สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวควบคุมแยกส่วนสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง

DESIGN OF DECENTRALIZE CONTROLLER FOR FOUR-TANK LEVEL PROCESS

นายวิริยะ กุศลพรสร้าง
นายวุฒิภัทร แก้วโก
นายอัตุรพักตร์ ศรีสว่าง

สิ่งพิมพ์.....
เลขทะเบียน.....62480.....
วัน,เดือน,ปี.....18 ส.ค. 2549.....

b.....11622215.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF DECENTRALIZE CONTROLLER FOR FOUR-TANK LEVEL PROCESS

VIRIYA KUSOLPORNSRANG

WUTTIPAT KAEWKO

JUTTURAPUT SRISAWANG

A THESIS SUBMITED 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 TECNOLOGY LADKREBANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรองรับปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบตัวควบคุมแยกส่วนสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง
DESIGN OF DECENTRALIZE CONTROLLER FOR FOUR-TANK LEVEL PROCESS

นักศึกษาผู้จัดทำ นายวิริยะ กุศลพรสร้าง **รหัสประจำตัว** 46015456
นายวุฒิภัทร แก้วโก **รหัสประจำตัว** 46015459
นายจัตุรพักตร์ ศรีสว่าง **รหัสประจำตัว** 46015464

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ รศ.วิริยะ กองรัตน์	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประสิทธิ์ จุฉเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมแยกส่วนสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง DESIGN OF DECENTRALIZE CONTROLLER FOR FOUR-TANK LEVEL PROCESS		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวิริยะ	กุศลพรสร้าง	**รหัสประจำตัว** 46015456
	นายวุฒิภัทร	แก้วโก	**รหัสประจำตัว** 46015459
	นายจัตุรพักตร์	ศรีสว่าง	**รหัสประจำตัว** 46015464
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.อาจินต์	น่วมสำราญ	
	รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมแยกส่วน โดยวิธีการแยกวงรอบสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง โดยวิธีแยกวงรอบนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการ MIMO ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่การออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการ MIMO ด้วยวิธีการแยกวงรอบนั้นยังไม่มีวิธีการสำหรับการออกแบบตัวควบคุมที่แน่นอน ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้ตัวควบคุมแยกส่วนที่ออกแบบด้วยวิธีการแยกวงรอบ สำหรับกระบวนการสองอินพุตสองเอาท์พุตโดยกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง สามารถปรับเปลี่ยนโหมดการทำงานของกระบวนการโดยการปรับค่าตำแหน่งวาล์ว ผลการทดลองพิสูจน์โดยแสดงให้เห็นได้จากการจำลองโดยใช้ LABVIEW เปรียบเทียบกับการทดลองควบคุมกระบวนการจริง พบว่าการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีแยกวงรอบ สามารถควบคุมระดับน้ำของกระบวนการให้มีผลตอบสนองได้ตามที่ต้องการและไม่มีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design Of Decentralize Controller For Four Tank-Level Process	
Authers	Mr. Viriya	Kusolpornsrang
	Mr. Wuttipat	Kaewko
	Mr. Jutturaput	Srisawang
Thesis Advisor	Asst.Prof. Arjin	Numsomran
	Assoc.Prof. Viriya	Kongrat
Year	2005	

ABSTRACT

This thesis presents a design technique based on the individual channel design(ICD) for four-tank level process using decentralize controller. Although ICD is proven effective MIMO control design, the concrete procedure for MIMO design is not established yet, which decentralize controller design by ICD is made for this Two-Input Two-output (TITO) problem. The Four-tank level process is adjusting operating mode by value of valve .The results obtained in this thesis verification are demonstrated by LABVIEW simulation and real experiment, which that the ICD can be designed to meet both transient and steady-state response.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษา และความอนุเคราะห์ที่ดี จาก ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ และ รศ.วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุน และคำปรึกษาที่ดีที่เกี่ยวกับงานวิจัยจนสำเร็จตามจุดประสงค์

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง และทุก ๆ ความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกท่านที่ได้อยู่ร่วมกันทำงานและให้กำลังใจพร้อมทั้งความช่วยเหลือมาโดยตลอดขอบคุณพี่เทียนชัย สุขศรี กับคำแนะนำในด้านการเขียนโปรแกรม MATLAB และการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

และที่มิเคยลืม ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอดมาจนปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 กระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง	3
2.1 คุณสมบัติของของไหล	3
2.1.1 ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ(DENSITY, SPESIFIC, WEIGHT, SPECIFIC VOLUME AND SPECIFIC GRAVITY)	3
2.1.2 ของไหลสถิต (Fluid Static)	4
2.1.3 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ (Absolute and Gage Pressure)	6
2.1.4 สมการการไหลไม่ต่อเนื่อง (Equation of Continuity)	7
2.1.5 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหล	8
2.1.6 สมการพลังงานสำหรับการไหลแบบ STEADY FLOW ของของไหลที่อัดตัวไม่ได้	8
2.1.7 เฮด (Head)	10
2.1.8 สมการเบอร์นูลลี(Bernoulli's Equation)	11
2.2 รายละเอียดอุปกรณ์และส่วนประกอบของกระบวนการ	13
2.3 กระบวนการและส่วนประกอบของกระบวนการของถังน้ำ 4 ถัง	14
2.3.1 ถังน้ำ (Tank)	15
2.3.2 วาล์ว เปิด/ปิด (Valve On – Off flow)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 วาล์วปรับค่าพารามิเตอร์ (Valve Turn Parameter)	16
2.3.4 ฟิตติ้งรูปตัว Y	17
2.3.5 ถังพักน้ำ	17
2.4 อุปกรณ์ตรวจวัด	18
2.4.1 ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดันแตกต่าง (D/P Transmitter)	18
2.4.2 CURRENT LOOP SUPPLY	19
2.5 คอมพิวเตอร์	20
2.5.1 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A	21
2.5.2 Terminal Board	23
2.6 ชุดปั๊มน้ำ	24
2.6.1 Pump	24
2.6.2 วงจรออปแอมป์(Operation Amplifier)ที่ใช้ขับมอเตอร์(Drive Motor)	25
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ	26
2.8 ผลกระทบจากตำแหน่งซีโร่ต่อระบบควบคุม	30
2.8.1 กรณีเฟสต่ำสุด	30
2.8.2 กรณีเฟสไม่ต่ำสุด	30
2.9 ความไวของกระบวนการ	31
2.10 อัตราขยายของกระบวนการ	31
2.11 Condition Number	32
2.12 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการควบคุมกระบวนการ	32
บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีและการออกแบบ PID ด้วยวิธี ICD	35
3.1 ระบบควบคุม	35
3.2 ประเภทของการควบคุม	35
3.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop)	35
3.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ชนิดของการควบคุม	36
3.3.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)	36
3.3.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional Derivative (PD)	37
3.3.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)	37
3.3.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID)	37
3.3.5 ผลของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบกับกระบวนการ	40
3.3.6 การปรับค่าของตัวควบคุม PID	42
3.4 การใช้งาน ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือน PID VIs สำหรับโปรแกรม LabVIEW	47
3.5 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือน PID VI สำหรับโปรแกรม LabVIEW	48
3.6 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือนขั้นสูง (The PID Advanced VI) สำหรับโปรแกรม LabVIEW	49
3.7 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี. ในหลายวงรอบการควบคุม (Multi-Loop PID Control) สำหรับโปรแกรม LabVIEW	50
3.8 Setpoint Ramp Generation สำหรับโปรแกรม LabVIEW	50
3.9 การกรองสิ่งที่นำเข้าหน่วยควบคุม (Filtering Control Inputs) สำหรับโปรแกรม LabVIEW	52
3.10 การเพิ่มค่าของตารางเวลา (Gain Scheduling) สำหรับโปรแกรม LabVIEW	52
3.11 Control Output Rate Limiting สำหรับโปรแกรม LabVIEW	54
3.12 PID Lead – Lag VI สำหรับโปรแกรม LabVIEW	54
3.13 การเปลี่ยนหน่วยระหว่าง เปอร์เซนต์เต็มสเกล และ หน่วยทางวิศวกรรม สำหรับโปรแกรม LabVIEW	55
3.14 การออกแบบระบบควบคุม	55
3.15 การออกแบบ PID ด้วยวิธี Individual Channel Design (ICD)	56
บทที่ 4 ที่มาและฟังก์ชันการทำงานบน LabVIEW	62
4.1 LabVIEW	62
4.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW (LabVIEW Environment)	63
4.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel	64
4.3.2 Tools Palette สำหรับการออกแบบ Front Panel	65
4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram	68
4.4.1 Tools Palette สำหรับ Block Diagram	69
4.5 Front Panel Toolbar	70
4.6 Block Diagram Toolbar	71
4.7 การพัฒนาโปรแกรม	71
4.7.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming	71
4.7.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล)	72
4.8 Numeric Data type	74
4.9 Formula Node	76
4.10 Boolean Data type	76
4.11 Sub VI	77
4.12 DEBUG	78
4.13 While Loop	78
4.14 Wait (ms) และ Wait Until Next ms Multiple	78
4.15 Shift Register	79
4.16 Feedback Node	80
4.17 For Loop	80
4.18 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure	80
4.19 Case Structure	83
4.20 String Data Type	83
4.21 Array	84
4.22 Cluster	86
4.23 Waveform Data Type (WDT)	87
4.24 Waveform Chat	88
4.25 Waveform Graph	90
4.26 X-Y Graph	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.27 Other Graphs (กราฟรูปแบบอื่น ๆ)	92
บทที่ 5 การจำลองและการทดลองระบบควบคุม	94
5.1 โครงสร้างของระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง	94
5.2 พารามิเตอร์และจุดทำงานของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง	95
5.3 ผลของการออกแบบตัวควบคุมแบบ Individual Channel Design	96
5.4 การทดสอบกระบวนการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	98
5.5 การจำลองระบบควบคุม	100
5.6 การทดลองกับกระบวนการจริง	102
บทที่ 6 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	105
6.1 บทสรุป	105
6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ไข	105
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	106
บรรณานุกรม	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	**หน้า**
2.1 แสดงรายละเอียดของปั๊มน้ำ	24
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของ PID	53
3.2 ตำแหน่งโพลและตำแหน่งซีโร่ของวงรอบเปิดแต่ละแชนแนล	61
5.1 แสดงพารามิเตอร์ของกระบวนการ	95
5.2 แสดงจุดทำงานของกระบวนการในกรณีเฟดต่ำสุด	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงความสำพันธ์ระหว่างความดันและความสูงของของเหลว	4
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันแบบต่าง ๆ	6
2.3 แสดงหลอดของการไหล	7
2.4 ของไหลระบบควบคุมปริมาตร	9
2.5 แสดง Diagram ของกระบวนการ	13
2.6 แสดงภาพจำลองของกระบวนการ	14
2.7 แสดงกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง	15
2.8 แสดงถังบรรจุน้ำ	15
2.9 แสดงวาล์วสำหรับ เปิด/ปิด	16
2.10 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับละเอียด	16
2.11 แสดงฟิตติ้งรูปตัว Y	17
2.12 แสดงที่พักน้ำ	17
2.13 แสดง D/P Transmitter	18
2.14 แสดงการติดตั้ง D/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถัง	18
2.15 แสดงช่วงความดันแตกต่างของถังน้ำ	19
2.16 แสดง CURRENT LOOP SUPPLY	20
2.17 แสดงวงจรการต่อใช้งาน CURRENT LOOP SUPPY	20
2.18 แสดงคอมพิวเตอร์ใช้งาน	21
2.19 แสดงรูปจำลองการควบคุม	21
2.20 แสดงการ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A	22
2.21 แสดง Terminal Board	23
2.22 แสดงปั๊มน้ำ	24
2.23 แสดงวงจรขับปั๊มน้ำ	25
2.24 แสดงอุปกรณ์ขับปั๊มน้ำ	26
2.25 แสดงภาพจำลองกระบวนการ	27
3.1 พื้นฐานระบบควบคุม	35
3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด	36
3.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี	38
3.5 ผลของ Proportional Band ต่อกระบวนการควบคุมแบบ PID	40
3.6 ผลของ Integral Time ที่มีต่อผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมแบบพีไอดี	41
3.7 แสดงผลของ Derivative Action	42
3.8 การปรับค่าของตัวควบคุม PID	44
3.9 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Process Reaction Curve	45
3.10 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Ultimate Method	46
3.11 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Damped Oscillation	47
3.12 Bumpless Automatic-to-Manual Transfer	50
3.13 แสดงรูปแบบ ramp setpoin	51
3.14 แสดงรูปแบบ ramp และ hold setpoin	51
3.15 แสดงรูปแบบ Step setpoin	51
3.16 รายการค่า Gain ของตัวอย่างอินพุท	53
3.17 โครงสร้างระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบแยกอิสระ	58
3.18 ระบบที่สมบูรณ์	59
3.19 รูปแบบสองแชนแนล	60
4.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW	63
4.2 แสดง Control Palette	64
4.3 แสดง Tool palette	65
4.4 แสดงวิธีเรียกใช้ Tool palette	65
4.5 แสดง Operate Value Tool	65
4.6 แสดง Position/Size/Select Tool	66
4.7 แสดง Edit Text Tool	66
4.8 แสดง Set Color Tool	66
4.9 แสดง Object Shortcut Menu Tool	67
4.10 แสดง Scroll Window Tool	67
4.11 แสดง Get Color	67
4.12 แสดง Functions Palette	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.13 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่1	68
4.14 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2	69
4.15 แสดงวิธีการเปิด Tools Palette	69
4.16 แสดง Tool ที่ใช้ใน Block Diagram	69
4.17 แสดง Front Panel Toolbar	70
4.18 แสดงหลักการทำงานของ Dataflow Programming	71
4.19 แสดง Data Type (ประเภทของข้อมูล	72
4.20 แสดงการ Wiring ที่ผิด	73
4.21 แสดง Error List	73
4.22 แสดง Numeric Control และ Indicator	74
4.23 แสดงการเปลี่ยน Change to Indicator	74
4.24 แสดง Visible Item	75
4.25 แสดง Formula Node	76
4.26 แสดงแสดงBoolean Data type	76
4.27 แสดงวิธีเลือก SubVI	77
4.28 แสดง Set/Clear Breakpoint	78
4.29 แสดง While Loop	78
4.30 แสดง Wait (ms	79
4.31 แสดง Wait Until ms Multiple	79
4.32 แสดง Shift Register	79
4.33 แสดง Feedback Node	80
4.34 แสดง For Loop	80
4.35 แสดง Structures Palette	80
4.36 แสดง Stacked Sequence	81
4.37 แสดง Flat Sequence	81
4.38 แสดง Add Frame	81
4.39 แสดง Show Frame	82
4.40 แสดง Add Sequence Local	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.41 แสดง Case Structure	83
4.42 แสดง String Palette	83
4.43 แสดง String Properties	84
4.44 แสดง Text Settings	84
4.45 แสดง Array	85
4.46 แสดง Add Dimension	85
4.47 Array Function	86
4.48 แสดง Cluster	86
4.49 แสดง Waveform	87
4.50 แสดง Waveform Measurements	88
4.51 แสดง Waveform Chart	88
4.52 แสดงการใช้งาน Waveform Chart	89
4.53 แสดงการแสดงผลข้อมูล Chart	89
4.54 แสดงการล้างข้อมูลที่ Chart	90
4.55 แสดง Waveform Graph	90
4.56 แสดงการใช้งาน Waveform Graph	91
4.57 แสดง Visible Items	91
4.58 แสดง Express XY Graph	91
4.59 แสดงการใช้งาน XY Graph	92
4.60 แสดงกราฟลักษณะอื่นๆ	92
4.61 แสดงวิธีใช้ Help	93
4.62 แสดง NI Example Finder	93
5.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง	94
5.2 ระบบที่ถูกแยกออกเป็นวงรอบการควบคุม C_1	97
5.3 ระบบที่ถูกแยกออกเป็นวงรอบการควบคุม C_2	97
5.4 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการ เปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการ กับแบบจำลอง	99
5.5 แสดงเปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการกับแบบจำลอง	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.6 แสดงโปรแกรมจำลองการควบคุมกระบวนการ	100
5.7 แสดงผลตอบสนองของแบบจำลองโดยใช้ตัวควบคุม PID	101
5.8 แสดงภาพถ่ายของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง	102
5.9 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันได	103
5.10 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันไดและกำหนดให้ถังที่1 มีค่ามากกว่าถังใบที่2	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

กระบวนการระดับน้ำ 4 ถังเป็นกระบวนการในการศึกษาและการทดลองแบบใหม่ซึ่งถูกแนะนำโดย K.H.Johansson ซึ่งกระบวนการนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อทำการอธิบายถึงขีดจำกัดสมรรถนะของระบบควบคุมแบบหลายพุตอิน-หลายเอาท์พุต (MIMO) อันเนื่องมาจากตำแหน่งซีโร่ของกระบวนการ ซึ่งตำแหน่งซีโร่ของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังนี้สามารถเลื่อนไปได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของระนาบ S โดยการปรับเปลี่ยนวาล์ว จึงทำให้สามารถเลือกโหมดการทำงานของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังให้เป็นแบบเฟสต่ำสุดหรือเฟสไม่ต่ำสุดก็ได้ ซึ่งตำแหน่งซีโร่นี้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการออกแบบระบบควบคุม โดย *Zames* และ *Francis* นั้นได้แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการใดก็ตามที่มีซีโร่อยู่ทางด้านขวาของระนาบ S จะทำให้มีผลกระทบต่อฟังก์ชั่น ความไว (sensitivity function) ของระบบควบคุม กล่าวคือถ้าทำการออกแบบให้ฟังก์ชันความไวมีค่าผลตอบสนองต่อขนาดที่น้อยในช่วงความถี่หนึ่ง ผลกระทบจากการออกแบบนั้นจะทำให้ฟังก์ชันความไวมีค่า ผลตอบสนองต่อขนาดที่มากในช่วงความถี่อื่นแทน ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวนี้อาจจะทำให้สมรรถนะของระบบควบคุมโดยรวมแย่ลง นอกจากนั้น Zames และ Francis ยังแสดงให้เห็นอีกว่าถ้ากระบวนการใดๆก็ตามไม่มีซีโร่ที่อยู่ทางด้านขวาของระนาบ S เมื่อนั้นทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบใดก็สามารถที่จะออกแบบให้ระบบควบคุมมีสมรรถนะตามที่ต้องการได้เสมอ ดังนั้นกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังนั้นจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจในแง่มุมของการวิเคราะห์และการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบควบคุมแบบหลายอินพุต-หลายเอาท์พุต (MIMO) ทั้งในกรณีเฟสต่ำสุดและเฟสไม่ต่ำสุด

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังที่ผ่านมานั้น ได้มีการนำเสนอที่หลากหลายทั้งในแง่ของการศึกษาและการออกแบบตัวควบคุม โดยในแง่ของการศึกษาที่ผ่านมานั้นได้มีการนำเอากระบวนการระดับน้ำ 4 ถังไปใช้เป็นเครื่องมือในการสอนถึงเทคนิคการควบคุมขั้นสูงของระบบควบคุมแบบหลายพุตอิน-หลายเอาต์พุทและในแง่ของการออกแบบตัวควบคุมได้มีการนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ทั้งวิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิมวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบอัตโนมัติด้วยวิธีรีเลย์และวิธีการออกแบบตัวควบคุมขั้นสูง ส่วนวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบอัตโนมัติด้วยวิธีรีเลย์นั้นแม้ว่าจะเป็นวิธีที่สะดวก ง่ายและไม่ซับซ้อนยุ่งยากแต่พารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้มาจากการปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัตินั้นก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ในทันทีต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์อีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปใช้งานได้ และวิธีการออกแบบตัวควบคุมขั้นสูงนั้นเป็นวิธีที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้กับกระบวนการ ในกรณีเฟสต่ำสุดและเฟสไม่ต่ำสุดได้เป็นอย่างดีแต่วิธีการในการออกแบบตัวควบคุมก็ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก

วิธีแยกช่องทางให้เป็นอิสระ (Individual Channel Design :ICD) เป็นวิธีการออกแบบตัวควบคุมวิธีหนึ่ง ซึ่งวิธี ICD นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม โดยวิธีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ICD ได้แสดงให้เห็นผ่านงานวิจัยต่างๆมาแล้วว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ออกแบบนั้นสามารถได้ตามที่ต้องการทั้งในด้านการตอบสนองที่สภาวะชั่วครู่และสภาวะคงตัวมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการนอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้ออกแบบกับกระบวนการที่มีคุณลักษณะเวลาไร้ผลตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับกระบวนการออกแบบ MIMO นั้นยังไม่มีวิธีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ICD ที่แน่นอน ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการ MIMO ด้วยวิธี ICD นั้นก็ได้มีผู้คิดค้นและนำเสนอที่หลากหลายรูปแบบดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับ กระบวนการระดับน้ำ 4 ถังด้วยวิธี ICDในกรณีเฟสต่ำสุด โดยโครงสร้างของตัวควบคุมจะเป็นแบบแยกอิสระ (Decentralized)

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างและคุณลักษณะของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง
2. เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้กับกระบวนการ MIMO
3. เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ICD

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง
2. ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำในถัง
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขับกระแสของปั๊มน้ำ
4. ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ
5. ออกแบบตัวควบคุม PID ด้วยวิธี ICD เพื่อควบคุมกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง ในกรณีเฟสต่ำสุด
6. นำตัวควบคุม PID ที่ได้ออกแบบมาจำลองการทำงานของระบบควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW จากนั้นนำตัวควบคุมไปทดลองกับกระบวนการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
กระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง

2.1 คุณสมบัติของของไหล

ของเหลวเป็นสารที่มีจำนวนมวลคงที่แน่นอนแต่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนคือสามารถที่จะเปลี่ยนรูปร่างตามภาชนะที่รองรับ

2.1.1 ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ(DENSITY, SPESIFIC, WEIGHT, SPECIFIC VOLUME AND SPECIFIC GRAVITY)

2.1.1.1 ความหนาแน่นเฉลี่ย (Mean Density, ρ)

เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลกับปริมาตรของสารนั้น ถ้าความหนาแน่นเฉลียที่ทุก ๆ ส่วนของสารนั้นเท่ากันหมด ก็แสดงว่าสารก้อนนั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ในที่นี้จะเรียกความหนาแน่นเฉลี่ยนี้สั้น ๆ ว่า ความหนาแน่น

ความหนาแน่น มวล และปริมาตรมีความสัมพันธ์กันดังสมการ $\rho = m/V$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น kg/m^3

m คือ มวล มีหน่วยเป็น kg

V คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น m^3

2.1.1.2 น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight, γ)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักหรือแรงดึงดูดของโลกกับปริมาตรของสารนั้น ดังนั้น หน่วยของน้ำหนักจำเพาะจึงเป็นหน่วยของแรงต่อหน่วยของปริมาตร เช่น N/m^3

น้ำหนักจำเพาะ และความหนาแน่นนั้น มีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \qquad \text{หรือ} \qquad \gamma = \rho g$$

ถ้าพิจารณาจากหน่วยของ γ และ g แล้ว ก็จะหาหน่วยความหนาแน่นได้คือหน่วยของ

$$\rho = \frac{N/m^3}{m/s^2} = \frac{Ns^2}{m^4} = \frac{kg}{m^3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, υ)

เป็นปริมาตรของของสารในหนึ่งหน่วยมวล หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับมวลของสสาร ปริมาตรจำเพาะนี้มักใช้กับกรณีที่สสารนั้นเป็นแก๊ส หน่วยของปริมาตรจำเพาะคือ m^3/kg ปริมาตรจำเพาะนี้เป็นส่วนกลับของความหนาแน่น ดังนั้น ปริมาตรจำเพาะ กับความหนาแน่นจึงมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\upsilon = 1/\rho$$

2.1.1.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity' s)

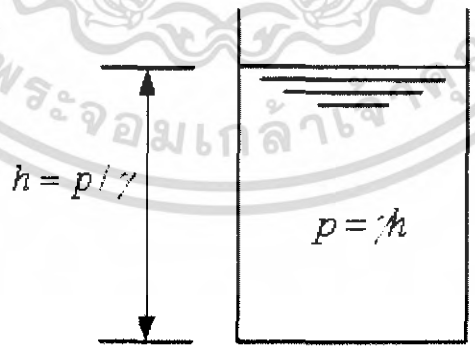
เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารกับความหนาแน่นมาตรฐาน ความหนาแน่นมาตรฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของของแข็งและของเหลวคือ ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่ $4^{\circ}C$ ภายใต้ความดัน 1atm. ซึ่งเท่ากับ 1,000 kg/m^3 เนื่องจากความถ่วงจำเพาะนี้เป็นอัตราส่วนของหน่วยสองหน่วยที่เหมือน ๆ กัน ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะจึงเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ และเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลนั้นแปรค่าตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ชัดว่าเป็นความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิใด

2.1.2 ของไหลสถิต (Fluid Static)

ของไหลที่อยู่นิ่งกับที่จะไม่มีความเค้นเฉือน จะมีก็แต่แรงในแนวตั้งฉากที่เกิดจากความดันเท่านั้น ถ้า F เป็นแรงที่กระทำในพื้นที่ A ส่วน dF เป็นแรงที่กระทำบน dA ซึ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ จะได้

$$P = dF/dA \qquad (N/m^2)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความสูงของของเหลว



ภาพที่ 2.1 ความสำพันธ์ระหว่างความดันและความสูงของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.1 เป็นถังที่บรรจุด้วยของเหลวที่ไม่มีความดันอยู่ที่ผิวเลย แม้ว่าสถาพจริงนั้นจะมีความดันไอของของเหลวที่ผิวด้วยก็ตาม โดยจะตัดเรื่องความดันไอออกเสียก่อน จะสามารหาความดันที่ระดับความสูง h ตามสมการ $p = \gamma h$ ถ้า γ เป็นค่าคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่าง p และ h ก็จะเป็นค่าที่แน่นอน นั้นคือความดันเป็นสัดส่วนกับความสูงของของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะเป็น γ ในการบอกความดันนั้นนิยมบอกเป็นระดับความสูงของแท่งของไหลมากกว่าบอกเป็นแรงต่อพื้นที่

แต่สำหรับกรณีที่ผิวของของเหลวมีความดันอยู่ด้วยก็ให้เปลี่ยนความดันนั้น เป็นความสูงของของเหลวนั้น แล้วบวกความสูงเข้ากับค่า h เพื่อหาความดันรวม

วิธีการที่ผ่านมานั้นสำหรับใช้กับของเหลวแต่ก็สามารถนำไปใช้กับแก๊สหรือไอได้ด้วยถ้าได้บ่งบอกไว้ว่าน้ำหนักจำเพาะของแก๊สหรือไอนั้นเป็นค่าคงที่ ดังนั้นก็จะสามารถแสดงขนาดของความดันด้วยความสูงของของไหลใด ๆ ได้ด้วยความสัมพันธ์

$$h = P / \gamma$$

เมื่อ

h = ความสูง m

p = ความดัน N/m^2

γ = ค่าน้ำหนักจำเพาะ N/m^3

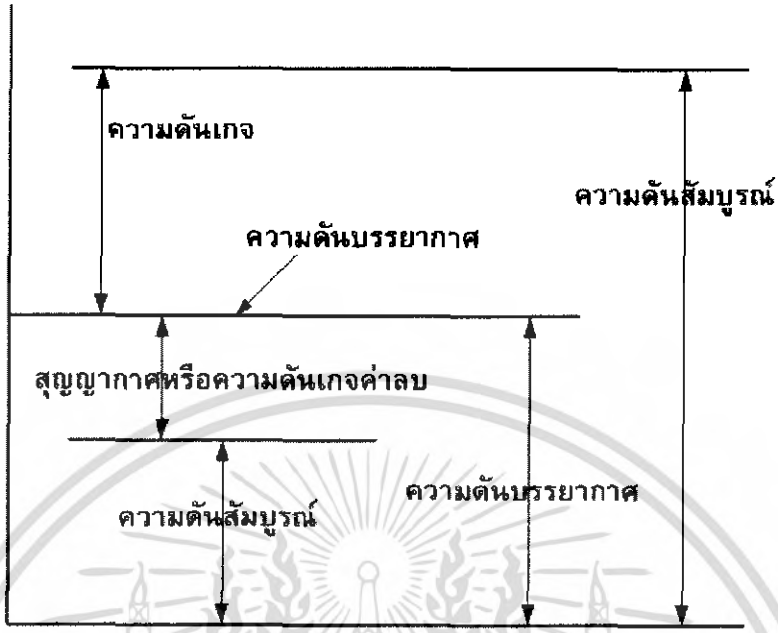
ความสัมพันธ์นี้เป็นจริงสำหรับหน่วยในระบบใด ๆ ที่มีความสอดคล้องกัน เช่นถ้า P เป็น N/m^2 แล้ว γ ก็จะต้องเป็น N/m^3 และ h ก็ต้องเป็นเมตร จะเรียกความดันที่บอกระดับความสูงของของไหลว่า เฮดความดัน (Pressure head) เนื่องจากปกติจะบอกความดันเป็น N/m^2 และมักจะใช้น้ำหนักจำเพาะของน้ำเป็น 9,810 N/m^3 ดังนั้นก็จะได้ความสำพันธ์ง่าย ๆ ว่า

$$h\,(\text{เมตรของน้ำ}) = \frac{N/m^2}{9{,}810} = \frac{1}{9{,}810} \times Pa$$

ในบางครั้งจะบอกความดันที่เกิดขึ้นในของไหลชนิดหนึ่งให้เป็นความสูงของของไหลอีกชนิดหนึ่ง เช่น บอกความดันของบรรยากาศ (Barometric pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ (Absolute and Gage Pressure)



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันแบบต่าง ๆ

ความดันสัมบูรณ์จะเป็นความดันที่วัดเปรียบเทียบความดันศูนย์สัมบูรณ์นั้นมีชื่อเรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ แต่ถ้าวัดโดยเปรียบเทียบกับความดันของบรรยากาศก็จะเรียกว่า ความดันเกจ ทั้งนี้เนื่องจากเกจวัดความดันทุกอันจะชี้ค่าที่ศูนย์เมื่อเปิดเกจสู่บรรยากาศ ดังนั้นความดันเกจจึงเป็นความดันแตกต่างระหว่างความดันของของไหลที่เกจนั้นวัดอยู่กับความดันของอากาศที่อยู่รอบ ๆ

สำหรับความดันที่มีค่าต่ำกว่าความดันของบรรยากาศนั้นมีชื่อเรียกว่าความดันสุญญากาศ (Vacuum) ความดันที่อ่านได้จากเกจนี้เป็นขนาดความดันต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ และที่เรียกว่า high vacuum นั้นก็คือความดันสัมบูรณ์ที่ต่ำมาก ๆ นั่นเอง ส่วนสุญญากาศสัมบูรณ์ (perfect vacuum) ก็คือความดันสัมบูรณ์ (absolute zero pressure)

ค่าทุกค่าของความดันสัมบูรณ์นั้นจะต้องมีค่าเป็นบวก ถ้าเป็นลบแล้วก็จะหมายถึงแรงดึง ซึ่งปกติแล้วจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เลย ถ้าความดันนั้นเป็นความดันที่อยู่เหนือความดันของบรรยากาศ ความดันเกจนั้นก็จะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเป็นความดันที่ต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ความตันเกจนั้นก็จะมีค่าเป็นลบ หรือเรียกว่าความดันสุญญากาศ ดังภาพที่ 2.1

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเกจและความดันสัมบูรณ์ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

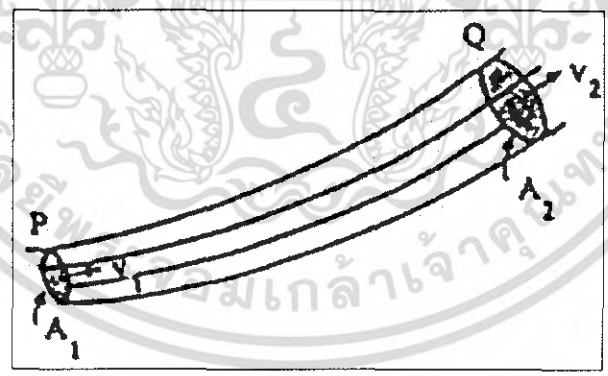
เมื่อ P_{abs} คือ ความดันสัมบูรณ์

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ

P_{gauge} คือ ความดันเกจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

2.1.4 สมการการไหลไม่ต่อเนื่อง (Equation of Continuity)

ตามภาพ เป็นท่อที่เกิดจากการล้อมรอบของเส้นสตรีมไลน์(เส้นสายธาร)กลุ่มหนึ่ง คือเส้นที่ลากสัมพัสกับทิศทางของการไหลในขณะใดขณะหนึ่งเนื่องจากเส้นสายธารสัมผัสกับความเร็วของการไหลที่ทุก ๆ จุดในสนามการไหลหนึ่ง ๆ ดั้งนั้น จึงไม่มีการไหลข้ามเส้นสายธารนี้ เราเรียกท่อดังกล่าวนี้ว่า stream tube พิจารณาการไหลในรูปที่ 4 ให้อนุภาคที่ตำแหน่ง PและQ มีความเร็ว V_1 และ V_2 ตามลำดับ ให้ A_1 และ A_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับสายกระแสของของไหลที่ตำแหน่ง PและQ โดยหลักการแล้วในของไหลที่กำลังเคลื่อนที่เราสามารถลากเส้นสายธารได้จำนวนมากมาย ในกรณีของการไหลแบบคงตัวเราจะเลือกเส้นสายธารจำนวนหนึ่ง หรือมัดหนึ่งซึ่งประกอบกันเป็นท่อหรือหลอด จะเรียกบริเวณที่ประกอบเป็นท่อนี้ว่า หลอดของการไหล (tube of flow) โดยมีขอบเขตของหลอดประกอบด้วยสายธาร เพราะความเร็วของอนุภาคของของไหลทุกจุดขนานกับเส้นสายธารเสมอดังนั้น ของไหลจะไม่มีการไหลข้ามขอบเขตของหลอดของไหลได้ เราจึงอาจคิดได้ว่าหลอดของการไหลเปรียบเทียบได้เหมือนท่อ ซึ่งของเหลวเมื่อไหลเข้าทางปลายหนึ่งจะต้องไหลออกทางอีกปลายหนึ่งเสมอ



ภาพที่ 2.3 หลอดของการไหล

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 เปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่าคงที่ ดังนั้นเมื่อ $\Delta t \to 0$ จะได้ฟลั๊กมวล (Mass Flux) ที่ P เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 V_1 \ , \ \frac{dm_2}{dt} = \rho_2 A_2 V_2 \ , \ \frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt} \ , \ \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

ถ้าเป็น Steady flow และของไหลนั้นอัดตัวไม่ได้ซึ่งมีค่า ρ คงที่นั้นสมการลดรูปเป็น

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

อัตราการไหล(Rate of flow) $= AV$

2.1.5 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหล

ถ้าหากพิจารณาพลังงานของก้อนของไหลที่ได้จากการไหลแบบ Steady flow

2.1.5.1 พลังงานจลน์ของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ (Kinetic Energy)

วัตถุที่มีมวล m และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V จะมีพลังงานจลน์เป็น $K.E. = (1/2)mv^2$ หรือเท่ากับ $V^2/2$ เมื่อเป็นพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวลนั้นมีน้ำหนักเป็น g หน่วย ดังนั้น พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก $= V^2/2g$

การไหลของของไหลจริงนั้นความเร็วของอนุภาคต่างๆ มักแตกต่างดังนั้นถ้าหากต้องการหาพลังงานจลน์รวมก็ต้องอินทิเกรตพลังงานจลน์จากทุก ๆ ส่วนของลำน้ำนั้น

2.1.5.2 พลังงานศักย์ (Potential Energy)

พลังงานศักย์ของอนุภาคของของไหลใด ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของอนุภาคนั้นๆ ที่วัดจากระนาบที่กำหนดขึ้น (Datum plane) โดยปกติแล้วเราจะสนใจแต่เพียงค่าความแตกต่างของระดับพลังงานเท่านั้น ดังนั้นระนาบที่กำหนดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับความสะดวกของการใช้งาน

ถ้า W คือ น้ำหนักของอนุภาคของของไหล

Z คือ ความสูงของอนุภาคของของไหลที่วัดจากระนาบที่กำหนดให้กรณีนี้พลังงานศักย์เป็น

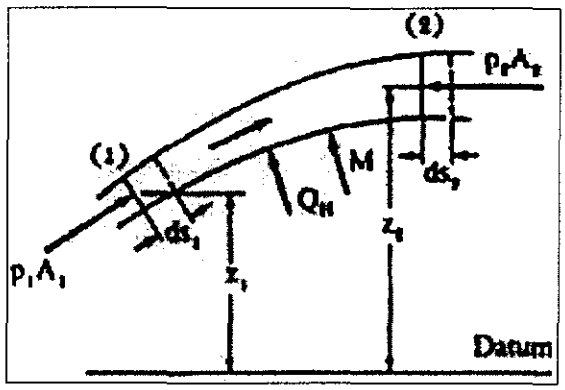
$$P.E. = W$$

ฉะนั้น พลังงานศักย์ของของไหลต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักก็จะมีค่าเท่ากับ Z

2.1.6 สมการพลังงานสำหรับการไหลแบบ STEADY FLOW ของของไหลที่อัดตัวไม่ได้

ตามภาพ เป็นลำของของไหลที่สำหรับใช้กับกฎข้อที่1ของเทอร์โมไดนามิกส์ในการหาสมการดังกล่าว กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์มีใจความว่างานจากแรงภายนอกที่กระทำกับระบบใดๆจะต้องเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของระบบนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 ของไหลระบบควบคุมปริมาตร

ในทางปฏิบัติถือว่าของเหลวและไอต่างๆที่ความดันเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนั้นเป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้ ดังนั้น

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

สำหรับการไหลแบบเทอร์บิวเลนท์นั้นตัวแก้ α จะมีค่ามากกว่า 1 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เพื่อความสะดวกก็จะตัดค่า α นี้ทิ้งไป จึงทำให้สมการที่ว่าด้วยถ้าหากให้งานจากแรงภายนอกที่กระทำกับของไหลและการถ่ายเทของพลังงานความร้อนนี้เท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลแล้วเหลือเพียง

$$\left[\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1\right]+M+q=\left[\frac{P_2}{\gamma}++\frac{V_2^2}{2g}+Z_2\right]+\left(I_2-I_1\right)$$

