ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

SIMULATION OF FLUID FLOW

กุญชร ศรีพินิจ
ญาณิศา เกี่ยวพันธ์
รัตติกาล มหาเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต
กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีการศึกษา 2554

SIMULATION OF FLUID FLOW

GUNCHON SEEPINID

YANISA KEOWPAN

RATTIKARN MAHACHAROEN

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF TECHNOLOGY

MAJOR OF INDUSTRIAL MANAGEMENT TECHNOLOGY

BURAPHA UNIVERSITY 2011

ปริญญานิพนธ์	ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
โดย	นายกุญชร ศรีพินิจ
	นางสาวญาณิศา เกี่ยวพันธ์
	นายรัตติกาล มหาเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ พรชัย ปิ่นสุวรรณ
	อาจารย์ ปาณิสรา จ่างจิตร์
จำนวนหน้า	86
ปีการศึกษา	2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม

.....ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ พรชัย ปิ่นสุวรรณ)

.....กรรมการสอบปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ สุภาพ ธาราศักดิ์)

.....กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ พรชัย ปิ่นสุวรรณ)

.....ประธานกลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
(อาจารย์ ยศพนธ์ อินทรจันทร์)

.....ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย
(อาจารย์ กมล ชุ่มเจริญ)

.....ประธานสาขาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง)

บทคัดย่อ

การจัดทำโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการไหลของของไหลภายในท่อจากประสบการณ์ของสมาชิกในกลุ่มที่ได้ปฏิบัติงานในโรงงานปิโตรเคมี โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลในรูปแบบต่างๆตามหลักเกณฑ์ทางด้านทฤษฎี ในการดำเนินงานนั้นผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการไหลของของไหล ทั้งไหลแบบราบเรียบ ไหลแบบราบเรียบกึ่งปั่นป่วน และไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบจำลองชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลจากคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาและจากโรงงานของสมาชิกในกลุ่มที่ได้ปฏิบัติงานในโรงงานปิโตรเคมี ซึ่งมีน้ำหนักเบาเคลื่อนย้ายได้ง่าย สะดวกต่อการทดลอง มีความเหมาะสมในการออกแบบเครื่อง สามารถทดลองได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลจำนวน1 เครื่องและให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านเครื่องกล ด้านฝ่ายผลิต ด้านเครื่องมือวัดและด้านควบคุมที่มีประสบการณ์ในการทำงานได้ประเมินคุณภาพการจากการทดลอง โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น หลังจากที่ผู้วิจัยได้สาธิต โดยใช้ผลจากการประเมินความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านคุณภาพของชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่าชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลมีคุณภาพที่ค่า IOC เท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงกล่าวได้ว่าชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลสามารถใช้เป็นสื่อจำลองการไหลของของไหลภายในท่อเพื่อให้เข้าใจถึงรูปแบบการไหลที่ใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่ามีคุณภาพ และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยสามารถนำชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลนี้ไปใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: ไหลแบบราบเรียบ / ไหลแบบราบเรียบกึ่งปั่นป่วน /ไหลแบบปั่นป่วน/ปิโตรเคมี / ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

Abstract

This project design for Simulation of fluid flow within the pipe from experience of members who work in Petrochemical plants and compile information about flowing fluid in various forms according to the rules and theories. In operating, We study this project including the Laminar flow, the Transitional flow and the Turbulent flow that designed by the suggestions of advisors and members. The Simulation flow that lightweight, easy to move, comfortable to test and appropriate to designed. We built this machine then, evaluated test by questionnaires from Mechanic experts, Operation experts and Instrument and control experts. After that, we have the same opinion that this test has value IOC as 0.85 in criterion. Therefor, this test is Simulation of Fluid flow within pipe that use in industrial factory. And we consider that this machine has quality and be in accordance with hypothesis. So, this project can use this machine in functional objective and useful purpose.

Important words : the Laminar flow, the Transitional flow, the Turbulent flow, Petrochemical, Simulation of fluid flow

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์พรชัย ปิ่นสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ปาณิสรา จ่างจิตร์ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอดผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบ้านค่ายตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสพความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

กุญชร ศรีพินิจ
ญาณิศา เกี่ยวพันธ์
รัตติกาล มหาเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ii
Abstract iii
กิตติกรรมประกาศ vi
สารบัญ v
สารบัญรูป viii
สารบัญตาราง xi
สารบัญแผนภูมิ x
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 แผนการดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎี / และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีการไหลของของไหล 4
2.1.1แรงกระทำเนื่องจากของไหลสถิต 5
2.2 ทฤษฎีการหาเลขเรย์โนลด์ 6
2.3 ความหมายของเลขไร้หน่วย (Renolde Number) 8
2.4 ทฤษฎีการสูญเสียของของไหลภายในท่อ 11
2.4.1 การสูญเสียจากแรงเสียดทานของการไหลราบเรียบ 11
2.4.2 การสูญเสียจากแรงเสียดทานของการไหลปั่นป่วน 12
2.5 อุปกรณ์วัดปริมาณการไหล (Rota meter) 15
2.6 ระบบการควบคุมเบื้องต้น (Control Basic) 17
2.7 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and control action) 18
2.8 แบบของการควบคุม (Control action) 19
2.9 การควบคุมแบบ Feed Back เบื้องต้น (Lntroduction to Feed Back Control 21
2.9.1 หลักการของการควบคุมแบบ Feed Back 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 25
3.1 การสร้างชุดสาธิการไหลของของไหล 25
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล 26
3.1.2 การเดินระบบและการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล 27
3.1.3 วิธีการเดินระบบและการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล 28
3.2 การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของชุดสาธิตการไหลของของไหล 29
3.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 29
3.2.2 การออกแบบและสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล 29
3.2.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 31
3.2.4 การทดลองใช้และรวบรวมข้อมูล 32
3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล 33

บทที่ 4 ผลการวิจัย 35
4.1 การทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล 35
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ 48
4.3 ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยแยกออกเป็นด้านต่าง ๆ 50
4.4 ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล 51

บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ 53
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 53
5.2 อภิปรายผล 53
5.3 ข้อเสนอแนะ 54

เอกสารอ้างอิง 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....56
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล 57
ภาคผนวก ข รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....64
ภาคผนวก ค แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ 68
ภาคผนวก ง แบบชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล 72
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล.....78
ประวัติผู้เขียน.....83

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างการวัดหาแรงที่มากระทำในของไหลสถิต 5
รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลภายในท่อ 8
รูปที่ 2.3 รูปแบบการไหล 9
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระกับเลขเรย์โนลด์ 13
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของของเหลวต่างๆ 14
รูปที่ 2.6 มาตรวัดแบบโรตา.....15
รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์วัดอัตราการไหล 16
รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมนิวแมติกส์.....18
รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์.....19
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างง่ายๆ ของตัวควบคุม.....19
รูปที่ 2.11 Block Diagram ของตัวควบคุม ON-OFF 20
รูปที่ 2.12 ระบบการควบคุมระดับของเหลว 20
รูปที่ 2.13 แสดง Dead band ของการควบคุมระดับของเหลวแบบ ON-OFF 21
รูปที่ 2.14 การควบคุม Process วงรอบแบบ Feed Back ของระบบ 22
รูปที่ 2.15 แสดงระบบควบคุม Feed Back 30
รูปที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล 26
รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของชุดสาธิตการไหลของของไหล 28
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ.....47
รูปที่ 4.2 แสดงค่า IOC ระดับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดสาธิตการไหล 50
รูปที่ 4.3 แสดงค่า IOC ระดับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์นำไปสาธิตการไหล 51

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย.....2
ตารางที่ 4.1 การคำนวณจากสูตรและผลการทดลองจากชุดสาธิตการไหลของของไหล.....47
ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยผู้เชี่ยวชาญ 15 ท่าน ทั้ง12 จุดประเมิน.51
ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล.....52

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3.1 การเดินระบบและการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล……..27
แผนภูมิที่ 3.2 การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของชุดสาธิตการไหลของของไหล……...29
แผนภูมิที่ 3.3 การออกแบบและสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล……30
แผนภูมิที่ 3.4 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย……31
แผนภูมิที่ 4.1 ระดับการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ……48
แผนภูมิที่ 4.2 ประสบการณ์ทำงานของผู้เชี่ยวชาญ……49
แผนภูมิที่ 4.3 ระดับอายุของผู้เชี่ยวชาญ……49

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่สมาชิกในกลุ่มโครงงานได้ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทางคณะผู้จัดทำจึงได้คิดที่ทำโครงงานเรื่อง ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลภายในท่อ ซึ่งจากการทำงานระบบเครื่องมือวัดและระบบควบคุมภายในโรงงานที่ผ่านมา ทำให้เล็งเห็นว่าของไหลภายในท่อมีหลายรูปแบบ ซึ่งการไหลของของไหลภายในท่อจะส่งผลถึงสารที่วิ่งภายในท่อ รวมถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นกับการไหลในแบบต่าง ๆ ทั้งนี้จากการสังเกตของไหลไม่ว่าจะเป็นแก๊ส หรือว่าของแข็ง เช่นเม็ดพลาสติกก็ตาม ซึ่งถ้าเราไม่ได้คำนึงถึงรูปแบบการไหล ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียภายในระบบขึ้น ถ้าเป็นเม็ดพลาสติกที่เป็นของแข็งก็จะทำให้เกิดการอุดตันขึ้นภายในท่อได้ ทั้งนี้เกิดจากรูปแบบการไหลของของไหลเอง

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำโครงการมีแนวคิดว่าจะพัฒนาและต่อยอดองค์กรความรู้ จากการปฏิบัติงานจริงสถานประกอบการมาสร้างชุดสื่อสาธิตของจริงที่แสดงลักษณะจำลองของการไหลภายในท่อ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อเชื่อมโยงเข้ากับทฤษฎี ทั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นแล้วว่ารูปแบบการไหลของของไหล ถือเป็นพื้นฐานในการต่อยอดองค์ความรู้ของตัวผู้จัดทำและผู้ที่ได้ศึกษาเพื่อทำให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการไหลของของไหล สามารถนำองค์ความรู้ไปต่อยอดในการศึกษาหรือการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้โครงงานที่ทำออกมานั้นจะรวบรวมเอาความรู้ในหลายวิชาเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงการควบคุมของเหลวภายในถังอีกด้วย เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบของของไหลภายในท่อ

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบการสร้างชุดทดลองอัตราการไหลเพื่อใช้ทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลภายในท่อ

1.2.3 เพื่อศึกษาการควบคุมของเหลว ภายในถังแบบอัตโนมัติ

1.2.4 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการไหลแบบ Lamina Flow แบบ Transition Flow และแบบ Turbulence Flow

1.2.5 เพื่อฝึกฝนทักษะและกระบวนการคิดและการศึกษาค้นคว้าหรือสืบค้นข้อมูลตลอดจนการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวั

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาหลักการและทฤษฎีการเกิดการไหลแบบ Lamina Flow แบบ Transition Flow และแบบ Turbulence Flow เพื่อนำมาพัฒนาต่อยอดการสร้างสื่อการเรียนการสอนในการพัฒนาผู้เรียนในสาขางานปิโตรเคมี

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียด	พ.ศ.2554						พ.ศ.2555					
	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มีค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย
1. เลือกหัวข้อปัญหา	◄►											
2. นำเสนอหัวข้อปัญหา		◄	─	►								
3. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง			◄	►								
4. นำไปปฏิบัติกับงานจริง				◄	►							
5. ศึกษารวบรวมข้อมูล						◄	►					
6. วิเคราะห์ปัญหา								◄►				
7. สรุปและจัดทำรายงาน									◄	►		
8. ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์											◄	►

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้สื่อสาธิตแสดงอัตราการไหลของของไหล

1.5.2 ผู้เรียนสามารถนำชุดสื่อไปประยุกต์ใช้ในอนาคต

1.5.3 มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบชุดสาธิตอัตราการไหล

1.5.4 สามารถเชื่อมโยงชุดสาธิตอัตราการไหลเข้ากับวิชาเรียนและเชื่อมโยงสู่โรงงานได้

1.5.5 ผู้เรียนสามารถมองภาพรวมของการเกิดอัตราการไหลแบบ Lamina Flow แบบ Transition Flow และแบบ Turbulence Flow ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.5.6 ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ และสามารถมองเห็นภาพได้จริง

นิยามเฉพาะ

Lamina Flow หมายถึง การไหลอย่างเป็นระเบียบ เป็นการไหลในอุดมคติ ไม่แตกสายหรือปะปนกัน ซึ่งการไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นในท่อที่มีขนาดใหญ่ของไหล ไหลไม่เร็วมากนัก

Transition Flow หมายถึง การไหลผสมทั้งการไหลอย่างเป็นระเบียบและการไหลอย่างปั่นป่วน ซึ่งการไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นได้ยากนอกจากการควบคุมให้เกิดขึ้นเอง

Turbulence Flow หมายถึง การไหลอย่างปั่นป่วน การไหลแบบไม่เป็นระเบียบ ซึ่งเราจะเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การบีบสายยางก็จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้น

Rota meter หมายถึง อุปกรณ์วัดปริมาณของของไหล ซึ่งจะอาศัยหลักการลอยตัวของลูกเหล็กภายในกระบอกเพื่อบอกปริมาณของของไหล

เลขเรย์โนลด์ หมายถึง เป็นเลขที่บอกถึงลักษณะการไหล เป็นเลขที่ไม่มีหน่วยจำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number) ซึ่งจำนวนเลขเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล ถึงแม้จำนวนเลขเรย์โนลด์จะไม่มีหน่วย แต่มันมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือ จำนวนเลขนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด เช่น

R_e อยู่ในช่วง 0-2000 สภาพการไหลเป็นแบบ Laminar Flow

R_e อยู่ในช่วง 2001 – 4000 สภาพการไหลเป็นแบบ Transition Zone

R_e มากกว่า 4001 สภาพการไหลเป็นแบบ Turbulent Flow

บทที่ 2

เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องจากเอกสารตำราและงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีการไหลของของไหล

2.2 ทฤษฎีการหาเลขเรย์โนลด์

2.3 ความหมายของเลขไร้หน่วย (Renolde Number)

2.4 ทฤษฎีการสูญเสียของของไหลภายในท่อ

2.5 อุปกรณ์วัดปริมาณการไหลของของไหล (Rota meter)

2.6 ระบบการควบคุมเบื้องต้น (Control Basic)

2.7 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and control action)

2.8 แบบของการควบคุม (Control action)

2.9 การควบคุมแบบ Feed Back เบื้องต้น (Introduction to Feed Back Control)

2.1 ทฤษฎีการไหลของของไหล

ของไหลสถิต คือ ของไหลที่อยู่นิ่งหรือไม่ไหล สมการพื้นฐานของของไหลสถิตได้มาจากการทำสมดุลของแรงที่กระทำต่อของไหลอยู่นิ่งบนพื้นฐานของกฎข้อสองของนิวตัน โดยเริ่มจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) ความดันเกจ (Gauge pressure) และความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) โดยที่ความดันเกจ คือ ความดันของของไหลที่วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ ความดันสมบูรณ์ คือ ความดันของของไหลที่วัดเมื่อเทียบกับความดันสุญญากาศ เขียนสมการได้

$$P(abs) = P(gauge) + P(atm)$$

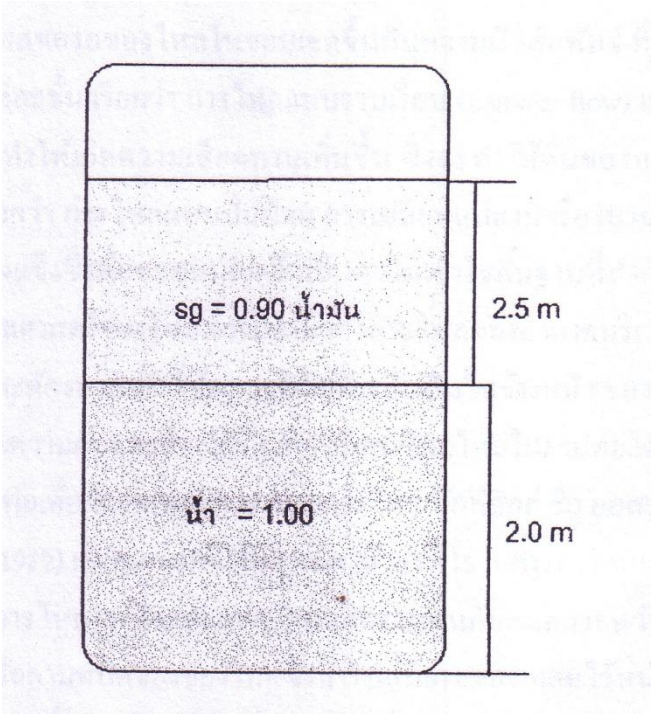
ความดันสมบูรณ์และความดันเกจที่เหนือความดันบรรยากาศมีเครื่องหมายบวก ความดันสุญญากาศเป็นความดันต่ำสุดและความดันเกจที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศมีเครื่องหมายเป็นลบ หน่วยของความดันเกจเป็น Pa(gauge) หรือ psig ส่วนความดันสมบูรณ์ Pa(abs) หรือ psia

ความดันบรรยากาศที่แท้จริงแปรเปลี่ยนกับสถานที่และภูมิอากาศ โดยที่ความดันบรรยากาศใกล้ผิวโลกมีค่าประมาณ 92 kPa (abs) ถึง 105 kPa (abs) หรือ จาก 13.8 psiaถึง 15.3 psiaความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเลเท่ากับ 101.3 kPa (abs) หรือ 14.69 psiaในการคำนวณจะใช้ค่าความดันบรรยากาศเท่ากับ 101kPa (abs) หรือ 14.7 psia

2.1.1 แรงกระทำเนื่องจากของไหลสถิต

ความดันที่ของไหลออกแรงกระทำต่อพื้นที่ของผิวแบบซึ่งอยู่ใต้ของเหลว มี 2 ลักษณะ คือ กระทำต่อผิวแบนในแนวนอนที่อยู่ด้านล่างและกระทำต่อผิวด้านบนของของเหลวในถัง ซึ่งสัมผัสกับความดันบรรยากาศอ่านได้จากอุปกรณ์วัดความดันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แรงจากความดันของของเหลวที่กระทำต่อผนังด้านข้างของถังแปรผันเป็นเส้นตรงจากความดันเท่ากับศูนย์ที่ด้านบนสุดของผิวไปยังค่ามากที่สุดซึ่งอยู่ด้านล่างที่ก้นถัง ส่วนถังบรรจุของเหลวที่ด้านบนมีฝาปิดและมีความดันอยู่เหนือของเหลว ซึ่งอาจมีค่ามากหรือต่ำกว่าความดันบรรยากาศและที่เรียกว่าปิโซเมตริกเฮด (piezometric head) ความดันนี้มีอิทธิพลสัมผัสกับความดันบรรยากาศเพียงอย่างเดียว (ฝาเปิดทางด้านบน) แรงที่กระทำต่อผิวแบนในแนวนอนซึ่งอยู่ใต้ของเหลว ได้แก่ ถังทรงกระบอก บรรจุน้ำมันและน้ำ เช่นตัวอย่างด้านล่าง

Example



รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างการวัดหาแรงที่มากระทำในของไหลสถิต

$P_b = P_{atm} + \gamma_o (2.5m) + \gamma_w (2.0m)$

$\gamma_o = (sg)_o (9.81\ kN/m^3) = (0.90)(9.81\ kN/m^3) = 8.83\ kN/m^3$

$p_B = 0\ Pa\ (gauge) + (8.83\ kN/m^3)(2.5\ m) + (9.81\ kN/m^3)(2.0m) = 41.72 kPa (gauge)$

