

การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover  
3 ขนาด โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา

TURBINE FLOW METER CALIBRATION WITH 3 SMALL VOLUME PROVER  
USING DIESEL FUEL AS A CASE STUDY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2566  
KMITL-2023-EN-M-060-101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TURBINE FLOW METER CALIBRATION WITH 3 SMALL VOLUME PROVER  
USING DIESEL FUEL AS A CASE STUDY



THE THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE MASTER DEGREE OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2023  
KMITL-2023-EN-M-060-101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 3 ขนาด โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา
นักศึกษา	นายพรชวุฒิ วัฒนพานาร
รหัสประจำตัว	60601001
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์

## บทคัดย่อ

Small Volume Prover เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมมากสำหรับใช้สอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลในการซื้อขายปิโตรเลียมเหลวระหว่างโรงงานต่อโรงงาน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความเชื่อว่า Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุมากกว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหรือแม่นยำกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบการเลือกใช้ Small Volume Prover โดยการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Turbine Flow Meter) ขนาด 4 นิ้ว ซึ่งมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 24-225 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ด้วย Small Volume Prover ที่มีความจุแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร โดยมี Flow Computer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลและใช้น้ำมันดีเซลในการทดสอบ ผลจากการทดสอบทำให้ทราบว่า ในช่วงการวัดที่อัตราการไหลมาตรฐานของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ 40-80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุ 20 ลิตร จะให้ค่า Meter Factor และความเป็นเชิงเส้นดีที่สุด ตามด้วยขนาด 40 ลิตร และ 60 ลิตร ตามลำดับ สำหรับช่วงอัตราการไหลที่ 80-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุ 60 ลิตร จะให้ค่า Meter Factor และความเป็นเชิงเส้นดีกว่าขนาด 40 ลิตร ดังนั้น เพื่อความเที่ยงตรงในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จึงควรเลือก Small Volume Prover ขนาดที่ให้ค่าความเป็นเชิงเส้นที่เหมาะสมกับอัตราการไหลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

**คำสำคัญ :** มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ Small Volume Prover Flow Computer  
Meter Factor

<b>Thesis Title</b>	Turbine Flow Meter calibration with 3 Small Volume Prover using Diesel Fuel in a case study
<b>Student</b>	Pansawut Wanitwanakorn
<b>Student ID</b>	60601001
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2023
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Narin Tammarugwattana

## ABSTRACT

Small Volume Prover is the most popular instrument used for calibrating flow meter in the chemical industry trade or custody transfer. Many people believe that the high volume of Small Volume Prover can obtain better accuracy results. This research proposes a way to select appropriate Small Volume Prover, using 4-inch Turbine Flow Meter with 24 – 225 m<sup>3</sup>/h flowrate. Three different volumes of Small Volume Prover 20, 40 and 60 liters are used together with Flow Computer device as a processor and use Diesel Fuel as a case study. From the experimental result of the Turbine Flow Meter at standard flowrate 40 – 80 m<sup>3</sup>/h show that Small Volume Prover 20 liters get the best of Meter factor and Linearity, and better than 40 liters and 60 liters, respectively. At the flowrate of result 80 – 100 m<sup>3</sup>/h, 60 liters get better than 40 liters. Therefore, to get accuracy for Turbine Flow Meter calibration, Small Volume Prover that have the good linearity which suitable with flowrate should be selected.

**Key words:** Turbine Flow Meter, Small Volume Prover, Flow Computer, Meter Factor

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์ ที่คอยให้คำปรึกษา ดูแลและให้คำแนะนำมาโดยตลอดระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์ รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภศูล วงษ์วานิช และคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนให้การสนับสนุนในการทำวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง

ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ บริษัท โพลล์แล็บ แอนเซอร์วิต จำกัด มหาชน ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือ ความรู้และประสบการณ์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์นี้ขึ้นมา

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่บิดา และมารดาอันเป็นที่รักและเคารพของข้าพเจ้า ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

พรชอุทัย วณิชวนากร

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูปภาพ .....	IX
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย .....	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดในระบบสอบเทียบ .....	5
2.1.1 มาตรวัดปริมาตรของเหลว (Positive Displacement Flow Meter) .....	6
2.1.2 มาตรวัดเทอร์ไบน์มิเตอร์ (Turbine Flow Meter) .....	9
2.1.3 มาตรวัดมวล (Coriolis Mass Flow Meter) .....	17
2.2 การสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวและมาตรวัดแบบมาตรา .....	19
2.2.1 ขอบเขตการออกแบบทางเทคนิคของระบบสอบเทียบ .....	20
2.2.2 ข้อแตกต่างระหว่างมาตรวัดปริมาตรของเหลวทั่วไป (Flow meter) กับ มาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) .....	22
2.2.3 การสอบเทียบ (Calibration) .....	22
2.2.4 Small Volume Prover .....	22
2.2.5 ลักษณะและรูปแบบโดยทั่วไปของ Small volume prover .....	23
2.2.6 Flow Computer .....	25
2.3 การวิเคราะห์หาค่าไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัด .....	26
2.3.1 สมการตั้งต้นของการแปลงผลและสมการที่ใช้ในการแจกแจงความไม่แน่นอน .....	27

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 ความไม่แน่นอน $u_x$ (ความไม่แน่นอนชนิดจะเป็นของผลลัพธ์ของการทำซ้ำ).....	29
2.3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาตรสำหรับการแปลงผลความไม่แน่นอน ...	31
2.3.4 การรวมค่าความแปรปรวนที่ได้จากความไม่แน่นอนย่อย.....	48
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย.....	50
3.1 การออกแบบระบบการสอบเทียบและระบบท่อ .....	50
3.1.1 คุณสมบัติของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่จะใช้ในการทดสอบ.....	52
3.1.2 คุณสมบัติของ Flow Computer ที่จะใช้ทดสอบ .....	53
3.1.3 คุณสมบัติของ Temperature & Pressure transmitter ที่ใช้ในการทดสอบ .....	54
3.1.4 คุณสมบัติของ Small Volume Prover ที่ใช้ในการทดสอบ.....	54
3.1.5 การติดตั้งระบบท่อ (Piping design).....	55
3.2 ระบบไฟฟ้าและระบบคำนวณ.....	56
3.2.1 การสร้างโปรแกรมบน Flow Computer .....	56
3.2.2 ห้องทดสอบ (Laboratory).....	61
3.3 การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small volume prover .....	62
3.4 การวิเคราะห์หาค่าไม่แน่นอน.....	64
3.4.1 สมการตั้งต้นของการแปลงผลและสมการที่ใช้ในการแจกแจงความไม่แน่นอน .....	65
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	72
4.1 ผลการสอบเทียบเทอร์ไบน์มิเตอร์ด้วย Small volume prover .....	72
4.1.1 Meter factor ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small volume prover.....	74
4.2 การประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล .....	77
4.3 การเปรียบเทียบความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล.....	83
4.4 การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบระหว่าง Small volume prover .....	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	94
บรรณานุกรม .....	96

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ (Rangeability 10 : 1 to 20 : 1).....	6
2.2 มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Rangeability 10 : 1 to 15 : 1) .....	
2.3 มิเตอร์วัดการไหลแบบมวล (Rangeability 10 : 1 to 25 : 1).....	15
2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรวัดปริมาตรของเหลวแต่ละหลักการทำงาน .....	16
2.5 การแบ่งกลุ่มมาตรวัดตามลักษณะการใช้งาน .....	18
2.6 Range conversion factor .....	30
2.7 t-Distribution values for 95 percent probability .....	30
3.1 ผลการทดสอบ Tank Prover จากกรมช่างตวงวัดแห่งประเทศไทย.....	66
3.2 แสดงผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ย้อนหลัง .....	66
3.3 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature transmitter.....	67
3.4 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature transmitter .....	68
3.5 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Pressure transmitter.....	69
3.6 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Pressure transmitter .....	69
3.7 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature portable .....	70
3.8 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature portable.....	70
4.1 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 20 liter.....	73
4.2 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 40 liter.....	73
4.3 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 60 liter.....	73
4.4 Meter factor จากการสอบเทียบด้วย Small volume prover 20 liter .....	74
4.5 Meter factor จากการสอบเทียบด้วย Small volume prover 40 liter .....	74
4.6 Meter factor จากการสอบเทียบด้วย Small volume prover 60 liter .....	75
4.7 ผลจากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h .....	78
4.8 ผลการคำนวณที่ได้จาก Small Volume Prover 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h .....	79
4.9 ผลการคำนวณที่ได้จากมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h.....	79
4.10 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h.....	79
4.11 Uncertainty type B ของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h.....	80

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 Uncertainty type B ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h ....	80
4.13 Expanded Uncertainty ของผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h .....	81
4.14 แปลผล Uncertainty ของค่า K-Factor ที่สอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m <sup>3</sup> /h .....	81
4.15 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร.....	82
4.16 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร.....	82
4.17 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร.....	82
4.18 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร.....	83
4.19 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร.....	84
4.20 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร.....	84
4.21 ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร .....	86
4.22 ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร .....	86
4.23 ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร .....	86
4.24 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร กับ 40 ลิตร.....	89
4.25 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร กับ 60 ลิตร.....	90
4.26 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร กับ 60 ลิตร.....	90
4.27 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร.....	91
4.28 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร.....	91
4.29 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร.....	92

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ .....	6
2.2 มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่แบบตัวเรือน 2 ชั้น (Double Case Meters).....	7
2.3 ชุดเกียร์ขับเคลื่อนเครื่องนับใช้ชุดเพื่องทดกับตัวผลิตสัญญาณพัลส์.....	9
2.4 โครงสร้างของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ .....	10
2.5 หลักการทำงานขดลวดแบบการเหนี่ยวนำ (Inductance).....	11
2.6 หลักการทำงานขดลวดแบบรีลักแตนซ์แปรค่า (Variable Reluctance) .....	12
2.7 หลักการเหนี่ยวนำในขดลวดแบบรีลักแตนซ์แปรค่า (Variable Reluctance).....	12
2.8 หลักการเหนี่ยวนำในขดลวดแบบรีลักแตนซ์แปรค่า ในรูปแบบสนามแม่เหล็ก.....	13
2.9 แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณขดลวดรับด้านทางออกอยู่ระหว่าง 10 mV-2.5V .....	13
2.10 มาตรฐานเทอร์ไบน์มิเตอร์มีขดลวดรับ (Pickup Coil) 2 ตัววางในตำแหน่งเยื้องกัน 90 องศา	14
2.11 แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่ถูกเหนี่ยวนำแต่ละขดลวดรับ .....	14
2.12 โรเตอร์แบบต่าง ๆ.....	15
2.13 เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบวงล้อ (Rim Rotor).....	16
2.14 เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบเกลียว (Helical Rotor) .....	16
2.15 กลไกการนับที่ต่อกับเพลลาของโรเตอร์ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ .....	17
2.16 โครงสร้างโดยทั่วไปของมิเตอร์วัดการไหลแบบมวล.....	18
2.17 Small Volume Prover บนแท่นสามารถขนย้ายได้ .....	23
2.18 รูปลักษณะทั่วไปของ Small Volume Prover ที่มีวาล์วอยู่ภายใน.....	25
2.19 ส่วนประมวลผลของ Flow Computer ที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่าง ๆ.....	25
3.1 แผนภาพการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover.....	51
3.2 ภาพแสดงมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ รุ่น Sentry .....	53
3.3 OMNI Flow computer .....	53
3.4 Temperature and Pressure transmitter.....	54
3.5 Small Volume Prover (Daniel/Emerson).....	55
3.6 ภาพแสดงหน้าพื้นฐานของโปรแกรม Omni Flow computer .....	56
3.7 ภาพแสดงหน้าต่าง Setup ของโปรแกรม Omni Flow computer.....	57
3.8 ภาพแสดงหน้าต่าง Module ของโปรแกรม Omni Flow computer .....	57
3.9 ภาพแสดงหน้าต่าง Digital I/O ของโปรแกรม Omni Flow computer .....	58
3.10 ภาพแสดงหน้าต่าง Process I/O ของโปรแกรม Omni Flow computer .....	58

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ภาพแสดงหน้าต่าง Flow meter setup ของโปรแกรม Omni Flow computer.....	59
3.12 ภาพแสดงหน้าต่าง Prover setup ของโปรแกรม Omni Flow computer .....	60
3.13 ภาพแสดงหน้าต่าง Product ของโปรแกรม Omni Flow computer.....	60
3.14 หน้าจอควบคุมอุปกรณ์ในระบบสอบเทียบด้วย SCADA.....	61
3.15 ภาพแสดง Process Diagram ของระบบสอบเทียบของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	62
4.1 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 20 liter.....	75
4.2 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 40 liter.....	76
4.3 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 60 liter.....	76
4.4 กราฟแสดงค่าความไม่แน่นอนของแต่ละอัตราการไหล จากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ทั้งสามความจุ .....	85
4.5 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร.....	87
4.6 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร.....	88
4.7 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร.....	88

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันและก๊าซเป็นอุตสาหกรรมสำคัญระดับโลก ซึ่งในการซื้อขายและการขนส่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักจะมีระยะทางหลายร้อยหลายพันกิโลเมตร ระหว่างโรงงานผู้ผลิต โรงกลั่นและสถานีขายน้ำมัน ตัวอย่างเช่น น้ำมันดิบที่สูบได้จากรัสเซีย ถูกส่งไปยังสหรัฐอเมริกาเพื่อทำการกลั่น แล้วส่งผลิตภัณฑ์ที่กลั่นแล้วออกไปยังยุโรปและเอเชีย ในการซื้อขายหรือการติดตามธุรกรรม เพื่อให้การซื้อขายเป็นไปอย่างราบรื่นและเที่ยงตรงแม่นยำที่สุด ในระบบการซื้อขายและขนส่งจึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือในการวัดที่มีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสูง เพราะปริมาณการซื้อขายมีจำนวนมากและมีมูลค่าสูง เครื่องมือวัดปริมาณอัตราการไหลหรือปริมาตรหรือน้ำหนักของของไหลจึงมีความสำคัญกับการซื้อขายผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและก๊าซเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณการซื้อขายที่ส่งต่อกันระหว่างโรงงานหนึ่งไปยังอีกโรงงานหนึ่ง (Custody Transfer) [1, 2] ดังนั้นความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องมือในการวัดปริมาตรหรือปริมาณอัตราการไหลจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการสอบเทียบหรือทวนสอบความเที่ยงตรงแม่นยำอยู่เสมอ โดยหลักการที่ยอมรับในการสอบเทียบของอุปกรณ์ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากลนั้นคือเทคนิคการทวนสอบโดยใช้เครื่องมือสอบเทียบ ได้แก่ Pipe Prover, Small Volume Prover, Master Meter and Tank Prover ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา (American Petroleum Institute: API) แต่เนื่องจาก Small Volume Prover (SVP) [3, 4] เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำและมีความยืดหยุ่นสูงที่สุดสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดปริมาณอัตราการไหล ซึ่ง Small Volume Prover มีหลายขนาดและแต่ละขนาดจะให้ขีดความสามารถในการสอบเทียบ ณ จุดอัตราการไหลที่แตกต่างกันออกไป โดยจะมีขนาดความจุตั้งแต่ 20 ถึง 650 ลิตร ซึ่งขนาดของ Small Volume Prover ยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีช่วงการวัดที่กว้างมากกว่าขนาดเล็ก [5] แต่อย่างไรก็ตามในการสอบเทียบความแม่นยำและความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover คงต้องมีความแตกต่างกันอย่างแน่นอน ดังนั้นจึงเป็นข้อสงสัยในขีดความสามารถของ Small Volume Prover แต่ละขนาดสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและมีความเที่ยงตรงแม่นยำที่ยอมรับกันในการซื้อขายปิโตรเลียมและก๊าซได้หรือไม่

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดปริมาณอัตราการไหลจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งเครื่องมือวัดปริมาณอัตราการไหลที่จะนำมาทดสอบจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางคือ มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Turbine Flow Meter) [6, 7] เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการบ่งชี้ปริมาณปิโตรเลียมและก๊าซที่ใช้ในการซื้อ

ขายกัน สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบก็คือ Small Volume Prover ที่มีใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ในงานวิจัยนี้จะใช้ Small Volume Prover 3 ขนาด และมีขีดความสามารถในการสอบเทียบ ณ จุดอัตราการไหลที่ทับซ้อนกันหรือมีขนาดความจุเท่ากันได้ดังนี้ 20 ลิตร, 40 ลิตร และ 60 ลิตร การทดสอบจะใช้วัดปริมาณน้ำมันดีเซลเหลวตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา และใช้เครื่องคำนวณมาตรฐาน Flow Computer ที่ได้รับการยอมรับในวงการอุตสาหกรรมเป็นตัวคำนวณความแม่นยำที่ได้จากการสอบเทียบเพื่อนำผลมาวิเคราะห์และทดสอบให้เห็นถึงขีดความสามารถของ Small Volume Prover แต่ละขนาด

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงผลความแตกต่างของความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover ที่มีใช้งานอย่างจำกัดในอุตสาหกรรมเฉพาะด้าน เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นต้น เนื่องจาก Small Volume Prover มีราคาสูงมากและใช้ในการสอบเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้อัตราปริมาณในซื้อขายจำนวนมากและมีมูลค่าสูง ประกอบกับในระบบการซื้อขายจำเป็นต้องได้รับใบอนุญาตจากกรมสรรพสามิต ซึ่งมีหน้าที่ออกใบอนุญาตการซื้อขาย และการเก็บภาษีตามปริมาณการซื้อขายจริง ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์สอบเทียบดังกล่าวได้อย่างถูกต้องแม่นยำและเหมาะสมกับอัตราการไหลที่จะสอบเทียบโดยอาศัยหลักการประเมินความไม่แน่นอนที่จะเกิดจากการสอบเทียบนั่นเอง [8]

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องมือสอบเทียบ Small Volume Prover
3. เพื่อศึกษาการคำนวณปิโตรเลียมเหลวตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา
4. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์การประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดจากการสอบเทียบ
5. เพื่อทดสอบให้ทราบถึงความเหมาะสมของการเลือกใช้งาน Small Volume Prover ในแต่ละอัตราการไหลที่ใช้ในการสอบเทียบ
6. เพื่อวิเคราะห์ถึงปัญหา และแนวทางที่จะสามารถเกิดขึ้นกับการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วยเครื่องมือสอบเทียบ Small Volume Prover

## 1.3 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยดังนี้

1. ติดตั้งระบบวัดอัตราการไหลของปิโตรเลียมเหลวด้วยมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ติดตั้งระบบสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วยอุปกรณ์ Small Volume Prover
3. ติดตั้งระบบคำนวณปริมาตรอัตราการไหลด้วย Flow Computer ที่เชื่อมต่อกับมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ และ Small Volume Prover
4. สอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วยอุปกรณ์สอบเทียบ Small Volume Prover 3 ขนาดคือ 20 ลิตร 40 ลิตรและ 60 ลิตร ร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐาน Flow Computer
5. วิเคราะห์ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วยอุปกรณ์สอบเทียบ Small Volume Prover
6. สรุปและรายงานผลที่ได้จากการสอบเทียบ

#### 1.4 วิธีการดำเนินการทำวิจัย

การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จำเป็นต้องมีระบบจำลองกระบวนการขนส่งปิโตรเลียมเหลว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองระบบการขนส่งเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลแบบระบบปิดขึ้นมา ซึ่งภายในระบบจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ Carbon Pipeline, Pump, Control Valve, Safety Valve, Temperature Sensor, Pressure Sensor, Flow Sensor และ Center Control Room โดยอุปกรณ์ดังกล่าวทั้งหมดจะถูกติดตั้งเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ Flow Computer ที่อยู่ภายในห้อง Center Control Room ซึ่งจะเป็นส่วนสมอกลสำหรับการประมวลผล และสามารถปรับแต่งอัตราการไหลได้ตามต้องการ ตลอดจนสามารถคำนวณอัตราการไหลจากมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่ติดตั้งอยู่ในระบบดังกล่าวและจะเป็นตัวส่งสัญญาณกลับมายัง Flow Computer ทำให้สามารถทราบถึงอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงได้ ดังนั้นในการสอบเทียบจึงได้นำ Small Volume Prover มาต่ออนุกรมเข้าไปในระบบเพื่อใช้สอบเทียบความแม่นยำของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้งานกันมากที่สุดในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเหลวและอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่อยู่ในประเภทเดียวกัน การสอบเทียบจะใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา และ Small Volume Prover ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้มีด้วยกัน 3 ขนาดที่ปริมาตรแตกต่างกันคือ ขนาด 20 ลิตร 40 ลิตรและ 60 ลิตร ตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการสอบเทียบจะถูกประมวลผลความแม่นยำซึ่งเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์กับอุปกรณ์สอบเทียบ Small Volume Prover ซึ่งจะได้ออกมาเป็นค่า Meter Factor ที่เป็นไปตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา

ท้ายสุดนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัดเพื่อหาบทสรุปเกี่ยวกับการเลือกใช้งาน Small Volume Prover ที่มีปริมาตรแตกต่างกัน เพื่อให้ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทราบถึงขีดความสามารถในการสอบเทียบ ณ แต่ละจุดของอัตราการไหลที่จะให้ความแม่นยำสูงสุดแตกต่างกัน โดยผลดังกล่าวจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้อุปกรณ์สอบเทียบได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องเที่ยงตรงแม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เข้าใจเกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลด้วยมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา
2. สามารถใช้งานอุปกรณ์ทวนสอบอัตราการไหลด้วย Small Volume Prover
3. เข้าใจเกี่ยวกับการคำนวณปิโตรเลียมเหลวด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน Flow Computer
4. ทราบถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการวัดอัตราการไหล
5. สามารถประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดจากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover
6. สามารถเลือกใช้งาน Small Volume Prover ให้เหมาะสม ณ จุดวัดอัตราการไหลที่ต้องการสอบเทียบและทราบถึงขีดความสามารถของแต่ละปริมาณความจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานสอบเทียบตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา ในระบบการซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลวระหว่างโรงงานกับโรงงาน (Custody Transfer) นั้นจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักการและพื้นฐานของงานสอบเทียบตามหลักสากล และการเข้าใจในการใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้งานในการวัด เช่น มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ Small Volume Prover และ Flow Computer [4] เป็นต้น รวมถึงหลักการคิดคำนวณปริมาณของปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ในระบบ โดยอธิบายหลักการและสิ่งที่จำเป็นที่ต้องทราบเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการสอบเทียบและการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการสอบเทียบได้โดยอาศัยความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์และขั้นตอนกระบวนการสอบเทียบดังต่อไปนี้

- 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการวัดอัตราการไหลและงานสอบเทียบ
- 2.2 การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลของของเหลวและมิเตอร์วัดการไหลแบบมาตรา
- 2.3 การประเมินความไม่แน่นอนในระบบงานสอบเทียบ

#### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการวัดอัตราการไหลและงานสอบเทียบ

การดำเนินการด้านซึ่งตรงวัดของการซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นจำเป็นต้องมีความพร้อมทั้งในตัวกฎหมายและข้อบังคับหรือระเบียบต่างๆ ที่ออกจากหน่วยงานของรัฐ ซึ่งจำเป็นต้องมีองค์ประกอบร่วมด้วยหลายปัจจัย เช่น กระบวนการที่เป็นมาตรฐาน เครื่องมือในระบบการวัด และบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญและได้รับการพัฒนาฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าระบบมิเตอร์วัดปริมาณของเหลว (Liquid Metering System) ที่ใช้ในการซื้อขายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตามข้อกำหนดกฎหมายซึ่งตรงวัดที่มีการจัดเก็บภาษีอากรโดยภาครัฐนั้น มักจะใช้มิเตอร์วัดการไหลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีทั้งหมด 3 แบบดังต่อไปนี้ [2]

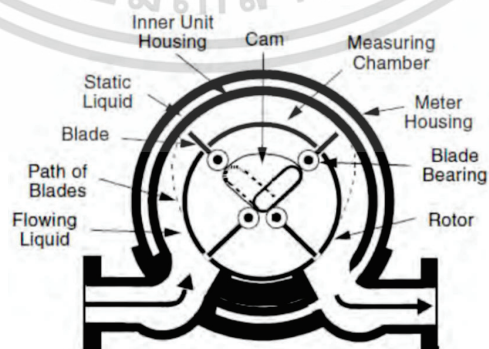
### 2.1.1 มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ (Positive Displacement Flow Meter)

มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ (Positive Displacement Flow Meter : PD meter) ซึ่งจะพบมากในสถานที่ที่มีการขนถ่ายและซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลวทางรถยนต์และทางรถไฟตามคลังน้ำมันขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ตลอดจนโรงกลั่นน้ำมันซึ่งมีเป็นส่วนใหญ่ คุณสมบัติของมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่โดยภาพรวมที่ใช้งานในการซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลวส่วนใหญ่จะมี Rangeability อยู่ที่ 10 : 1 to 20 : 1 ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อมูลได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ (Rangeability 10 : 1 to 20 : 1) [2]

Nominal Diameter (inch)	Max. flowrate (m <sup>3</sup> /hr.)	Min. flowrate (m <sup>3</sup> /hr.)
8	340	1
6	227	1
4	136	0.68
3	96 – 56.78	0.23

หลักการทำงานของ มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่เป็นมิเตอร์วัดปริมาตรของของเหลวซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อวัดปริมาตรของของเหลวในระบบปิดโดยการแบ่งของเหลวออกเป็นส่วนๆ ที่ปริมาตรของเหลวจะมีค่าแน่นอนค่าหนึ่งเท่าๆ กัน แล้วทำการนับรวมกันเป็นปริมาตรรวม ดังนั้นของเหลวเมื่อไหลเข้าสู่มิเตอร์ ของเหลวก็จะไหลผ่านเข้าไปยังส่วนวัดปริมาตรของเหลว (Measuring Element) ด้วยปริมาตรคงที่ค่าหนึ่งบวกกับปริมาณส่วนที่รั่วไหล (Leakage or Slip) อีกเล็กน้อยที่เกิดจากแต่ละช่วงชักหรือรอบการหมุนของส่วนวัดปริมาตรของของเหลว



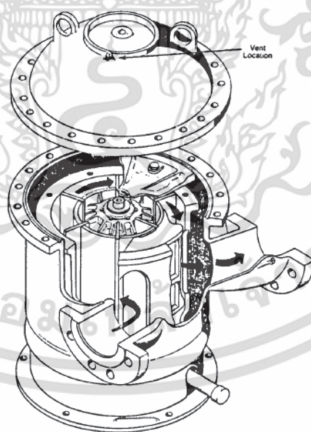
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ส่วนใหญ่จะมีระบบซีล เป็นแบบ Capillary Seal โดยมีหลักการทำงานอาศัยปรากฏการณ์ Capillary ทำการสร้างความตึงผิวหน้า (Surface Tension) ของแผ่นฟิล์มของเหลวซึ่งตั้งอยู่ระหว่างผิวหน้าทั้ง 2 ชั้นงานเพื่อป้องกันการไหลของเหลวออกจากห้องวัดปริมาตร เมื่อทำการแบ่งแยกปริมาตรของของเหลวเป็นค่าแน่นอนออกเป็น ส่วน ๆ ที่ปริมาตรเท่า ๆ กัน ตัวอย่างเช่น มิเตอร์วัดการไหลแบบ Rotary Sliding Vane Meter จะมีแผ่นฟิล์มของเหลวตั้งอยู่ระหว่างผิวหน้า 2 ชั้นงานได้แก่ ช่องว่างระหว่างปลายแผ่นเวน (Vane Tips) กับตัวเรือนมิเตอร์ (Meter Body) โดยแผ่นฟิล์มจะทำหน้าที่ซีล ซึ่งในการทดสอบพบการทำงานของประสิทธิภาพการทำงานจะสูงขึ้นเมื่อความหนืดของเหลวสูงและประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความหนืดของเหลวต่ำ ดังนั้น มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่จึงเหมาะกับการวัดของเหลวซึ่งมีความหนืดสูง