ความเสียดทานของของไหลนี้จะทำให้เกิดการไหลวน (eddy) และไหลแบบเทอร์บิวเลนท์ขึ้น โดยปกติแล้วพลังงานที่ทำให้เกิดจากการไหลดังกล่าวนี้จะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อน และถ้าหากไม่มีการถ่ายเทความร้อนแล้ว ผลกระทบจากการเสียดทานก็จะทำให้ของไหลมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นดังนั้น ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียจากความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวก็จะมีค่าเป็น I_2 ก็จะมากกว่า I_1

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีขนาดต่าง ๆ กัน และจะมีทิศทางอย่างไรก็ได้ นั่นก็คือจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ พลังงานต่าง ๆ นั้นไม่ว่าจะเป็นรูปใดก็ตามต่างก็สามารถที่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนได้ พลังงานที่เกิดจากความเสียดทานก็เช่นเดียวกันสามารถที่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนได้ ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียจากความเสียดทานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวก็จะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ c_v คือค่าความร้อนจำเพาะของของไหล

ในกรณีไม่มีเครื่องจักรทำงานอยู่ระหว่างหน้าตัด (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

สำหรับของของไหลจริง ๆ นั้นจะต้องมี h_L เกิดขึ้นด้วยเสมอ บางครั้ง h_L นี้จะมีค่ามาก และในบางครั้งก็จะมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้นั้นสมการพลังงานจะมีรูปเป็น

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \text{ หรือเขียนได้ว่า } \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z = \text{ค่าคงที่}$$

สองสมการสุดท้ายนี้เรียกว่า สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) จะเห็นได้ว่าสมการเบอร์นูลลีนี้ใช้เฉพาะกับกรณีที่เป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ และเป็นของไหลที่ไม่มีความเสียดทานเท่านั้น

2.1.7 เฮด (Head)

ถ้าพิจารณาเทอมต่าง ๆ ในสมการที่ผ่านมาจะเห็นว่า เทอมแต่ละเทอมนั้นมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกว่า p/γ ว่า เฮดความดัน (Pressure Head) ซึ่งเป็นความสูงของของเหลวที่เทียบเท่าความดัน p ของของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะเป็น γ และเรียก Z ว่า เฮดของระดับความดันสูง (Elevation Head) และเรียก $V^2/2g$ ว่าเฮดความเร็ว (Velocity Head) จะเห็นได้ว่า h_L จะต้องมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวด้วย เราเรียก h_L นี้ว่า เฮดจากความเสียดทาน (Friction Head) หรือ เฮดที่สูญเสียไป (Loss Head หรือ Head Loss) และเรียกผลบวกของเฮดทั้งสามนี้ว่าเฮดรวม (Total Head) และใช้ H เป็นสัญลักษณ์ของเฮดรวมนี้ นั่นคือ

$$H = (P/\gamma) + (V^2/2g) + Z$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าเทอมต่าง ๆ ในสมการนี้จะมีหน่วยเป็นเมตรก็ตาม แต่ความเป็นจริงแล้วมันหมายถึงพลังงาน Nm ต่อ น้ำหนัก N ของของไหล ในกรณีที่เป็นของไหลที่ไม่มีความเสียดทานและอัดตัวไม่ได้นั้น H_1 จะเท่ากับ H_2 แต่ถ้าเป็นของไหลจริง (Real Fluid) แล้ว

$$H_1 = H_2 + h_L$$

ในกรณีที่เป็นของไหลจริงนั้นก็จะเห็นได้ว่า ถ้าหากไม่มีเฮดของพลังงาน (Energy Head) M จากเครื่องจักร ที่อยู่ในระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) มาเพิ่มให้แก่ของไหลแล้วเฮดรวมของของไหลก็จะลดน้อยลงตามทิศทางของการไหลดังนั้น

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

h_p คือ เฮดของพลังงานที่เครื่องสูบน้ำให้แก่ของไหล แต่ถ้าหากมีกังหันอยู่ในระหว่างหน้าตัด (1) และ (2) แล้ว

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

เมื่อ h_t คือ เฮดของพลังงานที่ของไหลให้แก่กังหัน

2.1.8 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

เป็นความสัมพันธ์เบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล ซึ่งจะหาได้โดยง่ายจากทฤษฎีการอนุรักษ์ของพลังงานเมื่อพิจารณาของไหลที่ไม่มีความหนืด อัดตัวไม่ได้และไหลแบบคงตัวผ่านท่อหรือหลอดของการไหล ดังภาพ ท่อทางซ้ายมีพื้นที่หน้าตัด A_1 และทางขวา A_2 ด้วยระยะทาง y_1 และ y_2 วัดจากระดับอ้างอิงตามลำดับการเปลี่ยนขนาดและระดับความสูงของท่อถือว่าค่อยเป็นค่อยไป เพื่อคงสภาพการไหลแบบคงตัวของไหลทางด้านพื้นที่หน้าตัด A_1 มีความเร็ว v_1 ความดัน p_1 ส่วนของไหลทางด้านพื้นที่หน้าตัด A_2 มีความเร็ว v_2 ความดัน p_2 ตามลำดับในการหาสมการของเบอร์นูลลีนั้น เราจะใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานกับของไหลในภาคตัดของหลอดการไหล เริ่มต้นของไหลอยู่ระหว่างภาคตัดขวางสองอัน a กับ c ดังภาพ ในช่วงเวลา Δt ท่อนของไหลเคลื่อนที่ไปโดยมีปลายล่างเคลื่อนที่ไป Δs_1 และปลายบนเคลื่อนที่ไป Δs_2 จากสมการของความต่อเนื่องจะได้ว่า $\Delta_V = A_1\Delta s_1 = A_2\Delta s_2$ โดยมีแรงกระทำบนภาคตัดขวางที่ a เท่ากับ p_1A_1 และที่ c เท่ากับ p_2A_2 เพราะฉะนั้นงานสุทธิที่ทำบนท่อนของไหลนี้ในระหว่างระยะกระจัดดังกล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 = (p_1 - p_2)\Delta_V$$

เทอมที่สองติดลบเพราะแรงที่จุด C ตรงกันข้ามกับระยะกระจัดปริมาตรของของไหล $\Delta_V = A_1 \Delta v_1$ มีมวล $\Delta m = \rho \Delta_V$ ไหลผ่านภาคตัด a เข้าไปในหลอดในช่วงเวลา Δt มีพลังงานจลน์เริ่มต้น $\frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \rho \Delta_V v_1^2$ ในขณะที่มวลเท่ากันนี้ก็ไหลผ่านภาคตัดขวาง c ออกไปในเวลาเดียวกัน โดยมีพลังงานจลน์สุดท้าย $= \frac{1}{2} \rho \Delta_V v_2^2$ เพราะฉะนั้นพลังงานจลน์ที่เปลี่ยนแปลงไป

คือ $$\Delta E_k = (1/2)\rho \Delta_V \left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

พลังงานศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปก็คิดในทำนองเดียวกันกับความเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ โดยให้ภาคตัด a มีพลังงานศักย์เริ่มต้น $\Delta m g y_1 = \rho \Delta_V g y_1$ และภาคตัดขวาง c มีพลังงานศักย์สุดท้าย $= \Delta m g y_2 = \rho \Delta_V g y_2$

เพราะฉะนั้น

$$\Delta E_p = \rho \Delta_V g (y_2 - y_1)$$

จากกฎของการอนุรักษ์พลังงาน

$$W = \Delta E_k + \Delta E_p$$

จะได้ $$(p_1 - p_2)\Delta_V = (1/2)\rho \Delta \left(v_2^2 - v_1^2\right) + \rho \Delta_V g (y_2 - y_1)$$

หรือ $$p_1 - p_2 = (1/2)\rho \left(v_2^2 - v_1^2\right) + \rho g (y_2 - y_1)$$

จัดรูปใหม่ได้ว่า $$p_1 + \rho g y_1 + (1/2)\rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + (1/2)\rho v_2^2$$

หากเอาความหนาแน่น ρ และค่าความเร่งโน้มถ่วง g หารตลอด $(\rho g = \gamma)$

จะได้ว่า $$(P_1/\gamma) + y_1 + (1/2g)v_1^2 = (P_2/\gamma) + y_2 + (1/2g)v_2^2$$

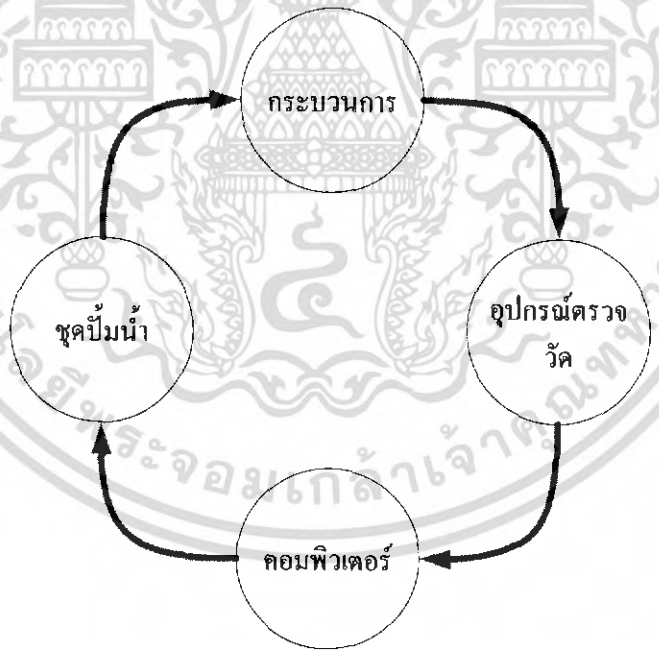
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รายละเอียดอุปกรณ์และส่วนประกอบของกระบวนการ

จากกระบวนการควบคุมดับน้ำ 4 ถังจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิดประกอบเข้าด้วยกัน โดยจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ด้วยกัน คือ

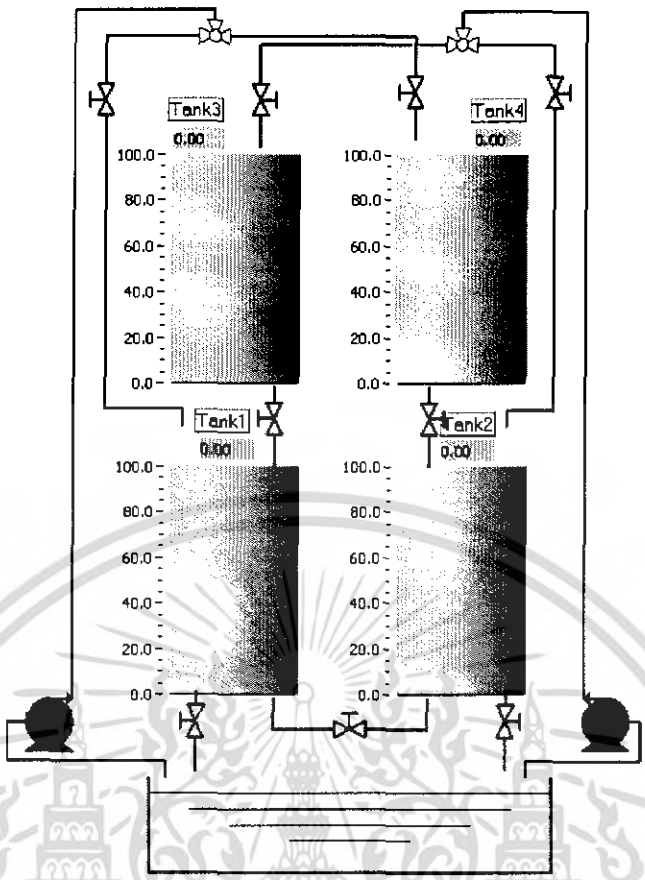
1. กระบวนการถังน้ำ 4 ถัง
2. อุปกรณ์ตรวจวัด
3. คอมพิวเตอร์
4. ชุดปั๊มน้ำ

ลักษณะของกระบวนการจะเป็นไปตาม Diagram ของกระบวนการ คือจะเริ่มจากว่าต้องการให้กระบวนการมีระดับน้ำที่เท่าใดอุปกรณ์ตรวจวัดก็จะทำการตรวจวัดแล้วส่งค่าให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวณผลแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมชุดปั๊มน้ำเพื่อทำการปั๊มน้ำเข้าสู่กระบวนการในลักษณะการวนลูปดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 Diagram ของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

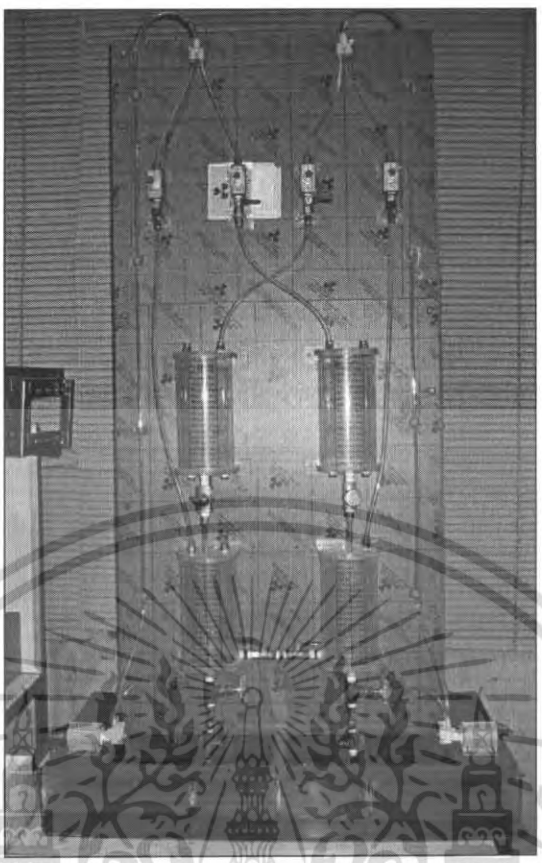


ภาพที่ 2.6 ภาพจำลองของกระบวนการ

2.3 กระบวนการและส่วนประกอบของกระบวนการของถังน้ำ 4 ถัง

กระบวนการการควบคุมระดับ 4 ถัง จะประกอบด้วย ถังน้ำทั้งหมด 4 ถัง โดยแต่ละถังจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 10 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.4 เซนติเมตร สูง 17 เซนติเมตร และจะมีวาล์วสำหรับปรับขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูน้ำทางด้านน้ำออก และวาล์วสำหรับเปิดปิด น้ำจะถูกปั๊มขึ้นจากที่พักน้ำที่มีขนาดความจุ 40 * 80 * 10 เซนติเมตร โดยปั๊มน้ำตัวที่ 1 จะปั๊มน้ำให้กับถังน้ำใบที่ 1 ที่อยู่ทางด้านซ้ายล่าง กับถังใบที่ 4 ที่อยู่ทางด้านบนขวา สำหรับปั๊มตัวที่ 2 จะปั๊มน้ำให้กับถังใบที่ 2 ที่อยู่ทางด้านขวาล่าง กับถังใบที่ 3 ที่อยู่ทางด้านซ้ายบน การปั๊มน้ำเข้าจะปั๊มผ่านสายยางที่มีขนาด ของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8 มิลลิเมตร ผ่านวาล์วเพื่อทำการแยกการไหลของน้ำไปยังถังแต่ละใบ แสดงดังภาพที่ 2.7

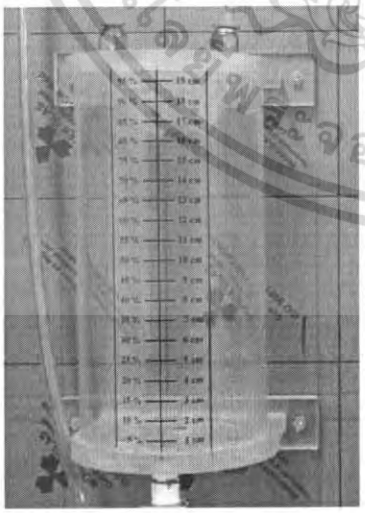
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 กระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง

ส่วนประกอบของกระบวนการจะประกอบด้วย

2.3.1 ถังน้ำ (Tank)



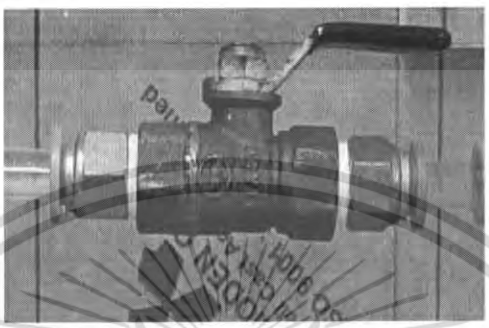
ภาพที่ 2.8 ถังบรรจุน้ำ

ถังน้ำโปร่งใสมีฝาปิดประกบบนล่าง เจาะรู เพื่อให้เป็นกระบวนการแบบถังเปิด หรือใช้จุกอัดเพื่อเป็นกระบวนการแบบถังปิดก็ได้ เป็นภาชนะสำหรับใส่น้ำเพื่อควบคุมระดับของน้ำภายในถัง ถังจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 10 เซนติเมตร จำนวน 3 ถัง และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.4 เซนติเมตร จำนวน 1 ถัง โดยทั้ง 4 ถังจะมีความสูง 17 เซนติเมตร ลักษณะการเรียงถังจะเป็นไปตามภาพที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วาล์วเปิด/ปิด (Valve On – Off flow)

สำหรับปรับเปลี่ยนรูปแบบของกระบวนการจำลองให้เป็นไปตามต้องการโดยการเปิดปิดควบคุมทิศทางการไหล เข้า-ออกของน้ำที่ไหลเข้ากระบวนการ ภายในกระบวนการจะมีทั้งหมด 6 ตัวด้วยกัน คืออยู่ที่ทางระบายน้ำออกของแต่ละถัง และอยู่ตรงบริเวณที่ถังใบที่ 1 และใบที่ 2 มีการ Interacting กัน



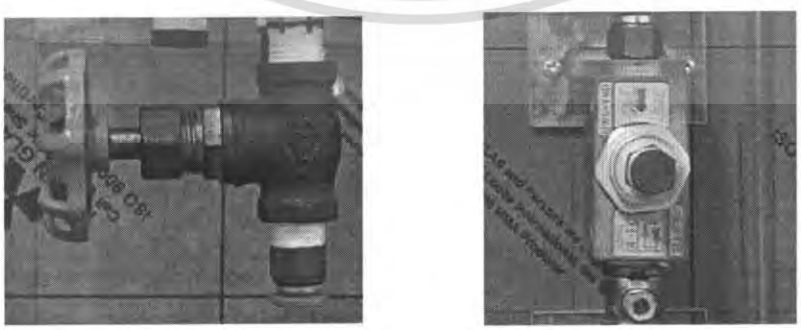
ภาพที่ 2.9 วาล์วสำหรับ เปิด/ปิด

2.3.3 วาล์วปรับค่าพารามิเตอร์ (Valve Turn Parameter)

ใช้เปิดปิดควบคุมการไหล เช่นเดียวกัน แต่อยู่ในลักษณะปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการโดยการเปิดปิดพื้นที่การไหลของท่อน้ำ เข้าและออกจากกระบวนการซึ่งวาล์วชนิดนี้สามารถปรับจำนวนรอบได้มากพอสมควรจึงนำมาเป็นวาล์วปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการโดยวิธีการหาค่าของพื้นที่ของการไหลโดยประมาณ

2.3.3.1 ลักษณะของวาล์วจะแบบปรับละเอียด

ลักษณะของวาล์วจะมีความละเอียดกว่า โดยต้องทำการหมุนหลายรอบจึงจะสามารถเปิดวาล์วได้สุดภายในกระบวนการจะมีวาล์วชนิดนี้จำนวน 8 ตัว คือ ที่บริเวณทางน้ำออกของถังใบที่ 1 และถังใบที่ 2 และที่บริเวณทางน้ำเข้าของถังทั้ง 4 ใบ และทางออกของน้ำใบที่ 3 และ 4

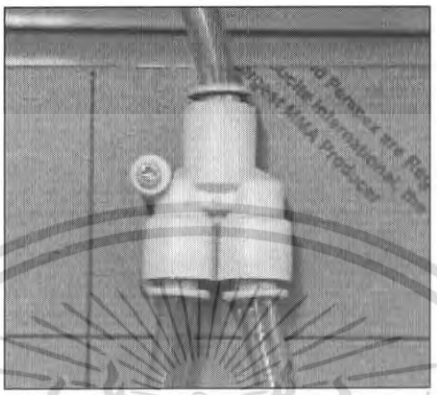


ภาพที่ 2.10 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ฟิตติ้งรูปตัว Y

ทำหน้าที่แบ่งปริมาณน้ำทางด้านเข้าที่ออกจากปั๊มน้ำตัวที่ 1 ไปยังถังน้ำใบที่ 1 กับใบที่ 4 และจากปั๊มน้ำตัวที่ 2 ไปยังถังน้ำใบที่ 2 กับใบที่ 3 โดยจะมีลักษณะการแบ่งคือ เข้า 1 ทางและออก 2 ทาง



ภาพที่ 2.11 ฟิตติ้งรูปตัว Y

2.3.5 ถังพักน้ำ

ทำหน้าที่พักน้ำเพื่อจ่ายน้ำให้กับถังน้ำทั้ง 4 ถัง มีขนาดความจุ 40 * 80 * 10 เซนติเมตร โดยจะทำการปั๊มน้ำจ่ายให้กับกระบวนการและยังเป็นที่สำหรับรองรับน้ำที่จะล้นออกจากกระบวนการ

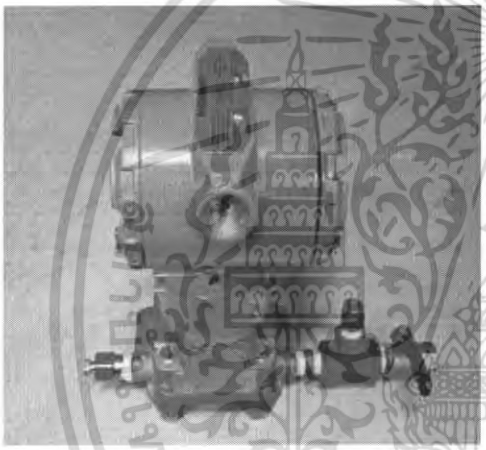
ภาพที่ 2.12 ที่พักน้ำ

62480
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์ตรวจวัด

2.4.1 ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดันแตกต่าง (D/P Transmitter)

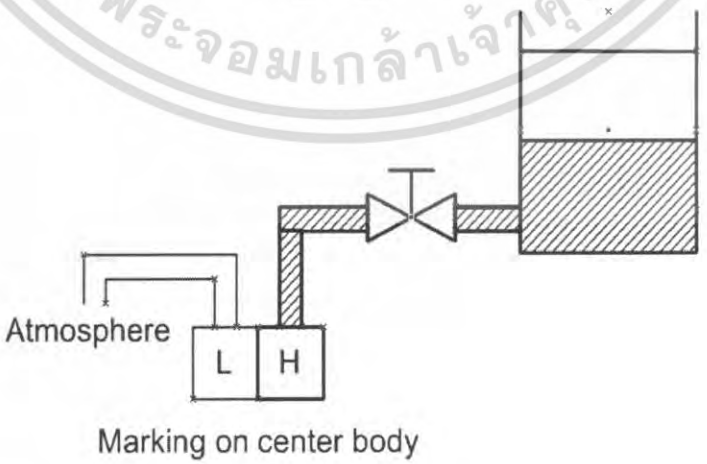
เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งสำหรับวัดระดับของเหลวในรูปแบบการวัดความดันแตกต่าง โดยแปลงระดับของเหลวที่วัดได้ส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณ Analog Output 4-20 mADC กลับไปให้ Current Loop Supply ที่ Input ขา 1, 6 ของ Current Loop Supply ด้วยสายไฟฟ้า 2 เส้นที่เป็นสายไฟเลี้ยง 24 VDC ที่รับมาจาก Current Loop Supply ด้วยเช่นเดียวกัน โดยที่ Output ของ Current loop Supply ขา 3, 4 จะต่อตัวต้านทาน(Resistor) 250 Ω ไว้เพื่อแปลงกระแส 4-20 mA ที่ปรับมาจาก D/P Transmitter ให้เป็นเอาท์พุทในรูปของแรงดัน 1-5 VDC เพื่อเป็นสัญญาณอินพุทส่งให้ตัวบันทึกสัญญาณ(Recorder) หรือตัวควบคุม(Controller) อื่นๆต่อไป



รายละเอียดของอุปกรณ์

- ยี่ห้อ ROSE MOUNT
- Supply 10.5 – 55 VDC
- Output 4 – 20 mADC
- Maximum Working Pressure 3626 PSI/250 BAR

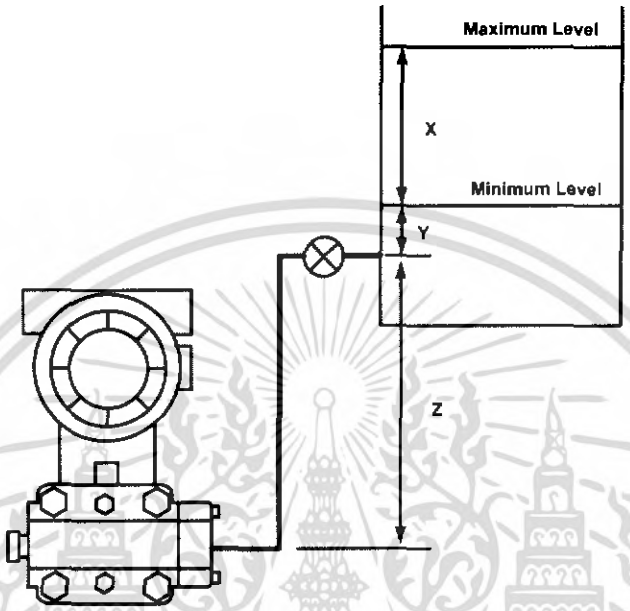
ภาพที่ 2.13 D/P Transmitter



ภาพที่ 2.14 แสดงการติดตั้ง D/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.14 เป็นการใช้ D/P Transmitter วัดระดับของเหลวในถังโดยจะติดตั้ง D/P Transmitter ไว้ใต้ระดับของถังแล้วต่อทางด้าน High ของ D/P Transmitter กับก้นถังน้ำและทางด้าน Low ของ D/P Transmitter จะเปิดปล่อยว่างไว้กับบรรยากาศภายนอก(Atmosphere)เป็นลักษณะการวัดแบบถังเปิด



ภาพที่ 2.15 ช่วงความดันแตกต่างของถังน้ำ

การคำนวณเพื่อใช้ในการติดตั้ง

$$\text{Span} = \text{x}\,G_L$$

$$\text{Zero Suppression} = \text{y}\,G_L + \text{z}\,G_s$$

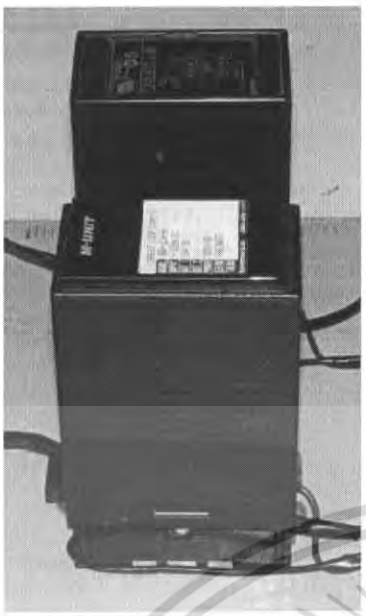
G_L คือ ความถ่วงจำเพาะของของเหลวในถังน้ำ

G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของของเหลวในการต่อสาย

2.4.2 CURRENT LOOP SUPPLY

ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน 24 VDC ให้กับ D/P Transmitter และทำหน้าที่คอยรับสัญญาณจากกระแส 4 – 20 mAdc จาก D/P Transmitter แล้วจากนั้นจะแปลงจากสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน 1 - 5 Vdc จ่ายให้กับตัวควบคุมต่อไป ในการทดลองนี้จะใช้จำนวนทั้งหมด 2 ตัว เพื่อทำการวัดระดับของถังน้ำที่ 1 และ ใบที่ 2 แล้วส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวณผลต่อไป

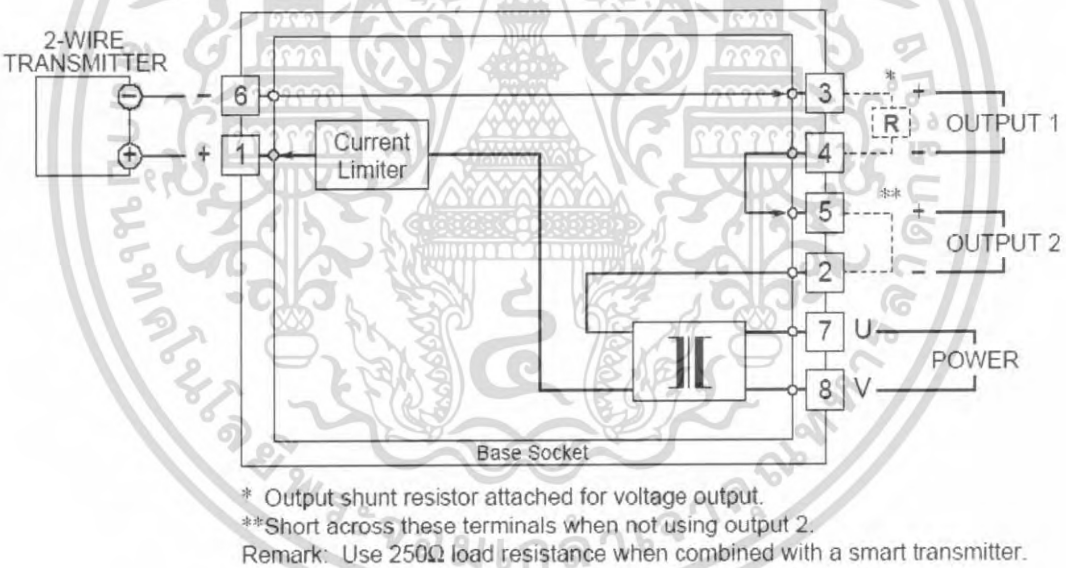
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียดของอุปกรณ์

Model	DS – 24 – H
Input	4 – 20 mA DC
Output	24 V DC
POWER	220 V AC

ภาพที่ 2.16 CURRENT LOOP SUPPLY



ภาพที่ 2.17 วงจรการต่อใช้งาน CURRENT LOOP SUPPY

2.5 คอมพิวเตอร์

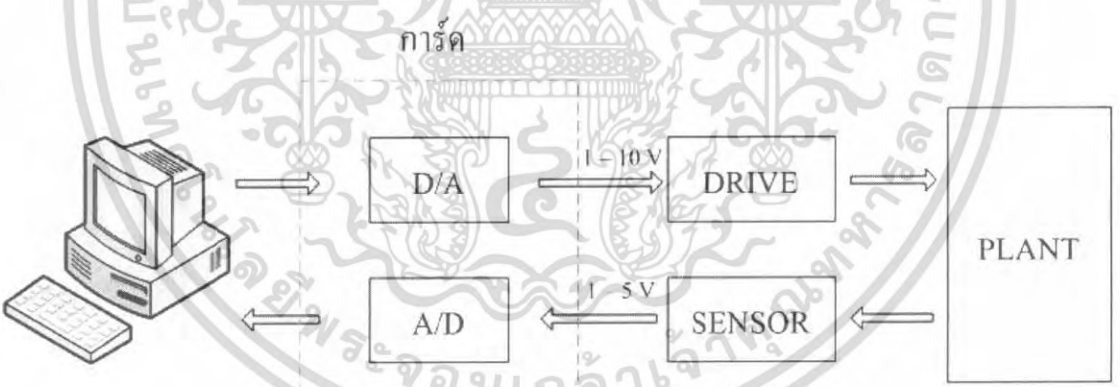
จะเป็นส่วนที่ใช้ในการประมวลผลและทำการควบคุมกระบวนการ โดยจะทำการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการทดลองกระบวนการ ซึ่งลักษณะของโปรแกรมที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าต้องการเช่นใด โดยจะมีรายละเอียดในเรื่องของการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.18 คอมพิวเตอร์ใช้งาน

2.5.1 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

เป็นการ์ดรุ่น PCL-1711 ของบริษัท Advantech การ์ดนี้จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ให้กับชุดขับปั๊มน้ำ โดยรูปของการ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A แสดงได้ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 รูปจำลองการควบคุม

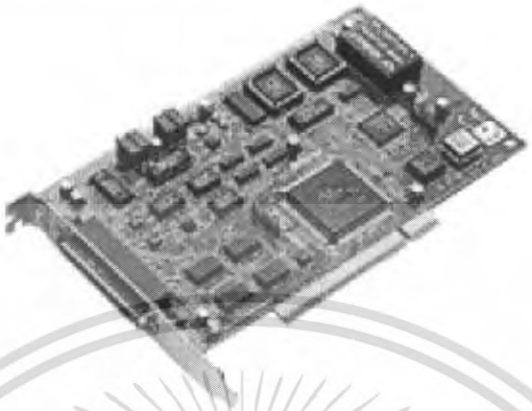
การ์ดจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

ส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D)

- ส่วนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนดิจิตอลอินพุต (D Input)
- ส่วนดิจิตอลเอาท์พุต (D Output)



ภาพที่ 2.20 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

Specifications:

Analog Input

Channels:	16 single-ended
Resolution:	12-bit
Conversion Time:	10 µs
Input Range:	±10 V, ±5 V, ±2.5 V, ±1.25 V, 0.625 V
Maximum Input Over Voltage:	±15 V

Analog Output

Channel:	2
Resolution:	12-bit

Digital Input

Channel	16
Input voltage	Low: 0.8 V max.
	High: 2.0 V min.

Digital Output

Channel	16
Output voltage	Low: 0.8 V max @ 8.0 mA (sink)
	High: 2.0 V min @ -0.4 mA (source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 ส่วนแปลงสัญญาณ A/D

ส่วนแปลงสัญญาณ A/D นี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแรงดันจากD/P Transmitter และแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล เพื่อส่งให้กับคอมพิวเตอร์หรือตัวควบคุมต่อไป โดยส่วนแปลงสัญญาณ A/D นี้จะมีจำนวนช่องในการรับสัญญาณถึง 16 ช่อง, มีความละเอียดสูงถึง 12 บิท, มีความเที่ยงตรงสูงถึง ± 0.01 % หรือ ± 1บิท, มีความเป็นเชิงเส้นมากถึง ± 1 บิท, และมีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูงสุดถึง 100 KH_z นอกจากนั้นยังสามารถเลือกช่วงของสัญญาณอินพุตที่จะรับเข้ามาได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับการเลือกที่สวิทช์หรือเลือกทางซอฟต์แวร์

2.5.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณ D/A

ส่วนแปลงสัญญาณ D/A นี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์หรือตัวควบคุม และแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งให้กับชุดขับกระแสของปั๊มน้ำต่อไป โดยส่วนแปลงสัญญาณ D/A นี้จะมีจำนวนช่องในการส่งสัญญาณ 2 ช่อง, มีความละเอียดสูงถึง 12 บิท, มีความเป็นเชิงเส้นมากถึง ± 0.5 บิท และมีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูงถึง 5 μs นอกจากนั้นยังสามารถเลือกช่วงของสัญญาณเอาท์พุตที่จะส่งออกไปได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับการเลือกที่สวิทช์หรือเลือกทางซอฟต์แวร์

2.5.2 Terminal Board

ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างการ์ด PCI – 1711 ที่ติดตั้งที่คอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ทำงานเพื่อให้สามารถที่จะทำการสั่งงานอุปกรณ์เชื่อมต่อต่าง ๆ ได้

ภาพที่ 2.21 Terminal Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Low cost universal DIN – rail mounting screw terminal module for industrial application with 68 – Pin SCSI – II female connector
- Case dimension (W × L × H) : 77.5 × 191.2 × 51 mm (3.1" × 8.4" × 2.0 ")

2.6 ชุดปั๊มน้ำ

2.6.1 Pump

มีจำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่สูบน้ำจากถังพักน้ำเพื่อจ่ายน้ำเข้าเป็นอินพุทของกระบวนการโดยจะเป็นปั๊มที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V ที่จ่ายมาจากชุดขับ ซึ่งปั๊มน้ำที่ใช้นั้นจะเป็นของบริษัท API Instruments รุ่น P6 10.0006

ภาพที่ 2.22 ปั๊มน้ำ

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดของปั๊มน้ำ

Max Flow rate	2200 ml/min (Vdc)
Max. Suction	10 ft. H_2O wet, 4" dry
Max. Pressure	20 psig (46 ft. H_2O)
Port Size (OD)	4.8 mm (0.18") hose barb
Power Require (Vdc)	24 Vdc (up to 28 W)
Max Operating Temp	93^0C (200^0F)
Ambient Fluid Temp	0 to 93^0C (32 to 200^0F)

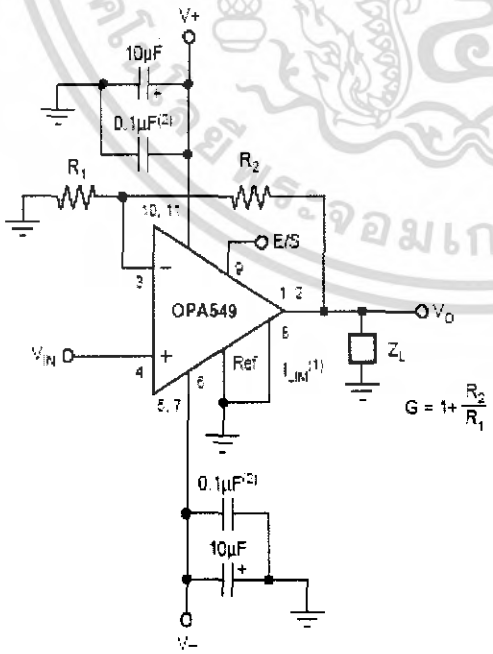
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulates	No
Run dry	No
Max. Viscosity	200 cps
Dimensions	88 × 81 × 92 mm (4 × 1.75 ×2.63)
Weight	1.4 kg (3 lb.)

