การวัดอัตราการไหลก๊าซโดยใช้แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน AGA REPORT NO.3

GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3

ณกรณ์ ผ่องใส

ธัญลักษณ์ ผิวเณร

นิติภูมิ ทัดเศษ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การวัดอัตราการไหลก๊าซโดยใช้แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน AGA REPORT NO.3

GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3

ณกรณ์ ผ่องใส

ธัญลักษณ์ ผิวเณร

นิติภูมิ ทัดเศษ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3

NAKORN PHONGSAI
THANYALAK PHIEWNEN
NITIPHOOM TUDSET

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF THCHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวัดอัตราการไหลก๊าซโดยใช้แผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน AGA REPORT NO.3 GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณกรณ์	ผ่องใส	**รหัสนักศึกษา**	56010013
	นางสาวธัญลักษณ์	ผิวเณร	**รหัสนักศึกษา**	56010597
	นายนิติภูมิ	ทัดเศษ	**รหัสนักศึกษา**	56010680
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม			
ปีการศึกษา	2559			

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์สักรียา ชิตวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวัดอัตราการไหลก๊าซโดยใช้แผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน AGA REPORT NO.3 GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณกรณ์	ผ่องใส	รหัสนักศึกษา	56010013
	นางสาวธัญลักษณ์	ผิวเณร	รหัสนักศึกษา	56010597
	นายนิติภูมิ	ทัดเศษ	รหัสนักศึกษา	56010680
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์สักรียา ชิตวงศ์			
ปีการศึกษา	2559			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยใช้แผ่นออริฟิส ในที่นี้ศึกษาการออกแบบแผ่นออริฟิสเพื่อนำไปวัดอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติ ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมก๊าซนั้นมีความต้องการที่จะวัดก๊าซให้ได้ความแม่นยำตามเป้าหมายให้ได้มากที่สุด ผิดพลาดน้อยที่สุด ผู้จัดทำจึงศึกษาและออกแบบแผ่นออริฟิสให้เป็นไปตามมาตรฐาน American Gas Association : AGA Report No.3 เนื่องจากมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ถูกยอมรับในกลุ่มอุตสาหกรรมก๊าซ และในการออกแบบนั้นแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิส ได้แก่ ขนาดท่อ สถานะของของไหล อัตราการไหล (สูงสุดและปกติ) อุณหภูมิ และความดัน เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดไปใช้คำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิสต่อมาเป็นการออกแบบแผ่นออริฟิสและหน้าแปลนโดยใช้โปรแกรม AutoCAD และ Solid Work และสร้างออกมาเป็นชิ้นงาน แล้วนำไปสอบเทียบโดยใช้ห้องปฏิบัติการภายนอก ซึ่งผลที่ได้คืออุปกรณ์การวัดทุกตัวสามารถใช้งานได้ แต่ได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด เกิดค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น เนื่องจากตัวกลางที่ใช้สอบเทียบไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ในตอนแรก ชิ้นงานนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้จริง แต่สามารถใช้เป็นกรณีศึกษาการออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	GAS FLOW MEASUREMENT BY USING ORIFICE PLATE BASED ON AGA REPORT NO.3
Authors	Mr.Nakorn Phongsai
	Ms.Thanyalak Phiwnen
	Mr.Nitiphoom Tudset
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Sakreya Chitwong
Year	2016

ABSTRACT

This project designs an Orifice plate to facilitate accurate and precise measurements of the natural gas flow rate, satisfying the American Gas Association standard, specifically the AGA Report No.3. The design process begins with the provision of several information pertaining the orifice plate designs including the tube size; the state of the fluid; the required fluid flow rates (the maximum rate and the typical rate); the fluid temperature, and the fluid pressure; in order to determine an appropriate hole size. Once the orifice hole size has been determined, flange shape and size are then designed with the aid of CAD software, in particular SolidWorks and AutoCAD. The designed orifice is then calibrated in an external lab. Results show that all measuring devices are usable, albeit incurring some errors because the calibrated prototype did not completely match the original design. The developed prototype is thus not suitable for industrial use, but is suitable to function as an orifice design case study.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ สักรียา ชิตวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ อีกทั้งสนับสนุนงบประมาณและอุปกรณ์ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาเพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านนำมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่ส่งเสริมการศึกษาและอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ผลการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอน้อมรับผิดและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและความก้าวหน้าสืบไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลก๊าซ พื้นฐานแผ่นออริฟิส และสมการการออกแบบแผ่นออริฟิส.....3

2.1 การวัดอัตราการไหล.....3

2.1.1 นิยามของไหล.....3

2.1.1.1 ชนิดของของไหล.....3

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่ส่งผลต่อการไหล.....4

2.1.2.1 อุณหภูมิ (Temperature).....4

2.1.2.2 ความดัน (Pressure).....4

2.1.2.3 ความหนืด (Viscosity).....5

2.1.2.4 ความหนาแน่น (Density).....5

2.1.2.5 ความสามารถในการบีบอัดตัวของของไหล (Compressibility).....5

2.1.3 ปริมาณการไหล.....5

2.1.4 ลักษณะการไหลของของไหล.....6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.4.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow).....6
2.1.4.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow).....7
2.1.5 ทฤษฎีแบร์นูลลี (Bernoulli's Theorem).....7
2.1.6 สมการคำนวณการวัดอัตราการไหล.....9
2.1.7 เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส (Orifice Plate Bore Diameter).....10
2.1.8 เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (Meter Tube Bore Diameter).....10
2.1.9 ค่า Beta Ratio.....11
2.1.10 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Coefficient of Discharge).....12
2.1.11 ค่าความเร็วเข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน.....13
2.1.12 ค่าปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นกับการบีบอัดตัวของของไหล.....13
2.1.13 ค่าความหนาแน่นของไหลตามเงื่อนไขการไหล.....14
2.2 องค์ประกอบหลักที่ควรทราบก่อนเลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหล.....15
2.3 พื้นฐานแผ่นออริฟิส.....16
2.3.1 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate).....16
2.3.2 ชนิดของแผ่นออริฟิส.....18
2.3.2.1 แบบศูนย์กลางร่วม (Concentric Orifice).....18
2.3.2.2 แบบเยื้องศูนย์ (Encentric Orifice).....18
2.3.2.3 แบบเซกเมนต์ (Segmental Orifice).....19
2.3.2.4 แบบเผยปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Orifice).....19
2.3.3 จุดต่อสำหรับค่าความดันแตกต่าง (Pressure Tappings).....20
2.3.3.1 จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Tappings).....20
2.3.3.2 จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Tappings).....21
2.3.3.3 จุดต่อที่แผ่นออริฟิส Corner (Corner Tappings).....22
2.3.4 การคำนวณค่าขนาดรูของแผ่นออริฟิส.....22
2.3.5 การติดตั้งแผ่นออริฟิส.....23
2.3.5.1 การติดตั้งจุดต่อความดันแบบอิมพัลส์ไลน์.....25
2.3.5.2 การติดตั้งจุดต่อความดันแบบระยะไกล.....27
2.3.6 ข้อดีและข้อเสียของแผ่นออริฟิส.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การวัด....27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการออกแบบแผ่นออริฟิส หน้าแปลน และการเลือกอุปกรณ์การวัดเพิ่มเติม....31

3.1 การออกแบบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลก๊าซ....31

3.1.1 การออกแบบแผ่นออริฟิส....31

3.1.2 การใช้โปรแกรม Flow Consultant ในการคำนวณหาขนาดรูออริฟิส....37

3.2 การออกแบบหน้าแปลน....45

3.3 การออกแบบความยาวท่อด้านหน้า (Upstream) และท่อด้านหลัง (Downstream)....48

3.4 การเลือกอุปกรณ์การวัดเพิ่มเติม....48

3.4.1 การเลือกอุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง....48

3.4.2 การเลือกอุปกรณ์วัดความดัน....48

3.4.3 การเลือกอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ....50

3.5 จัดทำเอกสารข้อกำหนดของอุปกรณ์....50

บทที่ 4 ผลการดำเนินการออกแบบ ติดตั้ง และสอบเทียบทางวิศวกรรม....51

4.1 แผ่นออริฟิส....51

4.1.1 เอกสารข้อกำหนดของแผ่นออริฟิส....51

4.1.2 ลักษณะการติดตั้งแผ่นออริฟิส....56

4.2 หน้าแปลน....57

4.3 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง....57

4.3.1 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง....57

4.3.2 ลักษณะการติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง....60

4.4 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน....61

4.4.1 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันง....61

4.4.2 ลักษณะการติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน....63

4.5 อาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ....63

4.5.1 เอกสารข้อกำหนดของอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2 ลักษณะการติดตั้งอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหูมิ.....66
4.6 ผลการสอบเทียบ.....67

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการออกแบบ.....76
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....76
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....76
5.3 แนวทางแก้ไข.....77
5.4 ข้อเสนอแนะ.....77

บรรณานุกรม.....78

ภาคผนวก ก สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 2 – 30 นิ้ว ตามมาตรฐาน AGA Report No.3
ภาคผนวก ข ค่าการออกแบบหน้าแปลน สำหรับ คลาส 300 – 2500 ตามมาตรฐาน ASME B16.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางท่อ....11

2.2 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ....12

2.3 ค่าคงที่และการแปลงหน่วย....15

2.4 ระยะการติดตั้งออริฟิส โดยไม่มีตัวปรับสภาพการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง....29

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย สำหรับท่อขนาด 2 นิ้ว....36

3.2 การออกแบบหน้าแปลน สำหรับ Class 300....47

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันแตกต่างและอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซและน้ำ....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความแตกต่างระหว่างของเหลวกับก๊าซ	4
2.2 ลักษณะการไหลของของไหล แบบราบเรียบ	6
2.3 ลักษณะการไหลของของไหล แบบปั่นป่วน	7
2.4 ทฤษฎีแบร์นูลี	7
2.5 โครงสร้างแผ่นออริฟิส	17
2.6 แผ่นออริฟิส	17
2.7 แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม	18
2.8 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์	19
2.9 แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์	19
2.10 แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง	20
2.11 จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Tappings)	21
2.12 จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Tappings)	22
2.13 จุดต่อที่แผ่นออริฟิส (Corner Tappings)	22
2.14 แสดงระยะความยาวท่อก่อนวางแผ่นออริฟิส	24
2.15 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นก๊าซ	25
2.16 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นของเหลว	25
2.17 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นไอน้ำ	26
2.18 วาล์วมานิโฟลด์	25
2.19 การติดตั้งแบบอิมพัลส์ไลน์	26
2.20 การติดตั้งแบบระยะไกล	27
2.21 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัด	28
3.1 เลือกหน่วยตามที่มาตรฐานกำหนด	37
3.2 เลือกชนิดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ต้องการออกแบบ	37
3.3 เลือกชนิดจุดต่อความดัน	38
3.4 เลือกมาตรฐานสำหรับการออกแบบ	38
3.5 เลือกด้านจุดต่อความดัน	39
3.6 เลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นออริฟิส	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 เลือกวัสดุของท่อ	40
3.8 เลือกหน่วยให้ตรงกับมาตรฐานกำหนด	40
3.9 เลือกชนิดของไหล	41
3.10 กำหนดค่าความดัน และอุณหภูมิขณะของไหลกำลังไหล	41
3.11 กำหนดอัตราการไหลสูงสุด ปกติ และเลือกขนาดท่อ	42
3.12 กำหนดค่าความดันแตกต่างสูงสุด	42
3.13 ผลการคำนวณโดยโปรแกรม Flow Consultant	43
3.14 สรุปผลการออกแบบ	44
3.15 ชนิดหน้าแปลนแบบคอเชื่อม (Wield Neck)	45
3.16 Metering Tube	48
3.17 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง	49
3.18 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน	49
3.19 อาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ	50
4.1 แสดงขนาดของแผ่นออริฟิส ในหน่วยมิลลิเมตร	51
4.2 เอกสารข้อกำหนดของแผ่นออริฟิส	54
4.3 เอกสารสรุปตามการออกแบบแผ่นออริฟิส	55
4.4 การติดตั้งแผ่นออริฟิส เข้ากับ Metering Tube	56
4.5 การออกแบบหน้าแปลนให้ตรงตามมาตรฐาน ASME B16.36	57
4.6 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง	59
4.7 การติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง เข้ากับ Metering Tube	60
4.8 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน	62
4.9 การติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน เข้ากับ Metering Tube	63
4.10 เอกสารข้อกำหนดของอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ	65
4.11 การติดตั้งอุปกรณ์อาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ เข้ากับ Metering Tube	66
4.12 สรุปผลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปใช้สอบเทียบ	67
4.13 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง	68
4.14 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ใบ Certificate แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ....70

4.16 ใบ Certificate แสดงข้อมูลสรุปผลการสอบเทียบที่อัตราการไหลปกติและสูงสุด....71

4.17 ใบ Certificate แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Error (%) กับอัตราการไหล (%) ที่ได้จากการสอบเทียบ....72

4.18 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 โดยใช้อัตราการไหลปกติ....73

4.19 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 2 โดยใช้อัตราการไหลสูงสุด....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาก๊าซธรรมชาติได้เข้ามามีบทบาทต่อการพัฒนาของโลกในทุกๆด้านมากขึ้น โดยเฉพาะการนำมาใช้แทนที่ถ่านหินและน้ำมัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมอื่นๆทำให้ "ก๊าซธรรมชาติ" ได้รับการยอมรับมากขึ้นว่าเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสำหรับโลกในวันนี้และอนาคตที่ไม่เพียงเป็นพลังงานขับเคลื่อนเพื่อการดำรงชีวิตเท่านั้นแต่ที่สำคัญยังเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ทั้งความร้อนและแสงสว่าง ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการคมนาคมขนส่งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมหรือใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นต้น โดยทั่วไปก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ โดยร้อยละ 70 ขึ้นไปจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งสิ้น เมื่อจะนำมาใช้ต้องแยกก๊าซออกจากกันเสียก่อนจึงจะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่นอกจากสารไฮโดรคาร์บอนแล้ว ก๊าซธรรมชาติยังอาจประกอบด้วยก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไนโตรเจนและน้ำ เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้สามารถแยกออกจากกันได้โดยนำมาผ่านกระบวนการแยกที่โรงแยกก๊าซธรรมชาติ ก๊าซที่ได้แต่ละตัวนำไปใช้ประโยชน์ต่อเนื่องได้อีกมากมาย

ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมก๊าซมีบทบาทมากขึ้น สำหรับการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมก๊าซมีความต้องการที่จะวัดก๊าซให้ได้ความแม่นยำตามเป้าหมายให้ได้มากที่สุด ผิดพลาดน้อยที่สุด กระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยภาคอุตสาหกรรมก๊าซนิยมใช้แผ่นออริฟิสในการวัดอัตราการไหลก๊าซ เพราะต้นทุนไม่สูงมาก ผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการออกแบบแผ่นออริฟิสให้ใช้งานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งต้องออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน AGA Report No.3 จะทำให้กระบวนการผลิตนั้นเกิดประสิทธิภาพสูงสุด มีความเสียหายน้อยสุด สามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้จริง และสามารถตอบโจทย์อุตสาหกรรมก๊าซได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน AGA Report No.3
2. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เชิงอุตสาหกรรม (Flow Consultant) สำหรับออกแบบแผ่นออริฟิส
3. เพื่อศึกษาข้อมูลกระบวนการที่จำเป็นสำหรับใช้ออกแบบแผ่นออริฟิส
4. เพื่อศึกษาการเขียนแบบเชิงกลโดยใช้งานโปรแกรมเขียนแบบ ได้แก่ AutoCAD และ/หรือ Solid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพื่อศึกษาการทำเอกสารต่างๆเกี่ยวกับการวัด เช่น การทำเอกสารข้อกำหนดของอุปกรณ์ต่างๆ การออกแบบและทำเอกสารติดตั้ง การทำเอกสารผลการสอบเทียบ เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ออกแบบ สร้าง และทำเอกสารการวัด ระบบการวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 พร้อมทั้งสอบเทียบระบบการวัดอัตราการไหลดังกล่าว โดยใช้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายนอก

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิส
2. ศึกษาการออกแบบแผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 โดยใช้โปรแกรม Flow Consultant
3. ศึกษาการเขียนแบบเชิงกลโปรแกรม AutoCAD และ Solid Work
4. ทำชิ้นงาน ได้แก่ แผ่นออริฟิส และ หน้าแปลน
5. ทำเอกสารเกี่ยวกับการวัด เช่น เอกสารข้อกำหนดของอุปกรณ์ต่างๆ การออกแบบและทำเอกสารติดตั้ง การทำเอกสารผลสอบเทียบ เป็นต้น

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน AGA Report No.3 โดยใช้โปรแกรม Flow Consultant
2. สามารถออกแบบระบบการวัดอัตราการไหลของไหลในสถานะก๊าซ
3. สามารถใช้งานโปรแกรมเขียนแบบเชิงกลได้
4. สร้างระบบการวัดอัตราการไหลต้นแบบ เพื่อวัตถุประสงค์ใดๆในอนาคต
5. สามารถนำความรู้เพื่อประกอบอาชีพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลก๊าซ พื้นฐานแผ่นออริฟิส และสมการการออกแบบแผ่นออริฟิส

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ที่ใช้ โดยเริ่มจากความรู้พื้นฐานในเรื่องการออกแบบแผ่นออริฟิสและหน้าแปลน คุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อของไหล ลักษณะของของไหล เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบควรทราบ เพื่อเป็นตัวช่วยให้ผู้ออกแบบได้ออกแบบให้ตรงกับความต้องการ

2.1 การวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลเป็นการวัดค่าตัวแปรที่สำคัญค่าหนึ่งในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยที่การวัดของไหลเหล่านี้อาจใช้เครื่องมือและวิธีการที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของของไหลที่เป็นอยู่ขณะนั้น อย่างไรก็ตามการวัดการไหลอาจกล่าวได้ว่าจะต้องมีความถูกต้องและเที่ยงตรงกว่าการวัดปริมาณอื่นๆ เพราะหากมีความผิดพลาดในการวัดเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ ส่งผลไปถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.1.1 นิยามของไหล

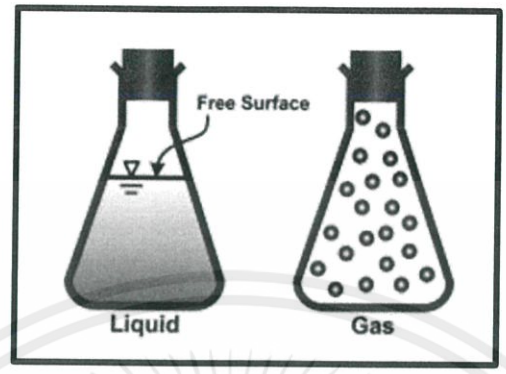
ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อถูกกระทำด้วยแรงเค้นเฉือน (เป็นแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้น โดยพยายามทำให้วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรง) ซึ่งหมายความว่า เมื่อใดที่มีแรงเค้นเฉือนมากระทำ ของไหลจะเกิดการขยับตัวและเปลี่ยนรูปร่างไป เช่น เมื่อเทของไหลลงในภาชนะ ของไหลจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างต่อเนื่องไปชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งเป็นเพราะรูปร่างของของไหลในขณะนั้นไม่สอดคล้องกับรูปร่างของภาชนะ การปรับตัวนี้จะดำเนินต่อเนื่องจนของไหลอยู่ในสภาวะที่มีรูปร่างเหมือนภาชนะ [9]

2.1.1.1 ชนิดของของไหล

สสารในสภาพปกติมีสามสถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ที่อุณหภูมิหนึ่งของแข็งมีรูปร่างและปริมาตรคงตัว ถ้าถูกแรงอัดด้วยแรงไม่มาก ส่วนของเหลวจะมีปริมาตรคงตัวและมีรูปทรงตามภาชนะที่บรรจุและปริมาตรจะลดลงเล็กน้อยเมื่อถูกแรงอัด ส่วนก๊าซมีรูปร่างและปริมาตรไม่คงตัว ปริมาตรของก๊าซขึ้นอยู่กับปริมาตรภาชนะที่บรรจุ ก๊าซมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากกว่าของเหลวมาก แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่เนื่องจากของเหลวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซมีรูปร่างไม่แน่นอน อีกทั้งสามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้นั่นเอง ความแตกต่างระหว่างของเหลวกับก๊าซ ดังรูปที่ 2.1 [9]



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างของเหลวกับก๊าซ [9]

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่ส่งผลต่อของไหล

คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการที่มีผลต่อของของไหล ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความหนืด ความหนาแน่น และความสามารถในการบีบอัดตัว ค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการไหลอย่างมาก อีกทั้งยังเป็นตัวแปรที่ต้องนำมาพิจารณา เพื่อให้ได้ความเที่ยงตรงและความแม่นยำมากที่สุดสำหรับการวัด ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

2.1.2.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญอย่างมาก เนื่องจากตามปกติแล้วเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบทำให้สภาพหรือคุณลักษณะของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยเฉพาะในการวัดอัตราการไหลของก๊าซในระบบท่อปิด หากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สูงขึ้น จะส่งผลทำให้ความดันในท่อสูงขึ้นตามไปด้วย เพราะโมเลกุลของก๊าซมีการเคลื่อนที่ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลอย่างมากต่อการไหลของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะของก๊าซจะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ [9]

2.1.2.2 ความดัน (Pressure)

การเปลี่ยนแปลงค่าความดันในก๊าซนั้น จะมีผลกระทบต่อตัวแปรพื้นฐานอื่นๆอย่างมาก เนื่องจากก๊าซจัดเป็นสสารประเภทที่สามารถอัดตัวได้ (Compressibility) นอกจากนี้ความดันยังมีความสัมพันธ์กับแรงต่อพื้นที่หน้าตัด ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่จะทำให้ค่าความดันเปลี่ยนแปลงไปด้วย [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือค่าบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลในตัวของไหล ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของของไหลนั้นช้าลง [9]

2.1.2.4 ความหนาแน่น (Density)

จากที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องของอุณหภูมิความดัน และ ความหนืด ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ สามารถนำมาพิจารณาหาค่าความหนาแน่นของของไหลได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนาแน่นของทั้งของเหลวและก๊าซ แต่ในกรณีการเปลี่ยนแปลงของความดันนั้นจะมีผลต่อความหนาแน่นของก๊าซเท่านั้น โดยความหนาแน่นบ่งบอกถึง มวลต่อปริมาตร โดยความหนาแน่น สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.1) [9]

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.1}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

m คือ มวลของของไหล

V คือ ปริมาตร

2.1.2.5 ความสามารถในการบีบอัดตัวของของไหล (Compressibility)

ในสภาพความเป็นจริง สสารทุกชนิดจะมีความยืดหยุ่น นั่นหมายความว่า สสารสามารถขยายตัวหรือหดตัวภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งในของไหลเมื่อถูกบีบอัด (มีการเปลี่ยนแปลงความดัน) ปริมาตรของของไหลจะเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้จึงถูกเรียกว่า Compressibility ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของของไหลแต่ละชนิด ของไหลประเภทนี้ส่วนใหญ่อยู่ในสถานะก๊าซ [9]

2.1.3 ปริมาณการไหล

โดยปกติการวัดการไหลของของไหลในระบบท่อปิด ต้องคำนึงถึงปริมาณการไหลภายในท่อ เพราะเครื่องมือการวัดการไหลของของไหลบางชนิดนั้นไม่สามารถวัดได้กับของไหลที่ไหลไม่เต็มท่อ แต่ในที่นี้ศึกษาการไหลของก๊าซ จึงไม่มีปัญหาใดเพราะก๊าซนั้นจะกระจายตัวทั่วภาชนะที่ถูกบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ลักษณะการไหลของของไหล

โดยปกติแล้วลักษณะการไหลของของไหลสามารถบ่งบอกได้ถึงความเร็ว หรืออัตราการไหลของของไหลได้ ซึ่งรู้ได้จากจำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหลจำนวนเลขเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วสัมบูรณ์ของไหลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ซึ่งตามมาตรฐาน AGA Report No.3 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2) [3]

$$\mathrm{Re}_D = \frac{48 q_m}{\pi \mu D} \tag{2.2}$$

เมื่อ Re_D คือ จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

μ คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของไหล

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

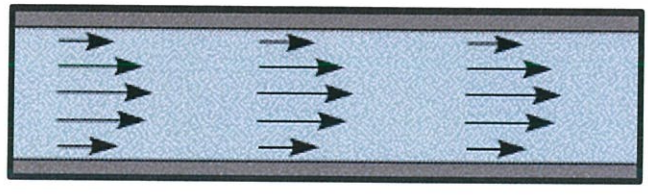
q_m คือ อัตราการไหลเชิงมวล

π คือ ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ 3.14159

จำนวนเลขเรย์โนลด์นี้ไม่มีหน่วย และมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือจำนวนเลขนี้ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใดซึ่งมีการไหลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

2.1.4.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) หรือการไหลแบบสม่ำเสมอ คือรูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด(Viscosity) สูงและไหลด้วยความเร็วต่ำ หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดใหญ่มากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อสำหรับของไหลที่ไหลภายในท่อที่มีการไหลแบบราบเรียบจะมีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ โดยมีค่า Reynold's Number น้อยกว่า 2,000 ลักษณะการไหลจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 [10]

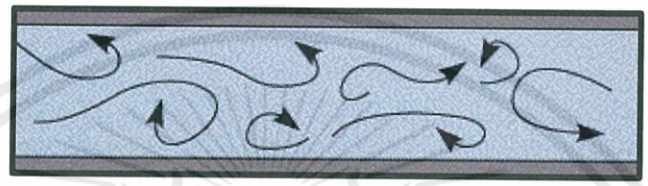


รูปที่ 2.2 ลักษณะการไหลของของไหลแบบราบเรียบ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) หรือการไหลที่ไม่เป็นระเบียบโดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (Viscosity) ต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลในขณะเคลื่อนที่สำหรับของไหลที่ไหลในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนจะมีตัวเลขเรย์โนลด์สูงโดยมีค่า Reynold's Number มากกว่า 4,000 ลักษณะการไหลจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 [10]

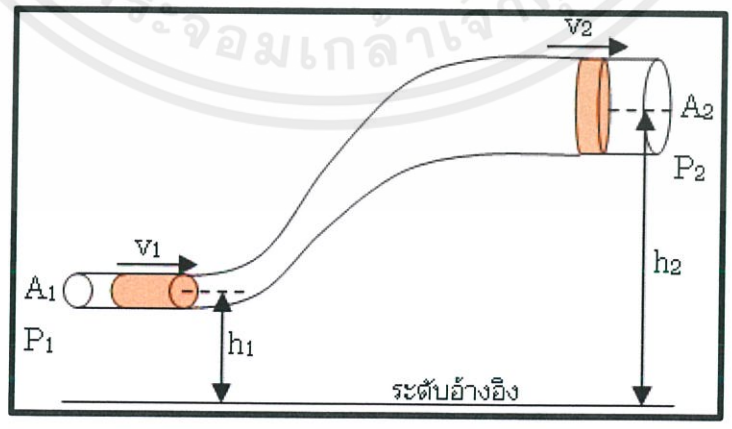


รูปที่ 2.3 ลักษณะการไหลของของไหลแบบปั่นป่วน [10]

สำหรับค่า Reynold's Number ระหว่าง 2,000 ถึง 4,000 เรียกได้ว่า การไหลแบบทรานซิสชั่น (Transition Flow)

2.1.5 ทฤษฎีแบร์นูลี (Bernoulli's Theorem)

เครื่องมือวัดการไหลนี้ใช้หลักการวัดความแตกต่างนี้ อาศัยหลักการจากทฤษฎีของแบร์นูลี ที่กล่าวไว้ว่า "ของไหลที่มีการไหลอย่างสม่ำเสมอหรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ผลรวมของระดับความสูง ความเร็วเริ่มต้น และ ความดันเริ่มต้น ในทุกๆจุดของกระแสของไหลภายในท่อจะมีค่าคงที่" ดังรูปที่ 2.4 [11]



รูปที่ 2.4 ทฤษฎีแบร์นูลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$E_{p1} + E_{k1} + W_1 = E_{p2} + E_{k2} + W_2 \tag{2.3}$$

เมื่อ $E_p = mgh$ และ $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_1V = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + P_2V \tag{2.4}$$

นำสมการที่ (2.4) หาร V ตลอดสมการ จะได้ดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{mgh_1}{V} + \frac{1}{2}\frac{mv_1^2}{V} + P_1 = \frac{mgh_2}{V} + \frac{1}{2}\frac{mv_2^2}{V} + P_2 \tag{2.5}$$

จากสูตร $\rho = \frac{m}{V}$ สามารถจัดรูปได้ดังสมการที่ (2.6)

$$\rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + P_1 = \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2 \tag{2.6}$$

เนื่องจากท่ออยู่ในแนวแกนนอน $h_1 = h_2$ สามารถจัดรูปได้ดังสมการที่ (2.7)

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) \tag{2.7}$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้น อัตราการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใดๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ ดังสมการที่ (2.8)

$$v_1A_1 = v_2A_2 \tag{2.8}$$

จากสมการที่ (2.8) จัดรูปสมการใหม่ได้ $v_1 = \frac{A_2v_2}{A_1}$ (2.9)

นำสมการที่ (2.9) แทนลงในสมการที่ (2.7)

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}v_2^2\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right] \tag{2.10}$$

กำหนดให้ $A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$ $A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$ และ $\Delta P = P_1 - P_2$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho\left(1 - \frac{d}{D}\right)^4}} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ v_2 เป็นความเร็วของของไหลผ่านแผ่นออริฟิส สามารถหาอัตราการไหลได้จากสมการที่ (2.12)

$$Q = A_2 v_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^4}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \tag{2.12}$$

ผลที่ได้จากสมการที่ (2.12) เป็นค่าอัตราการไหลที่ได้จากทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติแล้วค่าอัตราการไหลที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี ดังนั้น จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวหนึ่งใช้คูณเพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลที่แท้จริงสัมประสิทธิ์ตัวนี้ได้จากการทดลองถูกเรียกว่า "สัมประสิทธิ์ของการปล่อย" (Coefficient of Discharge: C_d) ดังสมการที่ (2.14) ค่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการไหล รูปแบบของอุปกรณ์การวัดและค่าตัวเลขเรย์โนลด์ [11]

$$C_d = \frac{Q_{act}}{Q_{theory}}$$

จะได้ว่า

$$Q = C_d \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^4}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \tag{2.13}$$

กำหนดให้

$$K = C_d \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^4}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}}$$

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \tag{2.14}$$

2.1.6 สมการคำนวณการวัดอัตราการไหล สำหรับคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซธรรมชาติ

อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow) คือ การวัดน้ำหนักหรือมวลของของไหลที่ไหลผ่านภายในท่อต่อหน่วย

สมการคำนวณการไหลเชิงมวล เป็นสมการที่พัฒนามาจากก๊าซจริงที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นซึ่งตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.15) [3]

$$q_m = \frac{\pi}{4} N_c C_d (\mathrm{FT}) E_v \, \mathrm{Y} \, d^2 \sqrt{2 \rho_{t,p} \Delta P} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q_m คือ อัตราการไหลเชิงมวล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

π คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.14159

N_c คือ ค่าคงที่ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 (สามารถดูเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 2.2)

$C_d(FT)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อย

E_v คือ ค่าความเร็วที่เข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน

Y คือ ปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นอยู่กับการบีบอัดตัวของของไหล

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$\rho_{t,p}$ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ΔP คือ ค่าความดันแตกต่าง มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์

2.1.7 เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส (Orifice Plate Bore Diameter: d)

เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16) [3]

$$d = d_r[1+\alpha_1(T_f - T_r)] \tag{2.16}$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

d_r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสที่อ้างอิงตามอุณหภูมิอ้างอิง ณ 15 องศาเซลเซียส

α_1 คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ (สามารถดูค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ในตารางที่ 2.2)

T_f คือ อุณหภูมิขณะทำงาน

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิงตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มีค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

2.1.8 เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (Meter Tube Bore Diameter: D)

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.17) [3]

$$D = D_r[1+\alpha_2(T_f - T_r)] \tag{2.17}$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

D_r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อที่อ้างอิงตามอุณหภูมิอ้างอิง ณ 15 องศาเซลเซียส (สามารถดูค่าตารางท่อได้ในตารางที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

α_2 คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ (สามารถดูค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ในตารางที่ 2.2)

T_f คือ อุณหภูมิขณะทำงาน

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิงตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มีค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 ตารางท่อ

PIPE SIZE	PIPE OD	SCD 5S	SCD 10S	SCD 10	SCD 20	SCD 30	SCD 40S	SCD STD	SCD 40	SCD 60	SCD 80S	SCD XS	SCD 80	SCD 100	SCD 120	SCD 140	SCD 160	SCD XXS
1/8"	10.30	-	1.20	1.24	-	-	-	1.73	1.73	-	-	2.41	2.41	-	-	-	-	-
1/4"	13.70	-	1.65	1.65	-	-	-	2.24	2.24	-	-	3.02	3.02	-	-	-	-	-
3/8"	17.10	-	1.65	1.65	-	-	-	2.31	2.31	-	-	3.20	3.20	-	-	-	-	-
1/2"	21.34	1.65	2.11	2.11	-	-	2.77	2.77	2.77	-	3.73	3.73	3.73	-	-	-	4.77	7.47
3/4"	26.67	1.65	2.11	2.11	-	-	2.87	2.87	2.87	-	3.91	3.91	3.91	-	-	-	5.56	7.82
1"	33.40	1.65	2.77	2.77	-	-	3.38	3.38	3.38	-	4.55	4.55	4.55	-	-	-	6.35	9.09
1-1/2"	48.26	1.65	2.77	2.77	-	-	3.68	3.68	3.68	-	5.08	5.08	5.08	-	-	-	7.14	10.16
2"	60.32	1.65	2.77	2.77	-	-	3.91	3.91	3.91	-	5.54	5.54	5.54	-	-	-	8.24	11.07
3"	88.90	2.11	3.05	3.05	-	-	5.49	5.49	5.49	-	7.62	7.62	7.62	-	-	-	11.12	15.24
4"	114.30	2.11	3.05	3.05	-	-	6.02	6.02	6.02	-	8.56	8.56	8.56	-	11.12	-	13.49	17.12
6"	168.27	2.77	3.40	-	-	-	7.11	7.11	7.11	-	10.97	10.97	10.97	-	14.27	-	18.26	21.95
8"	219.07	2.77	3.76	-	6.35	7.04	8.18	8.18	8.18	10.31	12.70	12.70	12.70	15.08	18.26	20.63	23.01	22.22
10"	273.05	3.40	4.19	-	6.35	7.80	9.27	9.27	9.27	12.70	12.70	12.70	15.08	18.26	21.44	25.40	28.57	25.40
12"	323.85	3.96	4.57	-	6.35	8.38	9.52	9.52	10.31	14.27	12.70	12.70	17.47	21.44	25.40	28.57	33.32	25.40
14"	355.60	3.96	4.77	6.35	7.92	9.52	-	9.52	11.12	15.09	-	12.70	19.05	23.82	27.79	31.75	35.71	-
16"	406.40	4.19	4.77	6.35	7.92	9.52	-	9.52	12.70	16.66	-	12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49	-
18"	457.20	4.19	4.77	6.35	7.92	11.12	-	9.52	14.27	19.05	-	12.70	23.82	29.36	34.92	39.67	45.24	-
20"	508.00	4.77	5.54	6.35	9.52	12.70	-	9.52	15.08	20.62	-	12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01	-
22"	558.80	4.77	5.54	6.35	9.52	12.70	-	9.52	15.87	22.22	-	12.70	28.57	34.92	41.27	47.62	53.97	-
24"	609.60	5.54	6.35	6.35	9.52	14.27	-	9.52	17.47	24.61	-	12.70	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54	-
26"	660.40	-	-	7.92	12.70	-	-	9.52	-	26.40	-	12.70	-	-	-	-	-	-

การหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (Internal Diameter) ได้โดย

Internal Diameter = Outsize Diameter – 2(Thickness)

2.1.9 ค่า Beta Ratio (β)

ค่า Beta Ratio สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.18) [3]

$$\beta = \frac{d}{D} \tag{2.18}$$

เมื่อ β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ [3]

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ (α)	
	U.S. Unit $\left(in/in-^{\circ}F\right)$	Metric Units. $\left(\mathrm{mm./mm.}^{\circ}C\right)$
Type Stainless 304 and 316	0.00000925	0.0000167
Monel	0.00000795	0.0000143
Carbon steel	0.00000620	0.0000112

2.1.10 ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อย (Coefficient of Discharge: C_d (FT))

สามารถหาได้จากสมการที่ (2.19)

$$C_d(FT) = F_c + F_{sl} \tag{2.19}$$

เมื่อ F_c คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การปล่อยของแผ่นออริฟิส

F_{sl} คือ ปัจจัยความชัน สำหรับจุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน

จากสมการที่ (2.20) และ (2.22) ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 สามารถคำนวณหาได้จากค่า F_c และ F_{sl} ซึ่งใช้ได้กับค่าเบต้าที่อยู่ในช่วง 0.1-0.75 โดยขนาดรูแผ่นออริฟิสต้องมีขนาดมากกว่า 0.45 นิ้ว และค่าเรย์โนลด์ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4000 [3]

สมการที่คำนวณหาค่า F_c หาได้จากสมการที่ (2.20)

$$F_c = 0.5961 + 0.0291\beta^2 - 0.2290\beta^8$$

$$+(0.0433 + 0.0712e^{-8.5/D} - 0.1145e^{-6.0/D})[1 - 0.23(\frac{19,000\beta}{\mathrm{Re}_D})^{0.8}]\frac{\beta^4}{1-\beta^4}$$

$$-0.0116[\frac{2}{D(1-\beta)} - 0.52(\frac{2}{D(1-\beta)})^{1.3}]\beta^{1.1}[1 - 0.14(\frac{19,000\beta}{\mathrm{Re}_D})^{0.8}] \tag{2.20}$$

