



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบทางวิศวกรรมในโครงการขยายประสิทธิภาพของโรงกลั่น
Engineering design to increase capacity of refinery project



นายศุภสันต์ กลีบบทุม

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบทางวิศวกรรมในโครงการขยายประสิทธิภาพของโรงกลั่น

Engineering design to increase capacity of refinery project

นายศุภสิทธิ์ กสิปทุม

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบทางวิศวกรรมในโครงการขยายประสิทธิภาพของโรงกลั่น

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายศุภสัณห์ กลีบปทุม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์, รศ.วิริยะ กองรัตน์, ดร.นภศูล วงษ์วานิช

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นางสาววรรณนิภา คล้ายทองคำ

สถานประกอบการ บริษัท เทคนิป เอฟเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้จะกล่าวถึงการทำให้ Front End Engineer Design ในส่วนของแผนก เครื่องมือวัด ให้กับโครงการขยายการผลิตของโรงกลั่นที่ต้องการขยายประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ให้กับหน่วยการผลิตต่างๆ ของโรงกลั่น โดยจุดประสงค์ของการดำเนินการ Front End Engineering Design ให้กับโรงกลั่น โดยจะมีการจัดทำฐานข้อมูล ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลของอุปกรณ์การวัดและควบคุมไว้อย่างเป็นระบบ และมีการตรวจสอบว่าอุปกรณ์การวัดและควบคุมต่างๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถรองรับกระบวนการใหม่ได้หรือไม่ โดยข้อมูลจากการดำเนินงานจะถูกส่งให้กับโรงกลั่นโดยจะเป็นเอกสารสรุปรายการวัสดุที่ต้องจัดซื้อเพิ่ม ในการขยายโครงการนี้ โดยเอกสารนี้จะถูกใช้ประเมินมูลค่าของโครงการเพื่อประกอบการตัดสินใจต่อไป

Cooperative Title: Engineering design to increase capacity of refinery project

Student Intern Name: Mr.Supasan Kleeapatum

Faculty: Engineering **Department:** Instrumentation and Control Engineering

Advisor Name: Asst. Prof. Dr.Supan Gulpanich, Asst. Prof. Viriya Kongratana,
Dr.Nopasool Wongvanich

Mentor Name: Ms.Kanika Kaytongkam

Company: TechnipFMC – Technip Engineering (Thailand) Lmt.

ABSTRACT

This cooperative educational report describes a working procedure of an instrument department in the Front End Engineering Design for Oil Refinery's Project. The goal of Debottlenecking Project is to increase the crude processing capacity by further expansion of an existing operation units. The purpose of having Front End Engineering Design is to estimate an overall project cost and to establish a project schedule planning. In the process of Front End Engineering Design project, there will be a creation of an instrument database for storing an important data about related instruments, and a verification of related instruments that were existing in the refinery. The data from an instrument database and a verification of existing instruments will be use in the making of project document. The documents is a Material Take Off, a summary list of an instruments that need to be purchased in this project and will be used for an estimation of the overall.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ของ บุคคลหลายท่าน ก่อนอื่นต้องขอขอบพระคุณ บริษัท เทคนิป เอฟเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาส ข้าพเจ้าได้เข้าไปฝึกปฏิบัติงาน โครงการสหกิจศึกษาตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคการศึกษา ทำให้ข้าพเจ้า ได้รับความรู้ และประสบการณ์ในการทำงานของวิศวกรรมการวัดคุมในด้านการออกแบบทางวิศวกรรม มากยิ่งขึ้น และต้องกราบขอบพระคุณผู้ให้ทุน นางสาวกรรณิกา คล้ายทองคำและพนักงาน บริษัท เทคนิป เอฟเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ประสบการณ์ในการทำงานแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ รศ.วิริยะ กองรัตน์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำตรวจแก้รายงานฉบับนี้และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

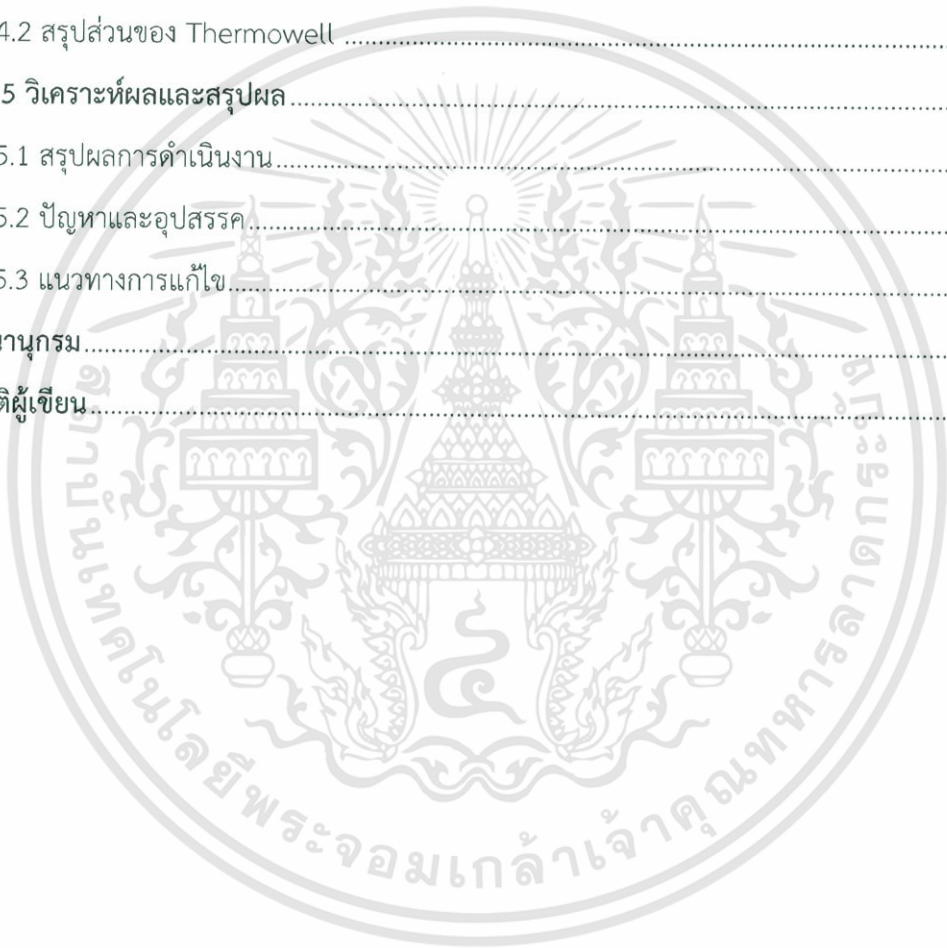
นายศุภสันต์ กลับปทุม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 วิธีดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แผนภาพกระบวนการผลิต.....	3
2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	14
2.3 เครื่องมือวัดการไหล.....	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	61
3.1 ภาพรวมของโปรเจค.....	61
3.2 Temperature Transmitter Range ability.....	62
3.3 Temperature Element Range ability.....	63
3.4 Thermowell Range ability.....	64
3.5 Flow Element Range ability.....	79
3.6 Flow Transmitter Range ability.....	87
3.7 Pressure Transmitter.....	87
3.8 Pressure Gauge.....	88

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.9 Temperature Gauge	88
3.10 Pressure Differential Transmitter และ Pressure Differential Gauge	89
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	90
4.1 สรุปลักษณะของ Range Ability	90
4.2 สรุปลักษณะของ Thermowell	91
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลและสรุปผล	94
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	94
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	94
5.3 แนวทางการแก้ไข	94
บรรณานุกรม	95
ประวัติผู้เขียน	96



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอักษรหน้าที่การทำงานตามมาตรฐาน ISA S5.1	4
2.2 ชนิดของไหล	9
2.3 อักษรในการกำหนดชื่ออุปกรณ์อื่นๆ	12
2.4 เทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ	22
2.5 ค่าโพลีโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด	24
2.6 อุณหภูมิการใช้งานของวัสดุที่ใช้ทำปลอกหุ้ม	25
2.7 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ RTD	28
2.8 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Thermocouple และ RTD	33
2.9 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรง	52
4.1 สรุปผลการทำงานของ Range Ability	90
4.2 สรุปผล Thermowell unit 2	91
4.3 สรุปผล Thermowell unit 6	92
4.4 สรุปผล Thermowell unit 7	92
4.5 สรุปผล Thermowell unit 16	93

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หมายเลขประจำเครื่องมือวัดบนแผนภาพกระบวนการผลิต.....	5
2.2 สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งเครื่องมือวัด.....	6
2.3 สัญลักษณ์เส้น.....	7
2.4 สัญลักษณ์เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่กับท่อ.....	8
2.5 หมายเลขประจำท่อแบบที่หนึ่ง.....	8
2.6 หมายเลขประจำท่อแบบที่สอง.....	9
2.7 สัญลักษณ์วาล์วควบคุมและ Actuator.....	10
2.8 ฟังก์ชันควบคุมพื้นฐาน.....	11
2.9 สัญลักษณ์อุปกรณ์อื่นๆในกระบวนการ.....	12
2.10 ปรากฏการณ์ของ Seebeck.....	15
2.11 แรงดันไฟฟ้า Seebeck.....	15
2.12 การวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลด้วยโวลต์มิเตอร์.....	16
2.13 การใช้จุดอ้างอิงจากภายนอก.....	17
2.14 แสดงการหักล้างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อที่เพิ่มขึ้น.....	17
2.15 การขยายจุดต่อออกไปจากโวลต์มิเตอร์.....	18
2.16 การเปลี่ยนอ่างน้ำแข็งด้วย Isothermal Block.....	18
2.17 การรวม Isothermal Block เป็นจุดเดียวกัน.....	19
2.18 การลดจำนวนจุดต่อของโลหะที่อยู่ระหว่างโลหะสองชนิด.....	19
2.19 การลดจำนวนจุดต่อของสายเหล็ก.....	20
2.20 การใช้จุดอ้างอิงโดยไม่ใช้อ่างน้ำแข็ง.....	20
2.21 การชดเชยด้วย Hardware.....	21
2.22 กราฟแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด.....	23
2.23 ปลอกหุ้มและลักษณะของฉนวนป้องกัน.....	24

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.24 จุดต่อลักษณะต่างๆ (1) Grounded, (2) Unground, (3) Exposed	26
2.25 ความต้านทานของวัสดุชนิดต่างๆ	27
2.26 กราฟความแม่นยำ.....	30
2.27 RTD แบบ Wire-wound	30
2.28 RTD แบบ Thin Film	31
2.29 RTD แบบ 2 สาย	32
2.30 RTD แบบ 3 สาย	32
2.31 RTD แบบ 4 สาย	33
2.32 เทอร์โมเวลล์ชนิดต่างๆ.....	34
2.33 ส่วนประกอบอื่นๆของเทอร์โมคัปเปิล	35
2.34 ระยะต่างๆของเทอร์โมเวลล์	36
2.35 แผนภาพกระบวนการผลิต.....	38
2.36 แบบฟอร์มมาตรฐานของเทอร์โมเวลล์	39
2.37 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	41
2.38 แผ่นออริฟิสมาตรฐาน.....	42
2.39 Concentric Orifice plate.....	43
2.40 Eccentric Orifice plate.....	44
2.41 Segmental Orifice plate.....	44
2.42 Quarant Orifice plate.....	45
2.43 Flange Taps	46
2.44 Vena Contracta Taps.....	47
2.45 Corner Taps.....	47
2.46 ลักษณะการไหลในท่อ	48

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.47 รูปแบบท่อในลักษณะต่างๆ	51
2.48 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันในรูปแบบต่างๆ.....	53
2.49 Square Flow Signal และ Scale แบบต่างๆ.....	54
2.50 การเปลี่ยนสัญญาณรอกที่สองไปเป็นเชิงเส้น.....	54
2.51 ตัวอย่างแผนภาพกระบวนการผลิต	55
2.52 ผลการคำนวณ.....	57
2.53 รายละเอียดแผ่นออริฟิส	58
2.54 เอกสารรายละเอียดเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง	60
3.1 ตัวอย่างของ Yellow Mark-Up P&ID Unit 2.....	61
3.2 ตัวอย่างหน้า report ของ Range-Ability Unit 3.....	62
3.3 Range Ability ของ Temperature Transmitter Unit 16.....	63
3.4 Range Ability ของ Temperature Element Unit 16.....	63
3.5 Range Ability ของ Thermowell Unit 16.....	64
3.6 สูตรการคำนวณความเร็วของไหลในท่อ	64
3.7 Piping specification ที่ Pipe Class B10.....	65
3.8 การหา Pipe ID โดยใช้โปรแกรม PipeData-PRO	65
3.9 ค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณความเร็วของไหลในท่อแล้วได้ผลลัพธ์เป็นความเร็ว (m/s).....	66
3.10 ฟังก์ชัน Index ของโปรแกรม Smartplant	66
3.11 ฟังก์ชัน New Tag	66
3.12 ตั้งชื่อ Tag	67
3.13 การเลือก Type	67
3.14 การตั้งชื่อ Loop	67
3.15 การเลือก size และ schedule	68

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.16 หน้าต่างที่ให้เลือก size และ schedule ของท่อ.....	68
3.17 การสร้าง New Line size และ Line schedule	69
3.18 หน้าต่างของฟังก์ชัน Calculation	69
3.19 การเรียก tag ของ Thermowell มาคำนวณ.....	70
3.20 ค่ารายละเอียดของของไหลในกระบวนการที่ต้องใช้ในการคำนวณ Thermowell	70
3.21 Line List Specification	70
3.22 การเลือกมาตรฐานในการคำนวณ Thermowell	71
3.23 หน้าต่างรายละเอียดของ Thermowell ที่ต้องระบุในโปรแกรม.....	71
3.24 Temperature Element/Thermowell datasheet	72
3.25 ตาราง Thermowell Class	72
3.26 Thermowell Drawing	73
3.27 หน้าต่างผลการคำนวณของ Thermowell	74
3.28 ผลการคำนวณอย่างเป็นทางการของ Thermowell	74
3.29 Thermowell calculation base on normal condition	75
3.30 Thermowell calculation on condition A.....	76
3.31 Thermowell calculation on condition B	77
3.32 Thermowell calculation on condition C.....	78
3.33 Range Ability ของ Flow Element Unit 16	79
3.34 สร้าง New Tag ให้ Flow meter	79
3.35 Piping specification Class B8.....	80
3.36 การเลือก Pipe size และ Pipe schedule	80
3.37 การสร้าง New Line size และ Line schedule	81
3.38 การสร้างชื่อ Tag ให้กับ Flow meter	81

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.39 ค่ารายละเอียดของของไหลในกระบวนการที่ต้องใช้ในการคำนวณ Flow meter	82
3.40 Line List specification ของท่อเบอร์ 16-SW-15203-C8-2	82
3.41 รายละเอียดของ Flow meter ที่ต้องใช้ในการคำนวณ.....	83
3.42 Flow meter datasheet	83
3.43 Orifice Drawing	84
3.44 Model Transmitter บริษัท Rosemount	84
3.45 การคำนวณเพื่อหา Differential range ของ Orifice	85
3.46 ผลลัพธ์การคำนวณอย่างเป็นทางการของ Flow meter	85
3.47 การคำนวณเพื่อหาขนาดรูของ Orifice	86
3.48 ผลลัพธ์การคำนวณหา Bore Diameter อย่างเป็นทางการของ 16-FE-210	86
3.49 Range Ability ของ Flow Transmitter Unit 16.....	87
3.50 Range Ability ของ Pressure Transmitter Unit 16	87
3.51 Range Ability ของ Pressure Gauge Unit 16.....	88
3.52 Range Ability ของ Temperature Gauge Unit 16.....	88
3.53 Range Ability ของ Differential Pressure Transmitter Unit 16.....	89
3.54 Range Ability ของ Differential Pressure Gauge Unit 16.....	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

บริษัท เทคนิป เอพีเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ให้บริการด้านงานวิศวกรรมต่างๆ เช่น Front End Engineering Design (FEED), Project Management Consultant (PMC) โดยโครงการส่วนใหญ่ที่บริษัท เทคนิป เอพีเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นผู้รับผิดชอบ จะเป็นอุตสาหกรรม จำพวก โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานปิโตรเคมี และแท่นขุดเจาะกลางทะเล เป็นต้น

สำหรับโครงการวางแผนออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อโครงการขยายการผลิตของ โรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งการดำเนินการนี้มีจุดประสงค์เพื่อวางแผนการก่อสร้างขยายกำลังผลิตของโรงกลั่นน้ำมันและประเมินมูลค่าของ โครงการขยายการผลิตของโรงกลั่นน้ำมัน ว่าจะต้องจำนวนเงินในการลงทุนและต้องใช้ระยะเวลาเท่าใด ในการดำเนินการก่อสร้าง เพื่อนำไปใช้สำหรับประกอบการตัดสินใจของโรงกลั่นแห่งนี้ ที่จะลงทุนในโครงการขยายการผลิตนี้หรือไม่ โดยในรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้จะเสนอรายละเอียดการทำงานต่างๆ ในส่วนของวิศวกรเครื่องมือวัดที่ได้รับมอบหมายตลอดช่วงของการดำเนินการวางแผนและออกแบบทางวิศวกรรมให้กับโครงการขยายการผลิตของโรงกลั่นน้ำมันแห่งนี้

โครงการนี้เป็นโครงการขยายการผลิตของโรงกลั่นน้ำมัน ที่อยู่ในขั้นตอนของการทำ Front End Engineering Design ซึ่งเป็นขั้นตอนของการวางแผนและประเมินมูลค่าของโครงการ ก่อนที่จะลงทุนออกแบบ จัดซื้อ และดำเนินการก่อสร้างจริง เหตุที่ต้องมีการดำเนินการนี้เนื่องจากโรงกลั่นจะต้องใช้เวลาและเงินทุนมหาศาล ในการลงทุนให้กับโครงการนี้ และโครงการนี้ล้มเหลวได้ถ้าหากดำเนินการก่อสร้างโดยไม่วางแผน และไม่ทราบจำนวนเงินที่ต้องใช้ในการลงทุนล่วงหน้า เงินที่ต้องใช้ในการลงทุนของโครงการไม่เพียงพอ ซึ่งอาจจะเป็นผลให้ต้องหยุดโครงการ หรือ หากว่าโครงการใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างนานเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ อาจจะทำให้โครงการไม่สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาที่ตั้งไว้ แต่ถ้าหากมีการวางแผนและจัดการที่ดี ก่อนที่จะมีการก่อสร้างจริงก็จะทำให้สามารถจะควบคุมระยะเวลา ในการก่อสร้างให้เป็นไปตามที่กำหนดได้ง่ายขึ้น และถ้าหากทำการประเมินค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการก่อสร้างทั้งหมดก่อนทำการก่อสร้างจริงก็จะทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า จะลงทุนก่อสร้างหรือไม่ หรือสามารถจัดสรรงบประมาณเพื่อมาใช้ในกาก่อสร้างได้ทันทีโดยที่ไม่ต้องหยุดโครงการเนื่องจากเงินลงทุนไม่เพียงพอได้

เนื่องจากโครงการนี้คือการขยายกำลังผลิตของโรงกลั่นที่ดำเนินการผลิตอยู่ในปัจจุบันแต่จะมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตในบางส่วนเพื่อที่จะทำให้สามารถผลิตน้ำมันได้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการบางส่วนของโรงกลั่นเปลี่ยนไป อุปกรณ์บางตัวที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถที่จะรองรับกระบวนการใหม่ได้ และต้องมีการเปลี่ยนแปลงโดยการนำอุปกรณ์ตัวใหม่ที่สามารถรองรับกระบวนการผลิตใหม่ได้มาติดตั้งแทนที่ ส่วนอุปกรณ์ตัวใดที่ยังสามารถใช้งานได้อยู่ ก็จะทำให้ติดตั้งไว้ดังเดิม จึงจำเป็นต้องมีการไปสำรวจที่หน้างาน เพื่อรวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์ที่กำลังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบว่าอุปกรณ์นั้นๆ ยังสามารถที่จะใช้งานได้หรือไม่ในกระบวนการใหม่ที่จะเกิดขึ้นหลังจากการขยายการผลิตของโรงกลั่นแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อให้ให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรม เช่น P&ID, Datasheet Loop Diagram, Wiring Diagram เป็นต้น
2. เพื่อจัดทำ Range ability ด้วยโปรแกรม Excel ตรวจสอบความถูกต้องและเตรียมเอกสารส่งลูกค้า
3. เพื่อทำการคำนวณ Thermowell และ Flow Element ภายใตโปรแกรม Smart Plant Instrumentation 2013 และจัดเตรียมเอกสารส่งลูกค้า

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. จัดทำ Range Ability เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดและเตรียมเอกสารส่งลูกค้า
2. จัดเตรียมเอกสาร WFC (Wake Frequency calculation) สำหรับ thermowell โดยใช้ ASME PTC 19.3 (2013) ในการคำนวณ
3. จัดทำเอกสาร Datasheet โดยใช้โปรแกรม Smartplant 2013 เพื่อจัดส่งให้ลูกค้า

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเอกสารอธิบายรายละเอียดต่างๆ ของพีแอนด์ไอดีไอโตะแกรม (P&ID Legend Sheet)
2. ตรวจสอบพีแอนด์ไอดีไอโตะแกรม (P&ID Review) เพื่อทำฐานข้อมูลของอุปกรณ์วัดและควบคุม (Instrument Database) ของอุปกรณ์วัดและควบคุมที่อยู่ในขอบเขตของโครงการเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการดำเนินการ
3. ทำการตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดและควบคุมที่ติดตั้งใช้งานอยู่สามารถรองรับกระบวนการใหม่ได้หรือไม่ และจัดทำสรุปผลการตรวจสอบอุปกรณ์วัดและควบคุมให้กับบริษัทลูกค้าว่าควรเปลี่ยนอุปกรณ์ตัวใดบ้าง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้และได้รับประสบการณ์การทำงานทางด้าน Front End Engineering Design
2. สามารถอ่านและเข้าใจพีแอนด์ไอโตะแกรม (P&ID : Piping & Instrument Diagram)
3. สามารถจัดการกับข้อมูลต่างๆโดยใช้โปรแกรม smartplant ได้
4. ได้ศึกษาและคำนวณ Thermowell ว่าทนกับกระบวนการได้หรือไม่
5. มีความรู้ความเข้าใจอุปกรณ์วัดและควบคุมดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 2 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภาพกระบวนการผลิต (Piping & Instrument Diagram : P&ID)

2.1.1 สัญลักษณ์ระบบเครื่องมือวัดและควบคุม

สัญลักษณ์ของระบบเครื่องมือวัดและควบคุมบนแผนภาพกระบวนการผลิตตามมาตรฐานสากล ISA-S5.1 ได้แบ่งแยกสัญลักษณ์ออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้แสดงบนแผนภาพได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมได้ดังนี้

2.1.1.1 ตัวอักษรหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัด

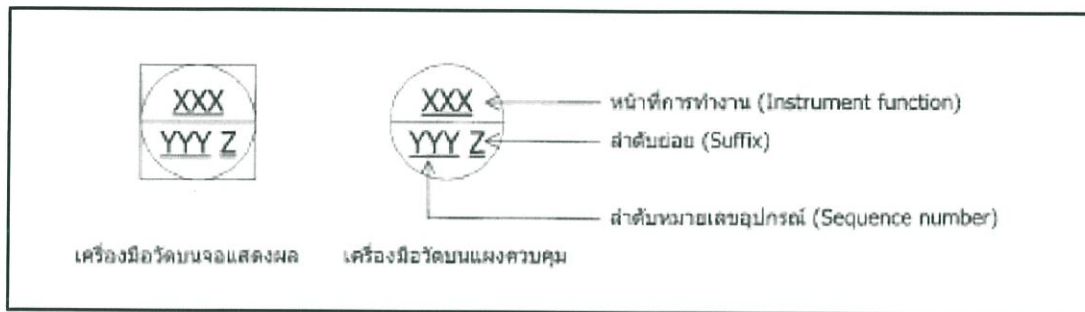
เครื่องมือวัดทุกตัวที่แสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิตจะมีหน้าที่การทำงานที่ชัดเจนเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบเมื่อต้องการข้อมูลจากแผนภาพ มาตรฐานสากล ISA-S5.1 ได้จัดเตรียมตารางอักษรสำหรับใช้แสดงหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดทุกชนิดๆ ดังนั้นบนแผนภาพกระบวนการผลิตโดยทั่วไปจึงมีการแสดงหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดด้วยตัวอักษรดังกล่าวไปบนหมายเลขประจำอุปกรณ์ (Tag Number) ซึ่งตัวอักษรเหล่านี้จะใช้บ่งบอกหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดสามารถแสดงรายละเอียดตัวอักษรต่างๆที่ใช้แสดงหน้าที่การทำงานได้ดังตารางที่ 2.1

	FIRST-LETTER		SUCCEEDING-LETTERS		
	MEASURED	MODIFIER	PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	Analysis		Alarm		
B	Burner, combustion		User's Choice	User's Choice	User's Choice
C	User's Choice			Control	
D	User's Choice	Differential			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio			
G	User's Choice		Glass Viewing Device		
H	Hand				High
I	Current		Indicate		
J	Power	Scan			
K	Time	Time Rate of Change		Control Station	
L	Level		Light		Low
M	User's Choice	Momentary			Middle, Intermediate
N	User's Choice		User's Choice	User's Choice	User's Choice
O	User's Choice		Orifice, Restriction		
P	Pressure		Point		
Q	Quantity	Integrate, Totalize			
R	Radiation		Record		
S	Speed	Safety		Switch	
T	Temperature			Transmit	
U	Multivariable		Multifunction	Multifunction	Multifunction
V	Vibration			Valve	
W	Weight		Well		
X	Unclassified		Unclassified	Unclassified	Unclassified
Y	Event			Relay, Compute	
Z	Position			Driver, Actuator	

ตารางที่ 2.1 ตัวอักษรหน้าที่การทำงานตามมาตรฐาน ISA S5.1

ในการแสดงรายละเอียดหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดจะถูกกำหนดไปบนหมายเลขประจำเครื่องมือวัด ซึ่งจะมีรูปแบบบนแผนภาพกระบวนการผลิต แสดงดังตัวอย่างบางส่วนในภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 หมายเลขประจำเครื่องมือวัดบนแผนภาพกระบวนการผลิต

ส่วนแรก (xxx) จะใช้แสดงหน้าที่การทำงานและใช้เป็นตัวกำหนดหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัด ซึ่งจำนวนหลักที่ใช้จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดข้อกำหนดในการกำหนดหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดของผู้นำไปใช้งาน ซึ่งจะต้องกำหนดจำนวนหลักให้เพียงพอกับจำนวนหลักที่จะใช้แสดงหน้าที่การทำงานของเครื่องมือวัดในฐานข้อมูล (Instrument Data Base) เนื่องจากอาจจะมีความผิดปกติในภายหลังถ้ามีการเปลี่ยนแปลง ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ หัวหรือหกหลัก อาทิเช่น เครื่องมือวัดที่อยู่บนระบบควบคุมจะเป็น FIC (Flow Indicator Controller), PDAH (Pressure Differential Alarm High High), TAH (Temperature Alarm High) ส่วนใหญ่เครื่องมือวัดที่อยู่ในบริเวณใช้งาน (Local Instrument) จะเป็น FT (Flow Transmitter), LT (Level Transmitter)

ส่วนที่สอง (YYY) จะเป็นลำดับหมายเลขและจะใช้เป็นหมายเลขประจำเครื่องมือวัด (Instrument Tag Number) ส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้งานจะใส่หน่วยการผลิตหรือชื่อของอุปกรณ์หลัก (Main Equipment) ในกระบวนการลงไปสามหลักแรกเพื่อไม่ให้หมายเลขประจำเครื่องมือวัดเกิดความซ้ำซ้อนกัน อาทิเช่น หน่วยการผลิตที่ 100 หรือลำดับหมายเลขของถังเป็น 111 ก็จะใช้สามหลักแรกเป็น 100 หรือ 111 และสองหลักต่อไปจะเป็นลำดับหมายเลขของอุปกรณ์ จะสังเกตเห็นได้ว่าถ้าใช้หลักต่อไปเป็นสองหลักจะทำให้จำนวนหมายเลขประจำเครื่องมือวัดที่สามารถกำหนดได้สูงสุดที่ 99 หรือเพียง 100 เท่านั้น ถ้ามีจำนวนเครื่องมือวัดเป็นจำนวนมากๆอาจกำหนดให้เป็น 4 หลัก

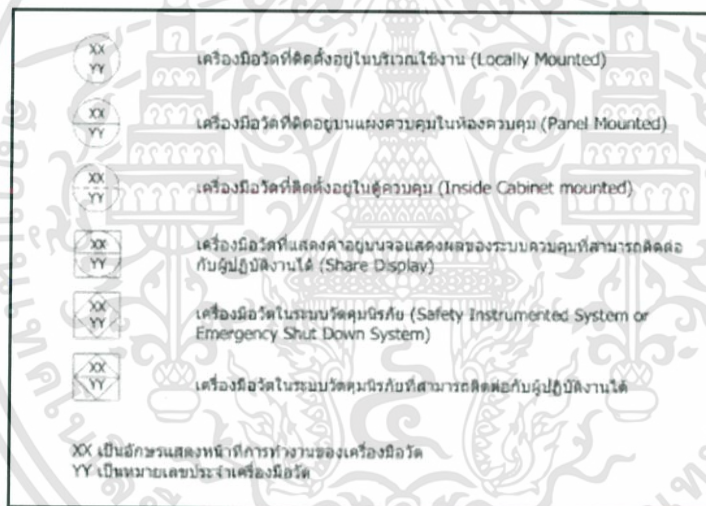
ในบางครั้งผู้ใช้งานหรือผู้ออกแบบโรงงานอาจจะกำหนดลำดับหมายเลขประจำเครื่องมือวัดตามกลุ่มระบบควบคุม เช่น เครื่องมือวัดสำหรับระบบควบคุมพื้นฐาน (Distributed Control System : DCS) อาจเริ่มจาก 1001 ถึง 2999, สำหรับระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System : SIS) อาจเริ่มจาก 3001 ถึง 4999, สำหรับระบบตรวจจับก๊าซรั่วและเพลิงไหม้ (Fire & Gas System : FGS) อาจเริ่มจาก 5001 ถึง 6999 และลำดับที่เหลืออาจสำรองไว้ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆหรือสำรองไว้เพื่อการขยายระบบในอนาคต เป็นต้น การแบ่งลำดับเลขหมายเป็นหมวดหมู่ที่แน่นอนจะทำให้สะดวกและรวดเร็วในการค้นหาเครื่องมือวัดว่าอยู่ในระบบควบคุมใดหรืออยู่บริเวณใดในกระบวนการผลิต

ส่วนสุดท้าย (Z) จะเป็นลำดับย่อยที่ใช้แยกหมายเลขลำดับที่ซ้ำกัน จะใช้ในกรณีที่น่าไปใช้กับเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์เตรียมพร้อมทำงาน (Standby) ในกระบวนการ เช่น ปิ๊มหรือถัง เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้เป็นอักษร หนึ่งหลักหรือสองหลัก เช่น A,B,AA,AB เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ถ้ามีปิ๊ม 2 ตัว คือ P-

101A และ P-101B มีการติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ด้านขาออกของปั๊มทั้งสอง หมายเลขประจำเกจวัดความดันจะเป็น PG-101A และ PG-101B

2.1.1.2 สัญลักษณ์ตำแหน่งและการเข้าถึงเครื่องมือวัด (Location/Accessibility)

เครื่องมือวัดบนแผนภาพกระบวนการผลิตจะต้องแสดงรายละเอียดความต้องการและตำแหน่งของเครื่องมือวัดอย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ว่าเครื่องมือวัดตัวนั้นติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งใดสำหรับใช้ในการควบคุมกระบวนการและสามารถเข้าถึงเครื่องมือวัดนั้นได้อย่างไรในการควบคุมการทำงานของกระบวนการ นอกจากนี้แล้วสัญลักษณ์ตำแหน่งยังเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับผู้ออกแบบในการนำไปใช้จัดเตรียมระบบเครื่องมือวัดและควบคุมได้อย่างถูกต้องและตรงกับความต้องการในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับแสดงการเข้าถึงและตำแหน่งของเครื่องมือวัดและควบคุมได้อย่างถูกต้องและตรงกับความต้องการในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับแสดงการเข้าถึงและตำแหน่งของเครื่องมือวัดที่ต้องการในกระบวนการผลิต สัญลักษณ์จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปที่แสดงอยู่บนแผนภาพขึ้นอยู่กับตำแหน่งและการเข้าถึง สามารถแสดงตัวอย่างสัญลักษณ์หลักๆ ได้ดังภาพที่ 2.2

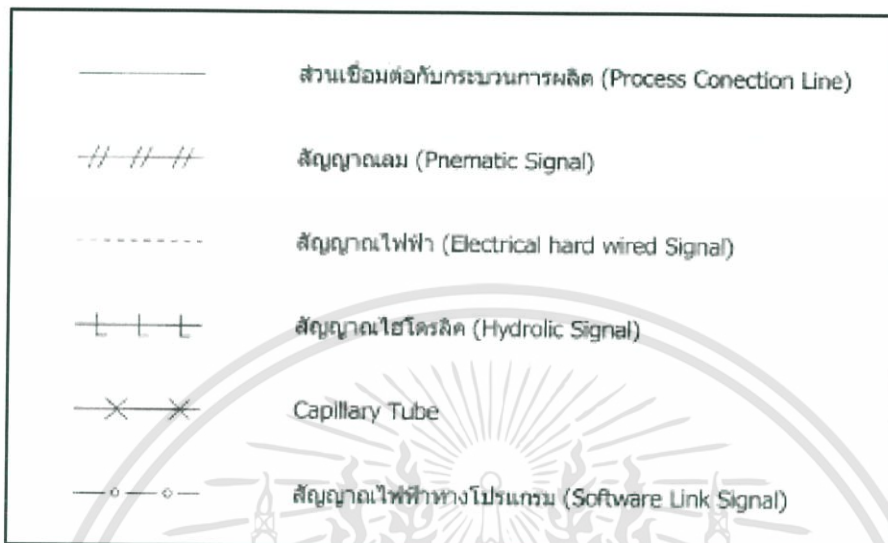


ภาพที่ 2.2 สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งเครื่องมือวัด

2.1.1.3 สัญลักษณ์เส้น (Line Symbol)

กาทำงานของกระบวนการผลิตจะมีเครื่องมือวัดประเภทต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันอยู่หลายชนิดและเครื่องมือวัดต่างๆเหล่านี้ ต้องมีการทำงานร่วมกันหรือเชื่อมต่อกันในลักษณะต่างกัน อาทิเช่น ฟังก์ชันควบคุม จะต้องมีการแสดงเครื่องมือวัดที่ต่อไปยังส่วนอินพุตของระบบควบคุมและแสดงส่วนเอาต์พุตต่อออกไปยังอุปกรณ์ควบคุมประเภทต่างๆ การเชื่อมต่อนี้จะถูกแสดงบนแผนภาพได้โดยใช้สัญลักษณ์เส้นตัวอย่างรายละเอียดของสัญลักษณ์เส้นที่สำคัญจะแสดงได้ดังภาพที่ 2.3 เป็นสัญลักษณ์เส้นสำหรับระบบเครื่องมือวัดและควบคุมที่จะนำไปแสดงบนแผนภาพกระบวนการ เพื่อใช้แสดงการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดและ

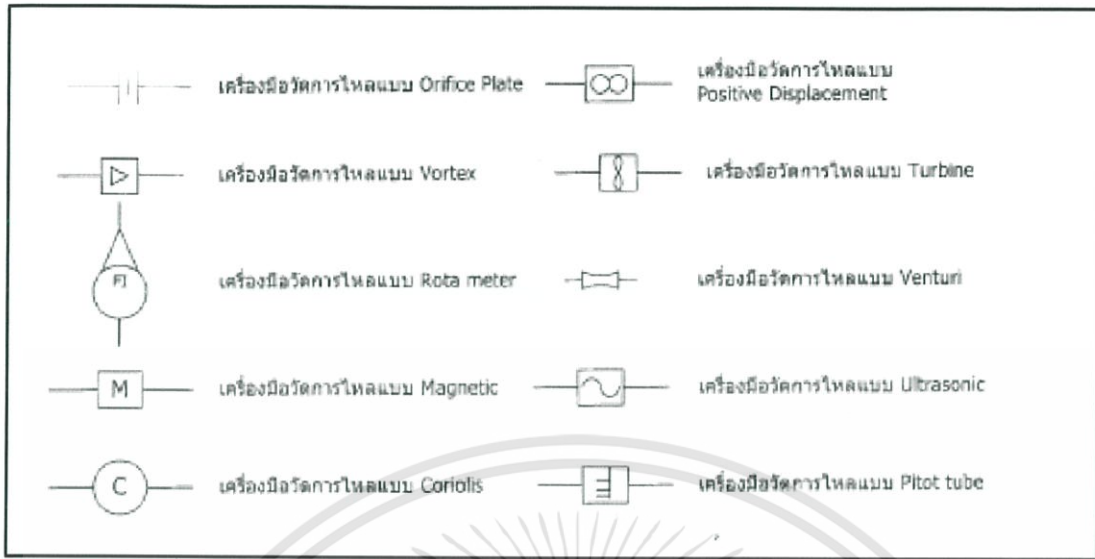
อุปกรณ์ควบคุมต่างๆเข้าด้วยกันและใช้แสดงว่าเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆมีการเชื่อมต่อหรือส่งผ่านข้อมูลกันแบบใด



ภาพที่ 2.3 สัญลักษณ์เส้น

2.1.1.4 สัญลักษณ์ Primary Element (Primary Element Symbol)

Primary Element หรือเครื่องมือวัดส่วนแรกเป็นเครื่องมือวัดที่จะถูกติดตั้งอยู่กับท่อกระบวนการผลิต เครื่องมือวัดส่วนแรกที่มีใช้งานในระบบเครื่องมือวัดและควบคุมจะมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการวัดและความเหมาะสมในการใช้งาน นอกจากนั้นแล้วยังมีเครื่องมือวัดบางชนิดที่ต้องติดตั้งร่วมกับเครื่องมือวัดภายนอกที่ไม่ถูกติดตั้งบนท่อ เช่น เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส (Orifice Flow Meter) จะต้องมีการติดตั้งแผ่นออริฟิสไปในท่อของกระบวนการหรือจะถูกเรียกว่า In-line Instrument และจะต้องมีการติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) เพื่อทำการวัดค่าความดันแตกต่างระหว่างแผ่นออริฟิสที่เกิดขึ้นจากอัตราการไหลหรือถูกเรียกว่า Off-line Instrument เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการแสดงบนแผนภาพกระบวนการผลิตให้ชัดเจนว่าเป็นเครื่องมือวัดชนิดใด สัญลักษณ์นี้จะใช้แสดงว่าเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่กับท่อในกระบวนการผลิตเป็นแบบหรือชนิดใด แสดงตัวอย่างสัญลักษณ์ต่างๆได้ดังภาพที่ 2.4



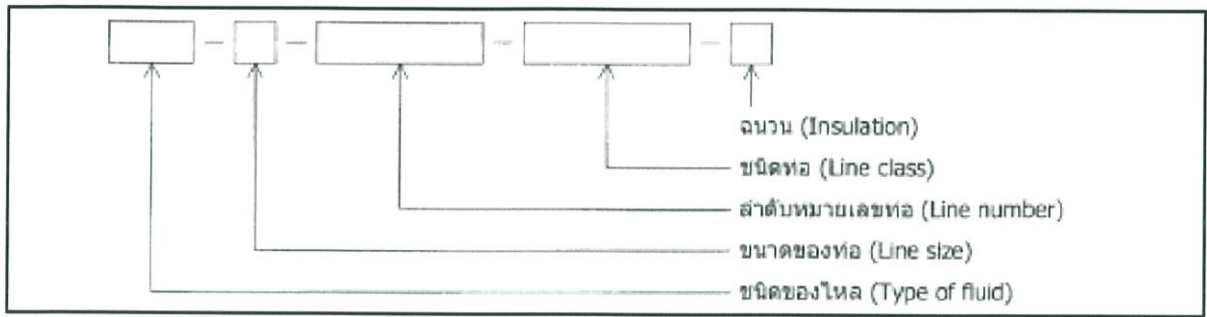
ภาพที่ 2.4 สัญลักษณ์เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่กับท่อ

2.1.1.5 หมายเลขประจำท่อ (Pipe line number)

นอกจากสัญลักษณ์ต่างๆที่ได้แสดงรายละเอียดไปแล้วข้างต้น หมายเลขประจำท่อเป็นสัญลักษณ์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับแผนภาพกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีความคล้ายคลึงกับหมายเลขประจำอุปกรณ์ หมายเลขประจำท่อจะไม่มีรูปแบบมาตรฐานกำหนดที่แน่นอน แต่จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้งานหรือผู้ออกแบบกระบวนการผลิต แต่ข้อมูลต่างๆที่แสดงบนหมายเลขประจำท่อจะเหมือนกัน ความแตกต่างอาจจะเป็นที่ลำดับและจำนวนหลักของข้อมูลที่ใช้ โดยจะแสดงตัวอย่างการจัดรูปแบบหมายเลขประจำท่อทั้ง 2 แบบได้ดังภาพที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 หมายเลขประจำท่อแบบที่หนึ่ง



ภาพที่ 2.6 หมายเลขประจำท่อแบบที่สอง

จากภาพที่ 2.5 และ 2.6 สามารถแสดงรายละเอียดในส่วนต่างๆของหมายเลขประจำท่อได้ดังนี้

- ขนาดของท่อจะใช้แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจะเป็นตัวเลขที่ใช้แสดงขนาดของท่อในกระบวนการผลิต ส่วนใหญ่แล้วตัวเลขเหล่านี้จะมีหน่วยเป็นนิ้ว เช่น 2", 3", 4" เป็นต้น
- ชนิดของไหลจะเป็นตัวอักษรย่อเพื่อใช้สำหรับแสดงชนิดของไหล (Fluid Type) ที่ไหลอยู่ในท่อสามารถแสดงอักษรที่ใช้งานทั่วไปดังตารางที่ 2.2

สัญลักษณ์	รายละเอียด	สัญลักษณ์	รายละเอียด
BFW	Boiler Feed Water	IA	Instrument Air
CWS	Cooling Water Supply	ME	Methanol
CWR	Cooling Water Return	N	Nitrogen
FG	Fuel Gas	PA	Plant Air
FO	Fuel Oil	WO	Wash Oil
FW	Fire Water	WW	Waste Water

