ปีการศึกษา 2530

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง Ratio Control

โดย

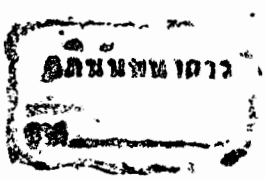
นาย โสภณ ลีลายุทธ์โท 27-1243

นาย สมศักดิ์ ศิรินาวเสถียร 27-1270

นาย อวยพร วงศ์คุณันดร 27-1298

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024648 26 มิ.ค. 533

ปีการศึกษา 2530

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง Ratio Control

โดย

นาย โสภณ สีลายุทธ์โท 27-1243

นาย สมศักดิ์ ศิรินวเสถียร 27-1270

นาย อวยพร วงศ์คุณันดร 27-1298

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024648

Ratio Control

Sophon Leelayuttho

Somsak Sirinawasathian

Auyporn Wongkunandorn

Pornsook Tejaroen Advisor

1987

Abstract

This thesis derives from the ratio control which is designed from the actual system in industrial system . The principal is measurement of signal across wild variable which the flow is controlled and pass signal through ratio setter which will multiply the signal by the desired ratio .

In this design , we implement cascade control by using level control signal as set point of flow control in order to maintain the level of mixture in case that load is not constant . This model can be used in real industrial work .

This control system , however , is designed for industrial process control laboratory use . Therefore ,not only designing and building work necessary , but data collecting and using procedure arranging are also essential as a guideline for the study of student.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอัตราส่วน

นาย โสภณ สีลายุทธ์โท
นาย สมศักดิ์ ศิรินวเสถียร
นาย อวยพร วงศ์คุณันดร
อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากผลงานการออกแบบระบบควบคุมอัตราส่วน(Ratio Control) ซึ่งได้สร้างแบบจำลองจากระบบที่ใช้งานจริงในงานอุตสาหกรรม โดยมีหลักการทำงานคือ วัดสัญญาณตัวแปรตัวหนึ่ง(Wild Variable)ซึ่งถูกควบคุมอัตราการไหล(Flow Control)ให้คงที่ จากนั้นนำไปผ่านตัวตั้งค่าอัตราส่วน (Ratio Setter) ซึ่งจะทำให้สัญญาณนี้ถูกคูณด้วยอัตราส่วนที่ต้องการ แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ควบคุมตัวแปรอีกตัวหนึ่ง (Controllable Variable) ก็จะได้อัตราการไหลที่เป็นอัตราส่วนกันตามต้องการ ซึ่งตัวแปรที่มีอัตราการไหลคงที่ เราสามารถนำไปใช้ควบคุมตัวแปรอื่นๆตามที่ต้องการในแต่ละตัว โดยในการออกแบบครั้งนี้ได้เพิ่มส่วนของการควบคุมแบบเป็นลำดับ (Cascade Control)ขึ้นมา โดยการนำเอาสัญญาณของการควบคุมระดับของของไหล(Level Control)มาเป็นค่าที่ต้องการ(Set Point)ของการควบคุมอัตราการไหล (Flow Control)อีกครั้งหนึ่ง เพื่อรักษาระดับของสารที่ผสมไว้ให้คงที่ในกรณีที่โหลดเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ได้จริงในงานอุตสาหกรรม

อนึ่งระบบการควบคุมที่สร้างขึ้นมานี้ จะใช้เป็นเครื่องมือทดลองประจำห้องปฏิบัติการการควบคุมขบวนการอุตสาหกรรม ดังนั้นนอกจากการออกแบบและสร้างแล้วต้องมีการเก็บข้อมูลและเรียบเรียงขั้นตอนการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานสำหรับนักศึกษาที่จะเข้ามาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2530

ภาควิชา ระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง Ratio Control

ผู้จัดทำ

1.นาย โสภณ สีลายุทธ์โท 27-1243

2.นาย สมศักดิ์ ศิรินวเสถียร 27-1270

3.นาย อวยพร วงศ์คุณันดร 27-1298

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หัวข้อ	เนื้อเรื่อง	หน้า
1		บทนำ	1
2		หลักการควบคุมอัตราส่วน	2
	2.1	อุปกรณ์ปฐม	7
	2.1.1	แผ่นออริฟิซ	8
	2.1.2	ท่อเวนจูรี่	12
3		การคำนวณและการสร้าง	14
	3.1	การคำนวณหา valve sizing coefficient(c_v)	14
	3.2	การคำนวณหาขนาดของแผ่นออริฟิซสำหรับการไหลของของเหลว	21
	3.2.1	วิธีคำนวณแบบประมาณ	22
	3.2.2	วิธีคำนวณหาขนาดของแผ่นออริฟิซ	24
	3.3	การคำนวณหาช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณที่ใช้	26
	3.4	การออกแบบระบบการควบคุม	28
	3.5	การออกแบบโปรแกรมควบคุมสำหรับเครื่อง	33
	3.5.1	วิธีใช้แผ่นเวเฟอร์ของเครื่อง compact controller F	34
4		การทดลองและผลการทดลอง	44
	4.1	การทดลองปรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณสำหรับอัตราการไหล	44
	4.2	การทดลองปรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณสำหรับวัดระดับของไหล	46
	4.3	การทดลองเพื่อควบคุมระบบให้ได้อัตราส่วนของของผสมตามต้องการ	48
5		สรุป	51
		ภาคผนวก	54
		กิตติกรรมประกาศ	60
		หนังสืออ้างอิง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

บทที่	รูปที่	เรื่อง	หน้า
2	2.1	แสดงลูปควบคุมอัตราส่วนแบบที่ 1	3
	2.2	แสดงลูปควบคุมอัตราส่วนแบบที่ 2	3
	2.3	แสดงหลักการทำงานของการควบคุมอัตราส่วน	4
	2.1.1	ความดันลดลงอันเนื่องมาจากของไหลไหลผ่านออริฟิซ	7
	2.1.2	ลักษณะของแผ่นออริฟิซ	8
	2.1.3	ท่อเวนจูรี่	12
	2.1.4	การแทปท่อวัดความดันแบบต่าง ๆ	13
3	3.1	แสดงลักษณะแรงดัน P_1 และ P_2 เมื่อผ่านอุปกรณ์ปฐม	15
	3.2	Plant Model	16
	3.3	ส่วนประกอบของการวัดอัตราการไหล	17
	3.4	กราฟแสดงคุณสมบัติของระบบการไหลเมื่อใส่วาล์วควบคุม	19
	3.5	กราฟแสดงลักษณะของวาล์วแบบ Equal percentage	20
	3.6	Orifice plate dimention	24
	3.7	ลักษณะของลูปควบคุมแบบอัตราส่วน	28
	3.8	ลักษณะการควบคุมแบบลำดับ	29
	3.9	ลักษณะระบบจำลอง	31
	3.10	วงจรไฟฟ้าสำหรับลูปการควบคุมทั้งหมด	32
	3.11	ตัวอย่างของสัญญลักษณ์บนแผ่นเวเฟอร์	34
	3.12	การเคลื่อนที่ของข้อมูล	36
	3.13	ตัวอย่างของวิธีการใช้แผ่นเวเฟอร์	38
	3.14	การเรียงข้อมูลเพื่อทำโปรแกรม	40
	3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของการวางแผ่นเวเฟอร์และแอดเดรส	40
4	3.16	แผนผังของการทำงานตามโปรแกรม	43
4	4.1	วงจรไฟฟ้าสำหรับวัดอัตราการไหล	44
	4.2	วงจรไฟฟ้าสำหรับวัดระดับน้ำในแท้งค์	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมเคมี ระบบควบคุมที่ถูกนำมาใช้ใน กระบวนการทางเคมี (Chemical Process) มากที่สุดคือการควบคุมอัตราส่วน(Ratio Control) เพราะในทางเคมีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ การผสมสารเคมีด้วยอัตราส่วนที่ต้องการ และเหมาะสม ดังนั้นในงานอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีต่างๆ จะมีระบบควบคุมอัตราส่วนเกี่ยวข้องเสมอ

ในการออกแบบและสร้าง ระบบควบคุมอัตราส่วน จะนำไปใช้เป็นแบบ การทดลองพื้นฐานให้กับนักศึกษาภาควิชาระบบควบคุม ที่จะศึกษาเกี่ยวกับวิชา การควบคุมกระบวนการ(Process Control)ได้ต่อไป ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ ได้แบ่งโครงงาน ออกเป็นขั้นตอนคือ

1.1 การออกแบบ และติดตั้งแบบจำลองของการทำงาน (Plant Model)

1.2 การออกแบบระบบการควบคุม(Control Loop)และวงจรการทำงาน

1.3 การเขียนโปรแกรมควบคุม สำหรับ ตัวควบคุมแบบโปรแกรม(Programmable Controller)ซึ่งเราใช้เครื่องควบคุมแบบCompact Controller F Type FMK เป็นตัวควบคุมแบบอัตราส่วน และตัวควบคุมแบบอนาล็อก(Analog Controller) แบบ PI Controller สำหรับการควบคุมแบบเป็นลำดับ (Cascade Control)

1.4 การตรวจสอบการทำงานของระบบการควบคุมที่ออกแบบไว้

1.5 รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมด นำมาวิเคราะห์

ซึ่งหลังจากที่โครงงานสำเร็จสามารถทำงานได้แล้ว เราสามารถนำเอาแบบจำลองนี้มาให้นักศึกษาใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการทำงานของการควบคุมอัตราส่วนในงานอุตสาหกรรมจริงได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการการควบคุมอัตราส่วน(Ratio Control)

การควบคุมอัตราส่วนเป็นการควบคุมแบบหนึ่งของ การควบคุมแบบล่วงหน้า (Feedfoward Control)ซึ่งจะทำการควบคุมอัตราส่วนการผสมของสาร 2 ชนิด ให้คงที่อยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปการควบคุมแบบนี้มักจะใช้การควบคุมอัตราส่วนของอัตราการไหลของของเหลว 2 ชนิด ซึ่งอัตราการไหลของสารทั้งสองจะถูกวัด แต่จะมี อัตราการไหลของของเหลวเพียงชนิดเดียวที่ถูกควบคุม ซึ่งของเหลวที่ถูกควบคุม จะเรียกว่า " ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variable)" ส่วนของเหลวที่อัตราการไหลไม่ได้ถูกควบคุม จะเรียกว่า "ตัวแปรที่ไม่ถูกควบคุม (Wild Variable)"

รูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงถึงรูปแบบของการควบคุมอัตราส่วน 2 แบบ-โดยมี "A " เป็นตัวแปรที่ไม่ถูกควบคุม และ" B " เป็นตัวแปรที่ถูกควบคุม โดยมีลักษณะดังนี้

1. รูปที่ 2.1 เราจะวัดอัตราการไหลของของเหลวทั้งสอง แล้วนำมาทำเป็นอัตราส่วนต่อกันซึ่งอัตราส่วนที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่เราต้องการ (Set Point) และความแตกต่างที่ได้ จะเป็นสัญญาณกระตุ้นตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Ratio Controller)

2. รูปที่ 2.2 เราจะวัดอัตราการไหลของ"A "และนำไปคูณกับอัตราส่วนที่ต้องการ ผลที่ได้จะนำไปเป็นค่าที่ต้องการ เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น จะเป็นสัญญาณกระตุ้นสำหรับตัวควบคุมแบบอัตราส่วน ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุมไปปรับอัตราการไหลของ" B " ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม

โดยปกติ ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน จะมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี ตัวอย่างการใช้งานตัวควบคุมแบบอัตราส่วนที่พบบ่อยมีดังนี้

1.ใช้ในการรักษาอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าหอกลั่นกับไอน้ำที่ได้จากการกลั่นให้คงที่

2.รักษาอัตราส่วนการไหลกลับของน้ำในหอกลั่น

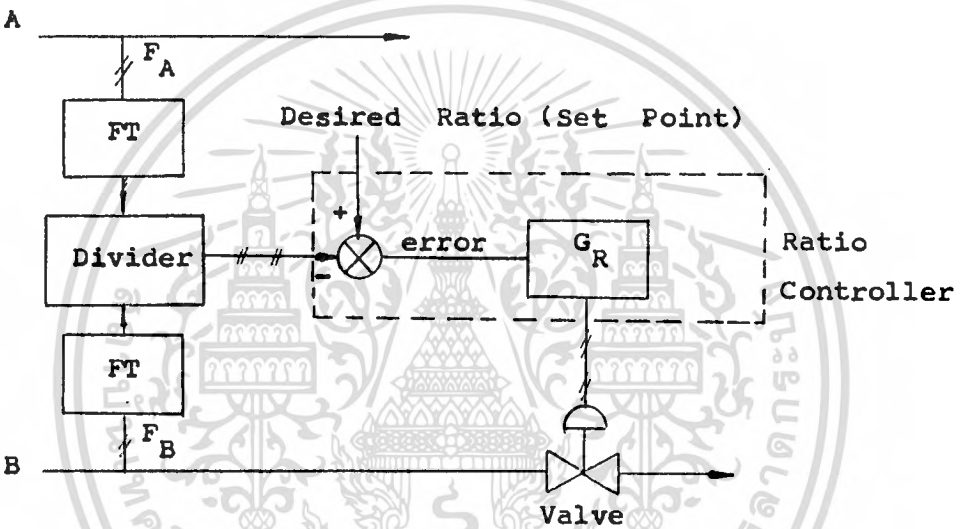
3.ควบคุมอัตราส่วนของตัวทำปฏิกิริยาที่เข้าไปในเตาแยกปรมาณูให้มีค่าได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

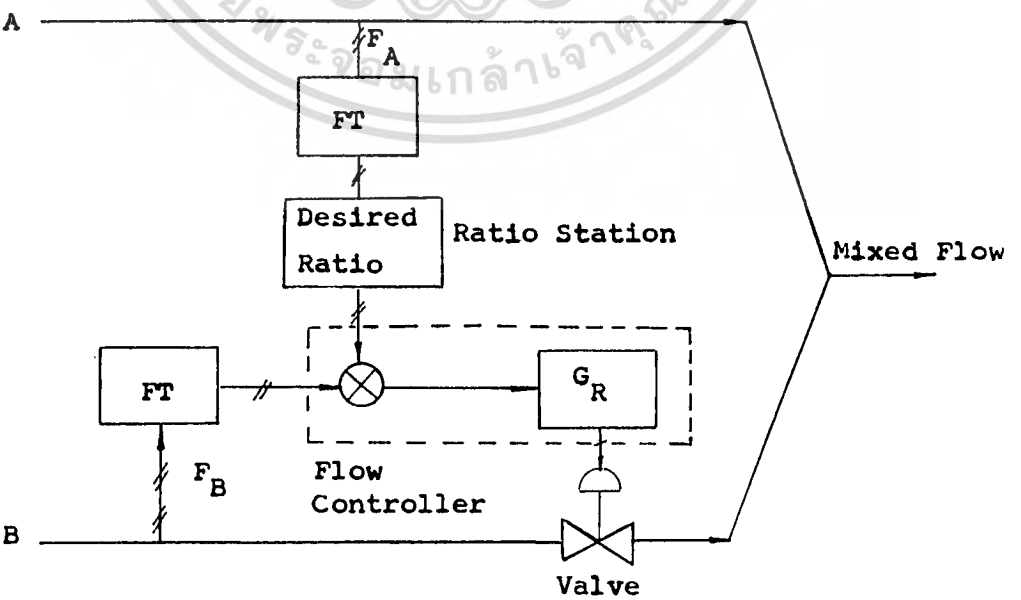
4. ควบคุมอัตราส่วนของของเหลว 2 ชนิดที่มาผสมกันให้คงที่ เพื่อให้สารผสมมีอัตราส่วนตามที่ต้องการ

5.รักษาอัตราส่วนของเชื้อเพลิงและอากาศในเตาเผาให้มีการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์(มีประสิทธิภาพสูงสุด)

6.รักษาอัตราส่วนการไหลของน้ำและอัตราการไหลของไอน้ำในเครื่องดูด (Absorber)ให้คงที่ เพื่อให้ได้ส่วนประกอบตามที่ต้องการที่ทางออกของไอน้ำ



รูปที่ 2.1



;FT:Flow Sensor-Transmitter

รูปที่ 2.2

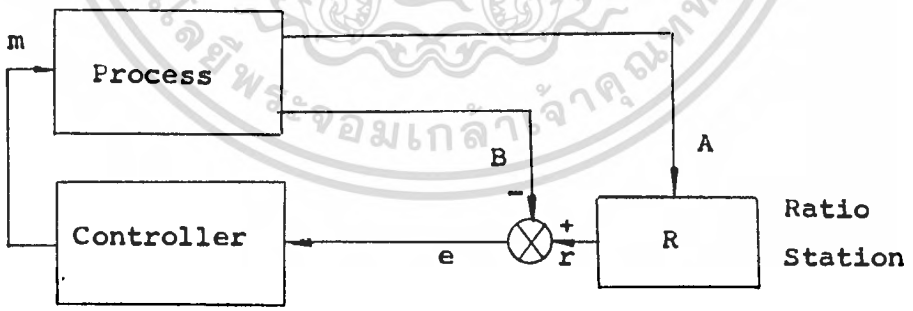
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.2 ของเหลวทั้งสองจะถูกผสมในอัตราส่วนคงที่ ในทางปฏิบัติแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมได้ (B) จะถูกจ่ายมาจากถังเก็บ ทำให้สามารถควบคุมได้ง่าย ส่วนของเหลวที่ไม่ถูกควบคุม (A) นั้นจะเป็นผลผลิตของระบบ และจะเปลี่ยนไปตาม ขบวนการผลิตของระบบนั้น ดังนั้น จะถูกวัดด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหล(Flow Controller) เท่านั้น และค่าสัญญาณทางออก(Output)ของมันจะถูกส่งไปยังหน่วยอัตราส่วน(Ratio Station) เพื่อนำไปเป็นค่าที่ต้องการ(Desired Value)ให้กับตัวควบคุมอัตราการ-ไหล(Flow Controller) ด้วยเหตุนี้ ความสัมพันธ์ของของเหลวทั้งสองจะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าอัตราส่วนที่ต้องการ

ในทางปฏิบัติที่ใช้กันจริงในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น การควบคุมการผสมของสาร 2 ชนิดไม่อาจใช้การควบคุมแบบป้อนกลับได้(Feedback Control) เนื่องจากไม่มีวิธีการวัดโดยตรงที่ส่วนผสม เพื่อบอกอัตราส่วนที่ถูกต้อง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะใช้การควบคุมแบบล่วงหน้าแทน โดยที่ตัวแปรตัวหนึ่งจะถูกควบคุมให้ได้อัตราส่วนกับอีกตัวหนึ่ง

ในระบบควบคุมอัตราส่วนนั้น ตัวแปรที่ถูกควบคุมที่แท้จริงคือค่าอัตราส่วน(R) ของค่าตัวแปรที่วัดได้ 2 ตัว คือA และ B

นั้นคือ $R = \frac{B}{A}$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



; e หมายถึงค่าความแตกต่าง

r=RA

รูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน

ตัวแปรที่ถูกควบคุม (B) ถูกควบคุมให้คงที่ ,e= r-B =RA-B = $\frac{B}{A}$.A-B ถ้า A ที่วัดได้เท่ากับ A ใน R แล้วค่าความแตกต่างจะเท่ากับศูนย์ แต่ถ้า A ที่วัดได้มากกว่าหรือน้อยกว่า A ใน R แล้วค่าความแตกต่างจะเป็นบวกหรือลบ ตามลำดับ และค่านี้จะไปทำการปรับค่าตัวแปรจัดการ(manipulated variable (m)) ในตัวควบคุม ให้ไปทำการเปลี่ยนค่า B ให้มากขึ้นหรือน้อยลงตาม

ตัวอย่าง เช่น ถ้ากำหนดให้ $R= \frac{B}{A}= \frac{3}{4}$

ถ้าวัดค่า A ได้ 4 จะได้

ค่าความแตกต่าง $e= \frac{3}{4}.4-3 =0$ ซึ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่าง ดังนั้นระบบจะให้สัญญาณทางออกตามที่ต้องการ

แต่ถ้าวัดค่า A ได้ = 5

ค่าความแตกต่าง $e = \frac{3}{4}.5-3 =3.75-3 =0.75$

จะเห็นว่ามีค่าความแตกต่างเกิดขึ้นเท่ากับ 0.75 ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะไปทำให้ค่าตัวแปรจัดการไปบังคับวาล์วของตัวแปร B ให้เปิดมากขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 3.75

