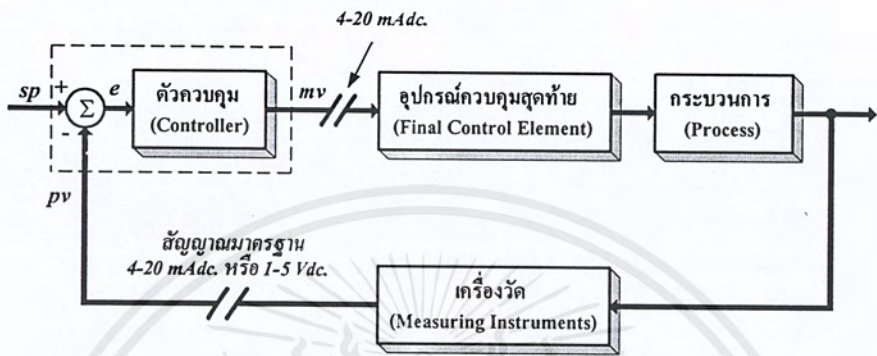
Single Input Single Output แบบ Third Order

โดยกระบวนการแบบ SISO เมื่อนำไปทดลองในด้านการควบคุมสามารถอาศัยหลักทฤษฎีแบบ Classical ในการศึกษาและออกแบบควบคุม กระบวนการแบบ MIMO ซึ่งเป็นระบบหลายตัวแปรอินพุตและหลายตัวแปรเอาต์พุต เป็นระบบที่ยุ่งยากซับซ้อน การสร้างแบบจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ MIMO ก็เพื่อใช้เป็นชุดทดลองศึกษากระบวนการแบบ Multivariable Process Control และสามารถนำมาใช้ทดลองทางด้านการควบคุมที่อาศัยหลักการ

ควบคุมแบบ Modern control และ Classical control ในการศึกษาซึ่งในรูปแบบกระบวนการแบบ MIMO ที่จัดรูปแบบในกระบวนการแบบ 4 ถึง 2 ตัวแปรอินพุตและ 2 ตัวแปรเอาต์พุตไว้คือ

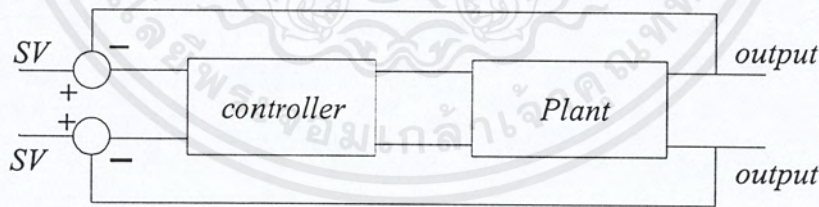
Quadruple Tank Process

แต่ในส่วนของปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะอ้างอิงในรูปแบบของ Classical control ในการทดลองที่มีรูปแบบดังรูปสำหรับกระบวนการแบบ SISO



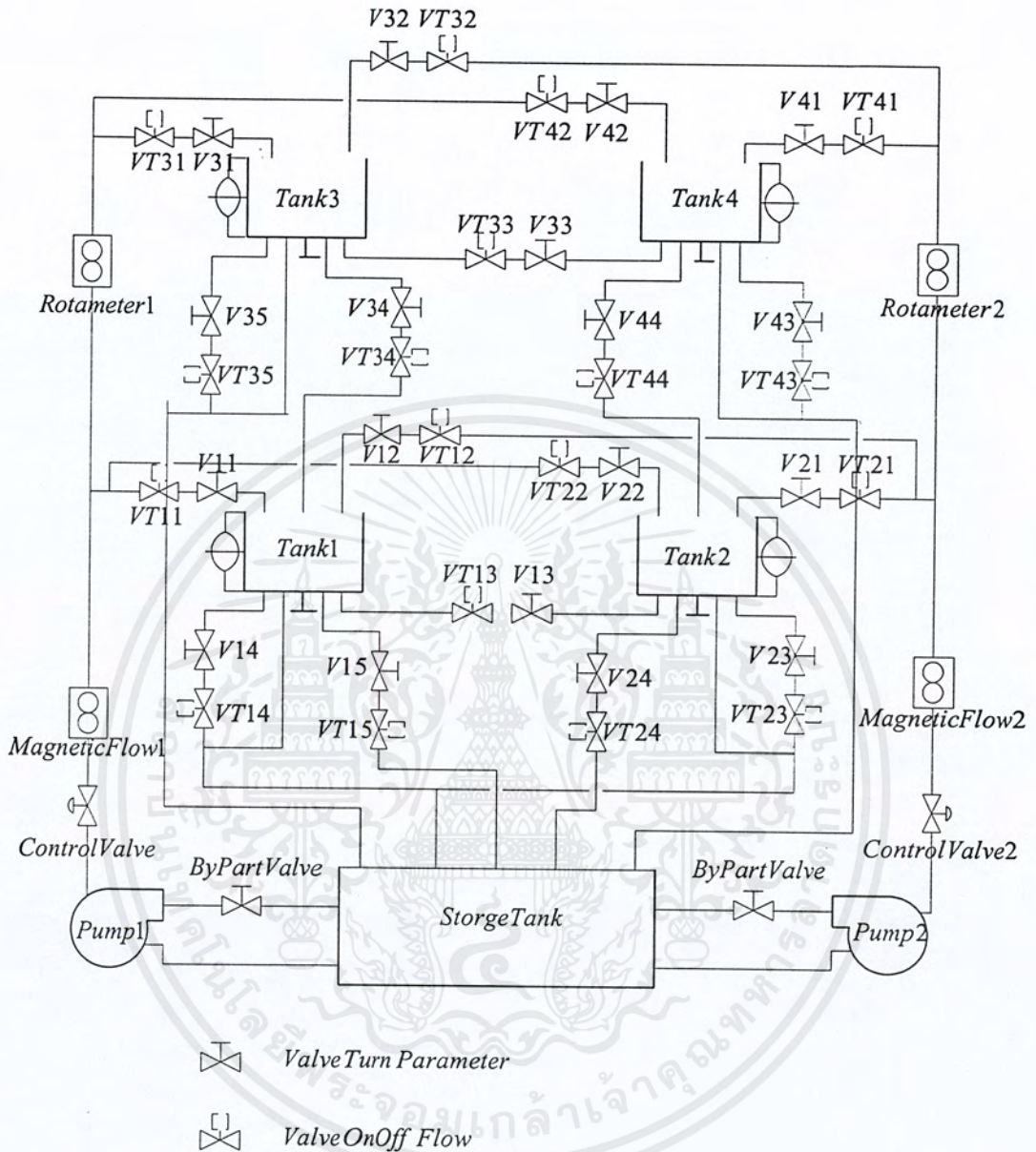
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

และกระบวนการแบบ Quadruple Tank Process จะสามารถใช้รูปแบบของการควบคุมดังรูป 4.2 โดยส่วนตัวควบคุม Controller หากใช้เพียง 1 ตัว จะต้องมีอุปกรณ์แปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage to current :V/I)เพิ่มเติมเนื่องจากเอาต์พุตของตัวควบคุม Controller มีเอาต์พุตกระแสเพียงช่องสัญญาณเดียว



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

4.3 โมเดลของกระบวนการ



รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ประกอบอยู่ในกระบวนการจำลองและไดอะแกรมของกระบวนการ

4.3.1 องค์ประกอบของกระบวนการ

4.3.1.1 Valve On-Off flow สำหรับปรับเปลี่ยนรูปแบบของกระบวนการจำลองให้เป็นไปตามความต้องการโดยการเปิด-ปิดควบคุมทิศทางการไหลเข้าออกของน้ำที่ไหลเข้ากระบวนการ

4.3.1.2 Valve turn Parameter ใช้เปิด – ปิดควบคุมการไหลเช่นเดียวกันแต่อยู่ในลักษณะปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยการเปิดปิดพื้นที่การไหลของท่อน้ำเข้าและออกจากกระบวนการซึ่งวาล์วชนิดนี้สามารถปรับจำนวนรอบได้มาก พอสมควร จึงนำมาเป็นวาล์วปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการโดยวิธีการหาค่าของพื้นที่ของการไหลโดยประมาณของวาล์วจะกล่าวถึงในบทต่อไป

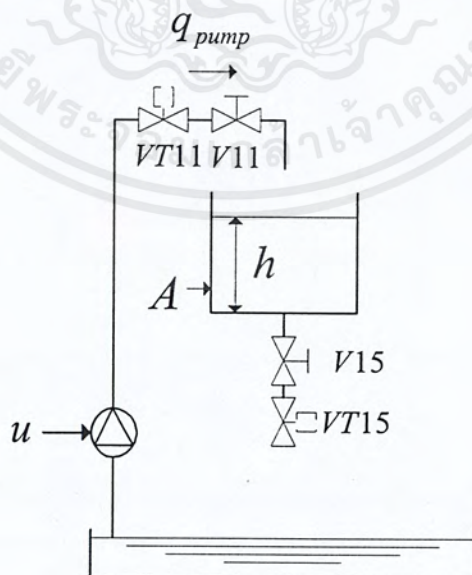
4.3.1.3 Control Valve เป็นการควบคุมการอัตราการไหลของกระบวนการที่ได้จากปั๊ม(Pump)ที่มีอัตราการไหลคงที่ การที่จะควบคุมการไหลของกระบวนการได้จะต้องอาศัยวาล์วควบคุมมาควบคุมอัตราการไหลในลักษณะการควบคุมตำแหน่งการเปิดปิดวาล์วควบคุมซึ่งจะควบคุมจากสัญญาณ MV (Manipulate variable) ของตัวควบคุม

4.3.1.4 Rota meter ติดตั้งสำหรับวัดอัตราการไหลของกระบวนการที่ไหลเข้าสู่ Tank ด้านบนของกระบวนการ

4.3.1.5 Magnetic Flow ติดตั้งสำหรับวัดอัตราการไหลรวมทั้งหมดที่ไหลที่ออกจาก Control Valve ที่เป็นอินพุทของกระบวนการ

4.3.1.6 Bypass Valve ใช้ปรับอัตราการไหลที่ออกจาก Pump ทั้งสองตัวให้มีค่าเท่ากันในกรณีที่อัตราการไหลที่ออกจากปั๊มทั้ง 2 ตัวไม่เท่ากันและใช้เปิดเป็นทางให้น้ำไหลกลับกรณี Control Valve อยู่ในตำแหน่งปิด

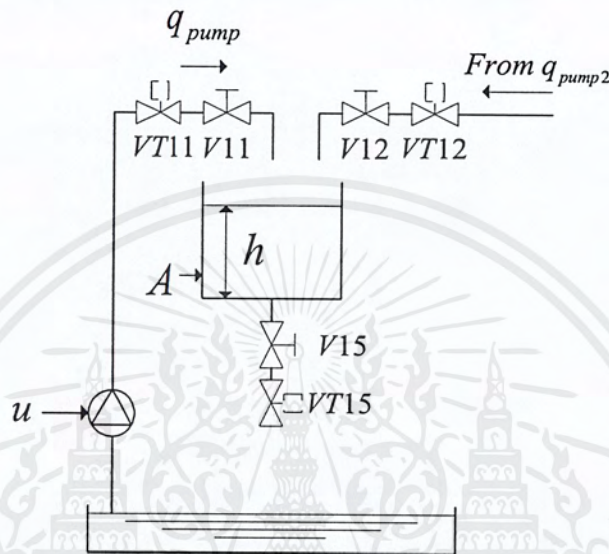
4.3.2 กระบวนการอันดับหนึ่ง(First Order System)