ตารางที่ 2.2 ชนิดของไหล

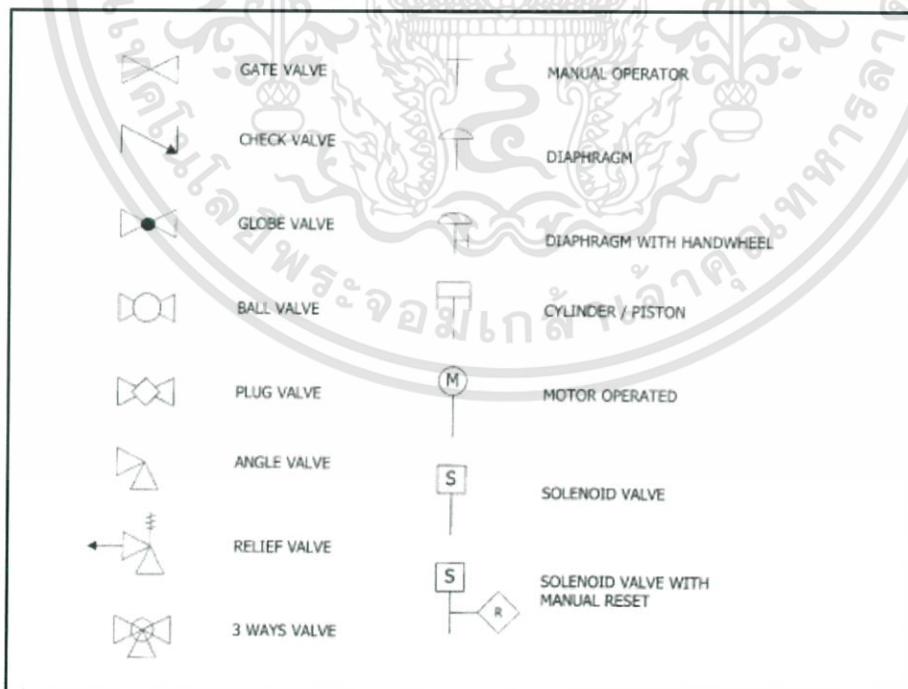
- ลำดับหมายเลข (Sequence Number) จะใช้เป็นหมายเลขประจำท่อ ส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้งานจะใส่หน่วยการผลิตลงในสามหลักแรก จะมีลักษณะคล้ายกับหมายเลขประจำเครื่องมือวัด อาทิเช่น หน่วยการผลิตที่ 100 ก็จะใช้สามหลักแรกเป็น 100 และหักต่อไปจะเป็นลำดับหมายเลขอาจจะใช้สามหลักหรือสี่หลักจาก 0000 – 9999 เป็นต้น
- ชนิดของท่อจะเป็นตัวเลขหรือตัวอักษร (จะขึ้นอยู่กับผู้นำไปใช้งาน) ที่ใช้แสดงรายละเอียดท่อ ซึ่งจะรวมไปถึงวัสดุที่ใช้ทำท่อ (Material), ขนาดความหนา (Thickness or Pipe Schedule), อัตราการทนต่อความดัน (Pressure rating) และอัตราการทนต่ออุณหภูมิ (Temperature rating) และจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับแสดงอัตราการทนต่อความดันและอุณหภูมิของจุดต่อแบบต่างๆ เช่น หน้าแปลน (Flange Connection) ตามมาตรฐาน ANSI B16.5 จะใช้แสดงเป็น Class 150, Class 300, แบบเกลียว (Screw) และแบบเชื่อม (Welded) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 9 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฉนวนจะเป็นตัวอักษรบอกว่าการหุ้มฉนวนแบบใด เช่น เพื่อป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือป้องกันอุณหภูมิจากภายในท่อ เป็นต้น
หมายเลขประจำท่อจะมีความสำคัญสำหรับนำไปใช้ในการกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่กับท่อ (In-line Instrument) เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อสำหรับนำไปใช้ในการคำนวณแผ่นออริฟิส (Orifice plate), อัตราทนต่อความดันและอุณหภูมิจะใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัด (Process connection), วัสดุของท่อจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดรายละเอียดวัสดุเครื่องมือวัดที่ต่ออยู่กับท่อและกำหนดชนิดของวาล์วควบคุม เป็นต้น

2.1.1.6 สัญลักษณ์วาล์วควบคุม (Control Valve Symbol)

วาล์วควบคุมจะมีสัญลักษณ์สำหรับใช้แสดงบนแผนภาพตามชนิดของวาล์วควบคุมและ Actuator ซึ่งมีหลายชนิดจะต้องมีการเลือกแสดงให้ถูกต้องกับชนิดที่ต้องการ และต้องแสดงตำแหน่งของวาล์วควบคุมเมื่อเกิดความผิดพลาด ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะมีอยู่ 3 แบบ คือ FO (Failure Open), FC (Failure Close) และ FL (Failure Lock) วาล์วควบคุมจะมีความผิดพลาดที่แตกต่างกัน เช่น Instrument Air failure และ Signal failure ดังนั้นต้องมีการกำหนดให้ชัดเจนบนแผนภาพ นอกจากนี้จะมีการแสดงรายละเอียดของการปิดสนิท (Tight Shutoff) ที่ต้องการ ANSI Class V หรือ VI จะถูกแสดงด้วยอักษร “TSO” รายละเอียดความต้องการเพิ่มเติมบนตัววาล์วควบคุมต้องแสดงอย่างชัดเจน รวมไปถึงขนาดของวาล์วควบคุม แสดงตัวอย่างสัญลักษณ์วาล์วควบคุมและ Actuator ได้ดังภาพที่ 2.7

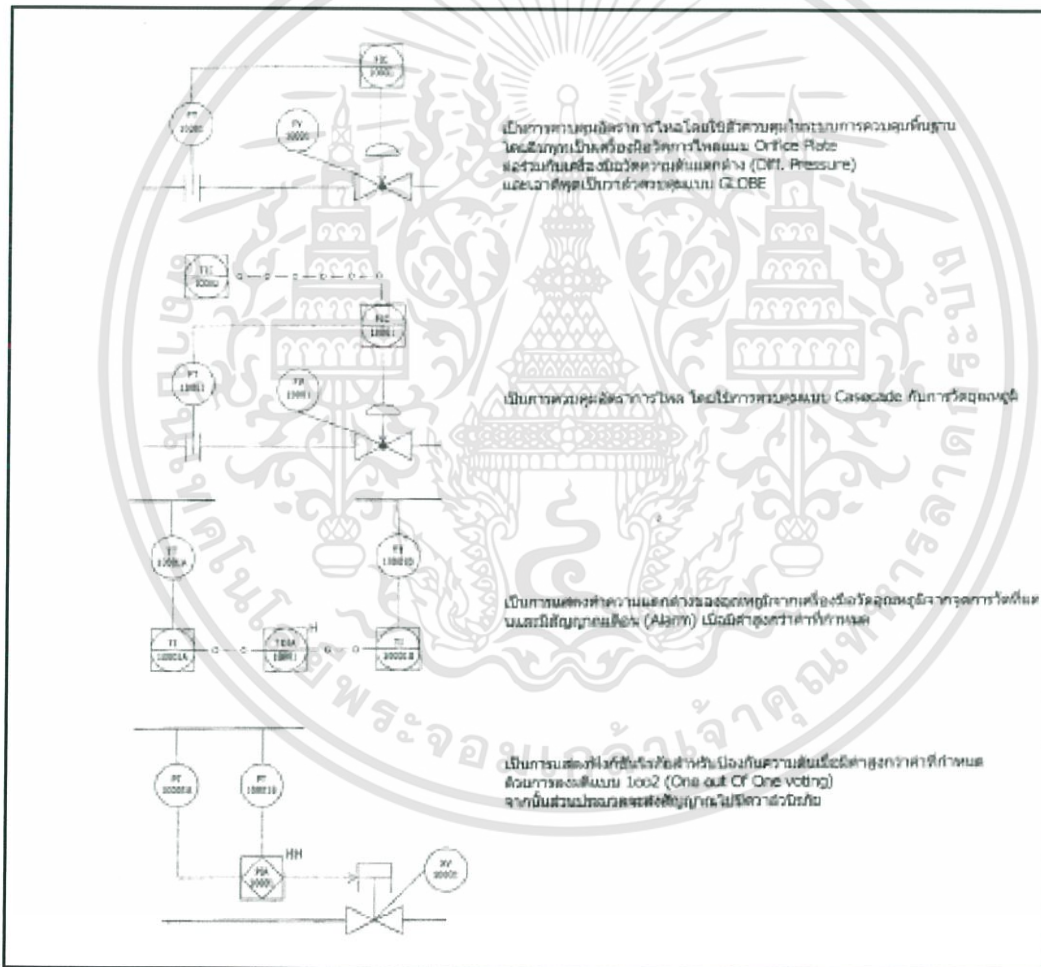


ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์วาล์วควบคุมและ Actuator

สำหรับในโครงการก่อสร้างใหม่ๆ ในช่วงการพัฒนาแผนภาพกระบวนการผลิต ชนิดและขนาดของ วาล์วควบคุมอาจจะยังไม่มีข้อมูลชัดเจน เนื่องจากยังไม่ได้มีการจัดซื้อวาล์วควบคุม แต่หลังจากจัดซื้อและมี ข้อมูลที่ชัดเจนแล้ว จะต้องนำข้อมูลชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมไปแก้ไขสัญลักษณ์ที่แสดงอยู่บน แผนภาพให้ถูกต้องก่อนที่จะนำแผนภาพกระบวนการผลิตไปใช้งาน

2.1.1.7 ฟังก์ชันควบคุม (Control Function)

แผนภาพกระบวนการผลิตจะต้องมีการแสดงฟังก์ชันควบคุมของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดที่แสดงอยู่ บนแผนภาพ ฟังก์ชันควบคุมจะเป็นส่วนที่แสดงการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างระบบเครื่องมือวัดและ ควบคุม ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำโปรแกรมการทำงาน (Software configuration) ของระบบ ควบคุม สามารถแสดงดังตัวอย่างฟังก์ชันควบคุมพื้นฐานได้ดังภาพที่ 2.8

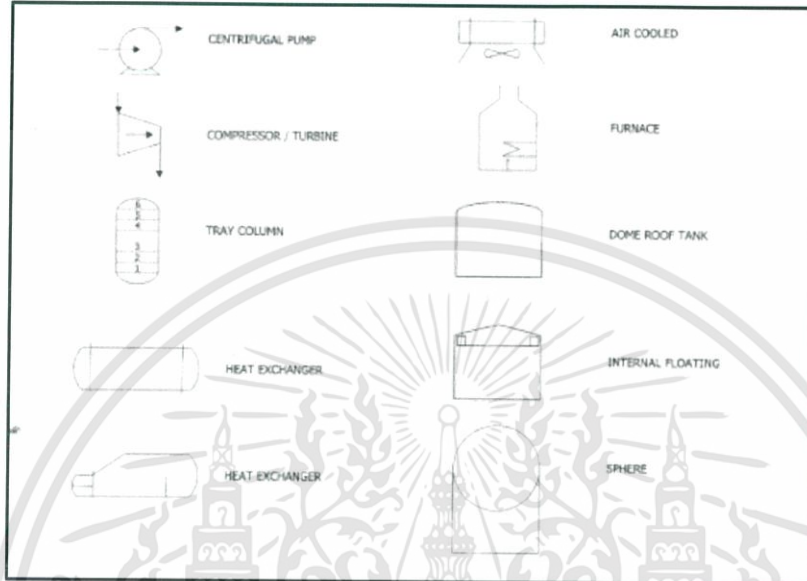


ภาพที่ 2.8 ฟังก์ชันควบคุมพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 11 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.8 อุปกรณ์อื่น (Other Equipment)

นอกจากสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงระบบเครื่องมือวัดและควบคุมแล้ว ในกระบวนการผลิตยังมีอุปกรณ์หลักๆ ที่สำคัญอีกหลายชนิด โดยสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ต่างสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 สัญลักษณ์อุปกรณ์อื่นๆในกระบวนการ

สำหรับอุปกรณ์หลักอื่นๆ ในกระบวนการผลิตได้มีการแบ่งแยกหมวดหมู่อักษร ในการกำหนดชื่อให้กับอุปกรณ์เหล่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

CLASS	SUBJECT	DESCRIPTION
A	Mixing Equipment	Agitators, Acrators, Mechanical mixers
B.	Blowers	Centrifugal Blowers, Positive Displacement Blowers, Fans
C	Compressors	Centrifugal, Reciprocating, Screw, Vacuum
D	Mechanical Drivers	Electrical and Pneumatic Motors, Diesel Engines, Steam and Gas Turbines
E	Heat Exchangers	Unfired Heat Exchanges, Condensers, Coolers, Reboilers, Vaporizers and Heating Coils, Double Pipe, Sprial, Plate & Frame, Air Coolers
F	Furnaces	Fired Heaters, Furnaces, Boilers, Kilns
P	Pumps	Horizontal and Vertical Centrifugal, Positive Displacement, Vertical Canned, Screw, Gear, Sump
R	Reactors	
T	Tower / Columns	
TK	Tanks	API atmospheric and low pressure
U	Miscellaneous Equipment	Filters, Bins, Silos
V	Drums	Separators, Driers, Accumulators

ตารางที่ 2.3 อักษรในการกำหนดชื่ออุปกรณ์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 12 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากชื่ออุปกรณ์ (Equipment Tag number) ที่ต้องแสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิตแล้ว ยังต้องมีข้อมูลอุปกรณ์อื่นๆที่สำคัญของแต่ละชนิดของอุปกรณ์ ซึ่งตัวอย่างข้อมูลทั่วไปที่ถูกต้องแสดงอยู่บนแผนภาพจะเป็นดังนี้ หน้าที่การทำงาน (Title/Service), พลังงานที่ต้องการ (Power requirement), วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ (Materials of Construction), ความสามารถ (Capacity), พื้นที่ผิว (Surface Area), อุณหภูมิและความดันออกแบบ (Design Temperature and Pressure), ฉนวน (Insulation)

จากรายละเอียดของสัญลักษณ์ที่แสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิตที่ได้แสดงมาทั้งหมดเป็นเพียงตัวอย่างบางส่วนเท่านั้น สำหรับในการใช้งานจริงแล้วรายละเอียดเหล่านี้จะถูกแสดงรายละเอียดทั้งหมดที่มีใช้งานไว้ในส่วนแรกของแผนภาพกระบวนการผลิต

จะเห็นว่าข้อมูลที่อยู่บนแผนภาพกระบวนการจะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในการนำไปกำหนดรายละเอียดของระบบเครื่องมือวัดและควบคุม นอกจากนั้นแล้วแผนภาพกระบวนการผลิตหรือ P&ID จะเป็นเอกสารที่ต้องถูกจัดทำเป็นลำดับแรก สำหรับการออกแบบกระบวนการผลิตและยังใช้เป็นเอกสารที่ใช้อ้างอิงสำหรับหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมส่วนต่างๆในกระบวนการจึงต้องมีการแก้ไขแผนภาพการผลิตให้ถูกต้องด้วยเสมอ ดังนั้นก่อนจะทำการกำหนดรายละเอียดให้กับระบบเครื่องมือวัดและควบคุมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแล้ว จึงต้องมีการทำความเข้าใจกับสัญลักษณ์และการทำงานของกระบวนการผลิตจากแผนภาพก่อน เพื่อความถูกต้องในการออกแบบรายละเอียดและการจัดหาเครื่องมือวัดเหล่านั้น



2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Instrument)

2.2.1 บทนำ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรพื้นฐานทางกระบวนการผลิตอีกตัวแปรหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมและแสดงค่าบนหน่วยแสดงของระบบควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามความประสงค์จึงต้องมีการจัดเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Element) ตามจุดในกระบวนการผลิต เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิในกระบวนการผลิตให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับระบบควบคุม ในการจัดเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิเหล่านั้นจะต้องมีการเลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและตรงกับความต้องการ ตัวแปรพื้นฐานในการพิจารณาสำหรับเลือกใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิจะเป็นดังนี้คือ

- ต้องการนำสัญญาณไปใช้สำหรับการควบคุม, การ Shutdown หรือแสดงค่าเพียงอย่างเดียว
- ความแม่นยำ (Accuracy) ของการวัดที่ต้องการ
- ความไวในการวัด (Sensitivity)
- ค่าการอ่านซ้ำ (Repeatability)
- วัสดุที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซนเซอร์ที่ต้องการ
- สามารถใช้การวัดแบบรวมสัญญาณได้ (Multiplex)
- ค่าใช้จ่าย

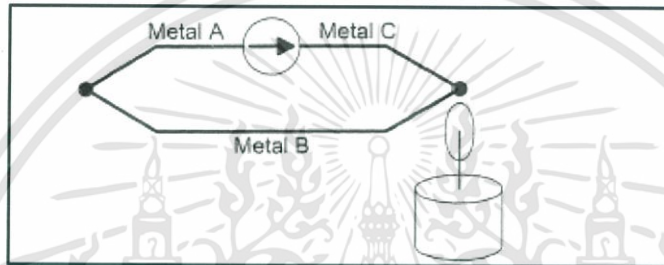
ซึ่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิมีหลายชนิดให้เลือกใช้ดังเช่น Thermocouple, RTD, Filled system, Bimetallic thermometer และ Pyrometer เป็นต้น การนำเซนเซอร์วัดอุณหภูมิบางชนิดไปใช้งานจะถูกติดตั้งอยู่ในเทอร์โมเวลล์ (Thermowell) สำหรับป้องกันความเสียหายจากของไหลในกระบวนการผลิตและสามารถทำการถอดเปลี่ยนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิได้โดยไม่ต้องมีการหยุดการผลิต เพื่อให้การวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำต้องทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิให้เหมาะสม สำหรับในบทนี้จะแสดงรายละเอียดหลักการการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้สำหรับระบบควบคุม เพียงบางชนิดที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตนั่นคือ เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) และ RTD (Resistance Temperature Detector) พร้อมกับส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง สำหรับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดอื่นจะไม่แสดงในรายละเอียดและในตอนท้ายจะแสดงตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดและการใช้แบบฟอร์มมาตรฐานสำหรับการกำหนดรายละเอียด

2.2.2 เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นเซนเซอร์พื้นฐานสำหรับใช้วัดอุณหภูมิในอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่างๆและเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิประเภทอื่นๆ เทอร์โมคัปเปิ้ลจะเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานกับอุณหภูมิที่สูงๆ เพื่อให้เข้าใจในหลักการการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ลและส่วนประกอบต่างๆที่มี

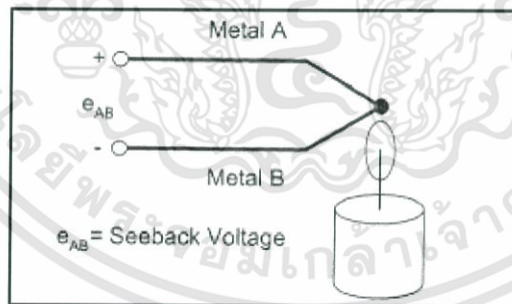
ความจำเป็นในการนำไปใช้งาน และสำหรับเป็นพื้นฐานในการเลือกใช้งานเทอร์โมคัปเปิลกับอุตสาหกรรม การผลิตได้อย่างเหมาะสม ในหัวข้อนี้จะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล หลักการ ในการเลือกใช้งานเทอร์โมคัปเปิล แสดงส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต

หลักการทำงานพื้นฐานเกิดขึ้นจากการนำโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกันที่ปลายทั้งสองข้าง และ เมื่อให้ความร้อนที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการไหลของกระแส จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับไฟฟ้าเป็นปรากฏการณ์ที่ค้นพบโดย Thomas Seebeck ในปี ค.ศ.1821 วงจรของการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดกันแสดงได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ปรากฏการณ์ของ Seebeck

จากภาพที่ 2.10 ถ้าทำการตัดแยกวงจรนี้ที่จุดกึ่งกลาง จะพบว่า มีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่จุดปลาย ทั้งสองของโลหะจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่บริเวณจุดต่อและองค์ประกอบของโลหะทั้งสองชนิดดัง แสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้า Seebeck

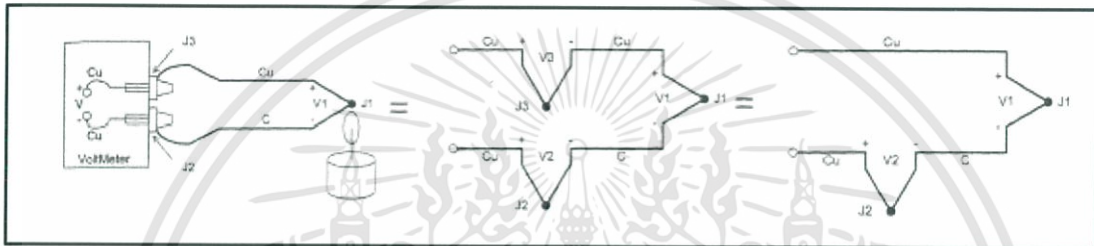
จากภาพที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้า Seebeck จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิหรือสามารถ เขียนสมการของแรงดันไฟฟ้า Seebeck ได้ดังนี้

$$\Delta e_{AB} = \alpha \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ α = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Seebeck (Seebeck Coefficient)

2.2.3 การวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิล

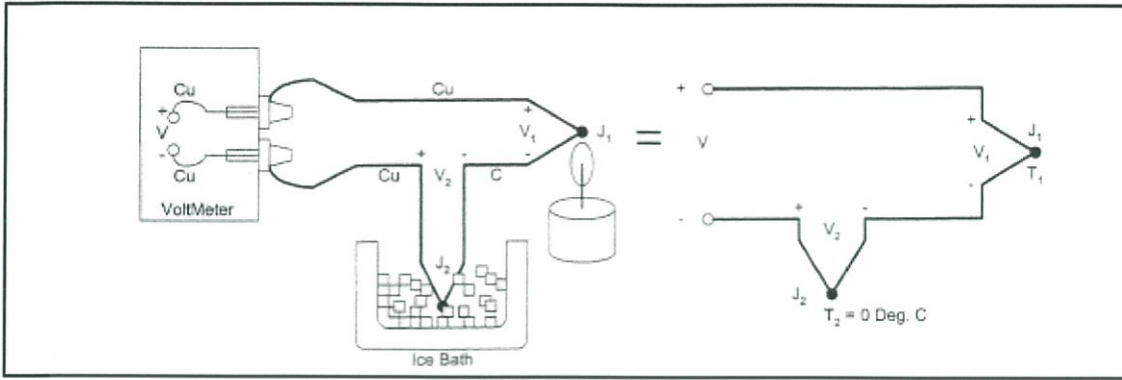
การวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิลไม่สามารถใช้โวลต์มิเตอร์ต่อวัดโดยตรงที่ปลายทั้งสองด้านของเทอร์โมคัปเปิล เพราะค่าแรงดันเอาต์พุตที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่จุดปลายสุดที่ต้องการ เนื่องจากในการวัดจะต้องทำการต่อสายไฟจากโวลต์มิเตอร์ที่เป็นทองแดง (Copper) ไปยังปลายของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งในการต่อสายไฟนี้จะทำให้เกิดจุดต่อระหว่างโลหะที่แตกต่างกันขึ้นอีก ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เมื่อทำการต่อสายไฟจากโวลต์มิเตอร์ที่เป็นทองแดงไปยังเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ซึ่งเป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ประกอบด้วยโลหะชนิดทองแดงกับคอนสแตนแตน (Copper-Constantan) ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลด้วยโวลต์มิเตอร์

จากภาพที่ 2.12 แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดคือแรงดันไฟฟ้า V_1 แต่เมื่อทำการต่อสายไฟจากโวลต์มิเตอร์เข้ากับปลายทั้งสองข้างของเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่จุดต่อ J_1 จะเห็นได้ว่าในการต่อจะทำให้เกิดจุดต่อใหม่ของโลหะ 2 จุดคือจุดต่อ J_2 และ J_3 เมื่อจุดต่อ J_3 เป็นจุดต่อระหว่างโลหะชนิดเดียวกันระหว่างทองแดงกับทองแดง (Copper-Copper) ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิมีค่าเป็นศูนย์ ($V_3 = 0$) แต่ที่จุดต่อ J_2 เป็นจุดต่อระหว่างโลหะที่ต่างชนิดกันระหว่างทองแดงกับคอนสแตนแตน (Copper-Constantan) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าจากจุดต่อนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้า V_1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากโวลต์มิเตอร์จะเป็นสัดส่วนของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดต่อ J_1 กับ J_2 หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าต้องการรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J_1 จะต้องรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J_2 ก่อน

วิธีการหนึ่งในการหาค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J_2 ทำได้โดยการจุ่มจุดต่อ J_2 ลงในอ่างน้ำแข็ง (Ice Bath) เพื่อบังคับให้อุณหภูมิที่จุดต่อ J_2 นี้มีค่าเป็น 0 องศาเซลเซียสและกำหนดให้จุดต่อ J_2 เป็นจุดอ้างอิง (Reference Point) และจุดต่อที่ขั้วของโวลต์มิเตอร์ทั้งสองข้างเป็นการต่อกันระหว่างทองแดงกับทองแดงซึ่งจะไม่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากจุดต่อนี้และแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จึงเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อ J_1 กับ J_2 ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การใช้จุดอ้างอิงจากภายนอก

จากภาพที่ 2.13 จะสามารถเขียนสมการแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้ที่โวลต์มิเตอร์ได้ดังนี้

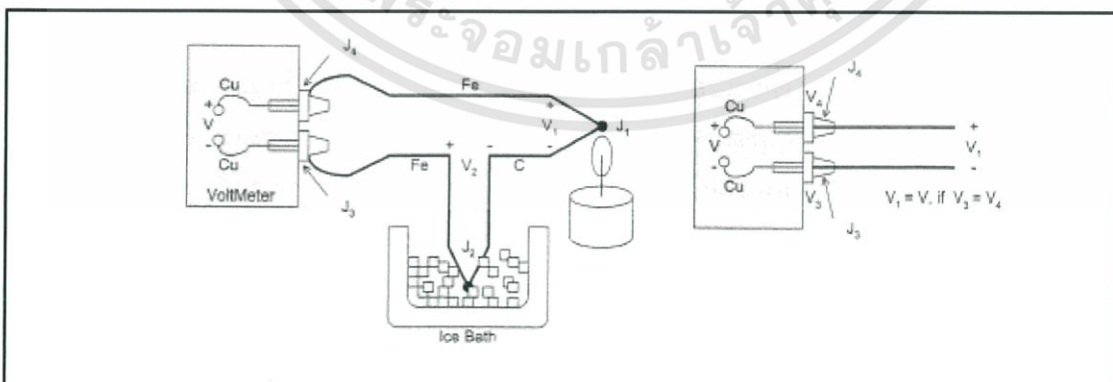
$$V = (V_1 - V_2) \cong \alpha (T_{J1} - T_{J2}) \quad (2)$$

หรือ $V = \alpha (T_{J1} - 0)$ (3)

$$V = \alpha T_{J1} \quad (4)$$

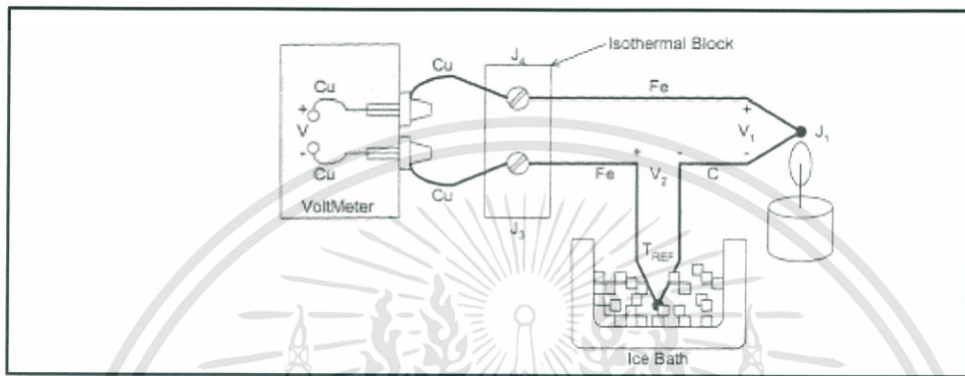
การใช้จุดต่ออ้างอิงโดยการใช้จุดต่อจุ่มลงในอ่างน้ำแข็ง เป็นการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V) ที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 องศาเซลเซียส วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงได้ NBS (National Bureau Standards) ใช้จุดอ้างอิงที่จุดเยือกแข็งเป็นจุดอ้างอิงมาตรฐานสำหรับใช้แสดงตารางค่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิค่าต่างๆ

การต่อโวลต์มิเตอร์เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมมิเตอร์ชนิด T ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.13 เป็นตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะเนื่องจากมีโลหะที่เป็นทองแดงซึ่งจะเป็นโลหะที่เหมือนกับโลหะของสายไฟและที่จุดต่อของโวลต์มิเตอร์ ถ้าทำการเปลี่ยนชนิดของเทอร์โมคัปเปิลเป็นชนิด J ที่ประกอบด้วยโลหะเหล็กกับคอนสแตนแตน (Iron-Constantan) โลหะเหล็กจะทำให้เพิ่มจำนวนจุดต่อของโลหะที่ต่างชนิดกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.14



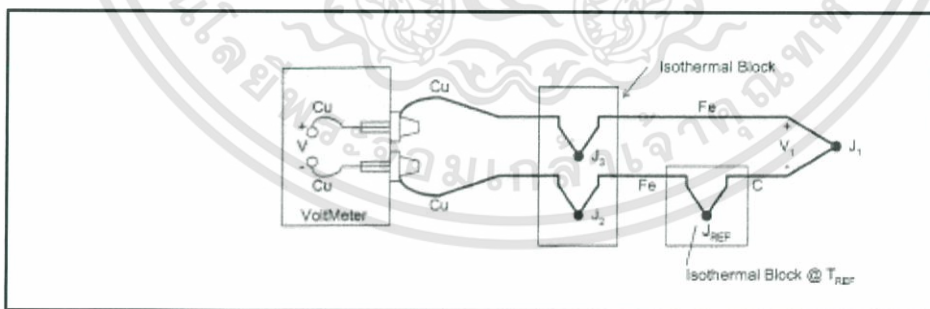
ภาพที่ 2.14 แสดงการหักล้างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 2.14 จะทำให้จุดต่อที่โวลท์มิเตอร์เป็นจุดต่อของทองแดงกับเหล็ก (Cu-Fe) จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า V เมื่อจุดต่อ J_3 และ J_4 มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อให้การอ่านค่ามีความแม่นยำมากขึ้น สามารถทำได้โดยการขยายจุดต่อของโวลท์มิเตอร์หรือจุดต่อของโลหะเหล็กกับทองแดงออกไปและทำให้จุดต่อนี้ อยู่ในอุณหภูมิค่าเดียวกันซึ่งจะเรียกจุดต่อนี้ว่า Isothermal Block ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การขยายจุดต่อออกไปจากโวลท์มิเตอร์

Isothermal Block จะเป็นฉนวนทางไฟฟ้าแต่จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเพื่อทำให้อุณหภูมิที่จุดต่อ J_3 และ J_4 มีอุณหภูมิที่เท่ากัน อุณหภูมิอ้างอิงที่บริเวณ Isothermal Block จะไม่มีความสำคัญเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อ J_3 และ J_4 มีทิศทางที่ตรงข้ามกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้า V_1 ยังคงเท่ากับ $\alpha (T_{J_1} - T_{J_{ref}})$ ถ้าทำการเปลี่ยนอ่างน้ำแข็งจากรูปที่ 2.15 ไปเป็น Isothermal Block ดังแสดงในภาพที่ 2.16



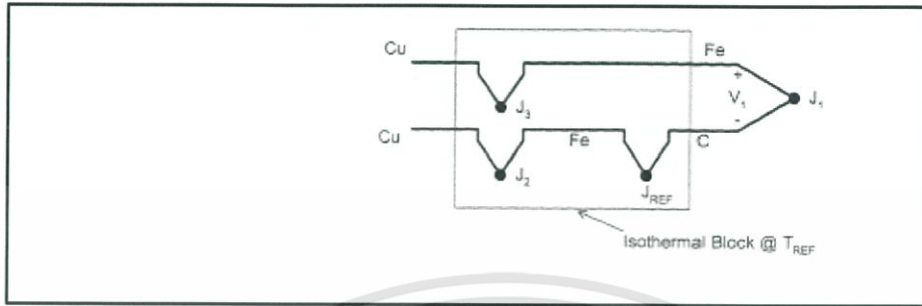
ภาพที่ 2.16 การเปลี่ยนอ่างน้ำแข็งด้วย Isothermal Block

Isothermal Block ใหม่ที่เพิ่มขึ้นจะใช้เป็นอุณหภูมิอ้างอิง (T_{ref}) เพราะว่าจุดต่อ J_3 และ J_4 มีค่าอุณหภูมิที่เท่ากันสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่โวลท์มิเตอร์ได้เท่ากับ $V = \alpha (T_{J_1} - T_{J_{ref}})$

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าวงจรเทอร์โมคัปเปิลดังกล่าวยังไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากต้องมีการจุดต่อถึง 2 จุด ถ้าทำการลดบริเวณที่ทำการต่อสาย โดยการรวมจุดต่อทั้งสามจุดคือ จุดต่อ J_3, J_4 และ

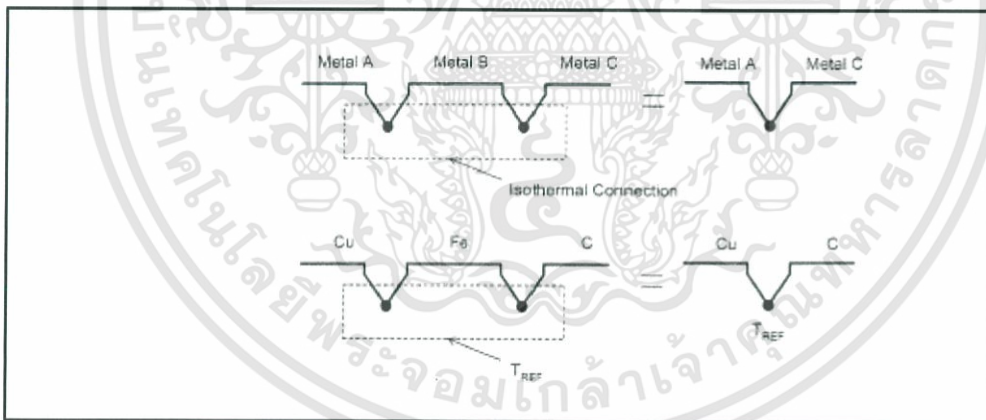
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 18 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J_{ref} ให้อยู่บน Isothermal Block เดียวกันและให้อุณหภูมิที่ Isothermal Block เป็นอุณหภูมิอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 2.17



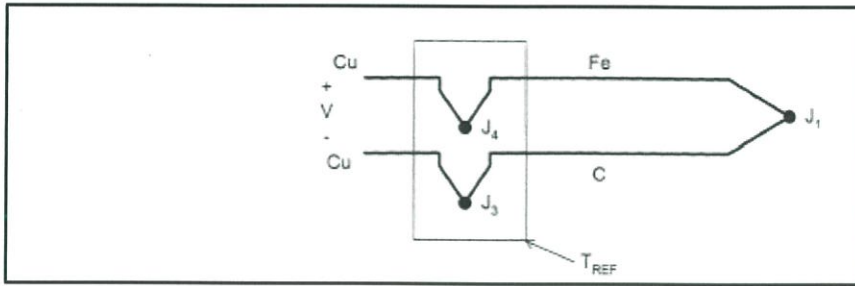
ภาพที่ 2.17 การรวม Isothermal Block เป็นจุดเดียวกัน

จากรูปที่ 2.17 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิล ยังคงมีค่าเท่ากับ $V = \alpha (T_{J1} - T_{Jref})$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปเป็นหลักการสำหรับใช้ลดจุดต่อที่เพิ่มขึ้นมา โดยสรุปได้ว่า เมื่อมีโลหะชนิดที่สามต่ออยู่ระหว่างโลหะที่ต่างชนิดกันสองชนิดและจุดต่อของโลหะชนิดที่สามทั้งสองจุดอยู่ในอุณหภูมิเดียวกัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากจุดต่อทั้งสองจะไม่มีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การลดจำนวนจุดต่อของโลหะที่อยู่ระหว่างโลหะสองชนิด

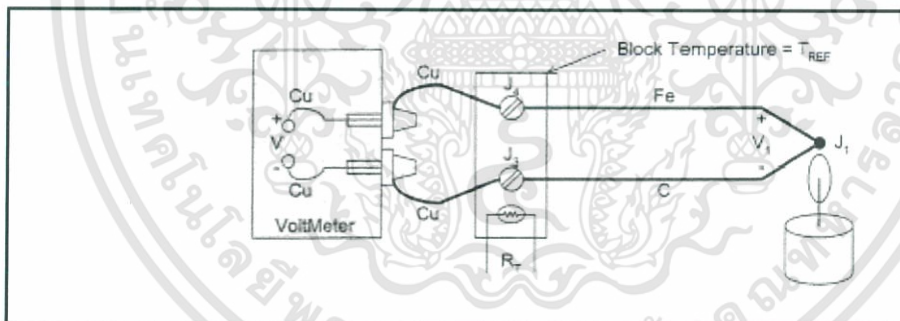
จากข้อสรุปดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากในสำหรับใช้ลดจำนวนจุดต่อของสายเหล็ก (Fe) ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 การลดจำนวนจุดต่อของสายเหล็ก

จากภาพที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าสายทองแดง (Cu) ที่ต่อไปยังโวลท์มิเตอร์จะเป็นจุดต่อโลหะที่แทรกอยู่ระหว่างสายเหล็ก (Fe) และสายคอนสแตนแตน (C) ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากจุดต่อทั้งสองจึงเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากจุดต่อของสายเหล็กและสายคอนสแตนแตนที่อุณหภูมิอ้างอิง จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะเท่ากับ $V = \alpha (T_{J1} - T_{Jref})$ เมื่อ α เป็นสัมประสิทธิ์ Seebeck สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแบบเหล็กกับคอนสแตนแตน

ถ้าให้จุดต่อทั้งสอง J3 และ J4 จุ่มอยู่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อทำให้จุดต่อทั้งสองเป็นจุดอ้างอิง ในทำนองเดียวกันจึงต้องมีการหาค่าอุณหภูมิที่ Isothermal Block และใช้ข้อมูลดังกล่าวสำหรับใช้ในการนำไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่จุด T_{J1} ดังแสดงในภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การใช้จุดอ้างอิงโดยไม่ใช้อ่างน้ำแข็ง

R_T จะเป็นความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าอุณหภูมิที่ Isothermal Block หรือที่จุดอ้างอิง ในการออกแบบ Isothermal Block จะกำหนดให้มีอุณหภูมิค่าเดียวกัน การหาค่าอุณหภูมิที่จุดปลายด้วยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้ดังนี้

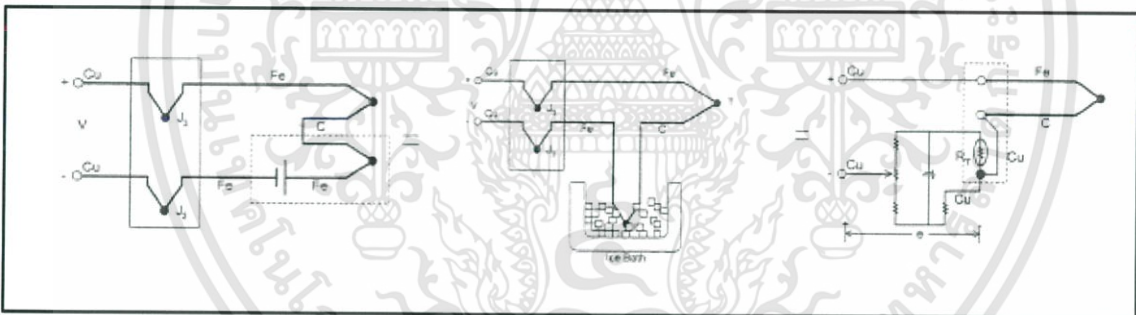
1. ทำการวัดค่า R_T เพื่อหาค่า T_{REF} และทำการเปลี่ยนค่า T_{REF} ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง V_{REF} ตามชนิดของเทอร์โมคัปเปิล
2. หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด J1 ได้ด้วยการใช้แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์ลบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง (V_{REF}) จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปเป็นอุณหภูมิที่จุด J1

หลักการดังกล่าวข้างต้นเรียกว่า การชดเชยทางโปรแกรม (Software Compensation) เนื่องจากอาศัยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการชดเชยผลกระทบจากจุดต่ออ้างอิง ตัววัดอุณหภูมิที่ Isothermal Block สามารถเลือกใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิชนิดต่างๆได้

การชดเชยทางโปรแกรมจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลจากหลายๆจุด โดยให้เทอร์โมคัปเปิลหลายตัวต่อผ่านกล่องกวาดตรวจสอบสัญญาณ (Scanner Box) ด้วยเทคนิคนี้สามารถเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลที่แตกต่างกันได้ และทำการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิจุดกึ่งกลางกล่องกวาดตรวจสอบสัญญาณ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปลี่ยนค่าในคอมพิวเตอร์ แต่ก็ยังมีข้อเสียคือระบบคอมพิวเตอร์ต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นในการคำนวณอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง สำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูงๆ จึงควรเปลี่ยนไปเลือกใช้การชดเชยด้วย Hardware

2.2.4 การชดเชยแรงดันไฟฟ้าด้วย Hardware (Hardware Compensation)

นอกจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว ยังสามารถทำได้ อีกวิธีหนึ่งโดยการใส่แหล่งจ่ายแรงดันหรือแบตเตอรี่ เข้าไปในวงจรการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิล เพื่อใช้สำหรับหักล้างกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากอ้างอิง ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่าการชดเชยด้วย Hardware โดยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จะนำไปใช้หักล้างนั้นจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จากจุดต่อที่อุณหภูมิอ้างอิงหรือที่ 0 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การชดเชยด้วย Hardware

แรงดันไฟฟ้าชดเชย (e) จะเป็นสัดส่วนกับความต้านทานของตัวตรวจจับอุณหภูมิ (R_T) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V) จะเป็นแรงดันไฟฟ้าที่อ้างอิงกับอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส หรือสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้จากตารางการแปลงค่า