สำหรับท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง น้อยกว่า 2.8 นิ้ว ค่า F_c ต้องคำนวณเพิ่มตามสมการที่ (2.21)

$$F_c' = F_c + 0.003(1-\beta)(2.8-D) \tag{2.21}$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อมีหน่วยเป็นนิ้ว

e คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.71828

F_c คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_c' คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อแผ่นออริฟิส สำหรับท่อที่มีขนาดน้อยกว่า 2.8 นิ้ว

Re_D คือ ตัวเลขเรย์โนลด์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกลักษณะของการไหล

β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

สมการคำนวณหาค่า F_{sl} หาได้จากสมการที่ (2.22)

$$F_{sl} = 0.000511\left(\frac{1,000,000\beta}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0.7}$$

$$+\left[0.0210 + 0.0049\left(\frac{19,000\beta}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0.8}\right]\beta^4\left(\frac{1,000,000\beta}{\mathrm{Re}_D}\right)^{0.35} \qquad (2.22)$$

เมื่อ F_{sl} คือ ปัจจัยความชัน สำหรับจุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน

Re_D คือ ตัวเลขเรย์โนลด์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกลักษณะของการไหล

β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

2.1.11 ค่าความเร็วเข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน (Velcocity of Approach Factor: E_v)

ค่าความเร็วที่เข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.23) [3]

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \qquad (2.23)$$

เมื่อ E_v คือ ความเร็วเข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน

β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

2.1.12 ค่าปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นกับการบีบอัดตัวของของไหล (Compressible Fluid Expansion Factor: Y)

ค่าปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นกับการบีบอัดตัวของของไหล สามารถคำนวณได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้ [3]

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่าความดันแตกต่างของแผ่นออริฟิส ณ ความดันขณะทำงาน แทนด้วยตัวแปร x สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = \frac{\Delta P}{N_3 P_f} \tag{2.24}$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันแตกต่าง มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์

N_3 คือ ค่าคงที่ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 (สามารถดูเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 2.3)

P_f คือ ความดันขณะทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าปัจจัยการขยายตัว ณ ความดันคงที่ แทนด้วยตัวแปร Y_P สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.25)

$$Y_P = \frac{0.41 + 0.35\beta^4}{k} \tag{2.25}$$

เมื่อ β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

k คือ ค่าคงที่ Isentropic มีค่าเท่ากับ 1.30

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นกับการบีบอัดตัวของของไหล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.26)

$$Y = 1 - Y_P x \tag{2.26}$$

เมื่อ Y คือ ค่าปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นกับการบีบอัดตัวของของไหล

Y_P คือ ค่าปัจจัยการขยายตัว ณ ความดันคงที่

x คือ ค่าความดันแตกต่างของแผ่นออริฟิส ณ ความดันขณะทำงาน

2.1.13 ค่าความหนาแน่นของไหลตามเงื่อนไขการไหล (Density of the Fluid at Flowing Conditions: $\rho_{t,p}$)

ค่าความหนาแน่นของไหลตามการไหล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.24) [3]

$$\rho_{t,p} = \frac{P_f G_i M_{r_{air}}}{Z_f R(T_f + N_5)} \tag{2.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตามมาตรฐาน AGA-8 สามารถหาค่า Compressibility (Z) โดย Z_f เท่ากับ 0.9841

เมื่อ P_f คือ ความดันขณะทำงาน

G_i คือ ความถ่วงจำเพาะของก๊าซในอุดมคติ มีค่าเท่ากับ 0.5537

$M_{r_{air}}$ คือ โมลของอากาศ มีค่าเท่ากับ 28.9625

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ

T_f คือ อุณหภูมิขณะทำงาน

N_5 คือ ค่าคงที่ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 (สามารถดูเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่และการแปลงหน่วย [4]

VARIABLE	U.S.	IP	METRIC	S.I.
d_m, D_m, d_r, D_r, d, D	In	Ft	mm	m
P_1, P_2, P_f, P_b	Psia	Psia	Bar	Pa
ΔP	$inH_2O\ at\ 60^\circ F$	$inH_2O\ at\ 60^\circ F$	Millibar	Pa
$\rho_{t,p}, \rho_b$	lbm/ ft^3	lbm/ ft^3	kg/m^3	kg/m^3
q_m	lbm/ hr	lbm/ hr	kg/hr	kg/s
q_v, Q_b	ft^3/hr	ft^3/hr	m^3/hr	m^3/s
T_f, T_b, T_v	$^\circ F$	$^\circ F$	$^\circ C$	K
α_1, α_2	$(in/in-^\circ F)$	$(in/in-^\circ F)$	$(mm./mm-^\circ C)$	(mm./mm-K)
μ	cP	$lbm/ft-s$	cP	$Pa-s$
R	10.7316	10.7316	0.0831451	8314.51
Mr	28.9625	28.9625	28.9625	28.9625
N_c	323.279	46552.1	0.036	1.0
N_L	6.23582×10^{-4}	0.0773327	0.100000	1.0
N_3	27.7070	27.7070	1000.00	1.0
N_4	1.0	0.8333333	25.4	0.0254
N_5	459.67	459.67	273.15	0.0
T_r	$68^\circ F$	$68^\circ F$	$20^\circ C$	$293.15K$

2.2 องค์ประกอบหลักที่ควรทราบก่อนเลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหล

การเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานนั้น นอกจากต้องคำนึงถึงราคาของเครื่องมือวัดแล้ว ควรคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นด้วย เพื่อให้เครื่องมือนั้นๆทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุด สิ่งที่ควรทราบก่อนมีดังนี้ [7]

1. ชนิดและสมบัติของของไหลที่ต้องการวัด

ควรพิจารณาสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวกลาง เช่น ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความสามารถในการอัดตัว (Compressibility) เป็นต้น ของไหลแต่ละชนิดมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่แตกต่างกันและอาจเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิ (Temperature) หรือความดัน (Pressure) เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสถานะของของไหล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้เครื่องมือวัด

2. ลักษณะการไหลของของไหล

แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) พิจารณาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดัน

3. ปริมาณการไหลในท่อระบบปิด

ต้องพิจารณาถึงปริมาณการไหลภายในท่อด้วย เนื่องจากเครื่องมือวัดการไหลบางชนิดไม่สามารถวัดของเหลวที่มีปริมาณการไหลไม่เต็มท่อได้

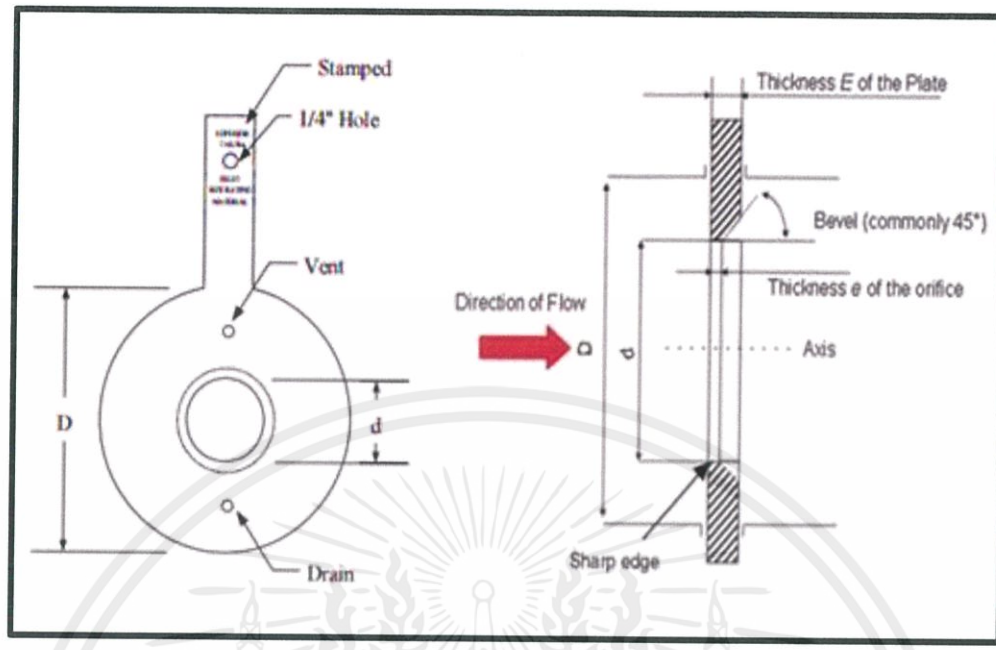
2.3 พื้นฐานแผ่นออริฟิส

2.3.1 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

แผ่นออริฟิสเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลพื้นฐาน ซึ่งมีการใช้งานมาอย่างยาวนาน และในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ภายในอุตสาหกรรม เนื่องจากออริฟิสนั้นติดตั้งได้ง่าย สะดวกต่อการบำรุงรักษา มีความแข็งแรงทนทาน มีความน่าเชื่อถือในการวัดอัตราการไหลพอสมควร ลักษณะโครงสร้างของแผ่นออริฟิสจะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูอยู่ตรงกลาง ขนาดของรูจะมีขนาดที่ต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราการไหลที่จะวัด บางชนิดช่องอาจจะอยู่ตรงศูนย์กลาง บางชนิดเยื้องจากจุดศูนย์กลาง เป็นต้น

หลักการใช้งานแผ่นออริฟิสเพื่อวัดอัตราการไหลนั้น คือ นำแผ่นออริฟิสไปติดตั้งภายในท่อปิดที่มีของไหลไหลผ่านในลักษณะกีดขวางการไหล เมื่อของไหลภายในท่อไหลมากระทบกับแผ่นออริฟิส จะมีบางส่วนที่ไหลผ่านช่องออริฟิสออกไป ทำให้เกิดความดันแตกต่างขึ้นที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิสซึ่งมีค่าความดันไม่เท่ากัน ความดันทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสจะมีค่าสูงกว่าความดันด้านหลัง เป็นผลที่เกิดมาจากการสูญเสียความดันขณะที่ของไหลพยายามไหลผ่านสิ่งกีดขวาง ค่าความดันแตกต่างขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของช่องออริฟิส ซึ่งโครงสร้างของแผ่นออริฟิสและแผ่นออริฟิส สามารถดูได้ในรูปที่ 2.5 และ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแผ่นออริฟิส [8]

รูปที่ 2.6 แผ่นออริฟิส [8]

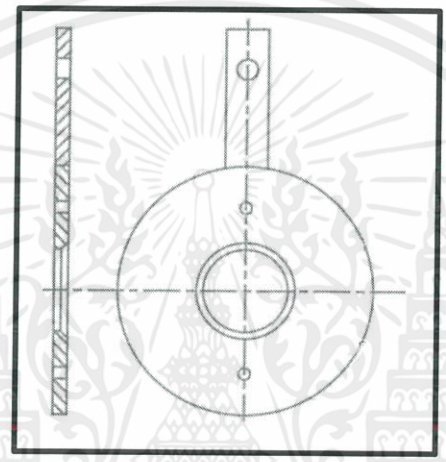
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ชนิดของแผ่นออริฟิส

ชนิดของแผ่นออริฟิสมี 4 รูปแบบ ดังนี้ [7]

2.3.2.1 แบบศูนย์กลางร่วม (Concentric Orifice)

เป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิส มีการใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมมากที่สุด สามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นของไหลที่มีสารแขวนลอยมีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็งและของไหลที่มีความหนืดสูง ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม มีลักษณะดังรูปที่ 2.7

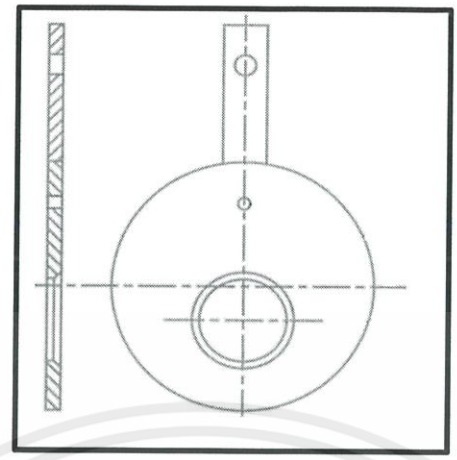


รูปที่ 2.7 แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม

2.3.2.2 แบบเยื้องศูนย์ (Eccentric Orifice)

แผ่นออริฟิสในรูปแบบนี้จะมีรูเยื้องลงมาทางด้านล่างของแผ่นออริฟิสที่ติดตั้งอยู่ภายในท่อ เพื่อลดการตกค้างของสารแขวนลอย หรือ การตกตะกอนที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นออริฟิส เหมาะสมกับของไหลที่มีสารแขวนลอยมีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.8

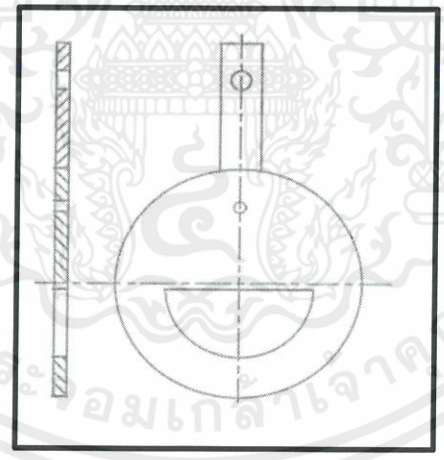
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์

2.3.2.3 แบบเซกเมนต์ (Segmental Orifice)

แผ่นออริฟิสแบบชนิดนี้มีลักษณะเป็นช่องครึ่งวงกลม อาจจะถูกติดตั้งอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ เหมาะสมกับของไหลที่มีสารแขวนลอยมีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.9

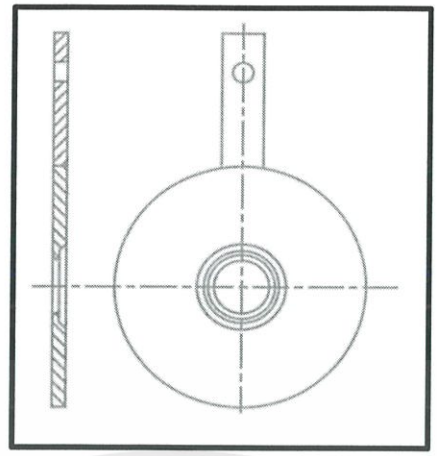


รูปที่ 2.9 แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์

2.3.2.4 แบบเผยปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Orifice)

แผ่นออริฟิสแบบนี้รูทางด้านเข้าจะเอียงประมาณ 1/4 ของวงกลม และเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงๆ ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบเผยปากรูปโค้งมีลักษณะดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง

2.3.3 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง (Pressure Tappings)

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสซึ่งใช้หลักการความดันแตกต่าง เพื่อมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลต้องมีจุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างทั้งทางด้านหน้า (Upstream) และทางด้านหลัง (Downstream) เพื่อนำมาไปต่อเข้าอุปกรณ์สำหรับวัดความดันแตกต่างซึ่งก็คือทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) รูปแบบจุดต่อสำหรับวัดค่าความดัน มี 3 รูปแบบ ได้แก่ [7]

2.3.3.1 จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Tappings)

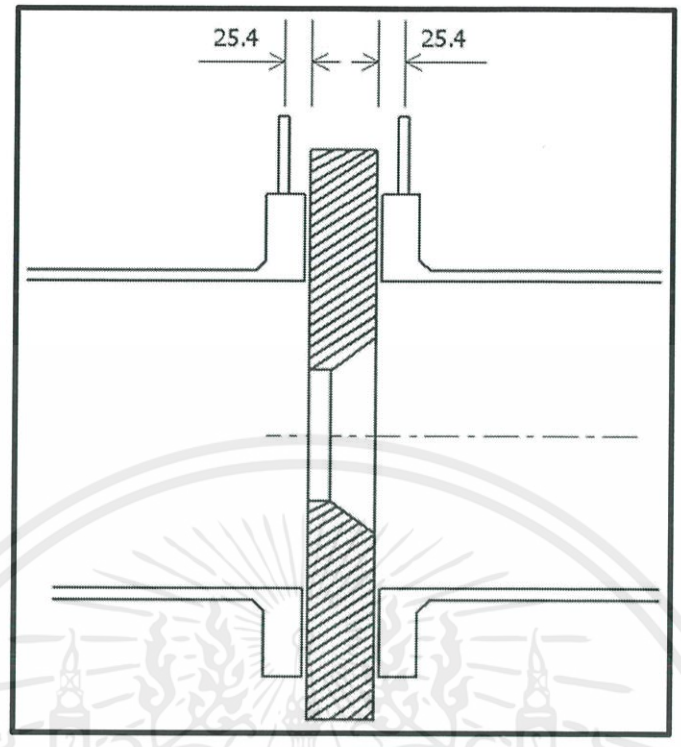
จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งจุดต่อความดันทางด้านหน้า (Upstream) จะวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1 นิ้ว หรือ 25.4 มิลลิเมตร ส่วนจุดต่อความดันทางด้านหลัง (Downstream) จะวัดจากทางด้านหลังของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1 นิ้ว หรือ 25.4 มิลลิเมตรเช่นกัน ระยะของจุดต่อความดันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าเบต้า (β) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (D) ลักษณะจุดต่อที่หน้าแปลน มีลักษณะดังรูปที่ 2.11

- $\beta > 0.6$ และ $D < 150mm$ ระยะจุดต่อความดันทางด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) เป็น 25.4 มิลลิเมตร $\pm$ 0.5 มิลลิเมตร

- $\beta \leq 0.6$ หรือ $\beta > 0.6$ แต่ $150mm < D < 1000mm$ ระยะจุดต่อความดันทางด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) เป็น 25.4 มิลลิเมตร $\pm$ 1 มิลลิเมตร

** ในทางอุตสาหกรรม รูปแบบจุดต่อความดันนี้ถูกใช้งานมากที่สุด เนื่องจากติดตั้งได้ง่าย **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Tappings)

2.3.3.2 จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Tappings)

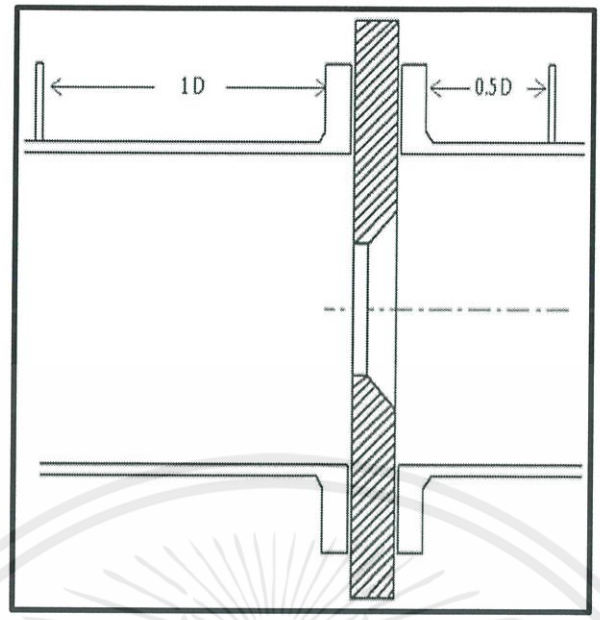
จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่ท่อ โดยจุดต่อความดันด้านหน้า (Upstream) จะวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1D และจุดต่อความดันด้านหลัง (Downstream) จะวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 0.5D เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ระยะของจุดต่อวัดความดันอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ลักษณะจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D มีลักษณะดังรูปที่ 2.12

ในกรณีของด้านหน้า (Upstream) จุดต่อความดันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0.9D และ 1.1D

ในกรณีของด้านหลัง (Downstream) จุดต่อความดันอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าเบต้า

- $\beta \leq 0.6$ ระยะจุดต่อความดันอยู่ระหว่าง 0.48D และ 0.52D
- $\beta > 0.6$ ระยะจุดต่อความดันอยู่ระหว่าง 0.49D และ 0.51D

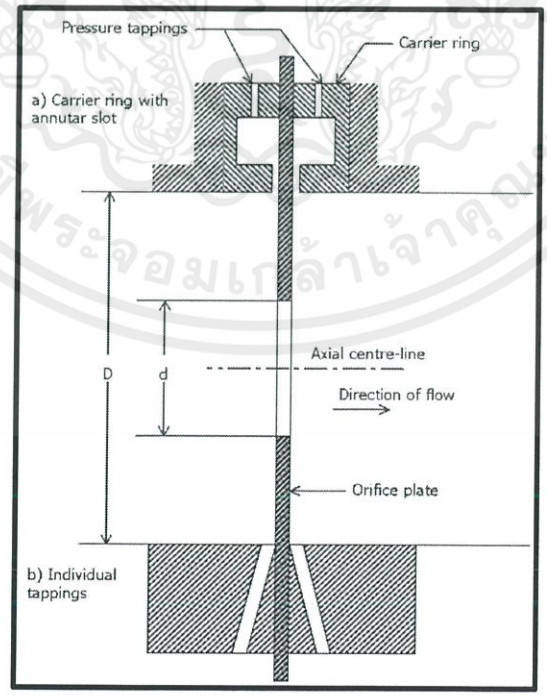
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Tappings)

2.3.3.3 จุดต่อที่แผ่นออริฟิส (Corner Tappings)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งติดกับแผ่นออริฟิสทั้งด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) เหมาะสำหรับท่อที่มีขนาดน้อยกว่า 3 นิ้ว ลักษณะจุดต่อที่แผ่นออริฟิส มีลักษณะดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 จุดต่อที่แผ่นออริฟิส (Corner Tappings)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การคำนวณค่าขนาดรูของแผ่นออริฟิส

ในการใช้แผ่นออริฟิส สำหรับวัดอัตราการไหลนั้น เป็นการใช้หลักการจากความดันแตกต่าง ซึ่งความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามขนาดรูของแผ่นออริฟิส หากรูของแผ่นออริฟิสใหญ่ ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย หรือหากรูของแผ่นออริฟิสเล็กความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจะมีค่ามาก ดังนั้น ความดันแตกต่างจึงมีผลอย่างมากในการคำนวณรู เราจึงต้องกำหนดค่าความดันแตกต่าง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส (Bore Diameter) สำหรับการคำนวณในปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยในการคำนวณ ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้อาจนำมาจากบริษัทผู้จำหน่ายหรือบริษัทที่เขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณตามมาตรฐานต่าง ๆ โดยตรง ส่วนผู้ใช้ต้องจัดเตรียมข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

1. ชนิดของของไหล (Fluid Name) เช่น ก๊าซฮีเลียม (Helium Gas) ไอน้ำ (Steam) เป็นต้น

2. สถานะของของไหล (Fluid State) แบ่งออกเป็น ของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas)

3. อัตราการไหลสูงสุด ปกติ ต่ำสุด (Maximum/ Normal/ Minimum Flow) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของอัตราการไหลเชิงมวลหรืออัตราการไหลเชิงปริมาตร

4. ความดันในขณะทำงาน (Operating Pressure)

5. อุณหภูมิในขณะทำงาน (Operating Temperature)

6. ความดันที่ออกแบบ (Design Pressure)

7. อุณหภูมิที่ออกแบบ (Design Temperature)

สำหรับของไหลที่เป็นก๊าซ (Gas or Vapour) ข้อมูลที่ต้องทราบเพิ่มเติมประกอบด้วย

- น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)
- ความสามารถในการอัดตัว (Compressibility)
- อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio)

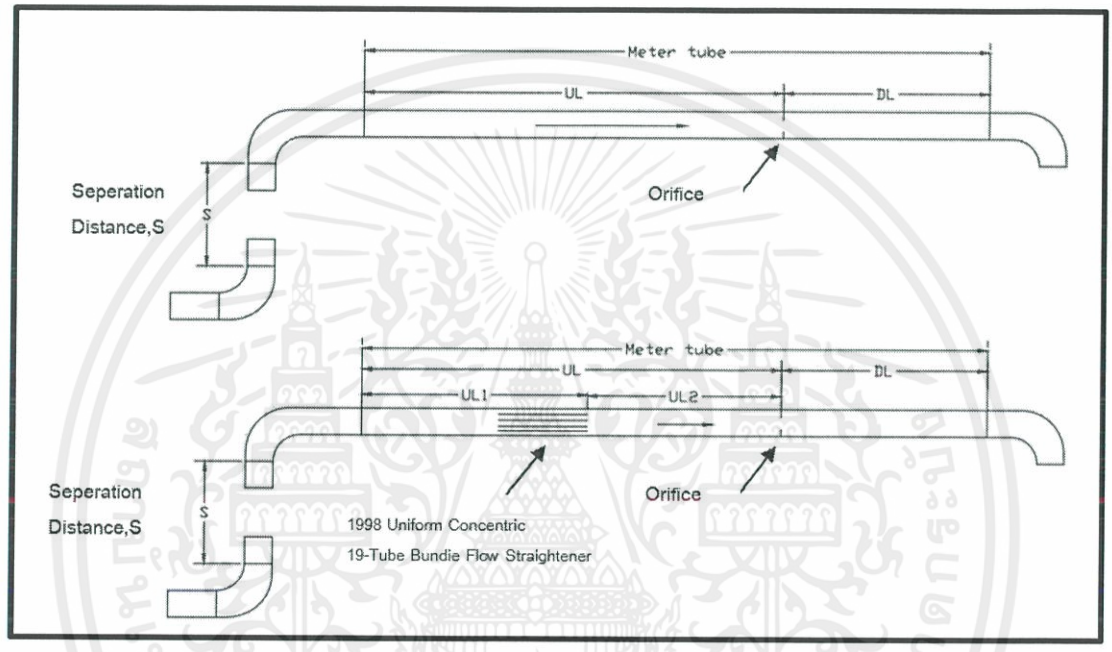
สำหรับของไหลที่เป็นของเหลว ข้อมูลที่ต้องทราบเพิ่มเติมประกอบด้วย

- ค่าความหนาแน่น (Density) บางครั้งอาจจะบอกมาในรูปของค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว (Specific Gravity) เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของของไหลกับความหนาแน่นของน้ำ โดยความหนาแน่นของน้ำมีค่า 1,000 kg / m^3
- ค่าความหนืด (Viscosity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การติดตั้งแผ่นออริฟิส

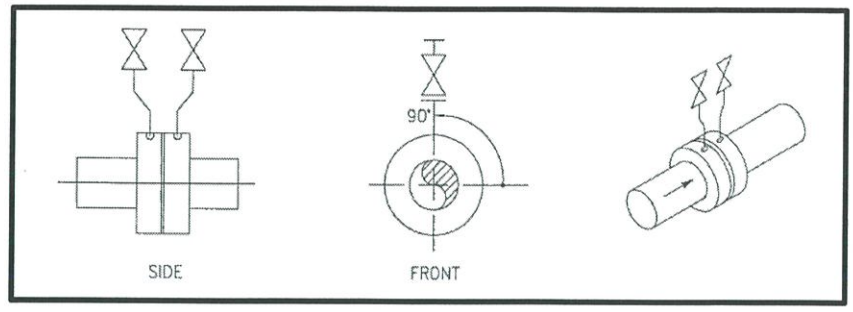
แผ่นออริฟิส (Orifice Plate) ถูกติดตั้งในลักษณะกีดขวางการไหล โดยระนาบของแผ่นต้องตั้งฉากกับทิศทางของการไหลและมีรูปแบบของการไหล (Flow Profile) ไม่เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นอุปกรณ์การวัดชนิดนี้ต้องการระยะท่อทางตรง (Straight Run) ทั้งทางด้านหน้า (Upstream) และทางด้านหลัง (Downstream) ให้มีระยะตามมาตรฐานที่กำหนด ดังรูปที่ 2.14 สามารถดูเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 2.3



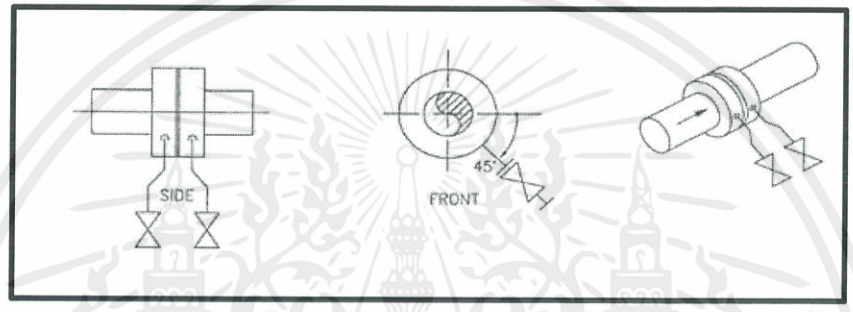
รูปที่ 2.14 แสดงระยะความยาวท่อก่อนวางแผ่นออริฟิส [2]

แผ่นออริฟิสไม่สามารถที่จะวัดค่าความดันที่เกิดจากการไหลได้โดยตรง จำเป็นต้องมีการต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดความดันชนิดอื่นเพื่อวัดค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น รูปแบบการติดตั้งแผ่นออริฟิสกับทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง แบ่งเป็นการติดตั้งแบบอิมพัลส์ไลน์และการติดตั้งแบบระยะไกล ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งรูปแบบใดจะต้องมีวาล์วชนิดหนึ่ง (Block Valve) ทำหน้าที่กั้นของไหลในระบบถูกติดตั้งไว้ เพื่อสะดวกต่อการซ่อมบำรุงและนำทรานส์มิตเตอร์ไปสอบเทียบ ซึ่งตำแหน่งของจุดติดตั้งอิมพัลส์ไลน์ สำหรับวัดความดันก็แตกต่างกันตามสถานะของของไหล ซึ่งจุดต่อความดันเมื่อของไหลมีสถายะเป็นก๊าซ ของเหลว และไอน้ำ จะมีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 2.15 2.16 และ 2.17 ตามลำดับ

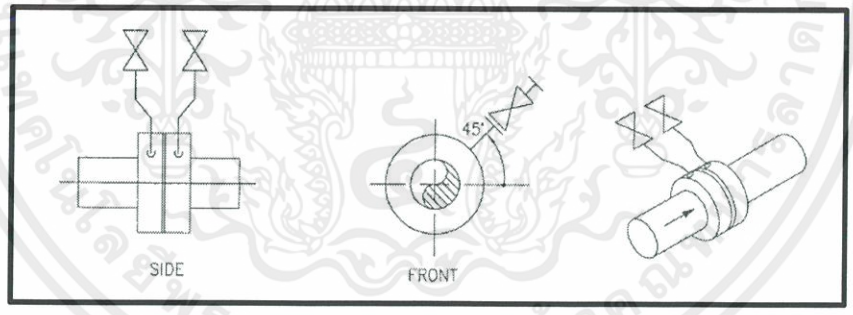
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นก๊าซ [7]



รูปที่ 2.16 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นของเหลว [7]



รูปที่ 2.17 จุดต่อความดัน เมื่อของไหลสถานะเป็นไอน้ำ [7]

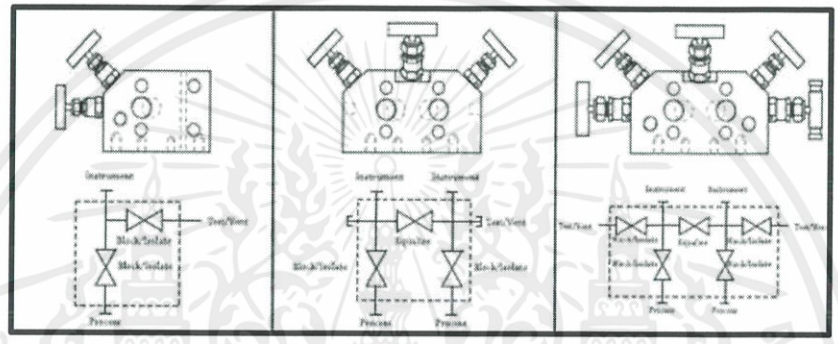
2.3.5.1 การติดตั้งจุดต่อความดันแบบอิมพัลส์ไลน์

การติดตั้งแบบอิมพัลส์ไลน์ ดังรูปที่ 2.19 เหมาะสำหรับการใช้กับของไหลในกระบวนการที่ไม่มีตะกอน สะอาด ไม่เป็นสารกัดกร่อน โดยจะมีท่อสามารถดัดงอได้ ระยะความชันของท่อมีค่าประมาณ 1:12 นิ้ว ตามมาตรฐาน API RP 551 ที่มีการระบุไว้ การติดตั้งในทิศทางขึ้นสำหรับของไหลที่เป็นก๊าซและการติดตั้งในทิศทางลง สำหรับของไหลที่เป็นของเหลวหรือไอน้ำ การติดตั้งในลักษณะนี้ของไหลในกระบวนการจะต้องไหลผ่านวาล์วมานิโฟลด์ (Valve Manifold)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

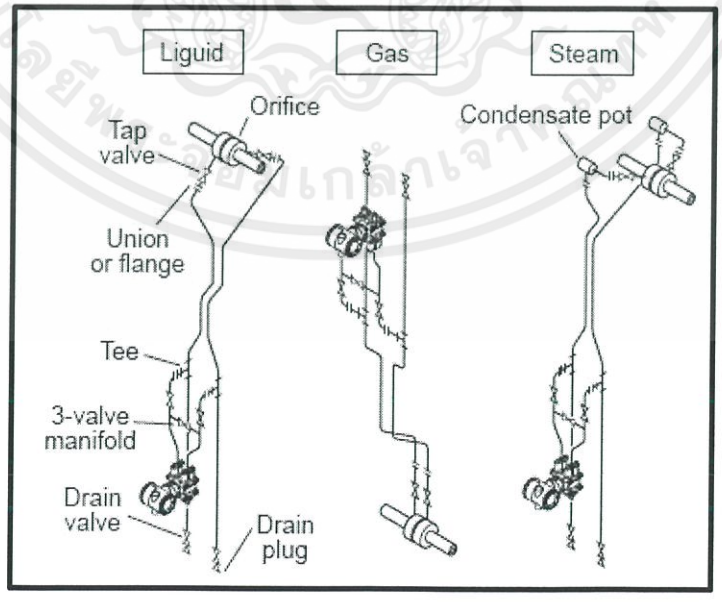
ดังรูปที่ 2.18 ก่อนเข้าตัวอุปกรณ์ทรานส์มิตเตอร์ ประเภทของวาล์วมานิโฟลด์ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ [7]

1. Valve Manifold (Block and Bleed) ประกอบด้วย Isolate Valve และ Vent Valve อย่างละ 1 ตัว
2. Valve Manifold (Double Block and Bleed) ประกอบด้วย Isolate Valve Equalize Valve และ Vent Valve อย่างละ 1 ตัว
3. Valve Manifold ประกอบด้วย Isolate Valve 2 ตัว Equalize Valve 1 ตัว และ Vent Valve 2 ตัว



รูปที่ 2.18 วาล์วมานิโฟลด์

ประโยชน์ของ Valve Manifold คือ ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและสอบเทียบโดยที่ไม่ต้องหยุดกระบวนการ โดย Isolate Valve และ Vent Valve มีหน้าที่ระบายแรงดันและของไหลออก ส่วน Equalize Valve มีหน้าที่สำหรับปรับค่าความดันทั้ง 2 ด้านให้มีค่าเท่ากัน

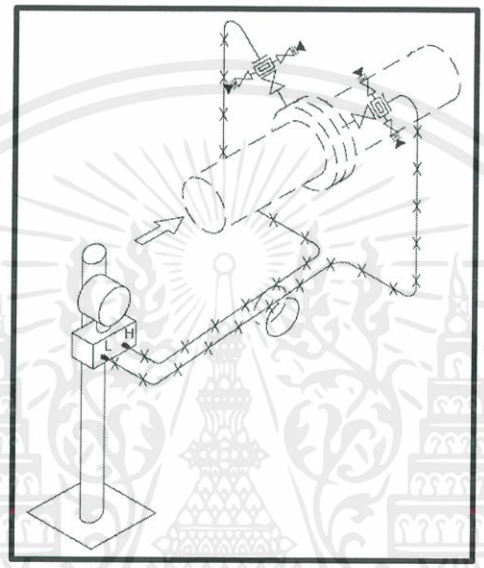


รูปที่ 2.19 การติดตั้งแบบอิมพัลส์ไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.2 การติดตั้งจุดต่อความดันแบบระยะไกล

การติดตั้งจุดต่อความดันแบบระยะไกล ดังรูปที่ 2.20 เหมาะสำหรับการใช้ในกรณีที่ของไหลในกระบวนการมีตะกอน มีการกัดกร่อนและมีความหนืดสูง เพื่อไม่ให้ของไหลในกระบวนการเข้าสู่ตัวอุปกรณ์ทรานส์มิตเตอร์จึงต้องมีไดอะแฟรมซีล เป็นตัวป้องกันไม่ให้ของไหลในกระบวนการผ่านเข้าไปในท่อคัปพิลลารี่ แล้วใช้คุณสมบัติการถ่ายเทแรงดันที่ไดอะแฟรมเข้าสู่ทรานส์มิตเตอร์