รูปที่ 4.4 แสดง Valve ที่ใช้ในกระบวนการอันดับหนึ่ง

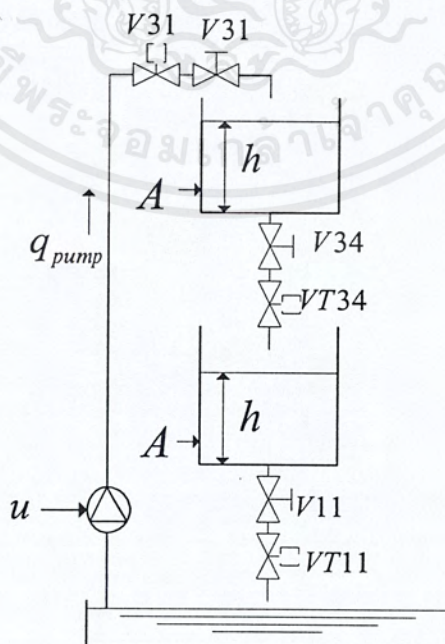
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.4 เมื่อต้องการทดลองในกระบวนการอันดับหนึ่งจะทำการเปิด Valve ดังรูปโดย V15 จะเป็น Valve ที่ใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งจะแสดงให้ในบทที่ 5 ต่อไป และจากกระบวนการที่แสดงดังรูปเป็นกระบวนการแบบ SISO เราอาจจะประยุกต์กระบวนการจำลองในรูปแบบ MISO ได้อีกคือมีลักษณะ 2 ตัวแปรอินพุต 1 ตัวแปรเอาต์พุตได้อีกดังรูป 4.5 เป็นตัวอย่างที่สามารถนำเป็นกระบวนการจำลองที่มี 2 อินพุตคือ อัตราการไหลจาก pump1 และ pump2 เมื่อระดับน้ำในถังคือเอาต์พุตของกระบวนการ



รูปที่ 4.5 แสดงกระบวนการ 2 อินพุต 1 เอาต์พุต (Multi Input Single Output :MISO)

4.3.3 กระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน (Second Order System Interacting)

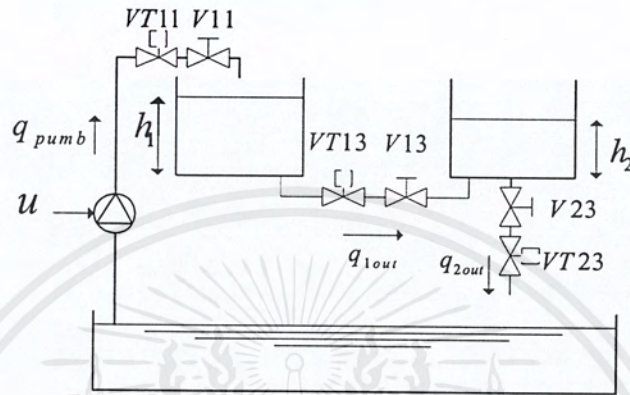


รูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการจำลองอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ Valve V11 ,V34 เป็นตัวปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดย Valve ตัวอื่นเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของอินพุตและทิศทางการไหลของกระบวนการเพื่อได้ตามรูปแบบของกระบวนการ

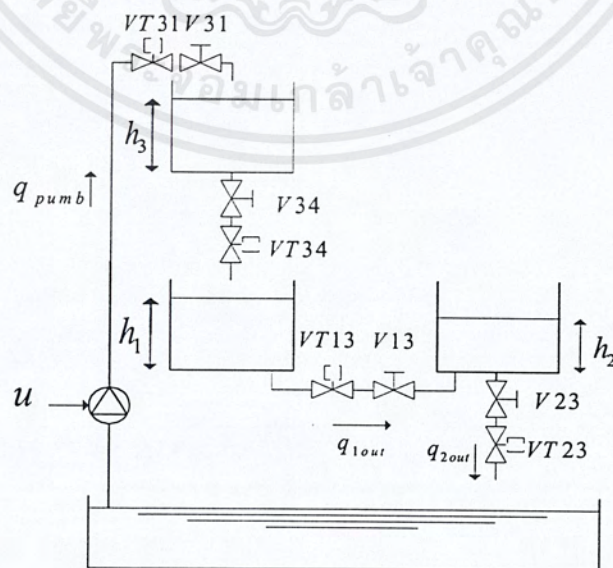
4.3.4 กระบวนการอันดับสองที่มีผลกระทบต่อกัน



รูปที่ 4.7 กระบวนการอันดับสองที่มีผลกระทบต่อกัน

การใช้ Valve V13 ,V23 เป็นตัวปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดย Valve ตัวอื่นเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของกระบวนการเพื่อได้ตามรูปแบบของกระบวนการ

4.3.5 กระบวนการอันดับสาม



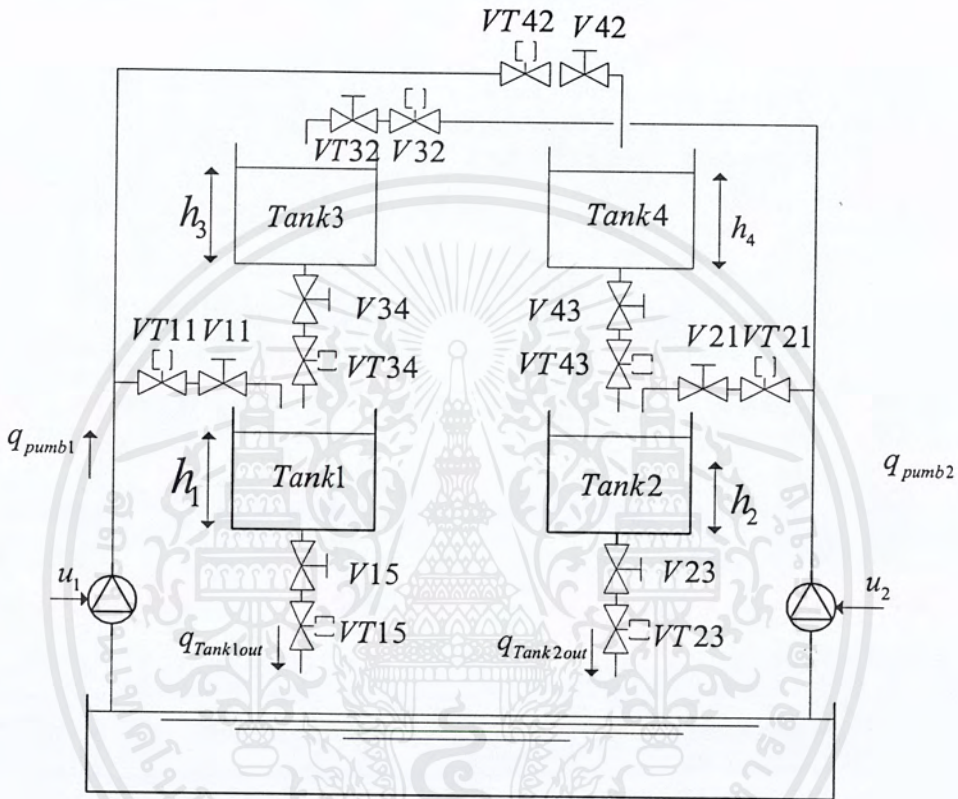
รูปที่ 4.8 แสดงกระบวนการจำลองแบบอันดับสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ Valve V13 ,V23 ,V34 เป็นตัวปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดย Valve ตัวอื่นเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของอินพุตและทิศทางการไหล

4.3.6 กระบวนการที่มีหลายตัวแปรอินพุตหลายตัวแปรเอาต์พุต

(MIMO: Quadruple Tank)



รูปที่ 4.9 แสดงกระบวนการแบบ 4 ถัง (Quadruple Tank Process)

กระบวนการแบบ 4 ถัง จะสามารถอธิบายลักษณะการที่ติดตั้ง Valve ที่ปรับค่าพารามิเตอร์ในด้านขาเข้าของถัง จากรูปการใช้ Valve V11,V42 จะเป็นลักษณะการกำหนดส่วนของอินพุตที่ไหลเข้าถังที่ 1 และถังที่ 4 กล่าวคือทางด้านอินพุตที่ได้จาก Pump 1 ที่ไหลเข้าถังที่ 1 ถูกแบ่งไหลไปยังถังที่ 4 ด้วยสัดส่วนในการปรับจะเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งของกระบวนการ เช่นเดียวกัน Valve V21,V32 จะเป็นลักษณะการกำหนดส่วนของอินพุตที่ไหลเข้าถังที่ 2 และถังที่ 3 ด้วยจากอินพุตที่ได้จาก Pump 2 พารามิเตอร์ของอินพุตนี้เมื่อพิจารณา

$$\gamma_1 + \gamma_4 = 1$$

$$\gamma_2 + \gamma_3 = 1$$

เมื่อ γ_1 ค่าสัดส่วนของการเปิด Valve V11 ที่ไหลเข้าถังที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- γ_2 ค่าสัดส่วนของการเปิด Valve V21 ที่ไหลเข้าถังที่ 2
 γ_3 ค่าสัดส่วนของการเปิด Valve V32 ที่ไหลเข้าถังที่ 3
 γ_4 ค่าสัดส่วนของการเปิด Valve V42 ที่ไหลเข้าถังที่ 4

และจาก Transfer Matrix ของกระบวนการ แบบ 4 ถัง (Quadruple Tank Process) คือ

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{\gamma_1 c_1}{1+sT_1} & \frac{(1-\gamma_2)c_1}{(1+sT_3)(1+sT_1)} \\ \frac{(1-\gamma_1)c_2}{(1+sT_4)(1+sT_2)} & \frac{\gamma_2 c_2}{1+sT_2} \end{bmatrix}$$

จะเห็นได้ว่าการปรับสัดส่วนของการไหลจะเป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบตัวหนึ่งที่สามารถแปรค่าได้

4.4 สรุปรูปแบบของกระบวนการ

จากรูปแบบกระบวนการจำลองดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่ารูปแบบกระบวนการสามารถปรับรูปแบบได้หลายลักษณะจากการควบคุมช่องทางการไหลของกระบวนการ จาก Valve On-Off และสำหรับปรับพารามิเตอร์ของกระบวนการสามารถปรับได้จาก Valve Parameter ซึ่งค่าการปรับเป็นลักษณะการประมาณจากเปอร์เซ็นต์การเปิด Valve ตามจำนวนรอบของการเปิด - ปิด Valve

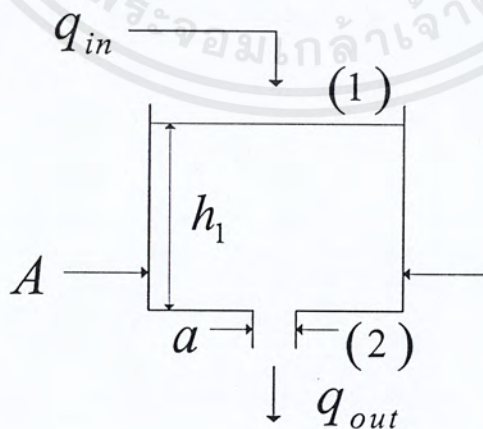
การหาคุณลักษณะของกระบวนการ

5.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุม จำเป็นต้องอาศัยโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายคุณลักษณะของระบบทางกายภาพที่ซับซ้อน โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบถูกสร้างขึ้นทางกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติ เช่น กฎเรื่องแรงของ Newton ,กฎทางไฟฟ้าของ Ohm ,กฎทางความร้อน(Thermodynamics Law) เป็นต้น ซึ่งถ้าเป็นการวิเคราะห์โดยละเอียด โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบทางกายภาพเหล่านี้ จะเป็นระบบสมการ Nonlinear Differential Equations แต่เนื่องจากระบบทางกายภาพเหล่านี้มีคุณลักษณะการทำงานที่เป็นเชิงเส้น เมื่อกำหนดย่านการทำงาน(Operating range) มีขนาดไม่กว้างนักอยู่รอบ ๆ จุดการทำงาน (Operating point) เราจึงอาศัยหลักความจริงข้อนี้ในการสร้างโมเดลเชิงเส้นของระบบเหล่านี้ได้ การอธิบายระบบทางกายภาพด้วยการประมาณเชิงเส้นจึงสามารถอธิบายได้ด้วย สมการอนุพันธ์ที่มีสัมประสิทธิ์คงที่ (linear , constant coefficient ordinary differential equation)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การที่จะหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจึงต้องเลือกช่วงการทำงาน (Operating range) และจุดทำงาน (Operating point) ของกระบวนการ โดยบทนี้จะเสนอแนวทางการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจำลอง ในรูปแบบอันดับหนึ่งและอันดับสองซึ่งเป็นพื้นฐานในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ซับซ้อนต่อไป

5.2 การหาค่าอัตราการไหลของกระบวนการ



รูปที่ 5.1 แสดงการหาค่าอัตราการไหลออกจากถัง

จากสมการ Bernoulli
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (5.1)$$

เมื่อ $\frac{P_1}{\gamma} = 0$ (ที่ผิวของถังน้ำแบบเปิดเป็นความดันบรรยากาศ)

$\frac{P_2}{\gamma} = 0$ (เมื่อกระแสไหลออกสัมผัสบรรยากาศ)

$v_1 = 0$ (ความเร็วที่ระดับผิวของน้ำในถังถือว่ามีความเท่ากับศูนย์เมื่อ $A \gg a$)