ข้อดีของการชดเชยด้วย Hardware ทำให้สามารถลดเวลาในการประมวลผลหาค่าอุณหภูมิของคอมพิวเตอร์ลงได้สองขั้นตอนและทำให้เทคนิคการวัดแบบนี้มีความเร็วในการทำงานมากกว่าการใช้การชดเชยทางโปรแกรม

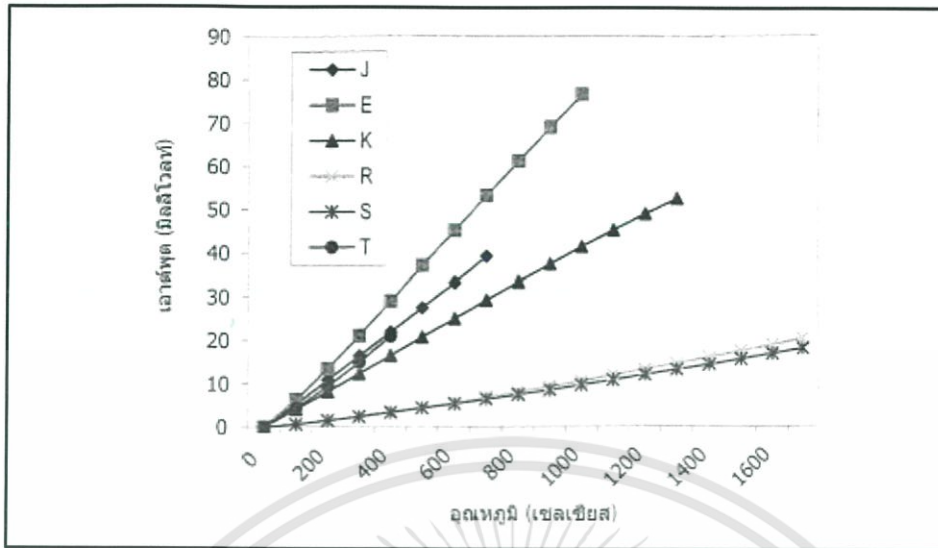
2.2.5 การแปลงค่าอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage to Temperature conversion)

หัวข้อที่ผ่านมาเป็นหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลและวิธีการชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงด้วยวิธีการทางโปรแกรมและ Hardware เทอร์โมคัปเปิลจะมีหลายชนิดและมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

Type	Alloy Combination		Color Coding		Nominal Temp. Range	Temperature-EMF @ Ref. Junction 0 °C	SeeBeck Coefficient (uV/°C) @ 20 °C
	+ Lead	-Lead	Thermocouple Grade (+, -, Outer Sheath)	Extension Grade (+, -, Outer Sheath)			
E	Nickel - 10% Chromium	Constantan Copper-Nickel	Purple, Red, Brown	Purple, Red, Purple	-270 to 1000°C	-9.835 to 76.358 mV	62
J	Iron (Magnetic)	Constantan Copper-Nickel	White, Red, Brown	White, Red, Black	-210 to 760°C	-8.096 to 42.922 mV	51
K	Nickel- 10% Chromium	Nickel- 5% (Aluminum, Silicon) (Magnetic)	Yellow, Red, Brown	Yellow, Red, Yellow	-270 to 1372°C	-6.458 to 54.875 mV	40
R	Platinum- 13% Rhodium	Platinum	Not Established	Black, Red, Green	-50 to 1768°C	-0.226 to 21.108 mV	7
S	Platinum- 10% Rhodium	Platinum	Not Established	Black, Red, Green	-50 to 1768°C	-0.236 to 18.698 mV	7
T	Copper	Copper-Nickel	Blue, Red, Brown	Blue, Red, Blue	-270 to 400°C	-6.258 to 20.869 mV	40

ตารางที่ 2.4 เทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์ไปเป็นอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลจะไม่ใช่เชิงเส้น แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆไปสามารถเขียนเป็นกราฟเทียบกับอุณหภูมิได้ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 กราฟแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

การหาค่าอุณหภูมิยังสามารถหาได้จากตารางแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมาตรฐาน และจากสมการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดได้ดังนี้

$$T = a_0 + a_1 V + a_2 V^2 + \dots + a_n V^n \quad (5)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิ

V = แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิล

a = สัมประสิทธิ์โพลีโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

n = จำนวนอนุกรมสูงสุดของโพลีโนเมียล

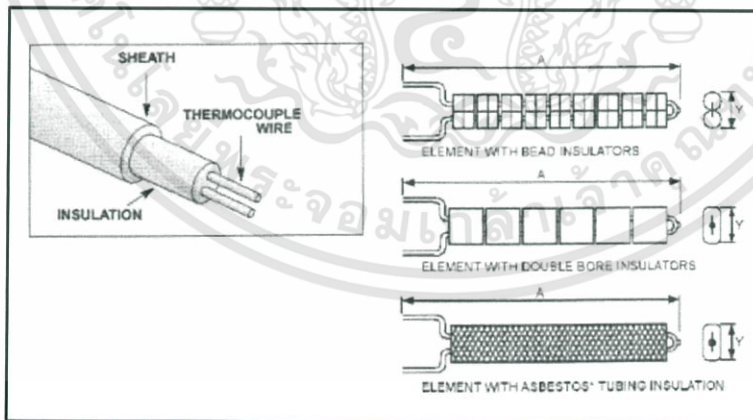
ถ้าจำนวนของ n เพิ่มขึ้นจะทำให้ความแม่นยำของโพลีโนเมียลเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อความแม่นยำเท่ากับ $\pm 1^\circ\text{C}$ จากจำนวนของ $n = 9$ ตารางที่ แสดงค่าโพลีโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดสำหรับการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าไปเป็นอุณหภูมิ ข้อมูลต่างๆเหล่านี้สามารถถูกจัดเตรียมไว้ในระบบประมวลผลหรือระบบจัดเก็บข้อมูล

Type E	Type J	Type K	Type R	Type S	Type T
Nickel-10% Chromium (+) VS Constantan (-)	Iron (+) VS Constantan (-)	Nickel-10% Chromium (+) VS Nickel -5% (Aluminum, Silicon)(-)	Platinum - 13% Rhodium (+) VS Platinum (-)	Platinum - 10% Rhodium (+) VS Platinum (-)	Copper (+) VS Constantan (-)
-100 to 1000 Deg. C ± 0.5 Deg. C 9 th Order	0 to 760 Deg. C ± 0.1 Deg. C 5 th Order	0 to 1370 Deg. C ± 0.7 Deg. C 8 th Order	0 to 1000 Deg. C ± 0.5 Deg. C 8 th Order	0 to 1750 Deg. C ± 1 Deg. C 9 th Order	-160 to 400 Deg. C ± 0.5 Deg. C 7 th Order
A0	0.1049673	-0.0488683	0.2265846	2.63633E-01	0.9277632
A1	17189.453	19873.145	24152.109	1.79075E+05	169526.51
a2	-282639.08	-218614.54	67233.425	-4.88403E+07	-31568364
a3	12695339.5	11569200	2210340.7	1.90002E+10	8990730663
a4	-448703085	-264917531	860963915	-4.82704E+12	-1.64E+12
a5	1.11E+10	2.018E+09	4.84E+10	7.62091E+14	1.88E+14
a6	-1.77E+11		-1.18E+12	-7.20026E+16	-1.37E+16
a7	1.72E+12		1.39E+13	3.71496E+18	6.18E+17
a8	-9.19E+12		-6.34E+13	8.03104E-19	-1.56E+19
a9	2.06E+13			1.70E+20	

ตารางที่ 2.5 ค่าโพลีโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

2.2.6 จุดต่อของเทอร์โมคัปเปิล (Junction Type)

ในการนำเทอร์โมคัปเปิลไปใช้งานจะต้องมีปลอกหุ้ม (Sheath) สายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อป้องกันความเสียหายจากสารเคมีหรือสิ่งแวดล้อมที่นำไปใช้งาน สามารถแสดงปลอกหุ้มและลักษณะของฉนวนป้องกันได้ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ปลอกหุ้มและลักษณะของฉนวนป้องกัน

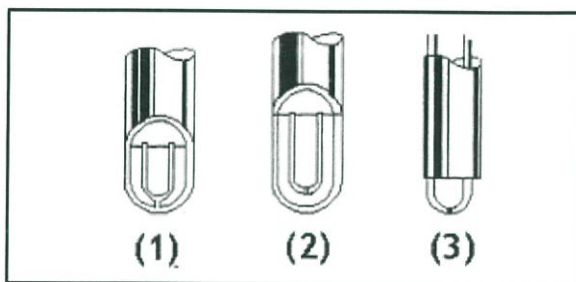
วัสดุที่ใช้ทำปลอกหุ้มมีให้เลือกใช้หลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น Carbon Steel, 304 Stainless Steel, 316 Stainless Steel เป็นต้น สามารถแสดงตารางสำหรับคุณสมบัติการใช้งานของวัสดุที่ใช้ทำปลอกหุ้มได้ดังตารางที่ 2.6

Sheath material	Maximum Operation Temperature	
	Deg. C	Deg. F
Carbon Steel	540	1000
Wrought Iron	700	1300
Cast Iron	700	1300
304 Stainless Steel	870	1600
316 Stainless Steel	870	1600
446 Stainless Steel	980	1800
Nickel	980	1800
75 Nickel – 15 Chromium-Iron	1150	2100
Porcelain	1650	3000
Silicon Carbide	1650	3000
Alumina-Silica	1650	3000
Aluminum Oxide	1750	3200

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิการใช้งานของวัสดุที่ใช้ทำปลอกหุ้ม

เนื่องจากตัวเทอร์โมคัปเปิลจะต้องมีจุดต่อ ซึ่งการประกอบปลอกหุ้มกับตัวเทอร์โมคัปเปิลสามารถออกแบบลักษณะจุดต่อของเทอร์โมคัปเปิลกับปลอกหุ้มได้เป็น 3 แบบดังนี้

1. แบบ Grounded เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะมีจุดต่อระหว่างโลหะสองชนิดสัมผัสอยู่กับเปลือกหุ้มตัวเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งจะมีผลดีในการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกมายังปลอกหุ้มและส่งผ่านต่อมายังสายเทอร์โมคัปเปิล
2. แบบ Ungrounded เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะมีจุดต่อระหว่างโลหะสองชนิดไม่สัมผัสกับเปลือกหุ้มตัวเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งจะทำความเร็วในการตอบสนองช้ากว่าแบบแรก
3. แบบ Exposed เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะมีจุดต่อระหว่างโลหะสองชนิดโผล่พ้นออกมานอกเปลือกหุ้มตัวเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งจะมีผลการตอบสนองดีกว่าทั้งสอง แต่จะมีข้อเสียคือเกิดความเสียหายต่อสายเทอร์โมคัปเปิลได้ง่ายกว่าทั้งสองแบบ ลักษณะของจุดต่อแสดงได้ตามภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 จุดต่อลักษณะต่างๆ (1) Grounded, (2) Unground, (3) Exposed

2.2.7 การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล

ปกติแล้วการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลจะถูกป้องกันด้วยเทอร์โมเวลล์ ในการติดตั้งสำหรับใช้วัดอุณหภูมิในบริเวณต่างๆ แต่จะมีบางการใช้งานที่ต้องติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลแบบไม่มีเทอร์โมเวลล์ เนื่องจากความไม่สะดวกและไม่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิ การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลกับงานประเภทนี้จะต้องพิจารณาในรายละเอียดของบริเวณที่จะนำไปใช้ การเกิดสนิมจะเป็นสาเหตุหลักๆที่ทำให้อายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลลดลง สำหรับการใช้งานแบบทั่วไปกับของไหลในกระบวนการผลิตจะมีการใช้งานร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลด้วยเสมอ

การเลือกชนิดของเทอร์โมคัปเปิลจะขึ้นอยู่กับย่านการวัดและความเป็นเชิงเส้น จากตารางการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีย่านในการวัดอุณหภูมิที่กว้างและมีความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ ดังนั้นเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จึงมีความนิยมในการเลือกใช้งานเป็นอันดับต้นๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิที่มีย่านการวัดมากกว่า 500°C สำหรับย่านการวัดที่ต่ำกว่า 500°C จะนิยมใช้ RTD (Resistance Temperature Detector) เนื่องจากจะให้ความแม่นยำในการวัดที่สูงกว่า สำหรับย่านการวัดอุณหภูมิที่สูงมากๆ เทอร์โมคัปเปิลชนิด R และ S จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ชนิด R จะเหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนชนิด S จะเหมาะสำหรับใช้งานในห้องทดลอง

2.2.8 การต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับระบบควบคุม

ในระบบการควบคุมกระบวนการผลิตจำเป็นต้องต่อสัญญาณเอาต์พุตจากตัวเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในกระบวนการผลิตเพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมที่อยู่ในห้องควบคุมกลาง จากรายละเอียดจากหัวข้อที่ผ่านมาจะพบว่าจะมีข้อจำกัดในการต่อสายไฟจากเทอร์โมคัปเปิลอยู่หลายข้อ ดังนั้นในการต่อสายไฟจากตัวเทอร์โมคัปเปิลไปยังตัวควบคุมที่อยู่ในห้องควบคุมโดยตรงจึงต้องเลือกใช้สายไฟหรือสายเทอร์โมคัปเปิลที่เหมาะสมกับตัวเทอร์โมคัปเปิลเพื่อให้สัญญาณที่อ่านจากตัวควบคุมมีความแม่นยำ ซึ่งสายเทอร์โมคัปเปิลก็จะมีราคาที่สูงกว่าสายไฟแบบทั่วไปและสัญญาณที่ได้อาจเกิดการรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้สูง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นแรงดันที่มีขนาดเล็กๆ วิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้กันคือติดตั้ง Transmitter หรือ Multiplexer ไว้ใกล้กับตัวเทอร์โมคัปเปิลเพื่อแปลงสัญญาณเทอร์โมคัปเปิลไปเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA สำหรับส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมพื้นฐานหรือแปลงเป็นสัญญาณแบบ FieldBus เพื่อต่อเข้ากับเครือข่ายการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 26 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 RTD (Resistance Temperature Detector)

RTD เป็นความต้านทานที่มีความไวในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน เมื่ออุณหภูมิรอบตัวเปลี่ยนแปลง โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่ออุณหภูมิมีค่าเป็นบวก นั่นคือค่าความต้านทานของวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.25

ค่าความต้านทานจะถูกกำหนดด้วยความยาวและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ใช้ทำตัว RTD ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความยาวและจะเป็นอัตราส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัด ดังแสดงความสัมพันธ์ได้ตั้งสมการที่ 2.6

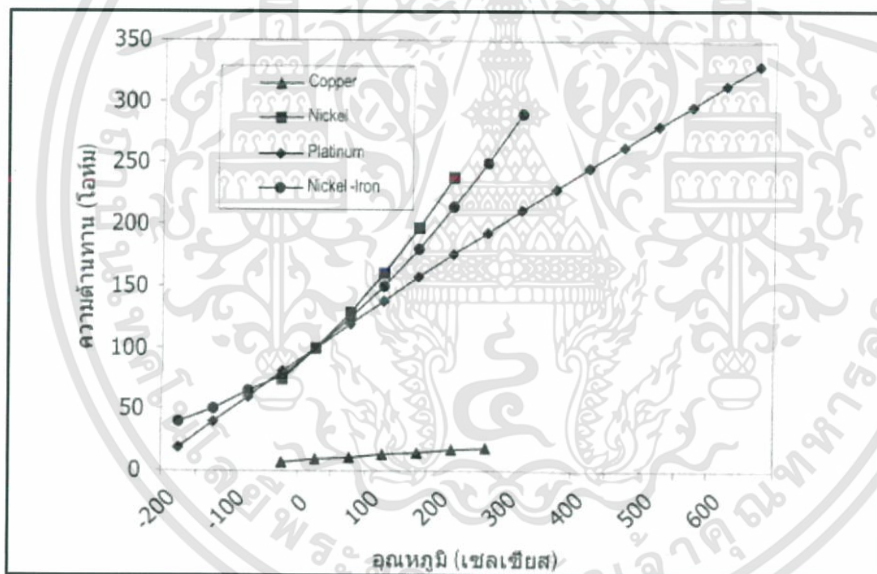
$$R = \rho L/A \quad (2.6)$$

เมื่อ R = ค่าความต้านทาน (Ω)

ρ = ความต้านทานวัสดุ (Resistivity in Ω)

L = ความยาว (Length)

A = พื้นที่หน้าตัด (Area)



ภาพที่ 2.25 ความต้านทานของวัสดุชนิดต่างๆ

2.2.9.1 วัสดุที่ใช้ทำ RTD

นอกจากค่าความต้านทานของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำตัว RTD แล้วยังมีตัวแปรอื่นๆที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม สำหรับการเลือกใช้วัสดุ เป็นดังนี้

- ต้องเปลี่ยนแปลงรูปได้ง่าย เพื่อสามารถนำไปทำเป็นเส้นเล็กๆได้
- ต้องมีค่าความต้านทานที่คงที่
- ต้องทนต่อการกัดกร่อน

- ต้องมีราคาถูก
- มีค่าความต้านทานที่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ

วัสดุที่นิยมมาใช้ทำ RTD จะมีอยู่ 4 ชนิดดังนี้ คือ Copper, Nickel/Iron และ Platinum สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำตัว RTD ที่จะนำมาใช้วัดอุณหภูมิในอุตสาหกรรมจะเป็นชนิด Platinum โดย Platinum ที่มีใช้งานจะมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. IEC/DIN Grade
2. Reference Grade

คุณสมบัติของวัสดุทั้ง 4 ชนิด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.7

Material	Temperature Coefficient	Temperature Range	Description	Primary use
Platinum	0.00385 0.003926 $\Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	-269 $^{\circ}\text{C}$ to 593 $^{\circ}\text{C}$ (-452 $^{\circ}\text{F}$ to 1100 $^{\circ}\text{F}$)	Best accuracy and stability. Resistance vs. Temperature is linear. Wide range and high resistivity	Primary choice for most industrial
Nickel	0.0067 $\Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	-40 $^{\circ}\text{C}$ to 300 $^{\circ}\text{C}$ (-40 $^{\circ}\text{F}$ to 570 $^{\circ}\text{F}$)	Highest temperature coefficient. Highest output unit.	Used for some old Navy shipboard
Copper	0.0043 $\Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	-73 $^{\circ}\text{C}$ to 149 $^{\circ}\text{C}$ (-100 $^{\circ}\text{F}$ to 300 $^{\circ}\text{F}$)	Most linear, but has limited temperature range. Very low resistivity	Used for electric motor and generator
Nickel/Iron (70/30)	0.0051 $\Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	-46 $^{\circ}\text{C}$ to 343 $^{\circ}\text{C}$ (-50 $^{\circ}\text{F}$ to 650 $^{\circ}\text{F}$)	Like Nickel, has slight variations in temperature coefficient from one batch to next time	Used for windshield temperature measurements

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ RTD

IEC/DIN Grade จะเป็นชนิดที่ใช้ Platinum บริสุทธิ์ที่มีส่วนผสมของโลหะเล็กน้อย เพื่อใช้ควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ RTD ชนิดนี้จะถูกใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิต สำหรับ Reference Grade เป็นชนิดที่ใช้ Platinum บริสุทธิ์ที่ 99.999% สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิและความแม่นยำ (Temperature coefficient and Accuracy)

ชนิดของ Platinum จะมีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของ RTD โดยค่าความชันกราฟของความต้านทานกับอุณหภูมิตั้งแต่ 0 $^{\circ}\text{C}$ ถึง 100 $^{\circ}\text{C}$ จะถูกแสดงได้ดังสมการที่ 7

$$\alpha = (R_{100} - R_0)/(R_0 * t) \quad (7)$$

เมื่อ α = สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของ RTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 28 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{100} = ความต้านทานที่ 100°C

R_0 = ความต้านทานที่ 0°C

t = ค่าอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ

Platinum RTD ที่ทำมาจาก IEC/DIN Grade จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ $100\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 0°C และจะมีค่าความต้านทานเท่ากับ $138.5\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 100°C ซึ่งจะแตกต่างกับ Platinum RTD ที่ทำมาจาก Reference Grade จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ $100\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 0°C แต่จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ $139.26\ \Omega$ ที่อุณหภูมิ 100°C จะเห็นได้ว่ามีค่าความต้านทานแตกต่างกันที่อุณหภูมิ 100°C ทั้งสองชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิดังนี้

- IEC/DIN Grade จะมีค่า $\alpha = 0.00385\ \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$
- Reference Grade จะมีค่า $\alpha = 0.003926\ \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิสามารถประมาณค่าโดยใช้สมการของ Callender-Van Dusen ที่ถูกทำให้ง่ายขึ้นดังสมการที่ 8

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t + 100^{\circ}\text{C})t^3] \quad (8)$$

สำหรับการหาค่าความต้านทานของ RTD สำหรับค่าอุณหภูมิที่มากกว่า 0°C ขึ้นไป สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 9

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของ A, B และ C จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ทำเส้นโลหะ RTD และความบริสุทธิ์ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของ Platinum RTD ตามมาตรฐาน IEC 751-2 (ITS90) จะเป็นดังนี้

$$A = 3.90833 * 10^{-3}\ \text{C}^{-1}$$

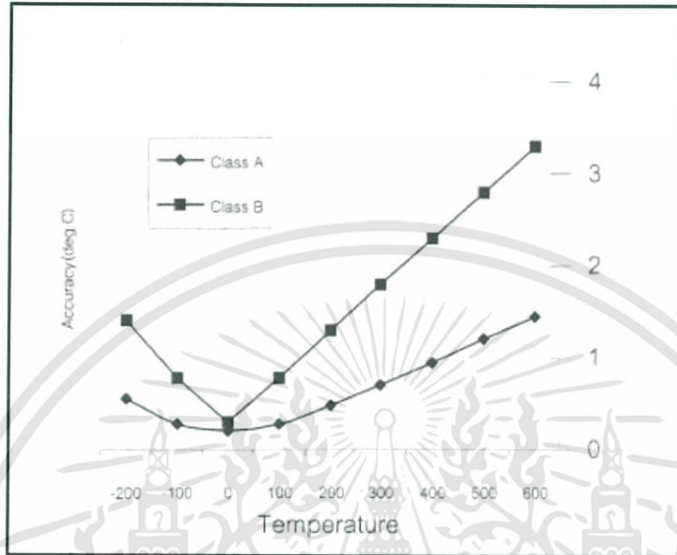
$$B = -5.7753 * 10^{-7}\ \text{C}^{-2}$$

$$C = -4.1833 * 10^{-12}\ \text{C}^{-3}$$

มาตรฐาน IEC 751 ได้แสดงความแม่นยำของ Platinum RTD สำหรับ DIN Grade ไว้ 2 Class คือ Class A และ Class B

- Class A จะมีค่าความแม่นยำสูง โดยจะมีค่าความผิดพลาดที่ $\pm 0.06\ \Omega$ เมื่อเทียบกับจุดเยือกแข็ง (Ice-point) สำหรับ Class B จะมีค่ามาตรฐานความผิดพลาดที่ $\pm 0.12\ \Omega$ เมื่อเทียบกับจุดเยือกแข็ง ซึ่ง Class B จะมีการใช้งานกันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมและจะครอบคลุมย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -200°C ถึง 850°C สำหรับ Class A จะครอบคลุมย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -200°C ถึง 650°C และจะมีเฉพาะ RTD ที่เป็นแบบ 3 สาย (3 wires) และ 4 สาย (4 wires) เท่านั้น

RTD จะมีค่าความแม่นยำที่ลดลงเนื่องมาจากอุณหภูมิ สำหรับ Class A จะมีค่าความแม่นยำที่ $\pm 0.43 \Omega$ ($\pm 1.45^\circ\text{C}$) ที่อุณหภูมิ 600°C ส่วน Class B จะมีค่าความแม่นยำที่ $\pm 1.06 \Omega$ ($\pm 3.3^\circ\text{C}$) ที่อุณหภูมิ 600°C สามารถแสดงกราฟความแม่นยำของทั้งสองชนิดแสดงดังภาพที่ 2.26



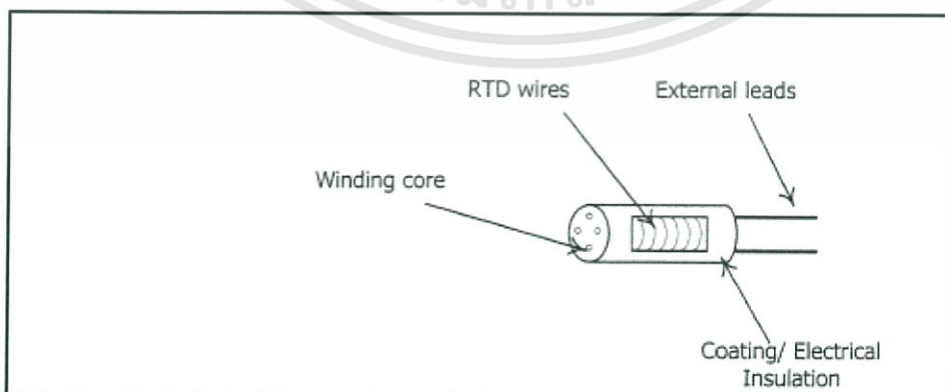
ภาพที่ 2.26 กราฟความแม่นยำ

2.2.10 การออกแบบตัว RTD

Platinum RTD จะมีรูปแบบที่ถูกนำมาใช้งานด้วยกันอยู่ 2 แบบคือ Wire wound และ Thin Film ซึ่งแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

2.2.10.1 RTD แบบ Wire-wound

มีการออกแบบง่ายและเป็นรูปแบบที่สามารถนำมาใช้กับเส้นวัสดุที่เป็น Copper, Nickel, Nickel/Iron และ Platinum เส้นวัสดุเหล่านี้จะถูกพันรอบอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนและจะถูกปิดทับด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ดังแสดงดังภาพที่ 2.27



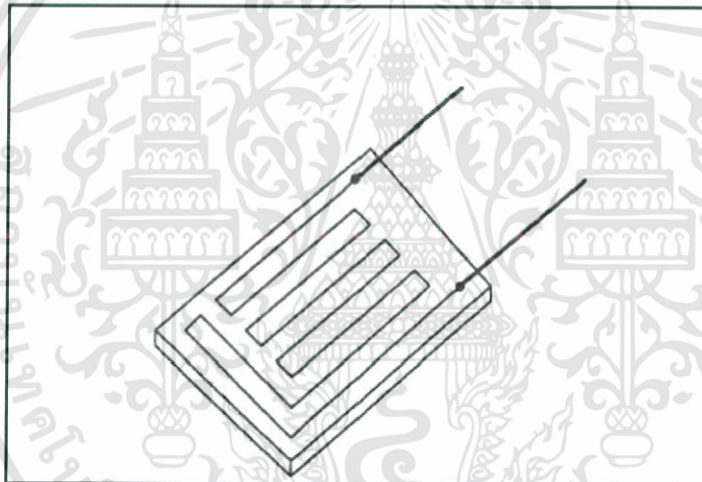
ภาพที่ 2.27 RTD แบบ Wire-wound

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิของวัสดุที่ใช้ทำแกนต้องมีความเหมาะสมกับการขยายตัวของเส้นวัสดุ RTD เพื่อป้องกันการดึงตัวเส้นวัสดุ RTD ที่พันอยู่บนแกน ความดึงตัวของเส้นวัสดุจะมีผลต่อความแม่นยำในการวัด

เส้นวัสดุ RTD ที่พันอยู่บนแกนจะถูกต่อออกไปยังภายนอกด้วยสายไฟขนาดใหญ่ สายไฟที่จะนำมาต่อนี้ต้องไม่มีการกำเนิด Thermal EMF ตรงบริเวณที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การวัด

2.2.10.2 RTD แบบ Thin Film

ถูกออกแบบขึ้นโดยการวางแผ่น Platinum บางๆ ลงบนฐานรองที่เป็นเซรามิก แผ่น Platinum จะมีความหนาประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร จากนั้นทำการเคลือบผิวด้านหน้าด้วย Epoxy หรือกระจก เพื่อป้องกันความเสียหายของแผ่น Platinum ช่วงแรกในการนำไปใช้งานจะมีปัญหาเกี่ยวกับการกระแทกและการขาดของแผ่น Platinum ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงให้แข็งแรงขึ้น แต่ก็ยังไม่เทียบเท่ากับแบบ Wire Wound และจะมี เฉพาะ DIN Grade เท่านั้น ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.28



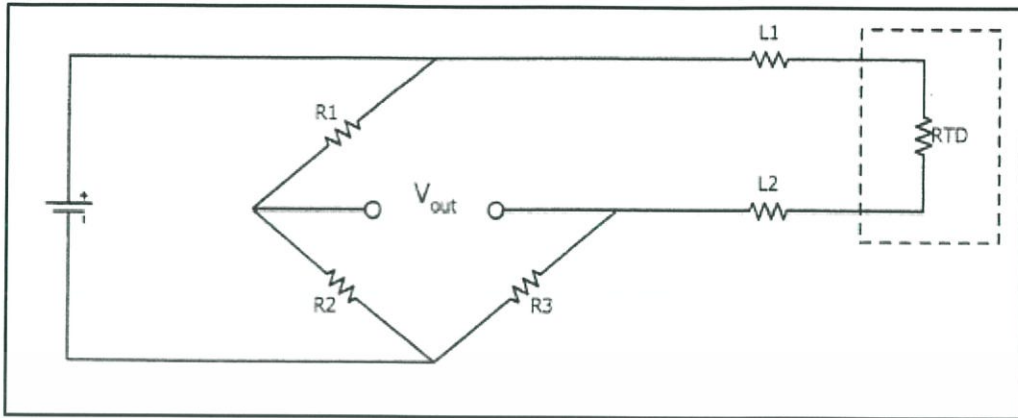
ภาพที่ 2.28 RTD แบบ Thin Film

2.2.11 รูปแบบการต่อสาย RTD

การต่อสายไฟไปยังภายนอกของเส้นวัสดุ RTD ที่มีใช้งานกันทั่วไปในอุตสาหกรรมจะมีอยู่ด้วยกันอยู่ 3 แบบคือ 2 สาย (2 wires), 3 สาย (3 wires) และ 4 สาย (4 wires) การจะเลือกใช้งานแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความแม่นยำที่ต้องการ

2.2.11.1 RTD แบบ 2 สาย

จะเป็นแบบพื้นฐานที่ง่ายในการต่อสาย โดยที่ปลายทั้งสองของเส้นวัสดุ RTD จะถูกต่อออกมายังภายนอกดังภาพที่ 2.29

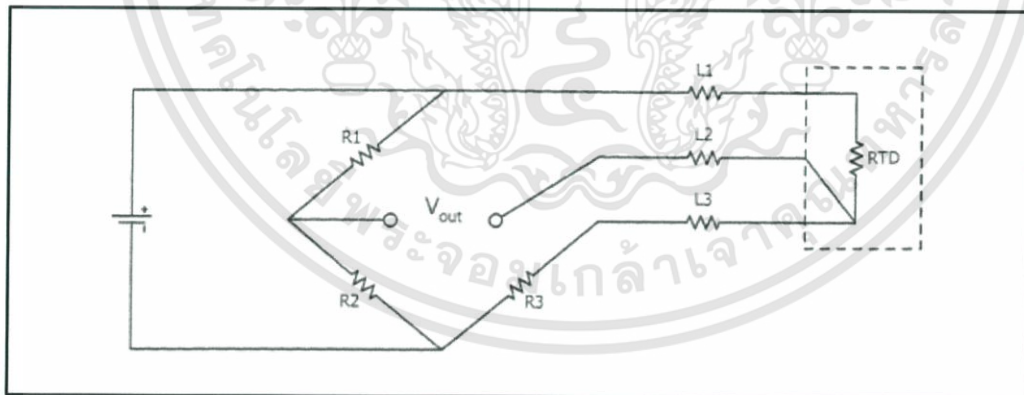


ภาพที่ 2.29 RTD แบบ 2 สาย

แบบนี้จะมีความแม่นยำต่ำในการนำไปใช้วัดอุณหภูมิ เพราะสายไฟที่นำมาต่ออนุกรมกับเส้นวัสดุ RTD จะมีคุณลักษณะระหว่างอุณหภูมิและความต้านทานที่ต่างกัน ในการใช้งานสายไฟจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างจากเส้นวัสดุ RTD ถ้ามีการใช้สายไฟที่ยาวมากก็จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำมากขึ้นตามไปด้วย

2.2.11.2 RTD แบบ 3 สาย

จะเป็นแบบที่มีการใช้งานกันบ่อยที่สุดในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความแม่นยำในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ด้วยการชดเชยค่าความต้านทานของสายไฟที่ต่ออนุกรมอยู่กับเส้นวัสดุ RTD การชดเชยกระทำโดยการต่อสายไฟ 2 เส้นที่ปลายด้านหนึ่งและต่อสายไฟเพียง 1 เส้นกับปลายอีกด้านหนึ่งดังแสดงดังภาพที่ 2.30

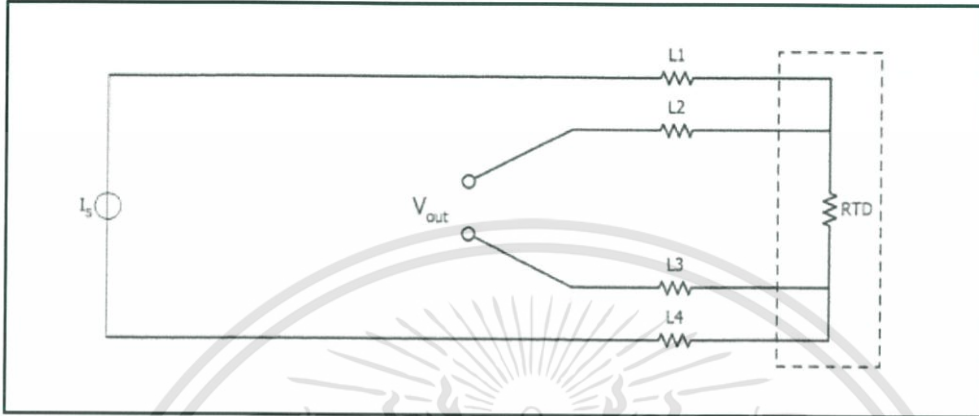


ภาพที่ 2.30 RTD แบบ 3 สาย

จากรูปจะเห็นได้ว่าความต้านทานของสายไฟ L1 และ L3 ต้องมีคุณลักษณะที่เหมือนกันเพื่อชดเชยความต้านทานที่เกิดขึ้น สายไฟที่นำมาต่อจะมีการกำหนดเป็น สีแดง 2 เส้นและสีขาว 1 เส้น

2.2.11.3 RTD แบบ 4 สาย

จะเป็นแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในห้องทดลองและไม่ค่อยนิยมใช้ในอุตสาหกรรม รูปแบบการต่อสายจะชดเชยความไม่เหมาะสมกันของความต้านทาน ดังแสดงในภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 RTD แบบ 4 สาย

ในการทำงานจะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน L1 และ L4 จากนั้นจะทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัว RTD ผ่านเส้น L2 และ L3 สายไฟที่นำมาต่อจะมีการกำหนดเป็น สีแดง 2 เส้นและสีขาว 2 เส้น

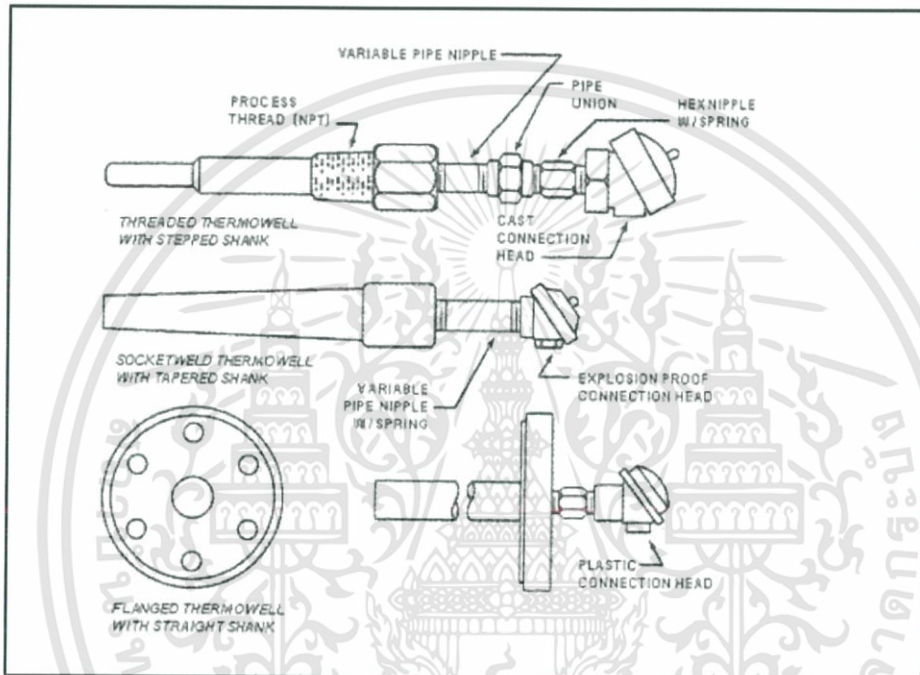
2.2.12 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Thermocouple และ RTD

Criterion	TC	RTD
Temperature Range	-450 °F to 5,000 ° F	-300 ° to 1,000 °F
Accuracy of Reading	0.75%	0.5%
Response Time:	grounded: 2 sec. ungrounded: 4 sec.	5 sec.
in TW:	23 sec.	26 sec.
Tip Sensitivity	Yes	No
Signal Output	Small	Large
Tolerance of Mechanical Vibration	Excellent	Fair

ตารางที่ 2.8 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Thermocouple และ RTD

2.2.13 เทอร์โมเวลล์ (Thermowell)

เทอร์โมเวลล์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล หรือ RTD เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายที่ตัวอุปกรณ์ เมื่อนำไปใช้วัดอุณหภูมิในบริเวณที่มีการกัดกร่อนหรือของไหลที่มีความเร็วการไหลสูง (High Velocity) เทอร์โมเวลล์จะทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เทอร์โมเวลล์จะมีการแบ่งตามลักษณะการติดตั้งได้ 3 แบบคือ แบบเกลียว (Threaded connection), แบบหน้าแปลน (Flange connection) และแบบเชื่อม (Welded connection) ดังแสดงในภาพที่ 2.32



ภาพที่ 2.32 เทอร์โมเวลล์ชนิดต่างๆ

ในการเลือกใช้เทอร์โมเวลล์จะมีหลายตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยมีตัวแปรพื้นฐาน เช่น ชนิดของเทอร์โมเวลล์, อัตราการทนความดัน (Pressure Rating), วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมเวลล์, ความยาวของเทอร์โมเวลล์ เป็นต้น ในการใช้งานเทอร์โมเวลล์กับกระบวนการผลิตโดยปกติเทอร์โมเวลล์จะถูกติดตั้งอยู่บนท่อ (Pipe Line), ถัง (Tank or Vessel) หรือ บนอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งบริเวณต่างๆ ที่ต้องการวัดอุณหภูมินั้นจะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างๆ กันไป ดังนั้นในการใช้งานควรจะมีการกำหนดขนาดและความยาวมาตรฐานเพื่อความสะดวกในการเก็บชิ้นส่วนสำรอง (Spare Parts) หรือการใช้งานทดแทนกันได้เมื่อเกิดความเสียหาย

2.2.13.1 ความเสียหายของเทอร์โมเวลล์ (Thermowell failure)

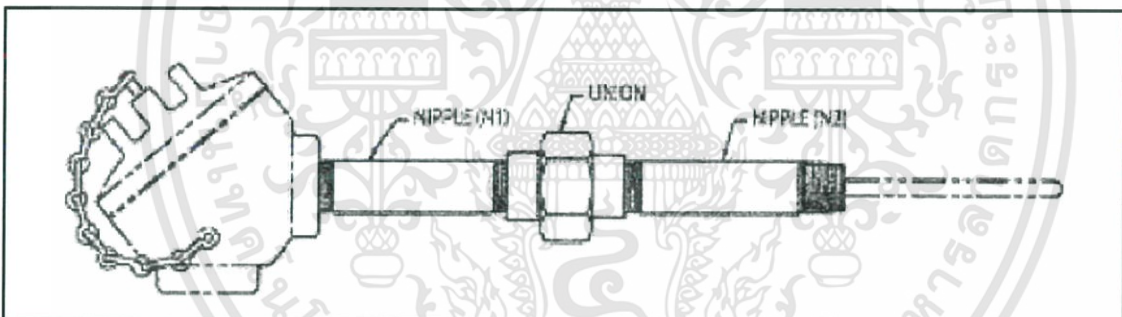
ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวเทอร์โมเวลล์จะมีสาเหตุดังนี้

- การหักหรือบิดงอเนื่องจากแรงทางกลที่เกินขีดจำกัด
- การกัดกร่อนที่เกิดจากสารเคมีที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ
- การกัดเซาะที่เกิดจากความเร็วของอนุภาค (Particle) ที่ปะปนมากับของไหล
- การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการไหล

2.2.13.2 ขนาดรูบนเทอร์โมเวลล์ (Thermowell Bore)

มาตรฐานขนาดรูบนเทอร์โมเวลล์จะมีขนาด 6.5 mm (0.26 in) ใช้สำหรับเซนเซอร์อุณหภูมิที่เป็นทั้งชนิด Thermocouple และ RTD ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6.0 mm (1/4 in) หรือขนาด 10 mm (0.38 in) สำหรับเซนเซอร์แบบ Filled system

นอกจากเทอร์โมเวลล์ที่ใช้สำหรับป้องกันเซนเซอร์อุณหภูมิแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่นที่ต้องจัดเตรียมเมื่อนำเซนเซอร์อุณหภูมิไปใช้งาน โดยจะมีส่วนต่อเพิ่มจากตัวเทอร์โมเวลล์ เพื่อความสะดวกในการถอดเปลี่ยน, ปรับทิศทางช่องต่อสายและการต่อสายไปยังเซนเซอร์อุณหภูมิ ส่วนประกอบเพิ่มเติมจะเป็นดังนี่คือ หัวต่อสาย, ชุด Nipple และ Union สามารถแสดงภาพของส่วนประกอบต่างๆได้ดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 ส่วนประกอบอื่นๆของเทอร์โมคัปเปิล