$A = \pi D^2/4 = \pi(3.5)^2 / 4 = 9.62\ m^2$

$F = pA = (41.72\ kN/m^2)(9.62\ m^2) = 401.45\ kN$

2.2 ทฤษฎีการหาเลขเรย์โนลด์

ธรรมชาติของการไหลของของไหลในขอบเขตขึ้นกับความเร็วสัมพันธ์ ที่ความเร็วต่ำ ชั้นของไหลจะราบเรียบในแต่ละชั้น เรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เมื่อเพิ่มความเร็วมากขึ้น จะมีการรบกวนทำให้เกิดความเสียดทานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ชั้นของการไหลผสมกัน รูปแบบของการไหลนี้เรียกว่า การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence Flow) การเปลี่ยนแปลงนี้ เนื่องมาจากแรงที่กระทำระหว่างของไหลและของแข็ง คือขอบเขตซึ่งเป็นความเข้าใจพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาทางด้านไฮโดรมิกส์และกลศาสตร์ของไหล ธรรมชาติของการไหลของอากาศบริเวณปีกเครื่องบินก่อให้เกิดแรงเสียดทานและต้องหากำลังที่ต้องการให้เครื่องบินบินไปข้างหน้า ของไหลไหลไปในท่อจะก่อให้เกิดการสูญเสียความดันและต้องใช้ปั๊มเพื่อให้ของไหลไหลไปตามท่อได้

การศึกษาการไหลในท่อเพื่อสังเกตพฤติกรรมของการไหล นักฟิสิกส์ ชื่อ ออสบอร์นเรย์โนลด์ (Osborne Reynolds 1842-1912) เป็นคนแรกที่ได้พิสูจน์หาตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการไหลและหาความสัมพันธ์เพื่อทำนายการไหล เรย์โนลด์แสดงว่าพฤติกรรมขึ้นกับสมดุลระหว่างแรงเฉื่อยและแรงจากความเสียดทาน หรือความหนืดของของไหล จึงนำไปสู่นิยามของเทอมไร้หน่วย เรียกว่า เลขเรย์โนลด์ (Reynold number) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยกับแรงเนื่องจากความหนืดและใช้เป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงการไหลจากลามินาร์เป็นปั่นป่วน การทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เลขเรย์โนลด์เท่ากันเสมอในของไหลและท่อเดียวกัน

การหาเลขเรย์โนลด์จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาโดยการสังเกตเส้นสีที่ฉีดลงในของไหลที่เคลื่อนที่ โดยปรับอัตราไหลที่ค่าต่าง ๆ จากการไหลราบเรียบ จนถึงการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่าทรานสิชั่น (Transition) ซึ่งคือการไหลที่เริ่มเปลี่ยนจากการไหลที่เริ่มเปลี่ยนจากราบเรียบไปเป็นปั่นป่วน

พิจารณากรณีที่ของไหล ไหลจากจุดหยุดนิ่ง เช่น ผนังท่อ ที่ระยะ y จากผนังของของไหลจะมีความสัมพันธ์ v กับผนัง การเคลื่อนที่จะก่อให้เกิดความเค้นเฉือน τซึ่งมีแนวโน้มทำให้การเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้น ความเร็วใกล้ ๆ ผนังจะลดลงกว่าความเร็วจุดกึ่งกลาง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าความเค้นเฉือนทำให้มีการกระจายความเร็ว dv/dyซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเค้นที่ทำให้ค่าคงที่ของสมการความหนืด คือ

$$\tau = \mu \frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{dy}}$$

สมการเป็นรูปแบบการไหลที่เป็นชั้น ๆ แบบราบเรียบ ซึ่งใช้ได้จริงสำหรับของไหลที่ค่าความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิกำหนด อาจพูดได้ว่า ความหนืดของของไหล หาได้จากการทราบความเค้นเฉือนและการกระจายความเร็ว ในการทดลองจะใช้กับของไหลที่มีความหนืดต่ำ ถ้าความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นที่ค่าแน่นอนค่าหนึ่งจะเกิดการรบกวนชั้นของไหล ก่อให้เกิดความเสียดทานที่เรียกว่า eddies ซึ่งเป็นสาเหตุของการผสมระหว่างชั้นของของไหลที่มีพลังงานสูงและต่ำเข้าด้วยกัน เรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลปั่นป่วน และภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและการกระจายความเร็วขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมนอกจากความหนืดของของไหล ธรรมชาติของการไหลจะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เพราะการเปลี่ยนแปลงของพลังงานระหว่างชั้นในตอนนี้ ขึ้นกับความเข้มข้นของ eddies (ขึ้นกับความเฉื่อยของของไหล) มากกว่าความหนืดไดนามิกส์ (μ)เรายังคงนำเอาสมการไปใช้ได้เพียงแต่ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด ไม่ใช่ความหนืดของของไหลเพียงอย่างเดียว ตอนนี้จะเรียกว่าความหนืดแบบเอ็ดดี้ (Eddy Viscosity) และมีค่าไม่คงที่อีกต่อไป ค่าความหนืดชนิดนี้ขึ้นกับเงื่อนไขของการไหลที่เข้ามาและจะมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ ความหนืดสำหรับของไหล อาจพูดได้ว่าเอ็ดดี้ก่อให้เกิดความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นที่ความเร็วกำหนด ดังนั้นการสูญเสียในการไหล จึงมีค่ามากกว่าการไหลแบบราบเรียบ การไหลแบบราบเรียบเป็นผลของแรงจากความหนืดและการไหลแบบปั่นป่วนเป็นผลจากแรงเฉื่อย สิ่งนี้เป็นจริงพิสูจน์โดยเรย์โนลด์ ผู้นำการเสนอธรรมชาติของการไหลขึ้นกับอัตราส่วนของแรงเฉื่อยจากแรงเนื่องจากความหนืด นำไปสู่เลขไร้หน่วย เรียกว่า เรย์โนลด์ (Re) แรงเฉื่อยคือสัดส่วนของมวลคูณกับการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หารด้วยเวลา คืออัตราการไหลของมวลเท่ากับความหนาแน่น ρ คูณกับพื้นที่ คูณกับความเร็ว v เขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{Re} = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscosity force}}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho dv}{\mu}$$

เทอม $\frac{\rho}{\mu}$ เรียกว่า ความหนืดจลน์ (Kinetic Viscosity) จึงเขียนสมการใหม่ดังนี้

$$\text{Re} = \frac{vd}{v}$$

2.3 ความหมายของเลขไร้หน่วย (Reynold Number)

เลขไร้หน่วย Re แบ่งการไหลออกเป็น 3 หน่วย คือ การไหลแบบราบเรียบ, การไหลทรานสิชั่น และการไหลปั่นป่วน กรณีที่ความเร็วเพิ่มขึ้น ตอนแรกแรงเนื่องจากความหนืดมีผลมากและความเร็วยังคงเป็นแบบราบเรียบ ขณะที่ความเร็วถูกทำให้เพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดเอ็ดดี้ แต่ก็ยังเอาชนะผลของความหนืดไม่ได้จนกระทั่งเพิ่มความเร็วมากขึ้นที่ก่อให้เกิดเอ็ดดี้จำนวนมาก จนกระทั่งถึงจุดที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน อย่างสมบูรณ์ จะเกิดการผสมและเรียกว่าเป็น Fully turbulent ทรานสิชั่น เป็นการไหลที่อยู่ระหว่างการเกิด Fully laminar กับ turbulent flow ซึ่งอาจเกิดเบี่ยงเบนไปจากช่วงที่มีการไหลราบเรียบคงที่ ที่จุดปลายของทรานสิชั่นจะก่อให้เกิดการไหลปั่นป่วนจะมีไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงความเร็วที่เริ่มไหลแบบปั่นป่วน ในที่สุดจุดที่แรงจากความหนืดแยกออกจากเอ็ดดี้ ซึ่งจะรวดเร็วมาก การไหลจะเปลี่ยนกลับมาเป็นการไหลแบบราบเรียบ พฤติกรรมเช่นนี้สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตา จากการทดลองและการวัดความสูญเสียความดันไปตามความยาวท่อ เป็นการเปลี่ยนแปลงความดันกับความเร็วในท่อเรียบ เมื่อเพิ่มความเร็วจะเกิดทรานสิชั่นขึ้นระหว่างจุด A และจุด B และเมื่อลดความเร็วลง ทรานสิชั่นจะเกิดระหว่างจุด C และจุด D เป็นจุดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วจากการไหลแบบปั่นป่วนมาเป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเรย์โนลด์ระหว่าง 2,000 และ 2,300 เรย์โนลด์ที่จุด A, B และ C ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขตรงทางเข้าและความขรุขระของท่อจุด A แทนเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 2,000 และ 2,500 แต่ถ้าตรงทางเข้าถูกควบคุมอย่างดีและท่อเรียบมาก การไหลราบเรียบอาจทำให้เรย์โนลด์เป็นค่าที่สูงขึ้น ช่วงที่การไหลราบเรียบเกิดขึ้นที่เลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 2,000 ตรงช่วงที่เริ่มไหลเข้าในท่อ

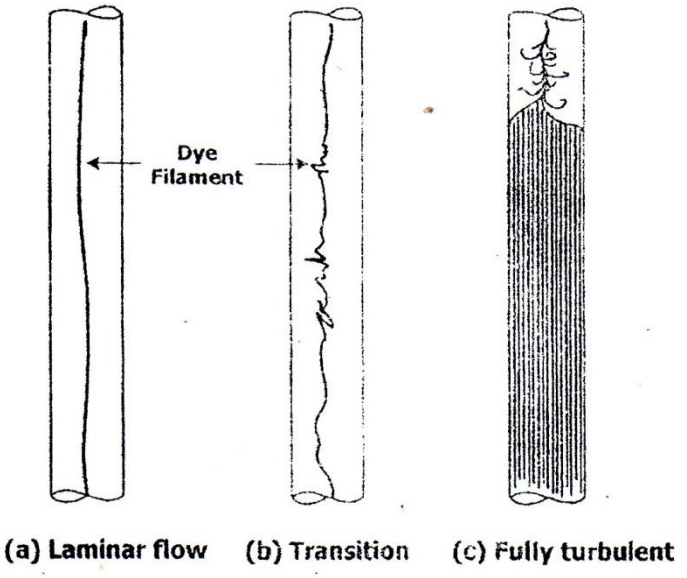
รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลภายใน

จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number) เป็นเลขที่ดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่งจำนวนเลขเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล เราอาจเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็น

$$R_D = \frac{VD\rho}{\mu}$$

R_D = จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number)
V = ความเร็วการไหล
D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ
ρ = ความหนาแน่นของของไหล
μ = ความหนืดของของไหล

ถึงแม้จำนวนเลขเรย์โนลด์จะไม่มีหน่วย แต่มันมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือ จำนวนเลขนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด เช่น



รูปที่ 2.3 รูปแบบการไหล

R_D อยู่ในช่วง 0-2000 สภาพการไหลเป็นแบบ Laminar Flow

R_Dอยู่ในช่วง 2001 – 4000 สภาพการไหลเป็นแบบ Transition Zone คือ มีการไหล 2 แบบ คือ Laminar + Turbulent

R_D มากกว่า 4001 สภาพการไหลเป็นแบบ Turbulent Flow โดยส่วนใหญ่จะเป็นการไหลแบบนี้ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการวัด Flow Rate ซึ่งตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds' number)ค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการไหล

อุณหภูมิ ตามปกติเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้สภาพหรือคุณลักษณะของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยจะเกี่ยวข้องกับค่า ความหนืด ความหนาแน่น ฯลฯ ดังนั้น อุณหภูมิจึงมีผลอย่างมากต่อการไหลของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะของก๊าซจะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ

ความดัน เนื่องจากความดันมีความสัมพันธ์กับแรงและพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในของไหลที่ต้องการวัดจะทำให้ความเร็วการไหลของของไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ความหนาแน่น เนื่องจากความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและปริมาตร ดังนั้น หากของไหลบรรจุอยู่ในภาชนะที่มีปริมาตรจำกัด ก็จะทำให้มีความหนาแน่นมาก นั่นคืออาจมีผลต่อการไหลของสารเหล่านั้น (เกี่ยวกับความเร็วการไหล)

ความหนืด หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของไหลเหล่านั้น เช่น น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดมากกว่าน้ำ หรือน้ำมีความหนืดมากกว่าน้ำมันเบนซิน เป็นต้น ตามปกติความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ขณะเดียวกัน ความหนืดของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของก๊าซลดลง

ความเร็ว จะเป็นค่าตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมการไหลของของไหลว่าจะเป็นไปในลักษณะใด กล่าวคือ เมื่อความเร็วเฉลี่ยของของไหลเป็นไปอย่างช้า ๆ เราจะเรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) แสดงดังรูป จะเห็นได้ว่าในบริเวณใกล้กับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อความเร็วของการไหลจะมีค่ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป และหากความเร็วมีค่ามากขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) แสดงดังรูป ซึ่งการไหลแบบหลังนี้จะพบเห็นกันเป็นส่วนมาก อนึ่ง การไหลแบบปั่นป่วนนี้จะเป็นการไหลที่มีรูปแบบไม่แน่นอน เราอาจคำนวณหาค่าความเร็วการไหลของของไหลได้

2.4 ทฤษฎีการสูญเสียของของไหลภายในท่อ

2.4.1การสูญเสียจากแรงเสียดทานของการไหลราบเรียบ

การไหลราบเรียบของไหลจะไหลจากชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีแรงต้านทานเนื่องจากความหนืดเกิดเป็นความเค้นขึ้นระหว่างชั้นของของไหลที่เคลื่อนที่ไป การสูญเสียพลังงานจึงเกิดจากของไหลที่เคลื่อนที่ไป การสูญเสียพลังงานจึงเกิดจากของไหลที่ต้องการเอาชนะแรงจากความเค้นเฉือน ความสัมพันธ์ของการสูญเสียพลังงานและตัวแปรของระบบการไหลราบเรียบได้จากสมการของเฮเกน พอซิวอาย

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor)
L = ความยาวท่อ
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
v = ความเร็วของการไหลเฉลี่ยผ่านท่อ
g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก =9.81 m/s^2

ตัวแปรในสมการของเฮเกน พอซิวอาย คือสมบัติของของไหล ได้แก่ ความหนืด น้ำหนักจำเพาะ รูปทรง ความยาว เส้นผ่าศูนย์กลาง และความเร็วเฉลี่ยของการไหล อย่างไรก็ได้มีการพิสูจน์จากการทดลอง ผลที่ได้จากการพิสูจน์ทฤษฎีของ เฮเกน พอซิวอาย พบว่าลักษณะของของผิวท่อมีผลต่อความหนืดภายในของการไหล ซึ่งสมการนี้ก็สามารถนำมาพิสูจน์การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ ซึ่งสมการด้านบนสามารถหาได้จาก

$$F \times \frac{L}{V} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2}$$

$$F = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} \times \frac{D2g}{Lv^2} = \frac{64\mu g}{vD\gamma} = \frac{64\mu}{vD\rho}$$

จากสมการ $\rho = \frac{\gamma}{g}$ และ $Re = \frac{vD\rho}{\mu}$ ดังนั้น สมการการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ค่า f จะมีค่าดังสมการด้านล่าง

$$f = \frac{64}{Re}$$

จากสมการดังกล่าว เราสามารถพิสูจน์การไหลแบบราบเรียบและแบบกึ่งราบเรียบได้เท่านั้น ถ้าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สมการดังกล่าวอาจจะนำมาใช้จริงไม่ได้ เนื่องจากอาจจะเกิดการคลาดเคลื่อน

2.4.2 การสูญเสียจากแรงเสียดทานของการไหลปั่นป่วน

เราไม่สามารถหาแฟกเตอร์ความเสียดทานอย่างง่ายสำหรับการไหลปั่นป่วนในท่อเหมือนในการไหลราบเรียบเพราะว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของการไหลปั่นป่วนไม่เป็นชั้นหรือเป็นเส้นการไหลไม่เป็นระเบียบ แต่ค่อนข้างยุ่งเหยิงและแปรปรวนตลอดเวลา ด้วยเหตุผลดังกล่าว การสูญเสียพลังงานจากการไหลปั่นป่วนจึงต้องใช้แฟกเตอร์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลองเพื่อนำไปใช้

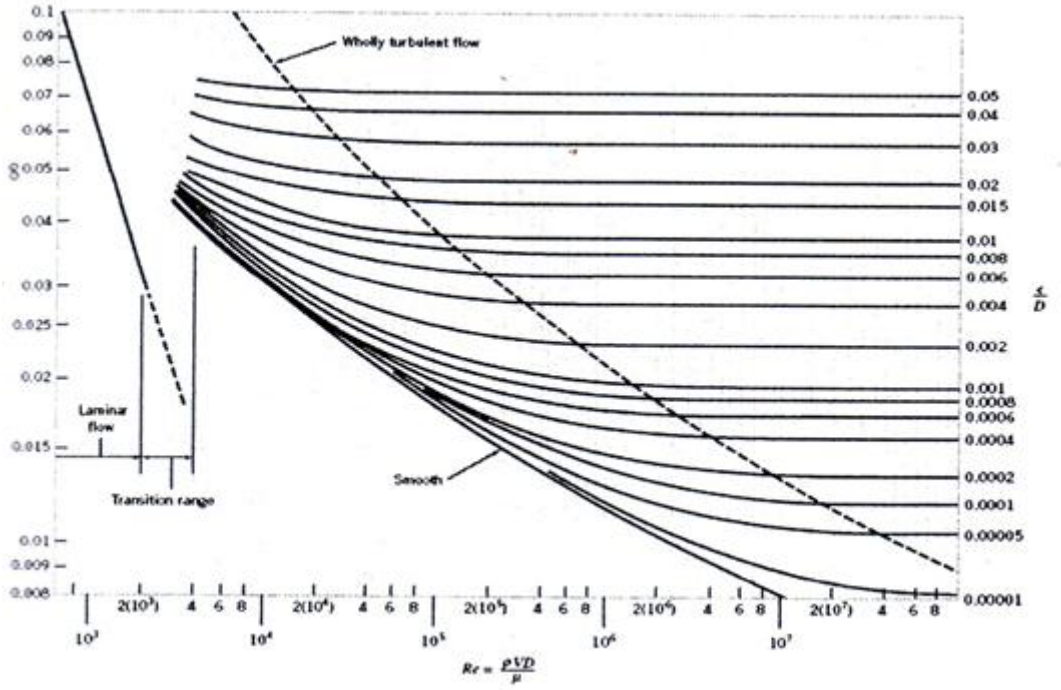
แฟกเตอร์แรงเสียดทานที่ได้จากการทดลองนี้กับเลขไร้หน่วยสองกลุ่ม คือ เลขเรย์โนลด์และความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อ ซึ่งอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) กับความขรุขระของผนังท่อ (ε) เป็นค่าความขรุขระของผนังท่อ ความหนาของผิวท่อไม่มีความแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและกรรมวิธีการผลิตท่อ ท่อที่ใช้ทางการค้าทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ค่าการออกแบบความขรุขระของผนังท่อเป็นค่าเฉลี่ยของท่อใหม่และสะอาด หลังจากนำท่อไปใช้ความขรุขระของท่อจะเปลี่ยนไป เนื่องจากการสะสมบนผนังหรือการกัดกร่อนของท่อซึ่งขึ้นอยู่กับการสะสมจะทำให้ท่อเป็นไปในลักษณะใด

ท่อแก้วและท่อพลาสติกมีผิวภายในเรียบ ค่าของความขรุขระผิวมีน้อย ทำให้ค่าความขรุขระสัมพันธ์ $\frac{D}{\varepsilon}$ มีค่ามาก ท่อทองแดงและทองเหลืองผิวค่อนข้างเรียบ สำหรับท่อเหล็กมาตรฐาน เช่น ท่อเหล็ก Schedule 40 และ 80 และท่อเหล็กทั่วไปใช้ค่าความขรุขระของท่อเหล็กทางการค้า หรือ Welded Steel ท่อเหล็กดักไทล์ (Duction iron pipe) ถูกเคลือบด้วยปูนซีเมนต์ที่ด้านในเพื่อป้องกันการผุกร่อนและเพื่อปรับปรุงความขรุขระ

ค่าของ f และ Re ถูกเขียนบนสเกลของล็อกฐานสิบ เพราะว่าค่าที่เกี่ยวข้องมีค่าอยู่ในช่วงกว้าง เลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 ได้เส้นตรงของเทอม f = 64/Re อยู่ทางซ้ายมือของกราฟ สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ในช่วง 2000 น้อยกว่า Re น้อยกว่า 4000 ไม่มีเส้นโค้งเพราะว่าเป็นบริเวณวิกฤตการไหลเปลี่ยนกลับไป/มา ระหว่างราบเรียบและปั่นป่วน จึงไม่มีสมการของการไหลในบริเวณนี้ ของไหลจะเปลี่ยนจากไหลราบเรียบไปเป็นปั่นป่วนที่ความเร็ววิกฤตเมื่อมีค่า Re = 4000 เส้นโค้ง D/ε เรียกว่าความขรุขระสัมพัทธ์

