



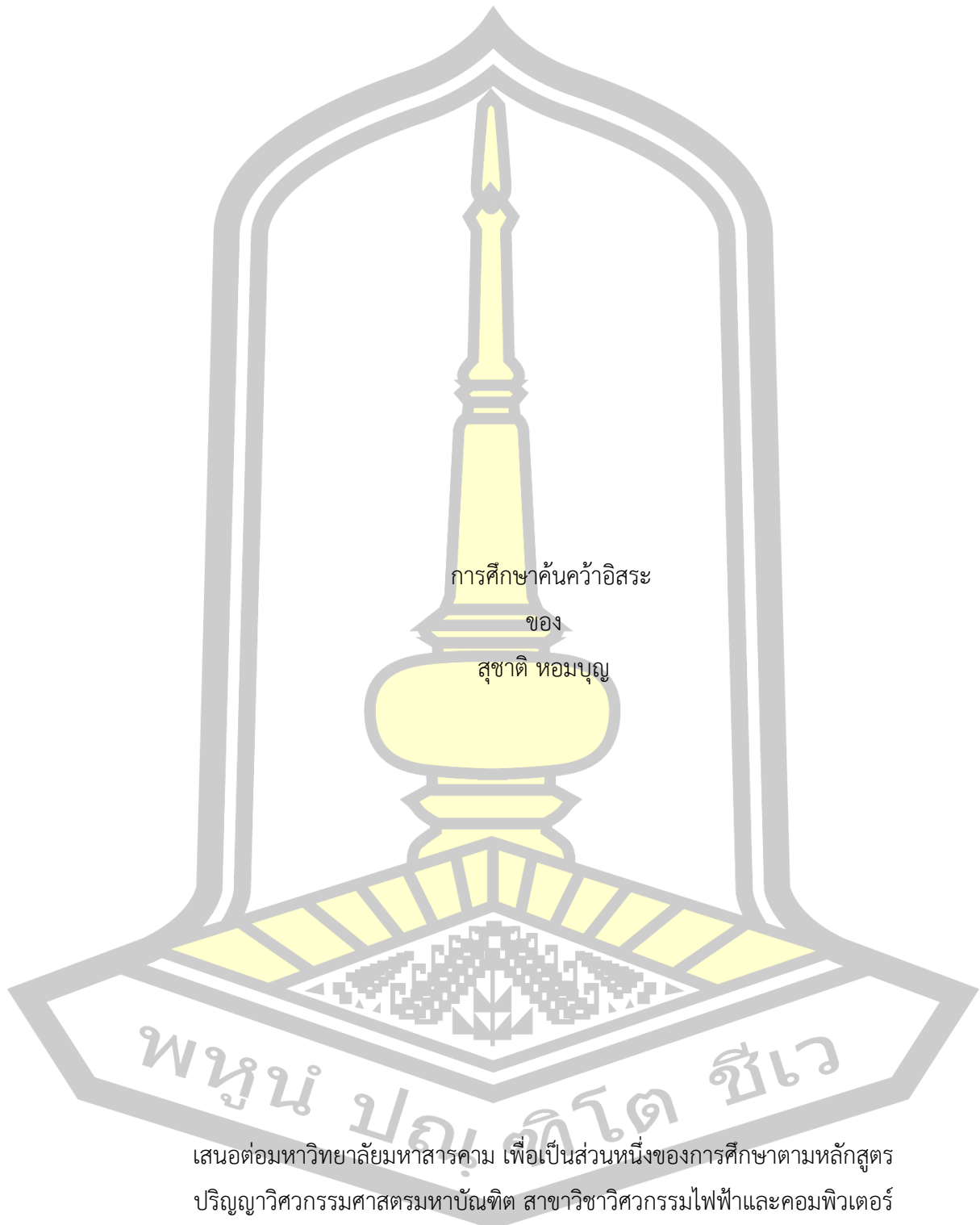
การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสำหรับการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ

การศึกษาค้นคว้าอิสระ  
ของ  
สุชาติ หอมบุญ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
สิงหาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสำหรับการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ



การศึกษาค้นคว้าอิสระ  
ของ  
สุชาติ หอมบุญ

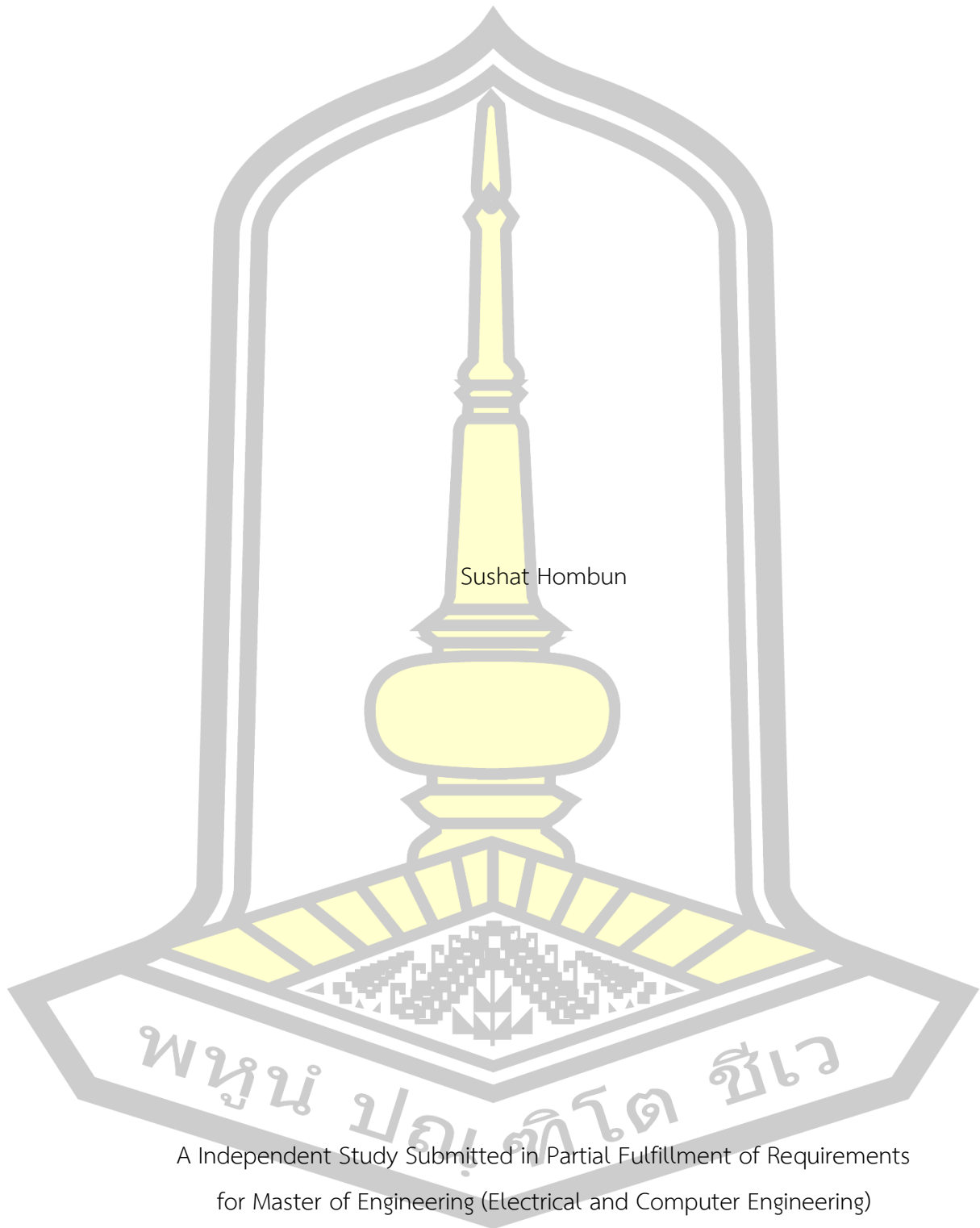
พณฺ์ ปณฺ์คิโต ชีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

An Application of Pressure Transmitter for Steam Flow Rates Measurement



Sushat Hombun

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

August 2021

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาชั้นคว่ำอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาชั้นคว่ำอิสระของนายสุชาติ หอมบุญ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

( ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผศ. ดร. สุพรรณนิกา วัฒนะ )

.....กรรมการ

( รศ. ดร. วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล )

.....กรรมการ

( ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....  
( รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป )

.....  
( รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

**ชื่อเรื่อง** การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสำหรับการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ  
**ผู้วิจัย** สุชาติ หอมบุญ  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณนิภา วัฒนนะ  
**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
**มหาวิทยาลัย** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2564

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำที่มีราคาสูง จากผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดอัตราการไหลและปริมาณการใช้ไอน้ำทดแทนอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ ซึ่งการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันจะช่วยให้ประหยัดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำได้มากกว่าร้อยละ 80

คำสำคัญ : อัตราการไหล, ระบบไอน้ำ, การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

พูน ปณ ทิโต ชีเว

**TITLE** An Application of Pressure Transmitter for Steam Flow Rates Measurement

**AUTHOR** Sushat Hombun

**ADVISORS** Assistant Professor Supannika Wattana , Ph.D.

**DEGREE** Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

**UNIVERSITY** Mahasarakham University **YEAR** 2021

### ABSTRACT

This research presents an application of a pressure transmitter to measure steam flow rates with a view to reduce installation cost of a costly steam flow meter. The result shows that a pressure transmitter can be used as substitute for steam flow meter to measure steam flow rate and steam consumption with the average error of 12% as compared to measurements by a steam flow meter. The application of a pressure transmitter would save more than 80% of an installation cost of a steam flow meter.

Keyword : Flow rate, Steam process, Multiple Linear Regression

พหุบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการ RDI (Research Development and Industrialization Process) โดย สอวช. รวมถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ บริษัท สิงห์ เบเวอเรจ จำกัด ซึ่งเป็นสถานที่ในการทำวิจัย กราบขอบพระคุณผู้บริหารและพนักงานทุกท่านมา ณ ที่นี้

สุชาติ หอมบุญ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล.....	3
2.1 ระบบไอน้ำ.....	3
2.2 หม้อไอน้ำ (Boiler).....	4
2.3 การไหลภายในท่อ.....	8
2.4 วาล์วควบคุม (Control Valve).....	24
2.5 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression).....	25
2.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	37
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	39

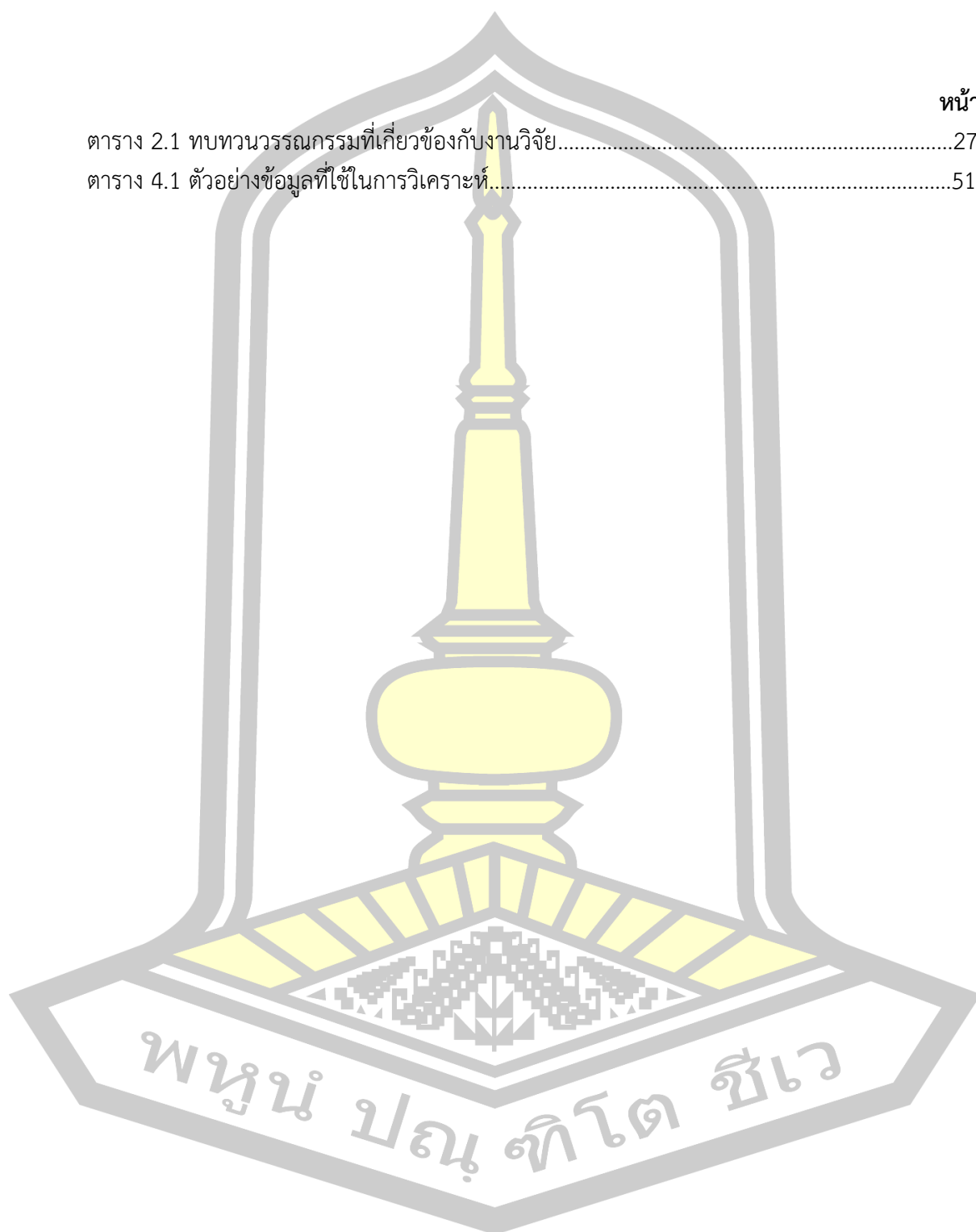


3.3 หลักการทำงานของการทำงานการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันเพื่อวัดอัตราการไหลของไอน้ำ	49
.....	.....
บทที่ 4	51
ผลการดำเนินงานวิจัย	51
4.1 การรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	51
4.2 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยฟังก์ชันคำสั่ง Regression ในโปรแกรม Microsoft Excel	52
.....	.....
4.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล	53
บทที่ 5	55
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	55
5.3 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	57
ประวัติผู้เขียน	60



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	27
ตาราง 4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	51

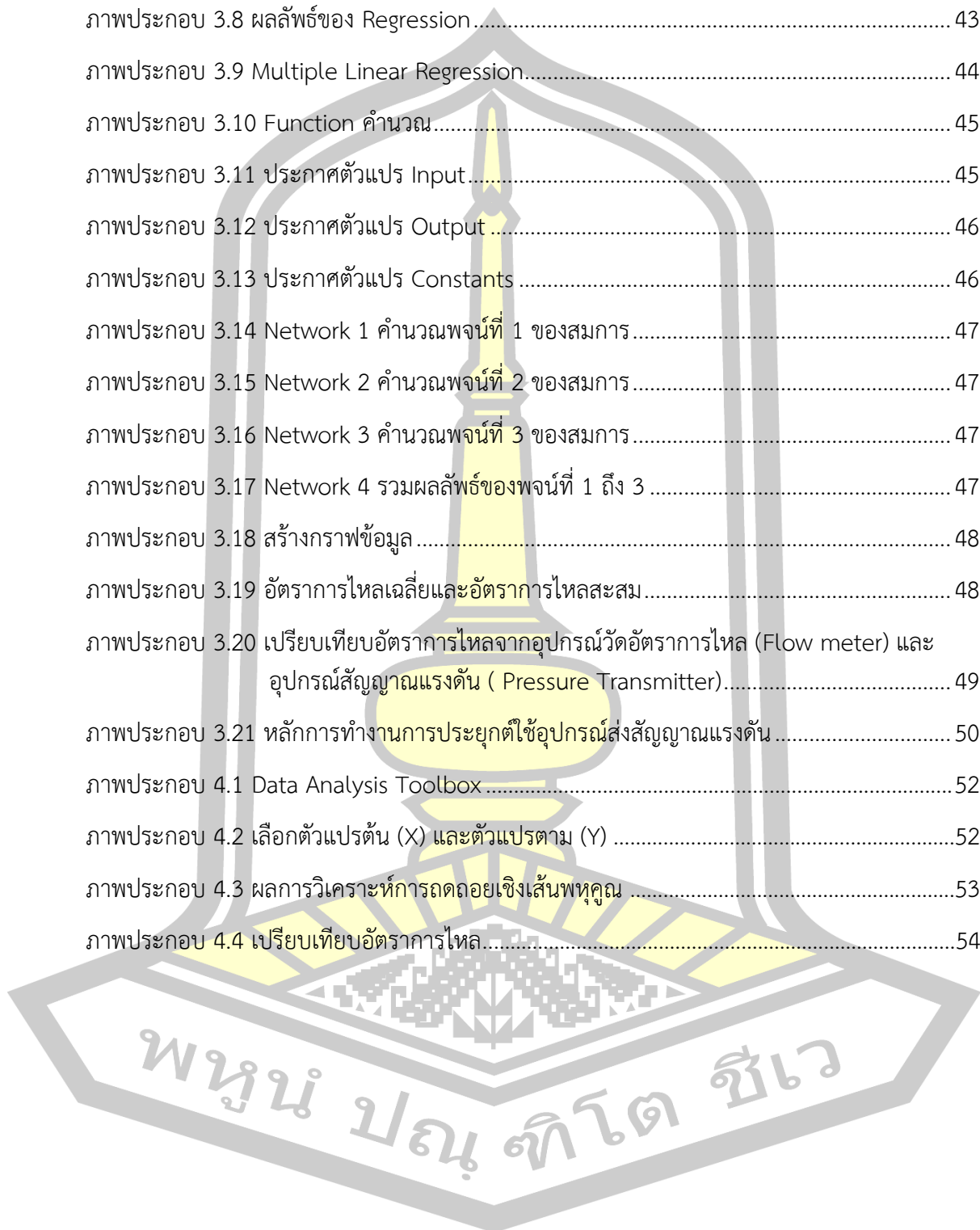




## สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อน้ำ [1] .....	3
ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ [1] .....	5
ภาพประกอบ 2.3 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก [1] .....	6
ภาพประกอบ 2.4 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง [1] .....	6
ภาพประกอบ 2.5 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง [1] .....	7
ภาพประกอบ 2.6 เครื่องมือทดสอบการไหลและพฤติกรรมการไหลของเรย์โนลด์ [2] .....	8
ภาพประกอบ 2.7 การไหลบริเวณปากทางเข้าท่อในสภาวะการไหลแบบราบเรียบ [2] .....	10
ภาพประกอบ 2.8 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน [2] .....	11
ภาพประกอบ 2.9 มาตรวัดความดันแบบไดอะแฟรม(Diaphragm) [1] .....	13
ภาพประกอบ 2.10 มาตรวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon) [3] .....	13
ภาพประกอบ 2.11 มาตรวัดความดันแบบเบลโลว์ [1] .....	14
ภาพประกอบ 2.12 มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า [4] .....	14
ภาพประกอบ 2.13 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Positive Displacement Meters [6] .....	18
ภาพประกอบ 2.14 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Inferential Meters [6] .....	18
ภาพประกอบ 2.15 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Oscillatory Flow Meters [6] .....	19
ภาพประกอบ 2.16 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Differential Pressure Meters [6] .....	19
ภาพประกอบ 2.17 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Electromagnetic Flow Meters [6] .....	20
ภาพประกอบ 2.18 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic Flow Meters [6] .....	20
ภาพประกอบ 3.1 โปรแกรม SIMATIC WinCC .....	40
ภาพประกอบ 3.2 โปรแกรม Sublime Text .....	40
ภาพประกอบ 3.3 ฐานข้อมูล phpMyAdmin .....	41
ภาพประกอบ 3.4 โปรแกรม MySQL front .....	41
ภาพประกอบ 3.5 Export ด้วยโปรแกรม MySQL front .....	42
ภาพประกอบ 3.6 Data Analysis Toolbox .....	42

ภาพประกอบ 3.7 การใช้งานฟังก์ชันคำสั่ง Regression.....	43
ภาพประกอบ 3.8 ผลลัพธ์ของ Regression.....	43
ภาพประกอบ 3.9 Multiple Linear Regression.....	44
ภาพประกอบ 3.10 Function คำนวณ.....	45
ภาพประกอบ 3.11 ประกาศตัวแปร Input.....	45
ภาพประกอบ 3.12 ประกาศตัวแปร Output.....	46
ภาพประกอบ 3.13 ประกาศตัวแปร Constants.....	46
ภาพประกอบ 3.14 Network 1 คำนวณพจน์ที่ 1 ของสมการ.....	47
ภาพประกอบ 3.15 Network 2 คำนวณพจน์ที่ 2 ของสมการ.....	47
ภาพประกอบ 3.16 Network 3 คำนวณพจน์ที่ 3 ของสมการ.....	47
ภาพประกอบ 3.17 Network 4 รวมผลลัพธ์ของพจน์ที่ 1 ถึง 3.....	47
ภาพประกอบ 3.18 สร้างกราฟข้อมูล.....	48
ภาพประกอบ 3.19 อัตราการไหลเฉลี่ยและอัตราการไหลสะสม.....	48
ภาพประกอบ 3.20 เปรียบเทียบอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) และ อุปกรณ์สัญญาณแรงดัน ( Pressure Transmitter).....	49
ภาพประกอบ 3.21 หลักการทำงานการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน.....	50
ภาพประกอบ 4.1 Data Analysis Toolbox.....	52
ภาพประกอบ 4.2 เลือกตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y).....	52
ภาพประกอบ 4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....	53
ภาพประกอบ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการไหล.....	54