2.2.13.3 วัสดุที่ใช้ทำตัวเทอร์โมเวลล์

อย่างต่ำควรจะเลือกใช้เป็น 316 SS หรือชนิดอื่น ๆ ต้องเป็นไปตามวัสดุที่ใช้ทำท่อที่จะนำตัวเทอร์โมเวลล์ไปติดตั้ง โดยพื้นผิวของตัวเทอร์โมเวลล์ต้องมีผิวที่เรียบเป็นเงาและไม่มีหลุมหรือร่องรอยจากการกัดกร่อน เพื่อให้การวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำ ในการเลือกวัสดุต้องพิจารณาถึงสภาวะที่จะนำไปใช้งานทั้งด้านความดันและอุณหภูมิ

2.2.13.4 ความเร็วของไหล (Velocity)

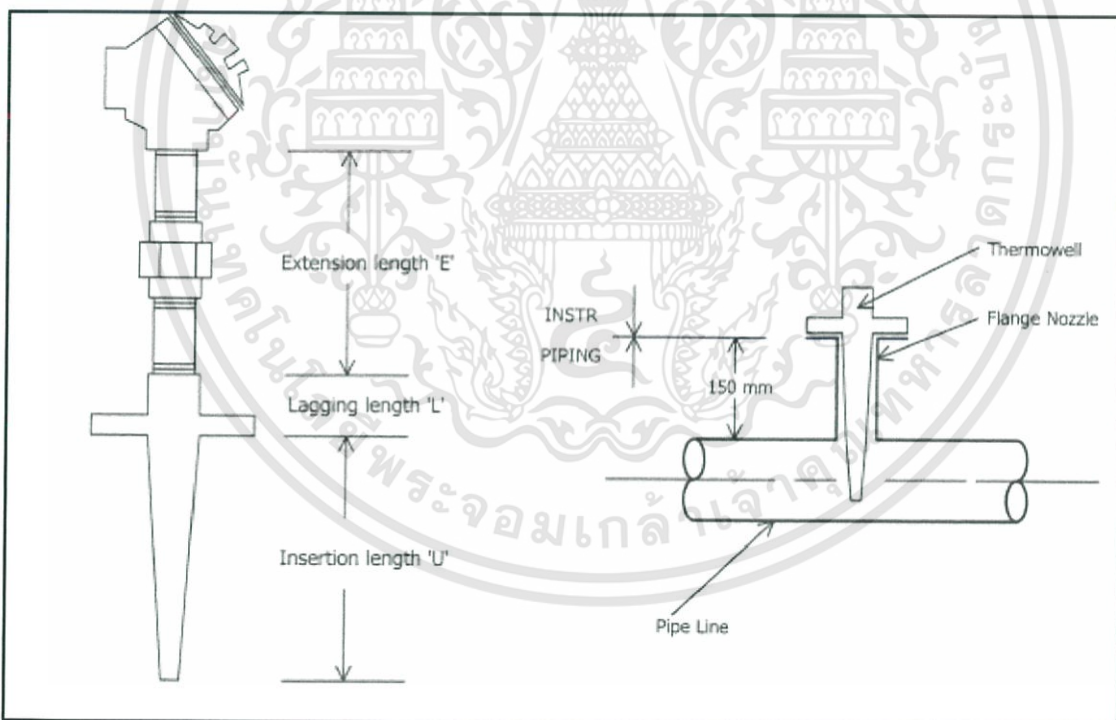
เทอร์โมเวลล์มีโอกาสจะเกิดความเสียหายจากการสั่นที่เกิดขึ้นจากความเร็วของไหลที่เกินจุดจำกัด ความถี่ในการสั่นถูกกำหนดโดยความเร็วการไหลและขนาดของเทอร์โมเวลล์ การคำนวณต้องมีการจัดเตรียมให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASME PTC 19.3

2.2.13.5 ความยาวของเทอร์โมเวลล์ (Insertion length)

ส่วนของเทอร์โมเวลล์ที่จะต้องจุ่มลงไปท่อเพื่อจะใช้วัดอุณหภูมิของไหลในท่อ ส่วนปลายสุดควรจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนที่สามของท่อ (Middle third of pipe) ความยาวของเทอร์โมเวลล์อาจจะสั้นลงได้ถ้ามีข้อจำกัดทางด้านความแข็งแรงจากการคำนวณความถี่ในการสั่น (Weak frequency)

เมื่อต้องมีการติดตั้งตัวเทอร์โมเวลล์ที่ท่อ ขนาดของท่อต่ำสุดควรจะมีขนาด 4 หรือ 6 นิ้ว ถ้ามีขนาดท่อเล็กกว่านี้จะต้องติดตั้งที่บริเวณข้อต่อหรือทำการขยายท่อให้เท่ากับขนาดต่ำสุดที่กำหนดและขนาดของหน้าแปลนควรจะมีขนาด $1\frac{1}{2}$ " เป็นอย่างน้อย ส่วนอัตราการทนความดัน (Pressure Rating) จะขึ้นอยู่กับอัตราการทนความดันของท่อ ซึ่งอาจจะเป็น 150# หรือ 300# เป็นต้น

ระยะส่วนที่จุ่มลงไปท่อหรือระยะ 'U' สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 7.34 ตัวอย่างของความยาวระยะ 'U' ที่มีใช้งานกันจะเป็นขนาด 225,300 หรือ 450 มิลลิเมตร ซึ่งจะเป็นความยาวที่รวมกับความยาวของที่รวมกับความยาวของจุดต่อกับท่อ (Nozzle length) โดยทั่วไปจะมีความยาวอยู่ที่ประมาณ 150 มิลลิเมตร ระยะ 'U' บางครั้งจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานหรือมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ระยะที่กำหนดควรได้รับการยินยอมจากผู้ใช้งานเพื่อการนำไปออกแบบ ส่วนระยะอื่นๆจะเป็นไปตามข้อกำหนดจากผู้ใช้งานหรือจากผู้จัดจำหน่าย



ภาพที่ 2.34 ระยะต่างๆของเทอร์โมเวลล์

สำหรับเทอร์โมเวลล์ที่ติดอยู่กับถังนั้น ระยะ 'U' ที่ต้องการ ควรจะมีการปรึกษากับผู้ออกแบบกระบวนการผลิตถึงตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิของไหลในถัง ซึ่งจะมีระยะความยาวที่ไม่มีมาตรฐาน บางครั้งต้องสั่งทำเป็นพิเศษจากผู้ผลิต

2.2.14 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter)

ในการใช้งานทั่วไปของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจะถูกต่อเข้ากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เพื่อทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิจากจุดที่ต้องการวัดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการ หรือบางครั้งสามารถทำการต่อเซนเซอร์อุณหภูมิตรงเข้าไปยังส่วนอินพุตของระบบควบคุมได้ดีขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ในการใช้งานร่วมกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิจะมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเปิดวงจร (Open Circuit) หรือลัดวงจร (Short Circuit) โดยที่เครื่องมือวัดจะสามารถตรวจจับได้ ซึ่งถูกเรียกว่า Burnout ดังนั้นเครื่องมือวัดจึงต้องมีการตั้งค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่งปลอดภัย (Fail safe) เมื่อมีการ Burnout เกิดขึ้น และต้องมีการส่งสัญญาณเตือนให้กับระบบควบคุม

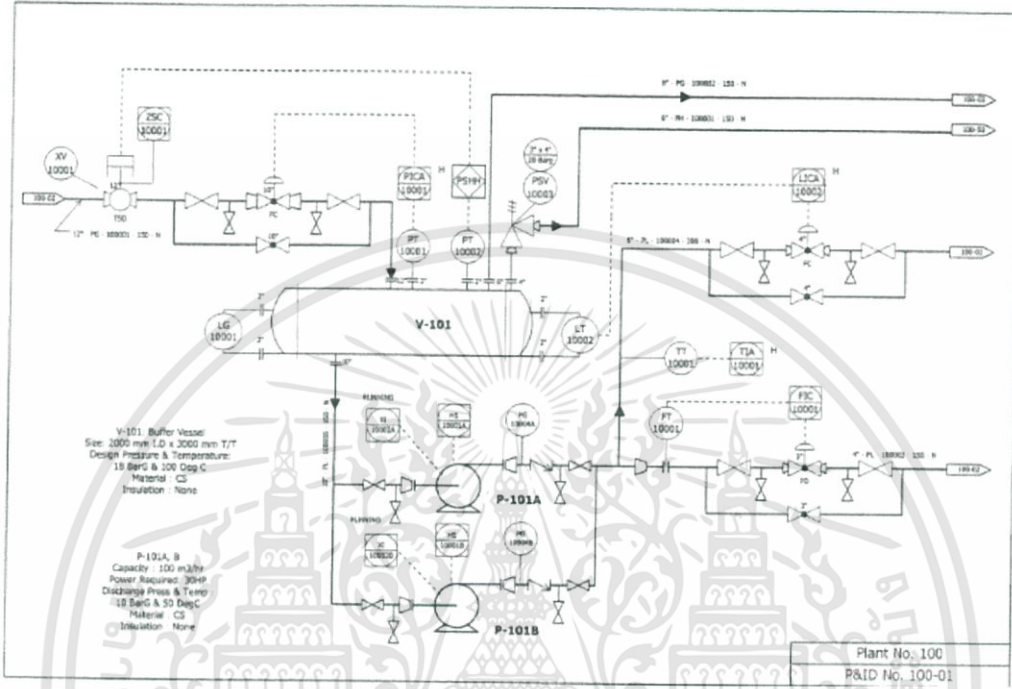
ค่าอุณหภูมิการทำงานปกติที่อ่านได้ควรจะกำหนดให้อยู่ประมาณ 50 ถึง 75% ของย่านการใช้งานสูงสุด ในบางครั้งในการใช้งานจะมีการตั้งค่า Zero ไว้ที่ค่าสูงๆ เมื่อกระบวนการผลิตหยุดทำงานหรือช่วงการเริ่มเดินเครื่องจะทำให้เครื่องมือวัดอ่านค่าได้ต่ำกว่าศูนย์ ทำให้ระบบควบคุมแสดงค่าเป็น Bad value ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งในการออกแบบ

2.2.15 การกำหนดรายละเอียดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature specification)

ก่อนที่จะทำการกำหนดรายละเอียดให้กับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ จะต้องทราบถึงรายละเอียดความต้องการทั่วไปของเครื่องมือวัด (General Specification for Instrumentation) ที่นำมาใช้อ้างอิง สำหรับการกำหนดรายละเอียด เพื่อให้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ มีลักษณะที่เหมือนกัน สามารถเชื่อมต่อกับส่วนอื่นๆได้ และเพื่อสะดวกในการเก็บเป็นอุปกรณ์สำรอง (Spare part) โดยมีหัวข้อหลักที่ต้องการทราบก่อนกำหนดรายละเอียดจะเป็นดังนี้ (ข้อมูลในวงเล็บเป็นตัวอย่าง)

- ชนิดของเซนเซอร์ที่ต้องการในย่านการวัดอุณหภูมิต่างๆ (ถ้าย่านการวัดอุณหภูมิต่ำกว่า 500 DegC ให้เลือกใช้เซนเซอร์เป็นแบบ RTD แต่มีย่านการวัดอุณหภูมิสูงกว่า 500 DegC ให้เลือกใช้เซนเซอร์เป็นแบบเทอร์โมคัปเปิล)
- RTD ต้องเป็นแบบใด (Pt 100 แบบ 3 สาย) และมีค่าความแม่นยำแบบใด (Class B)
- เทอร์โมคัปเปิลต้องเป็นแบบใด (Type K, Unground)
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเซนเซอร์เป็นขนาดเท่าใด (6.0 mm) และวัสดุเปลือกหุ้มเป็นชนิดใด (316SS)
- เทอร์โมเวลล์เป็นแบบใด (Flange, Thread and Welded) และมีขนาดเท่าใด (Flange 1½", ½" NPT)
- วัสดุของเทอร์โมเวลล์ (316 SS)
- ระยะความยาวของเทอร์โมเวลล์ (225, 300, 450 mm)
- หน่วยของอุณหภูมิ (DegC, DegF)
- ขนาดจุดต่อสายไฟ (1/2" NPT, M20)
- ต้องการ Transmitter เป็นแบบใด (Remote, Head mounted)

- การป้องกันการเกิดประกายไฟ เมื่อนำไปใช้ในพื้นที่อันตรายเป็นแบบใด (Exi,Exd) เมื่อได้ทราบความต้องการดังกล่าวไปแล้วข้างต้น ต่อไปจะแสดงตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิจากแผนภาพกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.35



ภาพที่ 2.35 แผนภาพกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 2.35 ถ้าต้องการกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ TT-10001 ที่ถูกติดตั้งอยู่ในพื้นที่อันตราย Zone 1 IIB T3 ในการกำหนดรายละเอียดจะต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมจากข้อมูลที่กล่าวไปแล้วตามข้างต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลของไหลในกระบวนการผลิตที่ต้องการวัด ถ้าข้อมูลกระบวนการผลิตเป็นดังนี้

- ของไหลเป็น Hydrocabons และมีสถานะเป็นของเหลว (Liquid)
- มีค่าความดันทำงาน (Operating pressure) เท่ากับ 16 บาร์และมีค่าความดันออกแบบ (Design pressure) เท่ากับ 19 บาร์
- มีค่าอุณหภูมิทำงาน (Operating temperature) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียสและมีค่าอุณหภูมิออกแบบ (Design temperature) เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส

จากข้อมูลทั้งหมดสามารถกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ TT-10001 โดยขั้นตอนแรกควรจะต้องตรวจสอบตำแหน่งของตัวเซนเซอร์อยู่ที่บริเวณใดที่ถึงหรืออยู่บนท่อ ถ้าอยู่บนท่อต้องตรวจสอบดูว่าที่นั้นมีขนาดเท่าใด เพื่อนำไปกำหนดระยะ 'U' ของตัวเซนเซอร์ ในตัวอย่างนี้จากแผนภาพกระบวนการผลิตเครื่องมือวัดอุณหภูมิ TT-10001 จะติดตั้งอยู่บนท่อขนาด 4 นิ้วและ

2.3 เครื่องมือวัดการไหล (Flow Instrument)

2.3.1 บทนำ

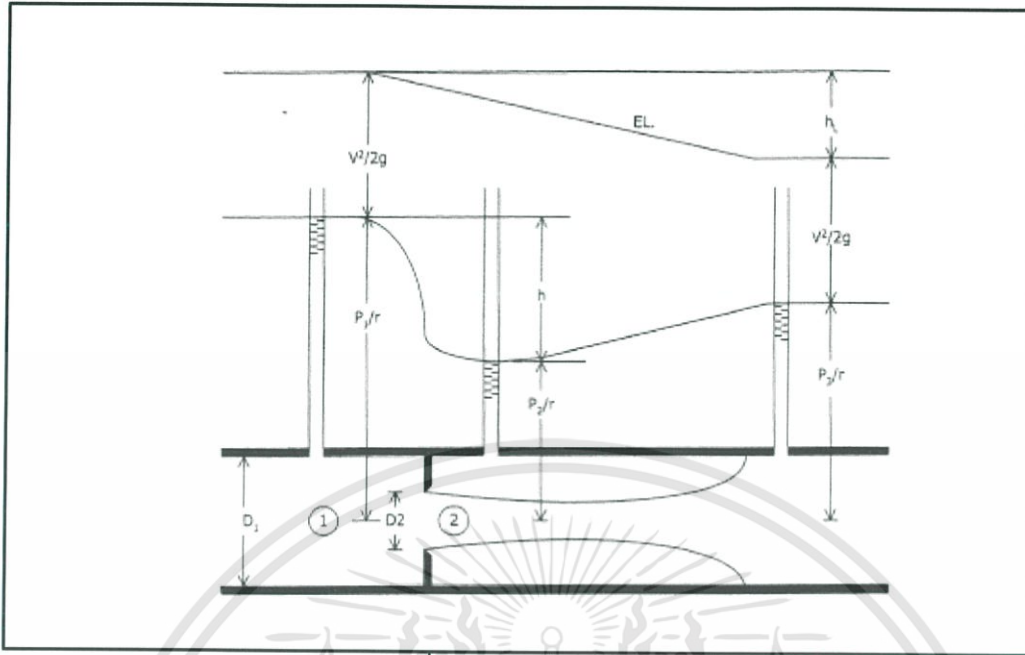
อัตราการไหลเป็นตัวแปรหลักๆ ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตประเภทต่างๆ ทั้งในอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมี รวมไปถึงอุตสาหกรรมเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติ ที่ต้องมีการควบคุมและแสดงค่า บนหน่วยแสดงผลของระบบควบคุมพื้นฐาน เครื่องมือวัดที่จะนำไปใช้วัดอัตราการไหลนั้นมียูด้วยกันหลาย ชนิด การเลือกใช้ใช้งานประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

ค่าการไหลเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยในการแสดงพฤติกรรมของกระบวนการผลิต ในช่วงเริ่มต้นการ ออกแบบกระบวนการผลิตควรต้องมีการพิจารณาในเรื่องชนิดและการติดตั้ง เครื่องมือวัดการไหลที่ต้องใช้ ในกระบวนการผลิต ค่าความแม่นยำ, การกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต หรือการทำรายงานที่ ถูกต้อง ถ้าต้องการค่าการไหลที่มีความแม่นยำสูง ต้องมีการพิจารณารายละเอียดเพิ่มเติมจากเครื่องมือวัด การไหลแบบทั่วไป อาทิเช่น สิ่งซึ่งข้อควรระวังจากผู้ผลิตโดยตรง, ต้องมีการจัดเตรียมท่อทางตรง (Pipe straight run) ที่มากขึ้นทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องมือวัดการไหล นอกจากนี้ยังต้องมีการ เปรียบเทียบเครื่องมือวัดเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการใช้งาน

สำหรับในบทนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดการทำงานของเครื่องมือวัดการไหลบางชนิดที่จะมีใช้ เป็นพื้นฐานหรือมีใช้งานกันอยู่ทั่วไปในการวัดอัตราการไหลคือ การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส (Orifice flow meter) และการวัดอัตราการไหลด้วยโรตารีมิเตอร์ (Rota meter or Variable Area Flow meter) นอกจากนี้ยังมีการแสดงแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหล แสดงข้อดีและข้อเสีย ของเครื่องมือวัดการไหลชนิดต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดรายละเอียด สำหรับ นำไปจัดหาเครื่องมือวัดอัตราการไหล

2.3.2 การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส

จากการค้นพบว่า เมื่อมีการไหลผ่านส่วนของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดลดลง ทำให้ความดันของไหลใน ท่อหลังจากผ่านส่วนที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่านั้นจะมีค่าลดลงและค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นสัดส่วนแบบรากที่สอง (square root) กับอัตราการไหล ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส

จากรูปที่ 4.1 สามารถเขียนสมการ จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

เมื่อ $A_1 V_1 = A_2 V_2$ แทนค่า $V_1 = (A_2/A_1)V_2$ ลงในสมการที่ (4.1) จะได้

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{1-(A_2/A_1)^2} \left[2g \left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) \right]} \quad (2)$$

เมื่อ $Q_2 = A_2 V_2$ ดังนั้นอัตราการไหลผ่านแผ่นออริฟิสจะได้เป็น

$$Q_2 = A_2 V_2 = \frac{1}{\sqrt{1-(D_2/D_1)^4}} \sqrt{2g \left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) \right]} \quad (3)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลที่สภาวะการทำงาน

A = ขนาดพื้นที่หน้าตัด (Area)

V = ความเร็วของไหลในท่อ (velocity)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (Discharge coefficient)

D = ขนาดท่อ (Diameter)

g = แรงโน้มถ่วง (Gravity)

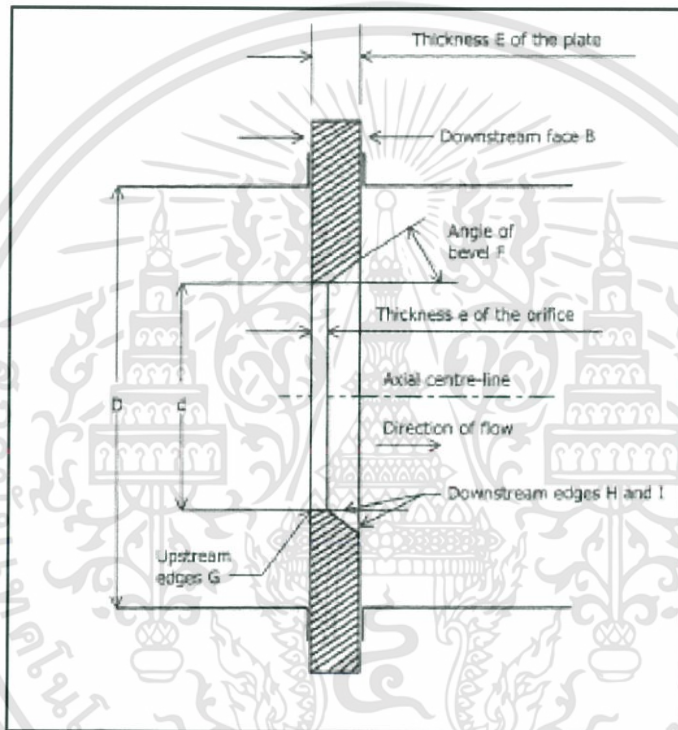
P = ความดันที่จุดต่างๆ (Pressure)

Z = ระดับจากจุดอ้างอิง

γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)

2.3.3 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

แผ่นออริฟิสมีลักษณะแผ่นโลหะที่มีรูไว้สำหรับให้ของไหลผ่าน ในการติดตั้งจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลน (Orifice flange) ของท่อในลักษณะตั้งฉากกับกระแสการไหล เนื่องจากมีการจัดทำได้ง่ายและมีราคาถูกจึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นแล้วยังมีความเชื่อถือในการวัดอัตราการไหลเป็นอย่างดี แผ่นออริฟิสสามารถทำขึ้นจากวัสดุได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากของไหลที่นำไปใช้งาน เช่น 316 Stainless steel, Monel หรือ Inconel Orifice Plate ลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.38



ภาพที่ 2.38 แผ่นออริฟิสมาตรฐาน

เมื่อ ϕD = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

ϕd = เส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่แผ่นออริฟิส

มาตรฐาน ISO 5167 ค่าความหนา e ของแผ่นออริฟิสจะอยู่ระหว่าง $0.005D$ ถึง $0.02D$ และค่าความหนา E จะอยู่ระหว่างขนาดความหนา e ถึง $0.05D$ โดยทั่วไปแล้ว ขนาดรูที่แผ่นออริฟิส จะแสดงในรูปอัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางรูกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อหรือค่า $\beta = d/D$ ซึ่งปกติจะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 ข้อดีและข้อเสียของการวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสเป็นดังนี้

- ข้อดี

สะดวกในการติดตั้ง, ราคาถูก, มีแบบและวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้

- ข้อเสีย

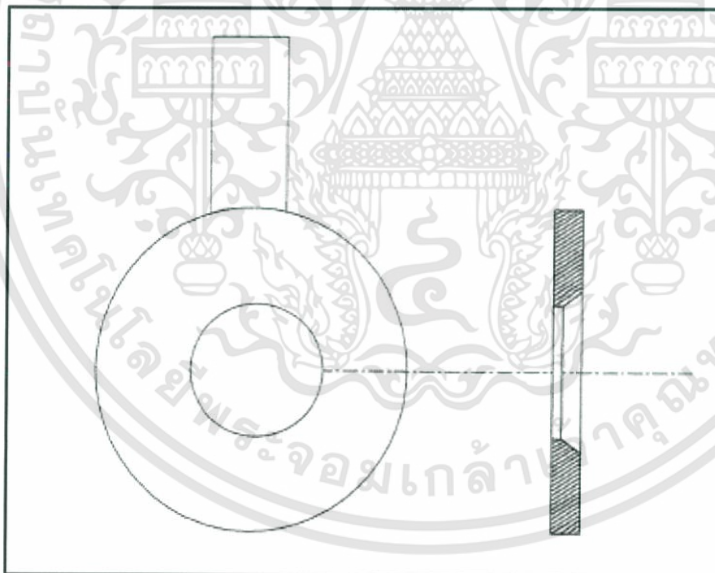
แผ่นออริฟิสจะมีความไวต่อความเสียหายเมื่อเลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสมเนื่องจากแผ่นออริฟิสเป็นแผ่นโลหะที่ต้องสัมผัสกับกระแสการไหลอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้อาจโค้งงอหรือสึกหรอได้ง่าย และต้องการระยะท่อที่เป็นทางตรง (straight run) มากกว่าแบบอื่น

แผ่นออริฟิสมีหลายแบบให้เลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานดังนี้ Concentric, Eccentric, Segmental และ Quadrant Orifice Plate

2.3.3.1 Concentric Orifice Plate หรือ Square edge

เป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิสและสามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง และของไหลที่มีความหนืดสูง

จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างจากแผ่นออริฟิส สามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps), แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.39

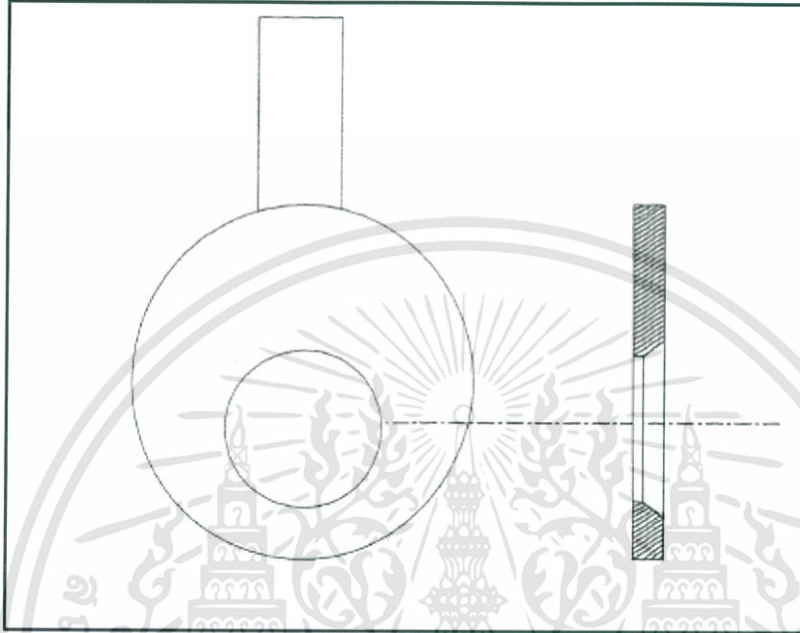


ภาพที่ 2.39 Concentric Orifice plate

2.2.3.2 Eccentric Orifice Plate

แผ่นออริฟิสแบบนี้จะมีรูเยื้องลงมาด้านล่างของแผ่นออริฟิสที่ติดตั้งอยู่ภายในท่อ เพื่อลดการตกค้างของสารแขวนลอยหรือการตกตะกอนที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นออริฟิส ซึ่งจะเหมาะสมกับของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง

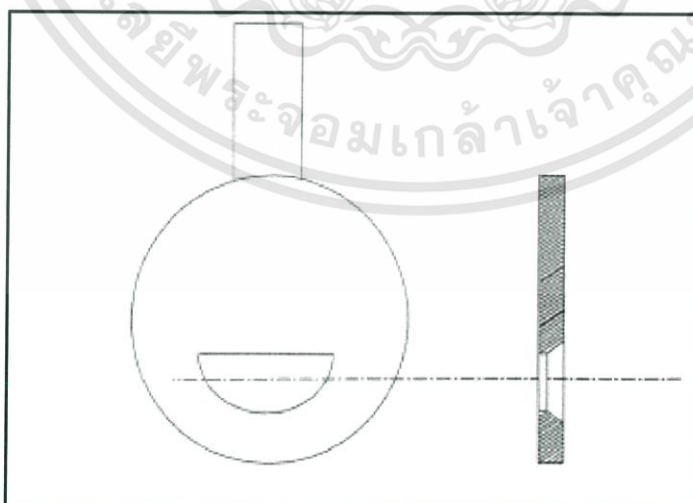
จุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้ทั้งแบบ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps) และแบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสนชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.40



ภาพที่ 2.40 Eccentric Orifice plate

2.2.3.3 Segmental Orifice Plate

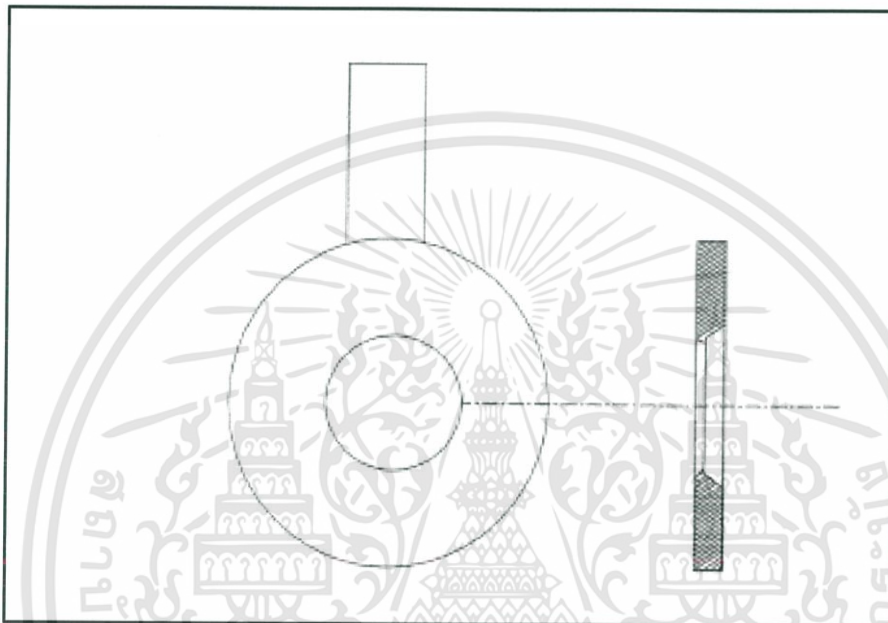
แบบนี้จะมีลักษณะและการใช้งานคล้ายกับแบบ Eccentric Orifice Plate แต่จะมีช่องเป็นครึ่งวงกลม ลักษณะของแผ่นออริฟิสนชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.41 Segmental Orifice plate

2.2.3.4 Quadrant Orifice Plate

แผ่นออริฟิสแบบนี้รู้ด้านเข้าจะเอียงประมาณ $\frac{1}{4}$ ของวงกลม และเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงๆ หรือมีค่า Reynolds ต่ำ จุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps), แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.42



ภาพที่ 2.42 Quadrant Orifice plate

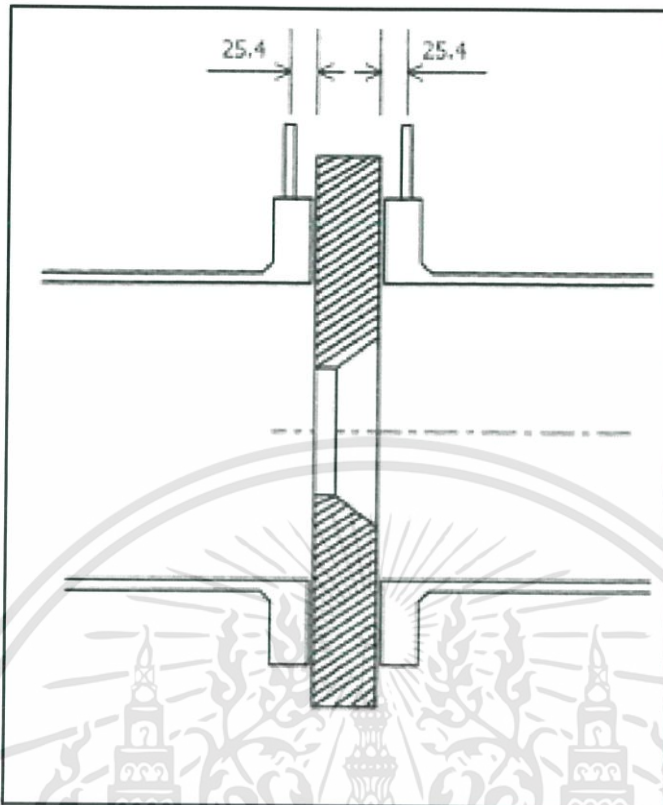
2.2.4 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่าง (Pressure Tappings)

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลจะต้องมีจุดต่อสำหรับใช้วัดค่าความดันความแตกต่างทางด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) อย่างน้อยด้านละหนึ่งจุด เพื่อใช้สำหรับต่อไปยังเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitters) ที่ใช้วัดค่าความดันแตกต่างที่เกิดจากแผ่นออริฟิส สามารถแบ่งลักษณะจุดต่อได้ 3 แบบ ดังนี้

2.2.4.1 จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งวัดจากด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส ออกไปด้านละ 25.4 มิลลิเมตร โดยระยะอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับค่า β ของแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- $\beta > 0.6$ และ $D > 150$ มิลลิเมตร ; ระยะเท่ากับ 25.4 ± 0.5 มิลลิเมตร
- $\beta < 0.6$ หรือ $\beta > 0.6$ และ $150 < D < 1000$ มิลลิเมตร ; ระยะเท่ากับ 25.4 ± 1.0 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.43 Flange Taps

ข้อจำกัดในการใช้จุดต่อแบบนี้เป็นดังนี้

เมื่อ

$$d \geq 12.5 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$50 \text{ มิลลิเมตร} \leq D \leq 1000 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$0.2 \leq \beta \leq 0.75$$

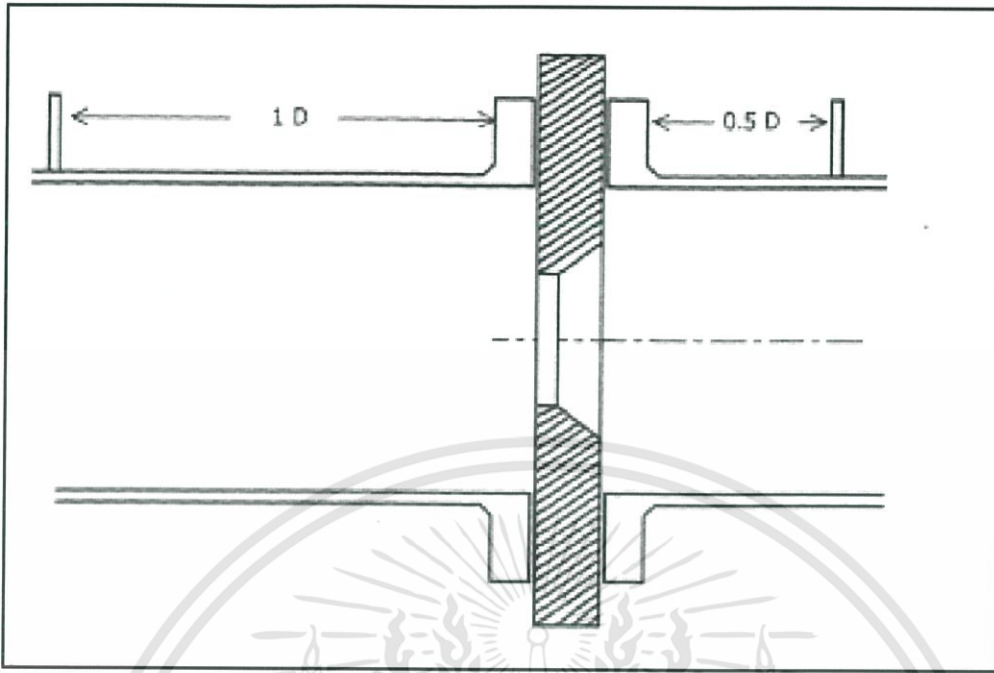
$$Re_D \geq 5000; \text{ สำหรับ } 0.2 \leq \beta \leq 0.75$$

$$Re_D \geq 10000; \text{ สำหรับ } \beta > 0.45$$

2.2.4.2 จุดต่อท่อที่ระยะ D และ $0.5D$ (Vena Contracta Taps)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่ท่อแทนที่จะอยู่ที่หน้าแปลนเหมือนกับแบบแรก ซึ่งวัดจากด้านหน้าของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ $1D$ และด้านหลังของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ $0.5D$ โดยระยะอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับค่า β ของแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

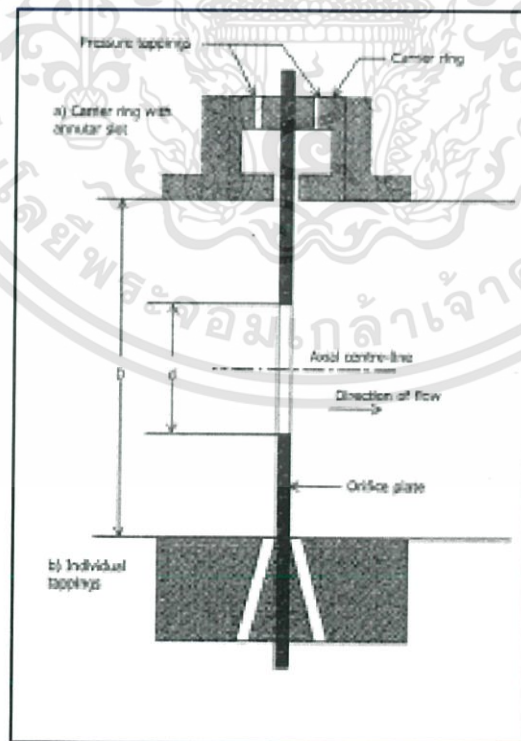
- $\beta < 0.6$, ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ และระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.02D$
- $\beta > 0.6$, ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ และระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.01D$



ภาพที่ 2.44 Vena Contracta Taps

2.2.4.3 จุดต่อที่ Corner (Corner Taps)

จุดต่อแบบนี้อยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งจะติดกับแผ่นออริฟิส ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง



ภาพที่ 2.45 Corner Taps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 47 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดในการใช้จุดต่อแบบนี้เป็นดังนี้

เมื่อ $d \geq 12.5$ มิลลิเมตร

$50 \text{ มิลลิเมตร} \leq D \leq 1000 \text{ มิลลิเมตร}$

$0.2 \leq \beta \leq 0.75$

$Re_D \geq 1260 \beta^2 D$

2.2.5 ค่า Reynolds Number (Re_D)

ค่าที่ใช้บอกลักษณะการไหลในท่อเป็นแบบใด สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$Re_D = 3160 \frac{Q \cdot SG}{\mu \cdot D} \quad (4)$$

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (นิ้ว)

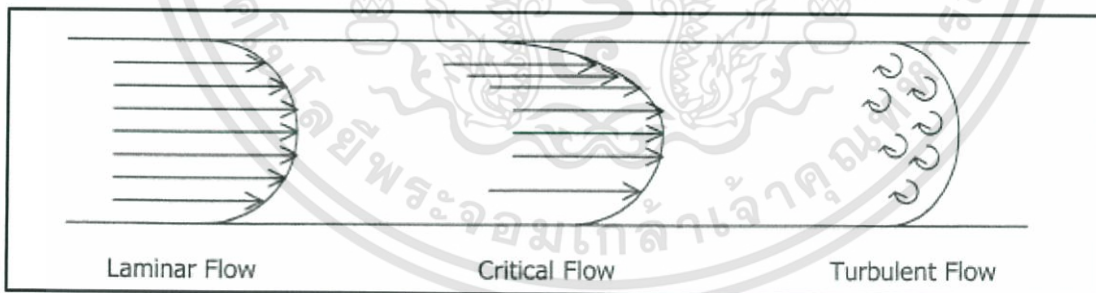
μ = ความหนืดของของไหล (C_p)

SG = ความหนาแน่นของของไหล

Q = อัตราการไหล (แกลลอน ต่อ นาที)

ค่าที่ได้จากสมการจะเป็นค่าที่บอกลักษณะการไหลดังนี้

- $Re_D < 2000$, การไหลในท่อเป็นระเบียบ (Laminar Flow)
- $2000 < Re_D < 4000$, การไหลในท่อเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงจากแบบเป็นระเบียบไปเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ (Critical Flow)
- $Re_D > 4000$, การไหลในท่อเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ (Turbulent Flow)



ภาพที่ 2.46 ลักษณะการไหลในท่อ

2.2.6 การเลือกใช้แผ่นออริฟิส

การเลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO-5167 จะใช้กับท่อขนาดตั้งแต่ 2 นิ้วขึ้นไปจนถึงประมาณ 10-12 นิ้ว แต่ถ้ามีท่อขนาดใหญ่มากๆ เช่น ขนาด 18,20,24 นิ้ว การใช้แผ่นออริฟิสอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกใช้การวัดแบบอื่นๆ เช่น อัลตราโซนิก หรือ Pitot tube เป็นต้น และค่า Range ability ต้องไม่มาก5:1 เนื่องจากจะทำให้ค่าที่อ่านได้ที่ย่านอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 48 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลต่ำๆมีค่าผิดพลาดได้สูง นอกจากนั้นแล้วการวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิสไม่เหมาะสมกับในการควบคุมบางชนิดที่ต้องการความดันสูญเสียในระบบหรือในท่อที่มีค่าต่ำๆ (Low pressure loss) วัสดุสำหรับใช้ทำแผ่นออริฟิสเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ต้องมีการพิจารณาให้เหมาะสมกับชนิดของไหลและทนต่อการกัดกร่อน โดยทั่วไปจะใช้เป็น 316SS หรือวัสดุที่ดีกว่า

2.27 การคำนวณค่าขนาดรูของแผ่นออริฟิส

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับค่าความดันแตกต่างของความดันที่เกิดจากแผ่นออริฟิส โดยวัดจากจุดต่อชนิดต่างๆที่ต่อออกมาจากท่อและ ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจะแปรผันไปตามขนาดรูที่แผ่นออริฟิส ดังนั้นในการใช้งานจะต้องมีการกำหนดค่าความดันแตกต่างมาตรฐานเพื่อนำไปหาขนาดรูของแผ่นออริฟิสที่ต้องการ ตามอัตราการไหลที่จะนำแผ่นออริฟิสไปใช้งานหรือเป็นไปตามข้อมูลกระบวนการผลิต เหตุที่ต้องกำหนดค่าความดันแตกต่างมาตรฐาน สำหรับในการนำไปใช้หาขนาดรูของแผ่นออริฟิสนั้น เพราะว่าสามารถเลือกใช้เครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Differential pressure transmitter) ที่มีการกำหนดย่านการวัดค่าความดันแตกต่างให้มีค่าเท่ากัน เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันและเก็บอุปกรณ์สำรองได้ง่าย ค่าความดันแตกต่างมาตรฐานที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นดังนี้