2.6.2 วงจรออปแอมป์ (Operation Amplifier) ที่ใช้ขับมอเตอร์ (Drive Motor)

ออปแอมป์สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรแบบอินเวอร์ทติ้ง (Inverting),แบบนอนอิเวอร์ทติ้ง (Non-inverting) หรือดิฟเฟอเร็นเชียล แอมปลิฟลายเออร์ (Differential Amplifier) ได้โดยใช้การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่เสถียรและเพิ่มช่วงการใช้งาน (Bandwidth) ของวงจร จากคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ คือความต้านทานด้านอินพุตสูง ความต้านทานด้านเอาท์พุตต่ำ อัตราการขยายสูงและช่วงใช้งานกว้าง แต่ในการนำวงจรออปแอมป์ไปใช้งานจริงอาจจะได้ผลไม่ตรงกับคุณสมบัติทางอุดมคติ โดยอาจจะมีเอาท์พุตออฟเซทโวลเตท (Output Offset Voltage) คือความต่างศักย์ทางด้านเอาท์พุตเมื่ออินพุตทั้ง 2 ขา (บวกและลบ) ต่อลงกราวด์ ซึ่งเราสามารถใช้วงจรชดเชยเพื่อให้ออปแอมป์มีคุณสมบัติใกล้เคียงอุดมคติ

วงจรขับปั๊มน้ำจะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ ให้จ่ายน้ำมากหรือน้อยตามสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวควบคุม



เมื่อ

R1 = 10 k

R2 = 13 k

อัตราการขยายของวงจร

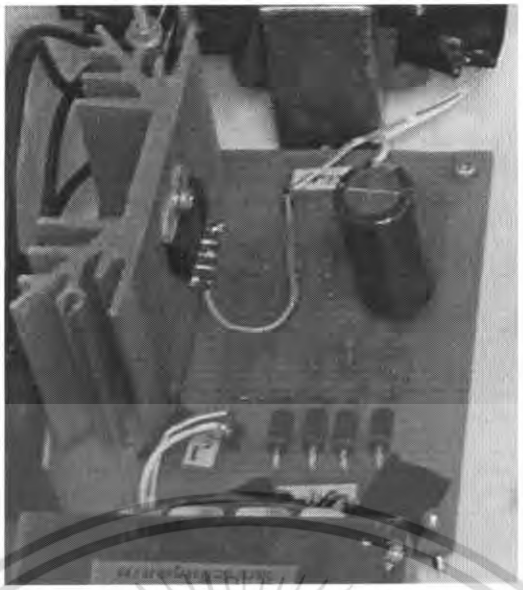
$$\frac{Vo}{Vin} = 1+\frac{R2}{R1}$$

$$= 1+\frac{13k}{10k}$$

$$= 2.4 \text{ เท่า}$$

ภาพที่ 2.23 วงจรขับปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.24 อุปกรณ์ขับปั๊มน้ำ

2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังนี้จะมีรายละเอียดที่คล้ายคลึงกันซึ่งในแบบจำลองที่ใช้ศึกษานี้จะเพิ่มวาล์ว β_i เข้าไปที่ด้านออกของแต่ละถัง ซึ่งจะทำให้สามารถปรับพื้นที่หน้าตัดของรูน้ำด้านนอกให้มีขนาดเท่าเดิมหรือเล็กลงจากเดิมได้ รูปแบบที่แสดงแทนกระบวนการแสดงได้ดังภาพที่ 2.19 โดยที่ α_i คือวาล์วที่ใช้ในการปรับสัดส่วนการไหลของน้ำที่เข้าสู่แต่ละถัง

A_i = พื้นที่หน้าตัดของถังน้ำ (cm^2) เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 ใบจึงให้แทนเป็น A (i = 1, 2, 3, 4)

h_i = ระดับความสูงของถังน้ำ (cm) (i = 1, 2, 3, 4)

a_i = พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำทางออกของถังทั้ง 4 ใบ (cm^2) (i = 1, 2, 3, 4)

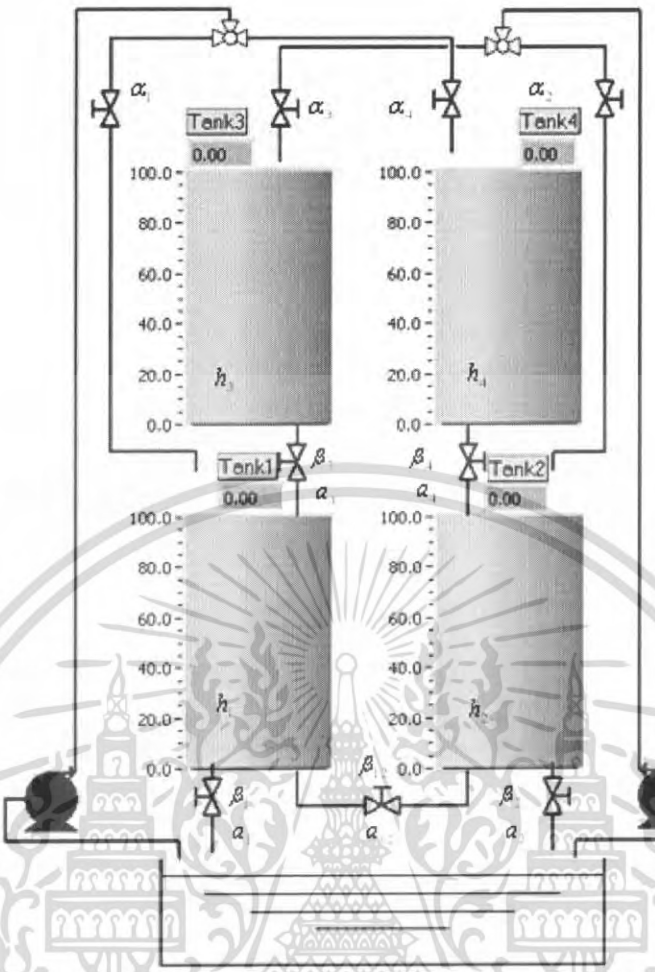
u_i = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Vdc) (i = 1, 2)

β_i = ค่าอัตราของการเปิดวาร์วระบายน้ำออกจากกระบวนการ (i = 1, 2, 3, 4)

k_i = ค่าอัตราขยายของปั๊ม $(cm^3/V.s)$ (i = 1, 2)

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 cm/s^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.25 ภาพจำลองกระบวนการ

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถที่จะหาได้จากสมการสมดุลมวลและกฎของเบอร์นูลลี (Bernoulli's) คิดที่ ($h_1 > h_2$)

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{k_1 u_1(t)}{A} + \frac{\beta_3 a_3}{A}\sqrt{2gh_3(t)} - \frac{\beta_1 a_1}{A}\sqrt{2gh_1(t)} - \frac{\beta_{12} a_{12}}{A}\sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))}$$

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{k_2 u_2(t)}{A} + \frac{\beta_4 a_4}{A}\sqrt{2gh_4(t)} + \frac{\beta_{12} a_{12}}{A}\sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))} - \frac{\beta_2 a_2}{A}\sqrt{2gh_2(t)}$$

$$\frac{dh_3(t)}{dt} = \frac{k_3 u_2(t)}{A} - \frac{\beta_3 a_3}{A}\sqrt{2gh_3(t)} \quad , \quad \frac{dh_4(t)}{dt} = \frac{k_4 u_1(t)}{A} - \frac{\beta_4 a_4}{A}\sqrt{2gh_4(t)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการประมาณเชิงเส้นและจัดรูปเป็นตัวแปรเบี่ยงเบนจะได้

$$\frac{dH_1(t)}{dt} = \frac{k_1 u_1(t)}{A} + \frac{H_3(t)}{T_3} - \frac{H_1(t)}{T_1} - (\frac{H_1(t) - H_2(t)}{T_{12}}) \quad , \quad \frac{dH_3(t)}{dt} = \frac{k_3 u_2(t)}{A} - \frac{H_3(t)}{T_3}$$

$$\frac{dH_2(t)}{dt} = \frac{k_2 u_2(t)}{A} + \frac{H_4(t)}{T_4} + (\frac{H_1(t) - H_2(t)}{A}) - \frac{H_2(t)}{T_2} \quad , \quad \frac{dH_4(t)}{dt} = \frac{k_4 u_1(t)}{A} - \frac{H_4(t)}{T_4}$$

เมื่อ $T_i = (A_i / (\beta_i a_i))\sqrt{(2\overline{h_i} / g)}, i = 1,2,3,4$, $T_{12} = (A_{12} / (\beta_{12} a_{12}))\sqrt{(2(\overline{h_1} - \overline{h_2})) / g}$

ทำการแปลง Laplace จะได้

$$(T_{11} T_{12} S + T_1 + T_{12}) H_1(s) = \frac{T_1 T_{12} k_1 u_1(s)}{A} + \frac{T_1 T_{12} H_3(s)}{T_3} + T_1 H_2(s)$$

$$(T_2 T_{12} S + T_2 + T_{12}) H_2(s) = \frac{T_2 T_{12} k_2 u_2(s)}{A} + \frac{T_2 T_{12} H_4(s)}{T_4} + T_2 H_1(s)$$

$$(T_3 S + 1) H_3(s) = \frac{T_3 K_3 u_2(s)}{A} \quad , \quad (T_4 S + 1) H_4(s) = \frac{T_4 k_4 u_1(s)}{A}$$

เพราะฉนั้นจะได้ว่า

$$H_1(s) = \frac{T_1 T_{12} k_1 u_1(s)}{A(T_1 T_{12} S + T_1 + T_{12})} + \frac{T_1 T_{12} H_3(s)}{T_3 (T_1 T_{12} S + T_1 + T_{12})} + \frac{T_1 H_2(s)}{(T_1 T_{12} S + T_1 + T_{12})}$$

$$H_2(s) = \frac{T_2 T_{12} k_2 u_2(s)}{A(T_2 T_{12} S + T_2 + T_{12})} + \frac{T_2 T_{12} H_4(s)}{T_4 (T_2 T_{12} S + T_2 + T_{12})} + \frac{T_2 H_1(s)}{(T_2 T_{12} S + T_2 + T_{12})}$$

$$H_3(s) = \frac{T_3 k_3 u_2(s)}{A(T_3 S + 1)} \quad , \quad H_4(s) = \frac{T_4 k_4 u_1(s)}{A(T_4 S + 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $H_3(s)$ กับ $H_4(s)$ ในสมการ จะได้

$$H_1(s)=\frac{T_1T_{12}k_1u_1(s)}{A(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})}+\frac{T_1T_{12}}{T_3(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})}*\frac{T_3k_3u_2(s)}{A(T_3S+1)}+\frac{T_1H_2(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})}$$

$$H_2(s)=\frac{T_2T_{12}k_2u_2(s)}{A(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}+\frac{T_2T_{12}}{T_4(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}*\frac{T_4k_4u_1(s)}{A(T_4S+1)}+\frac{T_2H_1(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}$$

แทนค่า $H_1(s)$ จะได้ และให้ $C_1=(T_1T_{12})/A$, $C_2=(T_2T_{12})/A$

$$H_2(s)=\frac{k_2C_2u_2(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}+\frac{k_4C_2u_1(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_4S+1)}+\frac{T_2k_1C_1u_1(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})}$$

$$+\frac{T_2k_3C_1u_2(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_3S+1)}+\frac{T_1T_{12}H_2(s)}{(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_2)}$$

จัดรูปได้เป็น

$$H_2(s)=\frac{k_2C_2(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})u_2(s)}{\left[(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})-T_1T_{12}\right]}$$

$$+\frac{k_4C_2(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})u_1(s)}{\left[(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_2)-T_1T_2\right](T_4S+1)}$$

$$+\frac{T_2k_1C_1u_1(s)}{\left[(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})-T_1T_2\right]}$$

$$+\frac{T_2k_4C_2u_2(s)}{\left[(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})-T_1T_2\right](T_3S+1)}$$

แทนค่า $H_2(s)$ จะได้

$$H_1(s)=\frac{k_1C_1u_1(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})}+\frac{k_3C_1u_2(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_3S+1)}+\frac{T_1k_2C_2u_2(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+\frac{T_1k_4C_2u_1(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})(T_4S+1)}+\frac{T_1T_2H_1(s)}{(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})}$$

จัดรูปได้เป็น

$$H_1(s)=\frac{k_1C_1(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})u_1(s)}{\left[(T_1T_{12}S+T_1+T_2)(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})-T_1T_2\right]}$$

$$+\frac{k_3C_1(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})u_2(s)}{\left[(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})-T_1T_2\right](T_3S+1)}$$

$$+\frac{T_1k_2C_2u_2(s)}{\left[(T_1T_{12}S+T_1+T_2)(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})-T_1T_2\right]}$$

$$+\frac{T_1k_3C_2u_1(s)}{\left[(T_1T_{12}S+T_1+T_{12})(T_2T_{12}S+T_2+T_{12})-T_1T_2\right](T_4S+1)}$$

2.8 ผลกระทบจากตำแหน่งซีโร่ต่อระบบควบคุม

ผลกระทบจากตำแหน่งซีโร่ต่อระบบควบคุมในกรณีเฟสต่ำสุดและเฟสไม่ต่ำสุดจะแตกต่างกัน ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.8.1 กรณีเฟสต่ำสุด

กรณีนี้ซีโรของกระบวนการทั้งสองตัว จะอยู่ด้านซ้ายของระนาบ S โดยเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ตำแหน่งซีโรสำหรับกระบวนการ SISO นั้นจะมีผลกระทบต่อผลตอบสนองของระบบควบคุมในรูปของค่าพุ่งเกินและขีดจำกัดของอินพุต อันเนื่องมาจากค่าอัตราขยายที่สภาวะคงตัวน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการที่กับการที่ซีโร่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของระนาบ S มาก แต่สำหรับกระบวนการ MIMO เช่นกระบวนการ 2 อินพุต 2 เอาพุต ผลกระทบจากตำแหน่งซีโร่ต่อระบบควบคุมก็จะคล้ายกับกระบวนการ SISO แตกต่างกันที่ตำแหน่งของซีโร่นั้นสามารถมีผลกระทบกับเอาท์พุตใดเอาต์พุตหนึ่ง หรืออาจจะมีผลกระทบต่อทั้งสองเอาต์พุตก็ได้ขึ้นอยู่กับทิศทางของซีโร่

2.8.2 กรณีเฟสไม่ต่ำสุด

ในกรณีนี้ซีโร่ของกระบวนการตัวหนึ่งจะมีตำแหน่งอยู่ทางด้านซ้ายของระนาบ S และซีโร่อีกตัวหนึ่งจะอยู่ทางด้านขวาของระนาบ S โดยผลกระทบจากการที่ซีโร่มีตำแหน่งอยู่ทางด้านซ้ายของระนาบ S ก็จะเป็นเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในกรณีเฟสต่ำสุด แต่สำหรับซีโร่ที่มีตำแหน่งอยู่ด้านขวาของระนาบ S จะมีผลกระทบที่แตกต่างกันไป คือซีโร่ที่มีตำแหน่งอยู่ด้านขวาของระนาบ S จะเป็นตัวจำกัดแบนด์วิดท์ของระบบควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วของผลตอบสนองของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมนั้นเอง โดยแบนด์วิดท์ของระบบควบคุมในกรณีที่มีซีโร่อยู่ทางด้านขวาของระนาบ S คือ $\omega_b < (z/2)$ จากสมการสังเกตได้ว่า ถ้าซีโร่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของระนาบ S แบนวิดท์ของระบบควบคุมจะแคบ ในทางกลับกันถ้าซีโร่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของระนาบ S แบนวิดท์ของระบบควบคุมก็จะกว้าง

2.9 ความไวของกระบวนการ

ความไวของกระบวนการอันเนื่องมาจากคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์, คุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ฯลฯ นั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเสมอและไม่อาจหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากในกระบวนการจริงจะมีปัจจัยต่าง ๆ มากมายที่ซึ่งอาจจะมีผลทำให้พารามิเตอร์ของกระบวนการหรืออุปกรณ์เปลี่ยนแปลงไปและแบบจำลองเชิงเส้นที่ได้จากการประมาณความเป็นเชิงเส้น ณ จุดทำงานหนึ่งๆก็ไม่สามารถแสดงแทนกระบวนการจริงได้ตลอดเวลา ดังนั้นในการวัดค่าความไวของกระบวนการจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น อันเนื่องมาจากค่าความไวของกระบวนการจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงว่ากระบวนการนั้นสามารถควบคุมได้ยากหรือง่ายซึ่งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์และความไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการ โดยในการหาค่าความไวของกระบวนการนั้นจะต้องทำการหาค่าอัตราขยายของกระบวนการที่สภาวะคงตัว จากนั้นจึงทำการหาค่า Condition Number ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงความไวของกระบวนการ

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงวิธีในการหาค่าอัตราขยายและหาค่า Conditional Number ของกระบวนการ

2.10 อัตราขยายของกระบวนการ

ในการพิจารณาถึงคุณลักษณะของกระบวนการนั้น สิ่งหนึ่งที่เป็นสิ่งสำคัญและไม่อาจที่จะละเลยได้ คือค่าอัตราการขยายของกระบวนการ เนื่องจากค่าอัตราการขยายของกระบวนการนี้จะเป็นสิ่งที่บอกถึงค่าความไวของกระบวนการ สำหรับกระบวนการแบบ MIMO นั้นค่าอัตราขยายของกระบวนการ สามารถทำการหาได้จากการพิจารณากระบวนการที่สภาวะคงตัว (S=0) เหมือนกับกระบวนการ SISO แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ กระบวนการ MIMO ก็ไม่ได้มีเพียงค่าเดียวเหมือนกับกระบวนการ SISO แต่จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอินพุตหรือเอาท์พุตที่มากที่สุดของกระบวนการการหาค่าอัตราขยายของกระบวนการ MIMO นั้นสามารถที่จะหาได้โดยการแยกค่าส่วนประกอบซิงกูลาร์ (Singular Decomposit : SVD) ของ $G_p(0)$ การใช้วิธีหา SVD ของ $G_p(0)$ นี้จะแยก $G_p(0)$ ออกได้เป็น $G_p(0) = U\sum V^H$ ซึ่งทิศทางของอินพุตแรกจนถึงอินพุตสุดท้ายนั้นจะสอดคล้องกับหลักแรกจนถึงหลักสุดท้ายของเมตริกซ์ V^H, ส่วนทิศทางของเอาต์พุตแรกจนถึงเอาท์พุตสุดท้ายก็จะสอดคล้องกับหลักแรกจนถึงหลักสุดท้ายของเมตริกซ์ U และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายของกระบวนการที่มากที่สุดจนถึงค่าที่น้อยที่สุดจะอยู่บนแนวทแยงมุมของเมตริกซ์ $\sum$ ไล่เรียงกันไป โดยค่าอัตราขยายของกระบวนการสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ค่าซิงกูลาร์ของกระบวนการสำหรับกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังนี้เมื่อทำการพิจารณาแมตริกซ์ฟังชั่นถ่ายโอนของกระบวนการที่สภาวะคงตัวจะได้เมตซ์ริกฟังก์ชั่นถ่ายโอน ดังนี้

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix}$$

2.11 Condition Number

ดังได้อธิบายมาแล้วว่าค่า Condition number เป็นดัวชี้ความไวของกระบวนการว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งจะสอดคล้องกับความยากหรือง่ายในการควบคุมของกระบวนการ ในการหาค่า Condition number นั้นสามารถทำได้โดยหาอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราขยายของกระบวนการที่มากที่สุด กับค่าอัตราขยายของกระบวนการที่น้อยที่สุดหรืออัตราส่วนระหว่างค่าซิงกูลาร์ที่มากที่สุดกับค่าซิงกูลาร์ที่น้อยที่สุดนั่นเองสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon(0) = \frac{\overline{\sigma}(G_p(0))}{\underline{\sigma}(G_p(0))}$$

โดย $\varepsilon(0)$ คือค่า Condition Number ซึ่งถ้าค่า Condition Number มีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อนั้นกระบวนการสามารถที่จะทำการควบคุมได้ง่ายแต่ถ้าค่า Condition Number มีค่าที่มากกว่า 10 ซึ่งอาจเกิดจากค่าซิงกูล่าร์ที่มากที่สุด $\overline{\sigma}$ มีค่ามากหรือค่าซิงกูลาร์ที่น้อยที่สุด $\underline{\sigma}$ มีค่าน้อย เมื่อนั้นกระบวนการจะมีความไวของกระบวนการสูง และสามารถเรียกกระบวนการที่มีค่า Condition Number ที่มากกว่า 10 ได้ว่าเป็นกระบวนการแบบ ill-Condition ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่สามารถที่ทำการควบคุมได้ยากมาก

2.12 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการควบคุมกระบวนการ

อุปกรณวัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

อุปกรณ์วัดจะเป็นตัววัดปรากฏการณ์ทางกล ทางไฟฟ้า ของตัวแปรกระบวนการส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณ จะทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณที่สามารถส่งออกมาซึ่งสัญญาณที่ได้นั้น จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีเทอมสัมคัญประกอบกัน 3 เทอมคือ พิกัด (Range) ของเครื่องมือวัดถูกกำหนดโดยค่าสูงและต่ำสุดของตัวแปรกระบวนการที่ทำการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกปรับเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50 psig นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณดังกล่าวมีพิกัด 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด (span) ของเครื่องมือวัดคือความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิกัดนั้น คืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้มีช่างการวัดเท่ากับ 30 psig ส่าน ซีโร่ (Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิกัดซึ่งมีค่า 20 psig

ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ในเทอมของอัตราขยายนั้นเป็นสิ่งง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัดโดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิกัดเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้นได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออก หรือตัวแปรผลตอบสนองหารด้วการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชั่นขับ ในกรณีนี้ทางออกของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (4-20 mA) และทางเข้าเป็นความดันในกระบวนการ (0-200 psig) ดังนั้น

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

ซึ่ง K_T เป็นอัตราขยายของอุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือถ้าเป็นอุปกรณ์วัดจะส่งสัญญาณอุณหภูมิแบบนิวแมติคส์มีพิกัด 100 $°F$ -300 $°F$ และอัตราขยายคือ

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

หรืออออจจะพูดได้ว่าอัตราขยายของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณก็คือ อัตราส่วนของช่วงการวัดของทางออกต่อช่วงการวัดของทางเข้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นค่าคงที่ตลอดช่วงของการใช้งานแต่อย่างไรก็ตามมีอุปกรณ์การวัดและส่งสัญญาณบางชนิด ไม่อยู่ในกรณีนี้ เช่น อุปกรณ์วัดความแตกต่างของแรงดัน(Differential Pressure Sensor) ที่ใช้วัดอัตราการไหล โดยวัดความแตกต่างของความดัน h ที่ตกคร่อมออริฟิคส์ (Orifice) ซึ่งความแตกต่างของความดันนี้จะมีความสัมพันธ์เป็นกำลังสองของอัตราการไหลแบบปริมาตร (Volumetric flow) F นั้นคือ $F^2 \alpha\ h$ สมการที่ได้อธิบายสัญญาณทางออกของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณความแตกต่างของความดันแบบอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้วัดอัตราการไหลด้วยพิกัด $0 - F_{\max}\ gpm$ จะได้

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

เมื่อ M_F = สัญญาณทางออกของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ, mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = อัตราการไหลแบบปริมาตร

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

หรืออัตรขยายที่ภาวะปกติ $K'_T = (16/F_{\max})$

จะเห็นว่าอัตราขยายจะไม่คงที่แต่จะเป็นไปตามฟังชั่นของอัตราการไหล เมื่ออัตราการไหลมาก อัตราการขยายก็จะสูงตามซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว

$$A_t \left| (\overline{F}/F_{\max}) \right| \quad 0 \;\; 0.1 \;\; 0.5 \;\; 0.75 \;\; 1.0 \;\; , \;\; \left| (K_T/K'_T \right| \quad 0 \;\; 0.2 \;\; 1.0 \;\; 1.50 \;\; 2.0$$

ดังนั้นอัตราขยายจะแปรค่าไปจากศูนย์ ไปเป็นแบบสองเท่า ของอัตราขยายที่ภาวะปกติโดยผลลัพธ์อันนี้เป็นจริงของอัตราไหลที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบควบคุม ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่ที่ผลิตอุปกรณ์ส่งสัญญาณความแตกต่างความดัน จะมีอุปกรณ์ถอดรากที่สอง (Square Root Extractor) รวมไว้ด้วยเพื่อให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณดังกล่าวนั้นมีสัญญาณทางออกที่เป็นเชิงเส้น ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณโดยทั่วไปจะเร็วกว่ากระบวนการ เนื่องจากค่าเวลาคงตัวและเวลาล้าหลังสามารถที่จะตัดทิ้งได้และฟังก์ชั่นถ่ายโอนของอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นเพียงอัตราขยายอย่างเดียว อย่างไรก็ตามถ้าจำเป็นจะต้องนำมาพิจารณาแล้ว ในทางปฏิบัติเราจะแทนฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครื่องมือวัดด้วยฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครื่องมือวัดด้วยฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบอันดับที่หนึ่งหรืออันดับที่สอง

$$G(s) = (K_T/(\tau_1 s + 1))$$

หรือ

$$G(s) = (K_T/(\tau^2 s^2 + 2\tau\xi s + 1))$$

จากที่ทำการอธิบายมาแสดงให้เห็นได้ว่ากระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง นั้นเป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาถึงพฤติกรรม และอธิบายถึงขีดจำกัดทางด้านสมรรถนะในการออกแบบตัวควบคุมของระบบควบคุมแบบหลายอินพุต-หลายเอาต์พุต (MIMO) อันเนื่องมาจากตำแหน่งของซีโร่ที่อยู่ทางด้านขวาของระนาบ S ซึ่งจากแบบจำลองเชิงเส้นของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง พบว่าตำแหน่งซีโร่ของกระบวนการนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าตำแหน่งของวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีและการออกแบบ PID ด้วยวิธี ICD

3.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือ รูปแบบของระบบใด ๆ ก็ตามที่มีการจัดองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบที่เป็นไปตามต้องการ ซึ่งส่วนมากอาศัยพื้นฐานทฤษฎีระบบเชิงเส้นมาช่วยในการวิเคราะห์พิจารณาถึงความสัมพันธ์ ระหว่างเหตุผลของแต่ละองค์ประกอบของระบบ ไม่ว่าระบบควบคุมนี้จะมีความซับซ้อนเพียงไรก็ตาม พื้นฐานของระบบควบคุม จะมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- วัตถุประสงค์ของการควบคุม (Input)
- กระบวนการ, ขั้นตอน, หลักที่ใช้ในการควบคุม (Process)
- ค่าที่ได้รับจริง (Output)

จากองค์ประกอบต่างๆข้างต้น สามารถนำมาเขียนแทนด้วยภาพบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 3.1 พื้นฐานระบบควบคุม

3.2 ประเภทของการควบคุม

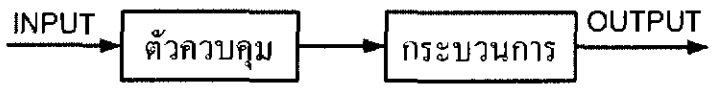
ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ระบบการควบคุมแบบเปิด (Open–loop control system)
2. ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control system)

3.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop)

ระบบควบคุมแบบเปิดหรือเรียกอีกอย่างว่า ระบบควบคุมแบบไม่มีการป้อนกลับระบบนี้ค่าเอาท์พุตที่ได้ จะไม่มีผลต่อการควบคุมขบวนการของระบบ หมายความว่าไม่มีการนำเอาท์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าของอินพุต (อ้างอิง) ที่ป้อนไปให้กับระบบ ซึ่งสามารถที่จะแสดงลักษณะบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

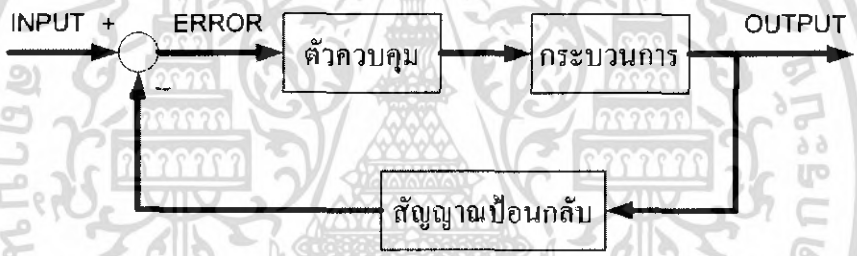
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

3.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

เมื่อระบบควบคุมแบบเปิดไม่สามารถจะให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาท์พุตซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุมนำมาใช้งาน โดยการนำสัญญาณจากเอาท์พุตของระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบให้กับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้น จะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด (error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อจะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ และทำให้เอาท์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ(set point)ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

3.3 ชนิดของการควบคุม

จุดประสงค์ของการเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปในกระบวนการนั้นก็เพื่อต้องการควบคุมให้ได้ผลตามที่ต้องการที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติของการควบคุมทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของตัวควบคุมที่มีต่อระบบ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการแต่ละแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพตัวควบคุมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในกระบวนการมีดังนี้

3.3.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

เป็นแบบของการควบคุมที่ง่ายที่สุดของตัวควบคุม เนื่องจากมีค่าที่ปรับเพียงค่าเดียวคือค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (KC) หรือค่า PB (Proportional band) ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมชนิดนี้ การเพิ่มตัวควบคุม P เข้าไปในระบบจะทำให้ได้ค่าช่วงเวลาไต่ขึ้น(Rise time)ของระบบลดแต่พบว่าจะมีค่า Off Set หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัว(steady-stage-error'ess) เกิดขึ้นทำให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองต่อสถานะอยู่ตัวไม่เข้าสู่ค่าของ Set Point ตามที่ต้องการแต่ก็สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวนี้ลดได้โดยการเพิ่มค่า อัตราขยาย(KC) (หรือลดค่าPB) ซึ่งก็มีผลกระทบทำให้ค่าพุ่งเกิน(Over Shoot) ของระบบมีค่ามากขึ้นจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมักจะใช้ตัวควบคุมแบบ P ร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีขึ้น

3.3.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional Derivative (PD)

เป็นแบบของการควบคุมกระบวนการที่สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ Proportionalได้อยู่แล้ว โดยการเพิ่มส่วนของตัวควบคุมอนุพันธ์ (D) เข้าไปซึ่งคุณสมบัติของตัวควบคุม PD นี้จะคล้ายกับตัวควบคุมแบบ P คือยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวอยู่ในระบบแต่ถ้าให้ค่าอัตราขยายของ Proportional มีค่าสูงๆแล้ว (หรือค่าPBต่ำๆ) พบว่าตัวควบคุม PD มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวน้อยกว่าตัวควบคุมแบบ (P)

3.3.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)

สำหรับกระบวนการที่ไม่ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว จะทำให้การควบคุมมีผลเสียหายควรใช้ตัวควบคุมชนิดนี้ เนื่องจากผลของตัวควบคุมอินทิกรัล (I) นั้นจะทำให้ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวนั้นในระบบควบคุม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของตัวควบคุมชนิดนี้แต่อาจจะ ทำให้ระบบควบคุมมีการทำงานช้าลง

3.3.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID)

นิยมใช้กับกระบวนการที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) มีค่ามากหรือกระบวนการที่มีค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead Time) หรือในกระบวนการที่ผลตอบสนองช้าอย่างเช่นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิสำหรับกระบวนการที่มีผลตอบสนองเร็ว อย่างเช่นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการไหลของของไหล ตัวควบคุมแบบ PID อาจจะไม่เหมาะสมที่จะใช้งานเนื่องจากผลของอนุพันธ์ในตัวควบคุมจะทำให้ระบบควบคุมไวต่อสิ่งรบกวน แต่จะทำให้ลดค่าพุ่งเกินของระบบได้ดี

สำหรับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D) หรือตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (I) อย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการใดๆ และเนื่องจากว่าตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นั้นจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเป็น 100% อีกทั้งยังพุ่งเกินสูง สำหรับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล จะทำให้ระบบมีอันดับสูงขึ้น และอาจจะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เนื่องจากผลของการอินทิกรัลจะไปลดค่าอัตราการหน่วง (Damping Ratio) ของระบบ

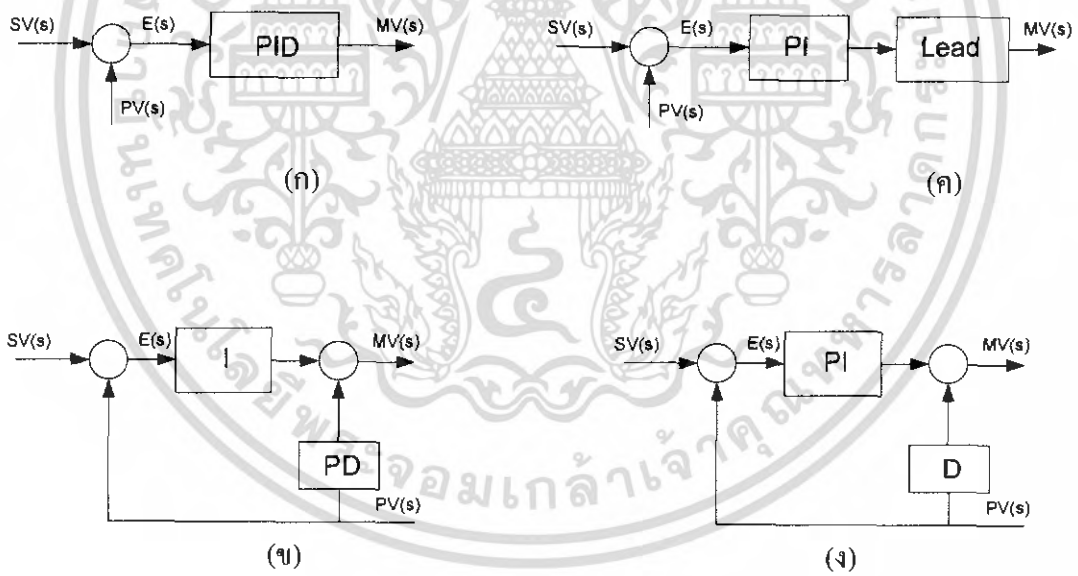
ในกรณีที่ตัวควบคุมที่กล่าวมาไม่สามารถควบคุมระบบตามที่ต้องการได้นั้น ก็สามารถเพิ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวชดเชย (Compensator) เข้าไปในระบบได้เช่นตัวชดเชยแบบ Lead ซึ่งจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบมีการตอบสนองเร็วขึ้นตัวชดเชยแบบ Lag ซึ่งจะทำให้ระบบมีพฤติกรรมตรงกันข้ามกับตัวชดเชยแบบ Lead ในการเพิ่มตัวควบคุมและตัวชดเชยให้แก่ระบบนั้น จะต้องพิจารณาด้วยว่ามีการเชื่อมต่ออย่างไรเข้ากับระบบที่ถูกควบคุมถ้าต่อตัวควบคุมเป็นแบบอนุกรม (Series) กับระบบที่ถูกควบคุมจะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชยแบบอนุกรม ในบางครั้งเรียกการต่อแบบนี้ว่า Cascade ถ้าต่ออยู่ในลักษณะการป้อนกลับนั้นจะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชยแบบขนาน (Parallel) หรือแบบป้อนกลับ (Feed Back) นอกจากนั้นยังอาจต่ออยู่ในลักษณะที่เรียกว่าการควบคุม หรือชดเชยแบบ Forward หรืออาจจะนำแบบต่างๆเหล่านี้มาต่อร่วมกันก็ได้ การเพิ่มตัวควบคุมหรือชดเชยเข้าไปในระบบนั้น ต้องพิจารณาพฤติกรรมของระบบระดับสัญญาณที่จุดต่างๆ รูปแบบในการต่อตลอดจนต้องสามารถหาอุปกรณ์ทางกายภาพ ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมหรือตัวชดเชยที่ต้องการให้ได้

3.3.4.1 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) พอที่จะแบ่งรูปแบบของตัวควบคุมตามกฎเกณฑ์ของการควบคุมออกแบบได้ 4 แบบ ตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ พีไอดี

โดยที่

SV(s) = จุดปรับตั้ง (Set Point หรือ Set Value)

PV(s) = สัญญาณตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)

E(s) = ผลต่างระหว่างจุดปรับตั้งและสัญญาณป้อนกลับ มีค่าเท่ากับ SV(s) – PV(s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MV(s) = สัญญาณตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Signal)

รูปแบบตามภาพที่ 3.4 ก) นั้นเป็นรูปแบบที่ใช้มากในการอธิบายเพื่อความเข้าใจตามหนังสือต่าง ๆ แต่เป็นรูปแบบที่ไม่ค่อยได้ใช้ในการควบคุมกระบวนการควบคุมการผลิตจริง ๆ ดังนั้น พารามิเตอร์แต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นในการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง จะไม่มีผลของพารามิเตอร์ตัวอื่นไปเกี่ยวข้อง สมการของตัวควบคุมใน S - Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 3.1

$$MV = \left(\frac{100}{PB}\right) * \left(1 + \frac{1}{Tis} + Tds\right) * e(t) \qquad (3.1)$$

รูปแบบตามภาพที่ 3.4 ข) นั้นจะเป็นรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในตัวควบคุมพีไอดี (PID) แบบเชิงอุปมาน (Analog) ทั้งนี้เนื่องจากว่าง่ายในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้พบเห็นกันมากนัก เนื่องจากการปรับค่า PB, Ti และ Td นั้นจะมีผลกระทบต่อกัน (Mutual Interference) สมการของการควบคุมใน S-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 3.2

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) * \left(1 + \frac{1}{T.is}\right) * (1 + Tds) * e(s) * \frac{1}{\left(1 + \frac{Tds}{N}\right)} \qquad (3.2)$$

สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ตามภาพที่ 3.4 ค) และภาพที่ 3.4 ง) เป็นรูปแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในเครื่องควบคุม PID ชนิดเชิงเลข (Digital PID Controller) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยที่รูปแบบตามภาพบล็อกที่ 3.4 ค) นั้นจะเป็นรูปแบบที่ดีเหมาะ สำหรับการควบคุมที่กระบวนการมีการรบกวนจากภายนอก (Load หรือ Supply Disturbance) แต่กระบวนการนั้นจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีเมื่อได้มีการเปลี่ยนแปลงจากค่า Set Point เนื่องจากค่า Proportional Band มีผลกับสัญญาณตัวแปรกระบวนการ ส่วนรูปแบบที่ 3.4 ง) นั้นเป็นรูปแบบที่เหมาะสำหรับการควบคุมที่มีการเปลี่ยนค่าของ Set Point แต่กระบวนการจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีถ้ามีสัญญาณรบกวนจากภายนอกทั้งนี้เนื่องจากค่า Proportional Band นั้น มีผลกับค่าผลต่างระหว่างค่า Set Point กับตัวแปรกระบวนการ สำหรับรูปแบบทั้งสองที่กล่าวมานี้นั้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า Derivative Term นั้นจะมีผลเฉพาะค่าตัวแปรกระบวนการ ทั้งนี้ มีข้อดีคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Set Point อย่างทันทีทันใดจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของกระบวนการ สมการคณิตศาสตร์ใน S-Domain ของรูปแบบที่ 3.4 ค) แสดงได้ตามสมการที่ 3.3 และสมการคณิตศาสตร์ใน S-Domain ของรูปแบบที่3.4 ง) แสดงได้ตามสมการที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MV(s) = \frac{100}{PB}\left[PV(s) + \frac{E(s)}{Tid} + Tds * \frac{PV(s)}{1 + \frac{Tds}{n}} \right] \quad (3.3)$$

$$MV(s) = \frac{100}{PB}\left[EV(s) + \frac{E(s)}{Tid} + Tds * \frac{PV(s)}{1 + \frac{Tds}{n}} \right] \quad (3.4)$$