รูปที่ 2.20 การติดตั้งแบบระยะไกล

2.3.6 ข้อดีและข้อเสียของแผ่นออริฟิส

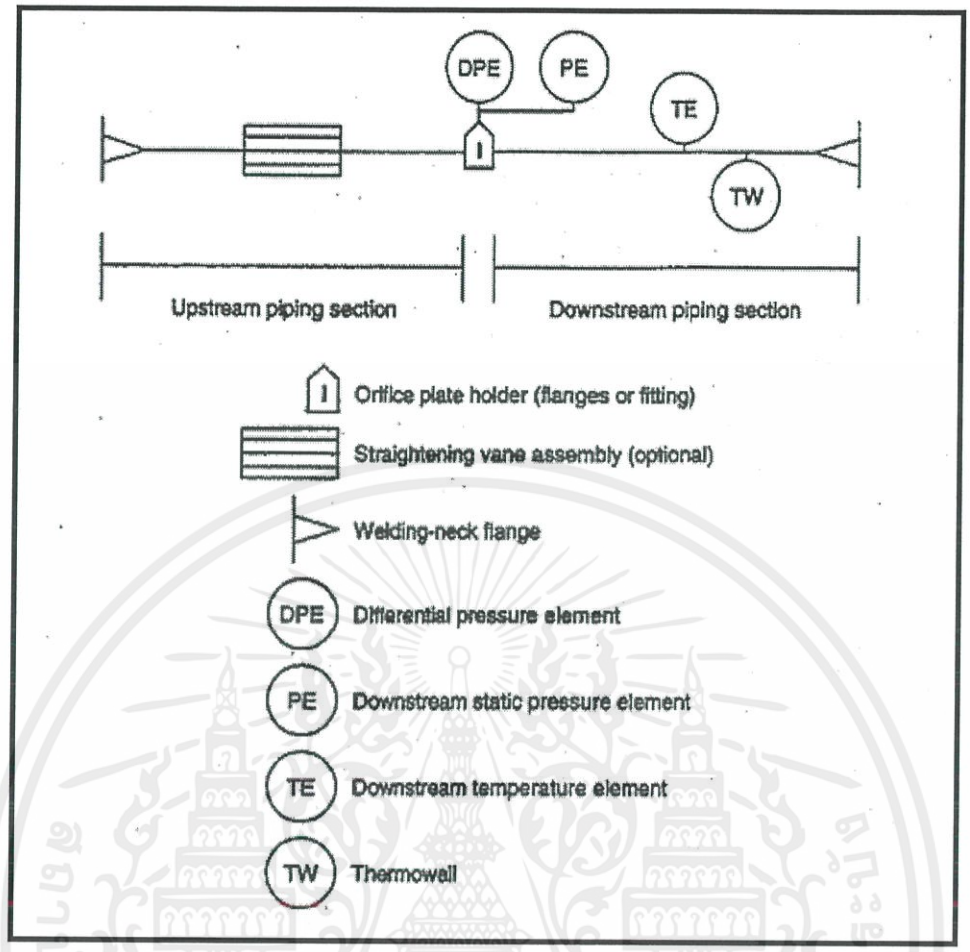
ข้อดี 1. มีราคาถูกและมีวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้
2. สะดวกต่อการติดตั้ง

ข้อเสีย 1. หากเลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสม อาจส่งผลทำให้โค้งงอหรือสึกหลอได้ง่าย
2. มีการสูญเสียความดันถาวรสูง

2.4 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การวัด

ตามมาตรฐานนี้ได้ออกแบบ สร้าง และวิธีการติดตั้งให้กับการจุดต่อวัดความดันในแบบจุดต่อหน้าแปลน ชนิดออริฟิสแบบมีศูนย์กลางร่วม ตั้งแต่ท่อที่มีขนาด 2 นิ้ว ความหนาท่อ SCD 160 จนไปถึงท่อที่มีขนาดใหญ่สุด สามารถดูการติดตั้งได้ในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ระยะการติดตั้งออริฟิส โดยไม่มีตัวปรับสภาพการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง [2]

Diameter ratio	Minimum Straight Unobstructed Meter Tube Length from the Upstream Side of the Orifice Plate (in multiples of published internal pipe diameter, D_t)										
	a.Single 90° elbow b.Two 90° elbows in the same plane with $S>30D_t$ c.Two 90° elbows in perpendicular planes with $S>15D_t$	Two 90° elbows in the same plane "S" configuration spacer $S\leq 10D_t$	Two 90° elbows in the same plane "S" configuration $10D_t < S \leq 30D_t$	Two 90° elbows in perpendicular planes, $S<5D_t$	Two 90° elbows in perpendicular planes, $5D_t \leq S \leq 15D_t$	Single 90° Tee used as an elbows but not as a header element	a.Single 45° elbow b.Two 45° elbows in the same plane "S" configuration $S\geq 22D_t$	Gate Valve at least 50% open	Concentric reducer	Any other configuration (catch all category)	Downstream meter tube length
	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	DL
≤ 0.20	6	10	10	50	19	9	30	17	6	70	2.8
0.30	11	10	12	50	32	9	30	19	6	108	3.0
0.40	16	10	13	50	44	9	30	21	6	145	3.2
0.50	30	30	18	95	44	19	30	25	7	145	3.5
0.60	44	44	30	95	44	29	30	30	9	145	3.9
0.67	44	44	44	95	44	36	44	35	11	145	4.2
0.75	44	44	44	95	44	44	44	44	13	145	4.5
Recommended Length for maxi-mum range $\beta \leq 0.75$	44	44	44	95	44	44	44	44	13	145	4.5

Notes: UL คือ ความยาวของ Meter Tube ด้าน Upstream ก่อนถึงแผ่นออริฟิส โดยอ้างอิงจาก β ในตาราง

DL คือ ความยาวของ Meter Tube ด้าน Downstream หลังแผ่นออริฟิส โดยอ้างอิงจาก β ในตาราง

จากตารางที่ 2.4 ระยะการติดตั้งออริฟิส โดยไม่มีตัวปรับสภาพการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นการเลือกระยะท่อด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) นั่นคือ UL และ DL ในรูปที่ 2.14 ในการติดตั้งแผ่นออริฟิสจะต้องติดตั้งอยู่กับท่อในส่วนที่รูปแบบการไหลของของไหลที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้น ความยาวของท่อด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) ต้องเหมาะสม เพราะความยาวของท่อที่เหมาะสม จะทำให้การเรียงตัวของอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ จะส่งผลทำให้การวัดอัตราการไหลนั้นแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งค่าในตารางเป็นค่าขนาดความยาวท่ออย่างน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AGA Report No.3

ตัวอย่างเช่น ออกแบบความยาวท่อ โดยมีค่าเบต้า เท่ากับ 0.43 เลือกค่าจากตารางโดยเลือกข้อ a. Single 90° elbow คือมีข้องอ ระยะ 90 องศา เพราะฉะนั้นความยาวท่อทางด้านหน้า (Upstream) จะมีความยาวขั้นต่ำ เท่ากับ 16 นิ้ว หรือ 406.4 มิลลิเมตร และความยาวท่อด้านหลัง (Downstream) ขั้นต่ำ 3.2 นิ้ว หรือ 81.28 มิลลิเมตร ส่วนความยาวของท่อทั้งสองฝั่งมากสุดขึ้นอยู่กับการออกแบบตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการออกแบบแผ่นออริฟิส หน้าแปลน และการเลือกอุปกรณ์การวัดเพิ่มเติม

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์วัดอัตราการไหล นั่นคือ การออกแบบแผ่นออริฟิส การเลือกขนาดและความยาวของท่อ ทางด้านหน้า (Upstream) ความยาวของท่อทางด้านหลัง (Downstream) การติดตั้งอุปกรณ์ โดยเริ่มจากการศึกษาข้อกำหนดต่างๆ รายละเอียดของอุปกรณ์การวัดการไหลด้วยแผ่นออริฟิส รวมไปถึงรายละเอียดในการนำไปติดตั้ง เพื่อใช้เป็นหลักการเบื้องต้นในการเลือกใช้การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสสำหรับนำไปใช้งานอย่างเหมาะสม

3.1 การออกแบบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลก๊าซ

ในการออกแบบ เริ่มจากศึกษาการออกแบบออริฟิสตามมาตรฐาน AGA Report No.3 จากนั้นทำการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิสที่เหมาะสม

3.1.1 การออกแบบแผ่นออริฟิส

สำหรับการออกแบบแผ่นออริฟิสสิ่งสำคัญ คือ ข้อมูลพารามิเตอร์ของกระบวนการ ได้แก่

อัตราการไหลของก๊าซ (สูงสุด)	:	220 kg/hr
(ปกติ)	:	132 kg/hr
ความดันทำงาน	:	1.0132 bar
ความดันออกแบบด้านดาวน์สตรีม	:	9.8 bar
อุณหภูมิทำงาน	:	30 $^{\circ}C$
อุณหภูมิออกแบบ	:	60 $^{\circ}C$
ค่าความหนืด	:	0.01158 cP
ค่าความหนาแน่น	:	6.33825 kg/m^3
ค่าความบีบอัดตัวของก๊าซ	:	0.98413

และต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางดังนี้

- ขนาดท่อ ขนาด 2 นิ้ว (DN50) มีความหนาของผนังท่อ (Pipe Schedule) เท่ากับ 40 (3.91 มิลลิเมตร)
- วัสดุของแผ่นออริฟิสตามข้อกำหนดของผู้ใช้งานโดยใช้เป็น สแตนเลสสตีล 304
- วัสดุของท่อและหน้าแปลนตามข้อกำหนดผู้ใช้งาน โดยใช้เป็น สแตนเลสสตีล 304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกขนาดหน้าแปลนตามอัตราการทนความดันของท่อ ในที่นี้เลือกอัตราการทนความดันต่ำสุดเป็น Class 300 (สามารถดูค่าการออกแบบหน้าแปลนเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 3.2)
- ชนิดของออริฟิสเป็นแบบจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric) เพราะ ของไหลมีความหนืดไม่มากและไม่มีสิ่งเจือปน และเลือกจุดต่อความดันเป็นแบบ Flange Tap
- ความดันแตกต่างจากแผ่นออริฟิส เท่ากับ 45 มิลลิบาร์

จากข้อมูลข้างต้นนี้เป็นข้อมูลทั้งหมดที่ต้องนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดรูของแผ่นออริฟิส เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรต่างๆที่เลือกใช้นั้นเหมาะสมกับการนำไปใช้โดยการออกแบบแผ่นออริฟิสนี้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน AGA Report No.3 เท่านั้น

ขนาดรูของแผ่นออริฟิส ค่าเบต้า ได้มาจากการคำนวณ โดยค่าที่คำนวณได้จะถูกใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากบริษัทผู้จัดจำหน่าย ตามรูปแบบข้อกำหนดของโครงการ ซึ่งค่าเบต้าควรจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.75 และความดันสูญเสียถาวรต้องไม่เกิน 0.42 บาร์ การคำนวณอยู่บนพื้นฐานสมการอัตราการไหลเชิงมวลตามมาตรฐาน AGA Report No.3 ดังสมการที่ (3.1)

$$q_m = \frac{\pi}{4} N_c C_d(\mathrm{FT}) E_v \, \mathrm{Y} \, d^2 \sqrt{2\rho_{t,p}\Delta P} \qquad (3.1)$$

เมื่อ q_m คือ อัตราการไหลเชิงมวล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

π คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.14159

N_c คือ ค่าคงที่ตามมาตรฐาน AGA Report No.3

$C_d(FT)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อย

E_v คือ ค่าความเร็วที่เข้าใกล้ระดับที่ใช้วัดมาตรฐาน

Y คือ ปัจจัยการขยายตัวที่ขึ้นอยู่กับการบีบอัดตัวของของไหล

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$\rho_{t,p}$ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ΔP คือ ค่าความดันแตกต่าง มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์

สมการคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางออริฟิส สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$\begin{aligned} d &= d_r[1+\alpha_1(T_f - T_r)] \qquad (3.2) \\ &= (22.98)[1+0.0000167(30-15)] \\ &= 22.9858 \ mm \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

d_r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสที่อ้างอิงตามอุณหภูมิอ้างอิง ณ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 22.98 มิลลิเมตร ได้จากโปรแกรม Flow Consultant

α_1 คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของสแตนเลสสตีล 304 (สามารถดูค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ในตารางที่ 2.2)

T_f คือ อุณหภูมิขณะทำงาน มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิงตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มีค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

สมการคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์ท่อ สามารถหาได้จากสมการที่ (3.3)

$$D = D_r[1+\alpha_2(T_f - T_r)] \tag{3.3}$$
$$= (52.50)[1+0.0000167(30-15)]$$
$$= 52.5132\ mm$$

โดย D_r หาได้จาก Internal Diameter = Outsize Diameter – 2(Thickness)

= 60.32 – 2(3.91)

= 52.50 มิลลิเมตร

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

D_r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อที่อ้างอิงตามอุณหภูมิอ้างอิง ณ 15 องศาเซลเซียส (สามารถดูค่าตารางท่อได้ในตารางที่ 2.1)

α_2 คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของสแตนเลสสตีล 304 (สามารถดูค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ในตารางที่ 2.2)

T_f คือ อุณหภูมิขณะทำงาน มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิงตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มีค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

สมการคำนวณหาค่าเบต้า สามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$\beta = \frac{d}{D} \tag{3.4}$$
$$= \frac{22.9858}{52.5152}$$
$$= 0.43769$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิส มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

สมการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย สามารถหาได้จากสมการที่ (3.5)

$$C_d(FT) = F_c + F_{sl} \tag{3.5}$$

สมการนี้สามารถคำนวณหาได้จากค่า F_c และ F_{sl} ซึ่งใช้ได้กับค่าเบต้าอยู่ในช่วง 0.1 - 0.75 โดยขนาดรูแผ่นออริฟิส ต้องมีขนาดมากกว่า 0.45 นิ้ว และค่าเรย์โนลด์ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4000

ค่า F_c สามารถคำนวณได้จากการแทนค่า β จากสมการที่ (3.4) , D จากสมการที่ (3.3) และ Re_D มีค่าเท่ากับ 127956 ลงในสมการที่ (2.20) จะได้

$$\begin{aligned} F_c &= 0.5961 + (0.0291)(0.43)^2 - (0.2290)(0.43)^8 \\ &+(0.0433 + (0.0712)(2.71828)^{-8.5/2.067528} - (0.1145)(2.71828)^{-6.0/2.067528})[1 - 0.23(\frac{19{,}000(0.43)}{127956})^{0.8}]\frac{0.43^4}{1-0.43^4} \\ &-0.0116[\frac{2}{(2.71828)(1-0.43)} - 0.52(\frac{2}{(2.71828)(1-0.43)})^{1.3}](0.43)^{1.1}[1 - 0.14(\frac{19{,}000(0.43)}{127956})^{0.8}] \quad (3.6) \\ &= 0.60132281242 \end{aligned}$$

สำหรับท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง น้อยกว่า 2.8 นิ้ว ค่า F_c ต้องคำนวณเพิ่มจากการแทนค่า F_c จากสมการที่ (3.6) , β จากสมการที่ (3.4) , D จากสมการที่ (3.3) ลงในสมการที่ (2.21) จะได้

$$\begin{aligned} F_c' &= 0.60132281242 + 0.003(1 - 0.43)(2.8 - 2.067528) \quad (3.7) \\ &= 0.6025806513 \end{aligned}$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อมีหน่วยเป็นนิ้ว

e คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.71828

F_c คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อแผ่นออริฟิส

F_c' คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อแผ่นออริฟิส สำหรับท่อที่มีขนาดน้อยกว่า 2.8 นิ้ว

Re_D คือ ตัวเลขเรย์โนลด์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกลักษณะของการไหล

β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า F_{sl} สามารถคำนวณได้จากการแทนค่า β จากสมการที่ (3.4) , Re_D มีค่าเท่ากับ 127956 (นำค่ามาจากโปรแกรม Flow Consultant) ลงในสมการที่ (2.20) จะได้

$$F_{sl} = 0.000511\left(\frac{1,000,000(0.43)}{127956}\right)^{0.7} + \left[0.0210 + 0.0049\left(\frac{19,000(0.43)}{127956}\right)^{0.8}\right]\beta^4\left(\frac{1,000,000(0.43)}{127956}\right)^{0.35} \quad (3.8)$$
$$= 2.319399877\times10^{-3}$$

เมื่อ F_{sl} คือ ปัจจัยความชัน สำหรับจุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน

Re_D คือ ตัวเลขเรย์โนลด์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกลักษณะของการไหล

β คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

ทำการแทนค่า F_c จากสมการที่ (3.7) และ F_{sl} จากสมการที่ (3.8) ลงในสมการที่ (3.5) จะได้

$$C_d(FT) = F_c + F_{sl}$$
$$= 0.6025806513 + 2.319399877\times10^{-3}$$
$$= 0.6049000512$$

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยแล้วสามารถนำค่าที่ได้เทียบในตารางที่ 3.1 สำหรับท่อขนาด 2 นิ้ว และมีค่าเบต้า เท่ากับ ≈ 0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย สำหรับท่อขนาด 2 นิ้ว

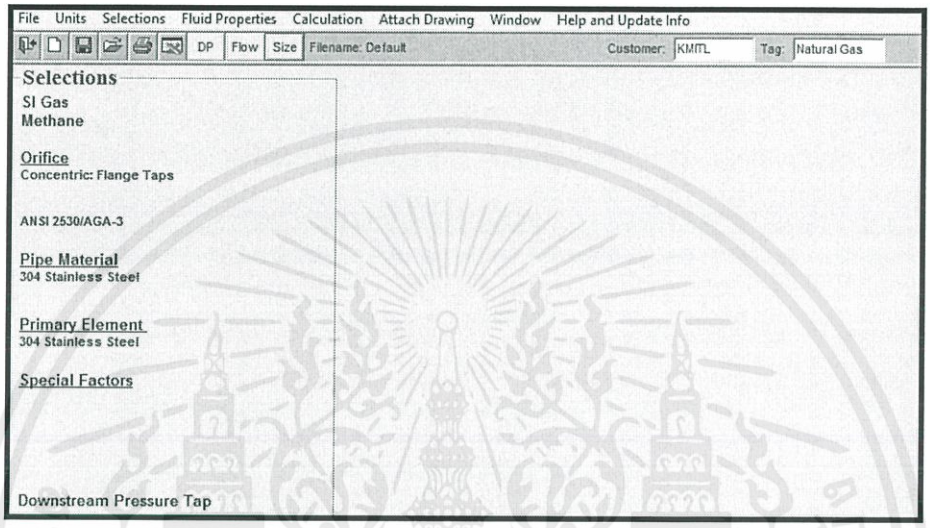
PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.60014	0.59940	0.59883	0.59873	0.59862	0.59860	0.59858	0.59857	0.59857	0.59857
0.04	0.60102	0.59981	0.59890	0.59873	0.59854	0.59851	0.59847	0.59847	0.59846	0.59846
0.06	0.60178	0.60016	0.59895	0.59872	0.59848	0.59844	0.59839	0.59838	0.59837	0.59837
0.08	0.60248	0.60050	0.59901	0.59873	0.59843	0.59838	0.59832	0.59826	0.59824	0.59829
0.10	0.60315	0.60083	0.59908	0.59875	0.59840	0.59834	0.59827	0.59826	0.59824	0.59824
0.12	0.60381	0.60116	0.59916	0.59879	0.59839	0.59832	0.59824	0.59823	0.59821	0.59821
0.14	0.60448	0.60150	0.59927	0.59886	0.59841	0.59832	0.59823	0.59821	0.59820	0.59819
0.16	0.60515	0.60187	0.59940	0.59894	0.59844	0.59835	0.59825	0.59823	0.59820	0.59820
0.18	0.60586	0.60226	0.59955	0.59905	0.59850	0.59840	0.59828	0.59826	0.59824	0.59823
0.20	0.60660	0.60269	0.59974	0.59919	0.59859	0.59848	0.59835	0.59832	0.59829	0.59829
0.22	0.60738	0.60315	0.59996	0.59936	0.59871	0.59858	0.59844	0.59841	0.59838	0.59837
0.24	0.60823	0.60367	0.60022	0.59957	0.59886	0.59872	0.59856	0.59853	0.59849	0.59848
0.26	0.60914	0.60423	0.60052	0.59982	0.59904	0.59889	0.59871	0.59867	0.59863	0.59862
0.28	0.61014	0.60487	0.60087	0.60011	0.59926	0.59909	0.59889	0.59885	0.59880	0.59878
0.30	0.61123	0.60557	0.60127	0.60045	0.59952	0.59933	0.59911	0.59906	0.59900	0.59898
0.32	0.61243	0.60635	0.60173	0.60084	0.59982	0.59962	0.59936	0.59931	0.59923	0.59921
0.34	0.61375	0.60722	0.60224	0.60128	0.60017	0.59994	0.59965	0.59959	0.59880	0.59948
0.36	0.61522	0.60818	0.60282	0.60178	0.60056	0.60030	0.59998	0.59990	0.59900	0.59978
0.38	0.61683	0.60926	0.60347	0.60234	0.60100	0.60071	0.60034	0.60026	0.59923	0.60011
0.40	0.61862	0.61044	0.60419	0.60296	0.60149	0.60117	0.60075	0.60065	0.60051	0.60047
0.42	0.62059	0.61175	0.60499	0.60332	0.60202	0.60167	0.60119	0.60108	0.60091	0.60087
0.44	0.62276	0.61319	0.60586	0.60440	0.60261	0.60221	0.60167	0.60154	0.60134	0.60129
0.46	0.62515	0.61476	0.60682	0.60522	0.60324	0.60279	0.60218	0.60203	0.60180	0.60174
0.48	0.62777	0.61647	0.60784	0.60610	0.60391	0.60341	0.60271	0.60254	0.60228	0.60221
0.50	0.63063	0.61833	0.60895	0.60703	0.60462	0.60406	0.60327	0.60307	0.60278	0.60270
0.52	0.63374	0.62034	0.61012	0.60803	0.60536	0.60473	0.60384	0.60361	0.60327	0.60318
0.54	0.63712	0.62249	0.61136	0.60906	0.60612	0.60541	0.60441	0.60415	0.60376	0.60366
0.56	0.64077	0.62479	0.61265	0.61014	0.60688	0.60609	0.60497	0.60467	0.60423	0.60411
0.58	0.64470	0.62722	0.61399	0.61123	0.60763	0.60675	0.60549	0.60516	0.60465	0.60451
0.60	0.64890	0.62978	0.61535	0.61341	0.60836	0.60738	0.60596	0.60558	0.60501	0.60486
0.62	0.65337	0.63246	0.61671	0.61445	0.60903	0.60794	0.60636	0.60593	0.60529	0.60511
0.64	0.65811	0.63524	0.61806	0.61542	0.60963	0.60842	0.60665	0.60617	0.60545	0.60525
0.66	0.66309	0.63809	0.61937	0.61629	0.61012	0.60878	0.60681	0.60628	0.60546	0.60523
0.68	0.66823	0.64098	0.62061	0.61703	0.61047	0.60899	0.60680	0.60621	0.60529	0.60504
0.70	0.67369	0.64389	0.62174	0.61014	0.61066	0.60902	0.60660	0.60593	0.60491	0.60463
0.72	0.67369	0.64679	0.62274	0.61762	0.61064	0.60884	0.60615	0.60542	0.60428	0.60396
0.74	0.68494	0.64964	0.62358	0.61802	0.61040	0.60842	0.60546	0.60464	0.60338	0.60303
0.75	0.68781	0.65103	0.62394	0.61815	0.61019	0.60812	0.60501	0.60415	0.60282	0.60245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

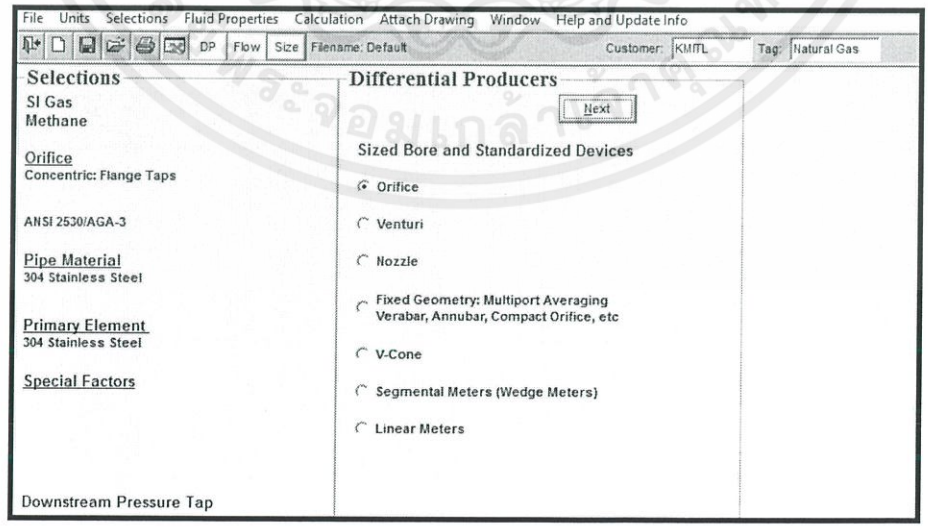
3.1.2 การใช้โปรแกรม Flow Consultant ในการคำนวณหาขนาดรูออริฟิส

โปรแกรม Flow Consultant เป็นโปรแกรมของ R.W.Miller and Associates สามารถใช้ออกแบบแผ่นออริฟิส เวนทูรี่ นอซเซิล เป็นต้น โดยโปรแกรม Flow Consultant มีสองกลุ่มมาตรฐานหลักๆที่ใช้รองรับในการออกแบบ ได้แก่ ANSI-2530/AGA-3/API-Ch.14 (1992-) และ ISO-5167 (2003-), ASME3M (2004-) สามารถดูการใช้งานโปรแกรมได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 เลือกหน่วยตามที่มาตรฐานกำหนด

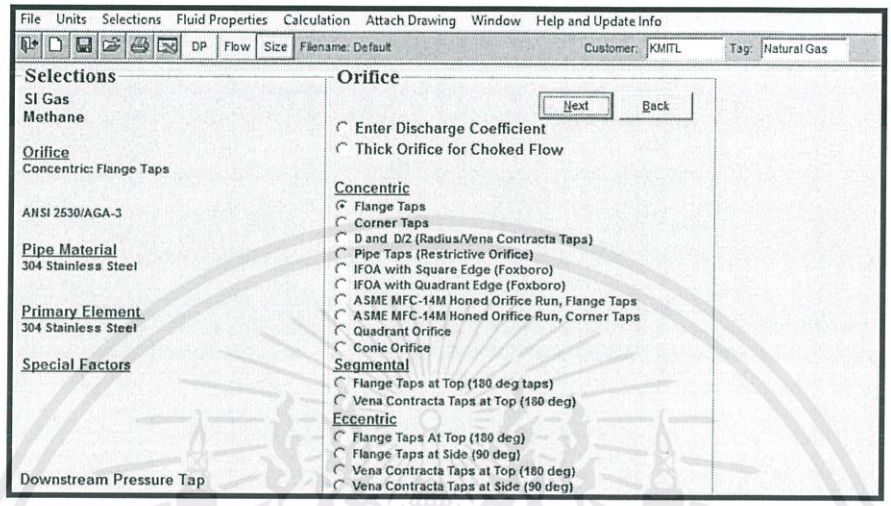
ดังรูปที่ 3.1 ทำการเลือกหน่วยที่ใช้คำนวณเพื่อออกแบบแผ่นออริฟิส โดยเลือกที่ Unit ด้านซ้ายบนของโปรแกรม เนื่องจากเราออกแบบแผ่นออริฟิส สำหรับนำไปใช้ในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ จึงเลือก หน่วยเป็น SI Gas



รูปที่ 3.2 เลือกชนิดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ต้องการออกแบบ

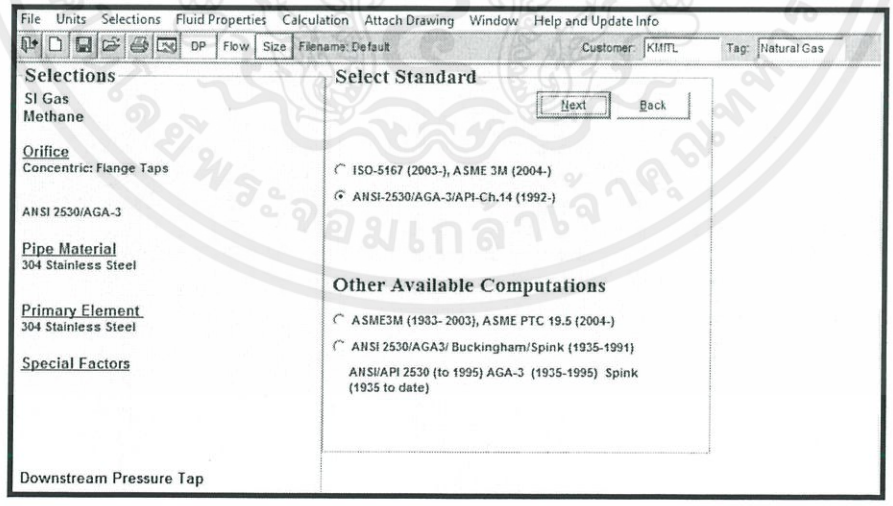
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 3.2 เลือกชนิดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหล จะเห็นได้ว่าจากหน้าต่างของโปรแกรมมีชนิดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลให้เลือกออกแบบได้หลายหลายตามความต้องการของผู้ใช้งาน ในที่นี้จึงเลือก ออริฟิส



รูปที่ 3.3 เลือกชนิดจุดต่อความดัน

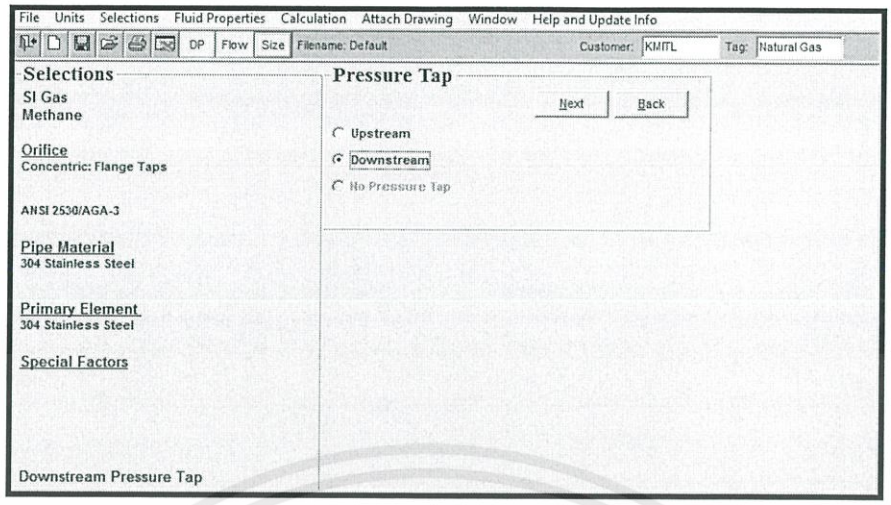
ดังรูปที่ 3.3 เลือกชนิดจุดต่อความดัน จากการศึกษาตามมาตรฐาน AGA Report No.3 มาตรฐานได้กำหนดให้ออกแบบจุดต่อความดันเป็นจุดต่อที่หน้าแปลน จึงเลือกในโปรแกรมเป็น Flange Taps



รูปที่ 3.4 เลือกมาตรฐานสำหรับการออกแบบ

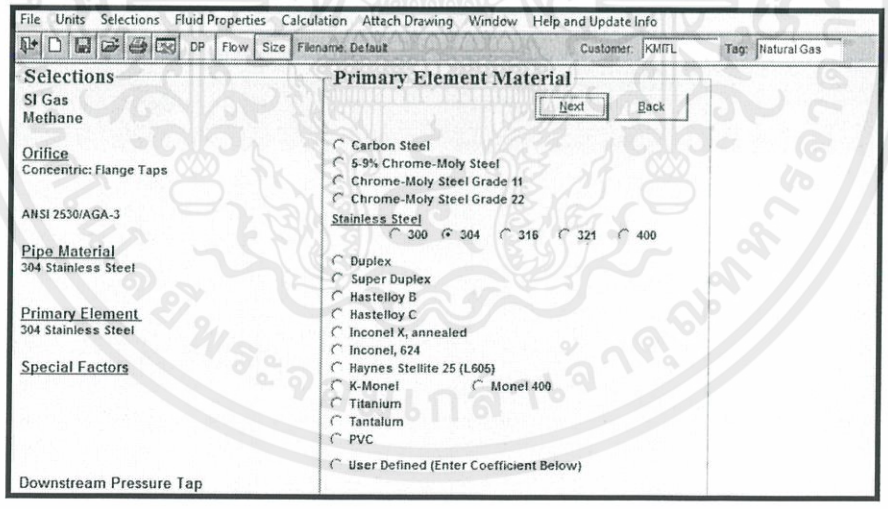
ดังรูปที่ 3.4 เลือกมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ เนื่องจากศึกษาตามมาตรฐาน AGA Report No.3 จึงเลือกมาตรฐานกลุ่มที่สอง เพราะครอบคลุมถึงมาตรฐานที่ใช้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เลือกด้านจุดต่อความดัน

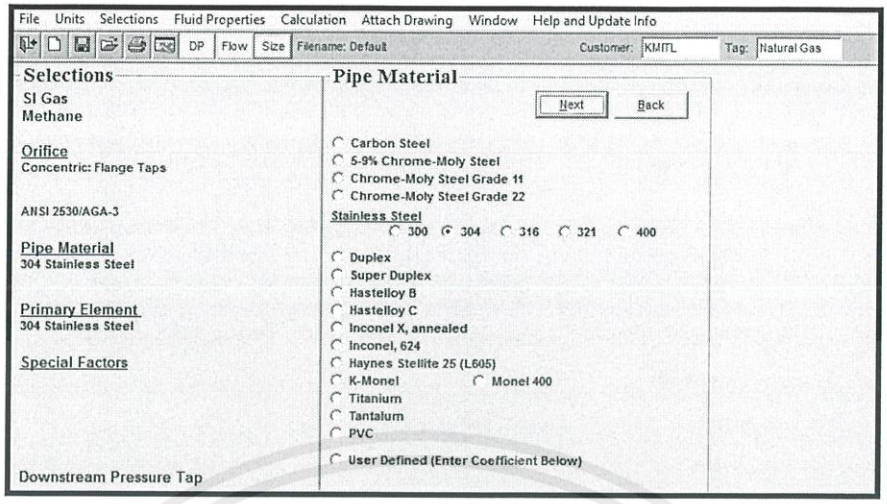
ดังรูปที่ 3.5 เลือกด้านจุดต่อความดันเข้าทางท่อด้านหลัง เนื่องจากตามมาตรฐานกำหนดให้ติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันทางด้าน Downstream ตามรูปที่ 2.21 จึงเลือกในโปรแกรมเป็น Downstream หากเลือก Upstream สามารถเลือกได้เช่นกัน เพียงแต่ป้อนค่าความดันเป็นของด้าน Upstream



รูปที่ 3.6 เลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นออริฟิส

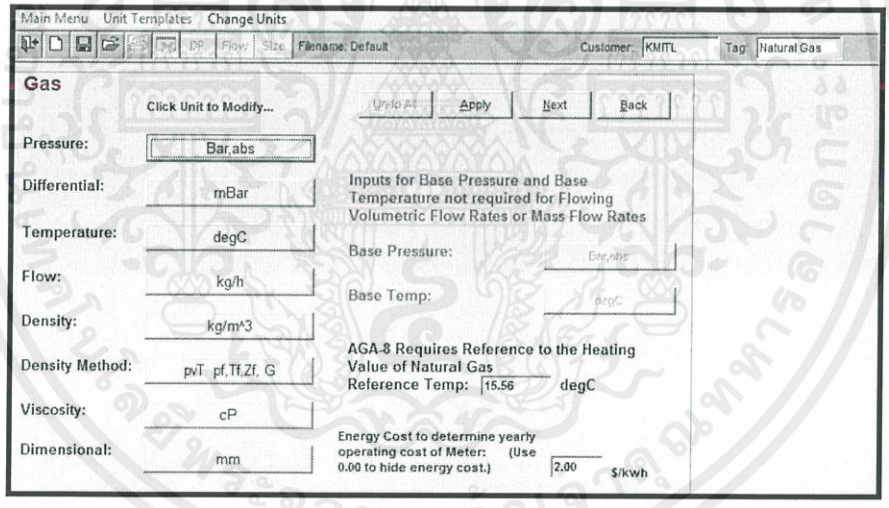
ดังรูปที่ 3.6 เลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นออริฟิส ในที่นี้เลือก สแตนเลสสตีล เกรด 304 เพราะ สแตนเลสสตีล เกรด 304 เป็นสแตนเลสที่มีส่วนผสมของ โครเมี่ยม 18 – 20% และ นิกเกิลอย่างน้อย 8 -10.5 % โครเมียมเป็นส่วนผสมที่ช่วยในการป้องกันการเกิดสนิม และนิกเกิล ช่วยในการป้องกันการกัดกร่อนจากสิ่งต่างๆได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เลือกวัสดุของท่อ

ดังรูปที่ 3.7 เลือกวัสดุของท่อ เลือกสแตนเลสสตีล 304 เนื่องจากสามารถป้องกันการเกิดสนิมและทนการกัดกร่อนได้ดี



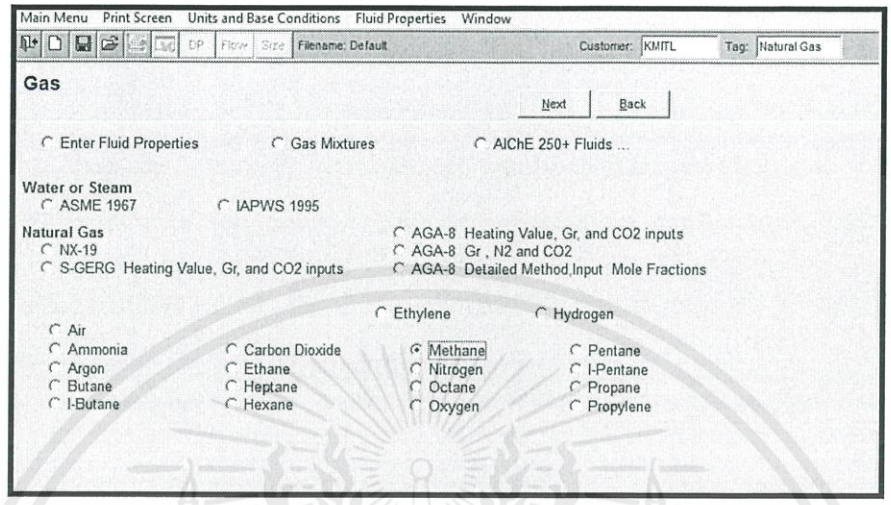
รูปที่ 3.8 เลือกหน่วยให้ตรงกับมาตรฐานกำหนด

ดังรูปที่ 3.8 จากรูปที่ 3.1 ได้เลือกหน่วยที่ใช้สำหรับการคำนวณออกแบบแผ่นออริฟิส คือ หน่วย SI Gas ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการเลือกหน่วยให้เหมาะสมกับพารามิเตอร์ต่างๆตามที่มาตรฐานกำหนด ได้แก่ ความดัน (บาร์), ความดันแตกต่าง (มิลลิบาร์), อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), อัตราการไหล (กิโลกรัมต่อชั่วโมง), ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), ตัวแปรใช้คำนวณความหนาแน่น ใช้ตามที่โปรแกรมกำหนดไว้, ความหนืด (เซนติพ้อยส์) และ ขนาดรู (มิลลิเมตร)