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อนที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาลและโรงแรม ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องต้ม ก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ตั้งแต่ กระบวนการต้มเป็ียร์ การหมักเป็ียร์ การกรองเป็ียร์ การบ่มเป็ียร์ กระทั่งการบรรจุเป็ียร์ กระบวนการเหล่านี้ล้วนมีการใช้ไอน้ำทั้งสิ้น ทำให้หม้อไอน้ำ (Boiler) ถูกนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยในระบบหม้อไอน้ำนั้นถือว่ามีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก จึงมีความเสี่ยงเปลืองหรือราคาต้นทุนของการผลิตที่สูงเนื่องจากกระบวนการผลิตต่างๆที่ใช้พลังงานความร้อนจะอาศัยสารนำพาความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ไอน้ำ น้ำมันร้อนหรือน้ำร้อน เป็นต้นซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตโดยตรงเป็ียร์

เนื่องด้วยรูปแบบการส่งไอน้ำไปยังกระบวนการต่าง ๆ ภายในโรงงานใช้การขนส่งในท่อระบบปิด จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow meter) เพื่อให้ทราบทั้งอัตราการไหลของไอน้ำและปริมาณการใช้งานไอน้ำในกระบวนการนั้น ๆ แต่ทว่าภายในโรงงานไม่ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow meter) ในทุกกระบวนการที่ใช้ไอน้ำเนื่องด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาที่สูง หากนำมาติดตั้งทุก ๆ กระบวนการที่ใช้ไอน้ำจะทำให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายทั้งในการซื้อและติดตั้งในจำนวนมากเกินความจำเป็น

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะวัดอัตราการไหลของไอน้ำโดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน(Pressure Transmitter) ที่ใช้สำหรับวัดความดันของไอน้ำภายในท่อที่มีราคาที่ถูกกว่าอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow meter) และวาล์วควบคุม(Control valve) แล้วคำนวณหาความสัมพันธ์ของค่าความดันไอน้ำกับอัตราการไหลของไอน้ำ พร้อมทั้งแสดงผลในรูปแบบของกราฟแบบเวลาจริง (Real Time) เพื่อให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แบบทันทีทันใด

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้อุปกรณ์วัดความดันไอน้ำ (Steam pressure transmitter) สำหรับวัดอัตราการไหลของไอน้ำพร้อมทั้งแสดงผลของกราฟแบบเวลาจริง (Real Time)

#### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

##### 1.3.1 ศึกษาการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตเครื่องต้ม

1.3.2 ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้

1.3.3 ออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์ รวมถึงพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณและแสดงผลข้อมูลแบบ Real Time

1.3.4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบอัตราการไหลและปริมาณการใช้ไอน้ำแบบเวลาจริง (Real time) ผ่านหน้าจอแสดงผล (Monitor) โดยไม่ต้องไปที่หน้างานช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

1.4.2 ช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติของการทำงานของระบบไอน้ำ (Steam process) จากค่า Actual Flow rate เทียบกับ Manual Flow rate



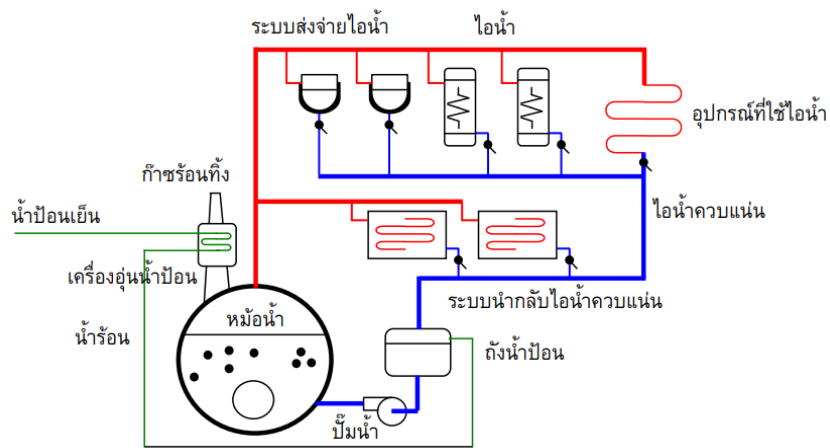
## บทที่ 2

### ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

สำหรับการวัดอัตราการไหลของไอน้ำนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำและหม้อต้มไอน้ำรวมถึงผู้ใช้ไอน้ำและอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดแรงดัน วัดอัตราการไหลของไอน้ำและวิธีการคำนวณที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ดังจะกล่าวในหัวข้อ 2.1 ระบบไอน้ำ 2.2 หม้อไอน้ำ (Boiler) 2.3 การไหลภายในท่อ 2.4 วาล์วควบคุม (Control Valve) 2.5 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) และ 2.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบไอน้ำ

ระบบไอน้ำ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วย หม้อน้ำ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ หม้อน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำ ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่นหรือคอนเดนเสท (Condensate) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง) ดังภาพประกอบ 2.1 ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็น ได้ในหลายอุตสาหกรรม



ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อน้ำ [1]

จากภาพประกอบ 2.1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อน้ำ เพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ในโรงงาน ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมาเก็บ ไว้ในถังน้ำป้อนเพื่อรวมกับน้ำเดิม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อน้ำ และผลิตเป็นไอน้ำต่อไป [1]



## 2.2 หม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำ เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ โดยสามารถผลิตไอน้ำได้ทั้งปริมาณและความดันที่ต้องการ ดังนั้นหม้อไอน้ำจึงมีหลายแบบตามความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) จะใช้ในการถ่ายเทความร้อน (Heat Exchanger) ในกระบวนการผลิตและไอน้ำยิ่งยวด (Superheat Steam) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะใช้เป็นต้นกำลัง (Power Plant) เช่น ขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

คำจำกัดความของหม้อไอน้ำตามกฎหมายกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ หม้อต้มน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำ ความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ระบุว่า หม้อไอน้ำ หมายถึง ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มี ปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ ระดับน้ำทะเล หรือ ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตไอน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตร ขึ้นไป

### 2.2.1 โครงสร้างของหม้อไอน้ำ

2.2.1.1 เตา (Furnace) หรือห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) เป็นส่วนสำหรับให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้หรือสันดาปกับอากาศ

2.2.1.2 ส่วนที่เก็บน้ำ (Water space) เป็นส่วนที่เก็บน้ำไว้ในหม้อไอน้ำ

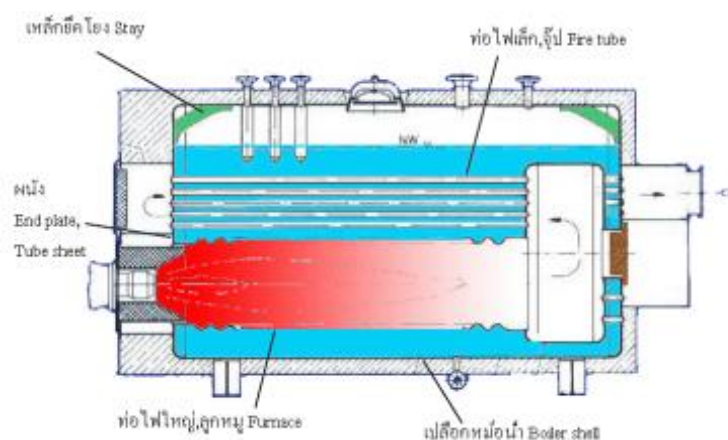
2.2.1.3 ส่วนที่เก็บไอน้ำ (Steam space) คือ ส่วนที่สะสมไอน้ำที่เกิดจากการผลิตไอน้ำ

### 2.2.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะโครงสร้างคือ หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ และหม้อไอน้ำแบบอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถจัดอยู่ในหม้อไอน้ำสองประเภทแรกได้ ซึ่งรายละเอียด ของหม้อไอน้ำแต่ละประเภทยังคงมีดังต่อไปนี้

2.2.2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) คือ หม้อไอน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำ ที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่นอกท่อ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2

พูน ปรณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ [1]

หม้อน้ำแบบท่อไฟยังสามารถแบ่งตามลักษณะการจัดวางท่อไฟได้อีก 3 ประเภทย่อย ได้แก่

2.2.2.1.1 หม้อน้ำแบบท่อไฟนอน (Horizontal package fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนจากก๊าซร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อไฟนั้น โดยมีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงกระบอกนอนเป็นภาชนะรับความดันไอน้ำและเก็บกักน้ำไว้ ขนาดของหม้อน้ำแบบท่อไฟนอนส่วนใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำอยู่ประมาณ 100-12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ประมาณ 1-2 MPa สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำและความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดที่สูงกว่านี้จะเป็นหม้อน้ำที่ต้องออกแบบเป็นพิเศษจึงที่มีใช้งานกันไม่มาก เนื่องจากข้อจำกัดทางโครงสร้างการออกแบบ

หม้อน้ำแบบท่อไฟสำเร็จรูป (Package fire tube boiler) ที่ใช้งานกันมากที่สุด คือ หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก (3-pass wet back fire tube boiler) ประมาณ 80% ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3 รองลงมาคือหม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง (4-pass dry back fire tube boiler) ประมาณ 10% ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงภาพประกอบ 4 หม้อน้ำทั้ง 2 แบบ เป็นหม้อน้ำแบบสำเร็จรูปแบบท่อไฟนอน ขนาดของหม้อน้ำแบบนี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำอยู่ระหว่าง 500 - 12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) อยู่ระหว่าง 1-2 MPa และส่วนใหญ่ ประมาณ 70% ของผู้ใช้หม้อน้ำแบบนี้จะผลิตไอน้ำที่ความดัน 750 kPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิง เป็นไอน้ำอยู่ระหว่าง 80-93% (LHV)

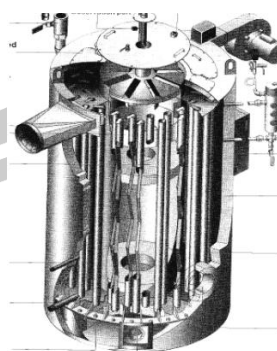


ภาพประกอบ 2.3 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลีบ หลังเป็ยก [1]



ภาพประกอบ 2.4 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลีบ หลังแห้ง [1]

2.2.2.1.2 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง (Vertical fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็กมีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงตั้งที่เก็บน้ำอยู่ประมาณ 80% ของความสูงของหม้อน้ำมีท่อไฟขนาดเล็กจำนวนหลายท่อเพื่อรับการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนซึ่งไหลภายในท่อไฟ ตำแหน่งห้องเผาไหม้หรือลักษณะการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบของผู้ผลิต ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง [1]

หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก ขนาดไม่ใหญ่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็วเป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมากมีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซแต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตันและต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อยถ้าต้องการจะใช้หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งที่ใช้น้ำมันเตาแบบเชื้อเพลิงควรจะเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซเพราะมีราคาเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาดขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-85% (LHV) หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นแต่มีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น

2.2.2.1.3 หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก (Tubeless boiler) มีรูปร่างโครงสร้างคล้ายกันกับหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเป็นอย่างมาก เพียงแต่ภายในหม้อน้ำไม่มีท่อไฟเล็กแต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟเพราะมีท่อไฟใหญ่เป็นห้องเผาไหม้อยู่ตรงกลางหรืออาจจะเป็นหม้อน้ำแบบลูกหมูตั้งก็ได้เพราะมีลักษณะคล้ายกับหม้อน้ำแบบลูกหมูของโรงสีแต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำท่อไฟตั้งสมัยใหม่ที่ใช้ระบบหัวพ่นไฟและระบบความปลอดภัยที่ทันสมัย

หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็ก เหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มากและไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็ว เป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตันและต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อยเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซเพราะมีราคาเชื้อเพลิงถูกกว่าและมีการเผาไหม้สะอาด ขนาดกำลังผลิตของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-80% (LHV) ซึ่งน้อยกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเล็กน้อย หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นๆ แต่มีราคาเครื่องต่ำกว่า

2.2.2.2 หม้อน้ำแบบท่อ (Water tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีน้ำอยู่ภายในท่อ รับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกท่อเพื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำ หม้อน้ำแบบท่อนี้มีหลากหลายประเภท มีขนาด กำลังผลิตไอน้ำตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จนถึงขนาดใหญ่มากที่สามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ มากกว่า 1,300 MW ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ระหว่างประมาณ 1-31 MPa และอุณหภูมิสูง ถึง 593 °C

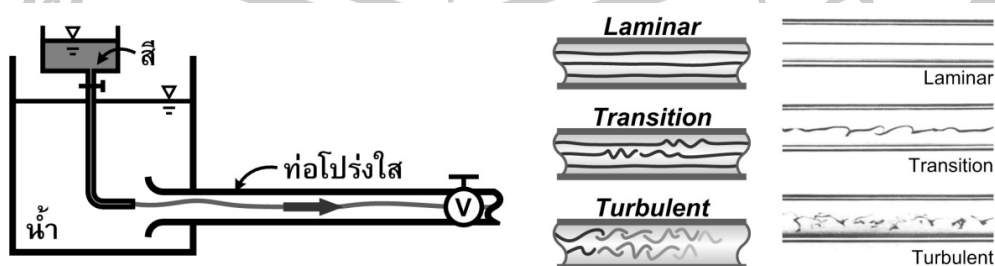
สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำมากกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงมักจะเป็นหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่า 1 MPa เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างที่สามารถรับความดันไอน้ำได้สูงกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟซึ่งใช้เปลือกหม้อน้ำเป็นส่วนรับความดัน จึงไม่สามารถรับความดันไอน้ำที่สูงมากได้ การเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อควรเลือกใช้งานในกรณีที่ต้องการผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 1.5 MPa หรือต้องการปริมาณไอน้ำมากกว่า 15,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการผลิตไอน้ำความดันและปริมาณต่ำกว่านี้ไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อ เพราะการดูแลบำรุงรักษาที่ยุ้งยากกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูงและหม้อน้ำต้องมีการหยุดเครื่องบ่อยและเป็นเวลานานหลายวัน เพราะแม้ว่าหม้อน้ำจะมีระบบ Boiler lay-up ทำการอุ่นหม้อน้ำไม่ให้เกิดการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการอุ่นหม้อน้ำให้ร้อนอยู่ตลอดเวลา [1]

## 2.3 การไหลภายในท่อ

การไหลภายในท่อของของไหลประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างซึ่งประกอบไปด้วย

### 2.3.1 พฤติกรรมของการไหลในท่อ (Behavior of flow in pipe)

ในปี ค.ศ. 1883 ออสบอร์น เรย์โนลด์ (Osborne Reynolds) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการไหลในท่อ โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยถังน้ำขนาดใหญ่ เชื่อมต่อกับท่อโปร่งใสที่มีวาล์วควบคุมการไหลอยู่ที่ปลายท่อ และถังบรรจุสีขนาดเล็กเชื่อมต่อกับท่อขนาดเล็ก ทำหน้าที่ปล่อยอนุภาคสีเข้าไปภายในท่อโปร่งใส ลักษณะดังภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 เครื่องมือทดสอบการไหลและพฤติกรรมการไหลของเรย์โนลด์ [2]

จากผลการทดลอง พบว่าสามารถแบ่งพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในท่อได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) จะเกิดกับการไหลของของไหลที่มีความหนืดสูง หรือความเร็วในการไหลต่ำ อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบขนานกับทิศทางของการไหล ซึ่งสังเกตได้จากแนวเส้นสีที่เกิดขึ้นจากการทดลองจะมีลักษณะเป็นเส้นที่ค่อนข้างตรงและราบเรียบ

2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) จะเกิดกับการไหลของของไหลที่มีความหนืดต่ำหรือความเร็วในการไหลมาก อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบ แนวเส้นทางการเคลื่อนที่มีความแปรปรวนมาก โดยจะสังเกตได้จากแนวเส้นสีที่เกิดขึ้นจากการทดลองจะกวัดแกว่งไปมาไม่เป็นระเบียบและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

3. การไหลในช่วงแปรเปลี่ยน (Transition Flow) เป็นช่วงของการไหลที่กำลังจะพัฒนาพฤติกรรม จากการไหลแบบราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนเป็นช่วงที่ไม่สามารถคาดเดาพฤติกรรมของการไหลได้อย่างแน่นอน เพราะในบางตำแหน่งหรือบางช่วงเวลาใด ๆ พฤติกรรมของการไหลอาจเป็นไปได้ทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน โดยจะสังเกตได้จากแนวเส้นสีที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ในบางตำแหน่งจะมีลักษณะกวัดแกว่งไปมาในขณะที่ส่วนอื่น ๆ มีลักษณะราบเรียบหรือที่ตำแหน่งเดียวกันในบางเวลาอาจมีลักษณะ ราบเรียบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปอาจมีลักษณะกวัดแกว่งไปมาไม่สามารถคาดเดาได้

นอกจากนี้ การศึกษาของเรย์โนลด์ยังพบว่าพฤติกรรมทั้ง 3 ลักษณะยังสอดคล้องกับค่าของกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มหนึ่ง ซึ่งภายหลังเรียกว่า เรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Reynolds Number ; Re) กล่าวคือ ถ้า

$Re < 2000$	จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ
$2000 < Re < 4000$	จะเป็นการไหลในช่วงแปรเปลี่ยน
$Re > 4000$	จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

โดย Reynolds Number ของการไหลในท่อกลมคำนวณได้จาก

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล

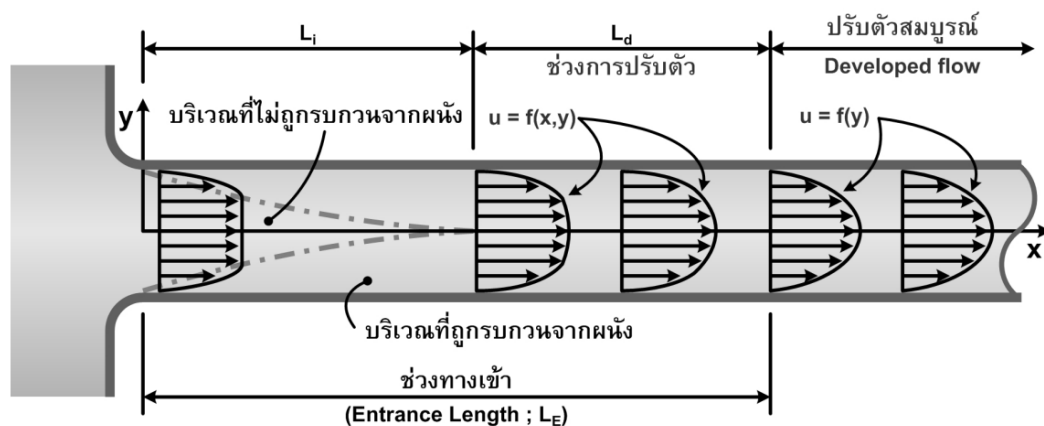
$\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity ;  $\mu_{\text{Water at } 22^{\circ}\text{C}} = 1.0 \times 10^{-3}$ )

$\nu$  = ความหนืดคิเนแมติก (Kinematic Viscosity ;  $\nu_{\text{Water at } 22^{\circ}\text{C}} = 1.0 \times 10^{-6}$ )

### 2.3.2 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อ (Entrance Flow Development)

พิจารณาพฤติกรรมของการไหลเมื่อของไหลเดินทางมาถึงบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อกับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ก่อนที่ของไหลจะเดินทางเข้าสู่ภายในท่ออนุภาคของของไหลบนหน้าตัดใด ๆ จะเคลื่อนตัวด้วยความเร็วเท่า ๆ กัน เนื่องจากยังไม่ถูกรบกวนจากผนังแต่เมื่อของไหลเดินทางเข้าสู่ภายในท่อ อนุภาคของไหลจะถูกรบกวนจากแรงเสียดทานจากผนังท่อ จึงทำให้อนุภาคที่ติดกับผนังนั้นมีความเร็วเป็นศูนย์และเนื่องจากตัวของไหลเองมีความหนืด จึงทำให้อนุภาคที่อยู่ถัดไปก็จะมีความเร็วลดลงตามลำดับ ซึ่งในช่วงเริ่มต้นอนุภาคที่อยู่บริเวณกึ่งกลางท่อนั้นยังไม่ได้รับผลกระทบดังกล่าว แต่เมื่อของไหลเดินทางต่อไปผลกระทบจากผนังจะขยายตัวเข้าสู่กึ่งกลางท่อ จนกระทั่งครอบคลุมทั่วทั้งหน้าตัด หลังจากนั้นความเร็วของอนุภาคของไหลจะมีการปรับตัวอย่างต่อเนื่องจนท้ายที่สุดเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยระยะทางในช่วงของการปรับตัวนี้จะเรียกว่า ช่วงทางเข้า (Entrance length :  $L_E$ )

