รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ปรับปรุงระบบป้องกันและระบบควบคุมสำหรับการวัดระดับน้ำมันในหอกลั่น 2C-2801

Modify Interlock and Control System of Level Control of Column 2C-2801

นางสาวณหทัย แย้มนิล

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148587

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ปรับปรุงระบบป้องกันและระบบควบคุมสำหรับการวัดระดับน้ำมันในหอกลั่น 2C-2801

Modify Interlock and Control System of Level Control of Column 2C-2801

นางสาวณหทัย แย้มนิล

สขหมู่.....
เลขทะเบียน 148587
วัน.เดือน.ปี 6 เม.ย. 2560

.b 12870192
.i.....

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา ปรับปรุงระบบป้องกันและระบบควบคุมสำหรับการวัดระดับน้ำมัน ในหอกลั่น 2C-2801

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวณหทัย แย้มนิล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมการวัดและควบคุม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายวันทวงศ์ หาญวัง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้จะอธิบายถึงการเลือกใช้และการออกแบบติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด และอุปกรณ์วัดระดับ เพื่อปรับปรุงระบบป้องกันและระบบควบคุมสำหรับการวัดระดับน้ำมันในหอกลั่น 2C-2801 ให้มีความปลอดภัยในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยแบ่งการเลือกใช้และการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์วัดและควบคุมเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) การสำรวจพื้นที่หน้างานและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในโครงงาน 2) การประเมินระดับความปลอดภัยของอุปกรณ์วัดและควบคุมที่เลือกใช้ในโครงงาน 3) ศึกษาการเลือกใช้และออกแบบอุปกรณ์วัดและควบคุม และ 4) การประเมินระยะเวลาและงบประมาณในการดำเนินโครงงาน ซึ่งจากการศึกษาในโครงงานนี้เลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับชนิด Guided Wave Radar และวาล์วเปิด-ปิดชนิด Butterfly Valve โดยระดับความปลอดภัยของอุปกรณ์อยู่ที่ SIL1 มีงบประมาณการดำเนินโครงงานประมาณ 260,000 บาทและคาดว่าระยะเวลาการดำเนินงานแล้วเสร็จประมาณ 7 เดือนและ 2 สัปดาห์ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทำโครงงานจะใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการดำเนินงานโครงการของบริษัทต่อไป

Co-operative Title: Modify Interlock and Control System of Level Control of Column 2C-2801

Student Intern Name: Ms. Nahatai Yamnil

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

Advisor Name: Assoc. Prof. Dr. Kaset Sirisantisamrid

Mentor Name: Mr. Wanthavong Hanwang

Company: Bangchak Petroleum Public Company Limited

ABSTRACT

This cooperative educational report describes selection and installation of ON-OFF Valve and level measurement device to improve the emergency shutdown and control system for level measurement in column 2C-2801. There are four procedures of selection and installation of measuring and control devices such as 1) survey area in field and collect data related with the project, 2) evaluate SIL of devices selected in project, 3) study a method of engineering design and selection and 4) estimate operation time and budget to be used in project. In conclusion, this project selected guided wave radar for level measurement and butterfly valve for ON-OFF valve. All devices have safety level at SIL1. The budget need in this project is about 260,000 Bath and operation time is expected 7 months and 2 weeks. This result will be used as basically information for decision making of company.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านก่อนอื่นต้องขอขอบพระคุณ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้เข้าไปฝึกปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษาตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคการศึกษา ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำงานด้านวิศวกรรมการวัดคุมมากยิ่งขึ้น และต้องกราบขอบพระคุณคุณสุทธิโชค นันทสุขเกษม ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง คุณวันทวงศ์ หาญวัง ผู้นิเทศงานและพนักงานแผนกซ่อมบำรุงทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ประสบการณ์ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจแก้รายงานฉบับนี้และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมคุมทุกท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการทำรายงานสหกิจฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ วิศวกรรมการวัดคุม รุ่นที่ 36 ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันใดพึงมีจากรายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณหทัย แย้มนิล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ระบบนิรภัยเบื้องต้นและการประเมินความเสี่ยง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ระบบนิรภัย	4
2.3 การประเมินความเสี่ยง	12
2.4 อุปกรณ์วัดในระบบวัดคุมนิรภัย	21
2.5 เครื่องมือวัดระดับ	41
2.6 วาล์วควบคุม	48
2.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในลูปควบคุม	58
บทที่ 3 การปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมจากระดับน้ำมันในหอกลั่น	66
3.1 บทนำ	66
3.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของโครงการ	66
3.3 การประเมินความเสี่ยง	70
3.4 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดและควบคุมให้เหมาะสมกับโครงการ	74
3.5 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้า	78
3.6 การปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผล	80
บทที่ 4 ผลการปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมจากระดับน้ำมันในหอกลั่น	83
4.1 บทนำ	83
4.2 อุปกรณ์วัดและควบคุมที่เลือกใช้ในโครงงาน	83
4.3 การตรวจสอบ SIL Verification	86

หน้า

4.4 การประเมินงบประมาณในการจัดทำโครงงาน 87

4.5 การประเมินระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 88

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 89

5.1 สรุปผล 89

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 89

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา 89

บรรณานุกรม 90

ภาคผนวก 91

ภาคผนวก ก. 92

ภาคผนวก ข. 103

ประวัติผู้เขียน 108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Hardware Safety integrity: architectural constraints on subsystem build from Type A components	27
2.2 Hardware Safety integrity: architectural constraints on subsystem build from Type B components	27
3.1 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษาจาก P&ID	67
3.2 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษา Pipe Class	68
3.3 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษา Pipe Class	68
3.4 แสดงตารางประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)	70
3.5 การแบ่งค่าระดับ SIL	71
3.6 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อทรัพย์สิน	71
3.7 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อชีวิตคน	72
3.8 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	73
3.9 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับ	76
3.10 การเลือกใช้วาล์ว	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ฟังก์ชันนิรภัย	6
2.2 ตัวอย่างฟังก์ชันนิรภัย	7
2.3 ลำดับขั้นการทำงานที่ถูกยอมรับตามมาตรฐาน IEC 61508	11
2.4 ฟังก์ชันนิรภัยในระบบวัดคุมนิรภัย	12
2.5 กราฟแสดงความสูญเสียต่อชีวิต	16
2.6 กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน	16
2.7 กราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม	16
2.8 ลำดับขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง	20
2.9 ประเภทความผิดพลาดในระบบการวัดและควบคุม	25
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน IEC 61508 และ IEC 61511	29
2.11 อุปกรณ์การวัดแบบ 1oo1	32
2.12 อุปกรณ์การวัดแบบ 1oo2	33
2.13 อุปกรณ์การวัดแบบ 1oo3	35
2.14 อุปกรณ์การวัดแบบ 2oo3	36
2.15 อุปกรณ์การวัดแบบ 2oo2	38
2.16 กระจกแก้วมองระดับ (Glass Gauge)	42
2.17 เครื่องมือวัดระดับทางเชิงกล (Mechanical Tank Gauge)	43
2.18 เครื่องมือวัดระดับชนิด Displacer	44
2.19 อุปกรณ์วัดค่าระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า	45
2.20 เครื่องมือวัดระดับแบบ Electromechanical Level Indicator	48
2.21 ลักษณะกราฟแบบ Installed Control Valve Flow Characteristics	53
2.22 ลักษณะกราฟแบบ Installed Control Valve Flow Characteristics	53
2.23 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Pneumatic	55
2.24 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Analog Electro-Pneumatic	56
2.25 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Smart Valve Positioners	56
2.26 Panel Instrument ภายในห้องควบคุม	59
2.27 กลุ่มอุปกรณ์สำหรับวัดหรือควบคุมตัวแปรกระบวนการในกระบวนการผลิต	60
3.1 แผนภาพอย่างง่ายจากหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังเก็บน้ำมัน T-991	67
3.2 หอกลั่น 2C-2801 Stabilizer	68
3.3 ถังเก็บน้ำมันผลิตภัณฑ์ T-991 และพื้นที่บริเวณรอบๆ ถัง (Dike)	69
3.4 ท่อจากหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังบรรจุน้ำมัน T-991	69

ภาพที่ หน้า

3.5 ท่อยืน (Standpipe) ของหอกลั่น 2C-2801 75
3.6 บริเวณสำหรับติดตั้งวาล์ว 77
3.7 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดระดับมายังห้องควบคุม 79
3.8 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากวาล์วเปิด-ปิดมายังห้องควบคุม 80
3.9 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากสวิทซ์รีเซ็ทมายังห้องควบคุม 80
3.10 แผนภาพส่วนประมวลผลของอุปกรณ์วัดระดับ 81
3.11 แผนภาพส่วนประมวลผลของวาล์วเปิด-ปิด 82
4.1 แผนภาพอย่างง่ายของหน่วย 2800 ไอโซเมอร์ไรเซชั่น 83
4.2 Dimensional Drawingsของ Butterfly Valve Bray Series 40 – 45 84
4.3 Dimensional Drawingsของ Guided Wave Radar Rosemount Series 5300 85
4.4 การตรวจสอบ SIL Verification จากโปรแกรม exSILential ของ Exida 87

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ดำเนินกิจการหลักด้วยการประกอบธุรกิจโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมตั้งแต่การจัดหาน้ำมันดิบจากแหล่งต่างประเทศ และจากแหล่งน้ำมันดิบภายในประเทศ เข้ามากลั่นเป็นน้ำมันสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐาน โดยมีโรงกลั่นอยู่ที่เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร และจัดจำหน่ายผ่านเครือข่ายสถานีบริการน้ำมันบางจากหลายสาขาทั่วประเทศ รวมถึงได้ขยายกิจการสู่ธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยบางจากฯ มีความมุ่งมั่นในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยเพื่อความยั่งยืนขององค์กร ซึ่งได้มีการนำระบบ Process Safety Management มาปรับใช้ในส่วนต่างๆ ซึ่งมีหลักการที่มุ่งเน้นในเรื่องของความปลอดภัย, ปกป้องสิ่งแวดล้อม ชุมชน ทรัพย์สินและผลิตด้วยเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุด

เนื่องจากโรงกลั่นน้ำมันบางจากตั้งอยู่ในเขตชุมชนพระโขนง ทำให้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในกระบวนการผลิตเป็นสิ่งแรกๆ คือ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตในโรงกลั่นทุกๆ ส่วนหากมีการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์อาจทำให้ส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อทั้งชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม อย่างในช่วงการซ่อมครั้งใหญ่ (Turnaround Maintenance) เมื่อปี พ.ศ. 2557 ที่ผ่านมาได้เกิดเหตุการณ์น้ำมันล้นถัง T-991 ซึ่งเป็นถังบรรจุน้ำมันไอโซเมอร์เรทสำหรับรอการผสมเป็นน้ำมันเบนซินขึ้นระหว่างทำการขนถ่ายน้ำมันจากหน่วยไอโซเมอร์ไรเซชั่นซึ่งสาเหตุของการล้นของน้ำมันเกิดขึ้นจากเมื่อระดับน้ำมันในหอกลั่นของหน่วยไอโซเมอร์ไรเซชั่นแห้ง ทำให้เกิดการขนถ่ายแก๊สไฮโดรคาร์บอนแทนที่จะเป็นน้ำมันไอโซเมอร์เรทซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวติดไปเข้าท่อที่เป็นด้านเข้าถังบรรจุน้ำมันเบนซิน T-991 โดยท่อที่เป็นด้านเข้าถังนี้อยู่ด้านล่างถังจึงส่งผลทำให้แก๊สไฮโดรคาร์บอนนี้เกิดการลอยตัวขึ้นเช่นเดียวกับฟองอากาศที่อยู่ในของเหลวและไปดันน้ำมันด้านบนจนเกิดการล้นออกมาซึ่งเหตุการณ์นี้ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเนื่องจากน้ำมันที่ล้นถังออกมานั้นเป็นน้ำมันไอโซเมอร์เรทซึ่งเป็นสารระเหยทำให้เกิดกลิ่นเหม็นที่รุนแรง นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านทรัพย์สินที่ประกอบด้วยมูลค่าของน้ำมันที่ล้นถังออกมาและค่าทำความสะอาดพื้นที่บริเวณรอบๆ ของถังน้ำมันจากปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันและระบบควบคุมสำหรับตรวจสอบระดับน้ำมันในหอกลั่น หากระดับน้ำมันลดลงแล้วจะสั่งปิดวาล์วเปิด-ปิดที่ส่งไปยังถังบรรจุน้ำมันไอโซเมอเรท เพื่อความปลอดภัยของทั้งสิ่งแวดล้อม ชีวิต และทรัพย์สินของบริษัทและบริเวณชุมชนใกล้เคียง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ในระบบวัดคุมนิรภัย

1.2.2 เพื่อศึกษาและสรรหาอุปกรณ์เครื่องมือวัดและควบคุมที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับความต้องการของโครงการ

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบและเลือกสถานที่ติดตั้งของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและควบคุม

1.2.4 เพื่อเรียนรู้กระบวนการทำงานทางวิศวกรรมภายในบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

สามารถประยุกต์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานำมาทำงานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับกับเครื่องมือวัดและควบคุมภายในบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

1.4 วิธีดำเนินงาน

1.4.1 ลงพื้นที่ทำงานเพื่อให้เข้าใจกระบวนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานภาคสนามและงานซ่อมบำรุง

1.4.2 สำรวจพื้นที่หน้างานทั้งบริเวณหอกลั่นและบริเวณถังน้ำมันผลิตภัณฑ์เพื่อดูความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้งวาล์วและอุปกรณ์วัดระดับ

1.4.3 รวบรวม และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

1.4.4 วิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ ระบบวัดคุมนิรภัย

1.4.5 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวาล์วและอุปกรณ์วัดระดับเพื่อเลือกใช้งานสำหรับโครงการ

1.4.6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการ์ดโมดูลและการเดินสายที่ต้องใช้งานจริงในโครงการ

1.4.7 สำรวจพื้นที่หน้างานกับผู้รับเหมาเพื่อทำการวัดระยะสายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อไปยังห้องควบคุมและติดต่อประสานงานกับผู้จัดจำหน่ายสินค้าเพื่อขอราคาวาล์วและอุปกรณ์วัดระดับ

1.4.8 ศึกษาการปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผล

1.4.9 ประเมินงบประมาณในการจัดทำโครงการ

1.4.10 จัดทำเอกสารแสดงข้อมูลทั้งหมดของโครงการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ความรู้จากการศึกษากระบวนการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ ระบบวัดคุมนิรภัย

1.5.2 ได้ความรู้จากการศึกษาหลักการทำงานการเลือกใช้ และการติดตั้งวาล์วและอุปกรณ์วัดระดับ

1.5.3 ได้เรียนรู้กระบวนการทำงานทางวิศวกรรมภายในบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

1.5.4 ได้เรียนรู้ระบบการทำงานในกระบวนการผลิตทั้งส่วนปฏิบัติการและส่วนซ่อมบำรุง

1.5.5 ได้ทักษะในการติดต่อประสานงานและทำงานร่วมกับผู้อื่น

บทที่ 2
ระบบนิรภัยเบื้องต้นและการประเมินความเสี่ยง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงระบบนิรภัยเบื้องต้น อุปกรณ์วัดในระบบนิรภัย และการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน รายละเอียดประกอบด้วย ระบบนิรภัย (Safety Instrumented System) การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) อุปกรณ์วัดในระบบนิรภัย การออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยเครื่องมือวัดระดับวาล์วควบคุมและการติดตั้งอุปกรณ์ในลูปควบคุม

2.2 ระบบนิรภัย

ฟังก์ชันควบคุมสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่า Set Point ได้ตามที่ต้องการและอุปกรณ์การควบคุมที่เป็นวาล์วควบคุมจะมีการทำงานอยู่ตลอดเวลา มีการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วบ่อยครั้งเพื่อปรับตัวแปรกระบวนการให้อยู่ในค่าที่ต้องการ ซึ่งเมื่อใช้งานไปในระยะเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดการสึกหรอหรือเกิดการติดขัดต่อการปิดเปิดหรืออาจปิดเปิดได้ช้าลงหรือเกิดการผิดปกติขึ้นในอุปกรณ์การวัด ซึ่งจะส่งผลทำให้ตัวแปรที่ต้องการควบคุมไม่สามารถควบคุมได้ หรืออาจทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการผลิตเหล่านั้นมีค่าสูงกว่าที่อุปกรณ์ในกระบวนการจะทนได้ หรืออาจเกิดจากการปฏิบัติงานที่ผิดพลาดโดยการใส่ค่า Set Point ที่มากเกินไปหรือทำการสั่งปิดหรือเปิดวาล์วไม่ถูกต้อง เหตุการณ์ต่าง ๆเหล่านี้อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวแปรในกระบวนการเกิดความผิดพลาดไปจากค่า Set Point ที่ต้องการได้ ถ้าค่าตัวแปรต่าง ๆ มีค่าเกินกว่าจุดที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการจะทนได้ อาจทำให้เกิดการรั่วไหลออกมายังภายนอก ถ้าของไหลที่ทำการควบคุมเป็นสารไวไฟ (Flammable) หรือเป็นพิษ (Toxic) อาจทำให้เกิดการลุกไหม้ หรืออาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในบริเวณนั้น เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ หรือเกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ การป้องกันการเกิดเหตุการณ์เหล่านี้สามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบป้องกัน (Protection System) หรือระบบนิรภัย (Safety System) เข้าไป ระบบนิรภัยสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น อาจจะทำการออกแบบให้ถังบรรจุของไหลมีการทนต่อความดันได้สูงกว่าความดันของกระบวนการหรือการติดตั้งวาล์วนิรภัยทางกล (Pressure Relief Valve) หรือจัดเตรียมฟังก์ชันนิรภัยระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System) เข้าไป เป็นต้น ในการพิจารณาว่าจะใช้ระบบนิรภัยแบบใดจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ค่าความเชื่อมั่นในการทำงานและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ โดยในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการเลือกใช้ระบบวัดคุมนิรภัยที่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์และการโปรแกรมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือเป็นระบบที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางที่เรียกว่า “ระบบ ESD” (Emergency Shut Down System)

ระบบวัดคุมนิรภัยจะเป็นระบบที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันกระบวนการผลิตจากเหตุการณ์อันตราย ทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัยหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการ โดยระบบวัดคุมนิรภัยนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์วัด (Sensing Element) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิต (Process Parameter) ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20mA ที่ 24 VDC เพื่อส่งไปยังส่วนประมวลผลลอจิก (Logic Solver) อุปกรณ์วัดพื้นฐานจะมีดังนี้ อุปกรณ์วัดการไหล (Flow Transmitter) อุปกรณ์วัดระดับ (Level Transmitter) อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transmitter) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) แต่อุปกรณ์วัดในระบบวัดคุมนิรภัยอาจมีมากกว่าหนึ่งตัวซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราความผิดพลาด (Failure Rate) ว่าอยู่ในค่าที่ต้องการหรือไม่

2. ส่วนประมวลผลลอจิก (Logic Solver) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประมวลผลทางลอจิกของระบบวัดคุมนิรภัย เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะปลอดภัยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น โดยการรับสัญญาณอินพุตมาจากอุปกรณ์วัดเพื่อมาทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย(Set Point) จากนั้นส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ส่วนประมวลผลจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit) ตัวประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) ส่วนรับและส่งสัญญาณ (Input and Output Cards) ส่วนติดต่อสื่อสาร (Communication Port) และโปรแกรมในการทำงาน

3. อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากส่วนประมวลผลลอจิก ส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณปิดและเปิดด้วยแรงดัน 24 VDC ไปเป็นการปิดและเปิดอุปกรณ์สุดท้าย เช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve)

4. ส่วนติดต่อกับเครือข่ายสื่อสารหลัก (Interface Unit) เนื่องจากระบบวัดคุมนิรภัยจะไม่มีส่วนที่ใช้แสดงผลและสถานะต่างๆ ดังนั้นระบบจึงต้องใช้ส่วนแสดงผลของระบบควบคุมพื้นฐาน หรือระบบ DCS เป็นส่วนแสดงผลการทำงานและแสดงสัญญาณเตือน โดยทำการส่งข้อมูลผ่านส่วนติดต่อกับระบบสื่อสารหลัก ข้อมูลต่างๆที่ถูกส่งออกไปจะเป็นสัญญาณเตือนต่างๆ และสภาวะการทำงาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกว่า “SOE” (Sequence of Event) ซึ่งข้อมูลนี้จะแสดงค่าเวลาที่เกิดเหตุการณ์นั้น (Time Stamped) และจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์สาเหตุของเหตุการณ์ต่างๆ

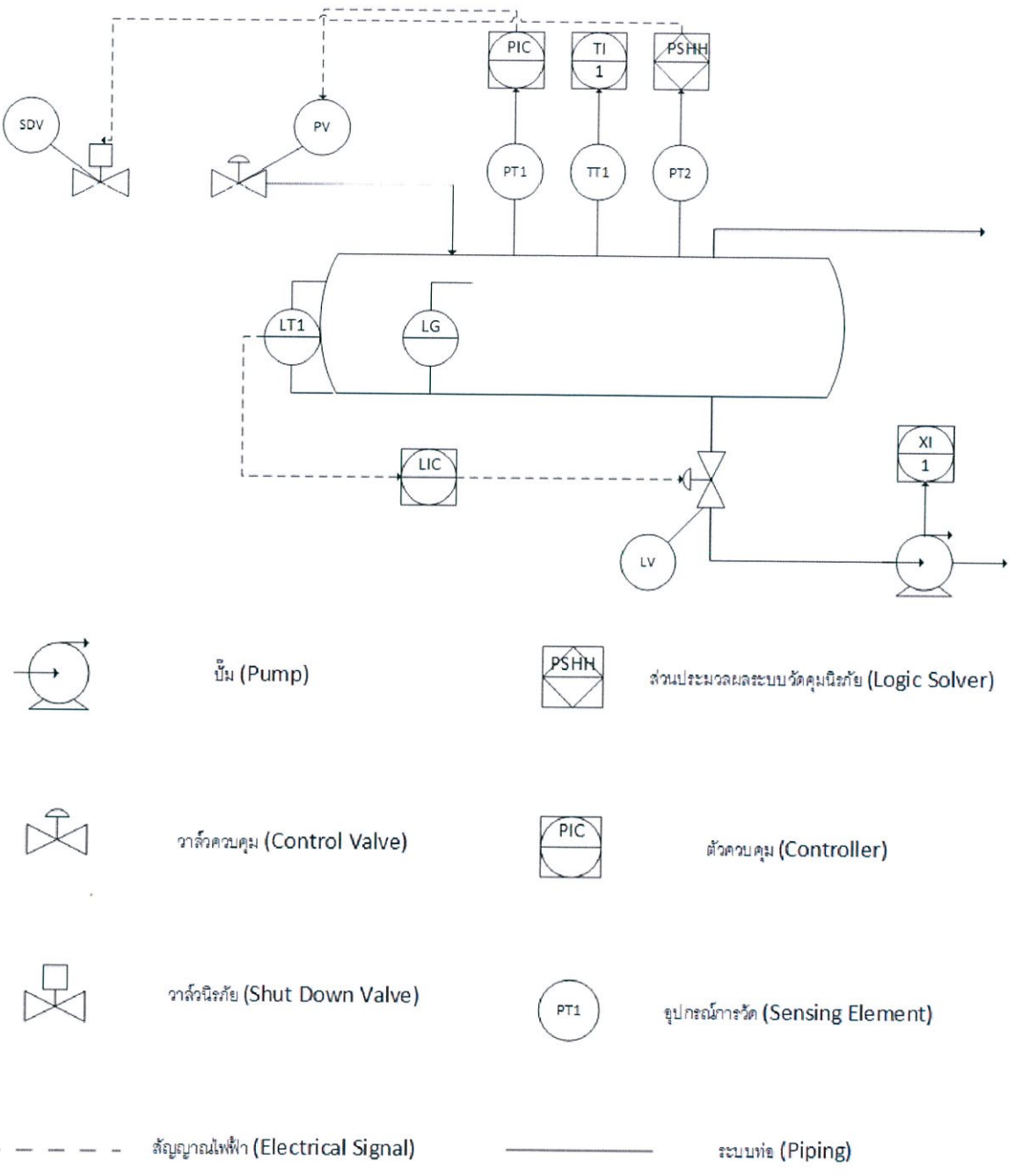
5. Engineering Unit เป็นหน่วยที่ใช้ในการกำหนดคำสั่งการทำงาน หน่วยนี้จะมีความจำเป็นตั้งแต่เริ่มสร้างระบบวัดคุมนิรภัยจนถึงการซ่อมบำรุงและการแก้ไขเพิ่มเติม

การทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยถูกแบ่งแยกออกได้เป็นฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ได้หลายฟังก์ชัน ซึ่งในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์วัด (Sensing Element)

ตัวประมวลผลลอจิก (Logic Solver) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 ฟังก์ชันนิรภัย

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันนิรภัยจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับฟังก์ชันควบคุมสิ่งที่แตกต่างกันจะเป็นส่วนประมวลผลที่จะทำการประมวลผลเป็นแบบลอจิก ซึ่งไม่สามารถนำไปกับควบคุมแบบเชิงเส้นได้ โดยสัญญาณเอาต์พุตจะมี 2 สภาวะคือ ปิดและเปิด และอุปกรณ์สุดท้ายของฟังก์ชันนิรภัยจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเพียง 2 สภาวะเพียงปิดและเปิดเท่านั้น เช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) หรือ ตัวควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถปรับตั้งค่าเป้าหมาย (Set Point) ที่ตัวประมวลผลในช่วงการปฏิบัติงานปกติได้ โดยค่าเป้าหมายนี้จะถูกกำหนดไว้แล้วตั้งแต่ในช่วงการกำหนดรายละเอียดและผู้ผลิตได้ทำการกำหนดค่าเป้าหมายในช่วงการเขียนโปรแกรมการทำงาน การเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายจะต้องมีการควบคุมหรือมีลำดับขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลง (Procedure) อย่างเคร่งครัด ในการทำงานตัวประมวลผลจะทำอ่านค่าตัวแปรมาจากอุปกรณ์วัด ตัวประมวลผลจะทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าเป้าหมายถ้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดมีค่าน้อยกว่า (มากกว่า) ค่าจุดทำงาน ตัวประมวลผลจะไม่ทำงาน แต่ถ้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดมีค่ามากกว่าค่ามากกว่า (น้อยกว่า) จุดทำงานตัวประมวลผลจะทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้ายให้ทำการปิดหรือเปิดตามที่ได้กำหนดไว้ ฟังก์ชันนิรภัยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างฟังก์ชันนิรภัย

จากภาพที่ 2.2 ได้มีการเพิ่มฟังก์ชันนิรภัยเพื่อการป้องกันความดันเกิน (Over Pressure Protection) โดยมีอุปกรณ์วัดความดันในถัง และมีวาล์วนิรภัยที่ใช้สำหรับปิดเปิดของไหลด้านขาเข้าถัง การทำงานของฟังก์ชันนิรภัยจะเป็นการปิดวาล์วนิรภัย เมื่อค่าความดันที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดมีความดันมากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด

2.2.1 วิวัฒนาการของระบบนิรภัย

ในอุตสาหกรรมการผลิตจะมีตัวแปรและค่าคงที่ต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้หลายๆ ค่าซึ่งตัวแปรบางส่วนในกระบวนการอาจทำให้การทำงานของกระบวนการเบี่ยงเบนไปจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ดังนั้นหน้าที่หลักของระบบการควบคุมพื้นฐานคือควบคุมตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นให้มีค่าตามที่กำหนดเพื่อทำให้กระบวนการทำงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ กระบวนการจะถูกควบคุมด้วยการสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆจากอุปกรณ์วัด ข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการ โดยระบบควบคุมจะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปจัดการกับกระบวนการผ่านทางอุปกรณ์สุดท้าย

บางครั้งกระบวนการและระบบควบคุมมีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายต่างๆ ความเสี่ยงเป็นการรวบรวมความถี่และความเป็นไปได้ในการเกิดเหตุการณ์อันตรายและผลกระทบที่จะตามมา ระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายสูงๆ เหล่านี้มีโอกาสที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ทำอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและอุปกรณ์วัดและควบคุมที่มีราคาแพงในกระบวนการได้ บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องติดตั้งระบบควบคุมสำรอง (Redundancy Control System) เพื่อลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้จัดอยู่ในระบบที่เรียกว่า “ระบบนิรภัย” (Safety Systems) มาตรฐาน ANSI-SP84ได้แสดงความหมายของระบบนิรภัยที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตว่า “เป็นระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์วัด ส่วนประมวลผล และอุปกรณ์สุดท้าย เพื่อทำหน้าที่ให้กระบวนการเข้าสู่สภาวะปลอดภัย เมื่อพบว่ากระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะอันตราย”

ระบบป้องกัน (Protective System) หรือระบบนิรภัย (Safety Related System) สามารถให้คำจำกัดความได้หลายความหมายและยังสามารถถูกนำไปใช้งานได้หลายประเภท ซึ่งอาจจะสามารถทำให้เกิดความเข้าใจที่สับสน การใช้งานระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตมีการใช้งานมาเป็นเวลานานและก็มีชื่อเรียกได้หลายชื่อเช่นกัน อาทิเช่น Interlock System, Instrument Protective System, Emergency Shut Down System, Safety Instrumented System เป็นต้น คำจำกัดความของระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตอีกความหมายหนึ่งได้ถูกแสดงไว้ในเอกสาร HSE (Health Safety Executive) ที่ประเทศอังกฤษ ในปี 1987 โดยเอกสารดังกล่าวได้ให้คำจำกัดความของระบบนิรภัยว่าเป็นระบบที่ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ตอบสนองต่อสภาวะใดๆ จากกระบวนการผลิตที่อาจจะเกิดอันตรายด้วยตัวมันเอง หรือถ้าไม่มีการกระทำใดๆ ต่อเหตุการณ์นั้นจะทำให้เกิดอันตรายเพิ่มขึ้น และระบบนิรภัยจะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปทำให้ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมาลดลง เป้าหมายการทำงานของระบบนิรภัยเป็นที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการให้บรรลุวัตถุ -ประสงค์มี 2 ประการ คือ

1. ต้องสามารถทำงานได้ตลอดเวลา
2. ต้องไม่มีความผิดพลาดในการทำงาน

ในสหรัฐอเมริกา บริษัทผู้รับประกันภัยต่างๆ ได้กำหนดให้ใช้มาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Administration) เป็นข้อกำหนดในการใช้งานระบบบริหารการเผาไหม้ (Burner Management System) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสากลของระบบนิรภัยสำหรับ

ใช้อ้างอิงในการนำไปใช้งาน แต่ได้มีผู้ใช้งานบางรายได้กำหนดมาตรฐานระบบนิรภัยขึ้นมาใช้งานเอง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบนิรภัยที่ได้ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตของตนนั้น มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานระบบนิรภัยได้ถูกนำมาใช้งานในทวีปยุโรปก่อนสหรัฐอเมริกา เนื่องจากบางประเทศในทวีปยุโรปได้มีข้อกำหนดทางกฎหมาย ตัวอย่างเอกสารมาตรฐานระบบนิรภัยที่มีใช้ในยุโรป อาทิเช่น Health and Safety Executive (HSE), TUV และ DIN 19250 เป็นต้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกา การพัฒนาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความปลอดภัยเป็นแรงกระตุ้นให้เกิดมาตรฐานสำหรับการออกแบบและใช้งานระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต ISA (Instrument Society of America) จึงได้จัดตั้งคณะกรรมการ SP84 ขึ้นเพื่อดำเนินการจัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับระบบนิรภัยสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตขึ้น มาตรฐานที่คณะกรรมการ SP84 ได้จัดทำขึ้นและได้ผ่านการลงมติจากสมาชิกแล้วเพื่อการนำไปใช้งานคือ มาตรฐาน ANSI/ISA-SP-84.01 “Application of Safety Instrumented Systems for the process industries” ทางด้านยุโรปก็ได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการ SC65A ขึ้นสำหรับดำเนินการจัดทำมาตรฐานสากลของระบบนิรภัยสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตเช่นกัน มาตรฐานที่คณะกรรมการ SC65A จัดทำขึ้นและได้ผ่านการลงมติจากสมาชิกในการนำไปใช้งานคือ มาตรฐาน IEC-61508 “Function Safety of Electrical/Electronic / Programmable Electronics Safety-Related System” และมาตรฐาน IEC-61511 “Function Safety: Safety Instrumented System for the process industry sector” ซึ่งคาดว่าจะเป็นมาตรฐานที่มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการออกแบบและใช้งานระบบนิรภัยกับชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และ ระบบที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้สำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตชนิดต่างๆ

นอกจากนั้นระบบนิรภัยที่มีความน่าเชื่อถือในการทำงานได้สูงๆ จะต้องสามารถแสดงและตรวจจับความผิดพลาดของตนเอง (Self-Diagnostic) ได้ในระหว่างการทำงาน ความสามารถในการตรวจจับความผิดพลาดของตนเองมีความสำคัญมากกับระบบนิรภัยและเป็นตัวแสดงความน่าเชื่อถือในการทำงานของระบบ การตรวจจับความผิดพลาดที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ 1) การตรวจจับความผิดพลาด (Fault Detection) และ 2) ความทนทานต่อความผิดพลาด (Fault Tolerance)

การตรวจจับความผิดพลาดจะถูกใช้ในระหว่างการใช้งาน เพื่อตรวจจับความผิดพลาดต่างๆ และเพื่อทำให้ระบบอยู่ในสภาวะที่ปลอดภัย

ความทนทานต่อความผิดพลาดเป็นคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของระบบนิรภัยที่สามารถใช้เพื่อป้องกันความผิดพลาดของระบบจากสิ่งแวดล้อมต่างๆที่นำไปใช้งานซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ระบบนิรภัยทำงานผิดพลาด เทคนิคของความทนทานต่อความผิดพลาดถูกออกแบบให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้องในขณะที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

ก่อนปีค.ศ.1980 ยังไม่มีมาตรฐานใดๆที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมหรือระบบนิรภัยที่ต้องการความน่าเชื่อถือในการทำงานสูงๆ ระบบนิรภัยในช่วงแรกๆจะถูกออกแบบติดตั้ง และบำรุงรักษาโดยทางแผนกไฟฟ้า การออกแบบจะใช้สวิตซ์พื้นฐานและรีเลย์เป็นหลัก ระบบรีเลย์เป็นมาตร-ฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งปี ค.ศ.1960 การสวิตซ์ด้วยทรานซิสเตอร์ หรือเรียกว่า "โซลิดสเตต" (Solid-state) เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์สามารถใช้กับงานที่ต้องการประมวลผลที่ซับซ้อนได้ แต่ระบบดังกล่าวก็ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในระบบนิรภัย เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่า ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ไตรแอก เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถคาดคะเนความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้อาจจะมีความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Dangerous Failure) หรือความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure) ได้เท่าๆกัน (50%) ในระบบนิรภัยต้องการออกแบบระบบให้มีคุณสมบัติสำหรับการเกิดความผิดพลาดนิรภัยซึ่งในระบบนิรภัยที่ใช้การสวิตซ์ด้วยทรานซิสเตอร์สามารถออกแบบให้มีชุดทำงานสำรอง (Redundancy System) อาจใช้เป็นสองชุด (Dual) หรือสามชุด (Triple) สำหรับใช้เป็นชุดทำงานสำรองในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นกับชุดทำงานหลัก วิธีการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับให้ใช้ในระบบนิรภัยโดย TUV และมาตรฐาน VDE

ในปี ค.ศ.1985 เท็กซัส อินสตรูเมนต์ (Texas instrument) ได้คิดค้นและประดิษฐ์วงจรรวม (Integrated Circuit) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า "ไมโครโปรเซสเซอร์"(Microprocessor) ระบบรีเลย์และการสวิตซ์ด้วยทรานซิสเตอร์จึงถูกแทนที่ด้วยการโปรแกรมคำสั่งการทำงานที่ประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เหล่านี้ ส่วนประมวลผลกลาง (Central Processor Unit) ที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบและเป็นที่รู้จักใช้งานกันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมคือ PLC (Programmable Logic Control) PLC เป็นอุปกรณ์การควบคุมที่สามารถลือกใช้งานและหาได้ง่ายในท้องตลาด แต่ส่วนประมวลผลกับแผงรับและส่งสัญญาณ (Input และ Output Cards) ของ PLC ที่ใช้ในงานควบคุมที่ยังมีค่าความผิดพลาดที่ไม่อาจคาดคะเนได้ ดังนั้นในการนำ PLC ไปใช้ในระบบนิรภัยจึงต้องมีการออกแบบพิเศษหรือติดตั้งชุดทำงานสำรอง

2.2.2 ระบบนิรภัยแบบประมวลผลด้วย PLC

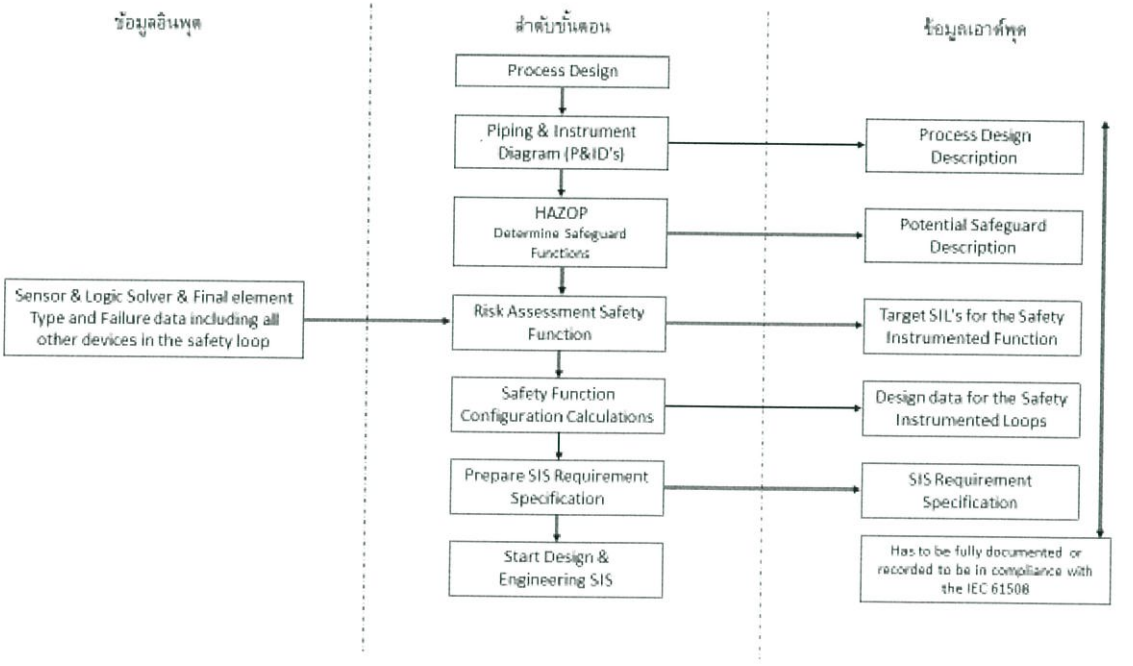
ระบบประมวลผลด้วย PLC เป็นระบบที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและได้ถูกรับรองให้นำไปใช้ในระบบนิรภัย PLC ที่จะนำมาใช้งานเป็นส่วนประมวลผลในระบบนิรภัยได้ถูกออกแบบเป็นพิเศษและมีการทดสอบการทำงานจากสถาบันที่น่าเชื่อถือซึ่งมีข้อดี ดังนี้

1. สามารถใช้งานกับสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อกได้
2. เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ค่าเป้าหมาย (Set Point) ที่กำหนดได้ง่าย
3. สามารถจัดเตรียมระบบการตรวจสอบความผิดพลาดได้
4. สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้

2.2.3 รายละเอียดของระบบวัดคุมนิรภัย

หลักการที่ IEC61508 ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบวัดคุมนิรภัยให้เป็นไปตามความต้องการ การออกแบบให้เป็นไปตามวงรอบความปลอดภัยหรือ Safety Life Cycle จะเห็นได้ว่าการพัฒนาและกำหนดรายละเอียดของระบบนิรภัยนั้น มิได้พิจารณาเพียงเฉพาะการเลือกระบบประมวลผลและอุปกรณ์วัดที่จะนำไปใช้งานเท่านั้น แต่ยังต้องมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่ออันตรายและความสูญเสีย รวมทั้งผลกระทบที่จะเกิดขึ้น มีการวางแผนในการใช้งาน แผนการซ่อมบำรุง แผนการติดตั้ง แผนการทดสอบการทำงานของระบบ และที่สำคัญก็คือ ยังมีการวางแผนในการตรวจสอบการทำงานของระบบหลังจากการใช้งานไปแล้ว จึงทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยที่พัฒนาหรือถูกออกแบบขึ้น โดยใช้มาตรฐานนี้จึงมีความน่าเชื่อถือในการทำงานได้สูงและทำงานได้ถูกต้อง ตลอดอายุการใช้งาน

ขั้นตอนการกำหนดรายละเอียดของระบบวัดดคุมนิรภัย เพื่อให้มีประสิทธิภาพควรจะทำภายหลังกระบวนการผลิตได้ผ่านการพิจารณาตามกฎเกณฑ์ HAZOP (Hazard and Operability) ผลของการพิจารณาที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญ ที่ใช้สำหรับการกำหนดรายละเอียดของระบบวัดคุมนิรภัย การกำหนดรายละเอียดของระบบเริ่มต้นจากการประเมินสาเหตุที่อาจทำให้เกิดความผิดปกติต่อกระบวนการผลิต อัตราความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์และผลกระทบต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นถ้ามีเหตุการณ์นั้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินจะเป็นค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level: SIL) ของแต่ละฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) จากนั้นจะทำการกำหนดรูปแบบรายละเอียดอุปกรณ์ในระบบนิรภัย เพื่อให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัยที่ได้จากการประเมิน จากขั้นตอนทั้งหมดสามารถแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลำดับขั้นการทำงานที่ได้การรับรองตามมาตรฐาน IEC 61508