- 50 มิลลิบาร์
- 100 มิลลิบาร์
- 250 มิลลิบาร์
- 500 มิลลิบาร์

เมื่อได้มีการกำหนดความดันแตกต่างมาตรฐานที่ต้องการแล้ว ต่อไปจะมาพิจารณาการคำนวณหาขนาดรูของแผ่นออริฟิสสมัยก่อนการคำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิสทำด้วยมือซึ่งจะใช้เวลาและมีความยุ่งยากมาก สำหรับการคำนวณในปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยในการคำนวณ ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้อาจนำมาจากบริษัทผู้จำหน่ายหรือบริษัทที่เขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณตามมาตรฐานต่างๆโดยตรง ส่วนผู้ใช้ต้องจัดเตรียมข้อมูลตัวแปรต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

ตัวแปรที่ถูกจัดเตรียมโดยวิศวกรกระบวนการผลิต

- ชนิดของไหล (Fluid name)
- สถานะของไหล (Fluid state)
- อัตราการไหลสูงสุด,ปกติ และต่ำสุดที่ต้องการวัด (Max/Normal/Min Flow rate) ซึ่งอาจมีหน่วยในการวัดเป็นได้ทั้งในรูปปริมาตร (Volume) m³/hr หรือในรูปน้ำหนัก kg/hr
- ความดันทำงาน (Working pressure) มีหน่วยเป็น BarG, Kg/cm², Psig, MPa
- อุณหภูมิทำงาน (Working temperature) มีหน่วยเป็น Deg C
- ความดันออกแบบ (Design pressure) มีหน่วยเป็น BarG, Kg/cm², Psig, Mpa
- อุณหภูมิออกแบบ (Design temperature) มีหน่วยเป็น Deg C

ค่าความดันและอุณหภูมิออกแบบ ต้องมีการแสดงค่าให้กับผู้จัดจำหน่าย เพื่อให้ผู้ผลิตออกแบบแผ่นออริฟิสและอุปกรณ์ต่างๆให้สามารถทนสภาวะนี้ได้ ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นในการนำไปใช้งานจริง สำหรับของไหลที่เป็นของเหลว (Liquid)

- ความหนาแน่น (Density) มีหน่วยเป็น kg/m^3 หรืออาจให้มาในรูปของค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity : SG) สามารถเปลี่ยนเป็นความหนาแน่นด้วยการคูณด้วย 100
- ความหนืด (Viscosity) มีหน่วยเป็น cP หรือ Cst

สำหรับของไหลที่เป็นก๊าซ (Gas or Vapour)

- น้ำหนักโมเลกุล (Mol mass)
- ความสามารถในการอัดตัว (Compressibility)
- ความร้อนจำเพาะ (Specific heat ratio)

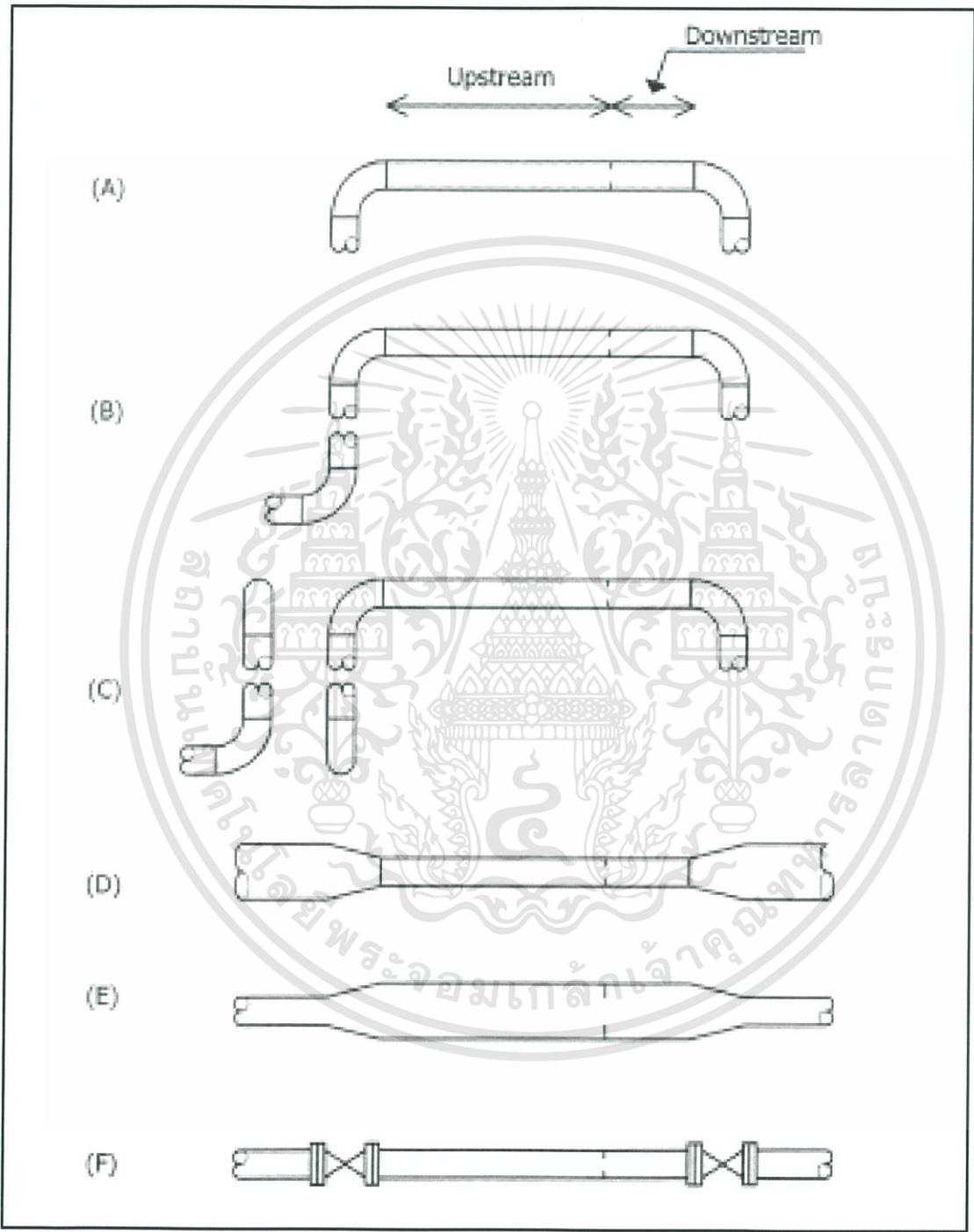
ตัวแปรที่ถูกจัดเตรียมโดยวิศวกรระบบเครื่องมือวัด

- อัตราการทนความดันของหน้าแปลน (Flange rating) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะแสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิต
- ขนาดและความหนาของท่อ (Pipe size and Thickness) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะแสดงอยู่บนรายละเอียดของท่อ (Piping specification) บนแผนภาพกระบวนการผลิต
- ย่านการวัดที่ต้องการ (Meter max) เป็นย่านการวัดที่ครอบคลุมค่าอัตราการไหลที่ได้จากความต้องการของวิศวกรกระบวนการ โดยปกติค่าอัตราไหลในสภาวะปกติจะอยู่ที่ประมาณ 70-75% ของย่านการวัดที่ต้องการ เช่น ถ้าอัตราการไหลในสภาวะปกติมีค่าเท่ากับ $70 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ อัตราการไหลสูงสุดมีค่าเท่ากับ $90 \text{ m}^3/\text{hr}$ ดังนั้นย่านการวัดที่เลือกใช้ควรจะเป็น $0-100 \text{ m}^3/\text{hr}$ เป็นต้น
- ความแตกต่างของความดันที่ต้องการ ซึ่งจะเลือกตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น 250 mBar เป็นต้น บางครั้งหลังจากคำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิสแล้วทำให้ค่าอัตราส่วน เบต้า (β) ไม่อยู่ในค่าที่ต้องการก็สามารถเปลี่ยนค่าความดันแตกต่างไปเป็นค่าอื่นๆได้
- จุดต่อสำหรับวัดความแตกต่างของความดันบนหน้าแปลนเป็นแบบใด
- ชนิดของแผ่นออริฟิส
- วัสดุของแผ่นออริฟิสและหน้าแปลน

2.3.8 การติดตั้งแผ่นออริฟิส

ในการติดตั้งแผ่นออริฟิสจะต้องติดตั้งอยู่กับท่อในส่วนที่รูปแบบการไหล (Flow profile) ของไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ถ้ารูปแบบการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะทำให้มีผลต่อความแม่นยำของค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากแผ่นออริฟิส ในโครงการก่อสร้างการติดตั้งท่อจะมีรูปแบบต่างๆหลายรูปแบบ ซึ่งจะส่งผลต่อการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นการวัดอัตราการไหลในกระบวนการผลิตที่ต้องการความถูกต้อง จะต้องมี การจัดเตรียมท่อด้านหน้า (Upstream) และด้านหลัง (Downstream) ของแผ่นออริฟิสที่เป็นเส้นตรง ให้มี

ระยะความยาวตามมาตรฐานสากลที่ใช้อ้างอิง ตัวอย่างของรูปแบบท่อในลักษณะต่างๆที่แสดงได้ดังภาพที่ 2.46 และความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงดังตารางที่ 2.3.1



ภาพที่ 2.47 รูปแบบท่อในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 51 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* Values expressed as multiples of D (Pipe diameter)

Beta ratio	Upstream (Inlet) side of the primary devices							Downstream (Outlet) side of the primary devices
	Single bend or tree	Two bends in the same plans	Two bends in the different plans (C)	Reducer	Expander	Globe valve fully open	Ball or Gate valve fully open	
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(F)	
0.20	10	14	34	5	16	18	12	4
0.25	10	14	34	5	16	18	12	4
0.30	10	16	34	5	16	18	12	5
0.35	12	16	36	5	16	18	12	5
0.40	14	18	36	5	16	20	12	6
0.45	14	18	38	5	17	20	12	6
0.50	14	20	40	6	18	22	12	6
0.55	16	22	44	8	20	24	14	6
0.60	18	26	48	9	22	26	14	7
0.65	22	32	54	11	25	28	16	7
0.70	28	36	62	14	30	32	20	7
0.75	36	42	70	22	38	36	24	7
0.80	46	50	80	30	54	44	30	7

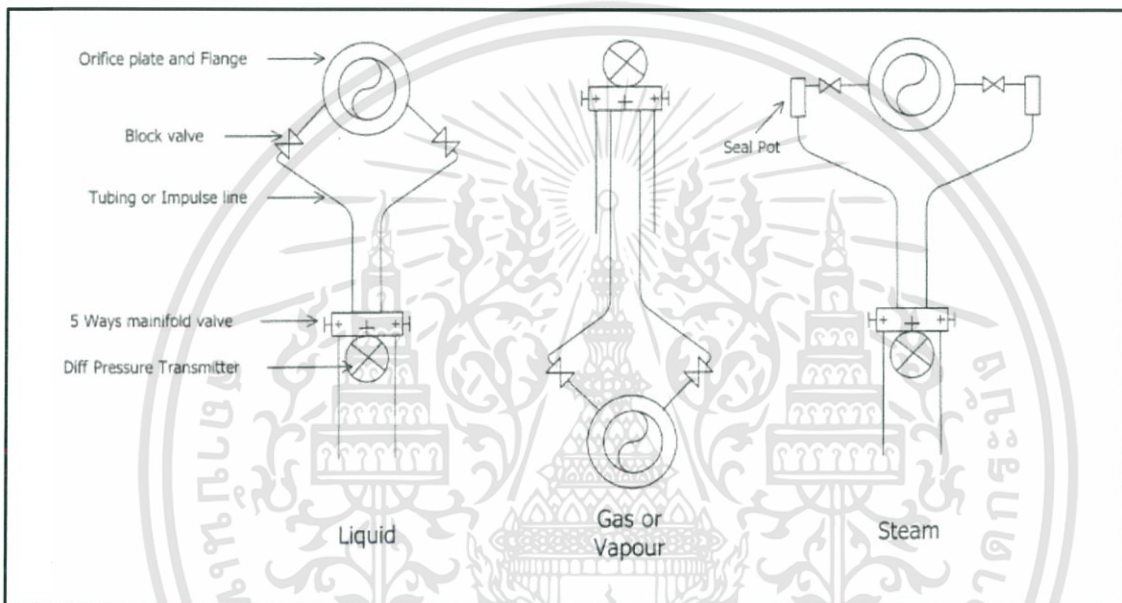
ตารางที่ 2.9 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรง

การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสจะต้องมีการติดตั้งร่วมกับเครื่องมือวัดความดันแตกต่างด้วยเสมอ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณความดันแตกต่างจากหน้าแปลนของแผ่นออริฟิสไปเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์หรือสัญญาณลมมาตรฐาน 3-15 Psi ซึ่งปัจจุบันสัญญาณลมมีการใช้งานกันน้อยมาก สัญญาณมาตรฐานที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังระบบควบคุมหรือระบบแสดงผลต่อไป ในทำนองเดียวกันกับการติดตั้งแผ่นออริฟิส การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่างจะต้องทำการติดตั้งให้ถูกต้องเพื่อให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดแตกต่างมีความผิดพลาดต่ำ ตัวแปรหลักๆสำหรับใช้พิจารณาการติดตั้งจะเป็นดังนี้

ตำแหน่งของเครื่องมือวัดความดันแตกต่างจะขึ้นอยู่กับสถานะของไหลที่ต้องการวัด ถ้าของไหลมีสถานะเป็นก๊าซหรือไอ จะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดให้อยู่เหนือจุดที่ทำกรวัด ถ้าของไหลมีสถานะเป็นของเหลวจะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดให้อยู่ต่ำกว่าจุดที่ทำกรวัด เหตุผลหลักๆคือ ในกรณีของไหลที่เป็นก๊าซนั้นไม่ต้องการให้ของไหลมีการกลั่นตัวเป็นของเหลวค้างอยู่ในท่อจากจุดวัดไปยังเครื่องมือวัด ในทำนองเดียวกันกับของไหลที่เป็นของเหลวที่ไม่ต้องการให้มีฟองอากาศอยู่ในท่อ เนื่องจากย่านการวัดของเครื่องมือวัดความดันแตกต่างจะมีค่าต่ำมาก เป็นมิลลิบาร์ ถ้ามีของเหลวหรือก๊าซปนอยู่ในท่อจากจุดวัดไปยังเครื่องมือวัดที่ไม่เท่ากัน ทำให้ความดันแตกต่างที่วัดได้มีค่าไม่ตรงกับค่าความดันแตกต่างที่ได้จากแผ่นออริฟิส ซึ่งจะทำให้ค่าอัตราการไหลที่อ่านได้บนหน่วยแสดงผลมีค่าไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 52 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

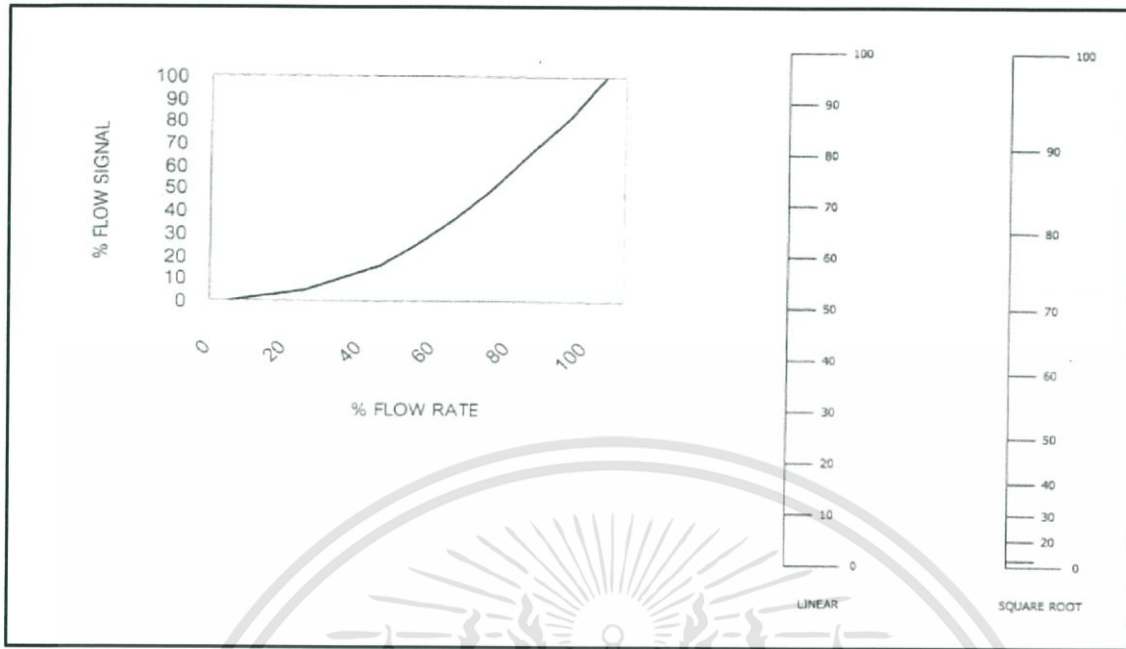
- ความยาวของท่อทั้งสองด้านควรมีระยะให้สั้นที่สุด
- ความเอียงของท่อต้องเหมาะสม
- สถานะของไหลในท่อจนถึงตัวเครื่องมือวัดจะต้องมีสถานะเดียวกัน ในบางครั้งอาจมีข้อจำกัดของเครื่องมือวัดในเรื่องความดันหรืออุณหภูมิ ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์เสริมเพิ่มเติม เช่น การติดตั้ง Seal Pot สำหรับใช้วัดไอน้ำอุณหภูมิสูงๆหรือใช้การผนึกด้วยเคมี (Chemical Seal) สำหรับของไหลที่มีความหนืดสูงหรืออาจพันรอบท่อด้วยท่อความร้อน (Stream Tracing) เป็นต้น การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่างในรูปแบบต่างๆสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 2.48 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันในรูปแบบต่างๆ

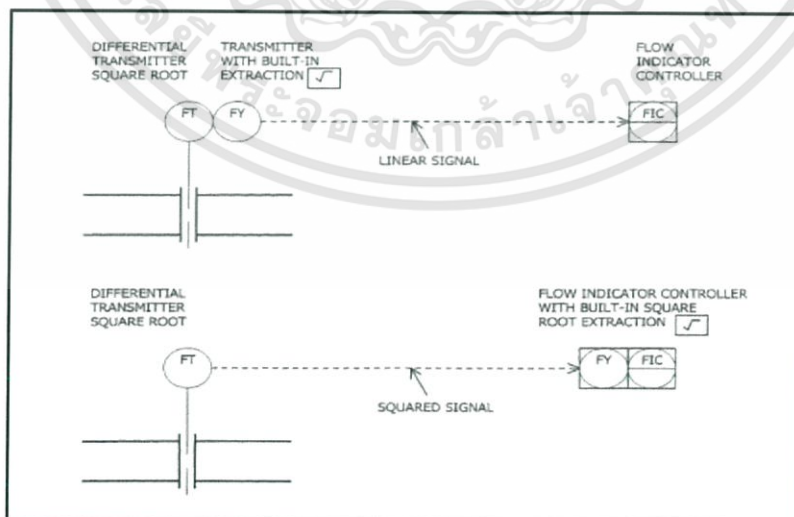
2.2.9 ความเป็นเชิงเส้น

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลที่ได้จากแผ่นออริฟิสจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สอง (Square root) ของความดันแตกต่างจากแผ่นออริฟิส ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.48



ภาพที่ 2.49 Square Flow Signal และ Scale แบบต่างๆ

จากภาพที่ 2.48 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลต่ำๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงของความดันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ที่อัตราการไหลสูงๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงของความดันมากตามไปด้วย ดังตัวอย่างเช่น ที่อัตราการไหล 0-10% ความดันแตกต่างกันจะเปลี่ยนแปลงจาก 0-1% ถ้าอัตราการไหล 90-100% ความดันแตกต่างกันจะเปลี่ยนแปลงจาก 81-100% การเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นเชิงเส้นสามารถทำได้ โดยการเพิ่มฟังก์ชันในการเปลี่ยนสัญญาณบนเครื่องมือวัดหรือบนระบบควบคุม สำหรับการใช้งานทั่วไปจะใส่ฟังก์ชันในการเปลี่ยนสัญญาณบนระบบควบคุม เพื่อความสะดวกในการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ฟังก์ชันการเปลี่ยนสัญญาณสามารถดังแสดงได้ในรูปที่ 2.49



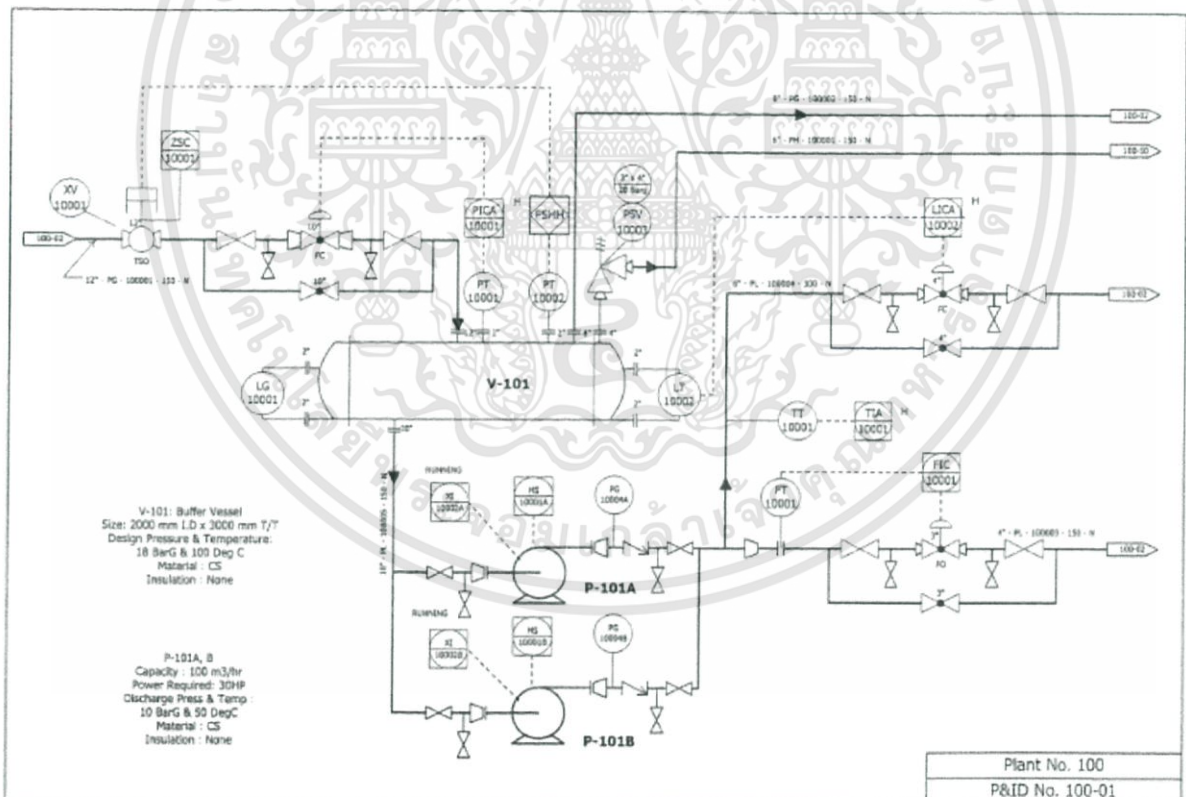
ภาพที่ 2.50 การเปลี่ยนสัญญาณรากที่สองไปเป็นเชิงเส้น

2.3.10 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดแผ่นออริฟิส

สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของการวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสที่อยู่ในกระบวนการผลิตดังรูปที่ 2.50

ถ้าต้องการกำหนดรายละเอียดและออกแบบติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหล 100-FT-10001 บนแผนภาพกระบวนการ จะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลตัวนี้ จะเป็นแบบแผ่นออริฟิสทำงานร่วมกับเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกัน เพื่อส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุม ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเตรียมรายละเอียดของแผ่นออริฟิส และเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกัน โดยเริ่มต้นจากการหาข้อมูลความต้องการต่างๆไปต่างๆของเครื่องมือวัด และข้อมูลตัวแปรกระบวนการผลิตของเครื่องมือวัด ที่ถูกจัดเตรียมโดยส่วนออกแบบกระบวนการ (Process Engineering) จะเป็นดังนี้

ต้องการวัดอัตราการไหลของน้ำ (Water) มีสถานะเป็นของเหลว (Liquid), อัตราการไหลสูงสุด 50 m³/hr, อัตราการไหลปกติ 35 m³/hr และอัตราการไหลต่ำสุด 20 m³/hr, ความดันทำงาน 3.5 BarG, ความดันออกแบบ 5.0 BarG, อุณหภูมิทำงาน 30 Deg C, อุณหภูมิออกแบบ 100 Deg C, มีค่าความหนืด 0.88 cP และมีค่าความหนาแน่น 989 kg/m³



ภาพที่ 2.51 ตัวอย่างแผนภาพกระบวนการผลิต

เมื่อได้รับข้อมูลกระบวนการเบื้องต้นแล้ว จากนั้นผู้ออกแบบเครื่องมือวัดจะต้องจัดเตรียมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำไปคำนวณหาขนาดรูแผ่นออริฟิสจากโปรแกรมการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลที่แสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิตได้เป็นดังนี้

- ขนาดท่อจะเป็นขนาด 4 นิ้ว มีความหนาขนาด SCH 40 (ดูรายละเอียดจากแผนภาพกระบวนการผลิตและรายละเอียดระบบท่อ)
- เลือกวัสดุของหน้าแปลนตามวัสดุของท่อ ในตัวอย่างนี้จะใช้เป็น Carbon Steel
- เลือกวัสดุของแผ่นออริฟิสตามข้อกำหนดของผู้ใช้งาน ในตัวอย่างนี้จะใช้เป็น 316SS (ควรมีการตรวจสอบกับตารางการเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับของไหล)
- เลือกอัตราการทนความดันของหน้าแปลนตามอัตราการทนความดันของท่อ แต่หน้าแปลนของออริฟิสอัตราการทนความดันต่ำสุดจะใช้เป็น 300# เพราะสะดวกสำหรับการเจาะช่องสำหรับจุดต่อวัดความดันแตกต่าง หรือเป็นไปตามอัตราการทนความดันของท่อในกรณีที่สูงกว่า
- เลือกชนิดของออริฟิสเป็นแบบ Concentric เนื่องจากของไหลมีความหนืดไม่สูงและไม่มีการไหลวน และเลือกจุดต่อความดันเป็นแบบ Flange Tap
- ย่านการวัดที่ต้องการ 0-50 m³/hr (หรือ อัตราการไหลปกติอยู่ที่ประมาณ 70%)
- ความดันแตกต่างจากแผ่นออริฟิสเท่ากับ 250 mBar

นำข้อมูลทั้งหมดไปใช้ในการคำนวณหาขนาดรูของออริฟิส เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรต่างๆที่เลือกใช้นั้นเหมาะสมกับการนำไปใช้ ก่อนที่จะจัดส่งข้อมูลไปยังผู้จัดจำหน่าย จะได้ผลการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 2.51

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าตัวแปรต่างๆที่เลือกใช้นั้นเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และสามารถทราบขนาดรูแผ่นออริฟิสได้ และยังสามารถทราบค่าตัวแปรอื่นๆ สำหรับนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมได้ เช่น β หรือค่าความดันสูญเสียที่แผ่นออริฟิส เป็นต้น จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดไปใส่ในฟอร์มรายละเอียดมาตรฐานของแผ่นออริฟิสเพื่อใช้เก็บบันทึกและใช้ในการจัดส่งให้กับผู้จัดจำหน่าย โดยข้อมูลบางตัวจากผลการคำนวณจะไม่ใส่ลงไป เพื่อให้ผู้จัดจำหน่ายสามารถออกแบบและผลิตตามมาตรฐานที่ต้องการ แต่ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเมื่อได้รับรายละเอียดต่างๆจากผู้จัดจำหน่าย ฟอร์มรายละเอียดมาตรฐานของแผ่นออริฟิสแสดงได้ดังภาพที่ 2.52

Flowmeters: Orifice diameter calculation

Square edge orifice with flange tappings

The Flowmeter is sized according to ISO 5167-1 (1996) / R.W. Miller, Flow Meas. Eng. Handbook (1996)
100-FE -10001

Case:

Bottom Water

State: LIQUID

Fluid: Water

	Unit	Value
Full scale flow	m ³ /h	50
Operating flow	m ³ /h	35
Upstream pressure	bar-g	3.5
Operating temperature	°C	30
Density	kg/m ³	989
Viscosity	cP	0.8
Ambient temperature	°C	30
Differential range	mbar	250

Pipe material PLAIN CARBON STEEL (ANSI B36.19 & B36.10)
 Pipe linear expansion coefficient 0.000012 1/°C
 Line size & Schedule 4 in, sch 40
 Pipe diameter 4.026 in
 Orifice material PLAIN CARBON STEEL (ANSI B36.19 & B36.10)
 Orifice linear expansion coefficient 0.000012 1/°C

Results and Coefficients

	Unit	Value
Orifice diameter	mm	61.65
Beta ratio		0.603
Pressure loss @ maximum flow	mbar	153.9
Pressure loss @ operating flow	mbar	75.43
Pipe Reynolds number @ operating flow		149645
Discharge coefficient		0.6097
True maximum flow	m ³ /h	49.93

- Default: Bleed/vent hole diameter = 0

Domain: TEST3				Calculation Sheet - Flow Meters	
				Title Number: 100-FE -10001	
				Page 1 of 1	
No.	By	Date	Description	Signed By	Date, No.: 100-FE -10001-CL
					Rev.:

ภาพที่ 2.52 ผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 57 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ORIFICE PLATES and FLANGES		SPEC NO:		
				CONTRACT NO:		
CLIENT NAME :				SHEET_ OF_		
PROJECT NAME :						
LOCATION :						
INC	REQ	P.O.				
ORIFICE PLATES			ORIFICE FLANGES / FITTINGS			
1. Concentric <input checked="" type="checkbox"/> Other _____ 2. ISA Standard <input type="checkbox"/> Other ISO 5167 3. Bore: Maximum Rate <input checked="" type="checkbox"/> Nearest 1/8 in. <input type="checkbox"/> 4. Material: 304 SS <input type="checkbox"/> 316 SS <input checked="" type="checkbox"/> Other _____ 5. Ring Material & Type _____ 6. MFR & Model No. VTA			7. Taps: Flange <input checked="" type="checkbox"/> Vena Contracts <input type="checkbox"/> Pipe <input type="checkbox"/> Other _____ 8. Tap Size: 15 mm NS (1/2") <input checked="" type="checkbox"/> Other _____ 9. Type: Weld Neck <input checked="" type="checkbox"/> Slip On <input type="checkbox"/> Threaded <input type="checkbox"/> 10. Material: Carbon Steel <input checked="" type="checkbox"/> Other _____ 11. Flanges: Included <input checked="" type="checkbox"/> By Others <input type="checkbox"/> 12. MFR & Model No. _____			
GENERAL	13. Tag Number	100-FE-10001				
	Qty (Nos)	1				
	14. Service	Vessel bottom				
	15. PID No.	100-01				
	16. Line / Vessel No.	4" PL-100000-130-N				
	17. Line Size (Inch NS) Schedule	4"	40			
	18. Fluid Type	Water				
FLUID DATA	19. Fluid State	Liquid				
	20. Max. Flow - m ³ /hr	30				
	21. Nor. Flow - m ³ /hr	35				
	22. Min. Flow - m ³ /hr	20				
	23. Inlet Pressure BarG	3.5				
	24. Design Press. BarG	7.0				
	25. Max Press Drop Allowable					
	26. Operating Temp. (Inlet) DegC	30				
	27. Design Temp. (Max/Min) DegC	30				
	28. Operating Spec. Gravity					
METER	29. Compressibility Factor (Outlet) z					
	30. Molecular Weight (Outlet)					
	31. Specific Heat Ratio (Outlet) Cp/Cv					
	32. Viscosity (Outlet) cP	0.88				
	33. Operating Density (Outlet) kg/m ³	999				
	34. Base Press. PSIG Base Temp. °C					
	35					
	36					
	37					
	38. Type of Meter	DP				
PLATE & FLANGE	39. Diff Range - Dry mBar	0-250				
	40. Seal Se. Gr. at 60 µF					
	41. Static Press Range					
	42. Chart or Scale Range					
	43. Chart Multiplier					
	44					
	45. Beta = d/D	VTA				
OTHERS	46. Orifice Bore Diameter	VTA				
	47. Line ID					
	48. Flange Rating	300 #				
	49. Vent or Drain Hole	N/A				
	50. Plate Thickness mm	6.0				
	51					
52						
53						
54						
55						
56						
NOTES:						
Rev.	Date	Description	By	Checked	Approved	Client

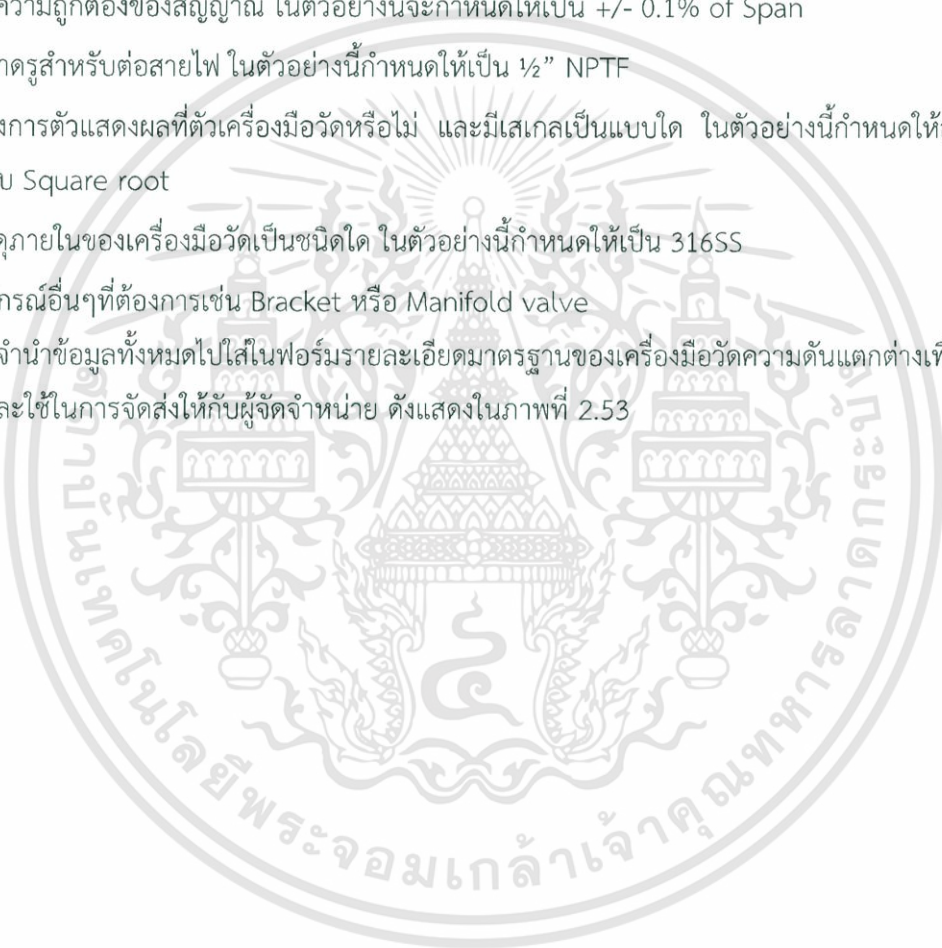
ภาพที่ 2.53 รายละเอียดแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 58 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจัดทำรายละเอียดของแผ่นออริฟิสแล้ว ต่อไปต้องมีการจัดทำรายละเอียดของเครื่องมือวัด ความดันแตกต่างกัน โดยมีตัวแปรต่างๆที่ต้องจัดเตรียมเป็นดังนี้

- ระบบป้องกันการเกิดประกายไฟในพื้นที่อันตราย โดยการแบ่งพื้นที่อันตรายสามารถดูได้จาก Hazardous area classification drawing เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนด ในตัวอย่างนี้จะให้พื้นที่อันตรายเป็น Zone 2 IIB T3 และจะเลือกอุปกรณ์เป็นแบบ Ex 'ib'
- สัญญาณเอาต์พุตจากอุปกรณ์เป็นแบบใด ในตัวอย่างนี้จะใช้เป็น 4-20 mA 24 VDC Loop powered with HART
- ค่าความถูกต้องของสัญญาณ ในตัวอย่างนี้จะกำหนดให้เป็น +/- 0.1% of Span
- ขนาดรูสำหรับต่อสายไฟ ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เป็น 1/2" NPTF
- ต้องการตัวแสดงผลที่ตัวเครื่องมือวัดหรือไม่ และมีสเกลเป็นแบบใด ในตัวอย่างนี้กำหนดให้สเกลแบบ Square root
- วัสดุภายในของเครื่องมือวัดเป็นชนิดใด ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เป็น 316SS
- อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการเช่น Bracket หรือ Manifold valve

จากนั้นนำมาข้อมูลทั้งหมดไปใส่ในฟอร์มรายละเอียดมาตรฐานของเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกันเพื่อใช้ เก็บบันทึกและใช้ในการจัดส่งให้กับผู้จัดจำหน่าย ดังแสดงในภาพที่ 2.53

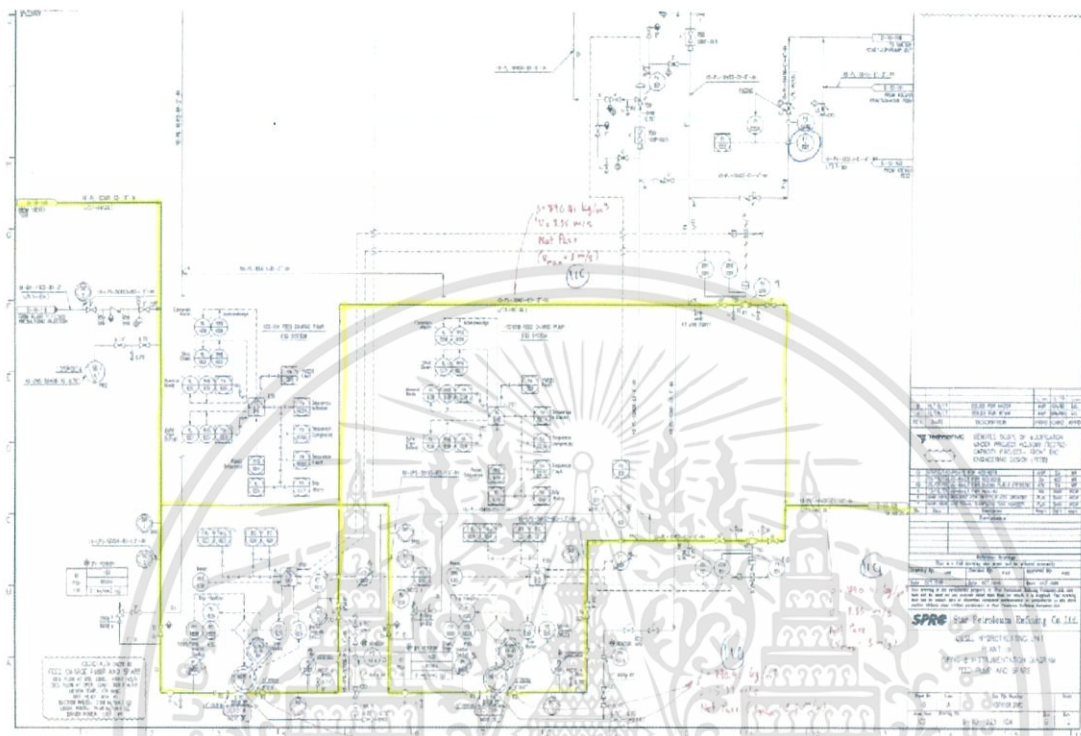


		DP FLOW TRANSMITTERS				SPEC NO:			
						CONTRACT NO:			
CLIENT NAME :						Sheet of			
PROJECT NAME :									
LOCATION :									
INQ.		REQ.		P.O.					
GENERAL									
1 Tag Number: See table below		Service: See table below							
2 Function		Record <input type="checkbox"/> Indicate <input type="checkbox"/> Control <input type="checkbox"/> Blind <input type="checkbox"/> Trans <input checked="" type="checkbox"/> Integ <input type="checkbox"/> Other							
3 Case		MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Nominal Size		Colour: MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Other					
4 Mounting		Flush <input type="checkbox"/> Surface <input type="checkbox"/> Yoke <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/> On 2" Pipe Stand							
5 Enclosure Class		General Purpose <input type="checkbox"/> Weatherproof <input type="checkbox"/> Explosion Proof <input type="checkbox"/> Class Zone 2 (B T3)							
6 Power Supply		Intrinsically Safe EEx ib <input checked="" type="checkbox"/> Other							
7 Chart		AC <input type="checkbox"/> V _____ Hz		DC <input checked="" type="checkbox"/> 24 _____ V					
8 Chart Drive		12 in. Circ. <input type="checkbox"/> Other _____		Range _____		Number _____			
9 Scales		24 hr <input type="checkbox"/> Other _____		ELECTRIC <input type="checkbox"/> Spring <input type="checkbox"/> Other _____					
		Type Square root		Range: 1 0 - 100 %		2 _____ 3 _____			
TRANSMITTER									
10 Transmitter Output		4-20 mA <input checked="" type="checkbox"/> 20-100 kPa _____ Other							
Accuracy		± 0.1% of Span							
Cable Entry Connection		1/2 in. NPT <input checked="" type="checkbox"/> Other _____							
PROCESS DATA									
11 Service		Flow <input checked="" type="checkbox"/> Level _____ Diff Pressure _____ Other _____							
12 Element Type		Diaphragm <input checked="" type="checkbox"/> Bellows _____ Mercury _____ Other _____							
13 Material		Body MFR Std _____ Element 316 SS _____ Capillary _____							
14 Rating		Overrange _____		Body Rating IP 65 _____					
15 Diff. Range		Fixed _____ Adjust Range _____ VTA _____		Set at 0 - 250 mBar _____					
16		Elevation Required _____		Suppression Required _____					
17 Process Design Data		Fluid _____ Design Temp _____		Design Press _____					
18 Process Connection		Liquid Density _____ Gas Density _____							
		1/2 in. NPT <input checked="" type="checkbox"/> Other _____							
OPTIONS									
19 Options		Filter Regulator _____		Supply Gauge _____		Output Gauge _____ Charts _____			
		Diaphragm Seal _____		Type _____		(Integral) _____			
		Conn. _____		Capillary Length _____		Material _____			
		Other _____							
MODEL									
20 MFR & Model Number									
None:									
ITEM	TAG NUMBER	SERVICE	FLUID	ADJUST RANGE	SET RANGE mBar	DESIGN TEMP Deg C	DESIGN PRESS BarG	P&ID NUMBER	NOTES
1	100-FI-100/01	Custom vessel water	Water	VTA	0 - 250	100	16	100-01	
Rev.	Date	Description	By	Checked	Approved	Client			