2.3.2.1 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบราบเรียบ (Entrance condition in laminar flow)



ภาพประกอบ 2.7 การไหลบริเวณปากทางเข้าท่อในสภาวะการไหลแบบราบเรียบ [2]

พิจารณาจากภาพประกอบ 2.7 การปรับตัวในบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบราบเรียบนั้น สามารถแบ่งพฤติกรรมได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

1. ช่วงการไหลที่บริเวณกึ่งกลางท่อยังไม่ถูกรบกวน (Inviscid core length :  $L_i$ ) เมื่อเริ่มต้นพิจารณาจากปากทางเข้าท่อ ของไหลจะเริ่มถูกรบกวนโดยแรงเสียดทานจากผนังของท่อทำให้ความเร็วของอนุภาค ของไหลที่อยู่ติดกับผนังท่อเป็นศูนย์และความเร็วของอนุภาคถัดไปจะลดลงตามลำดับ ส่วนในบริเวณกึ่งกลางของท่อนั้นจะยังไม่ถูกรบกวน แต่เมื่อของไหลเดินทางต่อไปเรื่อย ๆ ผลกระทบดังกล่าวจะขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเต็มหน้าตัดการไหล ซึ่งทำให้พฤติกรรมของความเร็วของอนุภาคของไหลในช่วงนี้ จะแปรผันตามระยะทางตามแนวความยาวของท่อ ( $x$ ) และระยะตามแนว

รัศมีของท่อ ( $y$ ) ดังนั้น  $L_i$  จึงเริ่มต้นวัดจากปากทางเข้าท่อไปจนถึงจุดที่การรบกวนของผนังขยายตัวเต็มหน้าตัดการไหลพอดี

2. ช่วงการปรับตัว (Development length :  $L_d$ ) เมื่อสิ้นสุดระยะ  $L_i$  ความเร็วของอนุภาคของไหลจะยังคงมีการปรับตัวอย่างต่อเนื่องไปอีกระยะหนึ่ง ดังนั้นพฤติกรรมของความเร็วของอนุภาคของไหลในช่วงนี้จะแปรผันตามระยะทางตามแนวความยาวของท่อ ( $x$ ) และระยะตามแนวรัศมีของท่อ ( $y$ ) เช่นเดียวกับ ในช่วง  $L_i$

3. ช่วงปรับตัวสมบูรณ์ (Developed flow) เริ่มต้นตั้งแต่จุดที่สิ้นสุดการปรับตัว ( $L_d$ ) ต่อเนื่องไปตลอดความยาวของท่อ พฤติกรรมของความเร็วจะแปรผันกับระยะตามแนวรัศมี ( $y$ ) แต่จะไปแปรผันตามระยะทางตามแนวความยาวของท่อ ( $x$ ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วในแนวรัศมี จะมีลักษณะเหมือนกันในทุก ๆ หน้าตัดของช่วงนี้ จากพฤติกรรมดังกล่าว ช่วงการไหลที่ได้รับผลกระทบจากปากทางเข้าท่อจะเริ่มจากปากทางเข้าต่อเนื่องเรื่อยไปจนกระทั่งสิ้นสุดการปรับตัว หรือเรียกว่า ความยาวช่วงทางเข้า (Entrance length :  $L_E$ )

$$L_E = L_i + L_d$$

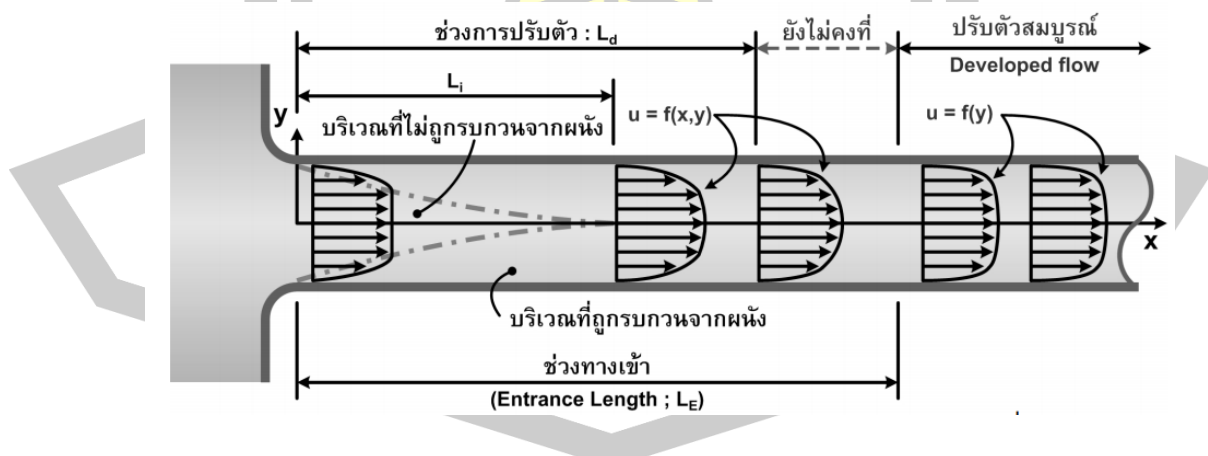
$$\text{สำหรับในท่อกลม} \quad L_E \approx 0.065 D Re$$

$$L_i \approx (1/4) L_E$$

$$\text{เมื่อ} \quad Re = \text{เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์}$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ}$$

2.3.2.2 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน (Entrance condition in turbulent flow)



ภาพประกอบ 2.8 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน [2]



สำหรับพฤติกรรมการไหลในช่วงปากทางเข้าท่อ ในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน จะแตกต่างกับแบบราบเรียบ กล่าวคือ เมื่อการไหลเริ่มถูกรบกวนจากผนังผลกระทบจากแรงเสียดทานจากผนังจะเริ่มขยายตัวไปพร้อม ๆ กับการปรับตัวของความเร็ว ( $L_i$  และ  $L_d$  เริ่มต้นพร้อมกัน) และเมื่อการไหลถูกรบกวนทั่วทั้งหน้าตัด การปรับตัวจะยังคงดำเนินต่อไปอีกระยะหนึ่ง แต่เนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วนนั้นจะมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นได้เสมอ ดังนั้นหลังจากที่การปรับตัวสิ้นสุดลง ( $L_d$ ) สภาพการไหลจะยังคงมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องไปอีกช่วงระยะหนึ่ง จึงจะปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ ลักษณะดังภาพประกอบ 2.8 [2]

สำหรับการไหลในท่อที่มี  $Re > 10^5$  ระยะต่างๆจะมีค่าดังนี้

$$L_i \approx 10 D$$

$$L_d \approx 10 D$$

$$L_E \approx 10 D$$

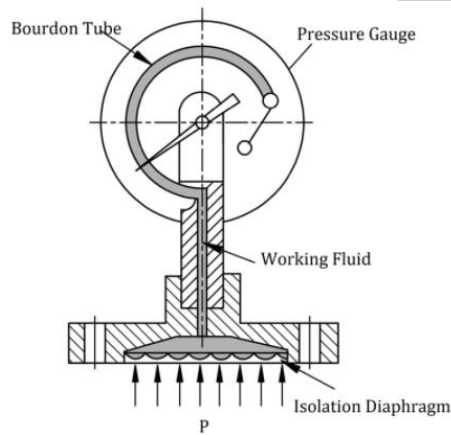
### 2.3.3 อุปกรณ์ในระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ

ไอน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำจะมีความดันที่สูงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หากได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องไม่จำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ เพื่อตรวจสอบและป้องกันไม่ให้ความดันไอน้ำสูงเกินกว่าความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure) ระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

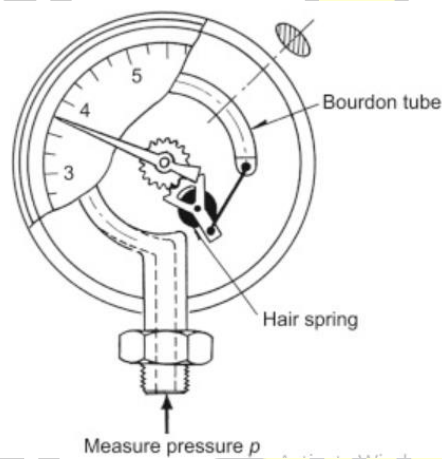
2.3.3.1 มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure gauge) ทำหน้าที่วัดและแสดงค่าความดันของไอน้ำตรงตำแหน่งที่ติดตั้งมาตรวัด หน้าปัดของมาตรวัดความดันไอน้ำต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร มีสเกลซึ่งสามารถวัดได้ 1.5 ถึง 2 เท่า ของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด และต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันใช้งาน (Operating pressure) และความดันอันตรายไว้ให้เห็นได้ชัดเจน มาตรวัดความดันไอน้ำสำหรับวัดความดันในหม้อน้ำมักจะติดตั้งใกล้ตัวหม้อน้ำมากที่สุดเพื่อให้ค่าที่อ่านได้ตรงตามความเป็นจริง

มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure indicator or pressure gauge) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดและแสดงค่า ความดันของไหลที่ไหลผ่านบริเวณที่ติดตั้งมาตรวัด เพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงสถานะของความดันภายในหม้อน้ำ ระบบท่อไอน้ำหรือท่อน้ำ และระบบอื่นๆ มาตรวัดความดันแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะการทำงาน ได้แก่

1. มาตรวัดความดันเชิงกล (Mechanical pressure gauge) ทำงานโดยอาศัยการขยายตัวของกลไกที่ติดตั้งอยู่ภายในมาตรวัด แสดงค่าความดันผ่านทางหน้าปัดแบบเข็มและตัวเลขพร้อมสเกล นิยมใช้มากที่สุดในระบบหม้อน้ำ เนื่องจากเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ครอบคลุมถึงย่านความดันสูง ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ แบบไดอะแฟรม (Diaphragm) แบบบูร์ดอง (Bourdon) และแบบเบลโลว์ (Bellows) กลไกภายใน และลักษณะภายนอกของมาตรวัดความดันเชิงกล แต่ละแบบแสดงในภาพประกอบ 2.9 ถึง 2.11

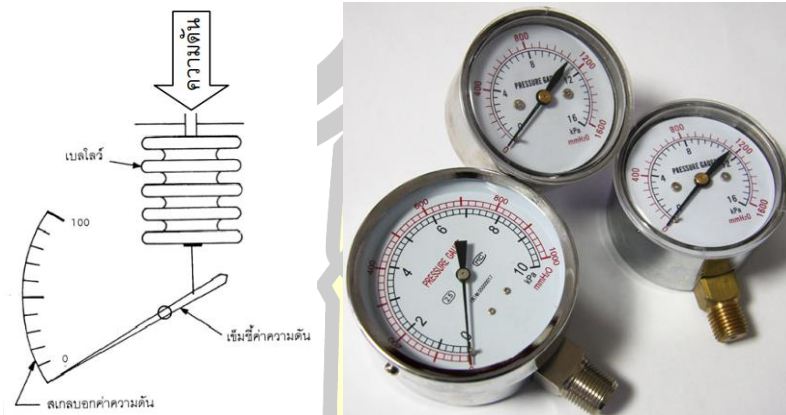


ภาพประกอบ 2.9 มาตรวัดความดันแบบไดอะแฟรม(Diaphragm) [1]



ภาพประกอบ 2.10 มาตรวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon) [3]





ภาพประกอบ 2.11 มาตรวัดความดันแบบเบลโลว์ [1]

2. มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า (Electrical pressure gauge) ทำงานโดยการแปลงค่าความถี่ที่สร้างขึ้นโดยทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เป็นค่าความดันและแสดงให้ผู้ใช้ได้ทราบผ่านทางหน้าปัดแบบเข็ม หรือแบบตัวเลขดิจิทัล ภายในทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วยไดอะแฟรมและผลึกควอตซ์สำหรับกำเนิดสัญญาณความถี่ทางไฟฟ้า ซึ่งความถี่ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความดันที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ข้อดีของการใช้มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า คือ สามารถติดตั้งมาตรวัดและตัวแสดงค่าความดันห่างจากจุดวัดความดันได้ไกล ตลอดจนสามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ไปใช้ร่วมกับระบบควบคุมทางไฟฟ้าอื่น ๆ ได้ทันที นอกจากนี้ยังมีค่าความผิดพลาดในการวัดน้อยถึง 0.01% ตลอดอายุการใช้งานหลายสิบปี กลไกภายใน ลักษณะภายนอกของทรานสดิวเซอร์ และมาตรวัดความดันแบบไฟฟ้าแสดงดังภาพประกอบ 2.12



ภาพประกอบ 2.12 มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า [4]

การใช้งานสเกลตัวเลขที่หน้าปัดควรอ่านค่าได้ระหว่าง 1.5-2 เท่า ของค่าความดันใช้งานสูงสุด ซึ่งต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันใช้งานและความดันอันตรายไว้ให้เห็นได้อย่างชัดเจน ควรติดตั้งเกจวัดความดันไว้ใกล้หม้อน้ำมากที่สุดและอยู่ในบริเวณที่ผู้ควบคุมหม้อน้ำมองเห็นได้ชัดเจน กฎหมายความปลอดภัยเกี่ยวกับการติดตั้งและการใช้งานมาตรวัดความดันไอน้ำสำหรับหม้อน้ำ กำหนดไว้ว่าต้องทำการติดตั้งมาตรวัดความดันไอน้ำอย่างน้อย 1 ชุด และต้องติดตั้งท่อใส่ไถ่ (Siphon) หรือ ท่อรูปตัวยู (U-shape) ระหว่างหม้อน้ำและมาตรวัดความดันไอน้ำด้วย หากหม้อน้ำที่อุณหภูมิของไอน้ำสูงกว่า 208 °C ท่อใส่ไถ่หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ห้ามใช้อุปกรณ์ที่ทำมาจากทองแดงและทองเหลือง และต้องมีการสอบเทียบเกจวัดความดันของหม้อน้ำอย่างน้อยปีละครั้งเพื่อความเที่ยงตรง

2.3.3.2 สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch) เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผา เพื่อรักษาความดันไอน้ำใช้งานให้อยู่ในช่วงที่ต้องการทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้ว โดยเมื่อความดันไอน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงเบลโลว์ (Bellow) หรือแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่ติดตั้งเข้ากับบริเวณที่ต้องการวัดและควบคุมความดันไอน้ำจะเกิดการขยายหรือหดตัวทั้งเบลโลว์และไดอะแฟรมต่างมีกลไกเชื่อมโยงไปยังสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป

2.3.3.3 สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง (Modulating pressure control switch) ทำหน้าที่ควบคุมวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการเร่งหรือของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาอย่างต่อเนื่อง สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่องจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยอาศัย Potentiometer แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังวงจรควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป

2.3.3.4 สวิตช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด (High limit pressure switch) เป็นสวิตช์ปรอท เช่นเดียวกับสวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำ แต่ทำหน้าที่เพื่อความปลอดภัยเป็นหลัก ในกรณีที่ความดันไอน้ำเกิน กว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้ สวิตช์นี้จะตัดวงจรไฟฟ้าของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาให้หยุดการทำงานทันทีอาจมีสัญญาณเตือน (Alarm) ดังขึ้น และสวิตช์จะล็อกตัวเองทันทีหากทำการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบที่ทำให้ความดันมีค่าสูงเกินกว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และต้องการจะเดินระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาใหม่จะต้องกดปุ่มปลดล็อก (Reset) เสียก่อน ระบบทั้งหมดจึงจะสามารถเริ่มต้นการทำงานได้ตามปกติ [1]

#### 2.3.4 การวัดอัตราการไหล

หน่วยของการวัดของไหลนั้น เป็นตัวกำหนด จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ การวัดอัตราการไหลของปริมาตร และ การวัดอัตราการไหลของมวล

##### 2.3.4.1 การวัดอัตราการไหลของปริมาตร (volumetric flow rate)

ซึ่งมีหน่วยเป็น  $m^3/s$  ตาม SI หรือเท่ากับลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย Q การหาค่าอัตราการไหลของปริมาตรสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$Q = v \cdot A$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการไหลของปริมาตร

$v$  = ความเร็วของการไหล

$A$  = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลวิ่งผ่าน

#### 2.3.4.2 การวัดอัตราการไหลของมวล (mass flow rate)

ซึ่งมีหน่วยเป็น kg/s ตาม SI หรือเท่ากับกิโลกรัมต่อวินาที โดยจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $\dot{m}$  (m-dot) และการหาค่าอัตราการไหลของมวลสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = \rho \cdot v \cdot A = j_m \cdot A$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการไหลของปริมาตร

$\rho$  = ความหนาแน่นของมวลของไหลต่อ 1 หน่วยปริมาตร

$v$  = ความเร็วของการไหล

$A$  = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลวิ่งผ่าน

$j_m$  = Mass Flux

#### 2.3.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการไหล

โดยธรรมชาติของของไหลจะมีตัวแปรต่าง ๆ ที่คอยส่งผลกระทบต่อเมื่อเราพิจารณาตัวแปรเหล่านี้จะพบว่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จะต้องพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) สามารถอธิบายได้ดังนี้

อุณหภูมิ (Temperature) ผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหล ซึ่งเกิดมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือความเย็นในขณะที่เคลื่อนที่นั้นจะมีผลทำให้ค่าความหนืด ความหนาแน่น หรือตัวแปรอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลว Liquid นั้นค่าเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งบางครั้งก็จะถือว่าไม่เปลี่ยนแปลงแต่สำหรับของไหลที่มีสถานะเป็นไอ (Vapor) นั้นจะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ซึ่งจำเป็นต้องมีการวัดค่าของอุณหภูมิเพื่อนำมาเป็นค่าชดเชยในการวัด

ความดัน (Pressure) จะเป็นตัวอ้างอิงในการวัดค่าอัตราการไหลของปริมาตร ซึ่งจะนิยมระบุไว้ในกรณีที่มีการวัดนั้นไม่ได้อยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ ซึ่งมีค่า = 14.695949 Psia และอุณหภูมิ 60°F

ความหนืด (Viscosity) หรือ ค่าแรงต้านการไหลของของไหล ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของของไหลต่าง ๆ โดยถ้าค่าความหนืดมีค่าสูงจะต้องใช้ค่าความต่างของแรงดันมากเพื่อให้ของไหลนั้นเคลื่อนที่ โดยค่าความหนืดสามารถหาได้จากค่า แรงเค้นเฉือนต่ออัตราเฉือน

ความหนาแน่น (Density) อัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โดยน้ำที่อุณหภูมิ 0°C ภายใต้ความดันบรรยากาศ 14.7 Psia นั้น จะมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 999.845 kg/m<sup>3</sup>

ความอัดตัวได้ (Compressibility) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาตรต่อความดัน โดยเมื่อมีการให้ความดันที่ของไหลแล้ว ปริมาตรของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่โดยสำหรับของไหลที่เป็นของเหลว Liquid นั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อความดันนั้นมีค่าน้อย จึงไม่ค่อยนำมาคิดถ้าความดันที่เกิดขึ้นไม่สูงมากนั้น แต่สำหรับของไหลที่เป็นไอ Vapor แล้วความดันจะมีผลต่อปริมาตรเป็นอย่างยิ่ง จึงจำเป็นต้องนำค่าความดันมาคิดด้วย

แรงตึงผิว (Surface Tension) คือ ค่าแรงต้านที่ผิวหน้าของของเหลว ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ยึดเกาะติดระหว่างพื้นผิวของโมเลกุล โดยถ้าของไหลที่มีแรงตึงผิวสูงจะมีแรงเกาะติดระหว่างโมเลกุลมาก ค่าแรงตึงผิวของของไหลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลงเป็นผลทำให้ค่าแรงตึงผิวของของไหลจะลดลงโดยของไหลที่มีแรงตึงผิวน้อยจะทำให้ไหลได้ดีกว่าของไหลที่มีแรงตึงผิวสูงภายใต้ความดันเท่ากัน

ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) หรือ RD คือ ตัวเลขที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งจะใช้ในการบ่งบอกถึงลักษณะหรือรูปแบบการไหลของของไหลเพื่อจะใช้ช่วยในการเลือกรูปแบบและชนิดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) [5]

### 2.3.6 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter)

อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) คือ เครื่องมือวัดชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ในการวัดปริมาณ ปริมาณ หรือ อัตราการเคลื่อนที่ของไหล (Fluid) ผ่านภาชนะ เช่น ท่อ หรือ ราง ที่สามารถหาค่าพื้นที่หน้าตัด ปริมาตรและเทียบกับว่าเวลาที่ของไหลนั้นไหลผ่านมาได้