เมื่อกำหนดค่าความขรุขระสัมพัทธ์มาให้ เนื่องจากบริเวณวิกฤตอยู่ระหว่างเลขเรย์โนลด์ 2000 และ 4000 ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงการใช้ความเร็วในช่วงวิกฤตเพราะว่าช่วงนี้ไม่สามารถทำนายประเภทของการไหลได้ เส้นโค้งประแสดงการเปลี่ยนแปลงของแฟกเตอร์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นตามค่าของความขรุขระสัมพัทธ์ที่ค่าของ D/ε ต่ำ (ชี้ว่าความขรุขระของผนังท่อมีค่ามาก) แฟกเตอร์ความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าเลขเรย์โนลด์เปลี่ยนจากการไหลราบเรียบเป็นปั่นป่วน เช่น การไหลในท่อที่มี D/ε = 20 แฟกเตอร์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นจาก 0.032 ที่ Re = 2000 ตรงส่วนปลายของช่วงการไหลราบเรียบไปยังประมาณ 0.077 ที่ Re = 4000 ที่จุดเริ่มต้นของช่วงการไหลปั่นป่วนซึ่งเพิ่มขึ้น 240 เปอร์เซ็นต์

ท่อเรียบ (แก้ว พลาสติก) ซึ่งมีความขรุขระน้อย ค่า D/$\mathcal{E}$ มีค่ามาก ซึ่งไดอะแกรมของมูดีใช้หาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานสำหรับการไหลปั่นป่วนซึ่งต้องทราบเลขเรย์โนลด์และความขรุขระสัมพัทธ์ ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องการใช้คือเส้นผ่าศูนย์กลางภายในชนะของวัสดุทำท่อ ความเร็วของการไหล ชนิดของการไหล และอุณหภูมิ



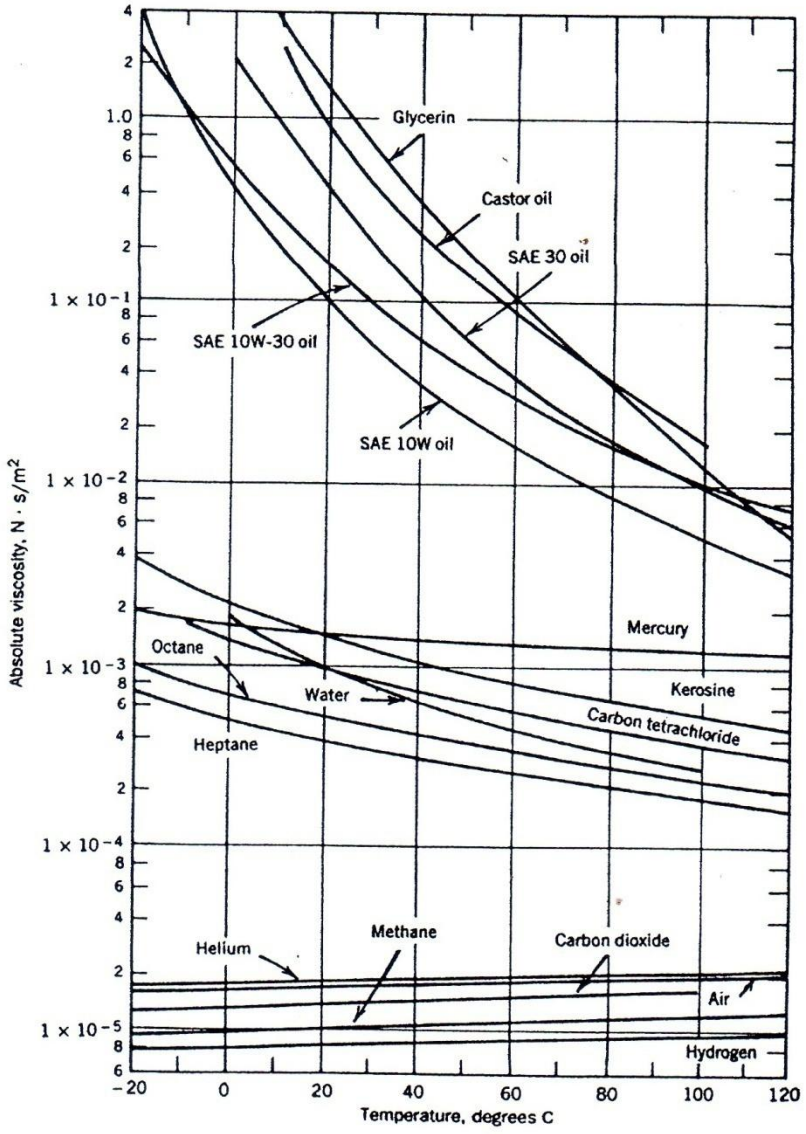
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระกับเลขเรย์โนลด์

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor), Reynolds Number และ Relative Roughness สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิเรียกว่า Moody Diagram

$$Re = \frac{\rho vD}{\mu}$$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density)
997 kg/m^{3}ที่อุณหภูมิ 25°C

μ = ความหนืดของน้ำ (Absolute Dynamic Viscosity)
8.94 x 10^{-4}Ns/m^{2}ที่อุณหภูมิ 25°C



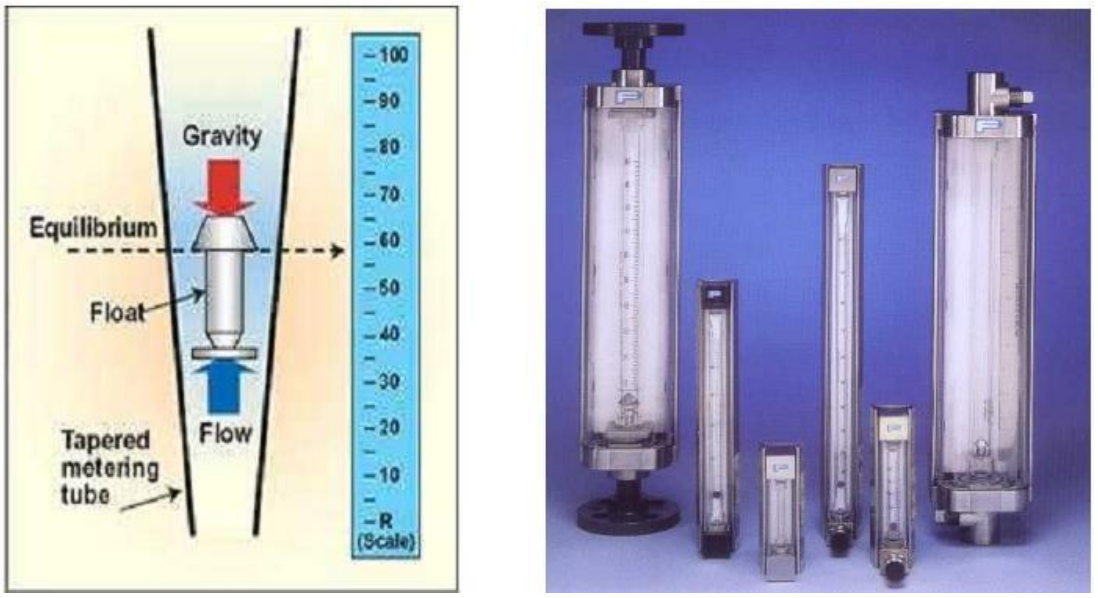
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของของเหลวต่าง ๆ

2.5 อุปกรณ์วัดปริมาณการไหล (Rota meter)

รูปที่ 2.6 มาตรวัดแบบโรตา

เป็นท่อใสในแนวดิ่ง ภายในจะมีลูกลอยที่หนักกว่าของไหล เมื่อของไหลเข้าทางด้านล่าง ความเร็วของมันจะพยุงให้ลูกลอยลอยอยู่ได้ บนท่อจะมีมาตรส่วนบอกค่าเป็นหน่วยความสูง สามารถนำมาเทียบเป็นอัตราการไหล โดยใช้ Calibrate Chart ที่กำหนด

มาตรวัดแบบโรตาประกอบด้วยท่อกลมเรียว (Tapered Tube) มีลูกลอยทรงกระบอกกลมปลายด้านล่างแหลมเป็นรูปกรวยอยู่ภายในท่อกลมเรียว ขณะใช้งานจะวางอยู่ในแนวดิ่ง ปลายด้านเล็กจะอยู่ด้านล่างเป็นทางเข้าของของไหล เมื่อของไหลไหลขึ้นในแนวดิ่งจะดันให้ลูกลอยถูกยกสูงขึ้นจนสมดุล ของไหลจะไหลผ่านพื้นที่ว่าง รูปวงแหวนระหว่างลูกลอยทับท่อเรียว ตำแหน่งความสูงของลูกลอยขึ้นอยู่กับอัตราการไหล เมื่อลูกลอยสมดุล น้ำหนักของลูกลอยจะเท่ากับแรงฉุด (Drag Force) ของของไหลกระทำต่อลูกลอย



รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

สามารถใช้ค่าความสัมพันธ์ของแรงเหล่านี้มาใช้คำนวณหาอัตราการไหลในขณะนั้นได้ตามสมการ

$$Q = C_d A_a \left(\frac{2W_{Net}}{A_{Float}\rho_{Fluid}} \right)^{1/2}$$

W_{Net} = น้ำหนักสุทธิของลูกลอย

A_a = $A_{Tube} - A_{Float}$

A_{Tube} = พื้นที่หน้าตัดของท่อโรตา ณ ตำแหน่งที่ลูกลอยอยู่ในสถานะสมดุล

A_{Float} = พื้นที่หน้าตัดของลูกลอย

หรือ

A_a = พื้นที่วงแหวนของการไหลผ่าน

ρ_{Fluid} = ความหนาแน่นของของไหลที่ต้องการวัด

C_d = สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านมาตรวัดโรตา,ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

มาตรวัดชนิดนี้ได้ทำการติดตั้งสเกลบอกขนาดอัตราการไหลไว้ที่บริเวณข้างหลอดของเครื่องมือวัด ทำให้สะดวกต่อการอ่านค่าอัตราการไหล อย่างไรก็ตาม มาตรวัดแบบโรตาจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากในช่วงที่มีการไหลน้อย ๆ และไม่เหมาะกับของไหลที่มีค่าความหนาแน่นมาก

2.6 ระบบการควบคุมเบื้องต้น (Control Basic)

การควบคุมอัตโนมัติ คือ การที่ให้อุปกรณ์ตัวนั้นทำงานเองตามที่เราได้สั่งไว้ ซึ่งในขบวนการผลิตทุกชนิดจะต้องมีการควบคุมค่าของปริมาณต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องในการผลิต เช่น อุณหภูมิ, การไหล, แรงดัน, ระดับของเหลว, ความหนาแน่น, ค่า pH, ปริมาณ O_2, ความเข้มข้นของสารเคมี, ความหนืด, ค่าความถ่วงจำเพาะ, น้ำหนัก, ความเร็วรอบฯ ปริมาณเหล่านี้เป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่ประกันได้ว่า สินค้าที่ผ่านการผลิตจะมีคุณภาพดีตามต้องการ การวัดและการควบคุมปริมาณเหล่านี้ให้เป็นไปตามการโดยอัตโนมัติ เราเรียกว่า การควบคุมระบบ (Process control) การควบคุมระบบที่ดีและถูกต้องจะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทำให้สินค้ามีคุณภาพดี ลดต้นทุน

การควบคุมระบบในปัจจุบันได้รับการพัฒนาไปมาก จากการวัดและควบคุมด้วยมือจนถึงการควบคุมโดยอัตโนมัติ การควบคุมที่สลับซับซ้อน ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย ขั้นตอนการพัฒนาการควบคุมระบบสามารถแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

สมัยที่ 1 วัดอย่างเดียว เครื่องวัดแบบง่าย ๆ ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นการวัดเพื่อตรวจสอบสภาพการผลิต เครื่องวัดบางชนิดไม่สามารถวัดอย่างต่อเนื่องได้ การควบคุมเป็นการควบคุมด้วยมือ (Manual Control)

สมัยที่ 2 วัดและควบคุม เครื่องวัดไฟฟ้าและเครื่องวัดอุตสาหกรรมแบบ Field instrument มีการควบคุมแบบง่าย ๆ

สมัยที่ 3 ระบบเครื่องวัด Transmitter, Instrument Panel, เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลในแบบหลายจุด การควบคุมแบบ ON-OFF

สมัยที่ 4 ควบคุมอัตโนมัติ การควบคุมแบบป้อนกลับ มี Loop การควบคุมหลาย ๆ Loop ในโรงงาน

สมัยที่ 5 ระบบควบคุมอัตโนมัติ การควบคุมแบบซีเควันซ์ผสมกับการควบคุมแบบป้อนกลับทำให้ขบวนการผลิตทุกขั้นตอนเป็นอัตโนมัติ

สมัยที่ 6 Optimum Control การควบคุมที่ซับซ้อน การควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนและประหยัดพลังงาน

การควบคุม

การควบคุม คือ การกระทำเพื่อให้บรรลุสภาพหรือคุณภาพทางฟิสิกส์ ลองพิจารณาการกระทำซึ่งเป็นการควบคุมจากตัวอย่าง

2.7 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and control action)

โดยทั่วไปตัวควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าเอาท์พุตที่เกิดขึ้นจริง (Actual Valve) จากการวัดของระบบกับค่าเป้าหมาย (Set Point) ผลต่างของสัญญาณทั้งสองจะถูกส่งเข้าค่าเป้าหมายกับค่าจริงของโปรเซสเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด สัญญาณควบคุมที่ตัวควบคุมผลิตออกมานี้ เรียกว่าแบบของการควบคุม (control action)

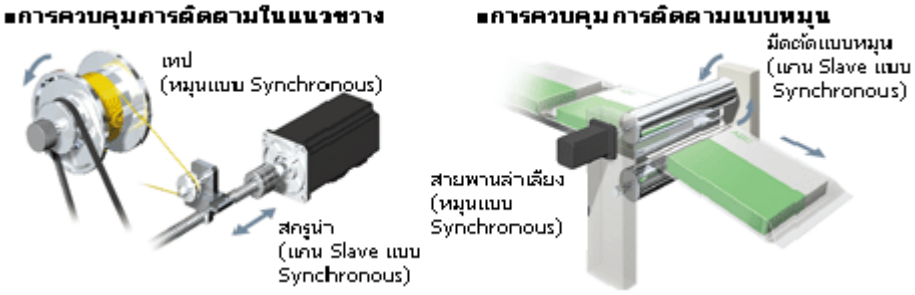
ตัวควบคุมแบบอัตโนมัติในวงการอุตสาหกรรมมีแบบของการควบคุม ดังนี้

1. On-Off Control Action (Two-position controller)

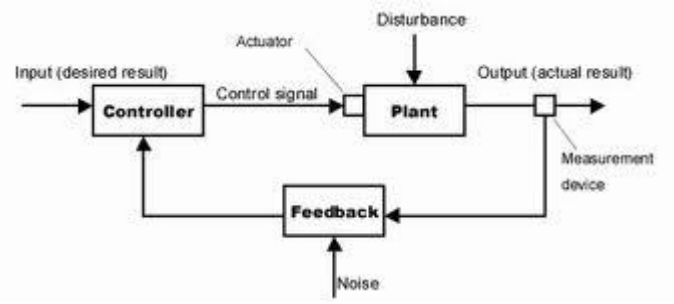
2. Proportional Control Action (P controller)
3. Integral Control Action (I controller)
4. Proportional-Plus-Integral Control Action (PI controller)
5. Proportional-Plus-Derivative Control Action (PD controller)
6. Proportional-Plus-Plus-Integral-Derivation Control Action (PID controller)

ตัวควบคุมแบบอัตโนมัติในวงการอุตสาหกรรม ส่วนมากจะใช้ระบบอิเล็คทรอนิคส์หรือแบบนิวแมติกส์ นั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานและขบวนการผลิต เช่น ควรพิจารณาถึงความปลอดภัย ราคา ความสะอาด ความเชื่อถือ ความถูกต้อง แม่นยำ น้ำหนักและขนาด องค์ประกอบของตัวควบคุมแบบอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม โดยปกติตัวควบคุมจะประกอบไปด้วยส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าเป้าหมาย (set point) กับค่าวัด (measuring value) ซึ่งจะได้ผลต่าง

รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมนิวแมติกส์.



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างง่าย ๆ ของตัวควบคุม

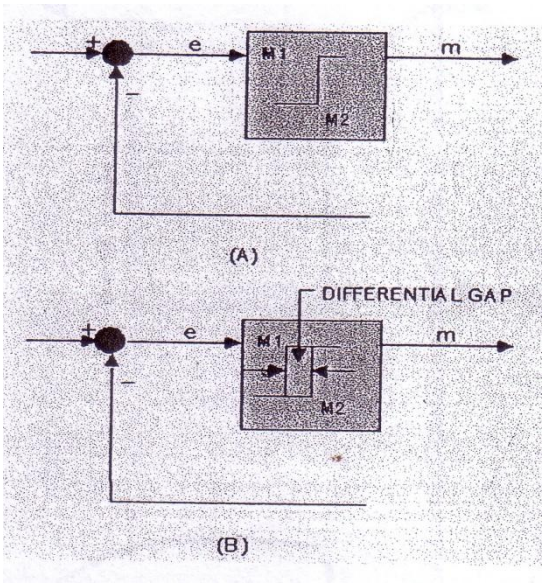
2.8 แบบของการควบคุม (Control action)

แบบการควบคุมดังที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นของบทนี้นั้น เป็นแบบที่ง่ายและรู้จักกันดีของผู้ที่อยู่ในวงการอุตสาหกรรม ที่ควบคุมการผลิตโดยใช้ตัวควบคุมแบบอัตโนมัติ ให้พยายามสังเกตและศึกษาให้เข้าใจ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นของวิศวกรควบคุม ในการที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับ Application ของคนต่อไป

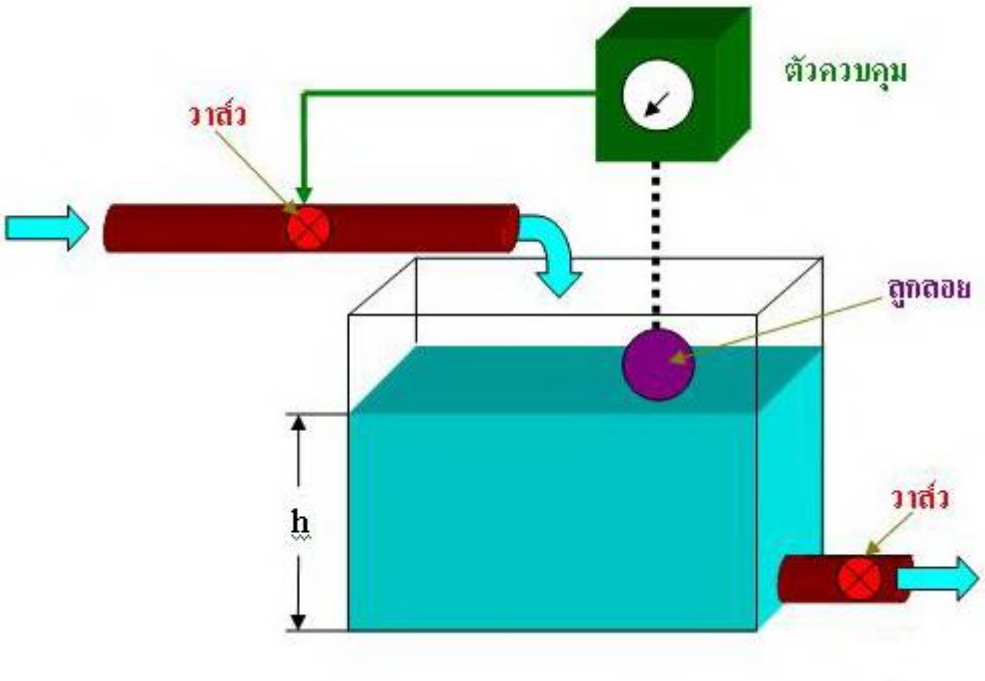
ในระบบที่มีการควบคุมแบบ Two-position นั้น ตัว actuating element จะมี ตำแหน่งแน่นอนสองตำแหน่งเท่านั้น เช่น เปิด-ปิด ในปัจจุบันการควบคุมแบบนี้ก็ยังเป็นที่นิยมแพร่หลายเนื่องจากติดตั้งง่าย ราคาถูก ให้สัญญาณเอาท์พุทจากตัวควบคุมเป็น m (t) และสัญญาณผลต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าวัดเป็น e (t) เราจะได้ว่าค่าของสัญญาณ m (t) จะเป็นค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น โดยขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณผลต่างว่าเป็นบวกหรือลบเท่านั้น

$$m(t) = M1 \text{ ที่ } e(t) > 0$$
$$m(t) = M2 \text{ ที่ } e(t) < 0$$: โดยที่ค่า M1 และ M2 เป็นค่าคงที่