จะได้

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g}$$

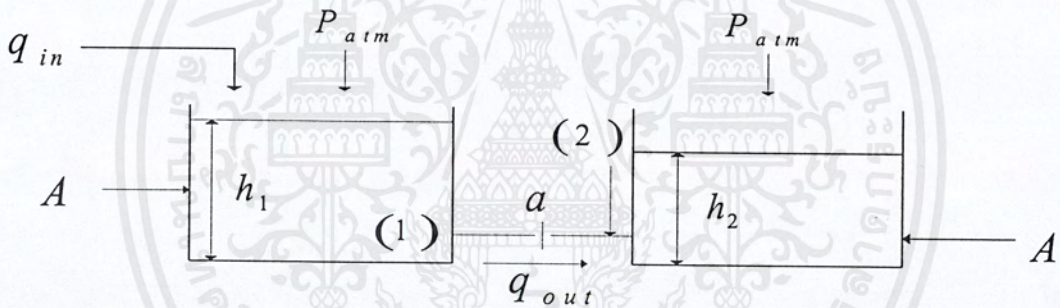
$$v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

และอัตราการไหล คือ

$$q = av$$

$$q = a\sqrt{2gh_1} \quad (5.2)$$

5.3 การหาอัตราการไหลระหว่างถังที่มีผลต่อกัน (Interacting system)



รูปที่ 5.2 แสดงการหาอัตราการไหลระหว่างถัง

จากสมการ Bernoulli จะได้

$$\left(\frac{P_1 + P_{atm}}{\gamma} \right) + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \left(\frac{P_2 + P_{atm}}{\gamma} \right) + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (5.3)$$

เมื่อ $v_1 = 0$ (ความเร็วที่ระดับผิวของน้ำในถังถือว่ามีความเท่ากับศูนย์เมื่อ $A \gg a$)

$h_1, h_2 = 0$ (เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง Datum)

จะได้

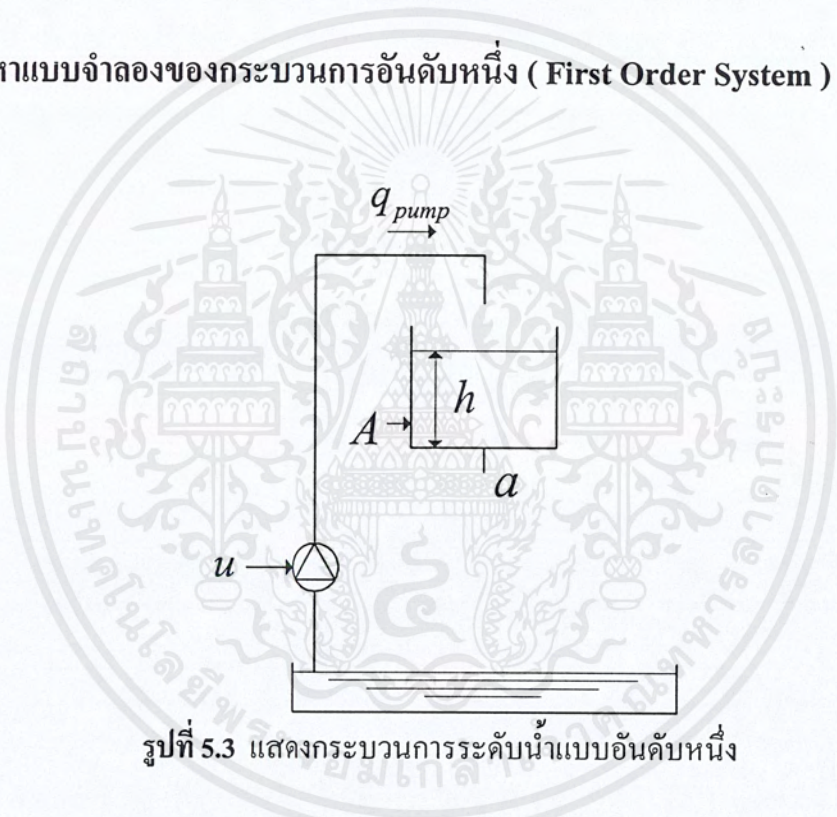
$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g}$$
$$\frac{\rho g (h_1 - h_2)}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g}$$
$$v_2 = \sqrt{2g (h_1 - h_2)}$$

และอัตราการไหล คือ

$$q = av$$
$$q = a\sqrt{2g (h_1 - h_2)} \tag{5.4}$$

เป็นอัตราการไหลระหว่างถังสองถังที่ระดับความสูงของแต่ละถังมีผลต่ออัตราการไหล

5.4 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับหนึ่ง (First Order System)



รูปที่ 5.3 แสดงกระบวนการระดับน้ำแบบอันดับหนึ่ง

พิจารณาจากกฎสมดุลของมวลหรือพลังงานที่สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้คือ

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_o \tag{5.5}$$

ผลต่างของอัตราของมวลที่ไหลเข้าในกระบวนการกับอัตราของมวลที่ไหลออก

กระบวนการเท่ากับมวลที่สะสมอยู่ในกระบวนการ

- | | | |
|-------|-------------|-------------------------------------|
| เมื่อ | $\dot{m}_i$ | คืออัตราของมวลที่ไหลเข้าในกระบวนการ |
| | $\dot{m}_o$ | คืออัตราของมวลที่ไหลออกกระบวนการ |
| | m | คือมวลในกระบวนการที่เวลาใด ๆ |

จากสมการ (5.5) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d\rho V}{dx} = \rho q_i - \rho q_o = \rho A \frac{dh}{dt} \quad (5.6)$$

$$\frac{A dh}{dt} = q_i - q_o \quad (5.7)$$

จากสมการ (5.7) จะพิจารณากระบวนการในรูปปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปจากผลต่างของอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าและออกในกระบวนการ

เมื่อ

$$q_i = K_p u$$

$$q_o = a \sqrt{2gh}$$

เมื่อ K_p คืออัตราขยายของการแปลงสัญญาณอินพุทให้อยู่ในรูปอัตราการไหล $\left(\frac{m^3/sec}{\%}\right)$

u คือค่าสัญญาณอินพุทที่ควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการ (%) ที่เวลาใด ๆ

h คือค่าระดับ ที่เวลาใด ๆ

จะได้สมการ (5.7) ใหม่คือ

$$A \frac{dh}{dt} = K_p u - a \sqrt{2gh} \quad (5.8)$$

$$\frac{A}{a} \frac{dh}{dt} = \frac{K_p}{a} u - \sqrt{2gh} \quad (5.9)$$

พิจารณาที่สภาวะหยุดนิ่ง (Steady State Mass Balance : SSMB)

$$0 = \frac{K_p u_o}{a} - \sqrt{2gh^s}$$

$$h^s = \frac{K_p^2}{2g} u_o^2 \quad (5.10)$$

เมื่อ h^s คือระดับน้ำที่สภาวะหยุดนิ่ง

u_o คือค่าสัญญาณอินพุทที่สภาวะหยุดนิ่ง

g คือค่าคงที่เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 981 cm/sec

พิจารณาที่สภาวะไม่คงที่ (Unsteady State Mass Balance : USSMB)

จากสมการ (5.9) จะเห็นได้ว่า มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจึงทำการประมาณเชิงเส้นจะได้

$$\frac{A}{a} \frac{dh}{dt} = -\sqrt{2gh^s} - \sqrt{\frac{g}{2h^s}} (h - h^s) + \frac{K_p}{a} u_o + K_p (u - u_o) \quad (5.11)$$

พิจารณาสภาวะการเปลี่ยนแปลงในรูปตัวแปรเบี่ยงเบน (Deviation Variable)

เมื่อ Deviation = USSMB - SSMB จะได้สมการคือ

$$\frac{A}{a} \frac{d\Delta h}{dt} = -\sqrt{\frac{g}{2h^s}} \Delta h + \frac{K_p}{a} \Delta u$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d\Delta h}{dt} = -\frac{a}{A}\sqrt{\frac{g}{2h^s}}\Delta h + \frac{K_p}{A}\Delta u \quad (5.12)$$

กำหนดให้ $\Delta h = h - h^s$ เป็นตัวแปร Deviation ของระดับน้ำในถัง

$\Delta u = u - u_o$ เป็นตัวแปร Deviation ของสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนแปลง

และจากสมการ (5.12) กำหนดให้

$$\frac{1}{T} = \frac{a}{A}\sqrt{\frac{g}{2h^s}}$$

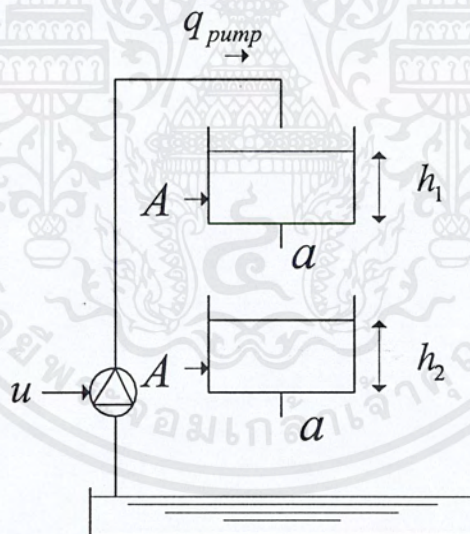
ดังนั้นจะได้
$$\frac{d\Delta h}{dt} = -\frac{1}{T}\Delta h + \frac{K_p}{A}\Delta u \quad (5.13)$$

ทำการแปลงลาปลาซและได้ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$H(s) = \frac{K_p T}{A} \left(\frac{1}{Ts + 1} \right) U(s) \quad (5.14)$$

เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่แทนแบบจำลองของกระบวนการอันดับหนึ่ง (First Order System)

5.5 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน (Noninteracting Second Order System)



รูปที่ 5.4 แสดงกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน

เนื่องจากกระบวนการอันดับสองมีหลักพิจารณาดำเนินการกับระบบอันดับหนึ่งดังนั้นพิจารณาจากสมการ (5.7) จะได้สมการสมดุลมวลของถังที่ 1 และถังที่ 2 คือ

Tank1 :
$$\frac{A dh_1}{dt} = q_{1in} - q_{1out} \quad (5.15)$$

Tank2 :
$$\frac{A dh_2}{dt} = q_{2in} - q_{2out} \quad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (5.16) และ (5.17) เมื่อแทนอัตราการไหลในแต่ละถังจะ ได้ความสัมพันธ์ดัง

สมการคือ
$$A \frac{dh_1}{dt} = K_p u - a \sqrt{2gh_1} \quad (5.17)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = a \sqrt{2gh_1} - a \sqrt{2gh_2} \quad (5.18)$$

$$\frac{A}{a} \frac{dh_1}{dt} = \frac{K_p}{a} u - \sqrt{2gh_1}$$

$$\frac{A}{a} \frac{dh_2}{dt} = \sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_2}$$

พิจารณาที่สภาวะหยุดนิ่ง (Steady State Mass Balance : SSMB)

Tank1:
$$0 = \frac{K_p u_o}{a} - \sqrt{2gh_1^s}$$

$$h_1^s = \frac{K_p^2}{2g} u_o^2 \quad (5.19)$$

Tank2:
$$0 = \sqrt{2gh_1^s} - \sqrt{2gh_2^s}$$

$$h_2^s = h_1^s = \frac{K_p^2}{2g} u_o^2 \quad (5.20)$$

เมื่อ h_1^s, h_2^s คือระดับน้ำที่สภาวะหยุดนิ่ง

u_o คือค่าสัญญาณอินพุตที่สภาวะหยุดนิ่ง

g คือค่าคงที่เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 981 cm/sec

จากสมการ (5.19) และ (5.20) ในสภาวะหยุดนิ่งและในเงื่อนไขพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกของถังน้ำทั้งสองมีขนาดเท่ากันระดับน้ำของทั้งคู่จะมีระดับที่เท่ากัน

พิจารณาที่สภาวะไม่คงที่ (Unsteady State Mass Balance : USSMB)

จากสมการสมดุลมวล (5.17) และ (5.18) จะเห็นได้ว่าสมการมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงในสมการไม่มีความแน่นอน ดังนั้นในการพิจารณาจึงต้องเลือกจุดทำงานโดยจึงทำการประมาณเชิงเส้น โดยเลือกที่จะพิจารณาเทียบกับสภาวะคงตัว ซึ่งจะได้ดังสมการ