เพราะฉะนั้นค่าความแตกต่างจะเป็น $e= \frac{3}{4}.5-3.75 =0$

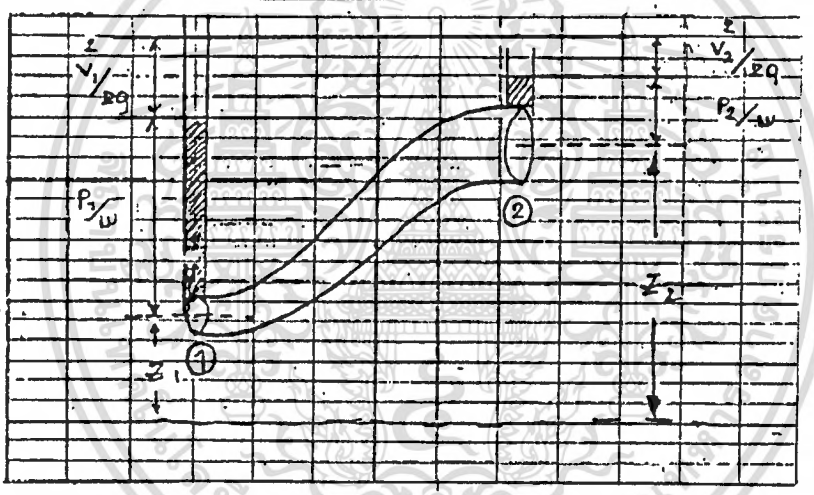
นั้นคือค่าความแตกต่างจะถูกปรับให้มาเป็นศูนย์ตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้เข้าใจเกี่ยวกับ การคำนวณและการสร้างระบบควบคุมอัตราส่วน ในบทที่ 3 จำเป็นที่จะต้องศึกษาหลักการของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดให้เข้าใจเสียก่อน ในส่วนท้ายของบทนี้จะขอกล่าวถึง เนื้อหาสาระที่สำคัญเกี่ยวกับทฤษฎีเบอร์นูลีย์ และอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ดังต่อไปนี้

<u>ทฤษฎีเบอร์นูลีย์</u>

"ภายในสายการไหลที่คงที่ ปราศจากความฝืด ผลรวมของพลังงานจลน์ , พลังงานความดัน และพลังงานศักย์ ย่อมมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ตลอดสายการไหลเดียวกัน "



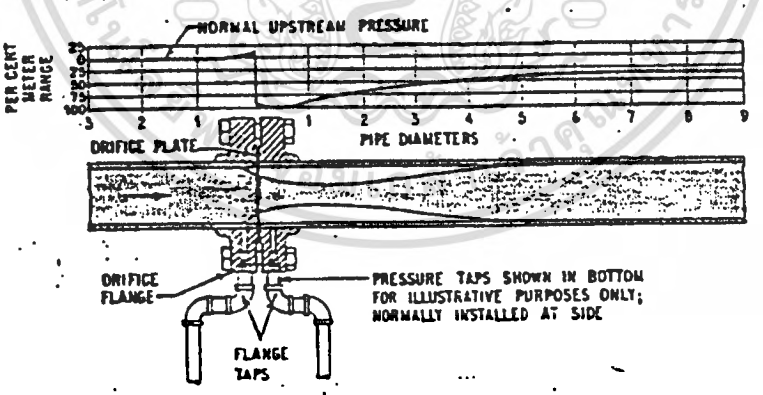
รายละเอียดของทฤษฎีสามารถอธิบายได้ด้วย กฎอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกล่าวไว้ว่าพลังงานภายในเหหวัตถุไม่มีวันสูญหายไป เป็นเพียงแต่ปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูปของพลังงานเท่านั้น ดังนั้นตามข้อความข้างบนจึงเป็นที่เข้าใจชัดแจ้งอยู่ในตัวของมันเองอยู่แล้วว่า ผลรวมของพลังงานในการไหล ณ. จุดต่างๆภายในท่อปิดเดียวกันย่อมเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 อุปกรณ์ปฐม

ในการวัดอัตราการไหลของของไหล โดยใช้หลักการของความดันแตกต่าง อุปกรณ์ปฐมในการวัดที่แทรกเข้าไปในท่อตรง(หมายความว่ามันจะสัมผัสโดยตรงกับของไหลที่วัด) จะต้องถูกเลือกและออกแบบให้เหมาะสมที่สุด ในการติดตั้งมันดูเหมือนจะเป็นเรื่องเกินความสามารถที่จะนิยามและพิจารณาค่าแฟคเตอร์ที่สำคัญๆทั้งหมดของอุปกรณ์ปฐม เราจะพิจารณาเฉพาะแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญ และมีผลต่อการวัดมากๆเท่านั้น หัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงอุปกรณ์ปฐมที่ใช้กันมากคือ ออริฟิซ และท่อเวนจูรี่ ศึกษาถึงลักษณะการใช้งานของตัวอุปกรณ์ปฐมนี้ และธรรมชาติทางฟิสิกส์ด้วย

ความแตกต่างของความดัน จะสามารถสร้างโดยอุปกรณ์ทุติยภูมิ ที่อยู่ส่วนนอกท่อ หน้าที่ของอุปกรณ์ปฐมคือ การเพิ่มความเร็วของของไหล โดยการลดหน้าตัดพื้นที่ของท่อ ความดันสถิตย์ก็จะลดลง เนื่องจากความเร็วของการไหลเพิ่ม(ตามกฎของเบอร์นูลีย์) ซึ่งเราสามารถหาอัตราการไหลของของไหล ได้จากความดันที่ลดลงเมื่อผ่านอุปกรณ์ปฐม โดยวัดความดันนี้จากอุปกรณ์ทุติยภูมิ



รูปที่ 2.1.1 ความดันลดลงอันเนื่องมาจากของไหลไหลผ่านออริฟิซ

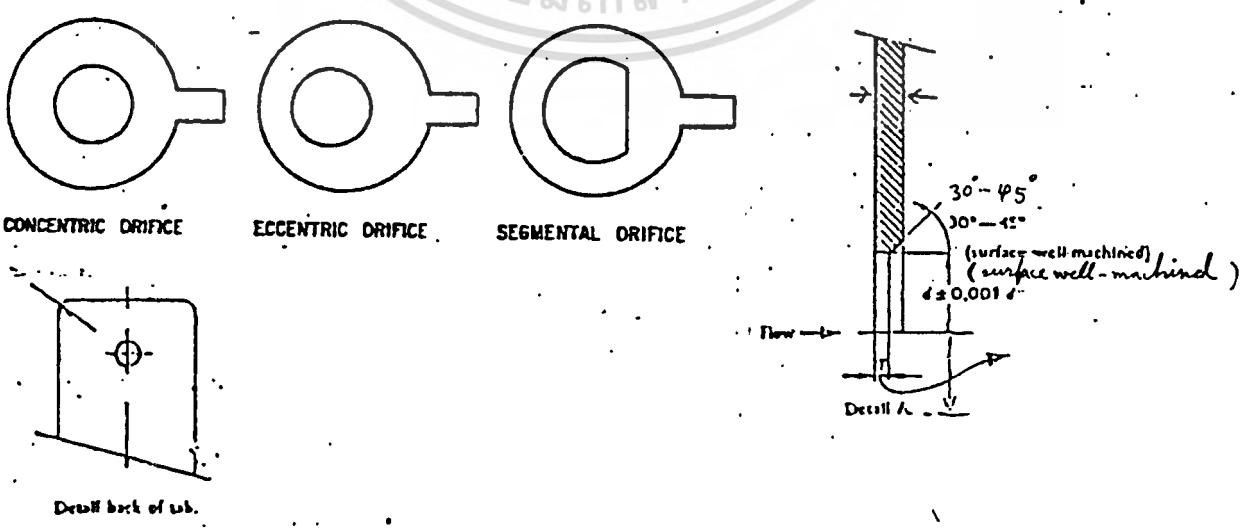
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ปรุมคือ แผ่นออริฟิซ และท่อเวนจูรี่ ถึงรายละเอียดลักษณะทางฟิสิกค์ และการใช้งานของมัน

2.1.1 <u>แผ่นออริฟิซ</u>

เป็นอุปกรณ์แบบธรรมดา ลักษณะการทำงานยืดหยุ่นได้มาก เป็นแผ่นบางมีรูกลม(อาจไม่กลมก็ได้)การยึดระหว่างหน้าแปลนที่ข้อต่อในสายท่อ ดังนั้นจะทำให้รูถูกฝังอยู่ภายในสายท่อ การติดตั้งหรือลักษณะของรูอาจจะพลิกแพลงไปให้เกิดความเหมาะสมกับการทำงานซึ่งสามารถปรับให้มันวัดได้ทั้งลักษณะการไหลแบบforward หรือ reverse อุปกรณ์ชนิดนี้ค่อนข้างถูกกว่า พวกท่อเวนจูรี่ โดยทั่วไปตำแหน่งรูออริฟิซ จะอยู่รวมจุดศูนย์กลางเดียวกับท่อ แต่ยังมีแบบ eccentricเพื่อไว้ใช้กับกาซชื้น หรือของเหลว และจะเป็นแบบ segmential เมื่อมีของแข็งเจือปนในของไหล ขนาดรูออริฟิซที่ใช้ในท่อที่มีขนาดเล็กกว่าให้ความเชื่อมั่นในการวัดได้สูงถึง 90 เปอร์เซนต์

ความสำคัญของรูปร่างของขอบรูออริฟิซ ไม่สามารถจะประมาณค่ามุมได้แน่นอนนัก เนื่องจากความแตกต่างของความดัน ที่เกิดจากริมขอบวงกลมของมัน ประสิทธิภาพในการวัดจะถูกลดทอนไปถึง 2 เปอร์เซนต์ จากการทดลอง และ 10 เปอร์เซนต์ ขณะการไหลเต็มที่ ลักษณะและอัตราการสึกกร่อน จะเพิ่มขึ้นถ้ามุมของขอบวงกลมเพิ่มขึ้น ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแผ่นออริฟิซควรจะมีความทนทานต่อการสึกกร่อนสูงแม้จะใช้ในระยะเวลานาน



รูปที่ 2.1.2 ลักษณะของแผ่นออริฟิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบแผ่นออริฟิซนั้น ส่วนประกอบที่จะต้องถูกออกแบบอย่างรอบคอบและแม่นยำ เพราะฉะนั้นจะมีผลต่อการวัดอัตราการไหลอย่างมาก ส่วนประกอบต่างๆมีดังต่อไปนี้

1.ขอบด้านหน้าแปลนออริฟิซจะต้องคม และเป็นสัน เพราะมันจะไม่ทำให้เกิดการกระทบสะท้อนถอยหลัง ของสายการไหล จำไว้ว่าจะมีรอยมนไม่ได้เลย(ดูรูป 2.1.2)

2.ความหนาแน่นของแผ่นออริฟิซ ณ.จุดขอบของแผ่นจะต้องไม่เกิน

1/30 ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (D)

1/8 ของรูออริฟิซ (d)

1/4 ของส่วนสันล่างของออริฟิซ (D-d)

การใช้ข้อกำหนดขั้นต่ำ ถ้ากรณีที่ความหนาจะต้องเกินค่ากำหนดนี้ ขอบด้านหลังแปลนจำเป็นจะต้องตัดให้เปิดเป็นเป็นมุม 45° หรือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแปลน แต่ถ้าแผ่นออริฟิซอยู่ในรูปลักษณะนี้แล้วจะใช้ได้แต่การวัดแบบ forward เท่านั้น กล่าวคือขอบสันเหลี่ยม(ส่วนขอบตัด) จะต้องอยู่ทางด้านหน้าแปลนเสมอ

3.การจับ(Clamp) ระหว่างหน้าแปลนทั้งสองด้าน แผ่นที่จับนั้นจะต้องมีความหนาไม่มากกว่า 0.01 นิ้วต่อนิ้ว ของ D-d (สันล่างนับจากผิวท่อด้านในถึงขอบรูออริฟิซ)

4.เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ ค่าอัตราส่วนออริฟิซ $\frac{d}{D}$ จะต้องไม่เกินเขตจำกัดที่จะกล่าวในบทแทรก ตามแบบการแทปท่อความดันชนิดต่างๆ(ดังรูปที่ 2.1.3) โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆจะใช้ไม่ได้ ถ้าท่อมีขนาดเล็กกว่า 1.5" เพราะณ.ขนาดท่อเล็กๆผนังท่อด้านในจะมีความขรุขระมากจนทำให้สัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงไปมาก และสิ่งสำคัญก็คือเมื่อทำการออกแบบออริฟิซสำหรับท่อขนาดใหญ่แล้ว ยังสามารถใช้ ส.ป.ส. สำหรับท่อขนาด 14,16 นิ้ว เป็นตัวกำหนดได้

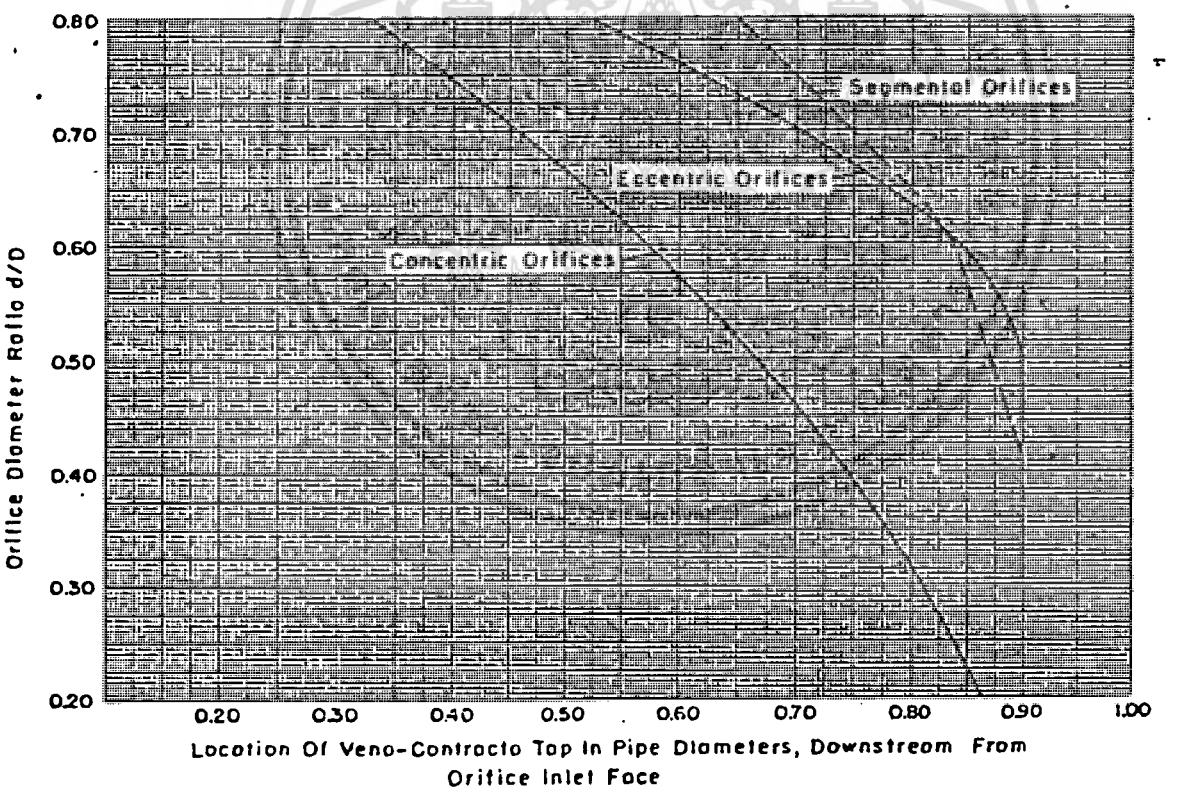
5.ในการวัดไอน้ำและของเหลว การแทปท่อวัดความดันควรจะเจาะอยู่ข้างท่อ ส่วนถ้าวัดกาซควรจะเจาะ ณ. ส่วนบนของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024648

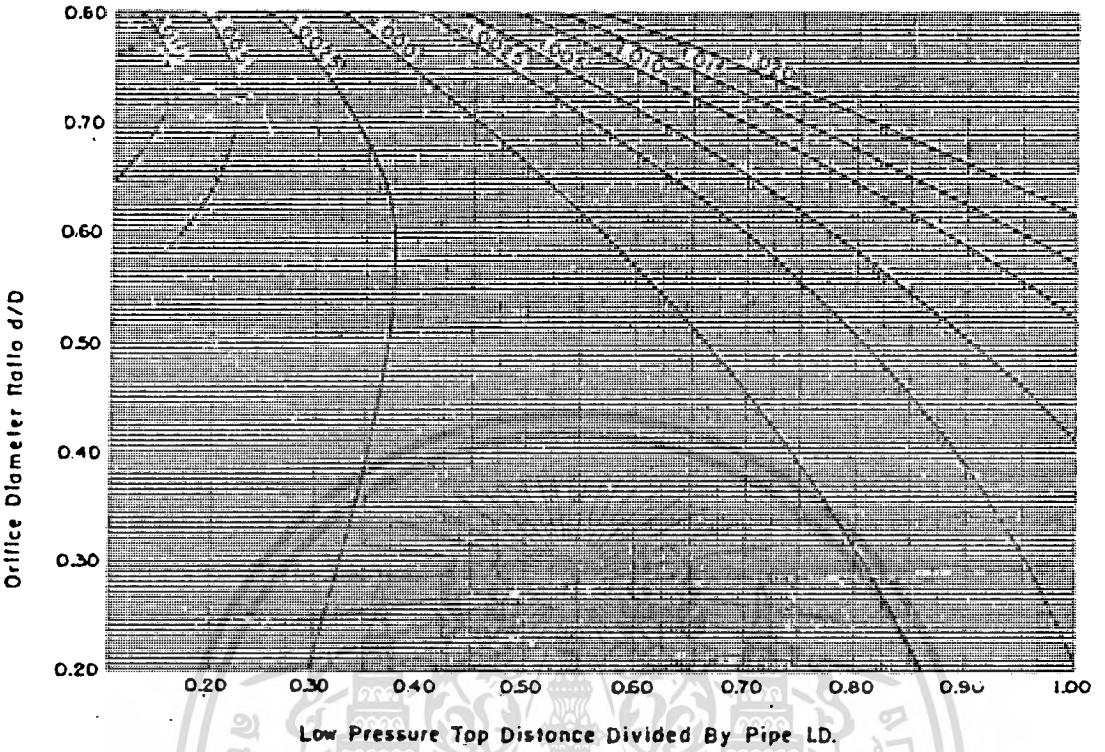
<u>บทแทรก</u> ลักษณะการติดตั้งท่อวัดความดันสูง-ต่ำ

1.สำหรับการแทปท่อวัดความดัน ณ. จุด Vena-Contracta ในลักษณะตามมาตรฐานเจาะรูตรงกลางแล้ว โดยปกติท่อวัดความดันด้านหน้าแปลนจะถูกเจาะเจาะอยู่ห่างจากหน้าแปลนเป็นระยะ 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และ.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ด้านหลังแปลน(ด้านความดันต่ำ) นี้จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนออริฟิซ อีกค่าหนึ่งด้วย กราฟรูปที่ 2.1.1 แสดงถึงตำแหน่ง Vena-Contracta ที่แน่นอน และกราฟใน รูปที่ 2.1.2 จะแสดงถึงค่าCorrection factor สำหรับการเปลี่ยนแปลงจากจุดที่แน่นอนที่ขนาดท่อ 4" และสูงกว่า ค่าอัตราส่วนออริฟิซจะอยู่ระหว่าง 0.10-0.80 สำหรับขนาดท่อต่ำกว่า 4" จุดVena-Contracta ไม่ควรจะใช้เพราะเหตุผลที่ว่า จะเกิดการแทรกสอดระหว่างหน้าแปลน และจุดแทปวัดความดันด้านหลังแปลน



กราฟรูปที่ 2.1.1 จุด Vena-contracta tap in pipes dianeters downsteam form orfice inlet face

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟรูปที่ 2.1.2 Low pressure tap distance by pipe I.D.