ในส่วนของค่าความร้อนของก๊าซตามมาตรฐาน AGA-8 ที่มีอุณหภูมิอ้างอิง คือ 15.56 องศาเซลเซียส เป็นค่ากำหนดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในโปรแกรมไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอะไร และค่า

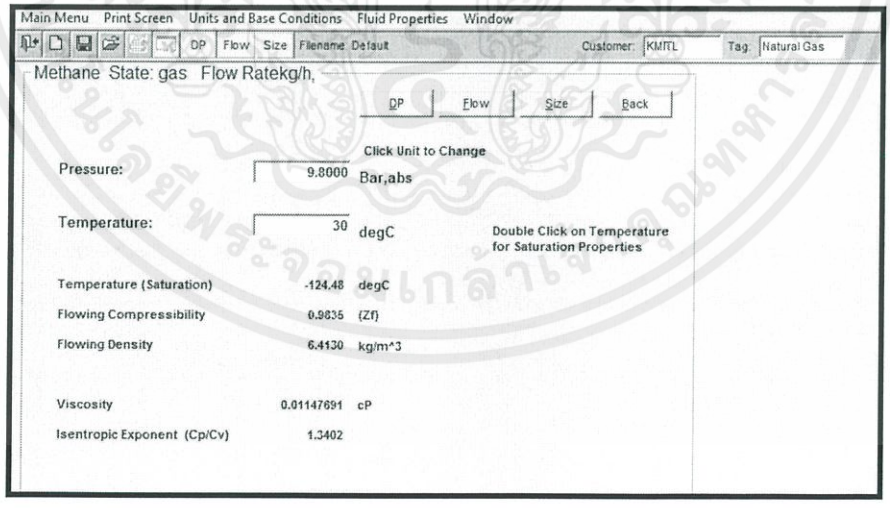
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่มีราคา 2 ดอลลาร์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นเพียงค่าที่แสดงราคาของก๊าซเมื่อนำมาเป็นพลังงาน



รูปที่ 3.9 เลือกชนิดของไหล

ดังรูปที่ 3.9 ตามการออกแบบตามมาตรฐาน AGA Report No.3 เป็นการออกแบบให้กับของไหลที่มีสถานะเป็นก๊าซ ซึ่งได้ออกแบบให้กับก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซธรรมชาตินี้มีมีเทนเป็นส่วนประกอบร้อยละ 70 ในโปรแกรมจึงเลือก Methane

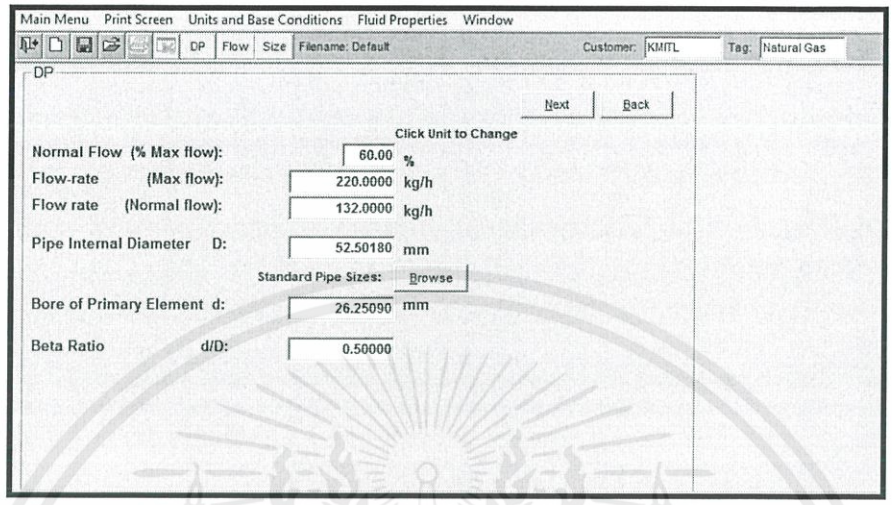


รูปที่ 3.10 กำหนดค่าความดัน และอุณหภูมิขณะของไหลกำลังไหล

ดังรูปที่ 3.10 ตามข้อมูลพารามิเตอร์ของกระบวนการ หัวข้อ 3.1.1 กำหนดค่าความดันเป็นความดันทางท่อด้านหลัง (Downstream) ขณะของไหลกำลังไหล เท่ากับ 9.8 บาร์ และกำหนดอุณหภูมิทำงานของของไหล เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ในส่วนของค่าอุณหภูมิอิ่มตัว ค่าการบีบอัดตัว

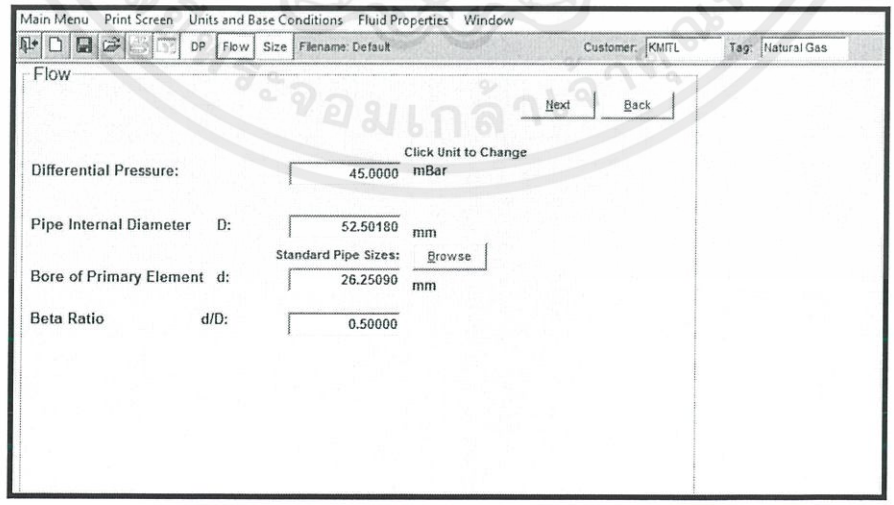
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของก๊าซขณะไหล ค่าความหนาแน่นของก๊าซขณะไหล ค่าความหนืด และค่า Isentropic ที่ได้นั้นเป็นค่าที่ได้จากโปรแกรมคำนวณทั้งหมด



รูปที่ 3.11 กำหนดอัตราการไหลสูงสุด ปกติ และเลือกขนาดท่อ

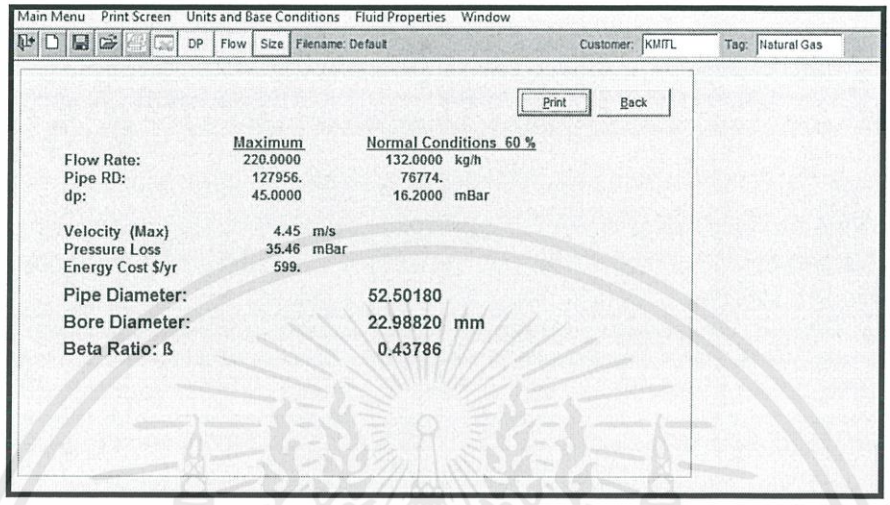
ดังรูปที่ 3.11 ตามข้อมูลพารามิเตอร์ของกระบวนการ หัวข้อ 3.1.1 กำหนดอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 220 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลปกติ เท่ากับ 132 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเลือกขนาดท่อ 2 นิ้ว มีความหนาของผนังท่อ (Pipe Schedule) เท่ากับ 40 (3.91 มิลลิเมตร) จะได้เส้นผ่าศูนย์ภายในท่อ (D) เท่ากับ 52.50180 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นออริฟิส (d) เท่ากับ 26.25090 มิลลิเมตร และค่าเบต้า (β) เท่ากับ 0.5 จากค่า d และ β ที่ได้นั้นยังไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เนื่องจากยังไม่ได้ใส่ค่าความดันแตกต่าง



รูปที่ 3.12 กำหนดค่าความดันแตกต่างสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 3.12 เป็นการกำหนดค่าความดันแตกต่างสูงสุดที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 กำหนดให้เท่ากับ 45 มิลลิบาร์ โดยค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นออริฟิส และค่าเบต้า ยังเท่าเดิม ซึ่งจะแสดงผลการออกแบบในรูปถัดไป

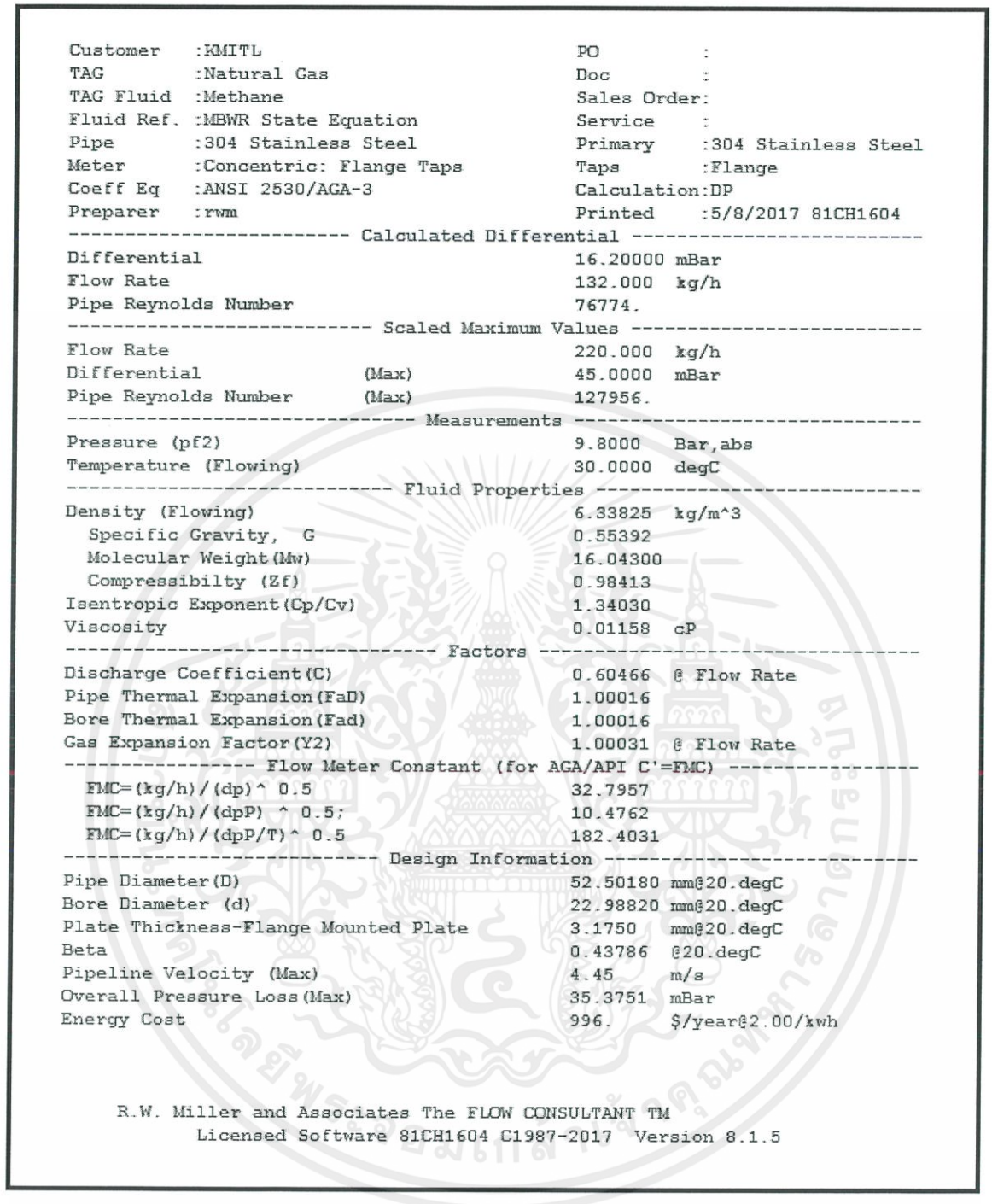


รูปที่ 3.13 ผลการคำนวณโดยโปรแกรม Flow Consultant

ดังรูปที่ 3.13 เป็นการแสดงผลการคำนวณ จากอัตราการไหลสูงสุดที่ 220 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลปกติที่ 132 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่งผลให้มีค่าเรย์โนลด์ เท่ากับ 127956 และ 76774 ตามลำดับ และค่าความดันแตกต่าง เท่ากับ 45 มิลลิบาร์ และ 16.2 มิลลิบาร์ ตามลำดับ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 52.50180 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นออริฟิส เท่ากับ 22.98820 มิลลิเมตร และค่าเบต้า เท่ากับ 0.43786

จากการคำนวณข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่า การคำนวณด้วยการแทนตัวเลขลงในสมการ และการคำนวณด้วยโปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมาก แต่เนื่องจากการคำนวณด้วยการแทนตัวเลขอาจมีการปัดเศษไม่เท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้จึงคลาดเคลื่อนบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```
Customer   :KMITL                                PO         :
TAG        :Natural Gas                          Doc        :
TAG Fluid  :Methane                              Sales Order:
Fluid Ref. :MBWR State Equation                  Service    :
Pipe       :304 Stainless Steel                  Primary    :304 Stainless Steel
Meter      :Concentric: Flange Taps              Taps       :Flange
Coeff Eq   :ANSI 2530/AGA-3                      Calculation:DP
Preparer   :rwm                                  Printed    :5/8/2017 81CH1604
------------------------- Calculated Differential --------------------------
Differential                                     16.20000 mBar
Flow Rate                                        132.000  kg/h
Pipe Reynolds Number                             76774.
--------------------------- Scaled Maximum Values ---------------------------
Flow Rate                                        220.000  kg/h
Differential              (Max)                  45.0000  mBar
Pipe Reynolds Number      (Max)                  127956.
------------------------------- Measurements -------------------------------
Pressure (pf2)                                   9.8000   Bar,abs
Temperature (Flowing)                            30.0000  degC
----------------------------- Fluid Properties -----------------------------
Density (Flowing)                                6.33825  kg/m^3
  Specific Gravity,  G                           0.55392
  Molecular Weight(Mw)                           16.04300
  Compressibilty (Zf)                            0.98413
Isentropic Exponent(Cp/Cv)                       1.34030
Viscosity                                        0.01158  cP
---------------------------------- Factors ---------------------------------
Discharge Coefficient(C)                         0.60466  @ Flow Rate
Pipe Thermal Expansion(FaD)                      1.00016
Bore Thermal Expansion(Fad)                      1.00016
Gas Expansion Factor(Y2)                         1.00031  @ Flow Rate
----------------- Flow Meter Constant (for AGA/API C'=FMC) -----------------
  FMC=(kg/h)/(dp)^ 0.5                           32.7957
  FMC=(kg/h)/(dpP) ^ 0.5;                        10.4762
  FMC=(kg/h)/(dpP/T)^ 0.5                        182.4031
---------------------------- Design Information ----------------------------
Pipe Diameter(D)                                 52.50180 mm@20.degC
Bore Diameter (d)                                22.98820 mm@20.degC
Plate Thickness-Flange Mounted Plate             3.1750   mm@20.degC
Beta                                             0.43786  @20.degC
Pipeline Velocity (Max)                          4.45     m/s
Overall Pressure Loss(Max)                       35.3751  mBar
Energy Cost                                      996.     $/year@2.00/kwh


