



**รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์**

**การปรับปรุงและพัฒนาระบบวัดคุมนิรภัยในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาของหน่วย  
การผลิตที่ 3 ในโรงกลั่นน้ำมัน**

**Modification of Emergency Shutdown System for Supplying Fuel to Furnace  
in Refinery**

**คณิตสวร์ พันธุ์วัฒนสกุล**

**ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2559**



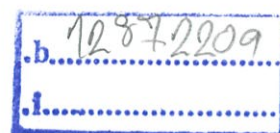
รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงและพัฒนาระบบวัดคูนิรภัยในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาของหน่วย  
การผลิตที่ 3 ในโรงกลั่นน้ำมัน

Modification of Emergency Shutdown System for Supplying Fuel to Furnace  
in Refinery

คณิศวรรค์ พันธุ์วัฒนสกุล

สงวนลิขสิทธิ์.....  
เลขทะเบียน..... 148590  
วัน,เดือน,ปี. = 6 11 2560



ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การปรับปรุงและพัฒนาระบบวัดคุมนิรภัยในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา  
ของหน่วยการผลิตที่ 3 ในโรงกลั่นน้ำมัน

ชื่อ – สกุล นักศึกษา นายคณิศร พันธุ์วัฒนสกุล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

ชื่อ – สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.เกษตร ศิริสันตสัมฤทธิ์

ชื่อ – สกุล ผู้นิเทศงาน นายสมเกียรติ ขอสินกลาง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาลบับนี้อธิบายถึงการปรับปรุงและพัฒนาระบบวัดคุมนิรภัย (Emergency Shutdown System: ESD หรือ Safety Instrumented System: SIS) สำหรับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการใช้เชื้อเพลิงจึงได้รับมอบหมายให้ศึกษาและออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยใหม่เพื่อให้มีความปลอดภัยและเสถียรภาพในการใช้งานปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การสำรวจพื้นที่ที่ทำงานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในโครงการ 2) ศึกษาข้อมูลของลอจิกควบคุมเดิมที่ใช้กับเตาเผา 3) ออกแบบลอจิกควบคุมเตาเผาใหม่ 4) การประเมินงบประมาณในการดำเนินโครงการ ซึ่งผลลัพธ์จากการศึกษาและออกแบบลอจิกควบคุมใหม่นั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริงตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการโดยได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากผู้นิเทศงานแล้ว โดยจะใช้งบประมาณในการปรับปรุงและพัฒนาประมาณ 30,000 บาท ซึ่งการศึกษาและออกแบบลอจิกควบคุมใหม่นี้จะใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการดำเนินการโครงการของทางบริษัทต่อไป

**Research Title:** Modification of Emergency Shutdown System for Supplying Fuel to Furnace in Refinery

**Student Intern Name:** Mr. Kanit Punwatanaskul

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

**Advisor Name:** Assoc. Prof. Dr. Kaset Sirisantisamrid

**Mentor Name:** Mr. Somkiat Korsinklang

**Company:** The Bangchak Petroleum Public Company Limited

## ABSTRACT

This cooperative educational report describes the development and improvement of safety instrument system that is called Emergency Shutdown System (ESD) for supplying fuel to burners of furnace. Due to the condition of fuel consumption is changed, the company assigned to study and design a new safety instrument system for security and reliability. The procedure consists of 1) Survey the field and Collection data related the project 2) Study existing logic control of furnace 3) Design a new logic control and 4) Estimate the budget of this project. The designed new logic control can be applied following to the objective of project. The budget of this project is about 30,000 THB. The result will be used as basically information for decision making of company.

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสในการไปปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจศึกษา ต้องขอขอบพระคุณบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) คุณสมเกียรติ ขอสินกลาง และคุณวันทวงศ์ วงหาญ ผู้นิเทศงาน และพนักงานบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ประสบการณ์ในการทำงาน ตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคการศึกษา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้ความเมตตาและคำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา ขอขอบพระคุณอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ต่อการทำรายงานสหกิจศึกษานี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนนักศึกษา ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานสหกิจศึกษานี้ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณิศรว์ พันธุ์วัฒนสกุล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	5
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	6
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ระบบตัวเลขที่ใช้ในระบบดิจิทัล.....	7
2.2.1 ระบบเลขฐาน.....	7
2.2.1.1 ระบบเลขฐาน 10.....	7
2.2.1.2 ระบบเลขฐาน 2.....	8
2.2.2 การคำนวณเลขฐานสอง.....	8
2.2.2.1 การบวก การลบ เลขฐาน 2.....	8
2.2.2.2 การคูณ การหาร เลขฐาน 2.....	10
2.2.3 รหัสในระบบดิจิทัล.....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ลอจิกเกต.....	12
2.3.1 เครื่องหมายที่ใช้ในสมการลอจิก.....	12
2.3.2 ตารางความจริง.....	14
2.3.3 บัฟเฟอร์เกต.....	15
2.3.4 นอตเกต.....	16
2.3.5 แอนด์เกต.....	17
2.3.6 แนนด์เกต.....	19
2.3.7 ออร์เกต.....	21
2.3.8 นอร์เกต.....	23
2.3.9 เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต.....	25
2.3.10 เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกต.....	26
2.4 ระบบนิรภัย.....	27
2.4.1 บทนำ.....	27
2.4.1.1 อุปกรณ์การวัด (Sensing Element).....	28
2.4.1.2 ตัวควบคุม (Controller).....	29
2.4.1.3 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element).....	29
2.4.1.4 เครือข่ายสื่อสารหลัก (Backbone Network).....	29
2.4.1.5 ส่วนติดต่อกับผู้ปฏิบัติการ (Human Machine Interface).....	29
2.4.1.6 ส่วนพิมพ์รายงาน (Printer).....	30
2.4.1.7 Engineering Unit.....	30
2.4.2 ระบบนิรภัย.....	32
2.4.2.1 อุปกรณ์การวัด (Sensing Element).....	34
2.4.2.2 ส่วนประมวลผล (Logic Solver).....	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.3 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element).....	34
2.4.2.4 ส่วนติดต่อกับเครือข่ายสื่อสารหลัก (Interface Unit).....	35
2.4.2.5 Engineering Unit.....	35
2.4.3 วิศวกรรมการของระบบนิรภัย.....	37
2.4.4 ระบบนิรภัยแบบประมวลผลด้วย PLC.....	40
2.5 อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบควบคุมนิรภัย.....	42
2.5.1 บทนำ.....	42
2.5.2 อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบควบคุมนิรภัย.....	42
2.5.2.1 อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ผ่านการรับรอง.....	42
2.5.2.1.1 อุปกรณ์ชนิด A (Type A).....	43
2.5.2.1.2 อุปกรณ์ชนิด B (Type B).....	43
2.5.3 อุปกรณ์การวัดนิรภัย.....	43
2.5.3.1 โปรแกรมการตรวจสอบความผิดพลาดของอุปกรณ์การวัดนิรภัย...	45
2.5.4 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element).....	49
2.5.4.1 วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve).....	49
2.6 ส่วนประมวลผล (Logic Solver).....	51
2.6.1 บทนำ.....	51
2.6.2 PLC (Programmable Logic Controller).....	52
2.6.3 การควบคุมความผิดพลาด (Failure Control Methodology).....	56
2.6.4 การเขียนโปรแกรมการทำงานของส่วนประมวลผลแบบ PLC.....	57
2.6.4.1 การเขียนโปรแกรม (Configuration).....	57
2.6.4.2 โครงสร้างโปรแกรม (Hierarchy).....	57

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.4.3 การทำงานแบบ Off-line และ On-line.....	58
2.6.4.4 ฟังก์ชันและลอจิกพื้นฐาน.....	58
<b>บทที่ 3 การออกแบบและปรับปรุงลอจิกควบคุม.....</b>	<b>62</b>
3.1 บทนำ.....	62
3.2 ศึกษาข้อกำหนดและอุปกรณ์พื้นฐานของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	62
3.2.1 ลักษณะการทำงานของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	62
3.2.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	65
3.2.2.1 วาล์วนิรภัย ESV.....	65
3.2.2.2 Ball Valve.....	67
3.2.2.3 Limit Switch.....	68
3.3 ศึกษาข้อกำหนดระบบ ESD ของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	69
3.3.1 จุดประสงค์ของการใช้งานระบบ ESD สำหรับเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	69
3.3.2 การใช้งานระบบ ESD ในเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 ในปัจจุบัน.....	69
3.3.3 ปัญหาที่พบในการใช้งาน.....	70
3.4 การปรับปรุงและแก้ไขระบบ ESD ของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3.....	71
3.4.1 จุดประสงค์ของการปรับปรุงแก้ไขลอจิกควบคุม.....	71
3.4.2 ศึกษาเงื่อนไขใหม่ของการจ่ายเชื้อเพลิง.....	71
3.4.3 การออกแบบลอจิกควบคุมระบบ ESD ใหม่ที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง.....	72

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและออกแบบลोजิกควบคุม.....	73
4.1 บทนำ.....	73
4.2 การตรวจสอบลोजิกควบคุมที่ได้ศึกษาและออกแบบใหม่.....	73
4.3 การนำเสนอโครงการที่ออกแบบและศึกษาใหม่ของระบบ ESD.....	73
4.4 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของโครงการ.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและออกแบบ ปัญหา ข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการดำเนินการ.....	76
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	76
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าประจำหลักของเลขฐาน 10.....	8
2.2 ค่าประจำหลักของเลขฐาน 2.....	8
2.3 การบวกเลขฐาน 2.....	9
2.4 การลบเลขฐาน 2.....	10
2.5 ตารางค่าความจริงของลอจิกเกตที่มี 2 อินพุต.....	14
2.6 ตารางค่าความจริงของลอจิกเกตที่มี 3 อินพุต.....	14
2.7 ตารางความจริงของบัพเฟอร์เกต.....	15
2.8 ตารางความจริงของนอตเกต.....	16
2.9 ตารางความจริงของแอนด์เกต 2 อินพุต.....	17
2.10 ตารางความจริงของแอนด์เกต 3 อินพุต.....	18
2.11 ตารางความจริงของแนนด์เกต 2 อินพุต.....	19
2.12 ตารางความจริงของแนนด์เกต 3 อินพุต.....	20
2.13 ตารางความจริงของออร์เกต 2 อินพุต.....	21
2.14 ตารางความจริงของออร์เกต 3 อินพุต.....	22
2.15 ตารางความจริงของนอร์เกต 2 อินพุต.....	23
2.16 ตารางความจริงของนอร์เกต 3 อินพุต.....	24
2.17 ตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกตชนิด 2 อินพุต.....	25
2.18 ตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกตชนิด 2 อินพุต.....	26
2.19 ความหมายของสัญญาณกระแสมาตรฐาน NAMUR NE43.....	44
3.1 หมายเลขแท็กของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ ESD.....	64
3.2 สถานะการทำงานของ Ball Valve.....	68
4.1 การประเมินข้อมูลค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของโครงการ.....	75

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ไอซีลอจิกเกตชนิด CMOS.....	12
2.2 ไอซีลอจิกเกตชนิด TTL.....	13
2.3 สัญลักษณ์ของบัฟเฟอร์เกต.....	15
2.4 สัญลักษณ์ของนอตเกต.....	16
2.5 สัญลักษณ์ของแอนด์เกต 2 อินพุต.....	17
2.6 สัญลักษณ์ของแอนด์เกต 3 อินพุต.....	18
2.7 สัญลักษณ์ของแนนด์เกต 2 อินพุต.....	19
2.8 สัญลักษณ์ของแนนด์เกต 3 อินพุต.....	20
2.9 สัญลักษณ์ของออร์เกต 2 อินพุต.....	21
2.10 สัญลักษณ์ของออร์เกต 3 อินพุต.....	22
2.11 สัญลักษณ์ของนอร์เกต 2 อินพุต.....	23
2.12 สัญลักษณ์ของนอร์เกต 3 อินพุต.....	24
2.13 สัญลักษณ์ของเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกตชนิด 2 อินพุต.....	25
2.14 สัญลักษณ์ของเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกตชนิด 2 อินพุต.....	26
2.15 โครงสร้างระบบควบคุมพื้นฐาน.....	28
2.16 ฟังก์ชันการทำงานควบคุม.....	30
2.17 ฟังก์ชันการควบคุมระดับ.....	31
2.18 แผนภาพกระบวนการผลิต.....	31
2.19 ระบบควบคุมพื้นฐานและระบบวัดคูนिरภัย.....	33
2.20 ฟังก์ชันนिरภัย.....	35
2.21 ฟังก์ชันนिरภัย.....	36
2.22 ระบบประมวลผลด้วย PLC 1 out of 2 (1oo2).....	40
2.23 ระบบประมวลผลด้วย PLC 2 out of 3 (2oo3).....	41
2.24 สัญลักษณ์กระแสดตามมาตรฐาน NAMUR NE43.....	44
2.25 อุปกรณ์การวัด (Safety Transmitter).....	45
2.26 ตัวอย่างแผนภาพโปรแกรมตรวจสอบสัญญาณอินพุต.....	46

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.27 แสดงตัวอย่างระบบวัดคุนิรภัยสำหรับการทำงานที่สัญญาณสูงและต่ำ.....	46
2.28 เวลาที่เกิดการลัดและเปิดวงจรเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระบวนการผลิต.....	47
2.29 การเปรียบเทียบเวลาเพื่อหาการลัดวงจร.....	48
2.30 กรเปรียบเทียบเวลาเพื่อหาการเปิดวงจร.....	49
2.31 วาล์วนิรภัย.....	50
2.32 ส่วนประกอบของ PLC.....	53
2.33 การประมวลผลของ PLC.....	54
2.34 การประมวลผลของระบบอื่นๆ.....	54
2.35 ระยะเวลานิรภัยของกระบวนการผลิต.....	56
2.36 ตัวอย่างชุดฟังก์ชัน.....	58
2.37 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณสูง.....	59
2.38 ฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันความดันเกิน.....	59
2.39 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณต่ำ.....	60
2.40 ฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันระดับต่ำ.....	61
3.1 หัวเตาเผาของเตาเผาในหน่วยการผลิตที่ 3.....	63
3.2 แผนภาพการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา.....	63
3.3 ลักษณะการทำงานของวาล์วนิรภัย.....	65
3.4 วาล์วนิรภัยของ Fuel Oil (ESV-01).....	66
3.5 วาล์วนิรภัยของ Fuel Gas (ESV-02).....	66
3.6 วาล์วนิรภัยของ Wasted Gas (ESV-03).....	66
3.7 Ball Valve สำหรับควบคุมการ เปิด/ปิด เชื้อเพลิงเข้าหัวเตาเผา.....	67
3.8 ลักษณะการทำงานของ Ball Valve.....	67
3.9 Limit Switch ส่งสถานะ เปิด (ก้านวาล์วไม่แตะ Limit Switch).....	68
3.10 Limit Switch ส่งสถานะ ปิด (ก้านวาล์วแตะ Limit Switch).....	69
3.11 แผนภาพลอจิกควบคุมเดิม.....	70
3.12 แผนภาพลอจิกควบคุมที่ออกแบบใหม่.....	72

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 ตัวอย่าง โครงการงานที่นำเสนอต่อบริษัท.....	74
4.2 ตัวอย่าง ลอจิกควบคุมที่ออกแบบใหม่สำหรับนำเสนอ.....	74

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ดำเนินกิจการหลักด้วยการประกอบธุรกิจโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมตั้งแต่การจัดหาน้ำมันดิบจากแหล่งต่างประเทศ และจากแหล่งน้ำมันดิบภายในประเทศ เข้ามากลั่นเป็นน้ำมันสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐาน มีกำลังการผลิตสูงสุด 120,000 บาร์เรลต่อวัน โดยบางจากฯ มีความมุ่งมั่นในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยเพื่อความยั่งยืนขององค์กร ซึ่งได้มีการนำระบบ Process Safety Management มาปรับใช้ในส่วนต่างๆ ซึ่งมีหลักการที่มุ่งเน้นในเรื่องของความปลอดภัย ปกป้องสิ่งแวดล้อม ชุมชน ทรัพย์สินและผลิตด้วยเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูงสุด

บริษัทบางจากปิโตรเลียมมีที่ตั้งของสำนักงานใหญ่ สำนักงานย่อยในแต่ละภูมิภาค และโรงกลั่นและศูนย์จ่ายน้ำมันบางจาก โดยจะที่ตั้งของสำนักงานใหญ่และ โรงกลั่นบางจากที่ได้เข้ามาทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ดังนี้

ที่ตั้งบางจาก สำนักงานใหญ่ : 555/1 ศูนย์เอนเนอร์ยีคอมเพล็กซ์ อาคาร A ชั้น 10 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ที่ตั้งโรงกลั่นบางจากและศูนย์จ่ายน้ำมันบางจาก : 210 ถนนสุขุมวิท 64 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260 สามารถดูแผนที่การเดินทางได้ดังรูปภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แผนที่การเดินทาง โรงกลั่นน้ำมันบางจาก สุขุมวิท 64

โรงกลั่นน้ำมันบางจาก เป็นโรงกลั่นแบบ Complex Refinery ประกอบด้วยขั้นตอนในการผลิตใหญ่ๆ 4 ขั้นตอนคือ

1. การกลั่นลำดับส่วน (Fractionation / Distillation) เป็นการแยกน้ำมันดิบออกเป็นผลิตภัณฑ์โดยอาศัยคุณสมบัติของจุดเดือดที่แตกต่างกันของส่วนผสมต่างๆ ในน้ำมันดิบ
2. การปรับปรุงคุณภาพ (Treating) เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ที่มากับน้ำมันดิบ
3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Conversion) เป็นการทำให้โครงสร้างในระดับโมเลกุลของน้ำมันเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมูลค่าสูงขึ้น
4. การผสมผลิตภัณฑ์ (Blending) เป็นการผสมน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งอาจจะมีสารเติมแต่งคุณภาพ (Additive) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานที่กำหนดทั้งของกระทรวงพลังงานและลูกค้า

สำหรับองค์ประกอบของกระบวนการกลั่นนั้นจะมีอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นหนึ่งในขั้นตอนของการผลิตน้ำมัน เช่น เตาเผามีไว้เพื่อให้ความร้อนแก่ของไหลที่ผ่านเข้าภายในท่อ โดยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งทำให้อุณหภูมิของของไหลดังกล่าวสูงขึ้นหรือสถานะของไหลเปลี่ยนไป ปิ๊มใช้สำหรับส่งของไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งผ่านท่อต่างๆ เช่นจะส่งน้ำมันใส่ที่ผ่านการกลั่นแล้วจากหอ กลั่นไปเข้าถังเก็บก็จะใช้ปิ๊มในการส่งของไหล, Heat Exchanger เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหล เป็นต้น โดยกระบวนการกลั่นในขั้นตอนต่างๆ จะมีอุปกรณ์การวัดแต่ละชนิดที่ใช้งานอยู่เช่น เตาเผา จะมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ติดอยู่เพื่อวัดและควบคุมอุณหภูมิในเตา หรือจะเป็นอุปกรณ์วัดระดับแบบใช้เรดาร์ เพื่อตรวจสอบความสูงของน้ำมันในถังที่กักเก็บไว้ เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะใช้เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมค่าของกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัยของกระบวนการผลิต

อุปกรณ์ที่จะทำการศึกษาและปรับปรุงคือเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่ของไหลภายในท่อ โดยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และโครงการงานสหกิจศึกษาที่ได้รับมอบหมายให้เข้าไปศึกษาและปรับปรุงนั้นเกี่ยวกับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าหัวเตาจุดไฟของเตาเผาที่ล่อจิกในการควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าหัวเตาเผาของระบบวัดคุมนิรภัยนั้นไม่สอดคล้องกับการใช้งานในปัจจุบันหรือเรียกว่า SIS (Safety Instrumented System) หรือ ESD (Emergency Shutdown System) โดยจะอธิบายข้อมูลเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจ่ายเข้าหัวเตาเผามีอยู่ 3 ชนิดคือ 1) Fuel Oil (น้ำมันดิบ , น้ำมันเตา) 2) Fuel Gas (Natural Gas) 3) Wasted Gas (แก๊สเสียที่นำมาจากกระบวนการกลั่นหน่วยอื่นๆเพื่อมาเป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่ง และเพื่อจัดแก๊สเสียหรือแก๊สพิษจากการเผาไหม้เป็นการทำความสะอาดแก๊สให้ไม่มีสารพิษก่อนปล่อยออกไป) การใช้เชื้อเพลิงของเตาเผาในสมัยก่อนกับปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงในการใช้งาน ด้วยเหตุที่มีหน่วยการผลิตที่ 4 ขึ้น ซึ่งได้นำเทคโนโลยีในการกลั่นที่พัฒนาขึ้นสามารถลดต้นทุนความดันและอุณหภูมิสูงๆได้จากที่เคยใช้ Fuel Oil (น้ำมันเตา) ในการเป็นเชื้อเพลิงหรือจำหน่าย ก็สามารถนำเอาไปกลับเข้ากระบวนการกลั่นใหม่เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันใสมากขึ้นเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และ Fuel Gas(Natural Gas) มีมากพอที่จะใช้งานแทน Fuel Oil ทั้งที่ผลิตได้เองและซื้อมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นมีราคาถูกกว่า Fuel Oil แต่ยังมีบางกรณีที่ยังใช้เชื้อเพลิงเป็น Fuel Oil อยู่ เช่น ในกรณีที่เกิดฝนตกหนักและอุณหภูมิกายนอกต่ำลงทำให้เตาเผาไม่สามารถทำอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการใช้งานได้ก็จะใช้ Fuel Oil จ่ายเป็นเชื้อเพลิงในการทำให้อุณหภูมิกลับสู่จุดที่ใช้งานเพราะว่าในช่วงเวลาที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิ ถ้าใช้ Fuel Gas และ Wasted Gas จะใช้เวลานานกว่าและปริมาณที่มากกว่า Fuel Oil ในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนสามารถใช้งานได้ โดยปกติเชื้อเพลิงที่ใช้ใน เตาเผาที่ 1 ของหน่วยการผลิตที่ 3 ของโรงกลั่นจะมีหัวเตาเผาอยู่ทั้งหมด 16 หัว (หมายเลข 1 - 16) โดยหัวเตาเผาหมายเลขคี่ (หมายเลข 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15) จะใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดคือ 1) Fuel Oil 2) Fuel Gas และหัวเตาเผาหมายเลขคู่ (หมายเลข 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16)จะใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ 1) Fuel Oil 2) Fuel Gas 3) Wasted Gas โดยระบบควบคุมความปลอดภัยในการใช้เชื้อเพลิงที่จะเข้าไปทำการแก้ไขและพัฒนาคือการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าหัวเตาเผาเลขคู่ตั้งแต่หมายเลข 2 ถึงหมายเลข 12 เนื่องจากวาล์วนิรภัยของ Wasted Gas ( ESV-03 : Emergency Shut-off Valve NO.3) เป็นวาล์วควบคุมการจ่าย Wasted Gas เข้าหัวเตาเผา ส่วนหัวเตาเผาหมายเลข 14 และ 16 จะใช้วาล์วนิรภัย ESV-04 ควบคุม โดยเราจะทำการแก้ไขและพัฒนาในส่วนของวาล์วนิรภัย ESV-03 สามารถสังเกตได้ว่าในหัวเตาเผาหมายเลขเลขคู่ นั้น จะมีการนำ Wasted Gas ซึ่งเป็นแก๊สที่ได้จากกระบวนการผลิตส่วนอื่นของหน่วยการผลิตที่ 3 มาเป็นเชื้อเพลิงร่วมด้วย เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการซื้อเชื้อเพลิงเข้ามาผลิตและลดปัญหาการปล่อยสารมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมโดย Wasted gas ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตนั้นจะไหลเข้ามาสู่หัวเตาเผาโดยมีวาล์วนิรภัย ESV-03 ควบคุมการจ่ายเข้าหัวเตาเผา แต่ลอจิกควบคุมที่เขียนไว้ในระบบ ESD ของวาล์วนิรภัยESV-03 ที่จะเปิดให้ Wasted Gas ไหลเข้าสู่แต่ละหัวเตาเผานั้นมีเงื่อนไขดังนี้

1. หัวเตาเผาหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 (Valve TAG : 01A - 01F) จะต้องเปิด และวาล์วนิรภัยที่จ่าย Fuel Oil (ESV-01) จะต้องเปิด จึงจะทำให้วาล์วนิรภัย ESV-03 เปิด
2. หัวเตาเผาหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 (Valve TAG : 02A - 02F) จะต้องเปิด และวาล์วนิรภัยที่จ่าย Fuel Gas (ESV-02) จะต้องเปิด จึงจะทำให้วาล์วนิรภัย ESV-03 เปิด

จากเงื่อนไขข้างต้นจะสังเกตได้ว่าจะต้องใช้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งทั้งหมดทุกหัวเตาถึงจะทำให้วาล์วนิรภัย ESV-03 เปิดเพื่อให้ Wasted Gas ไหลเข้าสู่หัวเตา ที่เงื่อนไขเป็นดังข้างต้นเพราะเหตุผลดังนี้

1. เพื่อตรวจสอบให้แน่ชัดว่า หัวเตาที่จะใช้งานในหมายเลขคู่ตั้งแต่ หมายเลข 2 ถึง 12 และวาล์วนิรภัยที่จ่ายเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเปิดแล้วจะเท่ากับว่าจุดไฟติดแล้ว ในขั้นตอนนี้จะมีการควบคุมของผู้ดูแลอยู่ด้วยเพื่อให้แน่ใจว่าใช้เชื้อเพลิง Fuel Oil หรือ Fuel Gas ในการจุดเตา
2. เพื่อป้องกันไม่ให้ Wasted Gas ไหลเข้าสู่เตาเผาโดยที่ยังไม่มีการติดไฟของหัวเตา มิฉะนั้นถ้ามี Wasted Gas ค้างอยู่ในเตาเผา เมื่อเวลาที่จะใช้งานการจุดไฟที่เตาและมี Wasted Gas ที่สะสมค้างอยู่จะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้

จากเงื่อนไขการควบคุมไม่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานในปัจจุบัน เนื่องจาก Fuel Oil ไม่ค่อยได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบันมากนัก แต่จะนำไปเข้ากระบวนการกลั่นต่อในหน่วยการผลิตที่ 4 จึงจะไม่มีการใช้เชื้อเพลิงเป็น Fuel Oil ทุกหัวเตาแต่จะมีการใช้งานควบคู่กันไประหว่าง Fuel Oil และ Fuel Gas ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักจึงทำให้ระบบวัดคummินิรภัยจะต้องออกแบบใหม่เนื่องจากเงื่อนไขการป้องกันอันเดิมไม่สามารถใช้งานควบคู่กันไประหว่าง Fuel Oil และ Fuel Gas ได้ จึงจำเป็นต้องเปิดวาล์วนิรภัยที่ไม่ได้ใช้งานเปล่าๆเพื่อให้ วาล์วนิรภัย ESV-03 สามารถจ่าย Wasted gas เข้าหัวเตาเผาได้ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่จะต้องการใช้งาน หัวเตาเผาหมายเลข 2, 4, 6 และ 8 จะใช้ Fuel Gas และหัวเตาเผาหมายเลข 10 และ 12 จะใช้ Fuel Oil ในกรณีนี้จึงทำให้จะต้องเปิดวาล์วนิรภัยของไลน์ Fuel Gas หมายเลข 10 และ 12 เพื่อให้ตรงตามเงื่อนไขข้างต้น และสามารถสั่งให้วาล์วนิรภัย ESV-03 จ่าย Wasted Gas เข้าหัวเตาเผาแต่ละหัวได้ซึ่งการกระทำแบบนี้ไม่เหมาะสมและไม่ปลอดภัยในการใช้งาน จึงต้องมีการแก้ไขระบบการป้องกันการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาให้เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบันมากขึ้น เป็นการแก้ไขระบบวัดคummินิรภัยในการป้องกันเรียกว่า SIS (Safety Instrumented System) หรือ ESD (Emergency Shutdown System)

โดยระบบควบคุมในโรงกลั่นนั้นจะแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) ระบบการควบคุมกระบวนการผลิต จะใช้ระบบ DCS (Distributed Control System) และ 2) ระบบควบคุมเพื่อการป้องกันเรียกว่าระบบ ESD (Emergency Shutdown System) โดยจะใช้ PLC (Programmable Logic Controller) เข้ามาควบคุม สาเหตุที่แยกการใช้งานเพื่อการควบคุมนั้น เพราะว่าการควบคุมความ

ปลอดภัยจากกระบวนการผลิตนั้น การใช้งาน PLC สามารถประมวลผลได้ในเวลาที่สั้นกว่า (Scan Time) ฉะนั้นในเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพลาดของอุปกรณ์ PLC จะสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ทันถ่วงที เพื่อไม่ให้อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นขยายออกไป แต่ระบบ DCS จะเหมาะแก่การใช้งานในการควบคุม เพราะระบบ DCS จะใช้ช่วงเวลาในการประมวลผลนานกว่าแต่สามารถควบคุมได้หลายๆฟังก์ชันพร้อมๆกัน

ในความเป็นจริงช่วงเวลาที่ช้าหรือเร็วกว่ากันของระบบข้างต้นนั้นไม่ได้เร็วหรือช้าแตกต่างกันมากเพราะเป็นเสี้ยววินาที แต่ที่แยกระบบการควบคุมออกจากกันเพื่อให้ง่ายต่อการทำงานและตรวจสอบ รวมไปถึงถ่วงระบบควบคุมและป้องกันไว้ด้วยกัน โดยใช้ระบบใดระบบหนึ่งไม่ว่าจะเป็น DCS หรือ PLC ถ้ากรณีที่เกิดเหตุการณ์เซฟเวอร์ดับ ไฟกระชากหรือเหตุการณ์ที่ทำให้สูญเสียระบบการควบคุมไปก็จะเสียไปทั้งสองระบบ ซึ่งไม่เหมาะสมแก่การใช้งาน จึงแยกส่วนการทำงานอย่างชัดเจน ดังนั้นระบบควบคุมนิรภัยจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันกระบวนการผลิตจากเหตุการณ์อันตราย โดยใช้อุปกรณ์วัดเพื่อป้องกัน ทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัยหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด และเพิ่มประสิทธิภาพของโรงกลั่นให้มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือ

จุดมุ่งหมายของการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เสถียรภาพ และความปลอดภัย ฉะนั้นจึงใช้ระบบควบคุมนิรภัยมาควบคุมความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากความผิดพลาดในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับหลักการการทำงานของระบบควบคุมนิรภัยที่ใช้ในโรงกลั่นน้ำมันบางจาก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับระบบควบคุมนิรภัยในโรงกลั่นเพื่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการ ใช้งานเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อเตาเผาในหน่วยการผลิตที่ปรับปรุง เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานจริงกับระบบควบคุมนิรภัย
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและออกแบบเงื่อนไขในการใช้ระบบควบคุมนิรภัยใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและครอบคลุมการใช้งานในปัจจุบัน
- 1.2.5 สามารถจัดทำข้อเสนอโครงการเพื่อปรับปรุงระบบควบคุมนิรภัยและระบบการซ่อมบำรุงภายในบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

สามารถประยุกต์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานำมาปรับปรุงระบบวัดคูนนิริภัยและระบบงานซ่อมบำรุงภายในบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

### 1.4 วิธีดำเนินงาน

1.4.1 ลงพื้นที่ทำงานเพื่อเข้าใจกระบวนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานภาคสนามและงานซ่อมบำรุง

1.4.2 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบวัดคูนนิริภัยและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 ศึกษาข้อมูลกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเตาเผา

1.4.4 ดำรวจพื้นที่หน้างานของเตาเผาและอุปกรณ์การวัดที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบวัดคูนนิริภัย

1.4.5 ศึกษาส่วนประมวลผลของระบบวัดคูนนิริภัยของเตาเผาที่จะต้องทำการแก้ไข

1.4.6 ออกแบบปรับปรุงส่วนประมวลผลของระบบวัดคูนนิริภัยของเตาเผาด้วยเงื่อนไขการควบคุมใหม่ เพื่อให้ครอบคลุมกับการใช้งานในปัจจุบัน

1.4.7 ประเมินงบประมาณในการปรับปรุงระบบวัดคูนนิริภัย

1.4.8 นำเสนอต่อสถานประกอบการเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการ

1.4.9 จัดทำเอกสารแสดงข้อมูลที่ปรับปรุงของโครงการ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ความรู้จากการศึกษาหลักการทำงานของระบบวัดคูนนิริภัย

1.5.2 ได้ความรู้จากการศึกษาหลักการทำงานของระบบ Emergency Shutdown System (ESD) หรือ Safety Instrumented System (SIS)

1.5.3 ได้ความรู้จากการศึกษาหลักการของบริเวณพื้นที่อันตราย (Hazardous Areas)

1.5.4 ได้เรียนรู้กระบวนการทำงานของการใช้งาน Safety PLC (Programmable Logic Controller)

1.5.5 สามารถปรับปรุงและพัฒนากระบวนการกลั่นน้ำมันให้มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.5.6 ได้เรียนรู้ระบบการทำงานในกระบวนการผลิตทั้งส่วนฝ่ายปฏิบัติการและฝ่ายซ่อมบำรุง

1.5.7 ได้ทักษะในการติดต่อประสานงานและทำงานร่วมกับผู้อื่น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีดิจิทัลเบื้องต้น ระบบวัดคูนินทรีย์ อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบวัดคูนินทรีย์ และส่วนประมวลผล

#### 2.2 ระบบตัวเลขที่ใช้ในระบบดิจิทัล

คณิตศาสตร์ถือเป็นวิชาหลักของทุกวิชาเพราะทุกวิชาในโลกนี้ต้องเกี่ยวข้องกับวิชาคณิตศาสตร์หรือวิชาเลขที่เรารู้จักกันดี จะติดต่อสื่อสารกันในเชิงคณิตศาสตร์ด้วยเลขฐานสิบ แต่ในระบบดิจิทัลเราจะเทียบการทำงานของระบบด้วยเลขฐานสอง ซึ่งประกอบด้วยเลข 0 และ 1 และยังนำเลขฐานอื่นมาใช้ อีก เช่น เลขฐานแปด เลขฐานสิบหก เพราะเลขฐานเหล่านี้สามารถเปลี่ยนเลขฐานถึงกันได้รวมทั้งมีการจับชุดเลขฐานสองเป็นชุด หรือเป็นกลุ่มเพื่อแทนตัวเลข อักขระหรือสัญลักษณ์อื่นๆเราเรียกว่า "รหัส"

##### 2.2.1 ระบบเลขฐานสิบ เลขฐานสอง

ระบบตัวเลขและตัวอักษรถูกมนุษย์พัฒนาขึ้น ตามยุคตามสมัย จนถึงปัจจุบันเรามีระบบตัวเลขและตัวอักษรที่เป็นสากลไว้สื่อสารระหว่างกัน และมนุษย์ก็นำเอาศาสตร์ด้านนี้ มาพัฒนาสร้าง เทคโนโลยีใหม่ๆเพื่อให้ชีวิตความเป็นอยู่ของตนเองดีขึ้น ระบบตัวเลขที่เราใช้ กำหนดในชีวิตประจำวันเราใช้ตัวเลข 10 ตัวประกอบด้วย เลข 0 – 9 เรียกว่าระบบเลขฐานสิบ เป็นระบบตัวเลขที่มนุษย์ทุกคนเข้าใจ แต่สัญญาณทางไฟฟ้าเชิงดิจิทัลเมื่อเทียบกับการทำงานของสวิตช์วงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์จะการทำงาน 2 สถานะ คือ ON กับ OFF มนุษย์จึงเชื่อมโยงเลขฐานสองซึ่งมีตัวเลขสองตัวคือ 0 กับ 1 เข้ากับสถานะดังกล่าว โดยสถานะ ON จะแทนด้วย 1 และสถานะ OFF จะแทนด้วย 0 สำหรับในวงจรที่มีขนาดใหญ่และมีการทำงานที่สลับซับซ้อนการนำเอาเลขฐานสองมาใช้จะไม่สะดวก จึงนำเอาเลขฐานอื่นมาใช้ เช่น เลขฐานแปด เลขฐานสิบหก เป็นต้น ซึ่งผู้ที่สนใจ ด้านนี้จะต้องเรียนรู้และเข้าใจระบบเลขฐานดังกล่าว จึงจะมีความเข้าใจพื้นฐานด้านดิจิทัลมากขึ้น

##### 2.2.1.1 ระบบเลขฐานสิบ

ระบบเลขฐานสิบมีสัญลักษณ์ที่ใช้สิบเลขคือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และเลข 9 โดยมีค่าประจำหลักดังนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าประจำหลักของเลขฐานสิบ

$10^{+n}$	$10^2$	$10^1$	$10^0$	จุดทศนิยม	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-n}$
.....	100	10	1		0.1	0.01	0.001	.....

ตัวอย่างที่ 1 จำนวน 1234.567 สามารถเขียนได้ดังนี้

วิธีทำ  $(1 \times 10^3) + (2 \times 10^2) + (3 \times 10^1) + (4 \times 10^0) + (5 \times 10^{-1}) + (6 \times 10^{-2}) + (7 \times 10^{-3})$   
 $1000 + 200 + 30 + 4 + 0.5 + 0.06 + 0.007 = 1234.567_{10}$

2.2.1.2 ระบบเลขฐานสอง

ระบบเลขฐานสองมีสัญลักษณ์ที่ใช้สองเลขคือ 0 กับ 1 โดยจะมีค่าประจำหลักดังนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าประจำหลักของเลขฐานสอง

$2^{+n}$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	จุดทศนิยม	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-n}$
.....	4	2	1		0.5	0.25	0.125	.....