Tank1:
$$\frac{A}{a} \frac{dh_1}{dt} = -\sqrt{2gh_1^s} - \sqrt{\frac{g}{2h_1^s}} (h_1 - h_1^s) + \frac{K_p}{a} u_o + K_p (u - u_o) \quad (5.21)$$

Tank2:
$$\frac{A}{a} \frac{dh_2}{dt} = \sqrt{2gh_1^s} + \sqrt{\frac{g}{2h_1^s}} (h_1 - h_1^s) - \left[\sqrt{2gh_2^s} + \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}} (h_2 - h_2^s) \right] \quad (5.22)$$

พิจารณาสภาวะการเปลี่ยนแปลงในรูปตัวแปรเบี่ยงเบน (Deviation Variable)

เมื่อ $\text{Deviation} = \text{USSMB} - \text{SSMB}$ จะได้สมการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Tank1: } \frac{A}{a} \frac{d\Delta h_1}{dt} = -\sqrt{\frac{g}{2h_1^s}} \Delta h_1 + \frac{K_p}{a} \Delta u$$

$$\text{Tank2: } \frac{A}{a} \frac{d\Delta h_2}{dt} = \sqrt{\frac{g}{2h_1^s}} \Delta h_1 - \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}} \Delta h_2$$

$$\frac{d\Delta h_1}{dt} = -\frac{1}{T} \Delta h_1 + \frac{K_p}{A} \Delta u \quad (5.23)$$

$$\frac{d\Delta h_2}{dt} = \frac{1}{T} \Delta h_1 - \frac{1}{T} \Delta h_2 \quad (5.24)$$

กำหนดให้ $\Delta h_1 = h_1 - h_1^s$ เป็นตัวแปร Deviation ของระดับน้ำในถังที่ 1
 $\Delta h_2 = h_2 - h_2^s$ เป็นตัวแปร Deviation ของระดับน้ำในถังที่ 2
 $\Delta u = u - u_o$ เป็นตัวแปร Deviation ของสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนแปลง

และจากสมการ (5.23)และ(5.24) กำหนดให้

$$\frac{1}{T} = \frac{a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_1^s}} \quad \text{เมื่อ} \quad h_1^s = h_2^s$$

ทำการแปลงลาปลาซและได้ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

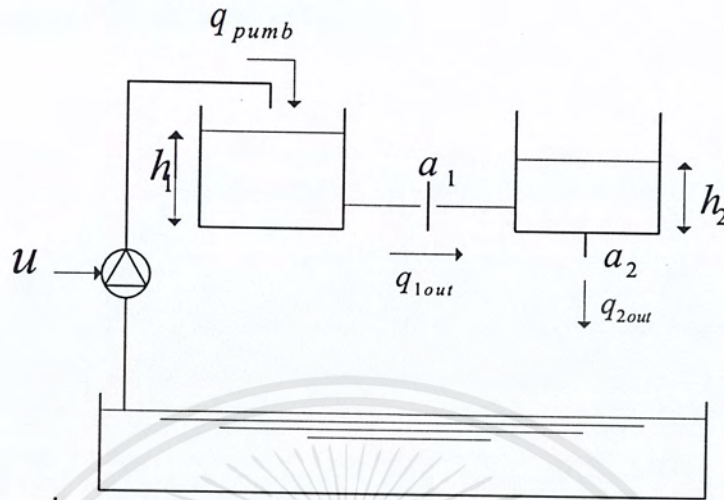
$$H_1(s) = \frac{K_p T}{A} \left(\frac{1}{Ts+1} \right) U(s) \quad (5.25)$$

$$H_2(s) = \frac{1}{(Ts+1)} H_1(s) \quad (5.26)$$

$$H_2(s) = \frac{1}{(Ts+1)(Ts+1)} \frac{K_p T}{A} U(s) \quad (5.27)$$

เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่แทนแบบจำลองของกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน
 (Noninteracting Second Order System)

5.6 การหาแบบจำลองของกระบวนการอันดับสองที่ระบบผลกระทบท่อกัน (Interacting Second Order System)



รูปที่ 5.5 แสดงกระบวนการอันดับสองที่ระบบผลกระทบท่อกัน
(Interacting Second Order System)

เนื่องจากกระบวนการอันดับสอง พิจารณาจากสมการ (5.7) จะได้สมการสมดุลมวลของถังที่ 1 และถังที่ 2 คือ

$$\text{Tank1 : } \frac{A dh_1}{dt} = q_{1in} - q_{1out} \quad (5.15)$$

$$\text{Tank2 : } \frac{A dh_2}{dt} = q_{2in} - q_{2out} \quad (5.16)$$

จากสมการที่ (5.16) และ (5.17) เมื่อแทนอัตราการไหลในแต่ละถังจะให้ความสัมพันธ์ดัง
สมการคือ

$$A \frac{dh_1}{dt} = K_p u - a_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (5.28)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = a_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - a_2 \sqrt{2gh_2} \quad (5.29)$$

$$\frac{A}{a_1} \frac{dh_1}{dt} = \frac{K_p}{a_1} u - \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$\frac{A}{a_1} \frac{dh_2}{dt} = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - \frac{a_2}{a_1} \sqrt{2gh_2}$$

พิจารณาที่สภาวะหยุดนิ่ง (Steady State Mass Balance : SSMB)

$$\text{Tank1: } 0 = \frac{K_p u_o}{a_1} - \sqrt{2g(h_1^s - h_2^s)}$$

$$\sqrt{h_1^s - h_2^s} = \frac{K_p}{a_1 \sqrt{2g}} u_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 h_1^s - h_2^s &= \frac{1}{a_1^2} \left(\frac{K_p^2}{2g} \right) u_o^2 = \frac{1}{a_1^2} K_s u_o^2 \\
 h_1^s &= h_2^s + \frac{1}{a_1^2} K_s u_o^2
 \end{aligned} \tag{5.30}$$

Tank2:

$$\begin{aligned}
 0 &= \sqrt{2g(h_1^s - h_2^s)} - \frac{a_2}{a_1} \sqrt{2gh_2^s} \\
 a_2 \sqrt{2g} \sqrt{h_2^s} &= a_1 \sqrt{2g} \sqrt{h_1^s - h_2^s} = K_p u_o \\
 \sqrt{h_2^s} &= \frac{K_p}{a_2 \sqrt{2g}} u_o \\
 h_2^s &= \frac{K_p^2}{a_2^2 (2g)} u_o^2 \\
 h_2^s &= \frac{K_s}{a_2^2} u_o^2
 \end{aligned} \tag{5.31}$$

เมื่อ h_1^s, h_2^s คือระดับน้ำที่สภาวะหยุดนิ่งในถังน้ำแต่ละถัง
 u_o คือค่าสัญญาณอินพุตที่สภาวะหยุดนิ่ง
 g คือค่าคงที่เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 981 cm/sec
 $K_s = \frac{K_p^2}{2g}$

จากสมการ (5.30) และ (5.31) ในสภาวะหยุดนิ่งจะแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะหยุดนิ่งใด ๆ แล้วระดับน้ำในถังน้ำของกระบวนการอันดับสองที่ระบบผลกระทบต่อกันจะมีค่าไม่เท่ากัน

พิจารณาที่สภาวะไม่คงที่ (Unsteady State Mass Balance : USSMB)

จากสมการสมดุลมวล (5.28) และ (5.29) จะเห็นได้ว่าสมการมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงในสมการ ไม่มีความแน่นอน ดังนั้นในการพิจารณาจึงต้องเลือกจุดทำงาน โดยจึงทำการประมาณเชิงเส้นโดยเลือกที่จะพิจารณาเทียบกับสภาวะคงตัวของน้ำในแต่ละถังซึ่งจะได้ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{Tank1: } \frac{A}{a_1} \frac{dh_1}{dt} &= \frac{K_p}{a_1} u_o + \frac{K_p}{a_1} (u - u_o) - \sqrt{2g(h_1^s - h_2^s)} \\
 &\quad - \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} (h_1 - h_1^s) + \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} (h_2 - h_2^s)
 \end{aligned} \tag{5.32}$$

Tank2:

$$\begin{aligned} \frac{A}{a_1} \frac{dh_2}{dt} = & \sqrt{2g(h_1^s - h_2^s)} + \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}}(h_1 - h_1^s) - \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}}(h_2 - h_2^s) \\ & - \frac{a_2}{a_1} \left[\sqrt{2gh_2^s} + \sqrt{\frac{g}{2gh_2^s}}(h_2 - h_2^s) \right] \end{aligned} \quad (5.33)$$

พิจารณาภาวะการเปลี่ยนแปลงในรูปตัวแปรเบี่ยงเบน (Deviation Variable)

เมื่อ Deviation = USSMB - SSMB จะได้สมการคือ

Tank1:

$$\begin{aligned} \frac{A}{a_1} \frac{d\Delta h_1}{dt} &= \frac{K_p}{a_1} \Delta u - \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_1 + \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_2 \\ \frac{d\Delta h_1}{dt} &= \frac{K_p}{A} \Delta u - \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_1 + \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_2 \\ \frac{d\Delta h_1}{dt} &= \frac{K_p}{A} \Delta u - \frac{1}{T_1} \Delta h_1 + \frac{1}{T_1} \Delta h_2 \end{aligned} \quad (5.34)$$

Tank2:

$$\begin{aligned} \frac{A}{a_1} \frac{d\Delta h_2}{dt} &= \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_1 - \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_2 - \frac{a_2}{a_1} \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}} \Delta h_2 \\ \frac{d\Delta h_2}{dt} &= \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_1 - \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \Delta h_2 - \frac{a_2}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}} \Delta h_2 \\ \frac{d\Delta h_2}{dt} &= \frac{1}{T_1} \Delta h_1 - \frac{1}{T_1} \Delta h_2 - \frac{1}{T_2} \Delta h_2 \end{aligned} \quad (5.35)$$

กำหนดให้ $\Delta h_1 = h_1 - h_1^s$ เป็นตัวแปร Deviation ของระดับน้ำในถังที่ 1
 $\Delta h_2 = h_2 - h_2^s$ เป็นตัวแปร Deviation ของระดับน้ำในถังที่ 2
 $\Delta u = u - u_o$ เป็นตัวแปร Deviation ของสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนแปลง

และจากสมการ (5.34) และ (5.35) กำหนดให้

$$\begin{aligned} \frac{1}{T_1} &= \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2(h_1^s - h_2^s)}} \\ \frac{1}{T_2} &= \frac{a_2}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}} \end{aligned}$$

ทำการแปลงลาปลาซและได้ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$H_1(s) = \frac{K_p T_1}{A} \left(\frac{1}{T_1 s + 1} \right) U(s) + \left(\frac{1}{T_1 s + 1} \right) H_2(s) \quad (5.36)$$

$$H_2(s) = \frac{T_2}{T_1 T_2 s + (T_2 + T_1)} H_1(s) \quad (5.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 บทสรุป

จากหัวข้อที่ผ่านมา การที่จะหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจึงต้องเลือกช่วงการทำงาน (operating range) และจุดทำงาน (operating point) ของกระบวนการ โดยเลือกจุดการทำงาน ณ ระดับน้ำหยุดนิ่ง (steady state) ของกระบวนการที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้นแล้วให้นำมาพิจารณาหาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเทียบกับจุด steady state นี้ ซึ่งจากรูปตัวแปรเบี่ยงเบน (deviation variable) ซึ่งตัวแปรเบี่ยงเบนนี้จะเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ ณ ตำแหน่งจุดการทำงานนี้