     R.W. Miller and Associates The FLOW CONSULTANT TM
           Licensed Software 81CH1604 C1987-2017  Version 8.1.5
```

รูปที่ 3.14 สรุปผลการออกแบบ

จากรูปที่ 3.14 เป็นการสรุปผลการออกแบบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 13 ว่าได้เลือกการออกแบบเป็นอย่างไร ค่าที่ใช้ในการออกแบบเป็นเท่าใด และผลในการออกแบบเป็นอย่างไร และแสดงถึงคุณสมบัติของของไหลที่มีอยู่ในโปรแกรมอีกด้วย

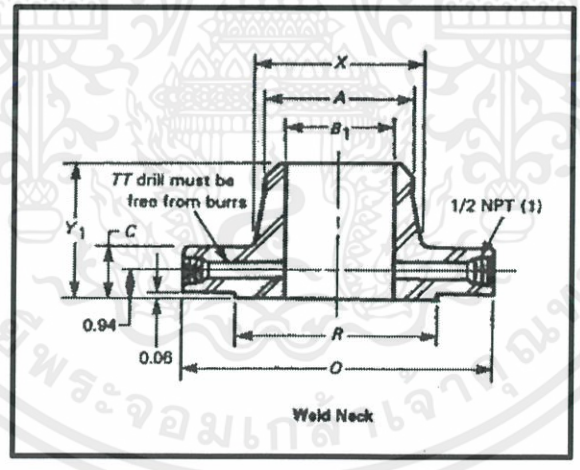
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบหน้าแปลน

มาตราฐานในการออกแบบหน้าแปลน เพื่อให้ทิศทางในการออกแบบหน้าแปลนเป็นไปในทางทิศทางเดียวกัน ผู้จัดทำได้ออกแบบตามมาตรฐาน ASME B16.36 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล อีกทั้งยังมีความเหมาะสมกับแผ่นออริฟิสตามที่มาตรฐาน AGA Report No.3 กำหนดไว้ ซึ่งได้ระบุความเหมาะสมของจุดต่อท่อวัดความดันแตกต่างห่างจากแผ่น 1 นิ้ว หรือ 25.41 มิลลิเมตร ซึ่งมาตรฐาน ASME B16.36 นั้นมีความเหมาะสม อีกทั้งยังใช้งานโดยกว้างขวางอีกด้วย

โดยมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) ชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาประกอบในระบบท่อในอุตสาหกรรม เช่น หน้าแปลน ข้องอ และ วาล์ว มักต้องการระบุพิกัดความดันและอุณหภูมิ ซึ่งตามมาตรฐานของ ASME มีการระบุเป็นคลาส (Class) โดยใช้ตัวเลข คือ คลาส 300 400 600 900 1500 และ 2500 โดยความดันที่ชิ้นส่วนในแต่ละคลาสจะรับได้ขึ้นกับอุณหภูมิใช้งานและวัสดุที่ใช้ ซึ่งแต่ละคลาสจะระบุพิกัดความดัน และอุณหภูมิที่วัสดุแต่ละชิ้นสามารถทนความดันได้ สามารถดูค่าระยะต่างๆ ได้ในตารางที่ 3.2

ในส่วนการออกแบบหน้าแปลน ผู้จัดทำได้เลือกแบบหน้าแปลนที่เหมาะสม คือ Class 300 ลักษณะดังรูปที่ 3.15 ซึ่งสามารถทนความดันภายในท่อได้ดี และได้เลือกชนิดหน้าแปลนแบบคอเชื่อม (Wield Neck) เพราะมีความแข็งแรง



รูปที่ 3.15 ชนิดหน้าแปลนแบบคอเชื่อม (Wield Neck)

การออกแบบให้ดูค่าตามตารางที่ 3.2 โดยเลือกตามขนาดท่อที่ใช้ ซึ่งผู้จัดทำใช้ท่อขนาด 2 นิ้ว ค่าการออกแบบ จะได้ว่า

Y_1	มีขนาด	3.38	นิ้ว หรือ	86	มิลลิเมตร
C	มีขนาด	1.5	นิ้ว หรือ	38.5	มิลลิเมตร
X	มีขนาด	3.31	นิ้ว หรือ	84	มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A	มีขนาด	2.38	นิ้ว หรือ	60.5	มิลลิเมตร
R	มีขนาด	3.62	นิ้ว หรือ	92	มิลลิเมตร
O	มีขนาด	6.50	นิ้ว หรือ	165.5	มิลลิเมตร
$TTdrill$	มีขนาด	1/4	นิ้ว หรือ	2	หุน

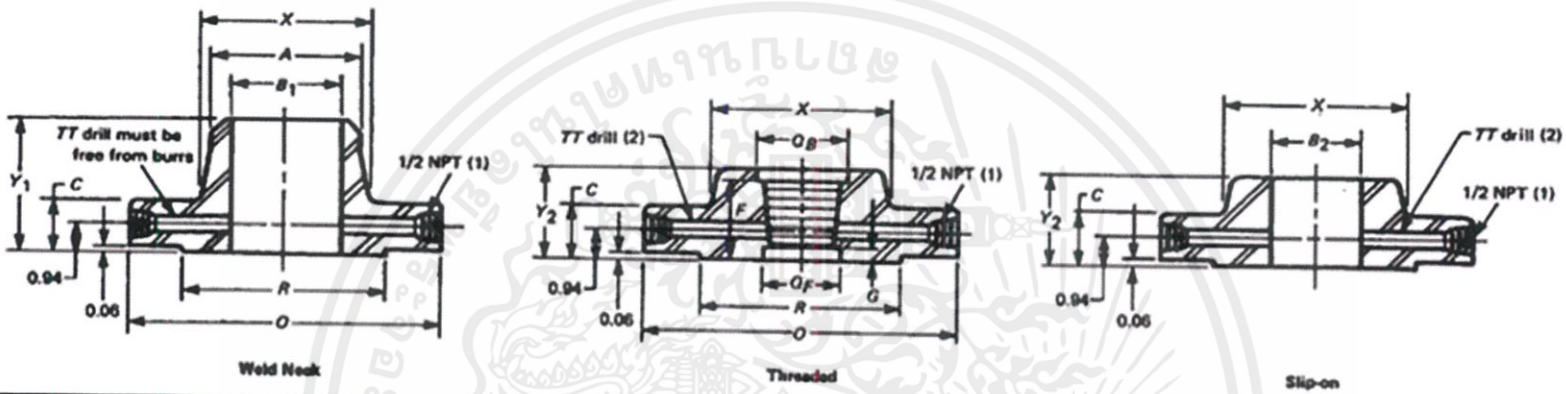
เส้นผ่าศูนย์กลางของรูสำหรับสวม Machine Nut หรือ Stud Bolt 17.5 มิลลิเมตร

B_1 มีขนาดตามเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ในที่นี้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 52.5 มิลลิเมตร

เมื่อได้ขนาดของส่วนประกอบแล้ว จากนั้นทำการเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม AutoCAD เพื่อส่งโรงกลึงในการขึ้นรูปชิ้นงาน ตามรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การออกแบบหน้าแปลน สำหรับ Class 300

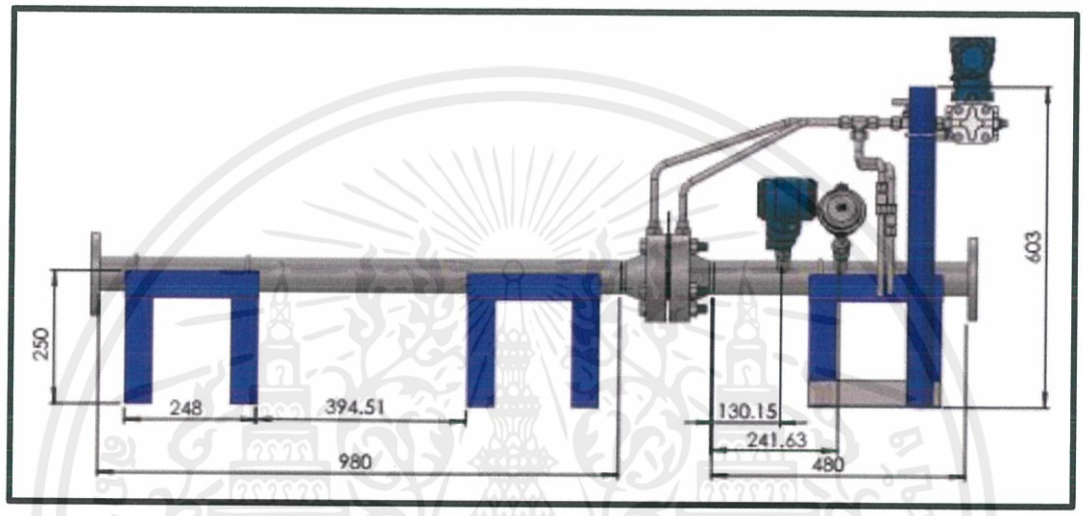


Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face R	Outside Diameter of Flange O	Thickness of Flange, Min. C	Length Through Hub: Slip-On and Threaded Y_2	Length Through Hub: Weld Neck Y_1	Diameter of Hub X	Hub Diameter Beginning of Chamfer (W.N.) A	Diameter of Counterbore: Back O_B	Diameter of Counterbore: Face O_F	Counterbore Depth (From Face): F	Counterbore Depth (From Face): G	Bore: Slip-On B_2	Bore: Weld Neck B_1	Diameter of Pressure Connection TT	Drilling Template: Bolt Circle	Drilling Template: Number of Holes	Drilling Template: Diameter of Holes	Drilling Template: Diameter of Bolts	Bolt Length [(5), (6)]: Machine Bolts	Bolt Length [(5), (6)]: Stud Bolts
1	2.00	4.88	1.50	1.88	3.25	2.12	1.32	1.41	1.30	1.44	0.75	1.36		¼	3.50	4	0.69	⅝	4.50	5.00
1½	2.88	6.12	1.50	1.88	3.38	2.75	1.90	1.99	1.89	1.47	0.72	1.95		¼	4.50	4	0.81	¾	4.75	5.25
2	3.62	6.50	1.50	1.94	3.38	3.31	2.38	2.50	2.36	1.50	0.69	2.44		¼	5.00	8	0.69	⅝	4.50	5.00
2½	4.12	7.50	1.50	2.00	3.50	3.94	2.88	3.00	2.84	1.75	0.56	2.94		¼	5.88	8	0.81	¾	4.75	5.25
3	5.00	8.25	1.50	2.06	3.50	4.62	3.50	3.63	3.46	1.81	0.56	3.57		⅜	6.62	8	0.81	¾	4.75	5.25
4	6.19	10.00	1.50	2.12	3.62	5.75	4.50	4.63	4.45	1.88	0.56	4.57	See Note (7).	½	7.88	8	0.81	¾	4.75	5.25
6	8.50	12.50	1.50	2.12	3.94	8.12	6.63	6.75	6.57	1.88	0.31	6.72		½	10.62	12	0.88	¾	4.75	5.25
8	10.62	15.00	1.62	2.44	4.38	10.25	8.63	8.75	8.55	2.19	0.44	8.72		½	13.00	12	1.00	⅞	5.00	5.75
10	12.75	17.50	1.88	2.62	4.62	12.62	10.75					10.88		½	15.25	16	1.12	1	5.75	6.50
12	15.00	20.50	2.00	2.88	5.12	14.75	12.75					12.88		½	17.75	16	1.25	1⅛	6.25	7.00
14	16.25	23.00	2.12	3.00	5.62	16.75	14.00					14.14		½	20.25	20	1.25	1⅛	6.50	7.25
16	18.50	25.50	2.25	3.25	5.75	19.00	16.00	See Note (8).				16.16		½	22.50	20	1.38	1¼	7.00	7.75
18	21.00	28.00	2.38	3.50	6.25	21.00	18.00					18.18		½	24.75	24	1.38	1¼	7.25	8.00
20	23.00	30.50	2.50	3.75	6.38	23.12	20.00					20.20		½	27.00	24	1.38	1¼	7.50	8.50
24	27.25	36.00	2.75	4.19	6.62	27.62	24.00					24.25		½	32.00	24	1.62	1½	8.25	9.50

3.3 การออกแบบความยาวท่อด้านหน้า (Upstream) และ ท่อด้านหลัง (Downstream)

จากตารางที่ 2.3 ได้ทำการเลือกค่า Upstream Length (UL) และ Downstream Length (DL) เท่ากับ 980 มิลลิเมตร และ 480 มิลลิเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ทำการ วาดแบบของ Metering Tube โดยมีอุปกรณ์การวัดที่นำมาติดตั้งเพิ่มเติม ได้แก่ ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน และ อาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ

มีรายละเอียดการออกแบบดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Metering Tube

3.4 การเลือกอุปกรณ์การวัดเพิ่มเติม

3.4.1 การเลือกอุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง

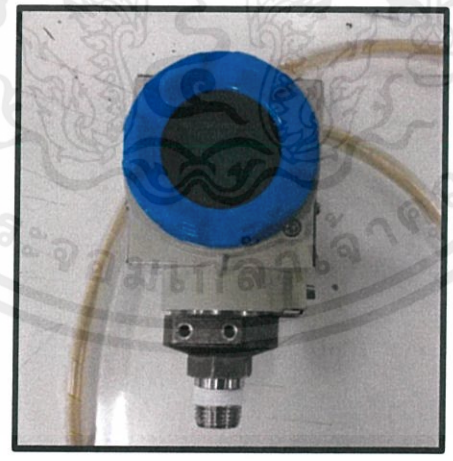
เนื่องจาก ความดันแตกต่างในระบบ มีค่าอยู่ที่ 16.2 มิลลิบาร์ และความดันแตกต่างสูงสุด มีค่าเท่ากับ 45 มิลลิบาร์ ค่าเหล่านี้ได้จากโปรแกรม Flow Consultant คำนวณได้ ในรูปที่ 3.13 จึงเลือกใช้ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่างยี่ห้อ SENSE รุ่น STK335 ซึ่งมีย่านการวัดอยู่ในช่วงระหว่าง -10 ถึง 10 กิโลปาสคาล ลักษณะทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง มีลักษณะดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

3.4.2 การเลือกอุปกรณ์วัดความดัน

ตามข้อมูลพารามิเตอร์ของกระบวนการ ความดันอยู่ที่ 9.8 บาร์ จึงได้เลือกใช้ทรานส์มิตเตอร์ความดัน ยี่ห้อ SENSE รุ่น STK136 ซึ่งอุปกรณ์ มีย่านการวัดอยู่ที่ระหว่าง 0 ถึง 1 เมกะปาสคาลและ สามารถทนความดันสูงสุดได้ถึง 2.5 เมกะปาสคาล ลักษณะทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน มีลักษณะดังรูปที่ 3.18

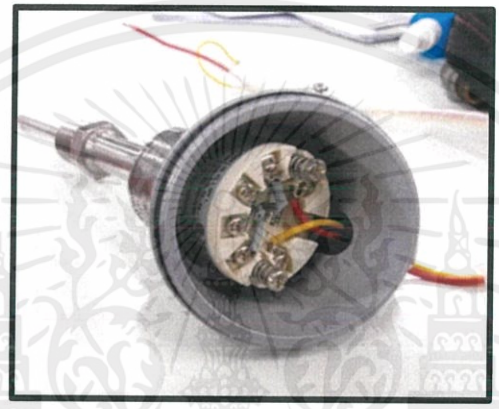


รูปที่ 3.18 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การเลือกอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เนื่องจากอุณหภูมิในกระบวนการอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิด RTD PT100 ซึ่งมีย่านการวัดอยู่ที่ -200 ถึง 850 องศาเซลเซียส โดยได้ติดตั้งอาร์ทีดีเข้ากับเทอร์โมเวล ซึ่งเทอร์โมเวลมีหน้าที่ในการป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้สัมผัสกับของไหลในท่อโดยตรง อีกทั้งยังทำให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษา และได้เลือกทรานส์มิตเตอร์ชนิดอุณหภูมิยี่ห้อ HONEYWELL รุ่น Kema 06atex 0044 สำหรับการแปลงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน โดยได้ทำการติดตั้งเข้ากับ PT100 ลักษณะอาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ มีลักษณะดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 อาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ

3.5 จัดทำเอกสารข้อกำหนดของอุปกรณ์

หลังจากออกแบบออริฟิสสำหรับใช้ในกระบวนการแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการจัดทำเอกสารแสดงรายละเอียดมาตรฐานของอุปกรณ์ (Instrument Specification Sheet) เพื่อใช้ในการเก็บบันทึก โดยในฟอร์มรายละเอียดจะเป็นการกรอกข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ ตามที่ได้หาข้อมูลไว้

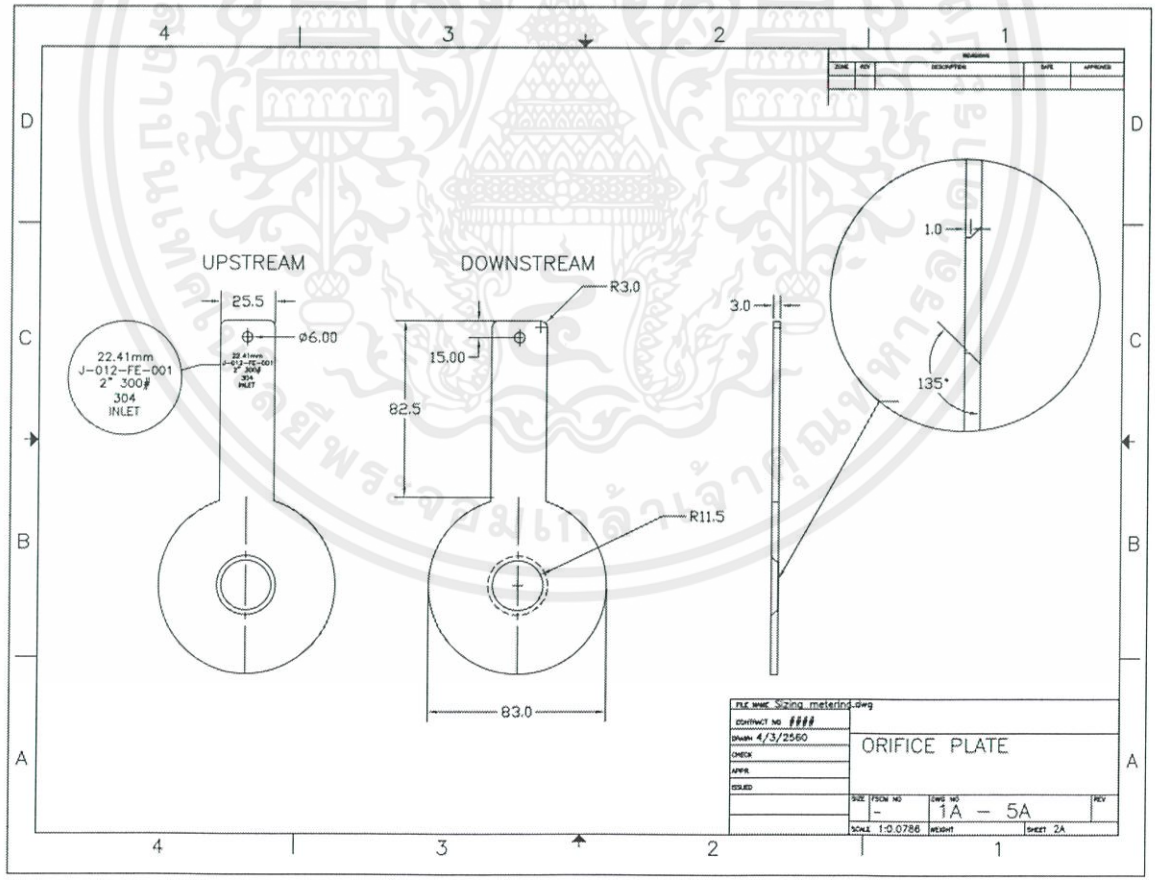
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินการออกแบบ ติดตั้ง และสอบเทียบทางวิศวกรรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการติดตั้งอุปกรณ์การวัดใน Metering Tube เอกสารข้อกำหนดของอุปกรณ์ ได้แก่ แผ่นออริฟิส ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน อาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ และผลการสอบเทียบ

4.1 แผ่นออริฟิส

เมื่อคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูแผ่นออริฟิสเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำขนาดมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงขนาดของแผ่นออริฟิส ในหน่วยมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 เอกสารข้อกำหนดของแผ่นออริฟิส

- ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
    1. เลขประจำตัวอุปกรณ์ : J-012-FE-0001
    2. ขนาดของท่อ และความหนาของผนังท่อ : ท่อมีขนาด 2 นิ้ว ความหนาของผนังท่อคือ 40
    3. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ : 52.5018 มิลลิเมตร
    4. วัสดุที่ใช้ทำท่อ : เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
- ข้อมูลทางด้านกระบวนการ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
    1. สถานะของของไหล : ก๊าซ
    2. ชื่อของไหล : ก๊าซธรรมชาติ
    3. อัตราการไหลขณะทำงานสูงสุด และปกติ : 220 และ 132 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
    4. อุณหภูมิและความดันขณะทำงาน : 30 องศาเซลเซียส และ 9.8 บาร์
    5. ความหนืดและความหนาแน่น : 0.01158 เซนติพ้อยส์ และ 6.33825 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
    6. อุณหภูมิและความดันที่ออกแบบ : 60 องศาเซลเซียส และ 10 บาร์
    7. ความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ : 45 มิลลิบาร์
- ข้อมูลด้านอุปกรณ์การวัด ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
    1. ชนิดของแผ่นออริฟิส : ชนิดจุดศูนย์กลางร่วม
    2. วัสดุที่ใช้ทำแผ่นออริฟิส : เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
    3. ความหนาของแผ่นออริฟิส : 3.175 มิลลิเมตร
    4. ขนาดช่องของแผ่นออริฟิส : 22.98820 มิลลิเมตร
    5. ค่าเบต้า : 0.43
    6. ย่านความดันแตกต่าง : 45 มิลลิบาร์
    7. ความดันสูญเสียถาวรจากการคำนวณ : 35.46 มิลลิบาร์
    8. มาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณ : AGA Report No.3
- ข้อมูลด้านอุปกรณ์เสริมและอื่นๆ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
    1. การเชื่อมต่อกับกระบวนการ : 2” ANSI300 #RF อธิบายได้ว่า มีการเชื่อมต่อหน้าแปลนขนาด 2 นิ้ว ซึ่งมีอัตราการทนความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 300 psi รูปแบบของหน้าแปลนเป็นแบบผิวหน้ายก
    2. ชนิดของหน้าแปลน : หน้าแปลนคอเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัสดุที่ใช้ทำหน้าแปลน : เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
4. รูปแบบจุดต่อความดัน : จุดต่อความดันที่หน้าแปลน
5. การเชื่อมต่อเข้ากับทรานส์มิตเตอร์ : ขนาด 1/2 นิ้ว เกลียวชนิด NPT

** สามารถดูรายละเอียดของแผ่นออริฟิสเพิ่มเติมได้ในรูปที่ 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4J PROJECT		INSTRUMENT DATA SHEET Orifice Plate With Metering Tube		TAG NO.	J-012-FE-0001
1	**ADMINISTRATIVE IDENTIFICATIONS**		64	**SERVICE IDENTIFICATIONS (CONTINUED)**	
2	Tag Number	J-012-FE-0001	65	Downstream pipe orientation	Horizontal
3	Project	4J	66	Downstream length	480 mm
4	Project Number		67	Downstream pipe material	304 Stainless Steel
5	Module Number		68	Downstream insulation	
6	Commissioning Subsystem	012-010	69	Local hazardous area class	Div / Zone
7	Vendor Tag Number		70	Local hazardous area group	Temp Class
8	Unit Name		71	Remote hazardous area class	Div / Zone
9	**SERVICE IDENTIFICATIONS**		72	Remote hazardous area group	Temp Class
10	Equipment		73	Enviromental area	Indoor
11	Service		74	**COMPONENT DESIGN CRITERIA**	
12	PID / Reference dwg number		75	Criticality	
13	Upstream line number		76	Flowmeter bore type	Square Edge Orifice
14	Upstream pipe standard	DN Pipe Spec NA	77	Sizing pressure tapping style	Flange Tappings
15	Upstream line schedule	3.00 mm	78	Standard for size calculation	AGA No.3
16	Upstream wall thickness	3.00 mm	79	Orifice / Throat sizing material	304 Stainless Steel
17	Upstream line inside diameter	52.5018 mm	80	Discharge coefficient	0.60466
18	Upstream pipe material	304 Stainless Steel	81	Compensation Style	
19	Upstream line size		82	Min diameter ratio (d/D)	0.2 Max Ratio 0.75
20	Fluid Service	Natural Gas	83	Preferred characteristic curve	
21	Upstream line orientation	Horizontal	84	Minimum requried accuracy	
22	Upstream length	980 mm	85	Certification	
23	Downstream line number		86	Test requirements	
24	Downstream pipe standard	DN Pipe Spec NA	87	Supply loss failure mode	
25	Downstream line size		88	Signal loss failure mode	
26	Downstream wall thickness	3.912 mm	89	NA	

27	**PROCESS VARIABLES**	**MATERIAL FLOW CONDITIONS**			
28	**Flow Condition Identification**	**Minimum**	**Normal**	**Maximum**	**Units**
29	Fluid State	Gas	Gas	Gas	
30	Fluid phase	Single	Single	Single	
31	Fluid Name	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	
32	Mass flow @Flow		132.000	220.000	kg/h
33	Downstream gauge pressure	9.8	9.8	9.8	Bar
34	Temperature	30	30	30	degC
35	Viscosity	0.01158	0.01158	0.01158	cP
36	Density	6.33825	6.33825	6.33825	kg/m^3
37	Density at base conditions				
38	Liquid / Solid specific gravity				
39	SG at base conditions				
40	Gas / Vapor Specific gravity	0.55370	0.55370	0.55370	
41	Molecular mass	16.043	16.043	16.043	
42	Compressibility	0.98413	0.98413	0.98413	
43	Specific heats ratio				
44	Vapor absolute pressure				
45	Critical gauge pressure				
46	Secondary phase state				
47	Mass fraction vapor				
48	Secondary mass flow				
49	Secondary phase density				
50	Pressure Loss			35.4600	mbar
51	Differentail Pressure		16.20	45.00	mbar
52	Pipe Reynolds Number		76774	127956	

53	**PROCESS DESIGN CONDITIONS**		90	**PROCESS DESIGN CONDITIONS (CONTINUED)**	
54	Design gauge pressure min		91	Barometric absolute pressure	1.013 Bar,a
55	Design gauge pressure max	10 Bar,a	92	Design ambient temperature min	0 degC Max 60 degC
56	Design temperature min		93	**MATERIAL PROPERTIES**	
57	Design temperature max	60 degC	94	Critical temperature	
58	Limits on DP across flowmeter	45 mbar	95	NFPA health hazard	Flammability
59	Required range LRV (From)		96	NFPA Reactivity	Corrosive
60	Required range URV (To)		97	Erovise	Toxic
61	Base absolute pressure		98	Bulid-up tendency	
62	Base temperature	15 degC	99	Transparent	Colored
63	Compressibility at base		100		

NOTES:

รูปที่ 4.2 เอกสารข้อกำหนดของแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4J PROJECT	INSTRUMENT DATA SHEET Orifice Plate (Only)	TAG NO.	J-012-FE-0001

	ORIFICE PLATE AND HOLDER	
2	Plate Type	
3	Holder / Seal unit style	NA
4	Nominal size	DN50
5	API Ring Number	NA
6	Orifice Flange nominal rating	CI300
7	Orifice bore type	Square Edge Orifice
8	Orifice Inlet edge style	Square Edge
9	Diameter ratio (d/D)	0.43
10	Orifice bore diameter	22.98820 mm
11	Plate outside diameter	83.000 mm
12	Plate thickness	3.175 mm
13	Vent / Drain hole size	NA
14	Vent / Drain hole location	NA
15	Stampings required	As per Requisition
16	Plate material	304 Stainless Steel
17	Seal material	NA
18	Holder / Ring material	NA

	ACCESSORIES	
53	Orifice holding block	NA
54	Gasket Set	NA

	SPECIAL REQUIREMENTS	
59	Custom tag	
60	Reference specification	
61	Special preparation	
62	Compliance Standard	AGA NO.3
63	Calculation Report	

	PURCHASE	
98	Purchase order number	
99	Item number	
100	Serial number	
101	Dry weight	
102	Manufacturer referance dwg	

CALIBRATIONS AND TEST	INPUT OR TEST		OUTPUT TYPE	OUTPUT SIGNAL		
DESCRIPTION	LRV	URV		LRV	URV	UNITS

COMPONENT IDENTIFICATIONS		
COMPONENT TYPE	MANUFACTURER	MODEL NUMBER

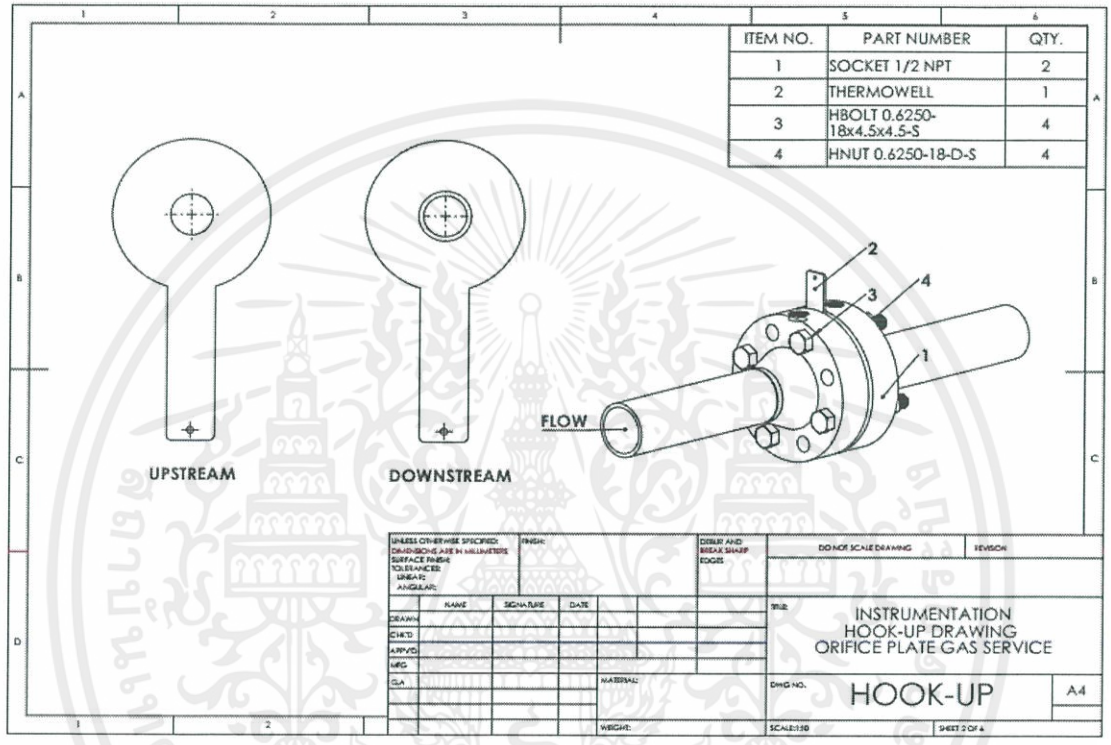
NOTES:

รูปที่ 4.3 เอกสารสรุปตามการออกแบบแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ลักษณะการติดตั้งแผ่นออริฟิส

แผ่นออริฟิสจะถูกติดตั้งโดยวางไว้ตรงกลาง แล้วขนาบด้วยหน้าแปลนทั้งสองข้าง ยึดติดกันด้วยน็อต การวางแผ่นออริฟิสนั้นจะต้องหันให้ถูกทาง โดยหันทางเรียบไปทางท่อด้านอัพสตรีม จากนั้นนำมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.4

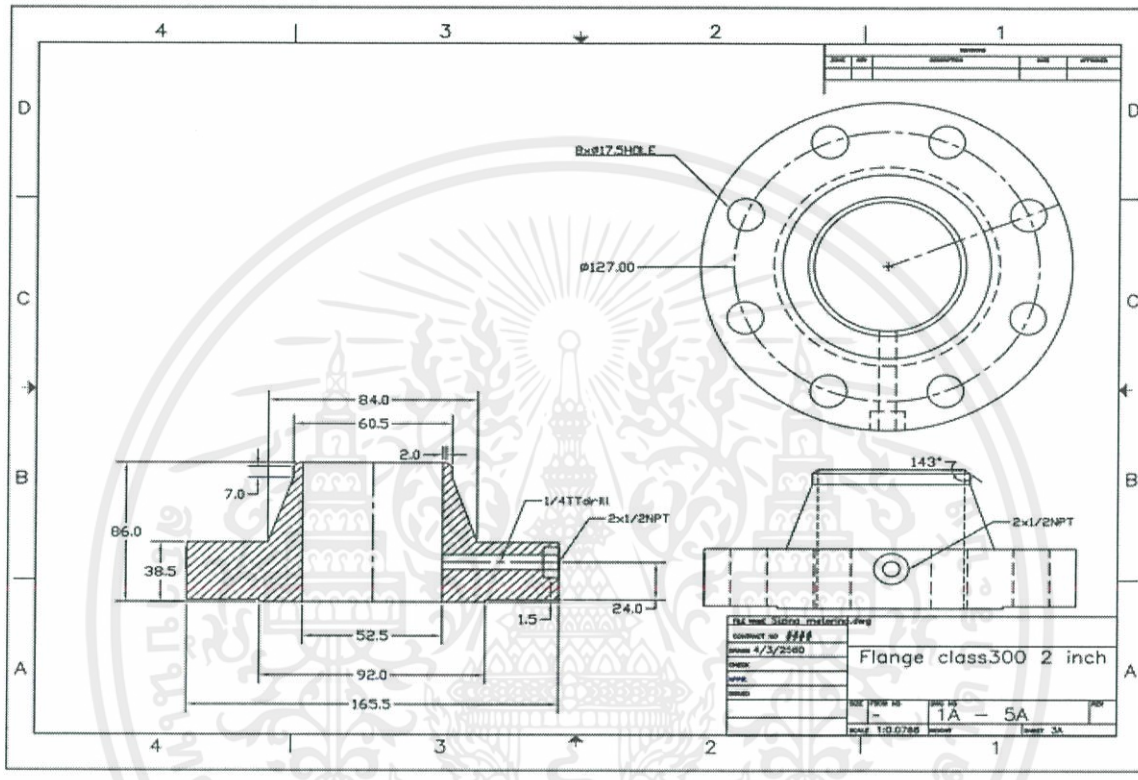


รูปที่ 4.4 การติดตั้งแผ่นออริฟิสเข้ากับ Metering Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หน้าแปลน

จากการออกแบบหน้าแปลนตามมาตรฐาน ASME B16.36 สามารถนำค่าที่เทียบจากตารางนำมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การออกแบบหน้าแปลนให้ตรงตามมาตรฐาน ASME B16.36

4.3 ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

4.3.1 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

- ข้อมูลอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
    1. ย่านการวัดของอุปกรณ์ : 0 ถึง 250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
    2. วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มทรานส์มิตเตอร์ : ทำมาจากโลหะผสมอะลูมิเนียม
    3. วัสดุที่ใช้ทำหน้าแปลน : เหล็กกล้าไร้สนิม
    4. แหล่งจ่ายไฟ : 2 Wires 24 V DC Loop Powered หมายถึง แหล่งจ่ายไฟ 2 สาย สามารถรับไฟและส่งสัญญาณโดยใช้สายไฟเดียวกัน
    5. สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ : 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ HART โปรโตคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่าความเที่ยงตรง : ± 0.055% of Span
7. การป้องกันการระเบิด : EExd ทนต่อไฟและทนต่อการระเบิด
8. มาตรฐานการป้องกัน : IP หมายเลข 6 หลักแรกคือ สามารถป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนหมายเลข 5 หลักที่สองคือ ป้องกันอันตรายที่เกิดจากน้ำที่ฉีดมาในทุกทิศทาง
9. การเชื่อมต่อกับกระบวนการ : เป็นการติดตั้งลักษณะอิมพัลส์ไลน์ จึงมีการเชื่อมต่อกับวาล์วมานิโฟลด์ (Manifold Valve)
10. ชนิดของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า : M20 เป็นมาตรฐานเกลียวระบบ ISO ใช้เชื่อมต่อสายไฟกับทรานส์มิตเตอร์
11. การแสดงผลจอแอลซีดี : ต้องการจอแสดงผลแอลซีดี เพื่อสามารถอ่านค่าจากหน้างานได้
12. อุปกรณ์ยึดติดทรานส์มิตเตอร์ : ต้องการข้อต่อรูปตัวยูใช้ยึดติดกับสแตนเชี่ยนขนาด 2 นิ้ว

** สามารถดูรายละเอียดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่างเพิ่มเติมได้ในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4J PROJECT	INSTRUMENT DATA SHEET Diff Pressure Flow Xmtr	TAG NO.	J-012-FT-0001

1	**TRANSMITTER BODY**		52	**PERFORMANCE CHARACTERISTICS**						
2	Body / Flange type		53	Max pressure at design temp						
3	Process conn nominal size		54	Maximum design temperature						
4	Process connection termn type		55	Minimum working temperature						
5	Vent / Drain Location		56	Accuracy rating						
6	Mounting type		57	Diff pressure Lower range-limit						
7	Body / Flange material		58	Diff pressure Upper range-limit						
8	Vent / Drain material		59	Minimum ambient working temp						
9	Bolting material		60							
10	Flang adapter material		61							
11	Gasket / O ring material		62							
12	Mounting kit material		63							
14	**SENSING ELEMENT**		65							
15	Detector type		66							
16	Minimum differential press span		67							
17	Diaphragm / Wetted material		68							
18	Fill fluid material		69							
21	**TRANSMITTER**		72							
22	Output signal type	4 to 20 mA	73							
23	Enclosure type number / class	IP 65	74							
24	Linearity type	SQRT	75							
25	Digital communication standard	HART protocal	76	**ACCESSORIES**						
26	Loop power supply	LOOP	77	Air set filter style						
27	Requries line power supply	NA	78	Air set gauges						
28	Transient protection	NA	79	Heating kit style						
29	Integral indicator style	LCD	80	Remote inducator style						
30	Signal termination type	M20 x 1.5	81	Manifold valve style						
31	Type of protection	Flameproof	82							
32	Mounting type	Bracket mount	83	**SPECIAL REQUIREMENTS**						
33	Failure / Diagnostic action	Drive output high	84	Custom tag						
34	Enclosure material	Aluminum Die Cast	85	Reference specification						
35			86	Special preparation						
36			87	Compliance standard						
37			88	Software configuration						
38			89							

39	**CALIBRATIONS AND TEST**	**INPUT OR TEST**		**OUTPUT TYPE**	**OUTPUT SIGNAL OR SCALE**		
40	**DESCRIPTION**	**LRV OR TYPE**	**URV OR SETPOINT**		**LRV**	**URV**	**UNITS**
41	Differential Press - Output signal 1						
42	Differential Press - Output signal 2						
43	Press - Digital output signal						
44	Differential Press - Scale 1						
45	Pressure - Scale 2						
46	Temperature - Digital outout						
47	Test pressure						

48	**COMPONENT IDENTIFICATIONS**		
49	**COMPONENT TYPE**	**MANUFACTURER**	**MODEL NUMBER**
50			
51			

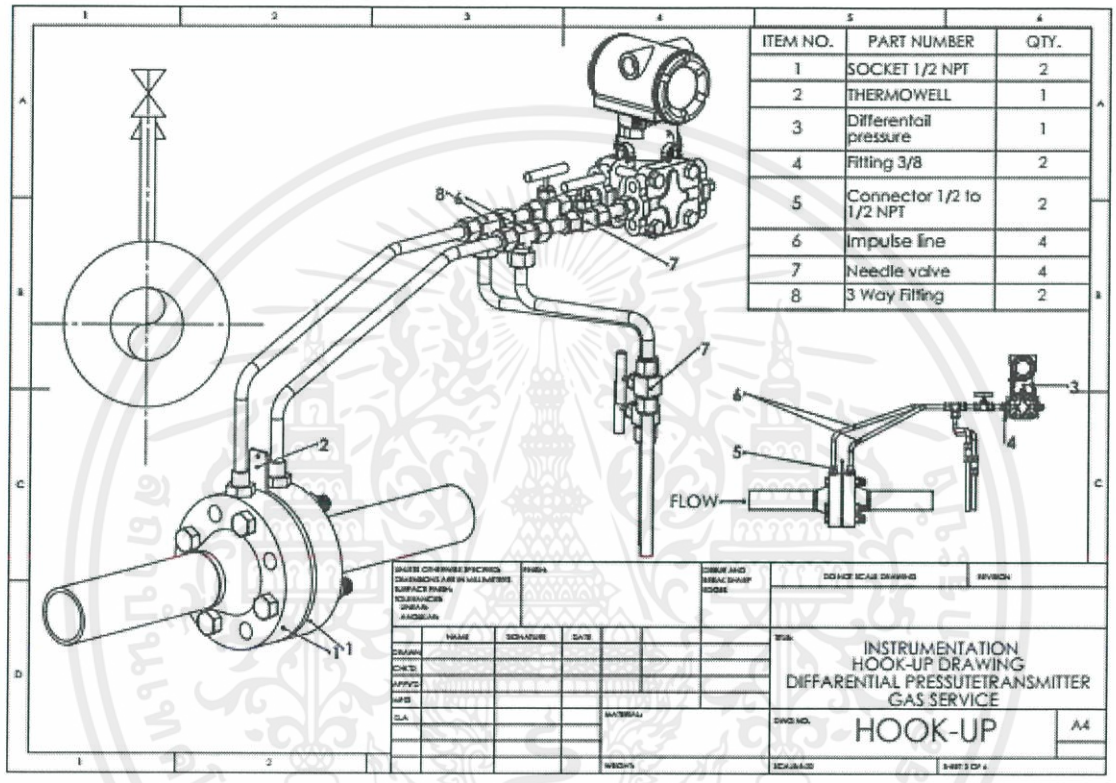
NOTES:

รูปที่ 4.6 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ลักษณะการติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

เนื่องจากของไหลในระบบเป็นของไหลชนิดก๊าซ การติดตั้งท่อสำหรับนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดความดัน จะทำโดยติดตั้งจากหน้าแปลนขึ้นมาเป็นมุม 90 องศา จากนั้นนำมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่างเข้ากับ Metering Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทรานส์มิตเตอร์สำหรับวัดความดัน

4.4.1 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน

- ข้อมูลทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
  1. สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ : 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์
  2. มาตรฐานการป้องกัน : IP65 หมายเลข 6 หลักแรกคือ สามารถป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนหมายเลข 5 หลักที่สองคือ ป้องกันอันตรายที่เกิดจากน้ำที่ฉีดมาในทุกทิศทาง
  3. การป้องกันเมื่อโวลต์เกินกำหนด : 500 โวลต์
  4. ค่าความแม่นยำ : 0.1 เปอร์เซ็นต์
  5. ประเภทการปรับแต่ง : ประเภททางเดียว
  6. วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มทรานส์มิตเตอร์ : ทำมาจากโลหะผสมอะลูมิเนียม
  7. ทำงานได้ในอุณหภูมิ : -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส
  8. สวิทช์ดีเลย์ : 5 วินาที

** สามารถดูรายละเอียดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่างเพิ่มเติมได้ในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4J PROJECT	INSTRUMENT DATA SHEET Pressure Transmitter	TAG NO.	J-012-FT-0002

1	**TRANSMITTER BODY**		52	**PERFORMANCE CHARACTERISTICS**	
2	Body / Flange type		53	Accuracy	Nominal range 0.1%
3	Process conn nominal size		54	Power supply effect	Negligible
4	Process connection	SS 316L / Others: on request	55	Vibration effect	<0.01% of URL
5	Vent / Drain Location		56	Switch on delay	5s
6	Mounting type		57	Damping	0to100s , step: 0.1s
7	Body / Flange material		58	Response time	200 ms
8	Vent / Drain material		59	Min ambient working temp	-40 to 85 degC(WoD)
9	Bolting material		60		-20 to 70 degC (WD)
10	Flang adapter material		61	Self stability configuration	0 to 2%
11	Gasket / O ring material		62	Filter configured	0 to 160 uA
12	Mounting kit material		63	Adjustability	Three push buttons
14	**SENSING ELEMENT**		65	Communication resistance	Typ. 250 Ohm
15	Detector type		66		
16	Minimum press span		67		
17	Diaphragm / Wetted material		68		
18	Fill fluid material		69		
21	**TRANSMITTER**		72		
22	Output signal type	4 to 20 mA	73		
23	Enclosure type number / class	IP 65	74		
24	Insulation resistance	>250 M Ohm	75		
25	Digital communication standard	NA	76	**OTHERS**	
26	Reverse polarity protection	No damage and no function	77	Display Type	Vis range 32.5*22.5 mm
27	Overvoltage protection	500 V	78		5-digit 7-segment main
28	Short-Circuit protection	Permanent	79		display
29	Integral indicator style	LCD	80	Display Range	-1.9 to 9.9
30	Signal termination type	M20 x 1.5	81	Installation position	Any
31	Type of protection	Flameproof	82	Weight	St. model approx. 1.8 kg
32	Mounting type	Bracket mount	83	**SPECIAL REQUIREMENTS**	
33	Failure / Diagnostic action	NA	84	Custom tag	
34	Enclosure material	Aluminum Die Cast	85	Reference specification	
35			86	Special preparation	
36			87	Compliance standard	
37			88	Software configuration	
38			89		

39	CALIBRATIONS AND TEST	INPUT OR TEST		OUTPUT TYPE	OUTPUT SIGNAL OR SCALE		
40	DESCRIPTION	LRV OR TYPE	URV OR SETPOINT		LRV	URV	UNITS
41	Press - Output signal 1						
42	Press - Output signal 2						
43	Press - Digital output signal						
44	Press - Scale 1						
45	Pressure - Scale 2						
46	Temperature - Digital outout						
47	Test pressure						

48	COMPONENT IDENTIFICATIONS		
49	COMPONENT TYPE	MANUFACTURER	MODEL NUMBER
50			
51			

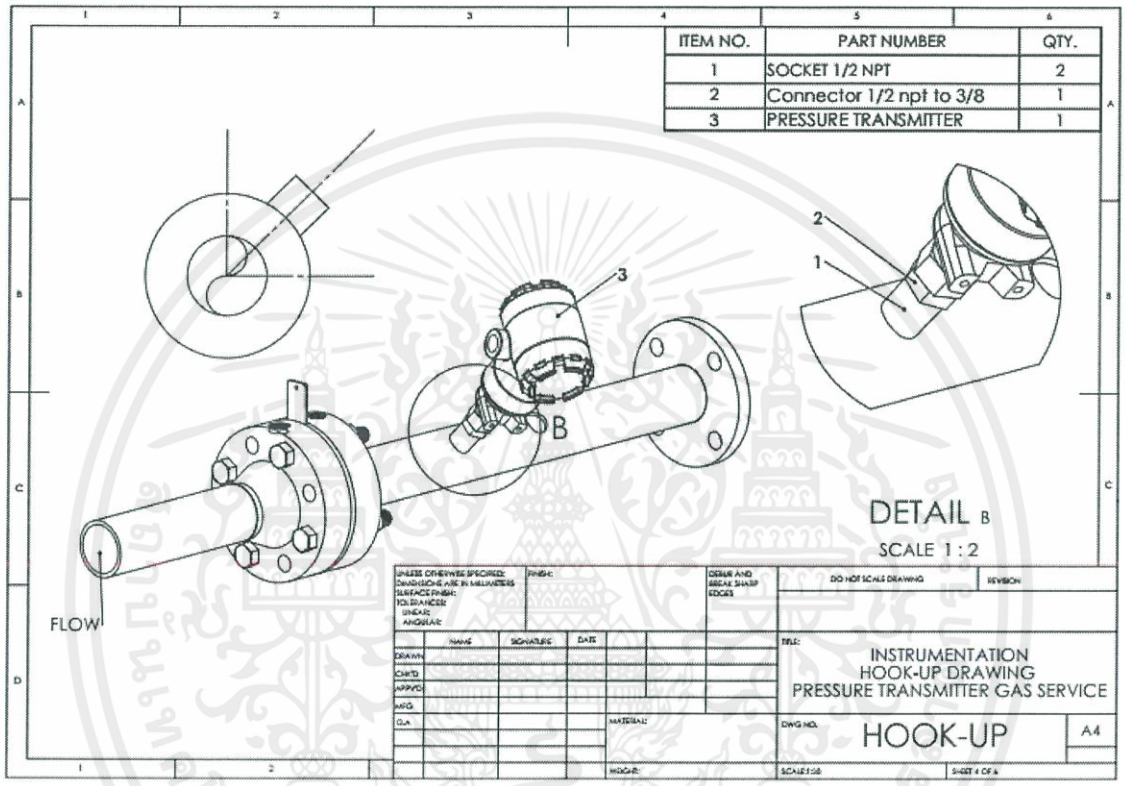
NOTES:

รูปที่ 4.8 เอกสารข้อกำหนดของทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ลักษณะการติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน

ในการติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันนั้น จะติดตั้งอยู่บนท่อทางด้านหลัง (Downstream) ตามที่มาตรฐาน AGA Report No.3 ระบุไว้ โดยติดตั้งเอียง 45 องศา จากนั้นนำมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การติดตั้งทรานส์มิตเตอร์วัดความดันเข้ากับ Metering Tube

4.5 อาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ

4.5.1 เอกสารข้อกำหนดของอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ

- ข้อมูลอุปกรณ์อาร์ทีดี ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้
  1. ชนิดการวัด : PT100
  2. ย่านการวัด : 850 องศาเซลเซียส
  3. ประเภทการปรับแต่ง : ประเภททางเดียว
  4. วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มทรานส์มิตเตอร์ : ทำมาจากโลหะผสมอะลูมิเนียม
  5. สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ : 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์
  6. การป้องกันการระเบิด : EExd ทนต่อไฟและทนต่อการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

** สามารถดูรายละเอียดของอาร์ทีดีวัดอุณหภูมิเพิ่มเติมได้ในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4J PROJECT	INSTRUMENT DATA SHEET RTD/TC temperature Xmtr			TAG NO.	J-012-TT-0001		
1	**OPERATING PARAMETERS**			45	**TRANSMIITER OR SWITCH (CONTINUED)**			
2	Tag Number	J-012-TT-0001		46	Temp conpensation type	NA		
3	Project number			47	Enclosure material	Aluminum Die cast		
4	Project	4J		48	Mounting kit material	316 Stainless Steel		
5	Module number			49				
6	Commissioning System Number			50				
7	Vendor Tag number	NA		51				
8	Unit Name			52	**PERFORMANCE CHARACTERISTICS**			
9	NA			53	Accuracy rating			
10	Equipment			54	Measurement Lower range-limit	-50°C	URL	250°C
11	Service			55	Minimum abbient working temp	-20°C	MAX	80°C
12	PID / Reference dwg number			56	Contacts ac rating		Atmax	
13	Local hazardous area class	I	Div/Zone 0	57	Contacts dc rating		Atmax	
14	Local hazardous area group	IIA	Temp class T1	58				
15	Environmental area	Indoor		59				
16	Criticality			60				
17	Certification	Ex-d		61				
18	Supply loss failure mode	NA		62				
19	Signal loss failure mode	NA		63				
20	**TRANSMITTER OR SWITCH**			64				
21	Housing type	EP encloser 2 conn		65				
22	Input sensor type	RTD PT100		66	**ACCESSORIES**			
23	Output signal type	4-20 mA		67	Remote indicator style	NA		
24	Min measurement span	-	Max 850°C	68	Indicator enclosure	NA		
25	Temp coeff / Tolerance class	NA		69	Air set filter style	NA		
26	Isolation type	Linear		70	Air set gauges	NA		
27	Enclosure type number / class	NA		71				
28	Adjustment type	Single Direct		72				
29	Linearity Type	3 Wire		73	**SPECIAL REQUIREMENTS**			
30	Digital communication standard	Na	Quantity 0	74	Custom tag			
31	Loop power supply	NA		75	Reference specification			
32	Requries line power supply	NA		76	Compliance standard			
33	Measurement type			77	Calibration Report			
34	Configuration-no of wires			78	Software configuration	Transmitter configuration		
35	Contacts arrangement			79				
36	Failsafe style			80				
37	Transient protection			81				
38	Integral indicator style			82	**PURCHASE**			
39	Signal connection style			83	Purchase order number	NA		
40	Type of Protection	Flameproof		84	Item number	NA		
41	Mounting type	Bracket mount		85	Serial number	NA		
42	Failure / Diagnostic action	Drive output high		86	Dry weight	NA		
43	Dead band type	NA		87	Manufacturer referance dwg	NA		
44	Switch time delay	NA		88				

89	**CALIBRATIONS AND TEST**	**INPUT OR TEST**		**OUTPUT TYPE**	**OUTPUT SIGNAL OR SCALE**		
90	**DESCRIPTION**	**LRV OR TYPE**	**URV OR SETPOINT**	**OR DIRECTION**	**LRV**	**URV**	**UNITS**
91	Temperature - Output 1						
92	Temperature - Output 2						
93	Temp difference - Output 3						
94	Temperature - Scale 1						
95	Terminal temp - Scale 2						
96	Internal temp - Digital Output						
97	Temperature - First setpoint						
98	Temperature - Second setpoint						
99	Temperature - Third setpoint						
100	Temperature - Fourth setpoint						
101	Failure signal - Output						
102	Other - Output						

103	**COMPONENT IDENTIFICATIONS**		
104	**COMPONENT TYPE**	**MANUFACTURER**	**MODEL NUMBER**
105			
106			
107			

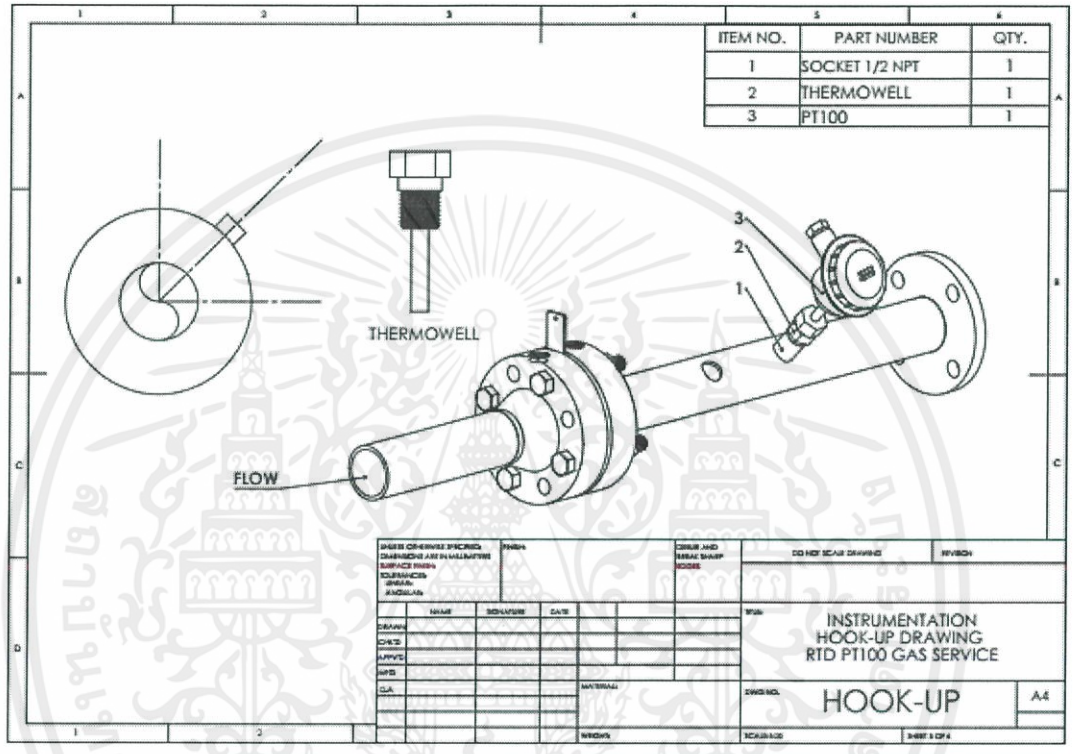
NOTES:

รูปที่ 4.10 เอกสารข้อกำหนดของอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ลักษณะการติดตั้งอาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหูมิ

ในการติดตั้งอุปกรณ์ RTD ชนิด PT100 ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 Part2 หัวข้อ 2.6.5 ได้ระบุให้ระยะห่างของอุปกรณ์อยู่ระหว่าง DL ถึง 4DL ซึ่ง DL สามารถดูได้จากตารางที่ 2.3 จากนั้นนำมาวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การติดตั้งอุปกรณ์อาร์ทีดี สำหรับวัดอุณหภูมิเข้ากับ Metering Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการสอบเทียบ

การสอบเทียบนี้ใช้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายนอก โดยบริษัท โฟลว์แล็บ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด เป็นการสอบเทียบโดยใช้น้ำ โดยใช้โปรแกรม Flow Consultant ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่จะนำมาใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งกำหนดขนาดท่อ 2 นิ้ว (DN 50) และมีความหนาผนังท่อ (Pipe Schedule) คือ 40 ดังนั้น เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ เท่ากับ 52.5018 มิลลิเมตร รูของแผ่นออริฟิส เท่ากับ 23 มิลลิเมตร และค่าเบต้า เท่ากับ 0.43 และเลือกของไหลเป็นน้ำ จะได้อัตราการไหลของน้ำสูงสุดและปกติเป็น 2500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 1500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12