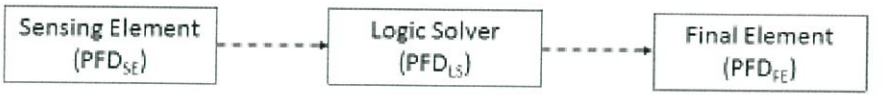
2.3 การประเมินความเสี่ยง

2.3.1 ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level) หรือ SIL

ระบบวัดคุมนิรภัยจะถูกใช้งานในการทำหน้าที่ป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายของกระบวนการอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการความผิดพลาดที่เกิดจากฟังก์ชั่นการควบคุมหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบนิรภัยเอง ดังนั้น มาตรฐาน IEC61508 จึงได้มีการกำหนดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของฟังก์ชันนิรภัยต่างๆ ที่อยู่ในระบบวัดคุมนิรภัย สำหรับนำไปใช้ในการป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหาย ซึ่งค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายจะเรียกว่า "ค่าระดับความปลอดภัย" (SIL) ของฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ในระบบวัดคุมนิรภัย โดยค่าระดับความปลอดภัยจะถูกแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ตามช่วงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายเป็นช่วงๆ ละสิบเท่า ค่าระดับความปลอดภัยจะแสดงตามค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ (Probability of a failure on Demand: PFD) เวลาที่ต้องการเป็นสภาวะที่เกินจุดกำหนดความปลอดภัยของตัวแปรที่วัดได้จากกระบวนการผลิต ถ้าเวลาที่ต้องการเกิดขึ้น และระบบไม่สามารถทำงานได้ในเวลาที่กำหนด อันตรายจากเหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้น

2.3.2 ระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System)

ระบบวัดคุมนิรภัยสามารถที่จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) สำหรับทำหน้าที่ในการป้องกันอันตราย ในการใช้งานจริงอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตจะมีฟังก์ชันนิรภัยได้หลายฟังก์ชัน ฟังก์ชันนิรภัยในระบบวัดคุมนิรภัยจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์วัด (Sensing Element) ส่วนประมวลผลลอจิก (Logic Solver) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element)ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีค่าความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Dangerous Failure) ของตนเอง หลังจากค่าระดับความปลอดภัยหรือ SIL ได้ถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ในระบบวัดคุมนิรภัยแล้ว ก็จะได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของฟังก์ชันนิรภัย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์ทุกๆส่วนในฟังก์ชั่นนิรภัยมารวมกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะต้องน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายในระดับความปลอดภัยนั้น โดยแสดงสมการผลรวมค่า
เฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันนิรภัยในระบบวัดคุมนิรภัย

จากภาพที่ 2.4 จะได้สมการผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายดังนี้

$$PFD_{AVG} = PFD_{SE} + PFD_{LS} + PFD_{FE} \quad (2.1)$$

เมื่อ PFD_{AVG} = ผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของฟังก์ชันนิรภัย

PFD_{SE} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์วัด

PFD_{LS} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของส่วนประมวลผลลอจิก

PFD_{FE} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์สุดท้าย

จากสมการที่ (2.1) จะพบว่าการออกแบบสามารถทำได้โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ในรูปแบบต่างๆทั้ง 3 ส่วน เพื่อให้ผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการ

2.3.3 การประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตราย (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนิรภัยในระบบวัดคุมนิรภัยจะเป็นกิจกรรมหลักในเฟสที่ 3 บนวงรอบความปลอดภัยของ IEC61508 ซึ่งจะเป็นการประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากความผิดปกติของอุปกรณ์ภายใต้การควบคุมหรือในฟังก์ชันการควบคุม โดยจะยกเลิกฟังก์ชันนิรภัยออกไปก่อนในช่วงการประเมินหลังจากการประเมินผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าระดับความปลอดภัยจะถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัยนั้น

ก่อนเริ่มทำการประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายเพื่อกำหนดค่าระดับความปลอดภัย จำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการประเมิน เพื่อให้การตัดสินใจในขั้นตอนการประเมินมีประสิทธิภาพและถูกต้องมากที่สุด การประเมินต้องการรู้ว่ามีความผิดพลาดอะไรบ้างของอุปกรณ์ภายใต้การควบคุม (Equipment Under Control: EUC) ที่อาจจะเกิดขึ้นและมีโอกาสมากเท่าใดที่ความผิดปกติเหล่านั้นจะก่อให้เกิดเหตุการณ์อันตรายต่อส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกวิเคราะห์และเก็บรวบรวมบันทึกไว้ในเอกสารการประเมินเพื่อนำไปใช้อ้างอิงในการออกแบบระบบวัดคุมนิรภัย

IEC61508 เป็นมาตรฐานที่อยู่บนการประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายและการใช้มาตรฐานนี้ต้องมีเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ อย่างน้อยเกณฑ์เหล่านี้จะต้องแสดงค่าการยอมรับที่เชื่อถือได้ว่าบ่อยครั้งเท่าใดที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายและแสดงผลลัพธ์ที่ชัดเจนของเหตุการณ์เหล่านั้น การประชุมเพื่อกำหนดเกณฑ์การยอมรับได้ของความเสี่ยงเป็นสมมุติฐานที่สำคัญในการใช้กำหนดรูปแบบกระบวนการตัดสินใจในขั้นตอนการประเมิน

วัตถุประสงค์ของการประเมิน ก็เพื่อให้แน่ใจว่าระบบนิรภัย (Safety Related System) ที่ถูกออกแบบไว้ สามารถทำให้โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายและผลกระทบที่จะตามมานั้นลดลงได้เท่ากับเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ วิธีการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ 3 ทางดังนี้

1. กำหนดหรือตั้งเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

2. ประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ภายใต้การควบคุม

3. หาวิธีที่จะลดความเสี่ยงลงให้เท่ากับเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

2.3.3.1 กำหนดหรือตั้งเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

จำนวนหลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันสามารถนำไปใช้ในการแสดงความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ซึ่งหลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันนี้จะขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติทำงานวัฒนธรรม และกฎเกณฑ์สิ่งแวดล้อมของพื้นที่ ๆ จะนำมาตรฐานนี้ไปใช้งาน

เกณฑ์คุณลักษณะ (Qualitative Criteria) จะมีถ้อยคำ อาทิเช่น บางที, บ่อยครั้ง, เป็นไปไม่ได้ เป็นต้น คำเหล่านี้จะใช้อธิบายความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ และถ้อยคำ อาทิเช่น ใหญ่กว่า, เล็กน้อย, รุนแรง คำเหล่านี้จะใช้อธิบายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น หลังเกิดเหตุการณ์

เกณฑ์ปริมาณ (Quantitative Criteria) จะใช้แสดงจำนวนอัตราการเกิดเหตุการณ์และความรุนแรงของเหตุการณ์ อาทิเช่น ภายใน 1 ปี, เกิน 1 ปีไม่เกิน 10 ปี เป็นต้น

2.3.3.2 ประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ภายใต้การควบคุม

การประเมินความเสี่ยงสามารถกำหนดได้ว่า เป็นการหาสถานะความเสี่ยงของอุปกรณ์ภายใต้การควบคุมเมื่อเกิดความผิดปกติ และมีโอกาสมากเท่าใดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายและมีโอกาสมากเท่าใดที่จะทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต, ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม การประเมินความเสี่ยงสามารถสรุปได้โดยรวมว่า “เป็นไปได้เพียงใดที่อุปกรณ์ภายใต้การควบคุมมีโอกาสผิดพลาดและถ้าเกิดผิดพลาดขึ้น ผลที่ตามมาจะเป็นอย่างไร”

2.3.3.3 วิธีลดความเสี่ยงให้เท่ากับเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

IEC61508 ส่วนที่ 5 ได้จัดเตรียมเทคนิควิธีการในการลดความเสี่ยงไว้ 2 วิธี ซึ่งถูกเรียกว่า “กราฟความเสี่ยง”(Risk Graph) และ“ตารางความสำคัญของเหตุการณ์อันตราย” การลดความเสี่ยงทำได้โดยการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยให้กับฟังก์ชันนิรภัยที่จะนำมาใช้ป้องกันอันตราย และค่าระดับปลอดภัยจะเป็นตัวกำหนดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์ต่าง ๆในฟังก์ชันนิรภัยนั้น ซึ่งค่าระดับความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดเหตุการณ์และความเสียหายต่อสิ่งมีชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม

สิ่งที่ควรทราบ คือ หลักการที่แสดงเป็นเพียงหลักการพื้นฐานเท่านั้น จึงยังไม่สามารถนำไป ใช้งานได้โดยตรง ถ้ายังไม่มีการปรับเทียบกับเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ก่อน

2.3.4 กราฟความเสี่ยง

มาตรฐาน IEC 61508 ได้นำเสนอแนวทางการประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายโดยใช้กราฟความเสี่ยงหรือตารางความเสี่ยง เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเลือกใช้หรือออกแบบระบบนิรภัยที่จะทำให้ความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายลดลงอยู่ในค่าเป้าหมายที่กำหนด การประเมิน

จะกระทำทุกฟังก์ชันนิรภัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินจะเป็นค่าระดับความปลอดภัยหนึ่งในสี่ระดับ (Safety Integrity Level) จะถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัยนั้น กราฟความเสี่ยงจะประกอบไปด้วยกราฟที่สำคัญอยู่ 3 กราฟ คือ กราฟความสูญเสียต่อสิ่งมีชีวิตกราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน และกราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.4.1 กราฟความสูญเสียต่อชีวิต (Risk Graph Safety to People)

จะถูกใช้เป็นกราฟแรกในการประเมิน เป็นกราฟที่ใช้แสดงความสูญเสียต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยทำการเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดสาเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตรายโดยจะมีตัวแปรที่ใช้แสดงอัตราการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากเหตุการณ์อันตรายที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังมีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเข้าไปอยู่ในบริเวณที่จะเกิดเหตุการณ์และมีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาความสามารถในการหลบหลีกออกจากพื้นที่อันตรายของผู้ปฏิบัติงานได้ทันเวลา หลังจากทำการพิจารณาตัวแปรครบทั้งสามตัวแล้วผลลัพธ์จะได้เป็นค่าระดับความปลอดภัย

2.3.4.2 กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (Risk Graph Asset & Production Loss)

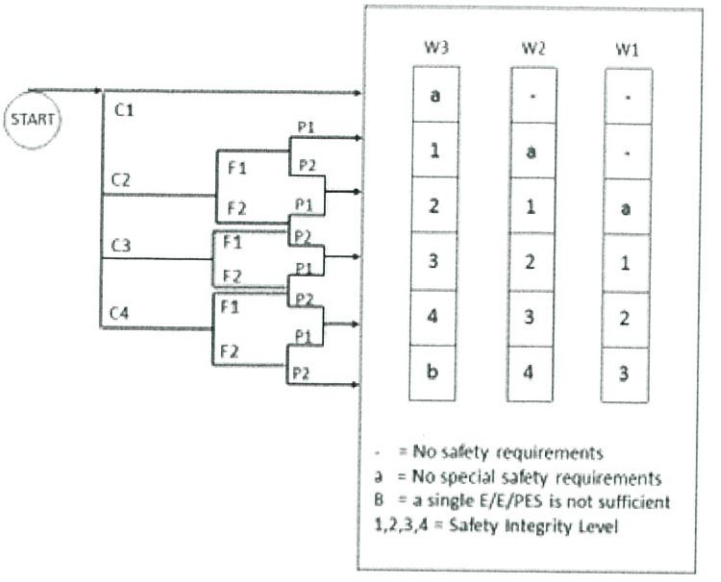
จะเป็นกราฟที่ใช้แสดงมูลค่าความเสียหายของอุปกรณ์หรือทรัพย์สินต่าง ๆ ในกระบวนการหลังจากที่เกิดเหตุการณ์อันตรายขึ้น นอกจากนั้นยังรวมไปถึงมูลค่าความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องสูญเสียไปหลังจากเกิดเหตุการณ์และตลอดช่วงเวลาที่กระบวนการหยุดทำงาน เพื่อทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เสียหายให้กลับมาทำงานได้อย่างปกติ ผลลัพธ์จะได้เป็นค่าระดับความปลอดภัย

2.3.4.3 กราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Risk Graph Environment)

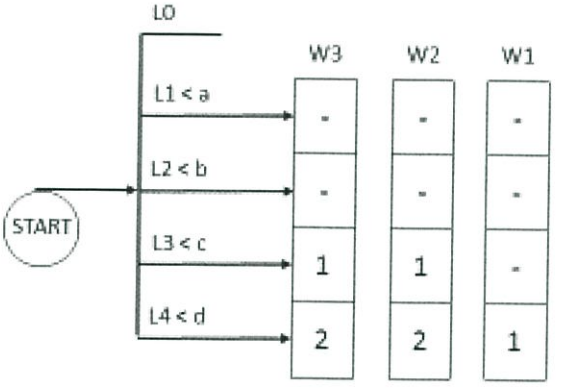
จะเป็นกราฟที่ใช้แสดงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบกระบวนการ เช่น
แหล่งน้ำ พื้นดินและอากาศ เป็นต้น การประเมินผลกระทบจะทำการประเมิน หลังจากที่มีเหตุการณ์อันตรายเกิดขึ้น โดยมีตัวแปรที่ใช้พิจารณาจะเป็นขอบเขตความเสียหายและความรุนแรงของความเสียหาย ผลลัพธ์จะได้เป็นค่าระดับความปลอดภัย

จากการประเมินโดยใช้กราฟทั้งสาม จะทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัยออกมาสามค่า โดยจะเลือกระดับความปลอดภัยสูงสุดเป็นค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยนั้น

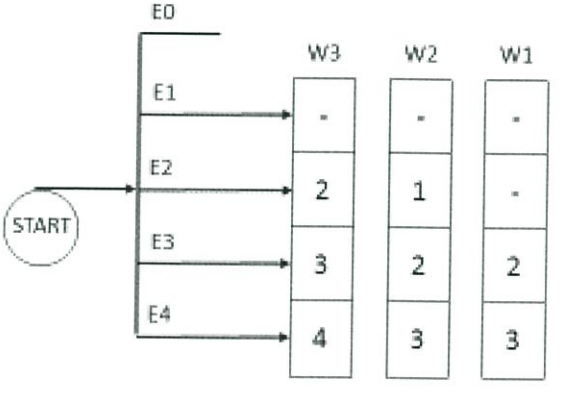
กราฟความเสี่ยงทั้งสามสามารถแสดงได้นี้ภาพที่ 2.5แสดงกราฟความสูญเสียต่อชีวิต ภาพที่ 2.6 แสดงกราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน และภาพที่ 2.7 แสดงกราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 2.5 กราฟความสูญเสียต่อชีวิต



ภาพที่ 2.6 กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน



ภาพที่ 2.7 กราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.4.4 อัตราการเกิดสาเหตุ (Demand Rate)

อัตราการเกิดสาเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตรายเป็นตัวแปรตัวแรกที่จะต้องกำหนดค่าในการประเมิน เริ่มจากการพิจารณาในรายละเอียดของฟังก์ชันที่ทำการประเมินว่าอะไรที่เป็นสาเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตราย เมื่อพบสาเหตุแล้วจึงกำหนดอัตราการเกิดสาเหตุนั้น โดยอาศัยพื้นฐานจากประสบการณ์ของผู้เข้าร่วมประเมินหรือฐานข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ ตัวแปรอัตราการเกิดสาเหตุจะใช้เป็น W จากภาพที่ 2.5, 2.6 และ 2.7 จะเห็นได้ว่ากราฟความสูญเสียทั้ง 3 กราฟจะใช้ตัวแปรร่วมกัน ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินอัตราการเกิดสาเหตุที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์อันตรายโดยจะกำหนดว่ามีอัตราการเกิดสาเหตุมากน้อยเพียงใด แบ่งออกได้เป็น 3 ระดับดังนี้

W1 = อัตราการเกิดสาเหตุอาจเกิดขึ้นเมื่อเวลาเกิน 10 ปี แต่ไม่เกิน 100 ปี (Very Low)

W2 = อัตราการเกิดสาเหตุอาจเกิดขึ้นเมื่อเวลาเกิน 1 ปี แต่ไม่เกิน 10 ปี (Low)

W3 = อัตราการเกิดสาเหตุอาจเกิดขึ้นในเวลาภายใน 1 ปี (High)

ลำดับแรกของการประเมินจะเป็นการหาว่าอะไรเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์อันตรายและกำหนดค่าอัตราการเกิดสาเหตุเหล่านั้น

2.3.4.5 ผลกระทบต่อชีวิต (Consequences Concerning People)

กราฟความสูญเสียต่อสิ่งมีชีวิตเป็นกราฟแรกที่เริ่มทำการประเมินเพื่อกำหนดค่าระดับความปลอดภัย กราฟความสูญเสียต่อชีวิตจะมีตัวแปรอยู่ 3 ตัวแปรที่ต้องพิจารณา ตัวแปรแรกจะเป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดอัตราการบาดเจ็บและจำนวนของการบาดเจ็บ ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาว่าจะมีผู้ปฏิบัติงานต้องเข้าไปในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์อันตรายและถ้ามีเหตุการณ์อันตรายเกิดขึ้นผู้ปฏิบัติงานที่อยู่บริเวณนั้นมีการบาดเจ็บมากน้อยเพียงใดและมีจำนวนเท่าใด ตัวแปรอัตราการบาดเจ็บจะใช้เป็นตัวแปร C (Consequences) จากภาพที่ 2.5 การพิจารณาจะเริ่มต้นที่ตัวแปร C ซึ่ง C เป็นตัวแปรที่จะใช้ประเมินอัตราการบาดเจ็บและเสียชีวิต แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับดังนี้

C1 = บาดเจ็บเล็กน้อย (Minor Injury)

C2 = บาดเจ็บมากหรือเสียชีวิตหนึ่งคน (Serious Permanent Injury, Death to One People)

C3 = เสียชีวิตมากกว่าหนึ่งคนแต่ไม่มาก (ประมาณ 2-3 คน) (Death to Several People)

C4 = เสียชีวิตหลายคน (Many People Killed)

2.3.4.6 ระยะเวลาในบริเวณอันตราย (Frequency of Exposure Time)

หลังจากได้รับค่าตัวแปร C แล้ว ตัวแปรตัวที่ 2 สำหรับกราฟความสูญเสียต่อชีวิต คือ ตัวแปร F (Frequency) เป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานที่จะต้องเข้าไป

148587

ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์ขึ้น พื้นฐานในการประเมินได้จากแผนการในการควบคุมกระบวนการ ตัวแปรนี้จะแบ่งออกได้ 2 ระดับ ดังนี้

F1 = มีผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์น้อยกว่าครึ่งวัน (Half of The Time)

F2 = มีผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์มากกว่าครึ่งวัน (Always People Around)

2.3.4.7 การหลีกเลี่ยงจากบริเวณอันตราย (Possibility of Avoiding)

เมื่อได้ค่าตัวแปร C และ F แล้ว ตัวแปรตัวที่ 3 สำหรับกราฟความสูญเสียต่อสิ่งมีชีวิต คือตัวแปร P (Possibility) เป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินความสามารถที่ผู้ปฏิบัติงานจะหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น การประเมินจะใช้พื้นฐานจากความรู้ของผู้ปฏิบัติงานที่ได้จากการอบรมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการก่อนที่จะเข้าปฏิบัติงาน ในการอบรมจะต้องมีการแสดงรายบะเอียดต่างๆ ของกระบวนการ เหตุการณ์ใดที่อาจจะนำไปสู่เหตุการณ์อันตราย การสังเกตเหตุการณ์ผิดปกติเหล่านั้นโดยรายละเอียดสามารถแบ่งออกได้ 2 ระดับ ดังนี้

P1 = สามารถที่จะหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ (Possible under Certain Condi-tions)

P2 = ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ (Almost Impossible)

จากขั้นตอนข้างต้นจะเห็นว่าหลังจากการประเมินกราฟความสูญเสียต่อสิ่งมีชีวิตแล้วจะได้ค่าจะตัวแปร 4 ค่า คือ W, C, F และ P จากนั้นนำตัวแปรทั้ง 4 ไปใช้เป็นแนวทางในการลากเส้นในกราฟความสูญเสียต่อสิ่งมีชีวิต โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นตัวแปร C ไปยังเป้าหมายค่าระดับความปลอดภัย

2.3.4.8 ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (Asset & Production Loss)

กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สินเป็นกราฟที่สองในการประเมินในการพิจารณากราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สินจะเป็นการหามูลค่าความเสียหายของ เครื่องจักร และผลิตภัณฑ์ จากภาพที่ 2.6 โดยมีตัวแปร L (Loss) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการประเมินมูลค่าความเสียหายจากผลกระทบ เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้น แบ่งออกได้ 5 ระดับ ดังนี้

L0 = ไม่มีการสูญเสีย (No Operation Upset / No Damage to Equipment)

L1 = สูญเสียเล็กน้อย (Minor Operation Upset / Moderate Damage to Equipment)

L2 = สูญเสียมากแต่ไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิต (Moderate Operation Upset / Major Damage to Equipment)

L3 = สูญเสียมากแต่ต้องหยุดกระบวนการผลิตช่วงสั้นๆ (Major Operation Upset / Major Damage to Equipment)

L4 = สูญเสียมากและต้องหยุดกระบวนการผลิตเป็นเวลานาน (Major Damage to Essen-tial Equipment)

เมื่อได้ตัวแปร L และ W ที่เป็นตัวแปรร่วมแล้ว จึงนำตัวแปรทั้งสองใช้เป็นแนวทางในการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นของกราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน ไปยังเป้าหมายค่าระดับความปลอดภัย

2.3.4.9 ความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Environment)

การพิจารณากราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อมเป็นกราฟสุดท้ายในการประเมิน จะมีตัวแปร E (Environment) เป็นตัวแปรในการพิจารณา จากภาพที่ 2.7 โดยมีตัวแปร E เป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้น แบ่งออกได้ 5 ระดับ ดังนี้

E0 = ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (No Release)

E1 = กระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อย (Release with Minor Damage to Environment)

E2 = กระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั่วคราวแต่อยู่ภายในขอบเขต (Release within Fence Signifi-cant Damage to Environment)

E3 = กระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั่วคราวแต่ออกไปภายนอกขอบเขต (Release Outside Fence Major with Temporary Damage to Environment)

E4 = กระทบต่อสิ่งแวดล้อมถาวรและออกไปภายนอกขอบเขต (Release outside Fence Major with Permanent Major Damage to Environment)

เมื่อได้ตัวแปร E และ W ที่เป็นตัวแปรร่วมแล้ว จึงนำตัวแปรทั้งสองใช้เป็นแนวทางในการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นของกราฟความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไปยังเป้าหมายค่าระดับความปลอดภัย

2.3.5 การกำหนดค่าระดับความปลอดภัย

การประเมินหาค่าระดับความปลอดภัย สามารถกระทำได้โดยการจัดประชุม เพื่อแสดงความคิดเห็นและใช้ข้อเสนอแนะต่างๆ ต่อสาเหตุและผลกระทบที่จะเกิดขึ้น บุคคลที่ควรต้องเข้าร่วมประเมินมีดังนี้

1.วิศวกรออกแบบกระบวนการผลิต (Process Engineer)

2.ผู้เชี่ยวชาญด้านสาเหตุการเกิดอันตรายและอันตรายจากเหตุการร์ต่างๆ (Risk Assess-ment)

3.ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยและป้องกัน (Safety)

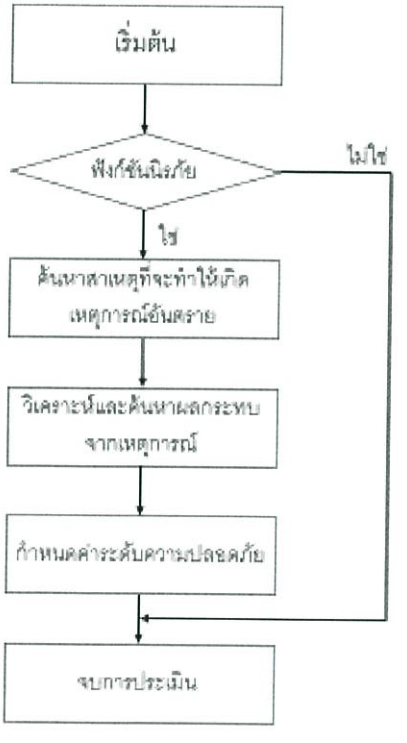
4.ผู้มีประสบการณ์ในการควบคุมกระบวนการผลิต (Operation)

5.ผู้มีประสบการณ์ด้านการซ่อมบำรุง (Maintenance)

6.วิศวกรออกแบบระบบวัดคุมนิรภัย (Instrument)

7.ผู้นำการประเมินที่มีประสบการณ์ (Chairman)

การประเมินเริ่มจากผู้นำการประเมินอธิบายวิธีการและลำดับขั้นตอนที่จะใช้ในการประเมิน (Risk Assessment Procedure) และคำจำกัดความหรือขอบเขตของคำต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการประเมิน เกณฑ์และมาตรฐานต่างๆ ที่จะนำมาใช้ จากนั้นเริ่มทำการประเมินทีละฟังก์ชันนิรภัย โดยวิศวกรออกแบบกระบวนการผลิต จะทำการอธิบายการทำงานของกระบวนการผลิตและฟังก์ชันนิรภัยที่จะทำการประเมิน และอธิบายสาเหตุที่อาจจะเกิดเหตุการณ์อันตรายและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากฟังก์ชันนิรภัยส่วนที่ทำการประเมิน จากนั้นผู้นำการประเมินจะเริ่มนำโดยการใช้คำต่างๆ ตามวิธีการประเมินที่เลือกใช้ในคำต่างๆ แต่ละคำที่ผู้นำการประเมินกล่าวนำ ผู้เข้าร่วมประเมินควรแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสาเหตุและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากประสบการณ์หรือจากข้อมูลต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงในการประเมิน เพื่อทำให้การประเมินมีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด หลังจากนั้นผู้นำการประชุมจะซักถามและสรุปความเห็นเหล่านั้น ผลลัพธ์ที่จะเป็นค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยที่ทำการประเมิน เมื่อได้ข้อสรุปและเป็นที่ยอมรับของผู้เข้าร่วมการประเมินทุกฝ่ายแล้ว จะทำการบันทึกผลสรุปที่ได้เหล่านี้ลงในเอกสาร เพื่อใช้เป็นรายงานหลังจากการประเมิน ลำดับขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงเพื่อกำหนดค่าระดับความปลอดภัยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ลำดับขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

โดยการประเมินจะแสดงรายละเอียดเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการกำหนดอัตราการเกิดสาเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตราย ก่อนที่จะกำหนดอัตราการเกิดสาเหตุจะต้องเริ่มพิจารณาสาเหตุที่จะทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นกับกระบวนการผลิต เมื่อทราบสาเหตุที่จะทำให้เกิดความผิดปกติแล้ว จากนั้นต้องพิจารณาหาอัตราการเกิดสาเหตุเหล่านี้ ซึ่งสามารถประเมินได้จากประสบการณ์ของผู้ร่วมประเมินและผู้ผลิตอุปกรณ์เหล่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ตัวแปรร่วมของอัตราการเกิดเหตุการณ์แล้ว จากนั้นจะเริ่มประเมินหาค่าระดับความปลอดภัยโดยใช้กราฟความสูญเสียต่อชีวิต จะพิจารณาตัวแปร C เป็นตัวแปรแรกโดยการพิจารณาจากจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ต้องเข้าไปปฏิบัติงานในบริเวณนั้นว่า มีจำนวนมากน้อยเท่าใด สามารถประเมินได้จากแผนการควบคุมกระบวนการผลิตและแผนการซ่อมบำรุง

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเข้าไปปฏิบัติงานในบริเวณที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายนานเพียงใด

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาความสามารถในการหลบหลีกออกจากบริเวณที่เกิดเหตุการณ์อันตราย เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้น การประเมินจะใช้พื้นฐานจากการอบรมและการให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่อผู้ปฏิบัติงาน วิธีการสังเกตและวินิจฉัยอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตในบริเวณนั้น การประเมินจะอยู่บนสมมติฐานที่ว่า เมื่อผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นได้เห็นหรือรับรู้สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตและสามารถวินิจฉัยได้ ด้วยข้อมูลที่ได้รับจากการอบรมว่าอาจมีอันตรายเกิดขึ้นจึงหลบหนีออกจากบริเวณนั้นได้ หรือเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะทำให้เหตุการณ์อันตรายเกิดขึ้นทันทีทันใดจนผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถหลบออกจากบริเวณนั้นได้

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินมูลค่าความเสียหาย การประเมินจะพิจารณาหลังจากที่เหตุการณ์อันตรายเกิดขึ้นว่ามีอุปกรณ์ส่วนใดบ้างที่ชำรุดเสียหายเนื่องจากเหตุการณ์นั้นและรวมไปถึงมูลค่าความเสียหายของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากกระบวนการผลิตต้องหยุดทำงาน เพื่อซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย

ขั้นตอนที่ 6 การประเมินความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินจะพิจารณาหลังจากที่เหตุการณ์เกิดขึ้นแล้ว จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นมากน้อยเพียงใด

ขั้นตอนที่ 7 เป็นการสรุปค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยที่พิจารณา เมื่อประเมินความเสี่ยงต่อความเสียหายครบทั้ง 3 กราฟ จะได้ผลลัพธ์ของค่าระดับความปลอดภัยต่อความสูญเสียจากนั้นเลือกระดับความปลอดภัยที่สูงที่สุด เป็นผลลัพธ์ของฟังก์ชันนิรภัยที่ทำการพิจารณา

2.4 อุปกรณ์วัดในระบบวัดคุมนิรภัย

อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้ายจะเป็นเครื่องมือส่วนหลักๆ ของระบบวัดคุมนิรภัย โดยอุปกรณ์วัดจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนตัวแปรจากกระบวนการผลิตไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณไปให้กับส่วนประมวลผลลอจิก อาทิเช่น อุปกรณ์วัดต่างๆ อุปกรณ์สุดท้ายจะ

เป็นอุปกรณ์ที่กระทำต่อกระบวนการผลิตตามการสั่งการมาจากระบบวัดคุมนิรภัย เช่น วาล์วนิรภัย และ ชุดควบคุมมอเตอร์ เป็นต้น ในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์วัดต่างๆ เหล่านี้กับระบบวัดคุมนิรภัย จะต้องมีการพิจารณาในรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์เหล่านี้ หลังจากได้มีการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยให้กับฟังก์ชันนิรภัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเลือกรูปแบบอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัย ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้าย นอกจากนั้นจะแสดงรายละเอียดความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของอุปกรณ์ทั้งในการนำไปใช้งานกับระบบการควบคุมพื้นฐานและระบบวัดคุมนิรภัย

อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้ายของระบบวัดคุมนิรภัย จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้ายของระบบควบคุมพื้นฐาน เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าอุปกรณ์ต่างๆ จะมีอายุการใช้งานหรือมีโอกาสการทำงานผิดพลาดได้เมื่อเวลาในการใช้งานผ่านไป แต่ความต้องการหลักของระบบนิรภัยต้องทำงานได้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลา โดยไม่มีความผิดพลาดหรือถ้ามีความผิดพลาดจะต้องอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยจะถูกออกแบบให้มีการทำงานในแบบผิดพลาดนิรภัย (Fail Safe Design)จะเป็นการออกแบบให้ระบบวัดคุมนิรภัยเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในส่วนต่างๆ ของระบบจะต้องไม่ทำให้กระบวนเข้าสู่สภาวะอันตราย การออกแบบการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยจะออกแบบให้มีการทำงานในลักษณะที่จ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้ายในสภาวะปกติและจะทำการหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้ายเมื่ออยู่ในสภาวะทำงาน จากการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยในลักษณะนี้จะเห็นได้ว่า ถ้ามีความผิดพลาดขึ้นกับส่วนหนึ่งส่วนใดของระบบแล้ว จะทำให้ไม่มีพลังงานที่จะจ่ายออกไปยังอุปกรณ์สุดท้ายซึ่งจะเหมือนกับสภาวะในระบบวัดคุมนิรภัยคือ ความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Dangerous Failure) ซึ่งเมื่อเกิดความผิดพลาดประเภทนี้ขึ้นจะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยไม่สามารถทำหน้าที่ได้ ดังนั้นในการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้าย จะต้องทำการเลือกให้ระบบนิรภัยมีค่าความผิดพลาดอันตรายอยู่ในค่าที่กำหนด โดยอุปกรณ์ทั้งสองส่วนจะมีรูปแบบหลายชนิดให้เลือกใช้

2.4.1 ชนิดความผิดพลาด (Failure Type)

หลักการพื้นฐานในการออกแบบระบบนิรภัย เป็นการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ของระบบนิรภัย เพื่อทำให้ระบบมีค่าโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดที่เป็นอันตรายอยู่ในค่าเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งค่าโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดที่เป็นอันตรายนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าระดับความปลอดภัยที่ถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัยในระบบวัดคุมนิรภัย ความผิดพลาดพื้นฐานสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบมีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 ความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure)

ความผิดพลาดประเภทนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วไม่มีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการทำงาน (Reliability) แต่จะทำให้ระบบนิรภัยมีการทำงานที่ไม่เป็นจริง (False Trip) ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้และจะเป็นผลทำให้ความพร้อมใช้งาน (Availability) มีค่าลดลง ตัวอย่างเช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) ที่ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้กับวาล์วนิรภัยแล้ว ทำให้วาล์วนิรภัยอยู่ในตำแหน่งเปิด และจะปิดก็ต่อเมื่อระบบนิรภัยตรวจจับความผิดปกติได้และทำการหยุดจ่ายพลังงานให้กับวาล์ว เพื่อทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัย แต่ถ้าเกิดความผิดปกติประเภทนี้กับส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบนิรภัยแล้วทำให้วาล์วนิรภัยปิด ซึ่งจะเป็นผลทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัย แต่ไม่ได้เกิดจากการสั่งการมาจากระบบนิรภัย แต่เป็นผลมาจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2.4.1.2 ความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Dangerous Failure)

ความผิดพลาดรูปแบบนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้มีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือในการทำงาน (Reliability) และจะทำให้ระบบนิรภัยไม่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้ ตัวอย่างเช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) ที่สภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้กับวาล์วนิรภัยแล้ว ทำให้วาล์วนิรภัยอยู่ในตำแหน่งเปิด และจะปิดก็ต่อเมื่อระบบนิรภัยตรวจจับความผิดปกติได้และทำการหยุดจ่ายพลังงานให้กับวาล์ว เพื่อทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัย แต่ถ้าเกิดความผิดพลาดประเภทนี้กับส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบนิรภัยแล้วทำให้วาล์วนิรภัยยังคงอยู่ในตำแหน่งเปิด เป็นผลทำให้วาล์วนิรภัยจะไม่สามารถตอบสนองต่อการสั่งการที่มาจากระบบนิรภัยเมื่อถึงเวลาในการทำงาน ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะอันตราย เพราะเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตจะทำให้ระบบนิรภัยไม่สามารถทำการปิดวาล์วได้

2.4.2 ความผิดพลาดในระบบควบคุมพื้นฐาน (Failure in Basic Process Control System)

ความผิดพลาดของอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้ายในระบบการควบคุมพื้นฐาน สามารถแบ่งประเภทความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1. ความผิดพลาดตรวจจับไม่ได้ (Undetected Failure) เป็นความผิดพลาดใดๆ เมื่อเกิดขึ้นแล้ว ระบบควบคุมไม่สามารถตรวจจับได้ ซึ่งความผิดพลาดตรวจจับไม่ได้ประเภทนี้ จะสามารถเป็นไปได้ทั้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบควบคุมยังคงสามารถทำงานได้ และเป็นความผิดพลาดเมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบการควบคุมไม่สามารถทำงานได้

2. ความผิดพลาดตรวจจับได้เป็นความผิดพลาดใดๆเมื่อเกิดขึ้นแล้ว ระบบควบคุมสามารถตรวจจับได้ ซึ่งความผิดพลาดตรวจจับได้ประเภทนี้ จะสามารถเป็นไปได้ทั้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบควบคุมยังคงสามารถทำงานได้ และเป็นความผิดพลาดเมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบการควบคุมไม่สามารถทำงานได้

ความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบควบคุมกระบวนการผลิต จะไม่แบ่งแยกสภาวะของกระบวนการผลิตว่าจะอยู่ในสภาวะนิรภัยหรืออันตราย เนื่องจากระบบควบคุมกระบวนการผลิตถูกออกแบบเพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการผลิตและเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ได้วางแผนการควบคุมไว้ ไม่ได้ออกแบบสำหรับทำหน้าที่ป้องกันกระบวนการผลิตจากเหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ หน้าที่ในการป้องกันนี้จะเป็นหน้าที่ของระบบวัดคุมนิรภัย

2.4.3 ความผิดพลาดในระบบนิรภัย (Failure in Safety System)

ความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบนิรภัย สามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1. ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับได้ (Safe Detected Failure) เป็นความผิดพลาดใดๆ เมื่อเกิดขึ้นแล้ว ระบบนิรภัยสามารถตรวจจับได้ ซึ่งความผิดพลาดประเภทนี้จะเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบนิรภัยยังคงสามารถทำงานได้ หรืออาจทำให้กระบวนการผลิตหยุดทำงานได้ถ้าความผิดพลาดเกิดขึ้นเกิดขึ้นกับส่วนส่งสัญญาณหรือเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สุดท้าย

2. ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับไม่ได้ (Safe Undetected Failure) เป็นความผิดพลาดใดๆ เมื่อเกิดขึ้นแล้วระบบนิรภัยสามารถตรวจจับไม่ได้ ซึ่งความผิดพลาดประเภทนี้จะเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบนิรภัยยังคงสามารถทำงานได้ หรืออาจทำให้กระบวนการผลิตหยุดทำงานได้ถ้าความผิดพลาดเกิดขึ้นเกิดขึ้นกับส่วนส่งสัญญาณหรือเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สุดท้าย

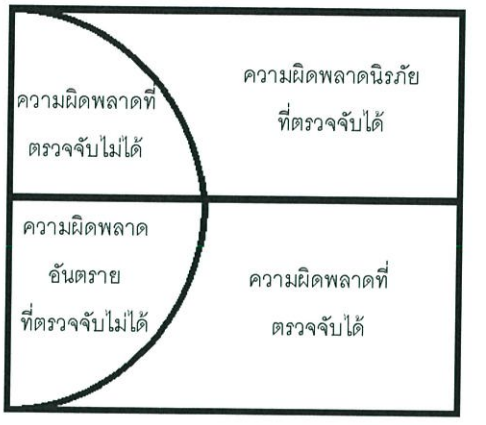
3. ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับได้ (Dangerous Detected Failure) เป็นความผิดพลาดใดๆ เมื่อเกิดขึ้นแล้ว ระบบนิรภัยสามารถตรวจจับได้ ซึ่งความผิดพลาดประเภทนี้จะเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบนิรภัยไม่สามารถทำงานได้เมื่อถึงเวลาที่ต้องการ แต่ความผิดพลาดประเภทนี้สามารถตรวจแก้ให้ระบบกลับมาทำงานได้ปกติ

4. ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับไม่ได้ (Dangerous Undetected Failure) เป็นความผิดพลาดใดๆ เมื่อเกิดขึ้นแล้ว ระบบนิรภัยไม่สามารถตรวจจับได้ ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่อันตรายที่สุดเมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้ระบบนิรภัยไม่สามารถทำงานได้เมื่อถึงเวลาที่ต้องการ และความผิดพลาดประเภทนี้ไม่สามารถตรวจแก้ให้ระบบกลับมาทำงานได้ในช่วงเวลาทำงานปกติ

จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดประเภทต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบนิรภัยได้ถูกแบ่งแยกตามสภาวะของกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาวะใด เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบนิรภัย เนื่องจากระบบนิรภัยถูกออกแบบไว้สำหรับทำหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้เข้าสู่สภาวะปลอดภัยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดอันตรายจะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดชนิดที่ 3 และ 4 จะทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะอันตราย แต่ความผิดพลาดชนิดที่ 3 เป็นความผิดพลาดที่สามารถแก้ไขให้กลับเข้าสู่สภาวะปกติได้ เนื่องจากระบบนิรภัยสามารถตรวจจับได้ก่อนที่เหตุการณ์อันตรายจะเกิดขึ้น ส่วนชนิดที่ 4 เป็นประเภทที่อันตรายที่สุดและไม่พึงประสงค์ใน

ระบบนิรภัย เพราะความผิดพลาดประเภทนี้จะขัดขวางไม่ให้ระบบนิรภัยทำงานได้ตามหน้าที่ๆ ได้ออกแบบไว้ และไม่มีโอกาสทราบได้เลยว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นที่ส่วนใดของระบบนิรภัย ถ้าระบบนิรภัยเหล่านั้นไม่ได้มีระบบในการตรวจสอบความผิดพลาดด้วยตนเอง (Self Diagnostic) หรือไม่ได้มีการทดสอบการทำงานของระบบเลยตลอดอายุการใช้งาน และที่สำคัญค่าความผิดพลาดชนิดนี้ จะเป็นค่าที่ใช้แสดงค่าระดับความปลอดภัยของระบบที่พิจารณา ความผิดพลาดทั้ง 4 ชนิดสามารถแสดงได้ในภาพที่ 2.9

ก) ความผิดพลาดในระบบ



ข) ความผิดพลาดในระบบนิรภัย

ภาพที่ 2.9 ประเภทความผิดพลาดในระบบการวัดและควบคุม

2.4.4 อุปกรณ์วัดระบบวัดคุมนิรภัย (Instrumentation in SIS)

2.4.4.1 อุปกรณ์วัดที่ผ่านการรับรอง (Certified Device)

เมื่อค่าระดับความปลอดภัยได้ถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัยแล้ว การเลือกชนิดและการรูปแบบของอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้าย จะต้องมีการเลือกใช้และจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้หรือมีค่าอัตราความผิดพลาดที่เป็นอันตรายอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ อุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในระบบนิรภัยมีทั้งอุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบและได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ว่าสามารถนำไปใช้กับระบบนิรภัยได้ และยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิดที่ยังไม่ได้มีการรับรองให้ใช้ในระบบนิรภัย แต่ก็สามารถนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปใช้ในระบบนิรภัยได้ แต่การนำอุปกรณ์ที่ยังไม่ได้มีการรับรองไปใช้งานจะต้องมีการพิจารณารายละเอียดอัตราความผิดพลาดและชนิดของความผิดพลาด ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะต้องมีการตรวจสอบจากสถาบันที่เชื่อถือได้ แทนการรับรองจากผู้ผลิตอุปกรณ์เพียงอย่างเดียว เพื่อความเชื่อถือได้ของข้อมูล สำหรับอุปกรณ์วัดที่จะนำมาใช้งานกับระบบวัดคุมนิรภัยแล้วมาตรฐาน IEC 61508 Part 2 ได้จัดเตรียมตารางการจัดลักษณะรูปแบบของอุปกรณ์ในระบบวัดคุมนิรภัยไว้ 2 ตาราง ตามชนิดของอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่2.1 และตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นตารางสำคัญที่แสดงจำนวนอุปกรณ์น้อยที่สุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดได้ในแต่ละรูปแบบของอุปกรณ์ในระบบวัด

คุมนิรภัย ตารางทั้งสองจะแบ่งแยกคุณสมบัติของส่วนประกอบในอุปกรณ์ออกเป็น 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบชนิด A และอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบชนิด B อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกเรียกว่า "ระบบย่อย" (Subsystem) ตารางที่จัดเตรียมไว้มีความสำคัญมาก สำหรับเอุปกรณ์วัดและอุปกรณ์สุดท้ายที่ยังไม่ได้รับการรับรอง (Non Certified) จากสถาบันการตรวจสอบที่เชื่อถือได้ (อาทิเช่น TUV หรือ Factory Mutual เป็นต้น) ว่าอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัยได้ แต่ตารางนี้จะไม่มีความสำคัญสำคัญสำหรับอุปกรณ์ที่ได้รับการรับรอง อาทิเช่น Safety PLC (Pro-grammable Logic Control) ทรานส์มิตเตอร์นิรภัย (Safety Transmitter) เป็นต้น

1) อุปกรณ์ชนิด A (Type A)

อุปกรณ์วัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนพื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อาทิเช่น ตัวทรานซิสเตอร์ตัวคาปาซิเตอร์ตัวต้านทานและขดลวด เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและสามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

ทรานส์มิตเตอร์อนาล็อกทั่วไป (Conventional Analogue Transmitter) อุปกรณ์วัดแบบหน้าสัมผัส อาทิเช่น สวิตซ์ระดับ (Level Switch) สวิตซ์ความดัน (Pressure Switch) และสวิตซ์ตำแหน่ง (Position Switch) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จัดเป็นอุปกรณ์ชนิด A

2) อุปกรณ์ชนิด B (Type B)

อุปกรณ์วัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วน ที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิเช่น วงจรรวม (Integrated Circuit : IC) หรือไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและไม่สามารถตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

ทรานส์มิตเตอร์ที่ชาญฉลาด (Smart Transmitter) อุปกรณ์ชนิดนี้จัดเป็นอุปกรณ์ชนิด B

รายละเอียดของรูปแบบอุปกรณ์ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงจำนวนอุปกรณ์น้อยที่สุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดได้ของอุปกรณ์ในระบบย่อย เช่น ส่วนอุปกรณ์วัด หรืออุปกรณ์สุดท้าย เป็นต้น ที่จะนำไปใช้ในระบบวัดคุมนิรภัย จำนวนอุปกรณ์น้อยที่สุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดได้สามารถอธิบายได้ ดังนี้

"0" หมายความว่าใช้อุปกรณ์หนึ่งตัว ดังนั้นเมื่อตัวอุปกรณ์เกิดความผิดพลาดที่เป็นอันตรายจะทำให้ไม่มีอุปกรณ์ที่ยังสามารถทำงานได้ต่อไป ทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้องต่อไปได้

ตารางที่ 2.1 Hardware Safety integrity: architectural constraints on subsystem build from Type A components

Safe Failure Fraction (SFF)	Hardware fault tolerance (see note 2)		
	0 (see note 3)	1	2
< 60%	SIL 1	SIL 2	SIL 3
60% - 90%	SIL 2	SIL 3	SIL 4
90% - 99%	SIL 3	SIL 4	SIL 4
>99%	SIL 3	SIL 4	SIL 4
Note 1: See explanation below for details on interpreting this table. Note 2: Hardware fault tolerance is the maximum number of fault in a subsystem, arising from random hardware failure, which can occur without leading to an undetected dangerous failure. Note 3: A hardware fault tolerance of zero means a single fault could cause an undetected dangerous failure.			