ภาพที่ 2.54 เอกสารรายละเอียดเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 60 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างของ Yellow Mark-Up P&ID Unit 2

3.1 ภาพรวมของโปรเจ็ค

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ 1 เพื่อที่จะตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่อยู่ในเส้นที่ของขีดทับด้วยสีเหลืองหรือเรียกว่า Yellow Line ซึ่งจะเป็น Pipe Line ของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะถูกขีดทับด้วยสีเหลือง ซึ่ง P&ID นี้จะได้มาจากแผนก Process ซึ่ง P&ID จะมีแบ่งเป็น Unit โดย Yellow Line Mark-Up P&ID จะมีด้วยกันทั้งหมด 8 Unit ได้แก่ Unit 2,3,6,7,10,11,15,16 โดยเราจะทำการนับอุปกรณ์ Instrument ทุกตัวที่อยู่ใน Yellow Line ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกนำไปสร้างฐานข้อมูลเพื่อกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือวัดต่อไป ซึ่งฐานข้อมูลต่างๆจะถูกนำมาสร้างเป็น Range Ability ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในตรวจเช็คอุปกรณ์ Existing Instrument ว่ายังสามารถใช้กับกระบวนการใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้หรือไม่แล้วถ้าอุปกรณ์ตัวนั้นใช้กับกระบวนการใหม่ไม่ได้เราจะต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ตัวนั้นหรือนำไปสอบเทียบโดยการทำให้ Calculation เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงอีกด้วย โดยฐานข้อมูลนี้จะถูกสร้างด้วยโปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	NO	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE
2				
3	1	D-03-1225-102	03-PI-2632	PRESSURE GAUGE
4	2	D-03-1225-102	03-TW-1632	THERMOWELL
5	3	D-03-1225-102	03-TI-1632	BIMETALLIC THERMOMETER
6	4	D-03-1225-102	03-PI-2633	PRESSURE GAUGE
7	5	D-03-1225-102	03-TW-1633	THERMOWELL
8	6	D-03-1225-102	03-TI-1633	BIMETALLIC THERMOMETER
9	7	D-03-1225-103	03-HV-271	CONTROL VALVE
10	8	D-03-1225-104	03-FE-001	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
11	9	D-03-1225-104	03-FT-001	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
12	10	D-03-1225-104	03-FT-011	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
13	11	D-03-1225-104	03-FE-002	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
14	12	D-03-1225-104	03-FT-002	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
15	13	D-03-1225-104	03-FT-012	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
16	14	D-03-1225-104	03-FE-003	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
17	15	D-03-1225-104	03-FT-003	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
18	16	D-03-1225-104	03-FT-013	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
19	17	D-03-1225-104	03-FE-004	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
20	18	D-03-1225-104	03-FT-004	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
21	19	D-03-1225-104	03-FT-014	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
22	20	D-03-1225-104	03-FE-021	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
23	21	D-03-1225-104	03-FT-021	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
24	22	D-03-1225-104	03-FE-022	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
25	23	D-03-1225-104	03-FT-022	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
26	24	D-03-1225-104	03-FE-023	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
27	25	D-03-1225-104	03-FT-023	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
28	26	D-03-1225-104	03-FE-024	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT
29	27	D-03-1225-104	03-FT-024	FLOW DIFF. PRESSURE TRANSMITTER
30	28	D-03-1225-104	03-FV-001	CONTROL VALVE
31	29	D-03-1225-104	03-FV-002	CONTROL VALVE
32	30	D-03-1225-104	03-FV-003	CONTROL VALVE
33	31	D-03-1225-104	03-FV-004	CONTROL VALVE

Report

TT

TI

TE

TW

FE

FE (SEG WEDGE)

FT

ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างหน้า report ของ Range-Ability Unit 3

เมื่อเรานับจำนวน Instrument ใน P&ID Yellow Line Mark Up ในจำนวนที่แน่นอนแล้วเราจะทำการใส่ข้อมูลต่างๆในหน้า report page โดยจะทำ P&ID ที่ละหน้าเพื่อให้ง่ายแก่การตรวจสอบ ซึ่งข้อมูลที่ใส่ใน report จะเป็นข้อมูลง่ายๆก่อนได้แก่ 1.No. 2.P&ID No. 3.Tag No. 4.Instrument Type โดยทำไปให้ครบทุกหน้าของ Unit นั้นๆ แล้วจึงมาแยก Type ต่างๆของอุปกรณ์แต่ละตัวว่าเป็นชนิดใด เช่น Temperature Transmitter, Pressure Gauge, Flow meter อื่นๆ โดยรายละเอียดของแต่ละ Type เป็นดังนี้

3.2 Temperature Transmitter Range ability

ให้ filter เอาเฉพาะ TT จากหน้า report แล้วมาสร้างหน้าต่างแยกอีกหน้าต่างหนึ่ง โดยในหน้าต่างนั้นโดยใส่ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเก่ากับค่าใหม่ ซึ่งข้อมูลต่างๆจะหาได้จาก Line list specification ที่แผนก Process ได้ทำไว้แล้ว โดยค่าที่ใช้เปรียบเทียบจะได้แก่ ค่า Operating Temp, Design Temp และ Calibration Range โดยจะเทียบระหว่างค่า Operating กับ Design ก่อนว่าอยู่ใน Design หรือไม่ ถ้าค่า Operating มากกว่าจะสามารถ Calibration ใหม่ได้หรือไม่โดยเทียบค่ากับ Calibration Range ถ้าค่า Operating มากกว่า Calibration Range ก็ต้องทำการซื้อ Transmitter ตัวใหม่

NO	PAID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	CALIBRATION RANGE	UNIT	OPER_TEMP	Design Temp	REMARK
1	D-16-1225-127	16-TT-201	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-12715-C3-8"-ST	0-400	°C	158	230	Adequate
2	D-16-1225-129	16-TT-207	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PG-12901-B8-32"-PP	0-250	°C	133	150	Adequate
3	D-16-1225-129	16-TT-344	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-12906-NXB12-16"-IH	0-600	°C	292	332	Adequate
4	D-16-1225-129	16-TT-346	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-12904-B5-16"-IH	0-500	°C	249	267	Adequate
5	D-16-1225-129	16-TT-626	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-12902-B5-8"-IH	0-400	°C	195	215	Adequate
6	D-16-1225-130	16-TT-209	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13001-NXC4-10"-ST	0-700	°C	362	394	Adequate
7	D-16-1225-131	16-TT-362	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13102-NXC4-8"-ST	0-600	°C	296	394	Adequate
8	D-16-1225-132	16-TT-364	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13202-NXC4-8"-ST	0-600	°C	296	394	Adequate
9	D-16-1225-133	16-TT-496	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13301-NXC4-8"-ST	0-600	°C	296	394	Adequate
10	D-16-1225-134	16-TT-202	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13103-NXC4-10"-ST	0-600	°C	296	394	Adequate
11	D-16-1225-134	16-TT-210	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13403-C3-8"-ST	0-500	°C	193	300	Adequate
12	D-16-1225-134	16-TT-211	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13403-C3-8"-ST	0-500	°C	193	300	Adequate
13	D-16-1225-134	16-TT-367	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13401-C3-8"-ST	0-550	°C	193-238	300	Adequate
14	D-16-1225-134	16-TT-368	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13408-C2-8"-ST	0-500	°C	244-270	394	Adequate
15	D-16-1225-134	16-TT-369	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13402-C3-6"-ST	0-550	°C	193-238	300	Adequate
16	D-16-1225-134	16-TT-389	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13408-C2-8"-ST	0-500	°C	244-270	394	Adequate
17	D-16-1225-134	16-TT-750	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13403-C3-8"-ST	0-500	°C	193	300	Adequate
18	D-16-1225-135	16-TT-371	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13501-C2-8"-ST	0-450	°C	209-227	268	Adequate
19	D-16-1225-136	16-TT-113	TEMPERATURE TRANSMITTER	16-PL-13601-C2-4"-ST	0-350	°C	140	247	Adequate

ภาพที่ 3.3 Range Ability ของ Temperature Transmitter Unit 16

3.3 Temperature Element Range ability

ให้ทำโดย filter เอาเฉพาะ TE จากหน้า Report แล้วนำไปสร้างในตารางใหม่ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบค่า 2 ค่าได้แก่ Operating Temp กับ Design Temp ถ้าหากว่า Operating Temp มีค่าเกินกว่า Design Temp ต้องทำการเปลี่ยน Temperature Element ใหม่ทันที

NO.	TAG	PAID NO.	INSTRUMENT TYPE	REMARK	Line No.	OPER_TEMP	Design Temp
1	16-TE-201	D-16-1225-127	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-12715-C3-8"-ST	158	230
2	16-TE-207	D-16-1225-129	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PG-12901-B8-32"-PP	133	150
3	16-TE-344	D-16-1225-129	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-12906-NXB12-16"-IH	292	332
4	16-TE-346	D-16-1225-129	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-12904-B5-16"-IH	249	267
5	16-TE-626	D-16-1225-129	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-12902-B5-8"-IH	195	215
6	16-TE-209	D-16-1225-130	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13001-NXC4-10"-ST	362	394
7	16-TE-362	D-16-1225-131	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13102-NXC4-8"-ST	296	394
8	16-TE-364	D-16-1225-132	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13202-NXC4-8"-ST	296	394
9	16-TE-496	D-16-1225-133	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13301-NXC4-8"-ST	296	394
10	16-TE-202	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13103-NXC4-10"-ST	296	394
11	16-TE-210	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13403-C3-8"-ST	193	300
12	16-TE-211	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13403-C3-8"-ST	193	300
13	16-TE-367	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13401-C3-8"-ST	193-238	300
14	16-TE-368	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13408-C2-8"-ST	244-270	394
15	16-TE-369	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13402-C3-6"-ST	193-238	300
16	16-TE-389	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13408-C2-8"-ST	244-270	394
17	16-TE-750	D-16-1225-134	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13403-C3-8"-ST	193	300
18	16-TE-371	D-16-1225-135	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13501-C2-8"-ST	209-227	268
19	16-TE-113	D-16-1225-136	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13601-C2-4"-ST	140	247
20	16-TE-375	D-16-1225-136	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13603-C2-4"-ST	89	100
21	16-TE-351	D-16-1225-137	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-13704-C3-4"-IH	244	273
22	16-TE-124	D-16-1225-140	TEMPERATURE ELEMENT	OK	16-PL-14003-C3-8"-PP	170	225

ภาพที่ 3.4 Range Ability ของ Temperature Element Unit 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 63 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Thermowell Range ability

ในส่วนนี้จะต้องมีการคำนวณหาความเร็วของไหลที่ไหลใน pipe และคำนวณว่า Thermowell สามารถทนกับกระบวนการได้หรือไม่ ซึ่งจะใช้ 16-TW-504 เป็นตัวอย่างในการคำนวณ

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Velocity	d	D	A	flowrate	result	
62	D-16-1225-151	16-TW-418	THERMOWELL	16-P2-15002-B10-24"	12.90	584.2	0.5842	0.26005	13.6	170147	Existing can be used
63	D-16-1225-133	16-TW-496	THERMOWELL	16-PL-13301-XXC4-6"-ST	1.53	202.72	0.20272	0.03228	894.7	159359	Existing can be used
64	D-16-1225-161	16-TW-499	THERMOWELL	16-PL-16112-C3-8"-H	2.59	202.72	0.20272	0.03228	684.7	266668	Existing can be used
65	D-16-1225-150	16-TW-501	THERMOWELL	16-PL-15002-B5-8"	2.30	154.06	0.15406	0.01884	702.8	108341	Existing can be used
66	D-16-1225-154	16-TW-502	THERMOWELL	16-PG-15302-B10-24"-ST	28.39	584.2	0.5842	0.26805	3.1	84090	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
67	D-16-1225-158	16-TW-503	THERMOWELL	16-PG-15501-TC20-12"-PP	11.25	295.29	0.29529	0.06648	24.9	86992	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
68	D-16-1225-154	16-TW-504	THERMOWELL	16-PG-15401-B10-14"-PP	28.74	336.56	0.33656	0.08896	9.1	84090	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
69	D-16-1225-154	16-TW-505	THERMOWELL	16-PG-15401-B10-14"-PP	28.74	336.56	0.33656	0.08896	9.1	84090	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
70	D-16-1225-146	16-TW-507	THERMOWELL	16-PL-12903-B5-6"-H	0.37	154.06	0.15406	0.01664	758.6	16907	Existing can be used
71	D-16-1225-176	16-TW-509	THERMOWELL	16-SW-17602-C6-4"	1.08	97.18	0.09718	0.00742	983.4	28572	Existing can be used
72	D-16-1225-155	16-TW-510	THERMOWELL	16-PG-15701-B10-14"-ST	24.45	336.56	0.33656	0.08896	8.6	86992	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
73	D-16-1225-156	16-TW-513	THERMOWELL	16-P2-15602-B10-16"	17.53	387.36	0.38736	0.11785	13.4	96432	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
74	D-16-1225-158	16-TW-514	THERMOWELL	16-P2-15801-TC20-12"	8.22	295.29	0.29529	0.06648	41.4	83977	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
75	D-16-1225-159	16-TW-518	THERMOWELL	16-P2-15801-TC20-16"	7.34	373.08	0.37308	0.10932	91.6	264515	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix density and mix velocity)
76	D-16-1225-159	16-TW-519	THERMOWELL	16-P2-15901-TC20-16"	5.83	373.08	0.37308	0.10932	115.2	284508	Existing can be used
77	D-16-1225-160	16-TW-520	THERMOWELL	16-PG-16001-TC20-12"	7.60	296.29	0.29629	0.06648	16.6	36223	Existing can be used
78	D-16-1225-161	16-TW-522	THERMOWELL	16-PG-16101-TC20-12"	7.60	193.38	0.19338	0.02648	26.1	19678	Inadequate (Cal not passed, base on total flow, mix

ภาพที่ 3.5 Range Ability ของ Thermowell Unit 16

โดยในการคำนวณหาความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านเทอร์โมเวลล์นั้นจะใช้สูตรในการหาดังนี้

Velocity calculation

Formula

$$v = \frac{M}{\rho \times A \times 3600}$$

where

v = velocity of fluid in pipe, m/s

M = mass flow rate, kg/h

ρ = fluid density, kg/m³

A = Pipe internal crosssectional area, m²

ภาพที่ 3.6 สูตรการคำนวณความเร็วของไหลในท่อ

โดยในตอนแรกก็ต้องมาหาตัวแปรแต่ละตัวก่อน ซึ่ง M และ ρ นั้น สามารถเปิดดูได้จาก Line list specification สิ่งที่เราต้องหาคือ A โดยการหา A จะหาจากการใช้เส้นรอบวงภายในของท่อมาหาซึ่งเราจะหาได้จากการดู Pipe size และ Pipe class ของ Line No. แล้วนำมาเปิดเทียบกับ pipe specification

ซึ่ง 16-TW-504 มี Pipe size 14 นิ้ว Pipe class B10 ซึ่งจะได้ Schedule 30

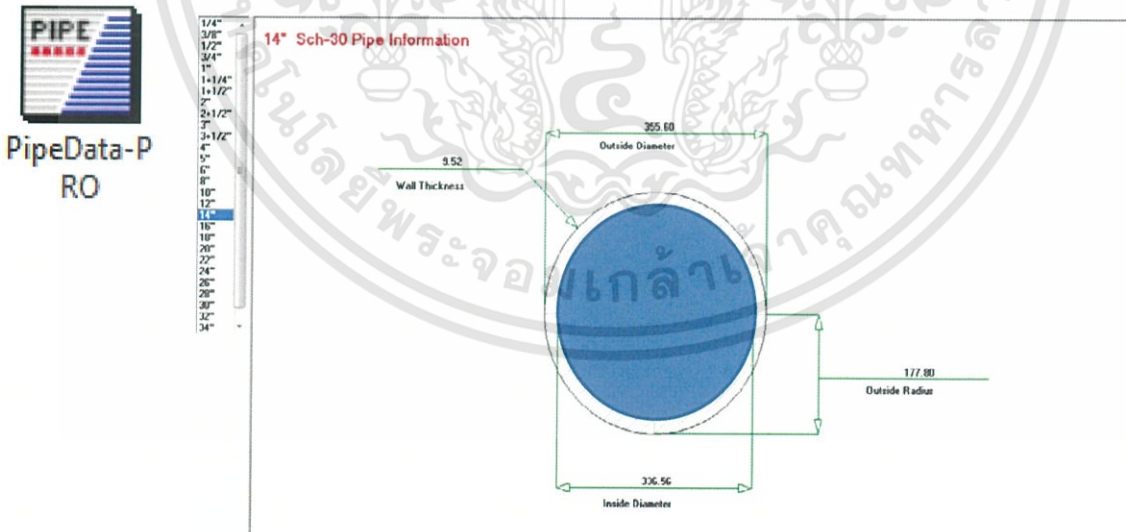
RUN SIZE	BRANCH CONNECTIONS 90 DEGREES																													
	BRANCH SIZE																													
	1/2	3/4	1	1-1/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30										
30	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
28	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
26	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
24	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
22	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
20	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
18	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
16	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
14	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
12	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
10	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
8	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
6	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
4	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
3	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
2	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A										
1-1/2	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A										
1	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A										
3/4	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A										
1/2	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A										

TABLE OF SCHEDULES																														
SIZE	1/2	3/4	1	1-1/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30										
SCH.	160	160	XXS	160	160	160	80	80	40	40	40	30	30	30																
THICKNESS															13	13	13	13	13	13										

B8A	B9	B10	B10A	B11	B15	B15-4	C2	C3	C3-8	C3A
-----	----	------------	------	-----	-----	--------------	----	----	-------------	-----

ภาพที่ 3.7 Piping specification ที่ Pipe Class B10

จากนั้นให้เราเปิดโปรแกรม PipeData-PRO ขึ้นมา ซึ่งจะเป็นโปรแกรมที่ใช้หาค่า Pipe Internal Diameter โปรแกรมจะอ้างอิงเทียบกับมาตรฐาน โดยเราเลือก Pipe size กับ Schedule ที่เราต้องการหาในโปรแกรม



ภาพที่ 3.8 การหา Pipe ID โดยใช้โปรแกรม PipeData-PRO

โดยผลลัพธ์จะได้ค่า Pipe ID ที่ 336.56 mm. จากนั้นให้นำค่าต่างๆไปใส่ในโปรแกรม excel ที่ได้สร้างสูตรหาค่าความเร็วจากสมการการคำนวณของไหลไว้แล้ว

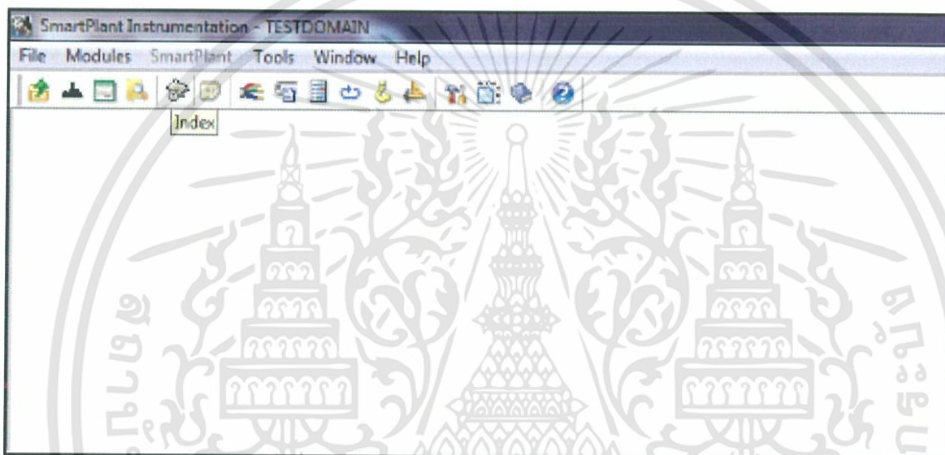
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 65การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Velocity	d	D	A	Flowrate (kg/h)	result	
67	D-16-1225-158	16-TW-503	THERMOWELL	16-PG-15501-TC20-12-PP	11.25	295.29	0.29529	0.06848	24.9	68902	inadequate (Cal not passed base on total flow, mx density and mx velocity)
68	D-16-1225-154	16-TW-504	THERMOWELL	16-PG-15401-B10-14-PP	26.74	336.56	0.33656	0.08896	9.1	84000	inadequate (Cal not passed base on total flow, mx density and mx velocity)

ภาพที่ 3.9 ค่าต่างๆถูกใช้ในการคำนวณความเร็วของไหลในท่อแล้วได้ผลลัพธ์เป็นความเร็วในหน่วย m/s

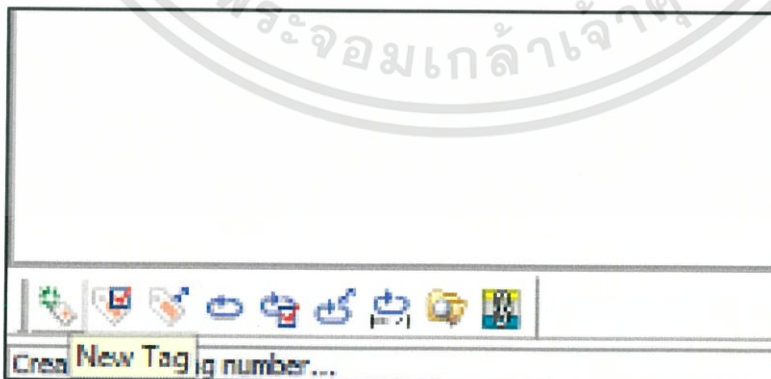
จากนั้นให้ใช้โปรแกรม Smart Plant (2013) ซึ่งจะเป็นโปรแกรมที่ไว้เก็บข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบของแผ่นก Instrument และยังมีฟังก์ชัน Calculation ของอุปกรณ์ต่างๆอีกด้วย ซึ่งเราจะใช้ smartplant ในการคำนวณ Thermowell โดยขั้นตอนในการใช้โปรแกรมมีดังนี้

1.คลิกไปที่ Index



ภาพที่ 3.10 ฟังก์ชัน Index ของโปรแกรม Smartplant

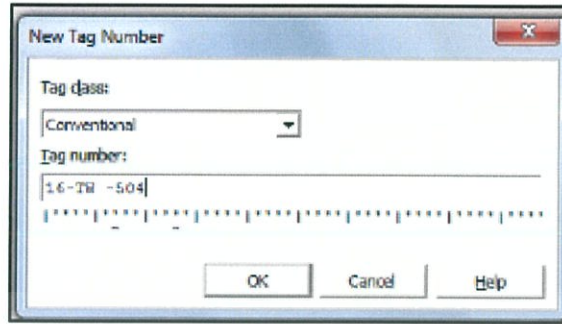
2.จากนั้นสร้าง New tag



ภาพที่ 3.11 ฟังก์ชัน New Tag

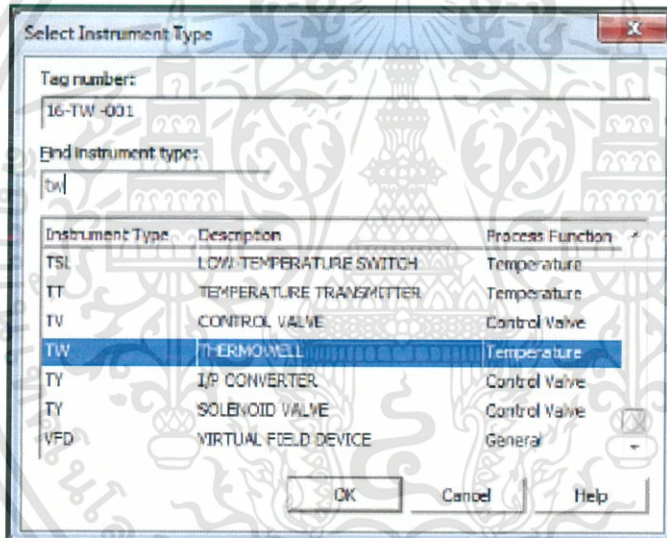
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 66 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้งชื่อ tag ของเรา



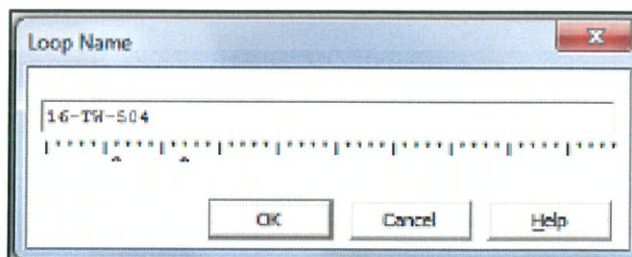
ภาพที่ 3.12 ตั้งชื่อ Tag

4. เลือก Type ของ Instrument



ภาพที่ 3.13 การเลือก Type

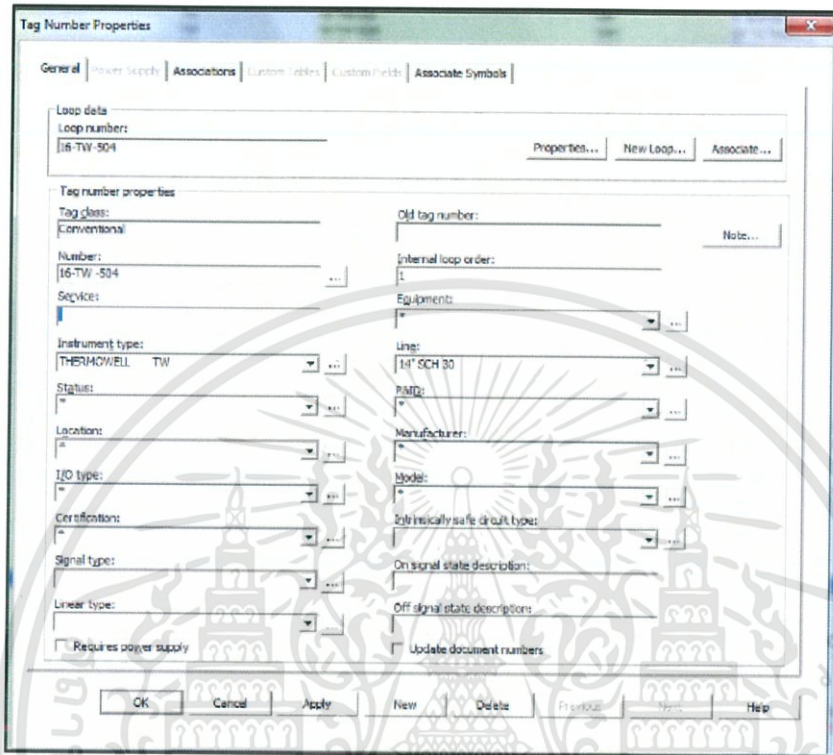
5. ตั้งชื่อ Loop



ภาพที่ 3.14 การตั้งชื่อ Loop

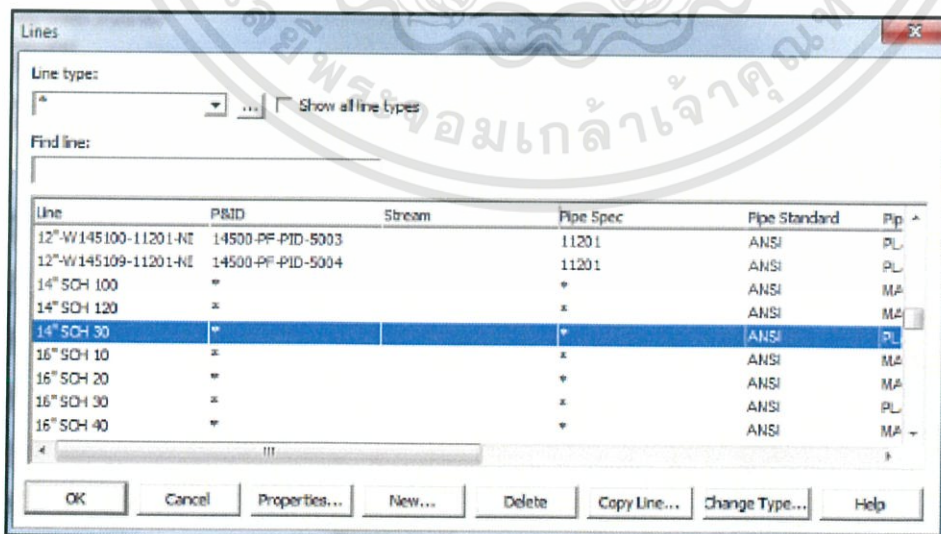
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 67 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.เลือก size และ schedule ของท่อ



ภาพที่ 3.15 การเลือก size และ schedule

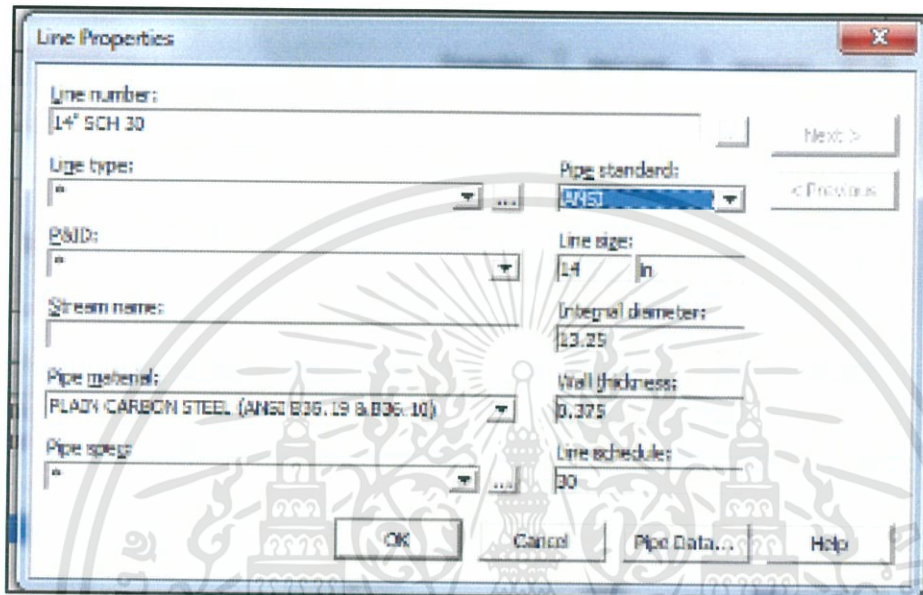
7.โดยเมื่อคลิกไปดูจะมีหลาย size และหลาย schedule



ภาพที่ 3.16 หน้าต่างที่ให้เลือก size และ schedule ของท่อ

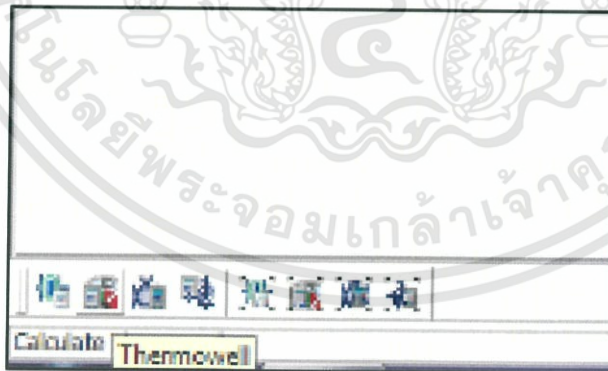
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 68 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากยังไม่มี size ที่เราต้องการก็สามารถสร้างใหม่ได้โดยคลิกที่ New โดย Schedule ดูได้โดยการเทียบตารางกับ Piping Specification โดยจะใช้มาตรฐาน ANSI จากนั้นเลือกขนาดกับ Schedule ที่เราต้องการ เมื่อเลือกตัวแปรเรียบร้อยแล้วให้กด OK ทุกหน้าต่าง



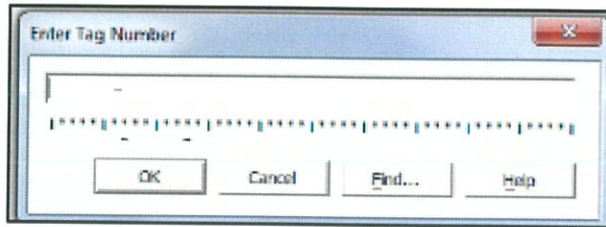
ภาพที่ 3.17 การสร้าง New Line size และ Line schedule

8.เรียกใช้ฟังก์ชัน Calculation



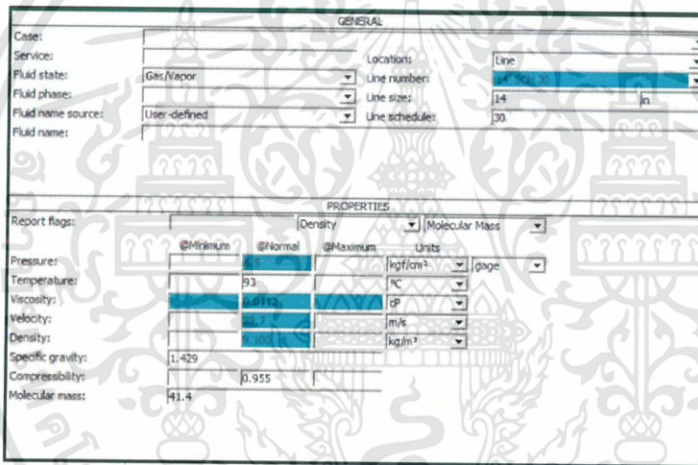
ภาพที่ 3.18 หน้าต่างของฟังก์ชัน Calculation

9.จากนั้นคลิกไปที่สัญลักษณ์ Thermowell ด้านล่าง เมื่อคลิกขึ้นมาแล้วให้กรอก tag number ที่เราต้องการ Calculation

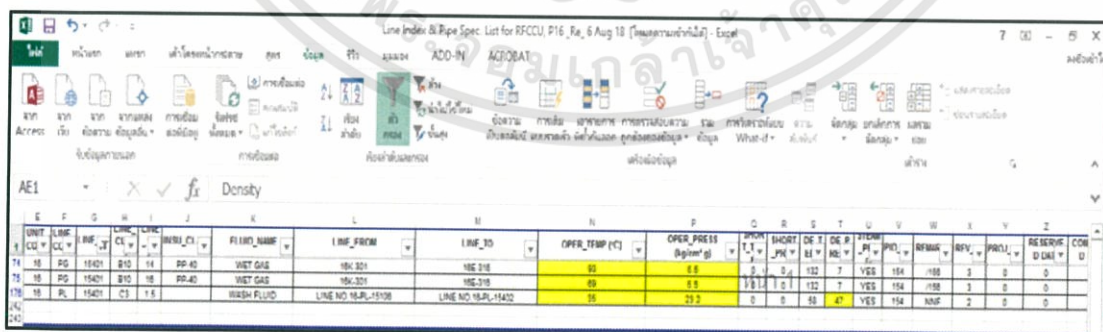


ภาพที่ 3.19 การเรียก tag ของ Thermowell มาคำนวณ

10.เมื่อกรอกเสร็จแล้วจะได้หน้าต่างนี้ขึ้นมา ซึ่งเราจะทำการกรอกรายละเอียดของไหลในท่อในช่อง Property โดยค่าต่างๆหาได้จากการเปิด Line list specification



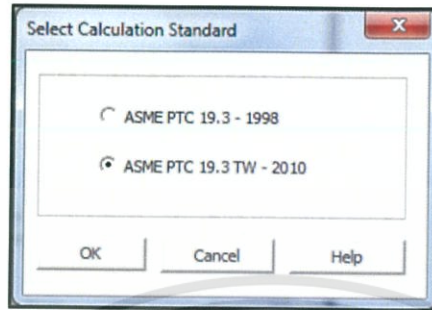
ภาพที่ 3.20 ค่ารายละเอียดของของไหลในกระบวนการที่ต้องใช้ในการคำนวณ Thermowell



ภาพที่ 3.21 Line List Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 70 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการตีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

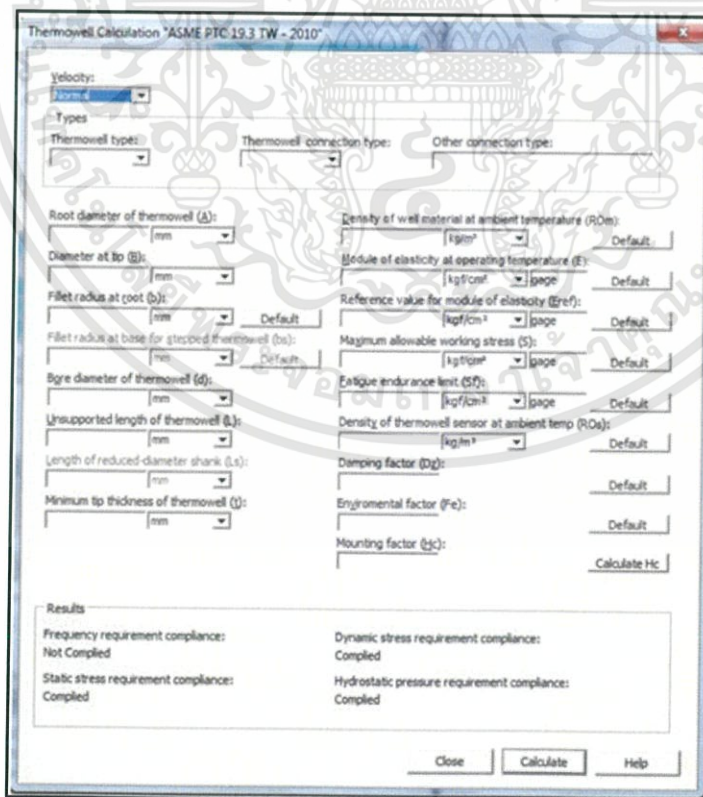
11.เมื่อกดเสร็จแล้วให้คลิกที่ช่อง calculate ด้านล่าง ซึ่งจะขึ้นมาตรฐานให้เราเลือกว่าจะ calculate ของเวอร์ชันไหน โดยเราจะเลือกไปที่ ASME PTC 19.3 2010



ภาพที่ 3.22 การเลือกมาตรฐานในการคำนวณ Thermowell

ในการคำนวณโดยจะต้องกรอกค่าตามด้านล่างนี้ โดยรายละเอียดที่เราต้องกรอกมีดังนี้

1. Thermowell Type
2. Thermowell connection type
3. Root diameter of thermowell
4. Diameter at tip
5. Bore Diameter of thermowell
6. Unsupported Length of thermowell
7. Minimum tip thickness of thermowell



ภาพที่ 3.23 หน้าต่างรายละเอียดของ Thermowell ที่ต้องระบุในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 71 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Thermowell Type ที่โรงกลั่นใช้อยู่ทั้งหมดเป็นชนิด Tepered ส่วนรายละเอียดอื่นๆเราสามารถดูได้จาก Temperature Element/Thermowell datasheet หรือ Thermowell datasheet

JGC CORPORATION		No. 5-16-1373-407			
DATA SHEET		SHEET 22 OF 43			
RESISTANCE BULBS AND WELLS					
ITEM No.	REV No.	75	76	77	78
QUANTITY		1	1	1	1
TAG No. (COMBINED)		16TW/TE501	16TW/TE502	16TW/TE503	16TW/TE504
LOOP TAG No.		16T501	16T502	16T503	16T504
COMPONENT NAME		RTD WL	RTD WL	RTD WL	RTD WL
SERVICE OR LOCATION		TOP REFLUX FR MAIN FRAC TOP REFLUX PMP 16G-208A/B	WET GAS TO WET GAS COMPRESSOR 1ST STG 16K-301	WET GAS TO WET GAS COMP DISCH AIR CLR 26E-302	WET GAS FR WET GAS COMPRESSOR 1ST STG 16K-301
ELEMENT : TAG NO.		16TE501	16TE502	16TE503	16TE504
TYPE		(1) SE	SE	SE	SE
MAT'L & RESISTANCE(2)		PT 100 ohms	PT 100 ohms	PT 100 ohms	PT 100 ohms
WELL : TAG NO.		16TW501	16TW502	16TW503	16TW504
TYPE		(3) G1	G1	G1	G1
DESIGN PRESS. Kg/cm2G		8.00	3.50	21.90	7.00
DESIGN TEMP deg C		58.0	58.0	132.0	115.0
CONNE. SIZE		1.5"	1.5"	1.5"	1.5"
CTEON RATING (4)		150 RF	150 RF	300 RF	150 RF
LENGTH (H) mm		280	400	300	300
MAT'L		316SS	316SS	316SS	316SS

ภาพที่ 3.24 Temperature Element/Thermowell datasheet

โดยรายละเอียดต่างๆของ Thermowell จะอยู่ในส่วนของ Well โดยจะต้องสังเกตที่ Tag No. ให้ตรงกับ Thermowell ที่ต้องการจากนั้นให้มาดูที่ Type โดย 16-TW-504 โดย Type จะเป็น G1 จากนั้นให้เปิดตัวตารางเพื่อดูว่า Thermowell Class นี้จะให้ค่า Diameter เท่าไรบ้าง โดย Class G1 จะให้ค่าดังนี้
 1.Root Diameter = 20 mm. 2.Tip Diameter = 16 mm. 3.Bore Diameter = 9 mm.
 ส่วน minimum tip thickness จะให้เป็นค่า Standard ที่ 5 mm ตามมาตรฐาน ASME PTC 19.3