### โครงสร้างของมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่

โครงสร้างของมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ที่จะประกอบด้วย ส่วนวัดปริมาตร (Measuring Element) เป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ถือว่าเป็นหัวใจของการทำงานของมิเตอร์ ส่วนวัดปริมาตรจะเคลื่อนที่ภายในห้องวัดทำหน้าที่แบ่งของเหลวออกเป็น ส่วน ๆ ในปริมาณเท่า ๆ กัน ด้วยความแม่นยำเมื่อของเหลวไหลผ่านมิเตอร์ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือไหลผ่าน “โรเตอร์” นั่นเอง



รูปที่ 2.2 มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่แบบตัวเรือน 2 ชั้น (Double Case Meters) [2]

ห้องวัด (Measuring Chamber) ภายในห้องวัดนี้จะประกอบด้วยด้วยส่วนวัดปริมาตรของเหลว (Measuring Elements) ของมิเตอร์ สำหรับขนาดและวัสดุของห้องวัดที่จะใช้กับ

ของเหลวที่ต้องการจะทำการวัดนั้น ของเหลวดังกล่าวต้องไม่มีผลกระทบต่อทั้งในทางตรงและทางอ้อมกับวัสดุของห้องวัด เช่นเรื่องการกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาใด ๆ นอกจากนี้ส่วนของความหนาของผนังห้องวัดต้องมีความหนาที่เพียงพอต่อการทนต่อความดันทำงาน (Operating Pressure) ขณะทำการวัด สำหรับชนิดของห้องวัดของ มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่นั้นมีอยู่ 2 รูปแบบ ซึ่งจะทำหน้าที่ตามวัตถุประสงค์การออกแบบเพื่อวัดปริมาตรของของเหลวดังกล่าว คือ

1. มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่แบบตัวเรือนชั้นเดียว (Single Case Meters) ส่วนผนังที่ตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวเรือนมิเตอร์จะทำหน้าที่เป็นผนังของส่วนวัดปริมาตร ตัวเรือนมิเตอร์จะทำหน้าที่เป็นห้องวัด ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้ว มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่แบบตัวเรือนชั้นเดียวนี้จะมีขนาดไม่เกิน 6 นิ้ว
2. มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่แบบตัวเรือน 2 ชั้น (Double Case Meters) จะแยกห้องวัดที่ล้อมรอบส่วนวัดปริมาตรออกจากกันอย่างอิสระ โดยมีตัวเรือนมิเตอร์ชั้นนอกทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบท่อภายนอกโดยตรงเพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 อย่างด้วยกันคือ
  - 2.1 สมดุลของความดัน (Pressure Balance) เมื่อความดันกระทำต่อผนังของห้องวัดก็จะเกิดระบบสมดุล การบิดเบี้ยวซึ่งจะเกิดจากความดัน (Pressure-generated distortion) ของชิ้นส่วนภายในห้องวัดจะมีน้อยมาก ผลกระทบต่อช่องว่าง (Critical clearance) ภายในมิเตอร์ ทำให้ไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวัดของมิเตอร์หรืออาจมีแต่น้อยมากๆ
  - 2.2 การลดความเค้น (Stress Absorption) ในระบบท่อส่งจ่ายของเหลวจะมีความเค้น (Stress) ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การขยายตัวของท่อเนื่องจากความร้อนจากแสงแดด เป็นต้น เมื่อติดตั้ง มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่เข้ากับระบบท่อดังกล่าว หากมิเตอร์มีตัวเรือนชนิด 2 ชั้น ตัวเรือนภายนอกสุดจะเป็นตัวรองรับและลดความเค้นซึ่งส่งผ่านมาจากระบบท่อไม่ให้ส่งผลไปยังตัวเรือนชั้นในซึ่งเป็นห้องวัดของส่วนวัดปริมาตร ด้วยเหตุนี้ช่องว่างวิกฤต จึงยังคงมีค่าคงที่ไม่ว่าความดันภายในระบบท่อจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

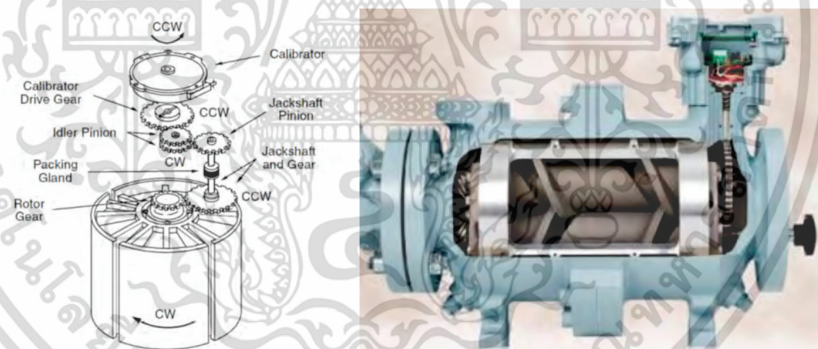
### ชุดเกียร์ขับเคลื่อน (Counter Drive Gear Train)

กลไกการนับหรือการบันทึกปริมาตรที่วัดได้ของมิเตอร์จะถูกขับเคลื่อนจากส่วนวัดปริมาตรของเหลว (Measuring Element) หรือโรเตอร์ (Rotor) ด้วยการใส่ชุดเฟืองทด (Gear train) ดังนั้นเมื่อเพลลาของโรเตอร์หมุนจะไปขับเคลื่อนให้เครื่องนับหรือเครื่องบันทึกแสดงผลปริมาตรของ

ของเหลวที่ไหลผ่านมิเตอร์ได้ที่หน้าปัดโดยตรง หรืออีกวิธีหนึ่งอาจใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า ลักษณะเป็นพัลส์ (Pulses) ให้ผลิตสัญญาณตามจำนวนรอบการหมุนแล้วต่อเข้ากับระบบประมวลผลดิจิทัล เพื่อนับจำนวนค่าปริมาตรพร้อมบันทึกผลที่ได้จากการนับ

### ตัวปรับความเที่ยงตรง (Calibrator Adjuster)

มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ ได้รับการออกแบบเพื่อให้แสดงค่าปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่ง ในแต่ละสิ้นสุดรอบการหมุนครบ 1 รอบของโรเตอร์หรือส่วนที่เคลื่อนที่ของมิเตอร์ แต่ในความเป็นจริงปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่งที่ได้ทำการกำหนดไว้ในแต่ละสิ้นสุดรอบการหมุน 1 รอบของโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดและไม่คงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากขั้นตอนการผลิตและอายุการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาตรแน่นอนค่าหนึ่งตามที่ได้กำหนดไว้ และหรือเมื่อค่าปริมาตรที่กำหนดแน่นอนนั้นๆ ได้เปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าเดียวกับปริมาตรของเหลวจริงที่ไหลผ่านมิเตอร์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับอัตราส่วนของอัตราการหมุนของกลไกของเครื่องนับให้มีความสัมพันธ์กับอัตราการหมุนของโรเตอร์ เรียกว่า ตัวปรับความเที่ยงตรง



รูปที่ 2.3 ชุดเกียร์ขับเครื่องนับใช้ชุดเฟืองทดกับตัวผลิตสัญญาณพัลส์ [2]

#### 2.1.2 มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Turbine Flow Meter)

มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ พบมากในสถานที่ที่มีการขนถ่ายและซื้อขายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วยตามคลังน้ำมันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ตลอดจนโรงกลั่นน้ำมันซึ่งมีใช้กันส่วนใหญ่ คุณสมบัติของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์โดยภาพรวมจะใช้งานในการซื้อขายปิโตรเลียมเหลว ส่วนใหญ่จะมี Rangeability ที่ 10 : 1 to 15 : 1 ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อมูลได้ดังในตารางที่ 2.2

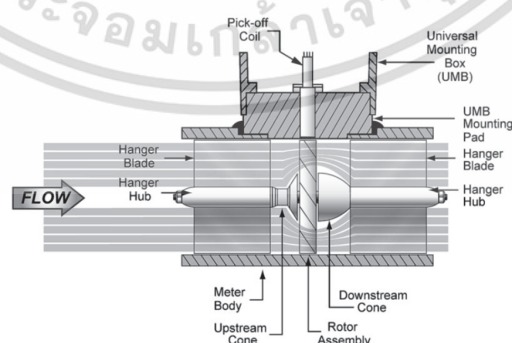
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Rangeability 10 : 1 to 15 : 1) [2]

Nominal Diameter (inch)	Max. flowrate (m <sup>3</sup> /hr.)	Min. flowrate (m <sup>3</sup> /hr.)
8	1,350 – 1,100	135 - 70
6	667 – 500	66.8 - 50
4	294 -240	29.4 - 20
3	125	10

ส่วนประกอบของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จะประกอบด้วยตัวเรือนเป็นท่อสั้น ๆ ท่อหนึ่ง ภายในจะมีลูกปืน (Bearing) ติดตั้งอยู่ตรงกลางท่อโดยระหว่างลูกปืนจะมีใบพัดหรือเทอร์ไบน์ (Turbine) จำนวน 1 ตัวหรือ 2 ตัวแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ในส่วนเทอร์ไบน์จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่เป็นตัวเรือนของมิเตอร์ ทั้งนี้ตัวเทอร์ไบน์ถูกติดตั้งโดยยึดติดแน่นอยู่บนตัวโรเตอร์ ซึ่งตัวโรเตอร์เองก็สามารถหมุนได้อย่างอิสระด้วยลูกปืนที่รองรับการหมุน ดังนั้นเมื่อมีของเหลวหรือแก๊สไหลผ่านมิเตอร์ ตัวเทอร์ไบน์และโรเตอร์ก็จะหมุนไปพร้อมๆ กัน

โรเตอร์ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์จะเป็นตัวบ่งบอกปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านได้จากอัตราการหมุนของโรเตอร์โดยจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วในการไหลของของเหลว การคำนวณหาปริมาตรของเหลวที่เคลื่อนไหลผ่านมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ในแต่ละรอบการหมุนของ โรเตอร์ ของเหลวดังกล่าวจะไม่ได้ถูกแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ เหมือนกับมิเตอร์วัดการไหลแบบแทนท์ แต่จะใช้การวัดความเร็ว (Velocity) ในการไหลแทน ซึ่งความเร็วจะสัมพันธ์กับรูปแบบการไหล (Flow Pattern) ของของเหลวที่ถูกเตรียมการไว้ก่อนเข้ามิเตอร์และหลังออกจากมิเตอร์

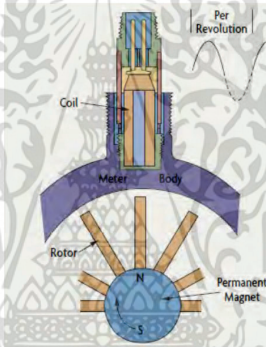


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

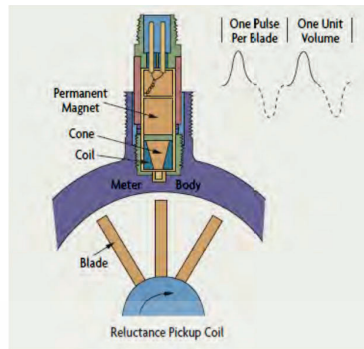
### โครงสร้างของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์

1. **ขดลวดรับ (Variable Reluctance Magnetic Pickup)** ทำหน้าที่แปลงรอบการหมุนของเทอร์ไบน์ให้เปลี่ยนไปเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าก่อนที่จะถูกแปลงไปเป็นค่าอัตราการไหล
2. **ขดลวดรับแบบการเหนี่ยวนำ (Inductance)** เมื่อโรเตอร์หมุนเนื่องจากของไหลไหลผ่านตัวมิเตอร์ แม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่บนปลายโรเตอร์ (Rotor Vane Tips) หรืออยู่ในกระดุม (Hub) หรือเพลลาของโรเตอร์ จะหมุนตัดผ่านขดลวดรับ (Pick-Up Coil) เป็นผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ที่กระทำต่อขดลวดเปลี่ยนแปลงไปและเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดรับ



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานขดลวดแบบการเหนี่ยวนำ (Inductance) [2]

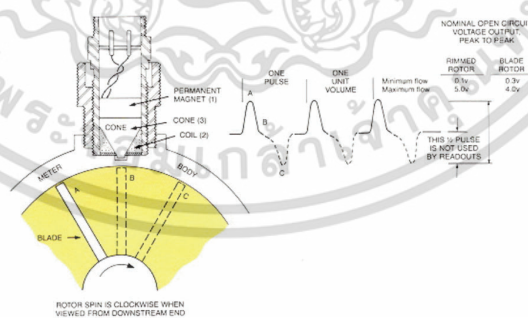
3. **ขดลวดรับแบบรีลัคแตนซ์แปรค่า (Variable Reluctance)** เมื่อโรเตอร์ของมิเตอร์เปลี่ยนเป็นโรเตอร์แม่เหล็ก (Ferrous Rotor) หมุนผ่านปลายขดลวดรับซึ่งเป็นขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetized Core) ดังนั้นจึงทำให้การหมุนของโรเตอร์วน (Rotor Vane) ในแต่ละครั้งจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กภายในขดลวดรับแปรเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์รูปพัลส์ (Pulse) แรงดันไฟฟ้าที่มีรูปร่างไม่สมบูรณ์หรือไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานขดลวดแบบรีลัคแตนซ์แปรค่า (Variable Reluctance) [2]

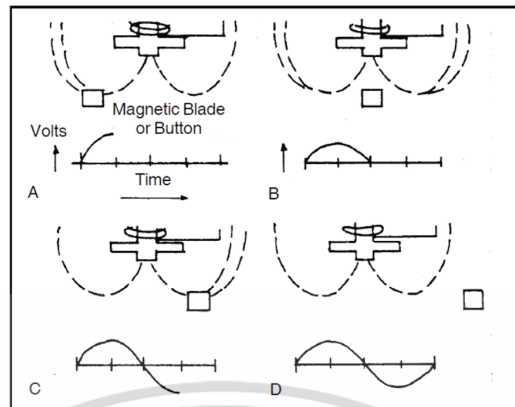
ความถี่ของพัลส์ซึ่งเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) ของโรเตอร์และอัตราการไหล พัลส์จะถูกนับจำนวนรวมทั้งหมดด้วยตัวนับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter) จากนั้นตัวนับอิเล็กทรอนิกส์ก็จะทำการแปรค่าสัญญาณรวมทั้งหมดให้เปลี่ยนเป็นค่าปริมาตรโดยรวมทั้งหมด (Total Volume) ซึ่งความถี่ของพัลส์นี้เองเป็นตัวบ่งบอกค่าอัตราการไหล (Flow rate) ไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้า Peak-to-Peak Voltage ดังนั้นจำนวนพัลส์ต่อหน่วยปริมาตรจึงมีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า "K-Factor" เช่น 25.64 pluses/ลิตร เป็นต้น

สำหรับแม่เหล็กถาวรที่เป็นส่วนประกอบในมิเตอร์ชนิดนี้จะทำหน้าที่ผลิตสนามแม่เหล็กผ่านขดลวดโดยชิ้นส่วนรูปโคน ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ตัวที่ทำให้สนามแม่เหล็กเข้มข้นเป็นจุดบริเวณปลายโคน (Meter Body เป็น Stainless Steel จึงไม่มีผลต่อสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไฟฟ้า)



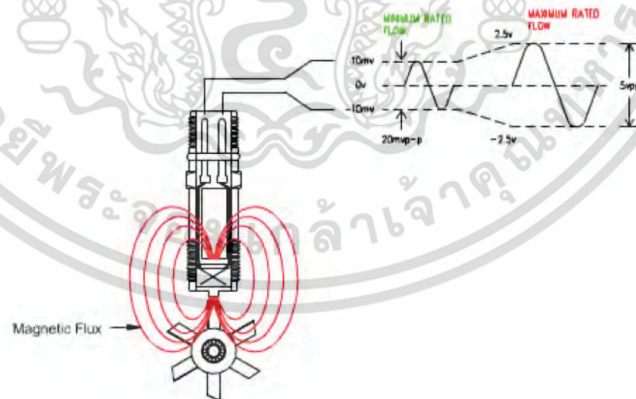
รูปที่ 2.7 หลักการเหนี่ยวนำในขดลวดแบบรีลัคแตนซ์แปรค่า (Variable Reluctance) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 หลักการเหนี่ยวนำในขดลวดแบบรีลัคแตนซ์แปรค่าในรูปแบบสนามแม่เหล็ก [2]

การทำงานของใบพัดเทอร์โบจะเริ่มหมุนจากตำแหน่ง (A) เคลื่อนเข้าหาใต้จุดของรูปโคนและจะไปเหนี่ยวนำขดลวดรับโดยการเพิ่มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux) ด้วยตัวใบพัดซึ่งเป็นแม่เหล็ก จึงก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นภายในขดลวด และเมื่อใบพัดหมุนไปอยู่ในตำแหน่ง (B) สนามแม่เหล็กจะมีสถานะสมดุลทำให้แรงดันไฟฟ้าในขดลวดรับลดลงเหลือเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามเมื่อใบพัดเริ่มเคลื่อนที่ห่างออกไปจากจุดปลายโคนไปยังตำแหน่ง (C) ใบพัดซึ่งเป็นแม่เหล็กก็จะเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปในทิศตรงข้าม ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าในทิศตรงข้าม



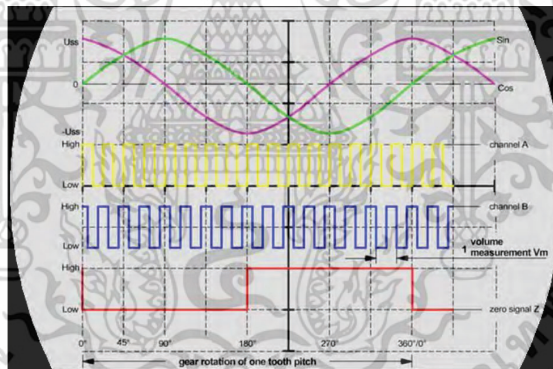
รูปที่ 2.9 แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณขดลวดรับด้านทางออกอยู่ระหว่าง 10mV - 2.5V [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขดลวดรับ (Pickup Coil) ให้เป็น 2 ตัวโดยวางในตำแหน่งเยื้องกันเพื่อสามารถนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จากขดลวดรับทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกับกันและกันและใช้ทวนสอบการทำงานซึ่งกันและกัน โดยขดลวดรับจะส่งสัญญาณออกในช่องสัญญาณ Channel A และ Channel B ซึ่งมิเตอร์ชนิดนี้มักนิยมใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องและงานที่ต้องการความแม่นยำในการวัดสูง



รูปที่ 2.10 มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์มีขดลวดรับ (Pickup Coil) 2 ตัววางในตำแหน่งเยื้องกัน 90 องศา [2]



รูปที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่ถูกเหนี่ยวนำแต่ละขดลวดรับ [2]

#### ตัวขยายสัญญาณ (Preamplifier)

สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์พัลส์ (Electronic Pulses) ที่ได้จากการหมุนของโรเตอร์เทอร์ไบน์ภายในมิเตอร์วัดการไหลเทอร์ไบน์นั้นจะมีความแรงของสัญญาณต่ำมาก (Very Low-Level Signal) ในบางกรณีสัญญาณแรงต้นมีค่าเพียง 2-3mV เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการขยายความแรงสัญญาณ แล้วส่งสัญญาณจากตัวมิเตอร์ไปยังตัวนับพัลส์ (Pulse Counter) ต่อไป ซึ่งต้องให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญต่อสัญญาณดังกล่าวไม่ให้เกิดการสูญเสียหรือเพิ่มขึ้น (Loss or Gain Signal) ที่จะเกิดขึ้น  
ในระหว่างการส่งสัญญาณ

### เทอร์ไบน์โรเตอร์ (Turbine Rotor)

เทอร์ไบน์โรเตอร์ เป็นส่วนที่สัมผัสกับของเหลวที่ทำการวัดโดยตรงและเทอร์ไบน์โรเตอร์  
ขณะทำการวัดเมื่อสัมผัสของเหลวก็จะหมุนไปตามการไหลของของเหลว เทอร์ไบน์โรเตอร์มีหลาย  
แบบดังนี้

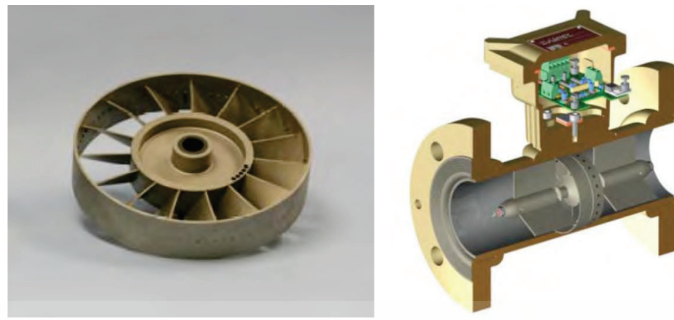
1. เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบทั่วไป (Conventional Turbine Rotor) มีแกนกลางประกอบด้วย  
ใบพัดรอบๆ แกนกลาง มักพบเห็นทั่วไปและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.12 โรเตอร์แบบต่าง ๆ [2]

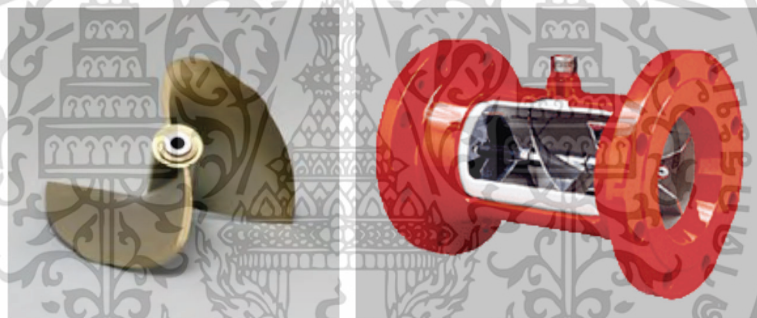
2. เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบวงล้อ (Rim Turbine Rotor) เนื่องจากจำนวนพัลส์ที่ได้จากการ  
วัดขึ้นอยู่กับจำนวนใบพัดเทอร์ไบน์ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนพัลส์เพื่อต้องการความละเอียดใน  
การวัดค่าของเหลวที่ไหลผ่านมิเตอร์ จึงได้มีการนำเทอร์ไบน์โรเตอร์แบบวงล้อมาใช้งาน ซึ่ง  
วงล้อจะเป็นเป็นสแตนเลส (Stainless Steel) และฝัง High Paramagnetic Soft Iron  
Alloy Buttons เพื่อเพิ่มความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบวงล้อ (Rim Rotor) [2]

3. เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบเกลียว (Helical Turbine Rotor) เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดสูง และสามารถทำงานได้ครอบคลุมถึงของเหลวความหนืดสูงถึงสูงมาก มีช่วงทำงานในช่วงความหนืดที่กว้าง และไม่ไวต่อการที่ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลง ปกติมักใช้งานกับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันดิบ เป็นต้น



รูปที่ 2.14 เทอร์ไบน์โรเตอร์แบบเกลียว (Helical Rotor) [2]

4. ลูกปืน (Ball or Roller Bearing & Sleeve Bearing)
- 4.1 Sleeve Bearings มักถูกเลือกใช้เป็นส่วนใหญ่ วัสดุที่ใช้ทำได้แก่ เซรามิก เป็นต้น
  - 4.2 Ball Bearings เหมาะกับของเหลวสะอาดจำพวกน้ำมันใส (Light Hydrocarbon)

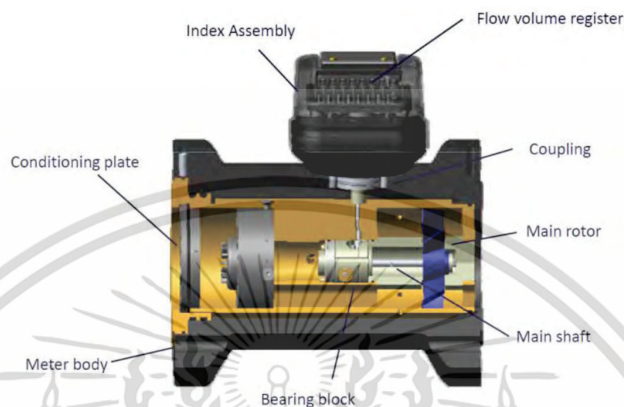
#### การบันทึกค่าปริมาตร (Volume Registration)

การบันทึกค่าปริมาตร สามารถทำได้โดยการนับจำนวนรอบของการหมุนของโรเตอร์ ซึ่งมีด้วยกัน 3 วิธีการ คือ

1. การนับเชิงกล (Mechanical Counter) ที่ต่อกับเพลลาของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การนับจำนวนสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์พัลส์ (Electronic Pulse Counter) ที่ได้จากการหมุนของโรเตอร์
3. การนับโดยการตรวจจับด้วยอุปกรณ์การวัดแบบใช้แสง (Optical Instrument)



รูปที่ 2.15 กลไกการนับที่ต่อกับเพลลาของโรเตอร์ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ [2]

### 2.1.3 มิเตอร์วัดการไหลแบบมวล (Coriolis Mass Flow Meter)

มิเตอร์วัดการไหลแบบมวลเป็นมิเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ และกำลังเป็นที่สนใจของทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ซึ่งในอนาคตมิเตอร์วัดการไหลแบบมวลดังกล่าวนี้จะเข้ามาทดแทนมิเตอร์วัดการไหลแบบแบบแทนที่และแบบเทอร์ไบน์ ต่อไป

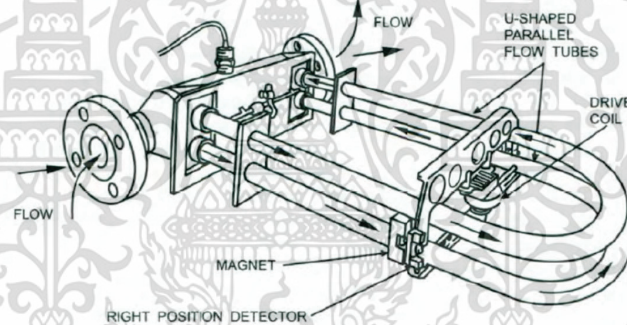
คุณสมบัติของมิเตอร์วัดการไหลแบบมวล ใช้งานด้านการซื้อขายของเหลวหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลว และที่นิยมใช้งานกันทั่วไปจะมี Rangeability 10 : 1 to 25 : 1 ข้อมูลทางเทคนิคของมิเตอร์วัดการไหลแบบมวลนี้สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มิเตอร์วัดการไหลแบบมวล (Rangeability 10 : 1 to 25 : 1) [2]