ตารางที่ 2.2 Hardware Safety integrity: architectural constraints on subsystem build from Type B components

Safe Failure Fraction (SFF)	Hardware fault tolerance (see note 2)		
	0 (see note 3)	1	2
< 60%	Not allowed	SIL 1	SIL 2
60% - 90%	SIL 1	SIL 2	SIL 3
90% - 99%	SIL 2	SIL 3	SIL 4
>99%	SIL 3	SIL 4	SIL 4
Note 1: See explanation below for details on interpreting this table. Note 2: Hardware fault tolerance is the maximum number of fault in a subsystem, arising from random hardware failure, which can occur without leading to an undetected dangerous failure. Note 3: A hardware fault tolerance of zero means a single fault could cause an undetected dangerous failure.			

"1" หมายความว่าใช้อุปกรณ์สองตัวต่อกันให้มีการทำงานในรูปแบบอนุกรมดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการชำรุดเสียหายแต่ยังมีอุปกรณ์ตัวที่สองที่ยังคงสามารถทำงานได้ต่อไป จึงทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามฟังก์ชันนิรภัย

"2" หมายความว่าใช้อุปกรณ์สามตัวต่อกันให้มีการทำงานในรูปแบบอนุกรมดังนั้น เมื่อตัวอุปกรณ์ตัวที่หนึ่งเกิดเกิดการชำรุดเสียหายอุปกรณ์ตัวที่สองและตัวที่สามก็ยังสามารถทำงานได้ต่อไป ถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์ตัวที่สองจะเกิดเกิดการชำรุดเสียหายอุปกรณ์ตัวที่สามก็ยังสามารถทำงานได้ต่อไป และระบบวัดคุมนิรภัยยังคงสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องต่อไป จะเห็นได้ว่ารูปแบบนี้จะมีความน่าเชื่อถือได้สูง แต่ต้องใช้อุปกรณ์ถึงสามตัวและโอกาสเกิดการทำงานที่ไม่เป็นจริง (False Trip) ได้สูง

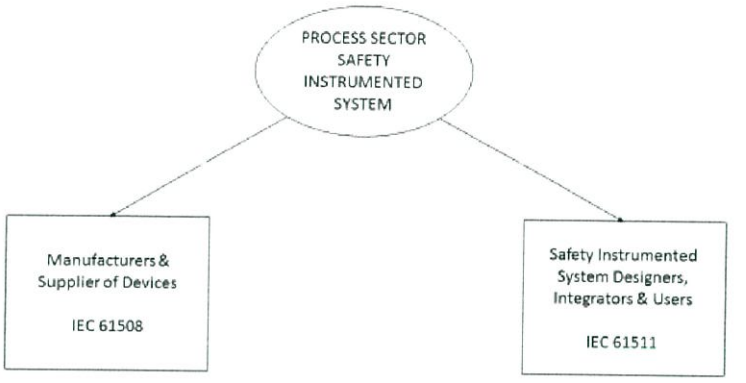
2.4.4.2 อุปกรณ์วัดที่ไม่ผ่านการรับรอง (Non-Certified Device)

ในอดีตที่ผ่านมาการใช้งานระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System : SIS) หรือระบบ ESD (Emergency Shut Down System) และอุปกรณ์วัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบนิรภัย (Safety Related System) ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต ยังไม่มีมาตรฐานสากลสำหรับใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อุปกรณ์หรือใช้อ้างอิงในการออกแบบการจัดทำ และการใช้งาน ในการออกแบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบวัดคุมนิรภัย สำหรับการออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยใหม่ๆ ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตนั้นก็จะมีเพียงแต่การเลือกใช้ส่วนประมวลผลลอจิก(Logic Solver) หรือ Safety PLC (Programmable Logic Controller) ที่ผ่านการรับรองจาก TUV ที่ระดับต่างๆ (AK Class) เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประมวลผลในระบบวัดคุมนิรภัย ส่วนรูปแบบของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ก็จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือข้อกำหนดจากเจ้าของลิขสิทธิ์กระบวนการผลิต ซึ่งอุปกรณ์วัดส่วนใหญ่ที่จะนำไปใช้เป็นอุปกรณ์วัด (Sensing Element) อาทิเช่น อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transmitter) หรืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) อาทิเช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) ของระบบนั้น เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ได้มีการรับรอง เพื่อนำไปใช้ในระบบนิรภัยหรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานสำหรับระบบควบคุมทั่วไป ดังนั้นจึงไม่สะดวกในการเลือกใช้งานและไม่สามารถแน่ใจได้ว่าอุปกรณ์ที่เลือกใช้นั้นมีความเชื่อมั่นในการทำงานได้เพียงใดในเวลาที่ต้องการ

ในปัจจุบันเมื่อมาตรฐานสากล IEC 61508 / 61511 ได้ผ่านการรับรองจากประเทศที่เป็นสมาชิก IEC ให้มีการนำมาใช้งาน จึงทำให้อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จะนำไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัย จะต้องมีการออกแบบและจัดทำให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานดังกล่าว เพื่อทำให้อุปกรณ์ทุกชนิดที่จะนำไปใช้ในระบบนิรภัยมีความน่าเชื่อถือในการทำงานและมีความปลอดภัยสูงในการนำไปใช้งาน นอกจากนั้นยังเป็นข้อกำหนดให้อุปกรณ์เหล่านี้ถูกออกแบบและผลิตอยู่ในมาตร-ฐานเดียวกัน

มาตรฐาน IEC 61508 ได้ผ่านการรับรองให้มีการใช้งานก่อน มาตรฐาน IEC 61511 โดย IEC 61508 เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบและจัดทำส่วนประมวลผลที่ประกอบไปด้วยระบบไฟฟ้าหรือระบบอิเล็คทรอนิกส์ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ส่วน IEC 61511 จะเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต โดยผู้ผลิตหรือ

ผู้จำหน่าย อุปกรณ์วัดและส่วนประมวลผลในระบบนิรภัย ต้องทำการออกแบบและดำเนินขั้นตอนการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 61508 นอกจากนั้นผู้ออกแบบระบบนิรภัยโดยรวมและผู้ใช้งาน ควรจะปฏิบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61511 ดังสามารถแสดงความสัมพันธ์ของทั้งสองมาตรฐานได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน IEC 61508 และ IEC 61511

ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในระบบวัดคุมนิรภัยจะต้องมีการผลิตเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานสากลที่ได้รับการรับรองให้ใช้งาน คำถามต่างๆ ที่เกี่ยงข้องกับการใช้งานจึงมีเกิดขึ้นอย่างมากมาย เนื่องจาก IEC 61508 ได้เริ่มมีการรับรองใช้งานประมาณปี 1998 และจะแสดงรายละเอียดเฉพาะส่วนประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้และจะไม่ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ มากนัก ซึ่งในการใช้งานจริงแล้วที่ผ่านๆ มาจะเห็นได้ว่ามีอุปกรณ์วัดเป็นจำนวนมากที่ถูกใช้งานอยู่ในระบบนิรภัยและทำงานได้เป็นได้เป็นอย่างดีมาเป็นเวลานานก่อนที่ IEC 61508 จะได้ถูกรับรองให้ถูกนำมาใช้งาน สำหรับในการออกแบบและจัดทำระบบวัดคุมนิรภัยใหม่ๆ จึงมีคำถามต่างๆ เกิดขึ้นอย่างมากมาย อาทิเช่น เป็นไปได้ไหมที่จะใช้อุปกรณ์ที่ยังไม่ผ่านการรับรอง (Non-Certified device) ในระบบวัดคุมนิรภัย, อะไรเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน, ใครที่จะเป็นผู้รับรองอุปกรณ์สำหรับนำไปใช้งาน, เอกสารใดบ้างที่เกี่ยวข้อง, ขั้นตอนในการใช้งานและทดสอบการทำงานของระบบ, สามารถใช้อุปกรณ์ที่มีการใช้งานในระบบควบคุมทั่วไปกับระบบวัดคุมนิรภัยได้หรือไม่, สามารถใช้ส่วนประมวลผลที่ไม่ผ่านการรับรองในระบบวัดคุมนิรภัยได้หรือไม่ สำหรับคำถามต่างๆ เหล่านี้ สามารถหาคำตอบได้โดยการอ้างอิงถึงข้อกำหนด “Prior use” (Prior use cause) ที่ได้แสดงไว้ในมาตรฐาน IEC 61511 ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับการใช้อุปกรณ์หรือส่วนประมวลผลที่ไม่ผ่านการรับรองหรือไม่ถูกออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 61508 สำหรับในโครงงานนี้จะแสดงรายละเอียดข้อกำหนดและแนวทางการใช้งาน ข้อกำหนด “Prior use” ที่ได้แสดงไว้ในมาตรฐาน IEC 61511 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆกับระบบวัดคุมนิรภัย

2.4.5 ค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัย (Safety Failure Fraction: SFF)

จากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัย (SFF) เป็นค่าความผิดพลาดนิรภัยรวมกับค่าความผิดพลาดอันตรายตรวจจับได้ของอุปกรณ์ต่อความผิดพลาดทั้งหมดของอุปกรณ์ และจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่จะมีผลโดยตรงในการเลือกใช้รูปแบบของอุปกรณ์ค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัยนี้ เป็นผลประโยชน์ที่ได้มาจากระบบการตรวจสอบความผิดพลาดด้วยตนเองของอุปกรณ์เหล่านั้น ดังนั้นถ้าอุปกรณ์ชนิดใดมีค่าดังกล่าวนี้สูง แสดงว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอันตรายได้ต่ำ แต่ผลกระทบที่จะตามมาเนื่องจากอุปกรณ์ที่มีค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัยสูงๆ คืออาจทำให้กระบวนการผลิตมีโอกาสหยุดทำงานเนื่องมาจากอุปกรณ์เหล่านี้ได้สูง ดังนั้นในการใช้งานค่าดังกล่าวควรจะพิจารณาในรายละเอียดตัวแปรต่างๆ ของอุกรณ์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ เมื่อค่าอัตราความผิดพลาดนิรภันสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$SFF = (SD + SU + DD)/(SD + SU + DD + DU) \qquad (2.2)$$

เมื่อ *SFF* คือ ค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure Fraction)

SD คือ ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับได้ (Safe Detected Failure)

SU คือ ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับไม่ได้ (Safety Undetected Failure)

DD คือ ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับได้ (Dangerous Detected Failure)

DU คือ ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับไม่ได้ (Dangerous Undetected Failure)

2.4.6 ระบบย่อย (Subsystems) ในระบบวัดคุมนิรภัย

สำหรับระบบวัดคุมนิรภัยที่ประกอบไปด้วยระบบย่อย (Sub Systems) หลายระบบ ค่าระดับความปลอดภัยรวมจะมีค่าเท่ากับค่าระดับความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดของระบบย่อย โดยการพิจารณาจากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตัวอย่างระบบวัดคุมนิรภัยที่ประกอบไปด้วยระบบย่อย 3 ระบบ โดยระบบย่อยจะมีค่าระดับความปลอดภัย เป็นดังนี้

ระบบย่อยที่ 1 มีค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 1

ระบบย่อยที่ 2 มีค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 2

ระบบย่อยที่ 3 มีค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 1

จากรายละเอียดจะเห็นได้ว่า ระบบย่อยที่ 1 และ 3 มีค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 1 ขณะที่ระบบย่อยที่ 2 จะมีค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 2 ดังนั้นระบบย่อยที่ 1 และ 3 จะเป็นตัวจำกัดค่าระดับความปลอดภัยรวม ซึ่งจากรายละเอียดนี้ จึงสามารถกำหนดค่าระดับความปลอดภัยรวมได้เป็น SIL 1

2.4.7 รูปแบบอุปกรณ์วัด (Sensing Element Architecture)

เป็นเวลานานแล้วที่ทรานส์มิตเตอร์อนาล็อก (Analogue Transmitter) ได้รับการยอมรับและมีความน่าเชื่อถือสูงในการนำไปใช้งานกับระบบวัดคุมนิรภัย มากกว่าอุปกรณ์วัดแบบหน้าสัมผัส (Switch) เนื่องจากอุปกรณ์วัดแบบหน้าสัมผัสจะไม่สามารถทำการตรวจสอบความผิดพลาดแบบอัตโนมัติได้เหมือนกับทรานส์มิตเตอร์อนาล็อกนอกจากนั้นทรานส์มิตเตอร์อนาล็อกยังสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณได้โดยการเปรียบเทียบค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านั้น จากรายละเอียดของรูปแบบอุปกรณ์ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 นอกจากจะมีการพิจารณาอัตราความผิดพลาดนิรภัย (SFF) แล้วตารางดังกล่าวยังกำหนดให้มีอุปกรณ์สำรอง (Redundant) สำหรับทำหน้าที่แทนอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพลาดในการทำงาน เพื่อให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัย ดังนั้นอุปกรณ์ในระบบนิรภัยจึงอาจจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งตัว จากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัย (SFF) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งในการจัดรูปแบบของอุปกรณ์ โดยค่าอัตราความผิดพลาดนิรภัย (SFF) จะแปรผันโดยตรงกับค่าอัตราการตรวจจับความผิดพลาด (DCF) ด้วยเหตุผลนี้อุปกรณ์วัดแบบหน้าสัมผัสที่จะนำไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัยจึงมีการใช้งานที่ลดลงและเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์วัดที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อกแทนโดยจะใช้งานร่วมกับตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ เพื่อใช้ประโยชน์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมในการตรวจสอบความผิดพลาดของอุปกรณ์ รูปแบบพื้นฐานของอุปกรณ์วัดแบบทั่วไปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบวัดคุมนิรภัยจะมีดังนี้

2.4.7.1 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo1 (One out of One voting)

2.4.7.2 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo2 (One out of Two voting)

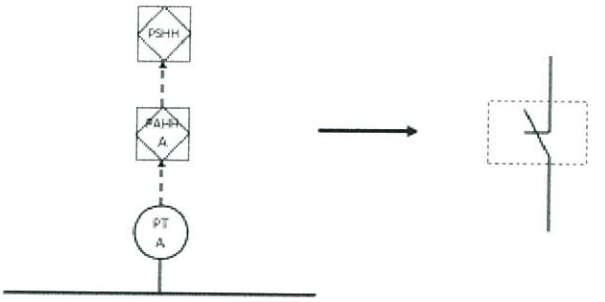
2.4.7.3 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 (One out of Three voting)

2.4.7.4 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 (Two out of Three voting)

2.4.7.5 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo2 (Two out of Two voting)

2.4.7.1 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo1 (One out of One voting)

รูปแบบนี้จะใช้อุปกรณ์วัดเพียงตัวเดียวต่อกับระบบวัดคุมนิรภัย ในการทำงานถ้าอุปกรณ์วัดวัดค่าที่ผิดปกติได้หรือถึงจุดทำงานตามที่กำหนดไว้ก็จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยทำงานทันทีซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ในรูปสวิตซ์ปกติปิดหนึ่งตัว (ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์จะทำให้สวิตซ์จะอยู่ในตำแหน่งเปิด)ซึ่งรายละเอียดอ่านได้จากโปรแกรมการทำงาน ถ้าความผิดพลาดที่เป็นอันตรายเกิดขึ้นและอุปกรณ์วัดสามารถตรวจจับความผิดพลาดนั้นได้ จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยทำงานอุปกรณ์วัดรูปแบบ 1oo1 และโปรแกรมการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 2.11



อุปกรณ์วัดแบบ 1oo1 บนแผนภาพกระบวนการผลิต

โปรแกรมของอุปกรณ์วัดแบบ 1oo1 ในระบบวัดคุมนิรภัย

ภาพที่ 2.11 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo1

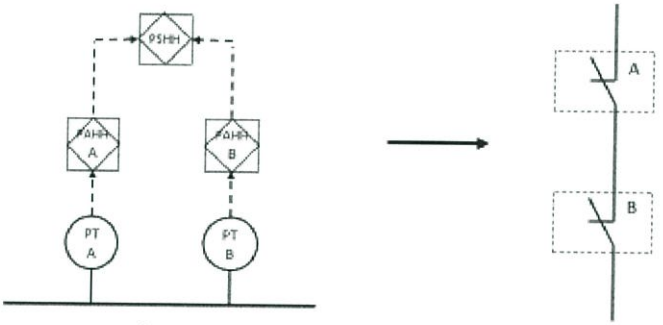
ในการใช้งานอุปกรณ์วัดรูปแบบ 1oo1 กับอุปกรณ์วัดที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนา-ล็อก 4-20 mA ร่วมกับระบบประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานในรูปแบบ 1oo1 ดังแสดงในภาพที่2.11 ตัวโปรแกรมการทำงานหลักจะประกอบไปด้วยชุดเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) กับค่าเป้าหมายที่กำหนด และตัวกลับสัญญาณ (Inverter) ในสภาวะปกติค่าสัญญาณอินพุตจะมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจากชุดเปรียบเทียบสัญญาณจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นหนึ่งหรือทำการจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่ถ้าค่าสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการ อาทิเช่น เกิดความดันเพิ่มขึ้น หรือเกิดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้สัญญาณอินพุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่าเป็นหนึ่งและเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ถ้าอุปกรณ์สุดท้ายเป็นวาล์วนิรภัยก็จะทำให้วาล์วปิด ซึ่งการทำงานแบบนี้จะเรียกว่า การทำงานแบบผิดพลาดนิรภัย (Fail Safe Design) คือเมื่อเกิดปัญหาการผิดพลาดใดๆ กับระบบจะทำให้อุปกรณ์สุดท้ายหยุดทำงาน

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับการใช้งานจริงจะมีรายละเอียดที่มากกว่านี้ ซึ่งในโปรแกรมจะต้องมี ส่วนคงค่าสัญญาณ (Latch), การ By-Passing สำหรับการซ่อมบำรุงและการเริ่มเดินกระบวนการ, การ Reset เพื่อทำให้โปรแกรมกลับสู่สภาวะปกติ ซึ่งจะไม่แสดงในรายละเอียดใน

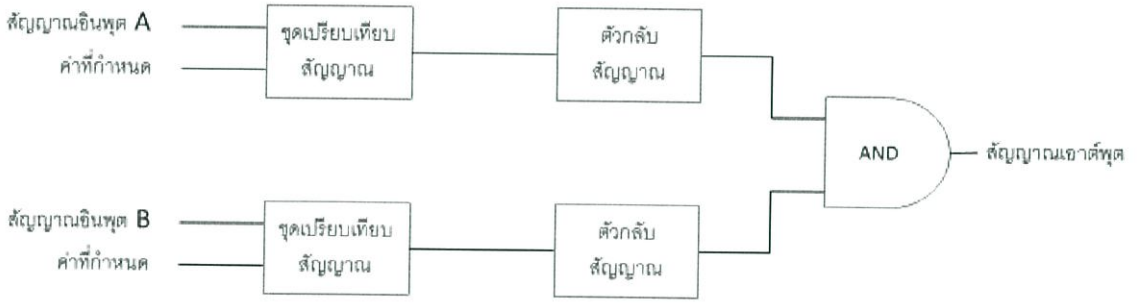
ที่นี้ รายละเอียดต่างๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับเทคนิคการเขียนโปรแกรมของผู้ผลิต

2.4.7.2 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo2 (One out of Two Voting)

รูปแบบนี้จะใช้อุปกรณ์วัดสองตัวต่อกับระบบวัดคุมนิรภัยให้มีการทำงานเป็นแบบอนุกรมในการทำงานถ้าอุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งวัดค่าความผิดปกติได้หรือถึงจุดทำงานตามที่กำหนดไว้ก็จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยทำงานทันที ซึ่งสามารถแสดงในรูปสวิตซ์ปกติปิดสองตัวต่ออนุกรมกัน(ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์จะทำให้สวิตซ์จะอยู่ในตำแหน่งเปิด) แต่ถ้ามีอุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งเกิดชำรุดเสียหายไม่มีตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ก็ยังมีอุปกรณ์วัดอีกตัวหนึ่งทำงานแทนได้อุปกรณ์วัดรูปแบบ 1oo2 และโปรแกรมการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 2.12



อุปกรณ์วัดแบบ 1oo2 บนแผนภาพกระบวนการผลิต



โปรแกรมของอุปกรณ์วัดแบบ 1oo2 ในระบบวัดคุมนิรภัย

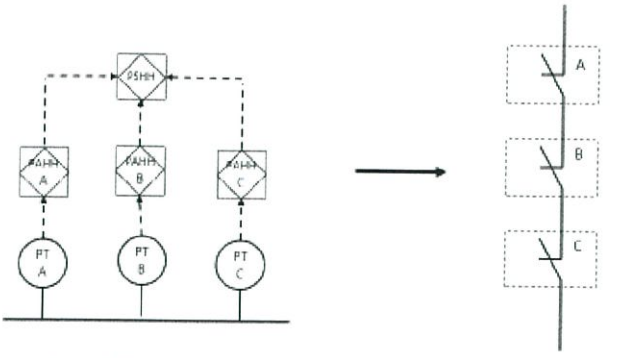
ภาพที่ 2.12 อุปกรณ์วัดแบบ1oo2

ในการใช้งานอุปกรณ์วัดรูปแบบ 1oo2 กับทรานส์มิตเตอร์ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก 4-20 mA ร่วมกับระบบประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานในรูปแบบ 1oo2 ดังแสดงในภาพที่2.12 ตัวโปรแกรมการทำงานหลักจะประกอบไปด้วยชุดเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) กับค่าเป้าหมายที่กำหนดและตัวกลับสัญญาณ (Inverter)สองชุดโดยสัญญาณอินพุตของชุดที่หนึ่งต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่หนึ่งและ

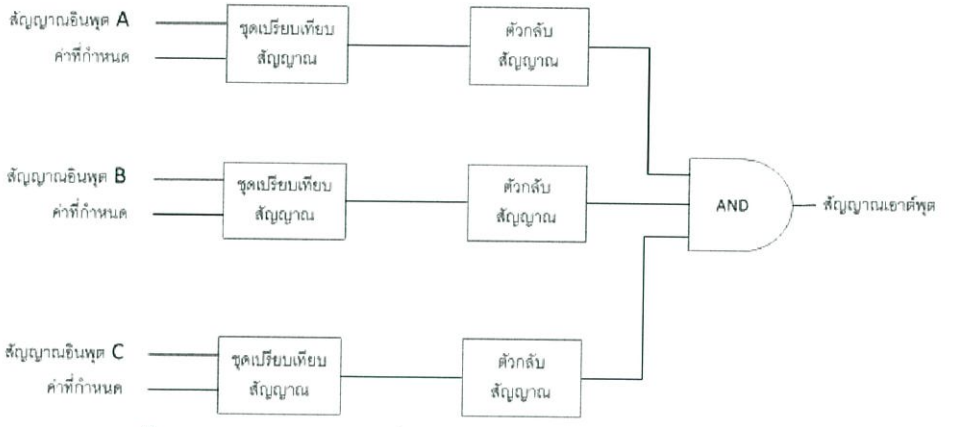
สัญญาณอินพุตชุดที่สองต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สอง จากนั้นนำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณมาทำลอจิก AND และสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND ในสภาวะปกติค่าสัญญาณอินพุตทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจากชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตของลอจิก AND มีค่าเป็นหนึ่งทั้งสองคู่เป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND มีค่าเป็นหนึ่งหรือทำการจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่ถ้าค่าสัญญาณอินพุตทั้งสองเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการ อาทิเช่น เกิดความดันเพิ่มขึ้น หรืออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้สัญญาณอินพุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองมีค่าเป็นหนึ่งและเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้สัญญาณอินพุตของลอจิก AND มีค่าเป็นศูนย์ทั้งสองคู่เป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตของลอจิก ANDมีค่าเป็นศูนย์หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ถ้าอุปกรณ์สุดท้ายเป็นวาล์วนิรภัยก็จะทำให้วาล์วปิด แต่ถ้ามีอุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งเกิดชำรุดเสียหายไม่มีตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ก็ยังมีอุปกรณ์วัดอีกตัวหนึ่งทำงานแทนได้ เนื่องมาจากลอจิก AND คือเมื่ออินพุตตัวใดตัวหนึ่งเป็นศูนย์ก็จะทำให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีการจ่ายพลังงานไปที่อุปกรณ์สุดท้าย

2.4.7.3 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 (One out of Three Voting)

รูปแบบนี้จะใช้อุปกรณ์วัดสามตัวต่อกับระบบวัดคุมนิรภัยให้มีการทำงานเป็นแบบอนุกรมในการทำงานถ้าอุปกรณ์การวัดตัวใดตัวหนึ่งวัดค่าความผิดปกติได้หรือถึงจุดทำงานที่กำหนดไว้ก็จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยทำงานทันที ซึ่งสามารถแสดงในรูปสวิตซ์ปกติปิดสามตัวต่ออนุกรมกัน (ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์จะทำให้สวิตซ์จะอยู่ในตำแหน่งเปิด) แต่ถ้าเกิดชำรุดเสียหายในตัวอุปกรณ์การวัดตัวใดตัวหนึ่งอุปกรณ์ตัวที่สองหรือตัวที่สามยังคงทำหน้าที่แทนในรูปแบบ 1oo2 หรือ 1oo1 แต่ในรูปแบบนี้มีโอกาสให้เกิดการทำงานแบบไม่เป็นจริง (False Trip) ได้สูง เนื่องจากมีจำนวนอุปกรณ์มากกว่ารูปแบบอื่นๆ อุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 และโปรแกรมการทำงาน แสดงได้ดังภาพที่ 2.13



อุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 บนแผนภาพกระบวนการผลิต



โปรแกรมของอุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 ในระบบวัดคุมนิรภัย

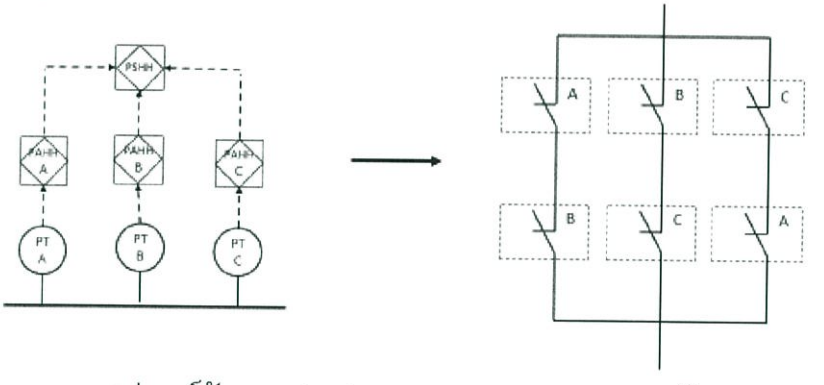
ภาพที่ 2.13 อุปกรณ์วัดแบบ 1oo3

ในการใช้งานอุปกรณ์วัดแบบ 1oo3 กับทรานส์มิตเตอร์ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก 4-20 mA ร่วมกับระบบประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานในรูปแบบ 1oo3 ดังแสดงในภาพที่ 2.13ตัวโปรแกรมการทำงานหลักจะประกอบไปด้วยชุดเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) กับค่าเป้าหมายที่กำหนด และตัวกลับสัญญาณ (Inverter) สามชุดโดยสัญญาณอินพุตของชุดที่หนึ่งต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่หนึ่งและสัญญาณอินพุตชุดที่สองต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สองและสัญญาณอินพุตชุดที่สามต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สาม จากนั้นนำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณทั้งสามมาทำลอจิก AND และสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND ในสภาวะปกติค่าสัญญาณอินพุตทั้งสามจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจากชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสามจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตทั้งสามของลอจิก AND มีค่าเป็นหนึ่งเป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND มีค่าเป็นหนึ่งหรือทำการจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่ถ้าค่าสัญญาณอินพุตทั้งสามหรือตัวใดตัวหนึ่งมีความผิดปกติของกระบวนการผลิต อาทิเช่น เกิดความดันเพิ่มขึ้น หรือเกิดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สัญญาณอินพุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด ทำให้สัญญาณเอาต์พุต

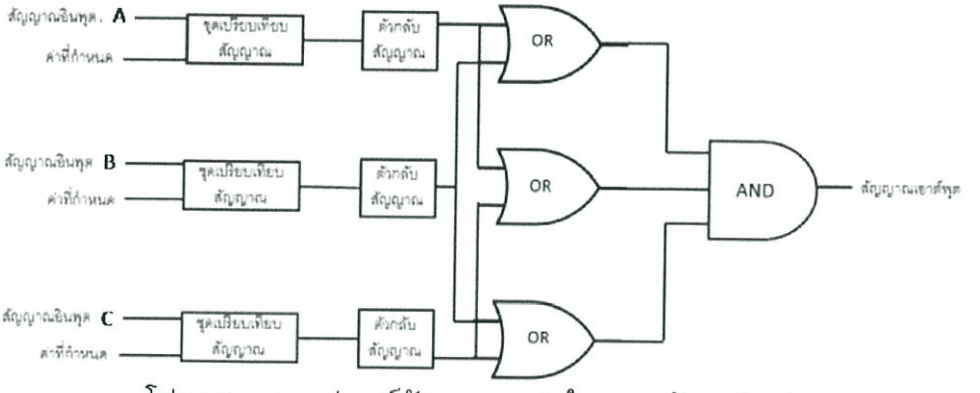
ของชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสามหรือตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็นหนึ่งและเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตของลอจิก AND มีค่าเป็นศูนย์เป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ถ้าอุปกรณ์สุดท้ายเป็นวาล์วนิรภัยก็จะทำให้วาล์วปิด แต่ถ้ามีอุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งเกิดความผิดพลาดอันตรายหรือไม่ตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ก็ยังมีอุปกรณ์วัดอีกตัวที่สองและสามทำงานแทนได้ เนื่องมาจากลอจิก AND คือเมื่ออินพุตตัวใดตัวหนึ่งเป็นศูนย์ก็จะทำให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ด้วย

2.4.7.4 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 (Two out of Three Voting)

รูปแบบนี้จะใช้อุปกรณ์วัดสามตัวต่อกับระบบวัดคุมนิรภัยให้มีการทำงานเป็นแบบลงมติ (Voting) จากสองในสามรูปแบบนี้ระบบวัดคุมนิรภัยจะทำงานก็ต่อเมื่ออุปกรณ์วัดสองตัววัดค่าความผิดปกติได้ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสวิตช์ปกติปิดสามตัว โดยสวิตช์สองตัวต่ออนุกรมกันสามชุดจากนั้นนำมาต่อขนานกัน (ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์จะทำให้สวิตช์จะอยู่ในตำแหน่งเปิด) แต่ถ้าเกิดการชำรุดเสียหายที่อุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งและระบบวัดคุมนิรภัยไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดนั้นได้ จะมีอุปกรณ์ตัวที่สองและตัวที่สามยังคงทำหน้าที่ต่อไปได้ในรูปแบบ 2oo2 แต่ในรูปแบบนี้จะมีความน่าเชื่อถือในการทำงานน้อยกว่าในรูปแบบ 1oo3 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 และโปรแกรมการทำงาน แสดงในภาพที่ 2.14



อุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 บนแผนภาพกระบวนการผลิต



โปรแกรมของอุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 ในระบบวัดคุมนิรภัย

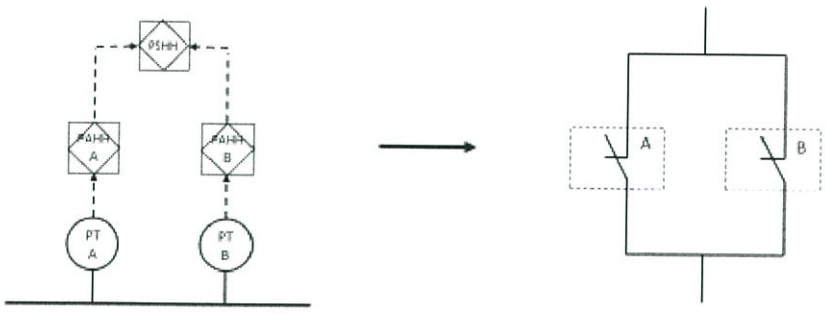
ภาพที่ 2.14 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo3

ในการใช้งานอุปกรณ์วัดแบบ 2oo3 กับทรานส์มิตเตอร์ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก 4-20 mA ร่วมกับระบบประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานในรูปแบบ 2oo3 ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ตัวโปรแกรมการทำงานหลักจะประกอบไปด้วยชุดเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) กับค่าเป้าหมายที่กำหนดและตัวกลับสัญญาณ (Inverter) สามชุด โดยสัญญาณอินพุตของชุดที่หนึ่งต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่หนึ่งและสัญญาณอินพุตชุดที่สองต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สองและสัญญาณอินพุตชุดที่สามต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สาม จากนั้นนำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณชุดที่หนึ่งและสองมาทำลอจิก OR นำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณชุดที่สองและสามมาทำลอจิก OR และนำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณชุดที่หนึ่งและสามมาทำลอจิก OR จากนั้นนำสัญญาณเอาต์พุตจากลอจิก OR ทั้งสามมาเป็นสัญญาณอินพุตของลอจิก AND และสัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND จะเป็นเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้ายในสภาวะปกติค่าสัญญาณอินพุตทั้งสามจะมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจากชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสามจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตทั้งสามมีค่าเป็นหนึ่งและสัญญาณอินพุตของลอจิก OR มีค่าเป็นหนึ่งด้วยเป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตของลอจิก AND มีค่าเป็นหนึ่งหรือทำการจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่ถ้าค่าสัญญาณอินพุตสองหรือสามตัวเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการอาทิเช่น เกิดความดันเพิ่มขึ้นหรือเกิดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้สัญญาณอินพุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองหรือสามตัวมีค่าเป็นหนึ่งและเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตของลอจิก OR มีค่าเป็นศูนย์เป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตของลอจิก OR ที่มีค่าอินพุตเป็นศูนย์ทั้งสองอินพุต ซึ่งจะเป็นผลทำให้อินพุตของลอจิก AND อินพุตใดอินพุตหนึ่งเป็นศูนย์และจะทำให้ลอจิก AND มีเอาต์พุตเป็นศูนย์หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ถ้าอุปกรณ์สุดท้ายเป็นวาล์วนิรภัยก็จะทำให้วาล์วปิด แต่ถ้ามีอุปกรณ์การวัดตัวใดตัวหนึ่งเกิดความผิดพลาดอันตรายหรือไม่ตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ก็ยังมีอุปกรณ์การวัดอีกตัวที่สองและสามทำงานแทนได้ เนื่องจากลอจิก AND คือเมื่ออินพุตตัวใดตัวหนึ่งเป็นศูนย์ก็จะทำให้ค่าเอาต์พุตเป็นศูนย์ด้วย

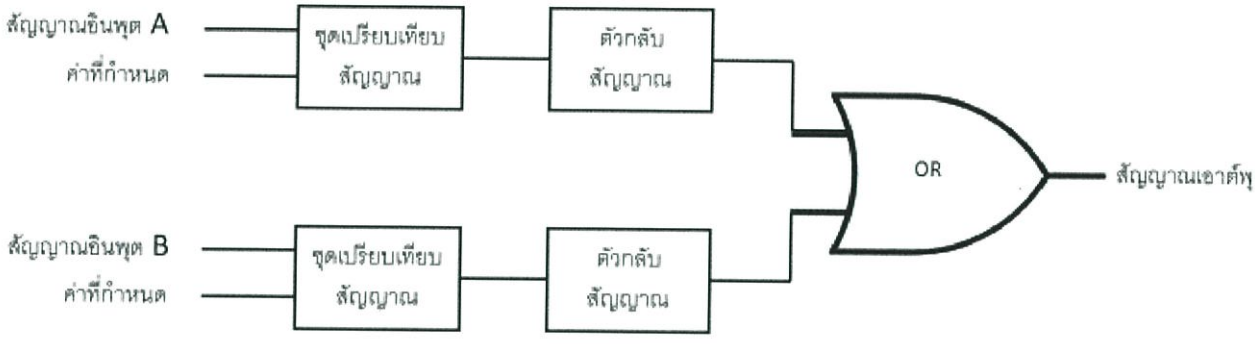
2.4.7.5 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo2 (Two out of Two Voting)