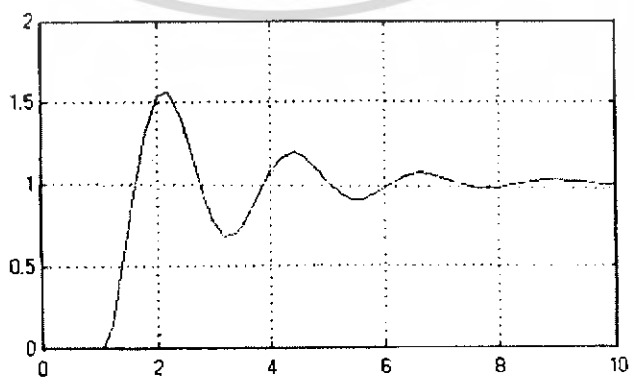
3.3.5 ผลของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID กับกระบวนการ

3.3.5.1 ผลของ Proportional Band (PB) กับกระบวนการ

ผลของ Proportional Band (PB) กับการควบคุมกระบวนการ Proportional Band จะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าอัตราขยายของกระบวนการ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายกับค่า Proportional Band สามารถแสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 3.5

$$GAIN = \frac{100}{PB} \quad (3.5)$$

สำหรับผลของ Proportional Band ที่ใช้กับการควบคุมแบบ P-Control นั้นค่า Proportional Band จะมีผลกับขนาดของผลตอบสนองรวมไปถึงเรื่องความไว (Sensitivity) และออฟเซต (Offset) หรือค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัว (Steady State Error) ผลของ Proportional Band ที่มากเกินไปจะมีผลทำให้เกิดค่าผิดพลาด (Error) ในสถานะคงตัวมากขึ้นและจะทำให้ความไวของผลตอบสนอง ในทางกลับกันค่าของ Proportional Band ที่น้อยเกินไปนั้น จะทำให้กระบวนการเกิดการแกว่งขึ้น หรือเข้าใกล้จุดไร้เสถียรภาพ (Unstable) มากขึ้น ภาพที่ 3.5 แสดงผลของการเพิ่มหรือลดค่า Proportional Band ต่อกระบวนการกำลังสอง

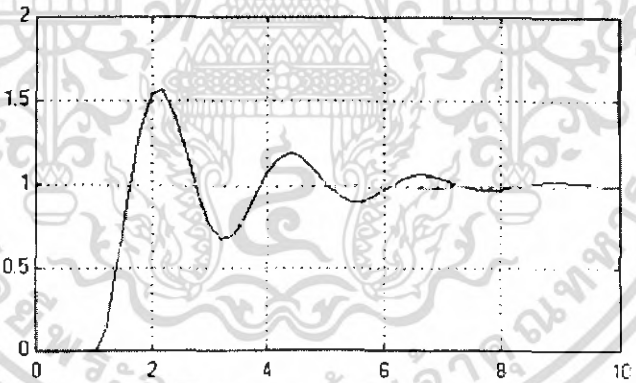


ภาพที่ 3.5 ผลของ Proportional Band ต่อกระบวนการควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.2 ผลของการ Integral Time กับกระบวนการ

สำหรับ Integral Action นั้นจะมีผลกับผลตอบสนองของค่าสะสม แต่จะไม่มีผลกับผลตอบสนองในลักษณะทันทีทันใด การลดค่า Integral Time จะมีผลทำให้ออฟเซตหรือค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวของกระบวนการลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเรื่อง Integral Action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของความผิดพลาดสะสมของผลตอบ แต่ถ้า Integral Time ที่ตั้งให้กระบวนการนั้นมีค่าน้อยเกินไป (Integral Action มากเกินไป) ก็จะทำให้ผลตอบของกระบวนการเกิดการแกว่งมากขึ้น (การพุ่งเกินมากขึ้น) เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานมากขึ้นได้ ในทำนองกลับกันการเพิ่มค่า Integral Time จะมีผลในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้ว คือจะเพิ่มค่าผิดพลาดในสถานะคงตัวของผลตอบของกระบวนการ ถ้าผลตอบสนองของกระบวนการนั้นเป็นผลตอบสนองที่มีค่าผิดพลาดในสถานะคงตัวอยู่ แต่ในขณะเดียวกัน ก็จะเป็นการลดการแกว่ง หรือค่าพุ่งเกินของการตอบสนองของกระบวนการ ในกรณีที่กระบวนการนั้นมีค่า Integral Time เดิมน้อยเกินไป เมื่อมีการเริ่มเดินเครื่องอย่างอัตโนมัติ (Automatic Starting) ด้านการควบคุมของตัวควบคุม PID Integral Action จะทำให้เกิด Integral Windup เนื่องจากขณะเริ่มเดินเครื่อง ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ทำให้เทอมของ Integral มีค่าเกิน 100% ภาพที่ 3.6 แสดงผลของการเพิ่มหรือลดค่า Integral Time ในการควบคุมแบบ พีไอดี



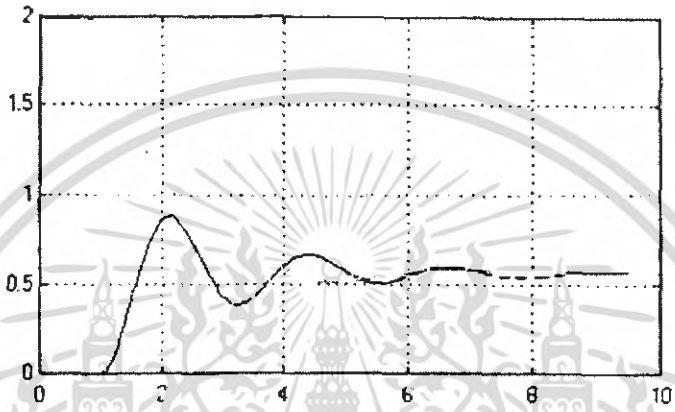
ภาพที่ 3.6 ผลของ Integral Time ที่มีต่อผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมแบบพีไอดี

3.3.5.3 ผลของ Derivative Time กับผลตอบสนองของกระบวนการ

ผลของ Derivative Action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุท ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่มีรูปแบบตามสมการที่ 3.3 และ 3.4 นั้นค่าของ Derivative Action จะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เกี่ยวกับกระบวนการ โดยจะทำให้กระบวนการมีการตอบสนองต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นแต่ Derivative Action จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Set Point แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม Derivative Action จะมีผลเสียในการควบคุมกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนมาก ทั้งนี้เนื่องจาก Derivative Action จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามาอย่างมาก ดังนั้น กระบวนการที่มีสัญญาณรบกวน ตัวอย่างเช่น กระบวนการควบคุมอัตราการไหล หรือกระบวนการควบคุมความดัน Derivative Control อาจมีผลทำให้กระบวนการไม่มีเสถียรภาพ (Unstable) ได้ดัง ภาพที่ 3.7 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของ Derivative Action ต่อการควบคุมแบบพีไอ



ภาพที่ 3.7 แสดงผลของ Derivative Action

สำหรับผลของค่าพารามิเตอร์ทั้งสามตัวที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเป็นการพิจารณาผลตอบสนองของกระบวนการอย่างไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หรือใช้เป็นการพิจารณาทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสามกับผลตอบสนองของกระบวนการยังเกี่ยวพันธ์กับสิ่งอื่น ๆ อีก เช่น รูปแบบของการควบคุมนั้น จะใช้การควบคุมในลักษณะใด และยังเกี่ยวพันธ์กับสภาพแวดล้อม สัญญาณรบกวนที่กระบวนการได้รับอีกด้วย ดังนั้น ในการปรับค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยปกติต้องอาศัยความคุ้นเคยและความชำนาญกับกระบวนการหรือตัวควบคุมแบบนั้น ๆ เป็นอย่างมาก

3.3.6 การปรับค่าของตัวควบคุม PID

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งทำได้หลายวิธี บางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ บางวิธีจะอาศัยคณิตศาสตร์ และส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่

พิจารณาฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PID ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Gc(s) = Kp\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

โดยที่ Kp คือ Proportional Gain

Ti คือ Integral Time

Td คือ Derivative Time

เมื่อ e(t) และ u(t) คืออินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุม

จะได้ว่า

$$u(t) = Kp\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_{-\infty}^{t} e(t)dt + T_d \frac{de)(t)}{dt}\right]$$

นอกจากนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PID อาจจะเขียนในรูปของ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

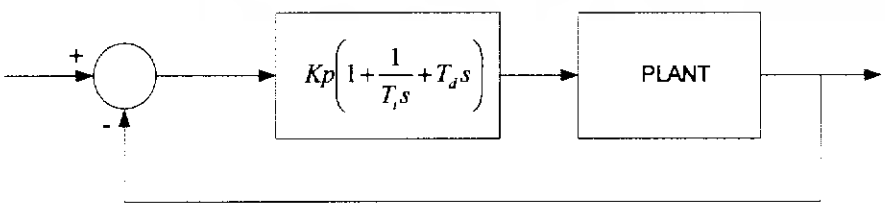
โดยที่ Kp คือ Proportional Gain

Ti คือ Integral Gain

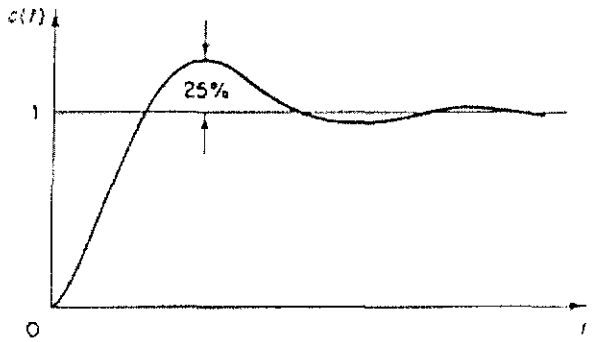
Td คือ Derivative Gain

3.3.6.1 การปรับค่าของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่า Kp, Ti และ Td จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วครู่ของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี แต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุทแบบ Unit Step มีค่าของ Maximum Overshoot ไม่เกิน 25% ดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



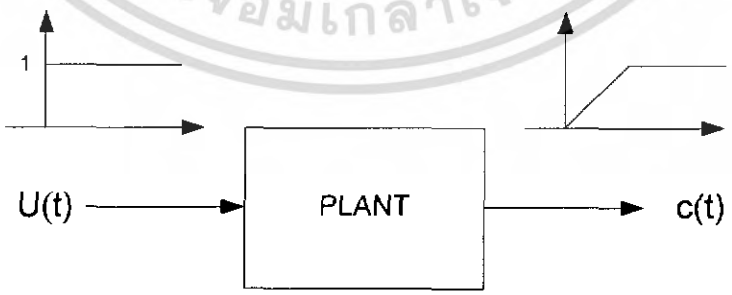
ภาพที่ 3.8 การปรับค่าของตัวควบคุม PID

วิธีที่ 1 Process Reaction Curve

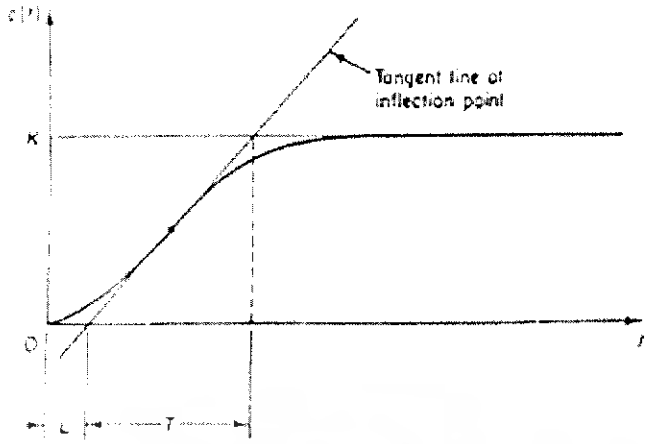
วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมต่ออินพุทแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี Pole ที่จุด Origin หรือไม่มี Dominant Complex-Conjugate Poles และไม่มีตัวควบคุมต่อร่วมอยู่ ดังนั้นผลตอบสนองเวลาจะเป็นรูปตัว S ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ซึ่งจะแยกพิจารณาเป็นค่าคงที่ 2 ตัวคือ ค่าของ Delay Time, L และ เวลาคงที่, T (Time Constant) จากนั้นให้ลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเบี่ยงเบนสูงสุด ซึ่งเส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาท์พุต c(t), ที่ c(t) = K

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transport lag คือ

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Process Reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ Kp, Ti และ Td สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

   Kp = T/L

2. ตัวควบคุมแบบ PI

   Kp = 0.9T/L

   Ti = L/0.3

3. ตัวควบคุมแบบ PID

   Kp = 1.2T/L

   Ti = 2L

   Td = 0.5L

วิธีที่ 2 Ultimate Method

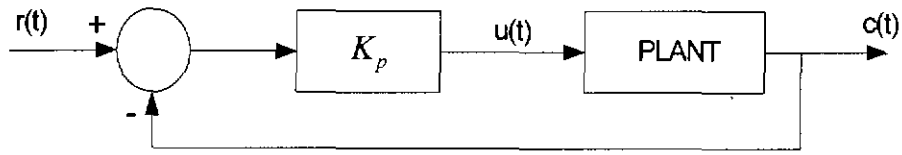
วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต่ออินพุทแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ Kp ไปเรื่อย ๆ จนกว่าผลตอบสนองทางเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ดังในภาพ

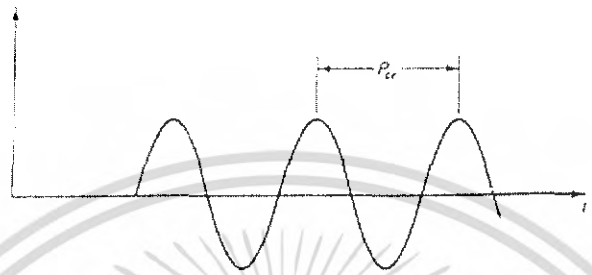
(ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีจะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

Kcr (critical Gain) เป็นอัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

Pcr (Oscillation Period) เป็นคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่ 3.10 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Ultimate Method

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ Kp , Ti และ Td สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

   Kp = 0.5Kcr

2. ควบคุมแบบ PI

   Kp = 0.45Kcr

   Ti = Pcr/1.2

3. ตัวควบคุมแบบ PD

   Kp = 0.6Kcr

   Td = 0.125Pcr

4. ตัวควบคุมแบบ PID

   Kp = 0.6Kcr

   Ti = 0.5Pcr

   Td = 0.125Pcr

วิธีที่ 3 Damped Oscillation

วิธีนี้ปรับปรุงมาจาก Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ Kp ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

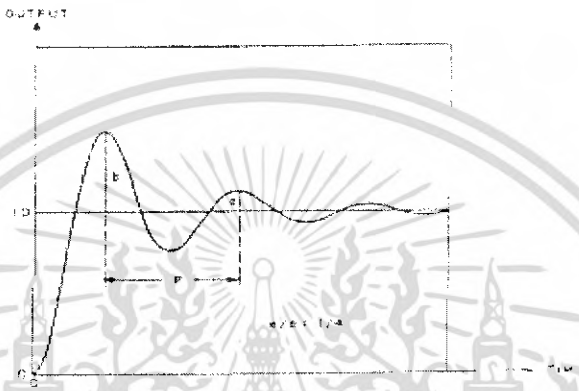
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Damped Oscillation นี้จะปรับค่าของ Kp ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูปปิดมีอัตราการเสื่อม 1/4 ดังรูป จากนั้นวัดค่าของ P และใช้ค่าของ Kp(1/4) เพื่อคำนวณหาค่า Kp, Ti และ Td ดังภาพ

$$Kp = Kp\,(1/4)$$

$$Ti = P/1.5$$

$$Td = P/6$$



ภาพที่ 3.11 การปรับค่าของตัวควบคุม PID แบบ Damped Oscillation

จะต้องระลึกอยู่เสมอว่า การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้น ไม่ใช้เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันที และมี Maximum Overshoot 25% ตามที่กล่าวไว้แต่จะเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

3.4 การใช้งาน ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือน PID VIs สำหรับโปรแกรม LabVIEW

แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเสมือน PID VI, ส่วนใหญ่จะถูกอธิบายโครงสร้างอยู่ในรูปพีชคณิต แต่รูปแบบโครงสร้างเสมือน PID VI ในโปรแกรม LabVIEW เป็นเครื่องมือพื้นฐานของตัวควบคุม PID ตามรูปแบบโครงสร้างพีชคณิตทั่วไปในส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมเสมือน อยู่ภายใต้โครงสร้างของฟังก์ชั่นตัวควบคุมตามมาตรฐานที่ใช้งาน โดยที่เราสามารถใช้งานเครื่องมือเสมือนสลับสับเปลี่ยนกันได้ เพราะว่าในการใช้งานต้องสอดคล้องกับชนิดของอินพุตและเอาท์พุตที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือน PID VI สำหรับโปรแกรม LabVIEW

ตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน ประกอบไปด้วย สัญญาณอินพุตสามารถจำแนกได้คือ เป้าหมาย (Setpoint), ตัวแปรของกระบวนการ (process variable), เกณฑ์ของตัวควบคุมพีไอดี (PID gains), การเปลี่ยนแปลงต่อเวลา (dt), ขอบเขตของเอาท์พุต (output range), ค่าเริ่มต้น (reinitialize) สัญญาณอินพุตเกณฑ์ควบคุมพีไอดี.จะประกอบไปด้วยค่า 3 ตัวแปร คือ proportional gain, integral time และ derivative time

เราสามารถใช้งานขอบเขตของเอาท์พุต (output range) สำหรับกำหนดคุณสมบัติของขอบเขตเอาท์พุตที่จะแสดงตัวควบคุมเอาท์พุตโดยมีค่าขอบเขตเอาท์พุตถูกกำหนดอยู่ที่ -100 ถึง 100 ซึ่งต้องสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติมาตรฐานที่กำหนดอยู่ในรูปแบบ เปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล อย่างไรก็ตาม เราสามารถเปลี่ยนแปลงขอบเขตไปเป็นอีกขอบเขตหนึ่งได้ ซึ่งต้องสัมพันธ์กับระบบควบคุมด้วย, โดยที่เกณฑ์ของตัวควบคุมจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยทางวิศวกรรมมาตรฐาน กับ หน่วยทางวิศวกรรมเสมือนที่โปรแกรมกำหนด ซึ่งจะเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์ ตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน จะบังคับให้ขอบเขตของเอาท์พุตตัวควบคุมอยู่ภายใต้ขอบเขตที่เรากำหนด ส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาสำหรับเครื่องมือของตัวควบคุมเสมือนคือ การควบคุมขอบเขตพฤติกรรมของอินทิเกรเตอร์ (integrator anti-windup) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ เอาต์พุตตัวควบคุมมีค่ามากเกินขอบเขตที่กำหนด (saturation) ที่ค่าขอบเขตต่ำสุดหรือสูงสุด

เราสามารถใช้ตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา (dt) เพื่อกำหนดคุณสมบัติของเวลาที่ใช้ในวงรอบของการควบคุม โดยที่มีค่าที่กำหนดคือ -1, การใช้ค่าที่กำหนดของตัวควบคุมพีไอดี. เสมือนถูกใช้คำนวณเวลาที่ระบบทำงานให้สอดคล้องกับ เวลาในวงรอบการทำงานนั่นเอง ถ้าเวลาในวงรอบการทำงานถูกกำหนด, เราสามารถกำหนดอินพุตของตัวควบคุมเสมือนพีไอดี.ได้ เวลาที่กำหนดการทำงานของระบบเทียบกับเวลาอ้างอิงที่ 1ms ค่าของการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่ถูกต้องนั้น ค่าเวลาในหนึ่งรอบการทำงานจะต้องน้อยกว่า 1ms

ตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน ในการเริ่มต้นการใช้งานจากส่วนข้างนอก อันดับแรกจะต้องเรียกใช้เครื่องมือเสมือน VI ก่อน ต่อจากนั้นเข้าไปยัง VI อีกที่หนึ่งโดยการกำหนดการใช้งานสภาวะข้อมูลก่อนที่จะเข้าไปยังส่วนย่อยของ VI อย่างไรก็ตามเราสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน โดยการเรียกใช้ reinitialize ได้ตลอดเวลา ซึ่งจะต้องกำหนดสภาวะเป็นค่า True เมื่อมีการสอบถาม reinitialize? ที่เป็นอินพุต การเรียกใช้ฟังก์ชั่นถ้ามีการประยุกต์หรือเปลี่ยนแปลงจะหยุดการทำงานและ กลับไปเริ่มต้นการทำงานใหม่ของวงรอบการทำงานนั้น ๆ นอกเหนือจากนี้จะออกจากการเริ่มต้นการทำงานที่ทำอยู่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

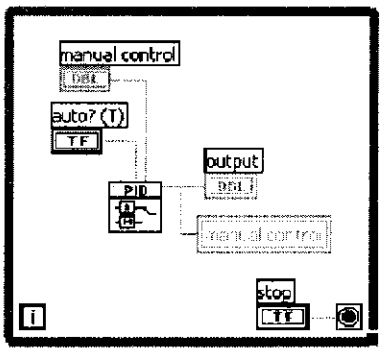
3.6 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี.เสมือนขั้นสูง (The PID Advanced VI) สำหรับโปรแกรม LabVIEW

ตัวควบคุมแบบพีไอดี.เสมือนในขั้นสูง(PID Advanced VI) จะมีลักษณะเหมือนกันกับตัวควบคุม PID VI, ในส่วนของอินพุตจะประกอบด้วย ขอบเขตของเป้าหมาย (setpoint range), เบต้า (beta), ความเป็นเชิงเส้น (linearity), การควบคุมแบบอัตโนมัติ (auto), การควบคุมแบบป้อนค่าของพีไอดี.เอง (manual control) เราสามารถกำหนดขอบเขตของค่าเป้าหมายโดยการกำหนดที่อินพุต Setpoint range ของตัวควบคุมเสมือนพีไอดี., เช่นเดียวกัน สำหรับการกำหนดค่าขอบเขตของตัวแปรกระบวนการ(process variable) ค่าที่เป็นมาตรฐานอ้างอิงถูกกำหนดให้อยู่ในขอบเขต 0 ถึง 100 ซึ่งต้องสัมพันธ์กับค่าที่แสดงคุณสมบัติในส่วนของ การแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์เต็มสเกล อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นขอบเขตการทำงานที่เหมาะสม จะต้องสอดคล้องกับระบบควบคุมนั้น, เช่นเดียวกันกับเกณฑ์ของตัวควบคุมที่เป็นอัตราส่วนของหน่วยทางวิศวกรรมที่เป็นมาตรฐานกับวิศวกรรมเสมือน ที่โปรแกรมอ้างอิงเปรียบเทียบกันเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์ ตัวควบคุมแบบพีไอดี.เสมือนในขั้นสูง(PID Advanced VI) ใช้กำหนดขอบเขตของเป้าหมายในการควบคุมรูปแบบ integral ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และ, กับอินพุตที่มีความเป็นเชิงเส้น, ในการคำนวณค่าผิดพลาดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เครื่องมือเสมือนที่เป็นอินพุต beta ถูกใช้ในระบบที่มีโครงสร้างเป็นแบบอันดับสองที่แยกอิสระต่อกัน (Two Degree of Freedom), และอินพุตที่แสดงความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ใช้กับการคำนวณค่าเกณฑ์แฟคเตอร์ในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เราสามารถเลือกใช้งานอินพุตตัวควบคุมแบบอัตโนมัติหรือแบบปรับแต่งค่าเองได้โดยการเลือกระหว่าง Auto หรือ Manual ในโหมดการควบคุม ค่าอ้างอิงที่ถูกกำหนดไว้คือ Auto เป็นค่า True, สำหรับการเลือกใช้งาน VI ของตัวควบคุมพีไอดี. จะต้องคำนวณค่าเพื่อควบคุมเอาต์พุต ยังสามารถที่จะเลือกใช้ในโหมดการควบคุมแบบปรับเองได้ โดยการเปลี่ยนค่าของ Auto ให้เป็นFalse เท่านั้นเอง ค่าจาก VI จะเป็นค่าที่เกิดจากการปรับแต่งตัวควบคุมเอง ไปควบคุมเอาต์พุตให้อยู่ในขอบเขตตามต้องการ

ตัวควบคุมแบบพีไอดี.เสมือนในขั้นสูง(PID Advanced VI) ในการใช้เครื่องมือ Bumpless Automatic-to-Manual Transfer, เพื่อให้มั่นใจว่า ในการเปลี่ยนแปลงโหมดการควบคุมระหว่าง Manual ไปเป็น Automatic ที่ตัวควบคุมเอาท์พุตนั้นราบเรียบสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถรับรองได้ว่าในการเปลี่ยนโหมดของการควบคุมจาก Automaticไปเป็น Manual การควบคุมเอาต์พุตนั้นมีความราบเรียบ, เราสามารถที่จะออกแบบและประยุกต์ใช้เพื่อให้ค่าเอาท์พุตจากการปรับเองสอดคล้องกับค่าควบคุมเอาท์พุตที่เวลาการเปลี่ยนแปลงโหมดของการควบคุมจาก Automaticไปเป็น Manual สามารถดูการใช้งานตัวแปร Local Variable สำหรับการเลือกโหมดการควบคุมที่เป็นแบบปรับแต่งเอง (Manual control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 Bumpless Automatic-to-Manual Transfer

3.7 ตัวควบคุมพี.ไอ.ดี. ในหลายวงรอบการควบคุม (Multi - Loop PID Control) สำหรับโปรแกรม LabVIEW

นิยมใช้ตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน สำหรับการประยุกต์ใช้งานในหลายวงรอบการควบคุม สำหรับตัวอย่าง, เราสามารถที่จะออกแบบประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีไอดี.ในหลายวงรอบการควบคุม โดยใช้ฟังก์ชั่น PID VI และฟังก์ชั่น DAQ สำหรับควบคุมอินพุตและเอาท์พุต ซึ่ง A DAQ เป็นอนาลอกอินพุตฟังก์ชั่นเพื่อเปลี่ยนข้อมูล เมื่อเรากำหนดให้ทำงานสำหรับวงรอบหลายตัวแปร เราสามารถเข้าถึงข้อมูลที่เป็นแบบ Array ได้โดยตรงที่อินพุตตัวแปรของกระบวนการของตัวควบคุมพีไอดี.เสมือน ชนิดของข้อมูลจะเป็นแบบ DBL ไปเป็น DBL Array สำหรับการคำนวณค่าเอาท์พุตของ Array ต้องสอดคล้องและมีขนาดเท่ากับจำนวนของตัวแปร Array อินพุตตัวแปรกระบวนการ

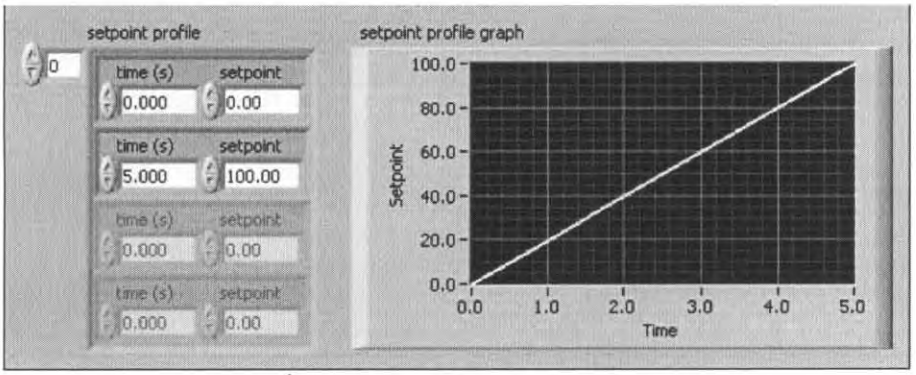
เมื่อชนิดของข้อมูลแบบ DBL Array, อินพุตมีการเปลี่ยนไปเป็นอินพุตแบบ Array สำหรับตัวอย่าง, ตัวควบคุมพีไอดี.เสมือนที่อินพุต เป้าหมาย, เกณฑ์ของตัวควบคุม, และขอบเขตของเอาท์พุตจะแปลี่ยนเป็นอินพุดและเอาท์พุตแบบ Array ทั้งหมด ดังนั้นการใช้งานในเบื้องต้นต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

3.8 Setpoint Ramp Generation สำหรับโปรแกรม LabVIEW

รูปแบบ VIที่หาได้จาก PID สามารถสร้างเป็นแบบ setpoint over time สำหรับ ramp และ soakการประยุกต์ PID เช่น เมื่อคุณต้องการ setpoint ของระบบควบคุมเตาอบ ณ เวลานั้น และระยะเวลาต่อมา หรือ soak ที่ setpoint ที่จุดใดจุดหนึ่งเป็นช่วงอื่นๆของเวลาคุณสามารถใช้ PID ดังต่อไปนี้

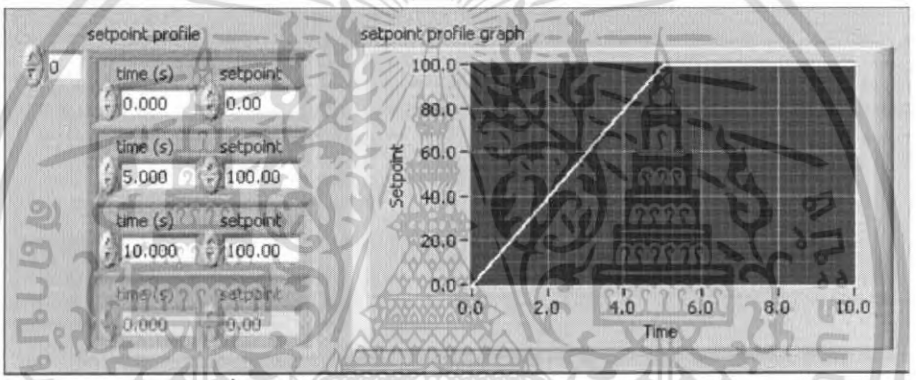
รูปแบบ Setpoint VI ที่จะมีการรวมเข้าด้วยกันในลักษณะใดลักษณะหนึ่งของ ramp กำหนดค่าวีที่ค่าใดค่าหนึ่งและเพิ่มสิ่งต่างๆเข้าไป รายละเอียดคือ ระบุรูปแบบ setpoint เป็นอาเรย์หนึ่งอาเรย์จับคู่กับเวลาและค่า setpoint กับค่าเวลาในการเริ่มคำสั่ง เพราะฉนั้น รูปแบบของ ramp setpoint สามารถระบุให้เป็น two setpoint ในค่าอาเรย์ได้ดังแสดงในภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



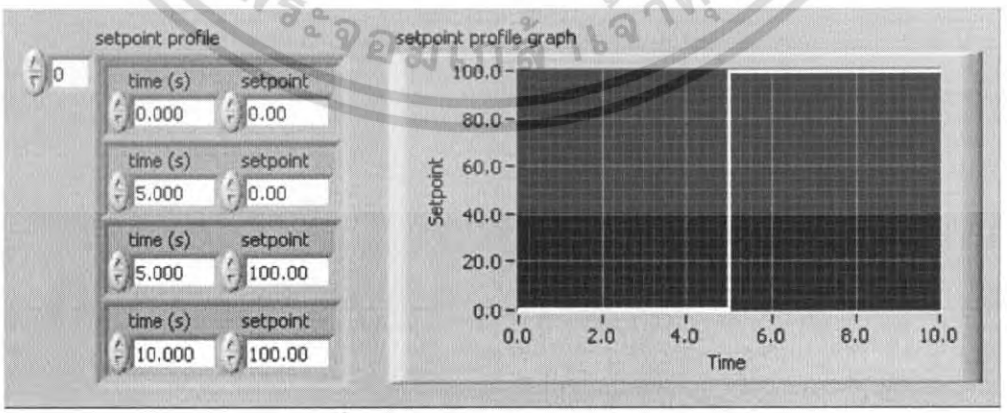
ภาพที่ 3.13 แสดงรูปแบบ Ramp setpoin

Ramp และรูปแบบของ hold set point สามารถทำได้สองค่าต่อเนื่องกันเป็นแบบอาเรย์ เช่นเดียวกันกับค่า set point ดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แสดงรูปแบบ Ramp และ hold setpoin

ในการเลือกรูปแบบ Step setpoint สามารถทำให้เป็นค่าอาเรย์สองค่าต่อเนื่องกับค่าเวลา เช่นเดียวกับค่า setpoint แต่จะมีค่าแตกต่างกับค่า setpoint ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3.15 แสดงรูปแบบ Step setpoin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID Setpoint ในรูปแบบของ VI จะให้ค่าของผลลัพธ์เป็นค่า setpoint เดี่ยวในรูปแบบเวลาปัจจุบัน เพราะฉนั้น ในการเลือกใช้ VI นี้ในการควบคุมวงรอบ ขั้นแรกของการเรียกใช้ VI ที่เวลาปัจจุบันในรูปแบบ setpoint ถึง 0 ในการเรียกใช้แบบต่อเนื่องนั้น VI จะหาค่าเวลาปัจจุบันได้จากเวลาก่อนหน้าและ dt ที่เข้ามา ถ้าคุณทำการเริ่มเวลาปัจจุบันอีกครั้งจนกระทั่งถึง 0 โดยที่เมื่อค่าผ่านไปค่าหนึ่งจะมีการตรวจสอบค่าว่าค่านั้นถูกต้องหรือเปล่าถ้าค่านั้นถูกต้องให้เริ่มต้นใหม่การกำหนดสิ่งที่เข้ามาสามารถระบุรูปแบบของ setpoint ในการวนรอบ ถ้าเวลาในการวนรอบเป็น Deterministic สามารถใช้ค่า dt ที่เข้ามาได้โดยการกำหนดค่าให้มัน โดยพื้นฐานแล้วค่า dt เท่ากับ -1 ดังนั้นโดยพื้นฐานแล้ว VI ใช้ระบบปฏิบัติการแบบนาฬิกาสำหรับคำนวณค่าในการวนรอบระบบปฏิบัติการจะมีความละเอียด 1 ms ดังนั้นการกำหนดค่า dt ที่ชัดเจนในการวนรอบจะต้องน้อยกว่า 1 ms

3.9 การกรองสิ่งที่นำเข้าหน่วยควบคุม (Filtering Control Inputs) สำหรับโปรแกรม LabVIEW

การกรองสิ่งที่นำเข้าหน่วยควบคุม สามารถกรองสิ่งที่เข้ามายังตัวควบคุม PID สามารถกรองความถี่รบกวนสูงได้จากการวัดค่าในโปรแกรมหน่วยควบคุม ตัวอย่างเช่น ถ้าคุณวัดค่าตัวแปรของกระบวนการโดยใช้อุปกรณ์ DAQ การพิจารณาในการกำหนดคาบของเวลาในระดับนี้ควรจะมีอัตราการสุ่มค่าของระบบควบคุมอย่างน้อยที่สุด 10 ที่มีความเร็วมากกว่าค่าคงที่ที่เร็วที่สุดของระบบทางกายภาพเพราะฉนั้น ถ้าตัวอย่างถูกต้อง จะประกอบด้วยความถี่ใดๆของสัญญาณที่วัดได้สูงกว่า 1-10 ของการสุ่มการรบกวนความถี่จะเป็นผลลัพธ์หนึ่งที่เป็นปะโยชน์ในการวัดสัญญาณตัวควบคุม PIDสามารถขยายสัญญาณรบกวนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและสร้างสิ่งที่ไม่จำเป็นบนตัวกระตุ้นและส่วนประกอบอื่นๆการกรองสิ่งที่เข้ามาตัวควบคุม PID จะใช้ VI กรองสิ่งรบกวนที่เข้ามาในรูปของสัญญาณ มีวิธีคิดคือ จะมีการใช้ low-pass ที่ระดับ fifth-order จะมีการตอบสนองของตัวกรอง(FIR) การตัดความถี่ของการกรองแบบ low-pass เป็น one-tenth ของการสุ่มความถี่โดยไม่คำนึงถึงการสุ่มความถี่ตามความเป็นจริง สามารถใช้ตัวกรอง กรองสิ่งที่เข้ามายังหน่วยควบคุม PID VIจะสามารถกรองสัญญาณรบกวนจากค่าของสิ่งที่เข้ามาในการควบคุมวงรอบก่อนที่ค่าจะผ่านฟังก์ชันควบคุมเช่นเดียวกับ PID VI

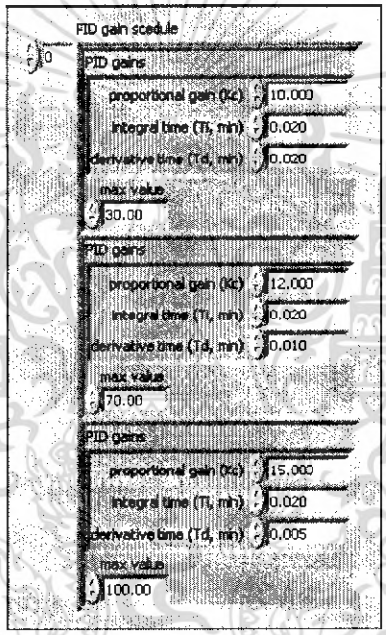
3.10 การเพิ่มค่าของตารางเวลา (Gain Scheduling) สำหรับโปรแกรม LabVIEW