Nominal Diameter (inch)	Max. flowrate (kg/min)	Min. flowrate (kg/min)
6	11,340	0
3	4,536	0
2	1,451	0
1-1/2	1,260	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปีคริสต์ศักราช 1835 กุสตาฟว์-กัสปาร์ คอริโอลิส (Gustave-Gaspard Coriolis) ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์และวิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้ทำการพิสูจน์ให้เห็นว่าแรงเฉื่อย (Inertia Force) ที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้อิทธิพลของความเร็วเชิงมุมจะต้องมีการนำไปพิจารณาด้วย ถ้ากฎการเคลื่อนที่วัตถุของนิวตัน (Newton's Law of Motion) ถูกใช้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่บนกรอบมิติอ้างอิงที่กำลังหมุน (Newton's Law of Motion of bodies) ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์คอริโอลิส (Coriolis Effect)” และได้มีการนำเอาปรากฏการณ์คอริโอลิสมาประยุกต์ใช้งานโดยนำมาสร้างเป็นมิเตอร์วัดการไหลเพื่อวัดปริมาตรของของเหลว มิเตอร์วัดการไหลแบบมวลคอริโอลิสจึงมีหลักการทำงานที่ว่า แรงเฉื่อย (คอริโอลิส) ซึ่งเกิดจากการทำให้ท่อวัดนั้นสั่นเปลี่ยนแปลงไปจากลักษณะการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของเดิม (การสั่นในสถานะที่ไม่มีของเหลวไหลผ่าน) เมื่อมีของเหลวไหลผ่านท่อวัดจะทำให้ท่อวัดบิดเป็นมุมค่าหนึ่งเมื่อวัดเทียบกับบรรนาบการสั่นของท่อที่ยังไม่มีของเหลวไหลผ่าน มุมที่ถูกวัดดังกล่าวจะถูกแปลงไปเป็นค่าการวัดอัตราการไหลมวล



รูปที่ 2.16 โครงสร้างโดยทั่วไปของมิเตอร์วัดการไหลแบบมวล [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมิเตอร์วัดปริมาตรของเหลวแต่ละประเภทการทำงาน [2]

Item	Flowmeter		
	PD	Turbine	Coriolis mass
Recommended service	Clean & Viscous Liquid, Clean Gases		Clean, Dirty Viscous Liquid, Gases, Some Slurries
Turn Down Ratio	10 to 1	20 to 1	10 to 1
Pressure Loss	High	High	Medium to High
Straight run	None	5 to 10 Upstream	None
Viscosity Effect	High	High	None
Relative Cost	Medium	High	High
Size	1/2" to 12"	> 1/4"	> 1/2"
Type of output	Linear	Linear	Linear

## 2.2 การสอบเทียบมิเตอร์วัดปริมาตรของเหลวและมิเตอร์แบบมาตรา

ตามมาตรฐานสากลที่กำหนดให้ต้องมีการสอบย้อนกลับ (Traceability) ของการสอบเทียบ และการตรวจสอบให้คำรับรองตลอดจนวิธีการสอบเทียบนั้นนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ในปัจจุบัน การสอบเทียบย้อนกลับมีทั้งการวัดปริมาตรแบบไดนามิก (Dynamic) และการวัดปริมาตรแบบคงที่ (Static) ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวนี้ทำให้ความน่าเชื่อถือสูง และหากต้องการความเชื่อถือที่สูงเพิ่มมากขึ้นอีก ก็จะต้องทำการสอบเทียบย้อนกลับกับค่ามวลน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา เช่น เครื่องชั่งหรือ Mass Comparator ที่มีค่าละเอียดสูงตามมาตรฐานกำหนด

โดยทั่วไปวิธีการสอบเทียบแบบมาตราแต่ละวิธีการจะขึ้นอยู่กับชนิดของมิเตอร์วัดปริมาตรของของเหลวซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ ในการสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรอง มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ และมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์จะใช้วิธีการสอบเทียบด้วยกัน 4 วิธีการคือ

1. สอบเทียบด้วย Prover Tank
2. สอบเทียบด้วย Master Meter
3. สอบเทียบด้วยเครื่องชั่งความเที่ยงสูง (Weighting Method)
4. สอบเทียบด้วย Portable Compact Prover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรองมิเตอร์วัดการไหลแบบมวล จะใช้ 2 วิธีการคือ

1. สอบเทียบด้วยเครื่องชั่งความเที่ยงตรงสูง (Weighting Method)
2. สอบเทียบด้วย Master Meter

### 2.2.1 ขอบเขตทางเทคนิคของระบบสอบเทียบ

การกำหนดรายละเอียดในการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองมิเตอร์ที่ใช้วัดปริมาตรของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลว เพื่อความสามารถในการกำหนดลักษณะการสอบเทียบให้เหมาะสมกับการรองรับงานระบบการสอบเทียบได้ใกล้เคียงกับความต้องการให้มากที่สุดคือ

1. ชนิดของของเหลวที่เป็นตัวกลางการทดสอบ
2. ขนาดมิเตอร์วัดปริมาตรของเหลว ซึ่งรวมถึงอัตราการไหลและความดัน
3. วิธีการสอบเทียบ
4. ชนิดของแบบมาตรา จำนวนและขนาดของแบบมาตรา
5. ขนาดของถังสำรองเพื่อใช้จัดเก็บของเหลวที่เป็นตัวกลางสอบเทียบ
6. สภาพแวดล้อมและเงื่อนไขการทำงานของระบบสอบเทียบ
7. โหมดการทำงาน of ระบบสอบเทียบ (Design Modes)
8. การควบคุมอัตราการไหล (Flow Control)
9. ระบบท่อ และวาล์ว (Piping System)
10. ปั๊ม (Pump)
11. การออกแบบระบบโปรแกรม (Design Code)
12. ข้อกำหนดทั่วไป เช่น ความปลอดภัยและการป้องกันไฟไหม้ หรือป้องกันฟ้าผ่า นั้นก็ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

มิเตอร์ที่ใช้ในระบบการซื้อขายของเหลวปิโตรเลียมส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ทั่วไป เช่น สถานีจ่ายน้ำมันทางรถยนต์บรรทุก (Truck Loading) และมิเตอร์แบบมาตราซึ่งใช้งานอยู่ทั่วไปเช่นกันนั้น ส่วนใหญ่มีหลักการทำงานที่เหมือนกัน เพียงแต่ได้รับการออกแบบที่แตกต่างกันอยู่บ้างตามวัตถุประสงค์การใช้งานและการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง มิเตอร์ดังกล่าวสามารถจัดกลุ่มตามการใช้งานจริงในการวัดของเหลว ก๊าซ ไอน้ำ และของเหลวข้น เช่น น้ำผสมปูน เป็นต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การแบ่งกลุ่มมิเตอร์วัดการไหลตามลักษณะการใช้งาน [2]

ชนิดของมิเตอร์ (Type)	Liquid	Gas	Steam	Slurry
Variable Area	X	X	X	
Variable Differential Pressure	X	X	X	X
Positive Displacement	X	X		
Turbine	X			
Magnetic	X			X
Ultrasonic	X			
Turbine	X	X	X	
Magnetic	X			
Ultrasonic	X			X
Thermal	X	X		
Coriolis	X	X		X

มิเตอร์วัดปริมาณของของเหลวคือ เครื่องมือที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้วัดและส่งจ่ายของเหลวตามปริมาณที่ส่งจ่ายจริงและมีส่วนแสดงค่าเพื่อแสดงผลของการวัด อันได้แก่

1. มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมันหล่อลื่น คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัดและการส่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่นเหลว รวมถึงผลิตภัณฑ์ใด ๆ ที่มีวัตถุประสงค์ในการใช้เพื่อการหล่อลื่น
2. มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัดและการส่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง
3. มิเตอร์วัดปริมาณก๊าซปิโตรเลียมเหลว คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัดและการส่งจ่ายก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ติดตั้งอยู่กับที่หรือติดตั้งอยู่บนยานพาหนะ
4. มิเตอร์วัดปริมาณน้ำหวานที่ได้จากพืช คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัด และการส่งจ่ายน้ำหวานที่ได้จากพืช
5. มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมันพืช คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัดและการส่งจ่ายน้ำมันพืช
6. มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมัน คือ มิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการวัดและการส่งจ่ายน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ข้อแตกต่างระหว่างมิเตอร์วัดปริมาตรของเหลวทั่วไป กับมิเตอร์แบบมาตรา (Master Meter)

มิเตอร์วัดปริมาตรของของเหลวทั่วไป และมิเตอร์แบบมาตรามีความแตกต่างทั้งในด้านความเที่ยงตรงแม่นยำและราคา แต่เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างในด้านอื่นๆ โดยสามารถสังเกตได้จากการที่มิเตอร์แบบมาตราจะได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. ต้องสามารถวัดอัตราการไหลที่ใช้งานอยู่ได้
2. มีค่า Meter Error น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.20%
3. มีค่า Linearity น้อยกว่า 0.15%
4. มีส่วนวัดหรือส่วนแสดงค่าปริมาตรที่วัดได้ทั้งแบบหยาบและละเอียด
5. มีส่วนวัดและแสดงอัตราการไหลขณะใช้งาน
6. มีมิเตอร์วัดความดันติดประจำมิเตอร์
7. มีเทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิของของเหลวที่ไหลผ่าน
8. มีวาล์วด้านทางออกสำหรับปิด-เปิด
9. มีตัวปรับ (Adjust Device) สำหรับปรับความเที่ยงตรงแม่นยำ (Accuracy)
10. ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เช่น ในกรณี Rotating-Vane มิเตอร์วัดการไหลแบบแทนที่ตัวเรือนจะเป็น Double-case เป็นต้น

ทั้งนี้อุปกรณ์ทุกตัวที่นำมาใช้ในระบบการสอบเทียบต้องผ่านการสอบเทียบมาก่อนแล้วทั้งสิ้น

## 2.2.3 การสอบเทียบ (Calibration)

การสอบเทียบมิเตอร์วัดปริมาตรของของเหลวกับมิเตอร์แบบมาตราด้วยท่อสอบเทียบ (Pipe Prover) หรือถังตวงแบบมาตรา (Tank Prover หรือ Prover Tank) เราเรียกวิธีการสอบเทียบดังกล่าวว่า การสอบเทียบทางตรง (Direct proving) แต่ถ้าหากว่าทำการสอบเทียบมิเตอร์วัดปริมาตรของของเหลวด้วยมิเตอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งได้รับการสอบเทียบตรงมาก่อนจะเรียกวิธีการสอบเทียบแบบนั้นว่า การสอบเทียบทางอ้อม (Indirect proving) ซึ่งโดยปกติแล้วในการสอบเทียบทั่วไป จะกระทำการสอบเทียบด้วยวิธีตรงมากกว่าการสอบเทียบทางอ้อม

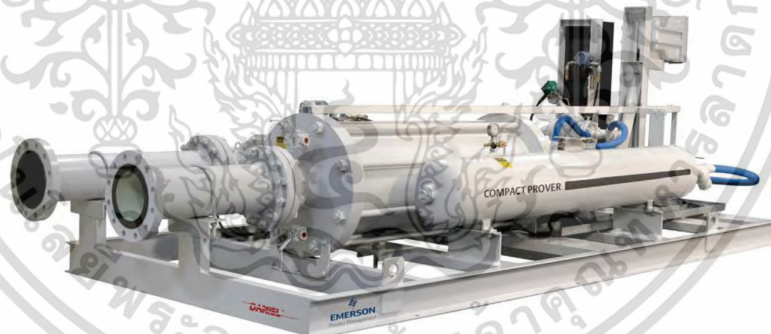
## 2.2.4 Small Volume Prover

Small Volume Prover จัดเป็นเครื่องวัดตามกฎกระทรวง ซึ่งกำหนดให้เครื่องวัดที่อยู่ในข้อบังคับแห่งพระราชบัญญัติมาตราซึ่งตวงวัด พ.ศ. 2542 เรื่อง ชนิด ลักษณะ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเพื่อเหลือเผื่อขาด และคำรับรองของเครื่องซึ่งตวงวัด และหลักเกณฑ์และวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จดทะเบียนเครื่องหมายเฉพาะตัว พ.ศ. 2546 ลักษณะ 3 ลักษณะ อันประกอบด้วย รายละเอียดวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่มีกำหนดในหมวดที่ 1 บททั่วไป ข้อ 14 เครื่องชั่งตวงวัด ต้องมีส่วนแสดงค่าปริมาณที่ชั่งตวงหรือวัดที่เหมาะสมและมีจำนวนเพียงพอกับการใช้งาน ประกอบกับกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2544) ข้อ 16 ค่าธรรมเนียมการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งตวงวัด และค่าธรรมเนียมการออกหนังสือรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งตวงวัด

ด้วยเหตุปัจจัยดังกล่าว Small Volume Prover จึงจำเป็นต้องมีส่วนแสดงค่า (Display) หรือ Controller หรือ Flow Computer ประกอบครบถ้วนประจำ Small Volume Prover เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการป้อนค่าข้อมูลปริมาตรจาก Small Volume Prover รวมทั้งตัวแปรที่ใช้ในการสอบเทียบถูกถ่ายทอดไปยังการคำนวณผลที่ถูกต้อง ไม่ว่าจะจากส่วนแสดงผล (Display) หรือ Controller หรือ Flow Computer อีกทั้งยังสอดคล้องกับมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา (Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter API Charter 4 Proving Systems Section 3-Small Volume Provers) ที่มี Prover Counter/Controller ประจำ Small Volume Prover เพื่อใช้ในการประมวลผลสัญญาณทั้งหมด เริ่มจาก Small Volume Prover และจากมิเตอร์วัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการสอบเทียบตรวจสอบให้คำรับรอง จากนั้นทำการคำนวณและแสดงผลข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 2.17 Small Volume Prover บนแท่นสามารถขนย้ายได้ [5]

### 2.2.5 ลักษณะและรูปแบบโดยทั่วไปของ Small Volume Prover

Pipe Prover หรือท่อทดสอบความจุ ซึ่งเป็นชื่อเรียกกันโดยทั่วไปนั้นจะครอบคลุมทั้ง Conventional Pipe Prover และ Small Volume Prover ที่มีการใช้มางานกันมาอย่างยาวนาน ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1950 เริ่มมีการใช้ Pipe Prover โดยโรงกลั่นน้ำมัน 2 แห่งซึ่งไม่สามารถหาซื้อ

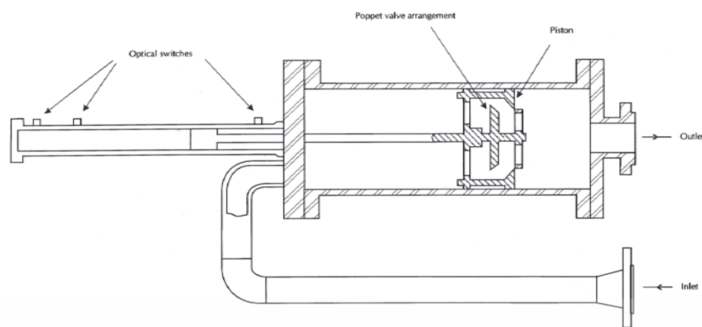
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุคติดกันได้ใน การหาค่าความแม่นยำของมิเตอร์วัดปริมาตรของรของเหลวซึ่งใช้ร่วมกัน จึงตัดสินใจร่วมกันใช้ท่อซึ่งยาวประมาณ 1 ไมล์แล้วปล่อยให้มิเตอร์วัดปริมาตรของเหลวซึ่งใช้ร่วมกัน จากนั้นนำค่าปริมาตรที่วัดได้ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของระยะวิ่งของตัวกวาดนั้นไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาตรที่วัดได้โดยมิเตอร์นั้น ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษที่ 1960 ได้มีการพัฒนาโดยกำหนดให้มี Pipe Prover อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า Small Volume Prover โดยการนำเอาเทคนิคการนับจำนวนพัลส์ ที่เรียกว่า Double chronometry มาใช้งานร่วมด้วย และต่อมาได้มีการปรับปรุงโดยการนำเอาอุปกรณ์ตรวจจับ Optical switch มาใช้แทน Reed switch ของเดิม ต่อมาช่วงปลายทศวรรษที่ 1970 ถึงช่วงต้นทศวรรษที่ 1980 Small Volume Prover จึงได้ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

เริ่มตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1996 เป็นต้นมา หน่วยงานรัฐและองค์กรระหว่างประเทศเริ่มให้การยอมรับ Small Volume Prover มากขึ้น และ Pipe Prover ก็ได้แตกแขนงออกไปตามความต้องการใช้งานด้วยเงื่อนไขข้อจำกัดที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น สำหรับการเรียกชื่อต้องระวางความสับสนระหว่าง Small Volume Prover กับ Compact Prover (CPP) เพราะเป็นการพูดถึงในสิ่งเดียวกัน แต่หลายคนอาจจะคุ้นเคยกับชื่อของ Compact Prover (CPP) มากกว่า Small Volume Prover

การออกแบบ Small Volume Prover ได้รวมเอาท่อทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง (Measuring Cylinder) และประกอบด้วยตัวกวาด (Displacer) กับวิธีการระบุตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของตัวกวาดที่แม่นยำด้วยตัวตรวจจับตัวกวาด (Displacer Detector) โดยตัวกวาดจะเคลื่อนที่กวาดปริมาตรของเหลวไปพร้อมกับของไหลที่ไหลผ่านในท่อจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ทิศตรงข้ามด้วยระยะทางสั้นคงที่อย่างต่อเนื่อง โดยภายในท่อได้รับการเคลือบ Stainless plate เพื่อความราบเรียบอีกทั้งป้องกันการกัดกร่อนเชิงกลและเชิงเคมีไว้เป็นอย่างดี อีกทั้งจัดให้มีระบบซีลป้องกันการรั่วไหลระหว่างผนังรูปทรงกระบอกกับตัวกวาดการประมวลผลการวัดด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างตัวตรวจจับตัวกวาด เครื่องมือนับสัญญาณพัลส์ (Pulse Counter) ตัวจับเวลา (Timer) และเทคนิค Pulse interpolation ตลอดจนจัดให้มีการวัดอุณหภูมิและความดันภายในท่อได้ตลอดเวลา รวมทั้งมีท่อ Vent และท่อ Drain ในระบบการทำงาน จึงทำให้ได้ค่าปริมาตรระหว่างตัวตรวจจับตัวกวาดมีค่าคงที่และนั่นคือ Base Volume นั่นเอง ซึ่งพิกัดความสามารถในการวัดปริมาตรของของเหลวของ Small Volume Prover มีตั้งแต่ขนาด 20 ลิตร 40 ลิตร 60 ลิตร 120 ลิตร และ 250 ลิตร จนถึงขนาดสูงสุด 318 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 รูปลักษณะทั่วไปของ Small Volume Prover ที่มีวาล์วอยู่ภายใน [2]

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าภายในตัวกวาดประกอบด้วย Piston ซึ่งภายใน Piston จะติดตั้ง Poppet Valve เรียกรวมกันว่า Flow-through Valve ตัวกวาดถูกออกแบบและจัดทำด้วยวัสดุที่เหมาะสมกับอุณหภูมิและความดันที่ใช้งาน ตลอดจนทนต่อการกัดกร่อนของของเหลวที่ใช้วัด

### 2.2.6 Flow Computer

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการประมวลผลเช่นเดียวกับคอนโทรลเลอร์ (Controller) เพียงแต่มีคุณภาพในการทำงานที่ดีกว่ามาก สามารถเก็บข้อมูลในการซื้อขายหรือขนส่งน้ำมันและก๊าซที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูง มีความเสถียรสูงโดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำงานได้ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลานานหลายปีและสามารถเรียกใช้คุณสมบัติพื้นฐานในการเก็บข้อมูลย้อนหลังการซื้อขายแบบเป็นช่วงและการรับค่าจากอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตลอดจนได้รับการยอมรับในการใช้งาน การซื้อขายปิโตรเลียมเหลว



รูปที่ 2.19 ส่วนประมวลผลของ Flow Computer ที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่าง ๆ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การวิเคราะห์หาค่าไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัด

การวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัดหรือการสอบเทียบโดยจะเป็นการนำค่าสถิติต่างๆ ของตัวอุปกรณ์ ความแม่นยำ และคุณสมบัติของอุปกรณ์ในระบบหมดทั้งหมดมาคำนวณเพื่อให้ทราบถึงความไม่แน่นอนที่เกิดจากตัวอุปกรณ์และระบบการวัด การสอบเทียบเป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบได้ถึงค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ก่อนที่จะนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปใช้งานเพื่อให้ได้ซึ่งความเที่ยงตรงที่ยอมรับได้ในการวัดอัตราการไหล หรือปริมาตรในงานซื้อขายที่แท้จริง

ในขั้นตอนแรกต้องทราบถึงกระบวนการวัดและอุปกรณ์ที่ส่งผลต่อการวัดอัตราการไหลในระบบที่เราจะทำการทดสอบก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทวนสอบหรือสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วยเครื่องสอบเทียบ Small Volume Prover ซึ่งนอกจากอุปกรณ์ที่มีผลกระทบในการสอบเทียบโดยตรงก็คือตัวมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์และ Small Volume Prover แต่จะมีอุปกรณ์ในระบบการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับการวัดอีก 2 ชนิดคืออุปกรณ์วัดความดันและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ขั้นต้นของอุปกรณ์ทั้งหมดที่จะส่งผลทำให้ความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการวัดด้วยหลักการวิเคราะห์ดังนี้ [8]

- 1) ความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover
- 2) ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบของ Small Volume Prover
- 3) ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover
- 4) ผลกระทบของอุปกรณ์วัดความดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover
- 5) ค่าการทำซ้ำของอุปกรณ์จับระยะที่มีผลต่อ Small Volume Prover
- 6) ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแกนเหล็กที่มีผลต่อ Small Volume Prover
- 7) ความละเอียดในการสร้างสัญญาณของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์
- 8) ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ
- 9) ผลกระทบของอุปกรณ์วัดความดันที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ
- 10) ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ของการทำซ้ำของการทดสอบ

หลักการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนจะต้องจัดประเภทของความไม่แน่นอนเป็นสองประเภท โดยสามารถจัดประเภทได้สองอย่างดังต่อไปนี้ [9]

1. ความไม่แน่นอนชนิดเอ (Uncertainty Type A) เป็นการประเมินความไม่แน่นอนโดยการวัดโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติแบบหนึ่งของค่าปริมาณที่วัดได้ต่างๆ ซึ่งได้มาภายใต้เงื่อนไขการวัดต่างๆ ที่ถูกนิยามหรือที่สนใจ
2. ความไม่แน่นอนชนิดบี (Uncertainty Type B) เป็นการประเมินความไม่แน่นอนโดยหาจากวิธีการอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากการประเมินความไม่แน่นอนการวัดชนิดเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถนิยามตัวอย่างแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนจากการจากนิยามที่ไม่สมบูรณ์ของ ปริมาตรที่ถูกวัด การสุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนของปริมาตรที่ถูกวัด สภาวะแวดล้อม ความเหมาะสมของวิธีการหรือขั้นตอนการวัด ความละเอียดของเครื่องมือวัด และความลำเอียงของการอ่านเครื่องมือวัดแบบนาฬิกาต่างๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อ การวัด โดยนิยามที่ง่ายที่สุดคือสมการที่ใช้ ในการคำนวณตัวแปรต่างๆ ที่ได้นำมาคำนวณจะมีความแปรผันของตัวเองได้อยู่เสมอ ดังนั้นจึงต้องมี ค่าเพื่อหรือค่าความไม่แน่นอนในทุกๆ ตัวแปรที่จะถูกนำมาคำนวณแต่ละจะต้องเป็นไปตามหลักสถิติ หรือมีการสุ่มค่าจริงออกมา จึงจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

### 2.3.1 สมการเริ่มต้นของการแปลผลและสมการที่ใช้ในการแจกแจงความไม่แน่นอน

$$PM_F = \frac{PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP}}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \quad (2.1)$$

โดยตัวแปรแต่ละตัวจะมีความหมายดังต่อไปนี้

- $PM_F$  : Prover meter factor
- $PV_b$  : Base volume prover
- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover
- $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover
- $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover
- $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover
- $P_f$  : Number of flow pulses during prove
- $K_F$  : K factor (at meter)
- $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter
- $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

สมการข้างต้นคือผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบหรือค่า Meter Factor [10] คือการนำผล คำนวณเชิงปริมาณของ Small Volume Prover หาดด้วยผลคำนวณเชิงปริมาณของเทอร์โบเมตริก ที่ถูก ทดสอบเราจะพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องจะมีความสัมพันธ์กับเครื่องมือวัดในระบบและขีด ความสามารถของอุปกรณ์ดังนั้น จึงสามารถแจกแจงค่าที่มาของความไม่แน่นอนข้างต้นๆ ที่ได้อธิบายไว้ ทั้งหมด 10 ข้อได้ตรงกับสมการที่เป็นผลลัพธ์ของการสอบเทียบได้โดยเป็นสมการของความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$U = k \times \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (2.2)$$

โดยที่

- $U$  : Expanded Uncertainty, in percent  
 $k$  : Inverse of the two-tailed Student's T distribution  
 $u_a$  : Uncertainty type A, in percent  
 $u_b$  : Uncertainty type B, in percent

โดยสมการข้างต้นจะสามารถย่อยความไม่แน่นอนชนิดเอและบีได้ดังต่อไปนี้

$$u_b = \sqrt{u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + \dots + u_{b9}^2} \quad (2.3)$$

โดยที่

- $u_{b1}$  : ความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover  
 $u_{b2}$  : ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบของ Small Volume Prover  
 $u_{b3}$  : ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover  
 $u_{b4}$  : ผลกระทบของเครื่องวัดความดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover  
 $u_{b5}$  : ค่าการทำซ้ำของอุปกรณ์จับระยะที่มีผลต่อ Small Volume Prover  
 $u_{b6}$  : ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิแกนเหล็กที่มีผลต่อ Small Volume Prover  
 $u_{b7}$  : ความละเอียดในการสร้างสัญญาณของ Turbine flow meter  
 $u_{b8}$  : ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ  
 $u_{b9}$  : ผลกระทบของเครื่องวัดแรงดันที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ

และสมการของความไม่แน่นอนชนิดเอจะเป็นของผลลัพธ์ของการทำซ้ำของการทดสอบ ( $u_a$ ) หลังจากที่สามารถแยกประเภทของความไม่แน่นอนต่างๆ ให้ออกมาอยู่ในรูปแบบของสมการได้ แล้วเราจำเป็นที่จะต้องจำแนกคุณสมบัติและสมการย่อยภายในตัวของความไม่แน่นอนออกมาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความไม่แน่นอนที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณ โดยจะอธิบายในแต่ละส่วนของตัวแปรทั้งหมดไว้เพื่อที่จะเข้าใจได้ถึงที่มาและตัวแปรที่จะส่งผลกระทบในแต่ละความไม่แน่นอน