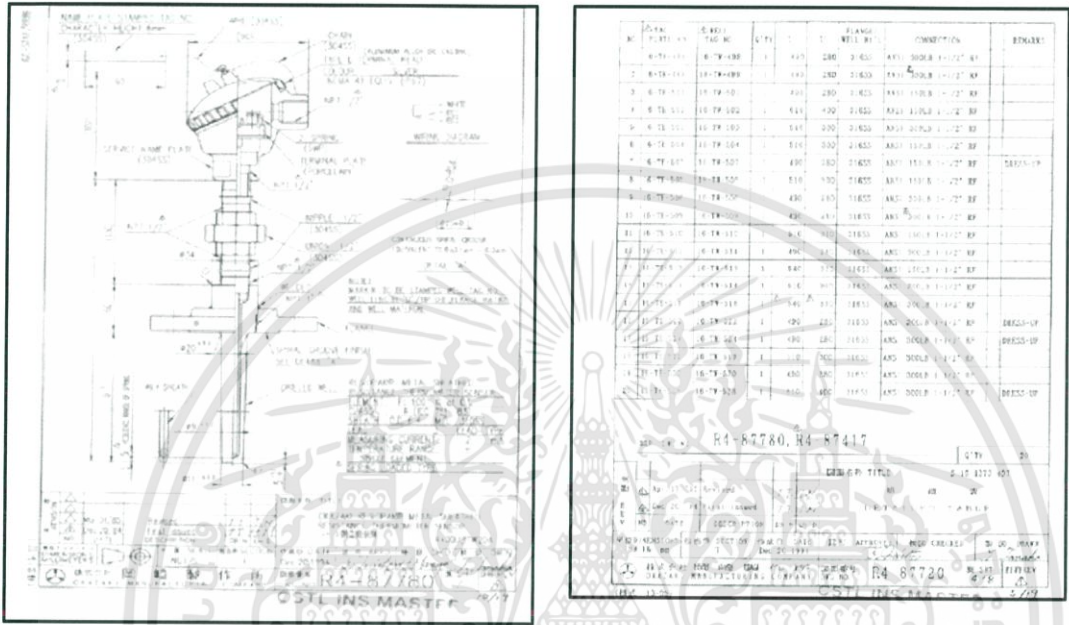
CLASS G1				
CLASS	D1	D2	d	CONNECTION
G1	20	16	9	Note - 1
G2	25	21	11	Note - 1

CLASS G2				
CLASS	D1	D2	d	CONNECTION
G1	20	16	9	Note - 1
G2	22	18	11	Note - 1

ภาพที่ 3.25 ตาราง Thermowell Class

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 72 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใน Temperature Element จะให้ค่า Connection size 1.5" ,Connection Rating 150#RF และ U length 300 mm หรืออีกวิธีหนึ่งคือสามารถดูได้จาก Thermowell Drawing ซึ่งจะระบุรายละเอียดเฉพาะ Thermowell

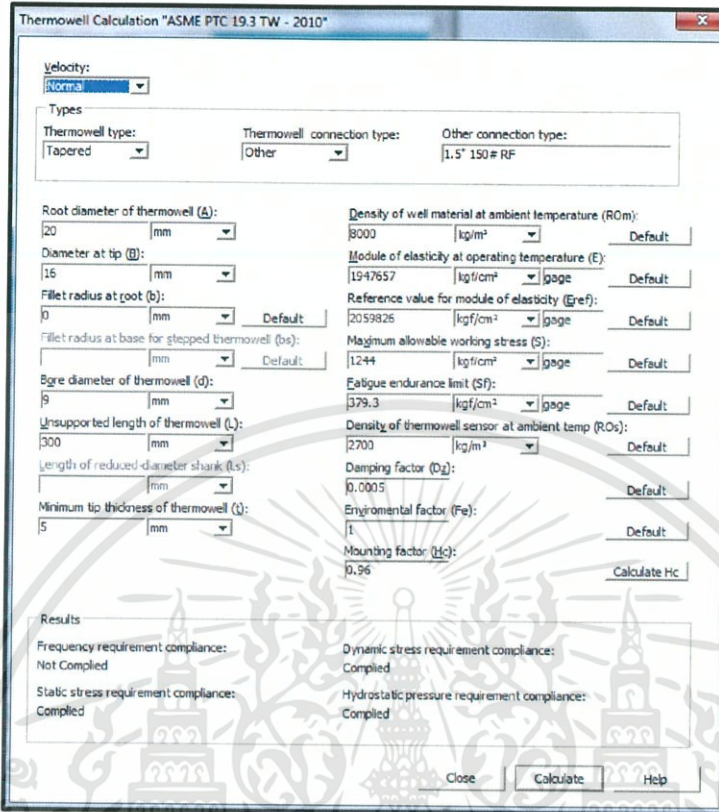


ภาพที่ 3.26 Thermowell Drawing

จากนั้นให้เลือกหรือกรอกรายละเอียดดังกล่าวลงในตัวโปรแกรมถ้าในส่วนใดมีปุ่ม Default ให้กดปุ่ม Default ให้หมดเพราะจะเป็นการ Autocalculation ค่าที่ตัวแปรต่างๆที่โปรแกรมตั้งไว้ให้ เมื่อใส่รายละเอียดต่างๆเรียบร้อยแล้วให้กด Calculate ด้านล่าง โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังนี้ โดยผลลัพธ์จะแสดงการ complied ของ 4 ตัวแปรได้แก่

1. Frequency requirement complied
2. Dynamic stress requirement complied
3. Static stress requirement complied
4. Hydrostatic pressure requirement complied

ซึ่งผลลัพธ์ที่แสดงต้องแจ้งว่า Complied หมดทุกตัวถ้าแจ้ง Not Complied เพียงตัวเดียว Thermowell ตัวนั้นๆก็ไม่สามารถใช้งานได้ที่กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่



ภาพที่ 3.27 หน้าต่างผลการคำนวณของ Thermowell

จากนั้นให้ปริ้นท์ใบสรุปแล้วส่งไปให้บริษัท Okazaki

Thermowell Calculation

16-TW-524
Case:

Tapered thermowell at Normal Velocity is calculated according to ASME PTC 19.3 TW - 2010
Thermowell Connection Type: 1.5" 150# RF
State: GAS
Fluid:

	Unit	value
Operating temperature (T)	°C	93
Operating pressure (P)	kgf/cm ² -g	5.5
Fluid velocity (V)	m/s	28.7
Viscosity of fluid (Mu)	cP	0.0112
Density of fluid (ROf)	kg/m ³	9.100
Root diameter of thermowell (A)	mm	20
Diameter of Tip (B)	mm	16
Fillet radius at root (b)	mm	0
Bore diameter of thermowell (d)	mm	9
Unsupported length of thermowell (L)	mm	300
Minimum tip thickness of thermowell (t)	mm	5
Module of elasticity at operating temperature (E)	kgf/cm ²	1947657
Reference value for module of elasticity (Eref)	kgf/cm ²	2059826
Density of well material at ambient temperature (ROm)	kg/m ³	8000
Maximum allowable working stress (S)	kgf/cm ² -g	1244
Fatigue endurance Limit (Sf)	kgf/cm ² -g	379.3
Density of the thermowell sensor at ambient temp. (ROs)	kg/m ³	2700
Damping factor (Dz)		0.0005
Environmental factor (Fe)		1

Results and Coefficients	Unit	value
Reynolds number (Re)		375150
Mounting compliance factor (Hc)		0.96
Natural frequency (Fn)	Hz	169
Vortex shedding frequency (Fv)	Hz	367
Frequency requirement (FReq)		Not Complied
Static stress requirement (SReq)		Complied
Dynamic stress requirement (DyReq)		Complied
Hydrostatic pressure requirement (HyReq)		Complied

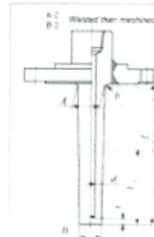
ภาพที่ 3.28 ผลการคำนวณอย่างเป็นทางการของ Thermowell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 74 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASME PTC 19.3 TW-2014

[PROCESS CONDITION]

(1)			
(2)	Tag No.	16-TW-504	
(3)	Operating temperature T	$^{\circ}\text{C}$	93
(4)	Operating pressure P	MPaG	0.540
(5)	Fluid density γ	kg/m^3	9.136
(6)	Fluid viscosity μ	cP	0.0110
(7)	Flow rate Q	t/h	84.090
(8)	Pipe inner dia. D_b	mm	336.56
(9)	Fluid velocity V	m/s	28.74



[THERMOWELL SPECIFICATION] STEP 1

Type of Thermowell : B2

(10)	Material		316SS	(16)	Fillet radius b	mm	0.0
(11)	Root out.dia. A	mm	30.0	(17)	Tip thickness t	mm	5.0
(12)	Tip out.dia. B	mm	30.0				
(13)	Bore d	mm	9.0				
(14)	Insertion length L	mm	300.0				
(15)	Actual insertion length L_s	mm	150.0				

Notes 1
Calculation report
DWG & Specification sheet ()
Notes 2 Since calculation of a 2 phase
flow assumes that it is a single phase
flow at mean density, please consider
that the result is an closer for reference

[CALCULATION RESULT]

[1]	Frequency Limit Calc.	Judgement : Fail	Reynolds No. Re	716 070	$> 10^5$
	Strouhal frequency f_s	Hz	Struton No. N_s	3.922	> 2.5
	Natural frequency f_n	Hz	Inline resonance velocity V_{in}		14.7 m/s
	Frequency ratio f_s / f_n	> 0.4	Stress at V_{in} S_{max}	83.9	$> F_1 F_2 S_1 = 61.3 \text{ N/mm}^2$
			Upper frequency ratio limit		
[2]	Steady-State Stress Calc.	Judgement : Pass			
	Stress using the Von Mises criteria S	N/mm^2	Allowable stress $1.5S$	N/mm^2	182.10
[3]	Dynamic Stress Calc.	Judgement : Fail			
	Combind drag and lift stresses S_{max}	N/mm^2	Allowable stress $F_1 F_2 S_1$	N/mm^2	61.33
[4]	Pressure Stress Calc.	Judgement : Pass			
	Operating pressure P	MPa	External pressure rating for tip/shank P_t	MPa	54.10
	Operating pressure P	MPa	External pressure rating for the tip P_t	MPa	288.22

[REMARKS]

Fatigue endurance limit S_f	N/mm^2	62.8	Strouhal No. N_s	0.22
Allowable stress S	N/mm^2	121.4	Damping factor ζ	0.0005
Sensor average density γ_s	kg/m^3	2 700	Stress concentration factor K_t	2.2
Young's modulus E	N/mm^2	190 281	Drag coefficient C_D	1.40
Density of thermowell γ_w	kg/m^3	7 980	Oscillating-drag coefficient C_{D2}	0.10
			Oscillating-lift coefficient C_L	1.00
			Magnification factor (F_{10}) F_{10max}	4000.0

[Calculation Method : ASME PTC 19.3 TW-2014]

[1]	Frequency Limit Calc.				
	Strouhal frequency $f_s = St \frac{V}{B}$	10^3			
	Natural Frequency $f_n = H_s / J_s$	10^3			
	Scruton No. $N_s = \pi^2 \zeta (\gamma_s / \gamma) [1 + (d/B)^2]$		Reynolds No. $Re = \frac{VB\gamma}{\mu}$		
	Cyclic stress at the V_{in} (S_0) $S_{max} = K_t (S_d^2 + S_0^2)^{1/2}$	N/mm^2	$S_d = G_{D2} F_{10max} P_t$	$P_t = \frac{1}{2} \gamma C_D V^2 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$	
	Inline resonance velocity $V_{in} = \frac{B f_n}{2 N_s}$	m/s	$G_{D2} = \frac{16L^2}{3\pi A^2 [1 + (d/A)^2]}$	$\{ 3[1 - (L_w/L)^2] + 2(B/A - 1)[1 - (L_w/L)] \}$	$L_w = L_s - L_d$
[2]	Steady-State Stress Calc. at the V_{in}				
	Von Mises criteria $(S_{max} - S_0)^2 + (S_{max} + S_0)^2 (S_0 - S_0)^2 \leq 1.5S^2$		$S_d = G_{D2} P_t$	$P_t = \frac{1}{2} \gamma C_D V^2 \cdot 10^6$	
[3]	Dynamic Stress Calc. at the V_{in}				
	(Same equation of cyclic stress) $S_{max} = K_t (S_d^2 + S_0^2)^{1/2}$	N/mm^2	$S_0 = G_{D2} F_{10} P_t$	$P_t = \frac{1}{2} \gamma C_D V^2 \cdot 10^6$	$F_{10} = 0.4$
[4]	Pressure Stress Calc. (Max. Pressure)				
	External pressure rating for tip/shank $P_t = 0.66S \left[\frac{2.167}{2B(B-d)} - 0.0833 \right]$	MPa			
	External pressure rating for the tip $P_t = \frac{S}{0.13} \left(\frac{t}{d} \right)^3$	MPa			

OKAZAKI MANUFACTURING COMPANY

Program Version 4.5 Feb 21 2017
FileMaker Pro Ver 13

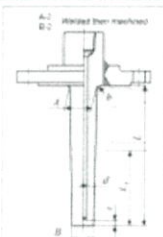
ภาพที่ 3.30 Thermowell calculation on condition A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 76 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMOWELL STRENGTH CALCULATION Oct.11. 2018 AE 6-7996 REC NO. 24b

ASME PTC 19.3 TW-2014
[PROCESS CONDITION]

(1)
(2) Tag No. 16-TW-504
(3) Operating temperature T °C 93
(4) Operating pressure P MPaG 0.540
(5) Fluid density γ kg/m³ 9.136
(6) Fluid viscosity μ cP 0.0110
(7) Flow rate Q t/h 84.090
(8) Pipe inner dia. D_o mm 336.56
(9) Fluid velocity V m/s 28.74



[THERMOWELL SPECIFICATION] STEP 2 Type of Thermowell : B2

(10) Material 316SS
(11) Root out.dia. A mm 30.0
(12) Tip out.dia. B mm 30.0
(13) Bore d mm 9.0
(14) Insertion length L mm 180.0
(15) Actual insertion length L_s mm 30.0
(16) Fillet radius b mm 0.0
(17) Tip thickness t mm 5.0

[CALCULATION RESULT]

[1] Frequency Limit Calc. **Judgement: Pass** Reynolds No. Re 716 070 $> 10^5$
Strouhal frequency f_s Hz 216.8 Scruton No. N_s 3.922 > 2.5
Natural frequency f_n Hz 566.6 Inline resonance velocity V_{in} 38.6 m/s
Stress at V_{in} S_{max} 84.7 $> F_1, F_2, S_f = 61.3$ N/mm²
Frequency ratio $f_s/f_n = 0.372 < 0.4$ Upper frequency ratio limit

[2] Steady-State Stress Calc. **Judgement: Pass**
Stress using the Von Mises criteria N/mm² 0.31 $<$ Allowable stress 1.55 N/mm² 182.10

[3] Dynamic Stress Calc. **Judgement: Pass**
Combined drag and lift stresses S_{max} N/mm² 0.55 $<$ Allowable stress, F_1, F_2, S_f N/mm² 61.33

[4] Pressure Stress Calc. **Judgement: Pass**
Operating pressure P MPa 0.54 $<$ External pressure rating for tip/shank P_e MPa 54.10
Operating pressure P MPa 0.54 $<$ External pressure rating for the tip P_t MPa 288.22

[REMARKS]

Fatigue endurance limit S_f N/mm ² 62.8	Strouhal No. N_s 0.22
Allowable stress S_a N/mm ² 121.4	Damping factor ζ 0.0005
Sensor average density γ_s kg/m ³ 2700	Stress concentration factor K_t 2.2
Young's modulus E N/mm ² 190 281	Drag coefficient C_D 1.40
Density of thermowell γ_w kg/m ³ 7980	Oscillating-drag coefficient C_{D_o} 0.10
	Oscillating-lift coefficient C_L 1.00
	Magnification factor (V_{in}) F_{max} 1000.0

[Calculation Method : ASME PTC 19.3 TW-2014]

[1] Frequency Limit Calc.
Strouhal frequency $f_s = St \frac{V}{B} \cdot 10^3$ Reynolds No. $Re = \frac{VB\gamma}{\mu}$
Natural Frequency $f_n = H_s H_w H_d H_c f_c$ $f_n = \frac{2.2}{2\pi L} \sqrt{\frac{E I}{m}}$
Scruton No. $N_s = \pi \zeta \gamma_w P [1 - (d/B)]$ $P_s = G_{sp} F_{max} P_e$
Cyclic stress at the V_{in} $S_{max} = K (S_f^2 + S_a^2)^{0.5}$ $S_f = G_{sp} F_{max} P_e$
Inline resonance velocity $V_{in} = \frac{Bf_n}{2N_s}$ $G_{sp} = \frac{16L^2}{3\pi d^3 [1 - (d/A)]}$ $F_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{C_D V^2} \cdot 10^6$

[2] Steady-State Stress Calc. at the V_{in}
Von Mises criteria $\frac{(S_{max} - S_a)^2 + (S_{max} + S_a)^2 + (S_f - S_a)^2}{2} \leq 1.55 S_a^2$ $S_f = G_{sp} F_{max} P_e$

[3] Dynamic Stress Calc. at the V_{in}
(Same equation of cyclic stress) $S_{max} = K (S_f^2 + S_a^2)^{0.5}$ $S_f = G_{sp} F_{max} P_e$

[4] Pressure Stress Calc. (Max. Pressure)
External pressure rating for tip/shank $P_e = 0.66S \left[\frac{2.167}{2B(B-d)} - 0.0833 \right]$ MPa
External pressure rating for the tip $P_t = \frac{S}{0.13} \left(\frac{t}{d} \right)^2$ MPa

OKAZAKI MANUFACTURING COMPANY Program Version 4.5 Feb 21 2017
FatMower Pro Ver 1.3

ภาพที่ 3.31 Thermowell calculation on condition B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 77 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASME PTC 19.3 TW-2014

Vortex breaker type calculation layout

[PROCESS CONDITION]

Only applicable for vertical mounting against fluid

(1)			
(2)	Tag No.	16-TW-504	
(3)	Operating temperature T	$^{\circ}\text{C}$	93
(4)	Operating pressure P	MPaG	0.54
(5)	Fluid density γ	kg/m^3	9.136
(6)	Fluid viscosity μ	cP	0.0110
(7)	Flow rate Q	t/h	84.090
(8)	Pipe inner dia. D_b	mm	336.56
(9)	Fluid velocity V	m/s	28.74

Vortex Well Type



[THERMOWELL SPECIFICATION] STEP 3

Type of Thermowell : VB

(10)	Material		316SS
(11)	Root out. dia. A	mm	20.0
(12)	Tip out. dia. B	mm	16.0
(13)	Bore d	mm	5.0
(14)	Insertion length L	mm	300.0
(15)	Actual insertion length L_s	mm	150.0
(16)	Fillet radius b	mm	0.0
(17)	Tip thickness t	mm	5.0

Notes 1
Calculation report
DWG & Specification sheet
Notes 2 Since calculation of a 2 phase
flow assumes that it is a single phase
flow in mean density, please consider
that the result is an object for reference

[CALCULATION RESULT]

- [1] Frequency Limit Calc. **Judgement: No judgement is required due to helical wire (Vortex Breaker).**
 Projection area of thermowell is increased by tha of the helical wire. Frequency ratio (No helical wire)
 Therefore, the projection area of helical wire is added to that of thermowell. $f_s/f'_s = 2.183$
 Helical wire dia. or stick height $h = 2.0$ Projection area of TW: $A \text{ mm}^2$
 Projection area of helical wire $A_h = 2 \times 2.0 \times 150.0 = 600.0 \text{ mm}^2$ Ratio of $(A+A_h)/A$ $\beta = 1.24$
- [2] Steady-State Stress Calc. **Judgement: Pass**
 Stress using the Von Mises criteria N/mm^2 4.94 Allowable stress $1.5S = \text{N/mm}^2$ 182.10
- [3] Dynamic Stress Calc. **Judgement: No judgement is required due to helical wire (Vortex Breaker)**
- [4] Pressure Stress Calc. **Judgement: Pass**
 Operating pressure P MPa 0.54 External pressure rating for tip shank P_s MPa 31.31
 Operating pressure P MPa 0.54 External pressure rating for the tip P_t MPa 288.22

[REMARKS]

Fatigue endurance limit S_N	N/mm^2	0.0	Strouhal No. N_s	0.20
Allowable stress S	N/mm^2	121.4	Damping factor ζ	0.0005
Sensor average density γ_s	kg/m^3	2.700	Stress concentration factor K	2.2
Young's modulus E	N/mm^2	190.281	Drag coefficient C_D	1.40
Density of thermowell γ_a	kg/m^3	7.980	Oscillating-drag coefficient C_{Dv}	0.10
			Oscillating-lift coefficient C_{Lv}	1.00
			Magnification factor (F_m)	1000.0

[Calculation Method : ASME PTC 19.3 TW-2014]

[1] Frequency Limit Calc. : No calculation is required due to helical wire (Vortex Breaker)

Frequency calculation for reference (No helical wire)			
Strouhal frequency $f_s = St \frac{V}{B} 10^3$	Strouhal frequency f_s	Hz	367.8
Natural Frequency $f'_s = H_s H_d H_m H_n$	Natural frequency f'_s	Hz	168.5
Scruton No $N_s = \pi \zeta \gamma_s \rho [1 - (d/B)^2]$	Reynolds No. $Re = \frac{VB\gamma}{\mu}$		$f_s = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{\frac{E I}{m}} 10^{12}$

[2] Steady-State Stress Calc. at the V $(S_{sm} S_s)^2 + (S_{sm} S_t)^2 + (S_t S_s)^2 \leq 1.5S$ $S_d = \beta G_{32} P_o$ $P_o = \frac{1}{2} \gamma C_D V^2 \cdot 10^6$
 Von Mises criteria with helical wire

[3] Dynamic Stress Calc. at the V : No calculation is required due to helical wire (Vortex Breaker)

[4] Pressure Stress Calc. (Max. Pressure)
 External pressure rating for tip shank $P_s = 0.66S \left[\frac{2.167}{2B(B-d)} - 0.0833 \right]$ MPa
 External pressure rating for the tip $P_t = \frac{S}{0.13} \left(\frac{t}{d} \right)^2$ MPa

OKAZAKI MANUFACTURING COMPANY

Program Version 4.5 Feb 21, 2017
 FileMaker Pro Ver. 13

ภาพที่ 3.32 Thermowell calculation on condition C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 78 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Flow Element Range ability

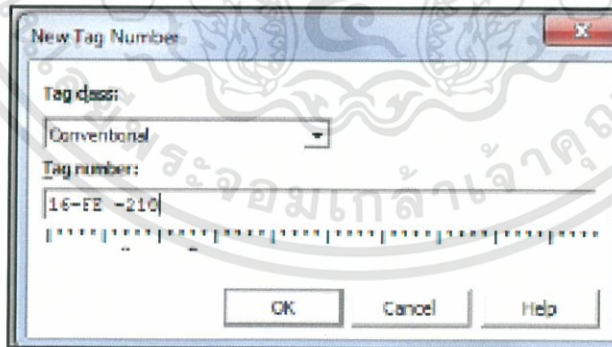
ให้ filter หน้า report เอาเฉพาะ FE แล้วสร้างหน้าต่างแยกอีกหน้าต่างจากนั้นให้กรอกค่า Existing Flow Range และ ค่า New Flow Rate โดยหากค่า New Flow Rate มากกว่า Existing Flow Range ก็จะต้องทำการ Calculation ใหม่เพื่อหาว่าต้องใช้ Orifice ที่มี diameter เท่าไรจึงจะสามารถวัดการไหลที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นได้

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Cal. Flow Range	Unit	New Flow Rate	unit	Result
16	D-16-1225-135	16-FE-271	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-13504-C2-8"-ST	0 - 320	Sm3/hr	277.23	m3/hr	Adequate
17	D-16-1225-136	16-FE-269	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-13602-C2-4"-ST	0 - 45	Sm3/hr	12.96	m3/hr	Adequate
18	D-16-1225-137	16-FE-274	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-12904-B5-5"-H	0 - 75	Sm3/hr	26.25	m3/hr	Adequate
19	D-16-1225-139	16-FE-346	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-12901-B5-4"	0 - 90	Sm3/hr	21.19	m3/hr	Adequate
20	D-16-1225-141	16-FE-203	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-14109-C2-10"-H	0 - 350	Sm3/hr	252.90	m3/hr	Adequate
21	D-16-1225-141	16-FE-211	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-14102-H0C4-8"-H	0 - 240	Sm3/hr	125.62	m3/hr	Adequate
22	D-16-1225-148	16-FE-214	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-12903-B5-6"-H	0 - 80	Sm3/hr	24.92	m3/hr	Adequate
23	D-16-1225-148	16-FE-215	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-14003-B5-4"-H	0 - 35	Sm3/hr	18.92	m3/hr	Adequate
24	D-16-1225-150	16-FE-212	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-15001-B5-6"	0 - 250	Sm3/hr	154.15	m3/hr	Adequate
25	D-16-1225-151	16-FE-213	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-15100-C2-8"	0 - 175	Sm3/hr	169.99	m3/hr	Adequate
26	D-16-1225-152	16-FE-209	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-SW-15201-C8-3"	0 - 30	Sm3/hr	16.50	m3/hr	Adequate
27	D-16-1225-152	16-FE-210	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-SW-15201-C2-2"	0 - 19	Sm3/hr	17.87	m3/hr	Inadequate(Replace)
28	D-16-1225-152	16-FE-217	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-SW-15201-C8-3"	0 - 45	Sm3/hr	28.76	m3/hr	Adequate
29	D-16-1225-152	16-FE-261	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-SW-15201-C8-3"	0 - 36	Sm3/hr	45.31	m3/hr	Inadequate(Replace)
30	D-16-1225-152	16-FE-262	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-SW-15201-C8-3"	0 - 32	Sm3/hr	45.31	m3/hr	Inadequate(Replace)
31	D-16-1225-154	16-FE-290	VENTURI	16-PC-15302-B10-24"-ST	0 - 42000	Sm3/hr	45000.00	m3/hr	Adequate (Re-Calibrate FT)
32	D-16-1225-154	16-FE-289	VENTURI	16-PC-15301-B10-18"-ST	0 - 40000	Sm3/hr	45000.00	m3/hr	Inadequate (Re-Calibrate FT)
33	D-16-1225-157	16-FE-264	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-15703-C2-2"	0 - 30	Sm3/hr	23.82	m3/hr	Adequate
34	D-16-1225-157	16-FE-265	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-15703-C2-2"	0 - 30	Sm3/hr	23.82	m3/hr	Adequate
35	D-16-1225-157	16-FE-302	ORIFICE PLATE TYPE FLOW ELEMENT	16-PL-15703-C2-2"	0 - 40	Sm3/hr	23.82	m3/hr	Adequate

ภาพที่ 3.33 Range Ability ของ Flow Element Unit 16

โดยจะใช้ 16-FE-210 เป็นตัวอย่างในการ Calculation ขั้นตอนแรกเปิดโปรแกรม smart plant ขึ้นมาและทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1.สร้าง New tag ขึ้นมาใหม่ โดยกรอกชื่อของ tag และเลือก type เป็น FE



ภาพที่ 3.34 สร้าง New Tag ให้ Flow meter

- 2.จากนั้นให้เรากรอกรายละเอียดเกี่ยวกับ Line โดย tag 16-FE-210 จะมี Pipe size = 2 นิ้วและ Pipe Class = B8 เมื่อรู้ 2 ค่านี้ก็ให้เราไปเปิดเทียบกับ Piping Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 79 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	C	C	C	A	A
1-1/2	B	B	B	B	
1	B	B	B		
3/4	B	B			
1/2	B				

SIZE	1/2	3/4	1	1-1/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18
SCH.	160	160	XXS	160	160	160	80	80	40	40	40	30	30	30
THICKNESS														

CODE EXPLANATION OF CHARACTERS

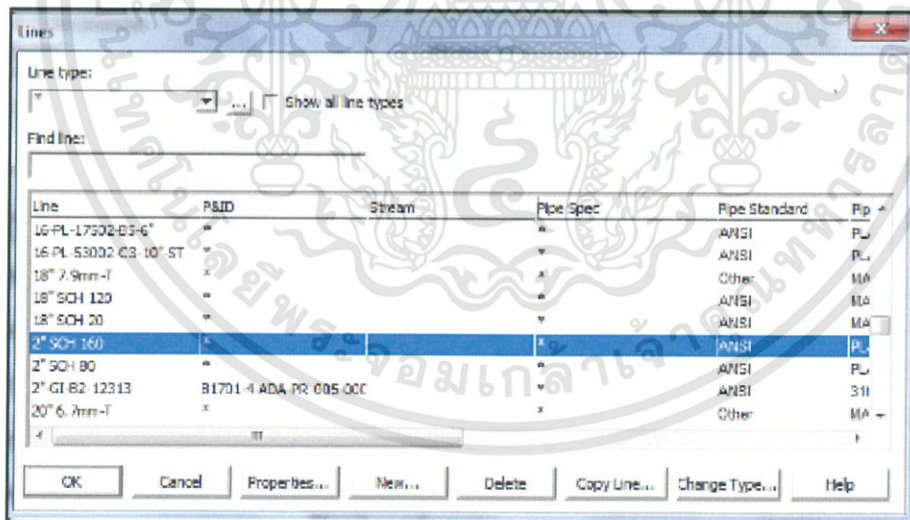
- A TW: Butt Welding Tee
- B TS: Socket Welding Tee
- C SO/NP: Sockolet, Nipolet
- D WO: Weld-O-Let
- E NR: Nozzle Weld with Reinforcing Saddle

B1	B2	B3	B5	B7	B8	C2	C3	C6	C8	D1	D3	E1
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

ภาพที่ 3.35 Piping specification Class B8

ซึ่งจะได้ SCH = 160

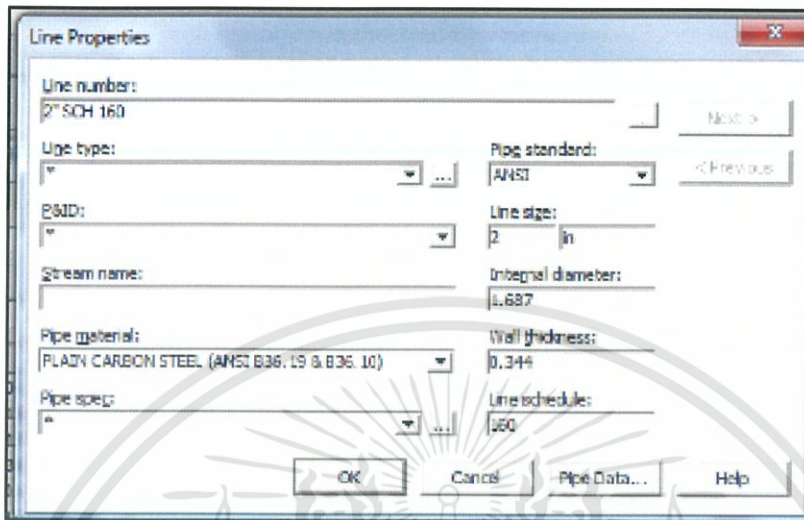
3.จากนั้นให้กดเลือก Pipe size และ Pipe schedule ในโปรแกรมให้เป็น 2" SCH 160



ภาพที่ 3.36 การเลือก Pipe size และ Pipe schedule

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 80 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

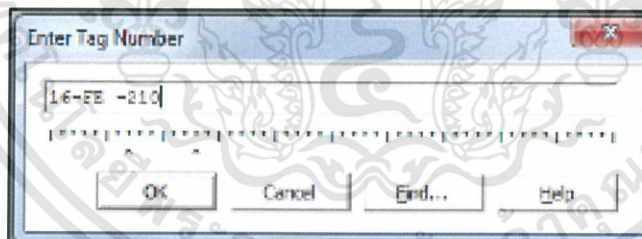
4. ถ้ายังไม่มี Line size และ Line Schedule ที่ต้องการทำให้สร้างขึ้นใหม่โดยคลิกที่ New tag



ภาพที่ 3.37 การสร้าง New Line size และ Line schedule

โดยเมื่อสร้างหรือเลือกเรียบร้อยแล้วให้กด OK ทุกหน้าต่าง

5. เปิดฟังก์ชัน Calculation แล้วเลือก Flow meter จากนั้นพิมพ์ tag ที่ต้องการ Calculation ซึ่งก็คือ 16-FE-210



ภาพที่ 3.38 การสร้างชื่อ Tag ให้กับ Flow meter

6. โดยจะได้หน้าต่างนี้มาและกรอกรอกค่าต่างๆในช่อง Property ส่วนค่ารายละเอียดต่างๆที่ต้องการรอให้เปิด Line List เพื่อจะนำค่าไปใช้

GENERAL

Case:

Service: Location:

Fluid state: Liquid Line number: 16 SCH 160

Fluid phase: Line size: 2 in

Fluid name source: User-defined Line schedule: 160

Fluid name:

PROPERTIES

Report flags: Density

	@Minimum	@Normal	@Maximum	Units	
Volumetric flow:		17.6	17.6	m ³ /h	@standard
Upstream pressure:		22.7	22.7	kgf/cm ²	gage
Temperature:		35	35	°C	
Viscosity:		0.718	0.718	cP	
Velocity:		3.4	3.4	m/s	
Density:		994.9	994.9	kg/m ³	
Specific gravity:		0.996	0.996		
Compressibility:					
Specific heat ratio:					
Vapor pressure:				kgf/cm ²	absolute
Critical pressure:				kgf/cm ²	gage
Molecular mass:					

ADDITIONAL PROPERTIES

Design pressure minimum:	<input type="text"/>	kgf/cm ²	gage	Corrosive:	<input type="text"/>
Design pressure maximum:	<input type="text"/>	kgf/cm ²	gage	Erosive:	<input type="text"/>
Design temperature minimum:	<input type="text"/>	°C		Toxic:	<input type="text"/>
Design temperature maximum:	<input type="text"/>	°C		Colored:	<input type="text"/>
Entrained gas:	<input type="text"/>	%		Transparent:	<input type="text"/>
Angle of repose:	<input type="text"/>	°		Build-up tendency:	<input type="text"/>
Required range:	From: <input type="text"/>	To: <input type="text"/>	m ³ /h @flow		
Limits on press.drop across flowmeter:	<input type="text"/>	bar			

BASE CONDITIONS

Pressure:	1.033	kgf/cm ²	absolute	Density:	994.9	kg/m ³
Temperature:	15.56	°C		Specific gravity:	1	
				Compressibility:		

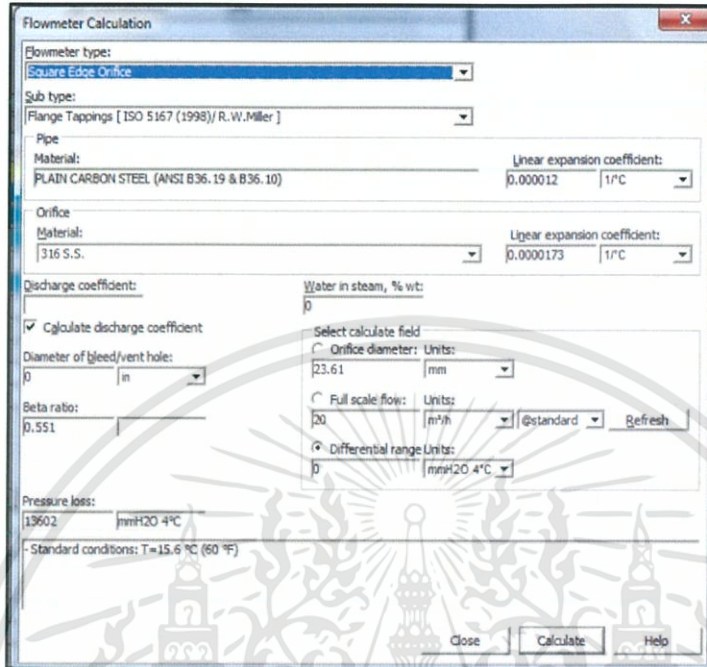
ภาพที่ 3.39 ค่ารายละเอียดของของไหลในกระบวนการที่ต้องใช้ในการคำนวณ Flow meter

UNIT	LINE	LINE	LINE	LINE	INSU	OPER	OPER	DE	DE	Flowrate	Density(M)	Flowrate	Density	Viscosity(L)	Flowrate	Density	Viscosity	Molecular	Compre-	S
CO	CO	WT	CL	SI	CLA	TEMP	PRESS	TEM	PR	(total)	(kgm ³)	(L)	(L)	(cP)	(V)	(V)	(V)	Weight	ssibili	lit
16	SW	15203	C8	2		35	22.7	56	29.8	17583	994.9	17583	994.9	0.7183	0	-	-	-	-	-

ภาพที่ 3.40 Line List specification ของท่อเบอร์ 16-SW-15203-C8-2”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 82 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ต่อมากดที่ไปช่อง Calculate ด้านล่าง



ภาพที่ 3.41 รายละเอียดของ Flow meter ที่ต้องใช้ในการคำนวณ

ซึ่งจะมีรายละเอียดต่างๆให้เรารอก โดยในการ Calculation Flow meter เราจะต้องเลือกว่าจะ calculation ค่าอะไร ซึ่งมีด้วยกัน 3 ค่าคือ Orifice Diameter, Full Scale Flow, Differential Range โดยหากจะคำนวณค่าใดนั้นจำเป็นที่จะต้องกรอกอีก 2 ค่าที่เหลือด้วย โดยรายละเอียดอื่นๆให้เปิดดูจาก เอกสาร Flow meter datasheet

JCC CORPORATION DATA SHEET				
DIFFERENTIAL PRESSURE TYPE FLOW INSTRUMENTS				
ITEM No.	Qty	36	37	38
QUANTITY	1	1	1	1
TAG No.	16FT205	16FT208	16FT209	16FT210
LOOP TAG No.	16R205	16R208	16R209	16R210
COMPONENT NAME	E D/P TX	E D/P TX	E D/P TX	E D/P TX
SERVICE OR LOCATION	HCO SEAL OIL FROM COOLER 16C-212	HVN-WAPP/LEAN OIL FR 16E-203	WASH WATER FR 16G-209A/B	WASH WATER FR 16G-209A/B
TYPE	(1) E-T	E-T	E-T	E-T
METER RANGE	0 - 25 m³/hr	0 - 60 m³/hr	0 - 30 m³/hr	0 - 10 m³/hr
TYPE	(2) OF-F	OF-F	OF-F	OF-F
DESIGN PRESS. kg/cm2G	11.90	29.10	29.80	28.80
DESIGN TEMP deg C	100.0	74.0	58.0	58.0
TRANSMITTER				
TYPE	(6) PL	PL	PL	PL
DIFF. PRESS. mmH2O	8264	* 2599	* 5066	* 5062
DIAPH. SIZE	-	-	-	-
RAGM RATING	(3) -	-	-	-
SEAL CAPPLY LENG m	-	-	-	-
MAT'L BODY	316SS	316SS	316SS	316SS
MAT'L ELEMENT(DIAPH)	316SS	316SS	HAST-C	HAST-C
MAT'L OTHR WETD PTS	316SS	316SS	316SS	316SS
CONTROLLER				
OUTPUT ACTION	(7) -	-	-	-
CONTROL MODE	(8) -	-	-	-
SETTING	(9) -	-	-	-

ภาพที่ 3.42 Flow meter datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 83 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสาร Flow meter Specification นี้จะบอกว่า Differential Pressure นี้มีค่า 5062 mmH₂O ถ้า ผลการคำนวณ DiffPressure มากกว่านี้จะใช้ค่านี้ไม่ได้

ต่อไปเป็นเอกสาร Orifice Drawing ใช้ในการดู Bore Diameter ของ Flow meter ที่เรากำหนดอยู่ ซึ่ง 16-FE-210 จะได้เท่ากับ 23.61 mm.