แต่หลักของเลขฐานสองจะเรียกว่า “บิต” (Bit มาจากคำว่า Binary Digit) จะเห็นว่า บิตทางด้านซ้ายมือจะมีค่ามากกว่าบิตทางด้านขวามือ โดยบิตทางด้านซ้ายมือที่มีค่ามากที่สุดเรียกว่า “เอ็มเอสบี” (MSB ย่อมาจาก Most Significant Bit) ส่วนบิตขวามือที่มีค่าน้อยสุดเรียกว่า “แอลเอสบี” (LSB ย่อมาจาก Least Significant Bit) รูปแบบของเลขฐานสอง เช่น 1101.112, 111011.1101<sub>2</sub>, 101010.1011<sub>2</sub> เป็นต้น

2.2.2 การคำนวณเลขฐานสอง

เนื่องจากเลขฐานสองเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบดิจิทัลจึงขอกล่าวถึงวิธีการ คำนวณหาค่า การบวก การลบ การคูณ และการหาร เลขฐานสอง ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.2.2.1 การบวกและการลบเลขฐานสอง

การบวกและการลบเลขฐานสองมีวิธีการเหมือนกับการบวกลบเลขฐานสิบ ที่เรารู้กันอยู่แล้วเพียงต่างกันที่การยืม เลขฐานสิบค่าของการยืมจะได้ครึ่งละสิบ แต่ถ้าเป็นเลขฐานสอง ค่าของ

การยืมก็จะได้ครั้งละสอง ซึ่งมีหลักเกณฑ์สรุปดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.3 การบวกเลขฐานสอง

การบวกเลขฐานสอง			
ตัวตั้ง	ตัวบวก	ผลลัพธ์	ตัวทด
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

ตัวอย่างที่ 2 จงบวกเลขฐานสอง  $11011_2 + 11101_2$

วิธีทำ

$$\begin{array}{r}
 11011 \\
 + \\
 11101 \\
 \hline
 \text{ตอบ } 111000_2
 \end{array}$$

การบวกเลขฐานสอง 1+1 เท่ากับ 2 ของเลขฐานสิบ แต่เท่ากับ 1 0 ของเลขฐานสอง เราจึงได้ผลลัพธ์เป็น 0 แล้วทด 1 เพื่อนำไปบวกกับหลักถัดไป แสดงดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 3 จงบวกเลขฐานสอง  $10011_2 + 10100_2$

วิธีทำ

$$\begin{array}{r}
 10011 \\
 + \\
 10100 \\
 \hline
 \text{ตอบ } 100111_2
 \end{array}$$

การลบเลขฐานสอง 0 - 1 ตัวตั้งมีค่าน้อยกว่าตัวลบ จึงต้องไปยืมหลักหน้ามา 1 ในการยืมแต่ละครั้งของเลขฐานสองมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อนำมาลบกับตัวลบคือ 1 จึงได้ผลลัพธ์เป็น 1 และอย่าลืมหักหลักที่ถูกยืมออกอีก 1 ด้วยแสดงดังตัวอย่าง

ตารางที่ 2.4 การลบเลขฐานสอง

การบวกเลขฐานสอง			
ตัวตั้ง	ตัวบวก	ผลลัพธ์	ตัวทด
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

ตัวอย่างที่ 4 จงลบเลขฐานสอง  $11101_2 - 10110_2$

$$\begin{array}{r}
 \text{วิธีทำ} \qquad \qquad \qquad 11101 \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad - \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 10110 \\
 \hline
 \text{ตอบ} \qquad \qquad \qquad \underline{\underline{00111_2}}
 \end{array}$$

ตัวอย่างที่ 5 จงลบเลขฐานสอง  $10001_2 - 1110_2$

$$\begin{array}{r}
 \text{วิธีทำ} \qquad \qquad \qquad 10001 \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad - \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 1110 \\
 \hline
 \text{ตอบ} \qquad \qquad \qquad \underline{\underline{00011_2}}
 \end{array}$$

2.2.2.2 การคูณและการหารเลขฐานสอง

การคูณและการหารเลขฐานสองใช้หลักการเดียวกันกับการคูณและการหารเลขฐานสิบ เพียงแต่เลขฐานสองมีเพียงสองเลขคือ 0 กับ 1 ผลลัพธ์ก็มีเพียงสองเลขคือ 0 กับ 1 แสดงดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 6 จงหาผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

ก.)  $11101_2 \times 110_2$

ข.)  $1111_2 \div 101_2$

วิธีทำ ก.)

$$\begin{array}{r}
 11101 \\
 \times 110 \\
 \hline
 00000 \\
 111010 + \\
 1110100 \\
 \hline
 10101110_2
 \end{array}$$

ตอบ

วิธีทำ ข.)

$$\begin{array}{r}
 11 \\
 101 \overline{)1111} - \\
 \underline{101} \\
 101 - \\
 \underline{101} \\
 000
 \end{array}$$

ตอบ

$11_2$

### 2.2.3 รหัสในระบบดิจิทัล

การจัดชุดข้อมูลเลขฐานสอง 0 หรือ 1 เข้าด้วยกันให้เป็นกลุ่มแล้วแทนเลขใดเลขหนึ่ง เรียกว่า “รหัส” (Code) ในการรวมกลุ่มของเลขฐานสองจะมีคำจำกัดความของกลุ่มนั้นๆ แตกต่างกัน ดังนี้

1. บิต (bit) คือ เลข 0 หรือ 1 ของเลขฐานสอง
2. นิบเบิล (Nibble) คือ กลุ่มเลขฐานสองจำนวน 4 บิต
3. ไบต์ (Byte) คือ กลุ่มเลขฐานสองจำนวน 8 บิต หรือ 2 นิบเบิลส์
4. เวิร์ด (Word) หรือคำ คือ กลุ่มเลขฐานสองจำนวน 2 ไบต์

รหัสในระบบดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รหัสมีน้ำหนัก (Weighted Code) เป็นรหัสเลขฐานสองที่กำหนดให้มีค่าประจำตำแหน่งของแต่ละบิต เช่น รหัสบีซีดี (Binary Coded Decimal)
2. รหัสไม่มีน้ำหนัก (Non-Weighted Code) เป็นรหัสเลขฐานสองที่ไม่ได้กำหนดให้มีค่าประจำตำแหน่งของแต่ละบิต เช่น รหัสเกรย์ (Gray Code)

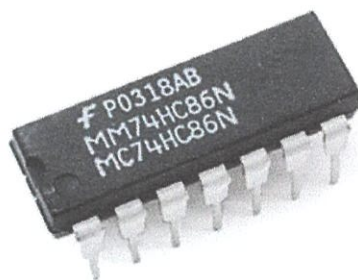
### 2.3 ลอจิกเกต

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวงจรดิจิทัล ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักในการทำงานของวงจรรหัสดิจิทัลเรียกว่า “ลอจิกเกต” (Logic Gate) แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 8 ชนิด ดังนี้ บัฟเฟอร์เกต, นอตเกต, แอนด์เกต, แอนนดเกต, ออร์เกต, นอร์เกต, เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต และ เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกต แต่ละชนิดทำงานระดับลอจิก 0 และลอจิก 1 ลอจิกเกตมีความสัมพันธ์กัน โดยมีวิธีในการต่อใช้งานแทนกันได้

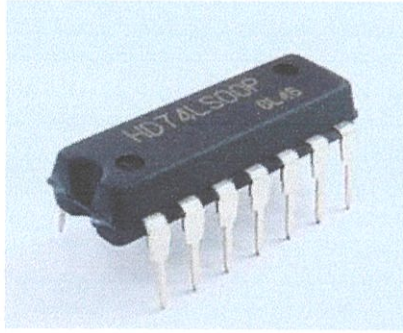
อุปกรณ์พื้นฐานในวงจรดิจิทัลเราเรียกว่า ลอจิกเกต (Logic Gate) ซึ่งถูกผลิตมาเป็น ไอซี (Integrated Circuit) แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามโครงสร้างอุปกรณ์ภายใน คือ ไอซีดิจิทัลชนิด CMOS โครงสร้างภายในทำมาจาก MOSFET จึงมีผลต่อไฟฟ้าสถิตย์ภายนอก ชนิดนี้ต้องการไฟเลี้ยงประมาณ 3-15 โวลต์และอีกชนิดหนึ่งคือ ไอซีดิจิทัลชนิด TTL ย่อมาจาก Transistor Transistor Logic โครงสร้างภายในเป็นทรานซิสเตอร์ต้องการไฟเลี้ยงประมาณ 4.75-5.25 โวลต์ กระแสอยู่ที่ประมาณ 8-100 มิลลิแอมป์

#### 2.3.1 เครื่องหมายที่ใช้ในสมการลอจิก

สมการลอจิกในระบบดิจิทัลจะใช้อักษรต่างๆ เช่น A, B, C, Q, Y, a, b, c, y เป็นต้น เป็นสัญลักษณ์แทนตัวแปรของสมการลอจิก ส่วนเครื่องหมายที่ใช้ในสมการลอจิกนั้น มีใช้ 4 อย่างคือ



ภาพที่ 2.1 ไอซีลอจิกเกตชนิด CMOS



ภาพที่ 2.2 ไอซีลอจิกชนิด TTL

1. เครื่องหมายเท่ากับ (=) แทนการเท่ากันระหว่างสมการลอจิกทั้งสองด้านรูปแบบ เช่น  $Y = A + B$ ,  $Y = A.B$
2. เครื่องหมายบวกกัน(+) แทนการออร์กกันของตัวแปรในสมการ เรียกเครื่องหมายนี้ว่า “ออร์” รูปแบบ เช่น  $Y = A + B$
3. เครื่องหมายคูณกัน (.) แทนการแอนด์กันของตัวแปรในสมการเรียกเครื่องหมายนี้ว่า “แอนด์” รูปแบบ เช่น  $Y = A.B$
4. เครื่องหมายตรงกันข้ามหรือกลับ ( $\bar{\quad}$ ) แทนการนอต เรียกเครื่องหมายนี้ว่า “บาร์” รูปแบบ เช่น  $Y = \bar{A}$

### 2.3.2 ตารางความจริง

ตารางความจริง หมายถึง ตารางที่แสดงสภาวะการทำงานของลอจิกเกตต่างๆ หรือ วงจรดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยส่วนอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งจำนวนสภาวะการทำงานของลอจิกเกตที่จะเกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนอินพุต เพราะหนึ่งอินพุตนั้นสามารถเกิดสภาวะการทำงานได้สอง

ตารางที่ 2.5 ตารางค่าความจริงของลอจิกเกตที่มี 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4 สภาวะ

สภาวะคือ 0 กับ 1 ดังนั้นจำนวนสภาวะที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ  $2^n$  เมื่อ  $n$  คือ จำนวนตัวแปรด้านอินพุต เช่น ถ้าลอจิกเกตมี 2 อินพุตหรือตัวแปรด้านอินพุตมี 2 ตัว สภาวะการทำงานที่เกิดขึ้นคือ  $2^2$  มีค่าเท่ากับ 4 สภาวะ และถ้าลอจิกเกตมี 3 อินพุต มีสภาวะการทำงานที่เกิดขึ้นคือ  $2^3$  มีค่าเท่ากับ 8 สภาวะ

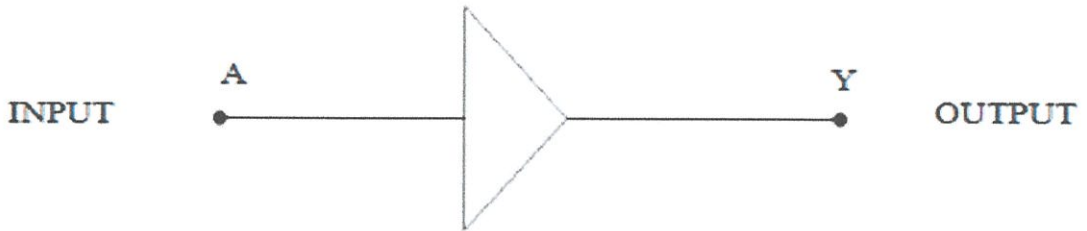
ตารางที่ 2.6 ตารางค่าความจริงของลอจิกเกตที่มี 3 อินพุต

INPUT			OUTPUT
A	B	C	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

8 สภาวะ

### 2.3.3 บัฟเฟอร์เกต

บัฟเฟอร์เกตเป็นลอจิกเกตที่ให้ผลระดับสัญญาณทางเอาต์พุตเหมือนกับอินพุต เขียนสัญลักษณ์สมการลอจิกและตารางความจริงได้ดังนี้



ภาพที่ 2.3 สัญลักษณ์ของบัฟเฟอร์เกต

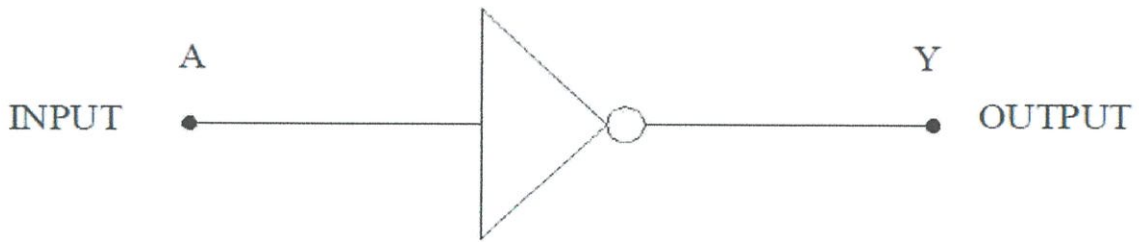
สมการของบัฟเฟอร์เกตเขียนได้ดังนี้  $Y = A$

ตารางที่ 2.7 ตารางความจริงของบัฟเฟอร์เกต

INPUT	OUTPUT
A	Y
0	0
1	1

### 2.3.4 นอตเกต

นอตเกตหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “อินเวอร์เตอร์” เป็นลอจิกเกตที่ให้ผลของระดับสัญญาณทางเอาต์พุตตรงกันข้ามกับอินพุตหรือกลับกันกับอินพุต เขียนสัญลักษณ์สมการลอจิกและตารางความจริงได้ดังนี้



ภาพที่ 2.4 สัญลักษณ์ของนอตเกต

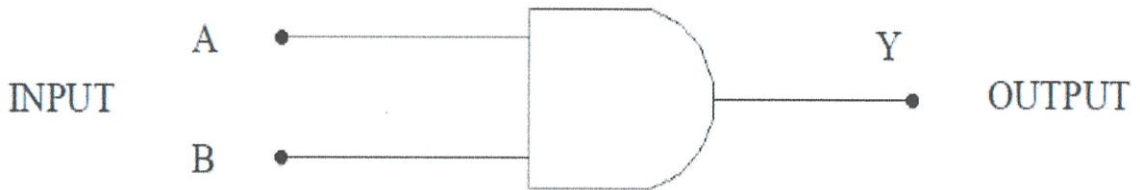
สมการของนอตเกตเขียนได้ดังนี้  $Y = \bar{A}$

ตารางที่ 2.8 ตารางความจริงของนอตเกต

INPUT	OUTPUT
A	Y
0	1
1	0

2.3.5 แอนด์เกต

แอนด์เกต มีอินพุต 2 อินพุตขึ้นไป เป็นลอจิกเกตที่ให้ผลระดับสัญญาณทางเอาต์พุต เป็นลอจิก 1 เมื่อสถานะอินพุตทั้งหมดเป็นลอจิก 1 ส่วนสถานะอินพุตนอกเหนือจากที่กล่าวมา แอนด์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์ สมการลอจิกและตารางความจริงได้ดังนี้



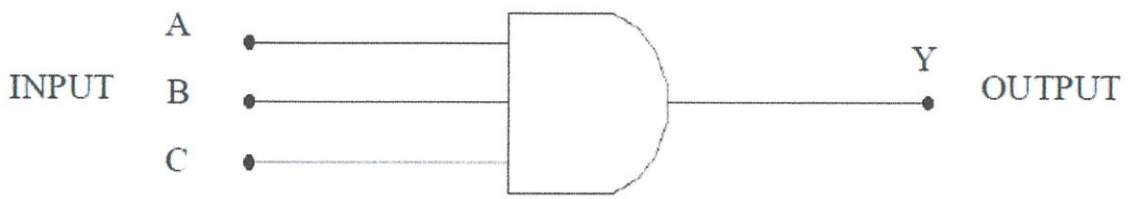
ภาพที่ 2.5 สัญลักษณ์ของแอนด์เกต

สมการของแอนด์เกตเขียนได้ดังนี้  $Y = A.B$

ตารางที่ 2.9 ตารางความจริงของแอนด์เกต 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

148590



ภาพที่ 2.6 สัญลักษณ์ของแอนด์เกตชนิด 3 อินพุต

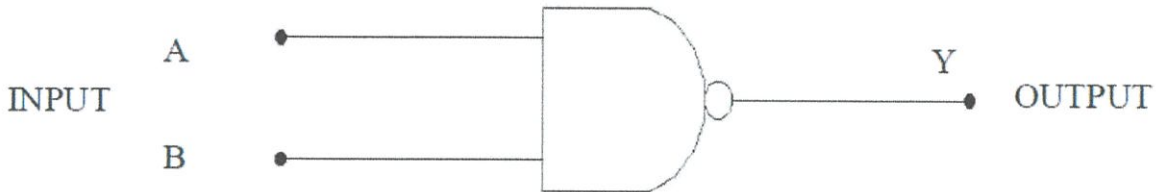
สมการของแอนด์เกตเขียนได้ดังนี้  $Y = A.B.C$

ตารางที่ 2.10 ตารางความจริงของแอนด์เกต 3 อินพุต

INPUT			OUTPUT
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

### 2.3.6 แนนด์เกต

แนนนด์เกต เป็นลอจิกเกตที่มีการทำงานตรงกันข้ามกับแอนด์เกต นั่นคือ ในสถานะที่อินพุตเหมือนกัน ถ้าแอนด์เกตให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 แนนด์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 และในทำนองเดียวกัน ถ้าสถานะอินพุตเหมือนกันถ้าแอนด์เกตให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 แนนด์เกต จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการลอจิก และตารางความจริงได้ดังนี้

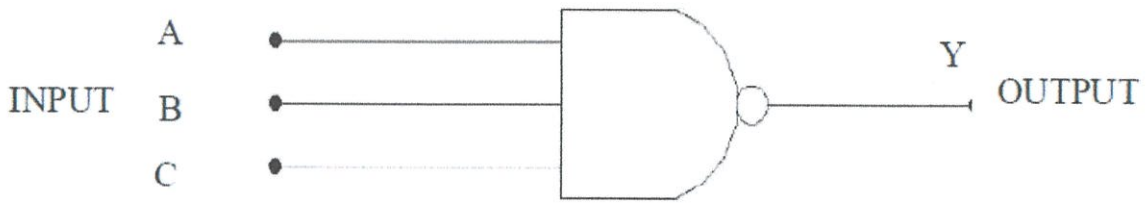


ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์แนนนด์เกตชนิด 2 อินพุต

สมการของแนนนด์เกตชนิด 2 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = \overline{A \cdot B}$

ตารางที่ 2.11 ตารางความจริงของแนนนด์เกตชนิด 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์แนนด์เกตชนิด 3 อินพุต

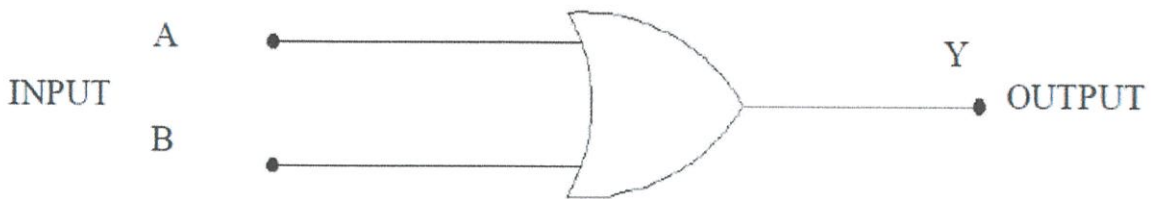
สมการของแนนด์เกตชนิด 3 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = \overline{A \cdot B \cdot C}$

ตารางที่ 2.12 ตารางความจริงของแนนด์เกตชนิด 3 อินพุต

INPUT			OUTPUT
A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

### 2.3.7 ออร์เกต

ออร์เกต จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 ก็ต่อเมื่อมีสถานะอินพุตใดอินพุตหนึ่งเป็นลอจิก 1 หรือเป็นลอจิก 1 ทั้งหมด นอกเหนือจากสภาวะดังกล่าว ออร์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการลอจิก และตารางความจริงได้ดังนี้