```
TAG Fluid  :water                                Sales Order:
Fluid Ref. :ENTER water                          Service    :
Pipe       :304 Stainless Steel                  Primary    :304 Stainless Steel
Meter      :Concentric: Flange Taps              Taps       :Flange
Coeff Eq   :ANSI 2530/AGA-3                      Calculation:DP
Preparer   :rwm                                  Printed    :5/19/2017 81CH1604
------------------------ Calculated Differential -------------------------
Differential                                     16.04271 mBar
Flow Rate                                        1500.00  kg/h
Pipe Reynolds Number                             10103.
-------------------------- Scaled Maximum Values --------------------------
Flow Rate                                        2500.00  kg/h
Differential              (Max)                  44.5631  mBar
Pipe Reynolds Number      (Max)                  16838.
------------------------------ Measurements -------------------------------
Pressure  pG                                     9.8000   Bar,gage
Barometric                                       1.0133   Bar,abs
Temperature (Flowing)                            30.0000  degC
---------------------------- Fluid Properties -----------------------------
Density (Flowing)                                803.40553kg/m^3
  Specific Gravity (GF)                          0.80420
  Liquid Compressibilty      Fp                  1.00000
Viscosity                                        1.00000  cP
-------------------------------- Factors ----------------------------------
Discharge Coefficient(C)                         0.61282  @ Flow Rate
Pipe Thermal Expansion(FaD)                      1.00016
Bore Thermal Expansion(Fad)                      1.00016
----------------- Flow Meter Constant (for AGA/API C'=FMC) -----------------
  FMC=(kg/h)/(dp)^ 0.5                           374.5005
--------------------------- Design Information ---------------------------
Pipe Diameter(D)                                 52.50180 mm@20.degC
Bore Diameter (d)                                23.00000 mm@20.degC
Plate Thickness-Flange Mounted Plate             3.1750   mm@20.degC
Manufacturer's Recommended Plate Thickness       3.175
Beta                                             0.43808  @20.degC
Pipeline Velocity (Max)                          0.40     m/s
Overall Pressure Loss(Max)                       35.0391  mBar
Energy Cost                                      88.      $/year@2.00/kwh
```

รูปที่ 4.12 สรุปผลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปใช้สอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถดูความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง และความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง ได้ในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ

Fluid: Methane
Meter: Concentric: Flange Taps
Pipe Material: 304 Stainless Steel
Pipe Diameter(d): 52.5018 mm
Service:
Coeff Eq: ANSI 2530/AGA-3
Primary Element Material: 304 Stainless Steel
Bore Diameter: 22.9882 mm

dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias
mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%
0.450	22.000	22.229	-1.03	11.700	112.178	112.231	-0.05	22.950	157.111	157.047	0.04	34.200	191.792	191.647	0.08
0.900	31.113	31.340	-0.73	12.150	114.315	114.363	-0.04	23.400	158.644	158.576	0.04	34.650	193.049	192.902	0.08
1.350	38.105	38.326	-0.58	12.600	116.413	116.455	-0.04	23.850	160.162	160.090	0.05	35.100	194.299	194.149	0.08
1.800	44.000	44.213	-0.48	13.050	118.474	118.510	-0.03	24.300	161.666	161.590	0.05	35.550	195.540	195.388	0.08
2.250	49.193	49.397	-0.41	13.500	120.499	120.530	-0.03	24.750	163.156	163.077	0.05	36.000	196.774	196.620	0.08
2.700	53.889	54.084	-0.36	13.950	122.491	122.516	-0.02	25.200	164.633	164.550	0.05	36.450	198.000	197.843	0.08
3.150	58.207	58.393	-0.32	14.400	124.451	124.471	-0.02	25.650	166.096	166.010	0.05	36.900	199.218	199.059	0.08
3.600	62.225	62.404	-0.29	14.850	126.380	126.395	-0.01	26.100	167.547	167.457	0.05	37.350	200.430	200.268	0.08
4.050	66.000	66.170	-0.26	15.300	128.281	128.291	-0.01	26.550	168.985	168.892	0.06	37.800	201.633	201.469	0.08
4.500	69.570	69.732	-0.23	15.750	130.154	130.159	0.00	27.000	170.411	170.314	0.06	38.250	202.830	202.664	0.08
4.950	72.966	73.120	-0.21	16.200	132.000	132.000	0.00	27.450	171.825	171.725	0.06	38.700	204.020	203.851	0.08
5.400	76.210	76.356	-0.19	16.650	133.821	133.816	0.00	27.900	173.228	173.125	0.06	39.150	205.202	205.032	0.08
5.850	79.322	79.461	-0.17	17.100	135.617	135.608	0.01	28.350	174.620	174.513	0.06	39.600	206.378	206.205	0.08
6.300	82.316	82.448	-0.16	17.550	137.390	137.376	0.01	28.800	176.000	175.890	0.06	40.050	207.548	207.373	0.08
6.750	85.206	85.329	-0.15	18.000	139.140	139.121	0.01	29.250	177.370	177.257	0.06	40.500	208.710	208.533	0.08
7.200	88.000	88.117	-0.13	18.450	140.869	140.845	0.02	29.700	178.729	178.613	0.06	40.950	209.867	209.687	0.09
7.650	90.708	90.818	-0.12	18.900	142.576	142.549	0.02	30.150	180.078	179.959	0.07	41.400	211.017	210.835	0.09
8.100	93.338	93.441	-0.11	19.350	144.264	144.233	0.02	30.600	181.417	181.295	0.07	41.850	212.160	211.977	0.09
8.550	95.896	95.992	-0.10	19.800	145.931	145.895	0.02	31.050	182.746	182.621	0.07	42.300	213.296	213.113	0.09
9.000	98.387	98.477	-0.09	20.250	147.580	147.540	0.03	31.500	184.065	183.937	0.07	42.750	214.429	214.242	0.09
9.450	100.817	100.900	-0.08	20.700	149.211	149.167	0.03	31.950	185.375	185.245	0.07	43.200	215.555	215.366	0.09
9.900	103.189	103.266	-0.07	21.150	150.824	150.776	0.03	32.400	186.676	186.543	0.07	43.650	216.675	216.484	0.09
10.350	105.508	105.579	-0.07	21.600	152.420	152.368	0.03	32.850	187.968	187.832	0.07	44.100	217.789	217.596	0.09
10.800	107.778	107.842	-0.06	22.050	154.000	153.943	0.04	33.300	189.251	189.112	0.07	44.550	218.897	218.703	0.09
11.250	110.000	110.059	-0.05	22.500	155.563	155.503	0.04	33.750	190.526	190.384	0.07	45.000	220.000	219.804	0.09

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง

Fluid: water
Meter: Concentric: Flange Taps
Pipe Material: 304 Stainless Steel
Pipe Diameter(d): 52.5018 mm
Service:
Coeff Eq: ANSI 2530/AGA-3
Primary Element Material: 304 Stainless Steel
Bore Diameter: 23.0000 mm

dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias	dp	kg/h		Bias
mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%	mBar	Scaled	Actual	%
0.446	250.00	260.50	-4.03	11.586	1274.75	1277.34	-0.20	22.727	1785.36	1781.90	0.19	33.868	2179.45	2170.95	0.39
0.891	353.55	363.91	-2.85	12.032	1299.04	1301.35	-0.18	23.173	1802.78	1799.10	0.20	34.314	2193.74	2185.06	0.40
1.337	433.01	443.05	-2.27	12.478	1322.88	1324.92	-0.15	23.618	1820.03	1816.13	0.21	34.759	2207.94	2199.07	0.40
1.783	500.00	509.68	-1.90	12.923	1346.29	1348.07	-0.13	24.064	1837.12	1833.01	0.22	35.205	2222.05	2212.99	0.41
2.228	559.02	568.33	-1.64	13.369	1369.31	1370.83	-0.11	24.510	1854.05	1849.73	0.23	35.650	2236.07	2226.83	0.41
2.674	612.37	621.31	-1.44	13.815	1391.94	1393.20	-0.09	24.955	1870.83	1866.30	0.24	36.096	2250.00	2240.58	0.42
3.119	661.44	670.00	-1.28	14.260	1414.21	1415.22	-0.07	25.401	1887.46	1883.72	0.25	36.542	2263.85	2254.24	0.43
3.565	707.11	715.31	-1.15	14.706	1436.14	1436.89	-0.05	25.847	1903.94	1898.99	0.26	36.987	2277.61	2267.82	0.43
4.011	750.00	757.84	-1.03	15.151	1457.74	1458.23	-0.03	26.292	1920.29	1915.13	0.27	37.433	2291.29	2281.32	0.44
4.456	790.57	798.06	-0.94	15.597	1479.02	1479.27	-0.02	26.738	1936.49	1931.13	0.28	37.879	2304.89	2294.74	0.44
4.902	829.16	836.30	-0.85	16.043	1500.00	1500.00	0.00	27.183	1952.56	1947.00	0.29	38.324	2318.40	2308.08	0.45
5.348	866.03	872.83	-0.78	16.488	1520.69	1520.45	0.02	27.629	1968.50	1962.73	0.29	38.770	2331.84	2321.34	0.45
5.793	901.39	907.86	-0.71	16.934	1541.10	1540.62	0.03	28.075	1984.31	1978.34	0.30	39.216	2345.21	2334.52	0.46
6.239	935.41	941.56	-0.65	17.380	1561.25	1560.52	0.05	28.520	2000.00	1993.83	0.31	39.661	2358.50	2347.63	0.46
6.684	968.25	974.07	-0.60	17.825	1581.14	1580.17	0.06	28.966	2015.56	2009.19	0.32	40.107	2371.71	2360.67	0.47
7.130	1000.00	1005.51	-0.55	18.271	1600.78	1599.58	0.08	29.412	2031.01	2024.44	0.32	40.552	2384.85	2373.63	0.47
7.576	1030.78	1035.97	-0.50	18.716	1620.19	1618.75	0.09	29.857	2046.34	2039.57	0.33	40.998	2397.92	2386.53	0.48
8.021	1060.66	1065.55	-0.46	19.162	1639.36	1637.69	0.10	30.303	2061.55	2054.59	0.34	41.444	2410.91	2399.35	0.48
8.467	1089.72	1094.31	-0.42	19.608	1658.31	1656.41	0.11	30.749	2076.66	2069.50	0.35	41.889	2423.84	2412.10	0.49
8.913	1118.03	1122.32	-0.38	20.053	1677.05	1674.92	0.13	31.194	2091.65	2084.30	0.35	42.335	2436.70	2424.79	0.49
9.358	1145.64	1149.64	-0.35	20.499	1695.58	1693.23	0.14	31.640	2106.54	2098.99	0.36	42.781	2449.49	2437.41	0.50
9.804	1172.60	1176.31	-0.32	20.945	1713.91	1711.34	0.15	32.085	2121.32	2113.58	0.37	43.226	2462.21	2449.96	0.50
10.250	1198.96	1202.38	-0.28	21.390	1732.05	1729.25	0.16	32.531	2136.00	2128.07	0.37	43.672	2474.87	2462.45	0.50
10.695	1224.74	1227.88	-0.26	21.836	1750.00	1746.98	0.17	32.977	2150.58	2142.46	0.38	44.117	2487.47	2474.88	0.51
11.141	1250.00	1252.86	-0.23	22.282	1767.77	1764.52	0.18	33.422	2165.06	2156.76	0.39	44.563	2500.00	2487.24	0.51

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเมื่อเทียบกับค่าความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 สามารถนำมาเรียบเรียงลงในตารางที่ 4.1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันแตกต่างและอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซและน้ำ

ลำดับ	ค่าความดันแตกต่าง (มิลลิบาร์)	อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ลำดับ	ค่าความดันแตกต่าง (มิลลิบาร์)	อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
1	0.45	22.000	250.000	51	22.95	157.111	1785.36
2	0.90	31.113	353.550	52	23.40	158.644	1802.78
3	1.35	38.105	433.010	53	23.85	160.162	1820.03
4	1.80	44.000	500.000	54	24.30	161.666	1837.12
5	2.25	49.193	559.020	55	24.75	163.156	1884.05
6	2.70	53.889	612.370	56	25.20	164.633	1870.83
7	3.15	58.307	661.440	57	25.65	166.096	1887.46
8	3.60	62.225	707.110	58	26.10	167.547	1903.94
9	4.05	66.000	750.000	59	26.55	168.985	1920.29
10	4.50	69.570	790.570	60	27.00	170.411	1936.49
11	4.95	72.966	829.160	61	27.45	171.825	1952.56
12	5.40	76.310	866.030	62	27.90	173.228	1968.50
13	5.85	79.322	901.390	63	28.35	174.513	1984.31
14	6.30	82.316	935.410	64	28.80	175.890	2000.00
15	6.75	85.206	968.250	65	29.25	177.257	2015.56
16	7.20	88.000	1000.000	66	29.70	178.613	2031.01
17	7.65	90.708	1030.750	67	30.15	180.078	2046.34
18	8.10	93.338	1060.660	68	30.60	181.417	2061.55
19	8.55	95.896	1089.720	69	31.05	182.746	2076.66
20	9.00	98.387	1118.030	70	31.50	184.065	2091.65
21	9.45	100.817	1145.640	71	31.95	185.375	2106.54
22	9.90	103.189	1172.600	72	32.40	186.676	2121.32
23	10.35	105.508	1198.960	73	32.85	187.968	2136.00
24	10.80	107.778	1224.740	74	33.30	189.251	2150.58
25	11.25	110.000	1250.000	75	33.75	190.536	2165.06
26	11.70	112.178	1274.750	76	34.20	191.792	2179.45
27	12.15	114.315	1299.040	77	34.65	193.049	2193.74
28	12.60	116.413	1322.88	78	35.10	194.399	2207.94
29	13.05	118.474	1346.29	79	35.55	195.540	2222.05
30	13.50	120.499	1369.31	80	36.00	196.774	2236.07
31	13.95	122.491	1391.94	81	36.45	198.000	2250.00
32	14.40	124.451	1414.21	82	36.90	199.218	2263.85
33	14.85	126.380	1436.14	83	37.35	200.430	2277.61
34	15.30	128.281	1457.74	84	37.80	201.633	2291.29
35	15.75	130.154	1479.02	85	38.25	202.830	2304.89
36	16.20	132.000	1500.00	86	38.70	204.020	2318.40
37	16.65	133.821	1520.69	87	39.15	205.202	2331.84
38	17.10	135.617	1541.10	88	39.60	206.378	2345.21
39	17.55	137.390	1561.25	89	40.05	207.548	2358.50
40	18.00	139.140	1581.14	90	40.50	208.710	2371.71
41	18.45	140.869	1600.78	91	40.95	209.867	2384.85
42	18.90	142.576	1620.19	92	41.40	211.017	2397.92
43	19.35	144.264	1639.36	93	41.85	212.160	2410.91
44	19.80	145.931	1658.31	94	42.30	213.398	2423.84
45	20.25	147.580	1677.05	95	42.75	214.429	2436.70
46	20.70	149.311	1695.58	96	43.20	215.555	2449.49
47	21.15	150.824	1713.91	97	43.65	216.675	2462.21
48	21.60	152.420	1732.05	98	44.10	217.789	2474.87
49	22.05	154.000	1750.00	99	44.55	218.897	2487.47
50	22.50	155.563	1767.77	100	45.00	220.000	2500.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWLAB & SERVICE

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD.

CALIBRATION CERTIFICATE

CUSTOMER : **King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.**
Chalongkrung Rd., Ladkrabang,
Bangkok Thailand 10520

LOCATION : Flow Calibration Laboratory,
Flowlab & Service Co., Ltd., Rayong

CERTIFICATE No. : FLS-LAB3-1027/2017 ISSUE DATE : 19-May-2017
REQUEST No. : L3-17-05-006

UNIT UNDER CALIBRATION

SENSOR DATA

Type	:	2" Orefice Plate Flow Meter
Manufacturer	:	Sense Pressure Transmitter
Model	:	STK335
Serial No.	:	20120921004
Tag No.	:	-
Connection Type	:	2" ANSI 300

CALIBRATION CONDITION

Mode	:	Volumetric Flow Measuremen
Flow range	:	0 - 2.5 m^3/h
Test Media	:	Water
Reference Temp.	:	15 Deg C

MAX.PERMISSIBLE

Error	:	± 0.10 %
Repeatability	:	± 0.05 %

TRANSMITTER DATA

Manufacturer	:	-
Model	:	-
Serial No.	:	-

ENVIRONMENT

Ambient Temperature	:	(30 ± 5) Deg C
Relative Humidity	:	< 80 %
Atmosphere Pressure	:	900 < P < 1100 mbar

MEASUREMENT PROCEDURE :
This unit under calibration was calibrated according to is ISO International Standard 4185, Measurement of Liquid flow in closed conduits - Weighing Method. [Ref.No.ISO 4185 : 1980/cor.1:1993(E)]

REFERENCE STANDARD USED

Item	Description / Model	Serial No.	Certificate No.	Due Date
1	Electronic Weight Scale , IND560	B446247277	CCW-4069-16/C	21-Sep-2017
	- Traceable to : Mettler Toledo Co.,Ltd. Calibration No. 0062			
2	Counter/Timer , L81002FR	111914-152	FLS-TM-3001/2016	15-Aug-2017
	- Traceable to : Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR). Calibration No. 0037			

TRACEABILITY : All measurements are traceability to SI unit.

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD

CALIBRATED BY : Nadda. S

- ☐ PORNPHATTHA SETWONG *(Technician)*
- ☑ NADDA SAKUNPHITHAK *(Engineer)*

APPROVED BY :

- ☐ CHATCHAI TAENG-ON *(Assist. Technical Manager)*
- ☑ MONGKOL KIDKHAYAN *(Technical Manager)*

รูปที่ 4.15 ใบ Certificate แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWLAB & SERVICE

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD.

CALIBRATION CERTIFICATE

CUSTOMER : **King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.**
Chalongkrung Rd., Ladkrabang,
Bangkok Thailand 10520

CERTIFICATE No. : FLS-LAB3-1027/2017
DATE OF RECEIVED : 19-May-2017
DATE OF CALIBRATION : 19-May-2017

UNIT UNDER CALIBRATION RESULT :
The results of unit under calibration was found accurate as show on date and place of calibration only which is valid exclusively for calibrated meter as mentioned in certificate.

Requirement to : ● Without Adjustment ○ With Adjustment

AS FOUND CALIBRATION

Calibration @ point	% Flowrate of Calibration	Flowrate : m³/h Unit Under Calibration	Flowrate : m³/h Reference Standard	Error * (%)	Repeat (%)	Uncertainty (%)
1	62.51	1.10425	1.56263	-29.334	0.034	0.028
2	101.08	2.44655	2.52709	-3.187	0.047	0.028

AS LEFT CALIBRATION

Calibration @ point	% Flowrate of Calibration	Flowrate : m³/h Unit Under Calibration	Flowrate : m³/h Reference Standard	Error * (%)	Repeat (%)	Uncertainty (%)

Reference Temp = 15 Deg C

** % Error = [(UUC flowrate - Reference Standard flowrate) / Reference Standard flowrate] x 100*

Note : Maximum permissible : Error = ± 0.10 %
Repeatability = ± 0.05 %

The reported uncertainty of measurement was based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = 2.00 , providing a level of confidence of approximately 95%.

CALIBRATED BY : Nadda.S
☐ PORNPHATTHA SETWONG *(Technician)*
☑ NADDA SAKUNPHITHAK *(Engineer)*

รูปที่ 4.16 ใบ Certificate แสดงข้อมูลสรุปผลการสอบเทียบที่อัตราการไหลปกติและสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWLAB & SERVICE

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD.

CALIBRATION CERTIFICATE

Certificate No. : FLS-LAB3-1027/2017
Calibration Date : 19-May-2017

Customer : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
: Chalongkrung Rd., Ladkrabang,
Bangkok Thailand 10520

UNIT UNDER CALIBRATION

Sensor Information
Manufacturer : Sense Pressure Transmitter
Model : STK335
Serial No. : 20120921004
Tag No. : -

Transmitter Information
Manufacturer : -
Model : -
Serial No. : -

CALIBRATION CONDITION

Mode : Volumetric Flow Measurement
Flow range : 0 - 2.5 m³/h
Test Media : Water
Reference Temp. : 15 Deg C

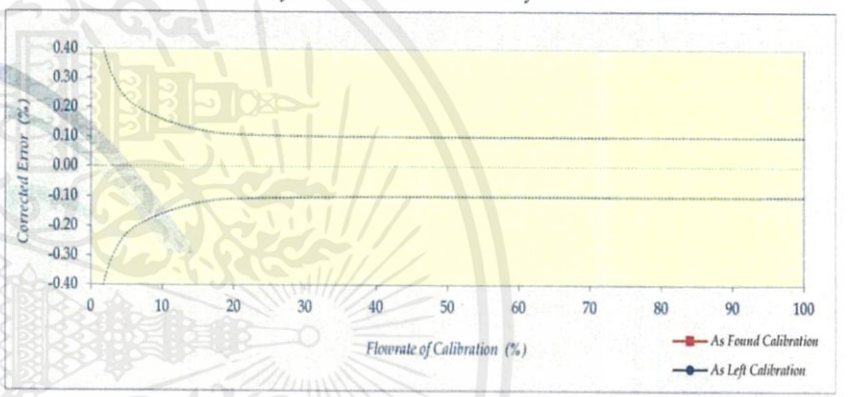
MAXIMUM PERMISSIBLE

Error : ± 0.10 %
Repeatability : ± 0.05 %

CALIBRATED BY : Nadda.S

☐ PORNPHATTHA SETWONG *(Technician)*
☑ NADDA SAKUNPHITHAK *(Engineer)*

2" Orefice Plate Flow Meter Performance Curve



As Found Calibration

Flowrate of Calibration (%)	Flowrate m³/h	Error (%)
62.51	1.56263	-29.334
101.08	2.52709	-3.187

As Left Calibration

Flowrate of Calibration (%)	Flowrate m³/h	Error (%)

Remark: 62.51 and 101.08% of Flowrate of Calibration have %Error over range.

รูปที่ 4.17 ใบ Certificate แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Error (%) กับอัตราการไหล (%) ที่ได้จากการสอบเทียบ

FLOWLAB & SERVICE

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD.

METER CALIBRATION REPORT

Base on ISO 4185, Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method [Ref. No. ISO4185 : 1980/Cor.1 : 1993(E)]

CUSTOMER INFORMATION		
Certificate No.	:	FLS-LAB3-1027/2017
Calibration Date	:	19-May-2017
Customer	:	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
Location	:	Flow Calibration Laboratory,

METER TRANSMITTER			
Tag No.	:	-	
Manufacturer	:	-	
Model	:	-	
Serial No.	:	-	
Reference Temp	:	15	Deg C

WEIGHING SYSTEM		
Type	:	Electronic Balance
Manufacturer	:	Mettler toledo
Model	:	JagXtreame
Serial No.	:	B446247277
Certificate No.	:	CCW-4069-16/C
Due Date		September 21, 2017

	Unit Under Calibration							Reference Standard					Meter
Run No.	Total Pulse	Timer (sec)	Frequency (Hz) [2]/[3]	Pulse Output (Pulse/Litre)	Temp (°C)	Fluid Density (Kg/Litre)	UUC flowrate m³/h [2]/[5]/[3]	Weight Reading (Kg)	Temp (°C)	Fluid Density (Kg/Litre)	Buoyancy Factor	Ref. STD. flowrate m³/h [9]x[12]/[11]/[3]	Factor [13]/[8]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
As Found Calibration													
1	226931	256.852	883.51	2880.0000	31.57	0.995160	1.10439	111.408	31.31	0.995242	1.001032	1.56309	1.415342
2	229028	259.257	883.40	2880.0000	31.57	0.995160	1.10425	112.418	31.32	0.995239	1.001032	1.56263	1.415105
3	231125	261.662	883.30	2880.0000	31.57	0.995160	1.10412	113.428	31.32	0.995239	1.001032	1.56218	1.414864

UNIT UNDER CALIBRATION		
Manufacturer	:	Sense Pressure Transmitter
Sensor Model	:	STK335
Serial No.	:	20120921004
Flow Range	:	2.5 m³/h
Connection Type	:	2" ANSI 300
Type	:	2" Orefice Plate Flow Meter

CHART UNIT		
Volume	:	Litre
Temperature	:	Deg C
Flowrate	:	m³/h
Mode	:	Volumetric Flow Measurement

AVERAGE RESULT		
Run No.	:	1 - 3
Flowrate	:	1.56263 m³/h
Meter Factor	:	1.415104
% Repeatability	:	0.034
% Error	:	-29.334
K-Factor	:	2880.0000 Pulse/Litre
Frequency	:	883.40 Hz

* %Error = [(UUC Flowrate - Reference Standard flowrate) / (Reference Standard flowrate)] x 100

CALIBRATED BY : Nadda. S

☐ PORNPHATTHA SETWONG *(Technician)*

☑ NADDA SAKUNPHITHAK *(Engineer)*

รูปที่ 4.18 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 โดยใช้อัตราการไหลปกติ

FLOWLAB & SERVICE

FLOWLAB & SERVICE CO., LTD.

METER CALIBRATION REPORT

Base on ISO 4185, Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method [Ref. No. ISO4185 : 1980/Cor.1 : 1993(E)]

CUSTOMER INFORMATION		
Certificate No.	:	FLS-LAB3-1027/2017
Calibration Date	:	19-May-2017
Customer	:	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
Location	:	Flow Calibration Laboratory,

METER TRANSMITTER			
Tag No.	:	-	
Manufacturer	:	-	
Model	:	-	
Serial No.	:	-	
Reference Temp	:	15	Deg C

WEIGHING SYSTEM		
Type	:	Electronic Balance
Manufacturer	:	Mettler toledo
Model	:	JagXtreame
Serial No.	:	B446247277
Certificate No.	:	CCW-4069-16/C
Due Date		September 21, 2017

	Unit Under Calibration							Reference Standard					Meter
Run No.	Total Pulse	Timer (sec)	Frequency (Hz) [2]/[3]	Pulse Output (Pulse/Litre)	Temp (°C)	Fluid Density (Kg/Litre)	UUC flowrate m³/h [2]/[5]/[3]	Weight Reading (Kg)	Temp (°C)	Fluid Density (Kg/Litre)	Buoyancy Factor	Ref. STD. flowrate m³/h [9]x[12]/[11]/[3]	Factor [13]/[8]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
	As Found Calibration												
1	313203	159.839	1959.49	2880.0000	31.57	0.995160	2.44936	112.180	31.34	0.995232	1.001032	2.52920	1.032596
2	312329	159.509	1958.07	2880.0000	31.57	0.995160	2.44758	111.920	31.34	0.995232	1.001032	2.52856	1.033086
3	311455	159.379	1954.18	2880.0000	31.57	0.995160	2.44272	111.605	31.34	0.995232	1.001032	2.52350	1.033070

UNIT UNDER CALIBRATION		
Manufacturer	:	Sense Pressure Transmitter
Sensor Model	:	STK335
Serial No.	:	20120921004
Flow Range	:	2.5 m³/h
Connection Type	:	2" ANSI 300
Type	:	2" Orefice Plate Flow Meter

CHART UNIT		
Volume	:	Litre
Temperature	:	Deg C
Flowrate	:	m³/h
Mode	:	Volumetric Flow Measurement

AVERAGE RESULT		
Run No.	:	1 - 3
Flowrate	:	2.52709 m³/h
Meter Factor	:	1.032917
% Repeatability	:	0.047
% Error	:	-3.187
K-Factor	:	2880.0000 Pulse/Litre
Frequency	:	1957.25 Hz

* *%Error = [(UUC Flowrate - Reference Standard flowrate) / (Reference Standard flowrate)] x 100*

CALIBRATED BY : Nadda. S

☐ PORNPHATTHA SETWONG *(Technician)*

☑ NADDA SAKUNPHITHAK *(Engineer)*

รูปที่ 4.19 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 2 โดยใช้อัตราการไหลสูงสุด

จากการออกแบบแผ่นออริฟิส หน้าแปลน และการติดตั้งอุปกรณ์การวัดต่างๆ สำหรับวัดอัตราการไหลก๊าซ ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 เพื่อให้มีการรองรับว่าผลการออกแบบนั้นสมบูรณ์ ควรนำไปสอบเทียบด้วยก๊าซ แต่เนื่องจากไม่มีชุดสอบเทียบด้วยก๊าซ จึงต้องใช้น้ำเป็นตัวกลางการสอบเทียบแทน ซึ่งผลการสอบเทียบด้วยน้ำ อ้างอิงตามใบ Certificate ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 เป็นดังนี้

ทำการสอบเทียบ Orifice Plate Flow Meter ขนาดท่อ 2 นิ้ว สอบเทียบด้วยน้ำ ย่านอัตราการไหลอยู่ที่ 0 - 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ อุณหภูมิอ้างอิง 15 องศาเซลเซียส วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) สามารถยอมรับค่าความผิดพลาดสูงสุด ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการทำซ้ำ ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ ขณะสอบเทียบ อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 30 ± 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และความดันบรรยากาศอยู่ในช่วง 900 – 1100 มิลลิบาร์ การสอบเทียบครั้งนี้ทำการสอบเทียบสองครั้ง วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) โดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

ครั้งที่ 1 สอบเทียบด้วยอัตราการไหลปกติที่ 62.51 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 1.56263 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง Orifice Plate Flowmeter วัดอัตราการไหลได้ 1.10425 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คิดค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 29.334 เปอร์เซ็นต์ และทำซ้ำอีก 2 ครั้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำ เท่ากับ 0.034 เปอร์เซ็นต์ และค่าความไม่แน่นอน เท่ากับ 0.028 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่ 2 สอบเทียบด้วยอัตราการไหลสูงสุดที่ 101.08 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 2.52709 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง Orifice Plate Flowmeter วัดอัตราการไหลได้ 2.44655 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คิดค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 3.187 เปอร์เซ็นต์ และทำซ้ำอีก 2 ครั้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำ เท่ากับ 0.047 เปอร์เซ็นต์ และค่าความไม่แน่นอน เท่ากับ 0.028 เปอร์เซ็นต์

ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของการสอบเทียบทั้งสองครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ออกแบบนั้นใช้งานไม่ได้จริง ถึงแม้ว่าในการสอบเทียบด้วยอัตราการไหลสูงสุดจะเกิดค่าความผิดพลาดเพียง 3.187 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากในการสอบเทียบด้วยอัตราการไหลปกตินั้นมีค่าความผิดพลาดสูงเกินไป ชิ้นงานนี้จึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาและอุปสรรคขณะทำงาน รวมไปถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบ เพื่อให้ดำเนินการสำเร็จตามขอบเขตที่กำหนดไว้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการออกแบบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลชนิดแผ่นออริฟิสนี้ ผู้จัดทำได้ศึกษาทำความเข้าใจในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหล และหลักการการออกแบบแผ่นออริฟิส สำหรับวัดอัตราการไหลก๊าซ ตามมาตรฐาน AGA Report No.3 รวมไปถึงวิธีการติดตั้ง และสอบเทียบ นอกจากการออกแบบ สร้าง อุปกรณ์วัดอัตราการไหลนี้แล้วนั้น ยังได้ออกแบบหน้าแปลน Metering Tube และได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการใช้งานเฉพาะของแต่ละอุปกรณ์ พร้อมจัดทำเอกสารข้อกำหนดอุปกรณ์ต่างๆเพิ่มเติม ได้แก่ ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน และอาร์ทีดีสำหรับวัดอุณหภูมิ โดยเลือกชนิดของอุปกรณ์ให้มีย่านการวัดความเหมาะสมกับงานที่ออกแบบไว้และสามารถใช้งานได้ในระยะยาว

หลังจากออกแบบ สร้าง เรียบร้อยทั้งหมดแล้ว ได้นำไปสอบเทียบโดยใช้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายนอก พบว่าอุปกรณ์การวัดทุกตัวสามารถใช้งานได้จริง แต่ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด เนื่องจากต้องสอบเทียบด้วยก๊าซ แต่ไม่สามารถหาที่สอบเทียบได้จึงต้องสอบเทียบด้วยน้ำ ซึ่งการสอบเทียบด้วยน้ำนี้ส่งผลทำให้เกิดค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น โดยการสอบเทียบด้วยอัตราการไหลปกติ คิดค่าความผิดพลาดเท่ากับ 29.334 เปอร์เซ็นต์ และสอบเทียบด้วยอัตราการไหลสูงสุด คิดค่าความผิดพลาด เท่ากับ 3.187 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นมากเกินกว่าที่ผู้ออกแบบยอมรับได้ ดังนั้น ชิ้นงานนี้จึงไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ความรู้ที่ศึกษามาไม่เพียงพอต่อการทำงานจริง
2. ไม่มีประสบการณ์จากหน้างาน ส่งผลให้การติดต่อสื่อสารเกิดการผิดพลาด
3. ไม่มีประสบการณ์ในการประกอบชิ้นงานจริง ส่งผลให้เกิดปัญหาระหว่างทำการสอบเทียบ
4. เกิดความล่าช้าในการดำเนินการ
5. มีค่าใช้จ่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางแก้ไข

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด เพื่อให้ครอบคลุมการทำงานมากยิ่งขึ้น
2. เตรียมเอกสารข้อมูลไว้ให้พร้อม เพื่อสะดวกต่อการติดต่อประสานงาน