Flow Meter นั้นเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการวัดของไหล Flow Measurement โดยปกติจะไม่วัดค่าได้แบบตรง ๆ แต่จะอาศัยการวัดค่าความเร็วของการเคลื่อนที่จากของไหล ซึ่งเกิดจากค่าความดันจาก 2 จุด ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลจากของไหล ถ้าหากความดันฝั่งใดมีความดันที่มากกว่าก็จะดันให้ของไหลนั้นไหลไปยังฝั่งที่มีค่าความดันต่ำกว่าและนำค่าความเร็วมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดก็จะได้เป็นค่าอัตราการไหลออกมา

ในการใช้งานตัว Flow Meter นั้นสามารถเลือกใช้งานได้อย่างหลากหลายโดยเราจะคำนึงจากการใช้งานเป็นหลักเพื่อช่วยให้สามารถหาเลือก Flow Meter มาใช้งานกับของไหลได้อย่างเหมาะสมโดยเราสามารถแบ่งกลุ่มตามประเภทของ Flow Meter ไว้เพื่อการใช้งานได้ดังนี้

#### Positive Displacement Meters

เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลแบบใช้หลักการแทนที่ เช่น Sliding vane, Oval gear meters, Lobed impeller, Oscillating piston, Nutating disc, Fluted rotor meters, Wet-type gas meters



ภาพประกอบ 2.13 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Positive Displacement Meters [6]

#### Inferential Meters

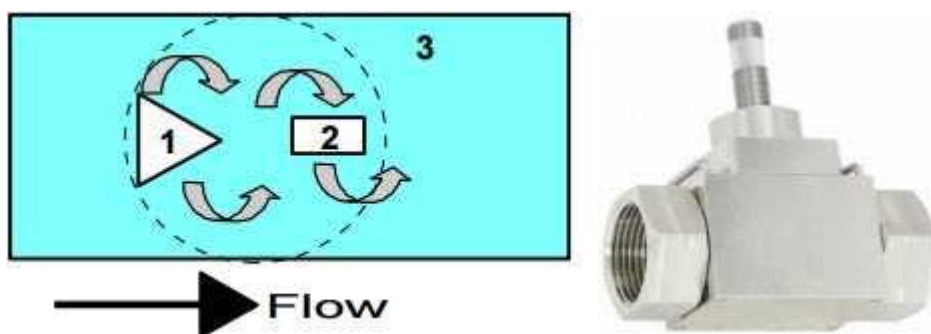
เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลแบบทางอ้อมโดยใช้ การคำนวณปริมาตรจากภาชนะที่ถูกลำ  
เรียงผ่านกังหัน เช่น Turbine meters, Woltman meters, Propeller-type flow meters,  
Impeller meters



ภาพประกอบ 2.14 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Inferential Meters [6]

#### Oscillatory Flow Meters

เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลที่ใช้หลักการแกว่งของตัวของชิ้นส่วนภายใน ซึ่งเกิดจากการไหล  
ของของไหล และเอาสัญญาณที่เกิดจากการแกว่งเหล่านี้ไปใช้งาน เช่น Vortex flow meter, Vortex  
precession, Fluidic flow meters



ภาพประกอบ 2.15 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Oscillatory Flow Meters [6]

#### Differential Pressure Meters

เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลที่ใช้หลักการของการวัดค่าแรงดันตกคร่อม โดยใช้ Equation of continuity และใช้สมการ Bernoulli's equation เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการไหล เช่น Conditioning orifice plate, Segmental wedge meter, V-cone meter, Venturi tube meter, Venturi nozzle meters, Flow nozzle meters, The Dall tube, Target meter, Pitot tube, Point averaging meter, Elbow meter, Variable area meters, Rotameter



ภาพประกอบ 2.16 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Differential Pressure Meters [6]

#### Electromagnetic Flow Meters

Electromagnetic Flow Meters หรือ Magflows หรือ Magmeters เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลที่มีใช้กันมานานมากกว่า 40 ปี โดยเริ่มต้นใช้งานมาตั้งแต่ Modern meters ตามมาด้วย Exhibit no moving parts จนกระทั่งเป็นแบบ Zero pressure drop โดย Magflows หรือ EM Flow meter จะอาศัยหลักการทำงานตามกฎของฟาราเดย์ Faraday's law ซึ่งเมื่อมีตัวนำวิ่งผ่าน



หรือตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมซึ่งแปรเปลี่ยนตามความเร็วของตัวนำนั้นๆ ซึ่งในที่นี้ตัวนำก็คือของไหลนั่นเอง



ภาพประกอบ 2.17 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Electromagnetic Flow Meters [6]

#### Ultrasonic Flow Meters

เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่อาศัยหลักการวัดความเร็วในการเดินทางของคลื่นผ่านการไหลของของไหล และมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 ส่วน ที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ชนิดนี้ นั่นก็คือ Doppler method, Time of flight method และ Frequency difference method เหมาะสำหรับวัดของไหลที่เป็นทั้ง Liquid และ Gases



ภาพประกอบ 2.18 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic Flow Meters [6]

#### Mass Flow Measurement

เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของมวลซึ่งโดยปกติแล้วหลาย ๆ กระบวนการผลิตนั้นจะอ้างอิงเรื่องของมวลมากกว่าเรื่องของปริมาตร ดังนั้นกระบวนการวัดอัตราการไหลของมวลจึงมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่า เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความหนืด ความหนาแน่น ความดัน และ อุณหภูมิ จะไม่มีผลกระทบต่อการวัดแบบนี้

### Open Channel Flow Measurement

เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่นิยมใช้ในการวัดอัตราการไหลในระบบเปิด เช่น ระบบชลประทาน ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

### Positive Displacement Flow Meters (PD Flow Meter)

ใช้หลักการแทนที่ ซึ่งเป็นการวัดอัตราการไหลแบบต่อเนื่องโดยอาศัยการออกแบบทางกล โดยนำมาทดแทนการวัดอัตราการไหลโดยใช้ปริมาตรเทียบกับเวลาในสมัยก่อนมาตรวัดการไหลของไหลแบบแทนที่ทางปริมาตรเป็นมิเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยลักษณะการทำงานของ Positive Displacement Flow Meter นั้นจะมีการทำงานในลักษณะของการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ ซึ่งในแต่ละจังหวะจะทำให้เกิดอัตราการไหลแบบปริมาตรที่มีค่าแน่นอนและในแต่ละจังหวะที่ทำงานนั้น จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้ในการนับปริมาตรของการไหลโดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{หาปริมาณรวม} \quad Q_t = K \cdot n$$

$Q_t$  = ปริมาณรวมที่ไหลผ่าน Flow Meter

$K$  = ค่าคงที่ (ค่าปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยพัลส์)

$n$  = จำนวนพัลส์ที่วัดได้

$$\text{หาอัตราการไหลต่อเวลา} \quad Q = C \cdot (n/t)$$

$Q$  = อัตราการไหล มีหน่วยเป็น  $m^3/hr$

$C$  = ค่าคงที่ (ค่าปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยพัลส์)

$n$  = จำนวนพัลส์ที่วัดได้ใน 1 ชั่วโมง

จะเห็นได้ว่าการวัดของไหลแบบ Positive Displacement Flow Meter นั้นสามารถหาค่าได้ทั้งแบบ Flow Totalizer และ Flow Rate โดยตัวอย่างของ Flow Meter แบบ Positive Displacement Flow Meter ได้แก่

#### Piston

เป็นการวัดอัตราการไหลที่ใช้ลักษณะของการวัดอัตราการไหลของปริมาตร (volumetric flow rate) ซึ่งจะอาศัยหลักการแทนที่ของไหลลงในลูกสูบ ซึ่งแรงดันของของไหลนั้นจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ โดยก้านของลูกสูบจะส่งต่อไปยังส่วนที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุต เช่น สัญญาณหน้าคอนแทค สัญญาณอนาล็อก สเกลตัวเลข ผ่านทางสปริง ชุดเกียร์ หรือ เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก

โดยเราสามารถรู้ค่าของปริมาตรของไหลได้จากการหาปริมาตรของลูกสูบและเทียบกับเวลา ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Piston, Valve Design จะเหมาะสำหรับการใช้งานวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0.015 - 4000 l/min

#### Gear Flow Meter

เป็นมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลที่ใช้ลักษณะของการวัดอัตราการไหลของปริมาตร (volumetric flow rate) ซึ่งจะทำงานเมื่อมีของไหลวิ่งผ่านชุดเกียร์ที่อยู่ภายใน โดยเมื่อเกียร์หมุน ก็ จะอาศัยการเคลื่อนที่ของเกียร์แล้วแปลงเป็นค่าอัตราการไหลอีกที โดยอุปกรณ์วัดการไหลแบบ Gear

Flow meters นั้นจะมีชื่อเรียกหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของเกียร์ที่อยู่ภายใน ตัวอย่างของ Gear Flow meters

#### Oval Gear Flow meter

เป็น Flow Meter ที่ภายในประกอบไปด้วยเฟืองรูปวงรี 2 ชั้น ขบกันอยู่ โดยเฟืองทั้ง 2 จะทำหน้าที่ในการรับและคายของไหล สลับกันไป

#### Helical Gear Flow meter

เป็น Flow Meter ที่ภายในประกอบไปด้วยเฟืองแบบเฉียง 2 ชั้น ขบกันอยู่ โดยเฟืองทั้ง 2 จะทำหน้าที่ในการรับของไหล และส่งต่อของไหลผ่านฟันเฟืองไปเป็นช่วงๆ ซึ่งสามารถหารค่า Flow Rate ได้จากการคำนวณความเร็วของแกนของฟันเฟือง

#### Nutating Disk Flow Meter

เป็นมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลที่ใช้ลักษณะของการวัดอัตราการไหลของปริมาตร (volumetric flow rate) ซึ่งจะนิยมใช้ในการวัดของไหลที่มีความหนืด หรือน้ำ โดยการทำงานจะอาศัยการทำงานของจานดิสก์ที่อยู่ภายใน ซึ่งจะเคลื่อนที่แบบเอียงศูนย์รอบตัวเองโดยแกนกลางจะเชื่อมกับแกนเพลลาภายนอกผ่านลูกเบี้ยวเอาไว้เพื่อใช้ในการวัดความเร็วซึ่งสามารถหารค่า Flow Rate ได้จากการคำนวณความเร็วของแกนเพลลา

#### Dynamic Diaphragm Flow Meter

เป็น โพลมิเตอร์ ที่ใช้ลักษณะการทำงานแบบแทนที่ โดยเมื่อมีของไหล ไหลเข้ามาในตัวมิเตอร์ จะทำให้แผ่นไดอะเฟรมเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่แต่ละครั้งจะทำให้ได้ค่าปริมาตรการไหลที่คงที่ โดยอีกด้านของไดอะเฟรม จะต่อกับแกนแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการสร้างพัลส์สำหรับการนับอัตราการไหล ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบไดอะเฟรม จะเหมาะสำหรับการใช้งานวัดอัตราการไหล ตั้งแต่ 0.4 – 100 l/min

#### Rotary Vane Flow Meter

เป็น โพลมิเตอร์ ที่ใช้ลักษณะการทำงานแบบแทนที่ โดยเมื่อมีของไหล ผ่านเข้ามาในตัวโพลมิเตอร์ จะทำให้ใบพัดที่อยู่ภายในของมิเตอร์ โดยจะมีตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป หมุนเพื่อพาของไหลออกอีกทางหนึ่ง ซึ่งในขณะที่ใบพัดหมุนนี้เองแกนกลางของใบพัดก็จะไปขับเฟืองหรือเกียร์เพื่อให้หมุนตามการไหลของของไหล โดยเฟืองหรือเกียร์เหล่านี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ โดยเราสามารถรู้ค่าของปริมาตรของไหลได้จากการหาปริมาตรต่อสัญญาณพัลส์เทียบกับเวลา

#### Turbine Flow Meter

เป็นเครื่องวัดการไหลแบบกังหัน ซึ่งประกอบด้วยใบพัดที่วางขวางอยู่ในท่อ ใบพัดนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบริ่งที่เป็นศูนย์กลางของทิศทางการไหล โดยขนานกับเส้นทางการไหล ในขณะที่มีของไหล ไหลผ่าน จะทำให้ใบพัดหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของใบพัดนั้น จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหล ที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของใบพัดเพื่อความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้างของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกต้องมาก ซึ่งใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยความเร็วในเส้นจุด

ศูนย์กลางของท่อ ตัว Turbine Flow Meter จะเหมาะสำหรับการวัดของไหลที่มีความสะอาดและในช่วงของความเร็วในการไหลที่มีย่านกว้างมากได้

#### Woltman meter

เป็นเครื่องวัดการไหลตามแนวแกน ซึ่งประกอบด้วยใบพัดที่วางขวางอยู่ในท่อ ใบพัดนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบริ่งที่เป็นศูนย์กลางของการทิศทางการไหล โดยขนานกับเส้นทางการไหล แต่โครงสร้างของใบพัดหรือก้านภายในจะมีลักษณะคล้ายกับเฟืองเฉียง Helical ซึ่งในขณะที่มีของไหลไหลผ่าน จะทำให้ใบพัดหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของใบพัดนั้น จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหล ที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของใบพัดเพื่อความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้างของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก โดยการทำงานอื่นๆ จะเหมือนกับตัว Turbine Flow Meter แต่จะเหมาะกับการวัดอัตราการไหลที่มีขนาดใหญ่ๆ

#### Single jet meter and Multiple jet meter

เป็นเครื่องวัดการไหลตามแนวแกน ซึ่งประกอบด้วยใบพัดที่วางขวางอยู่ในท่อ ใบพัดนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบริ่งที่เป็นศูนย์กลางของการทิศทางการไหล โดยแกนหมุนจะตั้งฉากกับเส้นทางการไหล ในขณะที่มีของไหล ไหลผ่าน จะทำให้ใบพัดหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของใบพัดนั้น จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหล ที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของใบพัดเพื่อความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้างของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก โดย Flow Meter แบบ Single jet meter and Multiple jet meter จะแตกต่างกันแค่แบบ Multiple jet จะมีจุดที่ของไหลชนกับตัวใบพัดได้หลายจุด ซึ่งจะทำให้ลดการสึกหรอของตัวใบพัดได้ดีกว่าแบบ Single Jet ซึ่งจุดรับแรงจากของไหลจะมีจุดเดียว โดยเมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือวัดการไหลกับแบบ Paddle Wheel แล้วขนาดของ Single jet meter and Multiple jet meter จะมีขนาดของใบพัดใหญ่กว่ามาก

#### Pelton Wheel or Radial turbine Flow Meter

เป็นเครื่องวัดการไหลตามแนวแกน ซึ่งประกอบด้วยก้านที่วางขวางอยู่ในท่อ ก้านนี้จะมีรูปร่างคล้ายกับภาชนะ หรือตะกร้า ซึ่งจะคอยลำเลียงของไหล โดยก้านนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบริ่งที่เป็นศูนย์กลางของการทิศทางการไหล โดยแกนหมุนจะตั้งฉากกับเส้นทางการไหล ในขณะที่มีของไหลไหลผ่าน จะทำให้ก้านรับของไหลและหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของใบพัดนั้น จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหล ที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของใบพัดเพื่อความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้างของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก เป็นต้น

#### Vortex Flow Meters

เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลที่ใช้หลักการแกว่งของตัวของชิ้นส่วนภายใน ซึ่งเกิดจากการไหลของของไหล และเอาสัญญาณที่เกิดจากการแกว่งเหล่านี้ไปใช้งาน

### Differential Pressure Flow Meters

เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอัตราการไหลโดยอาศัยผลต่างของค่าความดันที่เกิดขึ้น หรือ จะเรียกกลุ่มเครื่องมือวัดแบบนี้ว่า Differential Pressure Flow Meter ก็ได้ โดย Flow Meter ในกลุ่มนี้มีหลากหลายชนิด เช่น Orifice plates, Venturi tube, Nozzles, Dall tubes, Target mete, Pilot tubes แม้กระทั่ง Variable Area ก็ยังอยู่ในกลุ่มนี้

โดยสิ่งหนึ่งที่ถูกอ้างอิง หรือ พุดถึงเป็นประจำสำหรับการใช้งาน Flow Meter นั่นก็คือเรื่องของ Head หรือ Head Loss ซึ่งค่าความเที่ยงตรงของ Flow Meter จะขึ้นอยู่กับค่าความเที่ยงตรงของตัว Differential Pressure ด้วยนั้นหมายความว่าในการสอบเทียบตัว โพลมิเตอร์ แบบนี้ไม่สามารถสอบเทียบโดยตรงกับตัว โพลมิเตอร์ ได้จะต้องสอบเทียบตัว Differential Pressure แทน หลักการทำงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการวัดอัตราการไหลประเภทนี้คือการสร้างค่าความดันตกคร่อมภายในท่อที่มีของไหลไหลผ่าน โดยใช้หลักฟิสิกส์ Equation of continuity และ ใช้สมการ Bernoulli's equation ซึ่ง The equation of continuity หรือ สมการความต่อเนื่องนั้นสามารถสรุปได้ว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของท่อกับอัตราเร็วของของไหลในอุดมคติไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อการไหลจะมีค่าคงตัวเสมอ [6]

## 2.4 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุม หรือ Control Valve เป็นอุปกรณ์หนึ่งในหลายอุปกรณ์ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิตที่เป็นที่รู้จักกันมากขึ้นหนึ่ง วาล์วควบคุมมีหน้าที่จัดการการไหลของไหล (ของเหลว + ก๊าซ) ภายในกระบวนการผลิต เช่น ไอน้ำ น้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อปรับรักษาและชดเชยภาระงานของกระบวนการผลิตนั้น ๆ อีกทั้งช่วยรักษาระดับค่าตัวแปรที่สำคัญและมีผลต่อกระบวนการผลิตในระบบควบคุมให้มีค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (set point)

วาล์วควบคุม หรือ Control Valve หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังจากภายนอกเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลในระบบการควบคุมกระบวนการทำงานหนึ่ง วาล์วควบคุมจึงประกอบด้วย ตัววาล์วและอุปกรณ์เชื่อมต่อกับลิ้นวาล์วกับกลไกการกระตุ้น (Actuator Mechanism) สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นส่วนควบคุมการไหล (flow controlling element) ภายในตัววาล์วหรือตำแหน่งของลิ้นวาล์วตามสัญญาณที่ได้รับจากระบบควบคุม (Controlling System) โดยไม่รวมถึง Regulator, Relief valve และ Hand Valve ดังนั้น วาล์วควบคุมจึงประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

1. วาล์ว (Valve) ส่วนทำหน้าที่ควบคุมการไหลของไหล ประกอบด้วย ชุดรองรับของไหล (Fluid Retaining Assembly) หรือตัวเรือนวาล์ว (Valve Body) รวมถึงช่องทางไหล (Port) ระหว่าง Seat กับ Flow Control Element (Moveable Closure Member หรือ ลิ้นวาล์ว) ซึ่งเคลื่อนที่เพื่อเปิดเต็มที่ เปิดบางส่วน (Restricts) หรือปิดช่องทางไหลนั้น (ในเอกสารบางฉบับเรียก Seat กับ ลิ้นวาล์วรวมๆ กันว่า Trim) ทั้งนี้ช่องทางไหลภายในตัวเรือนวาล์วอาจมีมากกว่า

1 ช่องทางไหล ดังนั้นจึงดูเหมือนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับวาล์วที่ใช้มือหมุนต่างๆไป (Hand Valve หรือ Manual Valves) ซึ่งเป็นชนิดของวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวมันเองต้องอาศัยคนในการเปิด-ปิด

2. Actuator คือ ส่วนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานไฮดรอลิก จากนั้นทำหน้าที่แปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของงาน/แรงเชิงกลไปขับเคลื่อนส่วนที่ต้องการให้เคลื่อนที่ในที่นี้ก็คือ Flow Control Element หรือลิ้นวาล์ว ในบางครั้งเราอาจเรียก “Actuator” ว่า “หัวขับวาล์ว”

3. Motion conversion mechanism หมายถึงกลไกเชื่อมต่อระหว่างวาล์วกับ Actuator ซึ่งทำหน้าที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotary Motion) นั่นคือการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่การหมุนของลิ้นวาล์ว (Rotary Valve Operation) หรือในทางกลับกัน เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของลิ้นวาล์ว (Linear Valve Operation) [7]

## 2.5 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียวหรือการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) [8]