การเพิ่มค่าของตารางด้วย PID VIสามารถใช้ความแตกต่างของตัวแปร PID เข้ามาช่วยคือสำหรับความแตกต่างสามารถหาได้โดยตัวควบคุมของกระบวนการ เพราะว่าส่วนมากกระบวนการไม่เป็นเชิงเส้น ค่าตัวแปรของ PID จะสร้างผลตอบสนองที่ต้องการมาค่าหนึ่ง ผลตอบสนองที่ได้นั้นจะไม่ใช่ผลตอบสนองที่น่าพอใจ สำหรับจุดอื่นๆของกระบวนการ VI จะเลือกการเพิ่มขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเวลา และ ส่วนของผลลัพธ์ของอัตราการเพิ่ม PID จะได้จากพื้นฐานการการเพิ่มตารางเวลาได้โดยค่าที่เข้ามาของตารางเวลาในสภาวะปัจจุบัน ดังเช่น การใช้พื้นฐานของตารางเวลาในการเพิ่มค่าของตัวแปรกระบวนการ ตัวแปรกระบวนการที่ได้จากค่าที่เข้ามาของตารางเวลาและผลที่ได้ของ PID สิ่งที่เข้ามายัง PID นั้นจะได้รับมาจาก PID VI ตารางการเพิ่มค่าที่เข้ามาของ PID เป็นค่าอาเรย์ของกลุ่มที่ PID ได้รับและตรงกับค่าสูงสุด ในแต่ละส่วนของค่า PID จะตรงกับย่านที่เข้ามาจากค่าสูงสุดของค่าก่อนหน้าอาเรย์ถึงค่าสูงสุดของกลุ่มอาเรย์ในย่านที่เข้ามายัง PID ที่ PID ได้รับเป็นกลุ่มแรกจากตารางเวลา PID ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุด

จากภาพที่ 3.16 เป็นตัวอย่างของการกำหนดค่า Gain ที่ใช้กับค่า Setpoint โดยในตารางที่ 3.1จะแสดงการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของ PID ในการควบคุม Setpoint ที่ย่านการควบคุม 0 – 100



ภาพที่ 3.16 รายการค่า Gain ของตัวอย่างอินพุท

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของ PID

Range	Parameters
$0 \leq SP \leq 30$	**Kc** = 10, **Ti** = 0.02, **Td** = 0.02
$30 < SP \leq 70$	**Kc** = 12, **Ti** = 0.02, **Td** = 0.01
$70 < SP \leq 100$	**Kc** = 15, **Ti** = 0.02, **Td** = 0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 Control Output Rate Limiting สำหรับโปรแกรม LabVIEW

การเปลี่ยแปลงอย่างกระทันหันในช่วงการควบคุมเอาท์พุทเป็นสิ่งที่ไม่ควรที่จะเกิดขึ้นบ่อย ๆ มิฉะนั้นก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายในตอนการประยุกต์ใช้งาน สำหรับตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลง Setpoint อย่างกระทันหันก็จะเป็นเหตุให้ต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวควบคุมเอาท์พุท แม้ว่าในทางทฤษฎีเมื่อทำการเปลี่ยนค่าของตัวควบคุมเอาท์พุทผลของการตอบสนองของระบบจะเร็ว มันอาจจะเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นที่จะแสดงการกระทำนั้นออกมาในระบบ ตัวควบคุม PID สามารถที่จะขยายสัญญาณรบกวนและทำการเปลี่ยนผลที่ได้ไปทำการควบคุมเอาพุทอย่างสม่ำเสมอ

สามารถที่จะใช้ การจำกัดย่านการควบคุม เพื่อที่จะทำการหลีกเลี่ยงปัญหาของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของตัวควบคุมเอาท์พุท ค่าของเอาท์พุทที่ออกจาก PID VI ที่จะต่อปยังอินพุท (เพื่อทำการควบคุมเอาท์พุท) จะต่อเข้ากับอินพุทของ PID Output Rate Limiter VI ซึ่งจะเป็นการจำกัดย่านของการเปลี่ยนแปลงค่าการควบคุมของเอาท์พุทให้อยู่ในช่วงของ Output rate (EGU/min)

กำหนดค่าเริ่มต้นของเอาท์พุทและค่าแรกของการเรียก VIสามารถเริ่มต้นค่าเอาท์พุตอีกครั้งโดยให้ค่าเริ่มต้นผ่านไปถ้าค่าเริ่มต้นนั้นถูกต้องให้เริ่มต้นใหม่

สามารถที่จะใช้ค่า dt ไประบุค่าเวลาควบคุมวงรอบการทำงาน โดยที่ค่า – 1 จะเป็น default ดังนั้นเมื่อทำการตั้งค่าเป็น default VI จะจัดการในส่วนของการคำนวนเวลาที่สัมพันธ์กับวงรอบการทำงาน ถ้าเวลาของวงรอบการทำงานเป็นไปตามการทำ ก็สามารถกำหนดค่านี้เป็นอินพุทให้กับ PID Output Rate Limiter VI เวลาในการตัดสินใจของระบบการดำเนินงานจะเท่ากับ 1 ms ด้วยเหตุนี้ควรที่จะระบุค่า dt ให้ชัดเจนถ้าเวลาของวงรอบการทำงานมีค่าน้อยกว่า 1 ms

3.12 PID Lead – Lag VI สำหรับโปรแกรม LabVIEW

PID Lead – Lag VI เป็นวิธิการใช้ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยส่วนมากจะใช้วิธินี้สำหรับการควบคุมแบบ Feedforward บ่อย ๆ ที่วิธินี้จะใช้การชดเชยแบบ dynamic

สามารถที่จะทำการระบุย่านการใช้งานของเอาท์พุท โดยที่ย่าน default จะเท่ากับ -100 ถึง 100 ซึ้งจะสอดคล้องกับค่าของหน่วย เปอร์เซนต์เต็มสเกล แต่อย่างไรก็สามรถที่จะทำการเปลี่ยนย่านการใช้งานที่เหมาะสมย่านหนึ่ง สำหรับควบคุมระบบ ดังนั้นค่า Gain ของตัวควบคุมก็จะมีความสัมพันธ์กันเนื่องกัน หน่วยทางวิศวกรรม ถึง หน่วยทางวิศวกรรม แทนของ หน่วยเปอร์เซนต์ถึงหน่วยเปอร์เซนต์ ในการกำหนดย่านของตัวควบคุมเอาท์พุทของการควบคุมโดย PID Lead – Lag VI ค่าเอาท์พุทค่าแรกที่ใช้จะเป็นค่าเดียวกันกับค่าอินพุท สามารถที่จะควบคุมเอาท์พุทด้วยค่าอินพุทที่ใกล้เคียงกับค่าที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะใช้ค่า dt ไประบุค่าเวลาควบคุมวงรอบการทำงาน โดยที่ค่า – 1 จะเป็น default ดังนั้นเมื่อทำการตั้งค่าเป็น default VI จะจัดการในส่วนของการคำนวนเวลาที่สัมพันธ์กับวงรอบการทำงาน ถ้าเวลาของวงรอบการทำงานเป็นไปตามการทำ ก็สามารถกำหนดค่านี้เป็นอินพุทให้กับ PID Lead – Lag VI เวลาในการตัดสินใจของระบบการดำเนินงานจะเท่ากับ 1 ms ด้วยเหตุนี้ควรที่จะระบุค่า dt ให้ชัดเจนถ้าเวลาของวงรอบการทำงานมีค่าน้อยกว่า 1 ms

3.13 การเปลี่ยนหน่วยระหว่าง เปอร์เซนต์เต็มสเกล และ หน่วยทางวิศวกรรม สำหรับโปรแกรม LabVIEW

นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาจะอธิบายถึง Setpoint, Process variable และย่านของเอาท์พุทสำหรับ PID VIs ตรงกันคือ เปอร์เซนต์เต็มเสกล และในส่วนอื่น Proportional K_c จะเป็นหน่วยของเอาท์พุทเป็นเปอร์เซนต์เต็มเสกล ถึง อินพุทเป็นเปอร์เซนต์เต็มเสกล ค่านี้เป็นค่า default ส่วนมากที่ตัวควบคุม PID ใช้สำหรับควบคุมการบวนการประยุกต์ วิธีนี้ตัวอุปกรณ์ PID จำเป็นจะต้องทำการเปลี่ยนหน่วยของอินพุทเป็น เปอร์เซนต์เต็มเสกล และที่ตัวควบคุมเอาท์พุทเป็นหน่วยทางวิศวกรรม ตัวอย่างคือ ค่า Volt ที่เป็นอะนาล็อกเอาท์พุต

สามารถที่จะใช้ PID EGU ถึง %VI ทุก ๆ ค่าที่เข้ามาจากหน่วยจริงทางวิศวกรรมถึงเต็มเสกลและคุณสามารถใช้ PID%ถึง EGUทำงานเพื่อแปลงผลที่ได้จากตัวควบคุมจากเต็มเสกลถึงหน่วยจริงทางวิศวกรรม PID%ถึงEGU VI มีการเพิ่มสิ่งที่เข้ามาเพื่อกำหนดย่านของผลลัพธ์ค่าพื้นฐานของการกำหนดย่านสิ่งที่เข้ามาถูกต้อง บันทึกPID VIs โดยไม่ใช้ย่านของ setpoint และย่านของผลลัพธ์ที่จะแปลงค่าร้อยละไปคิด PID เมื่อ ตัวควบคุมมีผลลัพธ์ผ่านเข้ามาในหน่วยของวิศวกรรมเช่น มีค่าผลลัพธ์จากการผลิต ผลลัพธ์หนึ่งผลลัพธ์ของ10 สำหรับความแตกต่างของ setpoint และตัวแปรกระบวนการของ10 โดยไม่คำนึงถึงย่านของผลลัพธ์และ setpoint

3.14 การออกแบบระบบควบคุม

ในการออกแบบระบบควบคุมนั้น ปัญหาหนึ่งที่สำคัญก็คือการเลือกตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบตามที่ต้องการ ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 ทฤษฎีคือทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม, ทฤษฎีการควบคุมแบบใหม่ และทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมพีชคณิต

โดยทฤษฎีการออกแบบดั้งเดิม (Classical Control Theory) นั้นจะทำการออกแบบตัวควบคุมแบบวงเปิด(Open Loop)โดยจะใช้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแทนระบบควบคุมที่ทำการออกแบบ ซึ่งในชั้นแรกนั้นจะสมมุติตัวควบคุมตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นมาก่อนจากนั้นจึงหาฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของระบบกับตัวควบคุม และนำฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดที่ได้มาตรวจสอบว่าได้คุณสมบัติตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการหรือไม่ หากคุณสมบัติที่ได้ไม่เป็นที่หน้าพอใจต้องเปลี่ยนตัวควบคุมและทำการออกแบบใหม่จนกว่าจะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงเปิดที่มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยวิธีที่ใช้ออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการนี้ก็มีอาทิเช่น การออกแบบตัวควบคุมโดยตรวจสอบผลตอบสนองทางความถี่ (frequency Response), การออกแบบด้วยวิธีทางเดินราก (Root Locus Method) และเนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมด้วยทฤษฎีนี้จะใช้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนในการออกแบบซึ่งในบางครั้งนั้นฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ใช้ในการออกแบบอาจจะไม่เที่ยงตรงอันเนื่องมาจากมีโพลและซีโร่อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันทำให้ระบบนั้นไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) และไม่สามารถสังเกตุได้ (Unobservable)

ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชคณิต(Algebraic Approach) วิธีนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงปิดและตัวควบคุมก่อน จากนั้นค่าพารามิเตอร์อื่นๆของฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงปิดและตัวควบคุมสามารถหาได้จากการออกแบบ

ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบใหม่ (Modern Control Theory) จะทำการออกแบบตัวควบคุมแบบวงปิด (Closed Loop) โดยขั้นแรกนั้นจะนำเงื่อนไขที่กำหนดต่างๆมาคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดก่อนและหาตัวควบคุมจากฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด จากนั้นทำการตรวจสอบระบบควบคุมว่าทำงานภายใต้เงื่อนไขตามที่ต้องการหรือไม่ถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการต้องกลับไปแก้ไขฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดและหาตัวควบคุมใหม่จนกว่าจะได้ตัวควบคุมที่พอใจ วิธีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวิธีนี้ก็มีอาทิเช่น การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีวางโพล (Pole Placement Method), การออกแบบตัวควบคุมที่ดีที่สุด (Optimal Control) และในการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีนี้จะใช้สมการในรูปแบบของสเตท-สเปซ (State-Space)แทนระบบควบคุมซึ่งการแทนระบบควบคุมให้อยู่ในรูปแบบสมการสเตท-สเปซ (State-Space) นั้นจะมีความเที่ยงตรงและเหมาะสมในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

3.15 การออกแบบ PID ด้วยวิธี Individual Channel Design (ICD)

ICD เป็นการออกแบบหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในตัวควบคุมป้อนกลับที่มีตัวแปรสองตัวแปร ในเทอมของการพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ที่มีต่อระบบ

ซึ่งเป็นการออกแบบที่เป็นการประยุกต์ให้มีความเหมาะสม และมีความยืดหยุ่นกับระบบ, และเป็นจุดเริ่มต้นของการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับที่อ้างอิงถึงระบบที่มีผลกระทบต่อกัน; จึงเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเฉพาะของระบบ , คุณสมบัติที่แสดงถึงความไม่แน่นอนของกระบวนการ , และเป็นการออกแบบระบบควบคุมป้อนกลับที่มีหลายตัวแปรให้สามารถควบคุมกระบวนการได้เอง . โดยสามารถแสดงการทำงาน ที่หนึ่งจุดของการทำงาน หรือจุดอื่น ๆ ที่สามารถควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15.1 ทฤษฎี

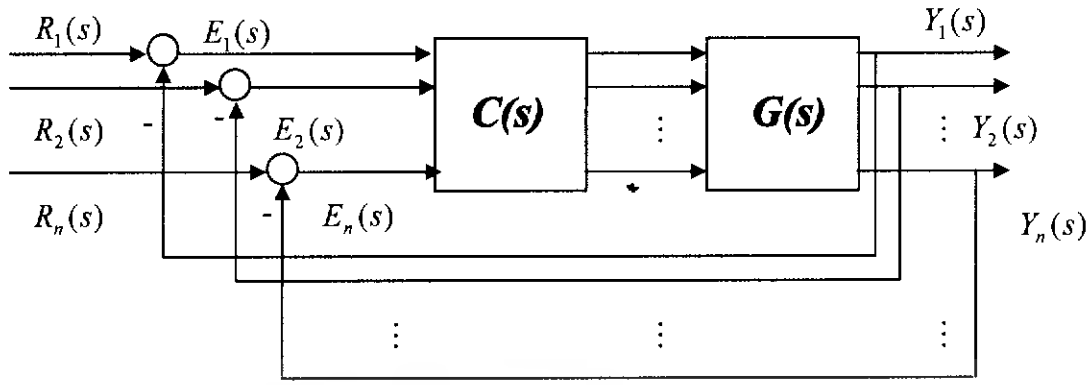
การควบคุมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการใช้งานในปัจจุบัน ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีอินพุต และเอาท์พุทหลายตัวแปรสามารถที่จะจำแนกโครงสร้างได้เป็นสองแบบตามที่ได้กล่าวมา คือ ตัวควบคุมแบบไม่แยกอิสระ (centralized) และตัวควบคุมแบบแยกอิสระต่อกัน (decentralized) ใน ทางปฏิบัตินั้นตัวควบคุมแบบแยกอิสระจะได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานสำหรับควบคุมกระบวนการ MIMO มากกว่า เนื่องจากโครงสร้างของตัวควบคุมเป็นแบบ Matrix Diagonal ซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่า จึงง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้งานและทำการออกแบบได้ง่ายกว่าตัวควบคุมแบบไม่แยกอิสระ เพราะว่าตัวควบคุมแบบไม่แยกอิสระมีโครงสร้างที่เป็นแบบ Full Matrix ดังนั้นในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังนี้ จะต้องเลือกใช้โครงสร้างของตัวควบคุมแบบแยกอิสระ และตัวควบคุมที่ใช้จะเป็นแบบ PID โดยพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะได้จากการออกแบบด้วยวิธี ICD

รูปแบบของโครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบแยกอิสระสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.17 โดยที่ $G(s)$ คือเมตริกซ์ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ และ $C(s)$ คือเมตริกซ์ของตัวควบคุมแบบแยกอิสระ ซึ่ง $C(s)$ นั้นจะเป็นเมตริกซ์แบบจัตุรัสมีขนาดเท่ากับจำนวนอินพุตของกระบวนการ ในขณะที่ $G(s)$ ไม่จำเป็นต้องเป็นเมตริกซ์จัตุรัสก็ได้ ซึ่งอาจจะมีจำนวนอินพุตที่มากกว่าหรือน้อยกว่าจำนวนเอาท์พุตก็ได้ แต่ในกรณีนี้จะกำหนดให้ $G(s)$ เป็นเมตริกซ์จัตุรัสโดย $G(s)$ และ $C(s)$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) & \cdots & G_{1n}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) & \cdots & G_{2n}(s) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ G_{n1}(s) & G_{n2}(s) & \cdots & G_{nn}(s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$C(s) = \begin{bmatrix} G_{c1}(s) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & G_{c2}(s) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & G_{cn}(s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.17 โครงสร้างระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบแยกอิสระ

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบแยกอิสระสำหรับระบบควบคุมนั้น จะต้องทำการเลือกจับคู่อินพุตและเอาท์พุต ที่เหมาะสมในการควบคุมและการออกแบบตัวควบคุมจะทำการออกแบบสำหรับแต่ละวงรอบเอาท์พุตแยกจากกัน

3.15.2 โครงสร้างระบบควบคุมสำหรับกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง

กระบวนการระดับน้ำ 4 ถังเป็นกระบวนการแบบสองอินพุต - สองเอาท์พุต ซึ่งสามารถเลื่อนตำแหน่งของซีโร่ไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของระนาบ S ได้ โดยการปรับตำแหน่งวาล์ว α_1 และ α_2 ซึ่งก็คือกระบวนการนี้สามารถเลือกโหมดการทำงานให้เป็นแบบเฟสต่ำสุด หรือเฟสไม่ต่ำสุดก็ได้

โดยมีเมตริกฟังก์ชั่นถ่ายโอนของกระบวนการคือ

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix} \tag{3}$$

สำหรับพารามิเตอร์อินพุตอ้างอิงและผลของเอาท์พุตคือ

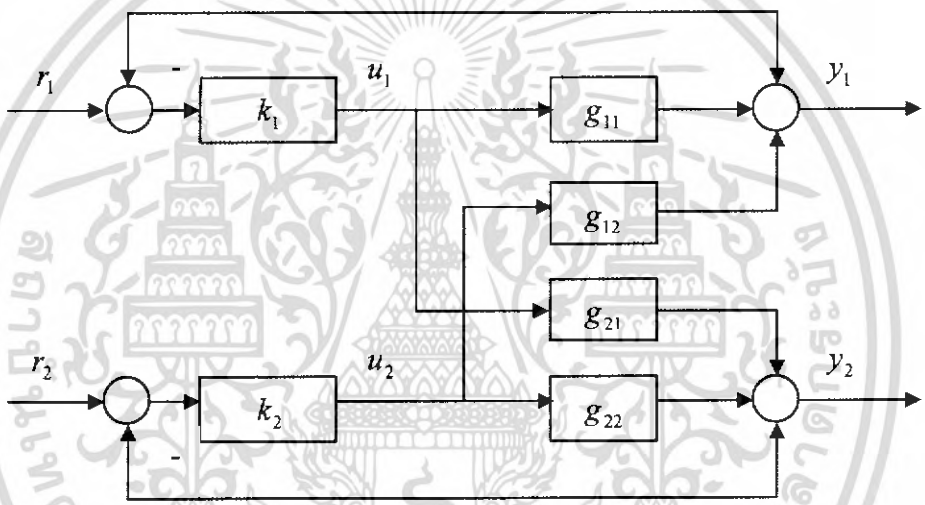
$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1ref} \\ h_{2ref} \end{bmatrix} \qquad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

และตัวควบคุมหลายตัวแปร, จะประกอบด้วยพารามิเตอร์เดี่ยวจำนวนสองตัว คือ $k_i \quad (i = 1, 2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K(s) = \begin{bmatrix} k_1(s) & 0 \\ 0 & k_2(s) \end{bmatrix} \tag{5}$$

ผลที่ได้จากวงรอบการป้อนกลับหลายตัวแปร เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอินพุตคือ u_i และตัวแปรอ้างอิงคือ r_i สามารถกำหนดค่าตัวแปรเอาท์พุต คือ $y_i \ (i=1,2)$ สำหรับกระบวนการดังกล่าว ซึ่งตัวแปรของการชดเชย k_i ใช้ควบคุมสัญญาณ ได้จากวงรอบการป้อนกลับตัวแปรเอาท์พุต y_i กับตัวแปรค่าอ้างอิง r_i ค่าที่ได้จากตัวชดเชย คือ สัญญาณควบคุม u_i อยู่ภายใต้ความสามารถในการคาดการล่วงหน้า , นอกเหนือจากการสูญเสียของสัญญาณต่าง ๆ ในการแยกวงรอบของการควบคุม สำหรับกระบวนการสองอินพุตสองเอาท์พุต ให้เป็นวงรอบการควบคุมหนึ่งอินพุตหนึ่งเอาท์พุต (SISO) จำนวนสองลูปนั้น แต่ละลูปที่ประกอบเข้าด้วยกันเรียกว่า แชนแนล, C_i



ภาพที่ 3.18 ระบบที่สมบูรณ์

สำหรับระบบที่มีหลายตัวแปร เราสามารถกำหนดให้อยู่ในรูปของตัวแปรเมตริกซ์ ดังนั้น วงรอบของการป้อนกลับสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y = (I - GK)^{-1} GKR = T_1 R = \begin{pmatrix} \dfrac{c_1(s)}{1+c_1(s)} & \dfrac{g_{12}(s)}{g_{22}(s)}\dfrac{h_2(s)}{1+c_1(s)} \\ \dfrac{g_{21}(s)}{g_{11}(s)}\dfrac{h_1(s)}{1+c_2(s)} & \dfrac{c_2(s)}{1+c_2(s)} \end{pmatrix} \tag{6}$$

เมื่อ

$$C_i(s) = k_i(s) g_{ii}(s) \left(1 - \gamma(s) h_j(s)\right) \tag{7}$$

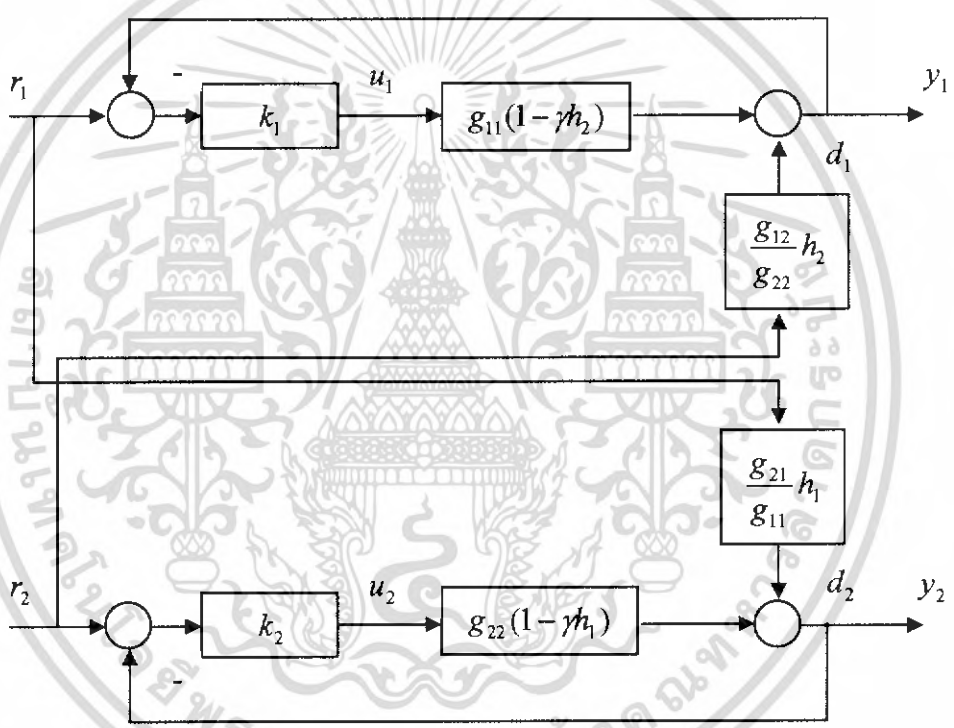
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นลูปเปิด ของวงรอบการควบคุมหนึ่งอินพุตหนึ่งเอาท์พุต (SISO) ของแต่ละแชนแนล, คือ

$$\gamma(s)=\frac{g_{12}(s)g_{21}(s)}{g_{11}(s)g_{22}(s)} \tag{8}$$

สำหรับโครงสร้างฟังก์ชั่นของวงรอบการควบคุมหลายตัวแปรในโดเมนรูปแบบของความถี่และลักษณะความสัมพันธ์ภายในที่มีผลกระทบต่อกันของกระบวนการ , และ

$$h_j(s)=\frac{k_j(s)g_{jj}(s)}{1+k_j(s)g_{jj}(s)} \tag{9}$$



ภาพที่ 3.19 รูปแบบสองแชนแนล

ลักษณะของผลกระทบจากตัวชดเชย k_j ในวงรอบการควบคุม $i:\text{th}\ (i\neq j)$ ผลที่ได้จากในข้างต้นสามารถที่จะแสดงตามโครงสร้างในภาพที่ 3.19 ในบางครั้งปัญหาของการควบคุมของหลายตัวแปรที่อยู่ภายในวงรอบการป้อนกลับด้วยการใช้ตัวชดเชย นั้นจะต้องออกแบบให้มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของแต่ละแชนแนลที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในแต่ละแชนแนล C_i จะขึ้นอยู่กับผลกระทบจากการรบกวน d_i $(i=1,2)$ และผลกระทบที่อาจจะเกิดจากพฤติกรรมไม่เพียงแต่เฉพาะตัวชดเชยในแต่ละแชนแนลเอง ยังรวมถึงผลกระทบจากพฤติกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แชนแนล C_j ($j \neq i$); เมื่อขนาดของโครงสร้างฟังก์ชั่น $\gamma(s)$ นั้นมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง จะทำให้วงรอบของสัญญาณที่สัมพันธ์กันมีค่าต่ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าขนาดของโครงสร้างฟังก์ชั่น $\gamma(s)$ นั้นมีค่ามากกว่าหนึ่ง จะทำให้วงรอบของสัญญาณที่สัมพันธ์กันมีค่าสูงตามไปด้วย

สำหรับโครงสร้างของตำแหน่งโพลและตำแหน่งซีโร่ในรูปแบบของสองแชนแนล, ซึ่งการตั้งสมมติฐานไม่เกี่ยวกับการยกเลิกตำแหน่งโพลและตำแหน่งซีโร่ที่เกิดขึ้นภายใน $\gamma(s)$, ดังตารางที่1 ในสมการที่ 8 สามารถบอกถึงตำแหน่งโพลและตำแหน่งซีโร่ของ $\gamma(s)$ โดยที่ g_{12} กับ g_{21} เป็นตำแหน่งของซีโร่ และ g_{11} กับ g_{22} จะเป็นตำแหน่งของโพลนั่นเอง อย่างไรก็ตามตำแหน่งซีโร่ของ h_2 ในสมการที่ 9 ประกอบด้วยตำแหน่งซีโร่ของ g_{22} ไม่เกี่ยวกับ g_{11}, ซึ่งตำแหน่งโพลในรูปแบบของ ($1-\gamma h_2$) จะต้องมีการยกเลิกตำแหน่งซีโร่ของ g_{11} ดังนั้น , ตำแหน่งซีโร่ของ $g_{11}(1-\gamma h_2)$ จะเป็นซีโร่ของ ($1-\gamma h_2$) และตำแหน่งโพลของ $g_{11}(1-\gamma h_2)$ ก็จะเป็นซีโร่ของ g_{11} , g_{12} , g_{21} และ h_2 ซึ่งโครงสร้างตำแหน่งโพลและซีโร่ของ C_2 ก็จะมีลักษณะไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งโพลและตำแหน่งซีโร่ของวงรอบเปิดแต่ละแชนแนล

	Zeros	**Poles**
Channel C_1	Zeros of $(1-\gamma h_2)$	Poles of g_{11} , g_{12} , g_{21} , h_2
Channel C_2	Zeros of $(1-\gamma h_1)$	Poles of g_{22} , g_{12} , g_{21} , h_1

การออกแบบ Individual Channel Design ในระบบที่มีตัวแปรสองอินพุตสองเอาท์พุตที่มีผลกระทบต่อกันที่ถูกต้อง โดยไม่ต้องคำนึงถึงอันดับของผลกระทบที่มีต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ที่มาและฟังก์ชันการทำงานบน LabVIEW

4.1 LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูปนี้เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตซ์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์

พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ผู้ใช้ต้องการหลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

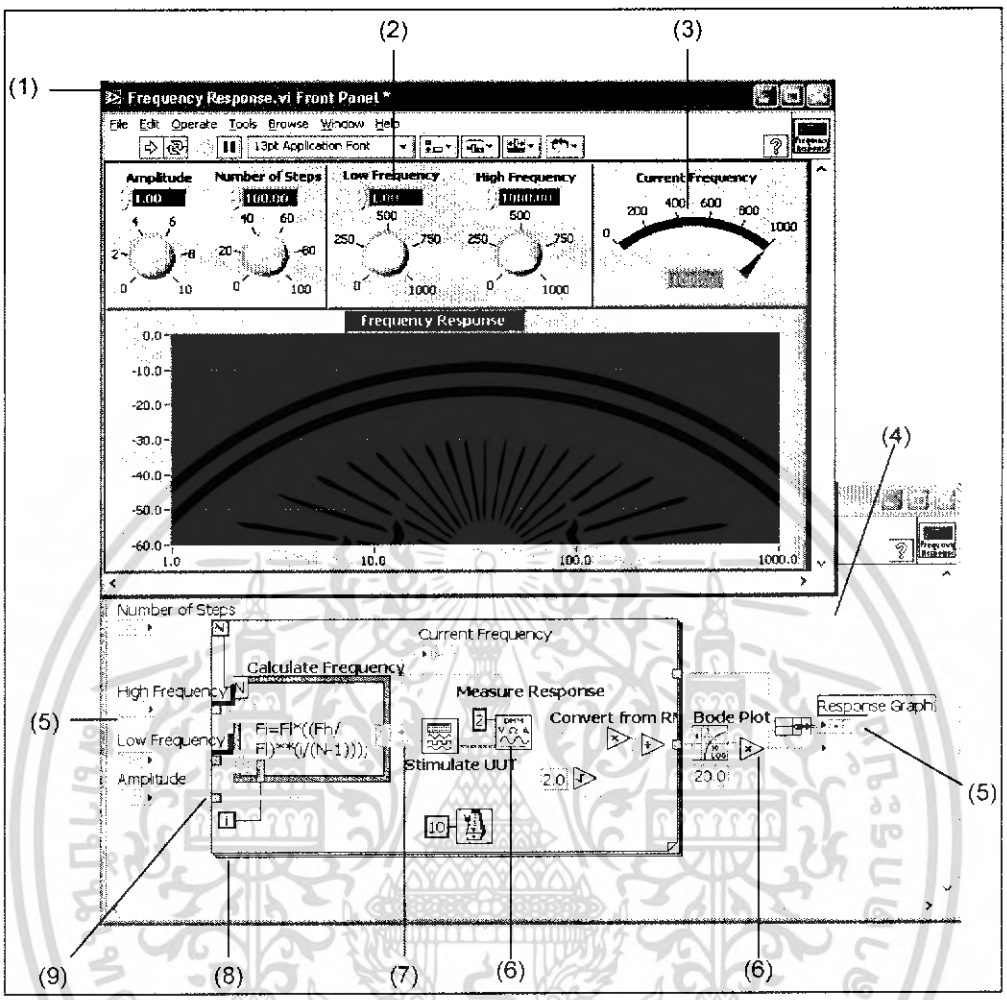
1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Millimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลใน Hard disk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW (LabVIEW Environment)



ภาพที่ 4.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW

อธิบายจากรูปตามหมายเลข

1. Front Panel คือส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้เห็น)

2. Control คือ สิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูป Numeric control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)

3. Indicator คือ เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้งานเห็นซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากระบบหรือ Application ที่เราพัฒนา ในรูปเป็นตัวอย่างของ Numeric Indicator (ตัวแสดงผลแบบตัวเลข)

4. Block Diagram คือ ส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Terminal จะมีสองรูปแบบ คือ จุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)

6. Icons คือ ส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ SubVI ซึ่งหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านจากอีก VI หนึ่ง

7. Wires คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล / จุดสิ้นสุด (Sink)

8. Structures คือ ส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For loop

9. Nodes คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI , Function หรือ Structure

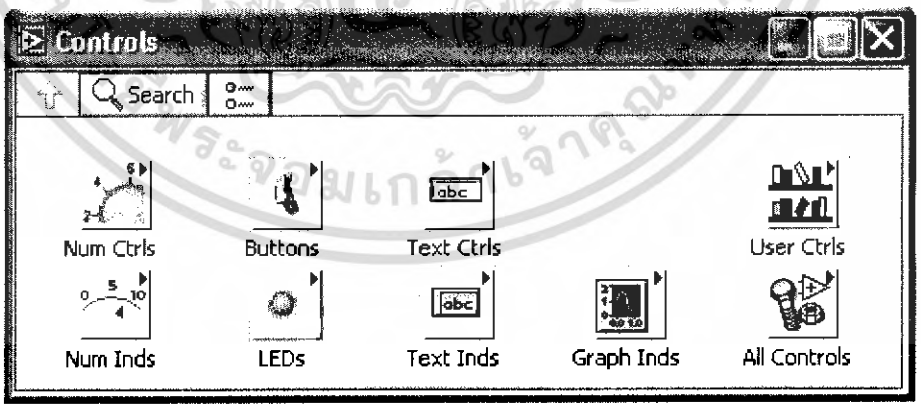
4.2.1 การใช้งานโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก LabVIEW

โปรแกรมที่สร้างขึ้นโดย LabVIEW จะเรียกว่า VI ซึ่งย่อมาจาก Virtual Instrument จะมีส่วนที่ควบคุม (Control) และส่วนแสดงผล (Indicator) คล้ายคลึงกับเครื่องมือวัดโดยทั่วไป เช่น มีปุ่มปรับค่า , ปุ่มเปิดปิด และกราฟแสดงผล เป็นต้น

4.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI

4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel จะใช้ Controls Palette และ Tools Palette LabVIEW มี **Controls Palette** ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

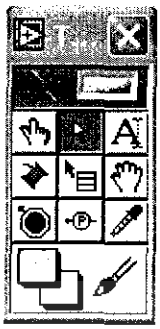


ภาพที่ 4.2 Control Palette

ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่าง ๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี Control และ Indicator ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

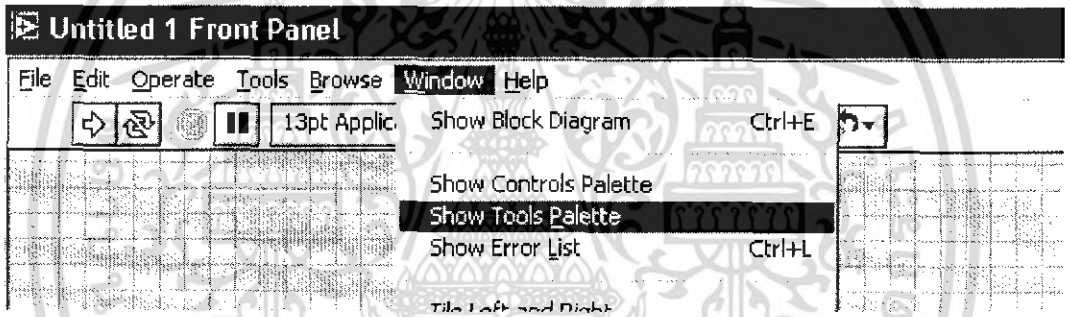
4.3.2 *Tools Palette สำหรับการออกแบบ Front Panel*



Tools Palette คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ Front Panel และ Block Diagram ในส่วนนี้จะกล่าวถึง Tools Palette สำหรับออกแบบ Front Panel

ภาพที่ 4.3 Tool palette

วิธีเปิด Tools Palette มี 2 วิธีคือ เปิดโดย Click ที่ Window >>Show Tools Palette

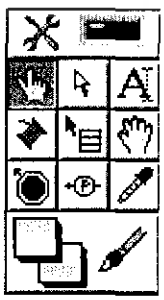


ภาพที่ 4.4 วิธีเรียกใช้ Tool palette

หรือ Shift + Right click ในตำแหน่งที่ว่างของ Front Panel แล้วเลือก Tool โดย Click ที่ Tool ที่ต้องการหนึ่งครั้ง

Tool ที่ใช้บ่อย ๆ ในการออกแบบ Front Panel

4.3.2.1 Operate Value Tool

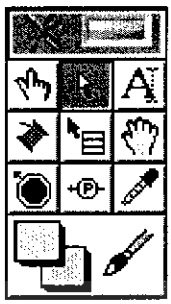


ใช้เปลี่ยนแปลงค่าของ Controls หรือ Indicators โดยการ Click Operating Toolแล้วเปลี่ยนไปที่ค่าของ Control หรือ Indicator ที่เราต้องการเปลี่ยนแปลงค่า แล้ว Clickเพื่อเปลี่ยนค่า

ภาพที่ 4.5 Operate Value Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

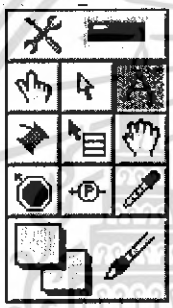
4.3.2.2 .Position/Size/Select Tool



ใช้สำหรับ (Select) หรือจัดวางตำแหน่ง (Position) ใหม่ หรือการปรับขนาด (Size) ของ Controlหรือ Indicator

ภาพที่ 4.6 Position/Size/Select Tool

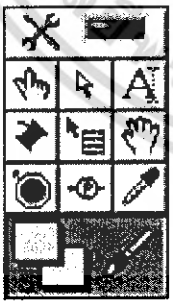
4.3.2.3 Edit Text Tool



ใช้นำการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษรหรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel

ภาพที่ 4.7 Edit Text Tool

4.3.2.4 Set Color Tool

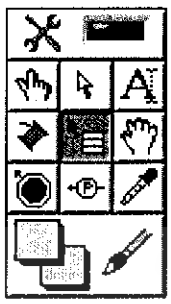


ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งที่เราต้องการเปลี่ยนสี ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีทั้งสีด้านบน (Foreground) ของสิ่งใด ๆ และสีพื้น (Background) ถ้าสิ่งนั้นมี Background