รูปแบบนี้จะใช้อุปกรณ์วัดสองตัวต่อกับระบบวัดคุมนิรภัยในลักษณะขนานกันระบบวัดคุมนิรภัยจะทำงานก็ต่อเมื่ออุปกรณ์วัดทั้งสองตัววัดค่าความผิดปกติได้ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสวิตช์ปกติปิดสองตัวต่อขนานกัน (ในสภาวะทำงานหรือเมื่อจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์จะทำให้สวิทช์จะอยู่ในตำแหน่งเปิด) ถ้าเกิดการชำรุดเสียหายที่อุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่ง และระบบวัดคุมนิรภัยไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดนั้นได้ จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้องต่อไปได้ถ้าใช้รูปแบบ 1oo1แต่เพราะการทำงานในรูปแบบนี้ใช้อุปกรณ์วัดทั้งสอง

ตัวที่มีการทำงานคล้ายกันกับในรูปแบบ 1oo1 ต่อขนานกันอย่างไรก็ตามรูปแบบนี้จะมีค่าความพร้อมใช้งาน (Availability) สูงกว่าแบบ 1oo1 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo2 และโปรแกรมการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.15



อุปกรณ์วัดแบบ 2oo2 บนแผนภาพกระบวนการผลิต



โปรแกรมของอุปกรณ์วัดแบบ 2oo2 ในระบบวัดคุมนิรภัย

ภาพที่ 2.15 อุปกรณ์วัดแบบ 2oo2

ในการใช้งานอุปกรณ์วัดแบบ 2oo2กับทรานส์มิตเตอร์ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก 4-20 mA ร่วมกับระบบประมวลผลที่โปรแกรมการทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานในรูปแบบ 2oo2ดังแสดงในภาพที่ 2.15ตัวโปรแกรมการทำงานหลักจะประกอบไปด้วยชุดเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) กับค่าที่กำหนดและตัวกลับสัญญาณ (Inverter) สองชุด โดยสัญญาณอินพุตของชุดที่หนึ่งต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่หนึ่งและสัญญาณอินพุตชุดที่สองต่อกับอุปกรณ์วัดตัวที่สอง จากนั้นนำสัญญาณที่ออกจากตัวกลับสัญญาณมาทำลอจิก OR จากนั้นนำสัญญาณเอาต์พุตจากลอจิก OR ไปต่อกับอุปกรณ์สุดท้าย ในสภาวะปกติค่าสัญญาณอินพุตทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด สัญญาณเอาต์พุตจากชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตของลอจิก OR มีค่าเป็นหนึ่งทั้งสองอินพุตเป็นผลทำให้สัญญาณเอาท์พุตพุตของลอจิก OR มีค่าเป็นหนึ่งด้วยหรือทำการจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่ถ้าค่าสัญญาณ

อินพุตสองตัวเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการอาทิเช่น เกิดความดันเพิ่มขึ้น หรือเกิดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้สัญญาณอินพุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนด จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของชุดเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองมีค่าเป็นหนึ่งและเมื่อผ่านตัวกลับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณอินพุตของลอจิก OR มีค่าเป็นศูนย์ทั้งสองอินพุตเป็นผลทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้ายถ้าอุปกรณ์สุดท้ายเป็นวาล์วนิรภัยก็จะทำให้วาล์วปิด แต่ถ้ามีอุปกรณ์วัดตัวใดตัวหนึ่งมีการชำรุดเสียหายไม่ตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตอุปกรณ์วัดอีกตัวหนึ่งสามารถทำงานแทนได้ เนื่องมาจากลอจิก OR คือ อินพุตทั้งสองตัวต้องเป็นศูนย์ถึงจะทำให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ด้วย

2.4.8 การหาความผิดพลาดของอุปกรณ์วัด

ระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System : SIS) หรือเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของระบบ ESD (Emergency Shutdown System) จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ อุปกรณ์วัด(Sensor Element) ส่วนประมวลผลลอจิก (Logic Solver) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) หรือที่ใช้กันแพร่หลายจะเป็นวาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) ซึ่งอุปกรณ์วัดและวาล์วนิรภัยสามารถจัดรูปแบบในการนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยจะขึ้นอยู่กับค่าระดับความปลอดภัยหรือค่าความผิดพลาดที่เป็นอันตรายที่ต้องการสำหรับส่วนประมวลผลในปัจจุบันนี้ส่วนมากจะนิยมใช้ Safety PLC (Programmable Logic Controller) ซึ่งเป็น PLC ที่มีคุณภาพสูงผ่านการรับรองจากสถาบันตรวจสอบที่น่าเชื่อถือได้ทำให้สามารถนำไปใช้ในระบบวัดคุมนิรภัย รูปแบบและสถาปัตยกรรมภายในของส่วนประมวลผลลอจิกจึงขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและการออกแบบของผู้ผลิต ในการใช้งานเพียงแต่เลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการและค่าระดับความปลอดภัย สำหรับอุปกรณ์วัดและวาล์วนิรภัยเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานจะต้องทำการพิจารณาในรายละเอียด คุณสมบัติสมรรถนะและรูปแบบของอุปกรณ์สำหรับการนำฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ของระบบวัดคุมนิรภัยไปใช้เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากลและสิ่งสำคัญในการพิจารณาก็จะเป็นรูปแบบของอุปกรณ์ทั้งสองส่วนในระบบวัดคุมนิรภัยที่สามารถจัดให้มีหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัยและชนิดของอุปกรณ์ สำหรับอุปกรณ์วัดสามารถจัดรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น 1oo1 (One out of One Voting), 1oo2 (One out of Two Voting), 1oo3 (One out of Three Voting), 2oo3 (Two out of Three Voting) เป็นต้น ซึ่งเป็นรูปแบบอุปกรณ์วัดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายหรือสามารถพบเห็นการใช้งานได้บ่อยครั้ง ตัวแปรหลักที่จะนำมาพิจารณาว่าจะใช้รูปแบบใดนั้นคือ ค่าความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Probability of Dangerous Failure หรือ Probability of Failureon Demand : PFD) จะเป็นตัวแปรที่ทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะอันตราย ซึ่งค่าตัวแปรนี้จะมีความสำคัญสำหรับแสดงค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level : SIL) ของฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ในระบบวัดคุมนิรภัย การออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยตาม

มาตรฐานสากล IEC-61508 ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยจะถูกกำหนดด้วยผลรวมค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในฟังก์ชันนิรภัยนั้น สามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$PFD_{AVG} = PFD_{SE} + PFD_{LS} + PFD_{FE} \quad (2.3)$$

เมื่อ PFD_{AVG} คือ ผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของฟังก์ชันนิรภัย

PFD_{SE} คือ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์วัด

PFD_{LS} คือ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของส่วนประมวลผล

PFD_{FE} คือ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เป็นอันตรายของอุปกรณ์สุดท้าย

2.4.9 ความผิดพลาดของอุปกรณ์วัด (Failure of Sensing Element)

อุปกรณ์วัดในระบบวัดคุมนิรภัยจะนิยมใช้ทรานส์มิตเตอร์ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ อาทิเช่น ทรานส์มิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) ทรานส์มิตเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Transmitter) ทรานส์มิตเตอร์วัดระดับ (Level Transmitter) ทรานส์มิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) โดยสามารถแสดงรายละเอียดของความผิดพลาดชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

2.4.9.1 สำหรับอุปกรณ์วัดที่ไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดด้วยตัวเอง มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ได้ดังนี้

1) ความผิดพลาดที่เป็นอันตราย (Dangerous Failure) ความผิดพลาดชนิดนี้จะเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตมีค่าผิดพลาดเกินกว่าค่าที่จะยอมรับได้ เช่น สัญญาณกระแสสเอาต์พุตไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่วัด เป็นต้น

2) ความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure) ความผิดพลาดชนิดนี้จะเป็นความผิดพลาดใดๆ ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์วัดแต่ไม่มีผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของสัญญาณกระแสเอาต์พุต

2.4.9.2 สำหรับอุปกรณ์วัดที่มีความสามารถตรวจจับความผิดพลาดด้วยตัวเอง มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ได้ดังนี้

1) ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับได้ (Dangerous Failure Detected) เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตมีค่าผิดพลาดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ แต่สามารถตรวจจับได้ เช่น สัญญาณกระแสเอาต์พุตมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าย่านการวัด เป็นต้น

2) ความผิดพลาดที่เป็นอันตรายตรวจจับไม่ได้ (Dangerous Failure Undetected) เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วทำให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตมีค่าผิดพลาดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ แต่ส่วนตรวจจับความผิดพลาดตรวจจับไม่ได้

3) ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับได้ (Safe Failure Detected) เป็นความผิดพลาดใดๆ ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์วัดแต่ไม่มีผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของสัญญาณกระแสเอาต์พุต แต่สามารถตรวจจับได้

4) ความผิดพลาดนิรภัยตรวจจับไม่ได้ (Safe Failure Undetected) เป็นความผิดพลาดใดๆ ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์วัดแต่ไม่มีผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของสัญญาณกระแสเอาต์พุต แต่ส่วนตรวจจับความผิดพลาดตรวจจับไม่ได้

2.5 เครื่องมือวัดระดับ

การวัดระดับถ้าแบ่งตามหลักการจะแบ่งได้ 2 หลักการ คือ วิธีการวัดโดยตรง (Direct) ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบง่ายๆ และวิธีการวัดโดยอ้อม (Indirect) โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง

ในปัจจุบันหลักการดังกล่าวที่ใช้อยู่ในวงการอุตสาหกรรม ได้แก่

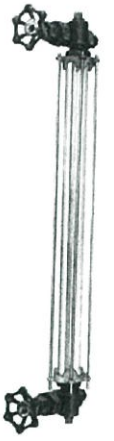
- หลักการของแรงและความดัน (Force and Pressure)
- หลักการทางไฟฟ้า (Resistance, Conductance & Capacitance)
- หลักการการเดินทางของเสียง (Ultrasonic)
- หลักการแผ่รังสีและการดูดซึมพลังงานของสาร (Radiation)
- สวิตช์ระดับแบบให้สัญญาณตามจุดเช็คระดับซึ่งมีหลักการแบบอิฟราเรด ลูกลอย ความนำไฟฟ้า และการสั่นสะเทือน เป็นต้น

2.5.1 วิธีการวัดระดับโดยตรง

วิธีการวัดระดับโดยตรงเป็นวิธีการที่ประหยัด ง่ายและเชื่อถือได้ ซึ่งแบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ แบบกระจกมองระดับ และแบบลูกลอย

2.5.1.1 กระจกแก้วมองระดับ (Glass Gauge)

กระจกมองระดับหรือเกจวัดระดับแบบหลอดแก้วเป็นวิธีที่สามารถดูระดับของเหลวได้โดยตรง ง่ายต่อการติดตั้งและปลอดภัยต่อการใช้งาน นิยมใช้กับภาชนะที่ไม่สูงมากนัก ในกรณีที่เป็นแบบพิเศษจะสามารถใช้งานได้กับภาชนะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง กระจกมองระดับจะถูกติดตั้งไว้ภายนอกภาชนะ มีวาล์วปิดทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อตัดส่วนนี้ออกขณะต้องการซ่อมบำรุงดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 กระจกแก้วมองระดับ (Glass Gauge)

2.5.1.2 เครื่องมือวัดระดับทางเชิงกล (Mechanical Tank Gauge)

การวัดระดับของของเหลวโดยใช้เกจวัดระดับแบบลูกลอย (Float) ดังแสดงในภาพที่ 2.17 เป็นแบบที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นการวัดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง มีโครงสร้างง่ายๆ สามารถใช้กับงานในสภาพที่มีอุณหภูมิและความดันสูงง่ายต่อการใช้ ในการวัดระดับของของเหลวโดยอาศัยการลอยตัวของลูกลอย การที่ลูกลอยสามารถลอยได้นิ่งอยู่บนของเหลวแสดงว่าแรงที่กดลงมาซึ่งก็คือ น้ำหนักของลูกลอยซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลก จะต้องมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่ลูกลอยจมในของเหลว เมื่อระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงจะทำให้ลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามไปด้วย จึงสามารถต่อแกนขึ้นในแนวตั้งเพื่อชี้บอกค่าระดับได้ ซึ่งวิธีการอ่านค่าระดับทำได้โดยลูกลอยจะถูกต่อด้วยเชือก เส้นลวด โซ่หรือเทป คล้องผ่านลอก (Pulley) และปลายอีกข้างต่อเข้ากับลูกตุ้มเพื่อรักษาให้เชือกตึงอยู่ตลอดเวลา การหมุนของรอกจะสัมพันธ์กันโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของลูกลอย ขณะที่ระดับเปลี่ยนแปลง ลูกลอยจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวดิ่งส่งผลให้รอกหมุน แกนของรอกสามารถต่อไปขยับเข็มชี้ที่ติดอยู่เพื่อเทียบกับสเกลที่แสดงค่าของระดับ โดยทั่วไปผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลายๆ รูปแบบแต่ก็มีหลักการคล้ายๆ กัน ในปัจจุบันได้พัฒนาให้ส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วโดยใส่อุปกรณ์ Encoder เข้ามาช่วยแล้วแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน

ภาพที่ 2.17 เครื่องมือวัดระดับทางเชิงกล (Mechanical Tank Gauge)

2.5.2 วิธีการวัดโดยอ้อมโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์

2.5.2.1 การวัดระดับด้วย Displacer

หลักการทำงานของการวัดระดับด้วย Displacer ใช้การแทนที่ของวัตถุด้วยของเหลว อาศัยหลักการของอาร์คิมิดิส โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงพยุง (Bougancy) ที่กระทำต่อวัตถุ วัตถุที่ใช้ทำเป็นตัวรับรู้ต่อแรงพยุงซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจุ่มอยู่ในของเหลวที่ต้องการทราบค่าระดับ วัตถุรูปทรงกระบอกอันนี้ ถ้าถูกแขวนไว้ด้วยตาชั่ง น้ำหนักของรูปทรงกระบอกเมื่อชั่งในอากาศจะมีน้ำหนัก W เมื่อนำวัตถุรูปทรงกระบอกนี้ไปชั่งในของเหลวก็จะมีน้ำหนักลดลงเหลือ w ดังนั้น แรงที่มากระทำให้น้ำหนักของวัตถุทรงกระบอกน้อยลง ก็คือแรงพยุงซึ่งกระทำต่อทรงกระบอกในทิศทางตรงกันข้ามกับน้ำหนัก โดยแรงพยุง F มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่ นั่นคือ

$$F = W - w \tag{2.4}$$

เมื่อ F คือ แรงพยุง (Bougancy)

W คือ น้ำหนักของวัตถุเมื่อชั่งในอากาศ

w คือ น้ำหนักของวัตถุเมื่อชั่งในของเหลว

วัตถุทรงกระบอกที่ใช้มีชื่อทางเทคนิคว่า Displacer ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าของเหลวในระบบ ในการใช้ตัว Displacer อาจถูกบรรจุอยู่ในท่อซึ่งสร้างขึ้นสำหรับใช้วัดระดับโดยเฉพาะ ผลที่ได้จากการที่ระดับเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในรูปของแรงมากกว่าการเคลื่อนตัวของ Displacer เหมือนกับลูกลอย ดังนั้นระยะการเคลื่อนที่ของ Displacer จะน้อยกว่าแบบลูกลอย และสามารถใช้วัดระดับได้ทั้งในภาชนะแบบเปิดและแบบปิด

หลักการของ Displacer จะต้องพิจารณาจากข้อมูลในเบื้องต้น คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่ต้องการวัดระดับ ความยาวของ Displacer ช่วงระดับสูงสุดที่ต้องการวัด (Span) ความดันและอุณหภูมิของของเหลวในระบบ

การวัดระดับด้วย Displacer อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เมื่อความหนาแน่นของของเหลวที่วัดระดับเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิของของเหลวเปลี่ยนไป เพราะจะทำให้แรงพยุงของๆเหลวที่กระทำต่อ Displacer เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นในการวัดระดับด้วยการใช้ Displacer ปกติจะบรรจุของเหลวชนิดเดียวกับของเหลวที่จะวัดไว้ในส่วนที่กลวงของ Displacer ด้วยและจะต้องไม่ระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการติดตั้งใช้งานควรระวังการแกว่งของเครื่องมือวัด Displacer อันเนื่องมาจากของเหลวที่ต้องการวัดเกิดการกระเพื่อม ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตเกิดการแกว่งได้ แต่ในปัจจุบันบางบริษัทได้นำเอา LVDT มาประยุกต์ใช้งานแทนระบบนิวแมติกเดิมๆ จึงทำให้ง่ายต่อการต่อการติดตั้งและทำเป็นสัญญาณแบบไฟฟ้าและดิจิตอลได้ง่ายมากขึ้น ซึ่งการทำงานก็จะต่อแกนของตัว Displacer เข้ากับแกน LVDT เลย คือ เมื่อแกนของ Displacer เคลื่อนตัวก็จะทำให้แกนของ LVDT เคลื่อนตัวตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจาก LVDT แปรผันตามระยะ (x) ของ Displacer นั่นเอง

ภาพที่ 2.18 เครื่องมือวัดระดับชนิด Displacer

2.5.2.2 หลักการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure)

การวัดระดับโดยวิธีวัดความดันแตกต่างเป็นวิธีที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม สามารถใช้กับของเหลวที่สกปรก มีความดันหรืออุณหภูมิสูงได้ดี โดยหลักการวัดระดับแบบนี้ใช้หลักการวัดความดันที่เกิดจากความสูงของระดับของของเหลวที่ต้องการวัดดังสมการ

$$P = h.SG_m \quad (2.5)$$

เมื่อ P คือ ค่าความดันมีหน่วยเป็น เมตรน้ำ (mH_2O)

H คือ ค่าความสูงของของเหลว มีหน่วยเป็น เมตร (m)

SG_m คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่ต้องการวัด (ไม่มีหน่วย)

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity: SG) ของสารเป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้น เช่น น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1 ปรอทมีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.6 เป็นต้น ดังนั้นความดันที่เกิดขึ้นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของของเหลวนั้น ทำให้สามารถหาความสูงของของเหลวได้จาก

$$h = \frac{P}{SG_m} \quad (2.6)$$

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันแตกต่างนี้เรียกว่า Differential Pressure Transmitter ซึ่งถ้าแบ่งชนิดเครื่องมือวัดนี้ตามโครงสร้างของผู้ผลิตที่ผลิตออกมาจำหน่ายจะสามารถแบ่งได้ 3 แบบด้วยกัน คือ Standard Type, Flange Mounting และ Remote Diaphragm ซึ่งแต่ละแบบจะมีส่วนของหลักการทำงานที่เหมือนกัน

2.5.2.3 การวัดค่าระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า

ถ้าใส่ขั้วตัวนำ (Electrode) ติดตั้งลงไปในแนวตั้งของภาชนะ เมื่อป้อนไฟฟ้าไปที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเกิดเป็นตัวประจุไฟฟ้า (Capacitor) โดยขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเป็นแผ่น Plate สองแผ่นที่มีตัวเก็บประจุคือสารที่ถูกบรรจุในภาชนะนั้นโดยเครื่องมือวัดค่าระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 2.19

ภาพที่ 2.19 อุปกรณ์วัดค่าระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า

สารทุกชนิดมีค่า Dielectric Constant ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของแต่ละสาร ซึ่งค่าประจุระหว่าง Plate ทั้งสองจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสมการ ดังนี้

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (2.7)$$

เมื่อ C คือ ค่าประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากของ Plate ทั้งสองกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้ามีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

d คือ ระยะห่างระหว่าง Plate ทั้งสอง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ε คือ ค่า Dielectric Constant ของตัวกลาง มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

ค่า ε ของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ก๊าซส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 1 น้ำบริสุทธิ์มีค่า 80 เนื่องจากค่า A และ d เป็นค่าคงที่ ดังนั้นค่าประจุจึงแปรเปลี่ยนไปตามระดับของสารตัวกลางที่เข้ามาแทนที่อากาศ เนื่องจาก ε มีค่าสูงกว่าอากาศ หลักการวัดระดับด้วยการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าจึงเหมาะสำหรับสารตัวกลางที่มีค่า ε สูงกว่า ε ของอากาศมากๆ

2.5.2.4 การวัดระดับโดยใช้คลื่นความถี่ที่เหนือเสียง (อัลตร้าโซนิก)

เครื่องมือวัดระดับแบบคลื่นความถี่ที่เหนือเสียงจะให้ความถูกต้องเหมือนกับแบบการใช้หลักการเรดาร์ (ต่างตรงที่ย่านความถี่เท่านั้นเรดาร์ความถี่ประมาณ 6GHz และ10GHz) โดยทั่วไปการวัดแบบคลื่นความถี่ที่เหนือเสียงจะใช้ Piezoelectric Crystal ที่ติดตั้งในตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งมีค่าความถี่ที่ประมาณ 70-200 kHz เท่านั้น โดยพลังงานที่ถูกส่งออกมาจะไปตกกระทบกับวัตถุที่ต้องการวัด ดังนั้นพลังงานบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ ซึ่งเวลาที่ส่งผ่านและรับสัญญาณสามารถนำมาหาระยะทางในตัวกลางหนึ่งได้ ซึ่งระยะทางในที่นี้ก็คือระดับนั่นเอง

เครื่องมือวัดแบบนี้ที่ผลิตออกจำหน่าย อาจแยกตัวส่งและตัวรับหรืออาจอยู่ในตัวเดียวกันโดยสามารถวัดได้ทั้งที่เป็นของเหลว ของแข็ง และที่เป็นผงก็ได้ อย่างไรก็ตามการติดตั้งต้องติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์ไว้ที่ๆ ถูกต้อง คือเหนือหรือใต้ผิวเพื่อให้แน่ใจได้ว่าการสะท้อนของคลื่นเสียงดีที่สุด แต่สำหรับการส่งคลื่นความถี่ที่ผ่านตัวกลางที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือความดันอันนี้อาจต้องการๆ ปรับเทียบที่จุดใช้งานจริง การเลือกอุปกรณ์ในการใช้งานแบบนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานในลักษณะที่หลากหลายจึงกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

2.5.2.5 การวัดระดับโดยวิธีการวัดการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพ

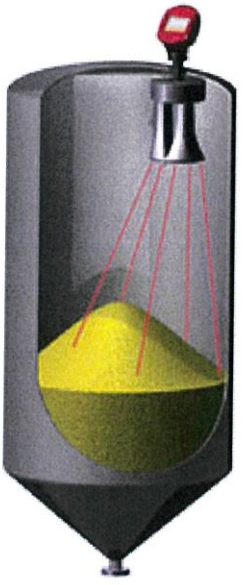
วิธีการวัดระดับโดยการวัดการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพเหมาะสำหรับใช้วัดระดับในงานที่มีปัญหา ซึ่งวิธีการวัดแบบมาตรฐานที่กล่าวมาแล้วไม่สามารถวัดได้ เช่น เครื่องมือวัดต้องสัมผัสสารที่เหนียว กัดกร่อน มีอุณหภูมิและความดันสูง มีไอกรด ความชื้นสูง อันจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องมือวัดหรือทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง

หลักการของเครื่องมือวัดระดับแบบวิธีการแผ่รังสี ใช้สารกัมมันภาพ เช่น เรเดียม ซีเซียม137 หรือ โคบอลต์ 60 ซึ่งโดยธรรมชาติจะแผ่รังสีหลายย่านความถี่ออกมาตลอดเวลา

เช่น แอลฟา เบต้า และแกมม่า รังสีที่ใช้ในงานวัดระดับ คือ แกมมา เพราะรังสีแอลฟา โดยธรรมชาติของมันจะไม่เจาะผ่าน (Non-penetrating) เข้าไปในเนื้อของสาร ดังนั้นรังสีแอลฟาจึงไม่พอที่ประยุกต์ใช้กับงานด้านเครื่องมือวัดในงานอุตสาหกรรม รังสีเบต้าสามารถเจาะผ่านเข้าไปในเนื้อสารต่างๆ ได้บ้าง ส่วนใหญ่จะพบใช้งานในการวัดวัสดุที่มีผิวงานไม่หนานัก รังสีแกมมาให้พลังงานในการแผ่รังสีสูงสามารถเจาะผ่านเข้าไปเนื้อสารได้ดี มีใช้งานในด้านเครื่องมือวัดหลายประเภท เช่น งานวัดความหนาแน่น วัดระดับ เป็นต้น โดยทั่วไปการวัดแบบนี้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาจะถูกติดตั้งไว้อีกข้างหนึ่งของผนังและจะติดตั้งชุดท่อ Geiger-Miller บนผนังตรงกันข้ามขณะที่รังสีแกมม่าผ่านตัวกลางความเข้มจะลดลง ซึ่งของแข็งหรือของเหลวจะทำให้ความเข้มข้นลดลงมากกว่าอากาศ ดังนั้นถ้าวัสดุในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้นสัญญาณการแผ่รังสีที่รับโดยท่อ Geiger-Miller จะค่อยๆ ลดลง (ส่วนเอาต์พุตเป็นอัตรากระแสที่เป็นพัลส์จะลดลงตาม) การวัดแบบนี้เหมาะสำหรับภาชนะถังปิดที่ภายในเต็มไปด้วยสารที่เป็นอันตรายซึ่งไม่สามารถรั่วไหลออกมาภายนอกได้

2.5.2.6 เครื่องมือวัดระดับแบบ Electromechanical Level Indicator

ลักษณะเครื่องมือวัดแบบนี้สามารถวัดได้ทั้งแบบวัดระดับของแข็ง และของเหลว ดังแสดงในภาพที่ 2.20 เพียงแค่เปลี่ยนรูปแบบของ Sensing Bobจะถูกดึงด้วยสายเคเบิล โดยที่สายเคเบิลถูกพันอยู่รอบ Drum และที่ปลายของสายเคเบิลจะถูกถ่วงให้เกิดความสมดุลด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก (Weight Balance) และมีไมโครสวิตซ์เป็นตัวที่จะเลือกการหมุนของมอเตอร์ โดยที่เริ่มแรกการทำงานเมื่อ Sensing Bob อยู่ห่างจากของเหลวหรือของแข็งที่ต้องการวัด จะทำให้สายเคเบิลตึง ซึ่งเช็คได้จาก Weight Balance ก็จะทำให้ Servo Motor คายสายเคเบิลลงมาจนกระทั่ง Sensing Bob สัมผัสของเหลว หรือของแข็งที่ต้องการวัด สายเคเบิลจะหย่อน ไมโครสวิตซ์จะทำงาน (โดยการเช็คของ Weight Balance) Servo Motor จะหมุนกลับอีกทางหนึ่งจนกระทั่ง Sensing Bob ตั้งตรงจึงหยุด และการที่เราจะรู้ตำแหน่งของระดับได้ก็อาศัยการนับพัลส์ของตัว Pulse Generator ที่ติดอยู่กับแกนเพลาของ Drum และ Servo Motor โดยการวัดเริ่มแรกจะอาศัยพัลส์ Start เริ่มต้นก่อนเพื่อที่จะไป Reset ตัวนับ (Counter) เพื่อเคลียร์ค่าที่วัดผ่านมา และขณะที่สายเคเบิลที่หย่อนตัว Sensing Bobลงมานั้นสัญญาณพัลส์จะถูกนับอยู่ตลอดเวลา เพื่อที่จะเช็คออกมาเป็นระดับของของเหลวหรือของแข็งที่ต้องการวัด เมื่อ Sensing Bobหยุด เราก็สามารถรู้ระยะที่สายเคเบิลหยุดนิ่งได้ แต่ต้องนำไปเปรียบเทียบค่ากับค่าอ้างอิงครั้งแรกตอนที่เริ่มต้นสอบเทียบค่าซึ่งถ้านำมาหักลบกันก็จะทราบค่าระดับที่แท้จริงได้



ภาพที่ 2.20 เครื่องมือวัดระดับแบบ Electromechanical Level Indicator

2.5.2.7 การวัดระดับโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้า

สวิตช์ระดับแบบง่ายๆ และเป็นที่นิยมกันมากแบบหนึ่ง คือแบบที่ใช้ความนำไฟฟ้าของเหลวที่ต้องการวัดระดับเป็นตัวทำให้ไฟฟ้าครบวงจร เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความนำไฟฟ้าสูง เช่น น้ำประปา น้ำที่มีส่วนผสมของกรด ด่าง เกลือ วิธีการวัดใช้แท่งตัวนำซึ่งหุ้มฉนวนไฟฟ้าที่จุดยึดเพื่อติดตั้งอยู่ด้านบนของภาชนะ วงจรไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบง่ายๆ คือ สายหนึ่งต่อไว้กับภาชนะที่เป็นโลหะทำให้กระแสจากเส้นนี้ ต่อผ่านเข้าไปถึงของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูง อีกสายหนึ่งต่อเข้ากับแท่งตัวนำที่มีระยะห่างจากด้านล่างของภาชนะเท่ากับระดับที่ต้องการให้สวิตช์ทำงานบอกระดับ เมื่อระดับของของเหลวสูงจนสัมผัสกับแท่งตัวนำจะทำให้ครบวงจร ไฟฟ้าจะไหลจากภาชนะผ่านของเหลวไปครบวงจรกับแท่งตัวนำ อาจนำไปจุดไส้หลอดหรือทำให้รีเลย์ทำงานเพื่อบอกระดับได้

2.6 วาล์วควบคุม

วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหยุดการไหลของของไหล (Fluid) และปรับอัตราการไหล ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า Final Element ซึ่งมีหลายชนิดให้เลือกใช้และมีชื่อเรียกต่างๆ มากมายตามชนิดของวาล์ว

2.6.1 ชนิดของวาล์วควบคุมจำแนกตามหน้าที่และการทำงาน สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.6.1.1 Hand Valves หรือ Manual Valves คือชนิดของวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวเอง ต้องอาศัยคนในการเปิด-ปิด หรือควบคุมอัตราการไหลเอง

โดยปกติ Manual Valve ถูกใช้ในหลายๆ แห่งเช่น ติดตั้งก่อนและหลัง Control Valve ติดตั้งสำหรับทำ Bypass Valves ซึ่งคุณสมบัติหลักของ Manual Valve คือความสามารถในการปิดของตัววาล์ว ซึ่งจะเกิดการรั่วไหลในขณะที่วาล์วปิดสุดน้อย

2.6.1.2 Automatic Valve คือวาล์วที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยสัญญาณและสื่อกลางต่างๆ เช่น ลม หรือไฟฟ้าโดยแบ่ง Automatic Valve เป็น 2 ประเภท คือ

1) Self-operated Regulating Valve เป็นวาล์วที่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวเองระดับหนึ่ง โดยการตั้งค่าที่ต้องการควบคุมให้กับตัววาล์ววาล์วชนิดนี้เหมาะกับกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่บ่อยมาก เช่น อัตราการไหลแรงดัน และอุณหภูมิ หรือกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก ซึ่งในกรณีที่มีความต้องการเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้ตั้งเอาไว้ ทางผู้ปฏิบัติงานต้องทำการเปลี่ยนค่าที่หน้างาน ซึ่งชนิดของวาล์วแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Globe Valve

2) Control Valve เป็นวาล์วที่ควบคุมด้วยคำสั่งจากภายนอกคือลมหรือไฟฟ้าและต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานให้กับตัววาล์วเพื่อที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ก้าน (Stem) วาล์ววาล์วควบคุมจะรับสัญญาณมาจากตัวควบคุม (Controller) เพื่อมาควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ตามค่าที่เราตั้งไว้ (Set Point) ซึ่งตัวควบคุมจะรับสัญญาณมาจากตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) โดยชนิดของเซนเซอร์หรือตัวส่งสัญญาณจะขึ้นอยู่กับชนิดของการวัด เช่นใช้ Pressure Transmitter เมื่อวัดแรงดันหรือใช้ Temperature Transmitter เมื่อวัดอุณหภูมิ

2.6.2 ส่วนประกอบของวาล์วควบคุม (Component of Control Valve) แบ่งเป็นส่วนประกอบหลักๆ อยู่สองส่วนคือ Actuator Part และ Body Part

2.6.2.1 Actuator Partสำหรับวาล์วควบคุมก็จะแบ่งได้เป็นทั้งแบบ Pneumatic, Motorized และ Hydraulics แต่ที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นแบบ Pneumatic Actuator หรือ Actuator ที่ควบคุมด้วยลม เพราะการบำรุงรักษาทำได้ง่าย โครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซึ่ง Actuator นั้นก็จะรวมไปถึงส่วนของ Yoke ส่วนประกอบต่างๆของหัว Actuator ดังนี้

- Rain Cap เอาไหว้สำหรับกันไม่ให้น้ำไหลเข้าหัว Actuator สำหรับกรณีที่ Action ของ Actuator เป็นแบบ Air to Open นั้น ลมจะเข้าจากทางด้านล่างของ Actuator ดังนั้น ข้างบนต้องมีการปิด เพื่อกันไม่ให้น้ำเข้าเวลาฝนตก และต้องสามารถนำลมออกได้เมื่อวาล์วกลับทิศทาง
- Eye Bolt ไว้ใช้สำหรับเกี่ยวกับตะขอ เวลาเคลื่อนย้ายวาล์ว
- Diaphragm เป็นส่วนที่มีความยืดหยุ่น เพื่อเปลี่ยนพลังงานลมที่รับเข้ามาและส่งต่อพลังงานไปสู่ Diaphragm Plateเพื่อทำให้ Actuator Stem เคลื่อนที่

- Spring จะอยู่ใน Actuator Case หรือ ใน Yoke ขึ้นอยู่กับการออกแบบของทางผู้ผลิต โดยจะทำหน้าที่เป็นแรงให้ Actuator Stem เคลื่อนที่และมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงลมที่มาจากแผ่น Diaphragm
- Actuator Stem เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่าง Actuator กับ Valve Stem
- Diaphragm Case เป็นส่วนที่ไว้ใช้สำหรับบรรจุแผ่น Diaphragm ไว้ ประกอบไปด้วยสองส่วนคือส่วนบนและส่วนล่าง
- Scale Plate ไว้ใช้สำหรับบอกตำแหน่งของวาล์ว ระหว่าง 0-100 %
- Stem Connector เป็นส่วนที่เอาไว้สำหรับเชื่อมติดกันระหว่าง Actuator Stem และ Plug Stem
- Yoke เป็นส่วนประกอบที่ไว้ใช้สำหรับเชื่อมติดใน่สวนของ Actuator และส่วนของ Valve Body

2.6.2.2 Body Part ส่วนของ Body Valve นั้นจะรวมไปถึงในส่วนของ Bonnet ของวาล์วด้วย ซึ่งส่วนนี้จะสัมผัสกับของไหล (Fluid) โดยตรง ดังนั้นการเลือกใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติวัสดุ (Material) ประเภทของไหลอุณหภูมิความดันและอื่นๆ

- Packing Flange เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงอัดจาก Stud Bolt เพื่อให้ทำให้ในส่วนของ Gland Packing แน่นตลอด และของไหลจะได้ไม่รั่วออกมาตามคอ Bonnet
- Packing Follower เป็นส่วนที่รับแรงมาจาก Packing Flange เพื่อขันอัด Gland Packingให้แน่นอยู่ตลอดเวลา
- Yoke Claim Nut
- Gland Packing เป็นส่วนสำคัญที่คอยป้องกันการรั่วไหลของของไหลขึ้นมาทางคอ Bonnet และเป็นส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับ Plug Stem ซึ่งการเลือกวัสดุและชนิดให้เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ส่วนใหญ่วัสดุที่นำมาใช้จะเป็น PTFE หรือไม่ก็ Graphite และในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งนั้น จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยน Gland Packing ทุกครั้ง
- Valve Stem (ก้านวาล์ว) เป็นส่วนที่รับแรงมาจาก Actuator และเชื่อมต่อกับ Plug
- Bonnet เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประคองตำแหน่งของ Plug เวลาเลื่อนขึ้นเลื่อนลงให้ตรง แต่บางผู้ผลิตอาจตัดส่วน Bonnet ออกเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตและจำหน่ายตัววาล์ว ทำให้การซ่อมบำรุงรักษาเป็นไปด้วยความยากลำบาก เพราะไม่มีส่วนที่จะมาประคองและบอกตำแหน่งของ Plug และ Seat ให้ตรงตลอดเวลาทำการ Lapping
- Stud Bolt and Nut
- Gasket เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกันการรั่วไหลระหว่างส่วนที่ประกอบที่เป็นเหล็กกับเหล็ก เช่น ระหว่าง Body กับ Bonnet

- Guide Ring เป็นส่วนที่อยู่ใน Bonnet เพื่อที่จะจัดตำแหน่ง Plug ให้ตรงอยู่เสมอ อีกสาเหตุหนึ่งที่ต้องมี Guide Ring อยู่ด้วยแทนที่จะทำเป็น Bonnet ทั้งหมด เหตุผลก็เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เนื่องจากตรงส่วนนี้ต้องสัมผัสกับ Stem Plug อยู่เสมอทำให้บางครั้งเกิดการสึกหรอ ถ้าไม่มี Guide Ring อาจจะต้องเป็น Bonnet ทั้งชุดแทนที่จะเปลี่ยนเฉพาะ Guide Ring
- Guide Bushing เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประคอง Guide Ring อีกที
- Valve Plug เป็นส่วนสำคัญที่ใช้บังคับการไหลของ ๆไหล และเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการไหลว่าเป็น Linear, Equal Percentage หรือ Quick Opening
- Seat Ring เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในส่วนของ Valve Body และเป็นส่วนที่กำหนดขนาดของค่า Rated Cv ของตัววาล์ว และรองรับ Plug ซึ่งระหว่าง Plug และ Seat Ring ต้องแนบสนิทกัน เพื่อให้สามารถทำตาม Class Leakage ได้ตามต้องการ
- Valve Body เป็นส่วนประกอบหลักที่รองรับและสัมผัสกับของไหลโดยตรง รวมถึงเชื่อม ต่อกับท่อ ดังนั้นการเลือกขนาดและวัสดุต้องเลือกให้เหมาะสม โดยโครงสร้างของ Valve Body ที่พบบ่อย ๆ คือ

    1. Single-Ported คือมี 1 Plug กับ 1 Seat
    2. Double-Ported คือมี 2 Plug กับ 2 Port
    3. Two-way valve คือ จะมีสองการเชื่อมต่อ (1 ขาเข้า และ 1 ขาออก)
    4. Three-way valve คือ จะมีสามการเชื่อมต่อ (1 ขาเข้า และ 2 ขาออก หรือ 2 ขาเข้า และ 1 ขาออก)

- Trim Set ของวาล์วควบคุม (Trim Control Valve) คือการรวมของ Plug, Stem, Seat และ Ring รวมกันเรียกว่าชุดทริม (Trim set)
- Positioner หรืออุปกรณ์บอกตำแหน่งจะเป็นหัวใจหลักในการควบคุมของวาล์วควบคุม โดยเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณมาตรฐาน (Signal Standard) เช่น 4-20 mA, 3-15 psi มาเป็นพลังงานลมที่จะไปขับเคลื่อนหัว Actuator ให้เคลื่อนที่

2.6.3 คุณสมบัติการไหลของวาล์วควบคุม

คุณสมบัติการไหล (Control Valve Flow Characteristics) ของวาล์วควบคุมนั้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นการเปิดของวาล์วกับค่าอัตราการไหล ซึ่งการเลือกวาล์วควบคุมให้ถูกกับคุณสมบัติการไหลนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญพอ ๆ กับการเลือกขนาดของวาล์วให้เหมาะสม สำหรับตัวอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่แบ่งคุณสมบัติการไหลในแต่ละแบบนั้น คือการออกแบบชุด Trim ของวาล์วควบคุม ซึ่งก็จะมีผลต่อคุณสมบัติการไหล (Flow Characteristics) และสำหรับในส่วนนี้จะพูดถึงคุณสมบัติการไหลหลัก ๆ 3 แบบ คือ

2.6.3.1 Linear Characteristics

นิยามของคำว่า Linear หรือเชิงเส้นคือ ค่าอัตราการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงตรงกับค่าเปอร์เซ็นการเปิดของวาล์วควบคุม เช่นวาล์วเปิด 10% จะทำให้อัตราการไหลเป็น 10% หรือเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นอีก 15% ก็จะทำให้ค่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 15% เช่นกัน ซึ่งลักษณะนี้ถูกเรียกว่า Linear Characteristics ซึ่งการเลือกใช้งานเหมาะกับเงื่อนไขต่อไปนี้

- เมื่อ Pressure Loss ส่วนใหญ่ของระบบตกอยู่ที่วาล์วควบคุม
- เมื่อค่าแรงดันตกคร่อมที่ตัววาล์วมีค่าคงที่ โดยไม่คำนึงถึงค่าอัตราการไหล
- ใช้ควบคุมระดับของเหลวในถังกักเก็บ