2. Flange taps การแทปท่อวัดความดันนี้จะติดตั้งอยู่ณ.ตำแหน่งห่างจากหน้าแปลน 1" ทั้ง 2 ด้าน สำหรับท่อขนาด 4" และสูงกว่า ค่าอัตราส่วนออริฟิซ จะอยู่ระหว่าง 0.10-0.75 และท่อขนาด 3.25 และต่ำกว่าจะมีค่าระหว่าง 0.20-0.70

3. Pipe taps การติดตั้งท่อแบบนี้จะเจาะ ณ. จุด 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และ 6 เท่าด้านหลังแปลน ค่าอัตราส่วนจะเหมือนกับแบบ Flange taps

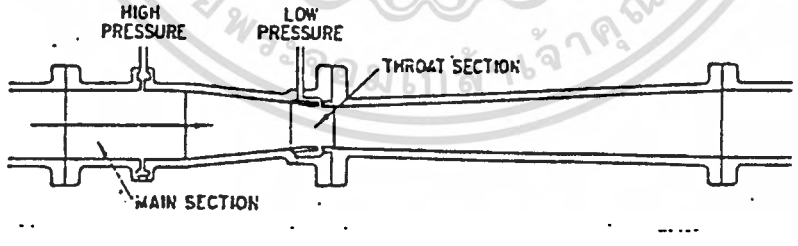
4. ยังมีการติดตั้งอีก 2 ประเภทคือ แบบ Conner taps ซึ่งนิยมกันในยุโรป โดยติดตั้งที่มุมระหว่างผนังท่อและแผ่นออริฟิซทั้ง 2 ด้าน การแทปแบบนี้ต้องใช้หน้าแปลน--ชนิดพิเศษ หรือใช้ Orifice holding rings และอีกประเภทหนึ่งคือ Radius taps ซึ่งคล้ายกับแบบ Vena-contracta คือติดต่อท่อวัดความดัน ณ. จุด 1 เท่าของเส้นผ่าน-ศูนย์กลางท่อด้านหน้าแปลน และ 0.5 เท่าด้านหลังแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ท่อเวนจูรี่

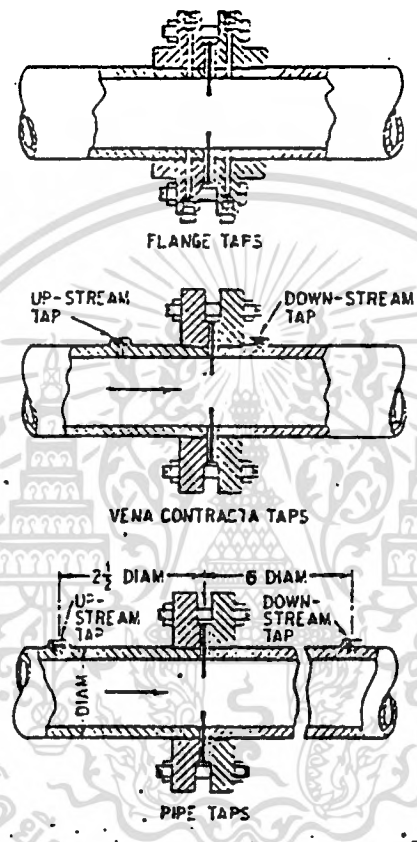
ลักษณะสำคัญของท่อเวนจูรี่คือ ความดันที่เกิดจากตัวมัน เมื่อเราต้องการความผิดพลาดในการวัดที่น้อย เนื่องจากของไหลมีความดันต่ำ ไหลแบบกระโชกกระชาก มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการไหลอย่างรุนแรง ของไหลมีของแข็งเจือปน ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อผนังท่อ ซึ่งแปรตามกำลัง 5 ของเส้นผ่านศูนย์กลางเปลี่ยนแปลงไป

ท่อเวนจูรี่ประกอบกันเข้าเป็นหน่วยเดียวของท่อที่สั้น และตรงกลางนี้เรียวคอดตามปกติจะใส่ระหว่างหน้าแปลนทั้งสองของท่อ จุดประสงค์เพื่อจะเร่งอัตราการไหลของ--ของไหล และลดแรงดันชั่วขณะ และมีการต่อท่อที่เหมาะสมเพื่อวัดแรงดันแตกต่างระหว่าง--ด้านเข้าของของไหลกับตรงคอคอดได้ รูปแบบของโครงสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 2.1.3 เริ่มจากหน้าแปลนด้านไหลเข้า ส่วนแรกจะเป็นทรงกระบอกสั้นๆ ซึ่งเป็นส่วนต่อของท่อด้านไหลเข้า ส่วนนี้อาจถูกขัด หรือหล่อลื่นเพื่อที่จะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแรงดันสถิตย์ของของไหลที่ทางไหลเข้าอาจวัดได้จากรูเดี่ยวที่เจาะที่ข้างท่อ หรืออาจจะวัดจากรูหลายๆรูที่เจาะรอบท่อทางเข้า เพื่อทำเป็นแหวนไพโซมิเตอร์ ซึ่งสามารถต่อแรงดัน--เดียวออกมาได้



รูปที่ 2.1.3 ท่อเวนจูรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.4 การแทปท่อวัดความดันแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การคำนวณหา Valve sizing coefficient (C_v) ของวาล์วควบคุม

จากทฤษฎีของ เบอร์นูลีย์ Bernoulli's theorem จะได้สมการว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{r} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{r} \quad \text{.....(1)}$$

จะได้สมการใหม่เป็น

$$V_2^2 - V_1^2 = 2g(P_1 - P_2)/r \quad \text{.....(2)}$$

จากกฎมวลสารสมดุลย์ กล่าวว่า " ปริมาณการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ภายในท่อท่อหนึ่งหน่วยเวลาจะคงที่เสมอ" นั่นคือ

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

$$\therefore \quad V_1 = \frac{A_2V_2}{A_1} \quad \text{.....(3)}$$

แทน (3) ใน (2) จะได้ $V_2^2 - (\frac{A_2}{A_1})^2 V_2^2 = 2g(P_1 - P_2)/r$

$$\therefore \quad V_2^2 = \frac{2g(\Delta P/G)}{r_w(1 - (\frac{A_2}{A_1})^2)}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g}{r_w(1-(\frac{A_2}{A_1})^2)}}\sqrt{\Delta P/G}$$

ดังนั้นเราจะคำนวณหาอัตราการไหลได้เท่ากับ

$$Q = A_2V_2 = A_2\sqrt{\frac{2g}{r_w(1-(\frac{A_2}{A_1})^2)}}\sqrt{\Delta P/G}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2gA_2^2}{r_w(1-(\frac{A_2}{A_1})^2)}}\sqrt{\Delta P/G}$$

$$Q = K\sqrt{\Delta P/G} \quad \text{.....(4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้

v_1 = ความเร็วของของไหลด้านเข้า -ม/วินาที

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก-ม/วินาที^{2}

P_1 = แรงดันสถิตย์-ก.ก./ม^2 ด้านไหลเข้า

r = ความหนาแน่นของของไหล-ก.ก./ลูกบาศก์เมตร

r_w = ความหนาแน่นของน้ำ-ก.ก./ลูกบาศก์เมตร

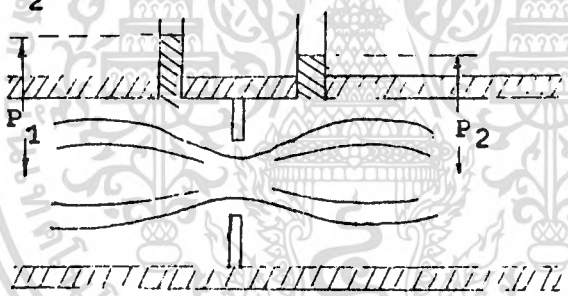
G = Specific Gravity

v_2 = ความเร็วของของไหลด้านไหลออก-ม/วินาที

P_2 = แรงดันสถิตย์-ก.ก./ม^2 ที่ด้านไหลออก

A_1 = พ.ท.หน้าตัดท่อ-ม^2

A_2 = พ.ท.หน้าตัดของออริฟิซ-ม^2



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะแรงดัน P_1 และ P_2 เมื่อผ่านอุปกรณ์ปฐม

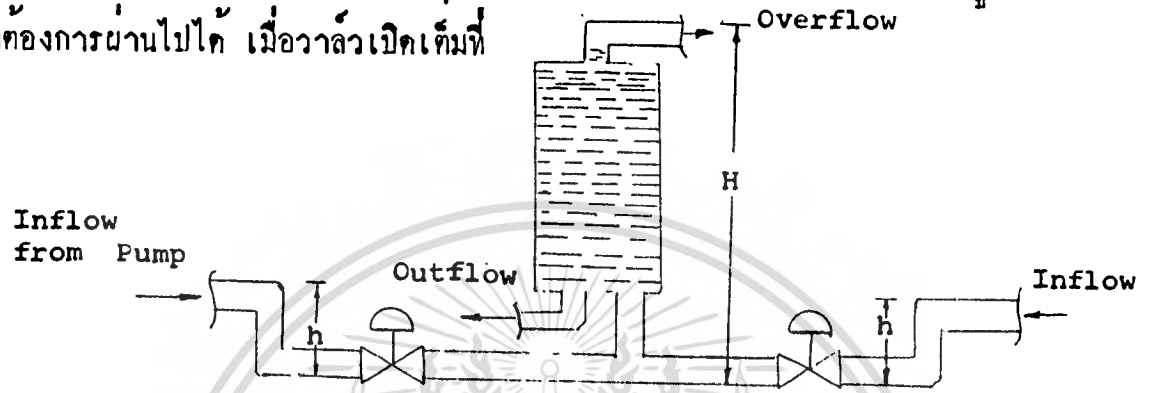
จากสมการที่(4) สำหรับ Control valve แล้วค่า K คือค่า C_v ซึ่งเราจะหาค่า C_v มา คือ ค่า C_v สูงสุด ซึ่งหาจากอัตราการไหลสูงสุด แล้วจะนำค่า C_v นี้ไปเปิดตารางหาค่าขนาดของท่อ (Pipe Size) ที่จะใช้ในระบบ โดยให้ค่า C_v สูงสุดอยู่ในตำแหน่งที่วาล์วเปิด(Valve Opening) 80%

Capacity หรืออัตราการไหลผ่านของวาล์วควบคุม ต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งใน Process ที่จะใช้วาล์วไปควบคุม ค่าที่บอกถึงอัตราการไหลผ่านของวาล์วคือค่า C_v

ในการผลิตวาล์วควบคุมทุกแบบ บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดขนาดของวาล์วด้วยค่า C_v นี้ ค่า C_v มีหน่วยมาตรฐานเป็น U.S.gallons ของน้ำต่อนาที(ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน) โดยที่อัตราการไหลผ่านวาล์วที่เปิดโมที่จะเท่ากับค่า C_v เมื่อมีความดันตกคร่อมวาล์วเท่ากับ 1 Psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรามีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องหาขนาดของวาล์วควบคุมที่เหมาะสม-- เพราะว่า ถ้าวาล์วควบคุมมีขนาดใหญ่เกินไป มันจะมีความต้านทานไม่พอที่จะควบคุมการไหลของของเหลว แต่ถ้าวาล์วควบคุมมีขนาดเล็กเกินไป มันจะไม่ให้การไหลที่สูงพอตามที่ต้องการผ่านไปได้ เมื่อวาล์วเปิดเต็มที่



รูปที่ 3.2 Plant Model

ดังนั้นจากสมการที่ (4) เราจะได้ สูตรการหาขนาดของวาล์ว สำหรับการไหลของของเหลวดังนี้คือ $Q = C_v\sqrt{\Delta P/G}$

นั่นคือ $C_v = Q\sqrt{G/\Delta P}$

และจากการวัดระยะต่างๆใน Plant Model ที่สร้างขึ้น จะได้ค่า H เท่ากับ 6 ฟุต และค่า h เท่ากับ 1.1667 ฟุต และปั๊มน้ำที่ใช้มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 5.28 gpm เนื่องจากน้ำสูง 1 ฟุต แรงกดดันเท่ากับ 0.443 Psi ดังนั้นจะได้ว่า

$$P = (6 \text{ ฟุต} - 1.1667 \text{ฟุต})\ (0.433)\ \text{Psi}$$

$$= 2.094\ \text{Psi}$$

เพราะฉะนั้น $C_v = Q\sqrt{G/\Delta P}$

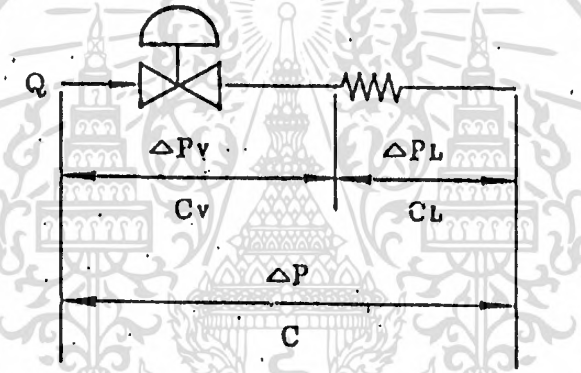
$$= 5.28\sqrt{1/2.094} = 3.65$$

ดังนั้นวาล์วควบคุมที่ใช้ควรมีค่า C_v เท่ากับ 3.65

เมื่อนำค่า C_v ที่ได้ไปเปิดตาราง(ในภาคผนวก) เพื่อหาขนาดของท่อที่ตำแหน่งวาล์วเปิด 80% จะได้ขนาดของท่อเท่ากับ 3/4 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราหาค่า C_v ของวาล์วควบคุมและเปิดตารางหาขนาดของท่อที่จะใช้ได้แล้ว ต่อไปเราต้องเลือกชนิดของวาล์วที่จะใช้ให้เหมาะสมกับระบบควบคุมที่ใช้ ในระบบควบคุมอัตราส่วนนี้ เราใช้วาล์วควบคุมในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำซึ่งท่อตรงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่เท่ากันตลอดช่วง มีบางช่วงที่เล็กลงซึ่งทำให้เกิดความต้านทานต่อการไหล เราจะเรียกความต้านทานนี้ว่า "ความต้านทานอนุกรม (Serial Resistance) ดังนั้นในระบบการวัดอัตราการไหลจะมีความดันที่ตกคร่อมวาล์วควบคุมและความดันเนื่องจากความต้านทานอนุกรม(ในกรณีนี้เราไม่คิดความเสียดทานของท่อ , expension loss และ Bending loss) แสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของการวัดอัตราการไหล

สมการสำหรับคำนวณอัตราการไหลผ่านท่อมีดังนี้

1) อัตราการไหลที่ตำแหน่งวาล์วเปิดใดๆ คือ

$$Q = \frac{C_v}{1.17}\sqrt{\Delta P_v} \quad \text{.....(1)}$$

$$Q = \frac{C_1}{1.17}\sqrt{\Delta P_1} \quad \text{.....(2)}$$

$$Q = \frac{C}{1.17}\sqrt{\Delta P} \quad \text{.....(3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อัตราการไหลที่ตำแหน่งวาล์วเปิดสูงสุด คือ

$$Q_{max} = \frac{C_{v\ max}}{1.17} P_{v\ min} \quad \text{.....(4)}$$

$$Q_{max} = \frac{C_l}{1.17} P_{l\ max} \quad \text{.....(5)}$$

$$Q_{max} = \frac{C_{max}}{1.17} P \quad \text{.....(6)}$$

ในที่นี้ Q = อัตราการไหลที่ตำแหน่งวาล์วเปิดใดๆ

P_v = ความดันตกคร่อมที่วาล์ว

P_l = ความดันตกคร่อมความต้านทานอนุกรม

P = ความดันตกคร่อมตลอดช่วง

C_v = สัมประสิทธิ์การไหลของวาล์ว (ตัวแปร)

C_l = สัมประสิทธิ์การไหลของความต้านทานอนุกรม (ค่าคงที่)

C = สัมประสิทธิ์การไหลของระบบทั้งหมด (ตัวแปร)

ต่อไปนำสมการ (1)/(4) , (2)/(5) และ จะได้

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_v\sqrt{\Delta P_v}}{C_{v\ max}\sqrt{\Delta P_{v\ min}}} \quad \text{.....(7)}$$

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_l\sqrt{\Delta P_l}}{C_l\sqrt{\Delta P_{l\ max}}}$$

$$= \sqrt{(\Delta P - \Delta P_v)/(\Delta P - \Delta P_{v\ min})} \quad \text{...(8)}$$

จากสมการที่ (8) จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta P_v = \Delta P - (\Delta P - \Delta P_{v\ min})\left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)^2 \quad \text{...(9)}$$

จัดรูปสมการที่ (7)ใหม่ โดยแทนค่า ในสมการที่ (9)ลงในสมการที่(7) จะได้

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \frac{C_v\sqrt{\Delta P-(\Delta P-(\Delta P-\Delta P_{vmin})\left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)^2}}{C_{v\ max}\sqrt{\Delta P_{v\ min}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะให้ $\phi = \frac{Q}{Q_{max}}$ ดังนั้นจะได้

$$\phi^2 = \frac{C_v^2 \left(\Delta P - (\Delta P - \Delta P_{v\ min})(\frac{Q}{Q_{max}})^2\right)}{C_{v\ max}^2 \Delta P_{v\ min}}$$

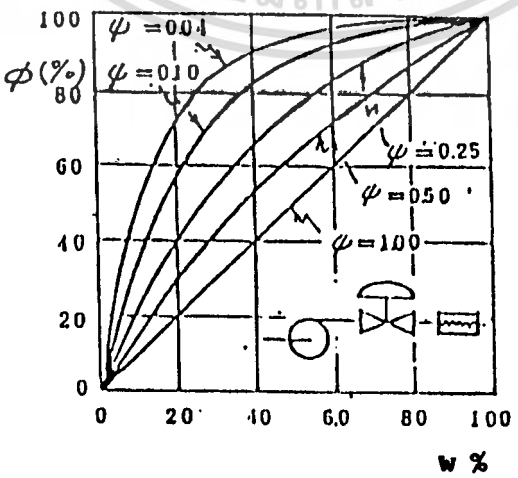
$$= \frac{C_v^2 \Delta P}{C_{v\ max}^2 \Delta P_{v\ min} + C_v^2 \Delta P - C_v^2 \Delta P_{v\ min}}$$

$$= \frac{1}{\frac{\Delta P_{v\ min}}{\Delta P}\left(\frac{C_{v\ max}}{C_v}\right)^2 + 1 - \frac{\Delta P_{v\ min}}{\Delta P}}$$

$$w = \frac{C_v}{C_{v\ max}}, \quad \psi = \frac{\Delta P_{v\ min}}{\Delta P}$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{\frac{\psi}{w^2} + 1 - \psi}}$$

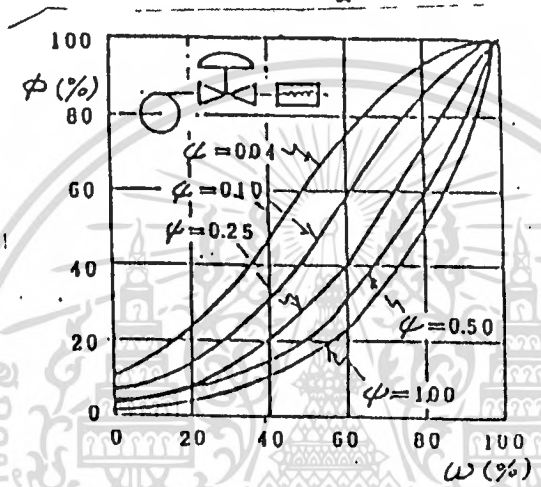
จากสมการที่ (10) เมื่อนำไปวาดกราฟ ระหว่างค่า ϕ และ w ในหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ จะได้กราฟที่แสดงถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล เมื่อใส่วาล์วควบคุมเข้าไปในระบบ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงคุณสมบัติของระบบการไหลเมื่อใส่วาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ระบบการไหลเมื่อใส่วาล์วควบคุมจะมีลักษณะเป็นแบบการเปิดอย่างรวดเร็ว(Quick Opening)ซึ่งระบบการไหลอย่างนี้เราจะต้องเลือกวาล์วควบคุมเป็นแบบ Equal Percentage ดังรูปที่ 3.5 เพื่อให้การเปิดปิดวาล์วมีลักษณะตรงข้ามกับระบบ ซึ่งทำให้การไหลของระบบถูกชดเชยให้เป็นแบบเชิงเส้น ระบบการไหลที่เป็นแบบเชิงเส้นเท่านั้น จึงจะนำทฤษฎีการวัดอัตราการไหลมาใช้ได้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงลักษณะของวาล์วแบบ Equal Percentage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2การคำนวณหาขนาดของแผ่นออริฟิซ สำหรับการไหลของของเหลว

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการคำนวณหาขนาดรูของแผ่นออริฟิซ(Orifice bore)

1)อัตราการไหลสูงสุดและเฉลี่ยในหน่วยที่ต้องการ(Maximum and average flow)

2)อุณหภูมิฐาน(Base Temperature) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

3)อุณหภูมิขณะทำการ(Operating Temperature) และความถ่วงจำเพาะ

4)ความหนืด (Viscosity)ของของเหลวที่อุณหภูมิขณะทำการ

5)ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ ซึ่งสามารถหาได้โดยเปิดตารางท่อ

6)ชนิดและพิกัดของ flanges ซึ่งมีแผ่นออริฟิซถูกติดตั้งอยู่ภายใน

7)แบบโครงร่างและขนาด(Dimentional)ของท่อซึ่งแผ่นออริฟิซจะถูกติดตั้งเข้าไป และชนิดของ fittings และวาล์วบนด้านไหลเข้าของแผ่นออริฟิซ

8)ชนิดของเครื่องมือวัด(Meter body)ที่จะใช้ (แบบปรอทหรือแบบแห้ง ถ้าเป็นแบบปรอท เราต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวเหนือปรอท และในท่อที่ต่อออกมา