การศึกษาพลศาสตร์กระบวนการจากการทดลอง

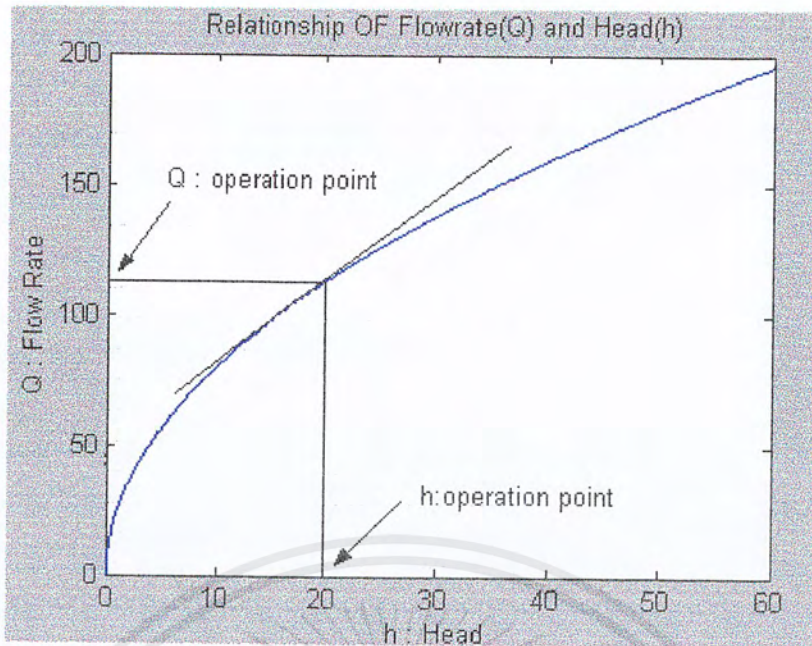
6.1 กล่าวนำ

จากบทที่ผ่านมาก่อนหน้านี้จะพบแนวทางที่ว่า การจะหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่มีลักษณะเป็นระบบสมการ Nonlinear Differential Equations แต่ในขณะเดียวกันระบบทางกายภาพเหล่านี้มีคุณลักษณะการทำงานที่เป็นเชิงเส้น เมื่อกำหนดย่านการทำงาน (Operating range) มีขนาดไม่กว้างนักอยู่รอบ ๆ จุดการทำงาน (Operating point) เราจึงอาศัยหลักความจริงข้อนี้ในการสร้างโมเดลเชิงเส้นของระบบเหล่านี้ได้ การอธิบายระบบทางกายภาพด้วยการประมาณเชิงเส้นจึงสามารถอธิบายได้ด้วย สมการอนุพันธ์ที่มีสัมประสิทธิ์คงที่ (linear , constant coefficient ordinary differential equation)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การที่จะหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจึงต้องเลือกช่วงการทำงาน (Operating range) และจุดทำงาน (Operating point) ของกระบวนการ โดยบทนี้จะเสนอแนวคิดการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ จากการทดลองของกระบวนการจำลองในรูปแบบอันดับหนึ่งและอันดับสอง ซึ่งเป็นพื้นฐานในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ซับซ้อนต่อไป

6.2 การพิจารณาเลือกจุดทำงานของกระบวนการ

จากการที่โมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเป็นระบบสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นแต่จะมีจุดทำงานที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการที่จะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เป็นเชิงเส้นจะต้องเลือกจุดทำงานของกระบวนการ และจะได้ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่คงที่เป็นเชิงเส้น ณ จุดทำงานนั้น ๆ ตัวอย่างการเลือกจุดทำงานของอัตราไหลออกของน้ำ (Q : Flow Rate) ที่สัมพันธ์กับระดับความสูงของระดับน้ำ (Head) ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจึงต้องเลือกการทำงานของกระบวนการที่จะมีย่านการทำงาน (operating range) ที่เป็นเชิงเส้นที่มีขนาดไม่กว้างนักอยู่รอบ ๆ จุดการทำงาน (operating point) ดังรูป 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงการเลือกจุดการทำงานของอัตราการไหล

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของค่า Time Constant ของระบบที่ไม่มีผลกระทบต่อกันจากบทที่ผ่านมา คือ

$$\frac{1}{T} = \frac{a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h^s}}$$

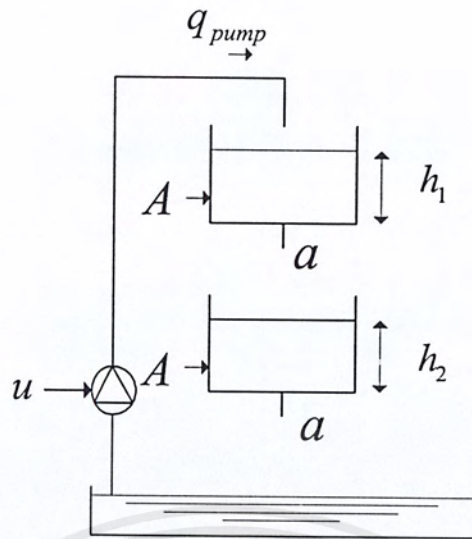
หรือ

$$T = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h^s}{g}} \quad (6.1)$$

โดยค่า h^s เป็นลักษณะเลือกจุดทำงานของพารามิเตอร์ของกระบวนการเช่นเดียวกัน ดังนั้นวิธีการประมาณเชิงเส้นจากบทที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ ก็เป็นลักษณะการเลือกจุดทำงานเช่นเดียวกัน

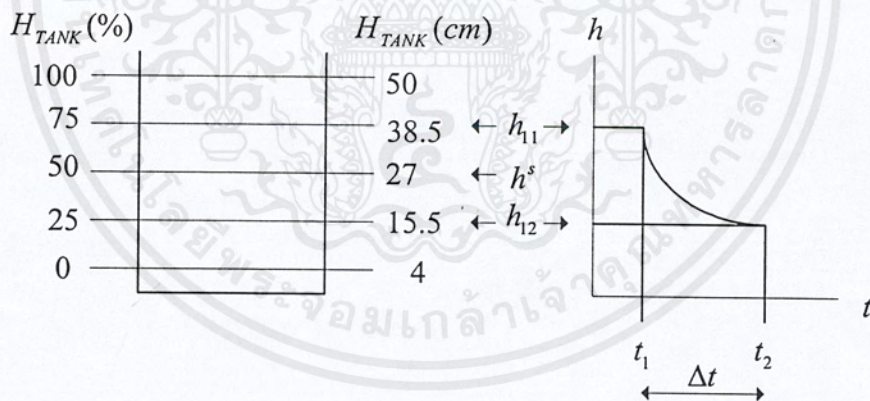
6.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากการทดลอง

การหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ จากการทดลองนี้จะหาค่าพารามิเตอร์โดยอาศัยหลักการประมาณเชิงเส้นที่กล่าวถึงในบทที่ผ่านมาแล้ว โดยจะขอพิจารณาจากรูปแบบกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกันดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 รูปแบบกระบวนการอันดับสองที่ระบบไม่มีผลกระทบต่อกัน

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคือค่า Time constant จะหาได้จากสมการ (6.1) โดยค่า Time constant นั้นจะขึ้นกับค่า h^s และ a โดยค่าของ h^s จะเลือกจากจุดการทำงานโดยจะเลือกช่วงการทำงาน (Operating range) และจุดทำงาน (Operating point) ของกระบวนการดังนี้



รูปที่ 6.3 แสดงการเลือกช่วงการทำงานจากระดับความสูงของถังและDischarge ของน้ำที่ไหลออกจากถัง

โดยค่าของ a จะอาศัยหลักการ Discharge ของน้ำที่ไหลออกจากถังที่สัมพันธ์กับความสูง โดยจะพิจารณาจากสมการ (5.9) และ (5.10)

$$A \frac{dh_1}{dt} = K_p u - a \sqrt{2gh_1} \quad (5.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A \frac{dh_2}{dt} = a\sqrt{2gh_1} - a\sqrt{2gh_2} \quad (5.10)$$

จากสมการ (5.9) เมื่อให้สัญญาณอินพุตเป็นศูนย์ ($u = 0$) และปล่อยน้ำออกจากถังในช่วงระดับ h_1 ถึงช่วง h_2 ดังรูป 6.3 ในกรณีที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned} A \frac{dh_1}{dt} &= K_p u - a\sqrt{2gh_1} \\ A \frac{dh_1}{dt} &= -a\sqrt{2gh_1} = -a\sqrt{2g} \sqrt{h_1} \\ \frac{dh_1}{\sqrt{h_1}} &= -\frac{a}{A} \sqrt{2g} dt \end{aligned}$$

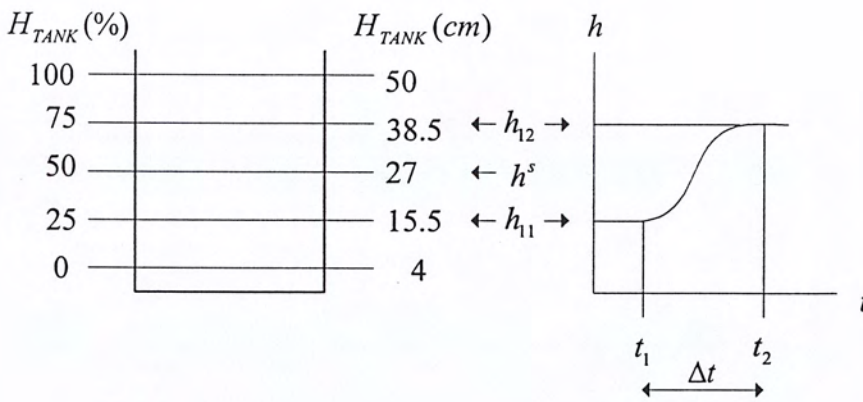
ทำการอินทิกรัล ทั้ง 2 ด้าน โดยช่วงกำหนดช่วงอินทิกรัลของ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ในช่วง h_1 ถึงช่วง h_2 และช่วงการเปลี่ยนแปลงเวลาในช่วง t_1 ถึงช่วง t_2 จะได้

$$\begin{aligned} \int_{h_{11}}^{h_{12}} \frac{dh_1}{\sqrt{h_1}} &= -\frac{a}{A} \sqrt{2g} \int_{t_1}^{t_2} dt \\ 2(\sqrt{h_{12}} - \sqrt{h_{11}}) &= -\frac{a}{A} \sqrt{2g} (t_2 - t_1) = -\frac{a}{A} \sqrt{2g} \Delta t \\ 2(\sqrt{h_{11}} - \sqrt{h_{12}}) &= \frac{a}{A} \sqrt{2g} \Delta t \\ \frac{a}{A} &= \frac{2(\sqrt{h_{11}} - \sqrt{h_{12}})}{\sqrt{2g} \Delta t} \end{aligned}$$

ซึ่งค่า $\frac{a}{A}$ นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาได้จากการทดลอง ดังนั้นเมื่อนำไปแทนในสมการ (6.1) ก็จะได้ค่าของ Time Constant ของกระบวนการได้ การจะหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการตัวอื่น ๆ ก็จะสามารถหาได้ลักษณะเช่นเดียวกัน คือ จากสมการ (5.9)

$$A \frac{dh_1}{dt} = K_p u - a\sqrt{2gh_1} \quad (5.9)$$

จะสามารถหาค่า K_p ณ ช่วงการทำงาน (Operating range) และจุดทำงาน (Operating point) ของกระบวนการโดยกำหนดให้อัตราการไหลออกเป็นศูนย์



รูปที่ 6.4 แสดงการเลือกช่วงการทำงานจากระดับความสูงของถัง
และความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่ไหลเข้าจากถัง

จะได้

$$\begin{aligned}
 \frac{dh_1}{dt} &= \frac{K_p}{A} u_o \\
 dh_1 &= \frac{K_p}{A} u_o dt \\
 \int_{h_{11}}^{h_{12}} dh_1 &= \frac{K_p}{A} u_o \int_{t_{11}}^{t_{12}} dt \\
 \Delta h &= \frac{K_p}{A} u_o \Delta t \\
 \frac{K_p}{A} &= \frac{\Delta h}{u_o \Delta t} \quad (5.10)
 \end{aligned}$$

สมการ (5.10) เป็นค่าอัตราขยายของการไหลเข้าของกระบวนการในสถานะที่ระดับน้ำหยุดนิ่งที่ ณ ระดับความสูงใด ๆ และการมีจ่ายอินพุต u_o คงที่

การหาค่าพารามิเตอร์สำหรับแทนในโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ จะสามารถคำนวณจากการทดลองที่แสดงดังกล่ามาแล้วและเป็นการการหาค่าโดยประมาณ เป็นการพิจารณาหาค่าจากช่วงการทำงานและจุดทำงานของกระบวนการ

การพิจารณาค่า Time Constant ของกระบวนการเมื่อพิจารณาจากสมการ (6.1) จะเห็นได้ว่าค่า Time Constant จะขึ้นอยู่กับค่า a และ h^s โดยค่า a จะหาได้อยู่ในรูปของ $\frac{a}{A}$ โดย A ค่าคงที่ตามพื้นที่หน้าตัดของถัง และ h^s จะได้จากการเลือกจุดการทำงาน

6.4 สรุป

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ทางกายภาพ จากนั้นนำความสัมพันธ์ทางกายภาพมาหาค่าพารามิเตอร์จากการทดลอง และนำมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ทราบ ซึ่งระบบหรือกระบวนการในความเป็นจริงส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นเป็นองค์ประกอบร่วมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นเชิงเส้นของระบบ จากนั้นค่าที่ได้มาจะทำการจำลองกระบวนการเพื่อใช้หาค่าและออกแบบพารามิเตอร์ของระบบควบคุมต่อไป