2.6.3.2 Equal Percentage Characteristics

ลักษณะของกราฟจะเหมือนกับกราฟ Exponential การเลือกใช้งานเหมาะกับเงื่อนไขต่อไปนี้

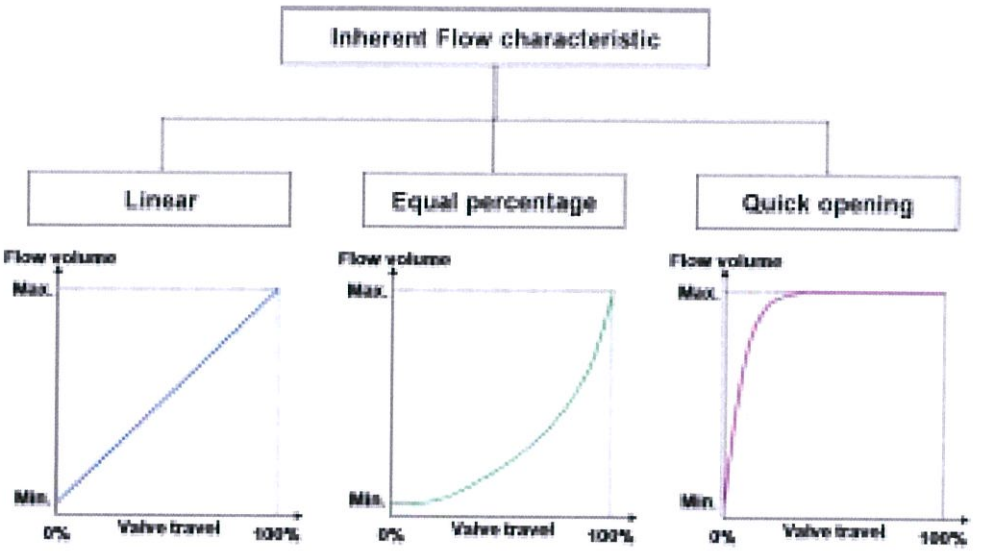
- เมื่อ Pressure Loss ส่วนใหญ่ของระบบไม่ได้อยู่ที่วาล์วควบคุม
- มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันตกคร่อมอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซนต์การเปิด
- เมื่อไม่แน่ใจว่าจะเลือกใช้ลักษณะไหน
- ควบคุมแรงดันของของเหลว

2.6.3.3 Quick Opening หรือ Fast Opening Characteristics

คุณลักษณะแบบนี้เหมาะกับวาล์วที่ไม่จำเป็นต้องการคุณลักษณะอะไรมาก แค่ต้องการให้เปิดและปิดให้เร็ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวาล์วประเภท On-Off Valve

ลักษณะกราฟของคุณลักษณะการไหลแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

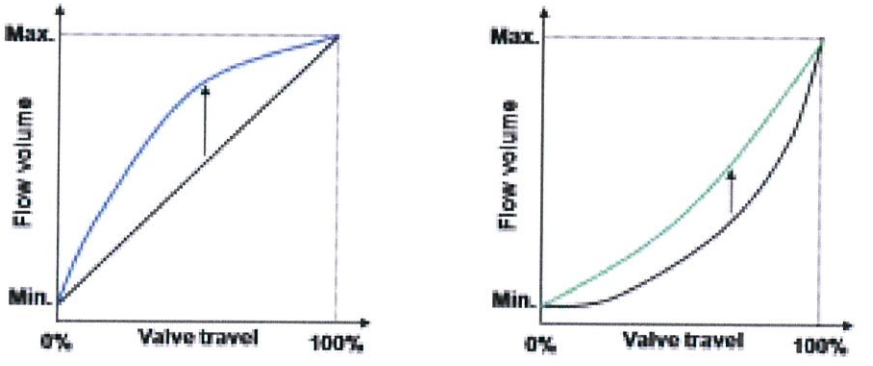
1) Inherent Control Valve Flow Characteristics ดังภาพที่ 2.21 เป็นคุณสมบัติการไหลที่นิยมใช้กันทั่วไป สำหรับการเลือกวาล์วของทางผู้ผลิต รูปแบบกราฟที่ได้เกิดจากเงื่อนไขที่กำหนดให้ค่าแรงดันตกคร่อมที่ตัววาล์วมีค่าคงที่ในทุกๆช่วงการเปิดของวาล์วและทุกๆ ค่าอัตราการไหล



ภาพที่ 2.21 ลักษณะกราฟแบบ Installed Control Valve Flow Characteristics

2) Installed Control Valve Flow Characteristics เป็นคุณสมบัติการไหลที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเรานำวาล์วไปติดตั้งที่ท่อหรือปั๊มต่างๆ ซึ่งลักษณะกราฟที่ได้จะไม่ตรงกับแบบ Inherent Flow Cha-racteristics โดยลักษณะกราฟแสดงดังภาพที่ 2.22 เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมตัววาล์วจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเสมอเมื่อก้าน Stem ของวาล์วขยับ ซึ่งเมื่อนำค่า Valve Stem Travel แต่ละตำแหน่งมาใส่ค่าลงไปในกราฟ จะได้ว่า

- ค่าที่เป็น Linear Inherent จะมีรูปร่างลักษณะคล้าย Quick Opening
- ค่าที่เป็น Equal Percentage Inherent จะมีรูปร่างลักษณะคล้าย Linear



ภาพที่ 2.22 ลักษณะกราฟแบบInstalled Control Valve Flow Characteristics

2.6.4 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์ว Valve Positioner

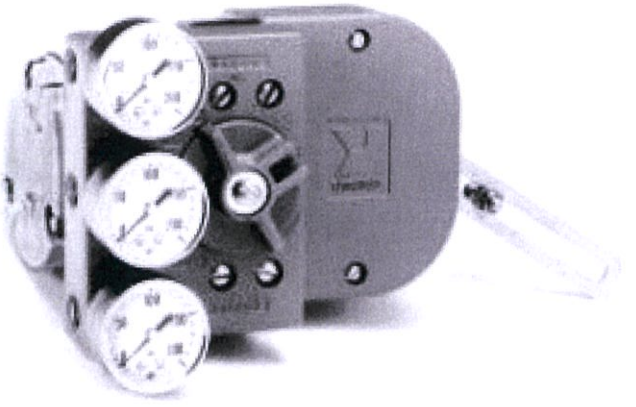
การที่จะให้วาล์วควบคุมปิด-เปิดได้ตามตำแหน่งที่ต้องการนั้นวาล์วควบคุมจะต้องมีอุปกรณ์ตัวอื่นมาช่วย เช่น Valve Positioner ในการควบคุมตำแหน่งร่วมกับวาล์วควบคุมอีกทีหนึ่งซึ่งในอดีตเรามีการใช้ตัวควบคุมที่เป็นระบบไฟฟ้า (สัญญาณอนาล็อก 4-20 mAdc) อยู่

(ในช่วงเริ่มใช้เป็นระบบไฟฟ้า) แต่วาล์วควบคุมเป็นระบบลม ดังนั้นช่วงแรก ๆ จะใช้ตัวแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกมาเป็นสัญญาณลมก่อนซึ่งเรียกว่า I-To-P Converter เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับวาล์วควบคุมซึ่งเป็นระบบ Open Loop Control ส่วนการทำงานนั้นจะไม่รู้ว่าวาล์วทำงานตามสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมหรือไม่ จึงได้พัฒนาให้วาล์วควบคุมในปัจจุบันเป็นแบบการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed Back Control) โดยมีการตรวจจับค่าของตำแหน่งของก้านวาล์วที่เคลื่อนตัวไปแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (ได้จากสัญญาณจากตัวควบคุม) ซึ่งเราเรียกว่า อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์ว (Valve Positioner) (ส่วนใหญ่ติดที่ด้านข้างของ Yoke หรือที่ด้านบนของ Actuator) โดยที่อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ทำให้วาล์วควบคุมทำงานตามค่าของสัญญาณควบคุมได้ถูกต้อง
2. ทำให้วาล์วควบคุมตอบสนองต่อสัญญาณได้รวดเร็วขึ้น
3. ทำให้วาล์วควบคุมรักษาเสถียรภาพของกระบวนการได้
4. ทำให้วาล์วควบคุมทำงานตามเงื่อนไขของระบบควบคุม

ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ประกอบที่ใช้เป็นส่วนมาก คือ Valve Positioner ซึ่งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตเช่น Pneumatic-to-Pneumatic Positioner (P/P Positioner) หรือ Electro-to-Pneumatic (E/P Positioner) หรือในปัจจุบันได้ใช้สัญญาณควบคุมเป็นระบบดิจิตอลแล้วตัวอย่างเช่น Foundation Fieldbus, HART โดยแบ่งอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งวาล์วได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.6.4.1 Pneumatic-to-Pneumatic Valve Positioner (P/P Positioner) หลังจากที่ Pneumatic Signal Standard (3-15 psi) ได้รับการยอมรับให้มีการใช้งานในระบบกระบวนการอัตโนมัติ Pneumatic Valve Positioner ก็ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เพราะมีเสถียรภาพที่สูงและการซ่อมบำรุงรักษาที่ง่าย โดย Pneumatic Valve Positioner จะรับสัญญาณโดยตรงมาจาก Pneumatic Controller หรือสัญญาณ 4-20 mA จาก DCS (Distributed Control System) และผ่านตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นลม Electric-Pneumatic Converter โดยภาพที่ 2.23 แสดงอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Pneumatic-to-Pneumatic



ภาพที่ 2.23 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Pneumatic

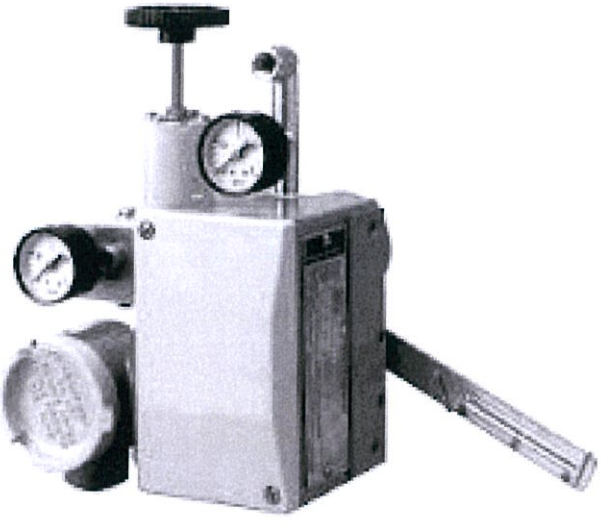
1) Pneumatic-to-Pneumatic Valve Positioner มีคุณสมบัติดังนี้

- มีโครงสร้างการทำงานที่ไม่ซับซ้อน
- มีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณและเสถียรภาพที่สูง สามารถทำงานได้แม้ว่าหน้างานจะมีการสั่นสะเทือน
- ง่ายต่อการซ่อมบำรุง เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน
- สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานระหว่าง Direct/Reverse Action ได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับActuator
- สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่อันตรายได้ เนื่องจากอุปกรณ์ทำจากวัสดุที่ทนการกัดกร่อน
- สามารถทำการปรับเปลี่ยน Characteristics ระหว่างสัญญาณ กับ Valve Travel ได้ง่าย โดยสามารถเปลี่ยนเป็น Linear, Equal Percentage หรือ Quick-Opening โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนที่วาล์วควบคุม

2) โครงสร้างและการทำงานพื้นฐาน

สัญญาณลมที่รับมาจากอุปกรณ์ควบคุม จะทำหน้าที่ผลักให้แผ่นไดอะแฟรมของ Pilot Valveเพื่อเป็นแรงขับเคลื่อน Pilot Stem

2.6.4.2 Electro-to-Pneumatic ValvePositioner (E/P Positioner) ในช่วงปี 1970 สัญญาณไฟฟ้าถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน โดยที่สัญญาณ 4-20 mA เป็นมาตรฐานสากลสำหรับสัญญาณไฟฟ้า ตัวควบคุม (Controller) ส่วนใหญ่ (รวมถึง DCS) จะส่งสัญญาณ 4-20 mA ไปที่วาล์วควบคุม โดยที่ตัว Valve Positioner จะรับสัญญาณมาและแปลงเป็นพลังงานลมที่จะไปขับเคลื่อนตัวหัว Actuator ต่อไปโดยภาพที่ 2.24 แสดงอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Electro-to-Pneumatic



ภาพที่ 2.24 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Electro-to-Pneumatic

2.6.4.3 Smart Valve Positionersในปี 1984 ตั้งแต่เริ่มมีการพัฒนาตัวอุปกรณ์ Transmitter ให้ควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์นั้น อุปกรณ์ที่อยู่ในระบบควบคุมก็เริ่มมีการใช้งานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ รวมถึงตัว Valve Positionerโดยหลักการทำงานจะอยู่ในระบบดิจิตอลซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานเป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นการปรับเทียบและสอบเทียบซึ่งจะประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เป็นทั้ง Hardware และ Software โดยโครงสร้างที่เป็นทางด้าน Software คือ SVP Function Block Diagram, GAP PID Control Algorithm, Auto Setupโครงสร้างที่เป็นทางด้าน Hardwareคือ Pneumatic Circuit EPM/Pilot Relay/Auto Manual Switch, VTD (Valve Travel Detector), Electronic Module, Reversing Relay โดยภาพที่ 2.25 แสดงอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Smart Valve Positioners

ภาพที่ 2.25 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วแบบ Smart Valve Positioners

2.6.5 การพิจารณาเลือกใช้วาล์วควบคุม

ในการเลือกใช้วาล์วควบคุมจะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้คือ

1) องค์ประกอบต่างๆเช่น คุณสมบัติของของไหล การผุกร่อนเป็นสนิม อุณหภูมิใช้งาน ความดัน เป็นต้น

2) คุณลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่วงปิด-เปิดของวาล์วกับการไหลของของไหลที่ผ่านวาล์วตลอดจนคุณลักษณะของกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้

3) เลือกคุณลักษณะของ Valve Plug

4) ขนาดของวาล์วที่เหมาะสมและวัสดุที่ใช้ทำวาล์วควบคุม

5) การเลือกอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์วควบคุม

6) การเลือก Actuator ให้มีขนาดที่เหมาะสม

7) ราคาวาล์วควบคุมที่เหมาะสมกับการลงทุน

การเลือกใช้วาล์วแบบและขนาดไม่ถูกต้องจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย โดยทั่วไปแล้วถ้าเลือกใช้วาล์วที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ยอมให้ค่าการไหลผ่านได้สูงสุด จะทำให้การควบคุมดีที่สุดและประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด แต่ถ้าเลือกแบบเผื่อไว้สำหรับการใช้งานของวาล์วควบคุมในอนาคต อาจเลือกใช้งานอยู่ในช่วงใช้งานที่ 40-60% หรือ 20-80%

สำหรับการเลือกใช้วาล์วควบคุมนั้น ส่วนใหญ่จะเลือกวาล์วที่มีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) กับการไหลและให้ค่าอัตราขยาย (Gain) ที่คงที่ ในระบบควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop) ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตตลอดทั้งลูปของการควบคุมเป็นเชิงเส้น และถ้าความดันตกคร่อมของวาล์วมีค่าคงที่แล้ว วาล์วควบคุมที่เป็นเชิงเส้นจะเป็นวาล์วที่เหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นจะเป็นไปไม่ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาจากสมการหาค่า Cv สำหรับของไหลที่เป็นของเหลว

$$C_v = 1.17V\frac{\sqrt{G}}{\sqrt{(P_1-P_2)}} \quad (2.8)$$

เมื่อ V คือ ปริมาณของการไหล (Flow rate) หน่วย m3/h

C_v คือ ค่าคงที่ของการไหล

G คือ ค่าถ่วงจำเพาะของของไหล (Specific gravity)

P_1 คือ แรงดันด้านหน้าของวาล์ว (Inlet pressure) หน่วย kgf/cm^2

P_2 คือ แรงดันด้านหลังของวาล์ว (Outlet pressure) หน่วย kgf/cm^2

ซึ่งเป็นสมการแสดงการไหลผ่านของวาล์วแล้ว จะเห็นว่าการไหลไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่วาล์วเปิดเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดันตกคร่อมด้วย และโดยทั่วไปแล้วความดันตกคร่อมจะมีค่าไม่คงที่ กล่าวคือ เมื่อวาล์วเปิดมากขึ้น ความดันตกคร่อมวาล์วก็จะมีค่าลดลง (ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างขนาดของวาล์วกับขนาดของท่อ) ดังนั้นการไหลจึงไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อเทียบกับตำแหน่งการเปิดของวาล์ว และเมื่อวาล์วเกือบจะปิดหมดนั้นก็ไม่ต้องการให้การไหลมีการเปลี่ยนแปลง

มากด้วย ทั้งนี้เพราะอาจจะทำให้วาล์วสึกหรอและเกิดปัญหาในการควบคุมขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงนิยมเลือกใช้วาล์วแบบ Equal-Percentage

คุณลักษณะของกระบวนการเป็นสิ่งที่แสดงถึงชนิดของการควบคุมที่ควรจะใช้ และชนิดของการควบคุมจะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของวาล์วที่ใช้ ว่าควรจะเป็นวาล์วแบบใด แต่สำหรับการควบคุมแบบ Proportional นั้นควรจะใช้แบบThrottling Valve

โดยทั่วไปจะพบว่าวาล์วควบคุมแบบ Equal Percentage (Exponential) เป็นวาล์วที่ประ-ยุกต์ใช้ได้กับสภาพการควบคุมต่างๆ ได้ดี แต่ในบางกรณีการใช้วาล์วควบคุมแบบอื่นๆ ก็สามารถจะทำให้ผลของการควบคุมดีได้ เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ในระบบบางตัวมีคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น กรณีเช่นนี้ถ้าใช้วาล์วที่มีคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยก็จะทำให้การควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม วาล์วแบบ Equal Percentage จะเป็นวาล์วที่เหมาะสมกับระบบควบคุมมากกว่าวาล์วแบบอื่นๆ

2.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในลูปควบคุม

2.7.1 การจำแนกอุปกรณ์ในลูปควบคุมตามการติดตั้งใช้งาน

เราสามารถแบ่งอุปกรณ์ในลูปควบคุมตามการติดตั้งใช้งานได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ Panel Instruments, Rack Instruments และ Field Instruments โดยแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1.1 Panel Instruments

เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับผู้ที่มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆ ซึ่งเรียกว่า Operator ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Panel Instruments ได้แก่ จอ DCS, ตัวควบคุม, Recorder, Indicator, อุปกรณ์เตือนภัยสำหรับผู้ควบคุม (Alarm Devices) เป็นต้น โดยลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ ส่วนใหญ่จะอยู่ภายในห้องควบคุมดังภาพที่ 2.26 แสดง Panel Instrument ภายในห้องควบคุม

ภาพที่ 2.26 Panel Instrument ภายในห้องควบคุม

2.7.1.2 Rack Instruments

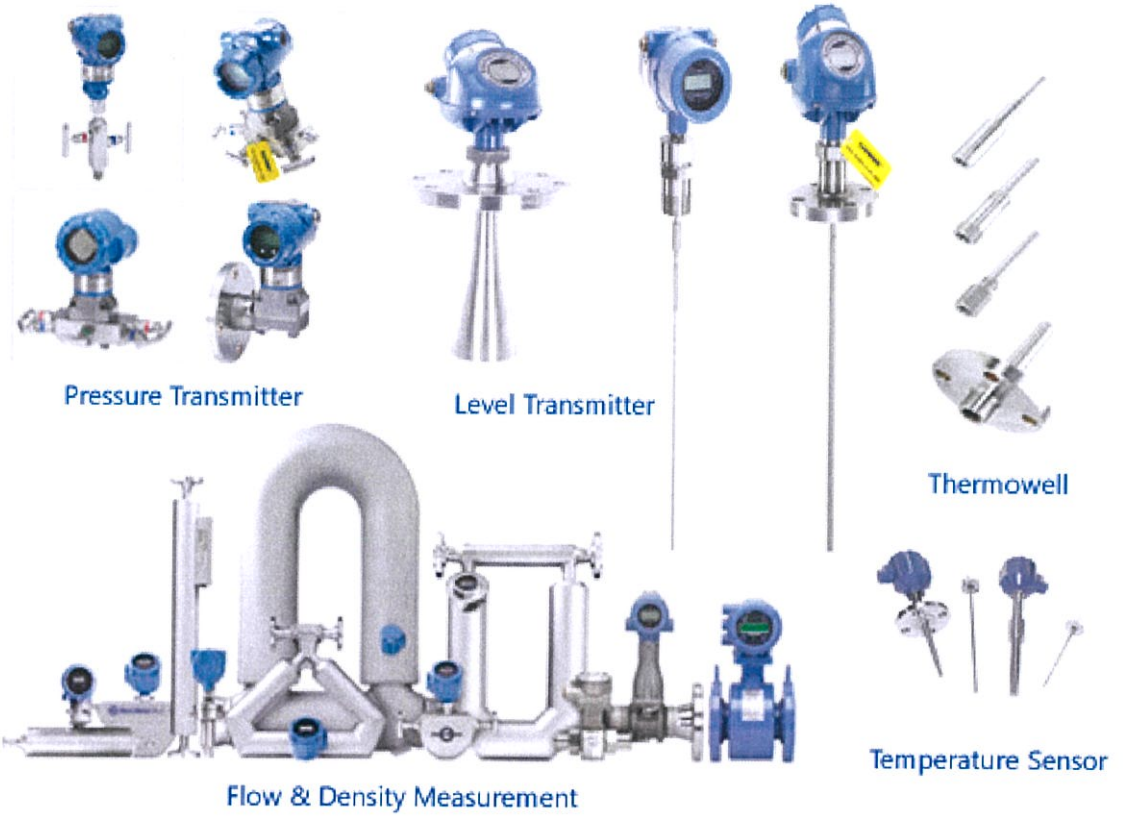
เป็นกลุ่มอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณจากเซนเซอร์ (Sensors) หรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน เช่น RTD-to-I Converter, I-to-P Converter, P-to-I Converter, mV-to-Voltage Converter และอื่นๆ

เหตุผลที่ไม่นำเอาตัวแปลงสัญญาณไปติดตั้งอยู่ใกล้ๆ ตัวเซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์มีสาเหตุอันเนื่องมาจากความร้อนในกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการซ่อมบำรุงรักษามาก ดังนั้นลักษณะการติดตั้งใช้งานของตัวอุปกรณ์เหล่านี้จึงอยู่ภายในตู้ควบคุมและตำแหน่งติดตั้งจะอยู่ด้านหลังตู้ควบคุม

2.7.1.3 Field Instruments

เป็นกลุ่มอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อนำไปใช้วัดหรือควบคุมตัวแปรกระบวนการในกระ-
บวนการผลิต เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดความดัน เครื่องมือวัด pH เครื่องมือวัดระดับ เครื่องมือวัดอัตราการไหล วาล์วควบคุม และอื่นๆดังเช่นในภาพที่ 2.27

ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับกระบวนการจะมีอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของระบบท่อ (Piping Connection) และอีกส่วนก็คือการนำสัญญาณไปใช้งาน (Transmission Signal) ในการติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานนั้น จำเป็นต้องมีการต่อของไหลในกระบวนการที่ต้องการวัดให้สัมผัสกับตัวเซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์ก่อน ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า "Impulse Piping Connection"ส่วนการติดตั้งสำหรับ Transmission Signal จะเป็นการติดตั้งในส่วนที่มีความต้องการนำเอาสัญญาณไปใช้งานอีกทีหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นการต่อสัญญาณจาก Field ไปยังห้องควบคุม (Control Room)



ภาพที่ 2.27 กลุ่มอุปกรณ์สำหรับวัดหรือควบคุมตัวแปรกระบวนการในกระบวนการผลิต

2.7.2 การเชื่อมโยงสัญญาณในลูปควบคุม

โดยทั่วไปการติดตั้งอุปกรณ์ Field Instruments จะติดตั้งอยู่ที่กระบวนการผลิต ส่วนอุปกรณ์ Panel Instruments และ Rack Instruments จะติดตั้งอยู่ในห้องควบคุมเป็นส่วนใหญ่ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงสัญญาณ (Transmission System) ให้ครบลูปการควบคุม เพื่อทำให้ระบบมีการทำงานที่สมบูรณ์แบบและมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมโยงสัญญาณที่ดีนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวน (Noise) ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Distortion) ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ และถ้าเป็นระบบลมก็ต้องไม่เกิดการรั่ว (Leak) และอื่นๆ ในการติดตั้งอุปกรณ์ Field Instruments จะต้องมีความแข็งแรงและมีพื้นที่มากพอที่จะอ่านค่า ตรวจเช็ค และทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ได้ง่ายและสะดวก รวมทั้งเป็นบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกด้วย ในส่วนการเชื่อมโยงสัญญาณนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การเชื่อมโยงสัญญาณแบบบบลม และการเชื่อมโยงสัญญาณแบบไฟฟ้า

2.7.2.1 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นแบบระบบลม

งานทางด้านระบบลมในปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมามีการใช้งานแพร่หลาย แต่พอมาประมาณหลังปลายปี ค.ศ. 1975 ระบบลมได้ถูกระบบไฟฟ้าเข้ามาใช้แทนที่ เนื่องจากการติดตั้งท่อลมมีความยุ่งยากเป็นอย่างมากในการเดินท่อลมไปในระยะไกลๆ ซึ่งในปัจจุบันที่มีการใช้งานกันอยู่ก็เห็นจะมีแต่วาล์วควบคุมเป็นส่วนใหญ่ และจะมีส่วนที่เป็นตัวช่วยระบายความร้อนของเครื่องมือวัดและเป็นระบบ Air Purge เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะออกแบบระบบลมที่จ่ายลมให้กับอุปกรณ์โดยเฉพาะวาล์วควบคุมนั้น ต้องเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของวาล์วควบคุมเสียก่อน โดยสามารถศึกษาได้จากคู่มือการแนะนำการใช้งานของอุปกรณ์ (Instruction Manual)

โดยทั่วไปแหล่งจ่ายลมจะติดตั้งท่อลมไปตามแนวกับท่อของกระบวนการผลิต (จะเป็นท่อลมขนาดใหญ่) ซึ่งการที่จะนำลมมาใช้นั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Air Header และต้องมีวาล์วปิด-เปิดลมอีกทีหนึ่ง เพื่อใช้ปิดลมสำหรับใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ ดังนั้นการติดตั้งท่อลมจาก Air Header ไปยังอุปกรณ์วัดหรือวาล์วควบคุมจำเป็นต้องวางแผน Layout ให้ดีเสียก่อน ก่อนที่จะเริ่มติดตั้งใช้งาน และการติดตั้งระบบลมให้กับอุปกรณ์วัดและวาล์วควบคุมนั้นจะต้องอาศัยท่อลมเป็นตัวเชื่อมสัญญาณ ซึ่งการใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm ส่วนท่อที่ใช้ต่อแหล่งจ่ายลม (Air Supply) เข้ากับวาล์วควบคุมอาจจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm หรือ 10 mm แต่ถ้าใช้กับวาล์วควบคุมขนาดใหญ่ ขนาดของท่อที่ใช้ต่อแหล่งจ่ายลมอาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง Air Consumption เป็นหลัก ในการติดตั้งใช้งานส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ท่อลมที่ทำมาจากทองแดง เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตท่อทองแดงมีการผลิตให้เลือกใช้ได้หลายแบบ หลายขนาด เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้ง Field Instruments ให้เหมาะสมตามพื้นที่ต่างๆ ที่ต้องการได้เช่น ท่อทองแดงที่เคลือบ Metallic หรือ Plastic เพื่อป้องกันการกัดกร่อนในการติดตั้งพื้นที่ที่มีบรรยากาศการกัดกร่อน แต่สำหรับงานที่ต้องติดตั้งท่อลมเป็นจำนวนมากๆ เพื่อเป็นการประหยัดแรงงานในการติดตั้ง จะนิยมใช้ท่อทองแดงแบบ Multiple Tube Bundles ซึ่งมีลักษณะเป็นการรวมท่อทองแดงหลายๆ เส้นให้รวมกันในเส้นเดียว ซึ่งอาจจะประกอบด้วย Single Tube จำนวน 4, 8, 12 ภายในเส้นเดียวกัน และถ้าต้องการติดตั้งในบรรยากาศที่มีกำมะถันก็อาจใช้ท่อชนิดอลูมิเนียมแทน หรือถ้าต้องการพิเศษขั้นไปอีกก็อาจใช้ท่อชนิดสแตนเลส ซึ่งก็หมายถึงราคาของท่อที่แพงขึ้นไปด้วย และในการติดตั้งจำเป็นต้องอาศัยข้อต่อ (Fitting) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างท่อทองแดง หรือระหว่างท่อสแตนเลสกับ Field Instruments หรือระหว่าง Field Instruments กับกล่องต่อสายสัญญาณ (Junction Box) และอื่นๆ

2.7.2.2 การวางแนวและการติดตั้งท่อ Air Supply และท่อนำสัญญาณ

1) ส่วนที่ติดตั้งระบบจ่ายลมให้กับ Field Instrument

การติดตั้งระบบท่อ Air supply ต้องติดตั้งท่อลมมาจาก Air tank ที่จะต่อมาที่ตัวปรับความดันอีกทีหนึ่งและจากตัวปรับความดันก็ต่อมาที่ Air Header และมาที่วาล์วปิด-เปิด ก่อนที่

จะต่อไปยังตัว Field Instruments โดยทั่วไปจะใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 mm ส่วนท่อ Main Air Supply มาที่ตัวปรับความดันและ Air Header จะใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 12 mm และ Air Header จะนิยมไว้ในกล่อง Junction Box เพื่อที่จะปกปิดในส่วนตัวปรับความดันวาล์วปิด-เปิดลม ส่วนการติดตั้งท่อลมจำเป็นจะต้องมีเทคนิคในการติดตั้งเพื่อความสะดวกในการตรวจเช็คประหยัดเวลาในการติดตั้ง ประหยัดอุปกรณ์จำพวก Tube และ Fitting รวมทั้งเกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อยอีกด้วย

2) การยึดแนววางท่อระหว่างห้องควบคุมไปที่ Field

การยึดแนววางท่อไปตามจุดต่างๆ (ระบบลม) ในกระบวนการควบคุมนั้นจำเป็นจะต้องมีส่วนที่ยึดแนวท่อที่จะให้ไปตามจุดต่างๆ โดยการยึดแนวท่อจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละจุดของการติดตั้ง เช่น บางจุดอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ Support ช่วยในการติดตั้ง หรือบางจุดอาจต้องใช้ถาดวางท่อ (Tray) และ Clamp ยึด ส่วนการวางแนวถาดวางท่อนั้นจะวางแนวไปตามจุดต่างๆ ในกระบวนการผลิต (Process Unit) จนมาถึงที่ห้องควบคุมส่วนกลาง โดยทั่วไปจะวางแนวถาดวางท่อไปตาม Pipe Line ของกระบวนการผลิต เพราะง่ายต่อการยึดและดูแล้วเป็นระเบียบ บางครั้งอาจจะต้องทำหลังคาบังถาดวางท่ออีกที ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่จะต้องวางแนว

ข้อควรคำนึงในการออกแบบถาดวางท่อนั้นคือ จำเป็นต้องทราบจำนวนท่อที่วางผ่านไปในแต่ละส่วนของถาดวางท่อเพื่อที่จะกำหนดขนาดของถาดวางท่อที่จะใช้ได้อย่างเหมาะสม และทำให้ทราบน้ำหนักในแต่ละส่วนด้วย เพื่อทำการออกแบบ Support ในการยึดถาดวางท่อให้แน่นหนา เพื่อไม่ให้เกิดการพังเสียหายขึ้นจากการวางท่อลงบนถาดวางท่อ และบริษัทผู้ผลิตจะมีการกำหนด Specification ของถาดวางท่อเพื่อให้ผู้ออกแบบได้เลือกใช้ตามความต้องการอย่างเหมาะสม

3) การต่อท่อ (Impulse Piping) กับเครื่องมือวัดและวาล์วควบคุม

การต่อท่อนำสัญญาณของท่อ Air Supply หรือท่อนำของไหลจากกระบวนการมาที่อุปกรณ์วัดหรือแหล่งจ่ายลมให้กับวาล์วควบคุมนั้นจำเป็นจะต้องใช้ข้อต่อ (Tube Fitting) เป็นตัวประกอบในการต่อท่อ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วขึ้น ดังนั้นขนาดของท่อที่ต่อจะต้องมีขนาดพอดีกับ Tube Fitting ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละแบบการใช้งาน

2.7.2.3 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้า

สำหรับวิศวกรผู้ที่จะทำการออกแบบ Loop & Wiring Diagram นั้นจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่องมือวัดของแต่ละตัวเสียก่อนเหมือนกับระบบลมเช่นเดียวกันโดยศึกษาได้จากคู่มือเครื่องก่อนที่จะทำการออกแบบ และ Wiring Diagram (ของวิศวกรที่ทำงานเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม) จะเป็นแบบที่แสดงรายละเอียดของการต่อสายไฟจาก Field Instruments จนมาถึงที่ Panel Instruments และจาก Panel Instruments กลับไปยัง Field Instruments อีกทีหนึ่ง ในการออกแบบนั้นจะคำนึงถึงการป้องกันไม่ให้เกิดการผิดพลาด

ของสัญญาณจริงและความถูกต้องของสัญญาณในลูปควบคุมอีกด้วย ส่วนการติดตั้งใช้งานจริงนั้น การวางแนวของสายเคเบิลก็จะคล้าย ๆ กับระบบลม (คือวางในแนวเดียวกับท่อของกระบวนการผลิตเช่นเดียวกัน) ฉะนั้นการเลือกสายไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการที่จะนำมาเลือกใช้กับงานให้ถูกต้องและเหมาะสม เนื่องจากสัญญาณจากตัวเซนเซอร์บางชนิดจะต่ำมาก เช่น Straln Gauge และ Thermocouple เป็นต้น ส่วนสายไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นแบบคู่บิดเกลียวคู่ (Twisted Pair Copper Wire) ที่มีสาย Shielded อยู่ด้วย ซึ่งเป็นแบบที่เหมาะกับงานที่ใช้ป้องกันการรบกวนของสัญญาณ ซึ่งโดยทั่วไปมักนิยมใช้สายแบบนี้กันในการต่อสัญญาณจากเครื่องมือวัดมาที่ห้องควบคุม หรือจากห้องควบคุมไปที่วาล์วควบคุม

สายไฟฟ้าหรือสายตัวนำที่ผลิตจากโรงงานนั้นอาจจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด หลายโครงสร้าง เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เช่น สายตัวนำที่ร้อยในท่อเพื่อฝังในพื้นถนน สายตัวนำที่ใช้ก็ต้องสามารถจุ่มน้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากในถนนอาจจะมีบางโอกาสที่น้ำจะท่วมถนนได้ หรือสายตัวนำที่ใช้กับเตาอบก็ต้องเป็นสายไฟฟ้าที่ทนต่อความร้อนได้ เป็นต้น ส่วนการพิจารณาสายไฟฟ้าควรคำนึงถึงขนาดของกระแสไฟฟ้า วัสดุที่นำมาใช้ผลิต ชนิดของฉนวน เงื่อนไขของการใช้งานมาตรฐานของการผลิต ดังนั้นขนาดของสายไฟฟ้าที่ใช้งานในเครื่องมือวัดและตัวควบคุมควรเป็นสายไฟฟ้าสำหรับงานนั้นโดยเฉพาะ ตัวอย่างไฟที่นิยมใช้ เช่น สายไฟฟ้าแบบ CCV-S ขนาด 0.8 ถึง 1.5 mm^2

โดยทั่วไปวิศวกรที่ทำงานเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติ จะออกแบบการใช้งานที่เกี่ยวกับงานประเภทสายไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ Field Instruments และ Panel Instruments ที่ห้องควบคุม ส่วนฉนวนของสายไฟฟ้านั้นก็ต้องพิจารณาจากสภาพแวดล้อมในการใช้งานหรือบริเวณพื้นที่ในการติดตั้ง Field Instruments เป็นหลัก โดยตรวจสอบรายละเอียดจาก Specification ให้ดีเสียก่อน ซึ่งในบางครั้งการใช้สายไฟฟ้าในการเชื่อมโยงมากๆ จุด ซึ่งถ้าใช้สายแบบคู่บิดเกลียวก็อาจจะใช้แรงงานคนในการติดตั้งมากและเสียเวลามากเกินไป ฉะนั้นในการติดตั้งใช้งานจริงจะมีการใช้สายไฟฟ้าที่เป็นแบบสาย Multi-core เพื่อใช้เชื่อมโยงระหว่างห้องควบคุม (โดยผ่านตู้พักสายไฟฟ้าก่อนที่จะแยกเข้าอุปกรณ์ Panel Instrument) ไปที่ Junction Box ที่ Field แล้วใช้สายไฟฟ้าแบบคู่บิดเกลียวในการเชื่อมโยงจาก Junction Box ไปยัง Field Instruments อีกทีหนึ่ง

2.7.3 การติดตั้ง Field Instrument ในกระบวนการ

2.7.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์

การติดตั้งอุปกรณ์ Field Instrument แต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอุปกรณ์เป็นหลัก เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดความดัน เครื่องมือวัดอัตราการไหล หรือ วาล์วควบคุม ก็จะมีการติดตั้งที่แตกต่างกัน ซึ่งการติดตั้งใช้งานของเครื่องมือวัดแบบต่างๆ นั้นจำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างของเครื่องมือวัดเสียก่อน ก่อนที่จะทำการออกแบบ Pressure & Piping Hook Up Drawing เสมอซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะแตกต่างกันไป

2.7.3.2 การวางแนวและการติดตั้งระบบทางเดินสายไฟฟ้า

1) รายละเอียดของช่องทางเดินสายไฟต่างๆ

การเชื่อมโยงของสายไฟฟ้าด้วย 4-20 mAdc, 24 Vdc, 1-5 Vdc หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า 110, 220 Vac นั้น การติดตั้งก็จะแตกต่างกันออกไปบ้าง เนื่องจากอุปกรณ์ต่อร่วมบางอย่างจะใช้สัญญาณที่ไม่เหมือนกัน จึงจำเป็นต้องมีเทคนิคในการติดตั้งเพื่อความสะดวกในการติดตั้งเพื่อความสะดวกในการตรวจเช็ค ลดสัญญาณรบกวน ประหยัดเวลา ความเป็นระเบียบ และอื่นๆ ในการวางแนวและการติดตั้งระบบทางเดินสายไฟจำเป็นต้องทราบรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนที่ทำการออกแบบติดตั้ง เช่น

- ท่อร้อยสายไฟโลหะแบบหนา (Rigid Metal Conduit)
- ท่อร้อยสายไฟอโลหะแบบหนา (Rigid Nonmetal Conduit)
- ท่อร้อยสายไฟโลหะแบบบาง (Electrical Metallic Tubing: EMT)
- ท่อร้อยสายไฟแบบอ่อน (Flexible Nonmetallic Conduit)
- ถาดวางสายเคเบิล (Cable Tray)
- ทางเดินสายไฟใต้พื้นดิน (Under Floor Raceway)
- ทางเดินสายไฟ (Wire Way) และอื่นๆ

2) การต่อสาย (Wiring) กับเครื่องมือวัด

การต่อสายไฟนั้นอาจต้องใช้ Conductor End Sleeves, Crimp Terminal, Cable Lug เพื่อใช้หนีบปลายสายเมื่อเวลาต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้ว Terminal

3) การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่าง Field Instruments กับ Junction Box

การวางสายไฟไปตามจุดต่างๆ ในการติดตั้งระบบสายไฟฟ้าจะประหยัดเวลามาก โดยด้านหนึ่งจะเป็นสาย Multi-core (สายไฟมากเส้นอยู่ในปลอกหุ้มสายเดียวกัน) ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากห้องควบคุมและอีกด้านหนึ่งของกล่องต่อสายจะแยกสายไฟย่อยไปตามเครื่องมือวัดและวาล์วควบคุมต่างๆ ในแต่ละจุดที่ออกแบบไว้ โดยส่วนรายละเอียดของสายไฟฟ้า จำเป็นต้องติดป้ายและเลขหมายเพื่อความสะดวกในการตรวจเช็คสัญญาณ โดยที่จุดต่อแต่ละเส้นที่ต่อเข้ากับกล่องต่อสายจะมีป้ายบอกชื่อลูปควบคุม เช่น TAG No.: FT-101 และที่สาย Multi-core ก็จะมีป้ายบอกชื่อด้วยเช่นกันดังเช่น Cable No.: 6-2-1 เป็นต้น

4) การยึดแนววางท่อไปตามจุดต่างๆ

การยึดแนววางท่อในช่วงระหว่างเครื่องมือวัดกับสายไฟที่มาจาก Cable Tray ซึ่งในการวางท่อร้อยสายไปตามจุดต่างๆ ในกระบวนการควบคุมนั้น จำเป็นต้องมีส่วนยึดแนวท่อที่บังคับให้ไปตามจุดต่างๆ โดยการนำสายไฟร้อยในท่อ และทำการยึดท่อไว้ใกล้ๆ กับจุดต่อของอุปกรณ์วัด ถ้าไม่อยู่ในเขตพื้นที่อันตรายอาจใช้แค่ Sleeves ก็พอ และในส่วนของอุปกรณ์วัดจะต้องใส่ Cable Gland ที่ทางเข้าของสายไฟเท่านั้น แต่ถ้าต้องงการป้องกันสภาพแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสายไฟฟ้าก็จะใช้ Flexible Conduit ช่วย

5) การวางแนวท่อด้วยถาดวางสายเคเบิลจาก Field ไปห้องควบคุม

การวางแนว Cable Tray ก็จะคล้าย ๆกับระบบลม โดยจะเห็นได้ว่าการเชื่อมโยงสัญญาณของระบบลมจะคล้าย ๆ กับระบบไฟฟ้า จะแตกต่างกันที่อุปกรณ์ต่อร่วม (Accessories) ของระบบลมกับระบบไฟฟ้าเท่านั้น

6) การต่อสายไฟฟ้าในห้องควบคุม

การเชื่อมโยงสัญญาณจากอุปกรณ์แต่ละตัวที่ติดตั้งอยู่ใน Field ให้มารวมกันอยู่ที่ห้องควบคุมโดยใช้สายไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่แล้วสายไฟจากอุปกรณ์ใน Field จะมาเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ Rack Instrument ก่อนที่จะผ่านสัญญาณไปที่ Panel Instruments ในห้องควบคุม ส่วนการต่อสายต่าง ๆ ก็จะคล้ายกับการต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ใน Field ในกรณีที่มีอุปกรณ์ Rack Instruments หรือ Panel Instrument เป็นจำนวนมาก จะต้องมีการเพิ่มจำนวนตู้ต่อสายมากขึ้นเพื่อที่จะต่อเข้าสายไฟได้ง่ายและเพื่อให้สะดวกในการตรวจเช็ค