9)วัสดุที่ใช้ทำแผ่นออริฟิซ

อัตราการไหลจะคำนวณในหน่วย gph (gallons per hour)ที่ 60°F การคำนวณต่อไปจะยึดถือตามนี้ วิธีคำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิซมีอยู่ 3 วิธี ซึ่งแตกต่างกันตามความเที่ยงตรง(accuracy)ที่ต้องการ ดังนี้คือ

1) วิธีคำนวณแบบประมาณ(Approximation)วิธีนี้จะให้ขนารูภายในช่วง ±5% ของขนาดรูที่แท้จริง และสามารถใช้ได้กับการแทปแบบ Vena-contracta หรือ-แบบ flange สำหรับวิธีนี้เราจะไม่หาค่าตัวประกอบออริฟิซ(Orifice factor ; S_0) หรือตัวเลขเรย์โนล(Reynolds number ; R_D)แต่จะหาค่าอัตราส่วนออริฟิซ(Orifice Ratio; $\frac{d}{D}$)จากตารางโดยใช้ตัวประกอบแก้ไข(Correction factor ;F_a)

2)วิธีคำนวณแบบตัวเลข(Nominal Calculation)วิธีนี้จะให้ขนาดรูภายในช่วง±2% ของขนาดรูที่แท้จริง และ จะให้การคำนวณที่แท้จริงอย่างสมบูรณ์ โดยมีการหาค่าตัวประกอบออริฟิซ(S_0)แต่จะใช้ตัวเลขเรย์โนลเท่ากับ 500 000 โดยไม่ต้องคำนวณหาค่าที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิธีคำนวณแบบถูกต้อง(Precise Calculation) วิธีนี้จะให้ขนาดรูที่ถูกต้อง โดยจะมีการคำนวณหาค่าตัวประกอบออริฟิซ(S_0)และค่าตัวเลขเรย์โนล(κ_D) ที่แท้จริง ส่วนกรณีการแทปแบบ Vena-contracta จะต้องใช้ตัวประกอบแก้ไขที่เหมาะสม ถ้าการแทปทางด้านไหลออก(Downsteam)ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามหลักการแทป

สำหรับการใช้แบบจำลองอัตราส่วนที่เราได้สร้างขึ้น เราใช้ของเหลวที่ผสมกันคือ น้ำกับน้ำ ซึ่งเราจะวัดอัตราส่วนจาก อัตราการไหลของน้ำทั้ง 2 สายแล้วนำมาเทียบอัตราส่วนกัน แบบจำลองระบบควบคุมอัตราส่วนที่ใช้ มีข้อมูลต่างๆสำหรับการคำนวณขนาดรูของออริฟิซดังนี้คือ

1)อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 5.28 gpm

2)อุณหภูมิขณะทำการเท่ากับ 100 °F และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1

3)อุณหภูมิฐานเท่ากับ 60 °F และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1

4)ขนาดท่อเท่ากับ 3/4 นิ้ว Schedule 40 (ดู Table 5 ,ภาคผนวก)และค่า ID (Inside diameter)เท่ากับ 0.687 นิ้ว

5)การแทปแบบรูแยกความดันหน้าจาน(Orifice flange)เท่ากับ 1 นิ้ว Ser.30 ชนิด welded neck

6)ท่อตรงจากจุดหักมุม สำหรับติดตั้งแผ่นออริฟิซ ยาวเท่ากับ 33 นิ้ว

7)ชนิดของเครื่องมือวัดแบบแห้ง(Dry type)มีความดันต่างเท่ากับ 100นิ้วน้ำ

8)แผ่นออริฟิซใช้ชนิด 316 Stainless Steel

3.2.1 วิธีที่ 1 วิธีคำนวณแบบประมาณ

ขั้นแรกเราจะต้องหาค่าอัตราส่วนออริฟิซที่มากที่สุดที่จะใช้ได้กับขนาดท่อตรงที่เราเลือกมาจากการออกแบบวาล์วควบคุม จากข้อมูลข้างต้น เรามีท่อตรงยาว 33 นิ้วสำหรับติดตั้งแผ่นออริฟิซ ความยาว 33 นิ้วนี้เท่ากับ 44 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (จากข้อมูลข้อ 4, $33 \times 4/3 = 44$) อ้างถึงรูป 3.ก ในภาคผนวก จะเห็นว่า ความยาว 33นิ้วนี้จะมากกว่าค่าความยาวที่ต้องการ(เพราะ 33 นิ้วเท่ากับ 44 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง-แต่จากข้อมูลข้อ 4 ต้องการเพียง 40 เท่า) สำหรับอัตราส่วนออริฟิซที่เป็นไปได้สูงสุด--ดังนั้นเราควรจะให้ความยาวท่อด้านเข้า จากมุมโค้งไปถึงแผ่นออริฟิซเป็น 40 เท่าของ--เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ และด้านออกเป็น 4 เท่า ในการติดตั้งแบบนี้ " ความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Differential)"จะถูกพิจารณา, ตรวจดูตารางที่ 2 (Table 2)ในภาคผนวกจะได้ว่า ตัวประกอบแก้ไขช่วงความแตกต่าง สำหรับ 100 นิ้วน้ำ เท่ากับ 2.15 ,ตัวประกอบแก้ไขสำหรับ ถ.พ. เท่ากับ 1 ที่ 60°F และอุณหภูมิขณะทำการ(100°)เท่ากับ 0.994 (จากตาราง 10 ในภาคผนวก)และจากตาราง 11 ในภาคผนวก,Note 3 ,จะได้ตัว--ประกอบแก้ไขสำหรับเครื่องมือวัดแบบแห้งเท่ากับ 1.039

ดังนั้นเราจะได้อัตราการไหลสูงสุดในหน่วย gph พร้อมกับชดเชยค่าความผิดพลาดต่างๆแล้วเท่ากับ

$$\frac{5.28 \text{ gpm } 60 \text{ min/hr}}{2.15 \cdot 0.994 \cdot 1.034} = 142.67 \text{ gph}$$

นำอัตราการไหลสูงสุดที่ได้ใหม่นี้ไปตรวจกับตารางที่ 11 ในภาคผนวกสำหรับท่อขนาด 3/4 นิ้ว Schedule 40 เพื่อหาค่าอัตราส่วนออริฟิซ ซึ่งจากตารางที่ 11 จะได้ค่าอัตราส่วนออริฟิซอยู่ระหว่าง 50% - 55% และโดยใช้วิธี Interpolation จะได้ค่าอัตราส่วนออริฟิซเท่ากับ 51.4 %

ดังนั้น เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของออริฟิซแบบประมาณ

มีค่าเท่ากับ I_D ของท่อ × อัตราส่วนออริฟิซ

$= 0.687 \times 0.514$

$= 0.353$ นิ้ว

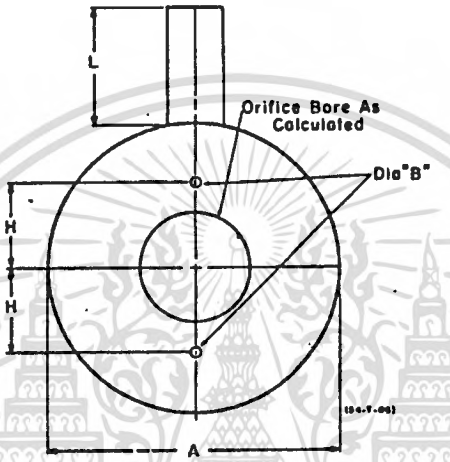
สำหรับวิธีการคำนวณหาขนาดรูของแผ่นออริฟิซของระบบควบคุมอัตราส่วนนี้จะใช้วิธีที่ 1 เพียงวิธีเดียว เนื่องจากข้อมูลใน Handbook สำหรับท่อขนาด 3/4 นิ้วนี้มีไม่เพียงพอที่ จะใช้คำนวณในวิธีที่ 2 และ 3 แต่ค่าของขนาดรูที่ได้จากวิธีที่ 1 ก็เพียงพอสำหรับระบบควบคุมอัตราส่วนของเราแล้ว เมื่อได้ขนาดรูของแผ่นออริฟิซแล้ว ดังนั้นจะต้องคำนวณหาขนาดของแผ่นออริฟิซเป็นขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีคำนวณหาขนาดของแผ่นออริฟิซ(Orifice Plate dimension) เพื่อที่จะทำแผ่นออริฟิซให้สมบูรณ์ สำหรับใช้ในการติดตั้งระบบ สิ่งที่จะต้องหาเพิ่มขึ้นอีกคือ 1)เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแผ่นออริฟิซ(Outsude diameter ; A)

2)ตำแหน่งและขนาดของ Drain หรือ Weep hole(H,Dia"B")

3)ความยาวของช่วงแทป(Identification tab;L)



รูปที่ 3.6 Orifice Plate Dimensions

ขนาดทั้ง 3 อย่างนี้หาได้จากสูตร และรูปที่ 3.6 ดังนี้คือ

A = (เส้นผ่าศูนย์กลางของ Flange Bolt Circle) - (เส้นผ่าศูนย์กลางของ Flange Bolt Hole)

L = อย่างน้อย 3" สำหรับท่อขนาดเล็กไปจนถึงท่อขนาด 3" นิ้ว และอย่างน้อย 5" สำหรับท่อขนาดตั้งแต่ $3\frac{1}{2}$ นิ้วขึ้นไป

$$H = \frac{\text{(เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ)} - \text{(Dia "B")}}{2}$$

ตารางสำหรับหาค่า Dia"B" มีดังนี้

ขนาดท่อ(นิ้ว)	Dia"B" (นิ้ว)
$1\frac{1}{2}$ ถึง 4	1/16
5 และ 6	3/32
8,10และ12	1/8
14 ถึง 20	5/32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Dia "B "ในการทำจะเจาะเพียงรูเดียว นั่นคือรูบนสำหรับการไหล ของของเหลว และรูล่างสำหรับการไหลของกาซหรือ น้ำ แต่ถ้าขนาดรูออริฟิซมีขนาด 7/8 นิ้ว หรือเล็กกว่าไม่ต้องเจาะรู "B "

ดังนั้นสำหรับแผ่นออริฟิซของเรามีขนาดรูเท่ากับ 0.353 นิ้ว ซึ่งน้อยกว่า7/8 นิ้ว จึงไม่ต้องเจาะรู "B "ค่า Hจึงไม่จำเป็นต้องหา สำหรับค่า L เลือกใช้เท่ากับ 3 นิ้ว ส่วนค่า A เรามีค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Flange Bolt Circle เท่ากับ 2 นิ้ว และค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Flange BoltHole3/4นิ้ว ดังนั้นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแผ่นออริฟิซ(A)เท่ากับ $1\frac{1}{4}$ นิ้ว

สำหรับความหนาของขอบออริฟิซต้องไม่เกิน 1/10 นิ้ว สำหรับขนาดท่อตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึง ขนาด 3 นิ้ว และไม่เกิน 1/8 นิ้ว สำหรับท่อขนาด 4 ถึง 12 นิ้ว ถ้าค่าความหนาของแผ่นเกินกว่าที่กำหนดนี้ จะต้องบากมุมเป็นมุม 45° เพื่อให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ เช่น

จากข้อมูลทั้งหมดที่คำนวณมานี้ เราสามารถนำไปเป็นข้อมูล สำหรับการกลึงแผ่นออริฟิซ ซึ่งต้องใช้เครื่องกลึงที่มีระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการกลึง ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้นทุนสำหรับการทำ หรือซื้อ แผ่นออริฟิซมีราคาสูงมาก ดังนั้นระบบควบคุมอัตราส่วนที่ใช้ จึงใช้ท่อเวนจูรี่ที่มีอยู่แล้วแทนแผ่นออริฟิซ

อุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งที่ต้องคำนวณหาขนาดที่ต้องการใช้คือ อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณ (Transmitter).. ซึ่งในระบบควบคุมอัตราส่วนนี้ใช้แบบ D/P cell ที่อาศัยความดันต่างจากแผ่นออริฟิซ มาเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า(4-20 mA) การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์--เปลี่ยนสัญญาณจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณหาช่วง(Range)ของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณ ที่ใช้

การคำนวณหาช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณคือการหา Specification ของ Transmitter ซึ่งกำหนดจาก P สำหรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณที่ใช้ในระบบนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือที่ใช้วัดระดับน้ำมนถังผสม และที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ

3.3.1 การคำนวณหาช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณที่ใช้วัดระดับน้ำในถัง จากรูปที่ 3.2 จะได้ h เท่ากับ 6 ฟุต เท่ากับ 1.83 เมตร(ความสูงถังผสม

ดังนั้น $\Delta P = r_w h$

$\Delta P = 10^3 \times 1.83 = 1.83 \times 10^3$ ก.ก./ตารางเมตร

นั่นคือ ต้องใช้ช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณสำหรับวัดระดับน้ำเท่ากับ

1.83×10^3 ก.ก./ตารางเมตร

3.3.2 การคำนวณหาช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ

จากสมการที่ (4) จะได้ว่า $Q = K\sqrt{\Delta P/G}$

หรือ $\Delta P = \frac{Q^2 G}{K^2}$ .....(5)

เราจะหาช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณได้จากสมการ(5)

โดยที่ $K = \sqrt{\frac{2gA_2^2}{r_w(1-(\frac{A_2}{A_1})2)}}$

ซึ่งค่า A_1 เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อ(ตารางเมตร) และหาได้จากการออกแบบวาล์วควบคุม ส่วน A_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดของออริฟิซ(ตารางเมตร)ซึ่งหาได้จากการออกแบบแผ่นออริฟิซ

ดังนั้น เราจะได้ $A_1 = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (\frac{3}{4} \times \frac{2.54}{100})^2$

$= 2.85 \times 10^{-4}$ ตารางเมตร

$A_2 = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4}(0.353 \frac{2.54}{100})^2$

$= 0.63 \times 10^{-4}$ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น $$K = \sqrt{\frac{2\ 10\ (0.63\ 10^{-4})^2}{10^3 \times (1 - \frac{0.63}{2.85})^2}}$$

$$= 0.914 \times 10^{-5}$$

Q = อัตราการไหลสูงสุด 5.28 gpm = 0.33×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

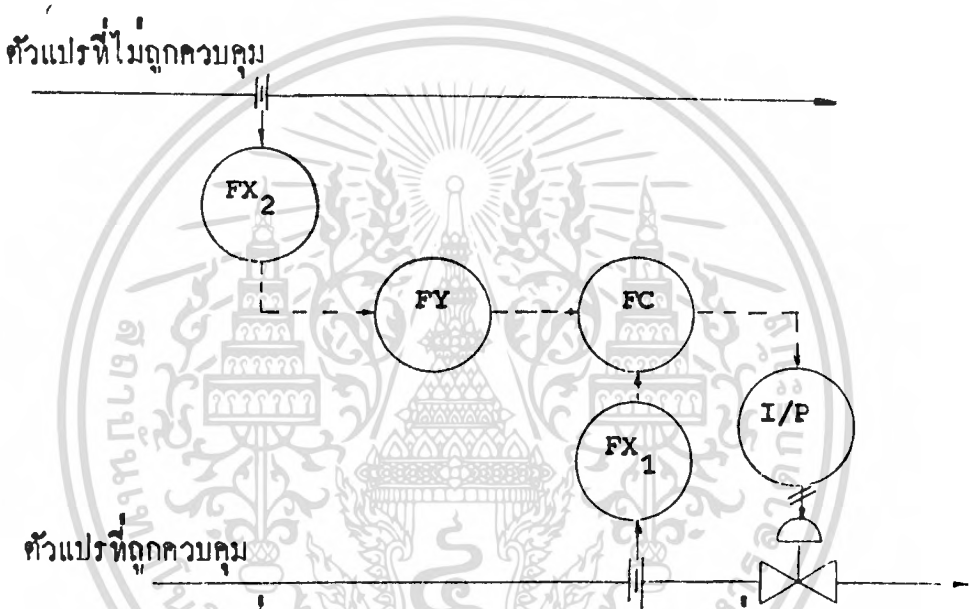
ดังนั้น $$P = \frac{(0.33 \times 10^{-3})^2 \times 1}{(0.914 \times 10^{-5})^2} = 1.33 \times 10^3$$ ก.ก./ตารางเมตร

นั่นคือ เราจะใช้ช่วงของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณ สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 1.33×10^3 ก.ก./ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบ ระบบการควบคุม(Control loop)

ในการควบคุมแบบอัตราส่วน ตัวแปรที่ถูกควบคุม จะได้มาจากอัตราส่วนของตัวแปรที่ถูกวัด 2 ตัว(Measured Variables)โดยที่อัตราการไหลของตัวแปรตัวหนึ่งจะถูกควบคุมให้เปลี่ยนไป เป็นอัตราส่วนอัตราการไหลของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ที่มีอัตราการไหลคงที่ ลักษณะของลูปควบคุม แบบอัตราส่วน แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะของลูปควบคุมแบบอัตราส่วน

ตัวแปรที่ถูกควบคุม = K (ตัวแปรที่ไม่ถูกควบคุม

K = Ratio Constant

FX_1 = Flow Transmitter ของของเหลวที่ถูกควบคุม

FX_2 = Flow Transmitter ของของเหลวที่ไม่ถูกควบคุม

FY = Ratio setter

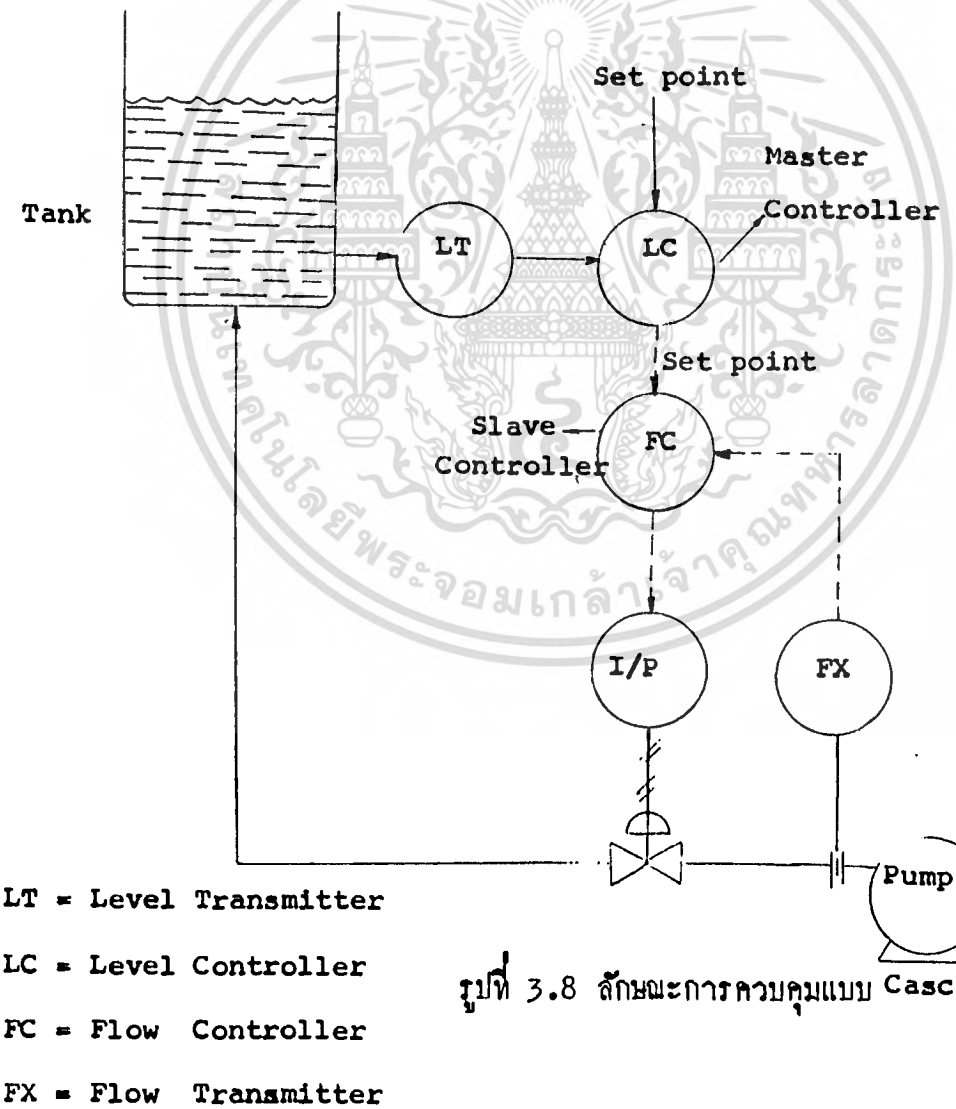
FC = Flow Controller

I/P = Current To Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติที่ใช้งานกันในอุตสาหกรรม ของเหลวที่ไม่ถูกควบคุม จะทำให้ถูกควบคุมด้วยก็ได้ เพื่อให้ระบบการควบคุมมีประโยชน์ในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งตัวแปรที่ไม่ถูกควบคุมนี้ จะถูกควบคุมโดยลูปควบคุมอื่นอีกลูปหนึ่ง