### 2.3.2 ความไม่แน่นอน $u_a$ (ความไม่แน่นอนชนิดจะเป็นของผลลัพธ์ของการทำซ้ำ)

จากเอกสารมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา (API MPMS 4.5 Appendix A.) โดยสมการดังกล่าวเป็นจะการอ้างอิงผลจากการทำซ้ำของการคำนวณจากตาราง student-t distribution factor for 95 percent of confident level and n-1 degree of freedom อ้างอิงจากตารางที่ 2 ของ API MPMS chapter 13.1, Appendix D และในส่วนของค่ามาตรฐานความไม่แน่นอนจากตารางที่ 1 ของ API MPMS chapter 13.1 - Appendix D โดยเป็นการทดสอบการหาค่าการทำซ้ำจากผลการทดลอง โดยการทดสอบดังกล่าวมีการทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยเพื่อแปลผล และจะทำซ้ำผลดังกล่าวอีก 5 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะต้องมีความแตกต่างของผลลัพธ์ไม่เกิน 0.02% ซึ่งจะหมายความว่าในการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้งซึ่งทำซ้ำในแต่ละครั้งอีก 5 ครั้งจะต้องได้ผลการคำนวณความไม่แน่นอนของค่าผลรวมของรูปคลื่นที่อ่านได้จาก Flow Computer ไม่เกิน 0.02% ค่าดังกล่าวจึงจะถือว่ามีความน่าเชื่อถือ โดยจะสามารถคำนวณหาความไม่แน่นอนชนิดนี้ ได้จากสมการต่อไปนี้ [11]

$$u_a = \frac{[t(95, n - 1)] \times (w_{(n)})}{(\sqrt{n}) \times (D_{(n)})} \quad (2.4)$$

โดยที่

$u_a$  : random uncertainty of average of a set of meters proving runs

$t(95, n - 1)$  : student-t distribution factor for 95 percent confident level and n-1 degrees of freedom (see Table 2 of API MPMS 13.1, Appendix D))

$w_{(n)}$  : Range of values in the meter proving set (Repeatability)

$n$  : Number of meters proving runs

$D_{(n)}$  : Conversion factor for estimating standard deviation for n data points (see Table 1 of API MPMS Chapter 13.1, Appendix D)

#### ตัวอย่าง

กำหนดให้

$u_a$	=	Uncertainty type A
$t(95, n - 1)$	=	2.776 (see Table 2 of API 13.1)
$w_{(n)}$	=	0.02%
$n$	=	5 Run
$D_{(n)}$	=	2.326 (see Table 1 of API 13.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะได้ว่า

$$u_a = \frac{2.776 \times 0.02\%}{\sqrt{5} \times 2.326} = 0.010675\%$$

ตารางที่ 2.6 Range conversion factor [11]

Number of Measurement. (n)	Conversion Factor. D(n)
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078
11	3.173
12	3.258

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 Student – t Distribution values for 95 percent probability [11]

Degree of Freedom	$t_{95}$
1	12.706
2	4.303
3	3.182
4	2.776
5	2.571
6	2.447
7	2.365
8	2.306
9	2.262
10	2.228
11	2.201
12	2.179

### 2.3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาตรสำหรับการแปลงผลความไม่แน่นอน

หลังจากที่ได้ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอและชนิดบีแล้ว ยังไม่สามารถนำค่าที่ได้มาใช้งานได้ทันทีเนื่องจากหน่วยของความไม่แน่นอนในแต่ละหัวข้อที่คำนวณมาได้แตกต่างกัน จึงต้องทำการแปลงหน่วยของความไม่แน่นอนที่มีผลต่อการคำนวณปริมาตรโดยจะสามารถอ้างอิงจากสมการที่ใช้ในการคำนวณและหาผลต่างของตัวเลขที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนจึงจะสามารถทราบได้ถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่ได้จากการวัดได้ โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้ [10]

$$PM_F = \frac{PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP}}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \quad (2.5)$$

โดยที่

$P_{MF}$  : Prover meter factor

$PV_b$  : Base volume prover

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover  
 $P_f$  : Number of flow pulses during prove  
 $K_F$  : K factor (at meter)  
 $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter  
 $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

การที่จะเปลี่ยนค่าความไม่แน่นอนในแต่ละตัวแปรให้เป็นในหน่วยเดียวกันนั้นจะต้องใช้ค่าที่เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity coefficient) ซึ่งจะต้องจำแนกแต่ละตัวแปรของสมการเพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความไม่แน่นอนและแจกแจงความไม่แน่นอนเข้าไปในแต่ละส่วนของสมการเพื่อค้นหาค่าของผลต่าง และตัวแปรค่าไม่แน่นอนที่รับเข้ามา นั้นจะต้องถูกประเมินความน่าเชื่อถือของตัวข้อมูลหรือต้องนำมาหาตัวคูณที่เรียกว่า Probability Distribution หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นโดยการแยกความน่าจะเป็น ซึ่งความน่าจะเป็นจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือความน่าจะเป็นแบบ Normal และ Uniform เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบส่วนมากจะเป็นความไม่แน่นอนที่ถูกถ่ายทอดมาจากอุปกรณ์มาตรฐานหรือคุณสมบัติของอุปกรณ์ ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องนำมาหารด้วยค่าการแจกแจงความน่าจะเป็นและคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงจึงจะสามารถนำความไม่แน่นอนดังกล่าวมาใช้งานในหน่วยของค่าที่สนใจ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$u_{bi} = \left( \frac{\text{Input uncertainty} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution}} \right) \quad (2.6)$$

ดังนั้นในการที่จะหาค่าความแปรปรวน หรือค่า Variance ที่ได้จากสมการข้างต้นเพื่อนำมารวมกันกับความไม่แน่นอนของสมการอื่นๆ สามารถแสดงได้แต่ละตัวแปรดังต่อไปนี้

#### ความไม่แน่นอน $u_{b1}$ (ความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover)

ตัวแปรความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover สามารถแจกแจงความน่าจะเป็นได้เป็นแบบ Normal เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นความไม่แน่นอนที่ถูกถ่ายทอดมาจากการสอบเทียบอุปกรณ์ Small Volume Prover ด้วยอุปกรณ์ Master Tank ดังนั้นความไม่แน่นอนจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในบางช่วงดังนั้นจึงสามารถตีความได้ด้วยรูปการแจกแจงความไม่แน่นอนแบบ Normal และค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของผลดังกล่าว สามารถแปลงได้ด้วยการหาผลส่วนของค่า Base volume เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีหน่วยเดียวกันกับความไม่แน่นอนดังนั้นจึงสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากตัวแปรดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b1} = \left( \frac{\text{Uncert. of tank prover} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Normal)}} \right) \quad (2.7)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$Se. = \left( \frac{\left( \frac{(PV_b + \text{Uncert. of tank prover}) \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP}}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF}}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.8)$$

Uncert. of tank prover

โดยที่

- $P_{MF}$  : Prover meter factor
- $PV_b$  : Base volume prover
- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover
- $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover
- $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover
- $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover
- $P_f$  : Number of flow pulses during prove
- $K_F$  : K-Factor (at meter)
- $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter
- $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter
- Uncert. of tank prover* : Uncertainty of tank prover, in liter (from tank calibration certificate)

**ความไม่แน่นอน  $u_{b2}$  (ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบ Small Volume Prover)**

ตัวแปรดังกล่าวจะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งเป็นตัวแปรโดยตรงที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้การแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าดังกล่าวเป็นความไม่แน่นอนที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณได้เลย และในส่วนของ การแจกแจงความน่าจะเป็นในตัวแปรดังกล่าวได้ถูกประเมินกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากการแจกแจงการเกิดความไม่แน่นอนที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ดังนั้นในการแจกแจงค่าขีดความสามารถของอุปกรณ์จึงเป็นรูปแบบของ Uniform และสามารถแสดงสมการของตัวแปรความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b2} = \left( \frac{\%Deviation \text{ per year } \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.9)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$Se. = \left( \frac{\left( \frac{(PV_b + ((PV_b \times \%Deviation \text{ per year}) \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})) - P_{MF}}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right)}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.10)$$

%Deviation per year

โดยที่

$P_{MF}$  : Prover meter factor

$PV_b$  : Base volume prover

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P_f$  : Number of flow pulses during prove

$K_F$  : K factor (at meter)

$C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

$\%Deviation \text{ per year}$  : Criteria of prover base volume per year, in percent

ความไม่แน่นอน  $u_{b3}$  (ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีต่อ Small Volume Prover)

ตัวแปรดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อสมการ  $C_{TSP}$  และสมการ  $C_{TLP}$  เนื่องจากในสมการดังกล่าวจะใช้ความไม่แน่นอน  $u_{b3}$  ในการคำนวณหาค่าผลกระทบอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover โดยสมการ  $C_{TSP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TSP} = (1 + [T_{prover} - T_{base}] \times T_{coef.p}) \times (1 + [T_i - T_{base}] \times T_{coef.i}) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$T_{prover}$  : Average prover temperature, in °C

$T_{base}$  : Base prover temperature (15 °C)

$T_{coef.p}$  : Square coefficient of expansion per °C of the prover tube

$T_i$  : Average invarod temperature, in °C

$T_{coef.i}$  : Linear coefficient of cubical expansion per °C of the invarod

และสมการ  $C_{TLP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TLP} = e^{(-\alpha T_r \times \Delta T \times [1 + (0.8 \times T_r \times \Delta T)])} \quad (2.12)$$

โดยที่

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$\alpha T_r$  : Correction of expansion at reference temperature

$\Delta T$  : Differential temperature, in °C

และสมการ  $\Delta T$  ดังต่อไปนี้

$$\Delta T = T_{prover} - T_{ref} \quad (2.13)$$

โดยที่

$\Delta T$  : Differential temperature

$T_{prover}$  : Prover actual temperature, in °C

$T_{ref}$  : Reference temperature, in °C

ความไม่แน่นอนของผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิดังกล่าวจะถูกแทนเข้าไปในตัวแปร  $T_{prover}$  ในสมการของ  $C_{TSP}$  และสมการ  $C_{TLP}$  เพื่อหาผลต่างของความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้น และสามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนี้จะเป็นในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ ดังนั้นสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b3} = \left( \frac{\text{Uncert. of prover temperature} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$Se. = \frac{\left( \left( \frac{(PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF} \right)}{P_{MF}} \times 100\% \quad (2.15)$$

*Uncert. of prover temp.*

โดยที่

- $PM_F$  : Prover meter factor
- $PV_b$  : Base volume prover
- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover
- $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover
- $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover
- $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover
- $P_f$  : Number of flow pulses during prove
- $K_F$  : K factor (at meter)
- $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter
- $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter
- $Uncert. of prover temp.$  : Uncertainty of temperature transmitter on prover, in °C

และสมการ  $C_{TSP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TSP} = \left( (1 + [T_{p+uncert. of prover temp.} - T_{base}] \times T_{coef.p}) \times (1 + [T_i - T_{base}] \times T_{coef.i}) \right) \quad (2.16)$$

โดยที่

- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover
- $T_{p+uncertainty of prover temp.}$  : Average prover temperature, in °C  
+ Uncertainty of temperature transmitter on prover, in °C
- $T_{base}$  : Base prover temperature (15 °C)
- $T_{coef.p}$  : Square coefficient of expansion per °C of the prover tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสมการ  $C_{TLP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TLP} = \left( e^{(-\alpha T_r \times T_{p+unc.prover temp.} - T_{ref} \times [1 + (0.8 \times T_r \times T_{p+unc.prover temp.} - T_{ref})])} \right) \quad (2.17)$$

โดยที่

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$e$  : Napierian constant is 2.71828

$\alpha T_r$  : Correction of expansion at reference temperature

$T_{p+uncertainty of prover temp.}$  : Average prover temperature, in °C +  
Uncertainty of temperature transmitter on prover, in °C

$T_{ref}$  : Reference temperature, in °C

ความไม่แน่นอน  $u_{b4}$  (ผลกระทบของเครื่องวัดความดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover)

ตัวแปรดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อสมการ  $C_{PSP}$  และ  $C_{PLP}$  เนื่องจากในสมการดังกล่าวจะใช้ค่าความไม่แน่นอน  $u_{b4}$  ในการคำนวณหาค่าผลกระทบแรงดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover โดยสมการดังกล่าวแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$C_{PSP} = 1 + \frac{(P + P_b) \times D}{E \times t} \quad (2.18)$$

โดยที่

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$P$  : Internal prover pressure, in kPag

$P_b$  : Base prover pressure, in kPag

$D$  : Internal prover tube diameter, in mm

$E$  : Modulus of elasticity for prover tube

$t$  : Wall thickness of prover tube, in mm

และสมการ  $C_{PLP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{PLP} = \frac{1}{1 - (P - Pe) \times F} \quad (2.19)$$

โดยที่

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P$  : Internal prover pressure, in kPag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $P_b$  : Base prover pressure, in kPag  
 $F$  : Compressibility factor for hydrocarbons; using Chapter 11.2.2M for Hydrocarbon Product (Diesel oil)

โดยความไม่แน่นอนของผลกระทบของเครื่องวัดแรงดันดังกล่าวจะถูกแทนเข้าไปในตัวแปร  $P$  ในสมการของ  $C_{PSP}$  และ  $C_{PLP}$  เพื่อหาผลต่างของความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้น และสามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนี้จะเป็นในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์การวัดแรงดันนั้นจะสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b4} = \left( \frac{\text{Uncert. of prover pressure} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.20)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \left( \frac{\left( \frac{(PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF}}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.21)$$

*Uncert. of prover pressure.*

โดยที่

- $P_{MF}$  : Prover meter factor  
 $PV_b$  : Base volume prover  
 $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover  
 $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover  
 $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover  
 $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover  
 $P_f$  : Number of flow pulses during prove  
 $K_F$  : K factor (at meter)  
 $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter  
 $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Uncert. of prover pressure.* : Uncertainty of pressure transmitter on prover, in kPag

และสมการ  $C_{PSP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{PSP} = \left( 1 + \frac{(P_{p+Uncert. of prover pressure.} + P_b) \times D}{E \times t} \right) \quad (2.22)$$

โดยที่

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$P_{p+Uncert. of prover pressure}$  : Internal prover pressure, in kPag + Uncertainty of pressure transmitter on prover, in kPag

$P_b$  : Base prover pressure, in kPag

$D$  : Internal prover tube diameter, in mm

$E$  : Modulus of elasticity for prover tube

$t$  : Wall thickness of prover tube, in mm

และสมการ  $C_{PLP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{PLP} = \left( \frac{1}{1 - (P_{p+Uncert. of prover pressure.} - P_e) \times F} \right) \quad (2.23)$$

โดยที่

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P_{p+Uncert. of prover pressure}$  : Internal prover pressure, in kPag + Uncertainty of pressure transmitter on prover, in kPag

$P_b$  : Base prover pressure, in kPag

$F$  : Compressibility factor for hydrocarbons; using Chapter 11.2.2M for Hydrocarbon Product (Diesel oil)

**ความไม่แน่นอน  $u_{b5}$  (ค่าการทำซ้ำของอุปกรณ์จิบระยะที่มีผลต่อ Small Volume Prover)**

ค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์จิบระยะที่ติดตั้งอยู่บน Small Volume Prover มีขีดความสามารถของอัตราการทำซ้ำเท่ากับ 0.0076 mm โดยค่าดังกล่าวจะมีผลต่อความยาวของแกนภายในของ Small Volume Prover ในซึ่งจะมีผลกับ Base volume โดยตรงกับขนาดของความ

ยาวในการตรวจวัดระยะระหว่างการสอบเทียบ ดังนั้นจึงสามารถหาความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นนี้ได้ จากตัวแปรของ Internal diameter เทียบกับ Base volume ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$L = \frac{PV_b}{(\pi \times r^2)} \quad (2.24)$$

และจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$L = \frac{PV_b}{\left(\pi \times \frac{D}{4}\right)} \quad (2.25)$$

โดยที่

- $L$  : Length of cylinder
- $PV_b$  : Base volume prover
- $D$  : Internal prover tube diameter
- $\pi$  : The ratio of the circumference of any circle to diameter is 3.1416

ดังนั้นเมื่อสามารถหาความยาวของ Small Volume Prover ได้แล้วจะนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับมาหาผลต่างเพื่อที่จะได้ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากอุปกรณ์จับระยะ และการแจกแจงความน่าจะเป็นเนื่องจากเป็นอัตราการทำซ้ำของอุปกรณ์จึงจะสามารถแจกแจงได้ด้วยรูปแบบของ Normal เพราะผลดังกล่าวมีโอกาสการเกิดที่ไม่แน่นอน ดังนั้นสมการความไม่แน่นอนแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b5} = \left( \frac{\text{Uncert. of detector} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Normal)}} \right) \quad (2.26)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \frac{\left( \left( \frac{(PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_f} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF} \right)}{P_{MF}} \times 100\% \quad (2.27)$$

Uncert. of detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $P_{MF}$  : Prover meter factor  
 $PV_b$  : Base volume prover  
 $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover  
 $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover  
 $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover  
 $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover  
 $P_f$  : Number of flow pulses during prove  
 $K_F$  : K factor (at meter)  
 $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter  
 $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter  
*Uncert. of detector* : Uncertainty of detector on prover, in mm

และสมการ  $PV_b$  ดังต่อไปนี้

$$PV_b = PV_b + \left( \frac{PV_b \times \text{Uncert. of detector}}{L} \right) \quad (2.28)$$

โดยที่

- $PV_b$  : Base volume prover  
 $L$  : Length of cylinder, in mm  
*Uncert. of detector* : 0.00076 mm

ความไม่แน่นอน  $u_{b6}$  (ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิแกนเหล็กที่มีผลต่อ Small Volume Prover)

ตัวแปรดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อสมการ  $C_{TSP}$  เพียงสมการเดียวเนื่องจากในสมการดังกล่าว จะใช้ความไม่แน่นอน  $u_{b3}$  ในการคำนวณค่าผลกระทบอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover โดยสมการดังกล่าวแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$C_{TSP} = (1 + [T_{prover} + T_{base}] \times T_{coef.p}) \times (1 + [T_i + T_{base}] \times T_{coef.i}) \quad (2.29)$$

โดยที่

- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover  
 $T_{prover}$  : Average prover temperature, in °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_{base}$  : Base prover temperature (15 °C)

$T_{coef,p}$  : Square coefficient of expansion per °C of the prover tube

$T_i$  : Average invarod temperature, in °C

$T_{coef,i}$  : Linear coefficient of cubical expansion per °C of invarod

โดยความไม่แน่นอนของผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิดังกล่าวจะถูกแทนเข้าไปในตัวแปร  $T_i$  ในสมการของ  $C_{TSP}$  เพื่อหาผลต่างของความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้น และสามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนี้จะเป็นในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิตั้งนั้นจะสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b6} = \left( \frac{\text{Uncert. of prover temperature} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.30)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \frac{\left( \left( \frac{(PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF} \right)}{P_{MF}} \times 100\% \quad (2.31)$$

Uncert. of prover invarod

โดยที่

$P_{MF}$  : Prover meter factor

$PV_b$  : Base volume prover

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P_f$  : Number of flow pulses during prove

$K_F$  : K factor (at meter)

$C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

*Uncert. of prover invarod* : Uncertainty of invarod temperature, in °C

และสมการ  $C_{TSP}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TSP} = \left( (1 + [T_p - T_{base}] \times T_{coef.p}) \times (1 + [T_{i+Uncert.of\ prover\ invarod} - T_i] \times T_{coef.i}) \right) \quad (2.32)$$

โดยที่

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$T_{prover}$  : Average prover temperature, in °C

$T_{base}$  : Base prover temperature (15 °C)

$T_{coef.p}$  : Square coefficient of expansion per °C of the prover tube

$T_{i+Uncert.of\ prover\ invarod}$  : Average invarod temperature, in °C + Uncertainty of Invarod Temperature, in °C

$T_{coef.i}$  : Linear coefficient of cubical expansion per °C of the invarod

**ความไม่แน่นอน  $u_{b7}$  (ความละเอียดในการสร้างสัญญาณของ Turbine flow meter)**

ความไม่แน่นอนของตัวสัญญาณรูปคลื่นที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของตัวเครื่องมือวัดนั้น จะอยู่ในสมการ  $P_f$  ซึ่งเป็นผลรวมของรูปคลื่นที่อุปกรณ์วัดได้ขณะทำการสอบเทียบโดยความไม่แน่นอนที่ได้คำนวณมาข้างต้นนั้น สามารถกำหนดเป็นตัวคูณโดยตรงให้กับตัวแปรดังกล่าว ดังนั้น การหาค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถนำค่าความไม่แน่นอนคูณกับผลรวมของรูปคลื่นได้ และการแจกแจงความน่าจะเป็นนั้นจะใช้รูปแบบของ Uniform ซึ่งความไม่แน่นอนดังกล่าวเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่ทำการวัด โดยสมการความแปรปรวนจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b7} = \left( \frac{\text{Uncert. of pulse reading} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \left( \frac{\left( \frac{(PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF}}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.34)$$

*Uncert. of pulse reading*

โดยที่

$P_{MF}$  : Prover meter factor

$PV_b$  : Base volume prover

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P_f$  : Number of flow pulses during prove

$K_F$  : K factor (at meter)

$C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

*Uncert. of pulse reading* : Uncertainty of flow computer pulse reading

และสมการ  $P_f$  ดังต่อไปนี้

$$P_f = P_f + \text{Uncert. of pulse reading} \quad (2.35)$$

โดยที่

$P_f$  : Number of flow pulses during prove

*Uncert. of pulse reading* : Uncertainty of flow computer pulse reading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่แน่นอน  $u_{b8}$  (ผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ)

ตัวแปรดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อสมการ  $C_{TLM}$  เนื่องจากในสมการดังกล่าวจะใช้ความไม่แน่นอน  $u_{b8}$  ในการคำนวณค่าผลกระทบอุณหภูมิที่มีผลต่อมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์โดยสมการแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$C_{TLM} = e^{(-\alpha T_r \times \Delta T \times [1+(0.8 \times T_r \times \Delta T)])} \quad (2.36)$$

โดยที่

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$\alpha T_r$  : Correction of expansion at reference temperature

$T_{p+uncertainty\ of\ prover\ temp}$  : Average prover temperature, in °C

+ Uncertainty of prover Temperature, in °C

$T_{ref}$  : Reference temperature, in °C

และสมการ  $\Delta T$  ดังต่อไปนี้

$$\Delta T = T_{meter} - T_{ref} \quad (2.37)$$

โดยที่

$\Delta T$  : Differential temperature

$T_{meter}$  : Meter actual temperature, in °C

$T_{ref}$  : Reference temperature, in °C

โดยความไม่แน่นอนของผลกระทบของเครื่องวัดอุณหภูมิดังกล่าวจะถูกแทนเข้าไปในตัวแปร  $T_{meter}$  ในสมการของ  $C_{TLM}$  เพื่อหาผลต่างของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น และสามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนี้จะเป็นในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิดังนั้นจะสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b8} = \left( \frac{\text{Uncert. of meter temperature} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.38)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \left( \frac{\left( \left( \frac{PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP}}{\frac{P_f}{K_F} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF} \right)}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.39)$$

*Uncert. of meter temp.*

โดยที่

- $P_{MF}$  : Prover meter factor
- $PV_b$  : Base volume prover
- $C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover
- $C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover
- $C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover
- $C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover
- $P_f$  : Number of flow pulses during prove
- $K_F$  : K factor (at meter)
- $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter
- $C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter
- Uncert. of meter temp.* : Uncertainty of temperature transmitter on meter, in °C

และสมการ  $C_{TLM}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{TLM} = \left( e^{T_{ref} \times [1 + (0.8 \times T_r \times T_{p+uncert. of meter temp.} - T_{ref})]} \right) \quad (2.40)$$

โดยที่

- $C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter
- $e$  : Napierian constant is 2.71828
- $\alpha T_r$  : Correction of expansion at reference temperature
- $T_{p+uncertainty of meter temp}$  : Average prover temperature, in °C  
+ Uncertainty of Temperature transmitter on meter, in °C
- $T_{ref}$  : Reference temperature, in °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่แน่นอน  $u_{b9}$  (ผลกระทบของเครื่องวัดความดันที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ)

ตัวแปรดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อสมการ  $C_{PLM}$  เนื่องจากในสมการดังกล่าวจะใช้ความไม่แน่นอน  $u_{b4}$  ในการคำนวณค่าผลกระทบความดันที่มีผลต่อมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์โดยสมการจะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$C_{PLM} = \frac{1}{1 - (P - P_e) \times F} \quad (2.41)$$

โดยที่

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

$P$  : Internal prover pressure, in kPag

$P_b$  : Base prover pressure, in kPag

$F$  : Compressibility factor for hydrocarbons; using Chapter 11.2.2M for Hydrocarbon Product (Diesel oil)

โดยความไม่แน่นอนของผลกระทบของเครื่องวัดความดันดังกล่าวจะถูกแทนเข้าไปในตัวแปร  $P$  ในสมการของ  $C_{PLM}$  เพื่อหาผลต่างของความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้น และสามารถแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนี้จะเป็นในรูปแบบของ Uniform เนื่องจากเป็นขีดความสามารถของอุปกรณ์การวัดแรงดันนั้นจะสามารถแสดงสมการความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนได้ดังต่อไปนี้

$$u_{b9} = \left( \frac{\text{Uncert. of meter pressure} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution (Uniform)}} \right) \quad (2.42)$$

ดังนั้นตัวแปร Sensitivity coefficient จะมีสมการดังต่อไปนี้

$$se. = \left( \frac{\left( \left( \frac{(P V_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP})}{\frac{P_f}{K_f} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \right) - P_{MF} \right)}{P_{MF}} \right) \times 100\% \quad (2.43)$$

Uncert. of meter pressure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$P_{MF}$  : Prover meter factor

$PV_b$  : Base volume prover

$C_{TSP}$  : Correction factor effect of temperature on steel at prover

$C_{PSP}$  : Correction factor effect of pressure on steel at prover

$C_{TLP}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at prover

$C_{PLP}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at prover

$P_f$  : Number of flow pulses during prove

$K_F$  : K factor (at meter)

$C_{TLM}$  : Correction factor effect of temperature on liquid at meter

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

*Uncert. of meter pressure.* : Uncertainty of pressure transmitter on meter, in kPag

และสมการ  $C_{PLM}$  ดังต่อไปนี้

$$C_{PLM} = \left( \frac{1}{1 - (P_{p+Uncert. of meter pressure.} - P_e) \times F} \right) \quad (2.44)$$

โดยที่

$C_{PLM}$  : Correction factor effect of pressure on liquid at meter

$P_{p+Uncert. of meter pressure}$  : Internal prover pressure, in kPag  
+ Uncertainty of pressure transmitter on meter, in kPag

$P_b$  : Base prover pressure, in kPag

$F$  : Compressibility factor for hydrocarbons; using Chapter 11.2.2M for Hydrocarbon Product (Diesel oil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 การรวมค่าความแปรปรวนที่ได้จากความไม่แน่นอนย่อย

หลังจากที่ได้ทำการแปลงความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ที่อยู่ในกระบวนการทดสอบทั้งหมดให้อยู่ในหน่วยเดียวกันให้เป็นค่าความแปรปรวน (Variance) หลังจากที่ได้ประเมินค่าความไม่แน่นอนทั้งหมดต้องทำการหาค่าเฉลี่ยกำลังสองหรือ Root sum square ค่าความแปรปรวนดังกล่าวให้กลับมามีอยู่ในรูปแบบปกติที่สามารถหาค่าได้และต้องคูณด้วยความเชื่อมั่นหรือ Student's t-distribution หรือเป็นค่า Degree of freedom การหาผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถใช้สมการได้ดังต่อไปนี้

$$V_{eff} = \frac{u_a^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_{c(i)}^4}{v_i}} \quad (2.45)$$