3. สอบถามผู้ชำนาญในการประกอบชิ้นงาน เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้
4. ควรวางแผนการทำงานอย่างละเอียด พร้อมแผนสำรอง หากเกิดปัญหาในกรณีฉุกเฉิน
5. ลดระดับของวัสดุที่ใช้ แต่เป็นที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรม

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบ สร้าง และสอบเทียบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลนี้ การวางแผนอย่างละเอียดให้เป็นไปตามข้อกำหนดในทุกส่วนประกอบนั้น จะช่วยให้ชิ้นงานนี้เป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] American Gas Association. (2003). **AGA Report No.3 Part 1 General Equations and Uncertainty Guidelines.**

[2] American Gas Association. (2003). **AGA Report No.3 Part 2 Specification and Installation Requirements.**

[3] American Gas Association. (2003). **AGA Report No.3 Part 3 Natural Gas Applications.**

[4] American Gas Association. (2003). **AGA Report No.3 Part 4 Background, Development, Implementation Procedure, and Subroutine Documentation For Empirical Flange-Tapped Discharge Coefficient Equation.**

[5] Micheal Reader-Harris. **Orifice Plates and Venturi Tubes.**

[6] The American Society of Mechanical Engineering. **ASME B16.36-1996 Orifice Flanges An American National Standard.**

[7] ทวิช ชูเมือง. (2549). **การออกแบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม เล่ม 2 การเลือกใช้และการออกแบบเครื่องมือวัด**. กรุงเทพฯ: เอช เอ็น กรุ๊ป.

[8] ทวิช ชูเมือง. (2556). **การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส**. เข้าถึงได้จาก : www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19114. (วันที่ค้นข้อมูล : 22 พฤศจิกายน 2559)

[9] ธัญดร ออกละวา. (2553). **กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)**. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[10] นวภัทรา และ ทวีพล. (2555). **การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ: ซี เอ็ด กรุ๊ป

[11] **พลศาสตร์ของไหล**. เข้าถึงได้จาก : www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/15/9/ Fluid/Fluiddynamic.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 22 พฤศจิกายน 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่า $C_d(FT)$ สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 2 – 30 นิ้ว ตามมาตรฐาน AGA Report No.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 2 นิ้ว (50 มิลลิเมตร) [D=1.939 นิ้ว (49.25 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.60014	0.59940	0.59883	0.59873	0.59862	0.59860	0.59858	0.59857	0.59857	0.59857
0.04	0.60102	0.59981	0.59890	0.59873	0.59854	0.59851	0.59847	0.59847	0.59846	0.59846
0.06	0.60178	0.60016	0.59895	0.59872	0.59848	0.59844	0.59839	0.59838	0.59837	0.59837
0.08	0.60248	0.60050	0.59901	0.59873	0.59843	0.59838	0.59832	0.59826	0.59824	0.59829
0.10	0.60315	0.60083	0.59908	0.59875	0.59840	0.59834	0.59827	0.59826	0.59824	0.59824
0.12	0.60381	0.60116	0.59916	0.59879	0.59839	0.59832	0.59824	0.59823	0.59821	0.59821
0.14	0.60448	0.60150	0.59927	0.59886	0.59841	0.59832	0.59823	0.59821	0.59820	0.59819
0.16	0.60515	0.60187	0.59940	0.59894	0.59844	0.59835	0.59825	0.59823	0.59820	0.59820
0.18	0.60586	0.60226	0.59955	0.59905	0.59850	0.59840	0.59828	0.59826	0.59824	0.59823
0.20	0.60660	0.60269	0.59974	0.59919	0.59859	0.59848	0.59835	0.59832	0.59829	0.59829
0.22	0.60738	0.60315	0.59996	0.59936	0.59871	0.59858	0.59844	0.59841	0.59838	0.59837
0.24	0.60823	0.60367	0.60022	0.59957	0.59886	0.59872	0.59856	0.59853	0.59849	0.59848
0.26	0.60914	0.60423	0.60052	0.59982	0.59904	0.59889	0.59871	0.59867	0.59863	0.59862
0.28	0.61014	0.60487	0.60087	0.60011	0.59926	0.59909	0.59889	0.59885	0.59880	0.59878
0.30	0.61123	0.60557	0.60127	0.60045	0.59952	0.59933	0.59911	0.59906	0.59900	0.59898
0.32	0.61243	0.60635	0.60173	0.60084	0.59982	0.59962	0.59936	0.59931	0.59923	0.59921
0.34	0.61375	0.60722	0.60224	0.60128	0.60017	0.59994	0.59965	0.59959	0.59880	0.59948
0.36	0.61522	0.60818	0.60282	0.60178	0.60056	0.60030	0.59998	0.59990	0.59900	0.59978
0.38	0.61683	0.60926	0.60347	0.60234	0.60100	0.60071	0.60034	0.60026	0.59923	0.60011
0.40	0.61862	0.61044	0.60419	0.60296	0.60149	0.60117	0.60075	0.60065	0.60051	0.60047
0.42	0.62059	0.61175	0.60499	0.60332	0.60202	0.60167	0.60119	0.60108	0.60091	0.60087
0.44	0.62276	0.61319	0.60586	0.60440	0.60261	0.60221	0.60167	0.60154	0.60134	0.60129
0.46	0.62515	0.61476	0.60682	0.60522	0.60324	0.60279	0.60218	0.60203	0.60180	0.60174
0.48	0.62777	0.61647	0.60784	0.60610	0.60391	0.60341	0.60271	0.60254	0.60228	0.60221
0.50	0.63063	0.61833	0.60895	0.60703	0.60462	0.60406	0.60327	0.60307	0.60278	0.60270
0.52	0.63374	0.62034	0.61012	0.60803	0.60536	0.60473	0.60384	0.60361	0.60327	0.60318
0.54	0.63712	0.62249	0.61136	0.60906	0.60612	0.60541	0.60441	0.60415	0.60376	0.60366
0.56	0.64077	0.62479	0.61265	0.61014	0.60688	0.60609	0.60497	0.60467	0.60423	0.60411
0.58	0.64470	0.62722	0.61399	0.61123	0.60763	0.60675	0.60549	0.60516	0.60465	0.60451
0.60	0.64890	0.62978	0.61535	0.61341	0.60836	0.60738	0.60596	0.60558	0.60501	0.60486
0.62	0.65337	0.63246	0.61671	0.61445	0.60903	0.60794	0.60636	0.60593	0.60529	0.60511
0.64	0.65811	0.63524	0.61806	0.61542	0.60963	0.60842	0.60665	0.60617	0.60545	0.60525
0.66	0.66309	0.63809	0.61937	0.61629	0.61012	0.60878	0.60681	0.60628	0.60546	0.60523
0.68	0.66823	0.64098	0.62061	0.61703	0.61047	0.60899	0.60680	0.60621	0.60529	0.60504
0.70	0.67369	0.64389	0.62174	0.61014	0.61066	0.60902	0.60660	0.60593	0.60491	0.60463
0.72	0.67369	0.64679	0.62274	0.61762	0.61064	0.60884	0.60615	0.60542	0.60428	0.60396
0.74	0.68494	0.64964	0.62358	0.61802	0.61040	0.60842	0.60546	0.60464	0.60338	0.60303
0.75	0.68781	0.65103	0.62394	0.61815	0.61019	0.60812	0.60501	0.60415	0.60282	0.60245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 3 นิ้ว (75 มิลลิเมตร) [D=2.900 นิ้ว (73.66 มิลลิเมตร)]

	PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)									
β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59763	0.59688	0.59632	0.59622	0.59611	0.59609	0.59606	0.59606	0.59606	0.59605
0.04	0.59859	0.59737	0.59646	0.59629	0.59611	0.59607	0.59604	0.59603	0.59602	0.59602
0.06	0.59942	0.59780	0.59659	0.59636	0.59612	0.59607	0.59603	0.59602	0.59601	0.59601
0.08	0.60019	0.59821	0.59672	0.59645	0.59615	0.59609	0.59603	0.59602	0.59601	0.59601
0.10	0.60094	0.59861	0.59687	0.59655	0.59620	0.59613	0.59606	0.59605	0.59603	0.59603
0.12	0.60167	0.59902	0.59703	0.59666	0.59626	0.59619	0.59611	0.59609	0.59608	0.59608
0.14	0.60241	0.59944	0.59721	0.59680	0.59635	0.59627	0.59618	0.59616	0.59614	0.59614
0.16	0.60316	0.59989	0.59742	0.59697	0.59647	0.59638	0.59627	0.59625	0.59623	0.59623
0.18	0.60394	0.60036	0.59766	0.59716	0.59661	0.59650	0.59639	0.59637	0.59634	0.59634
0.20	0.60475	0.60086	0.59792	0.59737	0.59677	0.59666	0.59653	0.59651	0.59648	0.59647
0.22	0.60561	0.60140	0.59822	0.59763	0.59697	0.59684	0.59670	0.59667	0.59664	0.59663
0.24	0.60652	0.60199	0.59855	0.59791	0.59720	0.59706	0.59690	0.59687	0.59683	0.59682
0.26	0.60751	0.60263	0.59893	0.59824	0.59746	0.59730	0.59713	0.59709	0.59704	0.59703
0.28	0.60857	0.60333	0.59935	0.59860	0.59775	0.59758	0.59738	0.59734	0.59729	0.59728
0.30	0.60973	0.60410	0.59983	0.59901	0.59808	0.59790	0.59767	0.59762	0.59756	0.59755
0.32	0.61099	0.60495	0.60035	0.59947	0.59846	0.59825	0.59800	0.59794	0.59787	0.59785
0.34	0.61238	0.60589	0.60093	0.59998	0.59887	0.59864	0.59835	0.59829	0.59820	0.59818
0.36	0.61391	0.60691	0.60158	0.60054	0.59933	0.59907	0.59874	0.59867	0.59857	0.59854
0.38	0.61558	0.60804	0.60229	0.60116	0.59982	0.59954	0.59917	0.59908	0.59896	0.59893
0.40	0.61742	0.60929	0.60306	0.60184	0.60037	0.60005	0.59963	0.59953	0.59939	0.59935
0.42	0.61945	0.61064	0.60391	0.60257	0.60095	0.60059	0.60012	0.60001	0.59984	0.59980
0.44	0.62167	0.61213	0.60483	0.60337	0.60158	0.60118	0.60064	0.60051	0.60032	0.60027
0.46	0.62410	0.61374	0.60581	0.60422	0.60224	0.60179	0.60118	0.60103	0.60081	0.60075
0.48	0.62676	0.61548	0.60687	0.60512	0.60294	0.60244	0.60175	0.60157	0.60131	0.60125
0.50	0.62966	0.61737	0.60799	0.60608	0.60366	0.60310	0.60232	0.60212	0.60182	0.60174
0.52	0.63280	0.61939	0.60917	0.60707	0.60440	0.60377	0.60289	0.60266	0.60232	0.60223
0.54	0.63620	0.62155	0.61040	0.60810	0.60515	0.60444	0.60344	0.60318	0.60279	0.60269
0.56	0.63987	0.62383	0.61166	0.60914	0.60588	0.60509	0.60397	0.60367	0.60323	0.60311
0.58	0.64380	0.62625	0.61295	0.61019	0.60658	0.60570	0.60444	0.60410	0.60360	0.60346
0.60	0.64800	0.62877	0.61425	0.61121	0.60723	0.60625	0.60483	0.60445	0.60388	0.60373
0.62	0.65246	0.63138	0.61552	0.61219	0.60780	0.60671	0.60512	0.60470	0.60405	0.60387
0.64	0.65716	0.63406	0.61674	0.61310	0.60826	0.60704	0.60527	0.60479	0.60407	0.60386
0.66	0.66209	0.63679	0.61788	0.61389	0.60856	0.60722	0.60524	0.60471	0.60389	0.60366
0.68	0.66723	0.63953	0.61889	0.61453	0.60868	0.60719	0.60499	0.60439	0.60348	0.60322
0.70	0.67253	0.64223	0.61974	0.61498	0.60855	0.60691	0.60447	0.60381	0.60279	0.60250
0.72	0.67797	0.64486	0.62038	0.61519	0.60814	0.60633	0.60363	0.60289	0.60176	0.60144
0.74	0.68348	0.64736	0.62075	0.61510	0.60740	0.60541	0.60243	0.60161	0.60035	0.59999
0.75	0.68624	0.64855	0.62083	0.61494	0.60680	0.60480	0.60167	0.60081	0.59948	0.59911

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 4 นิ้ว (100 มิลลิเมตร) [D=3.826 นิ้ว (97.18 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59764	0.59689	0.59633	0.59623	0.59612	0.59612	0.59607	0.59607	0.59607	0.59607
0.04	0.59861	0.59739	0.59648	0.59631	0.69613	0.59610	0.59606	0.59605	0.59605	0.59605
0.06	0.59945	0.59784	0.59662	0.59640	0.59616	0.59611	0.59606	0.59605	0.59605	0.59604
0.08	0.60024	0.59826	0.59677	0.59650	0.59620	0.59615	0.59609	0.59608	0.59606	0.59606
0.10	0.60100	0.59868	0.59693	0.59661	0.59626	0.59620	0.59613	0.59612	0.59610	0.59610
0.12	0.60175	0.59910	0.59711	0.59752	0.59692	0.59681	0.59668	0.59666	0.59663	0.59662
0.14	0.60250	0.59954	0.59731	0.59690	0.59645	0.59637	0.59628	0.59626	0.59624	0.59624
0.16	0.60326	0.60000	0.59754	0.59708	0.59658	0.59649	0.59639	0.59637	0.59635	0.59634
0.18	0.60405	0.60048	0.5779	0.59729	0.59674	0.59664	0.59652	0.59650	0.59647	0.59647
0.20	0.50488	0.60099	0.59807	0.59752	0.59692	0.59681	0.59668	0.59666	0.59663	0.59662
0.22	0.60575	0.0155	0.59838	0.59779	0.59713	0.59701	0.59686	0.59684	0.59680	0.59680
0.24	0.60667	0.60215	0.59873	0.59809	0.59737	0.59723	0.59708	0.59704	0.49701	0.59700
0.26	0.60767	0.60280	0.59912	0.59842	0.59765	0.59749	0.59732	0.59728	0.59723	0.59722
0.28	0.60874	0.503520	0.59955	0.598800	0.597950	0.59779	0.59759	0.59755	0.59749	0.59748
0.30	0.60991	0.60430	0.6004	0.59922	0.59830	0.59811	0.59789	0.59784	0.59778	0.59776
0.32	0.61118	0.60516	0.60057	0.59969	0.59868	0.59847	0.59822	0.59816	0.59809	0.59807
0.34	0.61258	0.60610	0.60616	0.60021	0.59910	0.59887	0.59858	0.59852	0.59843	0.59841
0.36	0.6140	0.60813	0.61818	0.60078	0.59956	0.59930	0.59898	0.59891	0.59880	0.59878
0.38	0.61578	0.60827	0.60252	0.6040	0.60006	0.59978	0.59941	0.59932	0.59920	0.59917
0.40	0.61763	0.60951	0.60330	0.60207	0.60060	0.60028	0.59987	0.59977	0.59963	0.59959
0.42	0.61965	0.61086	0.60414	0.60280	0.60118	0.60082	0.60035	0.60023	0.60007	0.60003
0.44	0.62187	0.61233	0.60504	0.60358	0.60180	0.60140	0.60086	0.60073	0.60054	0.60048
0.46	0.62429	0.61393	0.60601	0.60442	0.60245	0.60200	0.60139	0.60123	0.60101	0.60095
0.48	0.62694	0.61567	0.60705	0.60530	0.60312	0.60262	0.60192	0.60175	0.60149	0.60142
0.50	0.62983	0.61753	0.60814	0.60623	0.60381	0.60325	0.60249	0.60226	0.60197	0.60189
0.52	0.63296	0.61959	0.60928	0.60719	0.60451	0.60388	0.60300	0.60277	0.60243	0.60234
0.54	0.63634	0.62164	0.61047	0.60817	0.60521	0.60450	0.60350	0.60324	0.60285	0.60275
0.56	0.63999	0.62389	0.61168	0.60915	0.60588	0.60509	0.60396	0.60367	0.60323	0.60310
0.58	0.64389	0.62625	0.61290	0.61013	0.60651	0.60509	0.60396	0.60367	0.60323	0.60310
0.60	0.64806	0.62871	0.61411	0.61106	0.60707	0.60609	0.60467	0.60429	0.60372	0.60356
0.62	0.65247	0.63124	0.61528	0.61194	0.60753	0.60643	0.60484	0.60442	0.60377	0.60359
0.64	0.65713	0.69984	0.61638	0.61272	0.60785	0.60664	0.60486	0.60438	0.60365	0.60345
0.66	0.66201	0.69645	0.61797	0.61335	0.60800	0.60665	0.60467	0.60413	0.60332	0.60309
0.68	0.66708	0.63905	0.61820	0.61381	0.60792	0.60643	0.60422	0.60362	0.60271	0.60245
0.70	0.67230	0.64160	0.61884	0.61403	0.60756	0.60591	0.60347	0.60280	0.60178	0.60149
0.72	0.67764	0.64403	0.61921	0.61369	0.60686	0.60504	0.60234	0.60160	0.60046	0.60014
0.74	0.68303	0.64629	0.61926	0.61354	0.60577	0.6037	0.60078	0.59996	0.59869	0.59834
0.75	0.68579	0.64733	0.61915	0.61318	0.60505	0.60295	0.59981	0.59895	0.59762	0.59725

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) [D=5.761 นิ้ว (146.33 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59765	0.59691	0.59635	0.59624	0.59613	0.59611	0.59609	0.59608	0.59608	0.59608
0.04	0.59864	0.59742	0.59651	0.59634	0.59616	0.59613	0.59609	0.59608	0.59608	0.59607
0.06	0.59950	0.59788	0.59667	0.59644	0.59620	0.59616	0.59611	0.59610	0.59609	0.59609
0.08	0.50030	0.59832	0.59683	0.59656	0.59626	0.59621	0.59615	0.59614	0.59613	0.59612
0.10	0.60107	0.59876	0.59701	0.59669	0.59635	0.59628	0.59621	0.59620	0.59618	0.59618
0.12	0.60184	0.59920	0.59721	0.59685	0.59645	0.59637	0.59629	0.59628	0.59626	0.59626
0.14	0.60260	0.59965	0.59743	0.59702	0.59657	0.59649	0.59640	0.59638	0.59636	0.59636
0.16	0.60339	0.60013	0.59767	0.59722	0.59672	0.59663	0.59653	0.59651	0.59649	0.59648
0.18	0.60419	0.60069	0.59794	0.59744	0.59690	0.59679	0.59668	0.59666	0.59663	0.59663
0.20	0.60503	0.60116	0.59824	0.59770	0.59710	0.59698	0.59686	0.59683	0.59680	0.59680
0.22	0.60592	0.60179	0.59857	0.59798	0.59733	0.59720	0.59706	0.59703	0.59700	0.59699
0.24	0.60686	0.60235	0.59894	0.59830	0.59758	0.59745	0.59729	0.59726	0.59722	0.59721
0.26	0.60786	0.60302	0.59934	0.59865	0.59787	0.59772	0.59775	0.59751	0.59746	0.59745
0.28	0.60895	0.60347	0.59779	0.59904	0.59820	0.59803	0.59783	0.59779	0.59773	0.59772
0.30	0.61013	0.60454	0.60029	0.59948	0.59855	0.5987	0.59814	0.59810	0.59803	0.59802
0.32	0.61141	0.60540	0.60083	0.59995	0.59894	0.59874	0.59849	0.59843	0.59836	0.59834
0.34	0.61284	0.60635	0.60143	0.60048	0.59937	0.59914	0.59886	0.59879	0.59871	0.59868
0.36	0.61434	0.60739	0.60208	0.60105	0.59984	0.59985	0.59926	0.59918	0.59908	0.59905
0.38	0.61602	0.60852	0.60279	0.60167	0.60034	0.60005	0.59968	0.59960	0.59948	0.59945
0.40	0.61786	0.60976	0.60359	0.60234	0.60087	0.60055	0.60014	0.60004	0.59990	0.59986
0.42	0.61988	0.61111	0.60439	0.60303	0.60144	0.60108	0.60061	60049	0.60033	0.60029
0.44	0.62210	0.601257	0.60528	0.60382	0.60204	0.60164	0.60110	0.60097	0.60078	0.60073
0.46	0.62452	0.61415	0.60623	0.60426	0.60266	0.60221	0.60160	0.60145	0.60123	0.60117
0.48	0.62715	0.61586	0.60723	0.60549	0.60330	0.60280	0.60211	0.60193	0.60167	0.60161
0.50	0.63002	0.61769	60829	0.60637	0.60389	0.60339	0.60260	0.60240	0.60211	0.60203
0.52	0.63313	0.61965	0.60938	0.60727	0.60460	0.60396	0.60308	0.60285	0.60251	0.60242
0.54	0.63649	0.62172	0.61050	0.60819	0.60523	0.60452	0.60352	0.60326	0.60287	0.60276
0.56	0.64011	0.62391	0.61163	0.60910	0.60582	0.60502	0.60390	0.60360	0.60316	0.60303
0.58	0.64398	0.62620	0.61279	0.60997	0.60634	0.60546	0.60437	0.60399	0.60342	0.60326
0.60	0.64810	0.62858	0.61386	0.61079	0.60687	0.60579	0.60437	0.60339	0.60342	0.60329
0.62	0.65247	0.63101	0.61489	0.61153	0.60709	0.60600	0.60440	0.60398	0.60333	0.60315
0.64	0.65707	0.63349	0.61583	0.61214	0.60724	0.60602	0.60424	0.60376	0.60303	0.60283
0.66	0.66188	0.69596	0.61663	0.61258	0.60718	0.60582	0.60384	0.60330	0.60248	0.60226
0.68	0.66688	0.69839	0.61723	0.61279	0.60685	0.60535	0.60314	0.60254	0.60162	0.60137
0.70	0.67201	0.64073	0.61758	0.61272	0.60618	0.60453	0.60207	0.60140	0.60038	0.60010
0.72	0.67724	0.64291	0.61762	0.61230	0.60512	0.60329	0.60057	0.59983	0.59869	0.59837
0.74	0.68250	0.64487	0.61726	0.61144	0.60358	0.60156	0.59856	0.59773	0.59647	0.59611
0.75	0.58512	0.54575	0.61690	0.61083	0.60260	0.60048	0.59733	0.59646	0.59513	0.59476

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 8 นิ้ว (200 มิลลิเมตร) [D=7.625 นิ้ว (193.68 มิลลิเมตร)]

	PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)									
β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59766	0.59691	0.59635	0.59625	0.59614	0.59612	0.59610	0.59609	0.59609	0.59609
0.04	0.59865	0.59744	0.59652	0.59636	0.59617	0.59614	0.59610	0.59610	0.59609	0.59609
0.06	0.59952	0.59791	0.59669	0.59647	0.59623	0.59618	0.59613	0.59612	0.59612	0.59611
0.08	0.60033	0.59835	0.59687	0.59659	0.59630	0.59624	0.59618	0.59617	0.59616	0.59616
0.10	0.60111	0.59880	0.59706	0.59674	0.59639	0.59632	0.59625	0.59624	0.59623	0.59622
0.12	0.60189	0.59925	0.59727	0.59690	0.59650	0.59643	0.59635	0.59633	0.59632	0.59631
0.14	0.60266	0.59971	0.59749	0.59708	0.59664	0.59655	0.59646	0.59645	0.59643	0.59642
0.16	0.60345	0.60020	0.59775	0.59729	0.59680	0.59670	0.59660	0.59658	0.59656	0.59656
0.18	0.60427	0.60071	0.59803	0.59753	0.59698	0.59688	0.59677	0.59674	0.59672	0.59671
0.20	0.60511	0.60125	0.59833	0.59779	0.59719	0.59708	0.59695	0.59693	0.59690	0.59689
0.22	0.60601	0.60183	0.59867	0.59808	0.59743	0.59731	0.59717	0.59714	0.59710	0.59710
0.24	0.60695	0.60246	0.59905	0.59841	0.59770	0.59756	0.59740	0.59737	0.59733	0.59733
0.26	0.60797	0.60313	0.59947	0.59877	0.59800	0.59785	0.59767	0.59763	0.59759	0.59758
0.28	0.60906	0.60387	0.59992	0.59917	0.59833	0.59816	0.59796	0.59792	0.59787	0.59786
0.30	0.61024	0.60467	0.60042	0.59961	0.59869	0.59851	0.59828	0.59823	0.59817	0.59816
0.32	0.61153	0.60554	0.60097	0.60010	0.59909	0.59888	0.59863	0.59857	0.59850	0.59848
0.34	0.61293	0.60649	0.60157	0.60062	0.59952	0.59929	0.59901	0.59894	0.59885	0.59883
0.36	0.61447	0.60753	0.60223	0.60120	0.59999	0.59973	0.59941	0.59933	0.59923	0.59920
0.38	0.61615	0.60866	0.60294	0.60182	0.60049	0.60020	0.59983	0.59975	0.59963	0.59960
0.40	0.61799	0.60990	0.60371	0.60248	0.60102	0.60070	0.60028	0.60018	0.60004	0.60001
0.42	0.62001	0.61124	0.60453	0.60320	0.60158	0.60122	0.60075	0.60063	0.60047	0.60043
0.44	0.62222	0.61270	0.60541	0.60395	0.60217	0.60177	0.60123	0.60110	0.60091	0.60086
0.46	0.62464	0.61427	0.60635	0.60475	0.60278	0.60233	0.60172	0.60157	0.60134	0.60128
0.48	0.62727	0.61597	0.60734	0.60559	0.60340	0.60290	0.60220	0.60203	0.60177	0.60170
0.50	0.63013	0.61778	0.60837	0.60645	0.60403	0.60346	0.60268	0.60248	0.60218	0.60210
0.52	0.63323	0.61978	0.60943	0.60732	0.60464	0.60401	0.60312	0.60289	0.60255	0.60246
0.54	0.69658	0.62177	0.61052	0.60820	0.60523	0.60452	0.60352	0.60326	0.60287	0.60277
0.56	0.64018	0.62393	0.61161	0.60906	0.60578	0.60498	0.60386	0.60356	0.60312	0.60299
0.58	0.64403	0.62618	0.61269	0.60989	0.60625	0.60536	0.60410	0.60376	0.60325	0.60312
0.60	0.64814	0.62851	0.61372	0.61065	0.60662	0.60563	0.60412	0.60383	0.60326	0.60310
0.62	0.65248	0.63089	0.61468	0.61131	0.60686	0.60576	0.60416	0.60373	0.60309	0.60291
0.64	0.65706	0.63330	0.61554	0.61182	0.60691	0.60569	0.60390	0.60342	0.60270	0.60249
0.66	0.66183	0.63570	0.61623	0.61215	0.60673	060538	0.60339	0.60285	0.60203	0.60180
0.68	0.66679	0.63804	0.61671	0.61224	0.60627	0.60476	0.60255	0.60195	0.60103	0.60078
0.70	0.67188	0.64207	0.61691	0.61201	0.60544	0.60378	0.60132	0.60065	0.59963	0.59934
0.72	0.67705	0.64233	0.61679	0.61140	0.60418	0.60234	0.59962	0.59888	0.59774	0.59742
0.74	0.68225	0.64413	0.61619	0.61032	0.60240	0.60037	0.59736	0.59654	0.59527	0.59492
0.75	0.68484	0.64991	0.61571	0.60957	0.60128	0.59916	0.59599	0.59513	0.59379	0.59342

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 10 นิ้ว (250 มิลลิเมตร) [D=9.562 นิ้ว (242.87 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59767	0.59692	0.59636	0.59625	0.59614	0.59612	0.59610	0.59610	0.59609	0.59609
0.04	0.59866	0.59745	0.59653	0.59637	0.59618	0.59615	0.59611	0.59611	0.59610	0.59610
0.06	0.59953	0.59792	0.59671	0.59649	0.59624	0.59620	0.59615	0.59614	0.59613	0.59613
0.08	0.60035	0.59838	0.59689	0.59662	0.59632	0.59627	0.59621	0.59620	0.59618	0.59618
0.10	0.60114	0.59883	0.59709	0.59677	0.59642	0.59635	0.59628	0.59627	0.59626	0.59625
0.12	0.60192	0.59928	0.59730	0.59694	0.59654	0.59645	0.59638	0.59637	0.59635	0.59635
0.14	0.60270	0.59976	0.59754	0.59713	0.59668	0.59660	0.59651	0.59649	0.59647	0.59647
0.16	0.60350	0.60025	0.59780	0.59734	0.59685	0.59676	0.59665	0.59663	0.49661	0.59661
0.18	0.60432	0.60076	0.59808	0.59758	0.59704	0.59694	0.59682	0.59680	0.59678	0.59677
0.20	0.60517	0.60131	0.59840	0.59785	0.59726	0.59714	0.59702	0.59699	0.59696	0.59696
0.22	0.60607	0.60190	0.59874	0.59816	0.59750	0.59738	0.59724	0.59721	0.59718	0.59717
0.24	0.60702	0.60253	0.59913	0.59849	0.59778	0.59764	0.59748	0.59745	0.59741	0.59740
0.26	0.60804	0.60321	0.59955	0.59886	0.59808	0.59793	0.59775	0.59772	0.59767	0.59766
0.28	0.60914	0.60395	0.60001	0.59926	0.59842	0.59825	0.59805	0.59801	0.59796	0.59795
0.30	0.61032	0.60475	0.60052	0.59971	0.59879	0.59860	0.59838	0.59833	0.59827	0.59825
0.32	0.61161	0.60563	0.60107	0.60019	0.59919	0.59898	0.59873	0.59867	0.59860	0.59858
0.34	0.61302	0.60658	0.60167	0.60072	0.59962	0.59939	0.59911	0.59904	0.59896	0.59893
0.36	0.61456	0.60763	0.60233	0.60130	0.60009	0.59983	0.59951	0.59944	0.59933	0.59931
0.38	0.61624	0.60876	0.60304	0.60192	0.60059	0.60030	0.59994	0.59985	0.59973	0.59970
0.40	0.61809	0.61000	0.60381	0.60259	0.60112	0.60080	0.60038	0.60028	0.60014	0.60011
0.42	0.62010	0.61134	0.60463	0.60330	0.60168	0.60132	0.60085	0.60073	0.60057	0.60053
0.44	0.62231	0.61279	0.60551	0.60405	0.60226	0.60186	0.60132	0.60119	0.60100	0.60095
0.46	0.62473	0.61436	0.60643	0.60484	0.60286	0.60241	0.60180	0.60165	0.60143	0.60137
0.48	0.62735	0.61605	0.60741	0.60566	0.60347	0.60297	0.60228	0.60210	0.60185	0.60178
0.50	0.63021	0.61785	0.60843	0.60651	0.60409	0.60352	0.60274	0.60253	0.60224	0.60216
0.52	0.63331	0.61977	0.60947	0.60737	0.60468	0.60405	0.60316	0.60293	0.60259	0.60250
0.54	0.63665	0.62181	0.61054	0.60822	0.60525	0.60454	0.60354	0.60328	0.60289	0.60278
0.56	0.64024	0.62395	0.61161	0.60906	0.60577	0.60497	0.60384	0.60355	0.60310	0.60298
0.58	0.64408	0.62618	0.61265	0.60985	0.60621	0.60532	0.60405	0.60371	0.60321	0.60307
0.60	0.64817	0.62848	0.61365	0.61057	0.60654	0.60555	0.60412	0.60374	0.60317	0.60301
0.62	0.65250	0.63083	0.61457	0.61118	0.60672	0.60562	0.60402	0.60360	0.60295	0.60277
0.64	0.65706	0.63320	0.61536	0.61164	0.60672	0.60549	0.60371	0.60323	0.60250	0.60229
0.66	0.66182	0.63555	0.61599	0.61190	0.60647	0.60511	0.60312	0.60258	0.60176	0.60153
0.68	0.66675	0.63784	0.61639	0.61190	0.60592	0.60441	0.60219	0.60159	0.60067	0.60042
0.70	0.67181	0.64000	0.61650	0.61158	0.60499	0.60332	0.60086	0.60019	0.59916	0.59888
0.72	0.67696	0.64198	0.61624	0.61085	0.60361	0.60176	0.59903	0.59829	0.59715	0.59683
0.74	0.68212	0.64369	0.61553	0.60963	0.60167	0.59964	0.59663	0.59580	0.59453	0.59418
0.75	0.68468	0.64441	0.61497	0.60880	0.60047	0.59834	0.59517	0.59430	0.59297	0.59529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร) [D=11.374 นิ้ว (288.90 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59767	0.59692	0.59636	0.59626	0.59615	0.59613	0.59610	0.59610	0.59609	0.59609
0.04	0.59867	0.59745	0.59654	0.59637	0.59619	0.59616	0.59612	0.59611	0.59611	0.59611
0.06	0.59954	0.59793	0.59672	0.59650	0.59625	0.59621	0.59616	0.59615	0.59614	0.59614
0.08	0.60037	0.59839	0.59691	0.59663	0.59634	0.59628	0.59622	0.59621	0.59620	0.59620
0.10	0.60116	0.59855	0.59711	0.59679	0.59644	0.59637	0.59630	0.59629	0.59628	0.59627
0.12	0.60194	0.59931	0.59733	0.59696	0.59656	0.59649	0.59641	0.59639	0.59638	0.596637
0.14	0.60273	0.59978	0.59757	0.59716	0.59671	0.59663	0.59654	0.59652	0.59650	0.59650
0.16	0.60353	0.60028	0.59783	0.59738	0.59688	0.59679	0.59669	0.59667	0.59665	0.59664
0.18	0.60435	0.60080	0.59812	0.59762	0.59708	0.59698	0.59686	0.59684	0.59681	0.59681
0.20	0.60521	0.60135	0.59844	0.59790	0.59730	0.59719	0.59706	0.5904	0.59701	0.59700
0.22	0.60611	0.60194	0.59879	0.59820	0.59755	0.59743	0.59728	0.59726	0.59722	0.59722
0.24	0.60707	0.60258	0.59918	0.59854	0.59783	0.59769	0.59753	0.59750	0.59746	0.59746
0.26	0.60809	0.60326	0.59960	0.59891	0.59841	0.59799	0.59781	0.59777	0.59773	0.59772
0.28	0.60919	0.60401	0.60007	0.59932	0.59848	0.59831	0.59811	0.59807	0.59802	0.59800
0.30	0.61038	0.60481	0.60058	0.59977	0.59885	0.59866	0.59844	0.59839	0.59833	0.59832
0.32	0.61167	0.60569	0.60113	0.60026	0.59925	0.59905	0.59880	0.59874	0.59867	0.59865
0.34	0.61308	0.60665	0.60174	0.60079	0.59969	0.59946	0.59918	0.59911	0.59902	0.59900
0.36	0.61462	0.60769	0.60240	0.60137	0.60016	0.59990	0.59958	0.59951	0.59940	0.59938
0.38	0.61630	0.60883	0.60311	0.60199	0.60066	0.60037	0.60001	0.59992	0.59980	0.59977
0.40	0.61815	0.61006	0.60388	0.60265	0.60119	0.60087	0.60045	0.60035	0.60021	0.60018
0.42	0.62017	0.61140	0.60470	0.60336	0.60175	0.60139	0.60092	0.60080	0.600640	0.60059
0.44	0.62237	0.61285	0.60557	0.60411	0.60233	0.60193	0.60139	0.60126	0.60107	0.60101
0.46	0.62479	0.61442	0.60649	0.60490	0.60292	0.60247	0.60186	0.6171	0.60149	0.60143
0.48	0.62741	0.61610	0.60747	0.60572	0.60353	0.60302	0.60233	0.60216	0.60190	0.60183
0.50	0.63027	0.61790	0.60847	0.60655	0.60413	0.60357	0.60278	0.60258	0.60229	0.60221
0.52	0.63336	0.61982	0.60951	0.60740	0.60472	0.60408	0.60320	0.60297	0.60263	0.60254
0.54	0.63670	0.62184	0.61056	0.60825	0.60527	0.60456	0.60356	0.60330	0.60291	0.60280
0.56	0.64028	0.62397	0.61162	0.60907	0.60577	0.60498	0.60358	0.60355	0.60311	0.60299
0.58	0.64412	0.62619	0.61264	0.60984	0.60619	0.60530	0.60403	0.60370	0.60319	0.60305
0.60	0.64821	0.62847	0.61362	0.61053	0.60650	0.60551	0.60408	0.60370	0.60313	0.60297
0.62	0.65253	0.63080	0.61451	0.61111	0.60665	0.60555	0.60395	0.60352	0.60288	0.60270
0.64	0.65708	0.63315	0.61527	0.61154	0.60661	0.60538	0.60360	0.60312	0.60239	0.60219
0.66	0.66182	0.63548	0.61586	0.61176	0.60632	0.60496	0.60296	0.60243	0.60161	0.60138
0.68	0.66674	0.63773	0.61621	0.61171	0.60572	0.60421	0.60199	0.60139	0.60047	0.60021
0.70	0.67179	0.63985	0.61627	0.61133	0.60473	0.60306	0.60059	0.59992	0.59890	0.59861
0.72	0.67692	0.64178	0.61594	0.61053	0.60327	0.60142	0.59869	0.59795	0.59680	0.59649
0.74	0.68206	0.64343	0.61514	0.60922	0.60124	0.59921	0.59619	0.59536	0.59410	0.59374