ในโครงงานนี้ได้เพิ่มลูปการควบคุมขึ้นอีก 1 ลูป เป็นลูปการควบคุมแบบ Cascade Control ลูปที่เพิ่มขึ้นนี้ใช้ในการควบคุมระดับของเหลวที่ผสมในถังผสมได้ ทำให้ระบบมีลักษณะเป็นลูปการควบคุมหลายตัวแปร (Multiple Variable Control Loop) ลักษณะการควบคุมแบบ Cascade แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



LT = Level Transmitter

LC = Level Controller

FC = Flow Controller

FX = Flow Transmitter

รูปที่ 3.8 ลักษณะการควบคุมแบบ Cascade

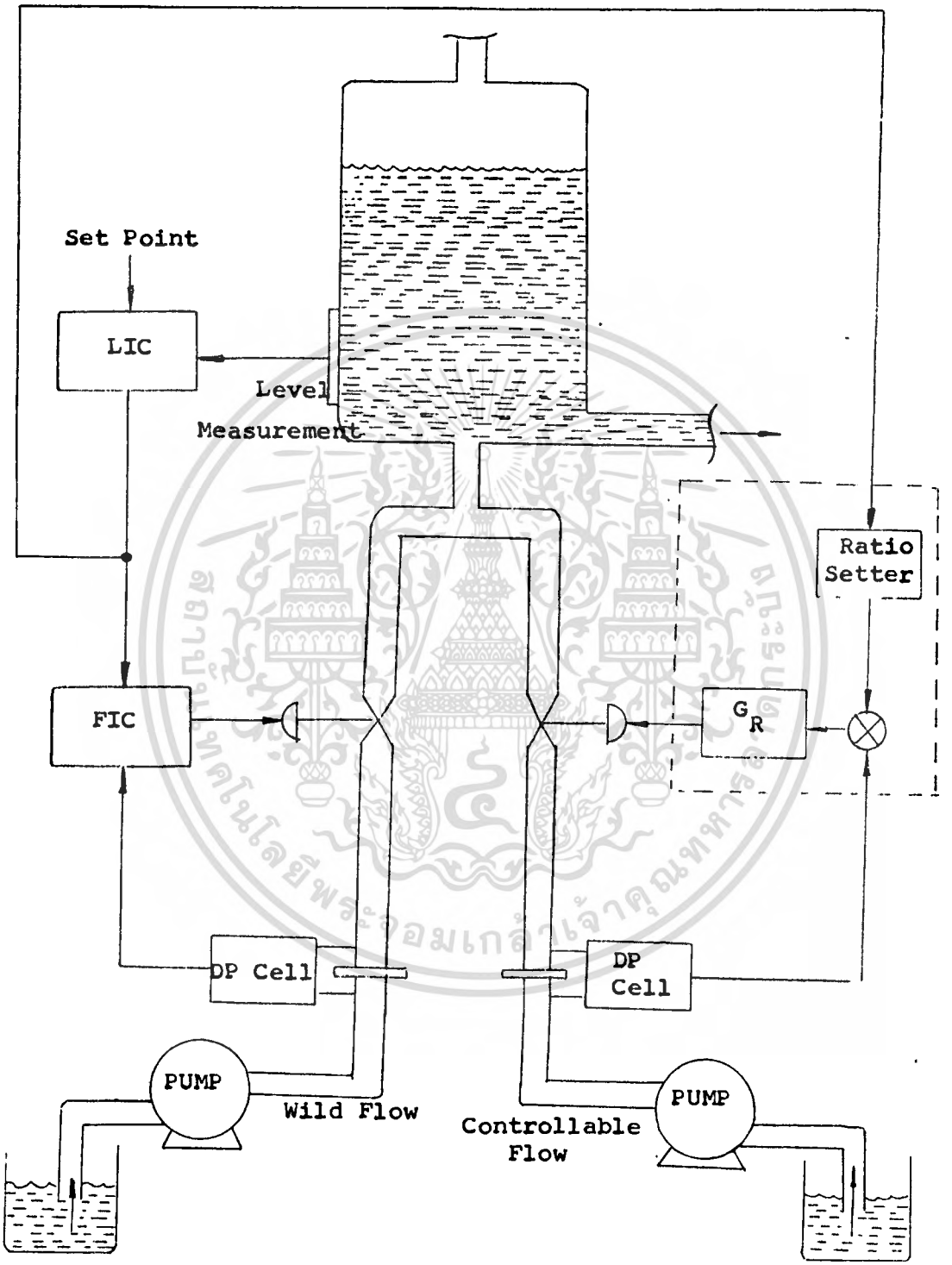
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบเป็นลำดับ (Cascade)นี้ จะใช้ตัวควบคุม 2 ตัว ในการควบคุม ซึ่งตัวควบคุมทั้ง 2 ตัวจะต่อกันในลักษณะอนุกรม โดยมีลักษณะพิเศษของการควบคุมคือ เอาท์พุท(Output)ของตัวควบคุมตัวหนึ่งจะเป็นค่าที่ตั้งไว้ให้กับตัวควบคุม อีกตัวหนึ่ง จากรูปที่ 3.8 ตัวแปรตัวแรกคือ ระดับน้ำในถังผสม ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมหลัก(Master Controller (LC)) แต่เอาท์พุทของ LC ไม่ได้ถูกส่งไปควบคุมวาล์วควบคุมโดยตรง แต่ถูกส่งไปเป็นค่าที่ตั้งไว้ให้กับ ตัวควบคุมรอง(Slave Controller) และเอาท์พุทของตัวควบคุมรอง จะเป็นตัวส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์วควบคุมของท่อของของเหลวที่จ่ายให้แก่ถังผสม

เหตุผลที่เราเพิ่มการควบคุมแบบเป็นลำดับขึ้นมาก็เพราะว่า ในทางอุตสาหกรรม เมื่อมีการผสมสารแล้ว สารผสมจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังพัก เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ถ้าหากไม่มีการควบคุมระดับของสารผสมในถังพักแล้ว เราจะไม่รู้ว่า เมื่อไรสารผสมในถังพักนั้นจะหมดไป หรือต่ำกว่าระดับที่อาจเป็นอันตราย เพราะถังพักส่วนใหญ่นั้นเป็นถังทึบไม่สามารถมองเห็นระดับของสารที่อยู่ในถังได้

จากลูปการควบคุมทั้ง 2 ลูปที่กล่าวมาแล้ว เราจะนำมาใช้รวมกันเป็นลูปการควบคุมหลายตัวแปร ซึ่งจะนำมาใช้ในระบบจำลองที่สร้างขึ้น ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังในรูปที่ 3.9 และวงจรไฟฟ้าสำหรับลูปการควบคุมทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ลักษณะระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SV : Set point Value

SLPC : Single loop Programmable Controller

LT : Level Transmitter

FT : Flow Transmitter

LIC : Level Indicating Controller

FIC : Flow Indicating Controller

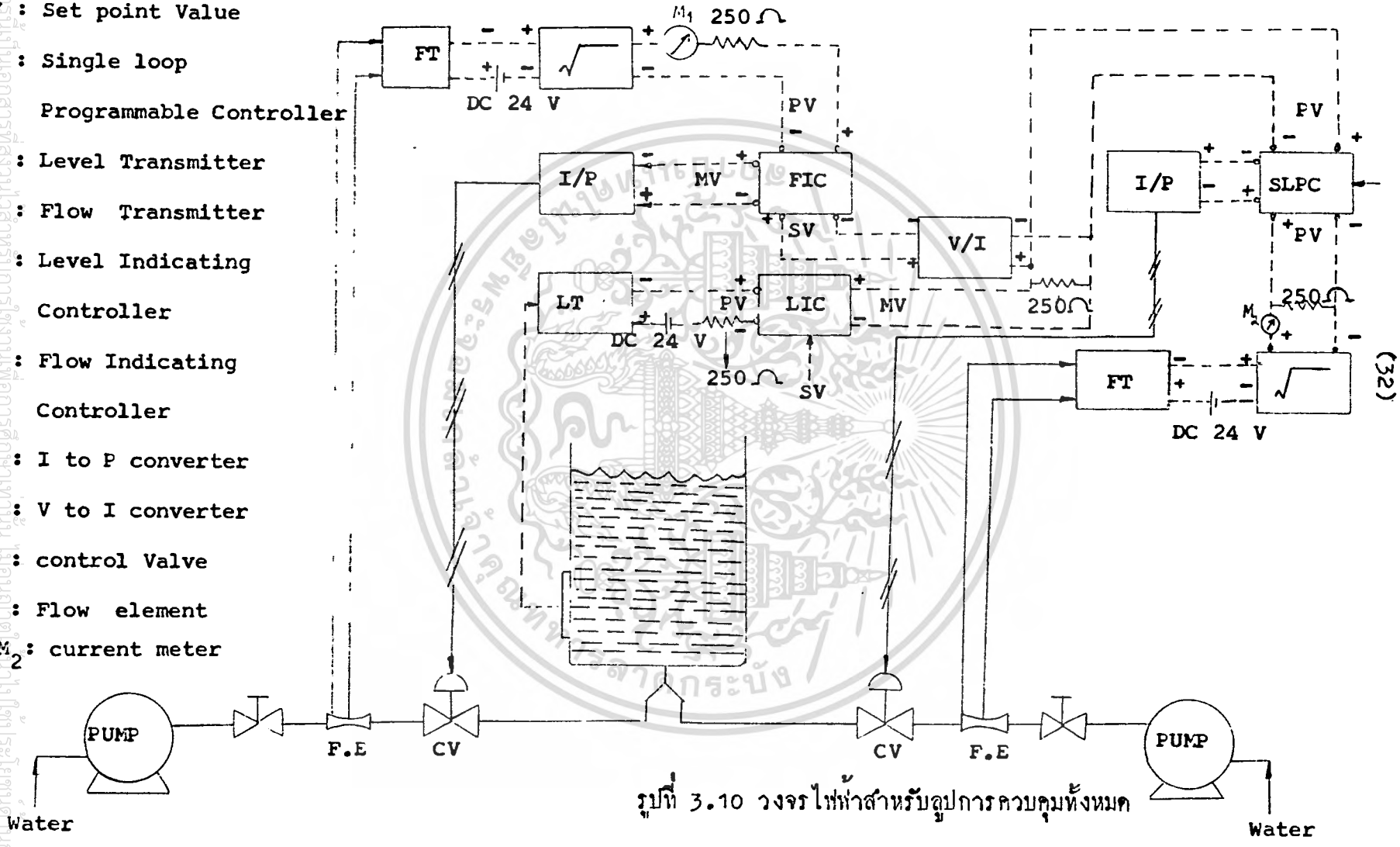
I/P : I to P converter

V/I : V to I converter

CV : control Valve

F.E : Flow element

M_1,M_2: current meter



รูปที่ 3.10 วงจรไฟฟ้าสำหรับลูปการควบคุมทั้งหมด

3.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมสำหรับเครื่อง

ในส่วนควบคุมของแบบจำลอง จะใช้ตัวควบคุมแบบโปรแกรมได้(Programmable controller) 1 ตัว ในลูปการควบคุมของการควบคุมอัตราส่วน ตัวควบคุมแบบโปรแกรมได้นี้มีฟังก์ชั่นการทำงานให้เลือกหลายรูปแบบ ในตัวควบคุมจะมีแพ็คเกจ(Package)โปรแกรมซอฟท์แวร์(Software)สำเร็จรูปอยู่ซึ่งเรียกว่าแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) ซึ่งที่ใช้งานจะมีอยู่ 3 ชนิดคือ

1) เวเฟอร์รับข้อมูล(Inout Wafer) เป็นเวเฟอร์ที่ใช้สำหรับรับข้อมูลคือสัญญาณจากส่วนระบบ(Process)

2) เวเฟอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมและคำนวณ (Control/Computing Wafer) เป็นเวเฟอร์ที่ใช้สำหรับทำการประมวลผลสัญญาณและคำนวณค่าต่างๆ และทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบ PID(PID Controller)ของการควบคุมอัตราส่วน

3) เวเฟอร์ส่งข้อมูล(Output Wafer)เป็นเวเฟอร์ที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วโดยเวเฟอร์ชนิดที่ 2 ออกสู่ภายนอก

ในการที่จะใช้ตัวควบคุมแบบนี้ ทำการควบคุมระบบให้ได้ผลตามที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องมีการต่อแผ่นเวเฟอร์ ทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้น เข้าด้วยกัน โดยเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อขึ้นมา

ดังนั้นเราจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงวิธีการใช้แผ่นเวเฟอร์เหล่านี้ ให้เข้าใจเสียก่อนจึงจะทำการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบได้

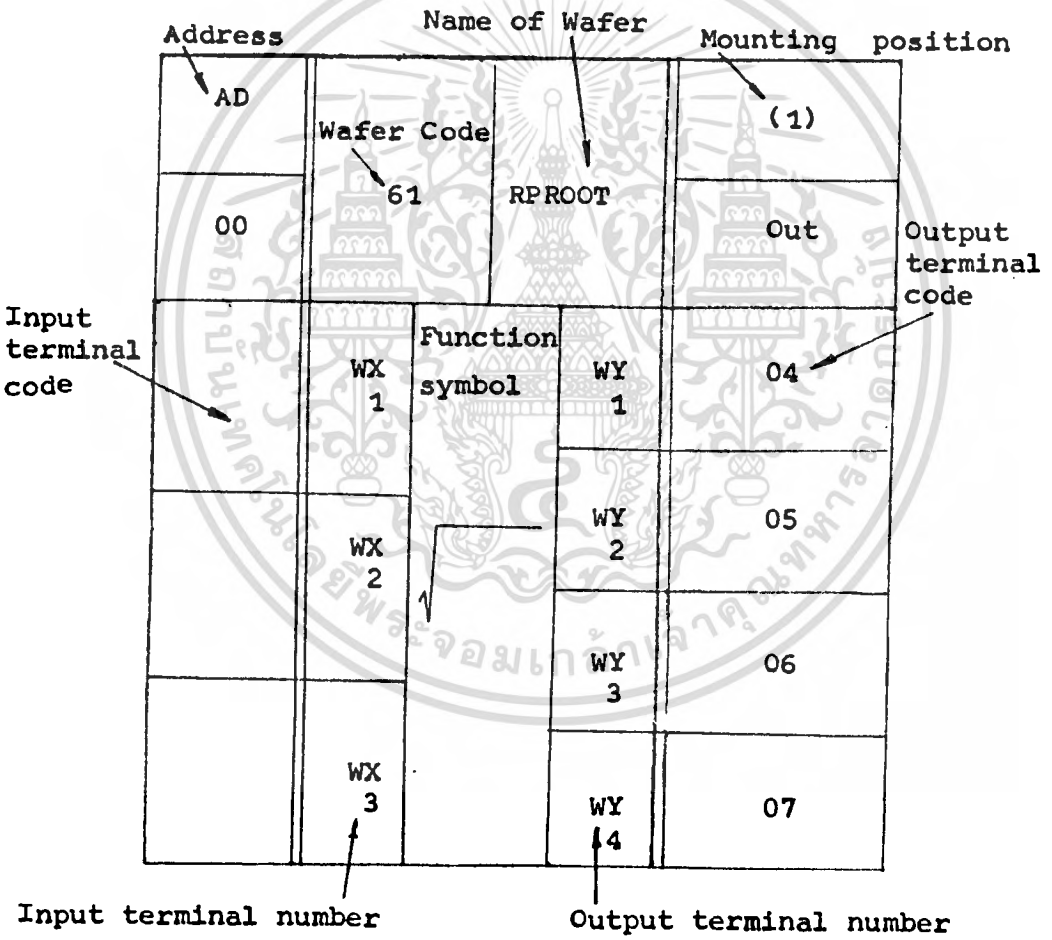
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 วิธีใช้แผ่นเวเฟอร์ของเครื่อง Compact Controller F

1.เวเฟอร์

เครื่อง Compact Controller F ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้กับการควบคุมลูปควบคุมโดยไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับซอฟท์แวร์ แผ่นเวเฟอร์ จะทำหน้าที่รับข้อมูล,คำนวณและส่งสัญญาณไปควบคุม แผ่นเวเฟอร์ 1 แผ่นจะสามารถรับอินพุทได้สูงสุด 3 อินพุท และส่งผลที่ได้จากการคำนวณออกทางเอาท์พุทได้สูงสุด 4 เอาท์พุท

ความหมายของสัญญลักษณ์ต่างๆบนแผ่นเวเฟอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างของสัญญลักษณ์บนแผ่นเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นเวเฟอร์ชนิดต่างๆที่ใช้ใน Compact ControllerF มีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

-เวเฟอร์รับข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) เวเฟอร์รับข้อมูลจากภายนอก(External input wafer)

2) เวเฟอร์สัญญาณภายใน(Internal signal wafer)

เวเฟอร์รับข้อมูลนี้เป็นเวเฟอร์ ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณอินพุทจากภายนอกหรือสัญญาณภายในที่ถูกสร้างขึ้นภายในเครื่องไปยังเวเฟอร์ควบคุม เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ต่างๆ , โหมดของการทำงาน และข้อมูลเตือนข้อผิดพลาด

-เวเฟอร์ควบคุมและคำนวณ แบ่งเป็น 2 ประเภท

1) เวเฟอร์ควบคุม ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบ PID และตั้งค่าอัตราส่วน

2) เวเฟอร์คำนวณ ทำหน้าที่เป็นหน่วยคำนวณสัญญาณอนาล็อค

-เวเฟอร์ส่งข้อมูล เป็นเวเฟอร์ที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่ถูกประมวลผลโดยเวเฟอร์ควบคุมและคำนวณ หรือข้อมูลของเวเฟอร์รับข้อมูลโดยตรงออกสู่ภายนอก

ทิศทางการเคลื่อนที่ของข้อมูลในตัวควบคุมแสดงได้ ดังในรูปที่ 3.12

ฟังก์ชั่นของการคำนวณและการควบคุมที่ต้องการ ถูกกระทำโดยการเชื่อมต่อแผ่นเวเฟอร์เหล่านี้ด้วยโปรแกรมซอฟท์แวร์ แผ่นเวเฟอร์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งไว้ในคอลัมน์ทั้งหมด 63 คอลัมน์ โดยเวเฟอร์รับข้อมูล จะถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งตายตัวคือ ระหว่างตำแหน่งที่ 25 ถึงตำแหน่งที่ 63 ส่วนเวเฟอร์ควบคุมและคำนวณ ถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 24 และเวเฟอร์รับข้อมูลถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหลือ โดยการต่อขั้วอินพุทและเอาท์พุทของแผ่นเวเฟอร์เหล่านี้เข้าด้วยกันตามแบบการทำงานที่เราต้องการ แล้วข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามาในเครื่องกฎจะถูกทำการประมวลผลและคำนวณจนเสร็จ และจะถูกส่งออกไปรออยู่ที่ขั้วเอาท์พุทของเครื่อง เพื่อนำไปเป็นสัญญาณควบคุมในระบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 การเคลื่อนที่ของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการต่อแผ่นเวเฟอร์

เพื่อที่จะทำการประมวลผลและคำนวณค่าของข้อมูลที่ป้อนเข้ามาในเครื่องนั้น เราต้องต่อแผ่นเวเฟอร์ ภายในเครื่องให้มีลูปการทำงานตามที่เราต้องการ โดยมีขั้นตอนต่างๆในการต่อดังนี้

ขั้นที่ 1 เตรียมไดอะแกรมการทำงานของลูปควบคุม

ขั้นที่ 2 แบ่งช่วงการทำงานของตัวควบคุม จากจุดอินพุท, เอาท์พุท ,ฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ และชนิดของเวเฟอร์ที่ต้องใช้ แล้วเลือกแผ่นเวเฟอร์ที่ต้องการจาก หนังสือคู่มือของเครื่องควบคุม

ขั้นที่ 3 เชื่อมต่อแผ่นเวเฟอร์ ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ตามการเคลื่อนที่ของข้อมูลในลูปควบคุม โดยใช้รูปที่ 3.12 เป็นหลักในการต่อ และด้วยเหตุว่าเวเฟอร์รับข้อมูล ถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่ง 25-63 ซึ่งเป็นตำแหน่งตายตัวอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งในการติดตั้งให้กับเวเฟอร์รับข้อมูลอีก

ตัวอย่างของการต่อแผ่นเวเฟอร์

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงการต่อแผ่นเวเฟอร์ ที่ทำหน้าที่เป็น Square root extraction มีอินพุทและเอาท์พุทเป็น "Auxiliary analog input and output (AI1) และ (AO1)" ดังรูปข้างล่าง