โดยที่

- $V_{eff}$  : Effective degree of freedom
- $u_a$  : Uncertainty type A
- $u_{c(i)}$  : Uncertainty of measurement
- $n$  : The number of I components
- $v_i$  : The degrees of freedom of the I component

ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลของความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัดได้ดังต่อไปนี้

$$U = k \times \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (2.46)$$

โดยที่

- $U$  : Expanded Uncertainty, in percent
- $k$  : Inverse of the two-tailed Student's T distribution
- $u_a$  : Uncertainty type A, in percent
- $u_b$  : Uncertainty type B, in percent

การจัดทำการประเมินความไม่แน่นอนจะใช้โปรแกรม Excel ช่วยในการคำนวณผลลัพธ์ต่างๆ ซึ่งมีความสะดวกและง่ายต่อการคำนวณผลต่างๆ ให้มีความง่ายและรวดเร็วโดยรูปแบบฟอร์มที่ใช้ในการหาความไม่แน่นอนในแต่ละอัตราการไหลในแต่ละช่วงการทดสอบ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วยเครื่องสอบเทียบ Small Volume Prover ในครั้งนี้เป็นการทดสอบว่าขนาดของ Small Volume Prover จะให้ผลความเที่ยงตรงแม่นยำที่แตกต่างกันอย่างไรในแต่ละอัตราการไหล ถึงแม้ว่าอาจจะสามารถใช้ทดแทนกันได้ ณ ช่วงอัตราการไหลนั้นๆ ก็ตาม แต่ขีดจำกัดของอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลที่จะต้องคำนึงถึงความไม่เรื่องของแม่นยำในการวัดที่สูงและเรื่องของราคาของอุปกรณ์ที่มีราคาแพง โดยการทดสอบต้องเป็นไปตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกาและบนมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการขนส่งน้ำมันที่อาจเกิดเพลิงไหม้ และความเสียหายได้ โดยขั้นตอนการติดตั้งและการทำงานจะเป็นดังต่อไปนี้

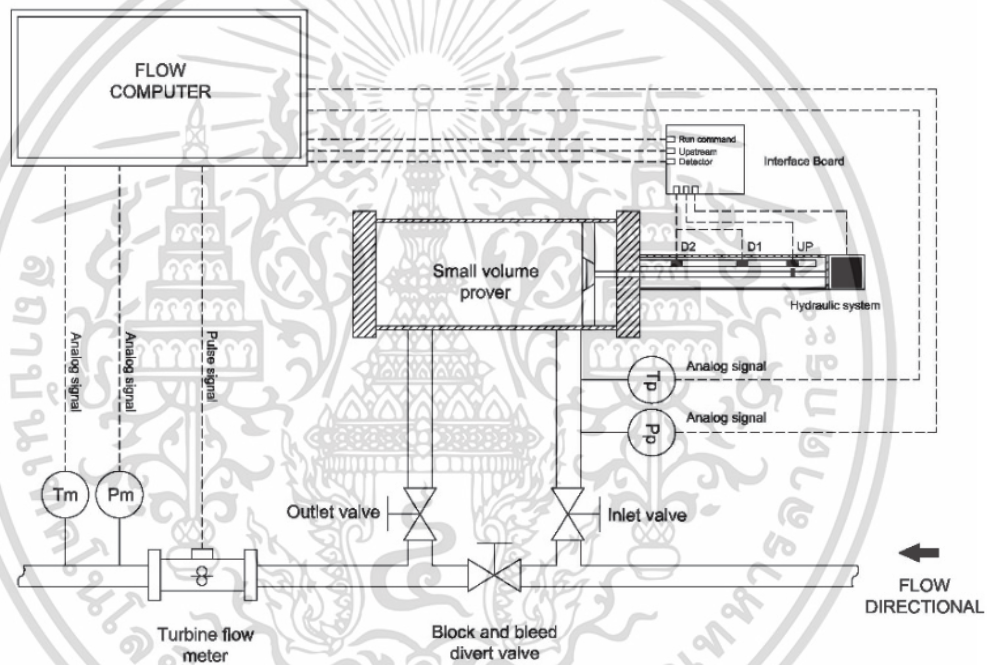
- 3.1 การติดตั้งระบบการสอบเทียบและระบบท่อ
- 3.2 การติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบคำนวณ
- 3.3 การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover
- 3.4 การวิเคราะห์หาค่าไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัด

#### 3.1 การติดตั้งระบบการสอบเทียบและระบบท่อ

การติดตั้งระบบการขนส่งน้ำมันผ่านระบบท่อจำเป็นต้องทราบและเข้าใจถึงพื้นฐานของระบบอุตสาหกรรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งการซื้อขายน้ำมันหรือก๊าซในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะขนส่งผ่านระบบท่อทำให้การออกแบบและติดตั้งระบบการวัดส่วนใหญ่เป็นไปตามข้อกำหนดของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา API MPMS Chapter 6 Section 6 Pipeline Metering System ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดระเบียบวิธีการและมาตรฐานในการออกแบบระบบ Metering System ที่ใช้สำหรับงานซื้อขายน้ำมันระหว่างโรงงานกับโรงงาน ดังนั้นเมื่อทราบถึงพื้นฐานในการออกแบบและติดตั้งระบบและอุปกรณ์ที่จะต้องใช้งานที่จะทำวิจัยนี้ โดยจะใช้มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน API MPMS Chapter 5 Section 3 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters [12] ดังนั้นข้อกำหนดในการเลือกมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ให้เหมาะสมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องมือวัดในระบบคือ Small Volume Prover ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่เป็น Hydrocarbon และเป็น Toxic [2] ระบบที่จะทำการทดสอบจะเป็นระบบปิดที่ไม่สามารถออกสู่อากาศได้หรือเป็นระบบที่มีอัตราการไหลที่ใช้ในการขนส่งของไหลที่สูง ดังนั้นการสอบเทียบที่สามารถใช้ได้กับการซื้อขายน้ำมันแบบนี้คือการใช้เครื่องสอบเทียบแบบ Small Volume Prover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำให้สามารถทำการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลได้ในขณะที่มีอัตราการไหลสูงอยู่ภายในท่อได้ โดยที่ไม่ต้องหยุดการขนส่งหรือซื้อขายน้ำมัน ทั้งนี้การสอบเทียบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน API MPMS Chapter 4 Section 3 Small Volume Prover [3] และหลักการทำงานของระบบงานสอบเทียบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน API MPMS Chapter 4 Section 8 Operation of Proving System [4] ในส่วนของการคำนวณค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ก็จะเป็นไปตามมาตรฐาน API MPMS Chapter 12 Section 2 Part 3 Proving Reports [10] โดยการติดตั้งระบบและการดำเนินการสอบเทียบทั้งหมดนี้จำเป็นที่จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวทั้งสิ้น จึงจะถือว่าได้มาตรฐานการซื้อขายแบบ Custody transfer



รูปที่ 3.1 แผนภาพการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover

### อุปกรณ์พื้นฐานที่จะต้องมีใน Metering system

Metering System หรือที่เรียกว่า Metering skid จำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานในการวัดอัตราการไหลดังต่อไปนี้

1. มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์
2. Temperature transmitter
3. Pressure transmitter
4. Flow Computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุปกรณ์สำหรับการทำการทวนสอบหรือสอบเทียบระบบ Metering system ดังต่อไปนี้

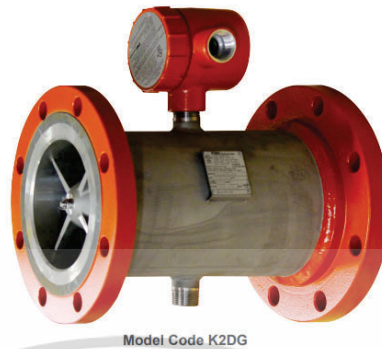
1. Small Volume Prover
2. Temperature transmitter (ที่ติดตั้งบน Small Volume Prover)
3. Pressure transmitter (ที่ติดตั้งบน Small Volume Prover)

โดยในระหว่างการซื้อขายหรือการขนส่งน้ำมันหรือก๊าซในขณะปกติจะใช้แค่อุปกรณ์ใน Metering system สำหรับการคำนวณค่าอัตราการไหลให้เป็นปริมาตรหรือน้ำหนักเพื่อเป็นตัวเลขที่ใช้อ้างอิงสำหรับผู้ซื้อและผู้ขาย ตลอดจนอ้างอิงตามกฎหมายประเทศไทยของกรมสรรพสามิต ว่าด้วยเรื่องการค้าขนส่งผลิตภัณฑ์ Hydrocarbon จำเป็นที่จะต้องสำแดงตัวเลขเพื่อใช้ในการคิดคำนวณภาษีอากร ดังนั้นผู้ซื้อและผู้ขายจำเป็นต้องมี Metering skid เป็นของตัวเองเพื่อยืนยันตัวเลขที่ใช้แสดงปริมาณในการซื้อขายจริงหรือขนส่งระหว่างท่อในแต่ละโรงงานที่มีการซื้อขายตามความเป็นจริง

### 3.1.1 คุณสมบัติของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่จะใช้ในการทดสอบ

ตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา API MPMS Chapter 5 Section 3 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters [12] ไม่ได้มีการระบุถึงขีดจำกัดความแม่นยำหรือการทำซ้ำของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลไว้อย่างชัดเจน แต่อุปกรณ์การวัดดังกล่าวจะต้องได้รับการรับรองจากสถาบันที่ได้รับการยอมรับว่าอุปกรณ์สามารถใช้กับงาน Custody transfer ได้ โดยผ่านสถาบันที่ได้รับการยอมรับคือ NIST และ ISO ดังนั้นการเลือกมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จึงจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถที่สูงที่สุดในท้องตลาด ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้จะใช้มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ยี่ห้อ TechnipFMC รุ่น Sentry โดยมีความเป็นเชิงเส้นอยู่ที่  $\pm 0.15\%$  ตลอดย่านของการใช้งาน และ  $\pm 0.07\%$  สำหรับ 5:1 ของอัตราการไหลสูงสุด และการทำซ้ำสามารถรับรองได้ที่  $0.02\%$  ดีกว่าเครื่องวัดอัตราการไหลทั่วไป ที่มีขีดความสามารถทำซ้ำอยู่ที่  $0.05\%$  เท่านั้น ซึ่งมีเมเตอร์ดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการใช้งานทดสอบร่วมกับอุปกรณ์ Small Volume Prover ในงานวิจัยนี้

สำหรับขนาดของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้ขนาด 4 นิ้ว ซึ่งสามารถรองรับการวัดอัตราการไหลได้ในช่วงตั้งแต่ 24-240 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยย่านวัดอัตราการไหลดังกล่าวนี้เป็นย่านวัดที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในอุตสาหกรรมของประเทศไทย และอยู่ภายใต้ขีดจำกัดของห้องทดลองที่จะสามารถสร้างอัตราการไหลในการทดสอบครั้งนี้ได้



Model Code K2DG

### รูปที่ 3.2 ภาพแสดงมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ รุ่น Sentry

[ที่มา <http://info.smithmeter.com/literature/docs/mn02003.pdf>]

#### 3.1.2 คุณสมบัติของ Flow Computer ที่จะใช้ในการทดสอบ

ตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา API MPMS Chapter 6 Section 6 Pipeline Metering System และความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการจัดเก็บข้อมูลในการซื้อขายหรือขนส่งน้ำมันและก๊าซภายใต้ระบบท่อที่มีความน่าเชื่อถือสูง โดยที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลดังกล่าวจะต้องสามารถทำงานได้ 24 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาหลายปีและสามารถเรียกใช้คุณสมบัติพื้นฐานในการจัดเก็บข้อมูลย้อนหลังการซื้อขายแบบเป็นช่วงและการรับค่าจากอุปกรณ์หลากหลายชนิดได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์ Flow Computer ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในประเทศไทยคือยี่ห้อ Omni รุ่น 3000/6000 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับค่าจากอุปกรณ์ Field instrument ต่างๆ เข้ามาและประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขที่ได้รับการคำนวณตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ [13]



### รูปที่ 3.3 OMNI Flow computer

[ที่มา <https://omniflow.com/3000-6000-flow-computers/>]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 คุณสมบัติของ Temperature & Pressure transmitter ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.4 Temperature and Pressure transmitter

[ที่มา <https://www.emerson.com/en-us/automation/measurement-instrumentation/temperature-measurement/about-temperature-transmitters>]

ตามมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา API MPMS Chapter 6 Section 6 Pipeline Metering System และ Chapter 4 Section 3 Small Volume Prover [3] หลักการเลือกอุปกรณ์สำหรับวัดสภาวะแวดล้อมที่ใช้ประกอบในการวัดอุณหภูมิจะต้องคำนึงถึงขอบเขตพื้นฐานของการสอบเทียบ คืออุปกรณ์จะต้องแสดงผลค่าอุณหภูมิได้ไม่ต่างกันเกิน 0.5°C หมายความว่าอุปกรณ์ในการอ่านค่าความร้อนหรืออุณหภูมิจะต้องมีความละเอียดขั้นต่ำสุดอย่างน้อย 0.25°C ดังนั้นจึงต้องเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ Class A เท่านั้น จึงจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้ ส่วนอุปกรณ์วัดค่าความดันนั้นไม่มีการระบุไว้ชัดเจนในการวัด แต่มีการระบุเพียงว่าต้องมีความละเอียดพื้นฐาน อย่างน้อย 0.1 bar เท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิยี่ห้อ Rose & Mount ของ Emerson เป็นรุ่น 3144P และอุปกรณ์วัดความดันเป็นรุ่น 3051 ซึ่งมีความแม่นยำเหมาะสมกับการวัดในงานวิจัยนี้

### 3.1.4 คุณสมบัติของ Small Volume Prover ที่ใช้ในการทดสอบ

ตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา MPMS Chapter 4 Section 3 Small Volume Prover [3] ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องสอบเทียบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบ Small Volume Prover โดยมีการกำหนดว่าในการติดตั้งอุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิต้องเป็นไปตามมาตรฐาน API 7.2 และ 12.2 [10] และในส่วนของอุปกรณ์อ่านค่าความดันต้องเป็นไปตามมาตรฐาน API 12.2 โดยที่ความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดหรือ Detectors นั้นจะต้องมีความละเอียดอยู่ในช่วง +/- 0.01% รวมถึงอัตราการทำซ้ำด้วยนั้น หมายความว่าอัตราการทำซ้ำจะต้องมีค่าดีถึง 0.02% ระบบการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน API 4.6 และผลจากการคำนวณที่จะได้จากการสอบเทียบและผลการทวนสอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นไปตามมาตรฐานในข้อกำหนด 12.2 ซึ่งแสดงถึงวิธีการทำ Water draw [14] หรือการทวนสอบอุปกรณ์ Small Volume Prover กับถังตวงมาตรฐาน (Tank Prover) ตามมาตรฐาน API 4.4 กำหนด สรุปรวมอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการวิจัยนี้จะใช้ Small Volume Prover ยี่ห้อ Emerson ใช้ในการทดสอบที่มีอัตราการทำซ้ำอยู่ที่ 0.02% และใช้ Small Volume Prover จำนวน 3 ขนาดความจุ คือ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร ตามลำดับ ในการทดสอบ มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่อัตราการไหลตั้งแต่ 57 ถึง 397 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.5 Small Volume Prover (Daniel/Emerson)

[ที่มา <https://www.emerson.com/en-us/catalog/emerson-small-volume-provers#>]

### 3.1.5 การติดตั้งระบบท่อ (Pipeline design)

การติดตั้งระบบท่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่อยู่ภายในท่อโดยทั่วไปแล้วจะเป็นชนิด Carbon และ Stainless ซึ่งจะเป็นไปตามข้อกำหนดการใช้งานวัสดุที่ไม่เกิดอันตรายเมื่อสารเคมีชนิดดังกล่าวกระทบกับท่อไม่ทำให้ท่อผุกร่อนหรือเสียหายได้

ขนาดของท่อจะมีผลต่อความเร็วในการไหลของของไหลที่อยู่ภายในท่อ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงชนิดและประเภทของมิเตอร์วัดอัตราการไหลที่ได้เลือกใช้งานโดยผู้ผลิตแต่ละยี่ห้อจะมีข้อกำหนดในการใช้งานอุปกรณ์ที่แตกต่างกันไป และมีเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์นั้นจำเป็นที่จะต้องติดตั้งไว้ด้านหน้าและด้านหลังของมิเตอร์มีขนาดท่อเท่ากับขนาดของมิเตอร์ โดยมีระยะท่ออย่างน้อย 10 เท่าของขนาดความกว้างของท่อ และเนื่องจากความเร็วของของไหลที่อยู่ภายในท่ออาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อมิเตอร์ได้ ดังนั้นการติดตั้งจะต้องศึกษาคุณสมบัติของมิเตอร์ให้ละเอียดก่อน สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ท่อขนาด 4 นิ้ว ซึ่งเป็นท่อที่มีขนาดเดียวกันกับมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่เลือกใช้งานในการทดสอบครั้งนี้เอง [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

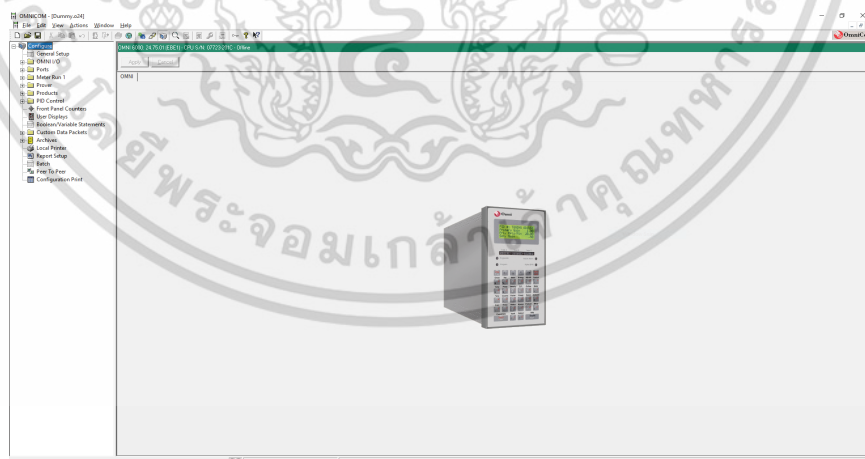
### 3.2 ระบบไฟฟ้าและระบบคำนวณ

ระบบคำนวณที่ใช้ในมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่จะทำการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ทั้ง 3 ขนาดในการทดสอบครั้งนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน API MPMS Chapter 5 Section 5 Fidelity and Security of Flow Measurement Pulsed-Data Transmission System ซึ่งข้อกำหนดในการทดสอบขีดจำกัดของระบบการคำนวณจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแบ่งความน่าเชื่อถือเป็นระดับ ได้แก่ ระดับ E, D, C, B และระดับ A เรียงลำดับไปตามความน่าเชื่อถือของระบบ ถ้าระบบมีความน่าเชื่อถือมากจะทำให้การวัดมีความแม่นยำและมีเสถียรภาพ

ส่วนระบบไฟฟ้านั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้มาตรฐาน NRTL, RoHS หรือ อุปกรณ์ที่ได้รับการรองรับมาตรฐานที่ใช้กับงาน Custody transfer โดยยี่ห้อที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน ได้แก่ OMNI, ABB and Emerson ซึ่งเป็นยี่ห้อชั้นนำที่สามารถพบได้ในทุกอุตสาหกรรม มีความน่าเชื่อถือสูงและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในการวิจัยจะเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าวภายใต้มาตรฐาน explosion proof ATEX and IEC เนื่องจากของไหลที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันดีเซลที่สามารถติดไฟได้และระเบิดได้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถกันการระเบิด กันน้ำและทนต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี [12]

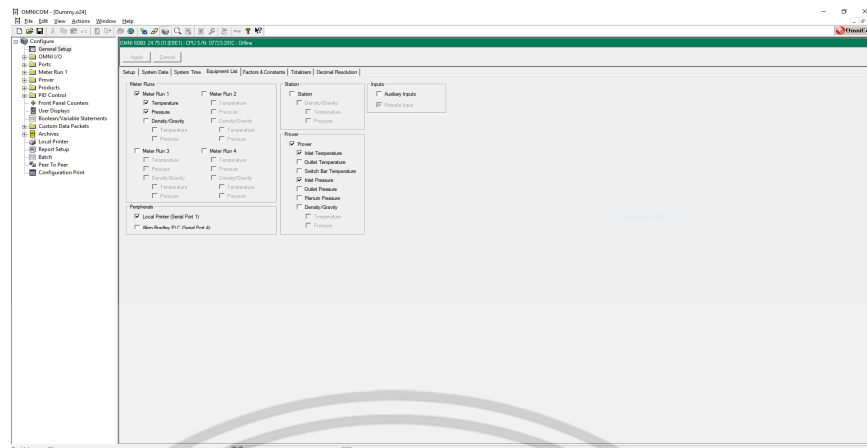
#### 3.2.1 การสร้างโปรแกรมบน Flow Computer

การติดตั้งระบบการคำนวณจะใช้จากโปรแกรม OMNICOM – V1.56 February 17,2016 (Free license) โดยจะแสดงการสร้างโปรแกรมสำหรับที่ใช้ในการทดสอบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover [16] ดังต่อไปนี้



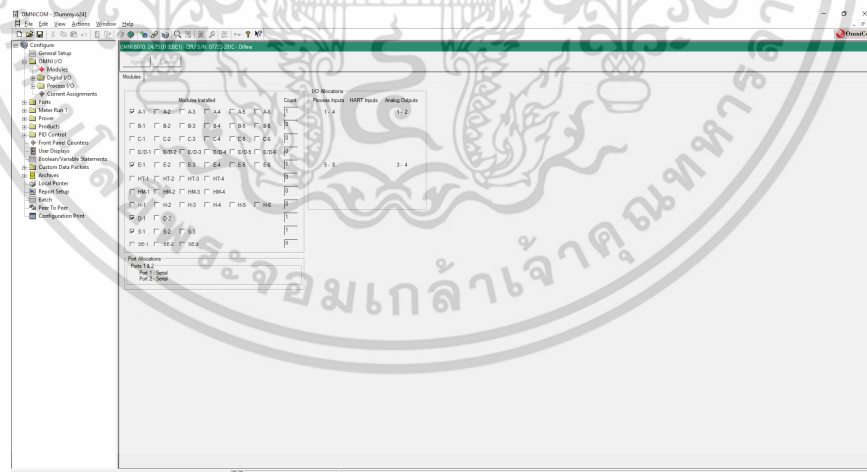
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงหน้าพื้นฐานของโปรแกรม Omni Flow Computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงหน้าต่าง Setup ของโปรแกรม Omni Flow Computer

ในการติดตั้งเบื้องต้นจะตั้งค่าโปรแกรมให้มี Meter run 1 ซึ่งจะมีองค์ประกอบของอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานโดยระบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์อย่างน้อยดังต่อไปนี้ Flow meter 1 unit Temperature transmitter 1 unit and Pressure transmitter 1 unit และจะต้องมีอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐานซึ่งจะโปรแกรมลงไปในส่วนของ Prover และจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการวัดขั้นพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้คือ Prover temperature transmitter 1 unit และ Prover pressure transmitter 1 unit

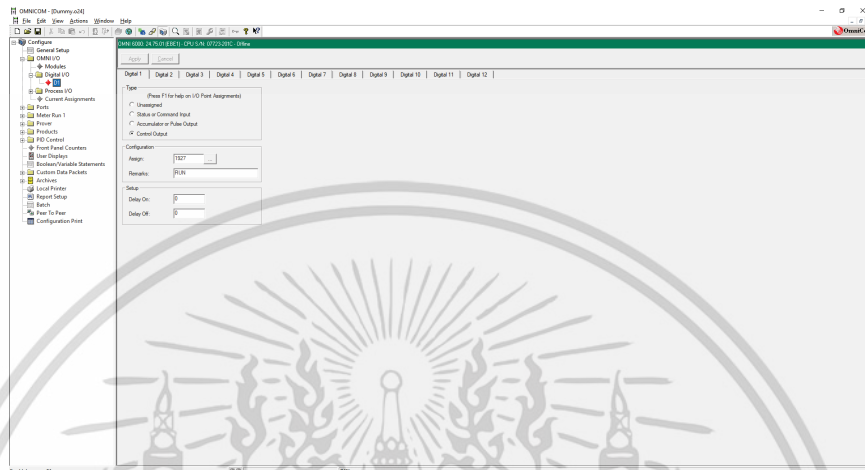


รูปที่ 3.8 ภาพแสดงหน้าต่าง Module ของโปรแกรม Omni Flow Computer

ในส่วนของการกำหนดฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ Flow Computer ที่จะใช้ในการทำการทดสอบขีดความสามารถของ Turbine flow meter ด้วย Small Volume Prover จำเป็นที่

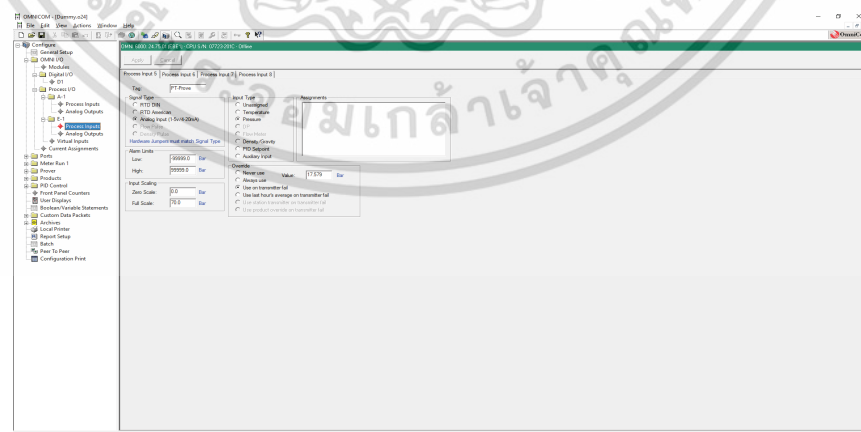
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องมีการกำหนดฮาร์ดแวร์ภายในซึ่งเป็นขั้นต่ําโดยต้องประกอบไปด้วยการ์ด A, E, D and S Combo ซึ่งจะขาดฮาร์ดแวร์ตัวใดตัวหนึ่งไม่ได้ เพราะจะทำให้การสอบเทียบไม่สามารถดำเนินการได้



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงหน้าต่าง Digital I/O ของโปรแกรม Omni Flow computer