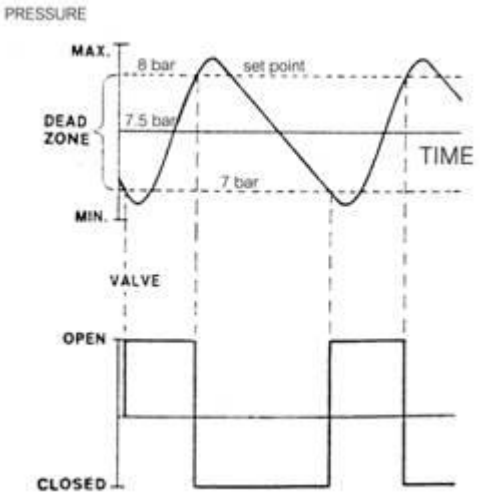
ค่าของ M2 เป็นค่าที่ต่ำที่สุดหรืออาจเป็น -M1 ก็ได้ ตัวควบคุมแบบ two-position โดยทั่วไปมักจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น solenoid valve, motor valve ฯลฯ



รูป 2.11 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ ON-OFF



รูปที่ 2.12 ระบบการควบคุมระดับของเหลว



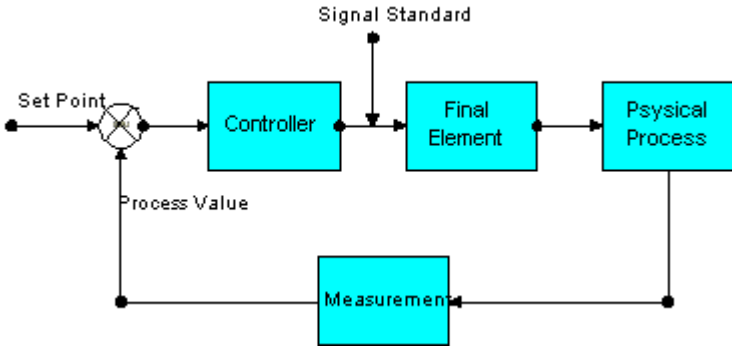
รูปที่ 2.13 แสดง Dead band ของการควบคุมระดับของเหลวแบบ ON-OFF

พิจารณา ระบบของการควบคุมระดับของเหลว ด้วยการควบคุมแบบ ON-OFF วาล์วจะเปิดหรือปิดอย่างใดอย่างหนึ่ง อัตราการไหลเข้าของน้ำจะเป็นค่าคงที่ที่เป็นบวกหรือศูนย์ ดังแสดงในรูป ข) จะเห็นว่าค่าความสูงของระดับน้ำในถังจะเพิ่มและลดอย่างต่อเนื่องที่ระดับ 2 ระดับ คือ M1 และ M2 ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของ actuating element (ในที่นี้คือลูกลอย) จากตำแหน่งที่กำหนดให้ตำแหน่งหนึ่ง (ON) ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (OFF) เป็น cycle ดังนั้น ผลของการควบคุมจะทำให้ระดับน้ำเกิดการแกว่ง (oscillation) ข้นได้ ข) เราจะพบว่า ช่วงกว้าง (Amplitude) ของการแกว่งสามารถลดลงได้โดยการลดค่า Dead band ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเพิ่มอัตราของ ON-OFF ของสวิทซ์ต่อนาที เป็นต้น สำหรับความถี่ในการแกว่ง จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลา (time constant) ของระบบเอง ตามรูปได้แสดงเส้นโค้งลักษณะสมบัติ (characteristic curve) ของระบบควบคุมระดับน้ำ โดยแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเกิดจากการเปิดน้ำให้ไหลเข้าถัง ขณะให้งานตามปกติ น้ำจะค่อย ๆ เพิ่มเป็นแบบ exponential จนหมดถัง จากการพิจารณาระบบดังกล่าวนี้เราสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมแบบ ON-OFF จะได้ผลต่อเมื่อโปรเซสมีค่าคงตัวเวลายาวมาก แต่มี dead time สั้น ๆ เท่านั้น

2.9 การควบคุมแบบ Feed Back เบื้องต้น (Introduction to Feed Back Control)

2.9.1 หลักการของการควบคุมแบบ Feed Back

พิจารณาขบวนการผลิต เป็นขบวนการที่มีเอาท์พุท Y, Disturbance D, และค่าตัวแปรของระบบเป็น M



รูปที่ 2.14 การควบคุมProcess วงรอบแบบFeed Back ของระบบ

การเปลี่ยนค่า disturbance d (บางครั้งอาจจะเป็น load ของโปรเซสเองก็ได้) เราไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้และจุดประสงค์ในการควบคุมของเราคือพยายามรักษาค่า Output y ให้ได้ค่าตามต้องการ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการควบคุมแบบ Feed back จะเรียงลำดับดังนี้

2.9.1.1 วัดค่าของ Output (การไหล (Flow), ความดัน (Pressure), ระดับของเหลว (Liquid level), อุณหภูมิ (Temperature), ส่วนประกอบทางเคมี (Composition) โดยใช้อุปกรณ์การวัด (Sensor) ที่เหมาะสมให้ ymเป็นค่าที่แสดงผลการวัดของอุปกรณ์การวัดดังกล่าว

2.9.1.2 เปรียบค่า Output ymที่วัดได้กับค่าเป้าหมาย ysp (set point) ของเอาท์พุท สัญญาณควบคุมมวล (m)เพื่อที่จะลดขนาดของผลต่าง ปกติตัวควบคุมจะไม่ผลิตสัญญาณควบคุม m โดยตรงแต่จะผ่านอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง (โดยทั่วไปมักจะเป็น control valve) เราเรียกว่า อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final control element) รูป 2.18 (b) แสดงแผนภาพตามลำดับ 3 ขั้นตอนดังกล่าว ระบบในรูป 2.18 (a) คือ การควบคุมแบบเปิด (Open loop control) คอยเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างกับระบบควบคุมแบบ Feed back ในรูป 2.18 (b) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า การควบคุมแบบวงปิด (Closed loop control) เมื่อค่า d เปลี่ยนแปลงไป ผลตอบรับของรูป 2.18 (a) คือผลตอบรับแบบวงเปิด (Open loop response) ขณะที่ของรูป 2.18 (b) เรียกว่า ผลตอบรับแบบวงปิด (closed loop response) ระบบควบคุมแบบ Feed back ที่พบบ่อย ๆ ในโปรเซสทั่ว ๆ ไป แบ่งตามระบบการวัดได้ดังนี้

ตัวอักษรย่อที่มักใช้ในระบบควบคุม

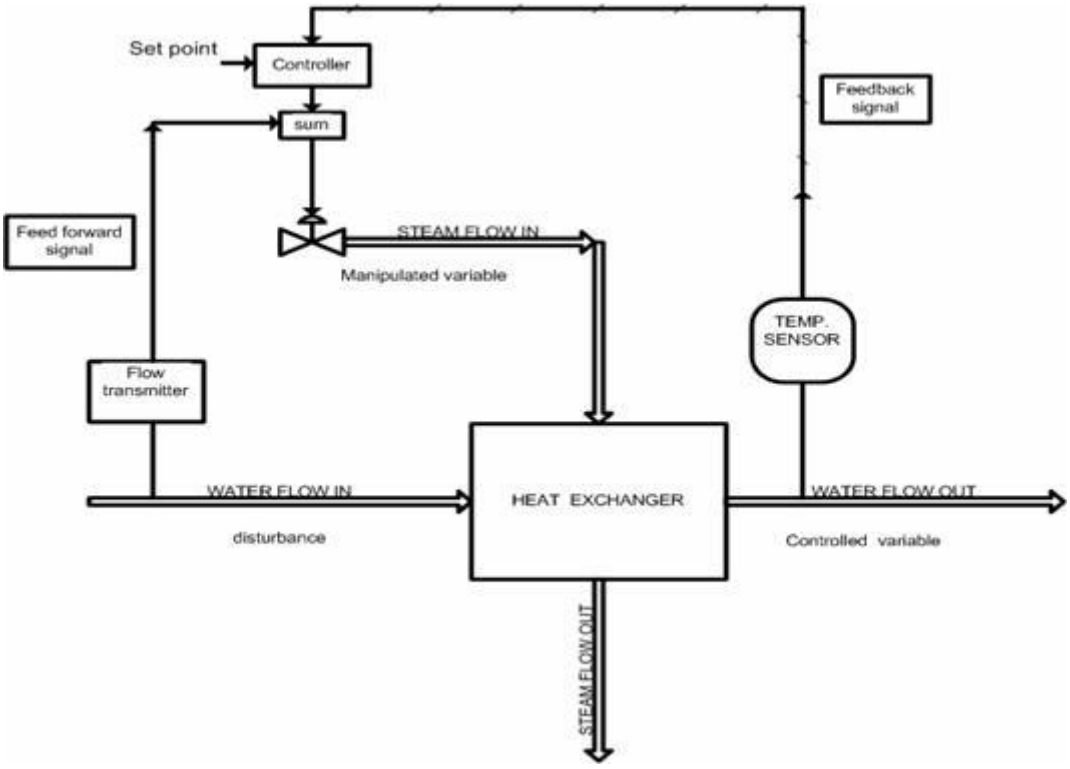
FC สำหรับการควบคุมการไหล

PC สำหรับการควบคุมความดัน

CC สำหรับควบคุมส่วนประกอบทางเคมี

LC สำหรับควบคุมระดับของเหลว

TC สำหรับควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 2.15 แสดงระบบควบคุม Feed back

โดยใช้สัญลักษณ์ตามที่กำหนดแทนรายละเอียดบางส่วน ในรูปยังแสดงถึงระบบการส่งสัญญาณและการวัดด้วย โดยใช้อักษรLT, TT, PT, FT และ CT แทนระบบของระดับ, อุณหภูมิ, การไหล และส่วนผสมทางเคมี ตามลำดับ รูป a) และ b) แทนรูป 2.19 b) และ d) นั่นเอง

ตามรูปที่ 2.14 และ รูปที่ 2.15 ได้แสดงถึงอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของวงรอบควบคุมแบบ Feed back ซึ่งพออธิบายสรุปในแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. Process: เป็นวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดขบวนการทางด้านเคมีและฟิสิกส์ (ถังน้ำ, ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน, reactor, separators ฯลฯ)

2. อุปกรณ์การวัดหรือหัววัด (Sensor): ตัวอย่างเช่น เทอร์โมคัปเปอร์ (สำหรับอุณหภูมิ) เบลโล่ (Bellow) หรือไดอะแฟรม (สำหรับความดันหรือระดับ), แผ่น orifice (สำหรับอัตราการไหล, ก๊าซโครมาโตกราฟหรือเครื่องวิเคราะห์สเปคโตรสโคบิคหลายๆแบบ (สำหรับวัดองค์ประกอบทางเคมี)

3. สายต่อสัญญาณ (Transmission Line) ใช้ในการนำสัญญาณที่วัดได้จากหัววัด (Sensor) ไปยังตัวควบคุมและนำสัญญาณจากตัวควบคุมไปยัง อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final control element :control valve เป็นต้น) สายส่งสัญญาณนี้สามารถเป็นได้ทั้งแบบสัญญาณลมและสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

4. ตัวควบคุม :จะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ต้องการ (Set point) กับค่าที่วัดได้และทำการตัดสินใจส่งคำสั่งที่ได้ผ่านการคำนวณตามแบบการควบคุมแบบต่าง ๆ (P, PI หรือ PID) ไปยังตัวควบคุมสุดท้ายเพื่อให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด

5. อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย : โดยปกติจะใช้ Control valve หรือ Metering – pump ที่ปรับความเร็วได้ อุปกรณ์ตัวนี้จะรับสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมเพื่อไปปรับหรือเปลี่ยนค่าของตัวแปรของโปรเซสที่กำลังควบคุมอยู่ในทางฟิสิกส์หรือเคมีให้เป็นไปตามสัญญาณควบคุมที่มันได้รับ จะเห็นว่าองค์ประกอบในแต่ละส่วนที่กล่าวมานี้ ถ้าขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไป ระบบควบคุมแบบ Feedback จะไม่ครบวงจร ดังนั้น เราจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาในแต่ละส่วนอย่างละเอียดต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลและเพื่อสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล คณะผู้ทำสิ่งประดิษฐ์ได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล
2. การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.1 การสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

ขั้นตอนการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหลมีดังรูปนี้

รูป (ก) ชุดสาธิตการไหลของของไหล

รูป (ข) ถังพลาสติก ขนาด 20 ลิตร

รูป (ค) Centrifugal Pump

รูป (ง) Check Valve

รูปที่ 3.1 (ก,ข,ค,ง) วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.1.1.1 ถังพลาสติก ขนาด 20 ลิตร 1 ถัง

3.1.1.2 Centrifugal Pump

3.1.1.3 ท่ออะคริลิค

3.1.1.4 เครื่องวัดแรงดัน (PRESSURE GAUGE)4ตัว

3.1.1.5 เครื่องวัดอัตราการไหล (Rota meter)

3.1.1.6 Gate Valve 3 ตัว

3.1.1.7 Diaphragm Valve 3 ตัว

3.1.1.8 Orifice 1 อัน

3.1.1.9 Venture 1 อัน

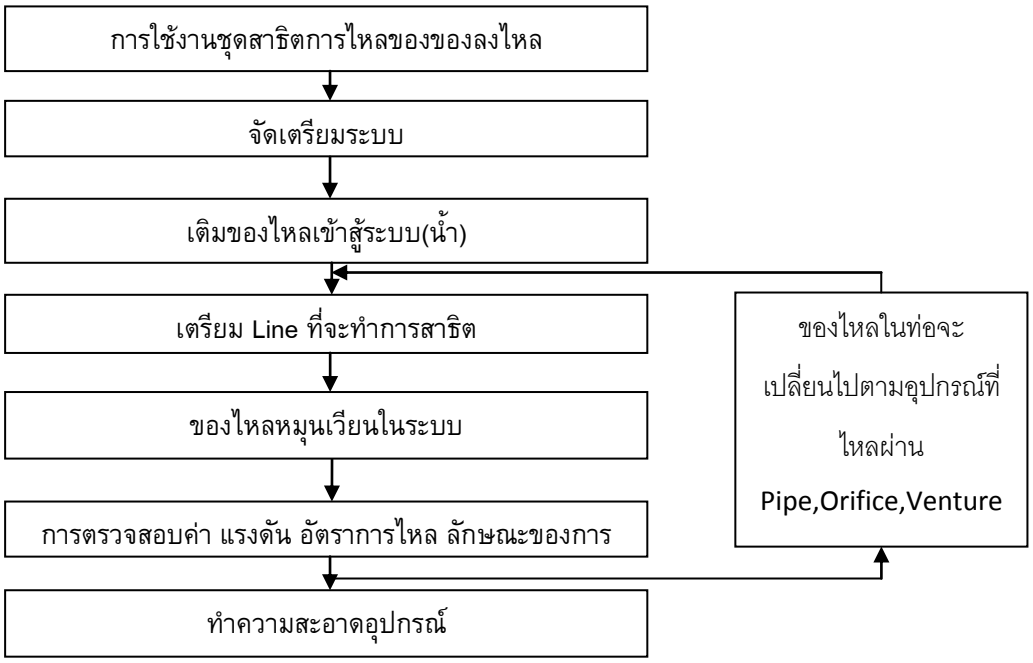
3.1.1.10Ball Valve 2 ตัว

3.1.1.11 Check Valve 1 ตัว

3.1.1.12 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 1ตัว

3.1.2 การเดินระบบและการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

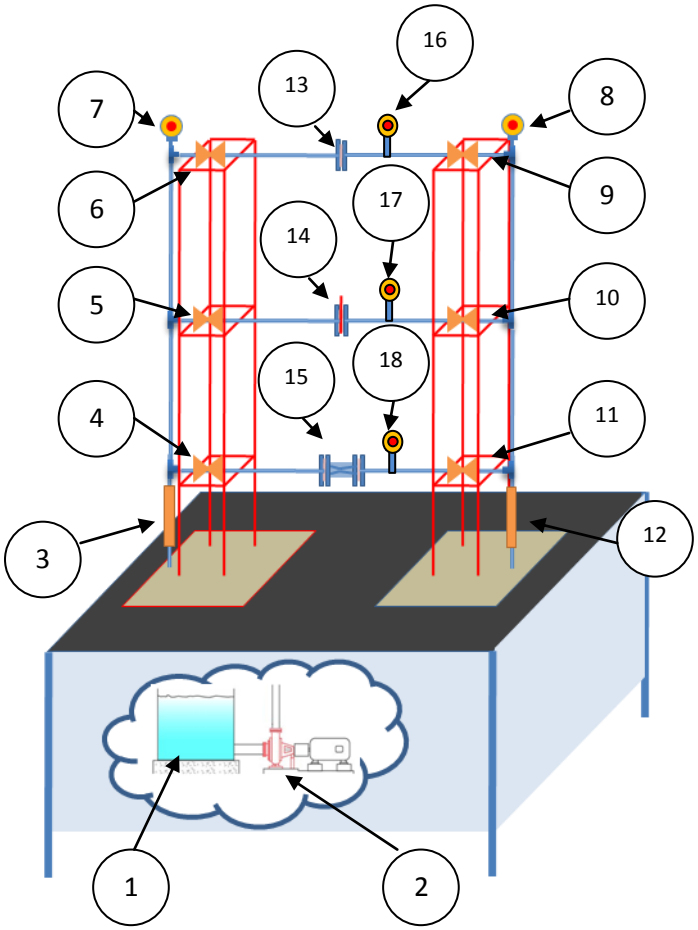
การเดินระบบและใช้งานชุดสาธิตการไหลของของไหลมีรายละเอียดดังที่จะนำเสนอต่อไป ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 3.1 การเดินระบบและการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

3.1.3 วิธีการเดินระบบและใช้งานชุดสาธิตการไหลของของไหล

ก่อนการเดินระบบและใช้งานชุดสาธิตการไหลของของไหล ให้ศึกษารายละเอียดของวาล์วและท่อต่างๆในชุดสาธิตการไหลของของไหล

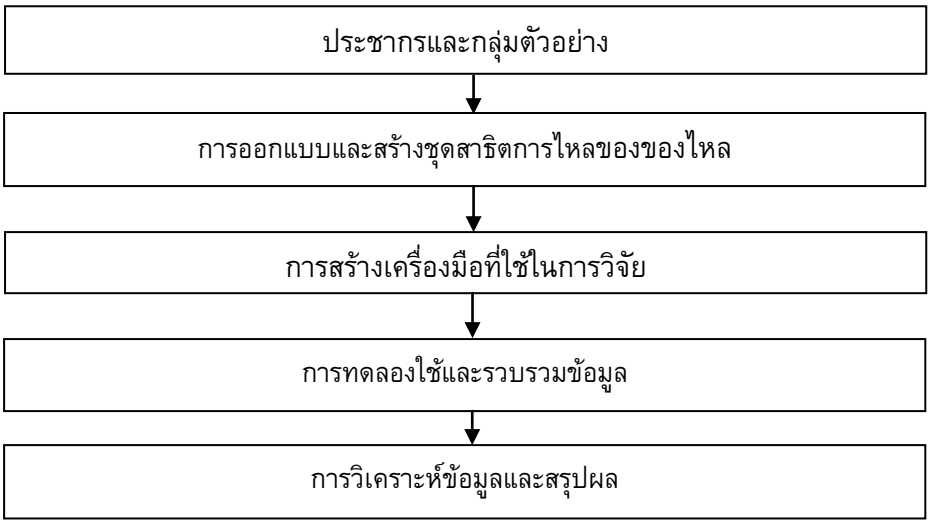


1.ถังน้ำ	7.Pressure Gauge 1	13.Flange
2.Centrifugal Pump	8.Thermometer	14.Orifice
3.Check Valve	9.Gate Valve 1	15.Venture
4.Diaphragm Valve 1	10.Gate Valve 2	16.Pressure Gauge 2
5.Diaphragm Valve 2	11.Gate Valve 3	17.Pressure Gauge 3
6.Diaphragm Valve 3	12.Rota Meter	18.Pressure Gauge 4

รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.2 การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของชุดสาธิตการไหลของของไหล

ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของของชุดสาธิตการไหลของของไหลมีดังนี้



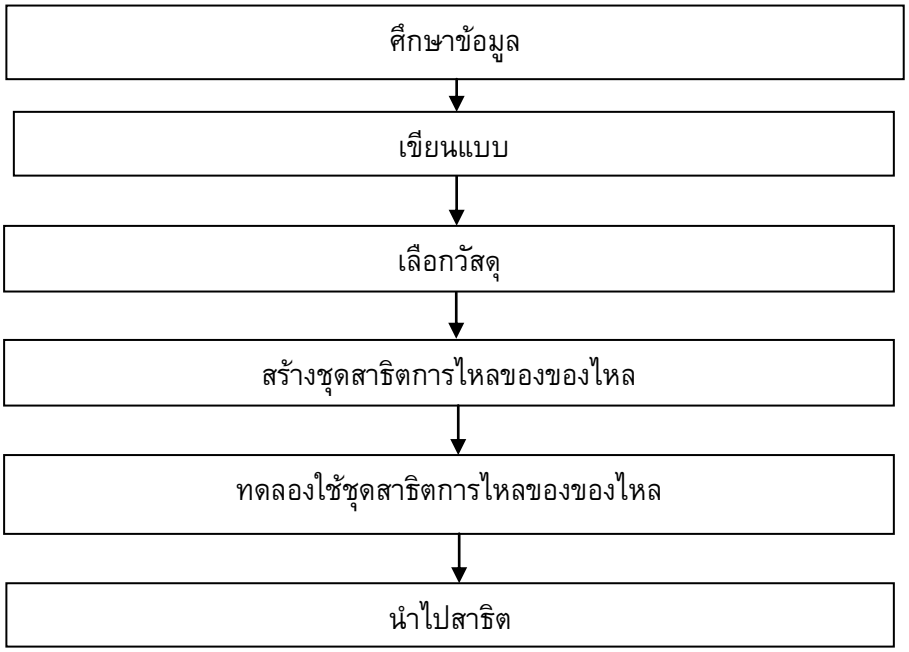
แผนภูมิที่ 3.2 การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้เชี่ยวชาญผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบเจาะจง ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี ผู้จัดการส่วน 3 ท่าน วิศวกรเครื่องกล3ท่านวิศวกรกระบวนการผลิต2 ท่านวิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม3 ท่านShift Supervisor 1 ท่านUnit Supervisor 2ท่านและControl Room Operator1 ท่านรวม 15 ท่านแสดงความคิดเห็นต่อชุดสาธิตการไหลของของไหลที่สร้างขึ้น ตอบแบบประเมินเพื่อประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลและเสนอแนะความคิดเห็น

3.2.2 การออกแบบและสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

การออกแบบในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล มีรายละเอียดการดำเนินงานจากแผนภูมิที่ 3.3 ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.3 การออกแบบและสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

3.2.2.1 ศึกษาข้อมูล

ชุดสาธิตการไหลของของไหลจากดร.เสรี ศุภราทิตย์หนังสือกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechainics) สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต มหาวิทยาลัยรังสิต ดร.สมศักดิ์ กีรวุฒิเศรษฐ์หนังสือการใช้งานเครื่องมือวัด สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) และผศ.ผ่องศรี ศิวราศักดิ์หนังสือกลศาสตร์ของไหลประยุกต์ (Applied Fluid Mechanic) สำนักพิมพ์บริษัททริปเพิ้ล กรุ๊ปจำกัด ที่เคยทำมาและปัญหาที่เกิดจากการทำเลยนำมาประดิฐขึ้นใหม่

3.2.2.1.1 ขนาดของอุปกรณ์ชุดสาธิตการไหลของของไหลต้นแบบจะต้องมีขนาดกะทัดรัด มีความแข็งแรงและปลอดภัย รูปทรงของอุปกรณ์ของขุดสาธิตการไหลของของไหลจะต้องมีประสิทธิภาพ

3.2.2.1.2 ชนิดของวัสดุที่นำมาสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้าง จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเพียงพอที่สามารถนำมาใช้สร้างชุดสาธิตได้อย่างเหมาะสม

3.2.2.2 เขียนแบบ

3.2.2.2.1 ออกแบบ และร่างแบบ

3.2.2.2.2 นำแบบร่างของชุดสาธิตการไหลของของไหล เสนออาจารย์ที่ปรึกษา แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข

3.2.2.3 เลือกวัสดุ เลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหลจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหลเพื่อใช้ในการสาธิต ผู้วิจัยได้เลือกใช้อะคริลิค (Acrylic)

3.2.2.4 สร้างชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยพิจารณาว่าชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลที่สร้างขึ้นจะต้องตอบสนองวัตถุประสงค์ของการสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลได้ครบ

3.2.2.5 ทดลองใช้ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองใช้ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

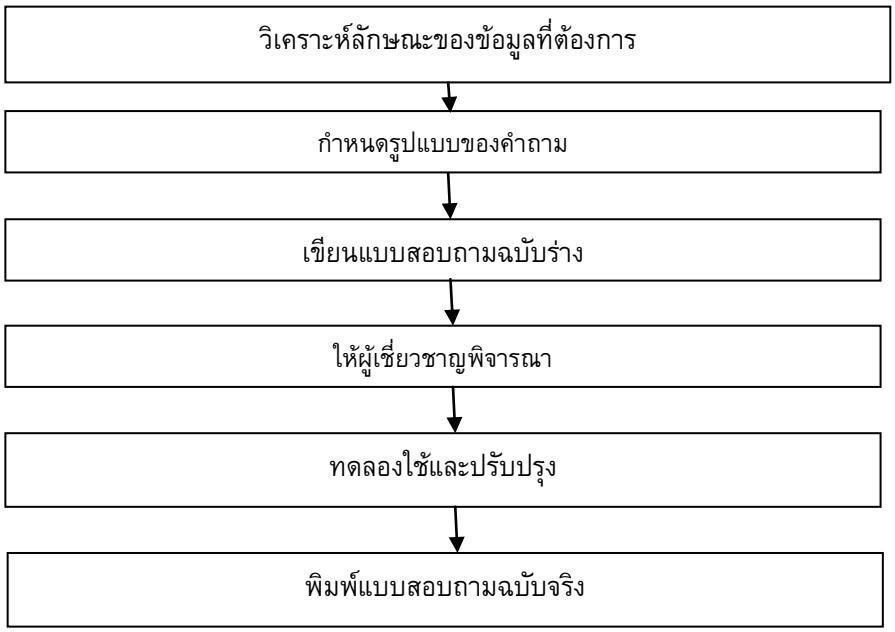
3.2.2.5.1 นำเครื่องสาธิตอัตราการไหลของของไหลไปทดลองใช้ แล้วบันทึกผลการทดลองใช้ ปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อบกพร่องต่างๆ

3.2.2.5.2 นำผลการทดลองใช้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ และนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

3.2.2.6 นำไปสาธิตนำไปสาธิตและให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน นำชุดสาธิตการไหลของของไหลไปใช้ในการสาธิตการไหลของของไหล โดยการสาธิตให้ผู้เชี่ยวชาญดูแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยใช้แบบสอบถามแสดงความคิดเห็น

3.2.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องมือในการวิจัย เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 3.4 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.3.1 วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการ

เป็นขั้นแรกของการสร้างแบบสอบถามก็คือทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการในการวิจัยโดยวิเคราะห์จากจุดประสงค์การวิจัย กำหนดโครงสร้างของเนื้อหาแบบสอบถามโดย แบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ

ตอนที่1 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ

ตอนที่2 เป็นข้อมูลแบบสอบถามคิดเห็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ

+1 หมายถึงแน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

0 หมายถึงไม่แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

\- 1 หมายถึงแน่ใจว่าจุดประเมินไม่ได้วัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

ตอนที่3 เป็นคำถามแบบปลายเปิดสำหรับผู้ตอบแบบสอบถาม แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ

3.2.3.2 กำหนดรูปแบบของคำถาม ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามจากตำรา หรืองานวิจัยอื่นแล้วกำหนดรูปแบบของแบบสอบถาม

3.2.3.3 เขียนแบบสอบถามฉบับร่าง ลงมือเขียนแบบสอบถามฉบับร่าง ตามโครงสร้างของเนื้อหาของแบบสอบถาม และตามหลักในการสร้าง และรูปแบบที่กำหนดไว้

3.2.3.4 ให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณา นำแบบสอบถามไปให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านที่จะศึกษา และด้านวัดผลพิจารณา ความถูกต้องของข้อคำถามแต่ละข้อ แล้วนำเอาข้อวิจารณ์เหล่านั้นมาพิจารณาแก้ไขให้เหมาะสม

3.2.3.5 ทดลองใช้และปรับปรุงนำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับผู้ที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่างหรือกลุ่มประชากร จำนวน 15 คน เพื่อพิจารณาความชัดเจนของข้อคำถามต่างๆ ปัญหาที่อาจจะพบในขณะตอบ แล้วนำข้อวิจารณ์เหล่านั้นมาพิจารณาแก้ไขปรับปรุงแบบสอบถามให้เหมาะสม

3.2.3.6 พิมพ์แบบสอบถามฉบับจริง

3.2.4 การทดลองใช้และรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล โดยผู้เชี่ยวชาญ มีขั้นตอนดังนี้

ผู้วิจัยและคณะเรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญมาตรวจสอบชุดสาธิตการไหลของของไหล จำนวน 15 ท่าน ได้แก่

1. นายภูมินทร์ พุ่มทรัพย์ ผู้จัดการส่วนผลิต I-4/1
2. นายราชัย ชันมะเวส ผู้จัดการส่วนเพิ่มประสิทธิภาพ

3.นายบุญเลิศ ชัยมานิตย์	ShiftSupervisor
4.นายสีแก้ว เทพคำดี	ผู้จัดการส่วนผลิต I-4/2
5. นายวีรพล แพงแก้ว	วิศวกรเครื่องกล
6. นายวิบูลย์ ศรสนิทชัย	Unit Supervisor
7.นายประสิทธิ์ ศรีอินกิจ	Unit Supervisor
8. นายกมล แก้วจา	วิศวกรเครื่องกล
9. นายยุคล เมฆกระจาย	Control Room Operator
10.นายวิริยะวัฒน์ พิทักษ์กิจเจริญ	วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม
11.นายณรรฐพล วิจิตรเฉลิมพงษ์	วิศวกรกระบวนการผลิต
12.นายณัฐพล เรืองรัศมี	วิศวกรกระบวนการผลิต
13.นายเทพฌาน พรหมทอง	วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม
14.นายวัชระ แซ่โค้ว	วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม
15.นายชิษณุพงศ์ มะโน	วิศวกรเครื่องกล

โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลและหาประสิทธิภาพ

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

การวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.5.1 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับค่าทางทฤษฎีจากผู้เชี่ยวชาญและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย (IOC)

สถิติที่ใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

สูตร $IOC = \frac{\sum R}{N}$

เมื่อ IOC = คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องตามสมมติฐานของการวิจัย

$\sum R$ = คือ ค่าผลรวมของคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ

N = คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3.2.5.2 การวิเคราะห์ดำเนินการเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.2.5.2.1 นำแบบสอบถาม และชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลไปให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนพิจารณาลงความคิดเห็นว่าจุดประเมินแต่ละข้อวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้หรือไม่ โดยกำหนดคะแนนความคิดเห็นไว้ ดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

\- 1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประเมินไม่ได้วัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

3.2.5.2.2 บันทึกผลการพิจารณาลงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเนื้อหาวิชาแต่ละคน ในแต่ละข้อแล้วหาคะแนนผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดเป็นรายข้อแทนค่าสูตร

3.2.5.2.3 กำหนดคะแนนจุดตัด เพื่อที่จะหาค่าคะแนนที่ต่ำที่สุดที่ยอมรับว่าแบบสอบถามสามารถวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้ และเนื่องจากเกณฑ์การยอมรับนี้ต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปตามจุดประเมินแต่ละข้อ ดังนั้นจึงกำหนดคะแนนจุดตัดเท่ากันหมดทุกข้อคือเท่ากับ 0.5

3.2.5.2.4 แปลความหมายดัชนีความสอดคล้องระหว่างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลกับจุดประเมิน ถ้าค่าดัชนีที่คำนวณได้มากกว่า หรือเท่ากับ 0.5 แสดงว่า แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง ถ้าค่าดัชนีที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่า แน่ใจว่าจุดประเมินไม่สามารถวัดได้ตามที่ระบุไว้จริง

$\geq$0.5หมายถึงมีประสิทธิภาพตรงตามจุดประเมินที่ตั้งไว้

< 0.5หมายถึงมีประสิทธิภาพไม่ตรงตามจุดที่ตั้งไว้ ต้องมีการปรับปรุง แก้ไข

3.2.5.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจ ตามความคิดเห็นของผู้ทดสอบชุดสาธิตการไหลของของไหล สถิติที่ใช้ คือ คะแนนเฉลี่ย (mean , $\bar{x}$) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation , SD) ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ของการวิเคราะห์ข้อมูลได้วิเคราะห์ความหมายของค่าเฉลี่ยตามหลักการ ดังนี้

4.51 – 5.00 หมายความว่าความพึงพอใจตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายความว่าความพึงพอใจตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับมาก

2.51 – 3.50 หมายความว่าความพึงพอใจตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายความว่าความพึงพอใจตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับน้อย

1.00 – 1.50 หมายความว่าความพึงพอใจตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในระดับน้อยที่สุด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ผู้จัดทำได้เก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง และแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล จำนวน 15 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลว่าผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันในระดับใด โดยแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามความคิดเห็นในรูปของกราฟ และตารางประกอบคำบรรยายโดยแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

1. การทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ
3. ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยแยกออกเป็นด้านต่าง ๆ
4. ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล

4.1 การทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

4.1.1 การทดลองจากชุดสาธิตอัตราการ

จากสูตรสมการหาค่าทดลองการไหล

$$q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$$

การคำนวณหาค่าการไหลแบบปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 0.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.035\ kg/s = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$$0.035\ kg/s = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$$

$$0.035\ kg/s = 0.000739 \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$$

$$\frac{0.035}{0.000739} = \sqrt{2000\ \Delta\rho}$$

$$2000\Delta\rho = 47.37234^2$$

$2000\Delta\rho$ = 2244.138

$\Delta\rho = \frac{2000}{2244.138}$

$\Delta\rho$ = 1.122069 $P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho$ = 0.00001144 Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 0.5 – 0.00001144

P2 = 0.49988 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 0.75 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.041666667 \text{ kg/s} = \frac{0.6\times1\times3.14\times(0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2\times\Delta\rho\times1000}$

$0.041666667 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times\sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.041666667 \text{ kg/s} = 0.000739 \times\sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.041666667}{0.000739} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 56.38295^2$

$2000\Delta\rho$ = 3179.037

$\Delta\rho = \frac{3179.037}{2000}$

$\Delta\rho$ = 1.589519 $P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho$ = 0.00001621 Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.75 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 0.75 – 0.00001621

P2 = 0.74996 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 1.0 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.046666667 = \frac{0.6\times1\times3.14\times(0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4}\times4} \times \sqrt{2\times\Delta\rho\times1000}$

$0.046666667 = \frac{0.000739}{0.999696} \times\sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.046666667 = 0.000739 \times\sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.046666667}{0.000739} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 63.1484^2$

$2000\Delta\rho = 3987.72$

$\Delta\rho = \frac{3987.72}{2000}$

$\Delta\rho$ = 1.993860132 $P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho$ = 0.00002033 Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1 – 0.00002033

P2 = 0.99974 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 1.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.05833333 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.05833333 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.05833333 \text{ kg/s} = 0.000739 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.05833333}{0.000739} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 78.9355^2$

$2000\Delta\rho = 6230.83$

$\Delta\rho = \frac{6230.83}{2000}$

$\Delta\rho = 3.115406456\ Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho$ = 0.00003176 Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1.5 – 0.00003176

P2 = 1.49992 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบกึ่งราบเรียบกึ่งปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 0.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.08 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.08 \text{ kg/s} = \frac{0.001107}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.08 \text{ kg/s} = 0.001107 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.08}{0.001107} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 31.61698^2$

$2000\Delta\rho = 999.633$

$\Delta\rho = \frac{999.633}{2000}$

$\Delta\rho = 0.499816802 \; Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00007223$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 0.5 – 0.00007223

P2 = 0.49998 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบกึ่งราบเรียบกึ่งปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 0.75 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.098888887 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4} \times 4} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.098888887 \text{ kg/s} = \frac{0.001107}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.098888887 \text{ kg/s} = 0.0001107 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.098888887}{0.001107} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 37.63957^2$

$2000\Delta\rho = 1416.737$

$\Delta\rho = \frac{146.737}{2000}$

$\Delta\rho = 0.708368479 \; Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00007223$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.75 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 0.75 – 0.00007223

P2 = 0.74992 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบกึ่งราบเรียบกึ่งปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 1.0 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.1\ kg/s = \frac{0.6\times1\times3.14\times(0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2\times\Delta\rho\times1000}$

$0.1\ kg/s = \frac{0.001107}{0.999696} \times\sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$0.1\ kg/s = 0.0001107 \times\sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$\frac{0.1}{0.001107} = \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 90.33424^2$

$2000\Delta\rho = 8160.274$

$\Delta\rho = \frac{8160.274}{2000}$

$\Delta\rho = 4.080137158\ Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00004161$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1 – 0.00004161

P2 = 0.99958 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบกึ่งราบเรียบกึ่งปั่นป่วน โดยกำหนด Pressure 1.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.13333333 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.13333333 \text{ kg/s} = \frac{0.0001107}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.13333333 \text{ kg/s} = 0.0001107 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.13333333}{0.0001107} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 120.4456^2$

$2000\Delta\rho = 14507.15$

$\Delta\rho = \frac{14507.15}{2000}$

$\Delta\rho = 7.25357717\ P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00007396$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1.5 – 0.00007396

P2 = 1.49973 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบราบเรียบ โดยกำหนด Pressure 0.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.035 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.035 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$0.035 \text{ kg/s} = 0.000739 \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$\frac{0.035}{0.000739} = \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 47.37234^2$

$2000\Delta\rho = 2244.138$

$\Delta\rho = \frac{2000}{2244.138}$

$\Delta\rho = 1.122069\ P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00001144$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 0.5 – 0.00001144

P2 = 0.49998 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบราบเรียบ โดยกำหนด Pressure 0.75 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.2333333 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4} \times 4} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.2333333 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.2333333 \text{ kg/s} = 0.000739 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.208333333}{0.000739} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 56.38295^2$

$2000\Delta\rho = 3179.037$

$\Delta\rho = \frac{3179.037}{2000}$

$\Delta\rho = 1.589518522 \; P\alpha$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00001620$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 0.75 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1.5 – 0.00001620

P2 = 0.74998 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบราบเรียบ โดยกำหนด Pressure 1 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.27777778 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.27777778 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$0.27777778 \text{ kg/s} = 0.000739 \times \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$\frac{0.277777778}{0.000739} = \sqrt{2000\ \Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 375.8833^2$

$2000\Delta\rho = 141288.3$

$\Delta\rho = \frac{141288.3}{2000}$

$\Delta\rho = 70.64413731\ Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00002033$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

P2 = 1 – 0.00002033

P2 = 0.99998 Kg/cm^2

การคำนวณหาค่าการไหลแบบราบเรียบ โดยกำหนด Pressure 1.5 Kg/cm^2

จากสมการ $q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$

แทนค่า $0.41666666 \text{ kg/s} = \frac{0.6 \times 1 \times 3.14 \times (0.0198)^2}{\sqrt{1-(0.157)^4 \times 4}} \times \sqrt{2 \times \Delta\rho \times 1000}$