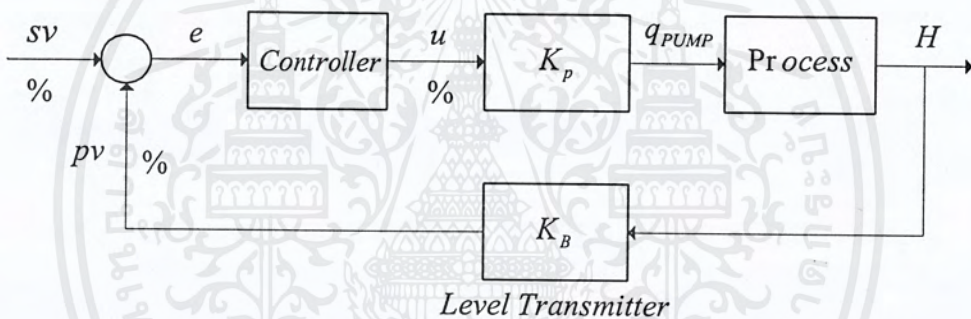


บทที่ 7

การทดลองจากระบวนการ

รายละเอียดในบทนี้จะเป็นการนำเอากระบวนการจำลองมาทดลองควบคุม และหาค่าพารามิเตอร์จากการทดลองโดยวิธีการในบทที่กล่าวผ่านมาแล้ว และจะกล่าวถึงองค์ประกอบของระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลองซึ่งเป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งขอรายละเอียดในด้านผลตอบแทนของเวลาของแต่ละอุปกรณ์ไว้ เพราะในการนำรายละเอียดมาวิเคราะห์ที่ต้องอาศัยข้อมูลที่สมบูรณ์จากอุปกรณ์แต่ละชนิดมากกว่าที่มี และเนื่องจากกระบวนการจำลองนี้ยังอยู่ในช่วงการพัฒนา ยังไม่สมบูรณ์ดังนั้นการวิเคราะห์ในระดับสูงจึงทำได้ยาก

7.1 องค์ประกอบของการควบคุมกระบวนการ

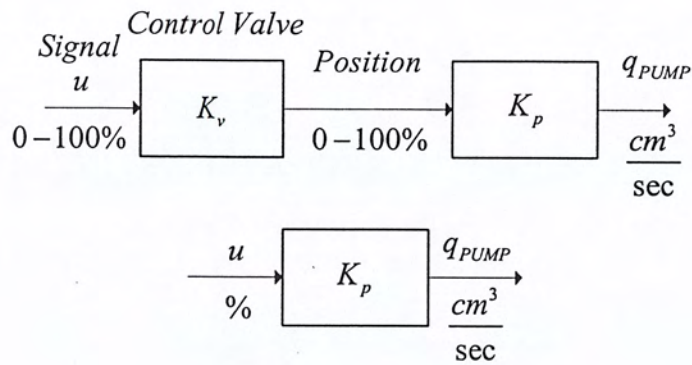


รูปที่ 7.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบจากการทดลอง

จากรูป 7.1 แสดงการควบคุมแบบป้อนกลับโดยกระบวนการ(Process) จะถูกควบคุมระดับของน้ำในถังจากตัวควบคุม(Controller) ซึ่งจะวัดระดับน้ำโดยอุปกรณ์การวัด(Level Transmitter) และนำค่าที่ได้จากการวัด (pv) ไปเปรียบเทียบกับค่าที่เป้าหมาย (sv)

7.1.1 องค์ประกอบในส่วนการควบคุมการไหลของกระบวนการ

อัตราการไหลเข้าของกระบวนการจะได้จาก Pump ที่นำน้ำจากถังเก็บมาจ่ายให้กับกระบวนการ การควบคุมการไหลจะได้รับการควบคุมตำแหน่งการเปิดปิดของ Control valve โดยสัญญาณที่มาควบคุมตำแหน่งนี้คือสัญญาณ u ในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดของ Control valve



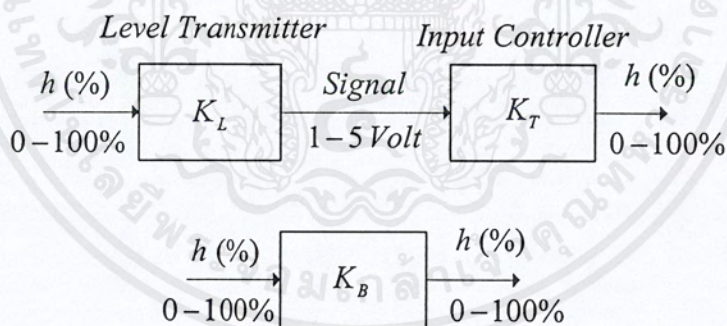
รูปที่ 7.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมอัตราการไหล

โดย

K_p คือ ค่า Gain ของการแปลงสัญญาณอินพุต u ให้อยู่ในรูปอัตราการไหล q ได้จากการทดลอง

K_v คือ ค่า Gain ในการแปลงสัญญาณอินพุต u ให้อยู่ในรูปการควบคุมตำแหน่งการเปิดปิด ของ Control valve ในการควบคุมอัตราการไหล

7.1.2 การคำนวณอัตราขยายจากอุปกรณ์การวัด K_B



รูปที่ 7.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนอุปกรณ์การวัด

K_B คือค่า Gain ของส่วนการวัดของระบบที่แปลงระดับน้ำที่อยู่ในหน่วย เปอร์เซ็นต์ % ของความสูง

K_L คือค่า Gain ของส่วนการวัดของระบบจาก Level transmitter

K_T คือค่า Gain ของส่วนอินพุตของ Controller ที่แปลงสัญญาณจาก Level transmitter ให้อยู่ในรูปของระดับน้ำ

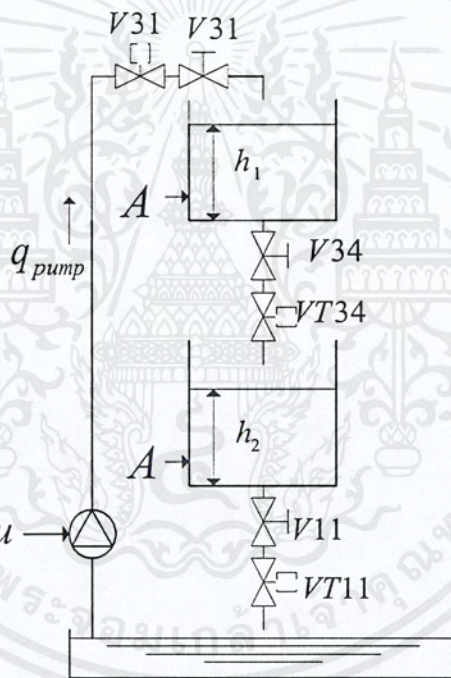
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ

โดยการทดลองจะใช้รูปแบบของกระบวนการแบบอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบท่อกัน (Second Order Noninteracting) ดังรูป 7.4

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ปรับ Mode ของ Controller ให้เป็น Manual Mode
2. ปรับ ตำแหน่งของ Valve 34 และ Valve 11 ตามความเหมาะสมให้สัมพันธ์กับจุดทำงานของถังล่าง(ต้องการควบคุมระดับในถังล่าง)
3. ปรับระดับสัญญาณ u ให้ระดับน้ำนิ่งที่จุดการทำงาน อาจจะใช้เวลานานที่จะทำให้ระดับน้ำนิ่ง
4. ทำการวัดค่าจากการทดลอง โดยระดับความสูงจะใช้ค่าในหน่วย cm ที่สูงจากกันถึง เพราะเป็นความสูงจริงในการคำนวณอัตราการไหลที่ไหลออกจากถังแต่ละใบ



รูปที่ 7.4 กระบวนการแบบอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบท่อกัน

โดยจากการทดลองจะได้ข้อมูลดังนี้

Tank1 : $u_o = 50 \%$

Operating Point $h_1^S = 30$ cm

Operating Range $h_{11} = 41.5$ cm

$h_{12} = 18.5$ cm

ช่วงเวลาการไหลออกเมื่อ $u = 0 : \Delta t_1 = 95 \text{ sec}$

ช่วงเวลาการไหลเข้าเมื่อ $q_{out} = 0 ; \Delta t_2 = 95 \text{ sec}$

$$\Delta h = h_{12} - h_{11} = 23 \text{ cm}$$

Tank2 : Operating Point $h_2^s = 27 \text{ cm}$

Operating Range $h_{11} = 38.5 \text{ cm}$

$$h_{12} = 15.5 \text{ cm}$$

ช่วงเวลาการไหลออกเมื่อ $q_{IN} = 0 : \Delta t_1 = 95 \text{ sec}$

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้จาก

$$\text{Tank1 : } \frac{a_1}{A} = \frac{2(\sqrt{h_{11}} - \sqrt{h_{12}})}{\sqrt{2g}\Delta t_1}$$

$$\frac{a_1}{A} = 1.017 \times 10^{-3}$$

$$\frac{1}{T_1} = \frac{a_1}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_1^s}}$$

$$\frac{1}{T_1} = 4.112 \times 10^{-3}$$

$$T_1 = 243.190 \text{ sec}$$

$$\frac{K_p}{A} = \frac{\Delta h}{u_o \Delta t_2}$$

$$\frac{K_p}{A} = 4.402 \times 10^{-3}$$

$$\text{Tank 2 : } \frac{a_2}{A} = \frac{2(\sqrt{h_{11}} - \sqrt{h_{12}})}{\sqrt{2g}\Delta t_1}$$

$$\frac{a_2}{A} = 1.077 \times 10^{-3}$$

$$\frac{1}{T_2} = \frac{a_2}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_2^s}}$$

$$\frac{1}{T_2} = 4.59 \times 10^{-3}$$

$$T_2 = 217.864 \text{ sec}$$

นำค่า Time Constant ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ

$$T = RC$$

$$\text{โดย } R = R_t = \frac{2H}{Q}$$

$$C = \text{Area of Tank} = 249.693 \text{ cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tank 1 : $H = 30 \text{ cm}$

$$Q = a\sqrt{2gH}$$

โดย $\frac{a_1}{A} = 1.017 \times 10^{-3}$

$$a_1 = 1.017 \times 10^{-3} \times 249.693 \text{ cm}^2 = 0.2533 \text{ cm}^2$$

$$Q = 61.453 \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$$

$$R_t = 0.97635 \frac{\text{sec}}{\text{cm}^2}$$

$$T_1 = RC = 243.789 \text{ sec}$$

Tank 2 : $H = 27 \text{ cm}$

$$Q = a\sqrt{2gH}$$

โดย $\frac{a_2}{A} = 1.077 \times 10^{-3}$

$$a_2 = 1.077 \times 10^{-3} \times 249.693 \text{ cm}^2 = 0.2689 \text{ cm}^2$$

$$Q = 61.890 \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$$

$$R_t = 0.872515 \frac{\text{sec}}{\text{cm}^2}$$

$$T_2 = RC = 217.861 \text{ sec}$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณที่ได้ทั้งสองวิธี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะทั้งสองวิธีมีลักษณะที่มาจากประมาณเชิงเส้นเช่นเดียวกัน และพิจารณาที่จุดทำงานที่เดียวกัน

7.3 การทดลองควบคุมแบบจำลองกระบวนการ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเอากระบวนการจำลองมาทดลองควบคุม โดยวิธีการที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างการทดลองบางส่วนเพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถนำกระบวนการจำลองนี้ไปศึกษาทดลองทางด้านพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุม และสามารถที่จะนำตัวอย่างการทดลองไปพัฒนารูปแบบของการทดลองให้เหมาะสมต่อไป

7.3.1 การทดลองควบคุมระดับน้ำของกระบวนการอันดับหนึ่งโดยวิธี (Ziegler–Nichols Method)

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ และค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมสำหรับกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยใช้ Reaction Curve Method ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้คือ

- ขั้นที่ 1 ปรับรูปแบบของกระบวนการให้อยู่ในรูปอันดับหนึ่ง
- ขั้นที่ 2 ปรับ Mode ของ Controller ให้อยู่ใน Mode Manual
- ขั้นที่ 3 ป้อนสัญญาณอินพุต (u) ให้ระดับน้ำในถังคงที่ ณ ระดับใดระดับหนึ่ง
- ขั้นที่ 4 เปลี่ยนระดับสัญญาณ u ในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแบบ Step
- ขั้นที่ 5 ใช้ Recorder บันทึกสัญญาณ Output และนำผลที่ได้ไปหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมต่อไป