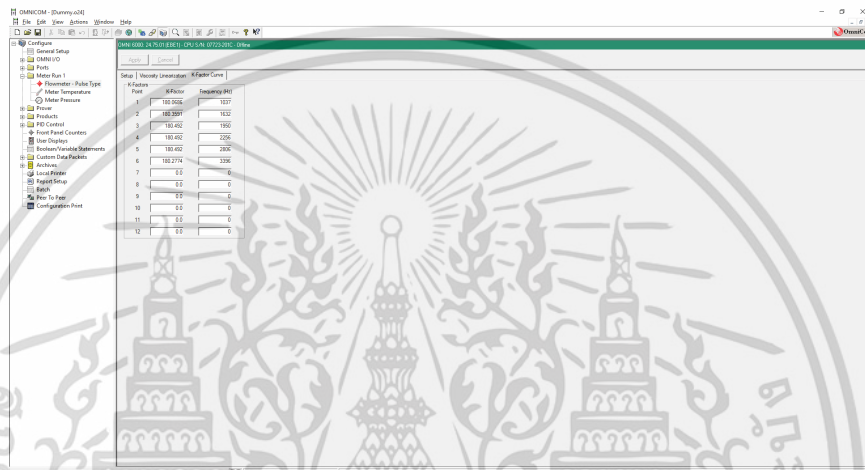
ในการตั้งค่า Digital hardware จำเป็นที่จะต้องระบุตำแหน่งของสัญญาณ Digital ของอุปกรณ์ Small Volume Prover ที่จำเป็นต้องกำหนดให้สัญญาณในการสอบเทียบโดยที่จะต้องมีการ Coding รหัส 1927 เข้าไปในอุปกรณ์ Flow Computer ซึ่งจะต้องให้สอดคล้องกับแบบ Wiring diagram ที่ได้ทำการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่าง Flow Computer กับ Small Volume Prover



รูปที่ 3.10 ภาพแสดงหน้าต่าง Process I/O ของโปรแกรม Omni Flow Computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่า Analog hardware จะต้องตั้งค่าอุปกรณ์ Flow Computer ให้สอดคล้องกับแบบ Wiring diagram ที่อุปกรณ์ Measurement analog transmitter ต่างๆ ที่จะส่งสัญญาณให้กับอุปกรณ์ Flow Computer ให้ถูกต้อง โดยสามารถตั้งค่าได้ทั้งจากการ์ด A และการ์ด E ซึ่งสามารถเลือกการ์ดใดก็ได้ในการตั้งค่าโดยการกำหนด I/O ในการรับสัญญาณดังกล่าว ขณะเริ่มต้นยังคงเป็นสัญญาณว่างและสามารถรับสัญญาณแบบ Analog ได้จากการกำหนดของโปรแกรม ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงหน้าต่าง Flow meter setup ของโปรแกรม Omni Flow Computer

ในส่วนของการตั้งค่าพื้นฐานของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จำเป็นที่จะต้องทราบถึงค่า Factory K-Factor ซึ่งเป็นค่า K-Factor ประจำตัวของอุปกรณ์ โดยค่าตัวเลขดังกล่าวจะได้อมาจากผู้ผลิต ซึ่งจะได้รับหลังจากการสั่งซื้อจากผู้ผลิตและทางผู้ผลิตจะมีการสอบเทียบจากโรงงานมาให้ในรูปแบบของ Factory calibration report และในส่วนของการกำหนดในโปรแกรมจะใช้เทคนิค K-Factor curve ในการโปรแกรมให้กับ Flow Computer โดยนำตัวเลข K-Factor ที่สัมพันธ์กับค่าของ Frequency นำมากรอกลงใน Meter run 1 ในหัวข้อ K-Factor curve พร้อมตรวจสอบตัวเลขต่างๆ ดังกล่าวให้ถูกต้องตรงกันกับเอกสาร Factory calibration report

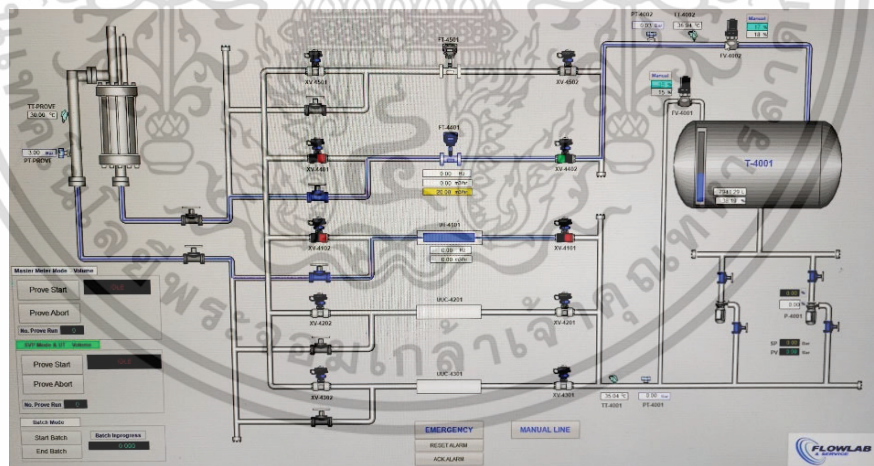
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในส่วนสุดท้ายของการโปรแกรมจะเป็นการกำหนด Measurement algorithm หรือเลือกตารางที่ใช้ในการชดเชยปริมาตรที่เป็นสื่อกลางในการสอบเทียบให้สอดคล้องกับการทดสอบ โดยการทดสอบครั้งนี้จะใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งจะตรงกับตารางของเอกสารตามมาตรฐาน API MPMS 11.1 ในตาราง 53B/54B โดยตารางดังกล่าวจะชดเชยค่าอุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อปริมาตรโดยจะได้ค่าที่เรียกว่า Volume correction factor ( $V_{cf}$ ) ในการตั้งค่าดังกล่าวจะต้องทราบค่า Density reference at 15 °C หรือจะต้องทราบค่า Density flowing ที่ไหลอยู่ ณ ขณะนั้นโดยใช้อุปกรณ์ Density meter ในการวัดออกมา เพื่อคำนวณในทั้ง 2 มิติ ทั้งนี้ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และการใช้งาน แต่ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ตัวเลขจาก Density reference at 15 °C ที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างน้ำมันดีเซล และใช้ตัวเลขดังกล่าวเป็นตัวคำนวณตัวเลขชดเชย

### 3.2.2 ห้องทดสอบ (Laboratory)

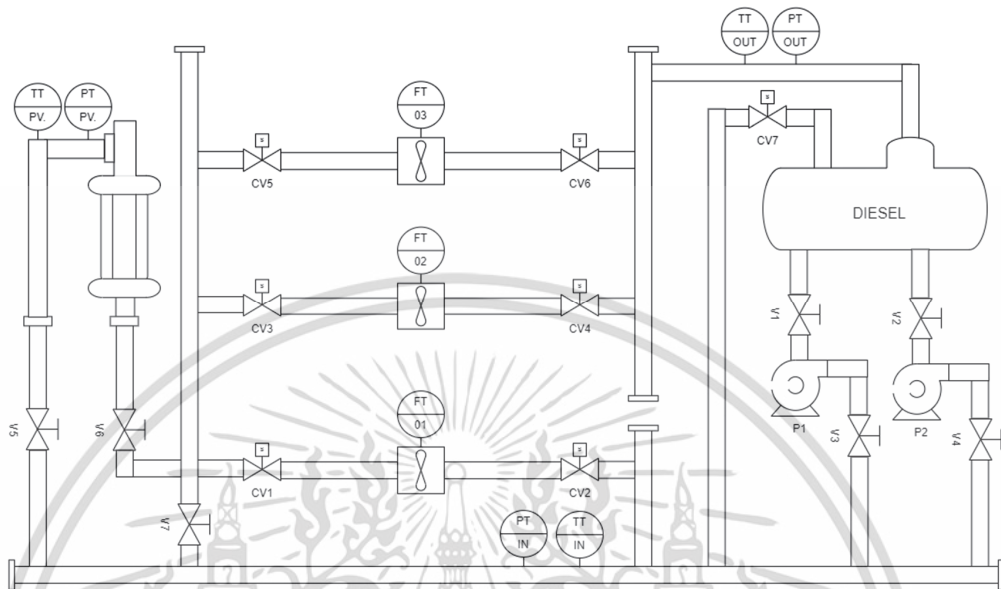
ห้องทดสอบมีเตอรืวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover แบบอัตโนมัติด้วยระบบการคำนวณด้วย Flow Computer ในงานวิจัยนี้จะมีระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Supervisory Control And Data Acquisition : SCADA) เป็นระบบควบคุมที่สามารถปรับแต่งค่าอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบและทำการเปิด-ปิดวาล์วเพื่อใช้ในการควบคุมระบบการสอบเทียบให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.14 หน้าจอควบคุมอุปกรณ์ในระบบสอบเทียบด้วย SCADA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover



รูปที่ 3.15 ภาพแสดง Process Diagram ของระบบสอบเทียบของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

การสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover นั้นทำได้โดยการเชื่อมต่อเครื่องสอบเทียบ Small Volume Prover แบบอนุกรมหรือแทรกกลางเข้าไปในระบบ โดยห้องทดลองจะต้องมีอุปกรณ์กักเก็บน้ำมันดีเซลหรือถังเก็บน้ำมันดีเซลโดยมีปั๊มน้ำมันเป็นเครื่องกลที่ให้กำเนิดอัตราการไหลในระบบและมีวาล์วต่างๆ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและกำหนดทิศทางการไหลของน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความดันเชิงกลที่แปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งไปยังอุปกรณ์คำนวณหรือ Flow Computer ซึ่งเป็นตัวกลางในการรับค่าและประมวลผล อัตราการไหลหรือปริมาตรที่ไหลของน้ำมันดีเซลผ่านท่อ อุณหภูมิ ความดัน และค่าต่างๆ ของเครื่องสอบเทียบเพื่อประมวลผลแล้วแปลค่าทั้งหมดให้เป็นตัวเลขที่สามารถใช้ในการคำนวณหรือซื้อขายได้

โดยรูปที่ 3.15 แสดงถึงห้องทดลองที่ได้มีการติดตั้งระบบท่อ ระบบส่งน้ำมัน ระบบการวัดสภาพแวดล้อม ระบบควบคุมอัตโนมัติ และชุดต่อระบบสอบเทียบโดยที่วิธีการทำการสอบเทียบแบบย่อจะต้องเริ่มต้นตามลำดับดังต่อไปนี้ [15]

1. ทำการติดตั้งมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ต้องการสอบเทียบและเชื่อมต่อกับเครื่องสอบเทียบ Small Volume Prover เข้าไปยังระบบโดยติดตั้งอุปกรณ์สอบเทียบเข้ากับวาล์วหมายเลข 5 และวาล์วหมายเลข 6
2. หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสอบทั้งหมดเรียบร้อยแล้วให้ดำเนินการเชื่อมต่อระบบดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์ Flow Computer ภายในห้องควบคุมส่วนกลาง
3. ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วหมายเลข 1 - 7 และคอนโทรลวาล์ว 5 - 7 ให้อยู่ในตำแหน่งเปิดเพื่อรองรับการไหลของน้ำมัน
4. หลังจากนั้นเริ่มดำเนินการทำงานของปั๊มหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ตามลำดับและควบคุมความเร็วด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่อยู่ภายในห้องควบคุม
5. หลังจากปรับอัตราการไหลได้ตามที่กำหนดแล้วให้ทำการตรวจสอบค่าอัตราการไหล อุณหภูมิ และความดันกับอุปกรณ์ Flow Computer และคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง
6. หลังจากได้สภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการสอบเทียบและเป็นไปตามข้อกำหนด ให้เริ่มการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์กับเครื่องทดสอบ Small Volume Prover ด้วยอุปกรณ์ Flow Computer ด้วยการใส่ชุดคำสั่ง Prove command
7. หลังจากสิ้นสุดการทดสอบอุปกรณ์ Flow Computer จะพิมพ์เอกสารที่เรียกว่า Proving report ออกมาจากพรินเตอร์ที่ได้เชื่อมต่อไว้
8. ให้ทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้แสดงผลบนใบแสดงผล Proving report ให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานต่างๆ ที่ได้นำมาอ้างอิง เช่นข้อกำหนดกรมสรรพสามิต ข้อกำหนดจากกรมช่างตวงวัดหรือจากมาตรฐานสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา
9. หลังจากทดสอบดังกล่าวเสร็จสิ้นให้ทำการเปลี่ยนอัตราการไหลไปยังจุดที่ต้องการ และทำการสอบเทียบอีกครั้งเพื่อหาข้อสรุป และทำซ้ำเหตุการณ์ดังกล่าวจนครบทุกๆ อัตราการไหลที่ได้กำหนดไว้ตามข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆ จึงเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสอบทดสอบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วยเครื่องทดสอบ Small Volume Prover

การแปลผลจากค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นเป็นค่าที่ได้มาจากอุปกรณ์ Flow Computer ซึ่งเป็นเครื่องคำนวณเฉพาะทางที่ให้ความแม่นยำสูงที่สุดสำหรับงานสอบเทียบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลด้วยเครื่องทดสอบ Small Volume Prover โดยค่าที่สนใจจะมีแค่สองค่าคือ Meter Factor และค่า Maximum count deviation between run ซึ่งค่า Meter Factor นั้นจะเป็นตัวอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเกี่ยวกับค่าเบี่ยงเบนของอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบที่แตกต่างไปจากอุปกรณ์ทดสอบ และค่า Maximum count deviation between run จะเป็นค่าที่ใช้อธิบายความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์ที่ถูกทดสอบโดยจะถูกถ่ายทอดมาจากอุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรง และการทำซ้ำที่สูงกว่า โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบจะมีค่าความเบี่ยงเบนต่ำกว่า 0.02% และในการสอบเทียบจะยอมรับค่าทำซ้ำของอุปกรณ์ที่ถูกทดสอบอยู่ที่ 0.05% และค่าเบี่ยงเบนขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของอุปกรณ์โดยทั่วไปนั้นจะต้องไม่เกิน 0.2% ซึ่งค่าดังกล่าวที่อ้างถึงจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้นำมาอ้างอิง

ถ้าแปลผลออกมาแล้วพบว่าจะมีค่าเบี่ยงเบนที่ได้ตั้งกล่าวนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน จะต้องทำการปรับแต่งค่า K-Factor ให้กับระบบอีกครั้งโดยเราจะใช้ค่า Actual K-Factor ที่เครื่องคำนวณได้ นำมาปรับแต่งที่อุปกรณ์คำนวณ Flow Computer เพื่อทำการปรับแต่งค่า K-Factor ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อที่จะทำการ As left ผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อปรับแต่งให้อุปกรณ์ทดสอบให้มีความเที่ยงตรง [10]

### 3.4 การวิเคราะห์หาค่าไม่แน่นอน

อุปกรณ์ทั้งหมดที่จะส่งผลทำให้ความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการวัดด้วยหลักวิเคราะห์ดังนี้

1. ความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover
2. ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบของ Small Volume Prover
3. ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover
4. ผลกระทบของอุปกรณ์วัดความดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover
5. ค่าการทำซ้ำของอุปกรณ์จีบระยะที่มีผลต่อ Small Volume Prover
6. ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแกนเหล็กที่มีผลต่อ Small Volume Prover
7. ความละเอียดในการสร้างสัญญาณของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์
8. ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ
9. ผลกระทบของอุปกรณ์วัดแรงดันที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ
10. ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ของการทำซ้ำของการทดสอบ

หลักการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนจะต้องจัดประเภทของความไม่แน่นอนเป็นสองประเภท โดยสามารถจัดประเภทได้สองอย่างดังต่อไปนี้ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความไม่แน่นอนชนิดเอ เป็นการประเมินความไม่แน่นอนโดยการวัดโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติแบบหนึ่งของค่าปริมาณที่วัดได้ต่างๆ ซึ่งได้มาภายใต้เงื่อนไขการวัดต่างๆ ที่ถูกนิยาม
2. ความไม่แน่นอนชนิดบี เป็นการประเมินความไม่แน่นอนโดยหาจากวิธีการอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากการประเมินความไม่แน่นอนการวัดแบบเอ

ซึ่งสามารถนิยามตัวอย่างแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนการจาก นิยามที่ไม่สมบูรณ์ของปริมาณที่ถูกรวัด การสุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนของปริมาตรที่ถูกรวัด สภาวะแวดล้อม ความเหมาะสมของวิธีการหรือขั้นตอนการวัด ความละเอียดของเครื่องมือวัด และความลำเอียงของการอ่านเครื่องมือวัดแบบนาล็อก ต่างๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อกรวัดโดยนิยามที่ง่ายที่สุดคือสมการที่ใช้ในการคำนวณตัวแปรต่างๆ ที่ได้นำมาคำนวณจะมีความแปรผันของตัวเองได้อยู่เสมอ ดังนั้นจึงต้องมีค่าเพื่อหรือค่าความไม่แน่นอนในทุกๆ ตัวแปรที่จะถูกนำมาคำนวณแต่จะต้องเป็นไปตามหลักสถิติหรือมีการสุ่มค่าจริงออกมา จึงจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

### 3.4.1 ค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

จากสมการการหาค่า Meter Factor และค่าความไม่แน่นอน จากบทที่ 2

$$PM_F = \frac{PV_b \times C_{TSP} \times C_{PSP} \times C_{TLP} \times C_{PLP}}{\frac{P_f}{K_f} \times C_{TLM} \times C_{PLM}} \quad (3.1)$$

$$U = k \times \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (3.2)$$

$$u_b = \sqrt{u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + \dots + u_{b9}^2} \quad (3.3)$$

และ

$$u_{bx} = \left( \frac{\text{Input uncertainty} \times \text{Sensitivity coefficient}}{\text{Probability Distribution}} \right) \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความไม่แน่นอน $u_{b1}$ (ความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover )

ตัวแปรนี้จะได้มาจากผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ด้วยอุปกรณ์ Tank Prover ที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานรัฐบาลหรือกรมช่างตวงวัดที่จะออกผลมาให้ใน Certificate ที่ได้รับการรับรองผลการทดสอบ สามารถนำค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัดดังกล่าวนำมาเป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณตัวแปรความไม่แน่นอน ของความเที่ยงตรงของ Small Volume Prover

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบ Tank Prover จากกรมช่างตวงวัดแห่งประเทศไทย

Description	Before	After
ปริมาตรที่สอบเทียบได้ (ลิตร)	20.011	20
ความสูงของซีดพิกัดกำลังจากจุดอ้างอิง (เซนติเมตร)	37	34.8
ความสามารถในการทำซ้ำ (%)	0.02	0.02
ความไม่แน่นอนของการวัด (มิลลิลิตร)	2.3	2.3

จากตารางที่ 3.1 คือตัวอย่างผลการสอบเทียบ Tank Prover ที่นำมาถ่ายทอดความเที่ยงตรงให้กับ Small Volume Prover ซึ่งตัวเลขที่จะนำมาใช้ได้คือค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2.3 มิลลิลิตร ดังนั้นตัวเลขดังกล่าวจะนำมาถูกใช้เป็นการวัดความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ในการคำนวณโดยจะมีค่าตัวคูณเท่ากับ 2 ที่ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% [14]

### ความไม่แน่นอน $u_{b2}$ (ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบของ Small Volume Prover )

ค่าเบี่ยงเบนระหว่างรอบการสอบเทียบจะมีระยะห่างของการสอบเทียบอยู่ที่ 1 ปีซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมสรรพสามิตที่จะต้องมีการสอบเทียบหรือทดสอบอุปกรณ์ Small Volume Prover ที่จะต้องได้รับการรับรองผล ถึงจะสามารถใช้งานในการทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลในเชิงการค้าได้ ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวจะได้จากผลบันทึกผลการสอบเทียบ

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ย้อนหลัง

Calibration Year	Upstream Deviation (%)	Downstream Deviation (%)
2018	0.018	0.008
2019	0.018	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เป็นผลการบันทึกค่าความเบี่ยงเบนของปริมาตรของอุปกรณ์ทดสอบ Small Volume Prover ตัวแปรที่จะสามารถนำมาใช้ได้คือตัวเลขเบี่ยงเบนในแต่ละปีซึ่งค่าที่ได้เท่ากับค่าตัวเลขที่มีผล 0.018% ในช่วงปริมาตรด้านต้นน้ำและจะได้ค่าเบี่ยงเบน 0.008% ในช่วงปริมาตรด้านปลายน้ำ ซึ่งผลในส่วนหลังนี้ ควรที่จะต้องมีการกำกับเกี่ยวกับค่าการยอมรับของค่าเบี่ยงเบนในแต่ละปีให้มีค่าไม่เป็น 0.02% หรือถ้าเทียบเป็นปริมาตรจะได้ประมาณ 0.0012 ลิตร ซึ่งถ้าหากสังเกตในตารางจะพบว่าปี 2018 จนถึง 2019 ไม่มีการควบคุมปริมาตรดังกล่าวทำให้ค่าความเบี่ยงเบนสูงกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งจะมีผลทำให้ความไม่แน่นอนที่นำมาคำนวณนั้นสูงไปมาก และการจดบันทึกที่ถูกต้องนั้นสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อนำมาเป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณความไม่แน่นอน

**ความไม่แน่นอน  $u_{b3}$  (ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อ Small Volume Prover ) และ  $u_{b8}$  (ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ)**

ผลกระทบของตัวเลขความไม่แน่นอนของเครื่องวัดอุณหภูมินั้นจากคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือวัดซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลที่ผู้ผลิตกำหนดให้ซึ่งในการทดสอบจะใช้อุปกรณ์ของบริษัท Rosemount รุ่น 3144 Temperature transmitter ซึ่งจะสามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature transmitter

Uncertainty Source	Value
Transmitter digital accuracy	0.1 °C
Transmitter digital to analog	+/- 0.02% of span
Temperature stability	0.1 °C / 24 month
RFI Effect	0.1 °C
Ambient effect to accuracy	0.0015 °C/°C
Ambient effect to digital to analog	0.001% of span

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature transmitter

Uncertainty Source	Value °C	Variance °C <sup>2</sup>
Transmitter uncertainty	0.101	0.000260
Transmitter stability	0.005	0.000063
Transmitter RFI Effect	0.010	0.000250
Transmitter Ambient effect	0.003	0.000023
Uncertainty of Calibration	0.025	0.001563

ผลคำนวณค่าดังกล่าวที่ได้จากการประเมินความไม่แน่นอนของอุปกรณ์วัดอุณหภูมินั้นจะมีค่าความไม่แน่นอนที่จะได้จากการวัดเท่ากับ 0.294°C ซึ่งเป็นผลจากความไม่แน่นอนของความแม่นยำของอุปกรณ์ ค่าเบี่ยงเบนของอุปกรณ์ และสภาพแวดล้อมที่จะส่งผลกระทบต่อ ดังนั้นตัวเลขดังกล่าวจะถูกนำมาคิดในสมการหาค่า Meter Factor เป็นตัวเลขชดเชยสำหรับตัวแปรที่ต้องใช้ตัวเลขจากอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิที่จะส่งผลทำให้มีค่าเบี่ยงเบน ซึ่งตัวเลขที่นำมาใช้ในการคิดค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดจะต้องถูกควบคุมด้วยระบบสถิติที่บันทึกค่าที่จะต้องไม่เกิน 0.1°C ระหว่างรอบการทดสอบด้วย ถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวมีผลทำให้ค่าความแม่นยำเกิน 0.1°C จะต้องทำการซ่อมแซมหรือหาซื้อบัพพร้อมและควบคุมตัวเลขดังกล่าวให้อยู่ในการควบคุม ถ้าไม่สามารถควบคุมได้ การประเมินค่าที่ได้จากตัวเครื่องมือวัดจะไม่แม่นยำ

ความไม่แน่นอน  $u_{b4}$  (ผลกระทบของอุปกรณ์วัดความดันที่มีผลต่อ Small Volume Prover) และความไม่แน่นอน  $u_{b9}$  (ผลกระทบของอุปกรณ์วัดความดันที่มีผลต่อน้ำมันในการทดสอบ)

ผลกระทบของตัวเลขความไม่แน่นอนของอุปกรณ์วัดความดันนั้นจากคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือวัดซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลที่ผู้ผลิตกำหนดให้ซึ่งในการทดสอบจะใช้ อุปกรณ์ของ ยี่ห้อ Rosemount รุ่น 3051 Pressure transmitter ซึ่งจะสามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Pressure transmitter

Uncertainty Source	Value
Transmitter accuracy	+/- 0.14% of span
Transmitter stability	+/- 0.20% of span
Ambience effect to transmitter	+/- 0.0125% URL + +/- 0.0625% span

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Pressure transmitter

Uncertainty Source	Value kPa	Variance kPa <sup>2</sup>
Transmitter uncertainty	07.0	12.250
Transmitter stability	10.0	25.000
Transmitter Ambient effect	10.0	25.000
Uncertainty of Calibration	05.0	06.250

ตัวเลขความไม่แน่นอนที่ได้จากการคำนวณอุปกรณ์วัดความดันเท่ากับ 16.553kPa ซึ่งได้จากค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ ค่าความเบี่ยงเบนของอุปกรณ์ และสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ซึ่งผลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้คำนวณในสมการหาค่า Meter Factor ข้างต้นที่ได้บรรยาย และการควบคุมอุปกรณ์จะเหมือนกันอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่จะต้องมีการจดบันทึกผลและควบคุมความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ให้ไม่เกินขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่สามารถบรรลุผลได้

#### ความไม่แน่นอน $u_{b5}$ (ค่าการทำซ้ำของอุปกรณ์จับระยะที่มีผลต่อ Small Volume Prover)

อุปกรณ์จับระยะหรือ Detector ของอุปกรณ์ทดสอบ Small Volume Prover นั้นมีความสำคัญในการวัดซึ่งเป็นที่จับระยะของปริมาตรกระบอกสูบภายในเครื่องทดสอบซึ่งจะมีค่าการทำซ้ำตามคุณสมบัติของอุปกรณ์อยู่ที่ 0.000076 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของ Small Volume Prover โดยจะถูกคำนวณร่วมกับความยาวของกระบอกสูบซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.789252 เมตร ผลการคำนวณจะได้เท่ากับ 0.009629% ซึ่งจะเป็นตัวคูณโดยตรงของความไม่แน่นอนของอุปกรณ์จับระยะ [5]

### ความไม่แน่นอน $u_{b6}$ (ผลกระทบของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแกนเหล็กที่มีผลต่อ Small Volume Prover)

ผลกระทบของตัวเลขความไม่แน่นอนของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแกนเหล็กนั้นมาจากคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือวัดซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลที่ผู้ผลิตกำหนดให้ซึ่งในการทดสอบจะใช้ อุปกรณ์ของยี่ห้อ Delta ohm รุ่น HD217 Temperature portable ซึ่งจะสามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 แสดงที่มาความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature portable

Uncertainty Source	Value
Ambience effect to Measurement	+/- 0.25 °C

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการคำนวณความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ Temperature portable

Uncertainty Source	Value °C	Variance °C <sup>2</sup>
Measurement uncertainty	0.025	0.001563
Uncertainty of Calibration	0.030	0.002250

ตัวเลขดังกล่าวจะถูกนำมาชดเชยในสมการที่อุณหภูมิมีผลต่อการคำนวณค่าการขยายตัวเลขของชนิดโลหะที่ถูกนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์ทดสอบ Small Volume Prover จากผลการคำนวณจะได้ความไม่แน่นอนดังกล่าวเท่ากับ 0.391°C

### ความไม่แน่นอน $u_{b7}$ (ความละเอียดในการสร้างสัญญาณของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์)

การกำเนิดสัญญาณความถี่ที่ผลิตโดยมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์นั้นจะถูกนับโดย Pick off coil ที่อยู่ภายในของตัวอุปกรณ์ซึ่งเมื่อใบพัดที่อยู่ภายในมิเตอร์หมุนครบ 1 รอบจะส่งสัญญาณออกมา 1 pulse ซึ่งภายในของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์จะมีการออกแบบการกำเนิดสัญญาณที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละยี่ห้อและชนิด แต่ในการทดลองนี้ตัวอุปกรณ์จะเป็นการกำเนิดสัญญาณโดยตรงซึ่งเมื่อใบพัดที่ถูกฝังตัวแม่เหล็กไว้วนรอบไปพบกับ Pick off coil วงจรไฟฟ้าภายในของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์นี้จะกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นออกมา 1 pulse ซึ่งจะมีความถี่เป็นในหน่วยของ Hz และสามารถแปลผลของความถี่ต่ออัตราการไหลได้