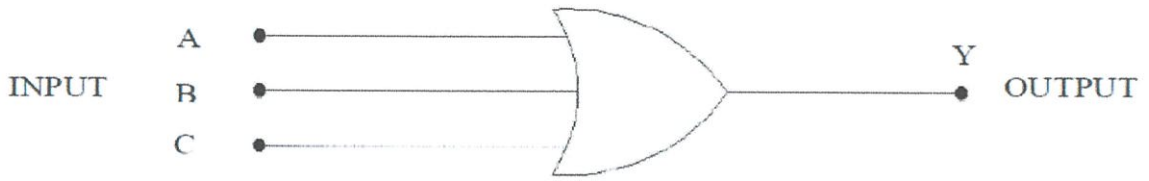


ภาพที่ 2.9 สัญลักษณ์ออร์เกตชนิด 2 อินพุต

สมการของออร์เกตชนิด 2 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = A + B$

ตารางที่ 2.13 ตารางความจริงของออร์เกตชนิด 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



ภาพที่ 2.10 สัญลักษณ์ออร์เกตชนิด 3 อินพุต

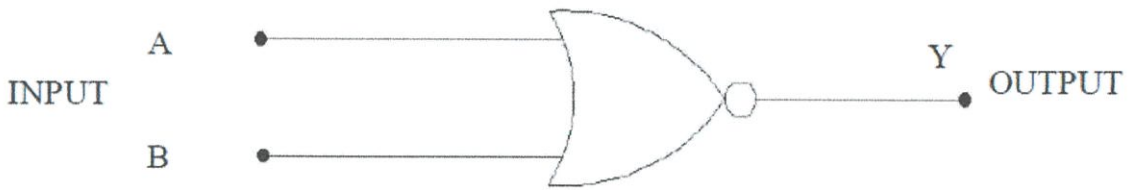
สมการของออร์เกตชนิด 3 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = A + B + C$

ตารางที่ 2.14 ตารางความจริงของออร์เกตชนิด 3 อินพุต

INPUT			OUTPUT
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

### 2.3.8 นอร์เกต

นอร์เกต คือ ลอจิกเกตที่มีการทำงานตรงกันข้ามกับออร์เกต หรือเปรียบเสมือนกับนำออร์เกตมาต่อร่วมกับนอตเกต นั่นคือในสภาวะที่อินพุตเหมือนกัน ถ้าออร์เกตให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 นอร์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 และในทำนองเดียวกัน ถ้าสภาวะอินพุตเหมือนกัน ถ้าออร์เกตให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 นอร์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์ สมการลอจิกและตารางความจริงได้ดังนี้

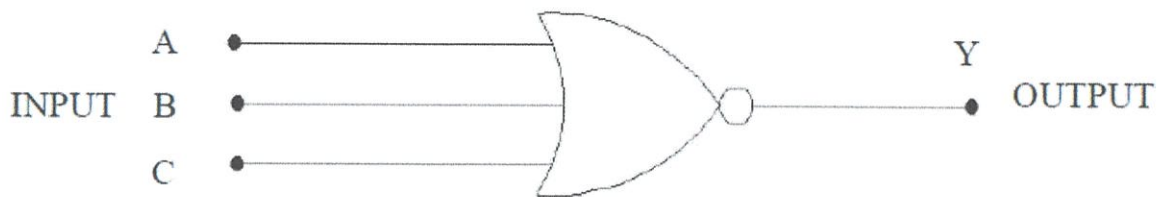


ภาพที่ 2.11 สัญลักษณ์นอร์เกตชนิด 2 อินพุต

สมการของนอร์เกตชนิด 2 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = \overline{A + B}$

ตารางที่ 2.15 ตารางความจริงของนอร์เกตชนิด 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์นอร์เกตชนิด 3 อินพุต

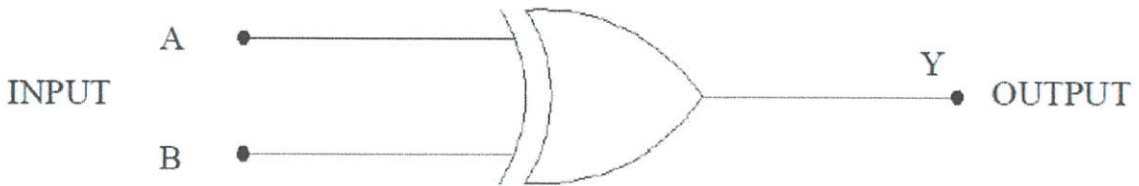
สมการของนอร์เกตชนิด 3 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = \overline{A + B + C}$

ตารางที่ 2.16 ตารางความจริงของนอร์เกตชนิด 3 อินพุต (ต่อ)

INPUT			OUTPUT
A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

### 2.3.9 เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต

เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต หรือ Ex – OR Gate จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 ก็ต่อเมื่ออินพุต A และอินพุต B มีสถานะลอจิกต่างกัน นอกเหนือจากสภาวะดังกล่าว เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการลอจิก และตารางความจริงได้ดังนี้



ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต

สมการของเอ็กซ์คลูซีฟออร์ชนิด 2 อินพุตเขียนได้ดังนี้  $Y = A \oplus B$

ตารางที่ 2.17 ตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกตชนิด 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

### 2.3.10 เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกต

เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกต หรือ Ex – NOR Gate จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 ก็ต่อเมื่อ อินพุต A และอินพุต B มีสถานะลอจิกเหมือนกัน นอกเหนือจากสภาวะดังกล่าว เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกตจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สามารถเขียนสัญลักษณ์สมการลอจิก และตารางความจริง ได้ดังนี้



ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์เอ็กซ์คลูซีฟนอร์เกต

สมการของเอ็กซ์คลูซีฟนอร์ชนิด 2 อินพุตเขียน ได้ดังนี้  $Y = \overline{A \oplus B}$

ตารางที่ 2.18 ตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีฟนอร์ชนิด 2 อินพุต

INPUT		OUTPUT
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

## 2.4 ระบบนิรภัย

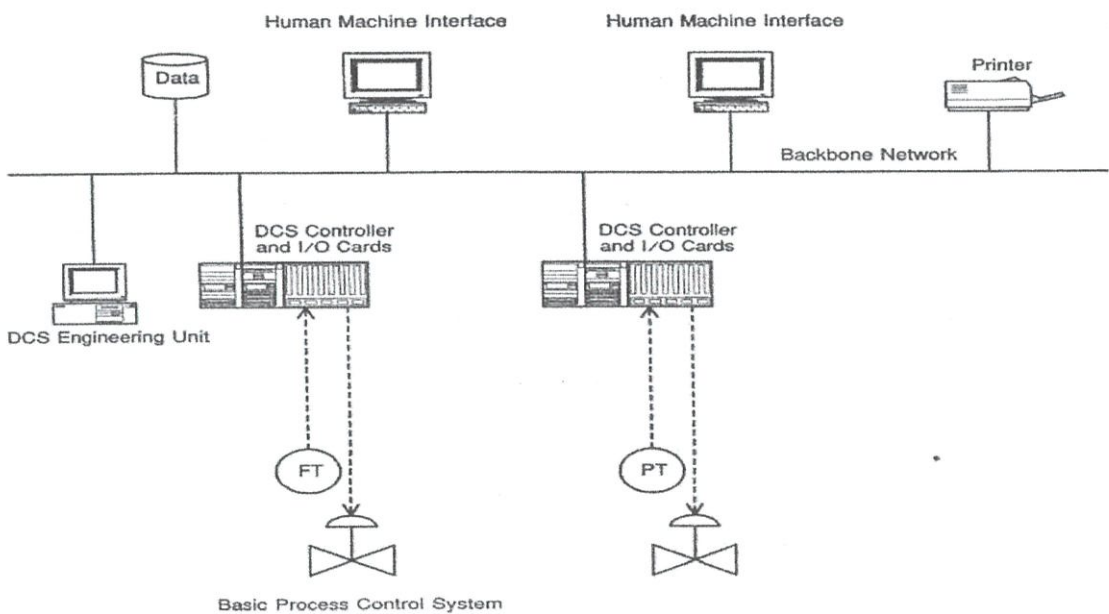
### 2.4.1 บทนำ

อุตสาหกรรมกระบวนการผลิต (Industrial Process) เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนในการเปลี่ยนสภาพของวัตถุดิบ (Raw Material) ชนิดต่างๆ ให้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อุตสาหกรรมกระบวนการผลิตมีอยู่หลายประเภท ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน (Refinery) จะเป็นกระบวนการสำหรับใช้เปลี่ยนสภาพของน้ำมันดิบด้วยกระบวนการต่างๆ จนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันสำเร็จรูปชนิดต่างๆ, อุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical) จะเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสภาพของวัตถุดิบกับส่วนผสมต่างๆ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ เป็นต้น ในกระบวนการของแต่ละอุตสาหกรรมจะต้องมีการวัดและควบคุมตัวแปรต่างๆทาง เพื่อทำการแสดงค่าและควบคุมตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ให้อยู่ในค่าที่ต้องการ และเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ต้องการ ตัวแปรทางกระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะได้แก่ การไหล (Flow) , ระดับ (Level), ความดัน (Pressure) และ อุณหภูมิ (Temperature) การควบคุมตัวแปรดังกล่าวนี้ เช่น การควบคุมอัตราการไหลของไหลในท่อให้อยู่ในค่าที่ต้องการ การควบคุมทิศทางการไหลให้ไปในทิศทางที่กำหนด การควบคุมระดับของไหลในถังหรือหอแยกต่างๆ การควบคุมอุณหภูมิของไหลให้อยู่ในค่าที่กำหนดและการควบคุมความดันของไหล เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการควบคุมตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ จึงต้องมีการจัดเตรียมระบบการวัดและควบคุมขึ้นในกระบวนการผลิต โดยระบบการวัดและควบคุมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันการควบคุม (Control Function) หลายฟังก์ชัน อุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญของฟังก์ชันการควบคุมจะมีอยู่ 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์การวัด (Sensing Element) ตัวควบคุม (Controller) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) โดยอุปกรณ์การวัดจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนตัวแปรจากกระบวนการให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อส่งค่าไปยังอินพุตของตัวควบคุม และไปแสดงค่าตัวแปรที่หน่วยแสดงผลของระบบควบคุม เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงและควบคุมตัวแปรต่างๆเหล่านี้ได้ จากนั้นตัวควบคุมจะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้ายที่เป็นวาล์วควบคุม เพื่อทำการปรับตัวแปรในกระบวนการให้อยู่ในค่าที่ต้องการ ระบบควบคุมพื้นฐาน (Basis Process Control System : BPCS) ที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตในปัจจุบัน คือ ระบบ DCS (Distributed Control System) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่าง โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุม (Control System Architecture) ได้ดังภาพที่ 2.15

จากภาพที่ 2.15 ระบบควบคุมพื้นฐาน จะเป็นระบบที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงาน กระบวนการผลิต โดยผ่านอุปกรณ์เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ กระบวนการผลิตทำงานเป็นไปตามที่ต้องการหรือออกแบบไว้ จะมีส่วนประกอบหลักๆ ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

### 2.4.1.1 อุปกรณ์การวัด (Sensing Element)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ใช้สำหรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิต (Process parameter) เช่นอัตราการไหลในกระบวนการ , ระดับของไหลในถัง , ความดันที่จุดต่างๆ ในกระบวนการของไหลในถ้ว , ความดันที่จุดต่างๆในกระบวนการ , อุณหภูมิตาม จุดต่างๆในกระบวนการ และส่วนประกอบของไหลที่ต้องการเป็นต้น ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า มาตรฐาน 4-20 mA ที่ 24 VDC หรือสัญญาณมาตรฐานชนิดอื่นๆ เพื่อส่งข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ไปยัง



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างระบบควบคุมพื้นฐาน

อินพุตของตัวควบคุม (Controller) และใช้แสดงค่าที่หน่วยแสดงผลอุปกรณ์การวัดพื้นฐานจะมีดังนี้ อุปกรณ์วัดการไหล (Flow Transmitter) อุปกรณ์การวัดระดับ (Level Transmitter) อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transmitter) และอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) อุปกรณ์การวัดเหล่านี้ จะมีให้เลือกใช้ได้หลายชนิด ในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับสถานะและคุณสมบัติของไหล ที่ต้องการวัด เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ออกการวัดค่าความถูกต้องมากที่สุดและอุปกรณ์เหล่านั้นมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

#### 2.4.1.2 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประมวลผล ตัวควบคุมจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit) ตัวประมวลผลกลาง (Central Processor Unit) ส่วนรับและส่งสัญญาณ (Input and Output Cards) ส่วนติดต่อสื่อสาร (Communication Port) และโปรแกรมในการควบคุม (Control Function Program) ตัวควบคุมจะทำการควบคุมตัวแปรจากกระบวนการผลิตให้อยู่ในค่าที่ต้องการ โดยการรับสัญญาณอินพุตมาจากอุปกรณ์การวัดเพื่อมาทำการเปรียบเทียบค่ากับค่าที่กำหนด (Set point) และทำการประมวลผล จากนั้นจะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้าย เพื่อทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการ ตัวควบคุมในระบบการควบคุมพื้นฐาน จะมีให้เลือกใช้ได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการในการควบคุม เช่น การควบคุมปิดเปิด (On-Off Control) การควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Control) การควบคุมแบบ PD (Proportional-Derivative Control) และการควบคุมแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative Control) เป็นต้น

#### 2.4.1.3 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA จากเอาต์พุตของตัวควบคุมไปเป็นการควบคุมตัวแปรกระบวนการผลิต ตัวอย่างของอุปกรณ์สุดท้ายจะเป็น วาล์วควบคุม (Control Valve) ซึ่งจะทำการปิดเปิดของไหลตามสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม

#### 2.4.1.4 เครือข่ายสื่อสารหลัก (Backbone Network)

เป็นระบบสื่อสารหลักที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบควบคุม เครือข่ายสื่อสารหลักจะมีอัตราการความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูง โดยจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานเครือข่ายที่นำมาใช้ อาทิเช่น มาตรฐาน IEEE 802.3, IEEE 802.4 (Token Bus), IEEE 802.5 (Token Ring) และ Ethernet เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันเครือข่ายสื่อสารหลักของระบบควบคุมพื้นฐานสามารถสื่อสารที่อัตราการความเร็วสูงถึง 1 Gb

#### 2.4.1.5 ส่วนติดต่อกับผู้ปฏิบัติการ (Human Machine Interface)

ส่วนมากจะใช้เป็นจอภาพ (Monitor) และแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือเมาส์ จะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับแสดงแผนภาพ (Graphic Display) กระบวนการผลิตและแสดงค่าตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการผลิต สำหรับใช้เป็นส่วนติดต่อหรือรับคำสั่งต่าง ๆ จากผู้ปฏิบัติการในการควบคุม กระบวนการผลิตและยังใช้เป็นส่วนแสดงสัญญาณเตือนต่างๆ ที่มาจากหน่วยการควบคุมอื่น ๆ เช่น จากระบบวัดคุณภาพ และระบบตรวจจับเพลิงไหม้และก๊าซรั่ว เป็นต้น

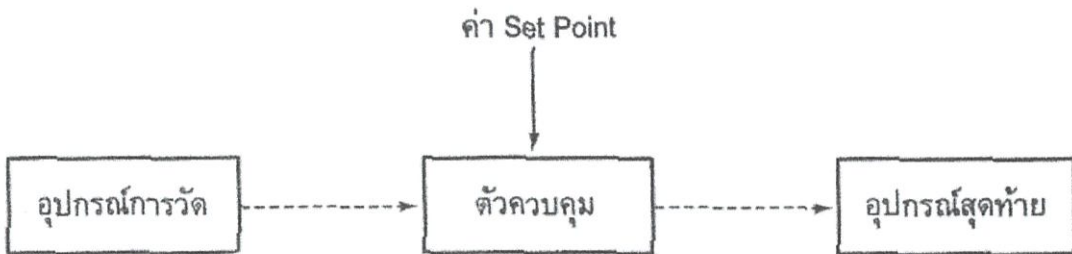
#### 2.4.16 ส่วนพิมพ์รายงาน (Printer)

เป็นเครื่องพิมพ์ส่วนกลางที่ติดตั้งอยู่บนเครือข่ายหลักสำหรับใช้พิมพ์รายงาน หรือสัญญาณเตือนต่างๆ

#### 2.4.1.7 Engineering Unit

เป็นหน่วยที่ใช้ในการกำหนดคำสั่งการทำงานหรือสร้างภาพแสดงผล หน่วยนี้ จะมีความจำเป็นตั้งแต่เริ่มทำการสร้างระบบการควบคุมถึงการซ่อมบำรุง และแก้ไขเพิ่มเติมระบบการ ควบคุม หน่วยนี้จะต่ออยู่กับเครือข่ายสื่อสารหลักและบางครั้งยังใช้งานเป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ปฏิบัติงานด้วย

ในการควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการโดยใช้ระบบควบคุมพื้นฐานนั้น ในการควบคุมสามารถแบ่งการควบคุมย่อยๆออกได้เป็นฟังก์ชันควบคุม (Control Function) ใน กระบวนการหนึ่งๆ จะมีฟังก์ชันควบคุมได้หลายฟังก์ชัน ซึ่งในแต่ละฟังก์ชันควบคุมจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์พื้นฐาน 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์การวัด (Sensing Element) ตัวควบคุม (Controller) และ อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ฟังก์ชันการทำงานควบคุม

จากภาพที่ 2.16 ผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมตัวแปรของกระบวนการได้ด้วยการปรับค่า Set Point ที่ตัวควบคุมในระบบการควบคุมพื้นฐานได้ จากนั้นตัวควบคุมจะทำอ่านค่าตัวแปรที่มาจากอุปกรณ์การวัด ตัวควบคุมจะทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่า Set Point ถ้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า Set Point ตัวควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ให้ทำการปรับค่าตัวแปรกระบวนการ จนกระทั่งตัวแปรที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์การวัดมีค่าเท่ากับค่า Set Point ตัวอย่างฟังก์ชันควบคุมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.17