การทดลอง ดังแสดงในรูป 7.5

- 1.สัญญาณอินพุต $u = 52\%$ ได้ระดับน้ำที่ความสูง $pv = 5.6\%$
- 2.เปลี่ยนระดับสัญญาณอินพุตเป็น $u = 55\%$
- 3.จากการเปลี่ยนระดับสัญญาณทำให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป เมื่อระดับน้ำคงที่แล้วอยู่ที่ระดับความสูง $pv = 12.5\%$

$$\text{ได้อัตราขยายของกระบวนการ } K = \frac{\Delta pv}{\Delta u} = \frac{12.5 - 5.6}{55 - 52} = 2.3$$

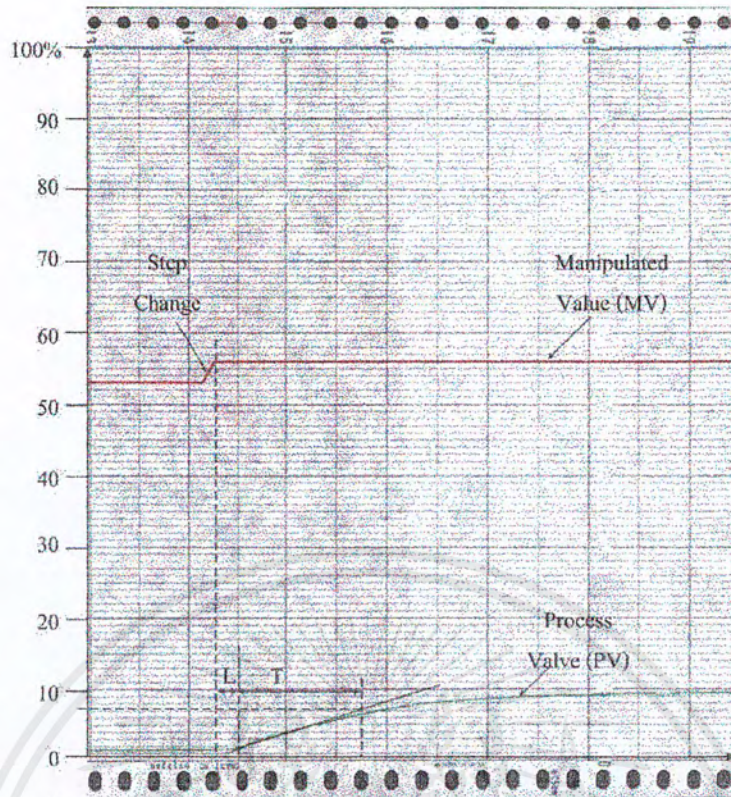
จากกราฟที่ความเร็วรอบของ Recorder เท่ากับ 1800 mm/h ได้

$$L = 10 \text{ sec}$$

$$T = 28 \text{ sec}$$

ดังนั้นจะได้คุณลักษณะของกระบวนการจากการทดลองคือ

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} = \frac{2.3e^{-10s}}{28s + 1}$$



รูปที่ 7.5 แสดง Reaction Curve ที่ได้จากระบวนการอันดับหนึ่ง

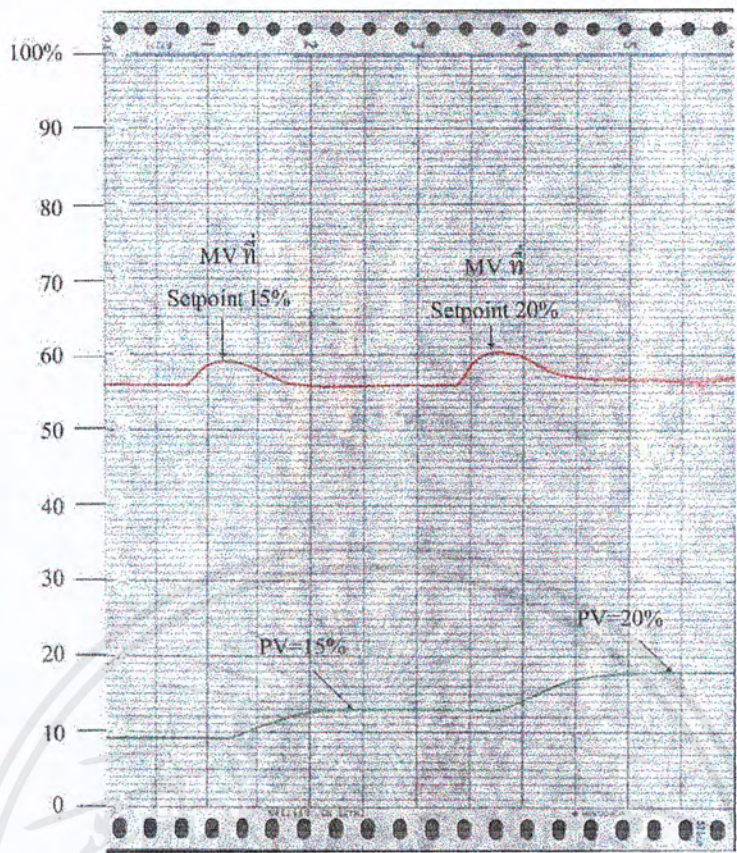
จาก Reaction Curve ของกระบวนการ จะนำไปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมโดยสำหรับกระบวนการอันดับหนึ่งจะใช้การควบคุมแบบ PI ซึ่งคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

PI Controller Mode

$$\text{Proportional band PB}(\%) = \frac{100}{0.9 \frac{T}{L}} = 39.682\%$$

$$\text{Integral Time TI (sec)} = 3.3L = 33 \text{ sec}$$

นำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมไปทำการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยเป็นการทดลองควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย(Set Point) ที่ 15 % และ 20 % ตามลำดับโดยผลตอบสนองการควบคุมแสดงดังรูป 7.6

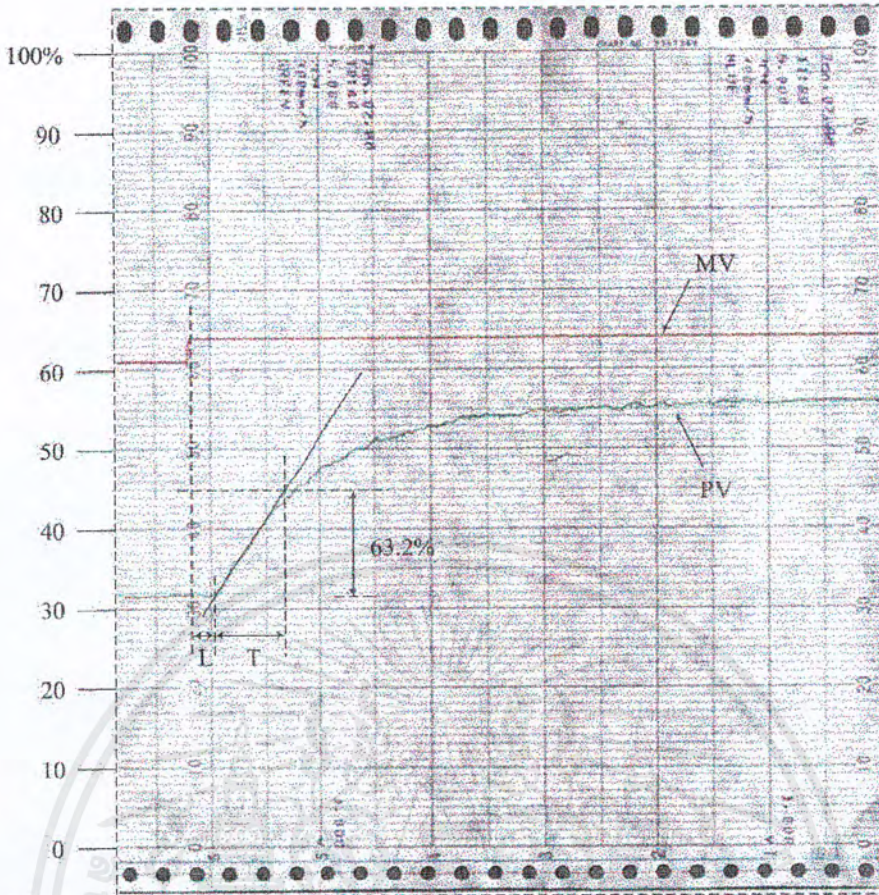


รูปที่ 7.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่ง

จากรูป 7.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่งและสัญญาณ Manipulate value ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนระดับของค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลอง

7.3.2 การทดลองควบคุมระดับน้ำของกระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน โดยวิธี (Ziegler – Nichols Method)

การทดลองนี้ เป็นการทดลองควบคุมระดับน้ำของกระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบต่อกัน โดยจุดประสงค์ของการควบคุมคือต้องการควบคุมระดับน้ำในถังล่างเพื่อให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย โดยใช้วิธี Reaction Curve Method เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองจะได้ผลตอบสนองของกระบวนการดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการอันดับสองแบบไม่มีผลกระทบท่อกัน

จากรูปที่ 7.7 เป็นการหาค่าผลตอบสนองของกระบวนการ(Reaction Curve) โดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุต(u) ซึ่งจะได้ผลตอบสนองดังนี้คือ

ที่สัญญาณอินพุต(u) = 60% ได้

ค่าระดับความสูงของน้ำ(PV) = 32.4%

เมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได(Unit Step) จะได้

ที่สัญญาณอินพุต(u) = 63% ได้

ค่าระดับความสูงของน้ำ(PV) = 63%

อ่านค่าจากกราฟผลตอบสนองได้

$L = 72 \text{ Sec.}$

$T = 204 \text{ Sec.}$

ที่ความเร็วของ Recorder = 300 mm/h

โดยจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม สำหรับกระบวนการอันดับแบบไม่มีผลกระทบท่อกัน ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบ PI

PB = 39.215%

TI = 237.6 Sec.