สำหรับความไม่แน่นอนของความละเอียดจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์การอ่านหรือ Flow Computer ที่ใช้ในการประมวลผล ในการทดลองครั้งนี้มีความละเอียดในการวัดค่าความถี่ของสัญญาณเท่ากับหนึ่งในหนึ่งล้านส่วนหรือ 0.0001% ของผลที่อ่านได้ซึ่งวิธีการวัดค่าดังกล่าวเรียกว่าวิธีแบบ Double chronometry ซึ่งวงจรภายในของอุปกรณ์ Flow Computer จะมีเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ 1,000,000 Hz หรือเท่ากับ 1 micro second เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ได้รับเข้ามาทำให้การวัดค่าดังกล่าวมีความแม่นยำสูง

แต่ในการทดสอบอุปกรณ์ช่องสัญญาณขาเข้าของ Flow Computer [13] จะยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1 pulse ต่อ 100,000 pulse ซึ่งมีการทวนสอบอุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ตามรอบการทดสอบเพื่อให้มั่นใจได้ว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนของช่องสัญญาณขาเข้าดังนั้นจึงสามารถยอมรับความไม่แน่นอนดังกล่าวได้เท่ากับ 0.001 ต่อจำนวนลูกคลื่นที่มีเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์กำเนิดและตัวอุปกรณ์ Flow Computer เป็นตัวแปลผลอัตราการไหลหรือปริมาตรของของไหล

#### ความไม่แน่นอน $u_x$ (ความไม่แน่นอนชนิดเอ เป็นผลลัพธ์ของการทำซ้ำ)

อ้างอิงจากเอกสารของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา โดยสมการดังกล่าวจะเป็นการอ้างอิงผลจากการทำซ้ำของการคำนวณจากตาราง Student- t distribution [11] เป็นการพิสูจน์ค่าการทำซ้ำจากผลการทดสอบ โดยการทดสอบดังกล่าวจะมีการทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งและถูกรวมค่าเฉลี่ยเพื่อการแปลผล และจะทำซ้ำผลดังกล่าวอีก 5 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะต้องมีความแตกต่างของผลไม่เกิน 0.02% ซึ่งจะหมายความว่าในทั้งหมดการทดสอบทั้ง 5 ครั้งซึ่งทำซ้ำในแต่ละครั้งอีก 5 ครั้งรวมทั้งหมด 25 ครั้ง และการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องมีผลการคำนวณความไม่แน่นอนของค่าผลรวมของรูปคลื่นที่อ่านได้โดย Flow Computer ไม่เกิน 0.02% ดังนั้นค่าดังกล่าวที่ได้จากการทดสอบจะมีความน่าเชื่อถือได้ โดยสามารถคำนวณค่าดังกล่าวได้จากสมการที่ 2.4

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับการแปลผลการสอบเทียบของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร 40 ลิตรและขนาด 60 ลิตรโดยจะนำผลการสอบเทียบที่ได้จากการทดลองโดยใช้ห้องทดลองและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบชนิดเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบค่า K-Factor ที่ได้จากการสอบเทียบดังกล่าว และนำผลที่ได้จากการสอบเทียบมาวิเคราะห์ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการสอบเทียบในแต่ละอัตราการไหลโดยเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบดั้งเดิมของโรงงานผู้ผลิตมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์เพื่อให้ได้ผลต่างของความแม่นยำและความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงอัตราการไหลโดยผลการทดลองจะวิเคราะห์ผลจะอธิบายดังต่อไปนี้

1. ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover
2. การประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล
3. การเปรียบเทียบความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล
4. การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบระหว่าง Small Volume Prover

#### 4.1 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover

ในการสอบเทียบดังกล่าวโดยใช้มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ยี่ห้อ FMC รุ่น SENTRY-4 ขนาด 4 นิ้วโดยมีขีดความสามารถความเป็นเชิงเส้น  $\pm 0.15\%$  ให้เป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการสอบเทียบด้วยอุปกรณ์ Small Volume Prover ทั้งสามขนาดความจุและอุปกรณ์ที่ใช้ในวัดค่าอุณหภูมิและความดันเป็นอุปกรณ์ที่มียี่ห้อและรุ่นเดียวกันทั้งหมดในการสอบเทียบ โดยผลการสอบเทียบจะนำเสนอตามเรียงไปตามขนาดของ Small Volume Prover ตั้งแต่ขนาด 20, 40 และ 60 ลิตร ซึ่งช่วงการทดสอบจะทำการสอบเทียบระหว่าง  $23 \text{ m}^3/\text{h}$  จนถึง  $245 \text{ m}^3/\text{h}$  ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการวัดในช่วงอัตราการไหลของ Small Volume Prover โดยขนาด 20 ลิตรจะสามารถสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ได้ตั้งแต่อัตราการไหลตั้งแต่  $23 - 90 \text{ m}^3/\text{h}$  Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตรจะสามารถสอบเทียบได้ตั้งแต่  $23 - 110 \text{ m}^3/\text{h}$  และขนาด 60 ลิตรจะสามารถสอบเทียบได้ตั้งแต่  $23 - 230 \text{ m}^3/\text{h}$  โดย Small Volume Prover ทั้งสามความจุจะมีขีดความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบเทียบอัตราการไหลต่ำของ Small Volume Prover ได้แต่จะมีขีดจำกัดในช่วงการวัดที่สูงขึ้น โดยความเร็วของกระบอกสูบของ Small Volume Prover จะมีผลกระทบโดยตรงกับการสอบเทียบ ซึ่งผลการสอบเทียบที่จะได้ค่า Adjust K-Factor จะแสดงในตารางที่ 4.1 – 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 20 liter

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
26.1	19232.102
53.1	19208.971
86.8	19206.870

ตารางที่ 4.2 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 40 liter

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
29.6	19221.144
53.1	19201.589
85.0	19198.523
102.1	19199.545

ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover 60 liter

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
24.3	19225.320
50.8	19199.141
98.3	19204.998
146.1	19201.752
184.4	19189.682
225.8	19189.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 Meter Factor ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover

ในแต่ละย่านอัตราการไหลที่ได้จากการสอบเทียบจะถูกนำมาหาผลต่าง ซึ่งค่าผลต่างที่ได้จะเรียกว่า Meter Factor โดยจะเปรียบเทียบกับค่าจากโรงงานของผู้ผลิตมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ซึ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 19836.49 pulse/m<sup>3</sup> โดยค่า Meter Factor จะเป็นผลต่างระหว่างขนาดของปริมาตรที่ได้ที่การวัดในระหว่างสอบเทียบโดยจะแสดงสมการที่จะใช้หาค่า Meter Factor ดังสมการที่ 4.1

$$\text{Meter Factor} = \frac{\text{Factory K} - \text{Factor}}{\text{Adjust K} - \text{Factor}} \quad (4.1)$$

โดยค่า Meter Factor จะแสดงสัดส่วนของความเบี่ยงเบนของค่าความแม่นยำของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ โดยผลต่างดังกล่าวจะแสดงได้ถึงค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ได้โดยยิ่งค่า Meter Factor มีค่าใกล้เคียงกันมากแสดงว่ามีค่าความเบี่ยงเบนของความแม่นยำน้อย ซึ่งผลการคำนวณหาค่า Meter Factor ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ที่ต่างกัน 3 ขนาดคือ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร จะแสดงในตารางที่ 4.4 – 4.6

ตารางที่ 4.4 Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 20 liter

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Meter Factor
26.1	1.031426
53.1	1.032668
86.8	1.032781

ตารางที่ 4.5 Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 40 lite

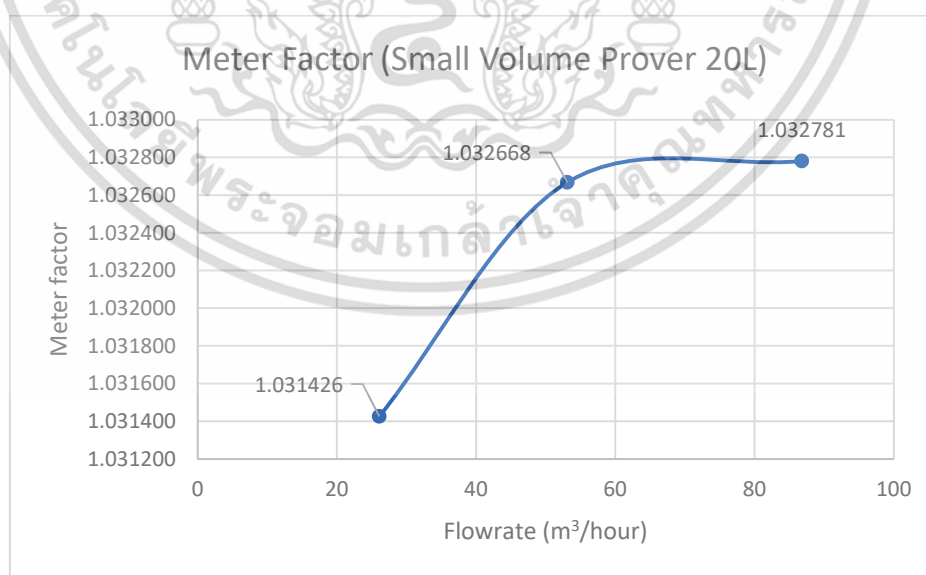
Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Meter Factor
26.9	1.032014
53.1	1.033065
85.0	1.033230
102.1	1.033175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 60 liter

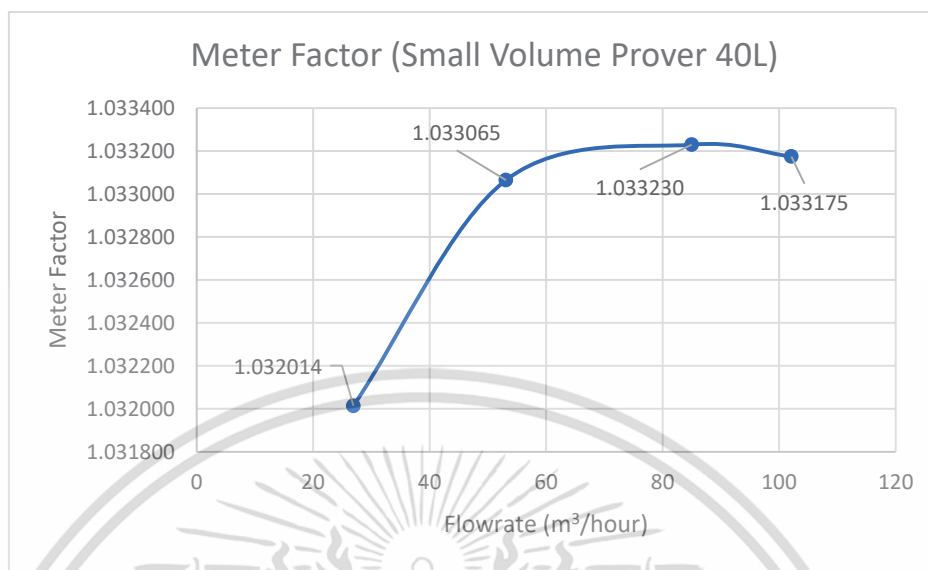
Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Meter Factor
24.3	1.031790
50.8	1.033197
98.3	1.032882
146.1	1.033056
184.4	1.033706
225.8	1.033741

จากผลการสอบเทียบและนำมาเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบที่ได้จากโรงงานจะได้ค่าเบี่ยงเบนหรือค่า Meter Factor ที่เป็นผลต่างระหว่างผลลัพธ์จากการสอบเทียบจะสะท้อนให้เห็นถึงความแม่นยำในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ทั้งสามขนาดโดยสมมติฐานของความแม่นยำที่ดีจะต้องมีค่า Meter Factor ที่ใกล้เคียงกับ 1.000000 โดยยิ่งค่าที่ได้เบี่ยงเบนน้อยเท่าใด ก็จะสะท้อนให้ทราบถึงความแม่นยำของตัวอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบมีความแม่นยำมากเท่านั้น [17]

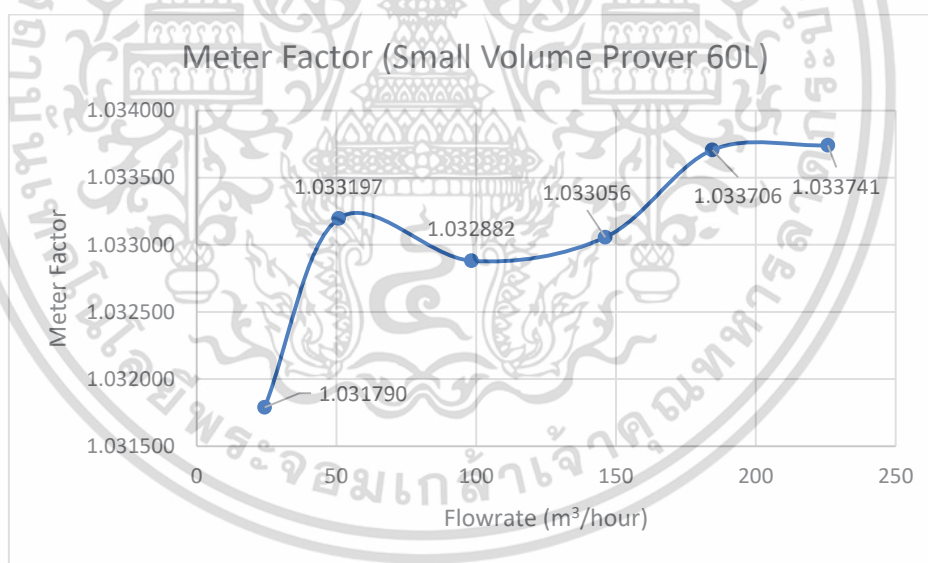


รูปที่ 4.1 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 20 liter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 40 liter



รูปที่ 4.3 กราฟ Meter Factor จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover 60 liter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 - 4.3 จะพบว่าเส้นของกราฟมีค่าที่สูงขึ้นตามลำดับของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า Factory K-Factor ไม่ได้ระบุจุดอ้างอิงที่อัตราการไหลใดซึ่งเป็นการหาผลหารรวมของค่า K-Factor ของทุกๆ อัตราการไหลที่ทำการสอบเทียบ ดังนั้นการสอบเทียบจริงจะทำให้ผลเบี่ยงเบนแตกต่างกันไปในแต่ละอัตราการไหล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีความแม่นยำของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ [6] ซึ่งเมื่อมีค่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นค่า K-Factor ก็จะมีค่าที่สูงขึ้นโดยขีดความสามารถความเป็นเชิงเส้นของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่นำมาสอบเทียบนี้จะเท่ากับ  $\pm 0.15\%$  ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ค่า Meter Factor จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงจุดหนึ่งที่มีเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์มีความเสถียรภาพของการหมุนของใบพัดจะทำให้ค่า K-Factor มีความเป็นเชิงเส้นมากขึ้น จากรูปที่ 4.1 - 4.3 จะพบว่าหลังจากอัตราการไหลที่ประมาณ  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  จะพบว่ามีค่าความเป็นเชิงเส้นของค่า Meter Factor ที่ดีขึ้น

## 4.2 การประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล

การประเมินความไม่แน่นอนในแต่ละอัตราการไหลโดยการวิเคราะห์ในแต่ละตัวแปรที่ได้จากการวัดและบันทึกผลของ Flow Computer ที่ใช้ในการประมวลผลการสอบเทียบโดยจะนำผลจาก Proving report ซึ่งเป็นผลสรุปในการสอบเทียบระหว่างมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์กับ Small Volume Prover โดยในขั้นตอนแรกจะต้องนำผลบันทึกการสอบเทียบมาลงรายละเอียดในโปรแกรม Excel ที่ใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนเพื่อให้โปรแกรม Excel เป็นตัวกลางในการช่วยคำนวณค่าความไวสัมประสิทธิ์ที่เป็นตัวแปลงผลของค่าที่บันทึกในการวัดให้อยู่ในหน่วยเดียวกันเพื่อที่จะได้แปลผลการสอบเทียบได้ โดยค่าดังกล่าวที่ได้จากการสอบเทียบจะแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลจากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ที่ อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Run No.	Pulse Accumulate	T. Prover °C	T. Meter °C	P. Prover bar	P. Meter bar	Density kg/m <sup>3</sup>
1	385.496	33.19	32.99	1.87	1.61	827.8
2	385.516	33.19	32.98	1.87	1.61	827.8
3	385.523	33.18	32.98	1.88	1.61	827.8
4	385.514	33.17	32.97	1.88	1.62	827.8
5	385.488	33.15	32.95	1.88	1.61	827.8
<b>Average</b>	385.507	33.176	32.974	1.876	1.612	827.8

จากตารางที่ 4.7 จะนำค่าต่างๆ ที่วัดได้ระหว่างการสอบเทียบมาคำนวณหาค่าปรับเทียบ ปริมาตรที่อุณหภูมิและความดันแตกต่างระหว่างมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ กับ Small Volume Prover เพื่อให้ทราบขนาดของปริมาตรที่วัดได้ ณ ที่จุดอ้างอิง 15°C และ 0 bar ตามมาตรฐานการสอบเทียบ [11] โดยจะคำนวณจากสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่า Meter Factor ที่จะทำให้ทราบความต่างของขนาดปริมาตรระหว่าง Small Volume Prover กับมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ณ จุดอัตราการไหลที่ 53.1 m<sup>3</sup>/h โดยตัวปรับแก้ปริมาตรของ Small Volume Prover จะแสดงในตารางที่ 4.8 และตัวปรับแก้ปริมาตรของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์จะแสดงในตารางที่ 4.9 ส่วนผลการสอบเทียบ จะแสดงที่ตาราง 4.10 โดยผลลัพธ์และค่าที่วัดได้จะสามารถนำไปประเมินความไม่แน่นอนเพื่อหาความสัมพันธ์ของ K-Factor ที่ Small Volume Prover ทั้ง 3 ขนาดสอบเทียบกับมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ [10]

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณที่ได้จาก Small Volume Prover 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Prover Correction Factor	Unit	Value
Temperature on steel	-	1.000414
Pressure on steel	-	1.000013
Temperature on Liquid	-	0.984158
Pressure on Liquid	-	1.000163
SVP Base volume	m <sup>3</sup>	0.020063
SVP Volume correction factor	m <sup>3</sup>	0.019757

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณที่ได้จากมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Meter Correction Factor	Unit	Value
Temperature on Liquid	-	0.984334
Pressure on Liquid	-	1.000140
Meter Volume	m <sup>3</sup>	0.019434
Meter Volume correction factor	m <sup>3</sup>	0.019132

ตารางที่ 4.10 ผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Proving Result	Unit	Value
Meter Factor	-	1.032668
Repeatability	%	0.01
Calibration K-Factor	pulse/m <sup>3</sup>	19836.49
Adjust K-Factor	pulse/m <sup>3</sup>	19208.97

อ้างอิงจากสมการที่ 3.3 ผลรวมของความไม่แน่นอนชนิดบีจะทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่สามารถประเมินได้จากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 Uncertainty type B ของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Symbol	Source	Value	Unit	Probability Distribution	Sensitivity	Variance % <sup>2</sup>
u <sub>b1</sub>	Prover Tank	0.0023	liters	Normal	3.999770	0.004600
u <sub>b2</sub>	Deviation per year	0.0500	%	Rectangular	0.954808	0.027563
u <sub>b3</sub>	Temperature Transmitter	0.2940	°C	Rectangular	0.096178	0.016325
u <sub>b4</sub>	Pressure Transmitter	0.1655	bar	Rectangular	0.003510	0.000335
u <sub>b5</sub>	Detector	0.0076	mm.	Normal	0.089192	0.000678
u <sub>b6</sub>	Temperature Invarod	0.3910	°C	Rectangular	0.003467	0.000783

ตารางที่ 4.12 Uncertainty type B ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Symbol	Source	Value	Unit	Probability Distribution	Sensitivity	Variance % <sup>2</sup>
u <sub>b6</sub>	Pulse reading	0.0010	pulse	Rectangular	3.776625	0.002180
u <sub>b7</sub>	Temperature Transmitter	0.2940	°C	Rectangular	0.076745	0.013027
u <sub>b8</sub>	Pressure Transmitter	0.1655	bar	Rectangular	0.030420	0.002907

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 จะแสดงทำให้เห็นถึงความแปรปรวนของแต่ละตัวแปรที่จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการสอบเทียบ ซึ่งค่าที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดคือผลต่างของ Base volume ระหว่างปีของ Small Volume Prover และค่าของอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำมันดีเซลที่มาจากอุปกรณ์ Temperature transmitter ที่เห็นได้อย่างชัดเจนว่าส่งผลกระทบต่อโดยตรง [8]

**ตารางที่ 4.13** Expanded Uncertainty ของผลการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

Symbol	Source	Unit	Result
$u_b$	Uncertainty type B	%	0.035
$u_a$	Uncertainty type A	%	0.011
$u_c$	Uncertainty of measurement	%	0.037
$V_{eff}$	Degree of freedom	-	558
$k$	Student's t-distribution	-	2.009
$U$	Expanded uncertainty (confidential 95%)	%	0.074

**ตารางที่ 4.14** แปลผล Uncertainty ของค่า K-Factor ที่สอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h

	Source	Unit	Result
Adjust K-Factor		pulse/m <sup>3</sup>	19208.971
Adjust K-Factor with Positive Uncertainty		pulse/m <sup>3</sup>	19223.186
Adjust K-Factor with Negative Uncertainty		pulse/m <sup>3</sup>	19194.757

จากตารางที่ 4.13 ที่ประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ที่อัตราการไหล 53.1 m<sup>3</sup>/h ที่แสดงค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.074% ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณกับค่า Adjust K-Factor ที่ได้จากการสอบเทียบจะพบว่าค่า Adjust K-Factor ที่ได้จะมีค่าเบี่ยงเบนออกไปในทิศทางบวกและลบเท่ากับ 14.215 pulse/liter

ส่วนตารางที่ 4.15 – 4.17 จะเป็นผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ทั้งสามขนาด

ตารางที่ 4.15 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)
26.1	0.076
53.1	0.074
86.8	0.075

ตารางที่ 4.16 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)
26.9	0.075
53.1	0.074
85.0	0.075
102.1	0.075

ตารางที่ 4.17 ค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)
24.3	0.076
50.8	0.075
98.3	0.075
146.1	0.076
184.4	0.076
225.8	0.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความไม่แน่นอนที่แสดงในตารางที่ 4.15 – 4.17 ได้มาจากผลการคำนวณความไม่แน่นอนในแต่ละอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการระบบการวัด โดยแต่ละอุปกรณ์จะมีคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป ซึ่งผลจากการการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบที่แตกต่างกันในระบบการวัดก็จะมีผลต่อค่าความไม่แน่นอนด้วย แต่ในงานวิจัยนี้การสอบเทียบข้างต้นจะใช้อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน รุ่นเดียวกันและห้องสอบเทียบเดียวกันทั้งหมดยกเว้น Small Volume Prover จึงจำเป็นต้องหาค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ซึ่งผลจากการสอบเทียบ Small Volume Prover ทั้ง 3 ขนาดความจุที่แตกต่างกัน พบว่าที่ค่าความไม่แน่นอนใกล้เคียงกันมาก สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพหรือขีดความสามารถในความแม่นยำในการวัดของ Small Volume Prover ที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ [17]

#### 4.3 การเปรียบเทียบความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบในแต่ละช่วงอัตราการไหล

จากในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ที่แสดงถึงผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ในแต่ละขนาดกับช่วงอัตราการไหล และความไม่แน่นอนในแต่ละอัตราการไหลตามแต่ละขนาดของ Small Volume Prover ที่ใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งผลการสอบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากการวัดของ Small Volume Prover ที่ต่างกัันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty + K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty - K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
26.1	0.076	19232.102	19246.718	19217.486
53.1	0.074	19208.971	19223.186	19194.757
86.8	0.075	19206.870	19221.275	19192.464

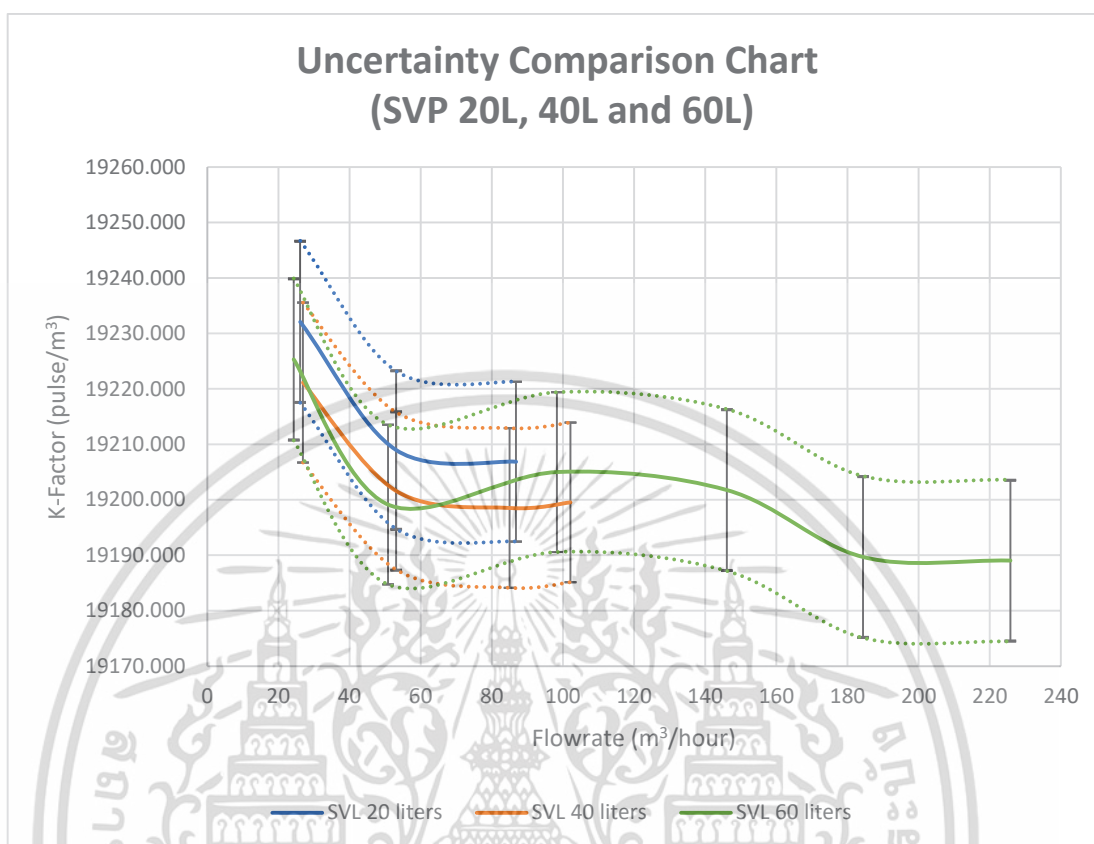
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty + K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty - K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
26.9	0.075	19221.144	19235.560	19206.728
53.1	0.074	19201.589	19215.799	19187.380
85.0	0.075	19198.523	19212.922	19184.124
102.1	0.075	19199.545	19213.945	19185.145