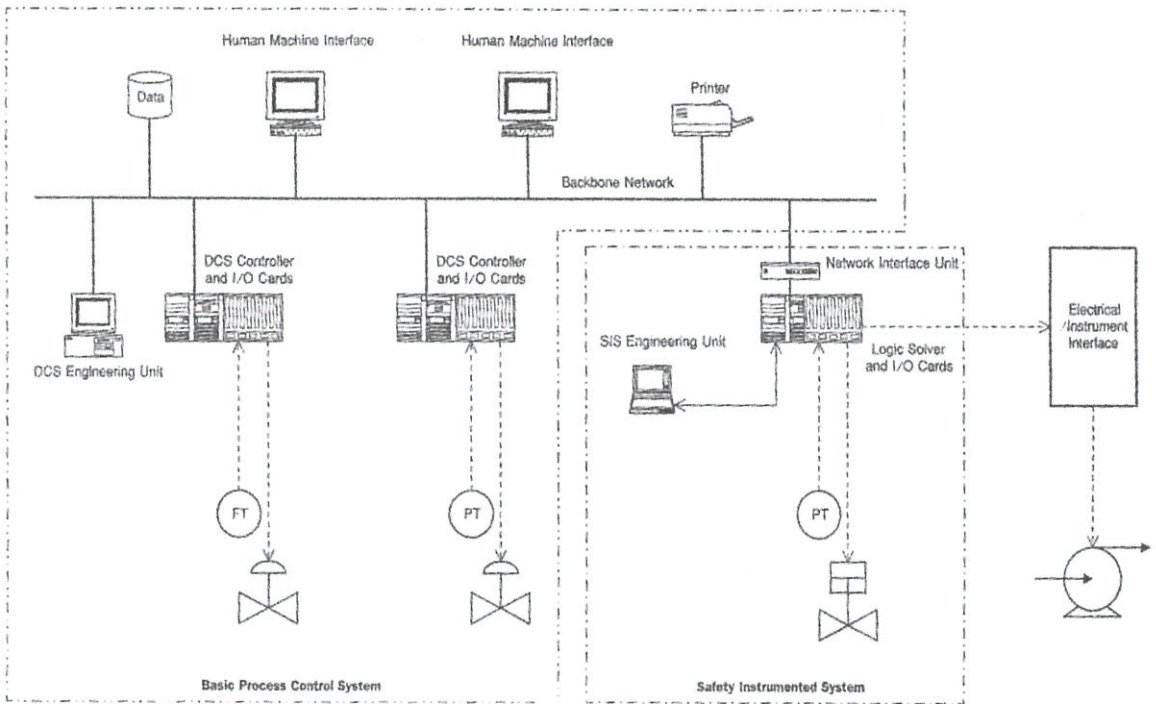
จากภาพที่ 2.17 เป็นการควบคุมระดับของไหล (Fluid) ในถังเก็บให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยมีตัวควบคุมระดับ (Level Indicator Controller) ที่สามารถแสดงค่าระดับได้ที่จะแสดงผลและจะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังวาล์วควบคุม เมื่อระดับในถังเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด ตัวควบคุมระดับจะส่งสัญญาณเอาต์พุต ไปทำการปิดหรือเปิดวาล์วควบคุมเพื่อให้ของไหลเข้าถึง จากตัวอย่างนี้จะเห็นเพียงฟังก์ชันการควบคุมเพียงฟังก์ชันเดียวเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วแต่ละกระบวนการจะมีฟังก์ชันควบคุมหลายฟังก์ชัน ฟังก์ชันควบคุมของกระบวนการทั้งหมดจะถูกแสดงอยู่บนแผนภาพกระบวนการผลิต (Piping & Instrument Diagram : P & ID) จะเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงรายละเอียดของกระบวนการ โดยใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ตามมาตรฐานสากล ISA S5.1 สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 2.18

จากภาพที่ 2.18 เป็นแผนภาพกระบวนการผลิต สำหรับแสดงตัวอย่างกระบวนการที่มีฟังก์ชันควบคุมอยู่ 2 ฟังก์ชันคือ การควบคุมความดันที่ถัง โดยการปรับวาล์วควบคุมที่ด้านขาเข้า และ การควบคุมระดับภายในถังโดยการปรับวาล์วควบคุมที่ด้านขาออก นอกจากนั้นยังมีฟังก์ชันแสดงผลอีก 2 ฟังก์ชัน คือ การแสดงค่าอุณหภูมิในถัง และการแสดงสถานะการทำงานของปั๊ม จากแผนภาพกระบวนการนี้จะเห็นได้ว่า ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำการควบคุมค่าความดันและค่าระดับสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่า Set Point ที่ตัวควบคุมที่อยู่ในระบบการควบคุมพื้นฐาน ซึ่งตัวควบคุมก็จะทำการส่งสัญญาณออกไปปรับวาล์วควบคุม เพื่อให้มีค่าความดันและระดับตามที่ต้องการ

#### 2.4.2 ระบบนิริภัย

จากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการแสดงรายละเอียดการทำงานของฟังก์ชันการควบคุมจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันควบคุมสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่า Set Point ได้ตามต้องการ อุปกรณ์การควบคุมที่เป็นวาล์วควบคุมจะมีการทำงานอยู่ตลอดเวลา มีการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วบ่อยครั้งเพื่อปรับตัวแปรกระบวนการให้อยู่ในค่าที่ต้องการ ซึ่งเมื่อมีใช้งานไปในระยะเวลาต่างๆ อาจทำให้เกิดการสึกหรอหรือเกิดการติดขัดต่อการปิดเปิดหรืออาจปิดเปิดได้ช้าลงหรือเกิดการผิดปกติขึ้นในอุปกรณ์การวัด ซึ่งจะส่งผลทำให้ตัวแปรที่ต้องการควบคุมไม่สามารถควบคุมได้หรืออาจทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการผลิตเหล่านั้นมีค่าสูงกว่าที่อุปกรณ์ในกระบวนการจะทนได้ หรืออาจเกิดจากการปฏิบัติงานที่ผิดพลาดโดยใส่ค่า Set Point ที่มากเกินไปหรือทำการสั่งปิดหรือเปิดวาล์วไม่ถูกต้อง เหตุการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตเกิดผิดพลาดไปจากค่าที่ต้องการได้ถ้าค่าตัวแปรต่างๆ มีค่าเกินกว่าจุดที่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการจะทนได้ อาจทำให้เกิดการรั่วไหลออกมาข้างภายนอกถ้า

ของไหลที่มีความไวไฟ (Flammable) หรือความเป็นพิษ (Toxic) อาจทำให้เกิดการลุกไหม้ หรืออาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในบริเวณนั้น เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือต่ออุปกรณ์ต่างๆ หรือเกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ การป้องกันการเกิดเหตุการณ์เหล่านี้สามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบป้องกัน (Protection System) หรือระบบนิรภัย (Safety System) เข้าไป ระบบนิรภัยสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น อาจจะทำการออกแบบให้ถังมีการทนความดันให้สูงกว่าความดันของกระบวนการหรือ การตั้งวาล์วนิรภัยทางกล (Pressure Relief Valve) หรือจัดเตรียมฟังก์ชันนิรภัยระบบวัดคูนิรภัย (Safety Instrumented System) เข้าไป เป็นต้น ในการพิจารณาว่าจะใช้ระบบนิรภัยแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ค่าความเชื่อมั่นในการทำงานและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ โดยจะมีการเน้นรายละเอียดการเลือกใช้ระบบวัดคูนิรภัยที่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์และการโปรแกรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical /Electronic / Programmable Electronic System : E/E/PESs) หรือเป็นระบบที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางที่เรียกว่า ระบบ ESD (Emergency Shut Down System) สามารถแสดงโครงสร้างระบบควบคุมพื้นฐานที่ได้มีการเพิ่มเติมระบบวัดคูนิรภัยได้ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 ระบบควบคุมพื้นฐานและระบบวัดคูนิรภัย

จากภาพที่ 2.19 แสดงระบบวัดคูนินทรีย์ที่เพิ่มเติมเข้าไปกับระบบควบคุมพื้นฐาน ระบบวัดคูนินทรีย์จะเป็นระบบที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันกระบวนการผลิตจากเหตุการณ์อันตราย ทำให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัยหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยระบบวัดคูนินทรีย์นี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

#### 2.4.2.1 อุปกรณ์การวัด (Sensing Element)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิต (Process Parameter) ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA ที่ 24 VDC เพื่อส่งไปยังส่วนประมวลผล (Logic Solver) อุปกรณ์การวัดพื้นฐานจะมีดังนี้ อุปกรณ์วัดการไหล (Flow Transmitter) อุปกรณ์การวัดระดับ (Level Transmitter) อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transmitter) และอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) แต่อุปกรณ์การวัดในระบบวัดคูนินทรีย์อาจมีมากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราความผิดพลาด (Failure Rate) ว่าอยู่ในค่าที่ต้องการหรือไม่

#### 2.4.2.2 ส่วนประมวลผล (Logic Solver)

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประมวลผลทางลอจิกของระบบวัดคูนินทรีย์ เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะปลอดภัยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น โดยการรับสัญญาณอินพุตมาจากอุปกรณ์การวัดเพื่อมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนด (Set Point) และจากนั้นจะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ส่วนประมวลผลจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังเช่น แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit) ตัวประมวลผลกลาง (Central Processor Unit) ส่วนรับและส่งสัญญาณ (Input and Output Cards) ส่วนติดต่อสื่อสาร (Communication Port) และโปรแกรมในการทำงาน

#### 2.4.2.3 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element)

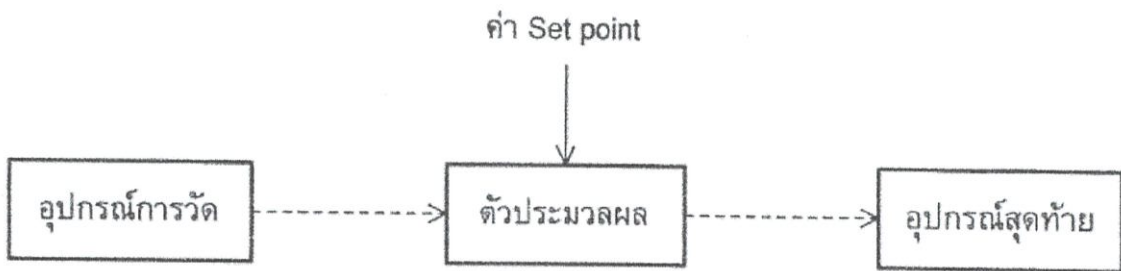
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากส่วนประมวลผล ส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณเปิดและปิดด้วยแรงดัน 24 VDC ไปเป็นการปิดและเปิดอุปกรณ์สุดท้าย เช่น วาล์วนินทรีย์ (Shut Down Valve) หรือจะชุดควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Centre)

#### 2.4.2.4 ส่วนติดต่อกับเครือข่ายสื่อสารหลัก (Interface Unit)

เนื่องจากระบบควบคุมนิรภัยจะไม่มีส่วนที่ใช้แสดงผลและสถานะต่าง ๆ ดังนั้นระบบจึงต้องใช้ส่วนแสดงผลของระบบควบคุมพื้นฐาน หรือระบบ DCS เป็นส่วนแสดงผลการทำงาน และแสดงสัญญาณเตือน โดยทำการส่งข้อมูลผ่านส่วนติดต่อกับระบบสื่อสารหลัก ข้อมูลต่างๆ ที่ถูกส่งออกไปจะเป็นสัญญาณเตือนต่าง ๆ และสภาวะการทำงาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกว่า “SOE” (Sequence of Event) ซึ่งข้อมูลนี้จะแสดงค่าเวลาที่เกิดเหตุการณ์นั้น (Time Stamped) และจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์สาเหตุของเหตุการณ์ต่างๆ

#### 2.4.2.5 Engineering Unit

เป็นหน่วยที่ใช้ในการกำหนดคำสั่งการทำงาน หน่วยนี้มีความจำเป็นตั้งแต่เริ่มการสร้างระบบควบคุมนิรภัยจนถึงการซ่อมบำรุงและการแก้ไขเพิ่มเติม การทำงานของระบบควบคุมนิรภัยจะถูกแบ่งแยกออกได้เป็นฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) ได้หลายฟังก์ชัน ซึ่งในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์การวัด (Sensing Element) ตัวประมวลผล (Logic Solver) และอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) ดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.20

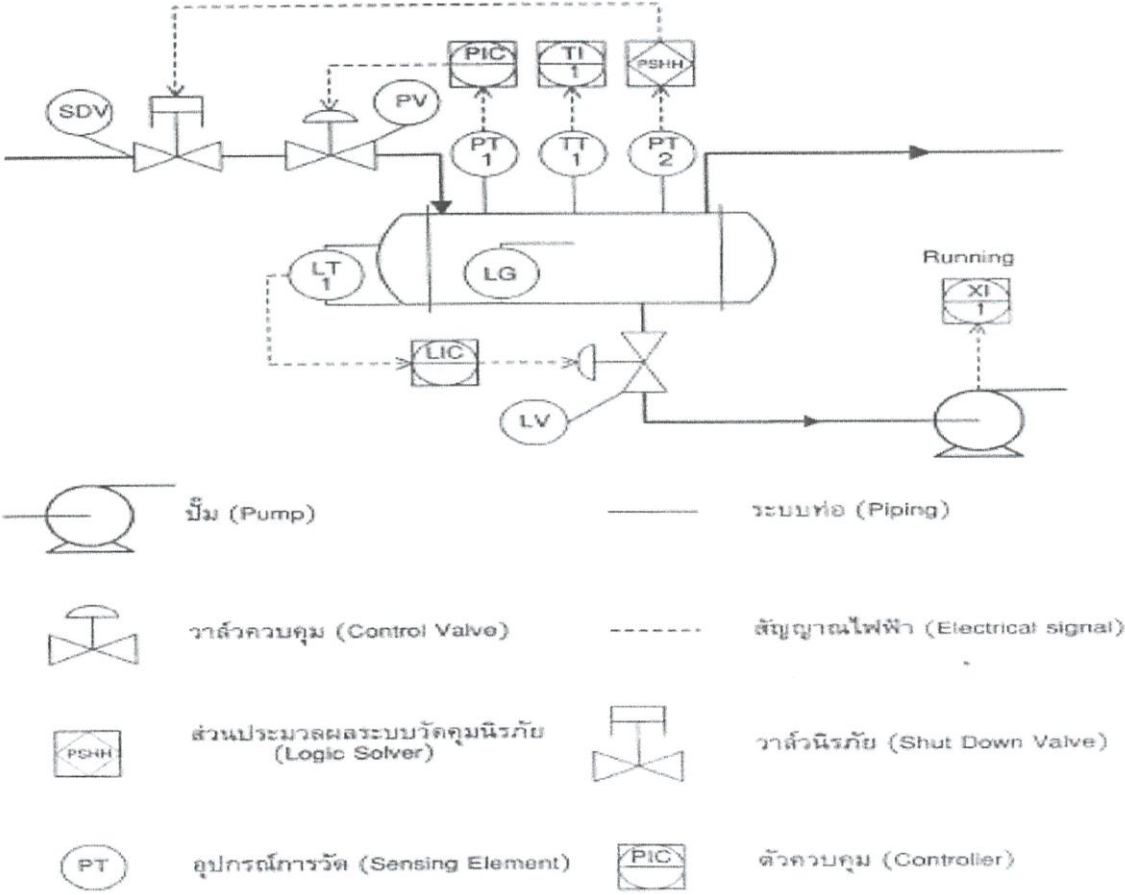


ภาพที่ 2.20 ฟังก์ชันนิรภัย

จากภาพที่ 2.20 จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันนิรภัยจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับฟังก์ชันควบคุมส่วนที่แตกต่างกันจะเป็นส่วนประมวลผลที่จะทำการประมวลผลเป็นแบบลอจิก ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานควบคุมแบบเชิงเส้นได้ โดยสัญญาณเอาต์พุตจะมี 2 สภาวะคือ ปิดและเปิด และอุปกรณ์สุดท้ายของฟังก์ชันนิรภัยจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเพียง 2 สภาวะเพียงปิดและเปิดเท่านั้น เช่น วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) หรือตัวควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถปรับค่าจุดทำงาน (Set Point) ที่ตัวประมวลผลในช่วงการปฏิบัติงานปกติได้ โดยค่าจุดทำงานนี้จะถูกกำหนดไว้แล้วตั้งแต่ในช่วงการกำหนดรายละเอียดและผู้ผลิตได้ทำการกำหนดค่าจุดทำงาน

ในช่วงการเขียนโปรแกรมการทำงาน การเปลี่ยนแปลงค่าจุดทำงาน จะต้องมีการควบคุมหรือมีลำดับขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลง (Procedure) อย่างเคร่งครัด ในการทำงานตัวประมวลผลจะทำอ่านค่าตัวแปรมาจากอุปกรณ์วัด ตัวประมวลผลจะทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าจุดทำงาน ถ้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดมีค่าน้อยกว่า (มากกว่า) ค่าจุดทำงาน ตัวประมวลผลจะไม่ทำงาน แต่ถ้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดมีค่ามากกว่าค่ามากกว่า (น้อยกว่า) จุดทำงาน ตัวประมวลผลจะทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์สุดท้ายให้ทำการปิดหรือเปิดตามที่ได้กำหนดไว้ ตัวอย่างฟังก์ชันนิรภัยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.21

จากภาพที่ 2.21 เป็นแผนภาพแสดงกระบวนการที่เหมือนกันแผนภาพดังรูปที่ 2.18 แต่จะมีการเพิ่มเติมฟังก์ชันนิรภัยในการป้องกันความดันเกิน (Over Pressure Protection) โดยมีอุปกรณ์การวัดความดันในถัง และจะมีวาล์วนิรภัยที่ใช้สำหรับปิดเปิดของไหลด้านขาเข้าถัง การทำงานของฟังก์ชันนิรภัยจะเป็นการปิดวาล์วนิรภัย เมื่อค่าความดันที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดความดันในมากกว่าค่าที่กำหนด



ภาพที่ 2.21 ฟังก์ชันนิรภัย

### 2.4.3 วิวัฒนาการของระบบนิรภัย

ในอุตสาหกรรมการผลิตจะมีตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการได้หลายค่า ซึ่งจะมีตัวแปรในกระบวนการบางส่วนจะทำให้การทำงานของกระบวนการเบี่ยงเบนไปจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ดังนั้นหน้าที่หลักของระบบการควบคุมพื้นฐานจะใช้ในการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เหล่านั้นให้มีค่าอยู่ในค่าที่กำหนด เพื่อให้กระบวนการทำงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ กระบวนการจะถูกควบคุมด้วยการสังเกต การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ จากอุปกรณ์การวัด ข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการ โดยการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปจัดการกับกระบวนการผ่านอุปกรณ์สุดท้าย

กระบวนการและระบบควบคุมบางครั้งมีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายต่าง ๆ ความเสี่ยงเป็นการรวบรวมความถี่และความเป็นไปได้ในการเกิดเหตุการณ์อันตรายและผลกระทบที่จะตามมา ระบบควบคุมที่มีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายสูงๆ เหล่านี้ จะมีโอกาสที่จะทำอันตรายต่อมนุษย์ สิ่งแวดล้อม และอุปกรณ์ที่มีราคาแพงในกระบวนการได้ บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องติดตั้งระบบควบคุมสำรอง (Redundancy Control System) เพื่อทำการลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้จะจัดอยู่ในระบบที่เรียกว่า “ระบบนิรภัย” (Safety Systems) มาตรฐาน ANSI-SP84 ได้แสดงความหมายของระบบนิรภัยที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตว่า “เป็นระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และอุปกรณ์สุดท้าย เพื่อทำหน้าที่ในการนำกระบวนการเข้าสู่ภาวะปลอดภัย เมื่อพบว่ากระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะอันตราย”

ระบบป้องกัน (Protective System) หรือระบบนิรภัย (Safety Related System) สามารถให้คำจำกัดความได้หลายความหมายและยังสามารถถูกนำไปใช้งานได้หลายประเภท ซึ่งอาจจะสามารถทำให้เกิดความเข้าใจที่สับสน การใช้งานระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตมีการใช้งานมาเป็นเวลานานและก็มีชื่อเรียกได้หลายชื่อเช่นกัน อาทิเช่น Interlock System, Instrument Protective System, Emergency Shut Down System (ESD), Safety Instrumented System (SIS) เป็นต้น คำจำกัดความของระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตอีกความหมายหนึ่งได้ถูกแสดงไว้ในเอกสาร HSE (Health and Safety Executive) ที่ประเทศอังกฤษในปี 1987 โดยเอกสารดังกล่าวได้ให้คำจำกัดความของระบบนิรภัยว่าเป็นระบบที่ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ตอบสนองต่อสภาวะใดๆ จากกระบวนการผลิตที่อาจจะเกิดอันตรายด้วยตัวมันเอง หรือถ้าไม่มีการกระทำใดๆ ต่อเหตุการณ์นั้นจะทำให้เกิดอันตรายเพิ่มขึ้นและระบบนิรภัยจะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปทำให้ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมาลดลง เป้าหมายการทำงานของระบบนิรภัยเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ

1. ต้องสามารถทำงานได้ตลอดเวลา
2. ต้องไม่มีความผิดพลาดในการทำงาน

ในสหรัฐอเมริกา บริษัทผู้รับประกันภัยต่างๆ ได้กำหนดให้ใช้มาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Administration) เป็นข้อกำหนดในการใช้งานระบบบริหารการเผาไหม้ (Burner Management System) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสากลของระบบนิรภัยสำหรับใช้อ้างอิงในการนำไปใช้งาน แต่ได้มีผู้ใช้งานบางรายได้กำหนดมาตรฐานระบบนิรภัยขึ้นมาใช้เอง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบนิรภัยที่ได้ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตของตนเองนั้น มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานระบบนิรภัยได้ถูกมีการนำมาใช้งานในทวีปยุโรปก่อนในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากในทวีปยุโรปบางประเทศจะเป็นข้อกำหนดทางกฎหมาย ตัวอย่างเอกสารมาตรฐานระบบนิรภัยที่มีใช้ในยุโรป อาทิเช่น Health and Safety Executive (HSE), TUV และ DIN 19250 เป็นต้น

เป็นที่ทราบกันดีทั้งยุโรปและอเมริกาว่า การพัฒนา ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความปลอดภัย เป็นแรงกระตุ้นให้เกิดมาตรฐานสำหรับการออกแบบและใช้งานระบบนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต ISA (Instrument Society of America) จึงได้จัดตั้งคณะกรรมการ SP84 ขึ้นเพื่อสำหรับดำเนินการจัดการทำมาตรฐานเกี่ยวกับระบบนิรภัยสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตขึ้น มาตรฐานที่คณะกรรมการ SP84 ได้จัดทำขึ้นและผ่านการลงมติจากสมาชิกสำหรับการนำไปใช้งานคือ มาตรฐาน ANSI/ISA-SP-84.01 “Application of Safety Instrumented Systems for the process industries” ทางด้านยุโรปก็ได้มีการจัดตั้งคณะกรรมการ SC65A ขึ้นสำหรับดำเนินการจัดทำมาตรฐานสากลของระบบนิรภัยสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตขึ้น มาตรฐานที่คณะกรรมการ SC65A จัดทำขึ้นและผ่านการลงมติจากสมาชิกในการนำไปใช้งานคือ มาตรฐาน IEC-61508 “Function Safety of Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety-Related System” และมาตรฐาน IEC-61511 “Function Safety : Safety Instrumented System for the process industry sector” ซึ่งคาดว่า จะเป็นมาตรฐานที่มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการออกแบบและใช้งานระบบนิรภัยที่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และระบบที่สามารถโปรแกรมการทำงานสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตชนิดต่างๆ

นอกจากนั้นแล้วระบบนิรภัยที่มีความเชื่อมั่นในการทำงานได้สูงๆ จะต้องสามารถแสดงและตรวจจับความผิดพลาดในตัวเอง (Self-Diagnostic) ได้ในระหว่างการทำงาน ความสามารถในการตรวจจับความผิดพลาดของตัวเองมีความสำคัญมากในระบบนิรภัยและเป็นตัวแสดงความเชื่อมั่น

ในการทำงานของระบบ การตรวจจับความผิดพลาดที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ การตรวจจับความผิดพลาด (Fault Detection) และความทนทานต่อความผิดพลาด (Fault Tolerance)

การตรวจจับความผิดพลาดจะถูกใช้ในระหว่างการใช้งาน สำหรับตรวจจับความผิดพลาดต่างๆ ในระหว่างการใช้งานเพื่อให้ระบบอยู่ในสถานะที่ปลอดภัย

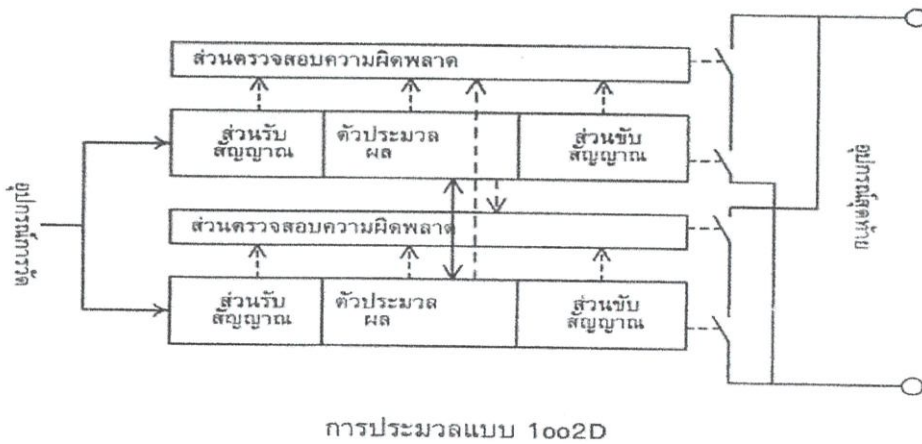
ความทนทานต่อความผิดพลาดเป็นคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของระบบนิรภัยและสามารถใช้ในการป้องกันความผิดพลาดของระบบจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่นำไปใช้งานและจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบนิรภัยทำงานผิดพลาด เทคนิคของการทนทานต่อความผิดพลาดถูกออกแบบให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้องในขณะที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

ก่อนปี 1980 ยังไม่มีมาตรฐานใด ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบระบบควบคุมหรือระบบนิรภัยต้องการความเชื่อมั่นในการทำงานสูงๆ ระบบนิรภัยช่วงแรกๆถูกออกแบบติดตั้งและบำรุงรักษาโดยทางแผนกไฟฟ้า การออกแบบจะใช้สวิทช์พื้นฐานและรีเลย์เป็นหลัก ระบบรีเลย์เป็นมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งปี 1960 การสวิทช์ด้วยทรานซิสเตอร์ หรือเรียกว่า โซลิดสเตต (Solid-State) เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์สามารถใช้งานได้กับงานที่ต้องการประมวลผลที่ซับซ้อนได้ แต่ระบบดังกล่าวก็ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในระบบนิรภัย เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่า ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ไตรแอก เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถคาดคะเนความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้อาจจะมีความผิดพลาดอันตราย (Dangerous Failure) หรือนิรภัย (Safe Failure) ได้เท่าๆ กัน (50%) ในระบบนิรภัยต้องการออกแบบระบบให้มีคุณสมบัติสำหรับการเกิดความผิดพลาดเป็นแบบนิรภัย ซึ่งในระบบนิรภัยที่ใช้การสวิทช์ด้วยทรานซิสเตอร์สามารถออกแบบให้มีชุดทำงานสำรอง (Redundancy System) อาจใช้เป็นสองชุด (Dual) หรือ สามชุด (Triple) สำหรับใช้เป็นชุดทำงานสำรองในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นกับชุดทำงานหลัก วิธีการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับให้ใช้ในระบบนิรภัยโดย TUV และมาตรฐาน VDE

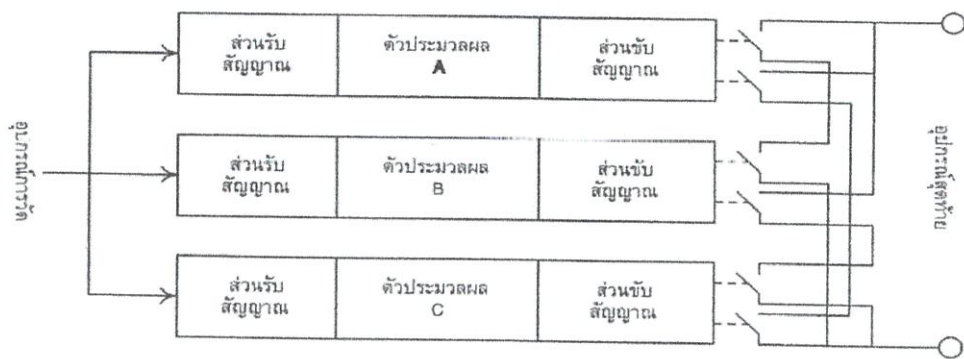
ในปี 1985 เท็กซัส อินสตรูเมนต์ (Texas Instrument) ได้คิดค้นและประดิษฐ์วงจรรวม (Integrated Circuit) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ระบบรีเลย์และการสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์จึงถูกแทนที่ด้วยการโปรแกรมคำสั่งการทำงานที่ประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เหล่านี้ส่วนประมวลผลกลาง (Central Processor Unit) ที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบและเป็นที่รู้จักใช้งานกันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมคือ PLC (Programmable Logic Controller) PLC เป็นระบบควบคุมที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายอย่างมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ทำให้ PLC เป็นอุปกรณ์การควบคุมที่สามารถเลือกใช้งานและหาได้ง่ายในท้องตลาด แต่ส่วนประมวลผลกับส่วนรับและส่งสัญญาณ (Input และ Output Cards) ของ PLC ที่ใช้ในงานควบคุมก็ยังมีค่าความผิดพลาดที่ไม่อาจคาดคะเนได้ ดังนั้นในการนำ PLC ไปใช้ในระบบนิรภัยจึงต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษหรือติดตั้งชุดทำงานสำรอง

#### 2.4.4 ระบบนิรภัยแบบประมวลผลด้วย PLC

ระบบประมวลผลด้วย PLC เป็นระบบที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และถูกรับรองให้นำไปใช้ในระบบนิรภัยได้ PLC ที่จะนำมาใช้งานเป็นส่วนประมวลผลในระบบนิรภัยได้ถูกออกแบบอย่างพิเศษและมีการทดสอบการทำงานจากสถาบันที่มีความเชื่อถือได้ตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.22 และ ภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.22 ระบบประมวลผลด้วย PLC แบบ 1 out of 2(1oo2)



การประมวลแบบ 2oo3

ภาพที่ 2.23 ระบบประมวลผลด้วย PLC แบบ 2 out of 3 (2oo3)

ซึ่งมีข้อดีดังนี้

1. สามารถใช้งานกับสัญญาณอินพุตที่เป็น Analog ได้
2. เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่กำหนดจุดทำงาน (Set Point) ง่าย
3. สามารถจัดเตรียมระบบการตรวจสอบความผิดพลาดได้
4. สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้

## 2.5 อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบวัดคัมมิรภัย

### 2.5.1 บทนำ

อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์สุดท้ายจะเป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดส่วนหลักๆ ของระบบวัดคัมมิรภัย โดยอุปกรณ์การวัดจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนตัวแปรจากกระบวนการผลิตไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณไปให้กับส่วนประมวลผล อาทิเช่น อุปกรณ์การวัดต่างๆ อุปกรณ์สุดท้ายจะเป็นอุปกรณ์ที่กระทำต่อกระบวนการผลิตตามการสั่งการมาจากระบบวัดคัมมิรภัย เช่น วาล์วนิรภัย และชุดควบคุมมอเตอร์ เป็นต้น

อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์สุดท้ายของระบบวัดคัมมิรภัย จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากอุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์สุดท้ายของระบบควบคุมพื้นฐาน เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าอุปกรณ์ต่างๆ จะมีอายุการใช้งานหรือมีโอกาสการทำงานผิดพลาดได้เมื่อเวลาในการใช้งานผ่านไป แต่ความต้องการหลักของระบบนิรภัยต้องทำงานได้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลา โดยไม่มีความผิดพลาดหรือถ้ามีความผิดพลาดจะต้องอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นการทำงานของระบบวัดคัมมิรภัยจะถูกออกแบบให้มีการทำงานแบบ ผิดพลาดนิรภัย (Fail Safe Design) จะเป็นการออกแบบให้ระบบวัดคัมมิรภัยเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในส่วนต่างๆ ของระบบจะต้องไม่ทำให้กระบวนการเข้าสู่ภาวะอันตราย

### 2.5.2 อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบวัดคัมมิรภัย

#### 2.5.2.1 อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ผ่านการรับรอง (Certified Device)

อุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในระบบนิรภัยมีทั้งอุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบและได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือ สามารถนำไปใช้กับระบบนิรภัยได้ และยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิดที่ยังไม่ได้มีการรับรองให้ใช้ในระบบนิรภัย แต่ก็สามารถนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปใช้ในระบบนิรภัยได้ แต่การนำอุปกรณ์ที่ยังไม่ได้มีการรับรองไปใช้งานจะต้องมีการพิจารณารายละเอียด อัตราความผิดพลาดและชนิดของความผิดพลาด ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะต้องมีการตรวจสอบจากสถาบันที่เชื่อถือได้ แทนการรับรองจากผู้ผลิตอุปกรณ์เพียงอย่างเดียว เพื่อความเชื่อถือได้ของข้อมูล สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จะนำมาใช้งานกับระบบวัดคัมมิรภัยแล้วมาตรฐาน IEC 61508 Part2 ได้จัดเตรียมตารางการจัดลักษณะรูปแบบของอุปกรณ์ในระบบวัดคัมมิรภัยไว้ 2 ตาราง โดยตารางทั้งสองจะแบ่งแยกคุณสมบัติของส่วนประกอบในอุปกรณ์ออกเป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบชนิด A และอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบชนิด B อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ถูกเรียกว่า “ระบบย่อย” (Subsystem)

#### 2.5.2.1.1 อุปกรณ์ชนิด A (Type A)

อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนพื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อาทิเช่น ตัวทรานซิสเตอร์ ตัวคาปาซิเตอร์ ตัวต้านทาน และขดลวด เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและสามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

อุปกรณ์การวัดต่อเนื่องแบบทั่วไป (Conventional Analogue Transmitter) อุปกรณ์การวัดแบบหน้าสัมผัส อาทิเช่น สวิตช์ระดับ (Level Switch) สวิตช์ความดัน (Pressure Switch) สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch) และสวิตช์ตำแหน่ง (Position Switch) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จัดเป็นอุปกรณ์ชนิด A

#### 2.5.2.1.2 อุปกรณ์ชนิด B (Type B)

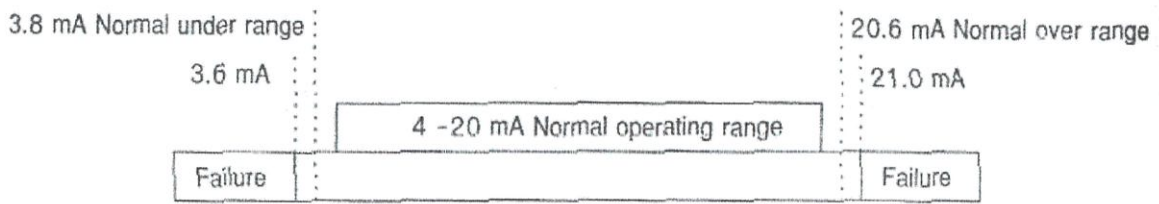
อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิเช่น วงจรรวม (Integrated Circuit : IC) หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและไม่สามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

อุปกรณ์การวัดต่อเนื่องแบบชาญฉลาด (Smart Transmitter) อุปกรณ์ชนิดนี้จัดเป็นอุปกรณ์ชนิด B

#### 2.5.3 อุปกรณ์การวัดนิรภัย (Safety Transmitter)

ปัจจุบันได้มีการออกแบบวงจรไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดซึ่งถูกประกอบเข้าไปภายในอุปกรณ์การวัดแบบชาญฉลาด จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้มีความสามารถในการตรวจสอบความผิดพลาดแบบอัตโนมัติได้สูงขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกว่า “อุปกรณ์การวัดนิรภัย” (Safety Transmitter)

การตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ชนิดนี้ มีประโยชน์อย่างมากที่จะทำให้ระบบวัดคุมนิรภัยรู้ว่าจะเกิดความผิดพลาดกับอุปกรณ์การวัด การทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้ด้วยการส่งสัญญาณ ไปให้กับตัวประมวลผลของระบบวัดคุมนิรภัยเมื่อตรวจจับความผิดพลาดได้ โดยสัญญาณที่ส่งจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน NAMUR NE43 มาตรฐานนี้ได้ใช้ช่วงสัญญาณกระแสเพิ่มเข้าไปในมาตรฐานสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อแสดงความผิดพลาดที่ตรวจจับได้ ดังนั้นตัวประมวลผลที่จะนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ชนิดนี้ จะต้องสามารถรับรู้ช่วงสัญญาณกระแสตามมาตรฐานนี้ด้วย เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งานสัญญาณตามมาตรฐาน NAMUR NE43



ภาพที่ 2.24 สัญญาณกระแสตามมาตรฐาน NAMUR NE43

ตารางที่ 2.19 ความหมายของสัญญาณกระแสตามมาตรฐาน NAMUR NE43

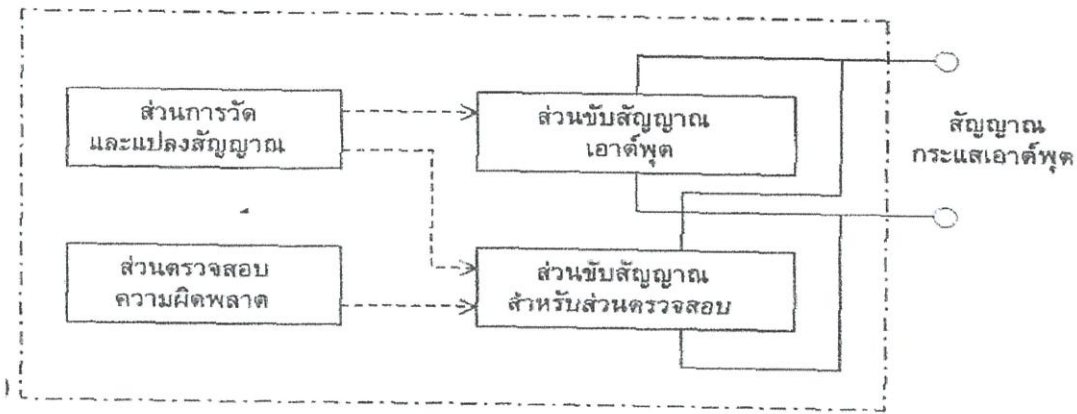
ลัดวงจรหรือผิดพลาด	เอาต์พุต $\geq 21.0$
ค่าเกินกว่าช่วงทำงาน	$20.5 \geq$ เอาต์พุต $> 20.0$
ช่วงทำงานค่าสูงสุด	20.0
ช่วงทำงานค่าต่ำสุด	4.0
ค่าต่ำกว่าช่วงทำงาน	$4.0 >$ เอาต์พุต $\geq 3.8$
ผิดพลาดที่ช่วงทำงานค่าต่ำ	$3.8 >$ เอาต์พุต $> 3.6$
เปิดวงจร	$3.6 \geq$ เอาต์พุต

จากภาพที่ 2.24 อุปกรณ์การวัดแบบนิริภยจะส่งสัญญาณกระแสในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์ซึ่งจะเป็นสภาวะปกติของอุปกรณ์สัญญาณกระแส ในช่วงที่นอกเหนือจากช่วง 4-20 มิลลิแอมป์จะเป็นสัญญาณที่ใช้ในการแสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยสัญญาณกระแสในช่วง 3.6-3.8 และ 20.5-21 มิลลิแอมป์ จะเป็นการแสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ สัญญาณกระแสในช่วง 0-3.6 มิลลิแอมป์ จะเป็นการแสดงว่ามีการเปิดวงจร (Open Circuit) เกิดขึ้น ขณะที่สัญญาณกระแสที่เกิน 21 มิลลิแอมป์ จะเป็นการแสดงว่ามีการลัดวงจร (Short Circuit) เกิดขึ้น