ขั้นที่ 1 เลือกเวเฟอร์รับข้อมูล ที่มี AI1 อยู่จากหนังสือคู่มือ ซึ่งจะได้ว่าเป็นแผ่นเวเฟอร์ที่มีตำแหน่งอยู่ในคอลัมน์ที่ 25

ขั้นที่ 2 เลือกแผ่นเวเฟอร์ที่มีฟังก์ชั่นการทำงานเป็น Square root extraction จากหนังสือคู่มือ ซึ่งจะได้ รหัสของแผ่นเวเฟอร์(Wafer code) คือ 61 และวางตำแหน่งของแผ่นเวเฟอร์ไว้ที่ตำแหน่งที่ 1 (AD 00-03) เชื่อมต่อ AI1 ไปยังหน่วยรับสัญญาณ (WX1) ของ Square root extraction เนื่องจาก AI1 มีรหัสที่ขั้วเอาท์พุทเป็น "64" ดังนั้นข้อมูลที่ขั้วอินพุทของ WX1 จะมีค่าเป็น "64" ด้วย

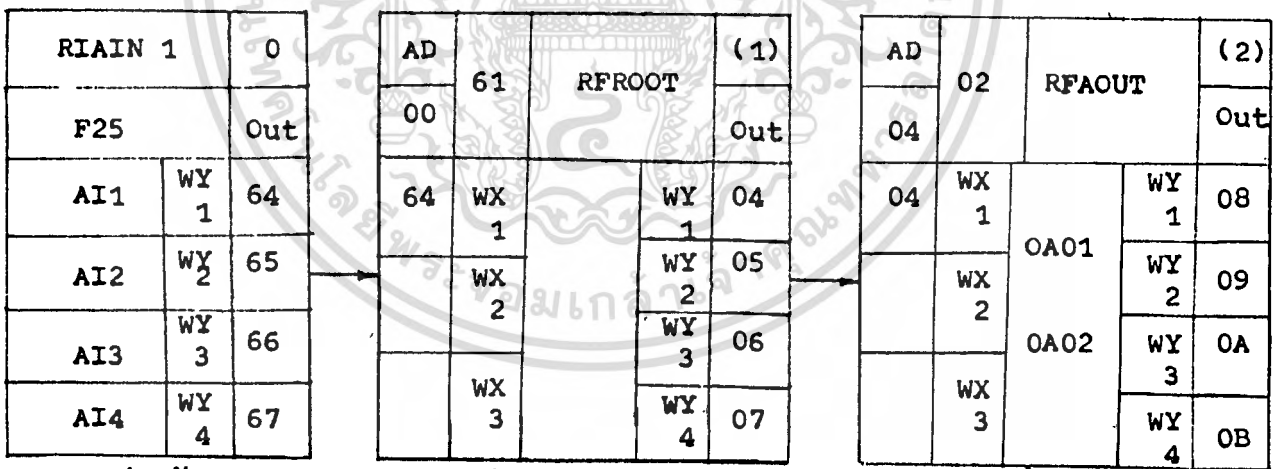
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 ข้อมูลจาก AI1 จะถูกถอดรากที่ 2 และเก็บผลที่ได้ไว้ที่ขั้วเอาท์พุท และข้อมูลที่ WY1 จะถูกส่งออกไปยังเอาท์พุทของเครื่อง AO1 ต่อจากนั้นทำเหมือนกับขั้นที่ 2 อีกคือเลือกเวเฟอร์ส่งข้อมูล จากหนังสือคู่มือ ที่มี AO1 อยู่ซึ่งจะได้เวเฟอร์ที่มีรหัส 02 วาง เวเฟอร์ส่งข้อมูลนี้ไว้ที่คอลัมน์ที่ 2(AD 04-07)และเชื่อมต่อเอาท์พุท WY1 ในคอลัมน์ที่ 1 ไปยังอินพุท WX1 ในคอลัมน์ที่ 2 และใส่ ค่า 04 ลงไปที่ WX1 ของคอลัมน์ที่ 2 ซึ่งเหมือนกับในขั้นที่ 2

ขั้นตอนทั้งหมดนี้ ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.13

ข้อสังเกต 1 ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ที่ขั้วเอาท์พุทของเวเฟอร์รับข้อมูลนั้นมาจากสัญญาณอินพุทจากภายนอกหรือสัญญาณที่เกิดขึ้นภายใน ดังนั้นที่ขั้วอินพุทของเวเฟอร์นี้จะไม่มีการใช้งาน

ข้อสังเกต 2 ข้อมูลที่ส่งออกจากเวเฟอร์จะถูกส่งออกไปยังภายนอกเครื่อง เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบ หรือนำไปใช้เป็นอินพุทกลับมาที่เครื่องอีก ดังนั้นที่ขั้วเอาท์พุทของเวเฟอร์ส่งข้อมูลจะไม่มีการใช้งาน



เวเฟอร์รับข้อมูล เวเฟอร์ควบคุมและคำนวณ เวเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างของวิธีการใช้แผ่นเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่า ข้อมูลในขั้วอินพุทของแผ่นเวเฟอร์ ได้มาจากค่า-รหัสของขั้วเอาท์พุทของแผ่นเวเฟอร์ที่อยู่ข้างหน้า ซึ่งรหัสของขั้วเอาท์พุทนี้จะถูกกำหนดโดยตำแหน่งของการวางแผ่นเวเฟอร์ โดยที่สามารถจะวางตำแหน่งของแผ่นเวเฟอร์ ได้อย่างอิสระ ยกเว้น ตำแหน่งของเวเฟอร์รับข้อมูลเท่านั้นที่ต้องสัมพันธ์กับฟังก์ชั่นในแผ่นเวเฟอร์-ซึ่งถูกกำหนดมาตายตัว

ในขั้นต่อไป เราจะเรียงข้อมูลที่ได้จากการต่อแผ่นเวเฟอร์ทั้งหมดนี้ ตั้งแต่ค่าแอดเดรสที่ 00 เป็นต้นไป หลังจากที่เรียงเสร็จแล้วก็โปรแกรมข้อมูลเหล่านี้ผ่านทางคีย์--บอร์ด ฟังก์ชั่นต่างบนแผ่นเวเฟอร์ ก็จะทำงานได้

ขั้นที่ 4 รวบรวมข้อมูลจากการต่อแผ่นเวเฟอร์ ลงในตาราง ดังรูปที่ 3.14 แล้วโปรแกรมข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ด แล้วฟังก์ชั่นการทำงานทั้งหมด ในไดอะแกรมของการต่อ-แผ่นเวเฟอร์ ตามรูปที่ 3.13 จนสำเร็จ

ในแผ่นเวเฟอร์ 1 แผ่น จะมีแอดเดรสที่ถูกรวบรวมมาทั้งหมด 4 แอดเดรส โดยมีรหัสของแผ่นเวเฟอร์ เป็นข้อมูลที่แอดเดรสแรกของตำแหน่งที่เวเฟอร์อยู่ และอีก 3 แอดเดรสอยู่ถัดลงมา โดยที่ทั้ง 3 แอดเดรสมีข้อมูลจากรหัสของขั้วเอาท์พุทของแผ่นเวเฟอร์ที่อยู่ข้างหน้า

AD 00	A		(1)
	B	WX1	
	C	WX2	
	D	WX3	

AD 04	E		(2)
	F	WX1	
	G	WX2	
	H	WX3	

Registered Address	Code	
AD00	A	รหัสของแผ่นเวเฟอร์ที่ตำแหน่งที่ 1
AD01	B	รหัสของขั้วอินพุทที่ 1 ที่ตำแหน่งที่ 1
AD02	C	รหัสของขั้วอินพุทที่ 2 ที่ตำแหน่งที่ 1
AD03	D	รหัสของขั้วอินพุทที่ 3 ที่ตำแหน่งที่ 1
AD04	E	รหัสของแผ่นเวเฟอร์ที่ตำแหน่งที่ 2
AD05	F	รหัสของขั้วอินพุทที่ 1 ที่ตำแหน่งที่ 2
AD06	G	รหัสของขั้วอินพุทที่ 2 ที่ตำแหน่งที่ 2
AD07	H	รหัสของขั้วอินพุทที่ 3 ที่ตำแหน่งที่ 2
AD08		รหัสของแผ่นเวเฟอร์ที่ตำแหน่งที่ 3
AD09		.....
AD0A		.....

รูปที่ 3.14 การเรียงข้อมูลเพื่อทำโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่า แอดเดรสที่บรรจุข้อมูลต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการวางแผ่นเวเฟอร์ด้วย แผ่นเวเฟอร์ 1 แผ่นจะมีแอดเดรสที่ติดกันได้ 4 แอดเดรส ดังนั้นระบบที่มีแผ่นเวเฟอ 24 แผ่น จะมีแอดเดรสที่ติดกันได้ทั้งหมด= 24×4 =96 แอดเดรส คือ AD 00-5F ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของการวางแผ่นเวเฟอร์และแอดเดรสทั้งหมดถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.15

Names of loading places (AD)

Mounting positions of wafers	Wafer codes	Input 1 incoming/outgoing terminal codes	Input 2 incoming/outgoing terminal codes	Input 3 incoming/outgoing terminal codes
1	AD00	AD01	AD02	AD03
2	AD04	AD05	AD06	AD07
3	AD08	AD09	AD0A	AD0B
4	AD0C	AD0D	AD0E	AD0F
5	AD10	AD11	AD12	AD13
6	AD14	AD15	AD16	AD17
7	AD18	AD19	AD1A	AD1B
8	AD1C	AD1D	AD1E	AD1F
9	AD20	AD21	AD22	AD23
10	AD24	AD25	AD26	AD27
11	AD28	AD29	AD2A	AD2B
12	AD2C	AD2D	AD2E	AD2F
13	AD30	AD31	AD32	AD33
14	AD34	AD35	AD36	AD37
15	AD38	AD39	AD3A	AD3B
16	AD3C	AD3D	AD3E	AD3F
17	AD40	AD41	AD42	AD43
18	AD44	AD45	AD46	AD47
19	AD48	AD49	AD4A	AD4B
20	AD4C	AD4D	AD4E	AD4F
21	AD50	AD51	AD52	AD53
22	AD54	AD55	AD56	AD57
23	AD58	AD59	AD5A	AD5B
24	AD5C	AD5D	AD5E	AD5F

รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของการวางแผ่นเวเฟอร์และแอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรแกรมควบคุมสำหรับตัวควบคุมตัวแรก (Ratio Setter)

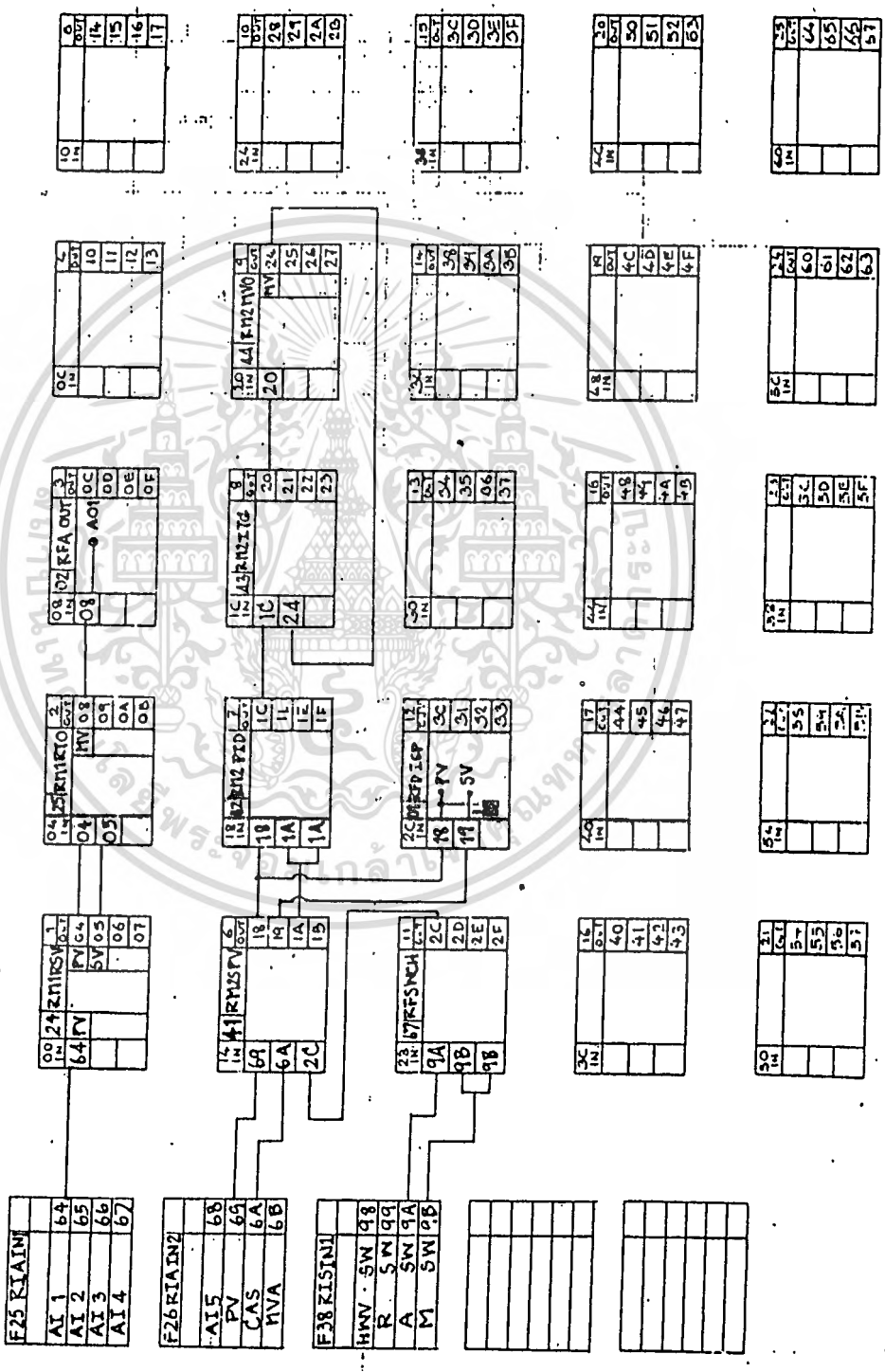
1. AD-00-24-ST
2. AD-01-64-ST
3. AD-04-25-ST
4. AD-05-04-ST
5. AD-06-05-ST
6. AD-08-02-ST
7. AD-09-08-ST
8. 1^{st}-R -(X)-ST
9. 1^{st}-B1-(Y)-ST
10. 1^{st}-B2-(Z)-ST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.โปรแกรมควบคุมสำหรับตัวควบคุมตัวที่ 2 (PID Controller)

1. AD-14-41-ST
2. AD-15-69-ST
3. AD-16-6A-ST
4. AD-17-2C-ST
5. AD-18-42-ST
6. AD-19-18-ST
7. AD-1A-1A-ST
8. AD-1B-1A-ST
9. AD-1C-43-ST
10. AD-1D-1C-ST
11. AD-1E-24-ST
12. AD-20-44-ST
13. AD-21-20-ST
14. AD-28-67-ST
15. AD-29-9A-ST
16. AD-2A-9B-ST
17. AD-2B-9B-ST
18. AD-2C-01-ST
19. AD-2D-18-ST
20. AD-2E-19-ST
21. 2^{nd}-P-(100)-ST
22. 2^{nd}-I-(2)-ST
23. 2^{nd}-D-(15)-ST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงโครงการทำงานตามโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการทดลองออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และออกแบบวงจรควบคุมอัตราส่วนเสร็จแล้ว เราจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ทุกชิ้นลงแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาตามวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ขั้นต่อไปเราจะทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง ซึ่งในระบบควบคุมอัตราส่วนนี้มีลูปการควบคุมอยู่ 3 ลูป ทำให้เราสามารถจะจัดการควบคุมได้หลายแบบ แต่ในขั้นแรกจะต้องปรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณ(transmitters)ให้สามารถวัดระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำให้ได้เสียก่อน ดังนั้นการทำการทดลองจะทำไปเป็นขั้น ดังนี้ คือ

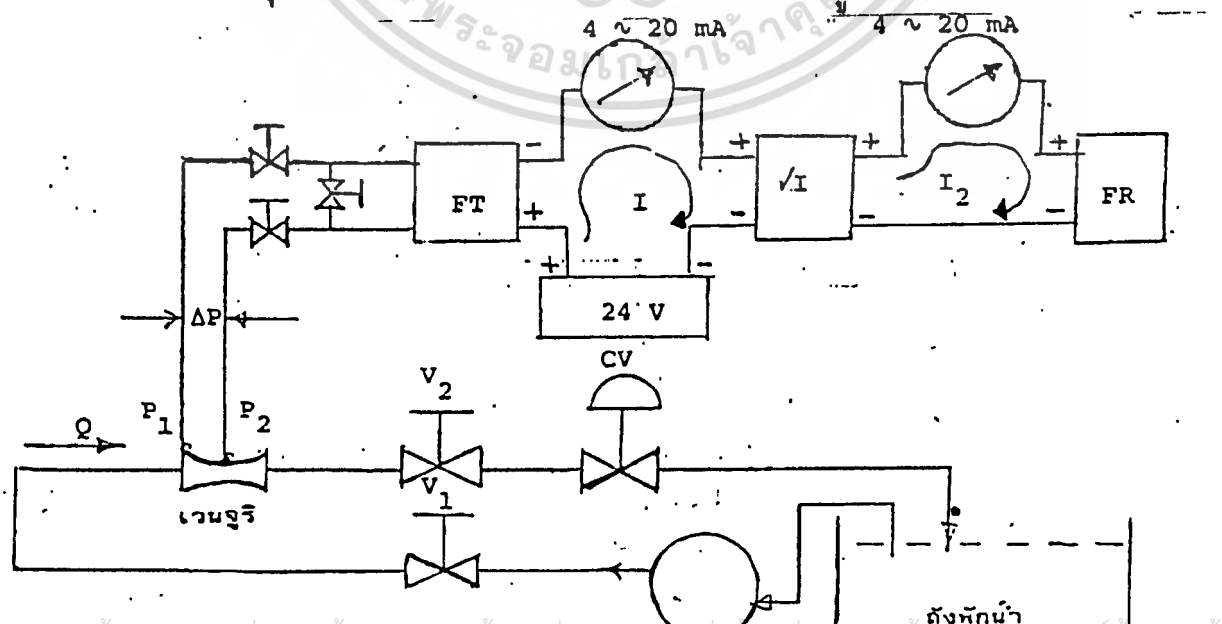
4.1 การทดลองปรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณสำหรับวัดอัตราการไหล

อุปกรณ์การทดลอง

1. ดิจิตอลมิเตอร์(digital multimeter)
2. ดีพีเซล(d/p cell)
3. เครื่องบันทึก(recorder)
4. สแควรูทเอ็กซแทรคเตอร์(aqare root extracter)
5. ระบบจำลอง(plant model)

ขั้นตอนการทดลอง

1.ต่ออุปกรณ์ต่างๆ ประกอบเข้ากับระบบจำลอง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปั๊ม 20 l/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FT = Flow Transmitter

I = square root extracter

FR = Flow recorder

CV = control valve

ปั๊มน้ำในระบบสูบน้ำได้อัตราสูงสุด 20 ลิตรต่อนาที

2. เปิดปั๊มปรับ V_1 จนอ่านค่า $I_1 = I_2 = 4mA$ (FT หรือ d/p cell ถูกปรับ Zero และ Span ให้เข้ากับอัตราการไหลของปั๊มนี้แล้ว)

3. ที่เครื่องบันทึกอัตราการไหลต้องอ่านได้ 0 % ถ้าไม่ตรงให้ทำการปรับปุ่ม Zero และ Spanใหม่

4. ปรับ V_1 จนค่าอัตราการไหลที่แสดงด้วย FR ได้ 25% บันทึกค่า I_1 และ I_2

5. ปรับ V_1 ใหม่ให้ค่าอัตราการไหลเปลี่ยนไปเป็น 50%,75% และ 100% ตามลำดับ พร้อมบันทึกค่า I_1 และ I_2 ให้ครบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

Q		I_1 (mA)	I_2 (mA)	FR (%)
%	(l/m)			
0	0	4	4	0
25	5	5.04	8.1	25
50	10	8.05	12	50
75	15	13.33	16.2	75
100	20	20	20	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองปรับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณสำหรับวัดระดับน้ำ

อุปกรณ์การทดลอง

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. ดีพีเซล
3. เครื่องบันทึก.
4. แหล่งจ่ายไฟตรง 24 โวลท์
5. ระบบจำลองระดับน้ำ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบจำลอง ดังรูปที่ 4.2 เปิดวาล์ว V_1 และ V_2 เปิดปั๊ม