## 2.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ระยะเวลาที่ผ่านมา มีนักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษา ได้พัฒนาเครื่องมือและงานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับ ระบบไอน้ำ อาทิ เช่น จิระกานต์ ศรีวิชัยโมตรี [9] ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำโดยทฤษฎีภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดใหญ่ งานวิจัยดังกล่าวประยุกต์ใช้อุปกรณ์เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลมาทดแทนเครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ซึ่งเป็นสินค้าที่ล้าสมัยนำเข้าจากต่างประเทศและให้มีราคาสูง มีการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อน พลากร บุญใส [10] ได้ทำการพัฒนาชุดวัดอัตราการไหลและการสูญเสียในท่อซึ่งผู้วิจัยสามารถนำความรู้ในเรื่องของพฤติกรรมของของไหลในท่อและการสูญเสียแรงดันมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยของตนได้ สุรชัย ใจวรรณ [11] ได้ทำการประยุกต์ใช้หัวอาร์ทีดีสำหรับวัดอัตราการไหล งานวิจัยนี้สร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศในท่อที่มีการไหลภายในแบบไม่อิมพัลส์ ซึ่งอากาศกับไอน้ำมีคุณสมบัติบางอย่างที่คล้ายกัน สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้ วิภู ศรีสืบสาย [12] ได้จัดทำเครื่อง

ทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก งานวิจัยดังกล่าวมีเนื้อหาเกี่ยวกับความหนืดและสมบัติการไหล ซึ่งไอน้ำก็นับเป็นของไหลที่มีความหนืดเช่นเดียวกับพลาสติก ฉัตรฉลอง อภิภูติกุล [13] ได้จัดทำชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ดีอปเพลอร์ จีระกานต์ ศิริวิชญไมตรี [14] ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลในคลองชลประทานระบบแสงเลเซอร์ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวประยุกต์ใช้อุปกรณ์เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลมาทดแทนเครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ซึ่งเป็นสินค้าที่ล้นนำเข้ามาจากต่างประเทศและให้มีราคาสูง มีการทำงานที่ยุ่งยาก ซับซ้อน จีระศักดิ์ พิทักษ์อรณพ [15] ได้ทำการศึกษาการไหลของก๊าซในระบบสุญญากาศและเครื่องมือวัดอัตราการไหลในระดับจุลภาค ธีชวัน ศรีสุวรรณ [16] ได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลในท่อโดยการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียพบว่างานวิจัยดังกล่าวมีการพัฒนาวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลของของไหลอุณหภูมิสูงที่ไหลอยู่ภายในท่อโดยอาศัยการวิเคราะห์ความร้อนที่สูญเสียออกจากของไหล ซึ่งจะสามารถประมาณค่าอัตราการไหลได้โดยไม่ต้องสอดอุปกรณ์ตรวจวัดเข้าไปรบกวนการไหลภายในท่อ ณัฐวุฒิ วลัยกนก [17] ได้ทำการศึกษาการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติโดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราไหลในช่องเปิดที่ซับซ้อน(การไหลแบบราบเรียบ) ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวศึกษาและวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของอากาศ เมื่ออากาศไหลผ่านช่องเปิดที่ซับซ้อนรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งคล้ายกับการเคลื่อนที่ของไอน้ำในท่อและไหลผ่านวาล์วรูปแบบต่าง ๆ ชัยพร พันธุ์สิกร [18] ได้ทำการคำนวณการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติภายในทอเวอร์เท็กซ์ เป็นต้น งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแต่มีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยได้ทั้งสิ้น



ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
จिरกานต์ ศิริวิ ชญเมตรี [9]	การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหล โดยอาศัยการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของฝวน้ำ แล้วทำการคำนวณความเร็วการไหลจากความเร็วการเคลื่อนที่ของฝวน้ำ โดยใช้การเปรียบเทียบภาพถ่ายของฝวน้ำที่เวลาต่างกันและใช้สมการความสัมพันธ์เพื่อหาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ของฝวน้ำ	ห้องปฏิบัติการ ศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน	Large-Scale Particle Image Velocity	จากผลการทดสอบการวัดค่าความเร็วการไหลสามารถนำไปหาความเร็วการไหลได้โดยนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการหาโดยวิธีคำนวณโดยปริมาตรต่อเวลา (Volumetric Method) ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่าเนื่องจากค่าที่ได้จากวิธีทั้งสองมีความใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่สามารถนำไปใช้หาค่าความเร็วการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงสามารถนำไปใช้ได้ และค่าที่ได้มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง ผลที่ได้จากการตรวจวัดถูกเปรียบเทียบกับการตรวจวัดแบบตวงปริมาตร ผลการคำนวณอัตราการไหลของเครื่องตรวจวัดโดยทฤษฎีวิเคราะห์อนุภาคขนาดใหญ่พบว่ามีความใกล้เคียงกับการตรวจวัดแบบตวงปริมาตร



ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ผลการ ระบุใส่ [10]	<p>1. เพื่อพัฒนาชุด เครื่องมือวัดอัตราการไหล ชนิด Venturi meter และ Orifice meter ให้มีความ ถูกต้องแม่นยำเมื่อเทียบกับการวัดอัตราการไหลโดย การตวงน้ำที่ระดับ นัยสำคัญ 0.01</p> <p>2. เพื่อใช้เป็นสื่อการ เรียนการสอนในรายวิชา ปฏิบัติการเฉพาะหน่วย สำหรับเคมีอุตสาหกรรม 1 ของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ บัณฑิต สาขา เคมี อุตสาหกรรม</p>	<p>พัฒนาชุดเครื่องมือวัด อัตราการไหลชนิด Venturi meter และ Orifice meter โดยการ วัดอัตราการไหลของน้ำที่ อนุมัติห้อง เทียบกับ การวัดอัตราการไหลโดย การตวงน้ำ</p>	<p>ออกแบบและ ติดตั้งชุดเครื่องมือวัด อัตราการไหลและ ความดันสูญเสียใน ท่อชนิด Venturi meter และ Orifice meter เพื่อ วิเคราะห์ตัวแปรที่มี ผลกระทบต่อความ ต้นตกรวมในระบบ ท่อและวิเคราะห์ รูปแบบการไหลโดย การคำนวณหาค่าเร โนลด์นัมเบอร์</p>	<p>การออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Venturi meter และ Orifice meter ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.026 และ 0.016 เมตร และอัตราส่วนระหว่างเส้น ผ่านศูนย์กลางของเปิดออร์ทิคต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(<math>\beta</math>) เท่ากับ 0.667 ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.6 พบว่ามีค่า สัมประสิทธิ์ของการวัดอัตราการไหลเท่ากับ 0.92 และ 0.56 ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีและเมื่อหา ประสิทธิภาพการวัดอัตราการไหลโดยเปรียบเทียบกับการวัด อัตราการไหลโดยการตวงน้ำพบว่าไม่มีความแตกต่างกับการ วัดอัตราการไหลโดยการตวงน้ำที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึง สามารถนำมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้อง ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ</p>
--------------------	--	---	---	---

ตาราง 2.1 ทบพวณวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>ศุภชัย ใจ วรรณณะ [11]</p>	<p>1. เพื่อสร้าง เครื่องมือวัดอัตรา การไหลอากาศใน ท่อโดยประยุกต์ใช้ อาร์ทีดี</p> <p>2. เพื่อทดสอบ เครื่องมือวัดอัตรา การไหลอากาศใน ท่อ เทียบกับ เครื่องมือวัด มาตรฐาน</p>	<p>1. ของไหลที่วัด คือ อากาศ</p> <p>2. จำนวนหัววัดอัตรา การไหล มี 3 ตัว และ หัววัดอุณหภูมิอีก 1 ตัว</p> <p>3. ประยุกต์ใช้อาร์ทีดี และฮิตเตอร์</p> <p>4. ทดสอบกับการ ไหลแบบราบเรียบและ แบบปั่นป่วน</p>	<p>ประยุกต์ใช้หัววัดอาร์ทีดี และฮิตเตอร์ทำงานร่วมกัน ทดแทนการใช้หัววัดแบบ ฮอตไวร์ และใช้โปรแกรม แล็บวิว เป็นตัวประมวลผล แสดงผล บันทึกค่า</p>	<p>ผลการสร้างและทดสอบหัววัดที่ 1 มีช่วงวัดความเร็วการ ไหล 0 m/s ถึง 7.82 m/s ช่วงวัดอุณหภูมิ -20 °C ถึง 50 °C และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดของความเร็ว ±7.6% หัววัดที่ 2 มีช่วงวัดความเร็วการไหล 0 m/s ถึง 8.02 m/s ช่วงวัดอุณหภูมิ -20 °C ถึง 50 °C และมีเปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาดสูงสุดของความเร็ว ±6.01% หัววัดที่ 3 มีช่วงวัด ความเร็วการไหล 0 m/s ถึง 8.36 m/s ช่วงวัดอุณหภูมิ -20 °C ถึง 50 °C และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดของความ เร็ว ±5.4% เมื่อนำหัววัดทั้งสามหัววัดไปทดสอบวัดค่าอัตราการ ไหลในอุโมงค์ลม ค่าอัตรากาไหลที่คำนวณได้จะมีเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดสูงสุด ±7.13%</p>
----------------------------------	---	---	--	--

ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>วิญ ศรีสืบสาย [12]</p>	<p>1. ศึกษาทฤษฎี และหลักการของการไหลของพลาสติก เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม</p> <p>2. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการไหลของพลาสติก ตามมาตรฐาน ASTM D 1238 และ ISO 1133</p> <p>3. เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติการไหลของพลาสติก</p>	<p>1. การออกแบบ การสร้างและการทดลองของเครื่องทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM D 1238 และ ISO 1133</p> <p>2. ใช้กับเม็ดพลาสติก พอลิโพรพิลีน (PP)</p> <p>3. น้ำหนักที่ใช้กด (รวมลูกสูบ) 1, 1.2, 2, 2.16 และ 3.8 กิโลกรัม</p>	<p>เครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก</p>	<p>สามารถสร้างเครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติกตามที่ออกแบบไว้มีขนาดความกว้าง 30cm ยาว 50cm สูง 40cm ให้ความร้อนได้สูงสุด 300 °C แรงดันไฟฟ้า 220V กำลังไฟฟ้า 880W ควบคุมอุณหภูมิโดย เทอร์โมคัปเปิลชนิด J ภายในประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนแบบรีดท้อ 1 ชุด ฉนวนกันความร้อนทำจากอิฐทนความร้อน ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล น้ำหนักที่ใช้กด (รวมลูกสูบ) 1, 1.2, 2, 2.16 และ 3.8 กิโลกรัม</p> <p>เครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติกที่สร้างขึ้นสามารถทดสอบเทอร์โมพลาสติกได้ทุกชนิด</p> <p>จากผลการทดสอบอัตราการไหลของพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) ค่าอัตราการไหลที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องทดสอบอัตราการไหลมาตรฐานอย่างมาก มีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 2.12%</p>
-------------------------------	--	--	--	---

ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>ฉัตรฉลอง อภิภูติ กุล [13]</p>	<p>1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ตัดออปเทอริคัลแสงคู่</p>	<p>1. ใช้วิธีเลเซอร์ตัดออปเทอริคัลแสงคู่ 2. ออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลจากอุปกรณ์ที่สามารถจัดทำภายใต้ในห้องปฏิบัติการ</p>	<p>ชุดทดลองเลเซอร์ตัดออปเทอริคัลแสงคู่</p>	<p>ทดลองวัดการไหลของของไหลของระบบไหลตัวอย่าง พบว่าอัตราการไหลของของไหลมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับความถี่กับความถี่คือ Q=เพลอร์ที่ได้จากหัววัดแสงโดยมีสมการความสัมพันธ์ คือ <math>Q = 0.63f_b</math> และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการ <math>R^2 = 0.993</math> ซึ่งถือว่ามีความเป็นเชิงเส้นในการวัดสูงมาก สามารถใช้วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของไหลได้โดยปราศจากการรบกวนของไหลเพราะมีเพียงแสงเลเซอร์จากระบบทางแสงเท่านั้นที่ส่องผ่านเข้าไปยังเซลล์ที่มีความถี่ที่ต้องการทราบอัตราการไหลเท่านั้น</p>
--------------------------------------	--	--	--	--

ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>จระกานต์ ศิริวิชญ์ไม่ตรี [14]</p>	<p>พัฒนาโปรแกรมเพื่อ ตรวจวัดความเร็วของการ เคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำ ตัวอย่าง โดยใช้แสง เลเซอร์ที่มีคุณสมบัติการ หักเหทำเป็นตัวช่วยใน การถ่ายภาพการเคลื่อนที่</p>	<p>ห้องปฏิบัติการชล ศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมชลประทาน</p>	<p>ถ่ายภาพ ตะกอนเคลื่อนที่ใน ภาชนะและใช้การ ฉายแสงเลเซอร์</p>	<p>ผลการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่สามารถใช้เป็นตัวแทน ของการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำได้ การเคลื่อนที่ของตะกอน ในน้ำมีความแปรปรวนของทิศทางและความเร็ว เนื่องมาจากขนาด  ผลการวัดความเร็ว ค่าความเร็วที่ได้ระหว่าง โปรแกรมและวัดจริงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันมีความ แปรปรวนมากขึ้นเมื่อความเร็วของการไหลเพิ่มมากขึ้น การวัดในทางนี้มีการกระจายตัวของความเร็วมากกว่า เนื่องจากมีความเร็วของการไหลมากกว่าการวัดความเร็วใน ถังน้ำ</p>
--	---	---	---	--

ตาราง 2.1 ทบพวนวนรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>จรัสศักดิ์ พิทักษ์อรุณพงษ์ [15]</p>	<p>ศึกษาการไหลของก๊าซเบาบาง โดยทางทฤษฎี การวิเคราะห์และการใช้ระเบียบเชิงตัวเลข รวมทั้งสร้างเครื่องต้นแบบในการวัดการไหลของก๊าซเบาบาง เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้พัฒนาเครื่องมือมาตรฐานปฐมภูมิต่างการวิจัยโดยใช้ทฤษฎีปริมาตรคงตัว เครื่องมือวัดอัตราการไหลในระดับไมโครและนาโน เครื่องมือปฐมภูมิต่างการวัดสุญญากาศโดยใช้ทฤษฎีการขยายแบบต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลในระดับจุลภาคเพื่อรับรองงานทางด้านอื่น ๆ ในอนาคต</p>	<p>1. ก๊าซในช่วงการไหลแบบต่อเนื่องจนถึงการไหลแบบไหลเบาบาง 2. การไหลของก๊าซเบาบางในการไหลแบบไหล จนถึงการไหลในช่วงการเปลี่ยนแปลง</p>	<p>วิเคราะห์และการใช้ระเบียบเชิงตัวเลข</p>	<p>สมการอย่างง่ายของแบบจำลองการไหลแบบไหลสามารถนำมาใช้งานได้จริงในย่านการไหลโดยปกติ จนถึงช่วงเริ่มต้นของการไหลในย่านการเปลี่ยนแปลงซึ่งผลลัพธ์ของสมการนี้สอดคล้องกับผลของแบบจำลองที่มีความซับซ้อนยากต่อการคำนวณกว่า อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การไหลผ่านตัวกลางการวิจัยอีกด้วย สมการนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้กับงานหลาย ๆ ด้านที่เกี่ยวข้องกับการไหลของก๊าซเบาบาง</p>
--	--	--	--	---

ตาราง 2.1 ทบพจนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ธีชวัน ศรีสุวรรณ [16]	พัฒนาวิธีการ ประมาณค่าอัตรา การไหลของของ ไหลอุณหภูมิสูงที่ ไหลอยู่ภายในท่อ โดยอาศัยการ วิเคราะห์ความ ร้อนที่สูญเสีย	การไหลของอากาศร้อน ทดสอบกับท่อกลมเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 50.8, 101.6 mm และ ท่อภาคตัดสี่เหลี่ยมขนาด 101.6X101.6 ตารางมิลลิเมตร	กลุ่มตัวแปร ไร้มิติ (Tw1- Ta/Tw2-Ta)	ความแม่นยำในการประมาณค่าอัตราการไหลมี ความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติคือ (Tw1-Ta/Tw2-Ta) โดยที่ Tw1 กับ Tw2 คืออุณหภูมิผิวท่อด้านนอกที่ตำแหน่ง ต้นทางและปลายทางของท่อที่สนใจตามลำดับ และ Ta คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อ จากผลการทดลองพบว่าการ ประมาณจะให้ความแม่นยำมากขึ้นเมื่อตัวแปรไร้มิติ มีค่ามาก ขึ้น
--------------------------	--	---	--	---

ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>ฉันทิมา วัลย์กนก [17]</p>	<p>1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่มีผลกระทบบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้พลังงานของอาคารผ่านช่องเปิดที่ซับซ้อนรูปแบบต่าง ๆ</p> <p>2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดช่องเปิด ที่ให้อัตราการใช้พลังงานของอาคาร เป็นไปตามที่ต้องการภายใต้เงื่อนไขของสภาพแวดล้อมได้</p> <p>3. หาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้พลังงานของช่องเปิดที่ซับซ้อนรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งหาสมการที่เหมาะสมในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้พลังงาน</p>	<p>1. สร้างชุดทดลองเพื่อทดสอบการไหลเพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานมากที่สุด</p> <p>2. การไหลของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ</p> <p>3. สมการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้พลังงานที่เหมาะสม</p>	<p>แบบจำลองทางคณิตศาสตร์</p>	<p>ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้กำหนดค่าตัวประกอบรูปร่างขึ้น เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงความแตกต่างของช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆกัน ในเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าตัวประกอบรูปร่างนี้มีความสัมพันธ์กับลักษณะของช่องเปิดภายในและจำนวนช่องเปิดภายใน ซึ่งพบว่าค่าตัวประกอบรูปร่างจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้พลังงาน</p>
------------------------------	--	--	------------------------------	---



ตาราง 2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

<p>ชัยพร พันธุ์กลสิกร [18]</p>	<p>1. เพื่อจำลองแบบสามมิติของการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่ก่อกำเนิดขึ้นภายในท่อวอร์เทกซ์ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม</p> <p>2. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การไหลและถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในท่อวอร์เทกซ์</p>	<p>1. ปรากฏการณ์ไหลและถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในท่อวอร์เทกซ์</p> <p>2. ตรวจสอบความถูกต้องของความเร็วและอุณหภูมิที่ได้จากการใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์กับผลงานวิจัยที่ใช้วิธีการทดลองและการคำนวณในระบบสองมิติที่เคยมีผู้วิจัยมาแล้ว</p>	<p>ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่มร่วมกับแบบจำลองความปั่นป่วน Standard k-epsilon และ RNG k-epsilon</p>	<p>การท้าววิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการใช้โปรแกรมด้าน CFD ซึ่งผู้ท้าววิจัยได้ทดสอบและเปรียบเทียบกับการทดลองที่มีผู้ศึกษามาก่อน โดยเลือกปัญหาการไหลผ่าน Backward-facing step และปัญหาการไหลในตาแมวแบบวอร์เทกซ์ ที่มีลักษณะการไหลคล้ายกันกับการไหลในวอร์เทกซ์ พบว่าในกรณีที่เป็นการไหลผ่าน Backward-facing step ผลที่ได้จะมีความสอดคล้องกับผลการทดลองมาก ส่วนในกรณีการไหลในตาแมวแบบวอร์เทกซ์นั้นพบว่าผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ แต่ก็ยังทำนายความเร็วในบริเวณที่มีผลเนื่องจากการไหลเข้าของอากาศได้ไม่แม่นยำ</p>
------------------------------------	--	---	--	---

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับรายละเอียดในบทนี้จะแสดงถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย หลังจากที่ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดความดันไอน้ำ โดยในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเนื้อหาในส่วนของขั้นตอนการดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย หลักการทำงานและการออกแบบการทดสอบซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันเพื่อวัดอัตราการไหลของไอน้ำ

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย โปรแกรม SIMATIC WinCC โปรแกรม Sublime Text 3 phpMyAdmin โปรแกรม MySQL Front โปรแกรม Microsoft Excel โปรแกรม SIMATIC STEP7 โปรแกรม Grafana ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 โปรแกรม SIMATIC WinCC

SIMATIC WinCC เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ SCADA แบบ real time และแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานนำมาควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิต และยังสามารถใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งได้

งานวิจัยนี้ใช้ SIMATIC WinCC เพื่อรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์หน้างาน ซึ่งประกอบด้วย ค่าอัตราการไหลของไอน้ำจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Flow Meter) ค่าแรงดันไอน้ำจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน (Pressure Transmitter) รวมถึงค่าระยะการเปิดของวาล์วควบคุม (Control Valve) แล้วส่งต่อไปยังโปรแกรม Sublime Text

##### 3.1.2 โปรแกรม Sublime Text 3

เป็นโปรแกรม Text Editor ที่มีความสามารถในการเขียนโค้ด เหมาะกับผู้ที่ต้องการปรับแต่งการทำงานด้วยตนเอง สามารถลงแพ็คเกจเพิ่มความสามารถได้อีกทั้งสามารถกำหนดหรือตั้งค่าโปรแกรมได้ เป็นโปรแกรมเขียนโค้ดที่สนับสนุนหลากหลายภาษา เช่น C, C++, C#, CSS, HTML, Java, JavaScript, MATLAB, PHP, Python, SQL, XML, XSL เป็นต้น