ภาพที่ 4.8 Set Color Tool

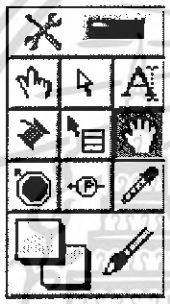
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 Tool อื่น ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel มีดังต่อไปนี้



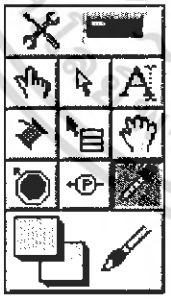
Object Shortcut Menu Tool ใช้สำหรับแสดงและเลือก Menu ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ บน Front Panel และ Block Diagram ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะคลิกขวาแทนการเลือก Tools นี้

ภาพที่ 4.9 Objeet Shortcut Menu Tool



Seroll Window Tool ใช้สำหรับการเลื่อน (Scroll Window) ทั้ง Front Panel และ Block Diagram

ภาพที่ 4.10 Scroll Window Tool



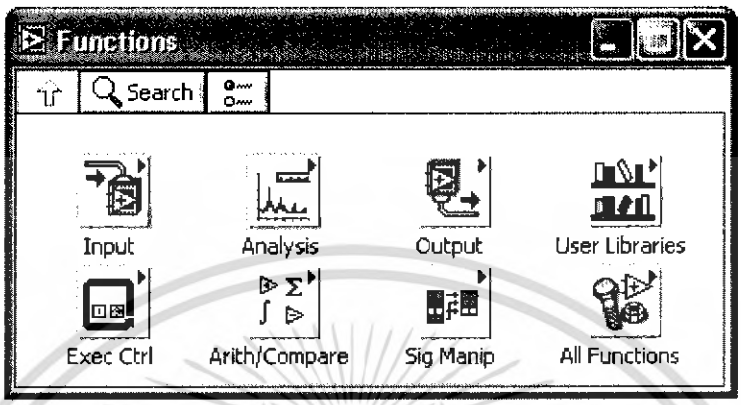
Get Color เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคัดลอก (Copy) สีที่เราเลือกจากวัตถุหนึ่งเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนสีของอีกวัตถุหนึ่งให้สีเหมือนกับวัตถุที่เรา Copy สีมา โดยใช้ Color Tool

ภาพที่ 4.11 Get Color

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram

LabVIEW ใช้ Functions Palette ซึ่งจะมี Function และ SubVI ต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดยFunction และ SubVI จัดเป็นกลุ่ม ๆ เช่น Numeric Function จะมี Function ต่าง ๆ เกี่ยวกับตัวเลข เช่น บวก ลบ คูณ หาร

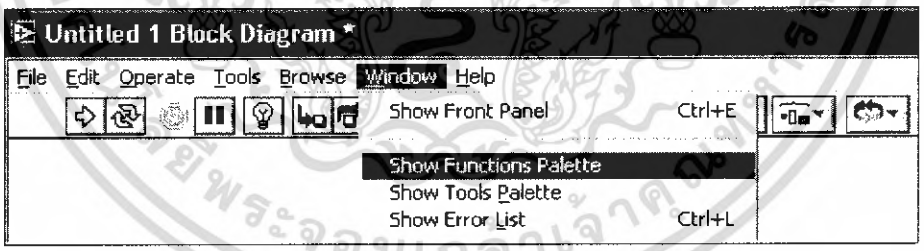


ภาพที่ 4.12 Functions Palette

การเลือกแถบ Function หรือ Functions Palette ขึ้นมาแสดงมีได้ 2 วิธี เช่นเดียวกับ Front Panel

โดยการ

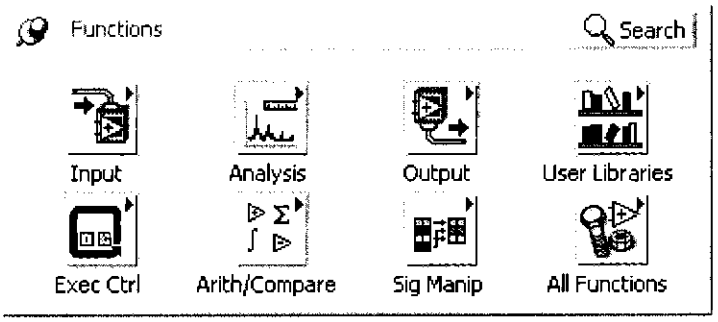
1. Click ที่เมนู Window >>Show Functions Palette ของBlock Diagram



ภาพที่ 4.13 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่1

2. Right-Click ที่ตำแหน่งว่างบน Block Diagram และ Click ที่หมุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

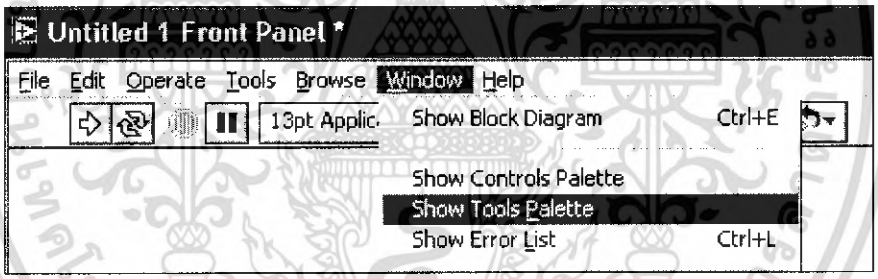


ภาพที่ 4.14 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2

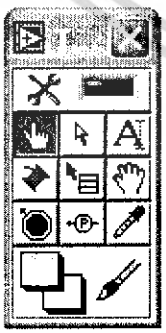
การเลือก Function มาใช้งานใช้วิธีเดียวกันกับการเลือก Control หรือ Indicator จาก Front Panel คือ Click ฟังก์ชันที่ต้องการซึ่ง Cursor จะเปลี่ยนเป็นรูปมือหลังจากนั้นให้เลื่อน Cursor ไปที่ Block Diagram ตำแหน่งที่ต้องการ และ Click อีกครั้งหนึ่ง

4.4.1 Tools Palette สำหรับ Block Diagram

เปิด Tools Palette โดยการ Click ที่ Window>> Show Tools Palette หรือกด Shift + Right Click แล้ว Click เลือก Tool ที่ต้องการใช้



ภาพที่ 4.15 วิธีการเปิด Tools Palette



(ถ้า Automatic Tools Selection เปิดอยู่ (LED) เป็นสีเขียว ให้ Click เพื่อปิด Automatic Tools Selection ซึ่งมีเฉพาะใน Version 6.1 ขึ้นไป) Tool ที่ใช้มีดังนี้

ภาพที่ 4.16 Tool ที่ใช้ใน Block Diagram

1 Operating Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ใน Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Position/Size/Select ใช้ในการเลือก/เคลื่อนย้าย/จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบน Block Diagram

3. Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel

4 Wiring Tool ใช้ในการโยงสาย (Wiring) ระหว่าง Terminal หรือ Node ซึ่งสายที่โยงนี้จะเป็นเส้นทางเดินของข้อมูล

4.5 Front Panel Toolbar

ภาพที่ 4.17 Front Panel Toolbar

โปรแกรมสามารถ Run ได้เมื่อ Click ปุ่มนี้บน Toolbar

โปรแกรมกำลัง Run อยู่

โปรแกรมกำลัง Run อยู่ SubVI

โปรแกรม Error ถ้า Click จะแสดงรายการ Error List

โปรแกรมสามารถ Run แบบต่อเนื่อง (Continuous) เมื่อ Click ปุ่มนี้

กำลัง Run อย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง Click ปุ่ม Stop/Pause

เมื่อโปรแกรมกำลัง Run อยู่สามารถหยุดการทำงานโปรแกรมโดยการ Click ปุ่ม Stop

หยุดชั่วคราว เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งสามารถ Run ต่อไปได้เมื่อ Click ปุ่มหรือกดปุ่ม อีกครั้ง

13pt Application Font เลือกหรือแก้ไขรูปแบบอักษรที่ต้องการ

จัดแนวของสิ่งต่าง ๆ (Objects)

จัดระยะทางระหว่างสิ่งต่าง ๆ (Objects)

ปรับขนาดสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บน Front Panelหลาย ๆ สิ่ง ซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดลำดับของ Objects ที่วางซ้อนกัน

แสดง Context Help

4.6 Block Diagram Toolbar

สิ่งที่เพิ่มเติมจาก Front Panel Toolbar ในส่วนของ Block Diagram มีดังต่อไปนี้

Highlight Execution เมื่อ Click แล้ว ในการ Run Program จะทำให้โปรแกรม Run

ช้าลงเพื่อให้เราเห็นถึงการไหลของข้อมูล และทำงานของโปรแกรม

เมื่อ Click แล้วจะออกจากโหมด (Mode) ที่โปรแกรม Run ช้า (Highlight Execution)

เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง และจะลงไปถึงคำสั่งของ SubVI

เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง แต่จะไม่ลงไปถึงคำสั่งของ SubVI

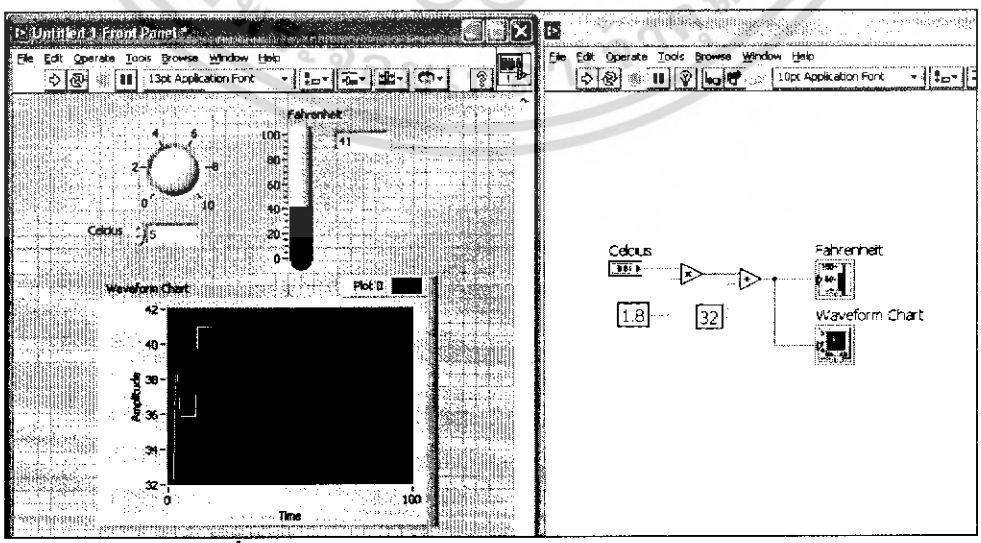
ให้ Run จนออกจาก Loop และ SubVI

4.7 การพัฒนาโปรแกรม

4.7.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย LabVIEW จะทำงานโดยอาศัยหลักการของ Dataflow ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานเมื่อมีข้อมูล (Input)
2. เมื่อฟังก์ชันหรือ SubVI ทำงานเสร็จจะให้ข้อมูล (Output) ไปยังฟังก์ชันหรือ SubVI อื่นๆที่ต้องการข้อมูล
3. ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยสาย (Wire)



ภาพที่ 4.18 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

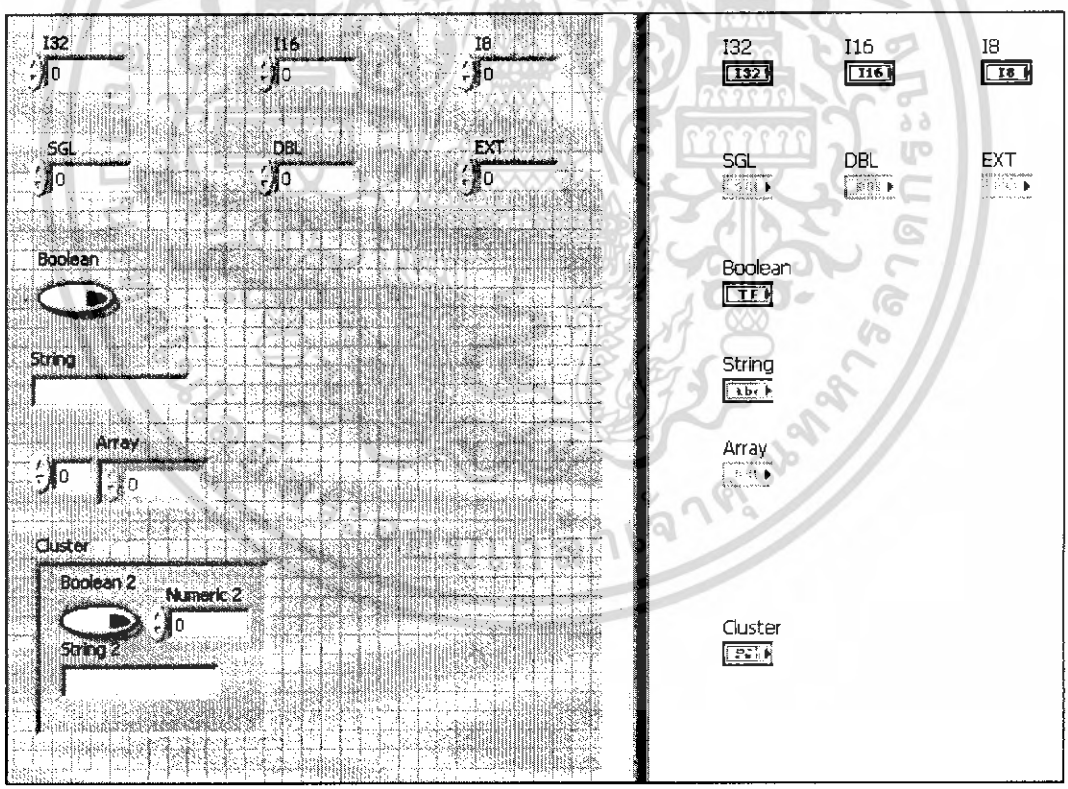
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังนี้

1. ฟังก์ชันคูณ (Multiply) จะทำงานก่อนฟังก์ชันบวก เพราะฟังก์ชันคูณมีข้อมูล (Input) พร้อม แต่ฟังก์ชันบวกต้องรอ Output จากฟังก์ชันคูณ (หลักการ Dataflow ข้อที่1)
2. หลังจากฟังก์ชันคูณทำงานเสร็จจะส่งผ่านข้อมูลไปยังฟังก์ชันบวก (หลักการ Dataflow ข้อที่ 2 และ 3)
3. ฟังก์ชันบวกทำงาน (หลักการ ข้อที่1) เพราะมีข้อมูลพร้อม
4. หลังจากฟังก์ชันบวกทำงานจะส่งผลลัพธ์ไปให้ Terminal ทั้ง 2 คือ Fahrenheit และ Waveform Chart พร้อมกัน (หลักการ ข้อที่ 2 และ 3)

4.7.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล)

เช่นเดียวกันกับภาษาโปรแกรมอื่นๆ เช่น ภาษา C ที่มีประเภทของข้อมูล ประเภทของข้อมูลใน LabVIEW ที่สำคัญจะประกอบด้วย Numeric, Boolean, String และ Waveform ซึ่งแต่ละรูปแบบของประเภทข้อมูลจะมีการแยกสีให้แตกต่างกัน (Color Code)

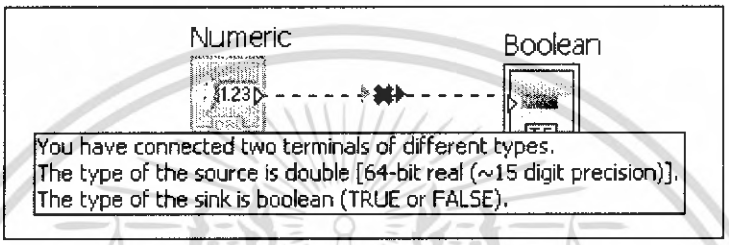


ภาพที่ 4.19 Data Type (ประเภทของข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

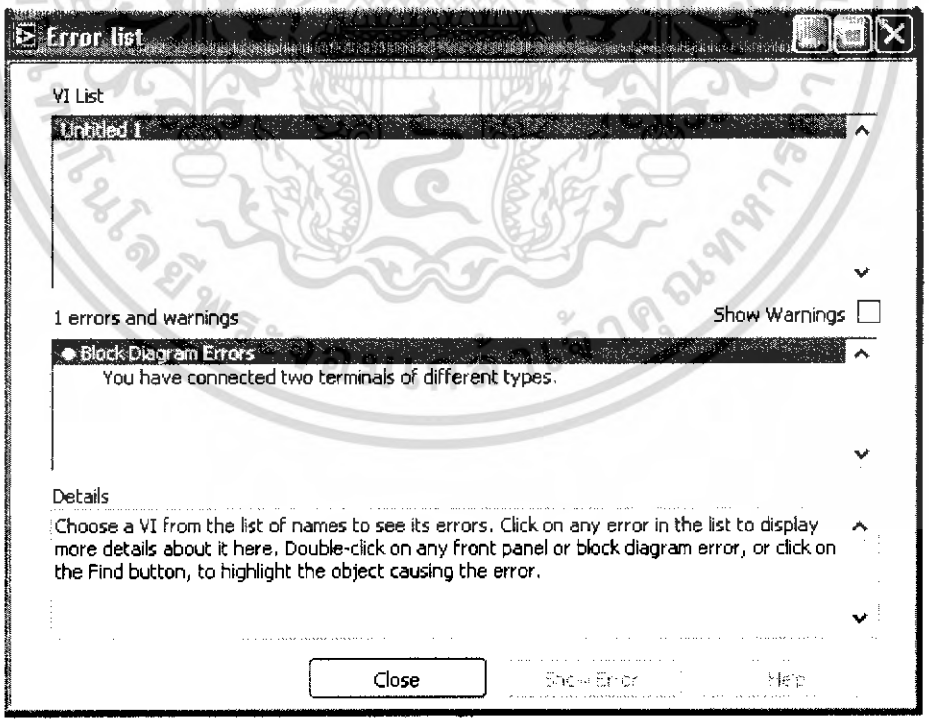
ซึ่งแต่ละประเภทของข้อมูลจะมีฟังก์ชันที่แยกตามประเภทกัน รวมทั้งสีของ (Wiring) จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล

ประเภทของข้อมูลมีความสำคัญในการเขียนโปรแกรม เพราะฟังก์ชัน หรือ SubVI รับรูปแบบ Input และให้ Output แตกต่างกันไป เช่น ฟังก์ชั่นคูณรับข้อมูลประเภทตัวเลขหรือ Array ของตัวเลข ซึ่งถ้านำเอาข้อมูลประเภทตัวอักษร (String Data Type) มาป้อนที่ด้าน Input Terminal แล้ว LabVIEW จะแสดงเส้น (Wire) เป็นเส้นประ ซึ่งเราสามารถดูคำอธิบายได้โดยการเลื่อน Cursor ไปเหนือเส้นประนั้น



ภาพที่ 4.20 การ Wiring ที่ผิด

หรือ Click ที่ปุ่ม Run เพื่อให้แสดง Error List

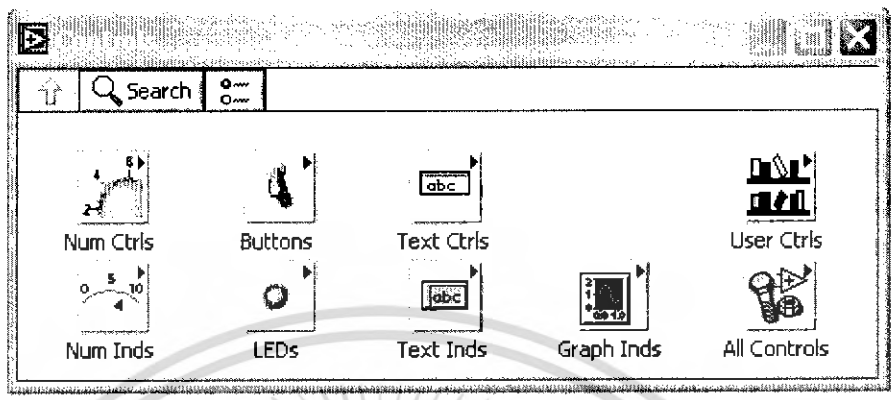


ภาพที่ 4.21 Error List

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

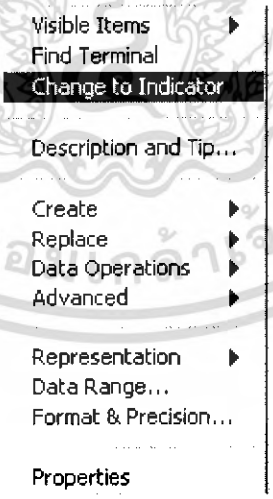
4.8 Numeric Data type

4.8.1 Numeric Control และ Indicator



ภาพที่ 4.22 Numeric Control และ Indicator

LabVIEW มีรูปแบบการรับข้อมูลเข้า (Input = Control) และแสดงผล (Output = Indicator) ชนิดแบบตัวเลขหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละตัวถูกกำหนดเป็น Control หรือ Indicatorไว้แล้ว แต่เราสามารถเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator หรือจาก Indicator เป็นControl ได้โดยการ Right Click ที่ Numeric Control หรือ Indicator นั้นแล้วเลือก Change to Control หรือ Change to Indicator

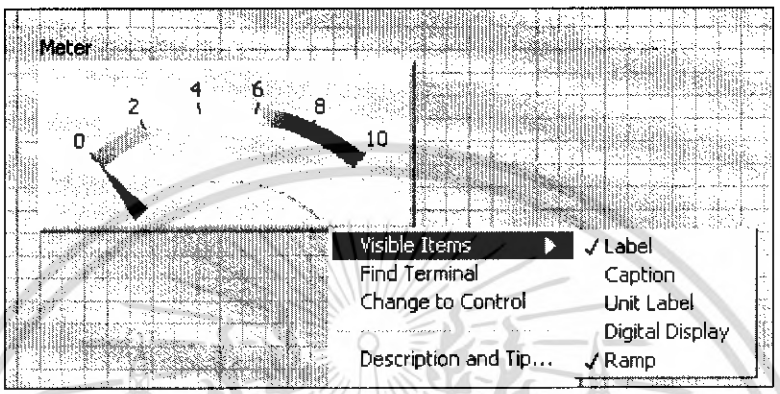


ภาพที่ 4.23 การเปลี่ยน Change to Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีกที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการ Right – Click ที่สิ่งนั้น (Object) แล้วเลือกจาก Short Cut Menu ของ Object นั้น ๆ หรือเลือกจาก เมนู Properties ซึ่งเริ่มมีใน LabVIEW ตั้งแต่ เวอร์ชั่น 7.0 ขึ้นไป คุณสมบัติที่สำคัญคือ

- Visible Item>>Digital Display เพิ่มการแสดงผลเป็นตัวเลข เช่น แสดงตัวเลขของค่า Meter Indicator



ภาพที่ 4.24 Visible Item

- Change to Control/Change to Indicator เป็นการเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator เป็น Control
- Representation เป็นการเลือกรูปแบบความละเอียดของตัวเลขในการใช้งานดังต่อไปนี้
- Data Range เป็นการกำหนดช่วงค่าที่จะใช้งาน เช่น สามารถกำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดที่จะให้ผู้ใช้ป้อนอยู่ระหว่าง 0.00-100.00
- Scale ปรับรูปแบบสเกลตามความเหมาะสมในการใช้งาน
- Format และ Precision เป็นการกำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบและจำนวนตัวเลขทศนิยม ซึ่งสามารถเลือกให้แสดงผลแบบตัวเลขดังต่อไปนี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Represcntation) ของตัวเลขที่ใช้งานด้วย

รูปแบบของตัวเลขมีให้เลือกแสดงผลหลายรูปแบบ

Decimal: เลขฐานสิบ

Hexadecimal: เลขฐาน 16

Octal: เลขฐาน: 8

Binary: เลขฐาน: 2

Time and Date: รูปแบบเวลา

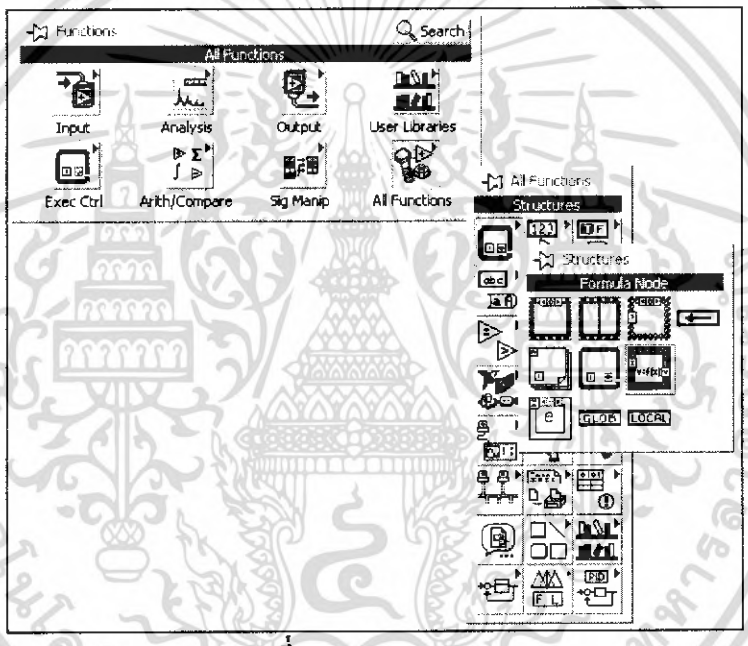
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 Numeric Functions

ฟังก์ชัน(Function) หรือ SubVI ที่เกี่ยวกับตัวเลขสามารถเลือกใช้ได้จาก Function Palette>>All Function Palette>>All Functions>>

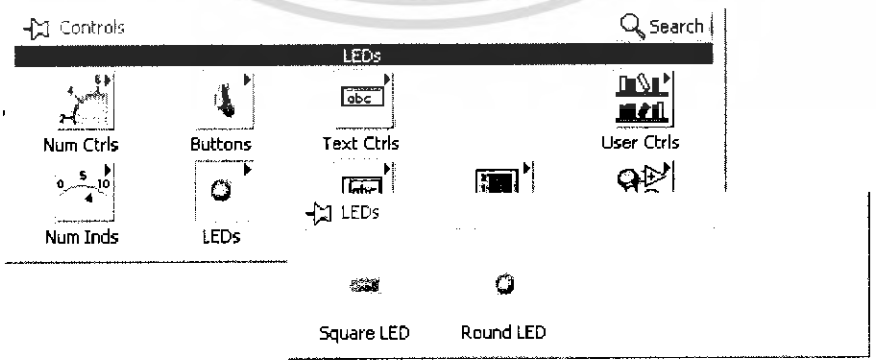
4.9 Formula Node

ในกรณีที่สมการคำนวณซับซ้อนมากขึ้น การใช้ฟังก์ชันตัวเลข (Numeric Function) หลายๆ ตัวมาต่อกันอาจทำให้การความเข้าใจการทำงานของสมการต่างๆยากขึ้นหรือเขียนโปรแกรมเร็วขึ้นถ้าเราเขียนเป็นสมการแบบ Text based ใช้ Formula Node ในการเขียนสมการแบบ Text based



ภาพที่ 4.25 Formula Node

4.10 Boolean Data type



ภาพที่ 4.26 Boolean Data type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boolean Controls และ Indicators เป็นรูปแบบ Input และ Output ซึ่งมีสองสถานะคือ เปิดกับปิด (On หรือ off) หรือ จริงกับเท็จ (True/False) นอกเหนือจากค่าจริงกับเท็จหรือเปิดกับปิดแล้ว LabVIEW สามารถกำหนดการทำงาน Switch Control ให้มีการทำงานทางกลศาสตร์คล้ายกับสวิตช์จริง

4.11 Sub VI

4.11.1 การสร้างและการเลือกใช้ Sub VI

การสร้าง Sub VI

Sub VI คือ VI ที่เราสร้างขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยสามารถเลือกใช้จาก VI อื่น ๆ SubVI คล้ายกับ Sub Routine หรือ Function ในภาษา Text based Programs

การสร้าง SubVI จะมี 2 วิธี คือ

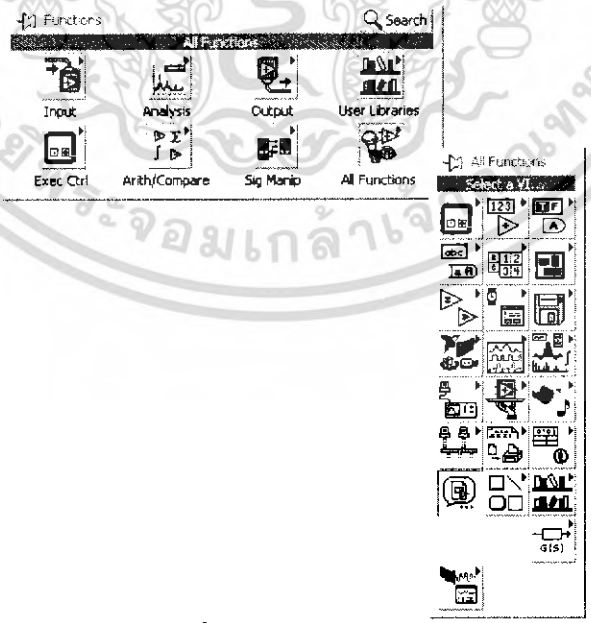
- การสร้างจาก VI ให้เป็น SubVI
- การสร้าง SubVI จาก VI ที่กำลังพัฒนาอยู่

4.11.2 การเรียกใช้ Sub VI

เราสามารถเรียก SubVI มาใช้ได้ 2 วิธี

- โดยการเปิด SubVI ที่เราต้องการเรียกใช้ตามปกติแล้ว Click ที่ Icon แล้วลากมาวางบน Block Diagram

- Click เลือก SubVI จาก Functions Palette >> All Functions >> Select a VI ...



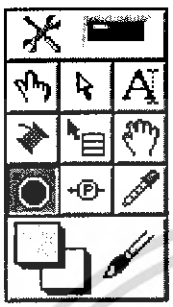
ภาพที่ 4.27 วิธีเลือก SubVI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 DEBUG

การ Debug VIคือ การตรวจสอบว่าการทำงาน VI เป็นไปตามที่เราได้ออกแบบไว้หรือว่ามีความผิดพลาดของการทำงานที่ใดบ้าง

Tool ที่ใช้สำหรับการDebugging VI



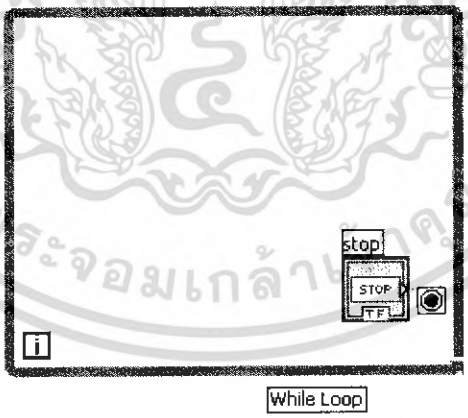
ภาพที่ 4.28 Set/Clear Breakpoint

Break Point Tool คือ จุดที่เรากำหนดว่าเมื่อโปรแกรม Run มาถึงจุดนี้ให้หยุดการทำงานเพื่อที่เราจะทำการตรวจสอบขั้นตอนการทำของโปรแกรม

Probe Tool คือ ข้อมูลที่เราต้องการดู ณ จุดต่างๆ กัน

4.13 While Loop

While Loop คือ การกำหนดให้ Code หรือ Program ใน Loop ทำงานซ้ำจนกระทั่ง Condition ของ While Loop เป็นไปตามที่กำหนด



ภาพที่ 4.29 While Loop

4.14 Wait (ms) และ Wait Until Next ms Multiple

ฟังก์ชันที่ใช้บ่อยใน While LoopหรือFor Loop คือ ฟังก์ชันที่กำหนดเวลาให้วนซ้ำทุกๆ มิลลิวินาที (Milliseconds / ms) คือ Wait (ms) และ Wait until Next ms Multiple

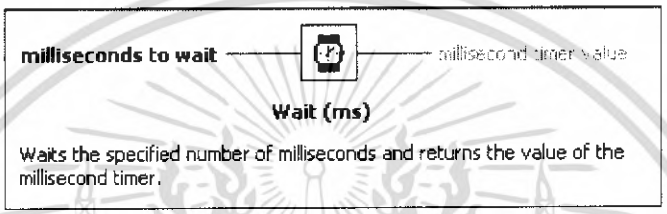
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างฟังก์ชัน Wait (ms) กับ Wait until Next ms multiple นี้คือ

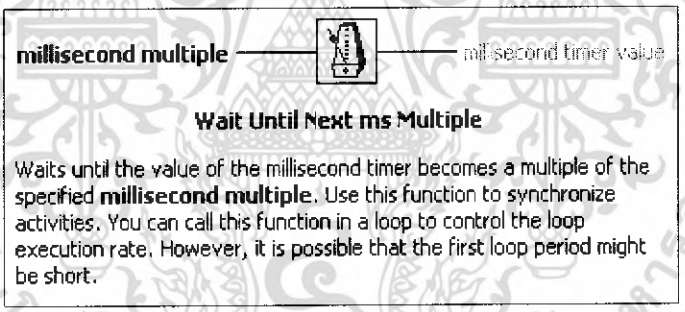
ฟังก์ชัน Wait (ms) จะรอตามจำนวนมิลลิวินาที (ms) ที่ป้อนเข้าไป เช่น จากรูปหลังจากทำงานในส่วนของ Code ใช้เวลา 10 ms แล้วจะรออีก 500 ms แล้วจึงจะวน Loop ใหม่ทำให้แต่ละ Loop จะใช้เวลา

10 ms+500 ms

ส่วนฟังก์ชัน Wait Until Next ms Multiple จากรูปสมมุติว่า Code ใน Loop ใช้เวลา 10 ms เช่นเดียวกัน แต่การรอจริง ๆ จะใช้เวลา 490 ms ก่อนที่จะวน Loop ใหม่ทำให้ในแต่ละ Loop ใช้เวลา 500 ms หรือ 10 ms ใน Code และ 490 ms สำหรับ Wait Until Next ms Multiple



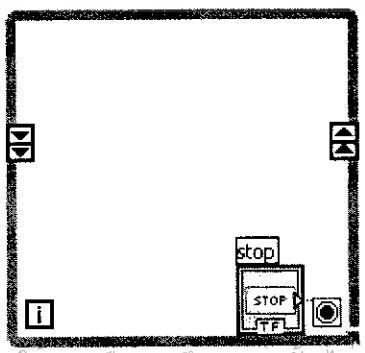
ภาพที่ 4.30 Wait (ms)



ภาพที่ 4.31 Wait Until ms Multiple

4.15 Shift Register

Shift Register หรือ Feedback Node ใช้ร่วมกับ While Loop หรือ For Loop สำหรับการเก็บค่าไว้เพื่อใช้ขึ้นการวนซ้ำครั้งต่อไป Shift Register สามารถสร้างได้โดย Right Click ที่ขอบของ For Loop หรือ While Loop



ภาพที่ 4.32 Shift Register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.16 Feedback Node

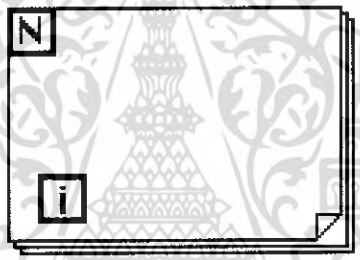
Feedback Node

ภาพที่ 4.33 Feedback Node

Feedback Node จะคล้ายกับ Shift Register แต่ใช้แทนกันในกรณีที่จะลดการลากสายที่ยาวและซับซ้อนและไม่มีการ Stack ของ Shift Register สามารถเปลี่ยน Feedback เป็น Shift Register ได้โดยการ Right Click ที่ Feedback Node แล้วเลือก Replace with Shift Register

4.17 For Loop

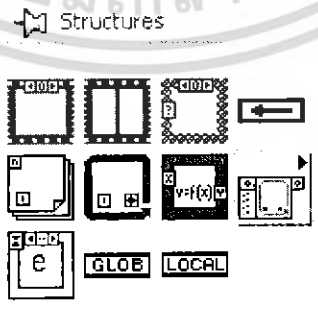
For Loop คล้ายกับ While Loop แต่ว่าจะใช้กำหนดว่าให้วนซ้ำจำนวนกี่ครั้ง



For Loop

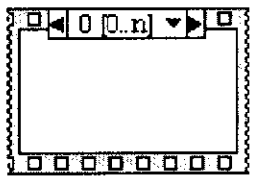
ภาพที่ 4.34 For Loop

4.18 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure



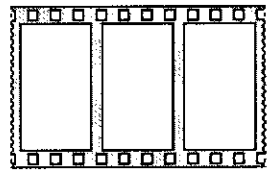
ภาพที่ 4.35 Structures Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Stacked Sequence Structure
[Stacked Sequence]

ภาพที่ 4.36 Stacked Sequence



Flat Sequence Structure
[Flat Sequence]

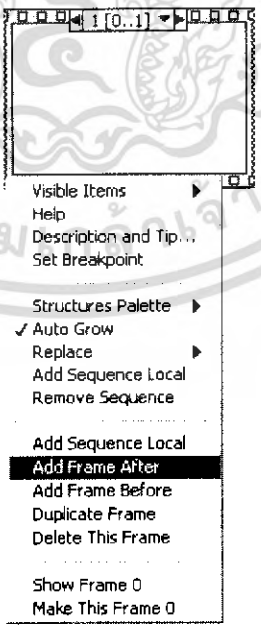
ภาพที่ 4.37 Flat Sequence

Sequence เป็นการควบคุมการไหลของโปรแกรมแบบตามลำดับ Frame คล้ายกับฟิล์มรูป ซึ่งโปรแกรมจะเริ่มทำงานตั้งแต่ Frame ลำดับที่ 0 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 1 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 2 ซึ่งการไหลของโปรแกรมไม่สามารถย้อนกลับไปยัง Frame ก่อนหน้าได้ เช่น ถ้า Frame ลำดับที่ 2 ทำงานเสร็จไม่สามารถให้ย้อนกลับไปทำงนลำดับที่ 1 ต่อได้

Stacked Sequence กับ Flat Sequence มีการทำงานเหมือนกันเพียงแต่ว่า Flat Sequence นั้น สามารถมองเห็น Code ในทุกๆ Sequence ได้ แต่ Stacked Sequence จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการเขียน โปรแกรมได้มากขึ้น