2. ปรับ Zero และ Span ของ LT (Level Transmitter) เพื่อให้เข้ากับขนาดของภาชนะที่มีอยู่(สูง 100 ซม) ดังนี้ เปิดน้ำเข้าถังให้สูงได้ระดับที่ 0 ซม ปรับสกรู Zero ให้เอาท์พุทของดีพีเซลมีค่าอ่านได้ 4 mA จากนั้นเปิดน้ำเข้าจนได้ระดับสูง 100 ซม ปรับสกรู Span จนเอาท์พุทของดีพีเซลอ่านได้ 20 mA

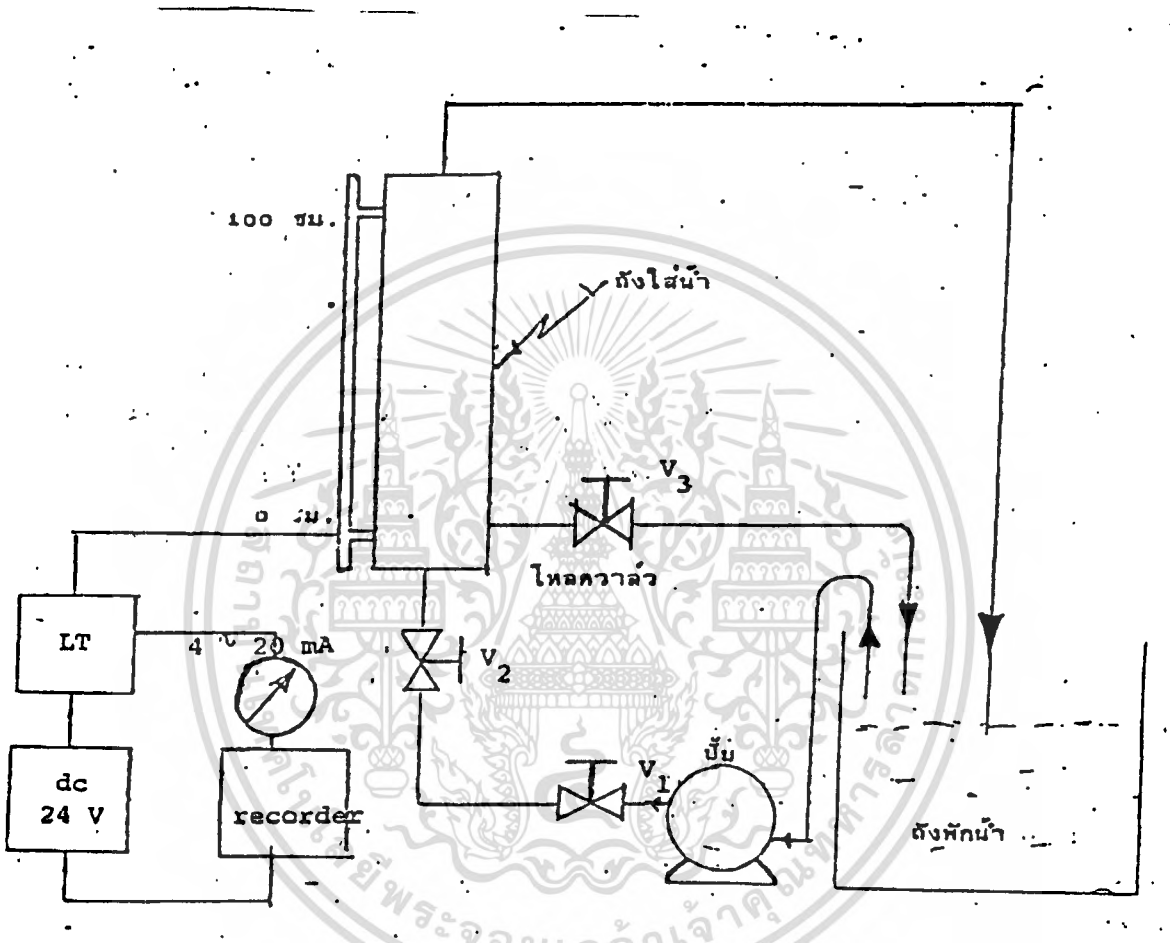
3. ทำข้อ 2 ซ้ำหลาย ๆ ครั้งจนอ่านค่า 4 mA และ 20 mA ที่ระดับ 0 ซม และ 100 ซม โดยไม่ต้องปรับอีก

4. จดข้อมูลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ระดับจริง (cm) (0 ~ 100)	I(mA) (4 ~ 20)	I(%) (0 ~ 100)
0	4.00	0
25	7.93	24
50	12.00	49
75	15.97	74
100	20.00	98
75	15.96	74
50	11.97	49
25	7.93	24
0	4.00	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเพื่อควบคุมระบบให้ได้อัตราส่วนของของผสมตามต้องการ

อุปกรณ์การทดลอง

1.ดิจิตอลมิเตอร์

2.ดีพีเซล

3.ชแตวรูทแอคแทกเตอร์

4.แหล่งจ่ายไฟตรง 24 โวลท์

5.ความต้านทาน 250 โอห์ม

6. V to I converter

7. I to P converter

ขั้นตอนการทดลอง

1) ต่อวงจรควบคุมเข้ากับระบบจำลองดังในรูปที่ 3.10

2) ปรับโหมดการควบคุมของตัวควบคุมทั้งสามไปที่ Manual mode

3) ปรับอัตราการไหลออกของน้ำจากแท็งค์เท่ากับ 1 ใน 3

4) ปรับตัวควบคุม LIC ให้ควบคุมแบบ PI ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 ปรับ PB ไปสูงสุด T_i สูงสุด และ T_d ต่ำสุด

4.2 ปรับค่าเป้าหมาย(Set point)ไปที่ค่าที่ต้องการ

4.3 ปรับ Manual control (MV) จนตัวแปรขบวนการ(Process variable)เท่ากับค่าเป้าหมาย

4.4 ปรับตัวควบคุมไปที่ automatic mode

4.5เปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อย เมื่อค่าวัดเริ่มเปลี่ยน ให้ลดค่าเป้าหมายลงมาที่เดิม

4.6 ลดค่าPB ลงมา และทำขั้น 4.5 ใหม่ โดยสังเกตผลตอบสนองของตัวแปรกระบวนการ

4.7 ทำขั้น 4.5 และ 4.6 หลาย ๆครั้งจนได้อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งของผลตอบสนองเป็น 25 %

4.8 ลดค่า T_i จน Offset หายไป

4.9เพิ่มค่า T_i ถ้าเกิดการแกว่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ทำขั้น 4.8 และ 4.9ใหม่จนกว่าจะได้อัตราส่วนช่วงกว้างของผลตอบสนองเป็น 25%

5) ปรับตัวควบคุมดิจิตอล ให้ควบคุมแบบ PID โดยใส่โปรแกรมควบคุมให้แก่เครื่อง

5.1 ทำตามข้อที่ 4.1 ถึง 4.5

5.2 ลดค่า PB ลงมาจนเกิดการแกว่ง

5.3 เพิ่มค่า T_d จนกว่าการแกว่งหยุด

5.4 ลดค่า PB จนเกิดการแกว่งใหม่อีก

5.5 ทำขั้น 5.2 ถึง 5.4 หลาย ๆ ครั้ง จน T_dไม่สามารถหยุดการแกว่งได้

6) ตั้งค่าอัตราส่วน Rที่ data entry unit ของตัวควบคุมแบบดิจิตอล

7) ปรับตัวควบคุมดิจิตอลไปที่ Reset Mode(R)

8) ปรับค่าที่ต้องการของตัวควบคุม LIC ให้ระดับน้ำได้ตามตารางที่ 3

9) เมื่อระดับน้ำในแท็งค์ได้ระดับตามที่ต้องการแล้ว อ่านค่ากระแส(mA) จาก M_1 และ M_2 แล้วบันทึกในตารางพร้อมทั้งหาค่าอัตราส่วนของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

ตั้งค่าอัตราส่วน (R) = 2

ระดับน้ำในแท้งค์ (%)	กระแสใน $M_1(I_1 mA)$	อัตราการ Q_1	กระแสใน $M_2(I_2 mA)$	อัตราการ Q_2	อัตราส่วน (Q_1/Q_2)
25	4.2	2.2	4.7	4.18	1.9
50	4.4	3.16	5.5	6.12	1.94
75	5	5	8	10	2
100	5.9	6.89	11.8	13.96	2.03
75	5	5	8	10	2
50	4.4	3.16	5.6	6.32	2
25	4.2	2.2	4.8	4.47	2.03

เมื่อ $Q = 5.3\sqrt{0.89(I - 4)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

จากที่ผ่านมาข้างต้นทั้งหมด ได้กล่าวถึงการจัดทำโครงงานตั้งแต่เริ่มต้นจนได้เป็นผลสำเร็จ ตลอดจนวิธีการและสูตรในการคำนวณที่เป็นมาตรฐานในการออกแบบแผ่นออริฟิซที่ใช้เป็นอุปกรณ์ปฐม ซึ่งการใช้แผ่นออริฟิซนี้มีประโยชน์มากในการนำไปใช้ศึกษาสำหรับนักศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถจะแสดงคุณลักษณะการไหลได้หลายแบบและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดความเข้าใจและคุ้นเคยได้ดี แต่ในโครงงานนี้เราใช้ท่อเวนจูรี่เป็นอุปกรณ์ปฐม เนื่องจากมีงบประมาณจำกัดซึ่งการใช้ท่อเวนจูรี่จะให้ผลการวัดอัตราการไหลที่ไม่ต่างจากแผ่นออริฟิซ เพราะเราสามารถเปลี่ยนขนาดท่อเวนจูรี่ตามขนาดท่อที่ใช้งานได้ (ต้องทราบค่าคงที่ของท่อเวนจูรี่ที่นำมาใช้งานเท่านั้น) ซึ่งในอนาคตอันใกล้ เราจะเปลี่ยนมาใช้แผ่นออริฟิซแทน

ในการตั้งค่าของการวัดระดับของไหลในการทดลอง เพื่อเป็นระดับของสัญญาณที่จะนำมาใช้งานนั้น เราสามารถตั้งได้ตามที่ต้องการว่าจะให้ระดับของไหลระดับใดเป็นค่าสูงสุด (20 mA) และค่าต่ำสุด(4 mA) เพราะเราสามารถมองเห็นระดับของไหลได้จากท่อใสโดยตรง แต่ในการตั้งระดับสัญญาณของอัตราการไหลในการทดลอง เราไม่สามารถทราบค่าจริงของอัตราการไหลได้ เนื่องจากไม่มีเครื่องวัดอัตราการไหลที่เป็นค่าจริงได้ เราจึงต้องแก้ไข โดยการใช้ค่าที่วาล์วเปิดมากสุดเป็นค่าสูงสุด (20 mA)และค่าที่วาล์วเปิด 20% เป็นค่าต่ำสุด (4 mA) ซึ่งถ้าหากมีเครื่องวัดอัตราการไหลที่สามารถจะทราบค่าที่แท้จริงแล้ว เราสามารถตั้งค่าระดับสัญญาณสูงสุด และต่ำสุดตามอัตราการไหลที่ต้องการได้

ตัวควบคุม ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบมีอยู่ 2 ชนิดคือตัวควบคุมแบบอนาล็อก(Analog Controller)แบบ PI Control ในการควบคุมส่วนของการควบคุมแบบเป็นลำดับ โดยการป้อนค่าที่ต้องการให้เครื่อง เครื่องก็จะทำการประมวลผลสัญญาณได้ตามที่ถูกออกแบบไว้ และอีกส่วนเราใช้ตัวควบคุมแบบดิจิตอล (Digital Controller) ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบโปรแกรมได้ คือเราสามารถจะเขียนโปรแกรมให้ตัวควบคุม ทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยเครื่องที่ใช้เป็นแบบ Compact Controller F ชนิด PMK ซึ่งจะมีฟังก์ชั่นการทำงานให้เลือกใช้ได้มาก เราเลือกใช้โดยการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นภาษาเฉพาะของเครื่องนี้ เครื่องก็จะสามารถทำงานตามที่ต้องการได้ เมื่อเราใส่ค่าที่ต้องการเข้าไป ซึ่งการใช้งานตัวควบคุมแบบดิจิตอล มีข้อดีคือสะดวกในการใช้งาน เพราะมีฟังก์ชั่นให้เลือกได้มาก สามารถใช้ควบคุมระบบต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ไม่เหมือนกับตัวควบคุมแบบอนาล็อก ที่ใช้งานได้เฉพาะอย่างตามที่วงจรออกแบบไว้ และการควบคุมยังให้ผลแน่นอนและแม่นยำกว่าตัวควบคุมแบบอนาล็อก แต่ตัวควบคุมแบบดิจิตอลมีข้อเสียคือโปรแกรมที่ใช้ไม่ใช่ภาษาที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ทั่วไป ผู้ใช้ต้องศึกษาใหม่ อีกทั้งต้องมีการเชื่อมต่อฟังก์ชั่นต่าง ๆเอง โดยต้องศึกษาจากคู่มือ ทำให้ยุ่งยากพอสมควรในตอนเริ่มต้น แต่ถ้าชำนาญแล้วก็ไม่ค่อยมีปัญหามากนัก และอีกอย่างหนึ่งคือตัวควบคุมแบบดิจิตอล มีราคาค่อนข้างสูง หากจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมหลายตัวจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงมาก ซึ่งในโครงงานนี้ต้องใช้ตัวควบคุม 2 ชุด แต่มีงบประมาณจำกัด จึงต้องใช้ตัวควบคุมแบบอนาล็อกที่มีอยู่แล้วแทน 1 ชุด

ในการนำตัวควบคุมมาใช้ในการควบคุมระบบนั้น เราสามารถจะสร้างตัวควบคุมขึ้นเองได้ โดยการใช้คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมาสร้างส่วนของอนาล็อกเป็นดิจิตอล และ ดิจิตอลเป็นอนาล็อกขึ้น เพื่อให้สามารถรับและส่งสัญญาณควบคุมระหว่างตัวควบคุม กับระบบได้ จากนั้นก็เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาที่ใช้กันทั่วไป(แต่ควรใช้ภาษา Assembly หรือภาษาเครื่อง เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้รวดเร็ว) ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ เพื่อนำไปสร้างฟังก์ชั่นแล้วให้เครื่องรับสัญญาณจากระบบเข้ามาประมวลผลตามฟังก์ชั่นที่กำหนด ต่อจากนั้นก็ส่งผลที่ได้ไปควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการ จะเห็นได้ว่าคล้ายคลึงกับตัวควบคุมแบบดิจิตอลนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่ามีข้อดีคือ เราสามารถเขียนโปรแกรมการทำงานได้เองตามต้องการและภาษาที่ใช้ก็เป็นภาษาทั่วไป และสามารถให้คอมพิวเตอร์แสดงผลการควบคุมบนจอภาพตามลักษณะที่ต้องการได้ แต่ข้อเสียคือต้องสร้างอุปกรณ์เพิ่มเติมในการใช้งาน และไม่สะดวกในการติดตั้งเข้าไปในแผงควบคุมที่มีขนาดเล็ก

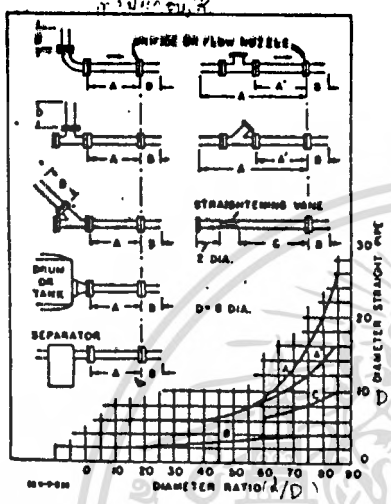
โครงงานนี้แสดงถึงการนำเอาตัวควบคุมมาใช้ในงานควบคุมอัตราส่วน โดยเพิ่มส่วนการควบคุมแบบเป็นลำดับเข้ามาในกระบวนการด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งก็เป็นเพียงตัวอย่างของการควบคุมอัตโนมัติลักษณะหนึ่งซึ่งเราสามารถจะนำไปใช้งานได้ในงานของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม จุดประสงค์หลักของโครงงานคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ผู้ใดนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

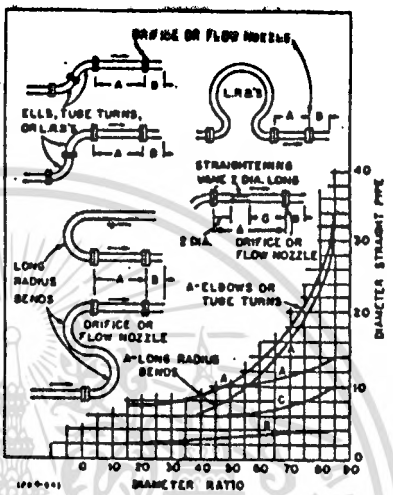
เพื่อให้นักศึกษาใช้ศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นพื้นฐานที่จะเรียนรู้การทำงานของการควบคุมกระบวนการ ซึ่งถ้าหากสามารถเข้าใจหลักการควบคุมกระบวนการได้แล้วก็สามารถนำเอาความรู้ที่มีอยู่ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบงานควบคุมชบวนการผลิตแบบอื่นๆได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

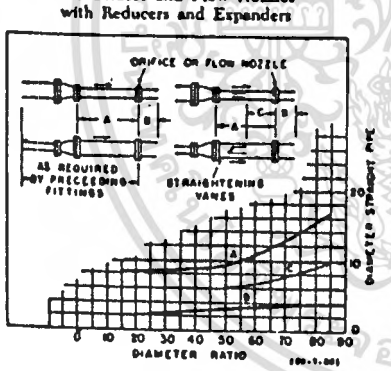
SCHEDULE 1
For Orifices and Flow Nozzles
All Fittings in Same Plane



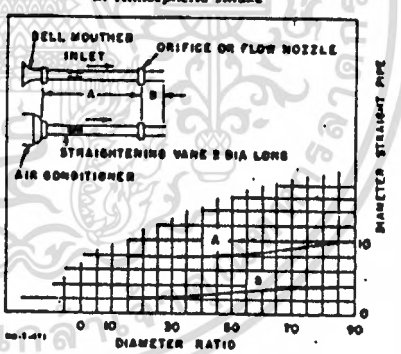
SCHEDULE 2
For Orifices and Flow Nozzles
All Fittings in Same Plane



SCHEDULE 5
For Orifices and Flow Nozzles
with Reducers and Expanders



SCHEDULE 6
For Orifices and Flow Nozzles
in Atmospheric Intake

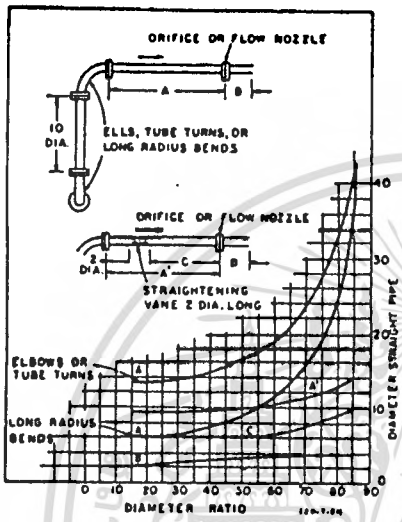


	10-50 Ratio	50-60 Ratio	60-70 Ratio	70-80 Ratio
Downstream fittings allowed on outlet side in place of straight pipe, shown on schedule 1 to 8	1. Tees 2. 45 Ells 3. Gate Valves 4. Separators 5. Y-Fittings 6. Expansion Jts.	1. Tees 2. Expansion Jts. 3. Gate Valves 4. Y-Fittings 5. Separator (If inlet neck is one diam. long)	1. Gate Valves 2. Y-Fittings 3. Separators (If inlet neck is one diam. long)	1. Gate Valve 2. Long Radius Bend

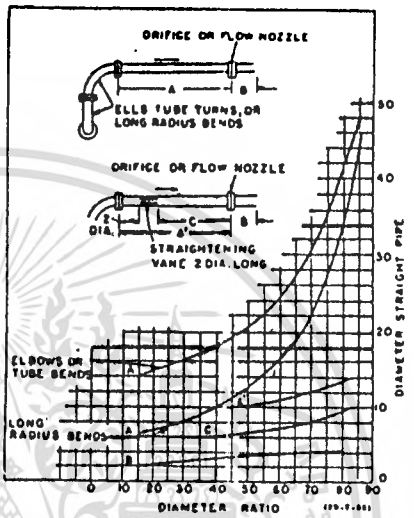
Fig. 3—Piping Requirements for Orifice, Nozzels and Venturis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

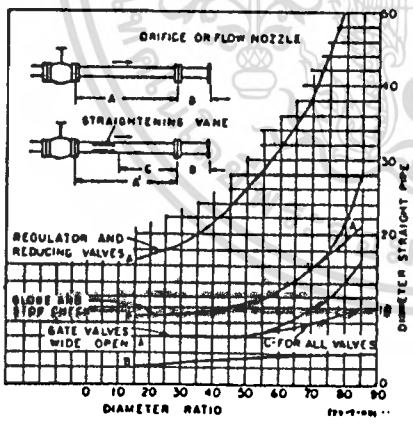
SCHEDULE 3
For Orifices and Flow Nozzles
Fittings in Different Planes