$0.41666666 \text{ kg/s} = \frac{0.000739}{0.999696} \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$0.41666666 \text{ kg/s} = 0.000739 \times \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$\frac{0.41666666}{0.000739} = \sqrt{2000\,\Delta\rho}$

$2000\Delta\rho = 563.825^2$

$2000\Delta\rho = 317898.6$

$\Delta\rho = \frac{317898.6}{2000}$

$\Delta\rho = 158.949309 \; Pa$ (ใช้โปรแกรมแปลงหน่วยเป็น Kg/cm^2)

ดังนั้น $\Delta\rho = 0.00003176$ Kg/cm^2

จากสมการ $\Delta\rho$ = P1-P2 (P1 = 1.5 Kg/cm^2 จากค่า Pressure Guage ที่กำหนด)

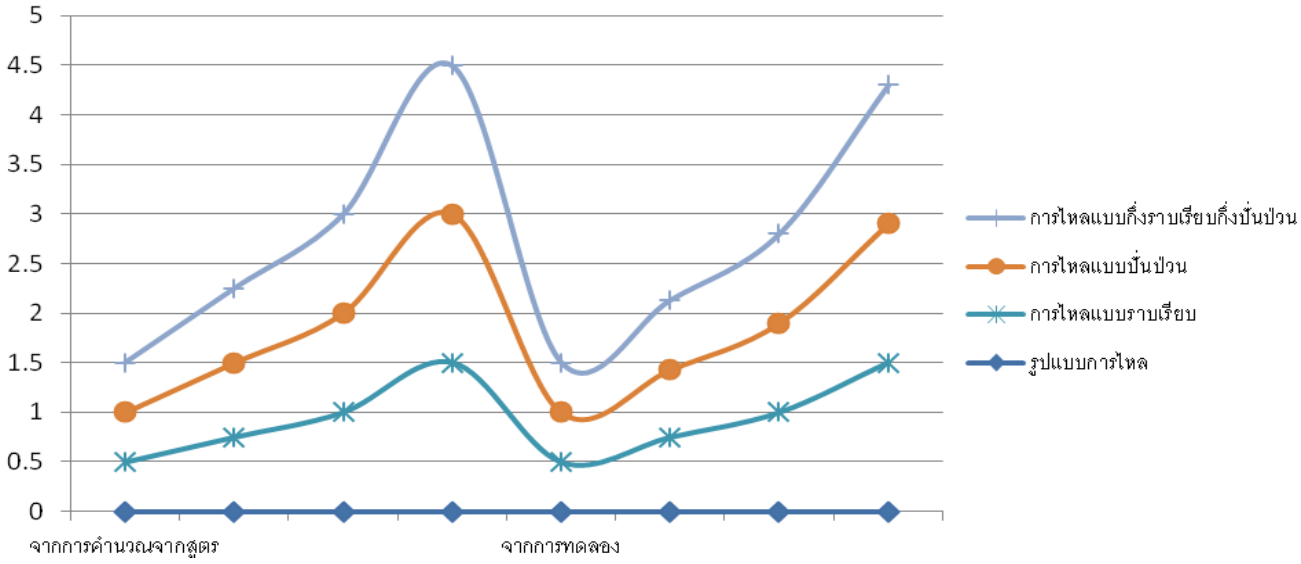
P2 = 1.5 – 0.00003176

P2 = 0.49996 Kg/cm^2

ตารางที่ 4.1 การคำนวณจากสูตรและผลการทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

รูปแบบการไหล	จากการคำนวณจากสูตร				จากการทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล				หมายเหตุ
	0.5 Kg/cm^2	0.75 Kg/cm^2	1.0 Kg/cm^2	1.5 Kg/cm^2	0.5 Kg/cm^2	0.75 Kg/cm^2	1.0 Kg/cm^2	1.5 Kg/cm^2	
การไหลแบบราบเรียบ	0.49998	0.74998	0.99998	1.49996	0.50	0.75	1.0	1.50	
การไหลแบบปั่นป่วน	0.49988	0.74996	0.99974	1.49992	0.50	0.68	0.90	1.40	
การไหลแบบกึ่งราบเรียบกึ่งปั่นป่วน	0.49998	0.74992	0.99958	1.49973	0.50	0.70	0.90	1.40	

จากกราฟแสดงผลเปรียบเทียบการคำนวณจากสูตรและผลการทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหล



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ

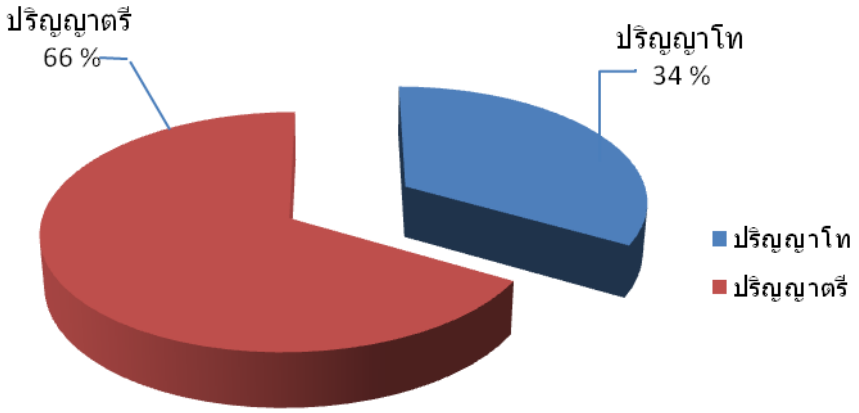
ข้อเสนอแนะ

ค่าจากการคำนวณจากสูตรและค่าจากการทดลองจากชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลนั้นอาจจะคาดเคลื่อนผิดเปลี่ยนไปบ้างแต่อยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกัน นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น โครงสร้างของชุดทดลองที่มีขนาดจำกัด ตำแหน่งการติดตั้งของ Pressure Guageและตัวเกจวัดอ่านค่าของ Pressure Guageบอกค่าไม่ละเอียด

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ ผู้ศึกษาได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

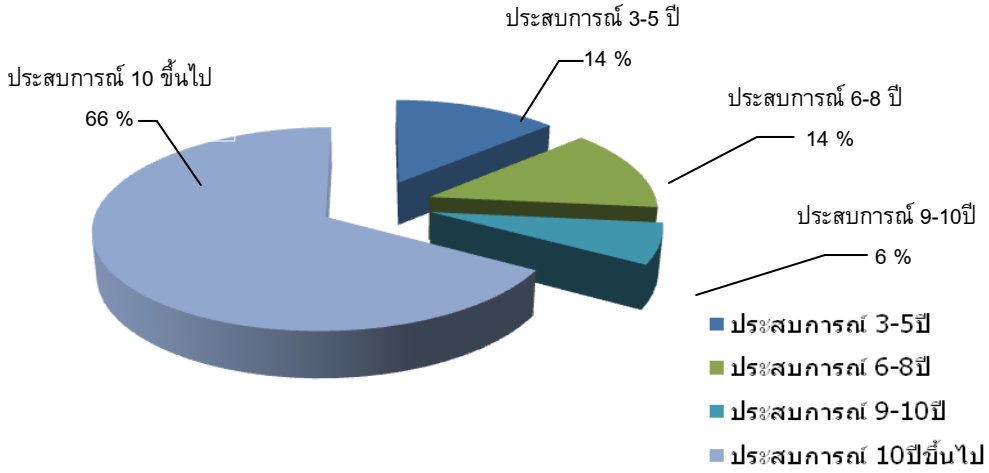
4.2.1 ระดับการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ



แผนภูมิที่ 4.1 ระดับการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ

จากแผนภูมิที่ 4.1 พบว่าผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลระดับปริญญาโท จำนวน 5 คน และลำดับรองลงมาเป็นระดับปริญญาตรี จำนวน 10 คน ซึ่งถือได้ว่าผู้เชี่ยวชาญสามารถประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล โดยใช้วิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญได้เอง

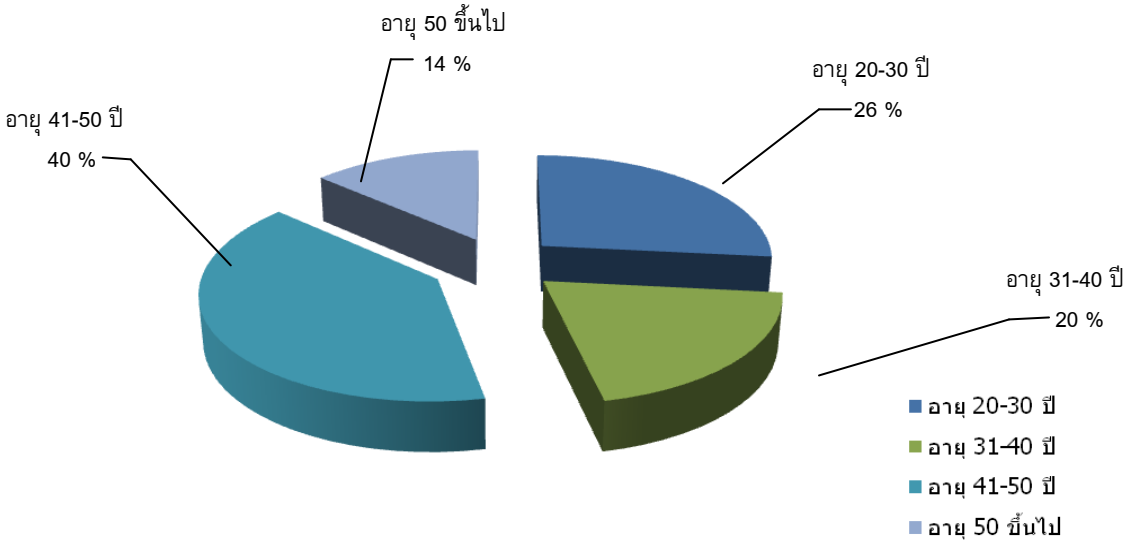
4.2.2 ประสบการณ์ทำงานของผู้เชี่ยวชาญ



แผนภูมิที่ 4.2 ประสบการณ์ทำงานของผู้เชี่ยวชาญ

จากแผนภูมิที่ 4.2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล มีประสบการณ์ในการทำงาน 3-5 ปี จำนวน 2 คน มีประสบการณ์ในการทำงาน 6-8 ปี จำนวน 2 คน มีประสบการณ์ในการทำงาน 9-10 ปี จำนวน 1 คน และมีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 10 ปี ขึ้นไป จำนวน 10 คน ซึ่งถือได้ว่าผู้เชี่ยวชาญมีประสบการณ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

4.2.3 ระดับอายุของผู้เชี่ยวชาญ

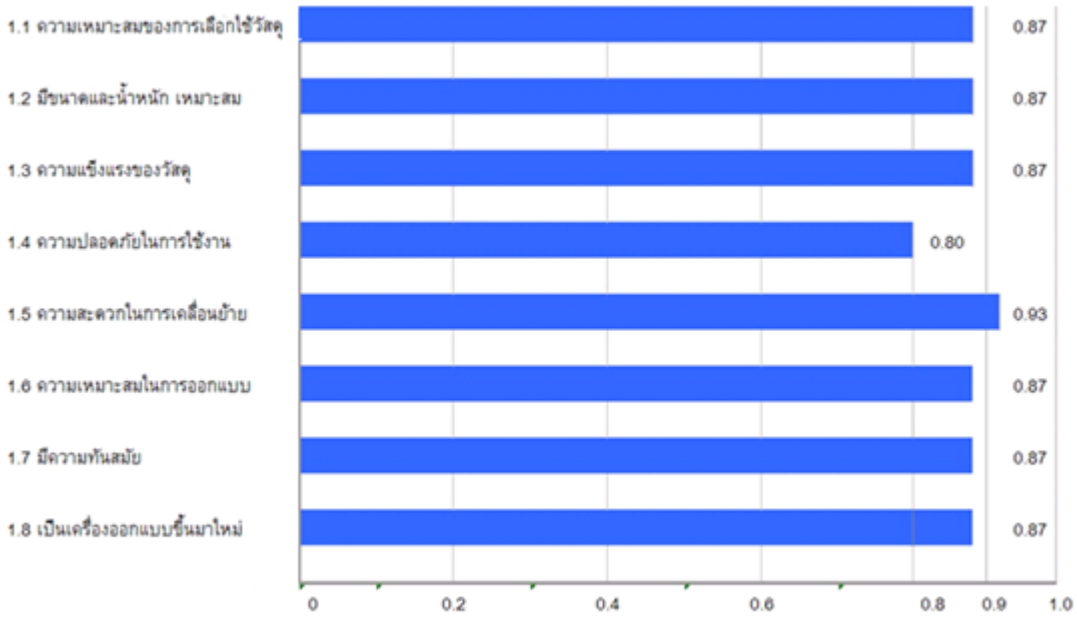


แผนภูมิที่ 4.3 ระดับอายุของผู้เชี่ยวชาญ

จากแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล มีอายุระหว่าง 20-30 ปี จำนวน 4 คน มีอายุระหว่าง 31-40 ปี จำนวน 3 คน มีอายุระหว่าง 41-50 ปี จำนวน 6 คนและอายุระหว่าง 50 ปีขึ้นไป จำนวน 2 คนซึ่งถือได้ว่าผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด มีวัยวุฒิเพียงพอในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล

4.3 ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยแยกออกเป็นด้านต่าง ๆ

4.3.1 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์เพื่อสร้างของชุดสาธิตการไหลของของไหล ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ



รูปที่ 4.2 แสดงค่า IOC ระดับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล

จากรูปที่ 4.2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันในด้านวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล โดยผลการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญมีค่า IOC อยู่ในระดับเกินกว่า 0.6 ได้แก่ ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ, มีขนาดและน้ำหนักเหมาะสม,ความแข็งแรงของวัสดุในการออกแบบ, ความปลอดภัยในการใช้งาน, ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย,ความเหมาะสมในการออกแบบ, ด้านความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันนั้นเป็นเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ และคู่มือประกอบการใช้งานมีความชัดเจน มีค่า IOC อยู่ในระดับ สูงกว่า 0.6 ซึ่งค่า IOC โดยรวมอยู่ในระดับ 0.85 ซึ่งหมายความว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่าค่าดัชนีมีความสอดคล้องกันตามสมมติฐานของการทำโครงงานอยู่ในระดับดี

4.3.2 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์เพื่อนำไปสาธิตการไหลของของไหล

ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รูปที่ 4.3 แสดงค่า IOC ระดับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์นำไปสาธิตการไหล

จากรูปที่ 4.3 พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันในด้านวัตถุประวัตถุประสงค์เพื่อนำไปสาธิตการไหลของของไหล โดยผลการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญมีค่า IOC อยู่ในระดับ เกินกว่า 0.6 ซึ่งหมายความว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่าค่าดัชนีมีความสอดคล้องกันตามสมมติฐานของการทำโครงงาน อยู่ในระดับดี

4.4 ผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล

หลังจากผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยใช้แบบสอบถามผลการประเมิน เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยผู้เชี่ยวชาญ 15 ท่าน ทั้ง 12 จุด ประเมิน

จำนวนผู้เชี่ยวชาญ																	
จุดประเมิน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Sum	IOC
1.1	+1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	13	0.87
1.2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	13	0.87
1.3	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	13	0.87
1.4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	0	12	0.80
1.5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	14	0.93
1.6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	+1	13	0.87
1.7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	13	0.87
1.8	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	0	12	0.80
2.1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	13	0.87
2.2	0	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	12	0.80
2.3	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	0	0	0	+1	+1	+1	+1	11	0.73
2.4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	+1	+1	14	0.93

จากตารางที่ 4.2 ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 15 ท่าน ที่ทำการประเมินชุดสาธิตการไหลของของไหล ทั้ง 12 จุดประเมินตามแบบสอบถามที่ผู้จัดทำได้ทำขึ้น และได้ผลการประเมิน ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อชุดสาธิตการไหลของของไหล

จุดประเมิน	IOC
1	0.87
2	0.87
3	0.87
4	0.80
5	0.93
6	0.87
7	0.87
8	0.80
9	0.87
10	0.80
11	0.73
12	0.93
$\text{IOC} = \frac{\sum R}{N} = 0.85$	

จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญของชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยรวมที่ได้จากการประเมินทั้งหมด 12 จุดประเมิน ได้ค่า IOC เท่ากับ 0.85 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 15 ท่าน มีความเห็นสอดคล้องกันว่าชุดสาธิตการไหลของของไหลมีคุณภาพ และประสิทธิภาพสาธิตการไหลของของไหลสามารถนำไปใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพราะค่า IOC ของจุดประเมินเท่ากับ 0.85 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวนี้ ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่าสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และเป็นไปตามสมมุติฐานของการวิจัย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัย เรื่องชุดสาธิตการไหลของของไหลมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในสาธิตการไหลของของไหลโดยที่การสาธิตการไหลของของไหลได้ค่าตามต้องการและสามารถนำไปใช้ศึกษาการไหลของไหลและนำค่าคำนวณจากสูตรไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับผู้ที่สนใจได้ ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันในด้านคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งแบบสอบถามเป็นประมาณค่า 3 ระดับ ซึ่งระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีค่า IOC เท่ากับ 0.85ซึ่งถือได้ว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกันในด้านคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำสามารถสรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลจากแบบสอบถามความเห็นที่ได้ประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 15ท่าน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้มีความคิดเห็นต่อชุดสาธิตการไหลของของไหลและผลจากการวิจัยโดยผู้จัดทำสามารถแยกสรุปผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผลจากการวิจัยออกเป็นประเด็นต่างๆได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการวิจัยและศึกษารูปแบบของของไหลภายในท่อทำให้ได้เห็นรูปแบบการไหลแบบ Lamina Flow แบบ Transition Flow และ แบบ Turbulence Flow มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

5.1.2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหล ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่า ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ, มีขนาดและน้ำหนักเหมาะสม ,ความแข็งแรงของวัสดุในการออกแบบ,ความปลอดภัยในการใช้งาน,ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ,ความเหมาะสมในการออกแบบ, มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน, เป็นเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ และคู่มือประกอบการใช้งานมีความชัดเจน ในระดับค่า IOC เท่ากับ 0.85ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.1.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านวัตถุประสงค์เพื่อนำไปสาธิตการไหลของของไหล ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่า ชุดสาธิตการไหลของของไหลมีความสามารถในการสาธิตการไหลของของไหล มีขั้นตอนการสาธิตการไหลของของไหลที่เข้าใจได้ง่าย และสามารถสาธิตการไหลได้ตามต้องการและสอดคล้องกันในทุกจุดประเมิน ในระดับค่า IOC เท่ากับ 0.85ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.1.4 ผลจากการวิจัยทำให้ได้ศึกษาการทำงานของระบบไฟฟ้า ControlON-OFF วาล์วจะเปิดหรือปิดอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้า-ออกของน้ำและเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่

5.1.5 ผลจากการวิจัยทำให้ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการไหล เช่น อุณหภูมิความหนืดของน้ำแรงดันของน้ำ,พื้นที่หน้าตัดของขนาดท่อ ,Pipe,Orifice,Ventureสิ่งเหล่านี้มีผลต่อรูปแบบการไหล

5.1.6 ผลการวิจัยทำให้สามารถนำมาเป็นสื่อการเรียนสำหรับพนักงานที่เข้าใหม่ เพื่อจะได้เห็นรูปแบบการไหลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เพราะในโรงงานนั้นไม่สามารถเห็นรูปแบบการไหลได้และจะได้รู้รูปแบบการทำงานของรูปแบบการไหลเพราะระบบการทำงานนั้นจะใช้รูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน

5.2 อภิปรายผล

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสาธิตการไหลของของไหลเพื่อใช้ในการสาธิตการไหลของไหล ส่วนใหญ่มีความเห็นสอดคล้องกันว่าชุดสาธิตการไหลของของไหลมีคุณภาพ สามารถนำไปใช้สาธิตการไหลและศึกษาได้จริง เฉลี่ยแล้วมีความคิดเห็นว่าชุดสาธิตการไหลของของไหลมีคุณภาพ แน่ใจว่าจุดประเมินวัดวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้จริง และสามารถอภิปรายผลประเด็นที่ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าจุดประเมินวัดวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้จริง และไม่แน่ใจว่าจุดประเมินวัดวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้จริง ดังนี้