อุปกรณ์การวัดแบบนิริภยจะมีการจัดเตรียมวงจรจ่ายกระแสที่เป็นอิสระ ต่อขนานกับส่วนขับสัญญาณกระแสมาตรฐาน เพื่อบังคับค่าสัญญาณกระแสที่ออกจากอุปกรณ์ในการแสดงค่าความผิดพลาดที่ตรวจจับได้ และรายละเอียดของอุปกรณ์การวัดแบบนิริภยได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.25

ด้วยเหตุผลดังที่แสดงรายละเอียดไปแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์การวัดแบบนิริภย จะมีค่าอัตราความผิดพลาดแล้วเกิดความปลอดภัยสูง เนื่องจากมีระบบการตรวจสอบความผิดพลาดแบบอัตโนมัติ ที่สามารถแสดงความผิดพลาดได้ดีกว่าอุปกรณ์การวัดแบบทั่วไปและแบบชาญ

ฉลาด ซึ่งอุปกรณ์การวัดแบบนิรภัยได้รับการรับรองจากสถาบันการตรวจสอบ TUV ว่ามีค่าระดับความปลอดภัยที่ระดับ 2 (SIL2)

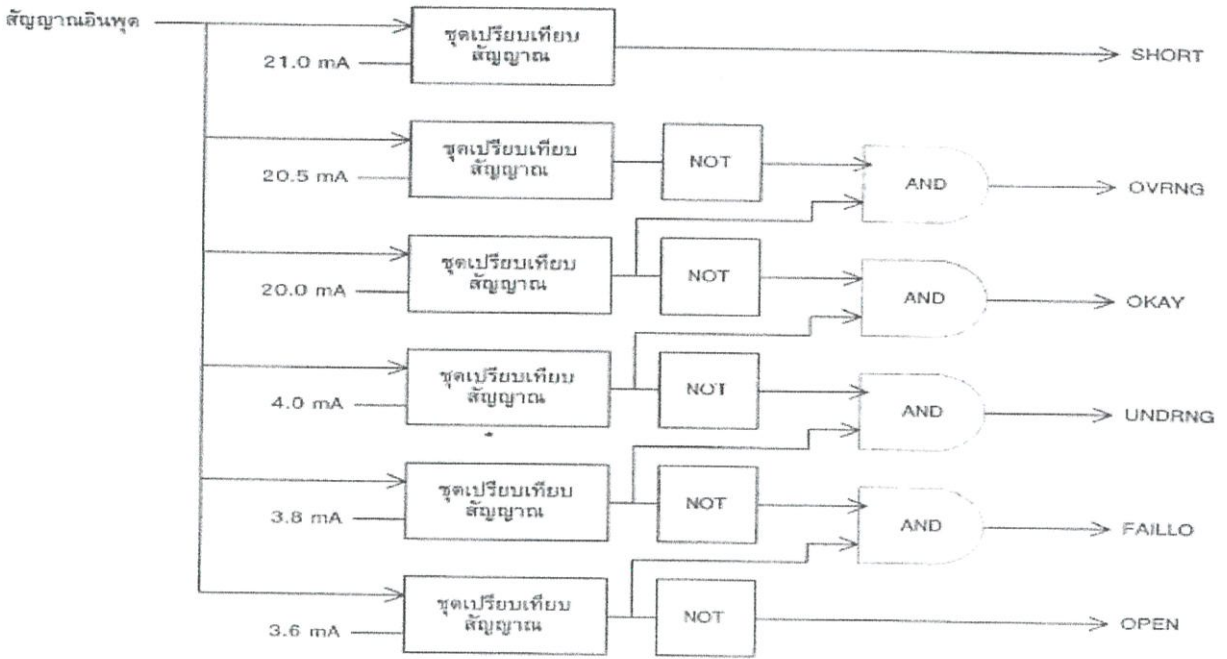


ภาพที่ 2.25 อุปกรณ์การวัด (Safety Transmitter)

### 2.5.3.1 โปรแกรมการตรวจสอบความผิดพลาดของอุปกรณ์การวัดนิรภัย

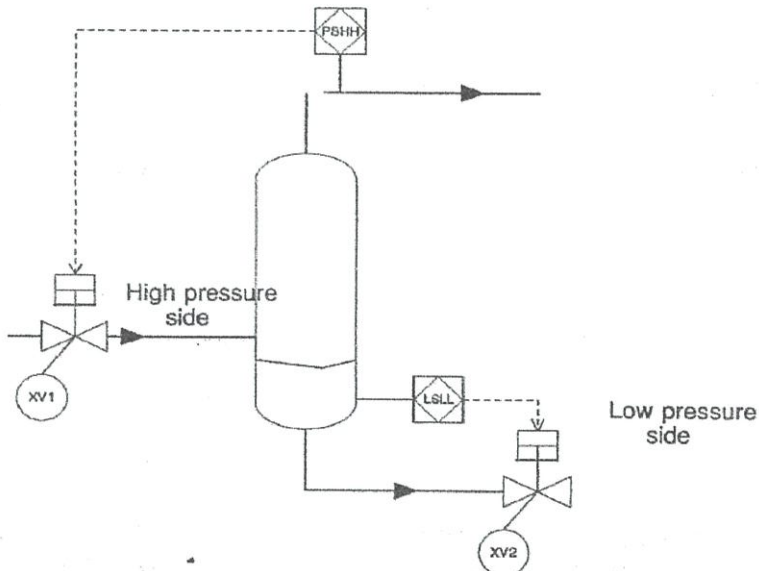
อุปกรณ์การวัดนิรภัยเมื่อนำไปใช้งานจะต้องมีการโปรแกรมการทำงานในระบบวัดคุมนิรภัยให้สามารถอ่านค่าสัญญาณต่างๆ ของอุปกรณ์ได้ ในช่วงเวลาการทำงานปกติเครื่องมือวัดนิรภัยจะให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตเป็น 4-20 mA ซึ่งสามารถต่อรวมเข้ากับอินพุตของระบบประมวลผลได้โดยตรง แต่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นที่ตัวอุปกรณ์ สัญญาณกระแสเอาต์พุตจากอุปกรณ์จะเป็นไปตามภาพที่ 2.24 หลังจากนั้นระบบประมวลผลจะต้องถูกโปรแกรมให้สามารถแปรค่าสัญญาณกระแสเอาต์พุตของเครื่องมือวัดนั้นๆ ได้ การเขียนโปรแกรมในการแปรค่าสัญญาณกระแสกระทำโดยการเปรียบเทียบค่ากระแสจากสัญญาณเอาต์พุตเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงดังแสดงในภาพที่ 2.24 และแสดงค่าต่างๆ ที่ได้ไปแสดงผลที่ระบบควบคุมกระบวนการผลิตหลักเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรู้ สำหรับตัวอย่างแผนภาพการเขียนโปรแกรมสำหรับตรวจสอบค่าสัญญาณอินพุตแสดงดังภาพที่ 2.26

การทำงานของแผนภาพโปรแกรมสามารถแสดงเป็นดังนี้ เมื่อมีสัญญาณอินพุตจากเครื่องมือวัด โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ถ้าสมมติให้สัญญาณกระแสอินพุตเริ่มจาก 0 mA ทำให้เอาต์พุตจากตัวเปรียบเทียบทั้ง 6 ตัวเป็นศูนย์ทั้งหมด โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น "OPEN" เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ตัวที่หนึ่งทำงาน ถ้าสัญญาณกระแสอินพุตเพิ่มขึ้นจนเกิน 3.6 mA โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น "FAILLO" เนื่องจากลอจิก AND ตัวที่หนึ่งทำงาน ถ้าสัญญาณกระแสอินพุตเพิ่มขึ้นจนเกิน 3.8 mA โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น "UNDRNG" เนื่องจากลอจิก AND ตัวที่สองทำงาน ถ้าสัญญาณกระแสอินพุตเพิ่มขึ้นจนเกิน 4.0 mA โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น "OKAY"

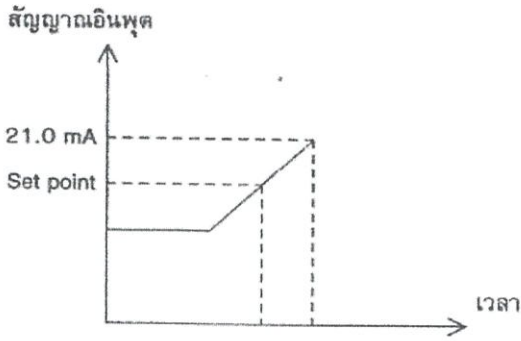


ภาพที่ 2.26 ตัวอย่างแผนภาพโปรแกรมการตรวจสอบสัญญาณอินพุต

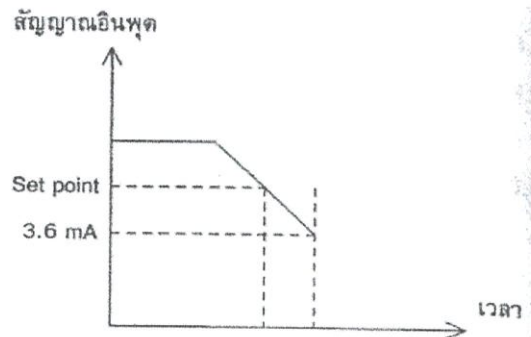
เนื่องจากลอจิก AND ตัวที่สามทำงาน ถ้าสัญญาณกระแสอินพุตเพิ่มขึ้นจนเกิน 20.0 mA โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น “OVRNG” เนื่องจากลอจิก AND ตัวที่สี่ทำงาน และถ้าสัญญาณกระแสอินพุตเพิ่มขึ้นจนเกิน 20.5 mA โปรแกรมจะแสดงสถานะเป็น “SHORT” เนื่องจากตัวเปรียบเทียบตัวสุดท้าย



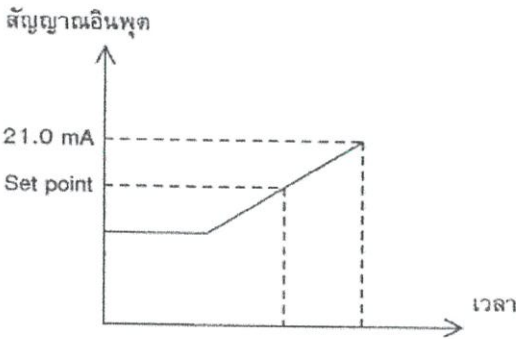
ภาพที่ 2.27 แสดงตัวอย่างระบบวัดคัมมิรภัยสำหรับการทำงานที่สัญญาณสูงและต่ำ



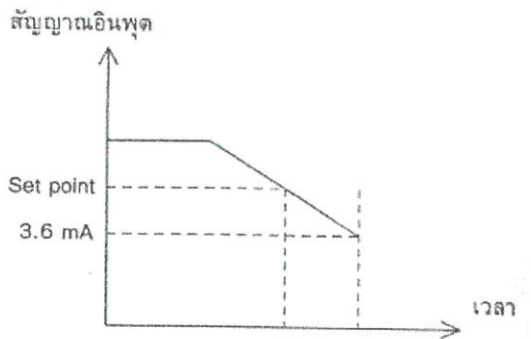
ก) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสจากการลัดวงจร



ข) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสจากการเปิดวงจร



ค) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสจากกระบวนการผลิตที่สัญญาณสูง (High signal)



ง) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสจากกระบวนการผลิตที่สัญญาณต่ำ (Low signal)

ภาพที่ 2.28 เวลาที่เกิดการลัดและเปิดวงจรเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกระบวนการผลิต

แต่ในการใช้งานกับกระบวนการผลิตบางประเภทจะต้องมีการเปรียบเทียบเวลาในการแสดงความผิดพลาดในกรณี “SHORT” กับการนำไปใช้งานในการเตือน (Alarm) หรือทำงานที่สัญญาณสูง (Alarm or Trip at High High) และการเปรียบเทียบเวลาในการแสดงความผิดพลาดในกรณี “OPEN” กับการนำไปใช้งานในการเตือนหรือทำงานที่สัญญาณต่ำ (Alarm or Trip at Low Low) ทั้งสองกรณีสามารถแสดงตัวอย่างการทำงานของระบบนิรภัยกับกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 2.27

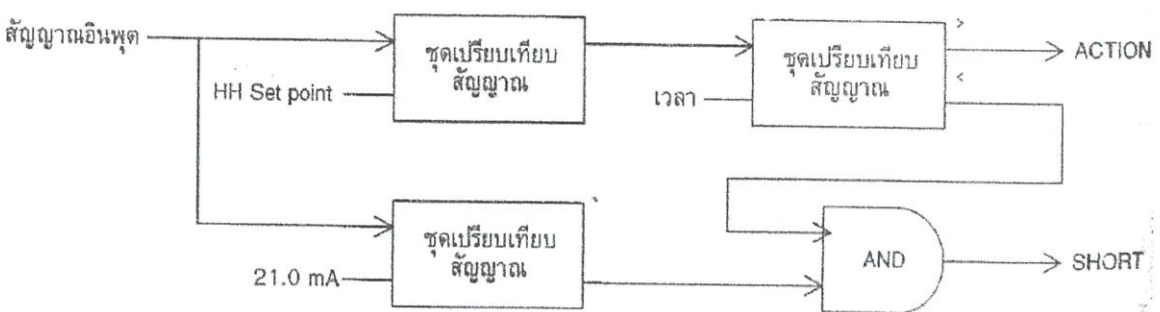
ภาพที่ 2.27 จะเห็นได้ว่ามีฟังก์ชันนิรภัยในระบบควบคุมนิรภัยอยู่ 2 ฟังก์ชัน ดังนี้ ฟังก์ชันแรกจะเป็นระบบป้องกันความดันภายในถังไม่ให้สูงกว่าค่าความดันของถังที่ทนได้ และฟังก์ชันที่สองจะเป็นระบบป้องกันไม่ให้ของเหลวในถังต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ การทำงานในสภาวะปกติเมื่อระบบนิรภัยตรวจจับสัญญาณความผิดปกติของกระบวนการผลิตจากอุปกรณ์การวัดทั้งสอง PT และ LT จะทำการสั่งปิดวาล์วนิรภัยทั้งสองตัว XV1 และ XV2 เพื่อให้กระบวนการผลิตเข้าสู่สภาวะปลอดภัย แต่จากการทำงานจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นกับอุปกรณ์การวัด PT จะทำให้สัญญาณ

กระแสเอาต์พุตของ PT เพิ่มขึ้นจนถึง 21 mA ซึ่งสัญญาณกระแสดังกล่าวจะต้องผ่านจุดที่กำหนด (Set Point) ให้ระบบนิรภัยทำงานด้วย และในทำนองเดียวกันก็จะเกิดขึ้นกับ LT ในกรณีเกิดการเปิดวงจรขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วการลัดวงจรและการเปิดวงจร จะทำให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระบวนการผลิต ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบเวลาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสที่เข้ามายังระบบประมวลผลการเกิดเหตุการณ์ทั้งสองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.28

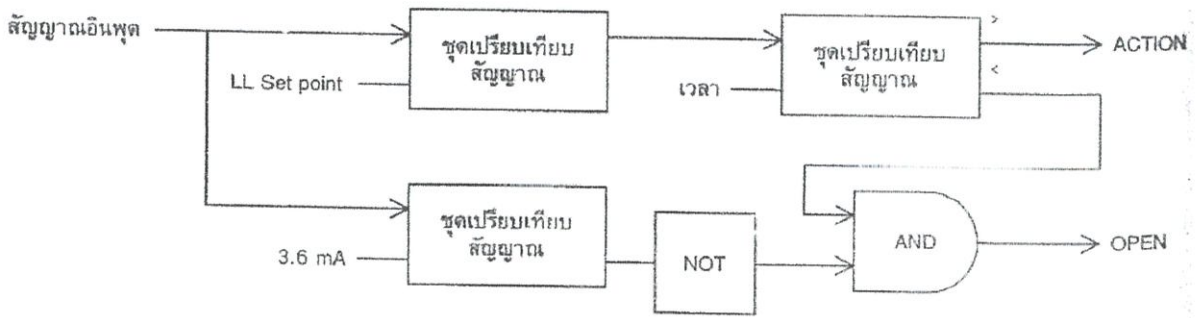
การเปรียบเทียบเวลาจะเริ่มนับจากเวลาที่สัญญาณกระแสเริ่มเกินจากจุดกำหนดให้ทำงานจนถึงค่าๆ หนึ่ง (ค่าเวลานี้ควรจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตเครื่องมือวัดนั้นๆ) เมื่อเวลาเกินกว่าเวลาที่กำหนดแสดงว่าเป็นค่าที่เกิดจากกระบวนการผลิต แต่ถ้าเร็วกว่าค่าที่กำหนดจะเป็นค่าความผิดพลาดจาเครื่องมือวัดสามารถแสดงตัวอย่างแผนภาพการเปรียบเทียบเวลาการลัดและเปิดวงจรได้ดังภาพที่ 2.29 และ 2.30

ในทางปฏิบัติจะไม่นิยมใช้วิธีการนี้ในการเขียนโปรแกรมในระบบควบคุมนิรภัย การเขียนโปรแกรมจะกำหนดให้ระบบทำงานเมื่อ เกิดลัดวงจรที่การทำงานที่สัญญาณสูง (High Trips) และเกิดเปิดวงจรที่การทำงานที่สัญญาณต่ำ (Low Trips)

ปัจจุบันอุปกรณ์เครื่องมือวัดบางชนิดสามารถกำหนดค่าวัดกระแสเอาต์พุตเมื่อเกิดความผิดปกติ (Fault) ในตัวเอง เช่น อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) สามารถกำหนดให้สัญญาณกระแสเอาต์พุตมีค่าสูงหรือต่ำ (Upscale หรือ Downscale) เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นกับตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple หรือ RTD) หรือที่เรียกว่า Burnout เป็นต้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานในระบบควบคุมนิรภัย ต้องมีการตั้งค่า Burnout ให้เหมาะสมกับการทำงาน เมื่อต้องการทำงานที่สัญญาณสูงควรตั้งค่า Burnout เป็น Upscale แต่ถ้าต้องการทำงานที่สัญญาณต่ำควรตั้งค่า Burnout เป็น Downscale



ภาพที่ 2.29 การเปรียบเทียบเวลาเพื่อหาการลัดวงจร



ภาพที่ 2.30 การเปรียบเทียบเวลาเพื่อหาการเปิดวาล์ว

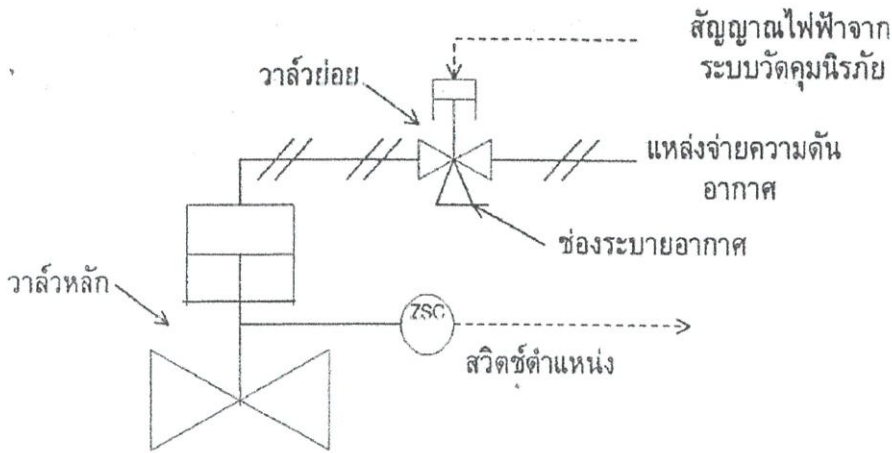
### 2.5.4 อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element)