งานวิจัยนี้ใช้ Sublime Text 3 ทำหน้าที่รับข้อมูลด้วยคำสั่ง GET แล้วแปลงข้อมูลให้เป็นภาษา php ส่งไปยังฐานข้อมูล phpMyAdmin เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

##### 3.1.3 phpMyAdmin

เป็นโปรแกรมประเภท MySQL Client ตัวหนึ่งที่ใช้การจัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านบราวเซอร์ได้โดยตรงและเป็น โปรแกรมแบบ Open Source ซึ่งเขียนด้วยภาษา php ทั้งหมด phpMyAdmin จะทำงานบน Web Server เป็น php Application ที่ใช้ควบคุมจัดการกับ MySQL Server อีกทั้งความสามารถของ phpMyAdmin คือ

- สร้างและลบ Database
- สร้างและจัดการ Table เช่น แทรก ลบ หรือ แก้ไข record หรือ Table
- เพิ่มหรือแก้ไข field ในตาราง
- ดาวน์โหลด Text file เข้าไปเก็บเป็นข้อมูลในตารางได้
- หาผลสรุป (Query) ด้วยคำสั่ง SQL
- ฯลฯ

### 3.1.4 โปรแกรม MySQL Front

MySQL Front เป็น Open source สำหรับติดต่อกับ MySQL คล้าย ๆ กับ phpMyAdmin ต่างกันที่ phpMyAdmin เป็นโปรแกรมที่ทำงานผ่านทาง Browser ขณะที่ MySQL-Front จะเป็น Application ที่ติดตั้งและทำงานบน Windows สามารถติดต่อ Connect กับฐานข้อมูล MySQL ฝั่งของ Server ได้

งานวิจัยนี้ใช้ MySQL Front เพื่อใช้ Export ข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อให้สะดวกต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel

### 3.1.5 โปรแกรม Microsoft Excel

Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภทตารางการคำนวณ พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ เป็นโปรแกรมหนึ่งในชุดไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ สำหรับจัดการและคำนวณข้อมูลในรูปแบบตาราง อีกทั้งสามารถจัดทำกราฟ แผนภูมิเพื่อแสดงผลข้อมูล

Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในด้านการการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ฟังก์ชันพื้นฐาน บวก ลบ คูณ หาร ยกกำลัง รวมถึงฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ระดับสูง เช่น

- Modulo
- ตรีโกณมิติ (Sin Cos Tan)
- ฟังก์ชันทางสถิติ เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ฟังก์ชันทางการเงิน เช่น การคิดค่าเสื่อมราคา, การคำนวณค่าปัจจุบัน
- ฟังก์ชันในการตัดต่อคำ เช่น Concatenate
- ฟังก์ชันในการค้นหาข้อมูล เช่น Lookup, vlookup และ hlookup

สำหรับส่วนที่ถือว่าเป็นสิ่งที่เยี่ยมยอดของ Microsoft Excel คือ การใช้งานในรูปแบบของฐานข้อมูล ซึ่งสามารถจัดการฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก คือมีประมาณไม่เกิน 65,000 ตาราง ไม่ว่าจะเป็น ตัวกรอง, การเรียงลำดับข้อมูล (Sort), ค่ารวมยอดรวม (Subtotal) และตารางไพลอต (Pivot Table) เป็นคำสั่งสำหรับสรุปข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ดูได้ง่ายสามารถหมุนเปลี่ยนตามต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถทำกราฟในแบบต่าง ๆ เช่น เส้นตรง วงกลม กราฟรูปแท่ง กราฟแท่งเทียนที่ใช้กับการวิเคราะห์หุ้นก็ทำได้ กราฟพื้นที่ สามารถทำกราฟต่างๆให้อยู่ในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติได้ ด้วย รวมถึงทำกราฟ 2 ชนิดในรูปแบบเดียวกันได้

งานวิจัยนี้ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Output คือค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) กับ Input คือค่าแรงดันไอน้ำขาเข้า แรงดันไอน้ำขาออกและระยะเวลาการเปิดของวาล์วควบคุม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์คือสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

### 3.1.6 โปรแกรม SIMATIC STEP7

STEP7 เป็น Software ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม PLC ในรุ่นปัจจุบันคือ S7-1200, S7-1500, S7-300 และ S7-400 โดยแบ่ง software เป็น 2 รุ่นย่อยคือ

- STEP7 Basic : ใช้เขียน S7-1200 ได้เท่านั้น
- STEP7 Professional : ใช้เขียน PLC ได้ทุกรุ่น ทั้ง S7-1200, S7-1500, S7-300 และ S7-400

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์ Simatic Step 7 ของบริษัทซีเมนส์ สามารถเขียนโปรแกรมได้ 5 ภาษาคือ

1. ภาษา LAD (Ladder diagram) จะมีรูปแบบเหมือนภาษา LD ตามมาตรฐานของ IEC 1131-3
  2. ภาษา FBD (Function Block Diagram) จะมีรูปแบบเหมือนภาษา FBD ตามมาตรฐานของ IEC 1131-3
  3. ภาษา STL (Statement List) จะมีรูปแบบเหมือนภาษา IL ตามมาตรฐานของ IEC 1131-3
  4. ภาษา SFC (Sequence Function Chart) โดยจะต้องลงโปรแกรม Step 7-Graph ก่อน
  5. ภาษา State Diagram โดยจะต้องลงโปรแกรม Step 7 – Higraph ก่อน
- งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SIMATIC STEP7 สำหรับเขียนสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่ได้จากการวิเคราะห์ลงในโปรแกรม STEP7 ซึ่งเป็น Software ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม Programmable Logic Control (PLC) ในรูปแบบ Ladder Diagram Language โดยจัดทำเป็น Function เพื่อให้สะดวกต่อการเรียกใช้งาน

### 3.1.7 โปรแกรม Grafana

Grafana คือ Dashboard tools และเป็น Open source สามารถเชื่อมต่อกับ Data source ได้หลากหลาย เช่น Elasticsearch, Prometheus, MySQL, PostgreSQL เป็นต้น สามารถทำ Metrics สำหรับ Monitor ข้อมูลต่าง ๆ ได้แบบ realtime แล้วนำมาแสดงเป็น Graph Time Series อีกทั้งสามารถแจ้งเตือนได้หลายช่องทาง เช่น Email, Line, Slack เป็นต้น

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Grafana ใช้สำหรับแสดงผลข้อมูล โดยจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมา plot graph ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟเวลาจริง (Real time) บน Web Dashboard เพื่อให้

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2.1 เก็บข้อมูลและบันทึกข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะใช้โปรแกรม SIMATIC WinCC อ่านสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน ( Pressure Transmitter) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow Meter) และระยะการเปิดของวาล์วควบคุม (Control Valve) ด้วยคำสั่ง Read แล้วส่งต่อไปยัง

โปรแกรม Sublime Text ด้วยคำสั่ง POST เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นภาษา php สำหรับส่งไปเก็บบันทึกลงบนฐานข้อมูล phpMyAdmin ดังภาพประกอบ 3.1

```

Global Script VBS - test2.mcp: (Project Module) boiler.bmo
File Edit View Insert Options Windows Help
test2.mcp: (Project Module) boiler.bmo x

Sub steam_wk
  Dim xHttp: Set xHttp=CreateObject("MSXML2.XMLHTTP.3.0")

  valve = HMIRuntime.Tags("WK1_crl_valve_steam").Read
  p2 = HMIRuntime.Tags("WK1_press_steam").Read
  p1 = HMIRuntime.Tags("Pressure_steam_BH1").Read
  F_BH1 = HMIRuntime.Tags("FLOW_CAL_STEAM_BH1").Read
  Valve_BH1 = HMIRuntime.Tags("Valve_stam_main_BH1").Read
  Valve_DY2 = HMIRuntime.Tags("Valve_DY2").Read
  p_DY2 = HMIRuntime.Tags("Pressure_out_DY2").Read
  F_DY2 = HMIRuntime.Tags("Flow_DY2").Read

  xHttp.open "POST", "http://10.26.15.12/SmartFactory/steam_wk.php?valve=" & valve & "&p1=" & p1 & "&p2=" & p2 & "&F_BH1=" & F_BH1 & "&Valve_BH1=" & Valve_BH1 & "&p_DY2=" & p_DY2 & "&Valve_DY2=" & Valve_DY2 & "&F_DY2=" & F_DY2 & "", False

  xHttp.setRequestHeader "Content-Type", "text/html"
  xHttp.send DataToSend
End Sub

```

ภาพประกอบ 3.1 โปรแกรม SIMATIC WinCC

```

\\10.26.15.12\htdocs\SmartFactory\steam_wk.php - Sublime Text (UNREGISTERED)
File Edit Selection Find View Goto Tools Project Preferences Help

1 <>
2 mysql_connect("localhost","singha","singhab1");
3 mysql_select_db(test);
4
5 $valve = $_GET["valve"];
6 $F_BH1 = $_GET["F_BH1"];
7 $p1 = $_GET["p1"];
8 $p2 = $_GET["p2"];
9 $p1 = $p1*0.01;
10 $p2 = $p2*0.01;
11 $valve = $valve*0.1;
12 $p_DY2 = $_GET["p_DY2"];
13 $Valve_DY2 = $_GET["Valve_DY2"];
14 $F_DY2 = $_GET["F_DY2"];
15 $Valve_BH1 = $_GET["Valve_BH1"];
16 $PT_Header_BH1 = $_GET["PT_Header_BH1"];
17 $sql = "INSERT INTO steam_wk (date_time, valve, p1, p2,flow,flow2,F_BH1,Valve_BH1,p_DY2,Valve_DY2,F_DY2,F_BH1_CAL,F_DY2_CAL)
18 VALUES (CURRENT_TIMESTAMP, '$valve', '$p1', '$p2','$flow','$flow2','$F_BH1','$Valve_BH1','$p_DY2','$Valve_DY2','$F_DY2')";
19 mysql_query($sql);

```

ภาพประกอบ 3.2 โปรแกรม Sublime Text

จากภาพประกอบ 3.2 โปรแกรม Sublime Text จะทำหน้าที่รับข้อมูลด้วยคำสั่ง GET แล้วแปลงข้อมูลให้เป็นภาษา php สำหรับส่งไปยังฐานข้อมูล phpMyAdmin ดังภาพประกอบ 3.3 เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

Showing rows 0 - 24 (4869025 total, Query took 0.0123 seconds.) [date\_time: 2021-01-14 09:47:15... - 2021-01-14 09:43:15...]

```
SELECT * FROM 'steam_wk' ORDER BY 'date_time' DESC
```

	date_time	valve	p1	p2	flow	flow2	F_BH1	Valve_BH1	Valve_DY2
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:47:15	0	3.54	0	0	0	1711.42	169	681
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:47:05	0	3.52	0	0	0	1714.09	191	813
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:46:56	0	3.51	0	0	0	1716.71	201	570
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:46:53	0	3.48	0	0	0	1722.33	202	938
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:46:50	0	3.47	0	0	0	1724.82	200	551
<input type="checkbox"/>	2021-01-14 09:46:46	0	3.47	0	0	0	1724.82	197	551

ภาพประกอบ 3.3 ฐานข้อมูล phpMyAdmin

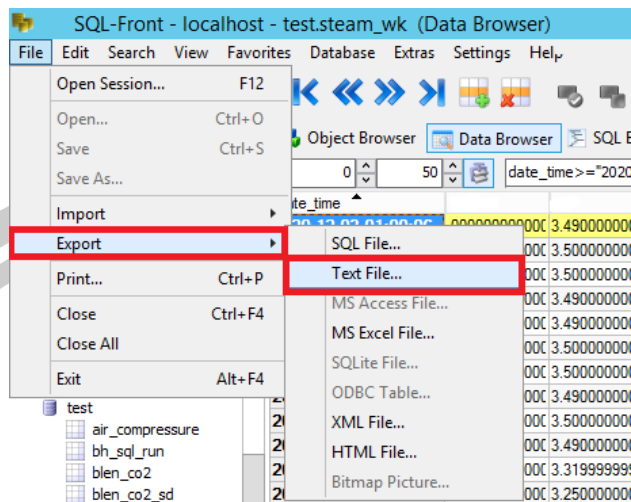
### 3.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์

เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะต้องทำการ Export ข้อมูลจากฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม MySQL front เริ่มต้นโดยเปิดข้อมูลและกรองเอาเฉพาะช่วงเวลาที่เราต้องการ ดังภาพประกอบ 3.4 จากนั้นใช้คำสั่ง Export และเลือก Text File ดังภาพประกอบ 3.5 เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อในโปรแกรม Microsoft Excel

date\_time >= "2020-12-03 01:00:00" AND date\_time <= "2020-12-10 11:00:00"

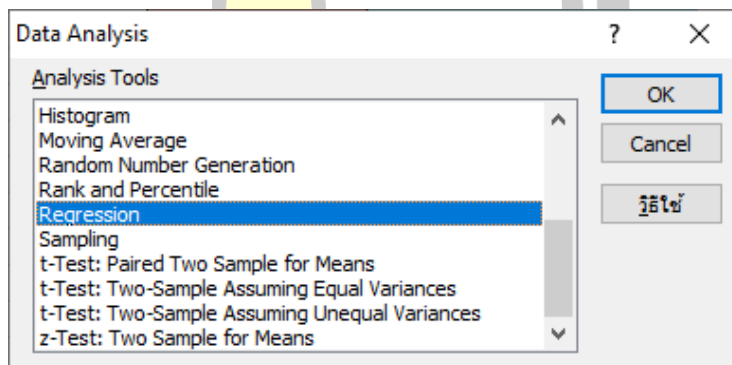
Pressure_steam...	Pressure_steam...	Flow_steam...	Flow_steam...	date_time
3.4900000000000000	4.0599999999999999	4.7699999999999999	1.000000	2020-12-03 01:00:06
3.5000000000000000	4.0599999999999999	4.9100000000000000	1.000000	2020-12-03 01:00:09
3.5000000000000000	4.0599999999999999	4.9900000000000000	1.000000	2020-12-03 01:00:16
3.4900000000000000	4.0599999999999999	5.0700000000000000	1.000000	2020-12-03 01:00:18
3.4900000000000000	4.0599999999999999	5.0099999999999999	1.000000	2020-12-03 01:00:26
3.5000000000000000	4.0599999999999999	5.0899999999999999	1.000000	2020-12-03 01:00:36
3.5000000000000000	4.0599999999999999	5.1299999999999999	1.000000	2020-12-03 01:00:46
3.4900000000000000	4.0599999999999999	5.1900000000000000	1.000000	2020-12-03 01:00:50
3.5000000000000000	4.0599999999999999	5.1699999999999999	1.000000	2020-12-03 01:00:56
3.4900000000000000	4.0599999999999999	5.1900000000000000	1.000000	2020-12-03 01:01:06
3.3199999999999999	4.0599999999999999	5.1699999999999999	1.000000	2020-12-03 01:01:13
3.2500000000000000	4.0599999999999999	2.6400000000000000	1.000000	2020-12-03 01:01:15
3.2500000000000000	4.0599999999999999	2.6400000000000000	1.000000	2020-12-03 01:01:16
3.2500000000000000	4.0599999999999999	2.6400000000000000	1.000000	2020-12-03 01:01:16

ภาพประกอบ 3.4 โปรแกรม MySQL front



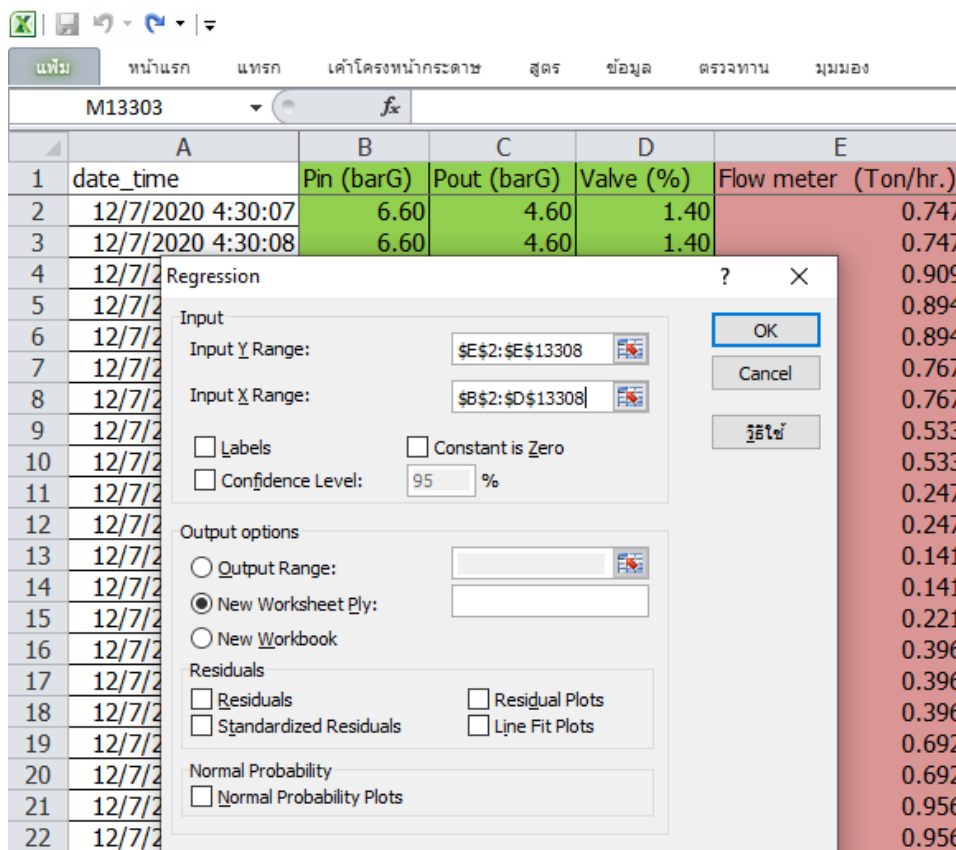
ภาพประกอบ 3.5 Export ด้วยโปรแกรม MySQL front

นำไฟล์ข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะใช้ฟังก์ชันคำสั่ง Regression ใน Data Analysis Toolbox ของโปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.6 Data Analysis Toolbox

การใช้งานฟังก์ชันคำสั่ง Regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Output คือค่าอัตรา การไหลที่วัดได้จาก Flow meter กับ Input ทั้งสาม คือค่าแรงดันไอน้ำขาเข้า แรงดันไอน้ำขาออก และระยะเวลาเปิดของวาล์วควบคุม ดังภาพประกอบ 3.7 และได้ผลลัพธ์ ดังภาพประกอบ 3.8



ภาพประกอบ 3.7 การใช้งานฟังก์ชันคำสั่ง Regression

Regression Statistics						
Multiple R	0.971					
R Square	0.943					
Adjusted R Square	0.943					
Standard Error	0.070					
Observations	13307.000					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	3	1076.688	358.896	73122.965	0	
Residual	13303	65.293	0.005			
Total	13306	1141.981				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-4.034	0.041	-98.295	0.000	-4.114	-3.953
Pin (barG)	-0.100	0.006	-17.163	0.000	-0.112	-0.089
Pout (barG)	1.198	0.003	416.440	0.000	1.192	1.204
Valve (%)	-0.002	0.000	-143.419	0.000	-0.002	-0.002

ภาพประกอบ 3.8 ผลลัพธ์ของ Regression

เมื่อนำผลลัพธ์จาก ภาพประกอบ 3.8 เขียนเป็นสมการ โดยอ้างอิงจากสมการ Multiple Linear Regression จากภาพประกอบ 3.9 จะได้ดังสมการ 3.1



## Multiple Linear Regression

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon$$

ภาพประกอบ 3.9 Multiple Linear Regression

เมื่อ	$y$	คือ ค่าตัวแปรตาม หรือ Flow rate (Ton/hr.)
	$x_1$	คือ ค่าตัวแปรอิสระที่ 1 หรือ ค่าแรงดันไอน้ำก่อนเข้าวาล์วควบคุม (BarG)
	$x_2$	คือ ค่าตัวแปรอิสระที่ 2 หรือ ค่าแรงดันไอน้ำหลังวาล์วควบคุม (BarG)
	$x_3$	คือ ค่าตัวแปรอิสระที่ 3 หรือ ระยะเวลาเปิดของวาล์วควบคุม (%)
	$\beta_0$	คือ ค่าคงที่ หรือ จุดตัดแกน $y$ ( $y$ intercept)
	$\beta_1$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของตัวแปรอิสระที่ 1
	$\beta_2$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของตัวแปรอิสระที่ 2
	$\beta_3$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของตัวแปรอิสระที่ 3
	$\varepsilon$	คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (error)