การเพิ่ม Sequence สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ขอบของ Sequence แล้วเลือก Add Frame After หรือ Add Frame Before

Add Frame After จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับถัดไป เช่น ถ้าอยู่ที่ลำดับที่ 2 แล้วเลือก Add Frame After LabVIEW จะสร้าง Frame ลำดับที่ 3 ให้

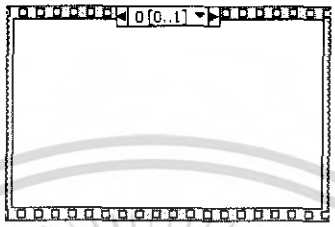


ภาพที่ 4.38 Add Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

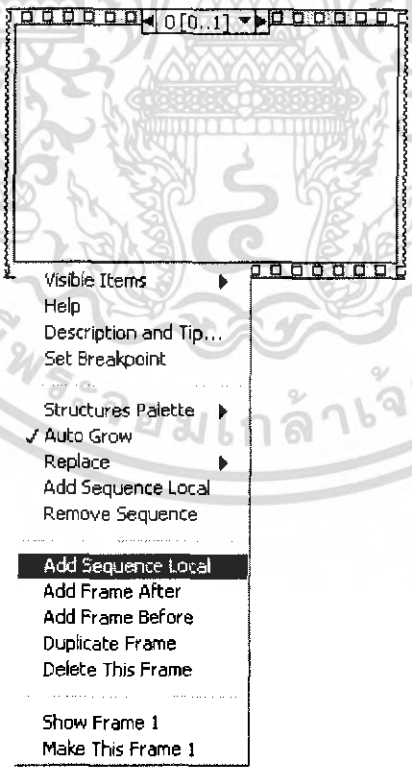
Add Frame Before จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับก่อนหน้าลำดับที่เราอยู่ปัจจุบัน ซึ่งหลังจากเพิ่ม Frame แล้วลำดับที่เราอยู่ปัจจุบันจะถูกจัดเป็นลำดับถัดไป เช่น ถ้าเราอยู่ที่ลำดับ Frame ลำดับที่ 2 แล้วเลือกที่ Add Frame before LabVIEW จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับที่ 2 และย้ายลำดับที่ที่เราอยู่ปัจจุบันเป็นลำดับที่ 3

เราสามารถดูลำดับต่าง ๆ ของ Sequence โดยการ Click ที่ Frame Selector หรือ Right Click แล้วเลือก Show Frame



ภาพที่ 4.39 Show Frame

ในการส่งค่าจาก Frame หนึ่งไปอีก Frame หนึ่ง หน้าถัดไปๆ (แต่ไม่ใช่ Frame ก่อนหน้า) ของ Stacked Sequence ได้โดยการ Right Click ที่ขอบของ Sequence แล้วเลือก Add Frame Local



ภาพที่ 4.40 Add Sequence Local

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

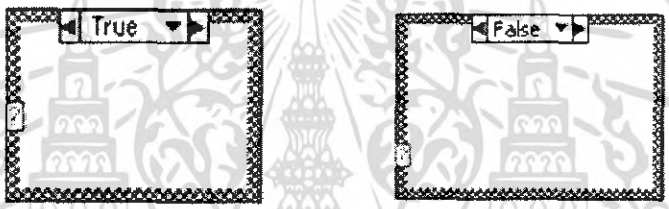
4.19 Case Structure

Case Structureใช้ในการเลือกการทำงานเฉพาะ Code ที่อยู่ในแต่ละกรณีโดยการเปรียบเทียบดูว่า ค่าที่เข้ามาในตัวเลือก ((1) ในรูป) เท่ากันกับค่ากรณี ((2) ในรูป)

ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบตัวเลือก((1) ในรูป) และกรณี ((2) ในรูป) อาจเป็นค่าตรรกกะ (Boolean) ตัวเลข (Numeric) ตัวอักษร (String) หรืออื่นๆ ก็ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นค่า Boolean เสมอไปซึ่งค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบอาจเป็นค่าเดียวหรือช่วงของค่าหรือหลายค่าได้

ช่วงของค่าสามารถใช้ ".." เป็นตัวกำหนด เช่น 1.....100 หมายถึงช่วงค่าระหว่าง 1 ถึง 100 หรือ ...1 หมายถึงน้อยกว่า 1 เป็นต้น ถ้ามีหลายค่าสามารถใช้ "," ในการกำหนดค่า เช่น 1, 5, 7 หมายถึงค่า 1, 5, 7 เป็นต้น

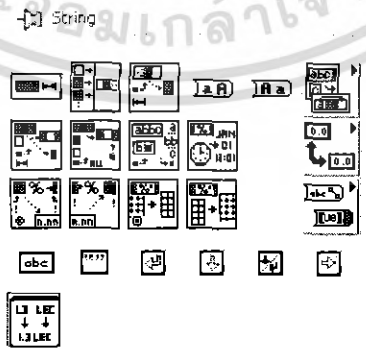
สามารถเพิ่มกรณีใหม่ได้โดยการ Right Click ที่ขอบ Case Structure และเลือก Add Case After หรือ Add Case Before



ภาพที่ 4.41 Case Structure

4.20 String Data Type

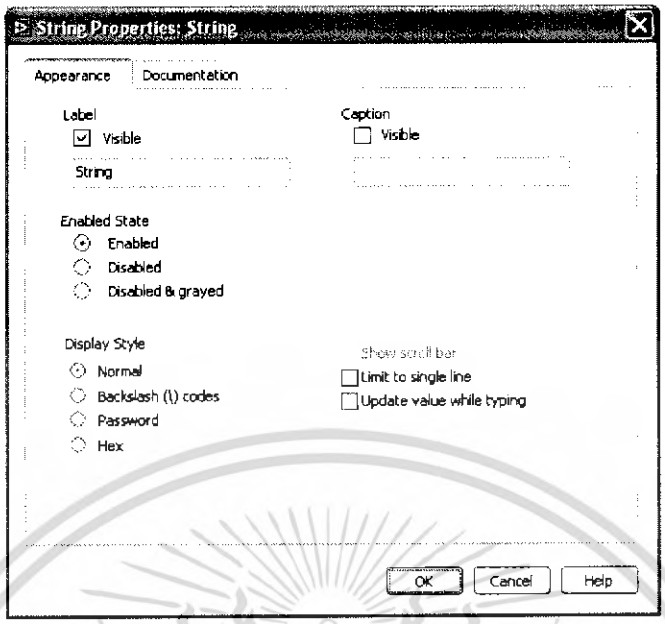
String หมายถึง ตัวอักษรตั้งแต่หนึ่งตัวอักษรขึ้นไปมาประกอบรวมกัน การแสดงรูปแบบ String มีได้ด้วยกันหลายรูปแบบซึ่งสามารถกำหนดได้โดยการ Right Click ที่ String Control หรือ Indicator แล้วเลือกรูปแบบการแสดงผล



ภาพที่ 4.42 String Palette

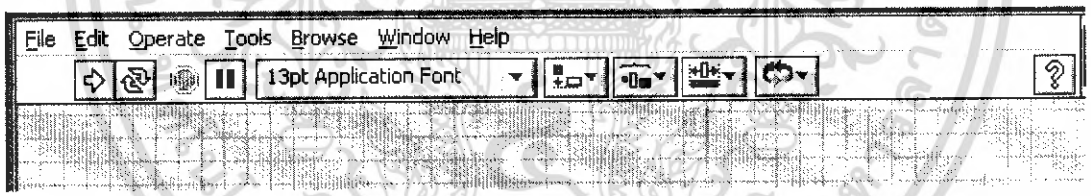
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ Right Click และเลือก Properties >> Appearance



ภาพที่ 4.43 String Properties

ซึ่งอาจเลือกการแสดงผลแบบ Password หรือ Hex (เลขฐาน 16) ส่วนรูปแบบ Font สามารถแก้ไขได้จาก Text Settings บน Toolbar



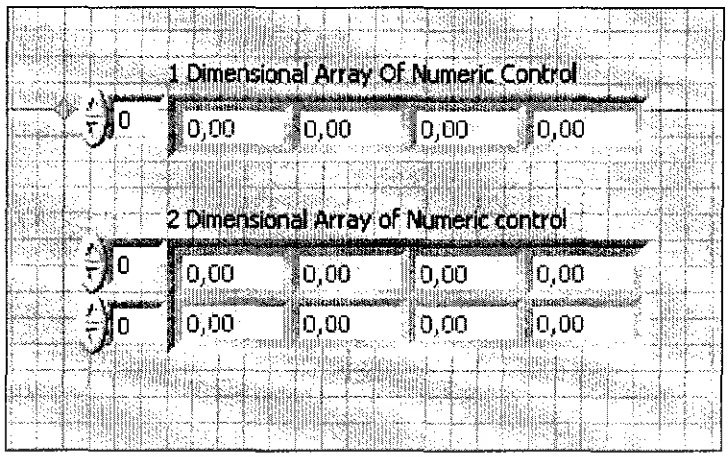
ภาพที่ 4.44 Text Settings

4.21 Array

Array คือ กลุ่มของข้อมูลในรูปแบบเดียวกัน เช่น กลุ่มของตัวเลข กลุ่มของข้อความ หรือ กลุ่มของตรรกะ (Boolean) แต่ละข้อมูลใน Array เรียกว่า Element เราสามารถอ้างถึงข้อมูลใน Array (Element) ได้โดยใช้ดัชนี (Index) Element แรกสุดใน Array จะมี Index เป็น 0

Array ที่ใช้งานบ่อยๆจะมี 1 มิติ (1 Dimensional Array) และมี 2 มิติ (2 Dimensional Array)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

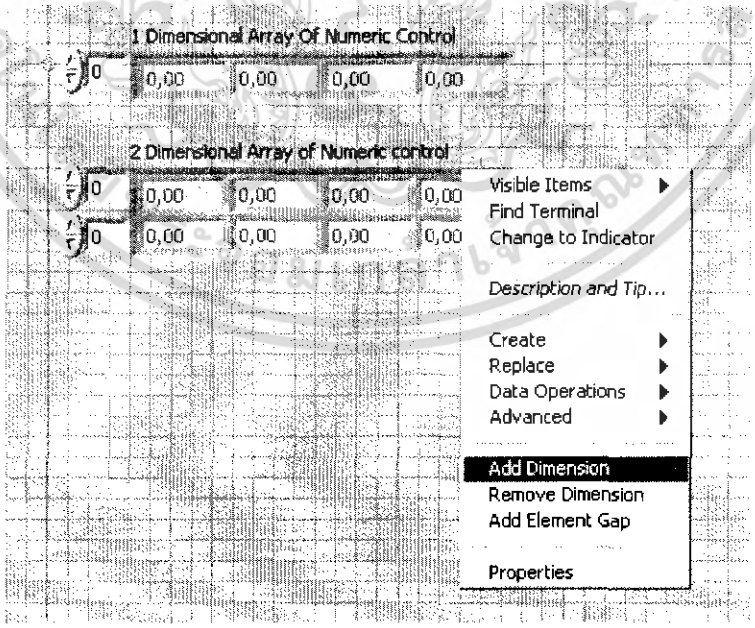


ภาพที่ 4.45 *Array*

4.21.1 Array Control และ Array Indicator

การสร้าง Array Control หรือ Indicator สามารถสร้างได้โดยการ Click เลือก Control Palette >> All Controls >>Array and Cluster แล้วนำมาวางบน Front Panel จากนั้นให้เลือก Control หรือ Indicator ที่ต้องการ เช่น ตัวเลข จาก Controls Palette แล้วนำมาวางภายใน Array ที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้

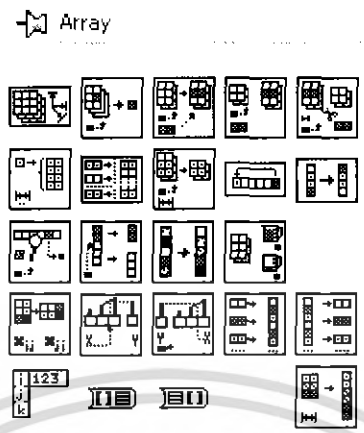
ถ้าต้องการเพิ่มมิติ (Dimension) ของ Array สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Array ที่สร้างขึ้นมา แล้วเลือก Add Dimension



ภาพที่ 4.46 Add Dimension

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.21.2 Array Functions

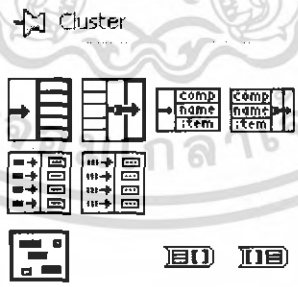


ภาพที่ 4.47 Array Function

ฟังก์ชันต่างๆ เกี่ยวกับ Array สามารถเลือกได้จาก Functions Palette >> All Functions >> Array รวมถึงการเลือกใช้งานของฟังก์ชันต่างๆ ตามข้อมูลใน Array เช่นในกรณีที่ Array มี Element เป็นตัวเลข (Numeric) เราสามารถเรียกเป็นฟังก์ชันของตัวเลข (Numeric Functions) ได้ เช่น สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันบวก (Add) กับ Array ที่มีข้อมูลแบบตัวเลขได้

4.22 Cluster

4.22.1 Cluster Control และ Indicator



ภาพที่ 4.48 Cluster

Cluster หมายถึงกลุ่มของรูปแบบข้อมูล (Data type) ที่แตกต่างกันมารวมอยู่ด้วยกันเป็นรูปแบบข้อมูลใหม่ เช่น เราสามารถสร้างรูปแบบข้อมูลแบบใหม่ของเราเองขึ้นมา ซึ่งรูปแบบข้อมูลของเราประกอบด้วย Numeric Control, Boolean Control และ String Control

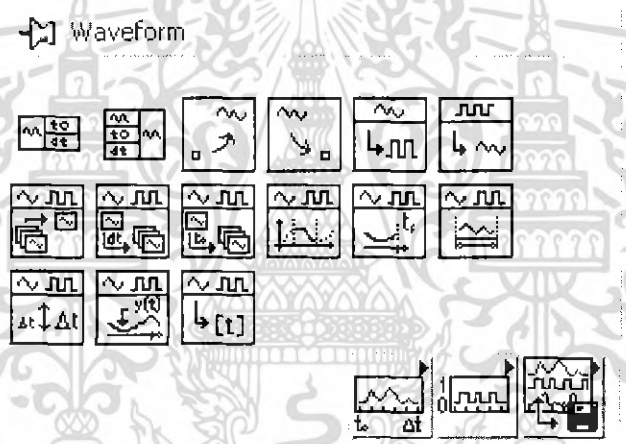
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการใช้ *Cluster* ในการสร้างรูปแบบข้อมูลแบบใหม่แล้ว *Cluster* จะใช้เพื่อสร้าง Input และ Output ของ SubVI เพื่อง่ายต่อความเข้าใจและลดเทอร์มินอล Input และ Output ของ SubVI (SubVI สามารถมีเทอร์มินอล Input และ Output ได้มากสุด 28 เทอร์มินอล)

4.23 Waveform Data Type (WDT)

ฟังก์ชันในการวิเคราะห์ใน LabVIEW นอกจากจะใช้ Array ของข้อมูล เช่น ฟังก์ชันหาค่าเฉลี่ยแล้วยังมีรูปแบบข้อมูลอีกหนึ่งที่ใช้ในฟังก์ชันวิเคราะห์ที่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องคือWaveform Data Type ซึ่ง Waveform Data Type จะคล้ายกับ Cluster ของข้อมูลซึ่งประกอบด้วย Numeric Array, เวลาเริ่มต้น (t) ของ Numeric Array Index 0 และระยะห่างของเวลาในแต่ละจุด Δt.

ฟังก์ชันในการใช้งานเกี่ยวกับข้อมูลแบบ Waveform สามารถเลือกได้จาก Functions Palette >> All Functions >> Waveform Operation

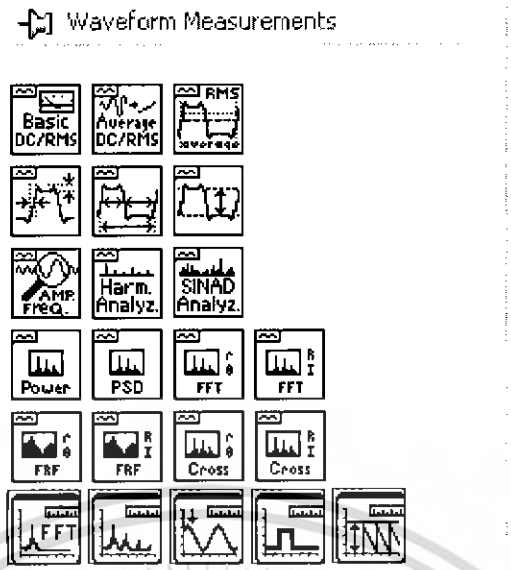


ภาพที่ 4.49 Waveform

รวมถึงฟังก์ชันประเภท Polymorphic เช่น ฟังก์ชัน Add สามารถทำการบวก 2 Waveforms เข้าด้วยกัน ซึ่งคล้ายกับการบวก 2 ตัวเลขเข้าด้วยกัน

นอกเหนือจากฟังก์ชันของ Waveform แล้วฟังก์ชันในการวิเคราะห์หลาย ๆ ฟังก์ชันจาก Function Palette >> All Functions >> Analyze (ไม่มีใน LabVIEW Base Development System) เช่น ฟังก์ชันหา Root Mean Square ของ Waveform และยังมีหลายๆ Toolset ของ LabVIEW ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ กัน

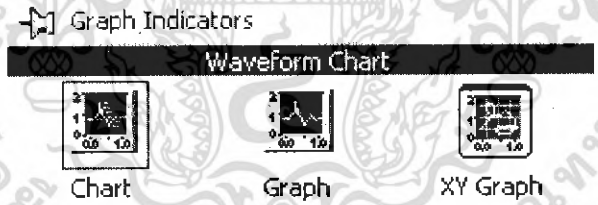
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.50 Waveform Measurements

เช่น Advanced Signal Processing Toolset ก็ใช้ Waveform Data Type รวมถึงฟังก์ชันของ Data Acquisition ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็น Waveform Data Type เช่น Acquire Waveform.vi

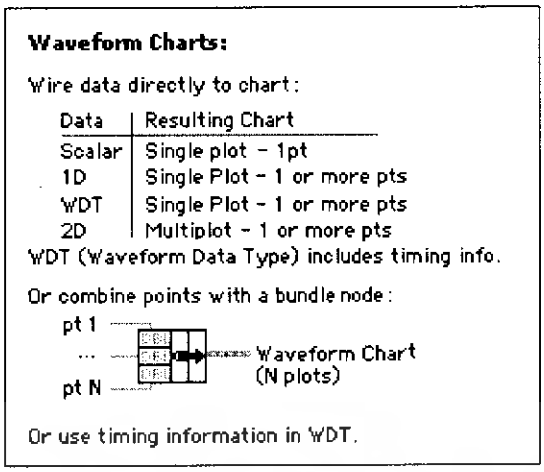
4.24 Waveform Chat



ภาพที่ 4.51 Waveform Chart

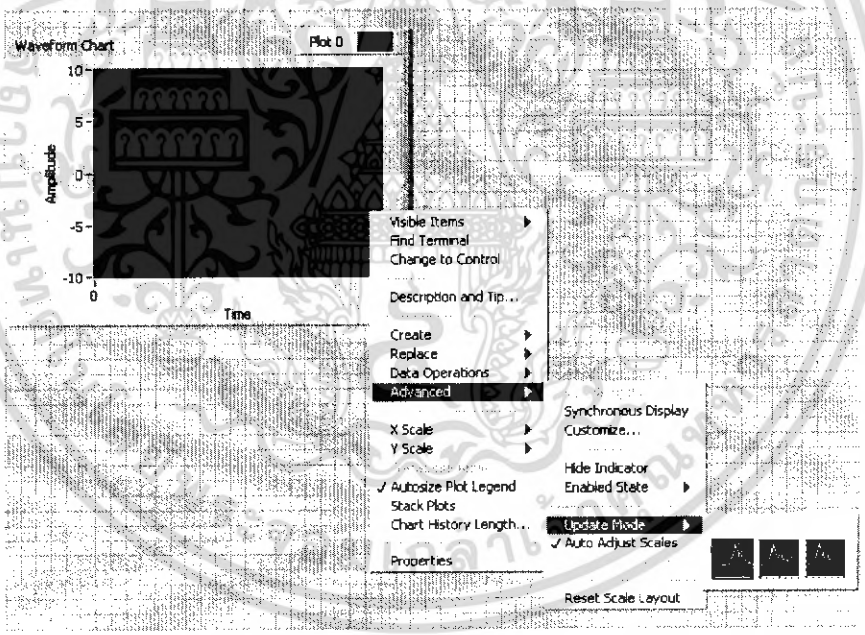
Waveform Chat โดยปกติจะรับข้อมูลประเภทตัวเลขแล้วเก็บข้อมูลใน Buffer ซึ่งการแสดงผลอาจอยู่ในรูปต่างๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบข้อมูล (Data Type) ที่ป้อนไปยัง Waveform Chat ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.52 การใช้งาน Waveform Chart

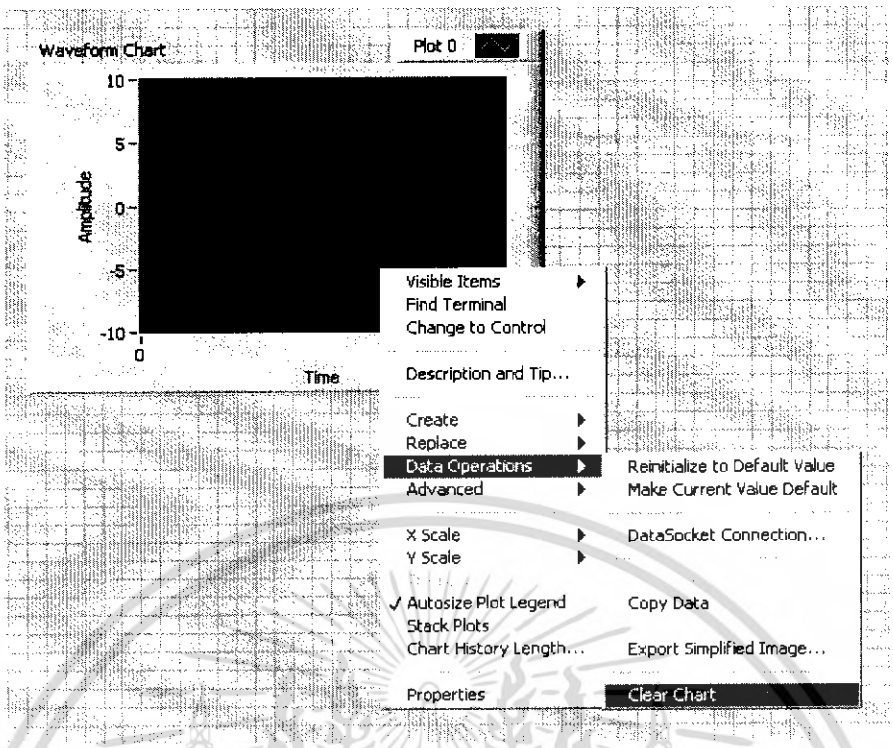
การแสดงผล (Update) ข้อมูลของ Chart จะมีอยู่ 3 รูปแบบคือ Strip Chart, Scope Chart หรือ Sweep Chart



ภาพที่ 4.53 การแสดงผลข้อมูล Chart

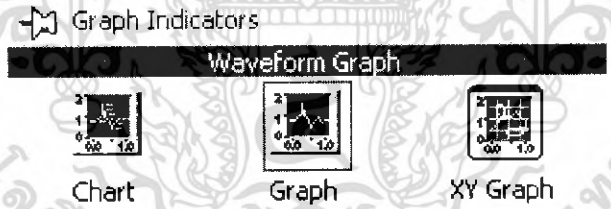
ซึ่งการแสดงผลในรูปแบบต่างๆของ Chart จะอาศัยข้อมูลที่เก็บไว้ใน Buffer ของ Chart ซึ่งเราสามารถกำหนดขนาดของ Buffer ได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Chart History Length ถ้าเราต้องการล้างข้อมูลใน Buffer สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Data Operation >> Clear Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.54 แสดงการล้างข้อมูลที่ Chart

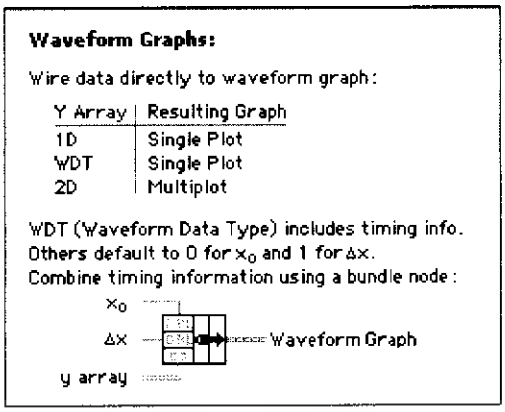
4.25 Waveform Graph



ภาพที่ 4.55 Waveform Graph

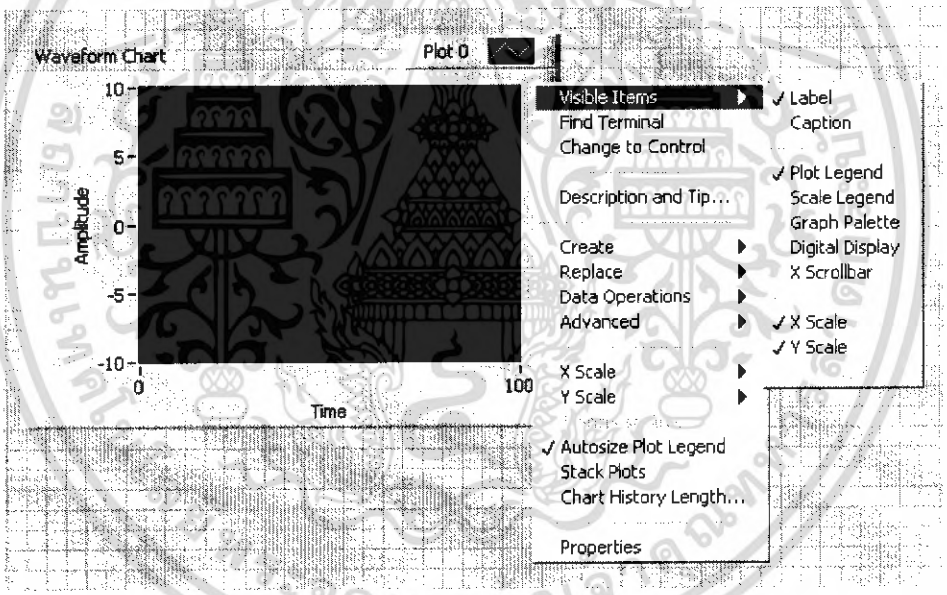
ข้อมูลที่ป้อนให้กับ Waveform Graph จะเป็นข้อมูลประเภท Array ของตัวเลขหรือ ข้อมูลประเภท Waveform เช่น ถ้า Array ของตัวเลขเป็นชนิด 1 มิติ (Dimension) จะแสดง Graph 1 เส้น หรือถ้า Array ของตัวเลขเป็นชนิด 2 มิติ (Dimension) จะแสดง Graph หลายเส้นขึ้นอยู่กับจำนวน Row ของ Array ของตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



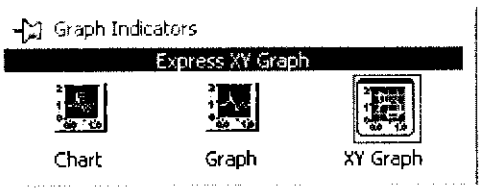
ภาพที่ 4.56 การใช้งาน Waveform Graph

ส่วนประกอบของ Waveform Graph สามารถกำหนดให้แสดงหรือซ่อนไว้ได้โดยกำหนดได้จาก Properties หรือ Right Click ที่ Graph แล้วเลือก Visible Items



ภาพที่ 4.57 Visible Items

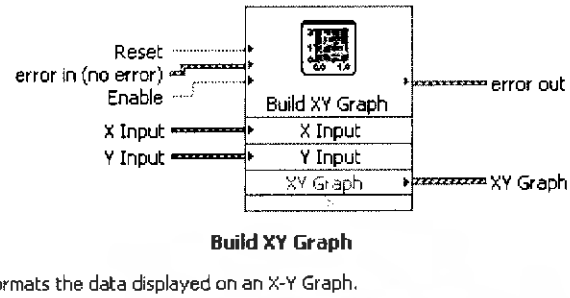
4.26 X-Y Graph



ภาพที่ 4.58 Express XY Graph

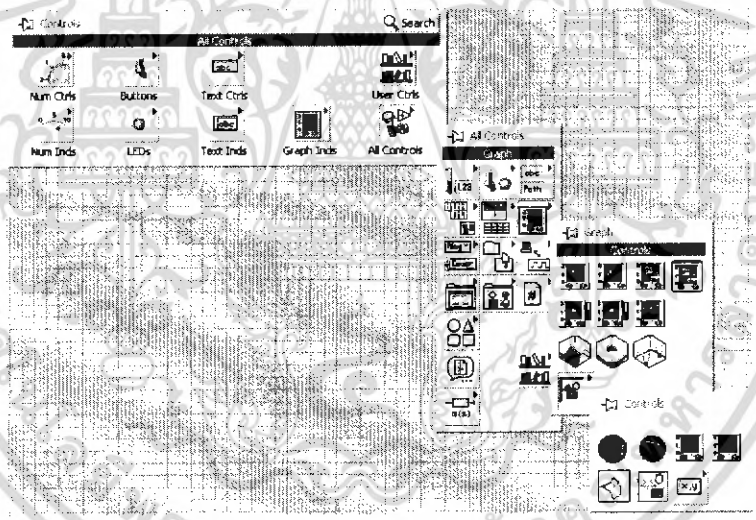
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW 7 จะมี Express XY Graph เพื่อให้ง่ายในการใช้งาน แต่หลักการของ XY Graph เหมือนกับ เวอร์ชั่นก่อนๆ คือ เราป้อนค่า X และ Y ในรูปของ Array และ XY Graph จะทำการ Plot ค่าให้



ภาพที่ 4.59 การใช้งาน XY Graph

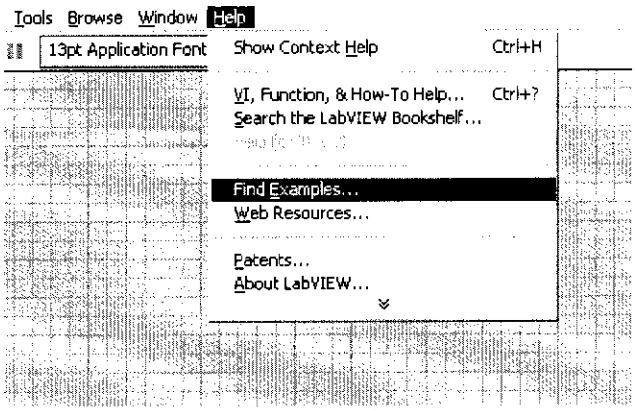
4.27 Other Graphs (กราฟรูปแบบอื่น ๆ)



ภาพที่ 4.60 แสดงกราฟลักษณะอื่นๆ

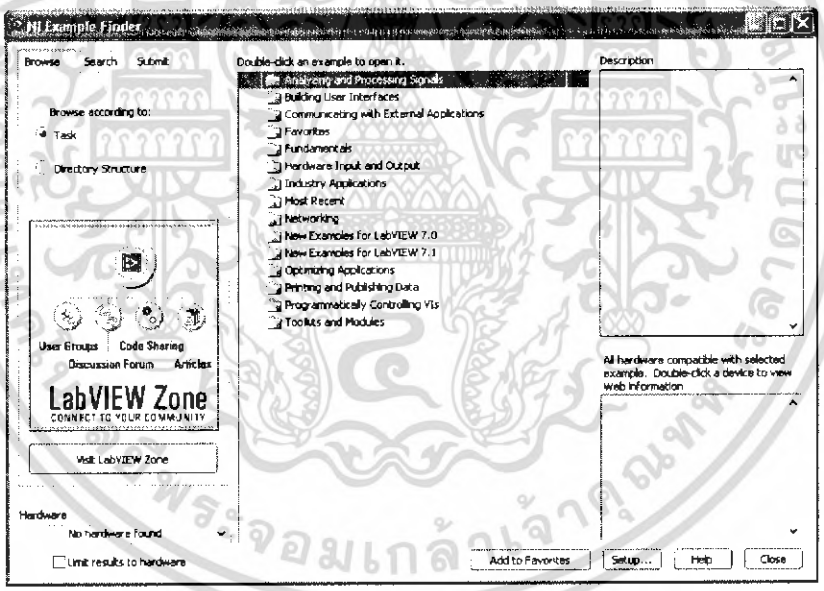
Waveform Chart , Waveform graph และ XY Graph เป็นรูปแบบการแสดงผลประเภท Graph ที่ใช้งานบ่อย ยังมี Graph รูปแบบอื่น ๆ อีก เช่น Intensity Chart , Intensity Graph , Digital Waveform Graph และ 3D Graph ต่างๆ ซึ่งตัวอย่างต่างๆ สามารถ Search หาได้โดยการพิมพ์ชื่อรูปแบบของ Graph ลงใน Find Examples (มีตั้งแต่ LabVIEW 6.1 ขึ้นไป) โดย click ที่ Help >> Find Examples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.61 วิธีใช้ Help

แล้วเลือก Search แล้วพิมพ์ชื่อ Graph ที่เราต้องการ เช่น ถ้าเราต้องการ Plot Intensity Graph เราสามารถพิมพ์คำว่า Intensity แล้ว Double Click ใช้ช่อง Keyword แล้ว Double Click โปรแกรมตัวอย่างเพื่อศึกษารูปแบบการป้อนข้อมูลในแต่ละรูปแบบของ Graph



ภาพที่ 4.62 NI Example Finder

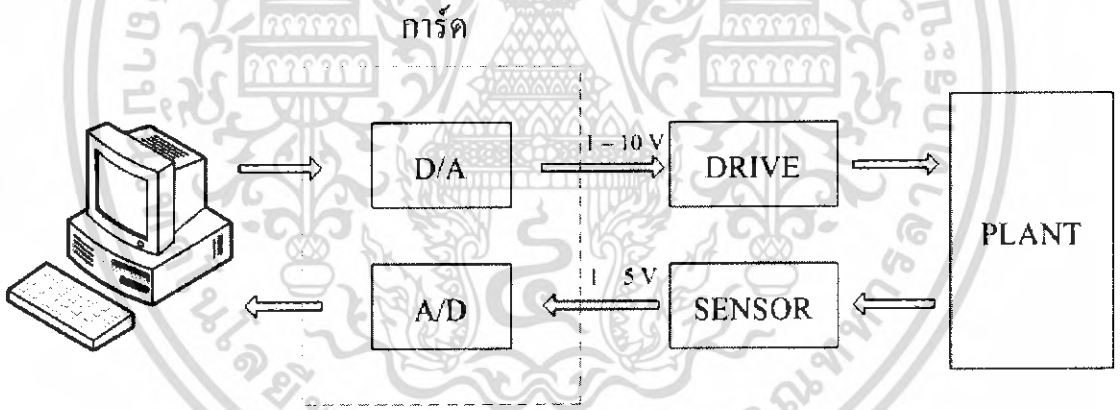
หรือเลือกดูตัวอย่างรูปแบบกราฟต่าง ๆ จากLabVIEW X.X >> Examples >> General >> Graphs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การจำลองและการทดลองระบบควบคุม

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบควบคุม และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการควบคุมกับกระ-บวนการระดับน้ำ 4 ถัง รวมถึงพารามิเตอร์และจุดการทำงานของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง ในกรณีเฟสต่ำสุด เพื่อนำไปหาเมทริกฟังก์ชั่นถ่ายโอนของกระบวนการซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์กระบวนการ และการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ด้วยวิธี ICD หลังจากนั้นจะนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไปทำการทดสอบโดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม LABVIEW โดยในกรณีเฟสต่ำสุดนั้นมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการทดสอบผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อกำหนดให้อินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมเป็นแบบขั้นบันได ขั้นตอนที่สองนำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ออกแบบโดยวิธี ICD มาทดลองใช้ควบคุมกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังจริงว่ามีผลตอบสนองอย่างไรโดยใช้โปรแกรม LABVIEW

5.1 โครงสร้างของระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง



ภาพที่ 5.1 โครงสร้างของระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง

ภาพที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ ส่วนแรกคือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) จะทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลจากอินเตอร์เฟสการ์ด (Card D/A-A/D) โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้แก่ระบบควบคุม ส่วนที่สองคืออินเตอร์-เฟสการ์ดเป็นการ์ดแบบ ISA โดยจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแบบอนาล็อกจากอุปกรณ์วัดระดับน้ำของถังที่ 1 และถังที่ 2 ที่ผ่านอุปกรณ์กรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่ำมาแล้วจึงทำการแปลงให้สัญญาณเป็นดิจิตอล เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลในการส่งสัญญาณควบคุม จากนั้นจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณควบคุมซึ่งอยู่ในรูปแบบดิจิตอลให้เป็นแบบอนาล็อกเพื่อส่งให้กับวงจรขับกระแสของปั๊มน้ำทั้งสองวงจร ส่วนที่สามคืออุปกรณ์ขับกระแสของปั๊มน้ำมีอยู่ด้วยกันสองชุด โดยเป็นวงจรขับกระแสแบบเชิงเส้น (Linear Amplifier) แบบเดียวกันทั้งสองชุด ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณควบคุมที่อยู่ในรูปแบบอนาล็อกจากอินเตอร์เฟสการ์ดแล้วขยายขนาดสัญญาณแรงดันให้มากขึ้นเพื่อจ่ายให้กับปั๊มน้ำทั้งสองตัวและส่วนสุดท้ายคืออุปกรณ์วัดระดับน้ำของถังที่ 1 ถังที่ 2 และอุปกรณ์กรองความถี่ต่ำ โดยเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดระดับน้ำจะใช้หลักการในการวัดแบบความดันแตกต่างกัน ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จะถูกนำมาขยายขนาดของสัญญาณให้มากขึ้น และทำการส่งสัญญาณที่วัดได้ให้กับอุปกรณ์กรองความถี่ต่ำเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนให้น้อยลง จากนั้นจึงส่งสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปแบบอนาล็อกให้กับอินเตอร์เฟสการ์ดต่อไป