ในส่วนของทางเข้าสายไฟฟ้าอาจให้ผ่านเข้ามาทางด้านบนตู้ควบคุมหรือจากใต้พื้นของห้องควบคุมก็ได้แต่ส่วนใหญ่นิยมผ่านจากใต้พื้นห้องควบคุมซึ่งมีพื้นสำเร็จรูปผลิตจำหน่าย เนื่องจากเพื่อให้มีความเป็นระเบียบจะใช้ Wire Way ช่วยในการจัดสายไฟฟ้า เพื่อให้สวยงามและเกิดความสะดวกในการตรวจเช็คและตรวจซ่อมบำรุงในภายหลัง ฉะนั้นในการออกแบบการวางสายใต้พื้นห้องควบคุมจะใช้วัสดุที่มีขายทั่วไป หรือจะออกแบบเองก็ได้เช่นกัน แต่โดยทั่วไปนิยมใช้พื้นสำเร็จรูปมาใช้งาน เพราะให้ความสะดวกในการใช้งานมากกว่าและการวางระยะของตู้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ง่ายกว่า

บทที่ 3
การปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมจากระดับน้ำมันในหอกลั่น

3.1 บทนำ

การปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมสำหรับการวัดระดับน้ำมันในหอกลั่น ประกอบด้วยการดำเนินการ 5 ส่วนหลักๆ คือ การสำรวจพื้นที่หน้างานและรวบรวมข้อมูลของโครงงานการประเมินความเสี่ยงการเลือกใช้อุปกรณ์ในโครงงานการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้า และการปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผล

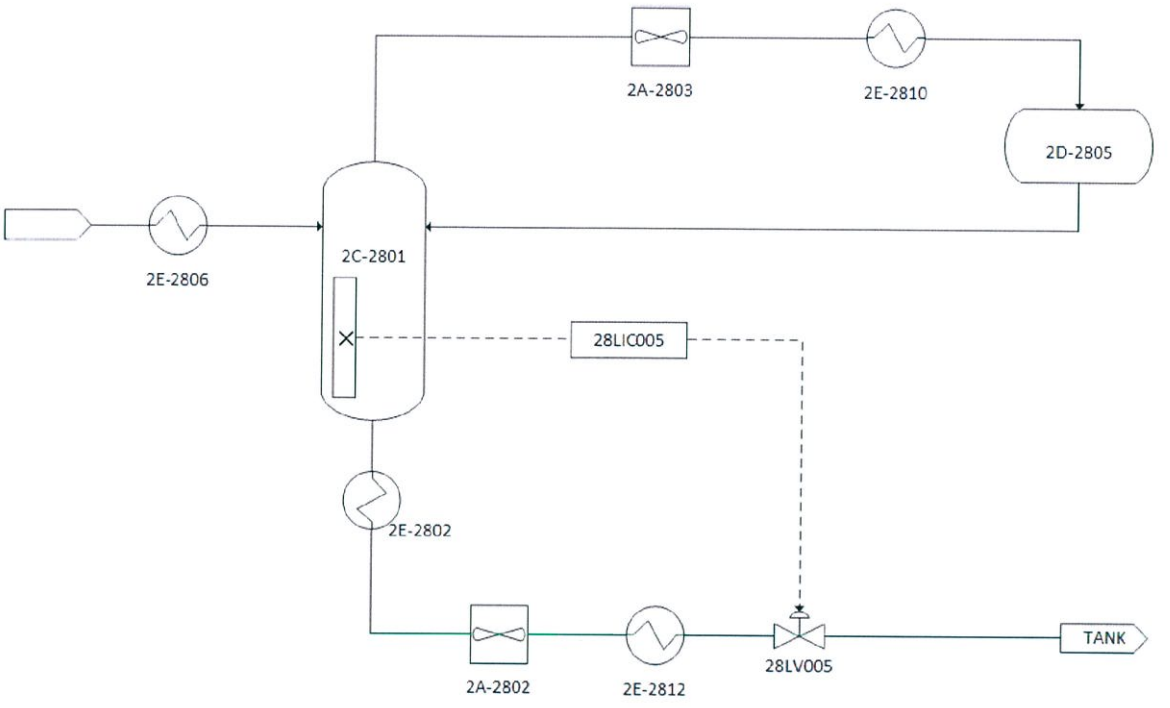
3.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของโครงการ

3.2.1 ศึกษากระบวนการของหน่วย 2800 (Isomerization Unit)

หน่วยไอโซเมอร์ไรเซชั่น (Light Naphtha Isomerization Unit) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันแนฟทาเบาให้เป็นโครงสร้างที่มีค่าออกเทนสูงขึ้น ซึ่งเรียกว่า "น้ำมันไอโซเมอร์เรท" (Isomerate) โดยใช้ไฮโดรเจนภายใต้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวช่วย น้ำมันแนฟทาเบาจาก Naphtha Pretreating Unit จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลแบบที่เป็นเส้นตรง (Normal Form) ให้เป็นโมเลกุลแบบที่เป็นกิ่ง (Iso Form) โดยเรียกกระบวนการแบบนี้ว่า "ไอโซเมอไรเซชั่น" (Isomerization Reaction) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าออกเทนสูงขึ้น น้ำมันไอโซเมอร์เรทที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ถังเก็บเพื่อรอการผสมเป็นน้ำมันเบนซินชนิดต่างๆ ต่อไป

3.2.2 ศึกษาข้อมูลจาก P&ID (Process and Instrument Diagram)

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจาก P&ID ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพอย่างง่ายดังภาพที่ 3.1 โดยแสดงข้อมูลในส่วนของหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังเก็บน้ำมัน T-991 ได้ข้อมูลกระบวนการดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพอย่างง่ายจากหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังเก็บน้ำมัน T-991

3.2.3 ศึกษาข้อมูลจาก P&ID (Process and Instrument Diagram)

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจาก P&ID ได้ข้อมูลกระบวนการดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษาจาก P&ID

อุณหภูมิใช้งาน		38	องศาเซลเซียส
ความดันใช้งาน	ความดันต้นทาง	9.68	บาร์
	ความดันปลายทาง	4.46	บาร์
อุณหภูมิที่ออกแบบ		146	องศาเซลเซียส
ความดันที่ออกแบบ		14.3	บาร์

3.2.4 ศึกษาข้อมูลจาก Pipe Class ได้ข้อมูลดังนี้

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจาก Pipe Class ที่กำหนดอยู่ใน P&ID ได้ว่า 4"-P-28-124-A1A1-1"P สามารถสรุปความหมายซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานดังตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษาPipe Class

Line Number			
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ของไหลภายในท่อ	Class	เลขที่(ท่อ)
4"	P	A1A1	124

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานจากการศึกษาPipe Class

Pipe Class	A1A1
ของไหลภายในท่อ	General Process
วัสดุและ Rating	เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) Class 150RF
ช่วงอุณหภูมิ	-29 องศาเซลเซียสถึง 371 องศาเซลเซียส
ช่วงความดัน	ตามมาตรฐาน ANSI B16.5 สำหรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 24"

3.2.5 สำรวจพื้นที่หน้างาน

ทำการสำรวจพื้นที่หน้างาน ดังภาพที่ 3.2, 3.3 และ 3.4

ภาพที่ 3.2 หอกลั่น 2C-2801 Stabilizer

ภาพที่ 3.3 ถังเก็บน้ำมันผลิตภัณฑ์ T-991 และพื้นที่บริเวณรอบ ๆ ถัง (Dike)

ภาพที่ 3.4 ท่อจากหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังบรรจุน้ำมัน T-991

3.3 การประเมินความเสี่ยง

3.3.1 รูปแบบการประเมินความเสี่ยงของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ทำการประเมินความเสี่ยงและพิจารณาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นถ้าหากไม่มีการติดตั้งฟังก์ชัน SIF โดยใช้ Risk Assessment Matrix (RAM) ซึ่งจะทำการประเมินตัวแปรใน 2 ส่วน คือ

1. Likelihood: ประเมินจากความถี่ของเหตุการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนครั้งต่อปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถหาได้จากบันทึกข้อมูลของ Plant, ประสบการณ์ หรือข้อมูลจากสถาบันที่เชื่อถือได้

2. ผลกระทบ (Consequence): พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น 3 ด้าน ดังนี้

ความเสียหายต่อทรัพย์สิน (Economic Consequence)

ความเสียหายต่อชีวิตคน (Health and Safety Consequence)

ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Consequence)

โดยการประเมินจะใช้ Risk Assessment Matrix ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงตารางประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)

	Term	Demand Rate (DR)	Criticality Class					
Likelihood	High	0 – 10 y			SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
	Medium	10 - 100 y			SIL 1	SIL 1	SIL 2	SIL 3
	Low	100 – 1000 y				SIL 1	SIL 1	SIL 2
	Negligible	1000 – 10000 y					SIL 1	SIL 1
	-	1000 – 0 y						SIL 1
Consequence	Economic		No Damage = 1k	Slight 1 – 10k	Minor 10 – 100k	Local 100 – 1000k	Major 1 – 10M	Extensive > 10 M
	Health & Safety		No Injury or Health Effect	Slight Injury / 1st Aid	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
	Environment		No Effect	Slight Effect	Minor Effect	Localized Effect	Major Effect	Massive Effect
	Class		-	N (Negligible)	L (Low)	M (Medium)	H (High)	E (Extreme)

จากผลการประเมินจะได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ หรือ Safety Integrity Level (SIL) โดยค่าระดับ SIL แบ่งได้ 4 ระดับดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การแบ่งค่าระดับ SIL

SIL	Average Probability of Failure on Demand (PFD_{avg})	Risk Reduction Factor ($1/PFD_{avg}$)	Typical Implementation
-	No Requirement		DCS Alarm Only
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	>10 to ≤ 100	Trip Separate from DCS
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	>100 to ≤ 1000	Trip Separate from DCS
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	>1000 to ≤ 10000	Redundant Trip Separate from DCS
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	>10000 to ≤ 100000	Dual Redundant Trip Separate from DCS

3.3.2 การพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อทรัพย์สิน (Economic Consequence)

เมื่อทำการสอบถามจากวิศวกรกระบวนการกลั่นแล้วได้รับข้อมูลว่าเหตุการณ์นี้ทำให้เกิดน้ำมันล้นถังประมาณ 3,000 ลิตรคิดเป็นเงินประมาณ 2,000 ดอลลาร์สหรัฐอเมริกา (105.86 ดอลลาร์สหรัฐอเมริกา/บาร์เรล) ทำให้ผลกระทบทางด้านทรัพย์สินอยู่ในระดับ Slight (มูลค่าความเสียหาย 1,000 – 10,000 ดอลลาร์สหรัฐอเมริกา) และความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็น 1 ครั้งต่อ

ระยะเวลา 10 ปี หรือ Likelihood อยู่ในระดับ High ดังนั้นแสดงผลการพิจารณาผลกระทบด้านความ

เสียหายต่อทรัพย์สิน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อทรัพย์สิน

	Term	Demand Rate (DR)	Criticality Class					
Likelihood	Hight	0 – 10 y			SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
	Medium	10 - 100 y			SIL 1	SIL 1	SIL 2	SIL 3
	Low	100 – 1000 y				SIL 1	SIL 1	SIL 2
	Negligible	1000 – 10000 y					SIL 1	SIL 1
	-	1000 – 0 y						SIL 1
Consequence	Economic		No Damage = 1k	Slight 1 – 10k	Minor 10 – 100k	Local 100 – 1000k	Major 1 – 10M	Extensive > 10 M
	Health & Safety		No Injury or Health Effect	Slight Injury / 1st Aid	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
	Environment		No Effect	Slight Effect	Minor Effect	Localized Effect	Major Effect	Massive Effect
	Class		-	N (Negligible)	L (Low)	M (Medium)	H (High)	E (Extreme)

เมื่อทำการพิจารณาจาก Risk Assessment Matrix แล้วทางด้านความเสียหายต่อทรัพย์สิน จะได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ เป็นระดับที่ไม่จำเป็นต้องมี SIL (Not Require)

3.3.3 การพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อชีวิตคน (Health and Safety Consequence)

เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อชีวิตคนโดยปรึกษาจากผู้มีประสบการณ์การทำงานในโรงกลั่นแล้วได้ข้อสรุปว่า เนื่องจากถังที่บรรจุน้ำมันไอโซเมอร์เรท T-991 เป็นถังเก็บของเหลวแบบหลังคาเคลื่อนที่ (Floating Roof Tank) ที่มีการติดตั้ง Pressure Vent Valve ทำให้ไม่มีโอกาสทำให้ถังระเบิดได้ อีกทั้งในบริเวณนั้นไม่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา และน้ำมันที่ล้นออกมามีปริมาณที่น้อยจึงไม่ส่งผลกระทบด้านความเสียหายต่อชีวิตคนและความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็น1ครั้งต่อระยะเวลา 10 ปี หรือ Likelihood อยู่ในระดับ High ดังนั้นแสดงผลการพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อชีวิตคน ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อชีวิตคน

	Term	Demand Rate (DR)	Criticality Class					
Likelihood	Hight	0 – 10 y			SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
	Medium	10 - 100 y			SIL 1	SIL 1	SIL 2	SIL 3
	Low	100 – 1000 y				SIL 1	SIL 1	SIL 2
	Negligible	1000 – 10000 y					SIL 1	SIL 1
	-	1000 – 0 y						SIL 1
Consequence	Economic		No Damage = 1k	Slight 1 – 10k	Minor 10 – 100k	Local 100 – 1000k	Major 1 – 10M	Extensive > 10 M
	Health & Safety		No Injury or Health Effect	Slight Injury / 1st Aid	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
	Environment		No Effect	Slight Effect	Minor Effect	Localized Effect	Major Effect	Massive Effect
	Class		-	N (Negligible)	L (Low)	M (Medium)	H (High)	E (Extreme)

เมื่อทำการพิจารณาจาก Risk Assessment Matrix แล้วทางด้านความเสียหายต่อชีวิตคน จะได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ เป็นระดับที่ไม่จำเป็นต้องมี SIL (Not Require)

3.3.4 การพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Conse-quence)

เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมโดยปรึกษาจากผู้มีประสบการณ์การทำงานในโรงกลั่นแล้วได้ข้อสรุปว่าเหตุการณ์นี้ทำให้มีน้ำมันไอโซเมอร์เรท ล้นออกมาบริเวณรอบๆ ถัง (Dike) และน้ำมันเป็นสารระเหยซึ่งสามารถส่งกลิ่นได้ ทำให้ประเมินผลกระทบด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับ Slight Effect และความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็น1ครั้งต่อระยะเวลา 10ปี หรือ Likelihood อยู่ในระดับ High ดังนั้นแสดงผลการพิจารณาผลกระทบด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงการประเมินความเสี่ยงด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

	Term	Demand Rate (DR)	Criticality Class					
Likelihood	Hight	0 – 10 y			SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
	Medium	10 - 100 y			SIL 1	SIL 1	SIL 2	SIL 3
	Low	100 – 1000 y				SIL 1	SIL 1	SIL 2
	Negligible	1000 – 10000 y					SIL 1	SIL 1
	-	10000 – 0 y						SIL 1
Consequence	Economic		No Damage = 1k	Slight 1 – 10k	Minor 10 – 100k	Local 100 – 1000k	Major 1 – 10M	Extensive > 10 M
	Health & Safety		No Injury or Health Effect	Slight Injury / 1st Aid	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
	Environment		No Effect	Slight Effect	Minor Effect	Localized Effect	Major Effect	Massive Effect
	Class		-	N (Negligible)	L (Low)	M (Medium)	H (High)	E (Extreme)

เมื่อทำการพิจารณาจาก Risk Assessment Matrix แล้วทางด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมจะได้ค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ เป็นระดับที่ไม่จำเป็นต้องมี SIL (Not Require)

3.3.5 สรุปผลการประเมิน

จากการประเมินความเสี่ยงและพิจารณาผลกระทบ สามารถสรุปค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ หรือ Safety Integrity Level (SIL) ได้ดังนี้

ด้านความเสียหายต่อทรัพย์สิน (Economic Consequence) No SIL Required

ด้านความเสียหายต่อชีวิตคน (Health and Safety Consequence) No SIL Required

ด้านความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Consequence) No SIL Required

ผลลัพธ์การประเมิน สามารถกำหนดค่าระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์เป็น No SIL Required แต่เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้อีกทางทีมจึงมีความคิดเห็นว่าจะดำเนินการติดตั้งลูปนี้บนระบบ Emergency Shutdown (ESD) ที่ระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ SIL1

3.4 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดและควบคุมให้เหมาะสมกับโครงการ

3.4.1 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับ

สำหรับหอกลั่น จะต้องมีการควบคุมค่าระดับของเหลวในหอกลั่นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ เครื่องมือวัดที่จะนำไปใช้วัดระดับของเหลวชนิดต่างๆมีอยู่หลายชนิด ดังนั้นการเลือกใช้งานประเภทใดนั้นจึงต้องมีการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของการควบคุมและลักษณะของเหลวที่นำไปใช้งาน โดยอุปกรณ์วัดระดับที่จะพิจารณามีทั้งหมด3 ชนิดตามความนิยมใช้ในปัจจุบัน คือ

1. อุปกรณ์วัดระดับโดยวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)
2. อุปกรณ์วัดระดับชนิด Displacer
3. อุปกรณ์วัดระดับโดยใช้คลื่นความถี่ (Guided Wave Radar Level Transmitter)

โดยในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับจะพิจารณาจากข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการและสถานที่ติดตั้ง ดังนี้

3.4.1.1 สิ่งที่ต้องการวัด โดยกำหนดรายละเอียดถึงสถานะ ชนิดของสารที่ต้องการวัด ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความหนืด

เมื่อศึกษาข้อมูลจากข้อมูลกระบวนการที่มีอยู่พบว่า สิ่งที่ต้องการนำไปวัดระดับเป็นน้ำมันไอโซเมอร์เรท ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)0.635 และมีค่าความหนืด (Viscosity) 0.25 เซ็นติพอยส์ (cP)

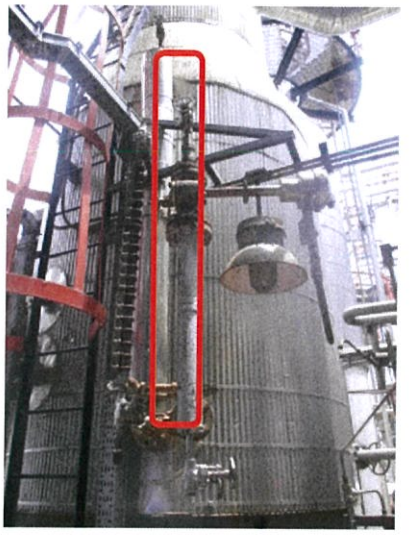
3.4.1.2 ค่าความดันและอุณหภูมิของสิ่งที่ต้องการวัด

เมื่อศึกษาข้อมูลกระบวนการพบว่า ค่าของอุณหภูมิถูกออกแบบไว้ที่146 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้งาน 38 องศาเซลเซียส ค่าของความดันที่ออกแบบ 14.3 บาร์ ความดันที่ใช้งานด้านต้นทาง 9.68 บาร์ และความดันที่ใช้งานด้านปลายทาง 4.46 บาร์

3.4.1.3 สถานที่ที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับ

เนื่องจากหอกลั่นนี้มีการเชื่อมท่อยืน (Standpipe) เดิมที่มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับชนิด Displacer สำหรับวัดระดับและควบคุมวาล์วควบคุมเดิมอยู่แล้วและเนื่องจากระบบที่จะทำการติดตั้งใหม่ในโครงงานนี้จะอยู่ในระบบวัดคุมนิรภัย (ESD: Emergency Shutdown System) ที่ควรจะมีการต่อเชื่อมอุปกรณ์การวัดจากท่อยืนใหม่ เนื่องจากหลักการของระบบวัดคุมนิรภัยเป็น

ระบบที่แยกจากระบบควบคุม (DCS: Distributed Control System) ซึ่งจะใช้ในกรณีเพื่อความปลอดภัย เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของการต่ออุปกรณ์วัดจึงควรทำการแยกจุดต่อวัดของระบบควบคุมและระบบวัดคุมนิรภัยแต่เนื่องจากหอกลั่น 2C-2801 ของหน่วยไอโซเมอร์ไรเซชั่นนี้ทำการก่อสร้างและดำเนินการผลิตมาเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งสมัยก่อนยังไม่มีการใช้ระบบวัดคุมนิรภัยแพร่หลายอย่างในปัจจุบัน ทำให้หอกลั่นนี้ไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการเจาะใส่ท่อยืนเพิ่มเติม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การต่อจากท่อยืนเดิมในการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับของระบบวัดคุมนิรภัย โดยไปดูบริเวณพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ท่อยืน (Standpipe) ของหอกลั่น 2C-2801

เนื่องจาก Displacer มีน้ำหนักที่ค่อนหนักเมื่อต้องนำมาติดตั้งกับท่อยืน เดิมซึ่งมี Displacer ติดตั้งอยู่แล้ว ทำให้ท่อยืนเดิมอาจจะรับน้ำหนักที่มากเกินจะทนได้ อีกทั้ง Displacer ยังมีราคาที่ค่อนข้างแพงใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดระดับโดยใช้คลื่นความถี่ (Guided Wave Radar Level Transmitter)และเทคโนโลยีของ Displacer เป็นเทคโนยีที่ไม่ได้รับการพัฒนาแล้วในปัจจุบัน ทำให้มีความคิดเห็นว่า Displacer ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในโครงงานนี้

3.4.1.4 อื่นๆ

เนื่องจากหน้าที่ของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับที่ต้องการติดตั้งนี้จะนำไปวัดระดับในหอกลั่นโดยจะตรวจจับและส่งไปควบคุมวาล์วเปิด-ปิด (Shut off Valve) ที่ระดับต่ำ คือ 5-10%ซึ่งในระดับต่ำนี้ อุปกรณ์วัดระดับโดยวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) มีความไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เนื่องจากที่ระดับที่ต่ำ (Low Level) อุปกรณ์วัดระดับโดยวัดความดันแตกต่างจะมีการวัดที่คลาดเคลื่อน

ตารางที่ 3.9 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับ

		Differential Pressure	Displacer	Radar Guided Wave
ของเหลวที่ต้องการนำไปวัด	น้ำมัน	✓	✓	✓
ความดันออกแบบ	14.3 บาร์	✓	✓	✓
อุณหภูมิออกแบบ	146 องศาเซลเซียส	✓	✓	✓
ราคา		ราคาน้อยที่สุด	ราคาสูงกว่า Differential Pressure และ Radar Guided Wave	ราคาอยู่ระหว่าง Differential Pressure และ Displacer
อื่นๆ	วัดที่ระดับต่ำ	การวัดมีความคลาดเคลื่อนที่ระดับต่ำ	✓	✓

จากการเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับสามารถสรุปได้ว่า เลือกใช้ Radar Guided Wave ในโครงงานนี้ เนื่องจาก Radar Guided Wave สามารถคลอบคลุมการทำงานตรงตามที่ต้องการอีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

3.4.2 การเลือกใช้วาล์ว

เนื่องจากการเลือกใช้วาล์วในโครงงานนี้มีหน้าที่เป็น วาล์วเปิด-ปิด (Shut off Valve) ทำให้การเลือกใช้นอกจากจะคำนึงถึงขนาดที่เหมาะสม (Valve Sizing) การเลือกชนิดของวัสดุ คุณลักษณะการไหลแล้วยังต้องพิจารณาถึงปริมาณการรั่วไหลที่ Seat ของวาล์วอีกด้วย โครงงานนี้จึงเลือกพิจารณาวาล์ว 2 ชนิดคือ Ball Valve และ Butterfly Valve เนื่องด้วยเหตุผลของการรั่วไหลของวาล์ว

การเลือกใช้วาล์วเพื่อมาใช้เป็นวาล์วเปิด-ปิด (Shut off Valve) พิจารณาถึงข้อมูลต่างๆ ดังนี้

3.4.2.1 ขนาดของวาล์ว

ท่อที่จะนำวาล์วไปใส่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว โดยตัววาล์วจะใช้วาล์วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 โดยขนาดวาล์วนี้ ทั้ง Ball Valve และ Butterfly Valve สามารถใช้ได้ทั้งสอง

ชนิด โดยราคาของ Ball Valve จะมีราคาที่สูงกว่า Butterfly Valve (Ball Valve ไม่เหมาะกับการใช้งานในท่อที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีน้ำหนักมาก และราคาแพงกว่าวาล์วชนิดอื่นๆ)

3.4.2.2 วัสดุที่ใช้ทำวาล์ว

เนื่องจากของเหลวเป็นน้ำมันไอโซเมอร์เรทและท่อเดิมที่มีอยู่ทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน(Carbon Steel) ทำให้เราเลือกใช้วาล์วที่โครงสร้างเป็นวัสดุชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนโดยทั้ง Ball Valve และ Butterfly Valve ที่มีโครงสร้างทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนมีจำหน่ายโดยทั่วไป

3.4.2.3 ค่าความดันและอุณหภูมิที่ทนได้

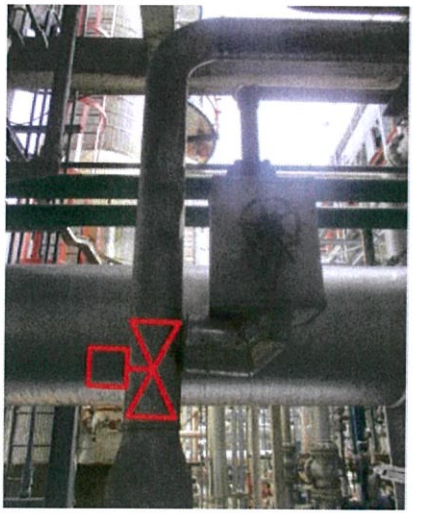
ค่าอุณหภูมิที่ออกแบบมีค่า 146 องศาเซลเซียส และค่าความดันที่ออกแบบมีค่า 14.3 บาร์ ซึ่งทั้ง Ball Valve และ Butterfly Valve สามารถทนความดันและอุณหภูมิช่วงนี้ได้โดยไม่มีปัญหา

3.4.2.4 การรั่วไหล (Leakage)

เนื่องจากในโครงการนี้ต้องการนำวาล์วมาใช้ในหน้าที่วาล์วเปิด-ปิด (Shut off Valve) ซึ่งต้องการให้เกิดการรั่วไหลน้อยที่สุด โดยกำหนดประเภทของการรั่วไหลของวาล์ว (Leakage Classifications of Control Valves) เป็นระดับ 5 (Class V)

3.4.2.5 การติดตั้ง

Ball Valve มีน้ำหนักที่ค่อนข้างหนักกว่า Butterfly Valve มาก อาจต้องมีการติดตั้งฐานรองรับน้ำหนักโดยพื้นที่ติดตั้งวาล์วแสดงด้วยลูกศรสีแดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 บริเวณสำหรับติดตั้งวาล์ว

3.4.2.6 ราคา

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว Ball Valve จะมีราคาที่สูงกว่า Butterfly Valve ดังนั้น การเลือกใช้ Butterfly Valve จะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า Ball Valve

การเลือกใช้อุปกรณ์วัดระดับ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การเลือกใช้วาล์ว

		Ball Valve	Butterfly Valve
ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หรือ 4 นิ้ว	✓	✓
วัสดุที่ใช้ทำวาล์ว	Carbon Steel	✓	✓
ความดันที่ออกแบบ/ อุณหภูมิที่ออกแบบ	14.3 บาร์ / 146 องศาเซลเซียส	✓	✓
การรั่วไหล	ต้องการ Class V	✓	✓
การติดตั้ง	น้ำหนักของวาล์ว	น้ำหนักมากกว่า Butterfly Valve	น้ำหนักน้อยกว่า Ball Valve
ราคา		ราคาสูงกว่า Butterfly Valve	ราคาน้อยกว่าBall Valve

จากการเลือกใช้วาล์วสามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้ได้ทั้งชนิด Ball Valve และ Butterfly Valve แต่ในโครงงานนี้เลือกใช้ Butterfly Valve เนื่องด้วยสามารถคลอบคลุมการทำงานที่ต้องการและมีราคาที่ถูกกว่า Ball Valve

3.5 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้า (Loop wiring)

ในส่วนนี้จะเป็นแผนภาพที่แสดงรายละเอียดของการต่อสายไฟจาก Field Instruments จนมาถึงที่ Panel Instruments และจาก Panel Instruments กลับไปยัง Field Instruments อีกทีหนึ่ง

3.5.1 การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่าง Field Instruments กับ Junction Box

การเชื่อมโยงสายจากอุปกรณ์วัดและควบคุมบริเวณพื้นที่หน้างาน (Field Instruments) ไปยัง Junction Box จะใช้ Tray หรือ Conduit ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้ Conduit เนื่องจาก Conduit มีขนาดเล็ก ติดตั้งสะดวก และมีน้ำหนักเบา

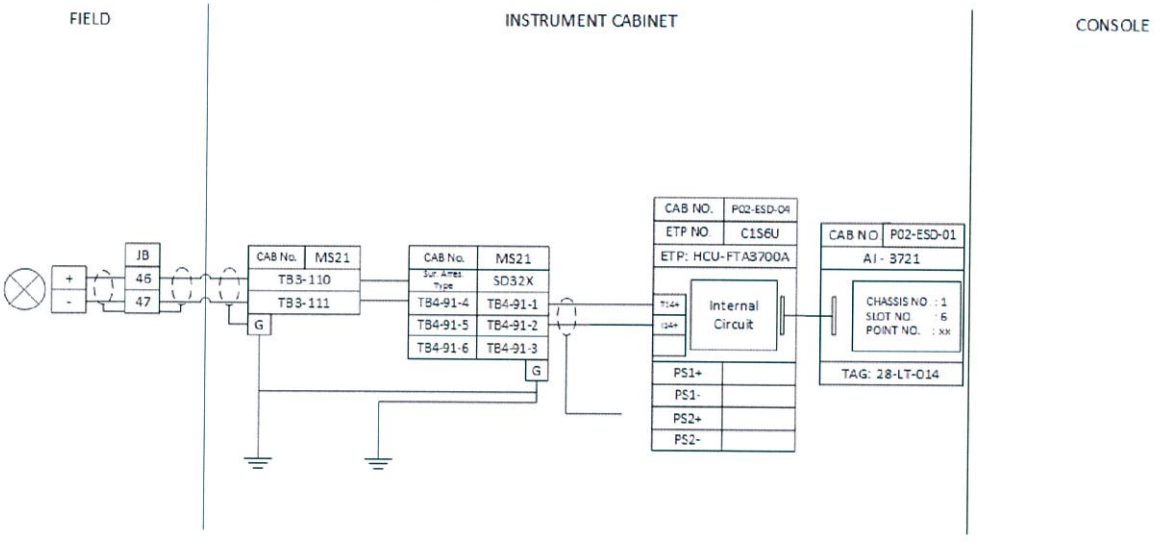
3.5.2 การวางแนวท่อด้วยถาดวางสายเคเบิลจาก Field ไปห้องควบคุม

เนื่องจากโครงงานนี้ Junction Box มีการเชื่อมโยงสายไปยังห้องควบคุมอยู่แล้ว จึงไม่ต้องทำการเพิ่มหรือแก้ไขใดๆ แต่ต้องทำการตรวจสอบจุดต่อสายไฟ (Terminal) ที่ยังว่างใน Junction Box สำหรับทำการเชื่อมต่อสายไฟ

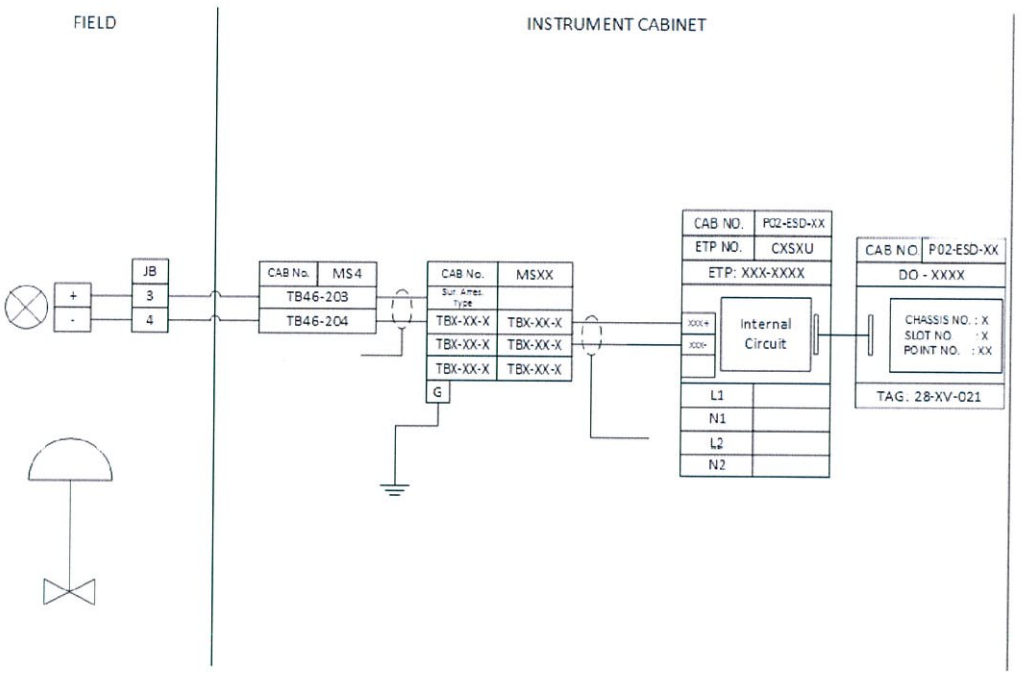
3.5.3 การต่อสายไฟฟ้าในห้องควบคุม

จะเป็นการเชื่อมโยงสายไฟจากอุปกรณ์วัดและควบคุมบริเวณพื้นที่หน้างานมายังอุปกรณ์ Rack Instruments ก่อนที่จะผ่านสัญญาณไปที่ Panel Instruments ในห้องควบคุม สำหรับโครงงานนี้ต้องทำการตรวจสอบจุดต่อสายไฟ (Terminal) ที่ยังว่างใน Rack Instruments สำหรับทำการเชื่อมต่อสายไฟ

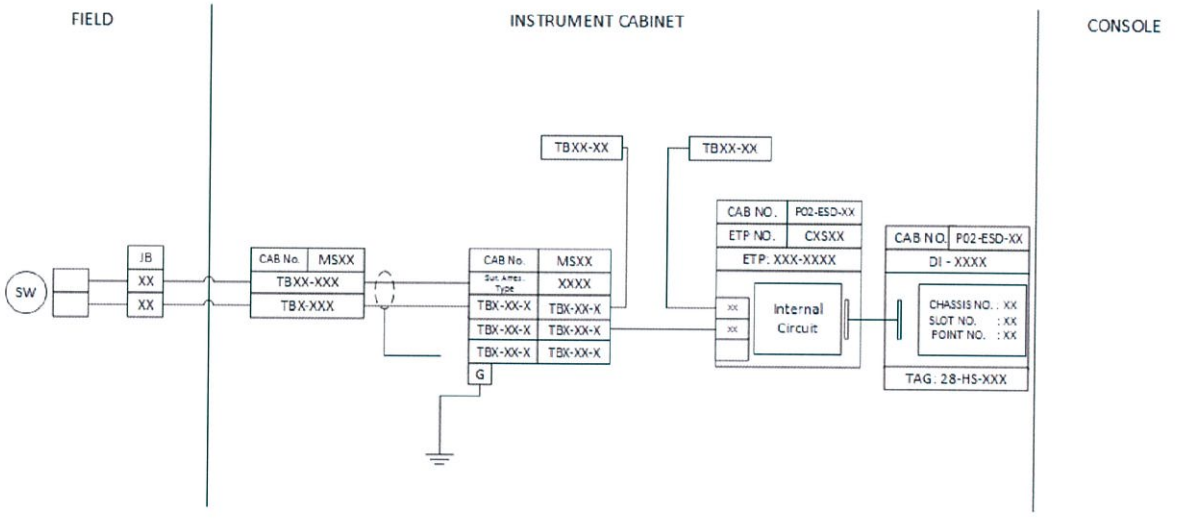
ในภาพที่ 3.7 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดระดับมายังห้องควบคุมภาพที่ 3.8 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากวาล์วเปิด-ปิดมายังห้องควบคุม และภาพที่ 3.9 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากสวิทช์รีเซ็ทมายังห้องควบคุมโดยทั้งสามภาพจะมีการกำหนดหมายเลขตู้และเลขที่โมดูลที่สามารถกำหนดได้ (ถ้ากำหนดไม่ได้จะแสดงด้วยตัวอักษร X)



ภาพที่ 3.7 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดระดับมายังห้องควบคุม



ภาพที่ 3.8 การเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากวาล์วเปิด-ปิดมายังห้องควบคุม



ภาพที่ 3.9 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณที่เป็นระบบไฟฟ้าจากสวิทช์รีเซ็ทมายังห้องควบคุม

3.6 การปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผล (Logic Control)

3.6.1 การปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผลของอุปกรณ์วัดระดับ

จากภาพที่ 3.10 แสดงแผนภาพส่วนประมวลผลของอุปกรณ์วัดระดับ โดยจะมีการรับค่าสัญญาณอินพุทจากอุปกรณ์หน้างานมาเก็บไว้ในส่วนหน่วยความจำ (Memory) และนำข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำไปเป็นสัญญาณอินพุทของ Analog Input Condition Low (AI_COND_LL) และทำการกำหนดค่าให้กับ Analog Input Condition Low ดังนี้

ค่าสูงสุด (MAX_EU) ของการวัดระดับไว้ที่ 100%

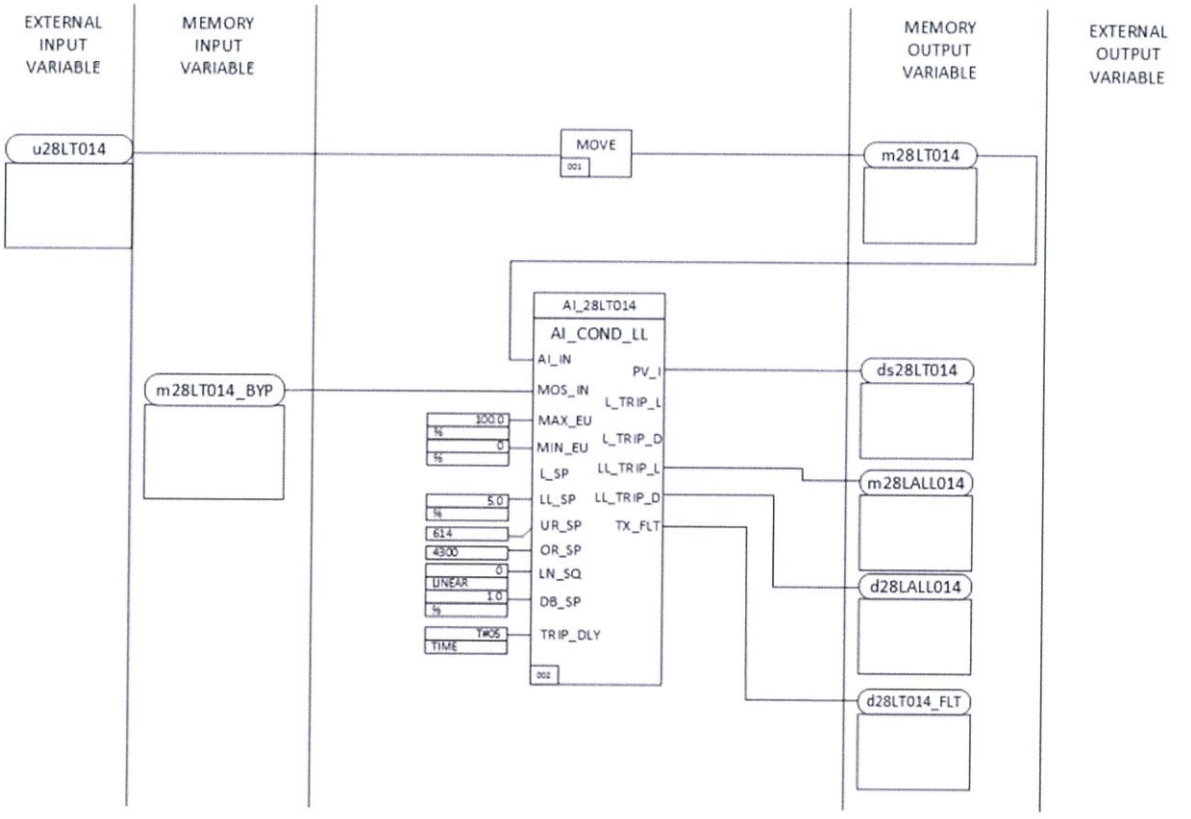
ค่าต่ำสุด (MIN_EU) ของการวัดระดับไว้ที่ 0%