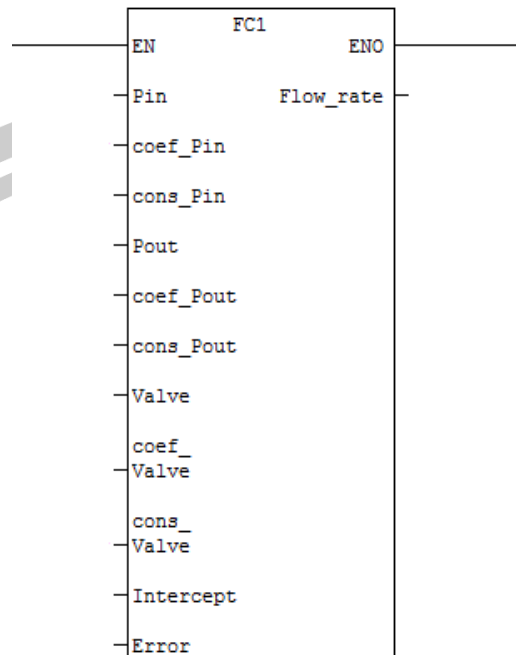
เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น สามารถเขียนได้ดังสมการ 3.1

$$\text{Flow rate} = \beta_0 + (\text{Pin} * \beta_1) + (\text{Pout} * \beta_2) + (\text{Valve} * \beta_3) + \varepsilon \quad (3.1)$$

## 3.2.3 เขียนโปรแกรมคำนวณ

เพื่อความรวดเร็วและแม่นยำในการคำนวณ จึงนำสมการ 3.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเขียนลงในโปรแกรม STEP7 ซึ่งเป็น Software ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม Programmable logic Control (PLC) ในรูปแบบ Ladder Diagram Language โดยจัดทำเป็น Function ดังภาพประกอบ 3.10 และเพื่อให้สะดวกต่อการเรียกใช้งานทั้งยังสามารถนำไปใช้ได้หลาย ๆ กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งอาจมีค่าตัวแปรอิสระอย่าง Pin Pout และ Valve ที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องมี ค่าคงที่ (constant) สำหรับคุณเพื่อปรับค่าของตัวแปรอิสระ ให้กลายเป็นค่าที่ถูกต้องสำหรับโปรแกรมคำนวณยกตัวอย่าง เช่น คุณเพื่อเปลี่ยนค่าหลักพันให้เป็นหลักหน่วย หรือกระทั่งคุณเพื่อปรับค่าทศนิยมของตัวแปรอิสระให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องมีค่าคง (constant) ที่เพิ่มเข้าไปในสมการ และเพื่อไม่ผู้ใช้งานเกิดความสับสนจึงทำการเปลี่ยนรูปสมการให้ง่ายต่อการใช้โปรแกรมดังสมการ 3.2

$$\text{Flow rate} = (\text{y intercept}) + (\text{Pin} * \text{coef\_Pin} * \text{cons\_Pin}) + (\text{Pout} * \text{coef\_Pout} * \text{cons\_Pout}) + (\text{Valve} * \text{coef\_Valve} * \text{cons\_Valve}) + (\text{error}) \quad (3.2)$$



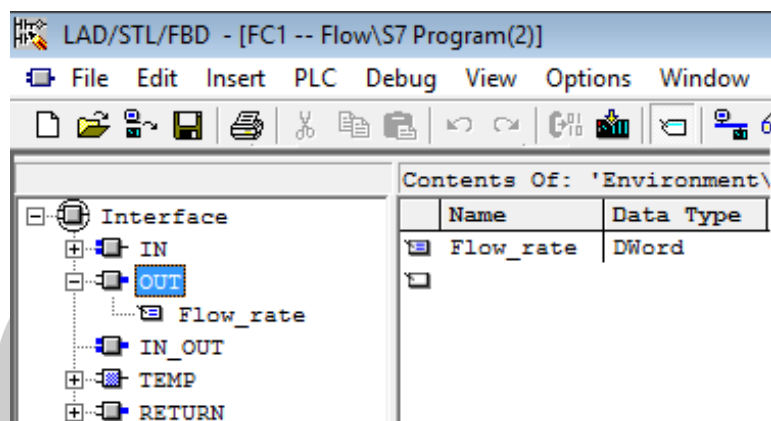
ภาพประกอบ 3.10 Function คำนวณ

ซึ่งภายในฟังก์ชันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เริ่มต้นที่การประกาศตัวแปร Input Output และ Constants ดังภาพประกอบ 3.11 ภาพประกอบ 3.12 และภาพประกอบ 3.13 ตามลำดับ เพื่อให้โปรแกรมทราบถึงชนิดของข้อมูลหรือสัญญาณที่นำมาคำนวณ

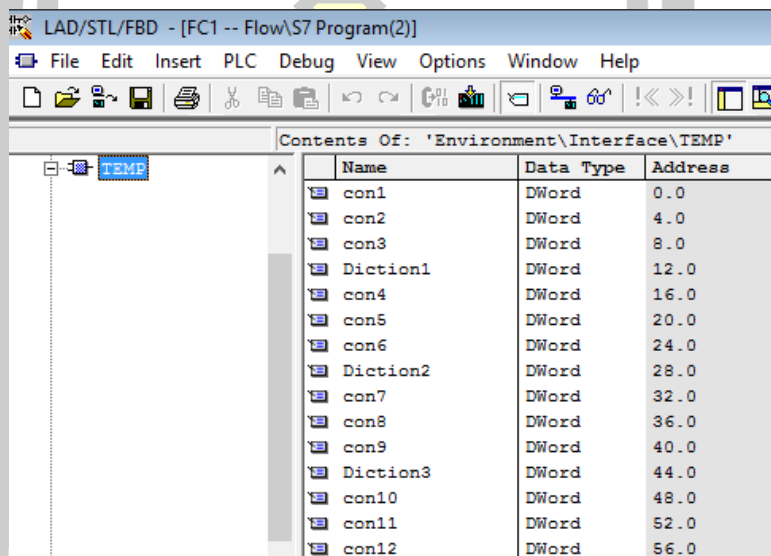
The screenshot shows the 'Contents Of: 'Environment\Interfac' window with the following table:

Name	Data Type
Pin	Int
coef_Pin	Real
cons_Pin	Real
Pout	Int
coef_Pout	Real
cons_Pout	Real
Valve	Int
coef_Valve	Real
cons_Valve	Real
Intercept	Real
Error	Real

ภาพประกอบ 3.11 ประกาศตัวแปร Input



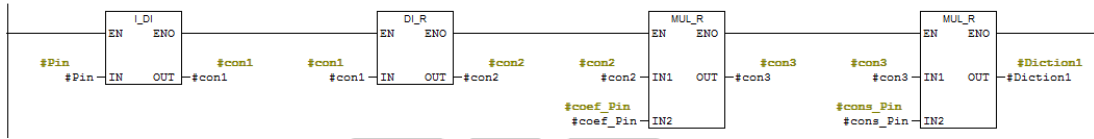
ภาพประกอบ 3.12 ประกาศตัวแปร Output



ภาพประกอบ 3.13 ประกาศตัวแปร Constants

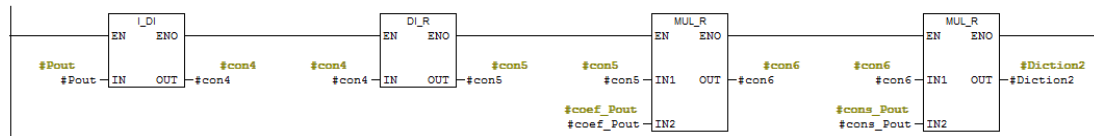
เมื่อประกาศตัวแปรแล้วจึงทำการเขียน Ladder ตามสมการที่ได้ออกแบบไว้ โดยแบ่งเป็น 4 Network ประกอบด้วย Network 1 คือการคำนวณพจน์ที่ 1 ( $Pin * coef\_Pin * cons\_Pin$ ) Network 2 คือการคำนวณพจน์ที่ 2 ( $Pout * coef\_Pout * cons\_Pout$ ) Network 3 คือการคำนวณพจน์ที่ 3 ( $Valve * coef\_Valve * cons\_Valve$ ) และ Network 4 เป็นการรวมกันของทุก Network เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายคือ Flow\_rate ดังภาพประกอบ 3.14 ภาพประกอบ 3.15 ภาพประกอบ 3.16 และภาพประกอบ 3.17 ตามลำดับ

Network 1 : Pressure in



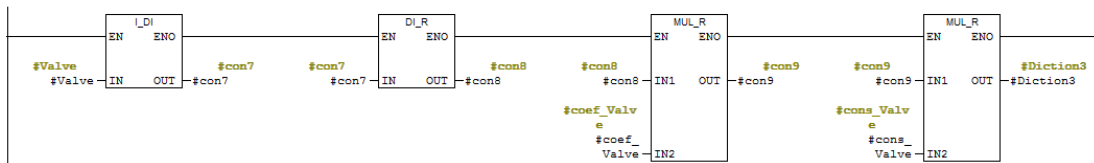
ภาพประกอบ 3.14 Network 1 คำนวณพจน์ที่ 1 ของสมการ

Network 2 : Pressure out



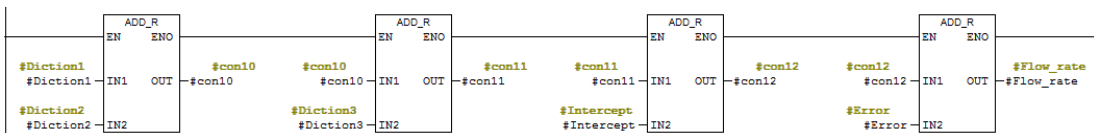
ภาพประกอบ 3.15 Network 2 คำนวณพจน์ที่ 2 ของสมการ

Network 3 : Valve (0-100%)



ภาพประกอบ 3.16 Network 3 คำนวณพจน์ที่ 3 ของสมการ

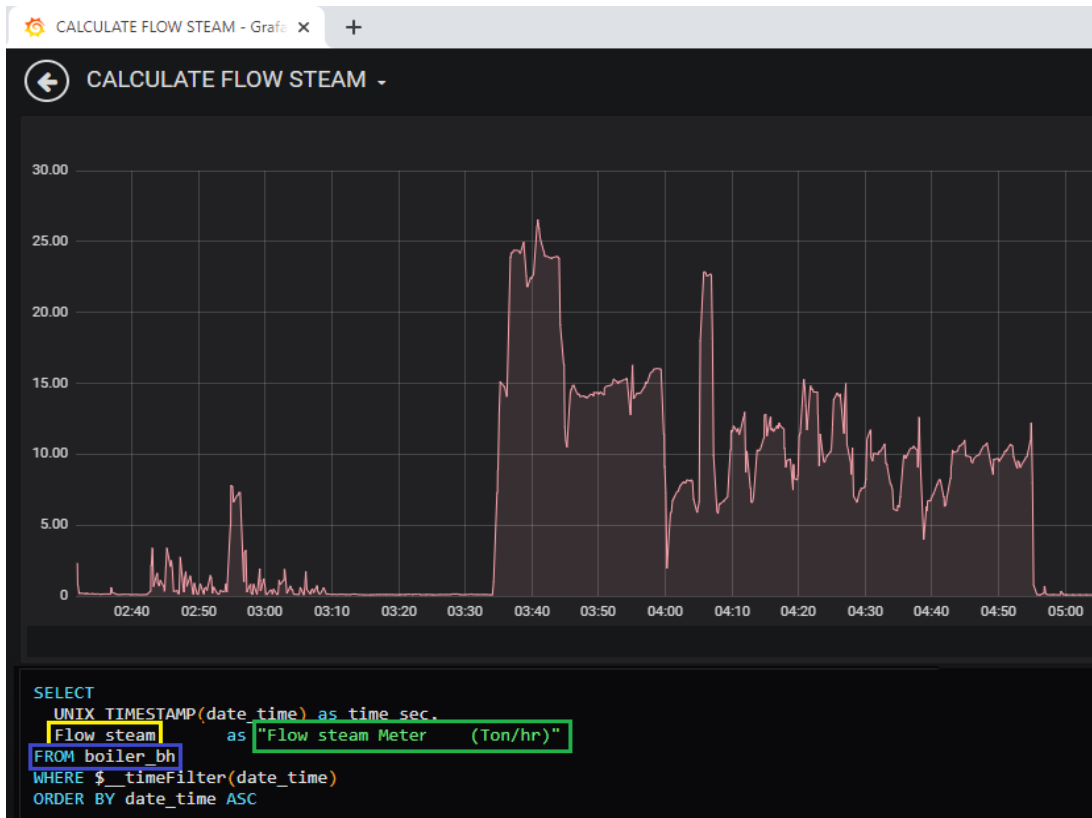
Network 4 : sum all



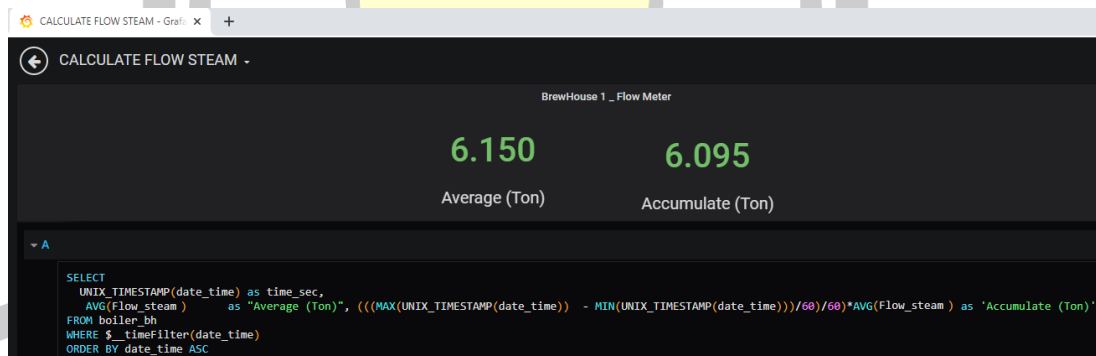
ภาพประกอบ 3.17 Network 4 รวมผลลัพธ์ของพจน์ที่ 1 ถึง 3

### 3.2.4 แสดงผล

การแสดงผลข้อมูล จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟเวลาจริง (Real time) บน Web Dashboard ที่มีชื่อว่า Grafana ภาพประกอบ 3.18 เป็นการแสดงตัวอย่างการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาสร้างกราฟโดยมีจุดสังเกต คือ ชื่อข้อมูลที่ต้องการดึงมาดั่งกรอบสี่เหลี่ยม ดั่งชื่อเส้นกราฟ ดั่งกรอบสี่เหลี่ยม และที่อยู่ของข้อมูลที่ต้องการดึงมาดั่งกรอบสี่น้ำเงิน

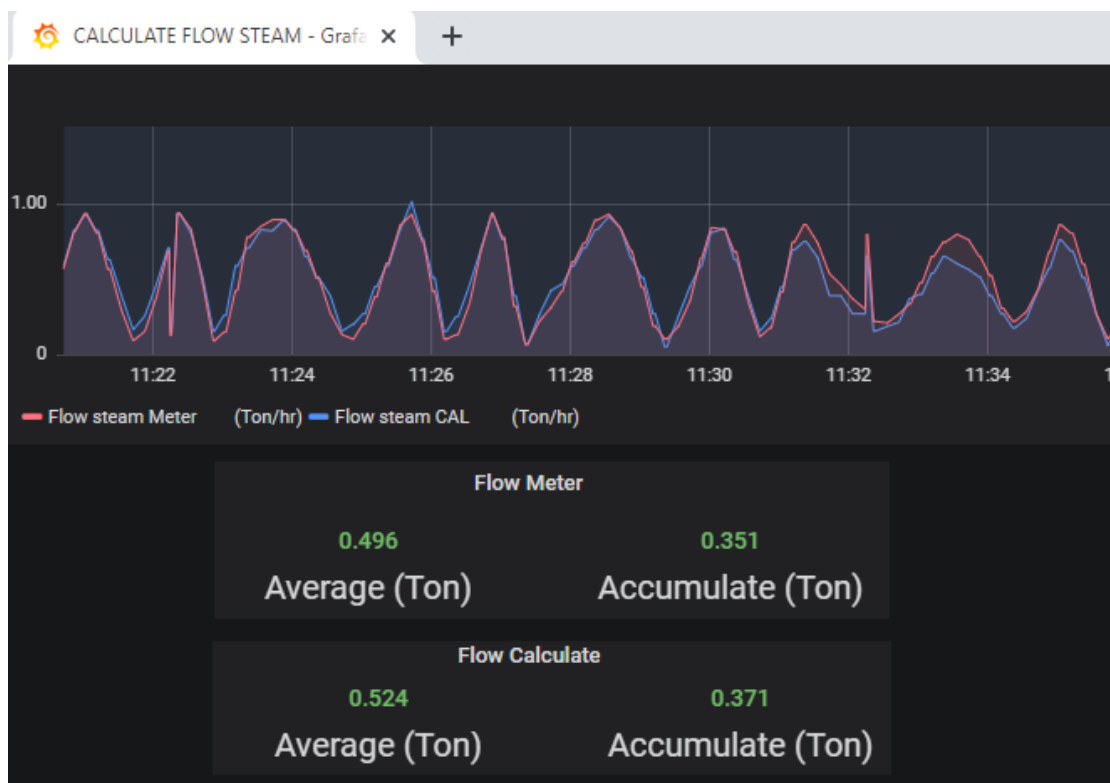


ภาพประกอบ 3.18 สร้างกราฟข้อมูล



ภาพประกอบ 3.19 อัตราการไหลเฉลี่ยและอัตราการไหลสะสม

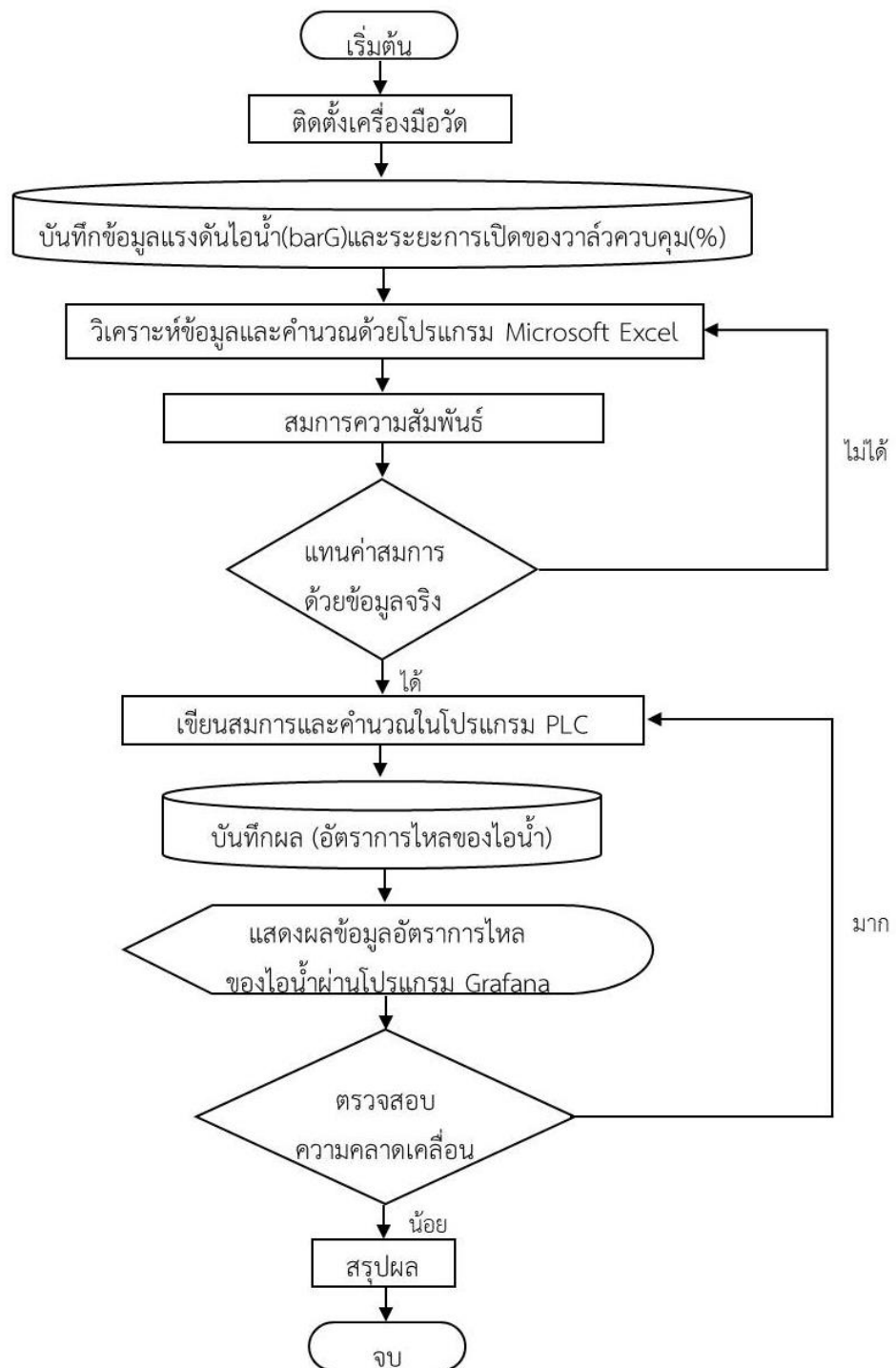
ภาพประกอบ 3.19 เป็นการเขียนโปรแกรมบน Grafana Dashboard เพื่อให้แสดงค่าอัตราการไหลเฉลี่ยและอัตราการไหลสะสม เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่าจากเส้นกราฟ ภาพประกอบ 3.20 เป็นตัวอย่างที่นำกราฟเส้นมาแสดงเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) และอุปกรณ์สัญญาณแรงดัน ( Pressure Transmitter) พร้อมทั้งแสดงค่าอัตราการไหลเฉลี่ยและอัตราการไหลสะสมของทั้งสองเส้นกราฟ ในรูปแบบของตัวเลข