0.75	0.68461	0.64412	0.61453	0.60834	0.59999	0.59785	0.59468	0.59381	0.59247	0.59210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.8 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 16 นิ้ว (400 มิลลิเมตร) [D=14.688 นิ้ว (373.08 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59767	0.59693	0.59637	0.59626	0.59615	0.59613	0.59611	0.59610	0.59610	0.59610
0.04	0.59868	0.59746	0.59655	0.59638	0.59620	0.59617	0.59613	0.59612	0.59612	0.59611
0.06	0.59956	0.59794	0.59673	0.59651	0.59627	0.59622	0.59617	0.59617	0.59616	0.59615
0.08	0.60038	0.59841	0.59692	0.59665	0.59635	0.59630	0.59624	0.59623	0.59622	0.59621
0.10	0.60118	0.59887	0.59713	0.59681	0.59646	0.59640	0.59633	0.59631	0.59630	0.59630
0.12	0.60197	0.59934	0.59736	0.59699	0.59659	0.59652	0.59644	0.59642	0.59641	0.59640
0.14	0.60276	0.59982	0.59760	0.59719	0.59675	0.59666	0.59657	0.59655	0.59654	0.59653
0.16	0.60356	0.60032	0.59787	0.59742	0.59692	0.59683	0.59673	0.59671	0.59669	0.59668
0.18	0.60439	0.60084	0.59817	0.59767	0.59713	0.59702	0.59691	0.59689	0.59686	0.59686
0.20	0.60526	0.60140	0.59849	0.59795	0.59735	0.59724	0.59711	0.59709	0.59706	0.59705
0.22	0.60616	0.60200	0.59885	0.59826	0.59761	0.59749	0.59734	0.59732	0.59728	0.59728
0.24	0.60712	0.60264	0.59924	0.59860	0.59789	0.59776	0.59760	0.59757	0.59753	0.59752
0.26	0.60815	0.60333	0.59967	0.59898	0.59821	0.59806	0.59788	0.59784	0.59780	0.59779
0.28	0.60925	0.60408	0.60014	0.59940	0.59855	0.59839	0.59819	0.59815	0.59809	0.59808
0.30	0.61044	0.60489	0.60066	0.59985	0.59893	0.59874	0.59852	0.59847	0.59841	0.59840
0.32	0.61174	0.60577	0.60122	0.60034	0.59934	0.59913	0.59888	0.59882	0.59875	0.59873
0.34	0.61315	0.60673	0.60183	0.60088	0.59978	0.59955	0.59926	0.59920	0.59911	0.59909
0.36	0.61469	0.60777	0.60249	0.60146	0.60025	0.59999	0.59967	0.59960	0.59949	0.59947
0.38	0.61638	0.60891	0.60320	0.60208	0.60075	0.60047	0.60010	0.60001	0.59989	0.59986
0.40	0.61823	0.61015	0.60397	0.60275	0.60128	0.60096	0.60055	0.60045	0.60031	0.60027
0.42	0.62025	0.61149	0.60479	0.60345	0.60184	0.60148	0.60101	0.60089	0.60073	0.60069
0.44	0.62246	0.61294	0.60566	0.60420	0.60242	0.60201	0.60148	0.60134	0.60115	0.60110
0.46	0.62487	0.61450	0.60658	0.60498	0.60301	0.60256	0.60195	0.60179	0.60157	0.60151
0.48	0.62749	0.61618	0.60754	0.60579	0.60361	0.60310	0.60241	0.60223	0.60198	0.60191
0.50	0.63035	0.61798	0.60854	0.60662	0.60420	0.60363	0.60285	0.60265	0.60235	0.60227
0.52	0.63343	0.61988	0.60957	0.60746	0.60478	0.60414	0.60325	0.60302	0.60269	0.60259
0.54	0.63677	0.62190	0.61061	0.60829	0.60532	0.60461	0.60360	0.60334	0.60295	0.60285
0.56	0.64035	0.62402	0.61164	0.60909	0.60580	0.60500	0.60387	0.60358	0.60313	0.60301
0.58	0.64418	0.62622	0.61265	0.60984	0.60619	0.60530	0.60403	0.60370	0.60319	0.60305
0.60	0.64826	0.62848	0.61360	0.61051	0.60647	0.60548	0.60405	0.60367	0.60310	0.60294
0.62	0.65258	0.63079	0.61446	0.61106	0.60659	0.60549	0.60389	0.60346	0.60281	0.60264
0.64	0.65711	0.63312	0.61519	0.61145	0.60651	0.60528	0.60350	0.60302	0.60229	0.60208
0.66	0.66185	0.63541	0.61573	0.61162	0.60617	0.60481	0.60281	0.60228	0.60146	0.60123
0.68	0.66675	0.63763	0.61603	0.61152	0.60551	0.60400	0.60178	0.60118	0.60026	0.60000
0.70	0.67179	0.63971	0.61602	0.61107	0.60445	0.60278	0.60031	0.59964	0.59862	0.59833
0.72	0.67690	0.64158	0.61562	0.61019	0.60291	0.60106	0.59833	0.59758	0.59644	0.59612
0.74	0.68202	0.64316	0.61473	0.60878	0.60078	0.59874	0.59572	0.59489	0.59362	0.59327
0.75	0.68456	0.64382	0.61406	0.60784	0.59947	0.59733	0.59415	0.59328	0.59194	0.59157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.9 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) [D=19 นิ้ว (482.60 มิลลิเมตร)]

	PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)									
β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59768	0.59693	0.59637	0.59626	0.59615	0.59613	0.59611	0.59611	0.59610	0.59610
0.04	0.59868	0.59747	0.59656	0.59639	0.59621	0.59617	0.59614	0.59613	0.59612	0.59612
0.06	0.59957	0.59796	0.59674	0.59652	0.59628	0.59623	0.59619	0.59618	0.59617	0.59616
0.08	0.60040	0.59842	0.59694	0.59667	0.59637	0.59631	0.59626	0.59624	0.59623	0.59623
0.10	0.60120	0.59889	0.59715	0.59683	0.59648	0.59642	0.59635	0.59633	0.59632	0.59632
0.12	0.60199	0.59936	0.59738	0.59701	0.59662	0.59654	0.59646	0.59645	0.59643	0.59643
0.14	0.60279	0.59984	0.59763	0.59722	0.59677	0.59669	0.59660	0.59658	0.59656	0.59656
0.16	0.60360	0.60035	0.59790	0.59745	0.59696	0.59686	0.59676	0.59674	0.59672	0.59672
0.18	0.60443	0.60088	0.59821	0.59771	0.59716	0.59706	0.59695	0.59693	0.59690	0.59690
0.20	0.60529	0.60144	0.59854	0.59799	0.59740	0.59729	0.59716	0.59713	0.59710	0.59710
0.22	0.60620	0.60204	0.59890	0.59831	0.59766	0.59753	0.59739	0.59737	0.59733	0.59732
0.24	0.60717	0.60269	0.59930	0.59866	0.59795	0.59781	0.59765	0.59762	0.59758	0.59757
0.26	0.60820	0.60338	0.59973	0.59904	0.59827	0.59812	0.59794	0.59790	0.59786	0.59785
0.28	0.60930	0.60413	0.60020	0.59946	0.59862	0.59845	0.59825	0.59821	0.59816	0.59814
0.30	0.61050	0.60495	0.60072	0.59992	0.59900	0.59881	0.59859	0.59854	0.59848	0.59846
0.32	0.61180	0.60583	0.60129	0.60041	0.59941	0.59920	0.59895	0.59890	0.59882	0.59880
0.34	0.61321	0.60680	0.60190	0.60095	0.59985	0.59962	0.59934	0.59927	0.59919	0.59917
0.36	0.61476	0.60784	0.60256	0.60153	0.60033	0.60007	0.59975	0.59967	0.59957	0.59955
0.38	0.61645	0.60898	0.60328	0.60216	0.60083	0.60054	0.60018	0.60009	0.59997	0.59994
0.40	0.61830	0.61022	0.60404	0.60283	0.60136	0.60104	0.60063	0.60053	0.60039	0.60035
0.42	0.62032	0.61156	0.60486	0.60353	0.60192	0.60156	0.60109	0.60097	0.60081	0.60077
0.44	0.62253	0.61301	0.60574	0.60428	0.60249	0.60209	0.60156	0.60142	0.60123	0.60118
0.46	0.62494	0.61458	0.60665	0.60506	0.60308	0.60263	0.60202	0.60187	0.60165	0.60159
0.48	0.62756	0.61625	0.60762	0.60587	0.60368	0.60317	0.60248	0.60231	0.60205	0.60198
0.50	0.63042	0.61804	0.60861	0.60669	0.60427	0.60370	0.60292	0.60272	0.60242	0.60234
0.52	0.63350	0.61995	0.60963	0.60752	0.60484	0.60420	0.60331	0.60309	0.60275	0.60265
0.54	0.63684	0.62196	0.61066	0.60834	0.60537	0.60466	0.60365	0.60339	0.60300	0.60290
0.56	0.64042	0.62407	0.61169	0.60913	0.60584	0.60504	0.60391	0.60361	0.60317	0.60305
0.58	0.64424	0.62626	0.61268	0.60987	0.60622	0.60533	0.60406	0.60372	0.60321	0.60308
0.60	0.64832	0.62851	0.61361	0.61052	0.60648	0.60548	0.60406	0.60368	0.60310	0.60295
0.62	0.65263	0.63081	0.61445	0.61105	0.60657	0.60547	0.60387	0.60344	0.60279	0.60262
0.64	0.65716	0.63311	0.61515	0.61141	0.60647	0.60524	0.60345	0.60297	0.60224	0.60204
0.66	0.66189	0.63539	0.61567	0.61155	0.60609	0.60473	0.60273	0.60219	0.60137	0.60115
0.68	0.66679	0.63758	0.61593	0.61141	0.60539	0.60388	0.60166	0.60105	0.60014	0.59988
0.70	0.67181	0.63963	0.61588	0.61091	0.60428	0.60261	0.60014	0.59947	0.59844	0.59816
0.72	0.67691	0.64146	0.61542	0.60997	0.60268	0.60083	0.59809	0.59735	0.59620	0.59589
0.74	0.68201	0.64300	0.61446	0.60850	0.60048	0.59844	0.59541	0.59459	0.59332	0.59296
0.75	0.68455	0.64363	0.61376	0.60752	0.59912	0.59698	0.59380	0.59293	0.59159	0.59122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.10 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 24 นิ้ว (600 มิลลิเมตร) [D=23.000 นิ้ว (584.20 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59768	0.59693	0.59637	0.59627	0.59615	0.59613	0.59611	0.59611	0.59610	0.59610
0.04	0.59869	0.59747	0.59656	0.59639	0.59621	0.59618	0.59614	0.59613	0.59613	0.59613
0.06	0.59957	0.59796	0.59675	0.59653	0.59628	0.59624	0.59619	0.59618	0.59617	0.59617
0.08	0.60041	0.59843	0.59695	0.59668	0.59638	0.59632	0.59626	0.59625	0.59624	0.59624
0.10	0.60121	0.59890	0.59716	0.59684	0.59649	0.59643	0.59636	0.59635	0.59633	0.59633
0.12	0.60201	0.59937	0.59739	0.59703	0.59663	0.59656	0.59648	0.59646	0.59645	0.59644
0.14	0.60280	0.59986	0.59765	0.59724	0.59679	0.59671	0.59662	0.59660	0.59658	0.59658
0.16	0.60361	0.60037	0.59793	0.59747	0.59698	0.59689	0.59678	0.59676	0.59674	0.59674
0.18	0.60445	0.60090	0.59823	0.59773	0.59719	0.59709	0.59697	0.59695	0.59693	0.59692
0.20	0.60532	0.60147	0.59856	0.59802	0.59743	0.59731	0.59719	0.59716	0.59713	0.59713
0.22	0.60623	0.60207	0.59893	0.59834	0.59769	0.59757	0.59742	0.59740	0.59736	0.59736
0.24	0.60720	0.60272	0.59933	0.59869	0.59798	0.59785	0.59769	0.59766	0.59762	0.59761
0.26	0.60823	0.60342	0.59977	0.59908	0.59830	0.59815	0.59798	0.59794	0.59789	0.59788
0.28	0.60934	0.60417	0.60024	0.59950	0.59866	0.59849	0.59829	0.59825	0.59820	0.59818
0.30	0.61054	0.60499	0.60076	0.59996	0.59904	0.59885	0.59863	0.59858	0.59852	0.59851
0.32	0.61184	0.60587	0.60133	0.60046	0.59945	0.59925	0.59900	0.59894	0.59887	0.59885
0.34	0.61325	0.60684	0.60195	0.60100	0.59990	0.59967	0.59938	0.59932	0.59923	0.59921
0.36	0.61480	0.60789	0.60261	0.60158	0.60037	0.60012	0.59980	0.59972	0.59962	0.59959
0.38	0.61649	0.60903	0.60333	0.60221	0.60088	0.60059	0.60023	0.60014	0.60002	0.59999
0.40	0.61834	0.61027	0.60410	0.60288	0.60141	0.60109	0.60068	0.60058	0.60044	0.60040
0.42	0.62036	0.61161	0.60492	0.60358	0.60197	0.60161	0.60114	0.60102	0.60086	0.60082
0.44	0.62257	0.61306	0.60579	0.60433	0.60255	0.60215	0.60161	0.60148	0.60129	0.60123
0.46	0.62498	0.61463	0.60671	0.60511	0.60314	0.60269	0.60208	0.60192	0.60170	0.60164
0.48	0.62761	0.61630	0.60767	0.60592	0.60373	0.60323	0.60253	0.60236	0.60210	0.60203
0.50	0.63046	0.61809	0.60866	0.60674	0.60432	0.60375	0.60297	0.60276	0.60247	0.60239
0.52	0.63355	0.61999	0.60968	0.60757	0.60488	0.60425	0.60336	0.60313	0.60279	0.60270
0.54	0.63688	0.62200	0.61070	0.60838	0.60541	0.60470	0.60369	0.60343	0.60304	0.60294
0.56	0.64046	0.62411	0.61172	0.60917	0.60587	0.60507	0.60394	0.60365	0.60320	0.60308
0.58	0.64429	0.62629	0.61271	0.60989	0.60624	0.60535	0.60408	0.60375	0.60324	0.60310
0.60	0.64836	0.62854	0.61363	0.61054	0.60649	0.60550	0.60407	0.60369	0.60312	0.60296
0.62	0.65267	0.63083	0.61446	0.61105	0.60658	0.60547	0.60387	0.60345	0.60280	0.60262
0.64	0.65720	0.63313	0.61515	0.61140	0.60646	0.60523	0.60344	0.60296	0.60223	0.60202
0.66	0.66192	0.63539	0.61565	0.61153	0.60607	0.60470	0.60270	0.60216	0.60123	0.60112
0.68	0.66682	0.63757	0.61589	0.61137	0.60534	0.60383	0.60160	0.60100	0.60008	0.59983
0.70	0.67184	0.63960	0.61581	0.61084	0.60421	0.60253	0.60006	0.59939	0.59837	0.59808
0.72	0.67693	0.64142	0.61533	0.60987	0.60257	0.60072	0.59798	0.59724	0.59610	0.59578
0.74	0.68203	0.64293	0.61433	0.60836	0.60034	0.59829	0.59526	0.69444	0.59317	0.59281
0.75	0.68456	0.64355	0.61361	0.60736	0.59895	0.59681	0.59363	0.59276	0.59142	0.59105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.11 ค่า Discharge Coefficients สำหรับ Flange-Tapped : ท่อขนาด 30 นิ้ว (750 มิลลิเมตร) [D=29.000 นิ้ว (736.60 มิลลิเมตร)]

PIPE REYNOLDS NUMBER (Re_D)

β	4000	10000	50000	100000	500000	1×10^6	5×10^6	10×10^6	50×10^6	100×10^6
0.02	0.59768	0.59693	0.59637	0.59627	0.59616	0.59614	0.59611	0.59611	0.59611	0.59610
0.04	0.59869	0.59748	0.59657	0.59640	0.59622	0.59618	0.59615	0.59614	0.59613	0.59613
0.06	0.59958	0.59797	0.59676	0.59653	0.59629	0.59625	0.59620	0.59619	0.59618	0.59618
0.08	0.60041	0.59844	0.59696	0.59668	0.59639	0.59633	0.59627	0.59626	0.59625	0.59625
0.10	0.60122	0.59891	0.59717	0.59685	0.59651	0.59644	0.59637	0.59636	0.59634	0.59634
0.12	0.60202	0.59939	0.59741	0.59704	0.59665	0.59657	0.59649	0.59648	0.59646	0.59646
0.14	0.60282	0.59988	0.59767	0.59726	0.59681	0.59673	0.59664	0.59662	0.59660	0.59660
0.16	0.60363	0.60039	0.59795	0.59749	0.59700	0.59691	0.59681	0.59679	0.59676	0.59676
0.18	0.60447	0.60093	0.59825	0.59776	0.59721	0.59711	0.59700	0.59698	0.59695	0.59695
0.20	0.60534	0.60150	0.59859	0.59805	0.59745	0.59734	0.59721	0.59719	0.59716	0.59715
0.22	0.60626	0.60210	0.59896	0.59837	0.59772	0.59760	0.59746	0.59743	0.59739	0.59739
0.24	0.60723	0.60275	0.59936	0.59872	0.59802	0.59788	0.59772	0.59769	0.59765	0.59764
0.26	0.60826	0.60345	0.59980	0.59911	0.59834	0.59819	0.59801	0.59798	0.59793	0.59792
0.28	0.60937	0.60421	0.60028	0.59954	0.59870	0.59853	0.59833	0.59829	0.59824	0.59822
0.30	0.61057	0.60503	0.60081	0.60000	0.59908	0.59890	0.59867	0.59863	0.59856	0.59855
0.32	0.61188	0.60592	0.60138	0.60050	0.59950	0.59929	0.59904	0.59899	0.59891	0.59889
0.34	0.61329	0.60689	0.60199	0.60105	0.59995	0.59972	0.59943	0.59937	0.59928	0.59926
0.36	0.61484	0.60794	0.60266	0.60163	0.60043	0.60017	0.59985	0.59977	0.59967	0.59965
0.38	0.61653	0.60908	0.60338	0.60226	0.60093	0.60065	0.60028	0.60020	0.60008	0.60005
0.40	0.61838	0.61032	0.60415	0.60293	0.60147	0.60115	0.60073	0.60063	0.60049	0.60046
0.42	0.62041	0.61166	0.60497	0.60364	0.60203	0.60167	0.60120	0.60108	0.60092	0.60087
0.44	0.62262	0.61312	0.60584	0.60439	0.60260	0.60220	0.60166	0.60153	0.60134	0.60129
0.46	0.62503	0.61468	0.60676	0.60517	0.60319	0.60274	0.60213	0.60198	0.60176	0.60170
0.48	0.62766	0.61635	0.60772	0.60597	0.60379	0.60328	0.60259	0.60241	0.60216	0.60209
0.50	0.63051	0.61814	0.60871	0.60679	0.60437	0.60380	0.60302	0.60282	0.60252	0.60244
0.52	0.63360	0.62005	0.60973	0.60762	0.60493	0.60430	0.60341	0.60318	0.60284	0.60275
0.54	0.63693	0.62205	0.61075	0.60843	0.60545	0.60474	0.60374	0.60348	0.60309	0.60298
0.56	0.64051	0.62415	0.61177	0.60921	0.60591	0.60512	0.60399	0.60369	0.60325	0.60312
0.58	0.64434	0.62634	0.61275	0.60993	0.60628	0.60539	0.60412	0.60378	0.60328	0.60314
0.60	0.64841	0.62858	0.61366	0.61057	0.60652	0.60553	0.60410	0.60372	0.60315	0.60299
0.62	0.65272	0.63086	0.61448	0.61107	0.60660	0.60549	0.60389	0.60346	0.60282	0.60264
0.64	0.65724	0.63315	0.61516	0.61141	0.60646	0.60523	0.60344	0.60296	0.60223	0.60203
0.66	0.66197	0.63540	0.61564	0.61152	0.60606	0.60469	0.60269	0.60215	0.60133	0.60111
0.68	0.66686	0.63757	0.61587	0.61134	0.60531	0.60380	0.60158	0.60097	0.60006	0.59980
0.70	0.67188	0.63959	0.61577	0.61080	0.60416	0.60248	0.60001	0.59934	0.59831	0.59803
0.72	0.67697	0.64139	0.61526	0.60980	0.60249	0.60064	0.59790	0.59716	0.59601	0.59570
0.74	0.68206	0.64289	0.61424	0.60825	0.60022	0.59818	0.59515	0.59432	0.59305	0.59270
0.75	0.68459	0.64349	0.61350	0.60724	0.59882	0.59668	0.59349	0.59262	0.59128	0.59091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าการออกแบบหน้าแปลน สำหรับ คลาส 300 – 2500 ตามมาตรฐาน ASME B16.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

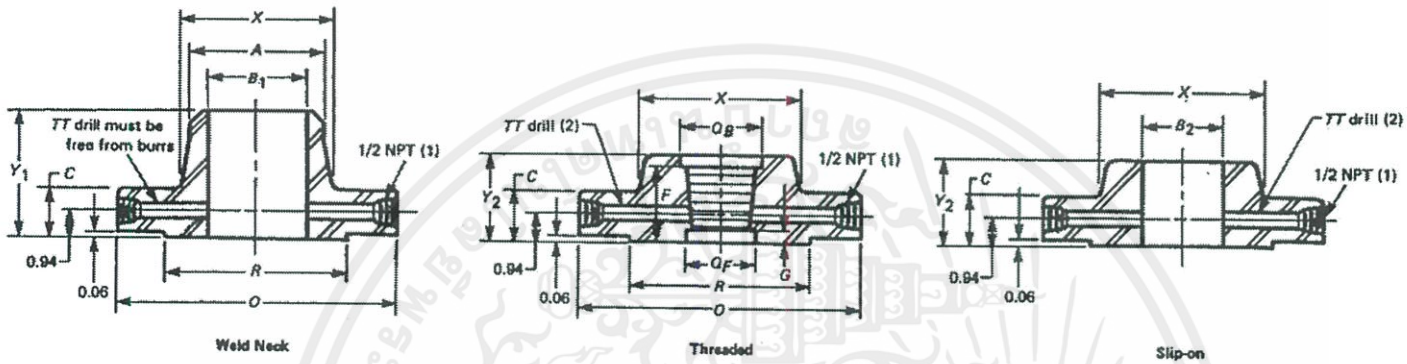


TABLE 1 CLASS 300 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK, SLIP-ON, AND THREADED[3,4]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face *R*	Outside Diameter of Flange *O*	Thickness of Flange, Min. *C*	Length Through Hub: Slip-On and Threaded Y_2	Length Through Hub: Weld Neck Y_1	Diameter of Hub *X*	Hub Diameter Beginning of Chamfer (W.N.) *A*	Diameter of Counterbore: Back Q_B	Diameter of Counterbore: Face Q_F	Counterbore Depth (From Face): *F*	Counterbore Depth (From Face): *G*	Bore: Slip-On B_2	Bore: Weld Neck B_1	Diameter of Pressure Connection *TT*	Drilling Template: Bolt Circle	Drilling Template: Number of Holes	Drilling Template: Diameter of Holes	Drilling Template: Diameter of Bolts	Bolt Length [(5), (6)]: Machine Bolts	Bolt Length [(5), (6)]: Stud Bolts
1	2.00	4.88	1.50	1.88	3.25	2.12	1.32	1.41	1.30	1.44	0.75	1.36		¼	3.50	4	0.69	⅝	4.50	5.00
1½	2.88	6.12	1.50	1.88	3.38	2.75	1.90	1.99	1.89	1.47	0.72	1.95		¼	4.50	4	0.81	¾	4.75	5.25
2	3.62	6.50	1.50	1.94	3.38	3.31	2.38	2.50	2.36	1.50	0.69	2.44		¼	5.00	8	0.69	⅝	4.50	5.00
2½	4.12	7.50	1.50	2.00	3.50	3.94	2.88	3.00	2.84	1.75	0.56	2.94		¼	5.88	8	0.81	¾	4.75	5.25
3	5.00	8.25	1.50	2.06	3.50	4.62	3.50	3.63	3.46	1.81	0.56	3.57		⅜	6.62	8	0.81	¾	4.75	5.25
4	6.19	10.00	1.50	2.12	3.62	5.75	4.50	4.63	4.45	1.88	0.56	4.57		½	7.88	8	0.81	¾	4.75	5.25
6	8.50	12.50	1.50	2.12	3.94	8.12	6.63	6.75	6.57	1.88	0.31	6.72		½	10.62	12	0.88	¾	4.75	5.25
8	10.62	15.00	1.62	2.44	4.38	10.25	8.63	8.75	8.55	2.19	0.44	8.72		½	13.00	12	1.00	⅞	5.00	5.75
10	12.75	17.50	1.88	2.62	4.62	12.62	10.75					10.88		½	15.25	16	1.12	1	5.75	6.50
12	15.00	20.50	2.00	2.88	5.12	14.75	12.75					12.88		½	17.75	16	1.25	1⅛	6.25	7.00
14	16.25	23.00	2.12	3.00	5.62	16.75	14.00					14.14		½	20.25	20	1.25	1⅛	6.50	7.25
16	18.50	25.50	2.25	3.25	5.75	19.00	16.00					16.16		½	22.50	20	1.38	1¼	7.00	7.75
18	21.00	28.00	2.38	3.50	6.25	21.00	18.00					18.18		½	24.75	24	1.38	1¼	7.25	8.00
20	23.00	30.50	2.50	3.75	6.38	23.12	20.00					20.20		½	27.00	24	1.38	1¼	7.50	8.50
24	27.25	36.00	2.75	4.19	6.62	27.62	24.00					24.25		½	32.00	24	1.62	1½	8.25	9.50

See Note (8).

See Note (7).

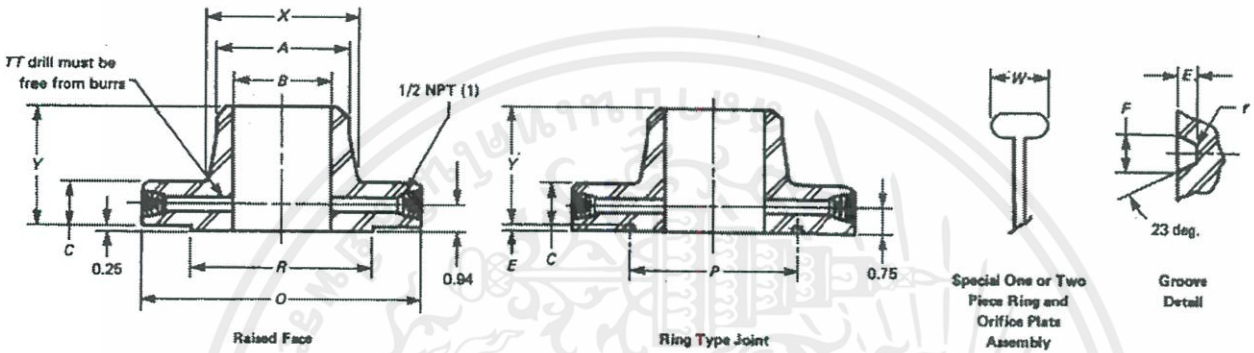


TABLE 2 CLASS 400 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK[2]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face *R*	Outside Diameter of Flange *O*	Thickness of Flange, Min. *C*	Length Through Hub *Y*	Ring Type Joint: Groove Number	Pitch Diameter *P*	Groove Depth *E*	Groove Width *F*	Radius at Bottom r_{max}	Special Oval Ring Height *W*	Diameter of Hub *X*	Hub Diameter Beginning of Chamfer *A*	Bore *B*	Diameter of Pressure Connection *TT*	Drilling Template: Diameter of Bolt Circle	Number of Holes	Diameter of Holes	Diameter of Bolts	Length of Stud Bolts [(3), (4)]: Raised Face	Ring Joint
1 1½ 2 2½ 3	For NPS 3 and smaller, use Class 600.																			
4	6.19	10.00	1.50	3.50	R37	5.875	0.312	0.469	0.03	1.06	5.75	4.50	See Note (5).	½	7.88	8	1.00	⅞	5.50	6.00
6	8.50	12.50	1.62	4.06	R45	8.312	0.312	0.469	0.03	1.06	8.12	6.63		½	10.62	12	1.00	⅞	6.25	6.50
8	10.62	15.00	1.88	4.62	R49	10.625	0.312	0.469	0.03	1.06	10.25	8.63		½	13.00	12	1.12	1	6.75	7.25
10	12.75	17.50	2.12	4.88	R53	12.750	0.312	0.469	0.03	1.06	12.62	10.75		½	15.25	16	1.25	1⅛	7.50	8.00
12	15.00	20.50	2.25	5.38	R57	15.000	0.312	0.469	0.03	1.06	14.75	12.75		½	17.75	16	1.38	1¼	8.00	8.50
14	16.25	23.00	2.39	5.88	R61	16.500	0.312	0.469	0.03	1.06	16.75	14.00		½	20.25	20	1.38	1¼	8.25	9.00
16	18.50	25.50	2.50	6.00	R65	18.500	0.312	0.469	0.03	1.19	19.00	16.00		½	22.50	20	1.50	1⅜	8.75	9.25
18	21.00	28.00	2.62	6.50	R69	21.000	0.312	0.469	0.03	1.19	21.00	18.00		½	24.75	24	1.50	1⅜	9.25	9.50
20	23.00	30.50	2.75	6.62	R73	23.000	0.375	0.531	0.06	1.25	23.12	20.00		½	27.00	24	1.62	1½	9.75	10.25
24	27.25	36.00	3.00	6.88	R77	27.250	0.938	0.656	0.06	1.44	27.62	24.00		½	32.00	24	1.88	1¾	11.00	11.50

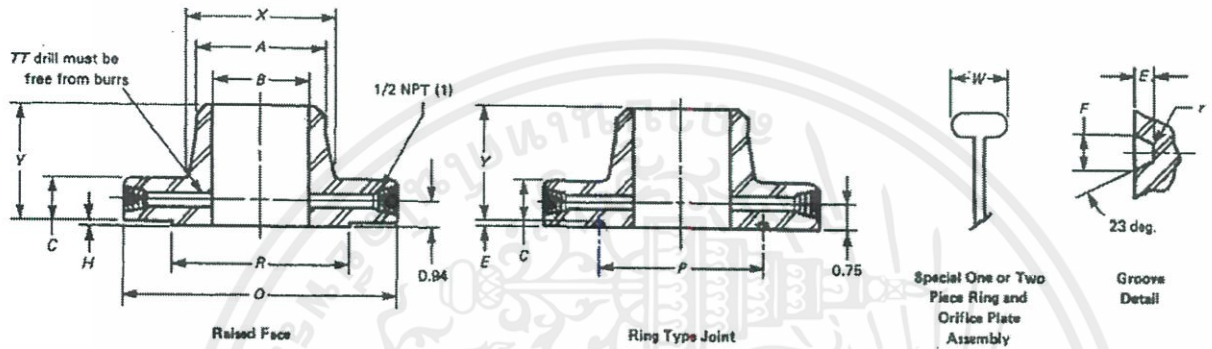


TABLE 3 CLASS 600 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK[2,3]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face *R*	Outside Diameter of Flange *O*	Thickness of Flange, Min. *C*	Length Through Hub *Y*	Height of Raised Face *H*	Ring Type Joint						Diameter of Hub *X*	Hub Diameter Beginning of Chamfer *A*	Bore *B*	Diameter of Pressure Connection *TT*	Drilling Template				Diameter of Bolts	Length of Stud Bolts [(4)(5)]	
						Groove Number	Pitch Diameter *P*	Groove Depth *E*	Groove Width *F*	Radius at Bottom r_{max}	Special Oval Ring Height *W*					Bolt Circle	Number of Holes	Diameter of Holes: Raised Face	Diameter of Holes: Ring Joint		Raised Face	Ring Joint
1	2.00	4.88	1.44	3.19	0.06	R16	2.000	0.250	0.344	0.03	1.00	2.12	1.32	See Note (6).	1¼	3.50	4	0.69	0.75	5/8	5.00	5.50
1½	2.88	6.12	1.44	3.32	0.06	R20	2.688	0.250	0.344	0.03	1.00	2.75	1.90		1¼	4.50	4	0.81	0.88	3/4	5.25	5.50
2	3.62	6.50	1.44	3.32	0.06	R23	3.250	0.312	0.469	0.03	1.06	3.31	2.38		1¼	5.00	8	0.69	0.75	5/8	5.00	5.50
2½	4.12	7.50	1.44	3.44	0.06	R26	4.000	0.312	0.469	0.03	1.06	3.94	2.88		1¼	5.88	8	0.81	0.88	3/4	5.25	5.75
3	5.00	8.25	1.44	3.44	0.06	R31	4.875	0.312	0.469	0.03	1.06	4.62	3.50		3/8	6.62	8	0.81	0.88	3/4	5.25	5.75
4	6.19	10.75	1.50	4.00	0.25	R37	5.875	0.312	0.469	0.03	1.06	6.00	4.50		½	8.50	8	1.00	1.00	7/8	6.00	6.50
6	8.50	14.00	1.88	4.62	0.25	R45	8.312	0.312	0.469	0.03	1.06	8.75	6.63		½	11.50	12	1.12	1.12	1	7.00	7.50
8	10.62	16.50	2.19	5.25	0.25	R49	10.625	0.312	0.469	0.03	1.06	10.75	8.63		½	13.75	12	1.25	1.25	1⅛	7.75	8.25
10	12.75	20.00	2.50	6.00	0.25	R53	12.750	0.312	0.469	0.03	1.06	13.50	10.75		½	17.00	16	1.38	1.38	1¼	8.75	9.25
12	15.00	22.00	2.62	6.12	0.25	R57	15.000	0.312	0.469	0.03	1.06	15.75	12.75		½	19.25	20	1.38	1.38	1¼	9.00	9.50
14	16.25	23.75	2.75	6.50	0.25	R61	16.500	0.312	0.469	0.03	1.06	17.00	14.00		½	20.75	20	1.50	1.50	1⅜	9.50	10.00
16	18.50	27.00	3.00	7.00	0.25	R65	18.500	0.312	0.469	0.03	1.19	19.50	16.00		½	23.75	20	1.62	1.62	1½	10.25	10.75
18	21.00	29.25	3.25	7.25	0.25	R69	21.000	0.312	0.469	0.03	1.19	21.50	18.00		½	25.75	20	1.75	1.75	1⅝	11.00	11.50
20	23.00	32.00	3.50	7.50	0.25	R73	23.000	0.375	0.531	0.06	1.25	24.00	20.00		½	28.50	24	1.75	1.75	1⅝	11.75	12.50
24	27.25	37.00	4.00	8.00	0.25	R77	27.250	0.438	0.656	0.06	1.44	28.25	24.00		½	33.00	24	2.00	2.00	1⅞	13.25	13.75

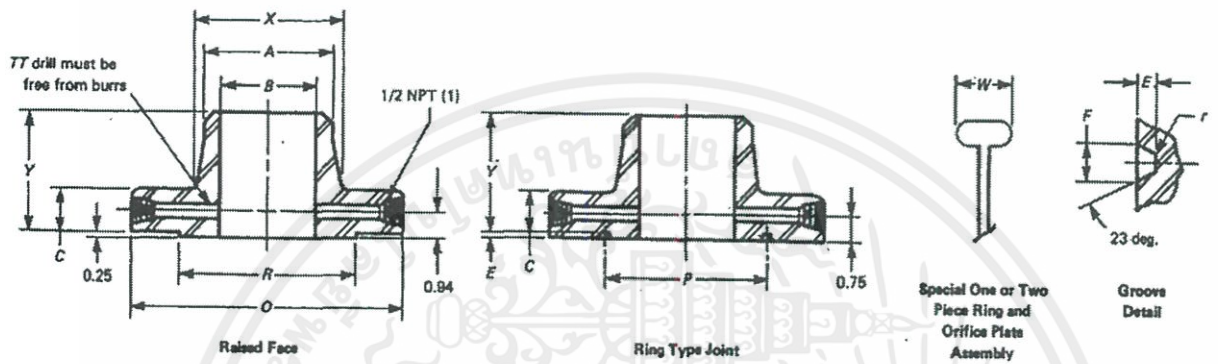


TABLE 4 CLASS 900 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK[2]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face *R*	Outside Diameter of Flange *O*	Thickness of Flange, Min. *C*	Length Through Hub *Y*	Ring Type Joint (6)						Diameter of Hub *X*	Hub Diameter Beginning of Chamfer *A*	Bore *B*	Diameter of Pressure Connection *TT*	Drilling Template				Length of Stud Bolts [(3), (4)]	
					Groove Number	Pitch Diameter *P*	Groove Depth *E*	Groove Width *F*	Radius at Bottom r_{max}	Special Oval Ring Height *W*					Diameter of Bolt Circle	Number of Holes	Diameter of Holes	Diameter of Bolts	Raised Face	Ring Joint
1 1½ 2 2½	For NPS 2½ and smaller, use Class 1500.																			
3	5.00	9.50	1.50	4.00	R31	4.875	0.312	0.469	0.03	1.06	5.00	3.50	See Note (5).	⅜	7.50	8	1.00	⅞	6.00	6.50
4	6.19	11.50	1.75	4.50	R37	5.875	0.312	0.469	0.03	1.06	6.25	4.50		½	9.25	8	1.25	1⅛	7.00	7.50
6	8.50	15.00	2.19	5.50	R45	8.312	0.312	0.469	0.03	1.06	9.25	6.63		½	12.50	12	1.25	1⅛	7.75	8.25
8	10.62	18.50	2.50	6.38	R49	10.625	0.312	0.469	0.03	1.06	11.75	8.63		½	15.50	12	1.50	1⅜	9.00	9.50
10	12.75	21.50	2.75	7.25	R53	12.750	0.312	0.469	0.03	1.06	14.50	10.75		½	18.50	16	1.50	1⅜	9.50	10.00
12	15.00	24.00	3.12	7.88	R57	15.000	0.312	0.469	0.03	1.06	16.50	12.75		½	21.00	20	1.50	1⅜	10.25	10.75
14	16.25	25.25	3.38	8.38	R62	16.500	0.438	0.656	0.06	1.31	17.75	14.00		½	22.00	20	1.62	1½	11.00	11.50
16	18.50	27.75	3.50	8.50	R66	18.500	0.438	0.656	0.06	1.44	20.00	16.00		½	24.25	20	1.75	1⅝	11.50	12.00
18	21.00	31.00	4.00	9.00	R70	21.000	0.500	0.781	0.06	1.56	22.25	18.00		½	27.00	20	2.00	1⅞	13.00	13.75
20	23.00	33.75	4.25	9.75	R74	23.000	0.500	0.781	0.06	1.56	24.50	20.00		½	29.50	20	2.12	2	14.00	14.75
24	27.25	41.00	5.50	11.50	R78	27.250	0.625	1.062	0.09	1.88	29.50	24.00		½	35.50	20	2.62	2½	17.50	18.50

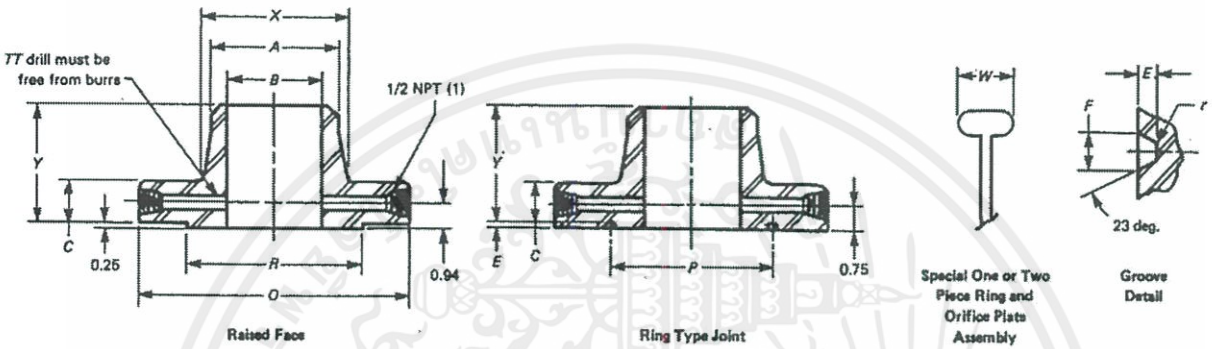


TABLE 5 CLASS 1500 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK[2]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face *R*	Outside Diameter of Flange *O*	Thickness of Flange, Min. *C*	Length Through Hub *Y*	Ring Type Joint (6)						Diameter of Hub *X*	Hub Diameter Beginning of Chamfer *A*	Bore *B*	Diameter of Pressure Connection *TT*	Drilling Template				Length of Stud Bolts [(3), (4)]	
					Groove Number	Pitch Diameter *P*	Groove Depth *E*	Groove Width *F*	Radius at Bottom r_{max}	Special Oval Ring Height *W*					Diameter of Bolt Circle	Number of Holes	Diameter of Holes	Diameter of Bolts	Raised Face	Ring Joint
1	2.00	5.88	1.50	3.25	R16	2.000	0.250	0.344	0.03	1.00	2.06	1.32	See Note (5).	1/4	4.00	4	1.00	7/8	6.00	6.25
1 1/2	2.88	7.00	1.50	3.50	R20	2.688	0.250	0.344	0.03	1.00	2.75	1.90		1/4	4.88	4	1.12	1	6.25	6.50
2	3.62	8.50	1.50	4.00	R24	3.750	0.312	0.469	0.03	1.06	4.12	2.38		1/4	6.50	8	1.00	7/8	6.00	6.50
2 1/2	4.12	9.62	1.62	4.12	R27	4.250	0.312	0.469	0.03	1.06	4.88	2.88		1/4	7.50	8	1.12	1	6.50	7.00
3	5.00	10.50	1.88	4.62	R35	5.375	0.312	0.469	0.03	1.06	5.25	3.50		3/8	8.00	8	1.25	1 1/8	7.25	7.25
4	6.19	12.25	2.12	4.88	R39	6.375	0.312	0.469	0.03	1.06	6.38	4.50		1/2	9.50	8	1.38	1 1/4	8.00	8.50
6	8.50	15.50	3.25	6.75	R46	8.312	0.375	0.531	0.06	1.12	9.00	6.63		1/2	12.50	12	1.50	1 3/8	10.50	11.00
8	10.62	19.00	3.62	8.38	R50	10.625	0.438	0.656	0.06	1.31	11.50	8.63		1/2	15.50	12	1.75	1 5/8	11.75	12.25
10	12.75	23.00	4.25	10.00	R54	12.750	0.438	0.656	0.06	1.31	14.50	10.75		1/2	19.00	12	2.00	1 7/8	13.50	14.00
12	15.00	26.50	4.88	11.12	R58	15.000	0.562	0.806	0.06	1.56	17.75	12.75		1/2	22.50	16	2.12	2	15.00	15.75
14	16.25	29.50	5.25	11.75	R63	16.500	0.625	1.062	0.09	1.75	19.50	14.00		1/2	25.00	16	2.38	2 1/4	16.25	17.52
16	18.50	32.50	5.75	12.25	R67	18.500	0.688	1.188	0.09	2.00	21.75	16.00		1/2	27.75	16	2.62	2 1/2	17.75	19.00
18	21.00	36.00	6.38	12.88	R71	21.000	0.688	1.188	0.09	2.00	23.50	18.00		1/2	30.50	16	2.88	2 3/4	19.75	21.00
20	23.00	38.75	7.00	14.00	R75	23.000	0.688	1.312	0.09	2.12	25.25	20.00		1/2	32.75	16	3.12	3	21.50	22.50
24	27.25	46.00	8.00	16.00	R79	27.250	0.812	1.438	0.09	2.31	30.00	24.00		1/2	39.00	16	3.62	3 1/2	24.50	26.00

ข.6 ค่าการออกแบบหน้าแปลน สำหรับ คลาส 2500

TABLE 6 CLASS 2500 ORIFICE FLANGES, WELDING NECK[2]

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of Raised Face R	Outside Diameter of Flange O	Thickness of Flange, Min. C	Length Through Hub Y	Ring Type Joint							Hub Diameter Beginning of Chamfer A	See Note (5). Bore B	Drilling Template					Length of Stud Bolts [(3), (4)]	
					Groove Number	Pitch Diameter P	Groove Depth E	Groove Width F	Radius at Bottom r_{max}	Special Oval Ring Height W	Diameter of Hub X			Diameter of Pressure Connection TT	Diameter of Bolt Circle	Number of Holes	Diameter of Holes	Diameter of Bolts	Raised Face	Ring Joint
1	2.00	6.25	1.50	3.62	R18	2.375	0.250	0.344	0.03	1.00	2.25	1.32		1/4	4.25	4	1.00	7/8	6.00	6.25
1 1/2	2.88	8.00	1.75	4.38	R23	3.250	0.312	0.469	0.03	1.06	3.12	1.90		1/4	5.75	4	1.25	1 1/8	7.00	7.50
2	3.62	9.25	2.00	5.00	R26	4.000	0.312	0.469	0.03	1.06	3.75	2.38		1/4	6.75	8	1.12	1	7.25	7.75
2 1/2	4.12	10.50	2.25	5.62	R28	4.375	0.375	0.531	0.06	1.19	4.50	2.88		1/4	7.75	8	1.25	1 1/8	8.00	8.50
3	5.00	12.00	2.62	6.62	R32	5.000	0.375	0.531	0.06	1.19	5.25	3.50		3/8	9.00	8	1.38	1 1/4	9.00	9.50
4	6.19	14.00	3.00	7.50	R38	6.188	0.438	0.656	0.06	1.31	6.50	4.50		1/2	10.75	8	1.62	1 1/2	10.25	10.75
6	8.50	19.00	4.25	10.75	R47	9.000	0.500	0.781	0.06	1.44	9.25	6.63		1/2	14.50	8	2.12	2	13.75	14.50
8	10.62	21.75	5.00	12.50	R51	11.000	0.562	0.906	0.06	1.56	12.00	8.63		1/2	17.25	12	2.12	2	15.25	16.00
10	12.75	26.50	6.50	16.50	R55	13.500	0.688	1.188	0.09	1.88	14.75	10.75		1/2	21.25	12	2.62	2 1/2	19.25	20.25
12	15.00	30.00	7.25	18.25	R60	16.000	0.688	1.312	0.09	2.00	17.38	12.75		1/2	24.38	12	2.88	2 3/4	21.25	22.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้