5.2.1 จุดประเมินที่ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าจุดประเมินวัดวัตถุประสงค์ทั้งไว้ได้จริง คือจุดประเมินความเหมาะสมในการใช้วัสดุ ขนาดและน้ำหนักเหมาะสม ความเหมาะสมในการออกแบบ ความแข็งแรงของวัสดุในการออกแบบ ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ และคู่มือประกอบการใช้งาน มีความชัดเจนซึ่งอาจเป็นเพราะว่า ชุดสาธิตการไหลของของไหลมีการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ขนาดและน้ำหนักเหมาะสม ใช้งานได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

5.2.2 จุดประเมินที่ผู้เชี่ยวชาญไม่แน่ใจว่าจุดประเมินวัดวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้จริง คือจุดประเมินที่บอกถึง ความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าการออกแบบความปลอดภัยของท่ออะคริลิคทนต่อ Pressure ที่สูงขึ้น

5.3ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การใช้ชุดสาธิตการไหลของของไหลผู้ที่ใช้ชุดสาธิตการไหลของของไหลควรมีความรู้ทางด้านรูปแบบการไหล

5.3.2 ควรใส่สีผสมอาหารลงไปในน้ำของชุดการสาธิตการไหล (ก่อนใส่สีผสมอาหารลงไปที่ชุดสาธิตการไหลของของไหลควรจะใช้ผ้ากรองสีผสมอาหารกรองตระกอนสีออกก่อนเพื่อป้องกันเศษสีไปอุดตันที่ Filter ของ Pump)เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของรูปแบบการไหลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ดร. เสรี ศุภราทิตย์. หนังสือกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechainics) สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต มหาวิทยาลัยรังสิต

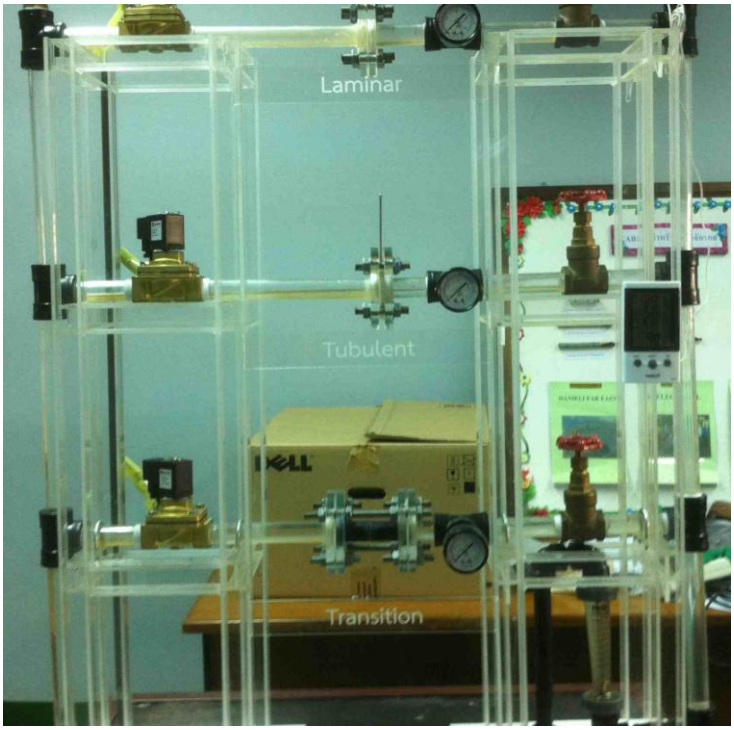
ดร.สมศักดิ์ กีรวุฒิเศรษฐ์ หนังสือการใช้งานเครื่องมือวัด สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

ผศ. ผ่งศรี ศิวราศักดิ์ หนังสือกลศาสตร์ของไหลประยุกต์ (Applied Fluid Mechanics) สำนักพิมพ์ บริษัททริปเพิ้ล กรุ๊ป จำกัด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

รูปที่ ก. 1 แสดงรูปชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

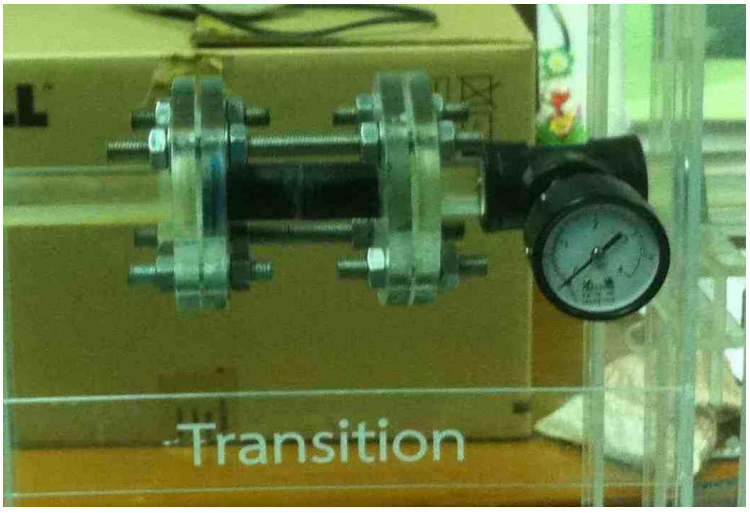


รูปที่ ก. 2 แสดงรูปโครงสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

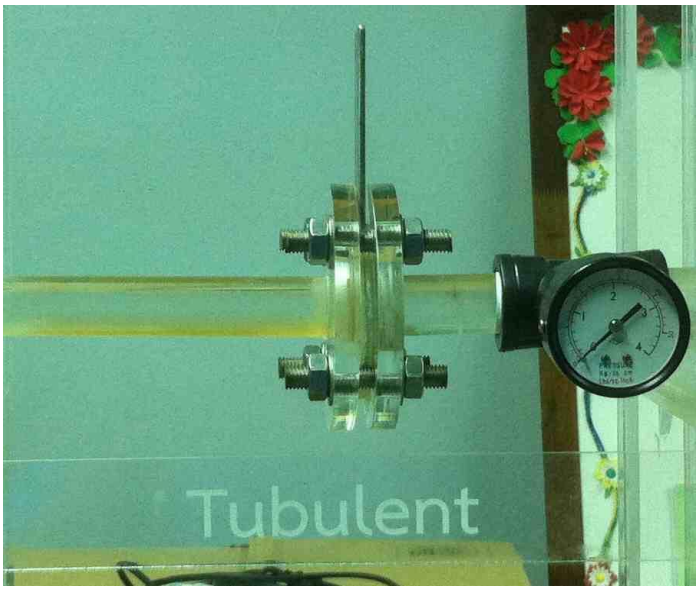
รูปที่ ก. 3 แสดงรูปวาล์ว

รูปที่ ก. 4 แสดงรูป PRESSURE GAUGE

รูปที่ ก. 5 แสดงรูปหน้าแปลนของท่อ



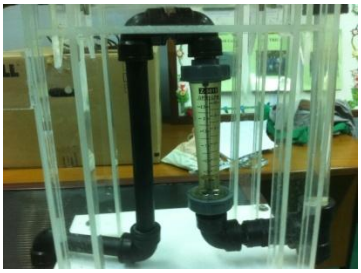
รูปที่ ก. 6 แสดงรูปหน้าแปลน Venture



รูปที่ ก. 7 แสดงรูปหน้าแปลน Orifice

รูปที่ ก. 8 แสดงรูป Diaphragm Valve

รูปที่ ก. 9 แสดงรูปThermometer



รูปที่ ก. 10 แสดงรูปท่อ Rota Meter

รูปที่ ก. 11 แสดงรูปท่อ Check Valve

รูปที่ ก. 12 แสดงรูปถังน้ำ

รูปที่ ก. 13 แสดงรูปCentrifugal Pump

รูปที่ ก. 14 แสดงรูปชุด Control

ภาคผนวก ข
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของชุดสาธิตการไหลของของไหล มีรายชื่อดังต่อไปนี้

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ
1. นาย ภูมินทร์ พุ่มทรัพย์	อายุ 52 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาโท ตำแหน่ง ผู้จัดการส่วนผลิต I-4/1 สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc. ประสบการณ์การทำงาน 28 ปี
2. นาย ราชัย ชันมะเวส	อายุ 52 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาโท ตำแหน่ง ผู้จัดการส่วนเพิ่มประสิทธิภาพ สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 28 ปี
3. นาย บุญเลิศ ชัยมานิตย์	อายุ 50 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง Shift Supervisor สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc. ประสบการณ์การทำงาน 27 ปี
4. นาย สีแก้ว เทพคำดี	อายุ 50 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาโท ตำแหน่ง ผู้จัดการส่วนผลิต I-4/2 สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 26 ปี
5. นาย วีรพล แพงแก้ว	อายุ 47 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 23

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ
6. นาย วิบูลย์ ศรสนิทชัย	อายุ 44 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง Unit Supervisor สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 21 ปี
7. นาย ประสิทธิ์ ศรีอินกิจ	อายุ 42 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง Unit Supervisor สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 20 ปี
8. นาย นาย กมล แก้วจา	อายุ 42 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 19 ปี
9. นาย ยุคล เมฆกระจาย	อายุ 40 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง Control Room Operator สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc. ประสบการณ์การทำงาน 18 ปี
10. นาย วิริยะวัฒน์ พิทักษ์กิจเจริญ	อายุ 35 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 11 ปี

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ
11. นาย ณรรฐพล วิจิตรเฉลิมพงษ์	อายุ 32 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาโท ตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 9 ปี
12. นาย ณัฐพล เรืองรัศมี	อายุ 30 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาโท ตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต สถานที่ทำงานบริษัท PTT Global Chemical Plc ประสบการณ์การทำงาน 7 ปี
13. นาย เทพฌาน พรหมทอง	อายุ 29 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 7 ปี
14. นาย วัชระ แซ่โค้ว	อายุ 29 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องมือวัดและควบคุม สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 5 ปี
15. นาย ชิษณุพงศ์ มะโน	อายุ 28 ปี ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล สถานที่ทำงานบริษัท PTT ME Co., Ltd ประสบการณ์การทำงาน 5 ปี

ภาคผนวก ค
แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการประเมิน ประสิทธิภาพของชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ นาย _____ สกุล _____ อายุ _____ ปี
สถานที่ทำงาน _____
ตำแหน่ง _____
วุฒิการศึกษา _____
สาขาที่จบ _____
ความรู้เชี่ยวชาญด้าน _____ ประสบการณ์ _____ ปี

แบบสอบถาม

เรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

<u>คำชี้แจง</u> แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพของชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล แบบสอบถามนี้จะให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตอบ และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิจัยเท่านั้น กรุณาอ่านและตอบคำถามตามสภาพ หรือความเห็นที่แท้จริง

<u>ตอนที่ 1</u> ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย / ลงใน ☐ ที่ตรงกับความจริงมากที่สุด

1.อายุ

☐ 20 – 30 ปี ☐ 31 – 40 ปี

☐ 41 – 50 ปี ☐ 50 ปีขึ้นไป

2. ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี

☐ สูงกว่าปริญญาตรี ☐ อื่นๆ ----------

3. ประสบการณ์ทางด้านการปฏิบัติงาน

☐ 5 – 6 ปี ☐ 7 – 8 ปี

☐ 9 – 10 ปี ☐ 10 ปีขึ้นไป

แบบประเมินความสอดคล้องของการใช้ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

<u>ตอนที่ 2</u> ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

<u>คำชี้แจง</u> โปรดแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
โปรดพิจารณาว่าจุดประเมินแต่ละหัวข้อต่อไปนี้ วัดตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้หรือไม่ แล้ววัดผลการพิจารณาของท่าน โดยทำเครื่องหมาย (/) ลงในช่องคะแนนที่พิจารณาตามความเห็นของท่าน

<u>คะแนนการพิจารณา</u>

ช่อง +1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง
ช่อง 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าจุดประเมินวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง
ช่อง -1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประเมินไม่ได้วัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

<u>แบบประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ</u>

วัตถุประสงค์	จุดประเมิน	คะแนนการพิจารณา		
		+1	0	-1
1. เพื่อสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล	1.1 ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุทำ			
	1.2 ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล มีขนาดและน้ำหนัก เหมาะสม			
	1.3 ความแข็งแรงของวัสดุในการออกแบบ ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล			
	1.4 ความปลอดภัยในการใช้งาน			
	1.5 ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล			

วัตถุประสงค์	จุดประเมิน	คะแนนการพิจารณา		
		+1	0	-1
	1.6 ความเหมาะสมในการออกแบบ ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล			
	1.7 มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน			
	1.8 เป็นชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลที่ออกแบบขึ้นมาใหม่			
2.เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพในการสาธิตการไหลของของไหล	2.1สาธิตการไหลได้ตามวัตถุประสงค์			
	2.2 มีความสามารถในการสาธิตการไหลได้ตามที่ต้องการหรือไม่			
	2.3มีขั้นตอนในการสาธิตการไหลที่เข้าใจง่าย			
	2.4 คู่มือประกอบการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหลมีความชัดเจน			

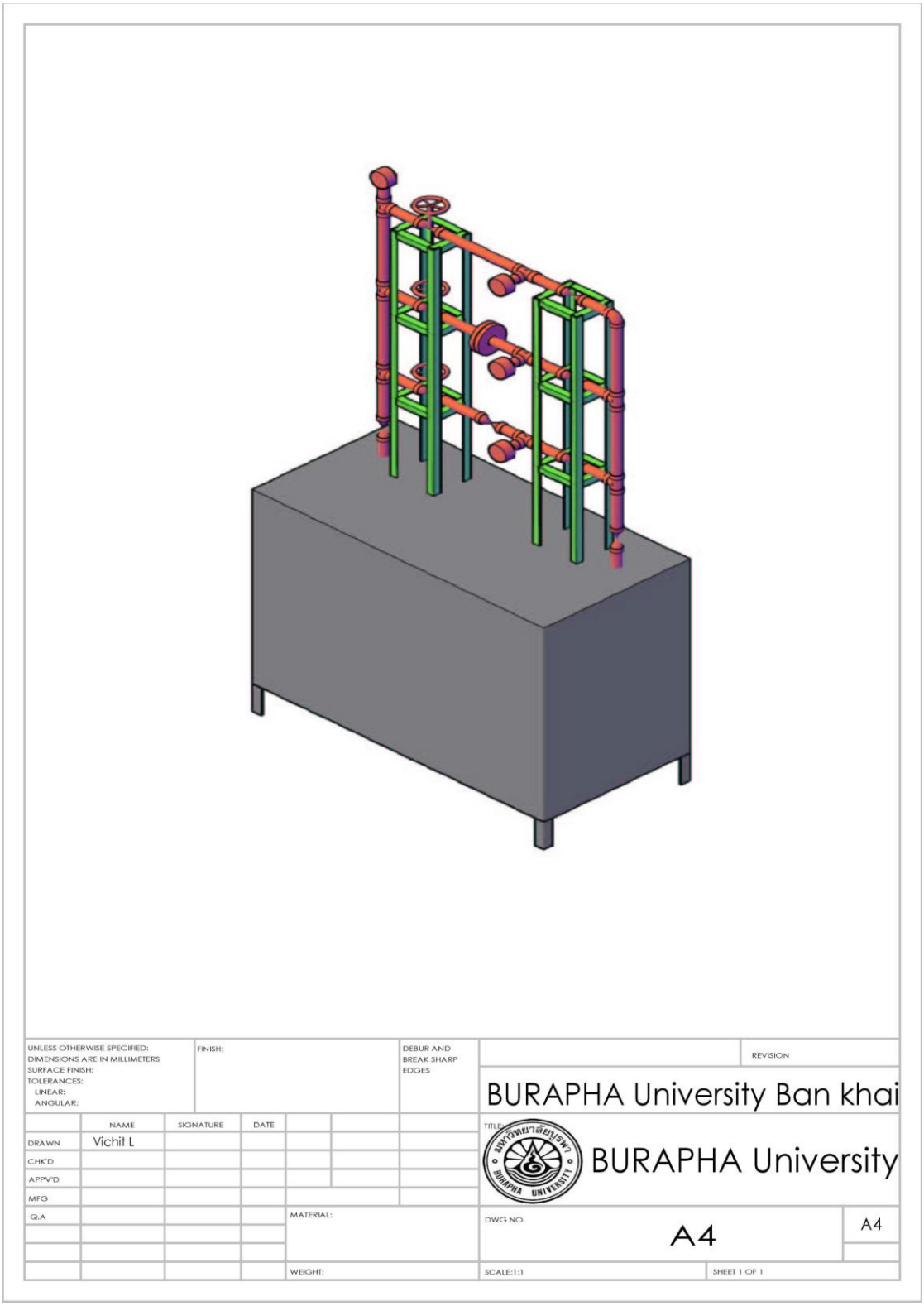
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงชื่อ ----------

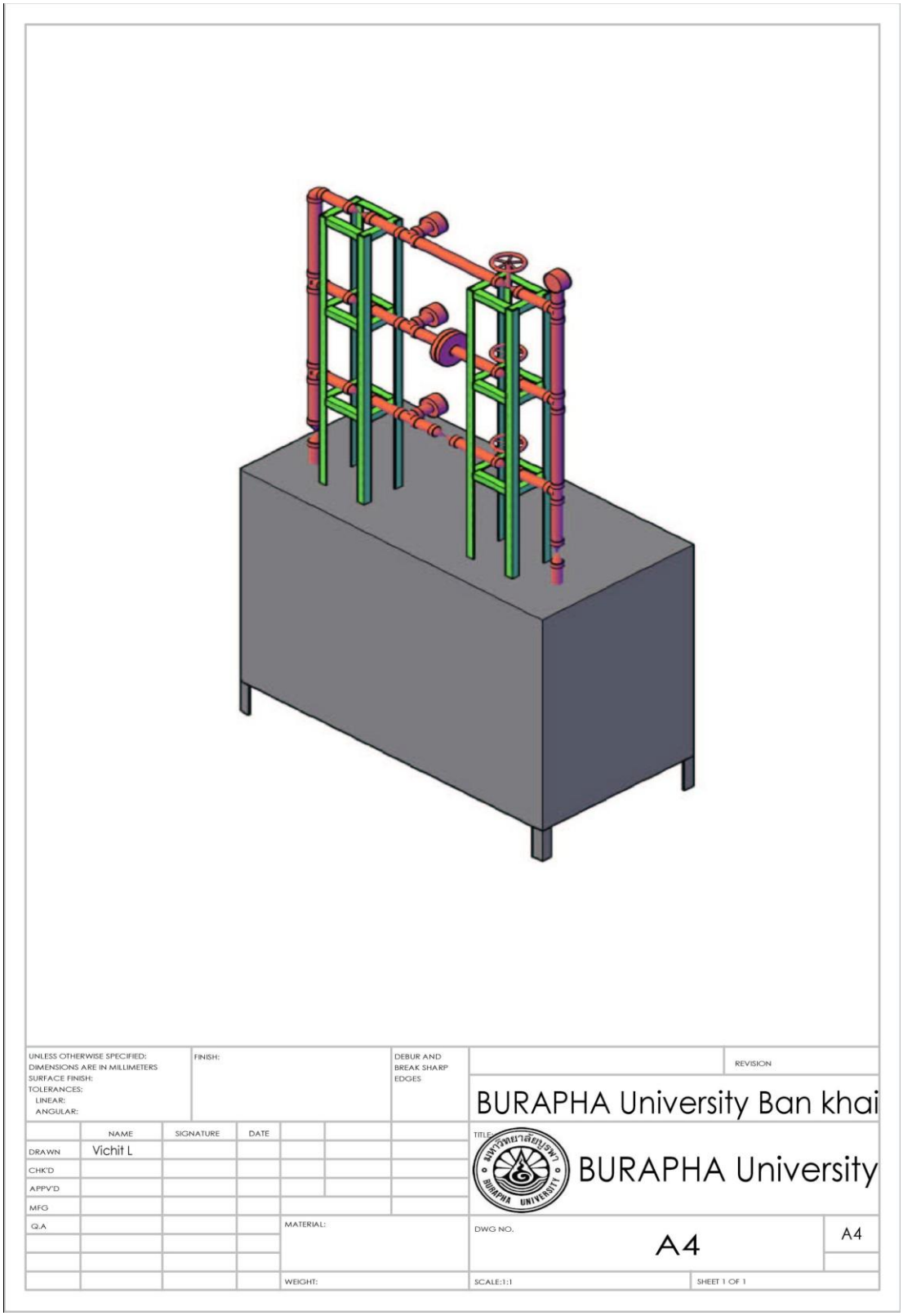
(----------)