ค่าระดับต่ำสุด (LL_SP) อยู่ที่ระดับที่เราต้องการตรวจสอบระดับในหอกลั่นคือ 5%

ช่วงไร้ผลตอบสนอง (Dead band: DB_SP) ที่ 1%

เวลาหน่วง (TRIP_DELAY) 1 วินาที

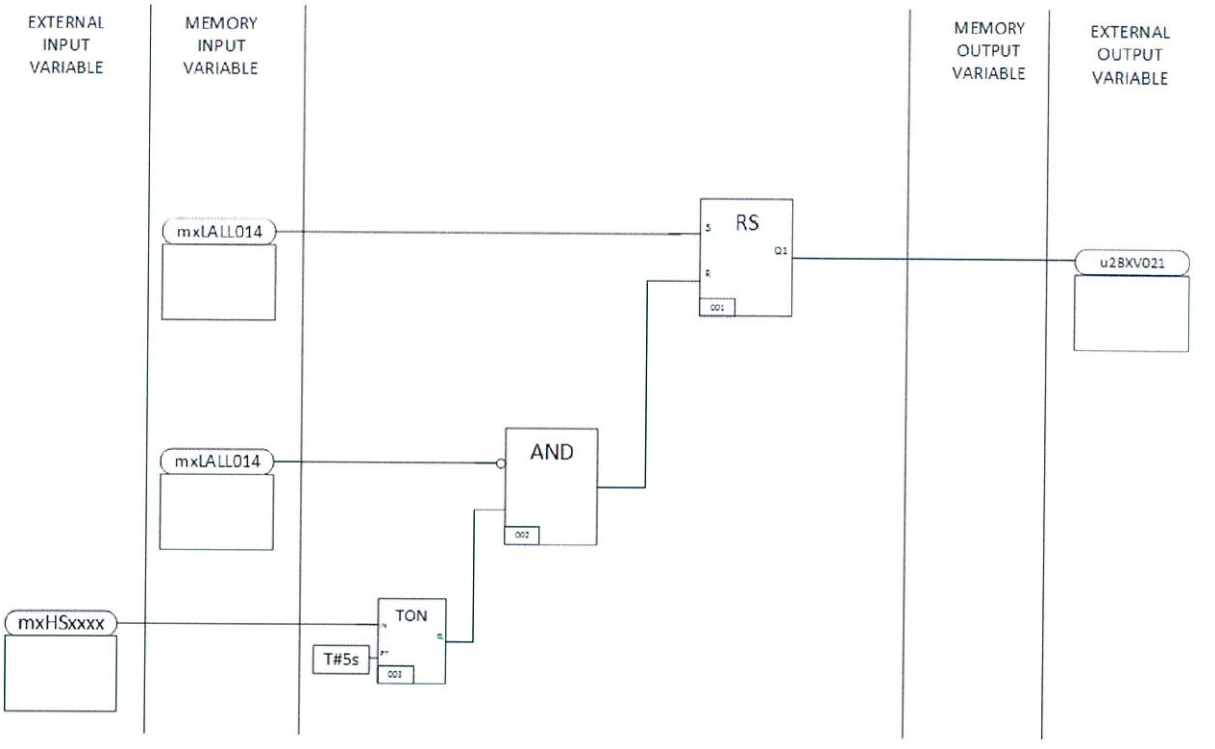
และส่วนเอาท์พุทของ Analog Input Condition Low จะเป็นการส่งค่าไปยังหน่วยความจำและแสดงผลที่หน้าจอระบบควบคุม



ภาพที่ 3.10 แผนภาพส่วนประมวลผลของอุปกรณ์วัดระดับ

3.6.2 การปรับปรุงแก้ไขส่วนประมวลผลของวาล์วเปิด-ปิด

จากภาพที่ 3.11 แสดงแผนภาพส่วนประมวลผลของวาล์วเปิด-ปิด ซึ่งการเปิด-ปิดวาล์วจะใช้สัญญาณอินพุทที่มาจากหน่วยความจำ ในกรณีปิดวาล์วจะใช้สัญญาณของหน่วยความจำที่เป็นข้อมูลของระดับในหอกลั่นที่เท่ากับหรือน้อยกว่า 5% และในกรณีเปิดวาล์วจะใช้สัญญาณของหน่วยความจำที่เป็นข้อมูลของระดับในหอกลั่นที่มากกว่า 5% ร่วมกับการกดสวิทซ์จากบริเวณหน้างาน สาเหตุที่ต้องมีสวิทซ์บริเวณหน้างานเนื่องจากในกรณีที่วาล์วปิดเนื่องจากกระบวนการผิดพลาด การที่วาล์วจะกลับมาเปิดดังเดิมต้องมีการยืนยันการทำงานจากพื้นที่หน้างานเพื่อความปลอดภัย



ภาพที่ 3.11 แผนภาพส่วนประมวลผลของวาล์วเปิด-ปิด

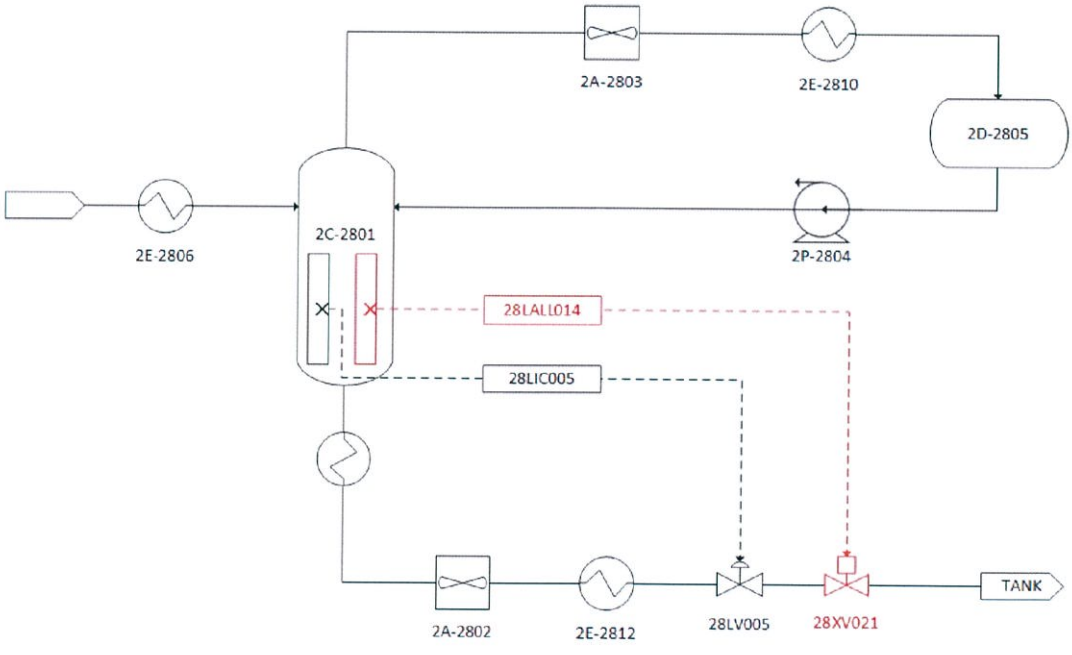
บทที่ 4
ผลการปรับปรุงระบบป้องกันและควบคุมจากระดับน้ำมันในหอกลั่น

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์การวัดและควบคุมที่เลือกใช้ในโครงงาน รวมถึงผลของการตรวจสอบ SIL Verification สำหรับอุปกรณ์วัดและควบคุมที่เลือกใช้งานการประเมินระยะเวลาและการประเมินงบประมาณในการจัดทำโครงงาน

4.2 อุปกรณ์วัดและควบคุมที่เลือกใช้ในโครงงาน

ภาพที่ 4.1 แสดงแผนภาพอย่างง่ายของหน่วย 2800 ไอโซเมอร์ไรเซชั่น โดยทั่วไปน้ำมันเบนซินที่กลั่นได้จากหอกลั่น 2C-2801 จะถูกนำไปเก็บในถังเก็บ (Storage Tank) T-991 วงรอบการควบคุมสีดำในภาพ ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์วัดระดับ ตัวควบคุม (28LIC005) และวาล์วควบคุม (28LV005) วงรอบนี้ถูกใช้เพื่อควบคุมระดับน้ำมันในหอกลั่น โดยตัวควบคุมจะสั่งให้วาล์วควบคุมเปิด/ปิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับน้ำมันในหอกลั่นเพื่อส่งน้ำมันไปเก็บในถังเก็บ อย่างไรก็ตามในการซ่อมครั้งใหญ่ (Turnaround Maintenance) เมื่อปี พ.ศ. 2557 ที่ผ่านมา พนักงานปฏิบัติการได้ปรับวาล์วควบคุม (28LV005) ให้เปิดอย่าง Manual แล้วลืมปิด ทำให้น้ำมันในหอกลั่นแห้งจนหมด ทำให้แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในหอกลั่นไหลไปที่ถังเก็บด้วย และเนื่องจากท่อทางเข้าถังเก็บอยู่ด้านล่าง แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำมันจึงลอยตัวขึ้นข้างบนเหมือนกับฟองอากาศที่อยู่ในของเหลวและไปดันให้น้ำมันเบนซินในถังเก็บล้นออกมา



ภาพที่ 4.1 แผนภาพอย่างง่ายของหน่วย 2800 ไอโซเมอร์ไรเซชั่น

ในโครงงานนี้จึงมีแนวความคิดติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัยดังแสดงด้วยเส้นสีแดงในภาพ เพื่อป้องกันน้ำมันไม่ให้ล้นออกมาจากถังเก็บโดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับ ตัวประมวลผลลอจิก และวาล์วเปิด-ปิด ซึ่งได้กำหนดหมายเลข (Tag Number) ของอุปกรณ์วัดระดับเป็น 28LALL014 หมายเลขของตัวประมวลผลลอจิกเป็น 28LALL014 หมายเลขของวาล์วเปิด-ปิดเป็น 28XV021 โดยวาล์วเปิด-เปิดนี้จะปิดเมื่อตรวจพบว่าระดับน้ำมันในหอกลั่น 2C-2801 มีระดับต่ำกว่า 5% เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันในหอกลั่นแห้ง

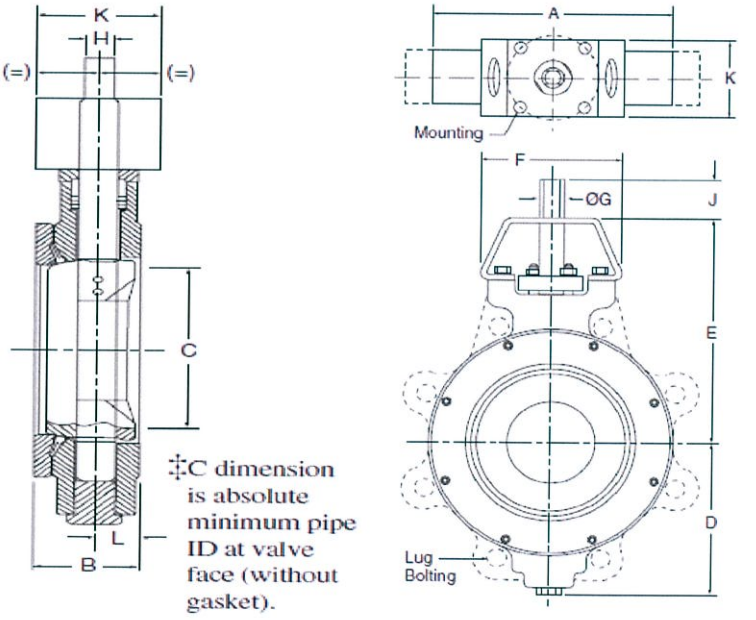
4.2.1 วาล์วเปิด-ปิด

วาล์วเปิด-ปิดที่เลือกใช้ในโครงงานคือ Butterfly Valve ของ Bray Series 40-45 โดยข้อมูลที่กำหนดให้กับแผนกท่อและอุปกรณ์ (Equipment and Piping) เพื่อจัดเตรียมพื้นที่หน้างานในการติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด มีดังนี้

1. มาตรฐานหน้าแปลน 300RF เนื่องจากในท่อจากหอกลั่น 2C-2801 ไปยังถังเก็บ (Tank) T-991 ที่แสดงด้วยเส้นสีดำด้านล่างของภาพที่ 4.1 มีความดันที่ออกแบบ 14.3 บาร์ และอุณหภูมิที่ออกแบบ 146 องศาเซลเซียส ทำให้ในโครงงานนี้เลือก Pressure-temperature Rating (ค่าความดันสูงสุดโดยประมาณที่อุปกรณ์ท่อทนได้อย่างต่อเนื่อง ณ อุณหภูมิที่กำหนด) ที่ Class 300RF ซึ่งจะบอกถึงวัสดุสำหรับใช้ทำท่อและลักษณะของหน้าแปลน โดย RF หมายถึงหน้าแปลนผิวหน้ายก (Raised Face Flange)

2. ระยะศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระยะ B (Centre to Centre) ของวาล์วคือ 2.03 นิ้วดังแสดงในภาพที่ 4.2

3. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์ว 4 นิ้ว



ภาพที่ 4.2 Dimensional Drawingsของ Butterfly Valve Bray Series 40 – 45

4.2.2 อุปกรณ์วัดระดับ

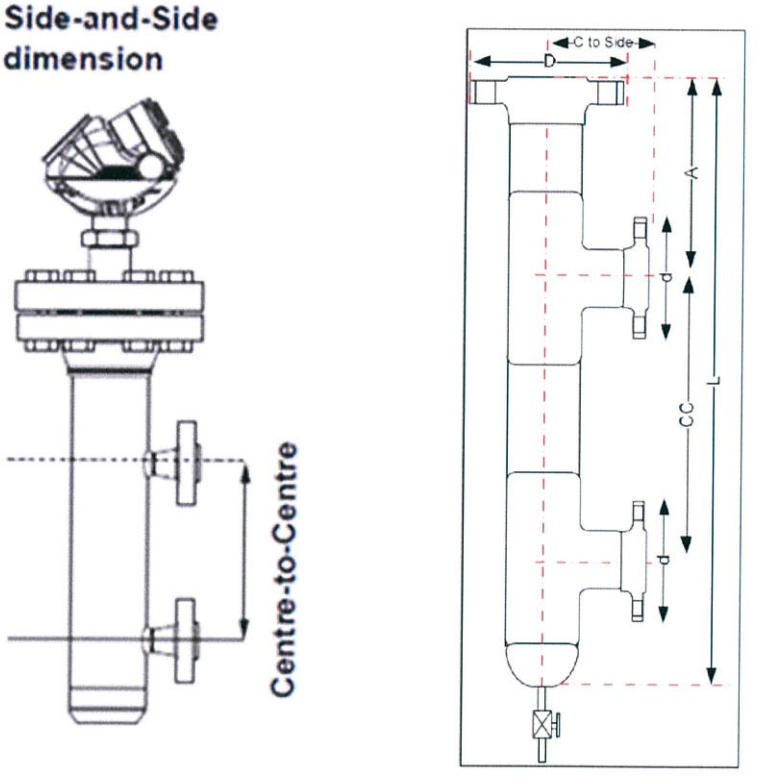
อุปกรณ์วัดระดับที่เลือกใช้ในโครงงานนี้คือ อุปกรณ์วัดระดับชนิด Guided Wave Radar ของ Rosemount Series 5300 โดยข้อมูลที่ระบุให้กับแผนกท่อและอุปกรณ์ (Equipment and Piping) เพื่อจัดเตรียมพื้นที่หน้างานในการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับ มีดังนี้

1. มาตรฐานหน้าแปลน 300RF เนื่องจากในหอกลั่น (Column 2C-2801) นี้มีความดันทำงาน 12.2 บาร์ และอุณหภูมิทำงาน 153 องศาเซลเซียส ทำให้ในโครงงานนี้เลือก Pressure-temperature Rating (ค่าความดันสูงสุดโดยประมาณที่อุปกรณ์ท่อทนได้อย่างต่อเนื่อง ณ อุณหภูมิที่กำหนด) ที่ Class 300RF ซึ่งจะบอกถึงวัสดุสำหรับใช้ทำท่อและลักษณะของหน้าแปลน โดย RF หมายถึงหน้าแปลนผิวหน้ายก (Raised Face Flange)

2. ความยาวแชมเบอร์ (Chamber Length) ระยะ L เท่ากับ 1470 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพที่ 4.3

3. ระยะศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระยะ CC (Centre to Centre) ของอุปกรณ์วัดระดับเท่ากับ 1170 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพที่ 4.3

4. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแชมเบอร์ระยะ D และจุดต่อเชื่อมระยะ d ขนาด 3 นิ้วแสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 Dimensional Drawings ของ Guided Wave Radar Rosemount Series 5300

4.3 การตรวบสอบ SIL Verification

4.3.1 วิธีการตรวจสอบ SIL Verification

ทำการตรวจสอบ (SIL Verification) การออกแบบฟังก์ชันว่าสามารถลดความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยในโครงงานนี้มีเป้าหมายระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ SIL1 และใช้โปรแกรม exSILentia ของ Exida ช่วยในการคำนวณ โดยค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าเฉพาะของทางบริษัทบางจากฯ มีดังนี้

1. Proof Test Interval 36 เดือน
2. Mission Time 20 ปี
3. Startup Time 24 ชั่วโมง

การคำนวณจะพิจารณาส่วนประกอบของฟังก์ชั่น 3 ส่วน คือ

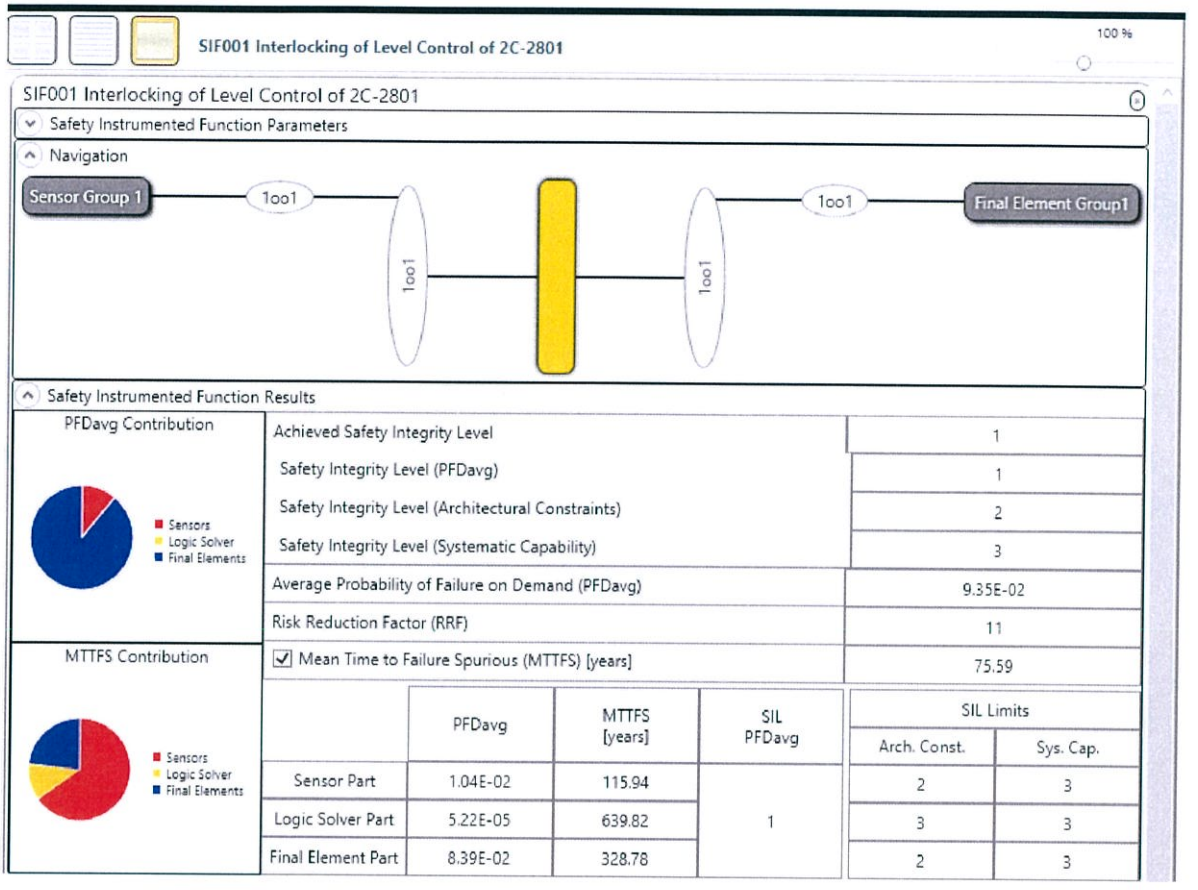
1. ส่วนอุปกรณ์วัด (Sensing Element) โดยในโครงงานนี้คือ อุปกรณ์วัดระดับชนิด Guided Wave Radar ของ Rosemount Series 5300

2. ส่วนการประมวลผลลอจิก (Logic Solver) ทางบริษัท บางจากฯ ใช้ส่วนประมวลผลลอจิกของระบบวัดคุมนิรภัยเป็นของบริษัท Triconex

3. ส่วนอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) โดยในโครงงานนี้คือ Butterfly Valve ของ Bray Series 40 – 45

4.3.2 ผลการตรวจสอบSIL Verification

ผลของการตรวจสอบ SIL Verification สำหรับโครงงานนี้แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การตรวจสอบ SIL Verification จากโปรแกรม exSILential ของ Exida

โดยอุปกรณ์ทั้งสามส่วนของฟังก์ชันที่เลือกใช้ในโครงงานนี้อยู่ที่ระดับความเชื่อมั่นของอุปกรณ์ SIL1 ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์ทั้งสามส่วนนี้สามารถใช้ในโครงงานได้

4.4 การประเมินงบประมาณในการจัดทำโครงงาน

การประเมินงบประมาณสำหรับโครงงานปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัยที่เพิ่มเติมให้กับการวัดระดับในหอกลั่น 2C-2801 ประกอบด้วย

1. ค่าอุปกรณ์วัดและควบคุม ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์วัดระดับและวาล์วเปิด-ปิด มีค่าใช้จ่ายประมาณ 180,000 บาท

2. ค่าก่อสร้าง ที่ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการตัดและเชื่อมท่อค่าติดตั้งอุปกรณ์วัดและควบคุมค่าเดินสายสัญญาณ และค่าทดสอบการทำงานเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ประมาณ 50,000 บาท

3. ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขของส่วนประมวลผลลอจิกของบริษัท Triconex ประมาณ 30,000 บาท

สรุปการปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัยที่เพิ่มเติมให้กับการวัดระดับในหอกลั่น 2C-2801 ใช้งบประมาณโดยรวม 260,000 บาท

4.5 การประเมินระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

การประเมินระยะเวลาในการดำเนินโครงงานปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัยที่เพิ่มเติมให้กับการวัดระดับในหอกลั่น 2C-2801 ประกอบด้วย

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมถึงการเลือกใช้อุปกรณ์วัดและควบคุมสำหรับโครงงาน ใช้เวลาประมาณ 2 เดือน

2. ระยะเวลาการจัดซื้อ (Procurement) ประมาณ 1 เดือน

3. ระยะเวลาการขนส่งอุปกรณ์วัดและควบคุม ประมาณ 4 เดือน

4. การติดตั้งอุปกรณ์การวัดและควบคุมและตรวจสอบการทำงาน ประมาณ 2 สัปดาห์

สรุปการปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัยที่เพิ่มเติมให้กับการวัดระดับในหอกลั่น 2C-2801 ใช้ระยะเวลาดำเนินการโดยรวม 7 เดือนและ 2 สัปดาห์

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัยที่เพิ่มเติมให้กับการวัดระดับในหอกลั่น2C-2801จะมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับและวาล์วเปิด-ปิดบริเวณท่อที่เชื่อมต่อระหว่างหอกลั่น 2C-2801 และถังเก็บน้ำมัน T-991 โดยอุปกรณ์วัดระดับเป็นชนิด Guided Wave Radar ของ Rosemount Series 5300 และวาล์วเปิด ปิดชนิด Butterfly Valve ของ Bray Series 40-45 โดยจะมีการเดินสายสัญญาณจากบริเวณพื้นที่หน้างานที่มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดและควบคุมไปยังห้องควบคุมจึงต้องมีการเชื่อมต่อสายซึ่งได้ทำการตรวจสอบและกำหนดจุดเชื่อมต่อที่ใช้ในโครงงานแล้ว และได้ทำการออกแบบส่วนประมวลผลลอจิก อุปกรณ์วัดและควบคุมแล้วโดยโครงงานนี้ใช้งบประมาณโดยรวม 260,000 บาท และใช้ระยะเวลาดำเนินงานโดยรวมประมาณ 7 เดือน และ 2 สัปดาห์

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1) บริษัทยังไม่เข้าใจในเรื่องโครงการสหกิจศึกษา ทำให้เกิดความสับสนในการมอบหมายงาน

2) ไม่มีประสบการณ์ในการประสานงานกับแผนกอื่นๆ ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

2) ความรู้ที่ใช้ในการปฏิบัติสหกิจศึกษายังมีไม่เพียงพอในบางเรื่อง

3) ผู้รับเหมาทำงานล่าช้าจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1) นักศึกษาควรอธิบายถึงรายละเอียดของโครงการสหกิจศึกษา เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

2) ปรึกษาผู้นิเทศงานและพนักงานคนอื่นๆ ในแผนก ในเรื่องของการติดต่อสื่อสารภายในบริษัท

2) ตั้งใจศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

3) ติดต่อผู้รับเหมาเพื่อเน้นย้ำให้ดำเนินการเร็วที่สุด สำหรับความต่อเนื่องในการทำงาน

บรรณานุกรม

[1] ทวิช ชูเมือง. (2548). *ระบบวัดคุมนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[2] ทวิช ชูเมือง. (2549). *การออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: เอ็ช.เอ็น กรุ๊ป.

[3] ประสิทธิ์ เวียงแก้ว และ ฉัตรชัย ลาภรังสิรัตน์. (2550). *คู่มืองานท่อ Piping Quick Reference*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[4] S Bharadwaj Reddy. (2559). *Level Transmitter Working Principle*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://instrumentationtools.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 16 กันยายน 2559).

[5] Don Newell, Gene Cammack and Praveen Muniyappi. (2552). *Tank Overfill Protection - API 2350 and IEC 1511Safety Considerations*. เข้าถึงได้จาก : http://www.isa.org. (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2559).

[6] Madhur Mahajan. (2557). *Valve and their types*. เข้าถึงได้จาก : http://www.slideshare.net. (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2559).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของ Butterfly Valve Bray Series 40-45

SERIES 40

HIGH PERFORMANCE HIGH PRESSURE HIGH TEMPERATURE ZERO LEAKAGE BUTTERFLY VALVES

2 1/2" - 54" (65-1400 mm)

WAFER OFFER BUBBLE-TIGHT BIDIRECTIONAL SHUT-OFF AND FOR DEAD-END SERVICE LUG BODIES OFFER BIDIRECTIONAL BUBBLE-TIGHT SHUT-OFF, BOTH AT FULL RATED PRESSURE

WAFER/LUG BODIES:
SERIES 40/41 – ANSI CLASS 150
SERIES 42/43 – ANSI CLASS 300
SERIES 44/45 – ANSI CLASS 600

TEMPERATURE RANGE: -20°F TO 500°F (-29°C TO 260°C)

Bray Controls is proud to offer the Bray/McCannalok line of high performance butterfly valves. This product line is recognized as a proven leader with over 30 years of successful service in process industries worldwide. The Series 40's unique, patented design received *Chemical Processing's* Vaaler Award for Best Product shortly after it was introduced. The simple, innovative design offers rugged reliability and extremely easy maintenance in the field. Independent and internal tests have proven Bray/McCannalok's superior service life capability, with bubble-tight shut-off through over 100,000 cycles.

The Series 40 valves can be automated inexpensively with Bray's pneumatic and electric actuators.

When compared to gate, globe, ball, diaphragm and plug valves, the Bray/McCannalok butterfly valve is significantly smaller and lighter weight, therefore installation space, time, and maintenance costs are greatly reduced.

The Bray/McCannalok High Performance Valve delivers the highest quality and highest value available for your requirements.

BODY (A) One piece wafer body style or lug style for dead-end service. Both body styles offer bidirectional sealing as standard to full ANSI Class 150, 300 or 600 ratings. Standard body materials are either carbon steel or stainless steel for excellent corrosion resistance. Extended neck allows for 2" of pipeline insulation and easy access to stem packing adjustments and actuator mounting.

STEM (B) The high-strength, one piece stem is 17-4 PH Stainless Steel. The valve stem is standardized for interchangeability of Bray actuators.

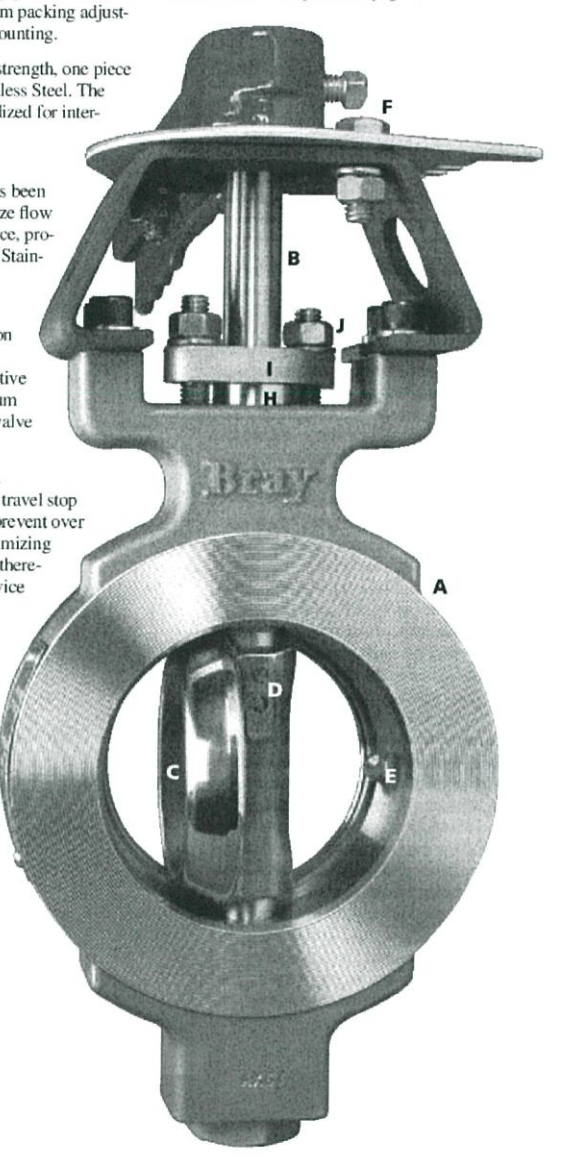
DISC (C) The disc has been engineered to maximize flow and minimize resistance, providing a high C_V. 316 Stainless Steel is standard.

TAPER PINS (D) Taper pins are precision fit into taper–reamed holes providing a positive connection of maximum strength between the valve disc and stem.

INTERNAL TRAVEL STOP (E) An internal travel stop has been designed to prevent over travel of the disc, minimizing possible seat damage, therefore extending the service life of the seat.

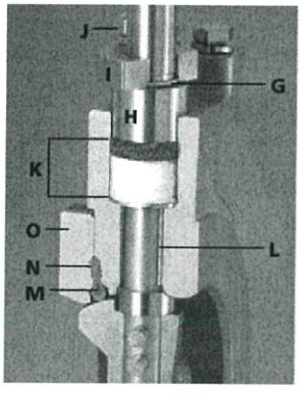
HANDLE AND NOTCH PLATE (F) The heavy–duty, spring release handle and 10 position notch plate allow for positioning the valve disc to precise angle stops between the full open and full closed positions.

BLOW-OUT PROOF STEM (G) The Series 40 High Performance valve features blow-out proof stem protection. A retaining ring is installed between the machined stem groove and gland retainer step providing full retention of the stem in the unlikely event of internal stem failure. (See photo on page 3).



ADJUSTABLE STEM PACKING

The stem packing system features easy access to adjusting hex head nuts without requiring removal of the actuator. The system consists of a gland ring (**H**), a gland retainer (**I**), studs, hex head nuts and lock washers (**J**). A slight 1/4 turn of the hex head nuts is usually all that is required should field adjustment ever be needed. Both hex head nuts must be evenly adjusted and not overtightened.



STEM SEAL (K)

The stem seal system provides constant compression for a positive seal around the stem. PTFE packing seals the stem, and a carbon fiber anti-extrusion ring contains the packing. Flexible graphite rings are available for high temperature applications and are standard on fire safe valves.

All Class 150 and Class 300 valves have one set of stem seal packing rings and a stem locating plug with a gasket or O-ring seal in the body base. All Class 600 valves have upper and base twin stem seals which balance axial forces on the stem and disc under all operating conditions, and eliminate any piston effect on the stem.

STEM BEARINGS (L)

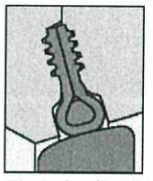
Top and bottom bearings, consisting of a 316 Stainless Steel shell with a TFE/glass fabric liner bearing surface, securely support the stem. The stem bearings provide excellent resistance to corrosion and distortion from high temperatures and mechanical loading forces.

SEAT DESIGN

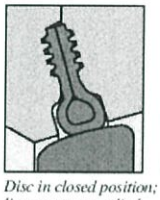
THE HEART OF THE SERIES 40 VALVE The unique, two-part seat assembly consists of a resilient energizer (**M**) which is totally encapsulated by the RTFE* seat (**N**). The assembly is locked in the body recess by a full faced seat retainer (**O**). This simple, reliable and proven combination results in many exclusive advantages, including:

- The energizer is completely isolated from all contact with the line media by the RTFE seat.
- Serrations in the seat retainer and body recess secure the seat assembly in place regardless of disc position.
- The full-faced retainer is bolted to the body, locking the seat in the correct position. The seat is secured even without the mating flange.
- The closely confined and well supported seat is energized by the disc and line pressure. The higher the pressure, the tighter the seal. In low pressure and vacuum applications, the energized seat offers superior sealing and longer service life than many other designs.
- Line media is sealed to zero leakage in both directions.
- The seat is self-adjusting for wear and temperature changes.
- Seat replacement is extremely easy – just remove the seat retainer, rotate the disc into the closed position and place a new seat assembly in the machined recess of the body. This simple procedure will not disturb the disc or stem.

Seat non-compressed as disc approaches.



Disc in closed position; with no line pressure.



Disc in closed position; line pressure applied from the left.

Disc in closed position; line pressure applied from the right.

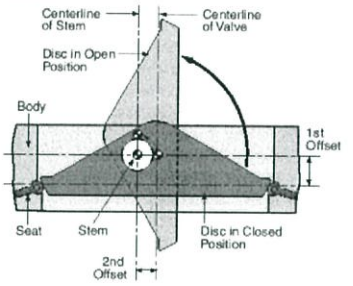
*RTFE is the common designation for RPTFE as supplied by Bray.

DOUBLE OFFSET STEM AND DISC DESIGN

The double offset design of the Series 40 assures reduced seat wear and bidirectional, zero leakage, shut off throughout the full pressure range.

At the initial point of disc opening, the offset disc produces a cam-like action, pulling the disc from the seat. This cam-like action reduces seat wear and eliminates seat deformation when the disc is in the open position. When open, the disc does not contact the seat, therefore seat service life is extended and operating torques are reduced. As the valve closes, the cam-like action converts the rotary motion of the disc to a linear type motion to effectively push the disc onto the seat. The wiping action of the disc against the seat prevents undesirable material build-up from slurries or suspended solids.

The taper pins carry virtually equal loads while anchoring the disc to the stem, permitting accurate disc closure for consistent sealing and positive shut off.



For over 30 years the reliability of the Bray/McCannalok has been conclusively proven, both in lab tests and thousands of field applications. After a test of over 100,000 cycles at 720 psi, the seat remained in excellent condition, continuing to provide a bidirectional bubble-tight seal. Even after more than 878,000 cycles at 2 psi, the Series 40 still sealed bubble-tight in both directions.

FIRE SAFE

BRAY/McCANNALOK HIGH PERFORMANCE SERIES 40 VALVES ARE AVAILABLE WITH PROVEN BIDIRECTIONAL FIRE SAFE SEATS ON SIZES 2 ½"-24" ANSI CLASS 150 AND 2 ½"-16" CLASS 300 WAFER & LUG BODIES

FOR RELIABLE CONTROL OF FLAMMABLE AND HAZARDOUS FLUIDS IN PETROLEUM, PETRO-CHEMICAL, CHEMICAL AND OTHER HIGH-RISK APPLICATIONS, THE FIRE SAFE DESIGN COMBINES SUPERIOR PERFORMANCE, EXTENDED SERVICE LIFE AND COMPLIANCE WITH THE MOST DEMANDING WORLDWIDE FIRE-TEST STANDARDS – BEFORE, DURING AND AFTER A FIRE!

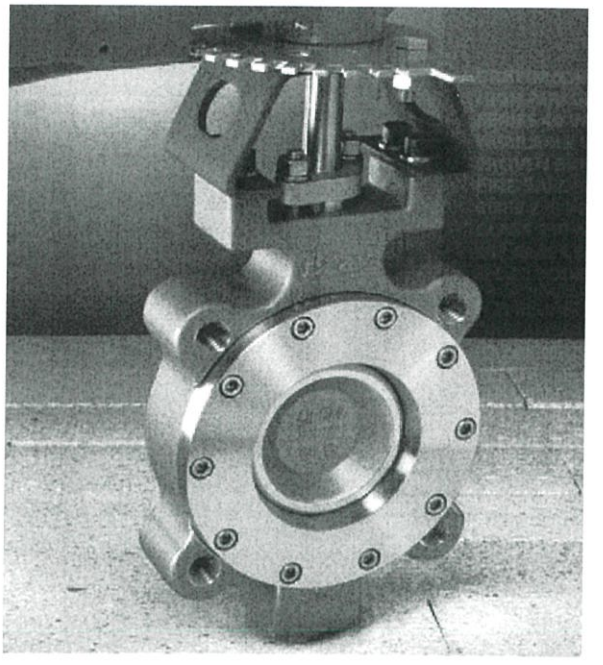
In normal service, the FIRE SAFE combination resilient/metal seat seals bubble-tight in both directions of line media flow through the full rated pressure and temperature ranges. When closed, the disc remains compressed against the resilient mechanically loaded seat, which is securely locked in place by a full-faced retainer. Line media pressure strengthens the seal.

In the event of a fire, if excessive heat destroys the resilient seat materials, either partially or completely, the seat provides a constant metal-to-metal backup seal.

In real-world fire conditions, line pressure is immediately reduced and the entire area is hosed down. The resulting pressure drop and rapid cool down causes many valves to fail. The FIRE SAFE design does not rely on line media pressure to seal, therefore the valve offers superior low pressure performance than competitive designs. The Inconel® metal seat functions as a spring mechanism, which allows for expansion and contraction without breaking contact with the disc. Additionally, the Inconel seat offers better corrosion and heat resistance and greater strength than the stainless steel seats commonly used.

The Bray/McCannalok delivers proven fire safe protection not only in the lab, but also where it counts the most – in the field.

* Inconel® is a registered trademark of Inco Alloys International, Inc.



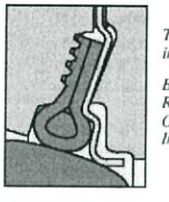
The adjustable stem sealing packing system is composed of flexible graphite and formed graphite rings. These ring materials offer maximum stem sealing capability. The packing can be easily adjusted by a slight turn of the readily accessible hex head nuts.

FIRE-TEST STANDARDS
API 607 4th Edition Certified.

The Bray/McCannalok FIRE SAFE has been thoroughly tested and meets or exceeds the latest international fire test standards. Since its introduction the FIRE SAFE design has passed field applications and lab tests with flying colors, delivering superior performance under the most demanding conditions.

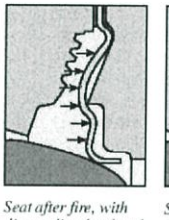
FIRE SAFE SEAT OPERATION

The seat assembly in normal service contacts the disc with both the resilient seat material and metal seat. During and after a fire, when the resilient material has been partially or completely destroyed, the metal seat provides a positive seal by remaining in constant contact with the disc in either direction of media flow.



The FIRE SAFE Seat in normal service

Bidirectional Resilient Seat with O-ring Energizer / Inconel® Seat



Seat after fire, with disc sealing load and line media pressure acting on the seat from the left. (Seat retainer downstream)

Seat after fire, with disc sealing load and line media pressure acting on the seat from the right. (Seat retainer upstream)

Bray/McCannalok Series 40 valves handle a wide range of conditions and media, such as corrosive chemicals, water, gases, acids, alkalies, hydrocarbons plus many other fluids. Bray's standard valve line has been specifically designed to meet most applications. When applications demand special requirements, Bray offers valves and materials that meet these needs. Services and optional materials include:

VACUUM
Standard Series 40 valves with TFE seats are recommended for vacuum service down to .02 mm Hg absolute pressure, or 20 microns. For vacuum service down to 1 x 10^{-3} mm Hg absolute pressure, or 1 micron, specially prepared valves are recommended. Under certain conditions, these valves serve well in the high vacuum range down to 1 x 10^{-6} mm Hg absolute pressure.

STEAM
Series 40 valves are specifically designed for a wide range of high temperature and high pressure applications including on-off and modulating control of hot water, condensed water or chilled water. The Series 40 valve is rated 150 psi (10.3 bar) saturated steam at 366°F (185°C) for on-off applications. For modulating service, the Series 40 is rated 50 psi at 300°F. Use of the standard RTFE seat is recommended for this service.

DRY CHLORINE – Gas or Liquid
Special materials as well as assembly and testing procedures are applied to assure bubble-tight closure in these critical services.

SEA WATER
Series 40 valves have been successfully installed in power plants, desalination plants and deep sea drilling projects. Duplex, super duplex and super-austenitic stainless trims can be provided for sea water service. Higher alloy materials are available.

Please consult your Bray representative for specific recommendations regarding your requirements.

ASH HANDLING AND ABRASIVE
For applications where flow velocity and differential pressure are low, RTFE or UHMWPE seats and electroless nickel plated discs are recommended. For applications requiring improved resistance to wear and particles of higher hardness, a stellite faced disc and FIRE SAFE design are recommended.