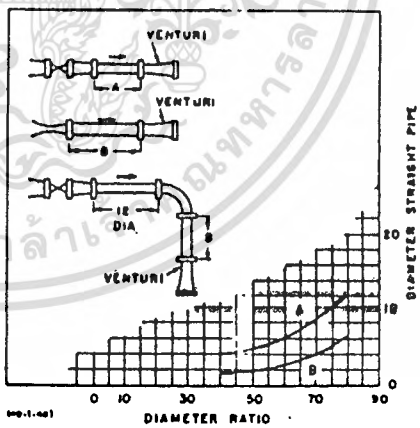
SCHEDULE 4
For Orifices and Flow Nozzles
Fittings in Different Planes



SCHEDULE 7
Valves



SCHEDULE 8
For Venturi Tubes
Based on Data from W S Pardoe



sioned Layout

Fig. 3–Continued

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 5

NOMINAL PIPE SIZES AND SQUARE OF THE INTERNAL DIAMETER

Pipe Size, In.	Sched.	Wt.	D	D^2	Pipe Size, In.	Sched.	Wt.	D	D^2
1	40	Std.	1.049	1.1004	8	30		8.071	65.141
	80	XH	0.957	0.9159		40	Std.	7.981	63.696
	160		0.815	0.6642		60		7.813	61.043
		XXH	0.599	0.3588		80	XH	7.625	58.141
						100		7.439	55.339
1¼	40	Std.	1.380	1.9044		120		7.189	51.682
	80	XH	1.278	1.6333		160		6.813	46.417
	160		1.160	1.3456			XXH	6.875	47.266
		XXH	0.896	0.8028					
					10	30		10.136	102.74
1½	40	Std.	1.610	2.5921		40	Std.	10.020	100.40
	80	XH	1.500	2.2500		60	XH	9.750	95.063
	160		1.338	1.7902		80		9.564	91.470
		XXH	1.100	1.2100		100		9.314	86.751
						120		9.064	82.156
2	40	Std.	2.067	4.2725		140		8.750	76.563
	80	XH	1.939	3.7597		160		8.500	72.250
	160		1.689	2.8527					
		XXH	1.503	2.2590	12		Std.	12.000	144.00
						30		12.090	146.17
2½	40	Std.	2.469	6.0960		40		11.938	142.51
	80	XH	2.323	5.3963			XH	11.750	138.06
	160		2.125	4.5156		60		11.626	135.16
		XXH	1.771	3.1364		80		11.376	129.41
						100		11.064	122.41
3	40	Std.	3.068	9.4126		120		10.750	115.63
	80	XH	2.900	8.4100		140		10.500	110.25
	160		2.626	6.8958		160		10.126	102.54
		XXH	2.300	5.2900					
					14	30	Std.	13.250	175.56
3½	40	Std.	3.548	12.588			XH	13.000	169.00
	80	XH	3.364	11.316					
		XXH	2.728	7.442	16	30	Std.	15.250	232.56
						40	XH	15.000	225.00
4	40	Std.	4.026	16.209		60		14.688	215.74
	80	XH	3.826	14.638		80		14.314	204.89
	120		3.626	13.148					
	160		3.438	11.820	18		Std.	17.850	307.58
		XXH	3.152	9.935				17.182	295.22
						30		17.126	293.30
						40		16.876	284.80
5	40	Std.	5.047	25.472					
	80	XH	4.813	23.165	20		Std.	19.250	370.56
	120		4.563	20.821				19.182	367.95
	160		4.313	18.602		30		19.000	361.00
		XXH	4.063	16.508		40		18.814	353.97
						60		18.376	337.66
6	40	Std.	6.065	36.784	24		Std.	23.250	540.56
	80	XH	5.761	33.189		30		22.876	523.31
	120		5.501	30.261		40		22.626	511.94
	160		5.189	26.926					
		XXH	4.897	23.981	30	30		28.750	826.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 2

DIFFERENTIAL RANGE CORRECTION FACTOR

Max. Diff'l (In. H_2O, Dry)	Min. Static Pressure† Recommended	Diff'l Range Correction Factor
2.536*	0 in. H_2O ga.	0.342
4.019*	5 in. H_2O ga.	0.430
5.000	7 in. H_2O ga.	0.480
6.370*	10 in. H_2O ga.	0.542
10.000	20 in. H_2O ga.	0.679
10.099*	20 in. H_2O ga.	0.682
16.000	35 in. H_2O ga.	0.858
20.000	2 psig	0.960
21.722	2 psig	1.000
25.000	10 psig	1.070
25.360	10 psig	1.080
34.429	10 psig	1.260
50.000	20 psig	1.520
54.562	25 psig	1.580
57.210	35 psig	1.620
66.479	45 psig	2.000
100.00	60 psig	2.150
128.73	60 psig	2.430
137.05	70 psig	2.510
200.00	100 psig	3.030
217.23	100 psig	3.160
228.86	100 psig	3.250
300.00	140 psig	3.720
344.26	150 psig	3.980
400.00	180 psig	4.290
500.00	220 psig	4.800
600.00	260 psig	5.260
700.00	300 psig	5.680
800.00	340 psig	6.070
900.00	380 psig	6.440
1000.00	420 psig	6.790

*These ranges are normally used on gas flows only.

†On gas or vapor flows, the differential in inches H_2O should not exceed the absolute static pressure in psia, for 2 psig, the differential should not exceed 17 in. H_2O (15 + 2 psig).

NOTE—For any differential not specified in the table, the differential range correction factor equals:

$0.2148 \sqrt{\text{Diff'l. in Inches Water (dry)}}$

For example, if the desired differential is 0-150" H_2O (dry), the factor = $0.2148 \sqrt{150}$ or 2.63. For conversion purposes, inches of water under water × 1.079 = inches of water (dry).

TABLE 6

MAXIMUM DIFFERENTIAL DATA —INCHES OF WATER DRY

The table below lists the maximum differential h in inches of water (dry) and the factor F_{hm} which is equal to the square root of h.

Maximum Differential (h Inches of Water, Dry)	Factor F_{hm}	Maximum Differential (h Inches of Water, Dry)	Factor F_{hm}
2.536	1.5925	100.00	10.000
4.019	2.0047	128.73	11.346
5.000	2.2361	137.05	11.707
6.370	2.5239	150.00	12.247
10.000	3.1623	200.00	14.142
10.099	3.1773	217.23	14.739
16.000	4.0000	228.86	15.128
20.000	4.4721	250.00	15.811
21.722	4.6607	300.00	17.321
25.000	5.0000	344.26	18.554
25.360	5.0359	400.00	20.000
34.429	5.8676	500.00	22.361
50.000	7.0711	600.00	24.495
54.562	7.3866	700.00	26.458
57.21	7.5640	800.00	28.284
66.479	9.2994	900.00	30.000
		1000.00	31.623

TABLE 10

TEMPERATURE AND SPECIFIC GRAVITY CORRECTION FACTORS FOR LIQUIDS

SP. GR. at 60°F	OPERATING TEMPERATURE in °F. 60	100	200	300	400	500
0.50	1.414	1.364	....	....	....	....
0.60	1.291	1.266	1.178	0.972	....	....
0.70	1.195	1.180	1.137	1.092	1.028	0.879
0.80	1.118	1.106	1.079	1.049	1.017	0.985
0.90	1.054	1.046	1.025	1.004	0.981	0.959
1.00	1.000	0.994	0.975	0.957	0.939	0.919
1.10	0.953	0.947	0.932	0.916	0.900	0.884
1.20	0.913	0.907	0.894	0.880	0.866	0.852

NOTE—For specific gravity and operating temperatures not listed, the correction factor equals:

$1/G_b\left(\sqrt{G_f}\right)$ where G_b = S.G. at 60°F and G_f = S. G. at operating temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORIFICE CALCULATION FOR LIQUID FLOW

TABLE 14 (Continued)

Specific Gravity	F_{gf}	F_{pb}	Specific Gravity	F_{gf}	F_{pb}
.990	0.99499	1.0101	1.20	1.0955	0.83333
.991	0.99549	1.0091	1.21	1.1000	0.82645
.992	0.99599	1.0081	1.22	1.1045	0.81967
.993	0.99649	1.0071	1.23	1.1091	0.81301
.994	0.99700	1.0060	1.24	1.1136	0.80645
.995	0.99750	1.0050	1.25	1.1180	0.80000
.996	0.99800	1.0040	1.26	1.1225	0.79365
.997	0.99850	1.0030	1.27	1.1269	0.78740
.998	0.99900	1.0020	1.28	1.1314	0.78125
.999	0.99950	1.0010	1.29	1.1358	0.77519
1.00	1.0000	1.0000	1.30	1.1402	0.76923
1.01	1.0050	0.99009	1.31	1.1446	0.76336
1.02	1.0100	0.98039	1.32	1.1489	0.75758
1.03	1.0149	0.97087	1.33	1.1533	0.75188
1.04	1.0198	0.96154	1.34	1.1576	0.74627
1.05	1.0247	0.95238	1.35	1.1619	0.74074
1.06	1.0296	0.94340	1.36	1.1662	0.73529
1.07	1.0344	0.93458	1.37	1.1705	0.72993
1.08	1.0392	0.92593	1.38	1.1747	0.72464
1.09	1.0440	0.91743	1.39	1.1790	0.71942
1.10	1.0488	0.90909	1.40	1.1832	0.71429
1.11	1.0536	0.90090	1.41	1.1874	0.70922
1.12	1.0583	0.89286	1.42	1.1916	0.70423
1.13	1.0630	0.88496	1.43	1.1958	0.69930
1.14	1.0677	0.87719	1.44	1.2000	0.69444
1.15	1.0724	0.86957	1.45	1.2042	0.68966
1.16	1.0770	0.86207	1.46	1.2083	0.68493
1.17	1.0817	0.85470	1.47	1.2124	0.68027
1.18	1.0863	0.84746	1.48	1.2166	0.67568
1.19	1.0909	0.84034	1.49	1.2207	0.67114
			1.50	1.2247	0.66667

TABLE 12

CONVERSION FACTORS FOR VOLUMETRIC FLOW UNITS

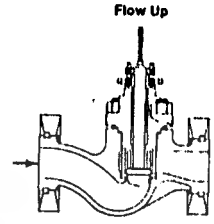
Flow Units	Value of Constant		
	Per Min.	Per Hour	Per Day
Imperial Gallons	4.7222	283.33	6799.9
42 Gal. Barrels	0.13496	8.0979	194.35
50 Gal. Barrels	0.11337	6.8022	163.25
Cubic Feet	0.75778	45.467	1091.2
Liters	21.459	1287.5	30.900
Cubic Meters	0.021459	1.2875	30.900

These values are used in place of 340.11 in Eq. 15, pg. 31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design CE

Equal Percentage Valve Plug



For additional information see *Bulletin 51.1:CE*

Flow Coefficients

Flow Up — Equal Percentage Characteristic

Coefficients	Body Size, Inches	Port Diameter, Inches	Maximum Travel, Inches	Valve Opening, Percent of Maximum Travel										K_m[1] and C_f
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C_v (Liquid)	1/2	1/2	9/4	.298	.469	.657	.891	1.17	1.60	2.16	3.10	4.17	4.69	.60
	3/4	3/4	3/4	.408	.615	.955	1.42	1.92	2.66	3.48	7.81	9.31	9.65	.80
	1	3/4	3/4	.600	.830	1.22	1.54	2.17	3.25	5.12	7.63	9.84	10.9	.95
	1-1/2	1-1/8	3/4	.825	.819	1.18	1.94	3.40	6.68	11.6	17.9	22.9	25.2	.80
	2	1-1/2	1-1/8	1.10	1.64	2.49	4.07	7.17	13.8	23.8	99.0	38.7	45.7	76
	3	2-1/2	1-1/2	1.64	4.07	6.36	13.8	20.5	36.3	58.8	78.5	91.3	110	76
	4	3-1/4	2	3.44	6.71	12.5	21.5	45.5	82.3	110	134	161	179	.73
	1/2, 3/4, 1, & 1-1/2	3/16	3/4	.060	.067	.081	.109	.141	.191	.250	.324	.414	.667	.72
		1/4	3/4	.056	.079	.116	.172	.258	.401	.604	.890	1.22	1.59	.88
	1/2	3/8	3/4	.152	.228	.319	.434	.583	.822	1.19	1.72	2.51	3.10	.89
	3/4	3/8	3/4	.147	.234	.336	.488	.641	.892	1.31	1.90	2.64	3.34	.87
		1/2	3/4	.193	.307	.542	.832	1.16	1.60	2.24	3.22	4.38	5.37	.90
	1	3/8	3/4	.148	.249	.357	.473	.644	.917	1.34	1.94	2.78	3.50	.90
		1/2	3/4	.388	.635	.760	1.01	1.35	1.91	2.59	3.55	4.79	5.63	.94
	1-1/2	3/8	3/4	.148	.249	.357	.473	.644	.917	1.34	1.94	2.78	3.50	.90
		1/2	3/4	.193	.384	.597	.833	1.18	1.64	2.33	3.49	4.73	5.91	.86
		3/4	3/4	.421	.641	.976	1.44	2.06	3.17	5.80	9.88	11.2	12.2	.79
	2	3/4	3/4	.348	.548	.864	1.27	1.88	2.95	5.52	8.76	10.7	12.0	.79
		1-1/8	3/4	.349	.553	.969	1.73	3.06	5.79	10.5	16.8	22.7	25.5	.78
	3	1-1/2	1-1/8	.523	1.17	2.08	3.59	6.69	14.6	28.3	36.3	38.4	47.8	.81
	4	2-1/2	1-1/2	1.78	4.15	8.31	13.5	19.5	33.9	56.2	84.2	107	117	.74
C_g (Gas)	1/2	1/2	3/4	9.41	14.7	20.6	28.2	38.2	51.5	70.6	98.5	131	147	31.3
	3/4	3/4	3/4	13.0	20.2	30.5	44.7	60.5	97.1	187	270	317	328	34.1
	1	3/4	3/4	18.4	28.2	35.7	55.6	70.2	110	175	266	349	397	36.4
	1-1/2	1-1/8	3/4	16.4	21.8	32.0	54.7	95.1	177	307	497	699	842	33.4
	2	1-1/2	1-1/8	34.6	50.0	76.8	122	205	343	660	965	1230	1490	32.6
	3	2-1/2	1-1/2	51.6	121	243	411	598	1010	1723	2360	2920	3736	34.0
	4	3-1/4	2	106	204	368	633	1300	2330	3140	4080	4970	5920	33.1
	1/2, 3/4, 1, & 1-1/2	3/16	3/4	2.16	2.39	2.77	3.55	4.74	6.15	7.83	9.99	12.9	19.1	28.6
		1/4	3/4	1.93	2.40	3.62	5.78	8.45	12.7	18.9	27.2	37.2	50.3	31.6
	1/2	3/8	3/4	4.79	7.21	9.69	13.8	18.8	26.8	38.8	54.6	77.6	103	33.2
	3/4	3/8	3/4	4.95	7.59	11.2	15.3	19.2	26.9	42.0	59.8	85.7	115	34.4
		1/2	3/4	6.05	11.6	18.3	24.6	33.8	48.8	71.4	103	141	189	35.2
	1	3/8	3/4	4.85	7.24	10.8	14.8	19.3	26.7	38.8	58.7	84.4	114	32.6
		1/2	3/4	10.8	16.8	23.0	29.7	40.0	54.8	75.0	109	151	198	35.2
	1-1/2	3/8	3/4	4.85	7.24	10.8	14.8	19.3	26.7	38.8	58.7	84.4	114	32.6
		1/2	3/4	6.99	13.0	19.9	26.8	36.5	51.4	72.5	104	148	197	33.3
		3/4	3/4	15.8	22.7	33.3	46.5	69.3	110	180	268	355	433	35.5
	2	3/4	3/4	11.0	16.2	25.8	39.5	57.0	93.1	152	239	328	410	34.2
		1-1/8	3/4	11.3	17.7	29.6	50.4	90.2	181	332	535	734	884	34.7
	3	1-1/2	1-1/8	16.3	34.4	61.0	106	190	395	712	1110	1440	1680	35.1
	4	2-1/2	1-1/2	57.4	135	25.8	406	591	998	1770	2750	3580	4160	35.6
C_1 (Steam)	1/2	1/2	3/4	.471	.735	1.03	1.41	1.91	2.58	3.53	4.93	6.55	7.35	31.3
	3/4	3/4	3/4	.650	1.01	1.53	2.24	3.03	4.65	6.34	13.5	15.9	16.5	34.1
	1	3/4	3/4	.920	1.31	1.79	2.78	3.51	5.50	8.75	13.3	17.5	19.9	36.4
	1-1/2	1-1/8	3/4	.820	1.[illegible]	1.60	2.74	4.76	8.85	15.4	24.9	35.0	42.1	33.4
	2	1-1/8	1-1/2	1.73	2.6	3.83	6.10	10.2	17.2	33.0	48.3	61.5	74.4	32.6
	3	2-1/2	1-1/2	2.56	6.01	12.1	20.5	29.9	50.4	86.1	118	146	187	34.0
	4	3-1/4	2	5.30	10.2	18.4	31.7	65.0	117	157	204	249	296	33.1
	1/2, 3/4, 1, & 1-1/2	3/16	3/4	.109	.120	.139	.178	.237	.308	.392	.500	.645	.955	28.6
		1/4	3/4	.096	.120	.191	.289	.423	.634	.943	1.36	1.86	2.52	31.6
	1/2	3/8	3/4	.240	.361	.495	.680	.925	1.29	1.84	2.73	3.89	5.15	33.2
	3/4	3/8	3/4	.247	.380	.561	.765	.960	1.35	2.10	2.99	4.28	5.75	34.4
		1/2	3/4	.302	.561	.917	1.23	1.69	2.44	3.57	5.15	7.07	9.45	35.2
	1	3/8	3/4	.242	.362	.539	.741	.963	1.33	1.94	2.94	4.22	5.70	32.6
		1/2	3/4	.540	.842	1.15	1.49	2.00	2.73	3.75	5.45	7.57	9.90	35.2
	1-1/2	3/8	3/4	.242	.362	.539	.741	.963	1.33	1.94	2.94	4.22	5.70	32.6
		1/2	3/4	.350	.850	.995	1.34	1.83	2.67	3.83	6.20	7.40	9.85	33.3
		3/4	3/4	.790	1.14	1.67	2.43	3.47	5.50	9.00	13.4	17.8	21.7	35.5
	2	3/4	3/4	.550	.810	1.26	1.93	2.88	4.66	7.60	11.9	16.4	20.5	34.2
		1-1/8	3/4	.565	.885	1.48	2.52	4.51	9.05	16.2	26.8	36.7	44.2	34.7
	3	1-1/2	1-1/8	0.81	1.72	3.05	5.29	9.49	19.7	35.6	55.4	72.2	84.0	35.1
	4	2-1/2	1-1/2	2.87	6.75	12.9	20.4	29.6	49.9	88.5	138	179	208	35.6

1 The column lists the K_m values for the C_v coefficients and the C_1 values for the C_g and C_s coefficients at 100% travel.

Restricted trim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน ที่ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ คือ

คุณ อุดร วิเศษสาธร ผู้อำนวยการกองเครื่องวัดและสื่อสาร การประปาสามเสน ที่กรุณาจัดหาอุปกรณ์ทางด้านเครื่องมือวัด และให้คำแนะนำ

อาจารย์ ทวีศักดิ์ เทศเจริญ อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเครื่องกล ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำแบบจำลอง อีกทั้งจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงานซึ่งยังผลให้งานดำเนินไปด้วยความสะดวกยิ่ง

และสุดท้ายที่ขาดเสียไม่ได้คือ อาจารย์ จงกล งามวิวิทย์ อาจารย์ประจำภาควิชาระบบควบคุม และอาจารย์ พรสุข เทศเจริญ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำโครงงานครั้งนี้ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่มีค่า และช่วยเหลือในการติดต่อและจัดหาเอกสารต่าง ๆ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>เอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือภาษาอังกฤษ</u> จัดเรียงลำดับดังนี้

1. C.F. Cusick , " Flow Meter Engineering Handbook",Honeywell INC., 1977

2. Fuji Electric CO.,Ltd, "Instruction Manual(Teleperm Compact Controller F , Type ; PMK/PML) "

3. Curtis D. Johnson , " Process Control Instrumenttation Technology" , John Wiley & Sons, 497 p, 1982

4. F.G. Shinskey, " Process control Systems" , McGraw-Hill Book Company, 349 p.,1979

5. George Stephanopoulds , "Chemical Process Control : An Introduction to Theory and Practice" , Prentice-Hall International Editions (phi)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้