<TYPE> C-E:CONCENTRIC SQUARE EDGE ORIFICE, Q-E:QUADRANT EDGE ORIFICE, ISA:ISA1932 NOZZLE									
ITEM	TAG No.	SIZE & RATING	TYPE	MATERIAL	BORE DIA.	THICKNESS	ADD'L TAB LENGTH	PAGE	
								CALC.	D W G
25	16-FE-205	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	33.99mm	3.0mm	40mm	32	159
26	16-FE-208	4" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	64.99mm	3.0mm	0mm	33	
27	16-FE-209	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	40.39mm	3.0mm	0mm	34	
28	16-FE-210	2" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	23.61mm	3.0mm	0mm	35	
29	16-FE-211	8" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	121.07mm	3.0mm	90mm	36	
30	16-FE-212	6" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	105.41mm	3.0mm	0mm	37	
31	16-FE-213	6" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	87.27mm	3.0mm	0mm	38	
32	16-FE-214	6" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	96.82mm	3.0mm	50mm	39	
33	16-FE-215	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	37.80mm	3.0mm	50mm	40	
34	16-FE-216	8" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	118.65mm	3.0mm	0mm	41	
35	16-FE-217	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	48.96mm	3.0mm	0mm	42	
36	16-FE-218	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	38.54mm	3.0mm	40mm	43	
37	16-FE-219	3" ANSI 300 RF	C - E	A240TYPE316	33.40mm	3.0mm	50mm	44	

ภาพที่ 3.43 Orifice Drawing

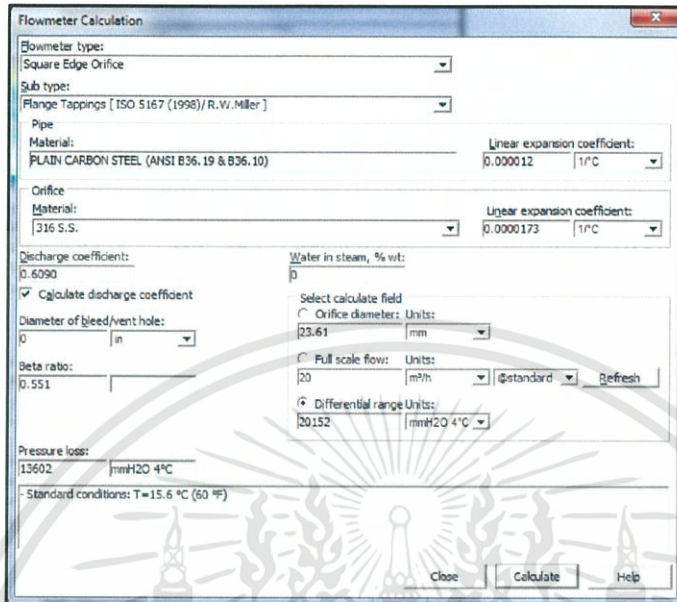
ต่อมาเป็นเอกสารตัว model Transmitter โดยโรงกลั่นจะใช้ตัว model 3051CD2A ซึ่งมีค่า Diff range = -250 ถึง 250 inH₂O ซึ่งแปลงเป็นหน่วย mm ได้ -6350 ถึง 6350 mmH₂O หากผลการคำนวณ Differential range ได้มากกว่า 6350 mmH₂O ก็ต้องพิจารณาว่าจะทำการเปลี่ยน Orifice เพื่อให้ Differential range มีค่าอยู่ภายในย่านที่กำหนด หรือเปลี่ยน Flow Transmitter เพื่อให้สามารถวัดได้ถึงค่า Differential range ที่คำนวณได้

Model ⁽¹⁾	Transmitter type			
3051C	Coplanar pressure transmitter			
Measurement type				
D	Differential			*
G	Gage			*
A ⁽²⁾	Absolute			
Pressure range				
	Differential (Rosemount 3051CD)	Gage (Rosemount 3051CG)	Absolute (Rosemount 3051CA)	
1	-25 to 25 inH ₂ O (-62,16 to 62,16 mbar)	-25 to 25 inH ₂ O (-62,16 to 62,16 mbar)	0 to 30 psia (0 to 2,06 bar)	*
2	-250 to 250 inH ₂ O (-621,60 to 621,60 mbar)	-250 to 250 inH ₂ O (-621,60 to 621,60 mbar)	0 to 150 psia (0 to 10,34 bar)	*
3	-1000 to 1000 inH ₂ O (-2,48 to 2,48 bar)	-393 to 1000 inH ₂ O (-0,97 to 2,48 bar)	0 to 800 psia (0 to 55,15 bar)	*
4	-300 to 300 psi (-20,68 to 20,68 bar)	-14.2 to 300 psi (-0,97 to 20,68 bar)	0 to 4000 psia (0 to 275,79 bar)	*
5	-2000 to 2000 psi (-137,89 to 137,89 bar)	-14.2 to 2000 psi (-0,97 to 137,89 bar)	N/A	*
0 ⁽³⁾	-3 to 3 inH ₂ O (-7,46 to 7,46 mbar)	N/A	N/A	

ภาพที่ 3.44 Model Transmitter บริษัท Rosemount

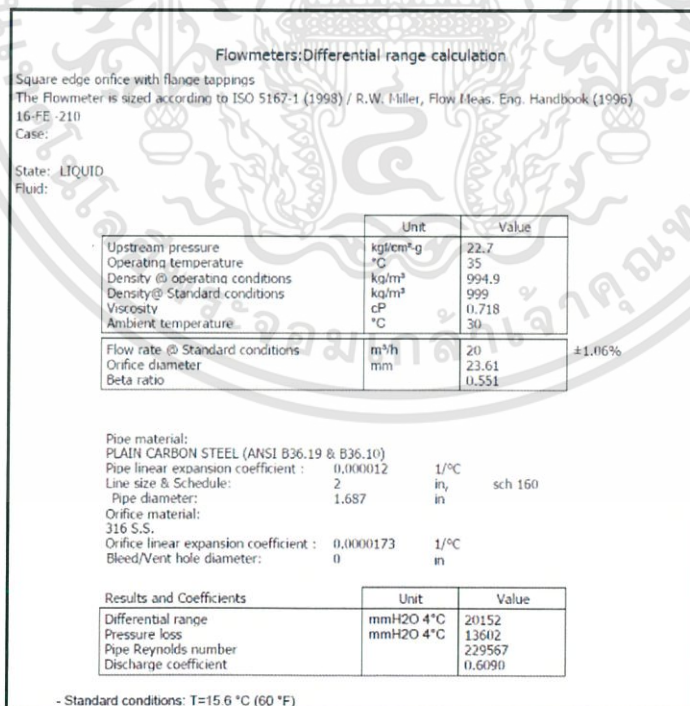
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 84 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.เมื่อกรอกค่าที่ใช้คำนวณเรียบร้อยแล้วให้กด Calculate



ภาพที่ 3.45 การคำนวณเพื่อหา Differential range ของ Orifice

จากนั้นให้เราปริ้นท์ report ออกมาดูผลลัพธ์ต่าง

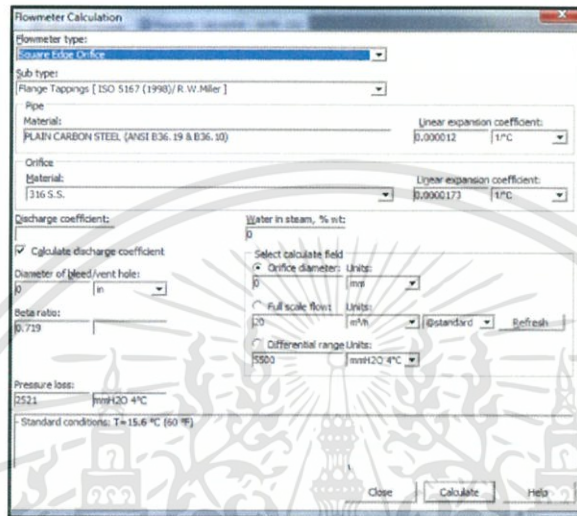


ภาพที่ 3.46 ผลลัพธ์การคำนวณอย่างเป็นทางการของ Flow meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 85 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง Differential range เกินกว่าที่ค่าจะยอมรับได้ ให้ทำการคำนวณใหม่เพื่อที่จะหาขนาดของรู orifice ที่เข้ากับได้กับกระบวนการและมีค่า Differential range อยู่ในย่านที่เรากำหนดไว้

9.ให้ส่งผลการคำนวณไปให้ลูกค้าดูแล้วรอการตัดสินใจว่าจะเปลี่ยน Transmitter หรือเปลี่ยน Orifice ซึ่งลูกค้าได้เลือกให้เปลี่ยน Orifice เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า



ภาพที่ 3.47 การคำนวณเพื่อหาขนาดรูของ Orifice

ซึ่งในการคำนวณนี้เราจะให้ค่า Differential range = 5500 mmH2O และเมื่อกด calculate ออกมาจะได้ Bore diameter = 30.83 mm ซึ่งจะเป็นขนาดรู orifice อันใหม่ของเรา

Flowmeters: Orifice diameter calculation

Square edge orifice with flange tappings
The Flowmeter is sized according to ISO 5167-1 (1990) / R.W. Miller, Flow Meas. Eng. Handbook (1996)
16-FE-210
Case:

State: LIQUID
Fluid:

	Unit	Value
Full scale flow @ Standard conditions	m ³ /h	20
Operating flow @ Standard conditions	m ³ /h	17.6
Upstream pressure	kg/cm ² -g	22.7
Operating temperature	°C	35
Density @ operating conditions	kg/m ³	994.9
Density @ Standard conditions	kg/m ³	999
Viscosity	cP	0.718
Ambient temperature	°C	30
Differential range	mmH2O 4°C	5500

Pipe material:
PLAIN CARBON STEEL (ANSI B36.19 & B36.10)
Pipe linear expansion coefficient : 0.000012 1/°C
Line size & Schedule: 2 in sch 160
Pipe diameter: 1.687 in
Orifice material:
316 S.S.
Orifice linear expansion coefficient : 0.0000173 1/°C
Bleed/Vent hole diameter: 0 in

Results and Coefficients	Unit	Value
Orifice diameter	mm	30.83
Beta ratio		0.719
Pressure loss @ maximum flow	mmH2O 4°C	2521
Pressure loss @ operating flow	mmH2O 4°C	1952
Pipe Reynolds number @ operating flow		202019
Discharge coefficient		0.6141
True maximum flow @ Standard conditions	m ³ /h	19.99 ±1.32%

- Standard conditions: T=15.6 °C (60 °F)

ภาพที่ 3.48 ผลลัพธ์การคำนวณหา Bore Diameter อย่างเป็นทางการของ 16-FE-210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 86 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Flow Transmitter Range ability

ให้ filter จากหน้า report เอาเฉพาะ FT แล้วสร้างในหน้าต่างใหม่ จากนั้นให้กรอกค่า Existing Flow Range และ New Flow Rate เพื่อเปรียบเทียบกันถ้าค่ามากเกินกว่า Existing Flow Rate ก็ต้อง Calcalate FE ต่ค่าควรจะเปลี่ยน FT ใหม่ หาก Differential Range เกินย่านที่กำหนดหรือควร Re-Calibrate transmitter หากย่านเปลี่ยนแปลงไป

NO.	PID NO.	TAG FT	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Cal. Flow Rang	Unit	New Flow Rate	Unit	Result
26	D-16-1225-150	16-FT-212	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15001-B5-6"	0 - 250	Sm3/hr	154.15	m3/hr	Adequate
29	D-16-1225-151	16-FT-213	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15103-C3-6"	0 - 175	Sm3/hr	169.96	m3/hr	Adequate
30	D-16-1225-152	16-FT-209	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15201-C6-3"	0 - 30	Sm3/hr	45.31	m3/hr	Adequate
31	D-16-1225-152	16-FT-210	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15201-C6-3"	0 - 10	Sm3/hr	17.67	m3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
32	D-16-1225-152	16-FT-217	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15205-C6-3"	0 - 45	Sm3/hr	26.76	m3/hr	Adequate
33	D-16-1225-152	16-FT-261	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15201-C6-3"	0 - 30	Sm3/hr	45.31	m3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
34	D-16-1225-152	16-FT-262	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15201-C6-3"	0 - 30	Sm3/hr	45.31	m3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
35	D-16-1225-154	16-FT-290	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER (VENTURI)	16-PG-15302-B10-24"-ST	0 - 45000	Nm3/hr	60000.00	Nm3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
36	D-16-1225-154	16-FT-300	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER (VENTURI)	16-PG-15302-B10-24"-ST	0 - 45000	Nm3/hr	60000.00	Nm3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
37	D-16-1225-155	16-FT-289	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER (VENTURI)	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 40000	Nm3/hr	44000.00	Nm3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
38	D-16-1225-155	16-FT-301	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER (VENTURI)	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 40000	Nm3/hr	44000.00	Nm3/hr	inadequate Re-Calibrate FT
39	D-16-1225-157	16-FT-264	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15703-C2-2"	0 - 30	Sm3/hr	23.62	m3/hr	Adequate
40	D-16-1225-157	16-FT-265	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15703-C2-2"	0 - 30	Sm3/hr	23.62	m3/hr	Adequate
41	D-16-1225-157	16-FT-302	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15703-C2-2"	0 - 40	Sm3/hr	23.62	m3/hr	Adequate
42	D-16-1225-158	16-FT-319	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-16101-TC20-0"	0 - 14000	Nm3/hr	12359.90	Nm3/hr	Adequate
43	D-16-1225-160	16-FT-315	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-SW-15001-TC20-0"	0 - 30	Sm3/hr	16.44	m3/hr	Adequate
44	D-16-1225-161	16-FT-303	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-16004-Q2-0-8"	0 - 350	Sm3/hr	352.70	m3/hr	Adequate
45	D-16-1225-161	16-FT-304	FLOW DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-14001-C3-6"-H	0 - 450	Sm3/hr	324.71	m3/hr	Adequate

ภาพที่ 3.49 Range Ability ของ Flow Transmitter Unit 16

3.7 Pressure Transmitter

ให้ filter จากหน้า report เอาเฉพาะ PT แล้วสร้างในหน้าต่างใหม่ จากนั้นเปรียบเทียบค่าระหว่าง Operating กับ Design ว่ามี tag ไหนที่ Operating มีค่าเยอะกว่า Design หรือไม่และ Operating ต้องมีค่าไม่เกิน Existing Range

NO.	PID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Range Kp/cm2	Remark	OPER_PRESS (Kp/cm ²)	DE_PRESS	OPER_TEMP (°C)	DE_TEMP
1	D-16-1225-176	16-PT-001	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-17602-B5-6"	0 - 20	Adequate	12.0	17	42-53	70
2	D-16-1225-176	16-PT-007	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-17602-B5-6"	0 - 30	Adequate	12.0	17	42-53	70
3	D-16-1225-105	16-PT-148	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-13403-C3-8"-ST	0 - 40	Adequate	19.4	35.2	193	300
4	D-16-1225-134	16-PT-220	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-13103-NXC4-10"-ST	0 - 30	Adequate	13.9	21	296	394
5	D-16-1225-135	16-PT-221	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-13408-C2-8"-ST	0 - 20	Adequate	10.6	21	244-270	394
6	D-16-1225-153	16-PT-300	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15101-B10-24"	0 - 2.5	Adequate	1.0	3.5	35	58
7	D-16-1225-154	16-PT-302	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15401-B10-14"-PP	0 - 10	Adequate	5.5	7	93	132
8	D-16-1225-155	16-PT-304	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 8	Adequate	5.0	7	38	64
9	D-16-1225-164	16-PT-305	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-16401-C6-6"	0 - 30	Adequate	13.9	17	42	57
10	D-16-1225-151	16-PT-312	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15103-C3-6"	0 - 50	Adequate	23.2	47	35	58
11	D-16-1225-157	16-PT-320	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15703-C2-2"	0 - 40	Adequate	22.7	28.3	38	64
12	D-16-1225-150	16-PT-323	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-15001-B5-6"	0 - 15	Adequate	7.4	11.6	35	58
13	D-16-1225-275	16-PT-341	PRESSURE TRANSMITTER	16-HGC-50101-B3-6"	0 - 8	Adequate	5.9	12	52	100
14	D-16-1225-154	16-PT-355	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15401-B10-14"-PP	0 - 10	Adequate	5.5	7	93	132
15	D-16-1225-153	16-PT-359	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15302-B10-24"-ST	0 - 1.8	Adequate	1.0	3.5	35	58
16	D-16-1225-154	16-PT-360	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15302-B10-24"-ST	0 - 2.5	Adequate	1.0	3.5	35	58
17	D-16-1225-151	16-PT-362	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15101-B10-24"	0 - 2.5	Adequate	1.0	3.5	35	58
18	D-16-1225-157	16-PT-391	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 8	Adequate	5.0	7	38	64
19	D-16-1225-155	16-PT-397	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 8	Adequate	5.0	7	38	64
20	D-16-1225-141	16-PT-439	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-14101-NXC4-12"-H	0 - 15	Adequate	9.5	11.9	292	332
21	D-16-1225-127	16-PT-400	PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-12715-C3-6"-ST	0 - 40	Adequate	23.4	35.2	158	230
22	D-16-1225-154	16-PT-502	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-15302-B10-24"-ST	0 - 4	Adequate	1.0	3.5	35	58
23	D-16-1225-160	16-PT-521	PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-16001-TC20-12"	0 - 25	Adequate	15.1	21.9	30	58

ภาพที่ 3.50 Range Ability ของ Pressure Transmitter Unit 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 87 ภารกิจเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 Pressure Gauge Range ability

โดยให้ filter จากหน้า report เอาเฉพาะ PI แล้วสร้างในหน้าต่างใหม่ จากนั้นเปรียบเทียบค่าระหว่าง Operating กับ Design ว่ามี tag ไหนที่ Operating มีค่าเยอะกว่า Design หรือไม่และ Operating ต้องมีไม่เท่ากับหรือมากกว่า Existing Range เพราะ Pressure gauge ไม่ควรใช้วัดกับค่าที่ใกล้เคียงกับ maximum range เนื่องจากอาจเกิดการ Broke down ของตัว gauge ได้

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Range (kg/cm ² g)	OPER_PRESS (kg/cm ² g)	DE_PRESS	OPER_TEMP (°C)	DE_TEMP	Remark
43	D-16-1225-161	16-PI-2137	PRESSURE GAUGE	16-PL-16112-C3-5"-H	0 - 30	16.3	14.5	174	267	Adequate
44	D-16-1225-163	16-PI-2138	PRESSURE GAUGE	16-PL-16303-C3-2"-AC	0 - 50	21.1	30.8	21	61	Adequate
45	D-16-1225-163	16-PI-2139	PRESSURE GAUGE	16-PL-16302-C3-4"-AC	0 - 30	14.2	22.3	21	61	Adequate
46	D-16-1225-163	16-PI-2140	PRESSURE GAUGE	16-PL-16303-C3-2"-AC	0 - 50	21.1	30.8	21	61	Adequate
47	D-16-1225-163	16-PI-2141	PRESSURE GAUGE	16-PL-16302-C2-4"-AC	0 - 30	14.2	22.3	21	61	Adequate
46	D-16-1225-151	16-PI-2143	PRESSURE GAUGE	16-PL-15103-C3-4"	0 - 50	23.2	47	35	58	Adequate
49	D-16-1225-151	16-PI-2145	PRESSURE GAUGE	16-PL-15103-C3-4"	0 - 50	23.2	47	35	58	Adequate
50	D-16-1225-151	16-PI-2146	PRESSURE GAUGE	16-PI-15101-B10-24"	0 - 1	1.0	3.5	35	58	Inadequate (Recheck meter operation pressure should not
51	D-16-1225-152	16-PI-2155	PRESSURE GAUGE	16-SW-15161-B6-4"	0 - 3	1.4	4.2	35	58	Adequate
52	D-16-1225-152	16-PI-2156	PRESSURE GAUGE	16-SW-15201-C6-3"	0 - 30	24.5	26.8	35	58	Adequate
53	D-16-1225-152	16-PI-2157	PRESSURE GAUGE	16-SW-15161-B6-4"	0 - 3	1.4	4.2	35	58	Adequate
54	D-16-1225-166	16-PI-2159	PRESSURE GAUGE	16-PI-16501-C2-10"-H	0 - 30	14.7	22.5	135	165	Adequate
55	D-16-1225-166	16-PI-2174	PRESSURE GAUGE	16-PL-16907-C2-10"	0 - 30	15.5	14.4	52	70	Adequate
56	D-16-1225-166	16-PI-2175	PRESSURE GAUGE	16-PL-16903-C2-6"	0 - 30	13.0	18	69	135	Adequate
57	D-16-1225-166	16-PI-2176	PRESSURE GAUGE	16-PL-16907-C2-10"	0 - 30	15.5	14.4	52	70	Adequate
58	D-16-1225-166	16-PI-2177	PRESSURE GAUGE	16-PL-16903-C2-6"	0 - 30	13.0	14	69	135	Adequate
59	D-16-1225-140	16-PI-2182	PRESSURE GAUGE	16-PL-12905-C3-12"-H	0 - 3	4.4	6.2	249	267	Inadequate (Replace)
60	D-16-1225-140	16-PI-2183	PRESSURE GAUGE	16-PL-14001-C3-8"-H	0 - 30	14.3	14.5	249	267	Adequate
61	D-16-1225-140	16-PI-2184	PRESSURE GAUGE	16-PL-12905-C3-12"-H	0 - 3	4.4	6.2	249	267	Inadequate (Replace)
62	D-16-1225-140	16-PI-2185	PRESSURE GAUGE	16-PL-14001-C3-8"-H	0 - 30	14.3	14.5	249	267	Adequate
63	D-16-1225-160	16-PI-2188	PRESSURE GAUGE	16-PL-16013-C2-10"	0 - 30	15.6	22.5	36	58	Adequate
64	PL-16-1734-107	16-PI-2187	PRESSURE GAUGE	16-PL-16013-C2-10"	0 - 30	15.6	22.5	36	58	Adequate

ภาพที่ 3.51 Range Ability ของ Pressure Gauge Unit 16

3.9 Temperature Gauge Range ability

ให้ filter จากหน้า report เอาเฉพาะ TG แล้วสร้างในหน้าต่างใหม่ จากนั้นเปรียบเทียบค่าระหว่าง Operating กับ Design ว่ามี tag ไหนที่ Operating มีค่าเยอะกว่า Design หรือไม่และ Operating ต้องมีค่าไม่เกิน Existing Range

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Range	Remark	OPER_TEMP	Design Temp
1	D-16-1225-154	16-TI-1036	TEMPERATURE GAUGE	16-PG-15401-B10-14"-PP	0 - 200	Adequate	93	132
2	D-16-1225-155	16-TI-1037	TEMPERATURE GAUGE	16-PG-15701-B10-14"-ST	0 - 100	Adequate	38	64
3	D-16-1225-155	16-TI-1038	TEMPERATURE GAUGE	16-PG-15501-TC20-12"-PP	0 - 200	Adequate	102	132
4	D-16-1225-162	16-TI-1058	TEMPERATURE GAUGE	16-PG-16203-TC20-8"	0 - 100	Adequate	41	161
5	D-16-1225-161	16-TI-1086	TEMPERATURE GAUGE	16-DR-16151-C3-2"	100 - 500	Adequate	249	267
6	D-16-1225-167	16-TI-1100	TEMPERATURE GAUGE	16-PG-16701-C2-12"	10 - 150	Adequate	69	135
7	D-16-1225-135	16-TI-1108	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-13501-D3-6"-ST	100 - 500	Adequate	209-227	268
8	D-16-1225-135	16-TI-1111	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-13501-D3-6"-ST	100 - 500	Adequate	209-227	268
9	D-16-1225-170	16-TI-1131	TEMPERATURE GAUGE	16-CWR-19203-A2-4"	0 - 100	Adequate	34	60
10	D-16-1225-189	16-TI-1137	TEMPERATURE GAUGE	16-CWR-18903-A2-6"	0 - 100	Adequate	34	60
11	D-16-1225-135	16-TI-1143	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-13408-D1-6"-ST	100 - 500	Adequate	244-270	394
12	D-16-1225-135	16-TI-1144	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-13408-D1-6"-ST	100 - 500	Adequate	244-270	394
13	D-16-1225-167	16-TI-1145	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-16701-TC33-4"	0 - 100	Adequate	52	70
14	D-16-1225-167	16-TI-1146	TEMPERATURE GAUGE	16-PL-16703-TC33-4"	0 - 100	Adequate	52	70

ภาพที่ 3.52 Range Ability ของ Temperature Gauge Unit 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 88 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 Pressure Differential Transmitter และ Pressure Differential Gauge

จะเป็นอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างกันโดยจะใช้วัดความดันระหว่างไส้กรอกว่ามี การอุดตันหรือไม่ซึ่งจะถูกพิจารณาว่าควรใช้ค่าเท่าไรโดยแผนก process

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Range kg/cm ²	Remark	OPER_TEMP (°C)	OPER_PRESS (kg/cm ² g)	DE_TEMP	DE_PRESS
1	D-16-1225-105	16-PDT-180	DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-13403-C3-8"-ST	0 - 2	Adequate	193	19.4	300	35.2
2	D-16-1225-161	16-PDT-478	DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PG-16101-TD-24-S	0 - 0.6	Adequate	52	15.8	70	21.9
3	D-16-1225-129	16-PDT-801	DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-12912-NXC4-14"-ST	0 - 0.1	Adequate	362	1.9	394	4.5
4	D-16-1225-129	16-PDT-802	DIFF PRESSURE TRANSMITTER	16-PL-12913-NXC4-14"-ST	0 - 0.1	Adequate	362	1.9	394	4.5

ภาพที่ 3.53 Range Ability ของ Differential Pressure Transmitter Unit 16

NO.	P&ID NO.	TAG	INSTRUMENT TYPE	Line No.	Existing Range kg/cm ²	Remark	OPER_TEMP (°C)	OPER_PRESS (kg/cm ² g)	DE_TEMP	DE_PRESS
1	D-16-1225-130	16-PDI-2268	DIFF PRESSURE GAUGE	16-PL-12914-NXC4-10"-ST	0 - 0.1	Adequate	362	2.3	394	4.5
2	D-16-1225-130	16-PDI-2269	DIFF PRESSURE GAUGE	16-PL-12915-NXC4-10"-ST	0 - 0.1	Adequate	362	2.3	394	4.5
3	D-16-1225-130	16-PDI-2270	DIFF PRESSURE GAUGE	16-PL-12916-NXC4-10"-ST	0 - 0.1	Adequate	362	2.3	394	4.5

ภาพที่ 3.54 Range Ability ของ Differential Pressure Gauge Unit 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 89 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปส่วนของ Range Ability

จากการทำ Range Ability Unit 2,3,6,7,10,16 พบว่ามีอุปกรณ์ที่สามารถรองรับกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปได้และไม่สามารถรองรับได้ ถ้าอุปกรณ์ที่ไม่สามารถใช้ได้อย่าง Transmitter ก็ต้องทำการ re-calibrate ใหม่ หรือหากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอย่าง Pressure Gauge ก็ต้องทำการเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ ซึ่งได้ทำการสรุปไว้ในตารางที่ 4.1

INSTRUMENT RANGEABILITY SUMMARY LISTS			
UNIT	TOTAL ITEMS CHECKING	INADEQUATE ITEM RESULT	REMARKABLE
10 (DHTU)	179	0	Refer confirm from K Winyawat see email on 8 Aug 18
02 (CDU)	449	87 (FE:1, FT:5, TW:29, TE:27, TI:1)	- Replace FE:1 Tags - Re-Calibrate FT:5 Tags - New TW will be changed as per vendor recommendation more detail refer to rangeability report unk-02 Rev.2
03 (VDU)	436	3	Refer final report agreement between SPRC and TET email date 4 Sep 2018
06 (NHTU)	77	12 (TW:7, TE:5)	- TW shall be changed as solution from Vendor 7 items - TE shall be changed to suit with TW
07 (PLF)	188	31 (FT:1, TW:21, TE:11, TI:9)	- Re-calibrate FT:1 items - TE:7 items shall be changed to suit with TW - TW shall be changed as solution from Vendor 23 items
16 (RFCCU)	543	87 (FE:4, FT:9, FI:1, TW:41, TE:25)	- Replace FE:3 Tags - Replace FI:1 Tags - Re-Calibrate FT:9 Tags - TW Cal not pass 41 Tags - TE:25 tags need be changed to suit with new TW - TI:7 tags need be changed to suit with new TW
01 (Delete with RFCCU)			Delete No Scope

Notes:

- Inadequate Items + Base Scope Items will Incooperate affected process condition in datasheet next revision (IFR to IFF).
- Inadequate Items + Base Scope Items will Incooperate affected process condition during TC/TBT (Items have issued IFF datasheet: CV, PSV, On-Off Valve, MOV and Orifice)
- Narrow Way Forward Implement together between SPRC and TET;

3.1 SPRC Activity

- 3.1.1 Extract SPI database of each unit to excel format (Extract Instrument list from SPI database have include line list info of each tag number)
- 3.1.2 V_Look up line no. which have changed as per input excel format by process in the instrument list export file
- 3.1.3 Comparison existing process condition with update process condition and confirm which item need TET to support re-calculation

3.2 TET Activity

- 3.2.1 Calculation Instrument as per SPRC confirm in item 3.1.3.
- 3.2.2 Prepare report with recommendation as per calculation result
- 3.2.3 Prepare/Submit Final Report (All units)

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทำงานของ Range Ability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สรุปส่วนของ Thermowell

จากการคำนวณของบริษัท Okazaki ทำให้ทราบถึงวิธีการที่จะกระทำต่อเทอร์โมเวลล์แต่ละตัว โดยจะมีสามวิธีหลักๆ ดังนี้ 1. ขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมเวลล์ 2. ขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมเวลล์และลดความยาวของเทอร์โมเวลล์ลง 3. เปลี่ยนชนิดของเทอร์โมเวลล์จากชนิด Tepered เป็นชนิด Vortex ซึ่งเอกสารสรุปของเทอร์โมเวลล์แต่ละ unit มีดังนี้

4.2.1 Thermowell unit 2

NO.	P&ID NO.	TW TAG	TE (RTD) TAG	Line No.	TET Conclusion
1	02-D-1225-121	02-TW -221	02-TE -221	02-P2-12101-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
2	02-D-1225-121	02-TW -222	02-TE -222	02-P2-12102-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
3	02-D-1225-121	02-TW -223	02-TE -223	02-P2-12103-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
4	02-D-1225-121	02-TW -224	02-TE -224	02-P2-12104-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
5	02-D-1225-121	02-TW -225	02-TE -225	02-P2-12105-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
6	02-D-1225-121	02-TW -226	02-TE -226	02-P2-12106-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
7	02-D-1225-121	02-TW -227	02-TE -227	02-P2-12107-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
8	02-D-1225-121	02-TW -228	02-TE -228	02-P2-12108-NXB12-10"	New TW (reduce insertion length)
9	02-D-1225-122	02-TW -229	02-TE -229	02-P2-12201-NXB12-20"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
10	02-D-1225-122	02-TW -230	02-TE -230	02-P2-12201-NXB12-20"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
11	02-D-1225-123	02-TW -438	02-TE -438	02-PG-11101-B5-10"	New TW (Vortex Type)
12	02-D-1225-123	02-TW -481	02-TE -481	02-PG-12302-B8-42"	New TW (Vortex Type)
13	02-D-1225-123	02-TW -482	02-TE -482	02-P2-12201-NXB12-30"	New TW (Vortex Type)
14	02-D-1225-125	02-TW -437	02-TE -437	02-PG-12302-B8-42"	New TW (Vortex Type)
15	02-D-1225-125	02-TW -465	02-TE -465	02-P2-12501-B8-24"	New TW (Vortex Type)
16	02-D-1225-125	02-TW -468	02-TE -468	02-P2-12501-B8-24"	New TW (Vortex Type)
17	02-D-1225-125	02-TW -469	02-TE -469	02-P2-12501-B8-30"	New TW (Vortex Type)
18	02-D-1225-128	02-TW -474	02-TE -474	02-PG-12601-B9-30"	New TW (Vortex Type)
19	02-D-1225-133	02-TW -454	02-TE -454	02-PG-13301-B5-12"	New TW (reduce insertion length)
20	02-D-1225-136	02-TW -444	02-TE -444	02-PG-13602-NXB12-12"	New TW (reduce insertion length)
21	02-D-1225-144	02-TW -559	02-TE -559	02-PG-14301-B8-10"-ST	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
22	02-D-1225-145	02-TW -597	02-TE -597	02-PG-14401-B8-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
23	02-D-1225-147	02-TW -502	02-TE -502	02-PG-14703-B8-4"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
24	02-D-1225-151	02-TW -502	02-TE -502	02-P2-15101-C3-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
25	02-D-1225-152	02-TW -512	02-TE -512	02-PG-15201-C8-12"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
26	02-D-1225-156	02-TW -521	02-TE -521	02-P2-15602-B5-18"	New TW (Vortex Type)
27	02-D-1225-156	02-TW -524	02-TE -524	02-P2-15603-B5-18"	New TW (Vortex Type)

ตารางที่ 4.2 สรุปผล Thermowell unit 2

4.2.2 Thermowell unit 6

NO.	P&ID NO.	TW-TAG	TE-TAG	Line No.	TET Conclusion
1	D-06-1225-107	06-TW-013	06-TE-013	06-PG-10702-LXD5-8"-IH-100	New TW (reduce insertion length)
2	D-06-1225-106	06-TW-018	06-TE-018	06-PG-10504-LXD5-8"-IH-90	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
3	D-06-1225-105	06-TW-1001	06-TI-1001 (By Other)	06-PG-10702-LXD5-8"-IH-100	New TW (Vortex Type)
4	D-06-1225-105	06-TW-1003	06-TI-1001 (By Other)	06-PG-10505-LXD5-8"-IH-75	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
5	D-06-1225-103	06-TW-110	06-TE-110	06-HY-10301-C3-6"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
6	D-06-1225-105	06-TW-137	06-TE-137	06-PG-10504-LXD5-8"-IH-90	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
7	D-06-1225-501	07-TW-340	07-TE-340	07-HPS-50101-D3-6"-IH-115	New TW (Vortex Type)

ตารางที่ 4.3 สรุปผล Thermowell unit 6

4.2.3 Thermowell Unit 7

NO.	P&ID NO.	TW Tag	TE (RTD) Tag & TI (Gauge) Tag	Line No. / Equipment No.	TET Conclusion
1	D-07-1225-109	07-TW-1030	07-TI-1030 (By Other)	07-P2-11905-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
2	D-07-1225-109	07-TW-1031	07-TI-1031 (By Other)	07-P2-11906-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
3	D-07-1225-109	07-TW-1032	07-TI-1032 (By Other)	07-P2-11907-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
4	D-07-1225-109	07-TW-1033	07-TI-1033 (By Other)	07-P2-11908-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
5	D-07-1225-110	07-TW-1034	07-TI-1034 (By Other)	07-P2-11005-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
6	D-07-1225-110	07-TW-1035	07-TI-1035 (By Other)	07-P2-11006-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
7	D-07-1225-110	07-TW-1036	07-TI-1036 (By Other)	07-P2-11007-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
8	D-07-1225-110	07-TW-1037	07-TI-1037 (By Other)	07-P2-11008-B5-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
13	D-07-1225-114	07-TW-304	07-TE-304	07-PG-11102-B5-10"	New TW (reduce insertion length)
15	D-07-1225-116	07-TW-322	07-TE-322	07-PG-11610-C3-10"-ET-40	Exis TW default condition
16	D-07-1225-117	07-TW-351	07-TE-351	07-PG-11501-B5-16"-ET-40	New TW (reduce insertion length)
17	D-07-1225-117	07-TW-352	07-TE-352	07-PG-11901-C3-10"-ET-40	Exis TW default condition
19	D-07-1225-118	07-TW-381	07-TE-381	07-PG-11701-C3-8"-PP-40	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
20	D-07-1225-120	07-TW-250	07-TE-250	07-P2-12001-D1-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
21	D-07-1225-120	07-TW-379	07-TE-379	07-P2-12002-D1-8"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
22	D-07-1225-120	07-TW-380	07-TE-380	07-PG-11702-D1-6"-PP-40	New TW (reduce insertion length)
25	D-07-1225-133	07-TW-253	07-TE-253	07-HPS-13302-D3-8"-IH-115	New TW (reduce insertion length)
26	D-07-1225-133	07-TW-254	07-TE-254	07-HPS-13302-D3-8"-IH-115	New TW (reduce insertion length)
27	D-07-1225-133	07-TW-255	07-TE-255	07-HPS-13301-TD13-8"-IH-115	New TW (reduce insertion length)
30	D-07-1225-133	07-TW-310	07-TE-310	07-HPS-13102-TD13-8"-IH-75	New TW (reduce insertion length)
33	D-07-1225-133	07-TW-353	07-TE-353	07-HPS-13305-TD13-14"-IH-75	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I D)
36	D-07-1225-143	07-TW-1018	-	07-HPS-50103-D3-3"-IH-100	New TW (reduce insertion length)
37	D-07-1225-144	07-TW-1015	07-TI-1015 (By Other)	07-HPS-14401-D3-3"-IH-100	New TW (reduce insertion length)

ตารางที่ 4.4 สรุปผล Thermowell unit 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 92 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 Thermowell Unit 16

NO.	P&ID NO.	TW Tag	TE (RTD) Tag & TI (Gauge) Tag	Line No.	TET Conclusion
1	D-16-1225-176	16-TW-003	16-TE-003	16-FG-17602-B5-5"	New TW (reduce insertion length)
2	D-16-1225-129	16-TW-1019	16-TI-1019 (By Other)	16-PG-12901-B8-32"-PP	New TW (Vortex Type)
3	D-16-1225-154	16-TW-1036	16-TI-1036 (By Other)	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
4	D-16-1225-155	16-TW-1037	16-TI-1037 (By Other)	16-PG-15701-B10-14"-ST	New TW (Vortex Type)
5	D-16-1225-155	16-TW-1038	16-TI-1038 (By Other)	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
6	D-16-1225-162	16-TW-1058	16-TI-1058 (By Other)	16-PG-16203-TC20-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
7	D-16-1225-167	16-TW-1100	16-TI-1100 (By Other)	16-PG-16701-C2-12"	New TW (reduce insertion length)
8	D-16-1225-147	16-TW-1225	16-TI-1225 (By Other)	16-P2-14701-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
9	D-16-1225-147	16-TW-1226	16-TI-1226 (By Other)	16-P2-14702-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
10	D-16-1225-147	16-TW-1227	16-TI-1227 (By Other)	16-P2-14703-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
11	D-16-1225-147	16-TW-1228	16-TI-1228 (By Other)	16-P2-14704-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
12	D-16-1225-148	16-TW-1229	16-TI-1229 (By Other)	16-P2-14801-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
13	D-16-1225-148	16-TW-1230	16-TI-1230 (By Other)	16-P2-14802-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
14	D-16-1225-148	16-TW-1231	16-TI-1231 (By Other)	16-P2-14803-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
15	D-16-1225-148	16-TW-1232	16-TI-1232 (By Other)	16-P2-14804-B10-10"	New TW (reduce insertion length)
16	D-16-1225-154	16-TW-1241	16-TI-1241 (By Other)	16-PG-15302-B10-24"-ST	New TW (Vortex Type)
17	D-16-1225-268	16-TW-1622	16-TI-1622	16-P2-26801-B10-12"	Exis TW default condition
18	D-16-1225-162	16-TW-1625	16-TI-1625 (By Other)	16-PG-16206-TC20-8"-IC	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
19	D-16-1225-129	16-TW-207	16-TE-207	16-PG-12901-B8-32"-PP	New TW (Vortex Type)
20	D-16-1225-154	16-TW-300	16-TE-300	16-PG-15302-B10-24"-ST	New TW (Vortex Type)
21	D-16-1225-155	16-TW-301	16-TE-301	16-PG-15701-B10-14"-ST	New TW (Vortex Type)
22	D-16-1225-154	16-TW-502	16-TE-502	16-PG-15302-B10-24"-ST	New TW (Vortex Type)
23	D-16-1225-158	16-TW-503	16-TE-503	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
24	D-16-1225-154	16-TW-504	16-TE-504	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
25	D-16-1225-154	16-TW-505	16-TE-505	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
26	D-16-1225-155	16-TW-510	16-TE-510	16-PG-15701-B10-14"-ST	New TW (Vortex Type)
27	D-16-1225-156	16-TW-513	16-TE-513	16-P2-15602-B10-16"	New TW (Vortex Type)
28	D-16-1225-158	16-TW-514	16-TE-514	16-P2-15801-TC20-12"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
29	D-16-1225-159	16-TW-518	16-TE-518	16-P2-15801-TC20-16"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
30	D-16-1225-161	16-TW-522	16-TE-522	16-PG-16101-TC20-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
31	D-16-1225-161	16-TW-532	16-TE-532	16-PG-16102-TC20-8"	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
32	D-16-1225-164	16-TW-543	16-TE-543	16-PG-16401-C8-6"	New TW (Vortex Type)
33	D-16-1225-165	16-TW-545	16-TE-545	16-P2-16501-C2-10"-IH	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
34	D-16-1225-166	16-TW-554	16-TE-554	16-PG-16602-C2-12"-PP	New TW (reduce insertion length)
35	D-16-1225-156	16-TW-583	16-TE-583	16-P2-15601-B10-16"	New TW (Vortex Type)
36	D-16-1225-154	16-TW-599	16-TE-599	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
37	D-16-1225-155	16-TW-600	16-TE-600	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
38	D-16-1225-155	16-TW-601	16-TE-601	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
39	D-16-1225-155	16-TW-602	16-TE-602	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
40	D-16-1225-150	16-TW-614	16-TE-614	16-P2-14705-B10-30"	New TW (Vortex Type)
41	D-16-1225-156	16-TW-615	16-TE-615	16-PG-15401-B10-16"-PP	New TW (Vortex Type)
42	D-16-1225-176	16-TW-644	16-TE-644	16-PG-17604-B8-6"	New TW (Vortex Type)
43	D-16-1225-154	16-TW-701	16-TE-701	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
44	D-16-1225-155	16-TW-702	16-TE-702	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
45	D-16-1225-154	16-TW-726	16-TE-726	16-PG-15401-B10-14"-PP	New TW (Vortex Type)
46	D-16-1225-155	16-TW-727	16-TE-727	16-PG-15501-TC20-12"-PP	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)
47	D-16-1225-156	16-TW-753	16-TE-753	16-P2-15604-B10-16"	Exis TW default condition
48	D-16-1225-162	16-TW-758	16-TE-758	16-PG-16206-TC20-8"-IC	New TW (increase root tip within suitable size into Nozzle I.D.)

ตารางที่ 4.5 สรุปผล Thermowell unit 16

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลและสรุปผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานทั้งหมดในการปฏิบัติงานการสหกิจศึกษาทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ในด้าน Front End Engineering Design ได้เห็นภาพรวมของการทำงานออกแบบตั้งแต่ขั้นต้นจนถึงจบกระบวนการ และได้เรียนรู้ทักษะในการใช้โปรแกรม Smart Plant Instrumentation ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สำคัญมากกับวิศวกรเครื่องมือวัด เพราะนอกจากจะสามารถใช้คำนวณได้แล้ว โปรแกรมนี้ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเก็บเอกสารจำเป็นเกี่ยวกับวิศวกรรมเครื่องมือวัดได้อีกด้วย เช่น Loop Diagram, Wiring Diagram, Hook-up Drawing เป็นต้น

จากการดำเนินการโครงการ โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลของเครื่องมือวัดและกรอกรายละเอียดต่างๆของตัวอุปกรณ์วัดและควบคุมตามข้อมูลที่ได้อาจมาจาก Datasheet ที่ระบุรายละเอียดของตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดแต่ละตัว, Line List Specification ที่ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับของไหลในท่อนั้นๆ, Piping specification ที่ระบุข้อมูลต่างๆของท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรม, ผลการคำนวณของเครื่องมือวัด จากโปรแกรม Smart Plant 2013 ซึ่งเมื่อเราสามารถสรุปได้ว่าตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดในกระบวนการใช้ไม่ได้แล้วขั้นตอนต่อไปของการทำก็คือ การจัดซื้อซึ่งเป็นส่วนของวิศวกรอาวุโสในการจัดทำรายการดังกล่าว

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ในโครงการสหกิจศึกษาที่หัวหน้าโปรเจกต์ยังไม่เข้าใจระบบของสหกิจของสถาบันทำให้สั่งงานได้ค่อนข้างยากและไม่ชัดเจน
2. ในโครงการสหกิจที่มีส่วนรับผิดชอบทำงานร่วมด้วยเป็นความรู้ที่มีในห้องเรียนแต่ไม่ค่อยได้เรียนรู้อะไรจากห้องเรียนมากนัก เช่น P&ID, Hook-up Drawing, การ Wiring สายไฟ เป็นต้น
3. เนื่องจากความรู้ประสบการณ์ในการทำงานในด้านนี้น้อย จึงทำให้เกิดความสับสนและทำงานผิดพลาดบ้างในช่วงแรกๆของการทำงาน

5.3 แนวทางการแก้ไข

1. อธิบายรายละเอียดของโครงการสหกิจให้กับหัวหน้าโปรเจกต์ให้เข้าใจ เพื่อที่จะได้มอบหมายงานให้ถูกต้อง
2. ตั้งใจหาความรู้เกี่ยวกับงานที่ทำเพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ต หรืออาจสอบถามจากพี่ๆในแผนกได้โดยตรง
3. ตั้งใจกับการทำงานและมีสมาธิกับการทำงานเอกสารเนื่องจากเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

บรรณานุกรม

- [1] ทวีช ชูเมือง. Industrial Instrumentation Engineering and Design (Part II : Instrument Engineering and Selection). กรุงเทพฯ ; ดวงกมลสมัย, 2549
- [2] Emerson electric company. 2562. Rosemount TM 3051 Pressure Transmitter [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-rosemount-3051-pressure-products-en-73134.pdf> (10 มกราคม 2562)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายศุภสัณห์ กสิบปทุม
วัน เดือน ปีเกิด 26 ธันวาคม พ.ศ.2539
ที่อยู่ 222/56 ซอยแจ้งวัฒนะ 6 แยก 1-4 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กทม.
Email Sup_9510@hotmail.com
โทรศัพท์ 0911580660

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2552 – 2557 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนธรรมศาสตร์คลองหลวงวิทยาคม
- พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงานและสหกิจ แผนก Instrument บริษัท เทคนิป เอพเอ็มซี (ประเทศไทย) จำกัด