CAUSTIC
Valve materials must be selected for sufficient corrosion requirements. Stainless steel is recommended for sodium and potassium hydroxide applications.

HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING (HVAC)
Series 40 valves can be used for damping or balancing water flow, main stop valves, block valves, throttling valves, and control of pump suction or discharge.

OXYGEN
Series 40 valves for critical gaseous oxygen service are specially prepared, cleaned, inspected, assembled and tested to ensure removal of all burrs, sharp edges, dirt, hydrocarbon oil or grease, and other contaminants. Each valve is individually wrapped and sealed in polyethylene before shipment.

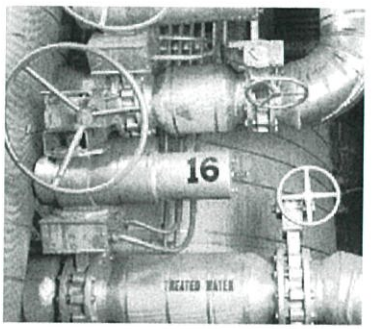
SOUR GAS
Selected materials of construction meeting NACE standards (MR-01-75) permit ready application and maximum serviceability in these difficult services.

DEAD-END SERVICE
Bray/McCannalok lug bodies for bidirectional dead-end service are offered as standard in full ANSI Class 150, 300 and 600 ratings.

U.S. COAST GUARD APPROVED
The Bray/McCannalok High Performance Valve has been approved by the U.S. Coast Guard and American Bureau of Shipping for category A and P applications.

Series 40 valves can be optionally supplied in a number of different seat and body materials, including:

- PTFE and UHMWPE seats with resilient energizer.
- Fluorosilicone inner O-rings for methylene chloride service.
- FIRE SAFE graphite/carbon fiber or similar packing for fire safe or high temperature service.
- Hastelloy C bodies for hydrogen–cyanide service.
- Aluminum bronze bodies for marine environments.
- Longer stem lengths to accommodate differing control areas.
- Alloy 20 trim for sulfuric acid service.
- Monel discs for Chlorine service.
- Duplex, Superduplex and Super-austenitic stainless trims for salt water services.
- Many other materials are also available, please consult the Bray factory.



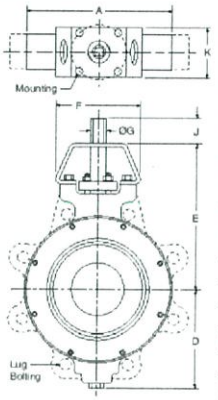
DIMENSIONS

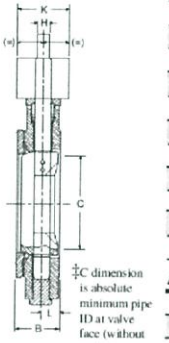
Dimensions are in inches and weights in lbs.

Weights are for Cast Steel bodies, ex-cept when noted by *.

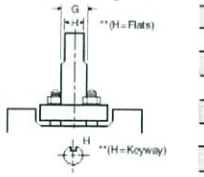
* Flame cut body weights.

Flame Cut Steel and SS bodies vary. Please consult factory.





‡C dimension is absolute minimum pipe ID at valve face (without gasket).



* * Keyway is applicable on valve sizes 14"-54" Class 150, 10"-48" Class 300, and 8"-30" Class 600.

ANSI 150 Series 40 — Series 41 — **WEIGHTS**

Valve Size ins	Valve Size mm	A	B	C‡	D	E	F	Mounting Data BCD	Mounting Data No. Holes	Mounting Data Hole Dia.	G	H**	J	K	L	Lug Bolting Data BCD	Lug Bolting Data No. Holes	Lug Bolting Data Threads UNC-2B	Series 40	Series 41
2½	65	4.75	1.88	2.28	3.81	6.38	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.77	5.50	4	5/8-11	13	14
3	80	5.25	1.88	2.86	4.09	6.63	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.77	6.00	4	5/8-11	16	15
4	100	6.75	2.03	3.72	4.71	7.50	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.75	7.50	8	5/8-11	20	23
5	125	7.50	2.23	4.80	5.07	7.50	5.12	2.76	4	0.38	0.75	0.51	1.25	4.50	0.94	8.50	8	3/4-10	26	34
6	150	8.62	2.23	5.88	5.57	8.00	5.12	2.76	4	0.38	0.75	0.51	1.25	4.50	0.94	9.50	8	3/4-10	33	47
8	200	10.75	2.40	7.80	6.94	9.50	5.12	4.92	4	0.53	0.87	0.63	1.25	4.50	0.94	11.75	8	3/4-10	46	54
10	250	13.06	2.75	9.78	8.56	10.75	6.12	4.92	4	0.53	1.18	0.87	2.00	4.50	1.07	14.25	12	7/8-9	79	94
12	300	15.50	3.08	11.74	10.18	12.25	6.12	4.92	4	0.53	1.18	0.87	2.00	4.50	1.13	17.00	12	7/8-9	123	136
14	350	17.50	3.73	12.90	11.95	14.50	7.75	4.92	4	0.53	1.38	.39x.39	2.00	6.50	1.42	18.75	12	1-8	208	227
16	400	19.81	4.11	14.68	12.94	17.75	10.38	6.50	4	0.81	1.97	.47x.39	2.50	6.50	1.66	21.25	16	1-8	313	345
18	450	21.41	4.61	16.60	14.15	20.00	10.38	6.50	4	0.81	1.97	.47x.39	2.50	6.50	1.86	22.75	16	1¼-8	402	442
20	500	23.68	5.03	18.50	15.26	22.75	10.38	6.50	4	0.81	2.50	.62x.62	4.00	6.50	2.06	25.00	20	1¼-8	527	604
24	600	28.00	6.00	22.50	18.21	25.00	15.38	10.00	8	0.67	3.00	.75x.75	4.00	11.75	2.44	29.50	20	1¼-8	813	930
26	650	29.50	6.50	22.36	19.23	25.00	15.38	10.00	8	0.67	3.00	.75x.75	4.00	11.75	2.81	31.75	24	1¼-8	970*	1280*
28	700	32.41	6.50	26.47	20.54	26.75	15.38	10.00	8	0.67	3.00	.75x.75	4.00	11.75	2.81	34.00	28	1¼-8	1115	1300
30	750	34.50	7.50	28.31	21.36	28.75	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.10	36.00	28	1¼-8	1475	1740
32	800	37.62	7.50	30.19	22.36	30.00	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.22	38.50	28	1½-8	1650*	2060*
34	850	39.62	7.75	30.13	23.86	30.00	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.35	40.50	32	1½-8	1890*	2340*
36	900	40.68	8.26	34.00	25.27	33.00	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.63	42.75	32	1½-8	1960	2600
40	1000	51.00	9.50	36.99	27.25	37.00	19.50	11.73	8	0.81	4.50	1.0x.75	5.25	13.50	4.38	47.25	36	1½-8	3850*	3950*
42	1050	53.31	9.50	39.05	29.37	38.00	19.50	11.73	8	0.81	4.50	1.0x.75	5.25	13.50	4.38	49.50	36	1½-8	4250*	4300
48	1200	54.00	10.00	46.09	33.12	42.13	24.00	14.02	8	1.25	5.00	125x.88	6.00	16.00	4.50	56.00	44	1½-8	4610*	5680*
54	1400	66.38	10.75	52.45	35.65	45.50	24.00	14.02	8	1.25	6.00	1.5x1.0	6.50	16.00	4.75	62.75	44	1¾-8	7100*	7210*

ANSI 300 Series 42 — Series 43 — S42 S43

2½	65	4.75	1.88	2.28	3.81	6.38	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.77	5.88	8	3/4-10	13	15
3	80	5.25	1.88	2.86	4.09	6.63	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.77	6.62	8	3/4-10	16	17
4	100	6.75	2.03	3.72	4.71	7.50	4.36	2.76	4	0.38	0.63	0.43	1.25	2.50	0.75	7.88	8	3/4-10	20	23
5	125	8.25	2.23	4.80	5.13	8.00	5.12	2.76	4	0.38	0.75	0.51	1.25	4.50	0.94	9.25	8	3/4-10	33	39
6	150	8.88	2.42	5.75	6.25	8.75	5.12	4.92	4	0.53	0.87	0.63	1.25	4.50	0.97	10.62	12	3/4-10	40	54
8	200	10.94	2.82	7.56	7.55	10.00	6.12	4.92	4	0.53	1.18	0.87	2.00	4.50	1.10	13.00	12	7/8-9	68	89
10	250	13.26	3.28	9.44	9.36	11.38	6.12	4.92	4	0.53	1.38	.39x.39	2.00	4.50	1.28	15.25	16	1-8	113	144
12	300	15.57	3.62	11.31	10.89	13.50	7.75	4.92	4	0.53	1.38	.39x.39	2.00	6.50	1.40	17.75	16	1⅛-8	173	217
14	350	17.90	4.66	11.38	12.50	18.25	10.38	6.50	4	0.81	1.97	.47x.39	2.50	6.50	2.13	20.25	20	1⅛-8	328	444
16	400	19.94	5.35	14.31	13.88	21.00	10.38	6.50	4	0.81	2.50	.62x.62	4.00	6.50	2.50	22.50	20	1¼-8	455	592
18	450	22.00	5.98	15.00	15.43	21.00	15.38	10.00	8	0.67	2.50	.62x.62	4.00	11.75	2.65	24.75	24	1¼-8	605	856
20	500	24.10	6.34	16.50	16.80	22.25	15.38	10.00	8	0.67	3.00	.75x.75	4.00	11.75	2.90	27.00	24	1¼-8	780	1050
24	600	28.88	7.15	20.68	19.80	26.25	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.40	32.00	24	1½-8	1260	1720
30	750	35.12	8.98	26.81	23.40	32.25	24.00	14.02	8	1.25	4.50	1.0x.75	5.25	16.00	4.38	39.25	28	1¾-8	2260	3010
36	900	42.00	10.67	33.13	27.12	36.25	24.00	14.02	8	1.25	5.00	125x.88	6.00	16.00	5.23	46.00	32	2-8	3320	4400
42	1050	50.75	11.50	38.88	29.25	40.50	26.00	15.98	8	1.50	6.00	1.5x1.0	6.50	18.70	5.13	47.50	32	1⅞-8	5000*	4700
48	1200	57.75	12.50	45.75	33.16	44.75	29.00	19.02	12	1.50	7.00	175x1.5	7.50	22.00	5.50	54.00	32	1⅞-8	—*	7000

ANSI 600 Series 44 — Series 45 — S44 S45

3	80	5.78	2.22	2.75	5.71	7.00	5.12	2.76	4	0.38	0.75	0.51	1.25	4.50	0.90	6.62	8	3/4-10	24*	31*
4	100	7.00	2.77	3.56	7.04	8.50	5.12	4.92	4	0.53	0.87	0.63	1.25	4.50	1.15	8.50	8	7/8-9	41*	58‡
6	150	9.75	3.34	5.38	8.57	9.75	6.12	4.92	4	0.53	1.18	0.87	2.00	4.50	1.50	11.50	12	1-8	79*	119*
8	200	11.80	4.23	6.88	10.80	12.25	7.75	6.50	4	0.81	1.38	.39x.39	2.00	6.50	1.90	13.75	12	1⅛-8	155*	227*
10	250	14.09	4.82	8.50	14.62	17.00	10.38	6.50	4	0.81	1.97	.47x.39	2.50	6.50	2.15	17.00	16	1¼-8	280*	400*
12	300	16.47	5.51	10.12	15.72	18.25	10.38	6.50	4	0.81	1.97	.47x.39	2.50	6.50	2.53	19.25	20	1¼-8	386*	547*
14	350	18.03	6.09	10.88	17.48	19.75	15.38	10.00	8	0.67	2.50	.62x.62	4.00	11.75	2.90	20.75	20	1⅜-8	549*	750*
16	400	20.38	7.00	12.62	19.41	21.75	15.38	10.00	8	0.67	3.00	.75x.75	4.00	11.75	3.44	23.75	20	1½-8	752*	1100*
18	450	23.15	7.75	14.60	21.05	23.75	19.50	11.73	8	0.81	3.50	.88x.62	5.25	13.50	3.60	25.75	20	1½-8	1090*	1470*
20	500	25.15	8.50	16.37	23.21	25.75	19.50	11.73	8	0.81	4.00	1.0x.75	5.25	13.50	3.88	28.50	24	1⅝-8	1360*	1850*
24	600	29.38	9.13	19.87	27.71	31.00	24.00	14.02	8	1.25	5.00	125x.88	6.00	16.00	3.94	33.00	24	1⅞-8	2160*	2900*
30	750	36.00	11.25	26.50	31.50	36.00	26.00	15.98	8	1.50	6.00	1.5x1.0	6.50	18.70	5.00	40.25	28	2-8	3500*	4700*

C_v VALUES–VALVE SIZING COEFFICIENT

ANSI 150 Series 40 / 41

Valve Size		Disc Position (degrees)								
ins	mm	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
2½	65	160	136	100	78	50	30	16	8	3
3	80	185	178	155	123	87	56	32	14	4.8
4	100	375	365	315	250	175	115	63	31	10
5	125	790	675	500	360	238	146	78	41	16
6	150	1350	1070	750	510	330	218	140	81	35
8	200	2800	2230	1590	1060	685	456	280	165	65
10	250	4300	3450	2430	1630	1050	700	450	250	100
12	300	6650	5330	3750	2530	1630	1080	700	390	155
14	350	7650	6100	4300	2900	1890	1250	810	450	175
16	400	9800	7860	5510	3700	2420	1530	1020	580	230
18	450	10500	9100	6960	5100	3520	2220	1180	500	170
20	500	13500	11700	8800	6500	4500	2820	1530	640	200
24	600	20000	17100	12800	9570	6640	3880	2200	920	240
26	650	20000	17100	12800	9570	6640	3880	2200	920	240
28	700	28000	23900	18200	13500	9300	5700	3100	1300	290
30	750	32000	27300	20900	15500	10700	6700	3600	1510	320
32	800	34000	29100	22300	16500	11400	7150	3850	1610	340
34	850	34000	29100	22300	16500	11400	7150	3850	1610	340
36	900	48500	41100	31700	23200	16400	10200	5430	2260	480
40	1000	62000	55200	44000	33300	23800	15200	8600	3520	670
42	1050	65000	58000	46100	35000	25000	16000	9000	3700	700
48	1200	91000	80900	63700	43600	29100	20000	11000	4600	920
54	1400	125000	111000	87500	60000	40000	27500	15000	6000	1200

ANSI 300 Series 42 / 43

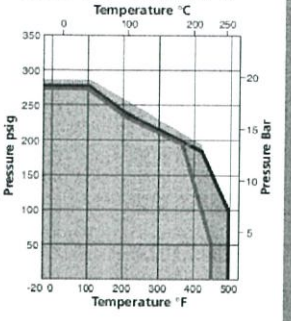
2½	65	160	136	100	78	50	30	16	8	3
3	80	185	178	155	123	87	56	32	14	4.8
4	100	375	365	315	250	175	115	63	31	10
5	125	790	675	500	360	238	146	78	41	16
6	150	1000	875	710	530	370	240	138	79	26
8	200	2000	1720	1360	950	630	405	240	121	47
10	250	2650	2250	1740	1200	780	510	295	150	61
12	300	4000	3400	2500	1690	1100	710	430	220	92
14	350	4100	3500	2600	1770	1200	830	490	240	100
16	400	7800	6540	4550	2970	1840	1160	730	420	180
18	450	9500	8000	6170	4530	3110	1970	1080	440	94
20	500	11000	9570	7300	5400	3720	2330	1250	530	110
24	600	18000	15100	11400	8570	5920	3700	2000	830	180
30	750	29000	24400	18900	13700	8500	6000	3230	1330	290
36	900	45000	38100	29200	21000	14800	9100	4660	1730	380
42	1050	60000	54000	42000	30000	19000	13000	7500	2600	450
48	1200	83000	74000	58000	41000	26000	17000	10000	4400	800

ANSI 600 Series 44 / 45

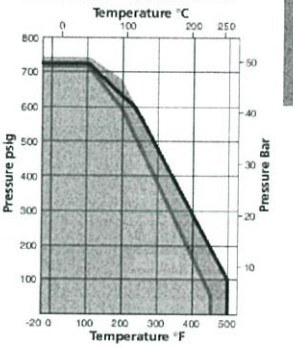
3	80	165	158	135	103	67	46	12	8	3
4	100	300	270	210	150	95	70	45	30	5
6	150	850	765	600	425	270	200	130	70	15
8	200	1500	1350	1050	750	480	345	209	78	20
10	250	2200	1970	1540	1100	700	500	300	140	40
12	300	3100	2790	2170	1550	1000	680	400	190	55
14	350	3900	3300	2400	1570	1100	730	420	200	70
16	400	5000	4200	2900	1900	1200	800	500	250	95
18	450	6000	5000	3900	2800	1900	1200	660	290	130
20	500	8000	6900	5300	3900	2700	1700	950	400	143
24	600	11000	9300	7000	5200	3600	2250	1200	500	180
30	750	15000	13000	10000	8400	5100	2800	1650	600	200

PRESSURE / TEMPERATURE

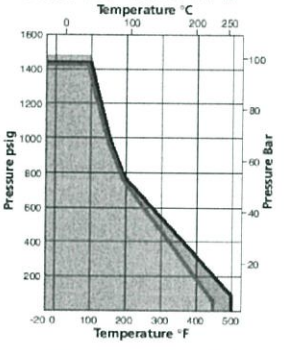
ANSI 150 Series 40 / 41



ANSI 300 Series 42 / 43



ANSI 600 Series 44 / 45



- Carbon Steel Bodies RTFE Seats
- Stainless Steel Bodies RTFE Seats
- Carbon Steel Bodies PTFE Seats
- Stainless Steel Bodies PTFE Seats

Note: Refer to Bray Technical Bulletin No.1168 for additional information on Pressure/Temperature Curves.

C_v is defined as the volume of water in U.S.G.P.M. that will flow through a given restriction or valve opening with a pressure drop of one (1) p.s.i. at room temperature. Recommended control angles are between 25°–70° open. Preferred angle for control valve sizing is 60°–65° open.

SEATING/UNSEATING TORQUES (LB-INS)

The values in the following Torque Charts for standard valves are for normal, wet media applications. Note that seating/unseating torque is always lower with the seat retainer installed upstream. Please consult Bray Technical Bulletin No. 1146 for discussion on service torque classes applicable to standard valves. If the media is lubricious, such as oil, the values in the Torque Charts should be multiplied by 0.9. If the media is abrasive or dry and thus a severe application, the values in charts should be multiplied by 1.3. For firesafe valves, the operating torque should be taken directly from the charts, with due consideration for the location of the seat retainer. No reduction or multiplication factors should be used to determine torque of firesafe valves.

These torque figures are seating and unseating torques. Dynamic torques should also be determined in the event dynamic torques are greater than the seating/unseating torques. Refer to Bray Technical Bulletin No. 1172 for dynamic torques.

ANSI 150 Series 40 / 41 Standard

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)							
	Less than 150		150 – 200		200 – 250		250 – 285	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
2 1/2	170	200	190	240	210	280	215	300
3	185	220	210	260	225	300	230	320
4	275	320	300	370	315	420	320	460
5	550	650	640	800	705	940	730	1040
6	690	810	770	960	825	1100	840	1200
8	1280	1500	1400	1700	1500	1950	1570	2100
10	2400	2800	2640	3300	2820	3760	2870	4100
12	3500	4100	4000	5000	4400	5900	4550	6500
14	5400	6300	5920	7400	6400	8500	6650	9500
16	7700	9100	9040	11300	10100	13500	10500	15000
18	11900	14000	13600	17000	15000	20000	15400	22000
20	15300	18000	17100	21300	18500	24700	18900	27000
24	24650	29000	27680	34600	30000	40100	30800	44000
26	24650	29000	27680	34600	30000	40100	30800	44000
28	34850	41000	37600	47000	44300	59200	44500	63500
30	39950	47000	42960	53700	50800	67700	52500	75000
32	45000	53000	48800	61000	57600	76800	58800	84000
34	45000	53000	48800	61000	57600	76800	58800	84000
36	54000	64000	64800	81000	73500	98000	77000	110000
40	62000	73000	73600	92000	82500	110000	84700	121000
42	71000	83000	84000	105000	95250	127000	101000	143000
48	98000	115000	121600	152000	142500	190000	151900	217000
54	136000	160000	169600	212000	198000	265000	211400	302000

ANSI 150 Series 40 / 41 Fire Safe

2 1/2	680	720	690	770	700	810	710	840
3	750	800	760	830	770	870	780	900
4	850	900	880	980	890	1050	910	1100
5	1420	1500	1470	1630	1500	1750	1600	1850
6	1660	1750	1690	1880	1800	2000	1900	2100
8	2600	2800	2690	2950	2750	3100	2860	3200
10	3900	4200	4100	4530	4250	4860	4400	5100
12	6500	6900	6600	7350	6700	7790	6900	8100
14	12300	13000	12600	14000	13200	15500	13600	17000
16	15200	16000	15800	17600	16300	19200	16320	20400
18	18000	19000	18900	21000	19000	22500	19200	24000
20	21800	23000	22500	25000	23800	28000	28800	36000
24	31000	33000	34200	38000	37400	44000	50400	63000

ANSI 300 Series 42 / 43 Standard

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)							
	Less than 150		150 – 350		350 – 550		550 – 740	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
2 1/2	170	200	290	360	380	510	470	670
3	185	220	310	380	400	530	490	690
4	270	320	420	530	550	730	700	1000
5	550	650	1000	1250	1390	1850	1800	2550
6	850	1000	1320	1650	1720	2300	2100	3000
8	1580	1850	2480	3100	3230	4300	3700	5300
10	2800	3300	4400	5500	5700	7600	7000	10000
12	4250	5000	6640	8300	8630	11500	10500	15000
14	7300	8600	10720	13400	13700	18300	15400	22000
16	11900	14000	17200	21500	21800	29000	26600	38000
18	15300	18000	21600	27000	27100	36100	31500	45000
20	20400	24000	29400	36700	37000	49300	42700	61000
24	32300	38000	45600	57000	57500	76700	66500	95000
30	68000	80000	101600	127000	129000	172000	147000	210000
36	101150	119000	144000	180000	180000	240000	203000	290000
42	115600	136000	168000	210000	222000	296000	278600	398000
48	127500	150000	217600	272000	321000	428000	403200	576000

ANSI 300 Series 42 / 43 Fire Safe

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)			
	Less than 150		150 – 350	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
2 1/2	680	720	775	860
3	750	800	855	950
4	850	900	1080	1200
5	1420	1500	2070	2300
6	2000	2100	2610	2900
8	3000	3150	3870	4300
10	6900	7300	9180	10200
12	10450	11000	13200	14700
14	18050	19000	21600	24000
16	26600	28000	34200	38000

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)			
	350 – 550		550 – 740	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
2 1/2	860	1010	880	1100
3	935	1100	960	1200
4	1275	1500	1360	1700
5	2635	3100	2880	3600
6	3150	3700	3440	4300
8	4675	5500	4960	6200
10	11050	13000	12000	15000
12	15640	18400	16800	21000
14	22100	26000	22400	28000
16	37400	44000	39200	49000

ANSI 600 Series 44 / 45

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)			
	Less than 150		150 – 600	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
3	400	480	700	870
4	850	960	1280	1600
6	1450	1700	2560	3200
8	3500	4100	5760	7200
10	7100	8300	9600	12000
12	10100	11800	11200	14000
14	11900	14000	19200	24000
16	14000	16500	28400	35500
18	16200	19000	34400	43000
20	21300	25000	45600	57000
24	33000	39000	71000	89000
30	71000	83000	137000	172000

Valve Size	System Pressure ΔP (PSIG)			
	600 – 1050		1050 – 1480	
ins	Retainer Upstream	Retainer Downstream	Retainer Upstream	Retainer Downstream
3	900	1200	1000	1450
4	1580	2100	1900	2700
6	3450	4600	4100	5800
8	7600	10100	9800	14000
10	13500	18000	16800	24000
12	19500	26000	21000	30000
14	24800	33000	30000	43000
16	34500	46000	45500	65000
18	49000	65000	64400	92000
20	66000	88000	87000	124000
24	94000	125000	123000	175000
30	180000	240000	217000	310000

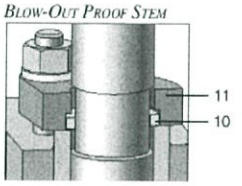
MATERIALS OF CONSTRUCTION

Item	Name	Material
1	Body	Stainless Steel, ASTM A351 GR CF8M Carbon Steel, ASTM A216 GR WCB / A516 GR 70
2	Disc	Stainless Steel, ASTM A351 GR CF8M – Standard with Electroless Nickel Plating on disc edge – FIRE SAFE
3	Stem	17-4 PH SS, ASTM A564-Type 630
4	Taper Pins	17-4 PH SS, ASTM A564-Type 630
5	Disc Spacers	316 Stainless Steel, ASTM 276 Type 316
6	Bearing Assembly	316 Stainless Steel with TFE & Glass Fabric Liner
7	Gland Ring	316 Stainless Steel, ASTM 276 Type 316
8	Stem Seal	PTFE rings plus 1 Carbon Fiber ring – Standard Valve Flexible Graphite rings – FIRE SAFE Valve
9	Thrust Washer	316 Stainless Steel, ASTM 276 Type 316
10	Retaining Ring	18-8 Stainless Steel
11	Gland Retainer	316 Stainless Steel, ASTM A351 CF8M Carbon Steel, ASTM A216 GR WCB / A516 GR 70
12	Stud	316 Stainless Steel, ASTM A193-B8M
13	Lock Washers	18-8 Stainless Steel
14	Hex Nut	18-8 Stainless Steel
15	Seat Assembly	RTFE^ with Silicone Rubber Energizer PTFE with Silicone Rubber Energizer
16	Seat Retainer Plate	Stainless Steel, ASTM A351 CF8M / A240-316 Carbon Steel, ASTM A216 GR WCB / A516 GR 70
17	Cap Screws	18-8 Stainless Steel Alloy Steel
18	Gasket	PTFE – Standard Valve Flexible Graphite – FIRE SAFE Valve
19	Locating Plug	316 Stainless Steel, ASTM 276 Type 316 / A240-316 Carbon Steel, Phosphate Coated
20	Mounting Plate	18-8 Stainless Steel Carbon Steel, Phosphate Coated
21	Cap Screws	18-8 Stainless Steel Alloy Steel
22	Lock Washers	18-8 Stainless Steel Alloy Steel
23	Metal Seat‡‡	Inconel® 718, ASTM B670
24	Gasket‡‡	Flexible Graphite

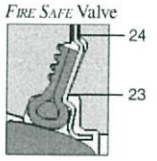
Not Shown: Bellville Washer and Grounding Washer: 18-8 Stainless Steel, for 14"–54" Class 150, 14"–48" Class 300 and 10"–30" Class 600 valves

^ RTFE is supplied by Bray as RPTFE (reinforced polytetrafluoroethylene).
‡‡ FIRE SAFE Valve only.
Other materials are available, please consult factory for your specific application.

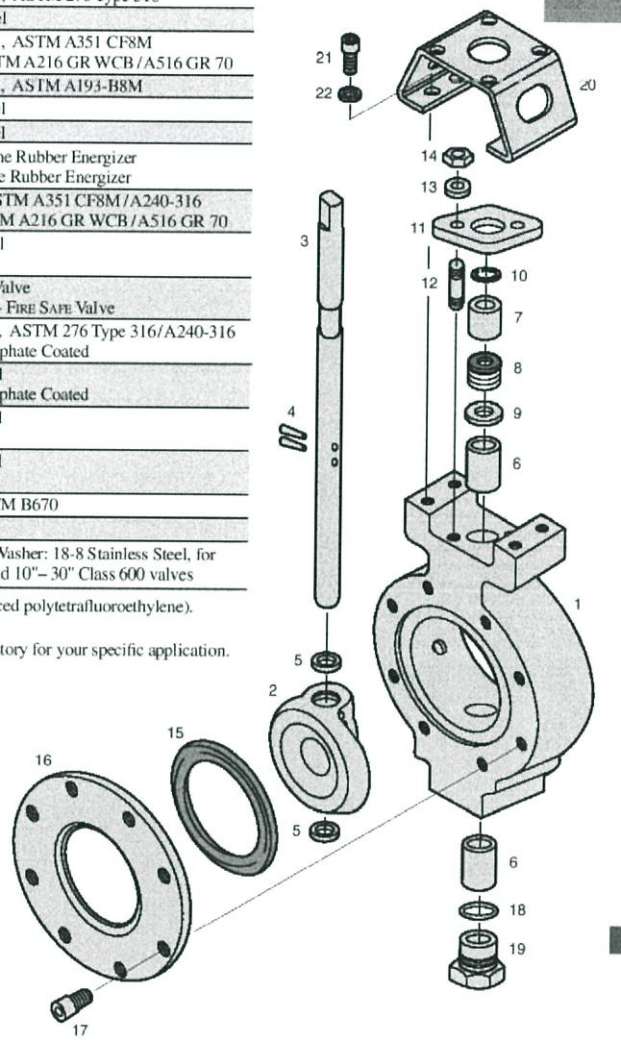
BLOW-OUT PROOF STEM



FIRE SAFE Valve



Exploded View
Series 40



exida CERTIFICATION

The manufacturer may use the mark:

Valid until May 1, 2016.
Revision 2.0 April 22, 2013

ANSI

ANSI Accredited Program
PRODUCT CERTIFICATION
#1004

Certificate / Certificat
Zertifikat / 合格証

BRA 071219 C004

exida hereby confirms that the:

Series 40, 41, 42, 43, 44, 45 & 4A Butterfly Valves

Bray International Inc. Houston, Texas - USA

Has been assessed per the relevant requirements of:

IEC 61508 : 2010 Parts 1-7

and meets requirements providing a level of integrity to:

Systematic Capability: SC 3 (SIL 3 Capable)

Random Capability: Type A Element

PFD_{AVG} and Architecture Constraints must be verified for each application

Safety Function:
The Butterfly Valve will move to the designed safe position per the actuator design within the specified safety time.

Application Restrictions:
The unit must be properly designed into a Safety Instrumented Function per the Safety Manual requirements.

Evaluating Assessor

Certifying Assessor

Series 40, 41, 42, 43, 44, 45 & 4A Butterfly Valves

Certificate / Certificat / Zertifikat / 合格証

BRA 071219 C004

Systematic Capability: SC 3 (SIL 3 Capable)

Random Capability: Type A Element

PFD_{AVG} and Architecture Constraints must be verified for each application

Systematic Capability :

The product has met manufacturer design process requirements of Safety Integrity Level (SIL) 3. These are intended to achieve sufficient integrity against systematic errors of design by the manufacturer.

A Safety Instrumented Function (SIF) designed with this product must not be used at a SIL level higher than stated.

Random Capability:

The SIL limit imposed by the Architectural Constraints for each element.

IEC 61508 Failure Rates in FIT*

Application	λ_{SD}	λ_{SU}	λ_{DD}	λ_{DU}
Full Stroke, Clean Service	0	0	0	586
Tight Shut-Off, Clean Service	0	0	0	1310
Open to Trip, Clean Service	0	122	0	463
Full Stroke with PVST, Clean Service	0	0	197	389
Tight Shut-Off with PVST, Clean Service	0	0	197	1113
Open to Trip with PVST, Clean Service	121	1	197	266

SIL Verification:

The Safety Integrity Level (SIL) of an entire Safety Instrumented Function (SIF) must be verified via a calculation of PFD_{AVG} considering redundant architectures, proof test interval, proof test effectiveness, any automatic diagnostics, average repair time and the specific failure rates of all products included in the SIF. Each subsystem must be checked to assure compliance with minimum hardware fault tolerance (HFT) requirements.

The following documents are a mandatory part of certification:

Assessment Report: BRA 07-12-19 R009, V2, R1

Safety Manual: SM-1001, Series 40/4X McCannalok Safety Manual

* FIT = 1 failure / 10^9 hours

exida CERTIFICATION

64 N Main St
Sellersville, PA 18960

T-002, V3R1-3

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของ Guided Wave Radar Series 5300

Specification Sheet
Guided Wave Radar

Sheet	1	of	2
Spec No.			
Rev.			
Contract			
P.O.			
Req.			
Checked			
Approved			

Customer: The Bangchak Petroleum Public Company Limited
Project: GWR for Column 2C-2801
Unit:

MODEL 5302

GENERAL	1	Application/File Tag:	Blank (LT-005)			
	2	Process Name:	Isomerate to storage			
	3	Industry Type:	Oil and Gas			
PROCESS INFORMATION	4	Measurement Type	5302 - Level			
	5		**Minimum**	**Maximum**	**Unit**	
	6	Temperature	130.00	146.00	C	
	7	Pressure	9.68	14.30	bar-g	
	8	Media State	Liquid			
	9	Upper Product	Isomerate			
	10	Upper Product Dielectric Constant	>1.4 to 1.6			
	11	Lower Product (Interface)				
	12	Lower Product Dielectric Constant (Ir				
	13	Product Viscosity	1-5 cSt (like water)			
	14	Upper Product Thickness				
	15	Vapor Dielectric	1.0			
	16	Surface Conditions	Calm surface or slight turbulence			
	17	Coating Potential	None			
	18	Foam Type	None			
	19	Foam Presence				
	20	Foam Thickness				
	21	Surface to Measure				
	22	Emulsion Layer				
	23	Thickness				
	24	Condensing Vapors	None			
	25	Crystallizing Liquids	no			
	26	Dust Present (Solids only)				
	27	Abrasive Media (Solids only)				
	28	Particle Description (Solids only)				
	29	Density (Solids only)				
TANK	30	Tank Height				
	31	Tank Diameter				
	32	Tank Shape	Chamber			
	33	Tank Bottom	Side and Side			
	34	Tank Material				
	35	Tank Wall Surface				
	36	Heating Coils or Obstructions?				
	37	Metallic Objects?				
TANK - VOLUME	38	Tank Shape—Volume:				
	39	Tank Height—Volume:				
	40	Tank Diameter—Volume:				

Guided Wave Radar Specification Sheet

			Sheet	2	of	2		
CHAMBERS or STILLING WELLS	41	Model Number						
	42	Chamber/Well Diameter	80.000	mm				
	43	Stilling Well Height						
	44	Chamber Height						
	45	Dimension "A"	200.0	mm				
	46	Dimension "B"	100	mm				
	47	Dimension "C"	1170	mm				
	48	Chamber Material						
FITTINGS	49	Fitting Type	Chamber					
	50	Fitting Connection	Flanged					
	51	Industry Standard	ANSI					
	52	Connection Size	3"					
	53	Pressure Rating	Class 300					
	54	Upper Null Zone	0.0	mm				
	55	Nozzle Length						
	56	Nozzle Diameter						
	57	Nozzle Distance from Tank Wall						
	58	Probe Mounting Angle (degrees)	0					
VARIABLES	59	Primary Variable	Level					
	60	Upper Range Value	1170.0	mm				
	61	Lower Range Value	0.0	mm				
	62	Secondary Variable						
	63	Tertiary Variable						
	64	Quaternary Variable						

Specification Sheet
Guided Wave Radar

Sheet	1	of	2
Spec No.			
Rev.			
Contract			
P.O.			
Req.			
Checked			
Approved			

Customer: The Bangchak Petroleum Public Company Limited
Project: GWR for Column 2C-2801
Unit:

MODEL 5302

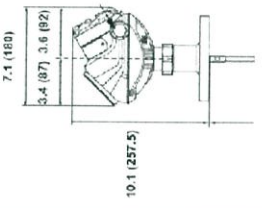
TRANSMITTER	65	Manufacturer	Rosemount
	66	Model Number	5302HA1S1V4AM00142BBE1M1Q4Q8QTT1
	67	Signal Output	4-20 mA with HART communication
	68	Housing Material	Polyurethane-covered Aluminum
	69	Conduit Threads	1/2 14 NPT
	70	Operating Temp/Pressure	- 15 psig (-1bar) to 580 psig (40 bar) @ 302 deg F (150 deg C)
	71	Wetted Materials	316L SST (EN 1.4404)
	72	O-Ring Material	Viton fluoroelastomer
	73	Probe Type	Rigid Single Lead
	74	Probe Length Units	Metric (meters, centimeters)
	75	Probe Length	1 (feet/m) 42 (in./cm)
	76	Process Connection	3 in. ANSI, 300 lb
	77	Harardous Location	ATEX Flame-Proof
OPTIONS	78	Display Type	Integral Digital display
	79	Special Tagging	
	80	Hydrostatic Testing	
	81	Factory Config	
	82	Alarm Limits	
	83	Installation Options	
	84	Terminal Block	Transient Protection Terminal Block
	85	Guaranteed Startup	
	86	Centering Disk	
	87	Overfill	
	88	Remote Mount Housing	
	89	Specials	
CERTIFICATIONS	90	Certifications	Calibration Data Certification
	91	Certifications	
	92	Certifications	Material Traceability Certification per EN 10204 3.1

This report is provided according to the terms and conditions of the Instrument Toolkit(TM) End-Use Customer License Agreement.
Version: 3.0 (Build195B)

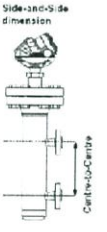
Printed: 26/10/2016

RIGID SINGLE LEAD PROBE WITH FLANGE CONNECTION

STD TEMP & PRESSURE VERSION



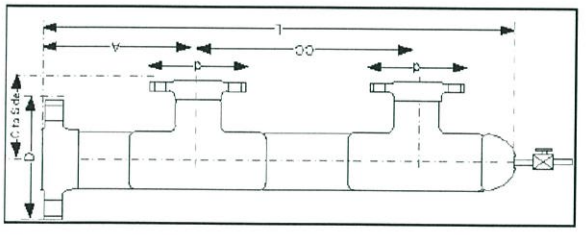
Example Typical Installation



NOTE : CHAMBER OUT OF SCOPE (Customer's Scope)

Chamber Recommend 3 In Sch 80 Chameber Length Min 1,470 mm.

Examble Chamber Recommend



Note :
A =200 mm
CC = 1170 mm

The manufacturer may use the mark:

Revision 1.3 October 31, 2016
Surveillance Audit Due
November 1, 2019

ANSI Accredited Program
PRODUCT CERTIFICATION
#1004

Certificate / Certificat
Zertifikat / 合格証

ROS 1306005 C001

exida hereby confirms that the:

Rosemount 5300 Series 4-20mA HART Guide Wave Radar and Interface Transmitter

Device Label SW 2.A1 – 2.J0

Rosemount Tank Radar

(an Emerson Process Management company)

Gothenburg, Sweden

Has been assessed per the relevant requirements of:

IEC 61508 : 2010 Parts 1-7

and meets requirements providing a level of integrity to:

Systematic Capability: SC 3 (SIL 3 Capable)

Random Capability: Type B Element

SIL 2@HFT=0 SIL 3@HFT=1, Route 1_H

SIL 2@HFT=0 SIL 3@HFT=1, Route 2_H

PFD_{AVG} and Architecture Constraints must be verified for each application

Safety Function:
The 5300 Series Transmitter will measure Level within the stated safety accuracy.

Application Restrictions:
The unit must be properly designed into a Safety Instrumented Function per the Safety Manual requirements.

John C Yozallinas
Evaluating Assessor

David Smith
Certifying Assessor

Page 1 of 2

5300 Series Level Transmitter

80 N Main St
Sellersville, PA 18960

T-002, V3R10

Certificate / Certificat / Zertifikat / 合格証

ROS 1306005 C001

Systematic Capability: SC 3 (SIL 3 Capable)

Random Capability: Type B Element

SIL 2@HFT=0 SIL 3@HFT=1, Route 1_H

SIL 2@HFT=0 SIL 3@HFT=1, Route 2_H

PFD_{AVG} and Architecture Constraints must be verified for each application

Systematic Capability:

The product has met manufacturer design process requirements of Safety Integrity Level (SIL) 3. These are intended to achieve sufficient integrity against systematic errors of design by the manufacturer.

A Safety Instrumented Function (SIF) designed with this product must not be used at a SIL level higher than stated.

Random Capability:

The SIL limit imposed by the Architectural Constraints must be met for each element. This device meets *exida* criteria for Route 2_H.

IEC 61508 Failure Rates in FIT*

Device, Route 1_H	λ_{SD}	λ_{SU}	λ_{DD}	λ_{DU}	SFF
Rosemount 5300 Series 4-20mA HART Guided Wave Radar Level and Interface Transmitter	0	60	961	94	91.5%

Device, Route 2_H [1]	λ_{SD}	λ_{SU}	λ_{DD}	λ_{DU}
Rosemount 5300 Series 4-20mA HART Guided Wave Radar Level and Interface Transmitter	0	60	961	94

* FIT = 1 failure / 10^9 hours

[1] SFF not required for devices certified using Route 2H data. For information detailing the Route 2H approach as defined by IEC 61508-2, see Technical Document entitled "Route 2H SIL Verification for Rosemount Type B Transmitters with Type A Components".

SIL Verification:

The Safety Integrity Level (SIL) of an entire Safety Instrumented Function (SIF) must be verified via a calculation of PFD_{avg} considering redundant architectures, proof test interval, proof test effectiveness, any automatic diagnostics, average repair time and the specific failure rates of all products included in the SIF. Each element must be checked to assure compliance with minimum hardware fault tolerance (HFT) requirements.

The following documents are a mandatory part of certification:

Assessment Report: ROS 13-06-005 R002 V1 R4

Safety Manual: #00809-0100-4530

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวณหทัย แย้มนิล
วัน เดือน ปีเกิด	15 มีนาคม 2538
ที่อยู่	68 ม.2 ต.ช่องสะแก อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
Email	ynahatai@gmail.com
โทรศัพท์	081-5734692

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2553 – 2555 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี
- พ.ศ. 2556 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน แผนก Wellhead Platform Construction
  บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา แผนก Maintenance and Service
  บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)