5.2 พารามิเตอร์และจุดทำงานของกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง

จะสังเกตุได้ว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการสามารถแบ่งได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ พารามิเตอร์ที่ทราบค่ามีลักษณะเป็นค่าคงที่ ประกอบด้วย A_i, a_{0i} โดย $i = 1 \sim 4$ และ g แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของกระบวนการ

A_1, A_2, A_3, A_4	$[cm^2]$	69.3978
$a_{01}, a_{02}, a_{03}, a_{04}$	$[cm^2]$	0.1963
g	$[cm/s^2]$	981

และพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่านั้นมีลักษณะเป็นตัวแปรซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าประกอบด้วย $\alpha_i u_i$ โดย $i = 1 \sim 2$ และ β_i โดย $i = 1 \sim 4$ ซึ่งเป็นตัวกำหนดของกระบวนการ โดยในกรณีการทดลองนี้จะเลือกจุดทำงานของกระบวนการ 1 จุดคือจุดทำงานที่กระบวนการมีคุณลักษณะเป็นเฟสต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 จุดทำงานของกระบวนการในกรณีเฟสต่ำสุด

(h_1^s, h_2^s)	$[cm]$	(8 , 7.7)
(h_3^s, h_4^s)	$[cm]$	(2.9 , 2)
(u_1^s, u_2^s)	$[V]$	(4, 4)
(k_1, k_2)	$[cm^3/V*s]$	(2.56 ,2.7)
(k_3, k_4)	$[cm^3/V*s]$	(.054 , 0.43)
$(\beta_1, \beta_{12}, \beta_2)$		(0.73 , 0.64 , 0.35)
(β_3, β_4)		(0.15 , 0.14)

5.3 ผลของการออกแบบตัวควบคุมแบบ Individual Channel Design

เมตริกซ์ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของโครงสร้างกระบวนการระดับน้ำ 4 ถัง กรณีเฟสต่ำสุด เมื่อต้องการควบคุมความสูงของระดับน้ำในสองถังล่าง สามารถทำการพิจารณาจากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของกระบวนการ $G(s)$ ที่อยู่ในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix}$$

โดยพิจารณาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นย่อยของกระบวนการ ประกอบด้วย

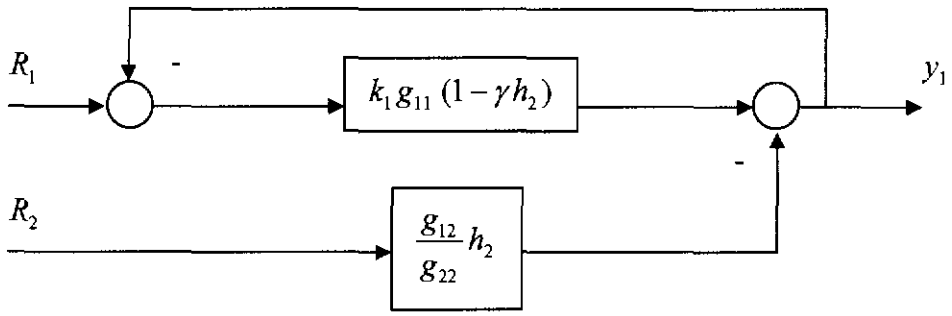
$$g_{11}(s) = \frac{0.0369(S+0.0556)(S+0.0053)}{(S+0.0809)(S+0.0311)(S+0.0047)}$$

$$g_{12}(s) = \frac{0.0016(S+0.0051)+39.573\times10^{-6}(S+0.0556)}{(S+0.0809)(S+0.0311)(S+0.0051)}$$

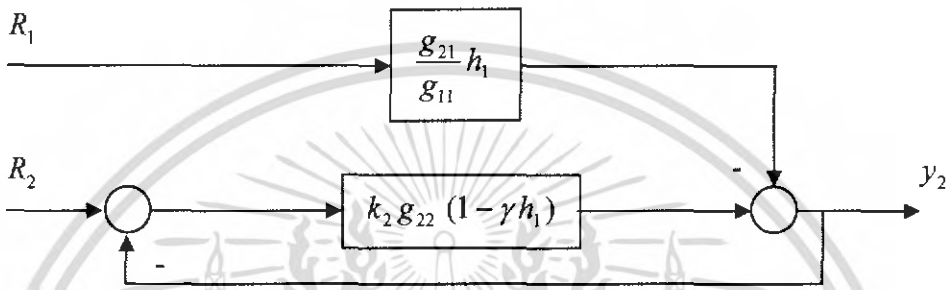
$$g_{21}(s) = \frac{0.0015(S+0.0047)+28.951\times10^{-6}(S+0.0564)}{(S+0.0809)(S+0.0311)(S+0.0047)}$$

$$g_{22}(s) = \frac{0.0389(S+0.0556)(S+0.0059)}{(S+0.0809)(S+0.0311)(S+0.0051)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.2 ระบบที่ถูกแยกออกเป็นวงรอบการควบคุม C_1



ภาพที่ 5.3 ระบบที่ถูกแยกออกเป็นวงรอบการควบคุม C_2

เมื่อพิจารณาลักษณะทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นเมตริกซ์ของกระบวนการ จะเห็นว่าเป็นรูปแบบเมตริกซ์ที่มีขนาด 2×2 ตามมาตรฐานโครงสร้างของการออกแบบตัวควบคุมวิธี ICD ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าของฟังก์ชั่นแกมม่า (γ) ของกระบวนการได้ คือ

$$\gamma(s) = \frac{\left[0.0016(S+0.0051)+39.57\times10^{-6}(S+0.0556)\right]\left[0.0015(S+0.0047)+28.95\times10^{-6}(S+0.0564)\right]}{1.43\times10^{-3}(S+0.0556)^2(S+0.0053)(S+0.0059)}$$

ในการออกแบบเบื้องต้น สิ่งที่ต้องการคือการออกแบบตัวควบคุมที่มีผลทำให้กระบวนการระดับน้ำในสองถังล่างสามารถควบคุมได้ โดยที่ระบบต้องมีเสถียรภาพ และสามารถออกแบบตัวควบคุมกรณีเฟสต่ำสุดได้ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของตัวควบคุม ดังนี้

$$K(s) = \begin{bmatrix} k_1(s) & 0 \\ 0 & k_2(s) \end{bmatrix}$$

รูปแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นย่อยของตัวควบคุมที่ออกแบบตามวิธีการ ICD สามารถหาค่าที่เหมาะสมกับระบบของกระบวนการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_1(s) = \frac{0.028(S^2 + 125S + 833.333)}{S}$$

$$k_2(s) = \frac{0.220(S + 3.333)}{S}$$

และต่อจากนั้นคำนวณหาค่าของ $h_1(s)$ กับ $h_2(s)$ ตามรูปแบบลักษณะโครงสร้างของการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ จะได้

$$h_1(s) = \frac{1.033\times10^{-3}(S^2 + 125S + 833.33)(S + 0.0556)(S + 0.0053)}{\left[1.033\times10^{-3}(S^2 + 125S + 833.33)(S + 0.0556)(S + 0.0053)\right] + \left[S(S + 0.0809)(S + 0.0311)(S + 0.0047)\right]}$$

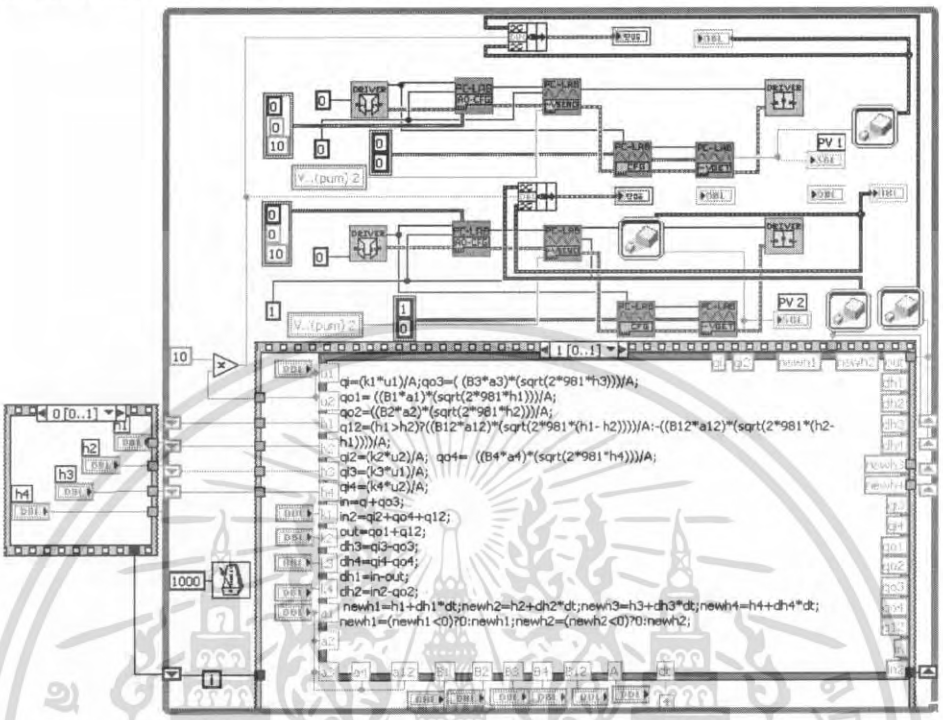
$$h_2(s) = \frac{8.558\times10^{-3}(S + 3.33)(S + 0.0556)(S + 0.0059)}{\left[8.558\times10^{-3}(S + 3.33)(S + 0.0556)(S + 0.0059)\right] + \left[S(S + 0.0809)(S + 0.0311)(S + 0.0051)\right]}$$

5.4 การทดสอบกระบวนการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

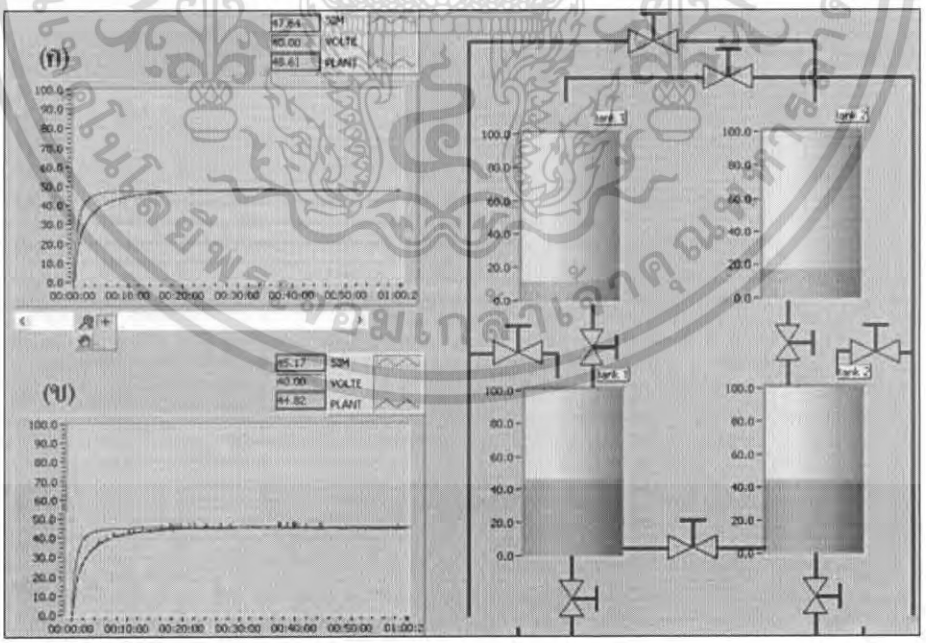
*สำหรับการทดสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ว่ามี*ความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากกระบวนการจริงมากน้อยเพียงใดนั้น จะทำการทดสอบได้โดยใช้แบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้นในสมการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากกระบวนการจริงโดยจะทำการจ่ายแรงดันอินพุตขนาด 4 โวลท์ให้กับอุปกรณ์ขับกระแสของปั๊มน้ำทั้งสองตัว ซึ่งการเปรียบเทียบผลจากกระบวนการจริงกับผลการจำลองจะเป็นตัวชี้ว่าแบบจำลองที่เราหามาได้นั้นจะสามารถนำไปใช้กับกระบวนการจริงของเราได้หรือไม่ซึ่งการที่เราจะทราบว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้กับกระบวนการจริงได้หรือไม่นั้นก็จะสามารถสังเกตุได้จากกราฟที่ได้ในการป้อนแรงดันที่ค่าใดค่าหนึ่งผ่านวงรอบเปิดของแบบจำลองที่เราหามาได้มาเปรียบเทียบกับกระบวนการจริงโดยใช้ค่าอินพุตค่าเดียวกันและทำการป้อนอินพุตพร้อมๆกันโดยที่เอาท์พุตของกระบวนการจริงต่อเข้ากับกราฟเดียวกันกับแบบจำลองเมื่อได้กราฟออกมาก็ดูว่ากราฟที่ได้จากแบบจำลองที่เราหามานั้นมีทิศทางเดียวกันกับกราฟที่ได้จากกระบวนการจริงหรือไม่และมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ถ้ามีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วเราสามารถยอมรับกับค่าผิดพลาดนั้นได้หรือไม่ถ้ามีค่าผิดพลาดมากเกินไปแล้วไม่สามารถยอมรับได้ก็แสดงว่าแบบจำลองที่เราหามาได้นั้นไม่สามารถใช้กับกระบวนการจริงของเราได้จะต้องทำการหาแบบจำลองใหม่และในกรณีที่เกิดค่าผิดพลาดเพียงบางส่วนแล้วเราสามารถยอมรับได้ก็จะนำแบบจำลองที่ได้นั้นไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการของเราเมื่อเราออกแบบได้ตัวควบคุมแล้วนั้นก็นำตัวควบคุมนั้นมาทดลองควบคุมกับแบบจำลองของเราก่อนว่าสามารถควบคุมกระบวนการจริงได้หรือไม่ถ้าสามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แล้วก็นำตัวควบคุมนั้นไปควบคุมกระบวนการจริงได้โปรแกรมที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการกับแบบจำลองและการเปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการกับแบบจำลองดังแสดงได้ดัง ภาพที่ 5.4 และ ภาพที่ 5.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 5.4 โปรแกรมที่ใช้ในการ เปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการกับแบบจำลอง

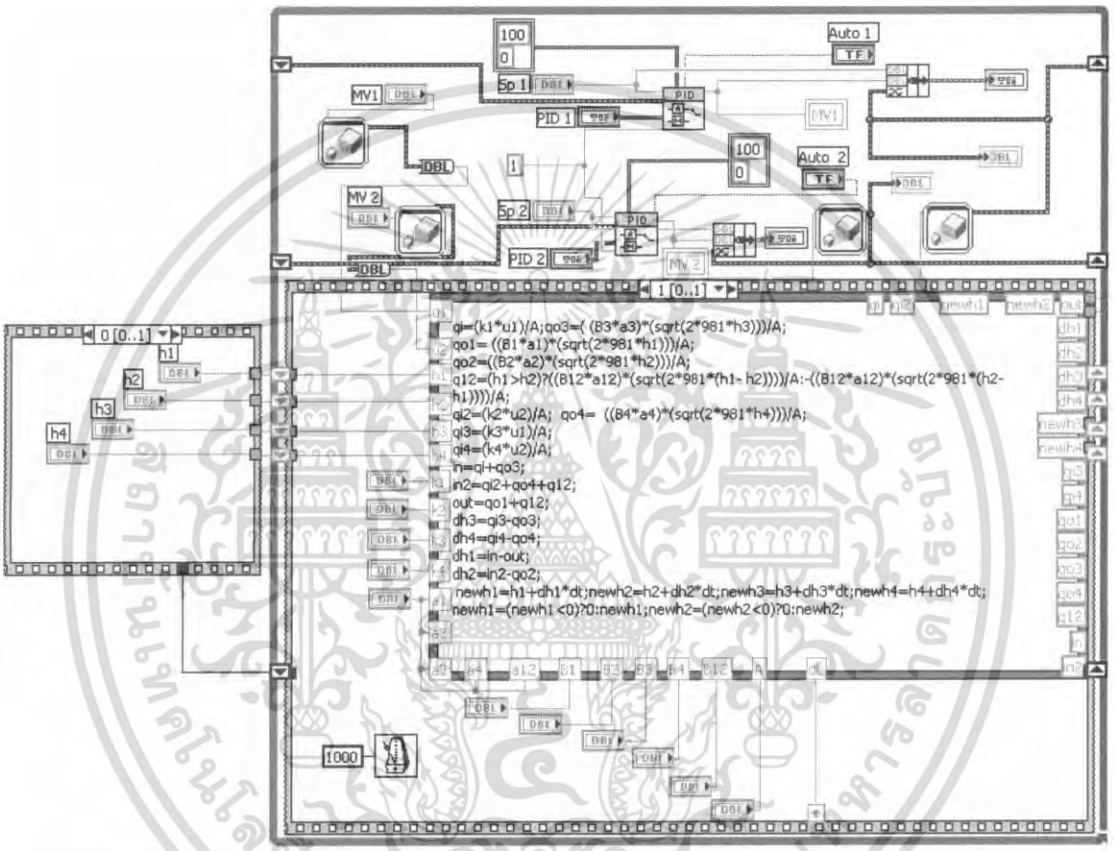


(ก) ระดับน้ำของถังใบที่ 1 (ข) ระดับน้ำของถังใบที่ 2

ภาพที่ 5.5 เปรียบเทียบผลตอบสนองวงเปิดของกระบวนการกับแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่5.5 (ก) และภาพที่5.5 (ข)จะสังเกตุเห็นได้ว่าผลตอบสนองวงเปิดของแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับถังที่ 1 และถังที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการจริงแล้วจะเห็นว่าแบบจำลองมีความแตกต่างกับกระบวนการจริงซึ่งเกิดจากการผิดพลาดทางไดนามิกส์ซึ่งในการผิดพลาดลักษณะเช่นนี้ในทางวิศวกรรมเราสามารถยอมรับได้แล้วยังเห็นว่าผลตอบสนองของกระบวนการที่สภาวะคงตัวนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากเมื่อได้ค่าดังนี้แล้วเราก็จะนำแบบจำลองที่เราหามาได้นั้นไปออกแบบตัวควบคุมโดยใช้วิธี ICD เพื่อนำมาควบคุมกระบวนการ



ภาพที่ 5.6 โปรแกรมจำลองการควบคุมกระบวนการ

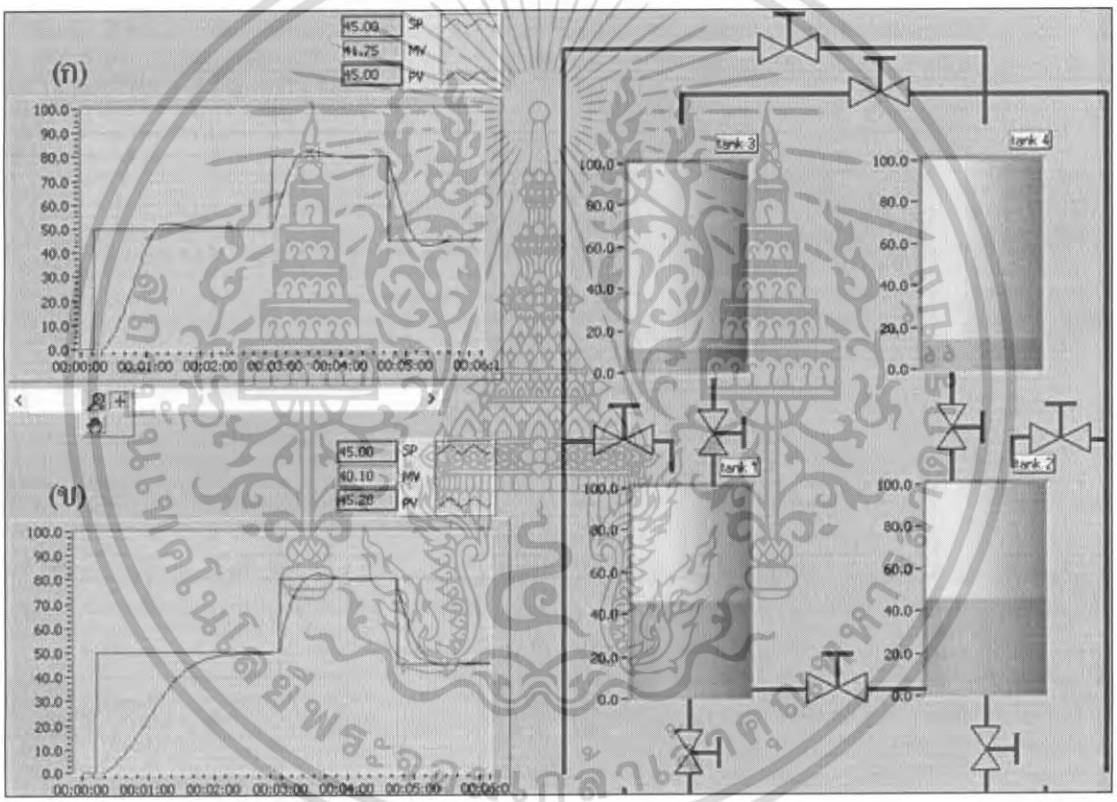
5.5 การจำลองระบบควบคุม

การจำลองการควบคุมระบบควบคุมของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังเป็นการจำลองเพื่อดูผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อมีการป้อนอินพุตแบบขั้นบันได มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทดสอบตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบว่า มีประสิทธิภาพในการติดตามสัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ก่อนที่จะนำตัวควบคุมที่ออกแบบไว้ไปทดลองกับกระบวนการจริงโดยการจำลองการทำงานจะกำหนดให้ระดับน้ำในถังที่ 1 และถังที่ 2 มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม 30%โดยระดับน้ำในถังที่ 1 และ ถังที่ 2 เปลี่ยนจากเดิม 50%เป็น 80% ผลตอบสนองของระบบควบคุมแสดงได้ดังภาพที่ 6.5

จากภาพที่ 5.7 (ก) และภาพที่ 5.7 (ข) เมื่อเราทำการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ICD เสร็จแล้วก็นำตัวควบคุมแบบ PID ที่ได้จากการออกแบบ ไปทดลองควบคุมแบบจำลองของเราก่อนที่จะทดลองกับกระบวนการจริงโดยที่มีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ 1 คือ Kp = 3.5, Ki = 0.2, Kd = 0.0006 และค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่2 คือ Kp = 2.2, Ki = 0.3, Kd = 0.002 จากภาพที่ 5.7 (ก) จะเป็นผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการจำลองจะเห็นว่าในการจำลองการควบคุมพีไอดีจะได้ลักษณะของกราฟที่มี Over Shoot น้อยแล้วก็เข้าสู่สภาวะคงตัวและ จากภาพที่ 5.7 (ข) จะมี Over Shoot น้อยกว่าภาพที่ 5.7 (ก)



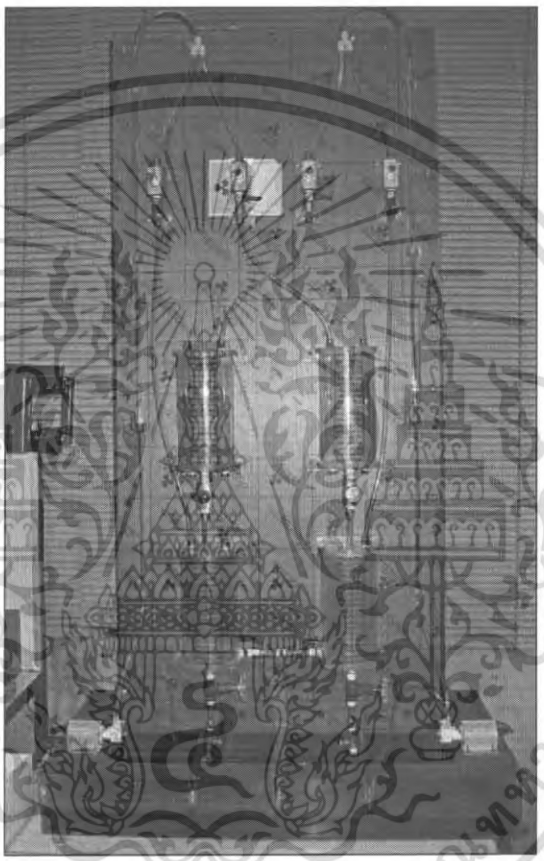
(ก) ระดับน้ำของถังใบที่ 1 (ข) ระดับน้ำของถังใบที่ 2

ภาพที่ 5.7 ผลตอบสนองของแบบจำลองโดยใช้ตัวควบคุม PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การทดลองกับกระบวนการจริง

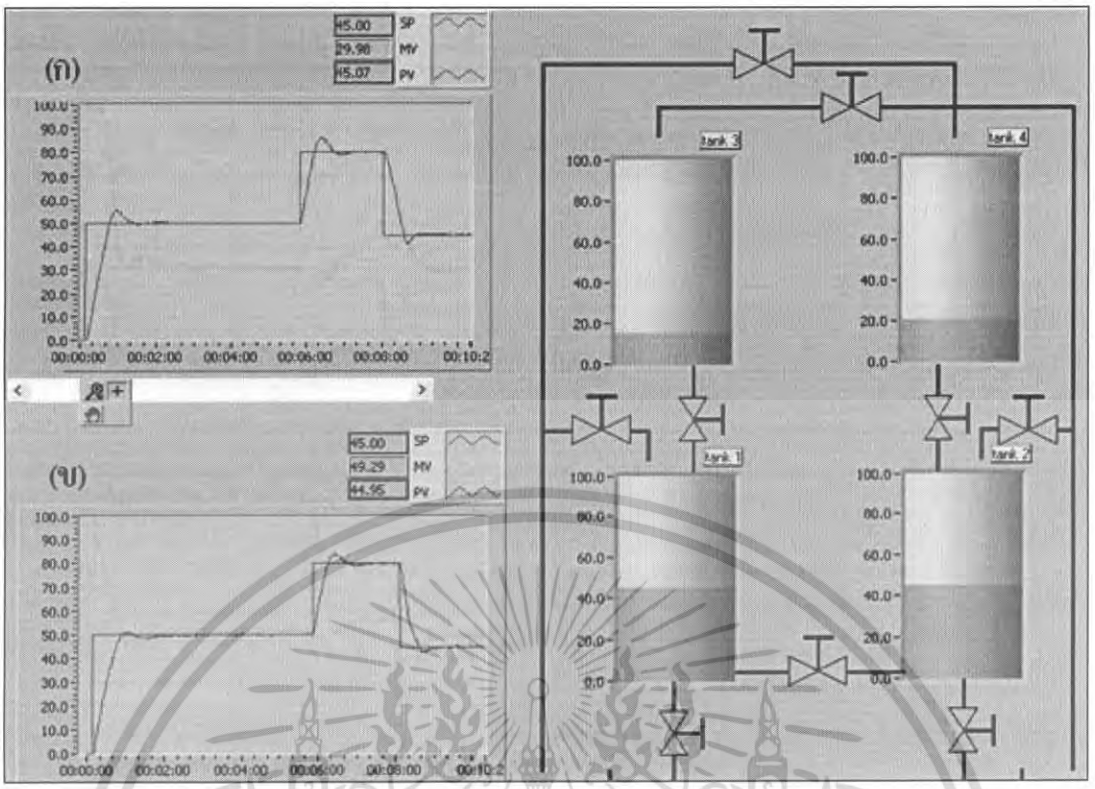
หลังจากที่ได้ทำการจำลองการควบคุมกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังด้วยตัวควบคุม PID ที่ออกแบบด้วยวิธี ICD แล้ว ต่อไปจะนำตัวควบคุมดังกล่าวที่ได้ออกแบบมาใช้กับการควบคุมกระบวนการจริงโดยจะใช้โปรแกรม LabVIEW ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมซึ่งจะใช้ค่าเวลาชักตัวอย่าง (Sampling time) เท่ากับ 0.1 วินาที สำหรับตัวควบคุม PID ทั้ง 2 ตัว ภาพถ่ายของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังดังแสดงในภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 ภาพถ่ายของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง

ในการทดลองการควบคุมกระบวนการระดับน้ำ 4 ถังจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม การควบคุมขั้นตอนการทดลองและรูปแบบในการทดลองเช่นเดียวกันกับ การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ทำการจำลองไว้ก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

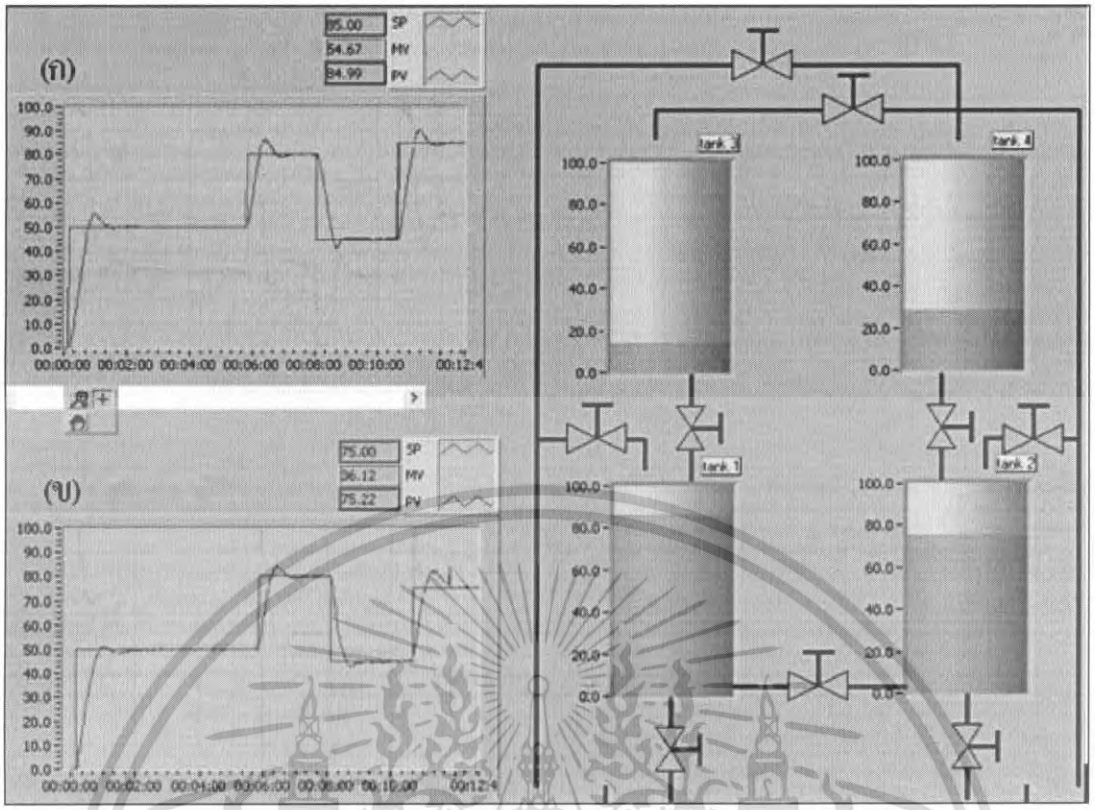


(ก) ระดับน้ำของถังใบที่ 1 (ข) ระดับน้ำของถังใบที่ 2

ภาพที่ 5.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันได

หลังจากนั้นนำค่าพีไอดีที่ได้ ไปควบคุมกระบวนการจริงภาพที่ 5.9 เป็นลักษณะผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการควบคุมกระบวนการจริง โดยต้องการควบคุมระดับน้ำที่ 50 % จะเห็นว่าผลตอบสนองของกระบวนการจริงที่ได้ในภาพที่ 5.9 (ก) และ (ข) มีค่าพุ่งเกินสูงกว่าผลตอบสนองของแบบจำลองแล้วทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเป็น 80% จะเห็นความแตกต่างระหว่างกระบวนการจริงกับแบบจำลองได้ชัดมากคือค่าพุ่งเกินของแบบจำลองจะมีค่าเพียงเล็กน้อย ส่วนค่าพุ่งเกินของกระบวนการจำลองจะมีมากกว่าแล้วทำการลดค่าเป้าหมายมาที่ค่า 45% ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุมที่ 1 Kp = 3.5, Ki = 0.2, Kd = 0.0006 และตัวควบคุมที่ 2 Kp = 2.2, Ki = 0.3, Kd = 0.002 จากการจำลองมาควบคุมกระบวนการจริงจากภาพที่ 5.10 เมื่อเราทำการป้อนอินพุตแบบขั้นบันไดโดยกำหนดให้ถังที่ 1 มีค่ามากกว่าถังที่ 2 ค่าพุ่งเกินยังสูงกว่าการควบคุมแบบจำลองและที่ผลตอบสนองของถังใบที่ 2 จะมีค่าพุ่งขึ้นฉับพลันแล้วตกมาที่เดิมทั้งนี้เกิดจากการส่งสัญญาณผิดพลาดของเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระดับน้ำของถังใบที่ 1 (ข) ระดับน้ำของถังใบที่ 2

ภาพที่ 5.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันไดและกำหนดให้ถังที่ 1 มีค่ามากกว่าถังใบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมแยกส่วนสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง ซึ่งในการออกแบบตัวควบคุมแบบแยกส่วนนั้นได้นำตัวควบคุม PID มาออกแบบด้วยวิธี ICD โดยในการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ICD นั้นจะต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังก่อน ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถังนั้นจะได้มาจากสมการสมดุลมวล และกฎของเบอร์นูลลีโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นจะเป็นแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีการเพื่อแปลงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นแบบจำลองเชิงเส้น

การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม LABVIEW และการทดลองกับกระบวนการจริงนั้น ขั้นตอนแรกทำการทดสอบแบบจำลองโดยการป้อนแรงดันที่ 4 โวลท์ ให้กับกระบวนการแล้วเปรียบเทียบผลตอบสนองของแบบจำลองกับกระบวนการจริง

ออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการโดยการออกแบบตัวควบคุม PID ด้วยวิธี ICD แล้วนำค่าของตัวควบคุมไปทดลองควบคุมแบบจำลองถ้าสามารถควบคุมแบบจำลองได้แล้ว ก็นำค่าของตัวควบคุมนี้ไปควบคุมกระบวนการจริง

ผลตอบสนองที่ได้ของกระบวนการจริงจะให้ค่าพุ่งเกิน(Over Shoot) สูงกว่าค่าพุ่งเกิน (Over Shoot) ของแบบจำลองและที่กระบวนการจริงจะให้ผลตอบสนองที่เข้าสู่สภาวะคงตัวช้ากว่าการควบคุมแบบจำลองคือที่กระบวนการจริงจะมีการแกว่งเล็กน้อย

6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ไข

ปัญหาที่พบในการวิจัยนั้นมีด้วยกันหลายปัญหาโดยแต่ละปัญหานั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อจ่ายแรงดันคงที่ค่าหนึ่งให้กับปั๊มน้ำอัตราการไหลของปั๊มน้ำจะไม่คงที่ ซึ่งเหตุที่อัตราการไหลของปั๊มน้ำไม่คงที่นั้นเกิดขึ้นจากลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นของปั๊มน้ำและกระแสที่ขับปั๊มทำงานไม่คงที่ สำหรับแนวทางแก้ปัญหา คือ ใช้ตัวควบคุมอีกตัวหนึ่งเพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราการไหลของปั๊มน้ำให้คงที่

2. ในการดูดน้ำของปั๊มน้ำนั้น บ่อยครั้งมักจะมีเศษของอุปกรณ์เล็กๆน้อยๆที่อยู่ในน้ำ เช่น เศษพลาสติก, เศษโลหะ ฯลฯ ถูกดูดเข้าไปด้วยทำให้เกิดการอุดตันในตัวปั๊มน้ำและเป็นสาเหตุให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของน้ำลดลงแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ใช้อุปกรณ์ในการกรองน้ำเพื่อกรองเศษวัสดุเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่อยู่ในน้ำก่อนดูดเข้าปั๊ม

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับกระแสของปั๊มน้ำนั้นเมื่อใช้เวลาทดลองนานๆจะเกิดความร้อนสะสมที่ตัว IC มากถึงแม้ว่าจะมีตัวระบายความร้อนติดอยู่ที่ตัว IC ก็ตามทำให้การขับกระแสของปั๊มน้ำนั้นไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพแรงดันและกระแสที่เข้าสู้ปั๊มน้ำจะลดลงแม้ว่าแรงดันที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ขับกระแสจะคงที่ จึงเป็นสาเหตุทำให้อัตราการไหลของปั๊มน้ำลดลง แนวทางในการแก้ปัญหาคือ ใช้ไอซีที่สามารถทนกระแสได้สูงมากขึ้น หรือเปลี่ยนตัวระบายความร้อนให้ใหญ่ขึ้น

4. วาล์วที่ใช้ในการปรับพื้นที่หน้าตัดรูน้ำด้านออกสำหรับถังที่ 1 และถังที่ 2 นั้นจะมีจำนานรอบในการปรับที่น้อยกว่าวาล์วปรับพื้นที่หน้าตัดรูน้ำด้านออกสำหรับถังที่ 3 และถังที่ 4 ทำให้ความละเอียดในการปรับพื้นที่หน้าตัดรูน้ำด้านออกสำหรับถังที่ 1 และถังที่ 2 นั้นน้อยกว่ารูน้ำด้านออกถังที่ 3 และถังที่ 4 แนวทางในการแก้ปัญหาคือ หาวาล์วที่มีจำนวนรอบในการปรับมากๆ

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมแยกส่วนสำหรับกระบวนการระดับน้ำแบบ 4 ถัง ซึ่งเป็นการออกแบบตัวควบคุม PID ด้วยวิธี ICD ดังนั้นการหาวิธีการออกแบบที่เหมาะสมวิธีอื่นจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ นอกจากนั้นการนำตัวชดเชยมาใช้ร่วมกับการออกแบบตัวควบคุมเช่นตัวชดเชยแบบสแตติกดีคับปลิ้ง (Static decoupling) หรือ ตัวชดเชยแบบไดนามิคดีคับปลิ้ง (dynamic decoupling) ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่หน้าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] กิตติ ตีรเศรษฐ. **อุปกรณ์วัดและควบคุมในกระบวนการ**. กรุงเทพ : พิมพ์ครั้งที่ 2 สจล., 2535

[2] กิตติ ตีรเศรษฐ. **พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม**. กรุงเทพ : พิมพ์ครั้งที่ 5 สจล. , 2539

[3] รศ. สุนันท์ ศรัณยนิตย์. **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพ : ประชาชน จำกัด, 2542

[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 LaboratoryProcess with an Adjustable Zero**. IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.8, No.3, 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้