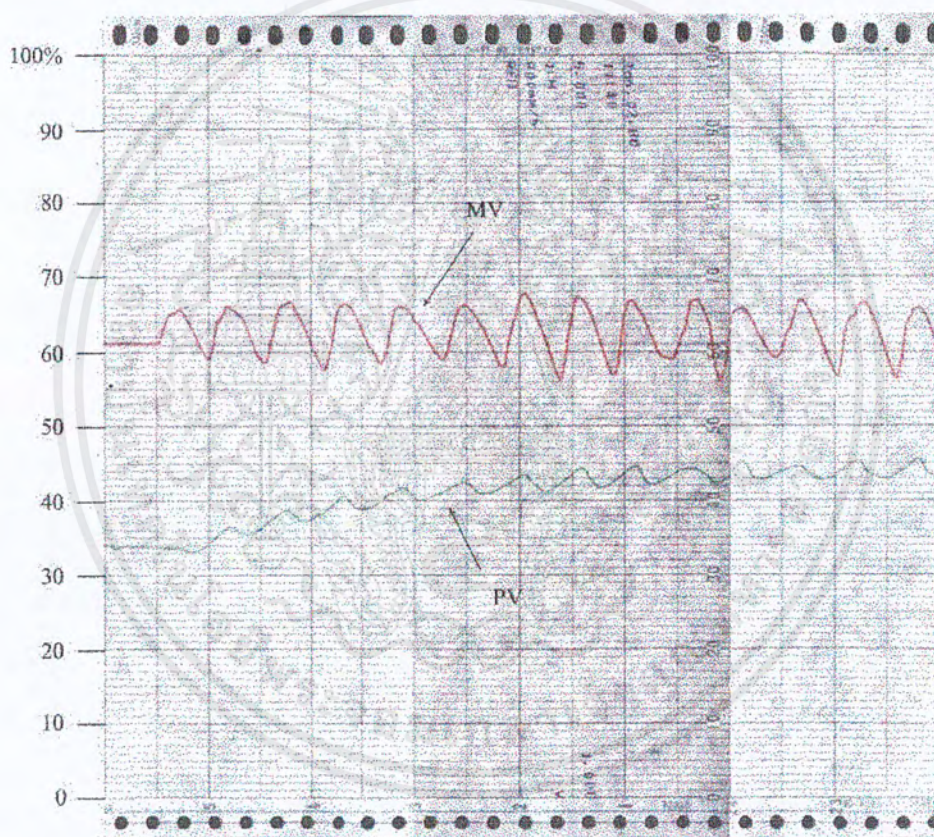
การควบคุมแบบ PID

PB = 29.411%

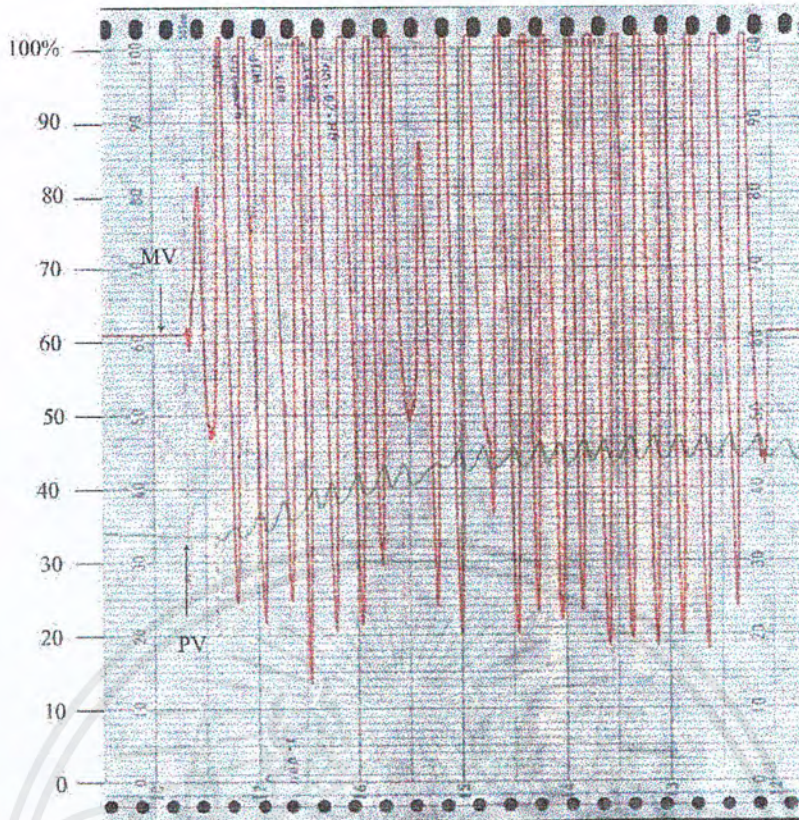
TI = 144 Sec.

TD = 36 Sec.

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมไปทดลองควบคุมแล้วจะได้ผลตอบสนองของ กระบวน ดังรูปที่ 7.8 และรูปที่ 7.9 ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ PI และ PID ตามลำดับ



รูปที่ 7.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมแบบ PI



รูปที่ 7.9 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมแบบ PID

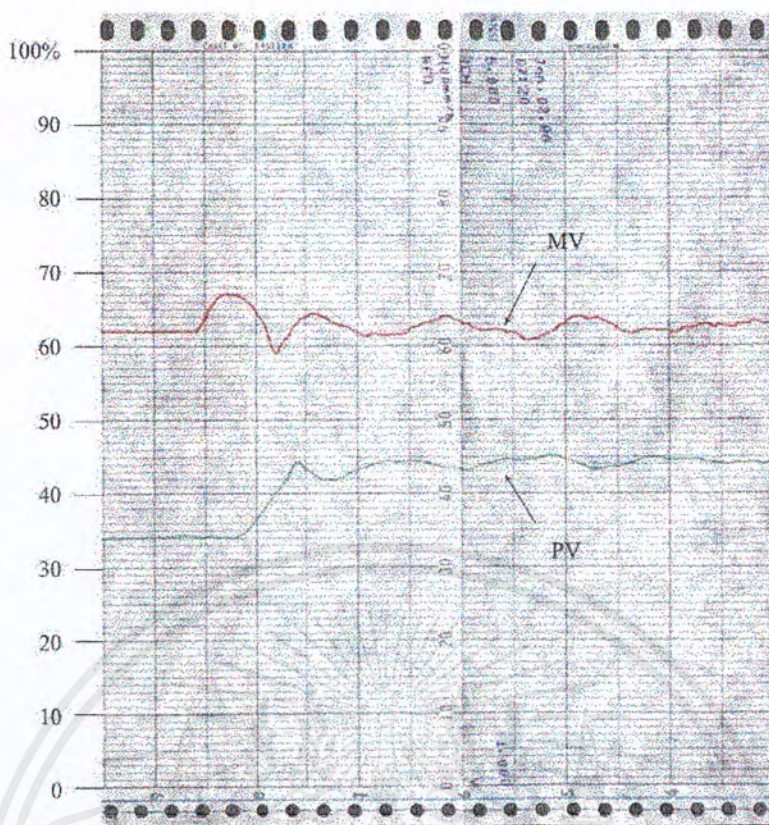
จากกราฟแสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ควบคุมแบบ PI และ PID เพื่อต้องการควบคุมระดับน้ำให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย(Set Point) ที่ 44% จะเห็นว่ากราฟตอบสนองมีการแกว่งตัวของสัญญาณ PV ในลักษณะแคบและถี่เพื่อให้ระดับน้ำเข้าสู่ค่าเป้าหมาย โดยการควบคุมแบบ PID จะมีการแกว่งตัวสูงกว่าการควบคุมแบบ PI แม้ว่าการควบคุมทั้งสองแบบจะเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ แต่การที่เกิดการแกว่งตัวของสัญญาณ PV แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของการควบคุมที่ไม่ดีนัก จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมใหม่ เพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีขึ้น

จากรูปที่ 7.10 แสดงการควบคุมแบบ PID โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ดังนี้คือ

$$PB = 64.5\%$$

$$TI = 65 \text{ Sec.}$$

$$TD = 2 \text{ Sec.}$$



รูปที่ 7.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบ PID

จากรูปที่ 7.10 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของกระบวนการดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จาก Reaction Curve ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จาก Reaction Curve นั้น สามารถจะนำไปทำการควบคุมได้แต่คุณภาพของการควบคุมอาจยังไม่ดีนักเพื่อให้ได้คุณภาพของการควบคุมที่ดีขึ้นจะต้องมีการปรับโดยละเอียดอีกตามความเหมาะสม เพื่อคุณภาพของการควบคุมที่ดีต่อไป

7.4 บทสรุป

บทนี้กล่าวถึงการนำเอากระบวนการจำลองมาทำการทดลองด้วยจุดประสงค์ 2 ลักษณะคือ

1. ลักษณะแรก คือการค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากการทดลองและนำค่าที่ได้ไปใช้หาค่าและออกแบบพารามิเตอร์ของระบบควบคุมต่อไป แต่เมื่อทดลองนำค่าที่ได้ออกแบบไว้ไปทดลองควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมาย ผลตอบสนองที่ได้ไม่ได้เป็นไปตามที่กำหนดไว้เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมเป็นลักษณะการคำนวณทางอุดมคติเมื่อนำมาใช้งานจริงไม่อาจเป็นไปตามเป้าหมายด้วยเหตุผลทางด้านขีดจำกัดของอุปกรณ์ในกระบวนการ พารามิเตอร์ที่คำนวณมาและนำไปใช้ จะอยู่ในลักษณะค่าเริ่มต้นในการปรับค่าสำหรับการควบคุมที่เหมาะสมต่อไป และเนื่องจากการทดลองการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ทำการทดลองไปนั้น

ให้ผลตอบสนองที่ช้า และเป็นการบันทึกผลตอบสนองด้วย Recorder การจะนำผลการทดลองมาแสดงจึงไม่เหมาะสมเพราะจะใช้กระดาษกราฟที่ยาวมาก ๆ ดังนั้นจึงเพียงสรุปผลที่เกิดขึ้นมาเท่านั้น

2. ลักษณะที่สอง คือการนำเอากระบวนการจำลองมาทดลองควบคุม โดยวิธีการที่เป็นมาตรฐาน อย่างเช่น Reaction Curve โดยจากการทดลองที่ผ่านมานั้นจะเห็นได้ว่าสามารถนำกระบวนการจำลองไปเป็นชุดทดลองทางพลศาสตร์และการควบคุมได้จริง ในส่วนรูปแบบของการทดลองนั้นก็สามารนำไปพัฒนาให้เหมาะสมสำหรับความต้องการต่อไป



บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น

8.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการจำลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบหลายหน้าที่ ที่ถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบกระบวนการจำลองได้หลายลักษณะและยืดหยุ่นต่อการใช้งาน สำหรับการทดลองทางด้านพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุมกระบวนการ ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ได้ดีในระดับหนึ่ง ถือนำไปทดลองระบบควบคุมแบบอินพุตตัวแปรเดียวและเอาต์พุตตัวแปรเดียวแบบอันดับหนึ่งและอันดับสองได้ดี แต่กระบวนการในรูปแบบอื่นยังไม่สามารถใช้ได้ดีเท่าใดนัก ทั้งนี้เพราะข้อจำกัดบางอย่างที่จะกล่าวในหัวข้อปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนา แต่ทั้งนี้หากลดข้อจำกัดที่ว่านี้ได้กระบวนการจำลองนี้สามารถจะใช้ศึกษาทดลองในพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุมที่ต้องการกระบวนการที่หลากหลาย เพื่อให้ผู้ศึกษาได้รับประโยชน์จากการทดลองมากที่สุดต่อไป

8.2 ปัญหาและอุปสรรค

การพัฒนาระบบการจำลองนี้ ปัญหาและอุปสรรคที่พบมากจะเป็นปัญหาทางด้านอุปกรณ์(Hardware) ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์โดยส่วนใหญ่ของกระบวนการจำลองจะเป็นลักษณะการนำเอาของเดิมที่มีอยู่แล้วมาใช้และอุปกรณ์ใหม่มีราคาสูง การจะออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ทำได้ยากเนื่องจากพื้นที่ของกระบวนการจำลองมีจำกัดยากต่อการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ และปัญหาที่ยากที่สุดคือการเดินท่อทางเดินของน้ำสำหรับจ่ายให้กับกระบวนการจำลอง เพื่อที่จะได้อัตราการไหลที่พอเพียง สำหรับการทดลองแล้วจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนทิศทางของท่อและเดินท่อใหม่อยู่หลายหนทำให้เกิดความล่าช้าในงานส่วนนี้มากทีเดียว และอีกส่วนที่ทำให้อัตราการไหลของกระบวนการไม่พอสำหรับทั้ง 4 ถัง คือปริมาตรของถังน้ำสำรองมีขนาดเล็กไม่พอเพียงสำหรับ 4 ถัง ในส่วนอุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์ควบคุม ปัญหาที่พบคือคู่มือการใช้งานได้สูญหายไปบางส่วนทำให้งานในส่วนการติดตั้งอุปกรณ์ทำได้ช้าและติดตั้งได้ไม่ถูกต้องเท่าที่ควรในตอนแรก ต้องมีการปรับแก้เรื่อยมา

8.3 แนวทางแก้ไขและการพัฒนา

ในส่วนของรูปแบบของกระบวนการนั้นมีความหลากหลายพอสมควร สำหรับการนำไปทดลองศึกษาทางด้านพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุม ในส่วนการแก้ไขปรับปรุงนั้นจะอยู่

ที่การแก้ไขปริมาตรของถังพักน้ำและทางเดินของท่อน้ำให้ได้อัตราการไหลที่พอเพียงสำหรับทั้ง 4 ถัง สำหรับใช้ในการทดลอง

ในส่วนการพัฒนานั้น ควรจะเป็นการนำเอารูปแบบกระบวนการจำลองไปออกแบบการทดลองที่เหมาะสมในด้านพลศาสตร์กระบวนการและการควบคุม หรือศึกษาการควบคุมกระบวนการที่เหมาะสมกับรูปแบบกระบวนการแบบต่าง ๆ



บรรณานุกรม

- [1] รศ.สุวัฒน์ ศรีณนิตย์. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ ๑: ประชาชน จำกัด, 2542
- [2] กิตติ ตีรเศรษฐ. อุปกรณ์วัดและควบคุมในกระบวนการ. กรุงเทพฯ ๑: พิมพ์ครั้งที่ 2 สจล. , 2535
- [3] กิตติ ตีรเศรษฐ. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม. กรุงเทพฯ ๑: พิมพ์ครั้งที่ 5 สจล. , 2539
- [4] Carlos A. Smith, Armando B. Corripio. **Principles and Practice of Automatic Process Control.** Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. , 1997.
- [5] Katsuhiko Ogata. **Modern Control Engineering.** Third Edition, Prentice Hall, 1997.
- [6] Karl Henrik Johansson. **The Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero.** IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.8, No.3, 2000.