ภาพประกอบ 3.20 เปรียบเทียบอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) และ อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน ( Pressure Transmitter)

### 3.3 หลักการทำงานของการทำงานประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันเพื่อวัดอัตราการไหลของไอน้ำ

การวัดอัตราการไหลของไอน้ำโดยการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน (Pressure Transmitter) มีข้อมูลที่จะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นประกอบไปด้วย แรงดันไอน้ำ(barG) ระยะการเปิดของวาล์วควบคุม(%) และที่ขาดไม่ได้คือค่าอัตราการไหล (Ton/hr.) ของไอน้ำที่ได้จากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงกับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวเข้ามาเก็บไว้ในฐานข้อมูล (MySQL) เพื่อนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ (Multiple linear regression) เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ออกมา จากนั้นนำสมการที่ได้ไปแทนค่าด้วยข้อมูลจริงที่ได้จากเครื่องมือวัด จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น อัตราการไหลของไอน้ำ (Ton/hr.) ทำการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนแล้วจึงนำสมการที่ได้ไปเขียนเป็นภาษา LADDER ลงบนโปรแกรม PLC แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงในรูปแบบของกราฟเส้นบนโปรแกรม Grafana เป็นการเสร็จสิ้น ดังภาพประกอบ 3.21



ภาพประกอบ 3.21 หลักการทำงานการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันเพื่อวัดอัตราการไหลของไอน้ำ

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการที่ได้มีการออกแบบการทดลองในบทที่ 3 แล้วนั้น ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยฟังก์ชันคำสั่ง Regression ในโปรแกรม Microsoft Excel และสุดท้ายจะเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ตามลำดับ

#### 4.1 การรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของไอน้ำ ประกอบด้วย 4 ข้อมูล ได้แก่ ค่าความดันไอน้ำทั้งก่อนและหลังวาล์วควบคุมมีหน่วยเป็นบาร์เกจจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันรุ่น SITRANS P220 ค่าระยะการเปิดของวาล์วควบคุมมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์การเปิดจากวาล์วควบคุมรุ่น SAMSON 3277 และค่าอัตราการไหลของไอน้ำมีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมงจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำรุ่น Prowirl 200 ซึ่งจะมีการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 วินาที แสดงตัวอย่างดังตารางต่อไปนี้

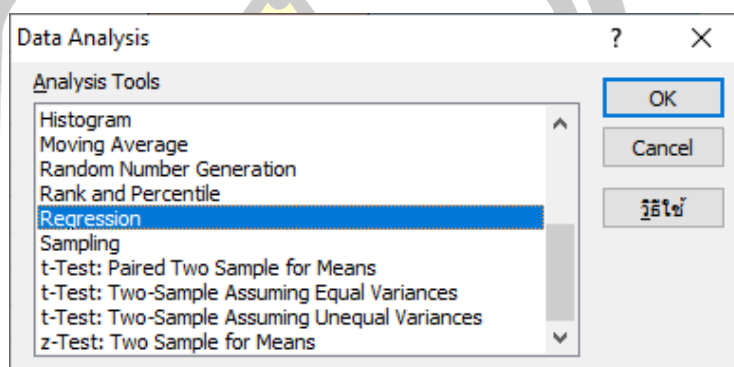
ตาราง 4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

Date/time	Pin (barG)	Pout (barG)	Valve (%)	Flow meter (Ton/hr.)
12/7/2020 4:30:05	6.60	4.60	1.40	0.747
12/7/2020 4:30:10	6.60	4.60	1.40	0.747
12/7/2020 4:30:15	6.59	4.80	14.00	0.909
12/7/2020 4:30:20	6.53	4.80	49.60	0.894
12/7/2020 4:30:25	6.53	4.80	49.60	0.894
12/7/2020 4:30:30	6.53	4.70	95.80	0.767
12/7/2020 4:30:35	6.47	4.70	95.80	0.767
12/7/2020 4:30:40	6.47	4.60	100.60	0.533
12/7/2020 4:30:45	6.45	4.60	100.60	0.533
12/7/2020 4:30:50	6.45	4.40	100.60	0.247
12/7/2020 4:30:55	6.46	4.40	100.60	0.247
12/7/2020 4:31:00	6.48	4.20	97.8	0.141

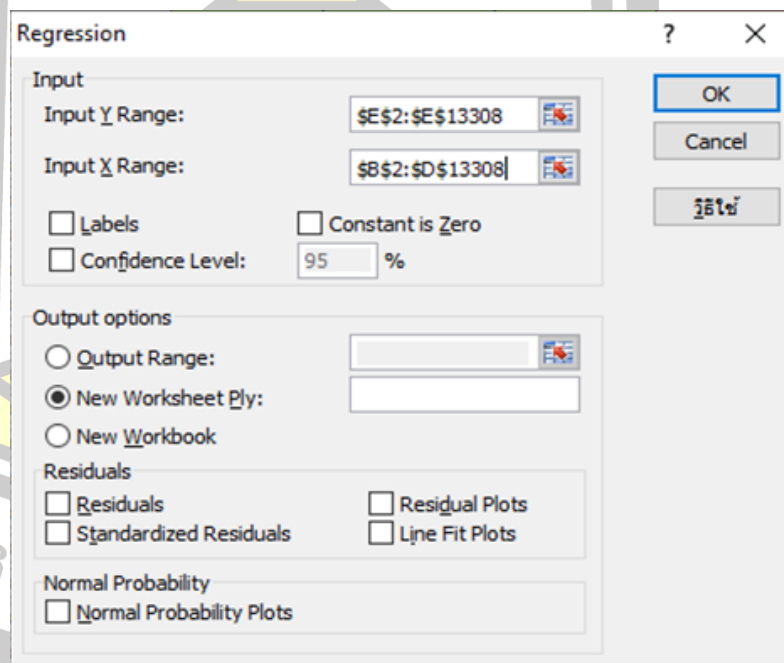


## 4.2 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยฟังก์ชันคำสั่ง Regression ในโปรแกรม Microsoft Excel

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ โดยใช้ฟังก์ชันคำสั่ง Regression ใน Data Analysis Toolbox ของโปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพประกอบ 4.1 ตามด้วยการเลือกตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y) ภาพประกอบ 4.2 และจะได้ผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 4.3 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.1 Data Analysis Toolbox



ภาพประกอบ 4.2 เลือกตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y)

Regression Statistics						
Multiple R	0.971					
R Square	0.943					
Adjusted R Square	0.943					
Standard Error	0.070					
Observations	13307.000					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	3	1076.688	358.896	73122.965	0	
Residual	13303	65.293	0.005			
Total	13306	1141.981				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-4.034	0.041	-98.295	0.000	-4.114	-3.953
Pin (barG)	-0.100	0.006	-17.163	0.000	-0.112	-0.089
Pout (barG)	1.198	0.003	416.440	0.000	1.192	1.204
Valve (%)	-0.002	0.000	-143.419	0.000	-0.002	-0.002

ภาพประกอบ 4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

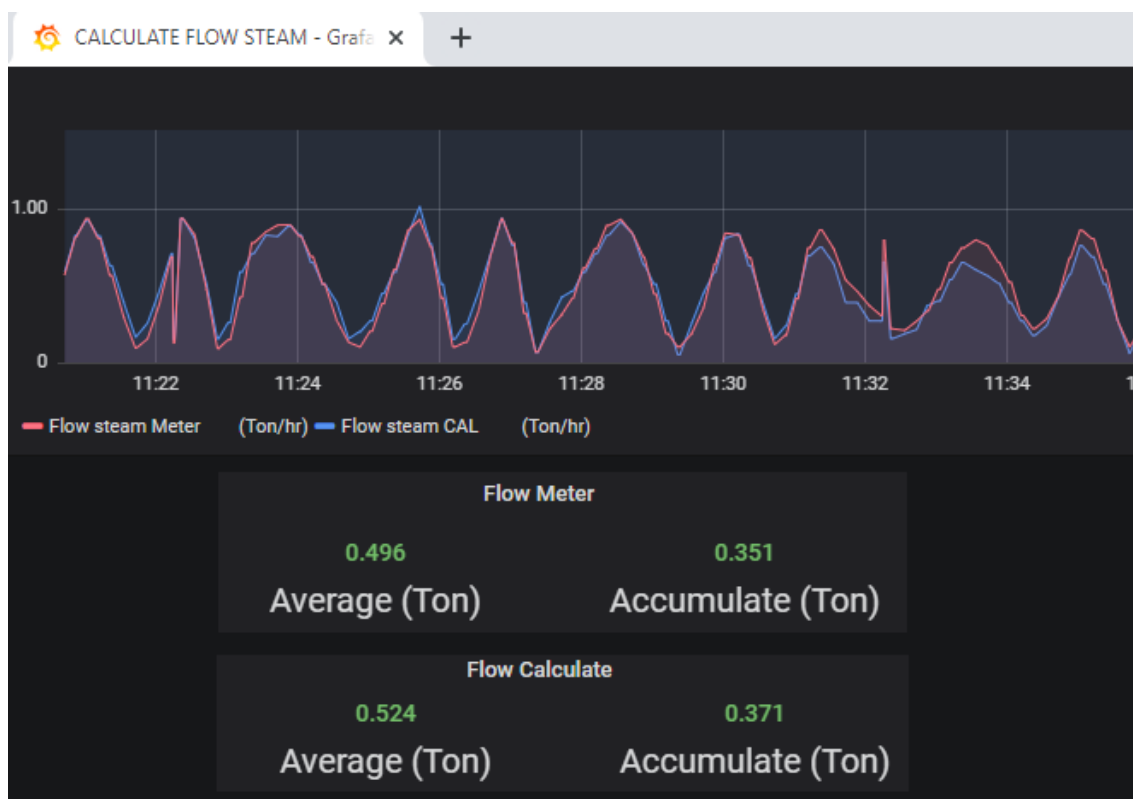
ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณดังภาพประกอบ 4.3 มาเขียนในรูปแบบของสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ จะได้ดังสมการ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์มี R Square เท่ากับร้อยละ 94

$$y = - 4.034 - (\text{Pin} * 0.1) + (\text{Pout} * 1.198) - (\text{Valve} * 0.002) + 0.07 \quad (4.1)$$

#### 4.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล

เปรียบเทียบอัตราการไหลของไอน้ำระหว่างค่าอัตราการไหลของไอน้ำที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำกับค่าอัตราการไหลของไอน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยการนำสมการ 4.1 มาแทนค่าตัวแปรต้น(Pin Pout Valve) ด้วยสัญญาณแบบเวลาจริง(Real-time) จากหน้างานด้วยวิธีการดังข้อ 3.2.3 แล้วนำมาสร้างกราฟจะได้อัตราการไหลของไอน้ำที่ได้จากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของไอน้ำที่ได้จากการคำนวณ ดังภาพประกอบ 4.4

พหุ ประถม โท ชีวะ



ภาพประกอบ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการไหล

เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของไอน้ำ จากภาพประกอบ 4.4 พบว่า อัตราการไหลของไอน้ำที่วัดโดยอุปกรณ์สัญญาณแรงดัน มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของไอน้ำที่วัดจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ  $\pm 5.8 \times 10^{-6}$  ตันต่อชั่วโมง โดยค่าความคลาดเคลื่อนในระดับร้อยละ 12 นี้ ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกระบวนการใช้ไอน้ำตัวอย่าง เนื่องจากเป็นผู้ใช้ไอน้ำที่ไม่ได้ต้องการความแม่นยำที่สูง อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถลดลงได้ หากจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมากขึ้นและเพิ่มความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัด

นอกจากนั้น จากการศึกษายังพบว่า ในแต่ละกระบวนการที่ใช้ไอน้ำจะได้สมการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ความดันไอน้ำ รวมถึงประเภทและขนาดของวาล์วควบคุม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ตามสมการที่ 4.1 และอัตราการไหลที่วัดได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดัน (Pressure Transmitter) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4 เป็นการนำเสนอผลจากตัวอย่างจากผู้ใช้อไอน้ำกระบวนการหนึ่งเท่านั้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสำหรับการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของไอน้ำ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำที่มีราคาสูง จากผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดอัตราการไหลและปริมาณการใช้ไอน้ำได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ ซึ่งถือเป็นค่าที่สามารถนำมาใช้อ้างอิงได้ เนื่องจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของไอน้ำมีการสอบเทียบตามมาตรฐานสากล โดยค่าความคลาดเคลื่อนในระดับร้อยละ 12 นี้ ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกระบวนการใช้ไอน้ำตัวอย่าง เนื่องจากเป็นผู้ใช้ไอน้ำที่ไม่ได้ต้องการความแม่นยำที่สูง และการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแรงดันยังช่วยให้ประหยัดต้นทุนในการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow meter) ได้มากกว่าร้อยละ 80

#### 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

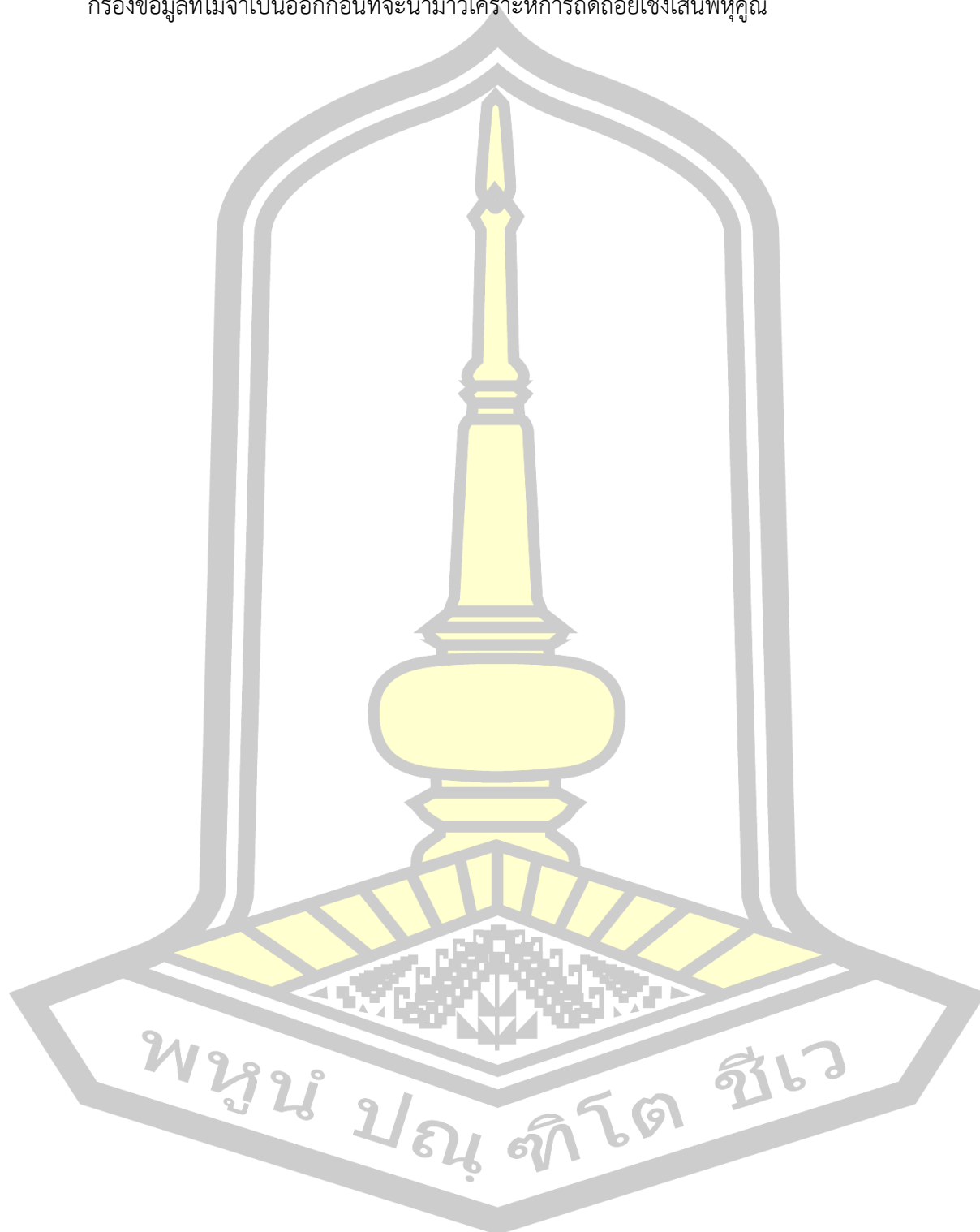
5.2.1 ในแต่ละกระบวนการที่ใช้ไอน้ำจะได้สมการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ แรงดันไอน้ำ รวมถึงประเภทและขนาดของวาล์วควบคุม

5.2.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดไม่เหมาะสม เนื่องจากสถานที่ทดลองมีพื้นที่สำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดค่อนข้างจำกัด

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเพิ่มจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัดให้มากขึ้น จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนลงได้

5.3.2. วิเคราะห์สหสัมพันธ์เชิงพหุ (multiple correlation) หาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อ  
กรองข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ



บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

- [1] “ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม” [Online]. Available:  
<http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/boiler2.pdf>
- [2] “กลศาสตร์ของไหล” [Online]. Available:  
<http://irre.ku.ac.th/books/pdf/19.pdf>
- [3] “มาตรวัดความดันแบบบูร์ดอง” [Online]. Available:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pascals-law.pdf>
- [4] “มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า” [Online]. Available:  
[https://www.sangchaimeter.com/product\\_page/เครื่องมือวัดความดัน-Pressure/tecsis/P3961-Digital-Pressure-Gauge](https://www.sangchaimeter.com/product_page/เครื่องมือวัดความดัน-Pressure/tecsis/P3961-Digital-Pressure-Gauge)
- [5] “การวัดอัตราการไหล” [Online]. Available:  
<https://www.hipurify.com/article/19/flow-meter>
- [6] “เครื่องมือวัดอัตราการไหล” [Online]. Available:  
<https://mall.factomart.com/type-of-flow-meter/>
- [7] “วาล์วควบคุม” [Online]. Available:  
[http://www.cbwmthai.org/Activity\\_Detail.aspx?id=23](http://www.cbwmthai.org/Activity_Detail.aspx?id=23)
- [8] “การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ” [Online]. Available:  
[https://home.kku.ac.th/nikom/multiple\\_regression\\_nk2560\\_2page.pdf](https://home.kku.ac.th/nikom/multiple_regression_nk2560_2page.pdf)
- [9] จิระกานต์ ศิริวิชญไมตรี. (2554). *การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำโดยทฤษฎีภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดใหญ่*. โครงการวิจัยทุนหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] พลากร บุญใส. (2558). *การพัฒนาชุดวัดอัตราการไหลและการสูญเสียในท่อ*. โครงการวิจัยทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [11] สุรัชย์ ใจวรรณะ. (2550). *การประยุกต์ใช้หัวอาร์ทีดีสำหรับวัดอัตราการไหล*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] วิภู ศรีสืบสาย (2554). *เครื่องทดสอบอัตราการใช้ของพลาสติก*. ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] ฉัตรฉลอง อภิภูติกุล. (2555). *ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการใช้ของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ดีอปเพลอร์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [14] จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี. (2554). *การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการใช้ของไหลในคลองชลประทานระบบแสงเลเซอร์*. โครงการวิจัยทุนสนับสนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2553 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [15] จิระศักดิ์ พิทักษ์ธรรมพ. (2557). *การศึกษาการใช้ของก๊าซในระบบสุญญากาศ และเครื่องมือวัดอัตราการใช้ของไหลในระดับจุลภาค*. โครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปทุมธานี: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [16] อีชวัน ศรีสุวรรณ. (2552). *การประมาณค่าอัตราการใช้ของของไหลในท่อโดยการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [17] ณัฐวุฒิ วลัยกนก. (2554). *การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ : การคำนวณหาความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ของไหลในช่องเปิดที่ซับซ้อน(การไหลแบบราบเรียบ)*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] ชัยพร พันธุ์สิกร. (2548). *การคำนวณการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติภายในท่อวอร์เท็กซ์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสุชาติ หอมบุญ
วันเกิด	วันที่ 20 สิงหาคม 2539
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	207 หมู่ 7 บ้านท่าลำดวน ตำบลหนองกุง อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุกุลนารี อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนการศึกษาจากโครงการ RDI (Research Development and Industrialization Process) โดยสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับภาคอุตสาหกรรม

พูนัน ปณุกิตโต ชีเว