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความไม่แน่นอนของ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Uncertainty (%)	Adjust K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty + K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )	Uncertainty - K-Factor (pulse/m <sup>3</sup> )
24.3	0.076	19225.320	19239.931	19210.709
50.8	0.075	19199.141	19213.540	19184.741
98.3	0.075	19204.998	19219.402	19190.594
146.1	0.076	19201.752	19216.345	19187.159
184.4	0.076	19189.682	19204.267	19175.098
225.8	0.076	19189.030	19203.614	19174.446

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความไม่แน่นอนของแต่ละอัตราการไหล จากการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ทั้งสามความจุ

จากตารางที่ 4.15 – 4.17 จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอัตราการไหลจะมีค่าความไม่แน่นอนอยู่ที่ 0.075% ถึง 0.076% ซึ่งความไม่แน่นอนดังกล่าวจะแสดงค่าความไม่แน่นอนของผลการสอบเทียบที่อาจเกิดจากความเบี่ยงเบนของค่า Adjust K-Factor ที่ได้จากการวัด เมื่อสังเกตในแต่ละช่วงจะพบว่า Small Volume Prover ทั้งสามขนาดให้ผลการสอบเทียบที่ให้ความแม่นยำสูงทั้งหมด และเมื่อนำค่าความไม่แน่นอนเข้ามาพิจารณาในแต่ละช่วงของอัตราการไหลจะพบว่าค่า Adjust K-Factor ที่ได้จากการสอบเทียบในแต่ละขนาดของ Small Volume Prover มีค่าความแม่นยำเทียบเท่ากันทั้งหมด ดังนั้นเมื่อนำความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัดเข้ามาพิจารณาร่วมกับค่าความเป็นเชิงเส้นของ Adjust K-Factor ที่ได้จากการสอบเทียบ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือในการวัดของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์

โดยอุปกรณ์นั้นมีขีดความสามารถค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ  $\pm 0.15\%$  ตลอดทั้งย่านวัดที่ Turndown ratio 1:10 ดังตารางที่ 4.21 - 4.23

**ตารางที่ 4.21** ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Linearity (%)
26.1 – 53.1	0.131
53.1 – 86.8	0.011
53.1 – 86.8	0.131

**ตารางที่ 4.22** ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร

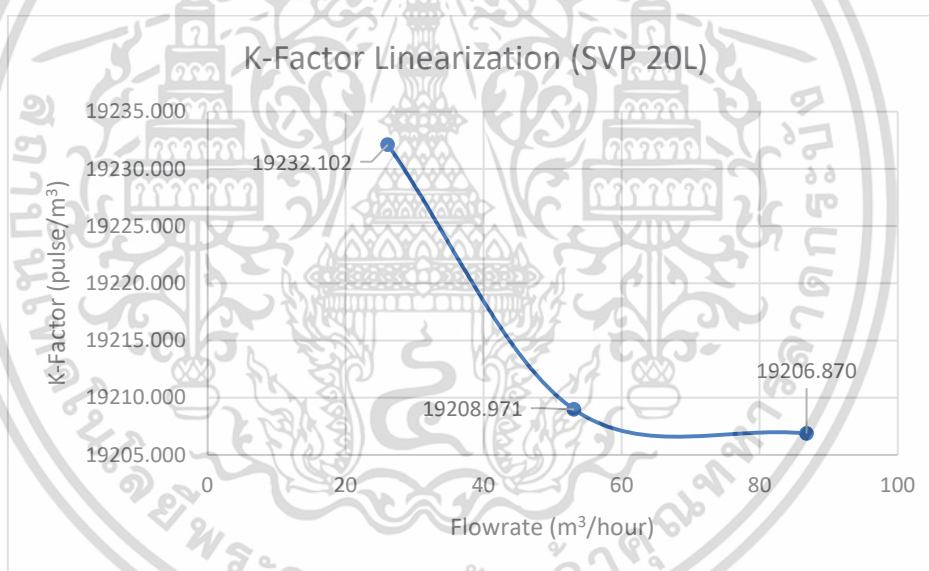
Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Linearity (%)
26.9 – 85.0	0.118
53.1 – 85.0	0.016
53.1 – 102.1	0.016
26.9 – 102.1	0.118

**ตารางที่ 4.23** ความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)	Linearity (%)
50.8 – 98.3	0.031
50.8 – 146.1	0.031
50.8 – 225.8	0.083
24.3 – 225.8	0.189

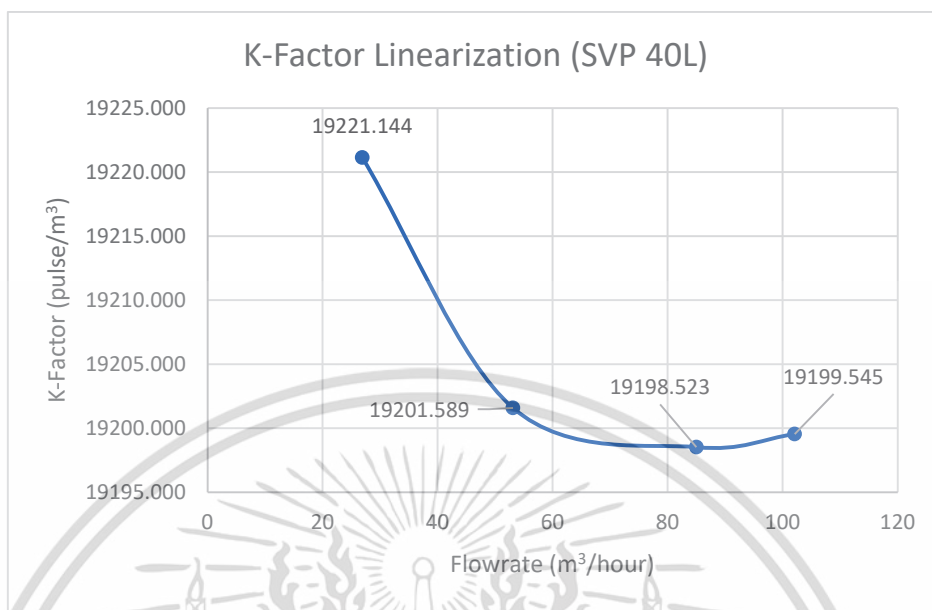
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณค่าความเป็นเชิงเส้นในแต่ละย่านอัตราการไหลที่ทำการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตรและ 40 ลิตร พบว่าค่าความเป็นเชิงเส้นเป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนดคือไม่เกิน  $\pm 0.15\%$  แต่ในขนาดความจุ 60 ลิตรพบว่าในอัตราการไหลช่วง  $50 - 225 \text{ m}^3/\text{h}$  ยังสามารถคงความเป็นเชิงเส้น แต่ในช่วงอัตราการไหลที่ต่ำกว่า  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  นั้นจะไม่สามารถคงความเป็นเชิงเส้นได้ ดังนั้นแสดงว่าในช่วงอัตราการไหลต่ำ ๆ Small Volume Prover ขนาดความจุ 60 ลิตรอาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ขนาด 4 นิ้ว ในกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา เพราะจะทำให้ความเป็นเชิงเส้นผิดเพี้ยนไปไม่เป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด ดังแสดงเป็นกราฟความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ไว้ในรูปที่ 4.6 – 4.8

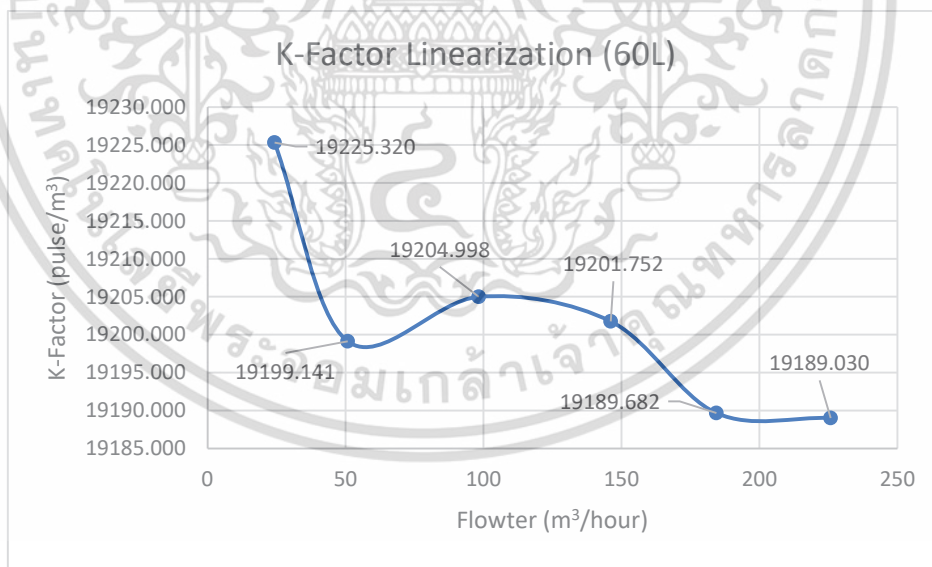


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของค่า K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบระหว่าง Small Volume Prover

การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบนั้น ค่า Factory K-Factor ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตซึ่งมีค่าเท่ากับ 19836.49 pulse/m<sup>3</sup> โดยค่า Factory K-Factor จะเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์ประจำตัวของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่โรงงานได้ทำการสอบเทียบมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในขั้นต่อไปจะนำค่า Factory K-Factor มาตั้งต้นและหาผลต่างของ Adjust K-Factor ที่ได้จากการสอบเทียบ

จากผลการสอบเทียบที่ได้จะพบว่า Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตรและ 40 ลิตรจะมีค่าเบี่ยงเบนต่างกันอยู่ที่ 0.057% ในส่วนของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตรและ 60 ลิตรจะมีค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.051% และค่าเบี่ยงเบนของขนาด 40 ลิตรและ 60 ลิตรจะเท่ากับ 0.034% ดังนั้นจะพบว่า Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุต่างสูงสุดคือระหว่าง 20 ลิตรและ 40 ลิตรจะให้ผลสอบเทียบที่ต่างกันถึง 0.057% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเหมาะสมในเชิงเทคนิค Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตรจึงมีความเหมาะสมในการสอบเทียบในอัตราการไหลย่านต่ำถึงแม้ว่าผู้ผลิตจะให้การรับรองเกี่ยวกับขีดความสามารถในการวัดว่ามีความสามารถในการวัดเท่ากันทุกขนาดโดยอ้างอิงจาก Turndown Ratio 1000 : 1 ในเอกสาร Specification Sheet ของตัวอุปกรณ์ Small Volume Prover ที่อ้างอิงขอบเขตการสอบเทียบในย่านอัตราการไหลตั้งแต่ 0.397 – 397 m<sup>3</sup>/h ของขนาดความจุ 60 ลิตร ซึ่งในความเป็นจริงในการเลือกใช้งานสามารถใช้งานสอบเทียบได้โดยผ่านเกณฑ์การยอมรับการสอบเทียบแต่ให้อัตราความแม่นยำที่น้อยกว่าขนาด 20 ลิตรซึ่งมีความผันผวนน้อยของค่า Adjust K-Factor เมื่อเปรียบเทียบกับ Factory K-Factor น้อยที่สุดดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร กับ 40 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h.)		K-Factor Deviation (%)
SVP 20 liter	SVP 40 liter	
26.1	26.9	0.057
53.1	53.1	0.038
86.8	85.0	0.043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร กับ 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h.)		K-Factor Deviation (%)
SVP 20 liter	SVP 60 liter	
26.1	24.3	0.035
53.1	50.8	0.051
86.8	98.3	0.010

ตารางที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างผลการสอบเทียบของ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร กับ 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h.)		K-Factor Deviation (%)
SVP 40 liter	SVP 60 liter	
26.9	24.3	0.022
53.1	50.8	0.013
85.0	98.3	0.034
102.1	146.1	0.011

จากตารางที่ 4.24 และ 4.25 ผลการเปรียบเทียบค่าผลต่างของ K-Factor ของการสอบเทียบด้วย Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตรเปรียบเทียบกับขนาดความจุ 40 ลิตรและ 60 ลิตร ค่า Adjust K-Factor จะมีความแตกต่างกันสูงกว่า ตารางที่ 4.26 ที่เปรียบเทียบผลการสอบเทียบ Adjust K-Factor ของขนาดความจุ 40 ลิตร และ 60 ลิตรเนื่องจากความเหมาะสมของอัตราการไหลที่วัดนั้นอยู่ในช่วงที่มีค่าต่ำหรือมีอัตราการไหลน้อย เป็นผลให้ Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุ 20 ลิตร มีค่าความผันผวนของการสอบเทียบน้อยด้วย เนื่องจากกระบอกที่วัดปริมาณของการไหลของน้ำมันดีเซลนั้นมีความเร็วเหมาะสมทำให้ค่าอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการสอบเทียบมีค่าผันผวนน้อยตามไปด้วย ซึ่งค่าอุณหภูมิและความดันนั้นมีผลโดยตรงต่อการสอบเทียบที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาตรที่วัดได้และการขยายตัวของกระบอกสูบภายใน Small Volume Prover ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงอัตราการไหลที่ต่ำ ๆ จึงควรเลือกใช้ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตรจึงจะมีความเหมาะสมกว่าขนาดความจุอื่นๆ

สำหรับการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ของ Small Volume Prover ขนาดต่างความจุ 3 ขนาดที่ได้จากการสอบเทียบโดยห้องสอบเทียบจริงกับค่า Factory K-Factor ซึ่งก็คือค่า K-Factor ที่เป็นผลจากสอบเทียบจากโรงงาน ดังแสดงไว้ในช่อง K-Factor Deviation ในตารางที่ 4.27 – 4.29

ตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)		K-Factor Deviation (%)
Factory K-Factor	SVP 20 liter	
23	26.1	0.194
47	53.1	0.310
96	86.8	0.357

ตารางที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 40 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)		K-Factor Deviation (%)
Factory K-Factor	SVP 40 liter	
23	26.9	0.251
47	53.1	0.348
96	85.0	0.401
146	102.1	0.425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.29** แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า K-Factor ระหว่างค่า Factory K-Factor ของผลการสอบเทียบ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตร

Flowrate (m <sup>3</sup> /h)		K-Factor Deviation (%)
Factory K-Factor	SVP 60 liter	
23	24.3	0.230
47	50.8	0.361
96	98.3	0.367
146	146.1	0.414
188	184.4	0.467
245	225.8	0.461

จากตารางที่ 4.27 - 4.29 แสดงให้เห็นถึงค่าความเบี่ยงเบนระหว่างผลการสอบเทียบโดยห้องสอบเทียบจริงกับผลสอบเทียบจากโรงงานโดยช่อง K-Factor deviation ดังกล่าวจะให้ค่าความเบี่ยงเบนเป็นร้อยละ ยิ่งค่า K-Factor deviation มีค่าสูง อุปกรณ์ดังกล่าวก็จะยิ่งมีความคลาดเคลื่อนในการวัดสูง ดังนั้น จากค่า K-Factor deviation พบว่าในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ที่ขนาดความจุ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร พบว่าในอัตราการไหลต่ำ ๆ นั้น Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตรจะให้ค่า K-Factor deviation น้อยที่สุดและค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยแปรผันตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน Small Volume Prover ขนาดความจุ 40 ลิตร และ 60 ลิตร ก็ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาในย่านการวัดอัตราการไหลที่รองรับการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ด้วย Small Volume Prover ได้ทั้งสาม ขนาด (วัดอัตราการไหลในช่วงอัตราการไหลต่ำ ๆ) จะพบว่า Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตร ให้ค่าความแม่นยำสูงกว่า 40 ลิตร และ 60 ลิตร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการสอบเทียบเพื่อชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ Small Volume Prover ทั้งสามขนาด ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ขนาด 4 นิ้ว โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา ถึงแม้ว่า Small Volume Prover ทั้งสามขนาดจะสามารถใช้สอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ดังกล่าวได้ทั้งหมด เพราะให้ค่าที่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับคืออัตราการทำซ้ำที่ไม่เกิน 0.02% และความไม่แน่นอนไม่เกิน 0.075% อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า

K-Factor Deviation ตามข้อมูลในตารางที่ 4.27 - 4.29 จะพบว่า ในช่วงอัตราไหลต่ำ ๆ ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ขนาด 4 นิ้วที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา การเลือกใช้ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตรจะเหมาะสมที่สุด แต่ในช่วงอัตราการไหลที่สูงขึ้น ในบางจุดของอัตราการไหล ( $96 - 98 \text{ m}^3/\text{h}$ ) การใช้ Small Volume Prover ขนาด 60 ลิตรจะเหมาะสมกว่าขนาด 40 ลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การซื้อขายน้ำมันระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำของปริมาณน้ำมันสูง มีความคลาดเคลื่อนต่ำ เนื่องจากการซื้อขายปริมาณมากและมูลค่าสูง นอกจากนี้ยังใช้ประกอบการ ออกใบอนุญาตและการจัดเก็บภาษีของกรมสรรพสามิต โดยทั่ว ๆ ไป อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลนิยมใช้เป็นมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบเมตริก งานวิจัยนี้จึงเป็นเรื่องเกี่ยวกับการสอบเทียบ มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบเมตริกขนาด 4 นิ้วด้วยเครื่องสอบเทียบ Small Volume Prover สาม ขนาดซึ่งมีขนาดความจุ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร และใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวกลางในการทดสอบ โดยมีมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบเมตริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการวัดอัตราการไหลได้ ตั้งแต่ 24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จนถึง 240 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยมีความเป็นเชิงเส้น เท่ากับ  $\pm 0.15\%$  ต่อย่านอัตราการไหล (Turndown ratio) 1:10 ซึ่งผลการทดสอบมิเตอร์ ดังกล่าวนั้นให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.287%, 0.356% และ 0.383% ตามลำดับของ Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร ตามลำดับ

จากผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์สอบเทียบ Small Volume Prover ระหว่างความจุขนาด 20 ลิตรกับ 40 ลิตรจะมีความแตกต่างมากที่สุดที่ 0.057% ระหว่างความจุ 20 ลิตรกับ 60 ลิตรจะมีความแตกต่างมากที่สุดที่ 0.051% และระหว่าง ความจุ 40 ลิตรและ 60 ลิตรจะมีความแตกต่างมากที่สุดที่ 0.034% อัตราการไหลที่ Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตรสอบเทียบเท่ากับ 26.1 จนถึง 86.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาด ความจุ 40 ลิตรสามารถสอบเทียบได้ที่ 26.9 จนถึง 102.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และขนาดความ จุ 60 ลิตรสามารถสอบเทียบได้ที่ 24.3 จนถึง 225.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และค่าความเป็นเชิง เส้นของ Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร มีค่าเท่ากับ 0.131%, 0.118% และ 0.189% ตามลำดับ ตั้งแต่ย่านอัตราการไหลที่ต่ำที่สุด และในย่านอัตราการไหลที่ สูงขึ้นมากกว่า 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง Small Volume Prover ขนาดความจุ 20 ลิตร 40 ลิตร และ 60 ลิตร มีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.011%, 0.016% และ 0.031% ตามลำดับ สำหรับ ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการวิเคราะห์คำนวณระหว่างการวัดนั้น Small Volume Prover ขนาด ความจุ 20 ลิตร และ 40 ลิตร มีค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ยเท่ากับ 0.075% ส่วนขนาดความจุ 60 ลิตร นั้นมีค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ยเท่ากับ 0.076% โดยมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความไม่แน่นอนอาจมา จากการถ่ายทอดความไม่แน่นอนจากอุปกรณ์ Tank Prover อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

transmitter) อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure transmitter) และขีดความสามารถในการตรวจจับ (Detector) ของ Small Volume Prover ที่ส่งผลกระทบโดยตรงกับการวัดค่าขนาดของปริมาตรของน้ำมันดีเซล

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะค่าอัตราการทำซ้ำและค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบด้วย Small Volume Prover ในงานวิจัยนี้จะพบว่า Small Volume Prover ทั้งสามขนาดสามารถให้ผลการทดสอบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบดังกล่าวผ่านทั้งหมดเพราะค่าอัตราการทำซ้ำและค่าความไม่แน่นอนอยู่ในเกณฑ์การยอมรับคืออัตราการทำซ้ำที่ไม่เกิน 0.02% และความไม่แน่นอนไม่เกิน 0.075% อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ค่า K-Factor Deviation จะพบว่า ในช่วงการวัดอัตราไหลต่ำ ๆ ของมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบ หากใช้ Small Volume Prover ขนาด 20 ลิตรจะเหมาะสมที่สุด แต่ในช่วงอัตราการไหลที่สูงขึ้น ในบางจุดของอัตราการไหล Small Volume Prover ขนาดอื่น ก็อาจจะเหมาะสมกว่า ดังนั้นเมื่อทราบถึงผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในการสอบเทียบมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบขนาด 4 นิ้ว ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษา จึงควรเลือกใช้อุปกรณ์สอบเทียบ Small Volume Prover ที่มีขนาดความจุเหมาะสมกับอัตราการไหล เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยที่สุด

### ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้มิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบขนาด 4 นิ้วเพียงขนาดเดียวเท่านั้น ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมอย่างแพร่หลายที่สุดในการใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำมันของโรงงานอุตสาหกรรม หากมีการใช้เทอร์โบหลายขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วถึง 6 นิ้วในการทดสอบจะสามารถสะท้อนให้เห็นถึงขีดความสามารถของอุปกรณ์ Small volume prover ได้ดียิ่งขึ้น
2. ในงานวิจัยดังกล่าวมีสื่อกลางในการทดสอบเพียงน้ำมันดีเซลอย่างเดียวเท่านั้น จึงควรที่จะมีการทดสอบด้วยสื่อกลางน้ำมันอื่นๆ อีกหลายชนิดเพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่น่าเชื่อถือมากขึ้น
3. ในงานวิจัยมีการใช้มิเตอร์วัดการไหลเพียงชนิดเดียวคือมิเตอร์วัดการไหลแบบเทอร์โบ ดังนั้นควรจะมีการนำมิเตอร์วัดการไหลแบบแพนที และมิเตอร์วัดการไหลแบบมวลมาทำการสอบเทียบเพื่อเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] นายจรินทร์ สุทธนารักษ์, นายสาธิต ชูสุวรรณ, “นานาสาระขังตวงวัด เล่ม 1”, สำนักงานกลางขังตวงวัด
- [2] นายจรินทร์ สุทธนารักษ์, นายสาธิต ชูสุวรรณ, “นานาสาระขังตวงวัด เล่ม 2”, สำนักงานกลางขังตวงวัด
- [3] American Petroleum Institute, “Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 4-Proving system, Section 3-Small Volume Prover”, First edition-July 1988.
- [4] American Petroleum Institute, “Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 4-Proving system, Section 8-Operation of Proving System”, First edition-Nov 1995.
- [5] Daniel, Emerson, “Compact Prover-Operating and maintenance Instruction”, Part number: 3-9008-701, Rev. J-Jan 2015.
- [6] นายพงษ์ศักดิ์ อ่ำไพพรรณ, นายณรงค์ สร้อยทอง, นายสาธิต ชูสุวรรณ, “หลักการ ทำงานและสมรรถนะของมาตรวัดเทอร์โบมิเตอร์และมาตรวัด P.D.”, สำนักงานกลางขังตวงวัดและกระทรวงพาณิชย์
- [7] American Petroleum Institute, “Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 5-Metering, Section 3-Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters”, First edition-Nov 1995.
- [8] Eivind Olav Dahl, Kjell-Eivind Froya and Per Lunde, “Handbook of Uncertainty Calculations, Fiscal Orifice Gas and Turbine Oil Metering Satation”, Revision 2-Mar 2003.
- [9] นางสาวสิวิณี สวัสดิ์อารี, “ข้อเสนอแนะการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด”, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
- [10] American Petroleum Institute, “Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 12-Calculation of Petroleum Quantities, Section 2-Calculation of Petroleum Quantities Using Dynamic Measurement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Methods and Volumetric Correction Factors, Part 3-Proving Reports**”,  
First edition-Oct 1998.

- [11] American Petroleum Institute, **“Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 13-Statistical Aspects of Measuring and Sampling, Section 1-Statistical Concepts and Procedures in Measurement”**, First edition-Jun 1985.
- [12] American Petroleum Institute, **“Manual of Petroleum Measurement Standard Chapter 5-Metering, Section 3-Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters”**, First edition-Nov 1995.
- [13] OMNIFLOW, User manual volume, **“System Architecture and installation revision B”**, OMNI Flow computer, Inc., 12320 Cardinal Meadow Suite 180 Sugar Land, Texas 77478 USA.
- [14] Gallagher, Jame E., **“The uncertainty of a waterdraw calibration vs. gravimetric calibration on small volume provers”**, Savant Measurement Corporation, 3427 Rivers Edge Trail, Kingwood, TX, United States.
- [15] Burton, Billy, **“Operational experience with small volume provers”**, Coastal Flow Liquid Measurement Inc., P. O. Box 58965, Houston, TX, United States.
- [16] OMNIFLOW, User manual volume, **“Configuration and advanced operation – Firmware revisions 20.74/24.74”**, OMNI Flow computer, Inc., 12320 Cardinal Meadow Suite 180 Sugar Land, Texas 77478 USA.
- [17] Takashi Shimada, Ryouji Doihara, Yoshiya Terao, **“Investigation into calibration performance of small volume prover for hydrocarbon flow”**, Flow Measurement and Instrumentation-Dec 2014.

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

งานวิจัยที่ได้ดำเนินงานตามวิทยานิพนธ์นี้ ได้มีการเผยแพร่ในระดับวารสารและที่ประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ และสิทธิบัตร ดังต่อไปนี้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

- [1] Pansawut Wanitwanakorn, Narin Tammarugwattana, Navaphun Kayunkid, Suphan Gulpanich, “**Proving of Turbine flow meter by small volume prover with different in volume to compare the linearity for custody transfer**”, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand., The 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology 1-3 April 2021, Pattaya, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพรชวุฒิ วัฒนชนากร
วัน เดือน ปีเกิด	19 มกราคม 2538
ที่อยู่	888/15 หมู่บ้านศุภาลักษณ์การ์เด้นวิลล์ หมู่ 4 ตำบลน้ำคอก อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21000
ประวัติการศึกษา	2560 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เครื่องมือวัดและอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

### ความชำนาญเฉพาะด้าน

1. ระบบการสอบเทียบเครื่องมือวัดและเครื่องวัดอัตราการไหล
2. ระบบการคำนวณปริมาตรของไหลในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
3. การออกแบบระบบโอนถ่ายของเหลวด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหล
4. การออกแบบและควบคุมด้วยระบบ Flow computer

### ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2560-2565	ตำแหน่งวิศวกรสอบเทียบและโครงการ บริษัท Flowlab & Service
	- ผู้ชำนาญการสอบเทียบอุปกรณ์การไหลในอุตสาหกรรมด้วยเครื่องสอบเทียบชนิด Small volume prover ด้วย Flow computer
	- ผู้ชำนาญการออกแบบ Metering skid system สำหรับงาน Custody transfer สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
	- ผู้ชำนาญการออกแบบและโปรแกรมเมอร์สำหรับอุปกรณ์ Flow computer ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท ระยองวิศวกรรม
	- การประเมินราคาและพัฒนาโครงการโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้