ภาคผนวก ง

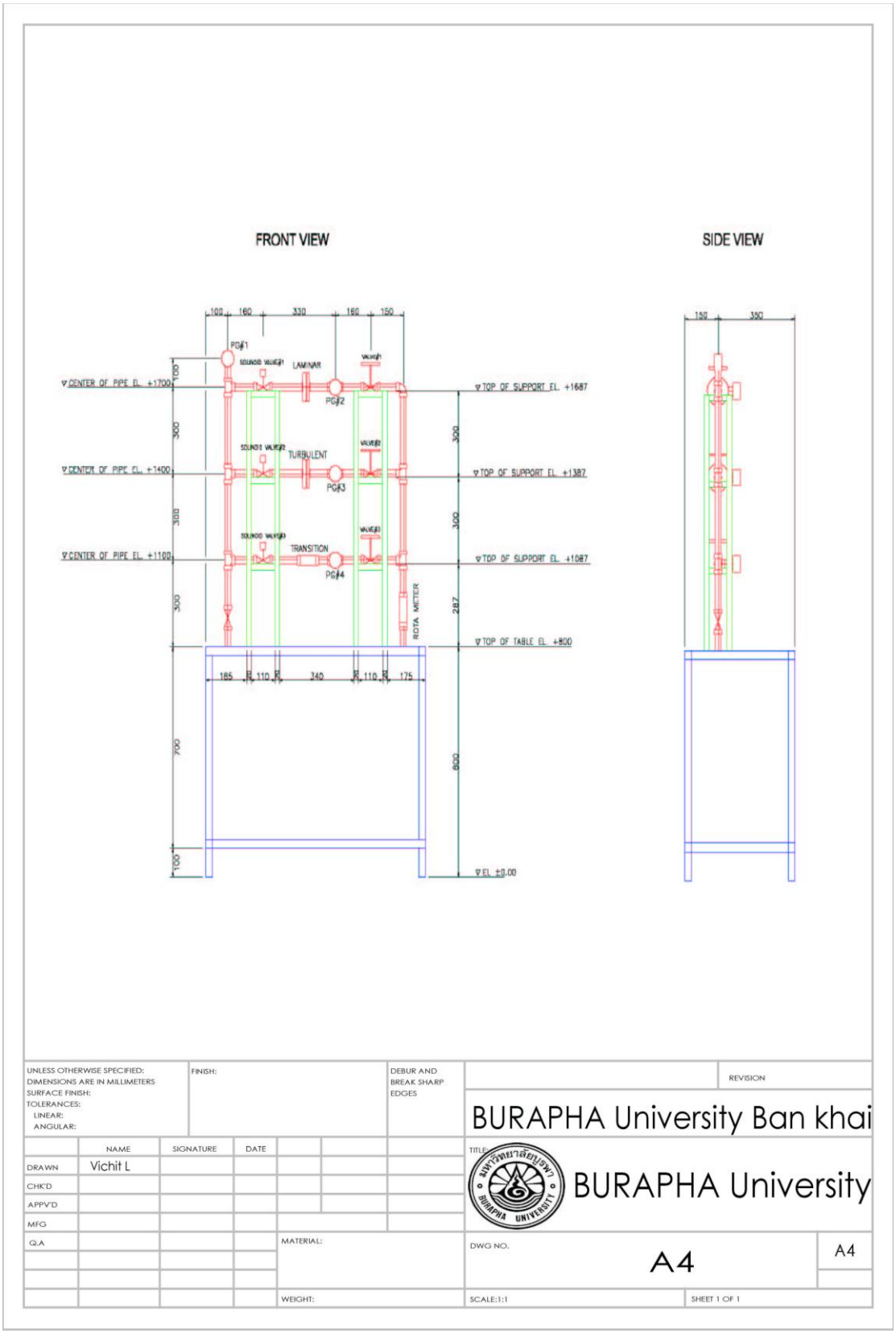
แบบชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล



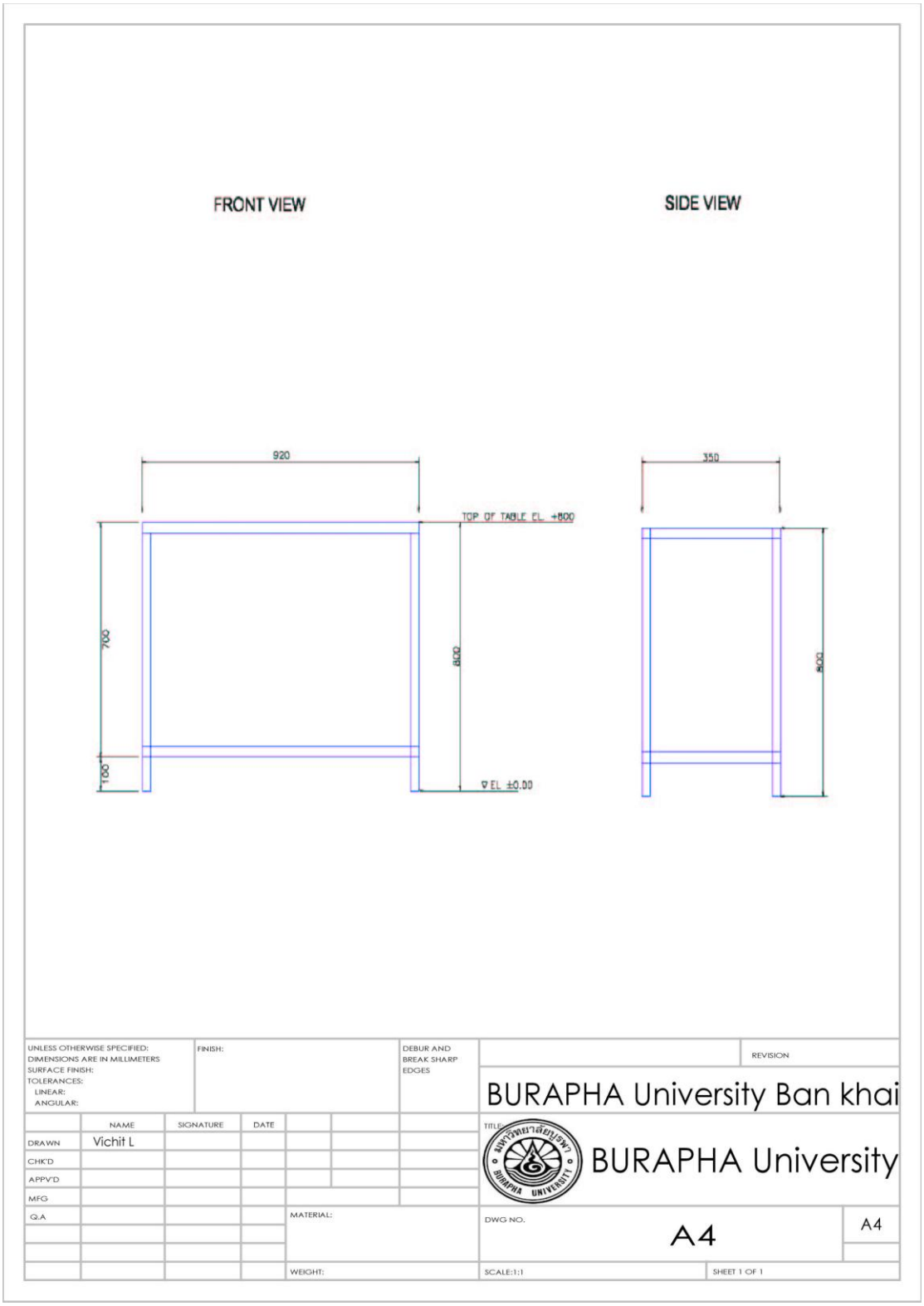
แบบ Drawing ด้านหน้าชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล



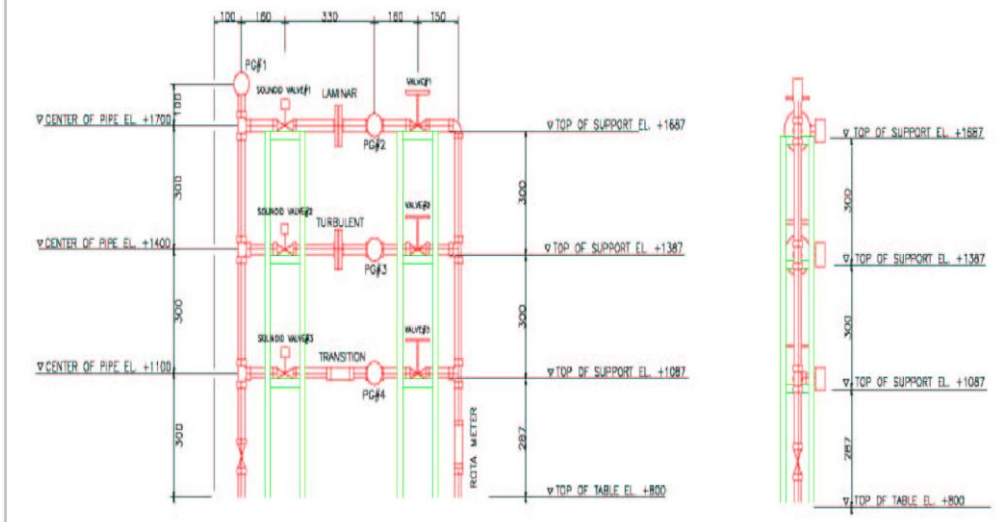
แบบ Drawing ด้านหลังชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล



แบบโครงสร้างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล



แบบโครงสร้างด้านล่างชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		REVISION	
						BURAPHA University Ban khai	
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: BURAPHA University	
DRAWN	Vichit L						
CHK'D							
APPV'D							
MFG							
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. A4	A4
				WEIGHT:		SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1

แบบโครงสร้างด้านบนชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

ภาคผนวก จ

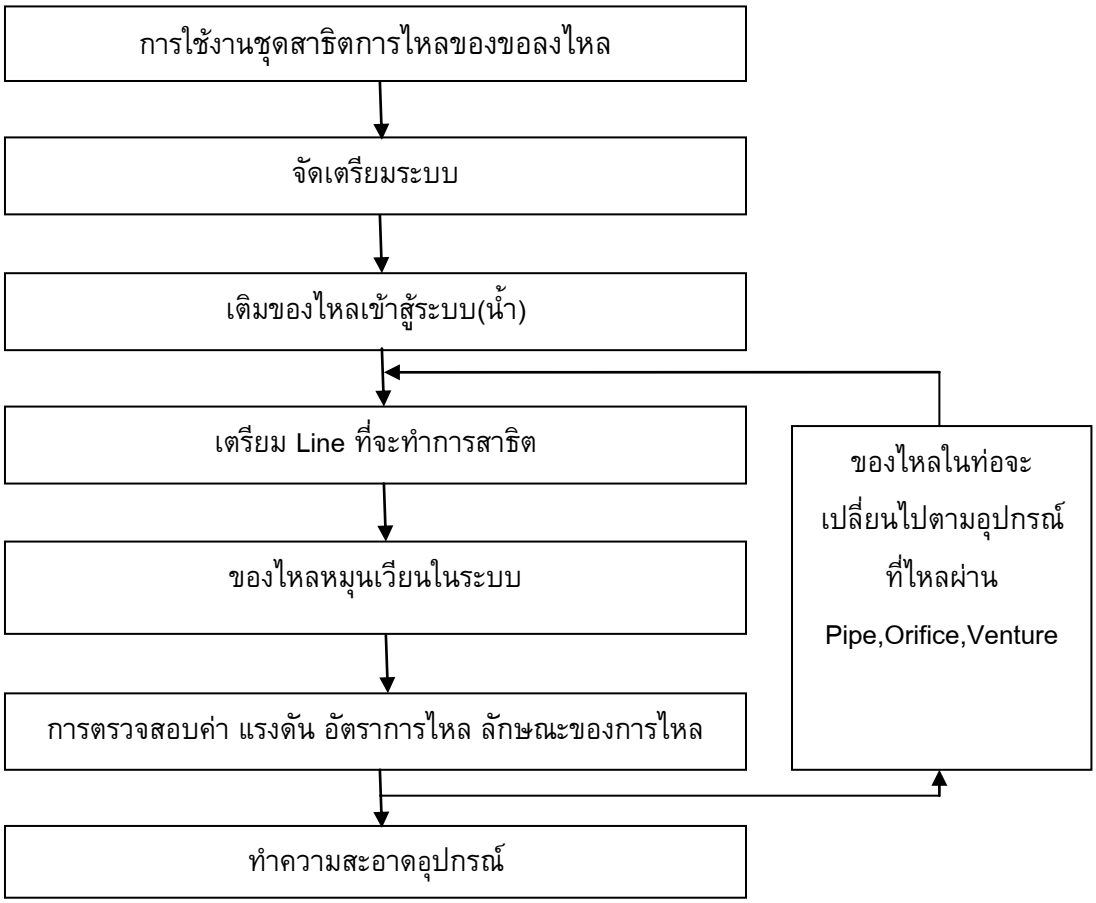
คู่มือการใช้งานชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

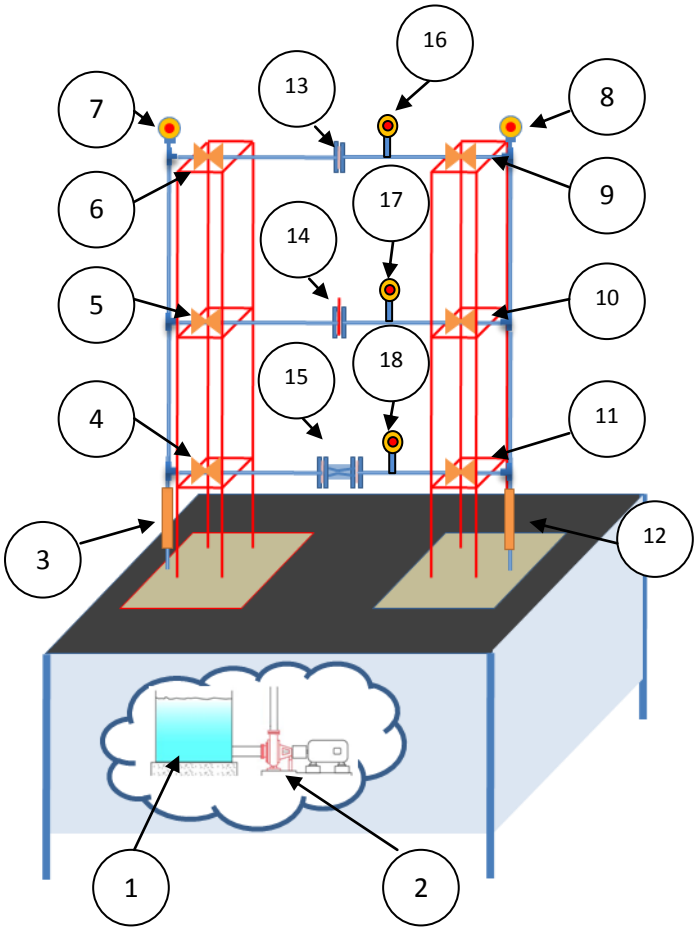
คู่มือการใช้งาน

เครื่องชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

1. หลักการเกี่ยวกับการใช้งานเซุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล

การเดินระบบและใช้งานชุดสาธิตการไหลของของไหลมีรายละเอียดดังที่จะนำเสนอต่อไป ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้





1.ถังน้ำ	7.Pressure Gauge 1	13.Flange
2.Centrifugal Pump	8.Thermometer	14.Orifice
3.Check Valve	9.Gate Valve 1	15.Venture
4.Diaphragm Valve 1	10.Gate Valve 2	16.Pressure Gauge 2
5.Diaphragm Valve 2	11.Gate Valve 3	17.Pressure Gauge 3
6.Diaphragm Valve 3	12.Rota Meter	18.Pressure Gauge 4

1.1 เติมน้ำใส่ถังประมาณ17ลิตร (1) (ควรเป็นน้ำที่สะอาด)

1.2 เตรียมระบบ Gate Valve ทุกตัวจะต้องอยู่ต่ำแหน่งเปิด (9) (10) (11)

1.3 Diaphragm Valve ทุกตัวอยู่ในต่ำแหน่งปิด (4) (5) (6)

1.4 1.4 เตรียมปลั๊กไฟสำหรับใช้เสียบ Start Pump (2) และชุดควบคลุม Diaphragm Valve โดยใช้กระแสไฟฟ้า220โวลล์

1.5 On ไฟฟ้าบนชุดควบคลุมและ Start Pumpน้ำเดินหมุนเวียนในระบบโดยผ่าน Main Flow Pumpกลับเข้าถังน้ำ

1.6 เริ่มทำการทดลองชุดสาธิตการไหลโดยขึ้นอยู่กับผู้ทดลองจะเลือกทดสอบระบบท่อไหนก่อนก็ได้ขึ้นอยู่กับการเปิด Diaphragm Valve

1.7 เลือกระบบทดสอบได้แล้วและทำการเปิดDiaphragmValveของระบบท่อที่จะทำการทดสอบและตรวจสอบค่า แรงดัน อัตราการไหลและลักษณะการไหลภายในท่อ (12) (16) (17) (18)

1.8 ของไหลภายในท่อจะเปลี่ยนไปตามอุปกรณ์ที่ไหลผ่าน Pipe, Orifice, Venture จะเป็นตัวกำหนด (13) (14) (15)

1.9 สามารถทดลองชุดสาธิตการไหลของของไหลได้เรื่อยๆตามความต้องการของผู้ทดลอง

1.10ถ้าเลิกทำการทดลองให้ทำการStopPumpและทำการกดปุ่มEmergencyและดึงปลั๊กไฟออก (2)

1.11ถ้าต้องการเริ่มทดลองชุดสาธิตการไหลใหม่ให้ทำตามขั้นตอนเหมือนเดิม

2. ส่วนประกอบของชุดสาธิต

ส่วนประกอบของวัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชุดสาธิตการไหลของของไหลมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ถังพลาสติก ขนาด 20 ลิตร 1 ถัง

2.2 Centrifugal Pump

2.3 ท่ออะคริลิคใส มีขนาดความหนาของท่อ 3 มิลลิเมตร น้ำหนักเบา และความยืดหยุ่นสูง

2.4 เครื่องวัดแรงดัน (PRESSURE GAUGE) 4 ตัว

2.5 เครื่องวัดอัตราการไหล (Rota meter)

2.6 Gate Valve 3 ตัว

2.7 Diaphragm Valve 3 ตัว

2.8 Orifice 1 อัน

2.9 Venture 1 อัน

2.10 Ball Valve 2 ตัว

2.11 Check Valve 1 ตัว

2.12 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 1ตัว

ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	: นาย กุญชร ศรีพินิจ
ปริญญานิพนธ์	: ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
สาขา	: เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
ประวัติการศึกษา	: มัธยมศึกษา โรงเรียนระยองวิทยาคม อ.เมือง จ.ระยอง
	: ปวช. วิทยาลัยเทคนิคระยอง อ.เมือง จ.ระยอง
	: ปวส. วิทยาลัยเทคนิคระยอง อ.เมือง จ.ระยอง
สถานที่ทำงาน	: บริษัท PTT Global Chemical Plc

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	: นาย รัตติกาล มหาเจริญ
ปริญญานิพนธ์	: ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
สาขา	: เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
ประวัติการศึกษา	: มัธยมศึกษา โรงเรียนวัดป่าประดู่ จ.ระยอง
	: ปวช. เทคโนโลยี IRPC อ.เมือง จ.ระยอง
	: ปวส. เทคโนโลยี IRPC อ.เมือง จ.ระยอง
สถานที่ทำงาน	: บริษัท PTT ME Co., Ltd

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	: นางสาวญาณิศา เกี่ยวพันธ์
ปริญญานิพนธ์	: ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล
สาขา	: เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
ประวัติการศึกษา	: มัธยมศึกษา โรงเรียนระยองวิทยาคมปากน้ำ อ.เมือง จ.ระยอง
	: ปวช. วิทยาลัยเทคนิคระยอง อ.เมือง จ.ระยอง
	: ปวส. วิทยาลัยเทคนิคระยอง อ.เมือง จ.ระยอง
สถานที่ทำงาน	: บริษัทยูนิตี้ อินดัสเตรียล จำกัด