อุปกรณ์ด้านเอาต์พุตหรืออุปกรณ์สุดท้ายของระบบวัดคุมนิรภัย เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กระทำกับกระบวนการเพื่อทำให้กระบวนการอยู่ในสถานะที่ปลอดภัยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น อุปกรณ์สุดท้ายมีการนำไปใช้งานได้หลายชนิด แต่จะมีที่สำคัญๆ อยู่ 2 ชนิดคือ วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) และชุดควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center)

#### 2.5.4.1 วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve)

วาล์วนิรภัย (Shut Down Valve) เป็นอุปกรณ์สุดท้าย (Final Element) ของระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System: SIS) ที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตทั้งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การกลั่นน้ำมัน และก๊าซ วาล์วนิรภัยจะถูกใช้เป็นตัวที่จะหยุดต้นเหตุของเหตุการณ์อันตรายหรือใช้เป็นตัวจำกัดขอบเขตความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น ใช้ปิดของไหลต้นทางเมื่อเกิดความดันเกิน หรือปิดของไหลไม่ให้ไหลไปยังบริเวณที่เกิดเหตุการณ์อันตราย เป็นต้น ดังนั้นวาล์วนิรภัยจึงต้องถูกติดตั้งในบริเวณที่เหมาะสมและต้องมีความพร้อมใช้งาน (Availability) อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ วาล์วนิรภัยจะเป็นวาล์วที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบวาล์วปิดเปิดที่ถูกสั่งการมาจากระบบวัดคุมนิรภัยด้วยสัญญาณไฟฟ้าไปยังวาล์วช่วย (Solenoid Valve) เพื่อใช้เปิดให้ความดันอากาศหรือน้ำมันไฮดรอลิก ผ่านไปทำการปิดเปิดวาล์วหลัก (Main Valve) ในสถานะปกติวาล์วนิรภัยจะไม่ทำงานและอยู่ในสถานะเปิดหรือปิดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจากฟังก์ชันนิรภัย เมื่อถึงสถานะทำงานวาล์วนิรภัยจะทำงานโดยระบบวัดคุมนิรภัยจะหยุดจ่ายพลังงานให้กับวาล์วนิรภัยจึงทำวาล์วนิรภัยเปลี่ยนสถานะไป วาล์วนิรภัยจะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบไม่มีความดันอากาศวาล์วปิด (Air Failure Close) และแบบไม่มีความดันอากาศวาล์วเปิด (Air Failure Open) ซึ่งปกติแล้ววาล์วหลัก (Main Valve) ของทั้งสองแบบจะถูกปิดหรือเปิดด้วยแรงจากสปริงและจะถูกเปิดหรือปิดจากความดันของอากาศผ่านวาล์วช่วย (Solenoid Valve) ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าจากระบบวัดคุมนิรภัย

ดังแสดงในภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 วาล์วนิรภัย

ตัววาล์วนิรภัยจะถูกติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิต เพื่อทำการปิดเปิดของไหลที่จะเป็นต้นเหตุของเหตุการณ์อันตราย จะเห็นได้ว่าตัววาล์วหลักจะต้องสัมผัสอยู่กับของไหลในกระบวนการผลิตอยู่ตลอดเวลา ซึ่งของไหลเหล่านี้จะมีสถานะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตที่นำไปใช้งาน เช่น การกักคร่อน มีสิ่งสกปรกปะปนอยู่หรือมีความร้อนสูง เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของไหลเหล่านี้เอง สามารถเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกหรอหรือมีสิ่งสกปรกเกาะติดภายในตัววาล์วเมื่อมีระยะเวลาการใช้งานผ่านไป ซึ่งอาจเป็นผลทำให้วาล์วนิรภัยมีความผิดพลาดอันตราย (Dangerous Failure) เกิดขึ้นหรือไม่สามารถทำหน้าที่ในเวลาที่ต้องการได้ เช่น ไม่สามารถเปิดปิดได้เต็มระยะชัก ปิดไม่สนิท เปิดปิดได้ช้ากว่ากำหนด เป็นต้น ซึ่งอาจจะเป็นต้นเหตุของเหตุการณ์อันตรายและความเสียหายก็จะเกิดขึ้นตามมา ระบบวัดคุมนิรภัยจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันนิรภัย (Safety Function) หลายๆ ฟังก์ชัน ซึ่งมาตรฐานสากลสำหรับการออกแบบระบบวัดคุมนิรภัย IEC 61508 ได้กำหนดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันนิรภัยออกได้เป็นระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level : SIL) ตามช่วงของค่าความผิดพลาดอันตราย โดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันนิรภัยจะขึ้นอยู่กับผลรวมค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ทุกๆ ส่วนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในฟังก์ชันนิรภัยกับระยะเวลาในการใช้งาน ซึ่งวาล์วนิรภัยก็จะเป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันนิรภัยด้วย ดังนั้นการเลือกใช้วาล์วนิรภัยในระบบนิรภัยจะต้องเลือกใช้ให้มีความผิดพลาดอันตรายให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยนั้นและยังสามารถใช้เป็นตัวแสดงค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ในการทำงานของวาล์วนิรภัย

## 2.6 ส่วนประมวลผล (Logic Solver)

ตัวประมวลผลเป็นส่วนหลักของระบบควบคุมนิรภัย สำหรับใช้ในการประมวลผลจากข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์การวัดและสั่งการไปยังอุปกรณ์สุดท้าย ดังนั้นส่วนประมวลผลจะต้องทำงานได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง เทคโนโลยีหลายๆแบบที่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลของระบบควบคุมนิรภัย การเลือกใช้เทคโนโลยีใดนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายๆตัว อาทิเช่น ค่าระดับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ขนาดของระบบ ความสามารถในการนำไปใช้งาน และความต้องการในการส่งผ่านข้อมูลต่างๆ

### 2.6.1 บทนำ

เทคโนโลยีแรกที่มีการนำไปใช้งานในระบบนิรภัยเป็นระบบสัญญาณลม (Pneumatic) ในการใช้งานจะคล้ายคลึงกับการใช้งานในระบบควบคุมพื้นฐาน ระบบสัญญาณลมยังคงมีใช้งานในปัจจุบัน โดยเฉพาะบนแท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล (Offshore) จะเป็นระบบที่ทำงานโดยไม่ต้องมีพลังงานไฟฟ้า ระบบนิรภัยแบบนี้จะนำไปใช้กับระบบที่มีขนาดเล็กๆ

เทคโนโลยีอีกแบบหนึ่งที่พบเห็นการใช้งานได้ในระบบนิรภัยจะเป็นระบบรีเลย์รีเลย์ เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สามารถเข้าใจการทำงานและความผิดพลาดในการทำงานได้เป็นอย่างดี ยังสามารถนำไปใช้กับฟังก์ชันนิรภัยที่ระดับค่าความปลอดภัย SIL 3 (Safety Integrity Level) ได้ถ้ามีการเลือกใช้รีเลย์และการออกแบบระบบอย่างถูกต้อง ในปัจจุบันรีเลย์จะถูกเลือกใช้กับระบบขนาดเล็กและมีฟังก์ชันการทำงานที่ไม่ซับซ้อน รีเลย์เป็นระบบที่มีราคาถูกในการจัดหาแต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงในการบำรุงรักษา การเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมจะทำได้ยากในระบบที่มีขนาดใหญ่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆกับระบบจะต้องมีการแก้ไขเอกสารให้ถูกต้องด้วย

ในปัจจุบันระบบนิรภัยเกือบทั้งหมดจะใช้เทคโนโลยีไมโครโพรเซสเซอร์ (Micro-processor) และระบบการโปรแกรม (Software) ร่วมกันหรือที่รู้จักกันดีในชื่อว่า PLC (Programmable Logic Controller) คุณสมบัติเด่นของระบบจะเป็นความสามารถในการประมวลผล เป็นระบบที่สามารถเพิ่มเติมและเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เพียงการแก้ไขโปรแกรมในการทำงานก็จะทำให้คุณลักษณะในการทำงานเปลี่ยนไป โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ใดๆ ข้อเสียลำดับแรกจะเป็นความยุ่งยากและซับซ้อนของระบบ เนื่องจากการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ต่างๆกับโปรแกรม PLC จะมีความยุ่งยากในการตรวจสอบการทำงาน อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบที่ได้รับจากโปรแกรมการทำงานจะมีน้ำหนักมากกว่าข้อเสียต่างๆและบางครั้งในการใช้งานค่าใช้จ่ายสำหรับการโปรแกรมจะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการเปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยีแบบอื่น

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นส่วนประมวลผลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมกระบวนการผลิตได้หลายประเภทและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน นอกจากนี้ PLC ยังถูกนำไปใช้สำหรับการประมวลผลในระบบนิรภัยจะถูกเรียกว่า ส่วนประมวลผลสำหรับนิรภัย (Safety PLC) ซึ่งเป็นส่วนประมวลผลที่ออกแบบมาพิเศษสำหรับระบบนิรภัย หรือใช้ในการควบคุมแบบวิกฤติ (Critical Control) ในการเลือกใช้ส่วนประมวลผลสำหรับระบบควบคุมนิรภัยแล้ว บ่อยครั้งจะพบคำถามว่าทำไมไม่สามารถใช้ส่วนประมวลผลแบบทั่วไป (Conventional PLC) กับระบบนิรภัยได้ หรืออะไรเป็นความแตกต่างของส่วนประมวลผลทั้งสอง

ส่วนประมวลผลสำหรับระบบนิรภัยจะถูกออกแบบเป็นอย่างพิเศษเพื่อให้บรรลุถึงจุดประสงค์ 2 ประการดังต่อไปนี้

1. ต้องไม่มีความผิดพลาด และถ้าหลีกเลี่ยงความผิดพลาดไม่ได้ต้องมีชุดทำงานสำรอง (Redundancy)
2. ความผิดพลาดต้องคาดคะเนได้หรือเป็นความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure)

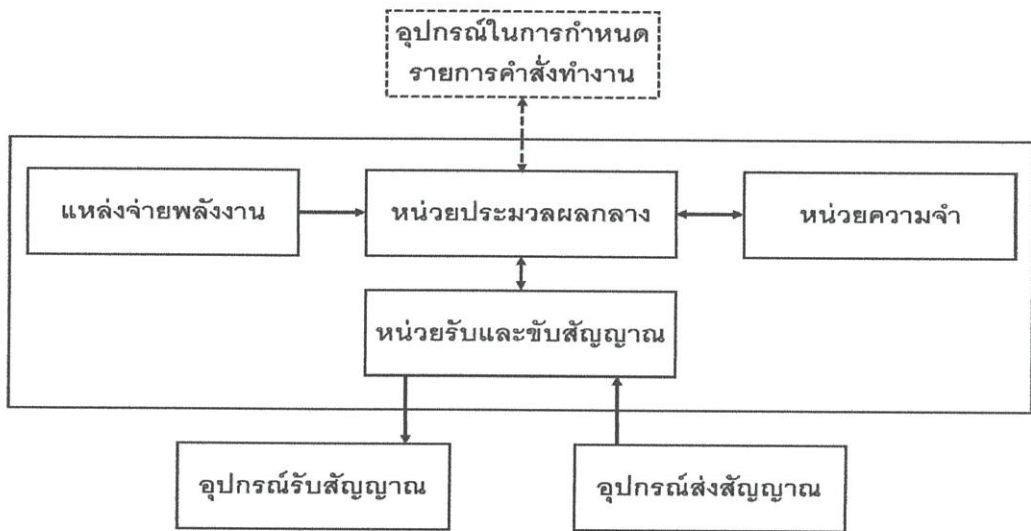
ส่วนประมวลผลสำหรับระบบนิรภัยจะมีเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์(Hardware) และโปรแกรมการควบคุม (Software) อย่างพิเศษและมีหลายรูปแบบ เพื่อให้มีความเชื่อมั่นในการทำงานได้สูง อาทิเช่น ระบบการตรวจสอบความผิดพลาดภายในระบบเอง ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ กับโปรแกรม มีโปรแกรมการทำงานที่เชื่อถือได้ มีชุดทำงานสำรองเมื่อชุดทำงานหลักเกิดความผิดพลาด และมีการรักษาความปลอดภัยเป็นพิเศษสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารแบบดิจิทัล (Communication port)

นอกจากนั้นแล้วส่วนประมวลผลสำหรับระบบนิรภัยยังแตกต่างจากส่วนประมวลผลแบบทั่วไปโดยต้องมีหลักเกณฑ์หรือขั้นตอนในการออกแบบ ขั้นตอนทดสอบการทำงานและจะต้องมีการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ว่ามีความเชื่อมั่นในการทำงานเป็นไปตามมาตรฐานสากลสำหรับระบบนิรภัย สถาบันที่เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบัน อาทิเช่น TUV ของเยอรมัน และ FM ของอเมริกา

## 2.6.2 PLC (Programmable Logic Controller)

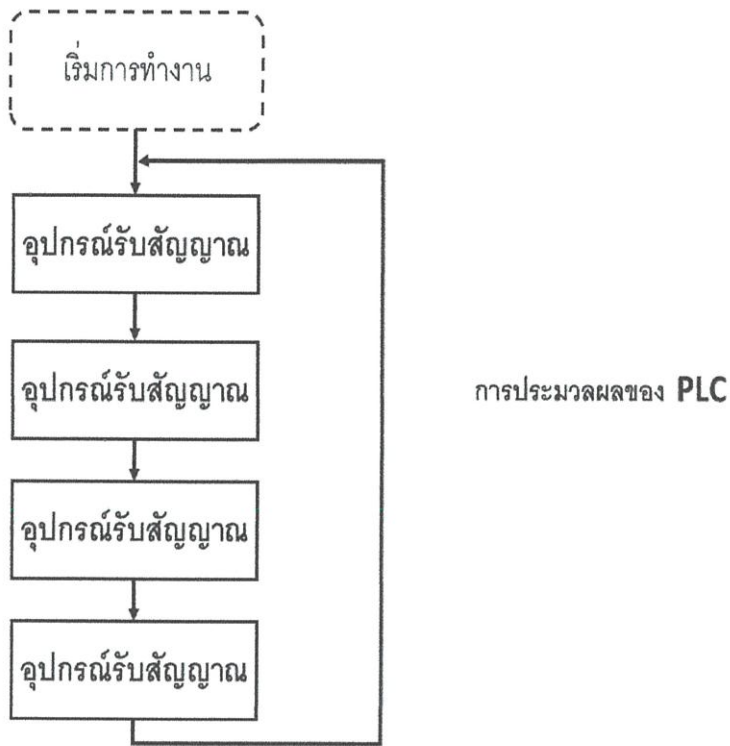
ระบบประมวลผลที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมนิรภัยจะเป็นระบบ PLC ลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่คล้ายคลึงกัน โดยจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับส่วนต่าง ๆ ของตัว PLC แหล่งจ่ายพลังงานนี้ จะไม่สามารถจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์การวัดที่นำมาต่อกับตัว PLC และในการใช้งานกับระบบนิรภัยแหล่งจ่ายพลังงานจะมีชุดสำรอง (Redundant power supply) หน่วยประมวลผล

กลาง (Central Processor Unit) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ประมวลคำสั่งการทำงานตามโปรแกรมการทำงาน หน่วยความจำ (Memory) เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลที่สำคัญต่างๆ สำหรับการทำงาน รายการคำสั่งการทำงาน (Programming) เป็นคำสั่งการทำงานของระบบที่นำไปใช้เขียนโปรแกรมในการทำงาน ส่วนสัญญาณอินพุต (Input Cards) เป็นส่วนที่ใช้รับสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ ส่วนส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output Cards) เป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลไปยังอุปกรณ์สุดท้าย และอุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกดังแสดงในภาพที่ 2.32

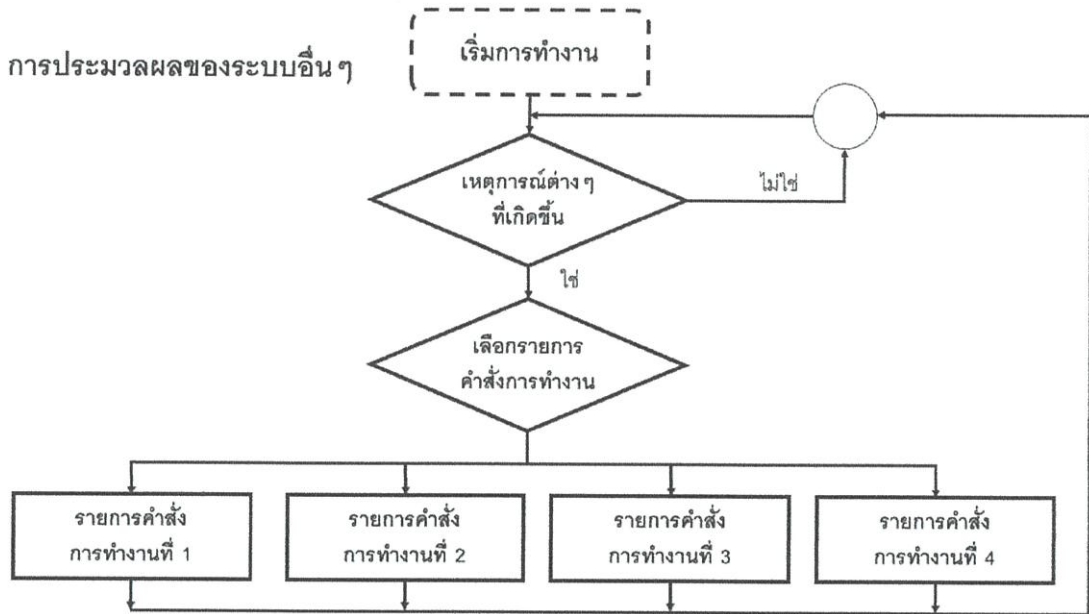


ภาพที่ 2.32 ส่วนประกอบของ PLC

ระบบ PLC สามารถกำหนดรายการคำสั่งการประมวลผลได้และรายการคำสั่งการประมวลผลเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นที่ไปตามมาตรฐาน IEC 61131-3 ในรูปแบบแผนภาพขั้นบันได (Ladder Diagrams) ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางและทำความเข้าใจได้ง่าย การประมวลผลตามรายการคำสั่งที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะแตกต่างจากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือระบบการประมวลผลแบบอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.33 และ 2.34



ภาพที่ 2.33 การประมวลผลของ PLC



ภาพที่ 2.34 การประมวลผลของระบบอื่น ๆ

ระบบการประมวลผลที่สามารถกำหนดรายการคำสั่งการประมวลผล (Programming) ได้ นั้น ถ้าพิจารณาในด้านของความเชื่อถือได้และเหตุผลในด้านการทำงานสามารถจำแนกข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ดังนี้

#### ข้อดี

- มีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่อวงจรมีน้อย
- มีสถาปัตยกรรมที่คล้ายคลึงกันจึงสามารถออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้
- ง่ายต่อการใช้งานในทุกๆระดับการใช้งาน พร้อมกับส่วนสำรอง
- สะดวกในการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมในภายหลัง
- สามารถจัดทำรายการบันทึกการทำงาน เพื่อช่วยในการสังเกตและตรวจสอบ
- สามารถตรวจสอบการทำงานด้วยตัวเองและสามารถเตือนความผิดปกติล่วงหน้า
- สามารถใช้งานในพื้นที่อันตราย และสามารถจัดลำดับการทำงานที่ซับซ้อนได้
- อธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในกระบวนการผลิตและเตือนภัยเมื่ออยู่ในสภาวะอันตรายได้

#### ข้อเสีย

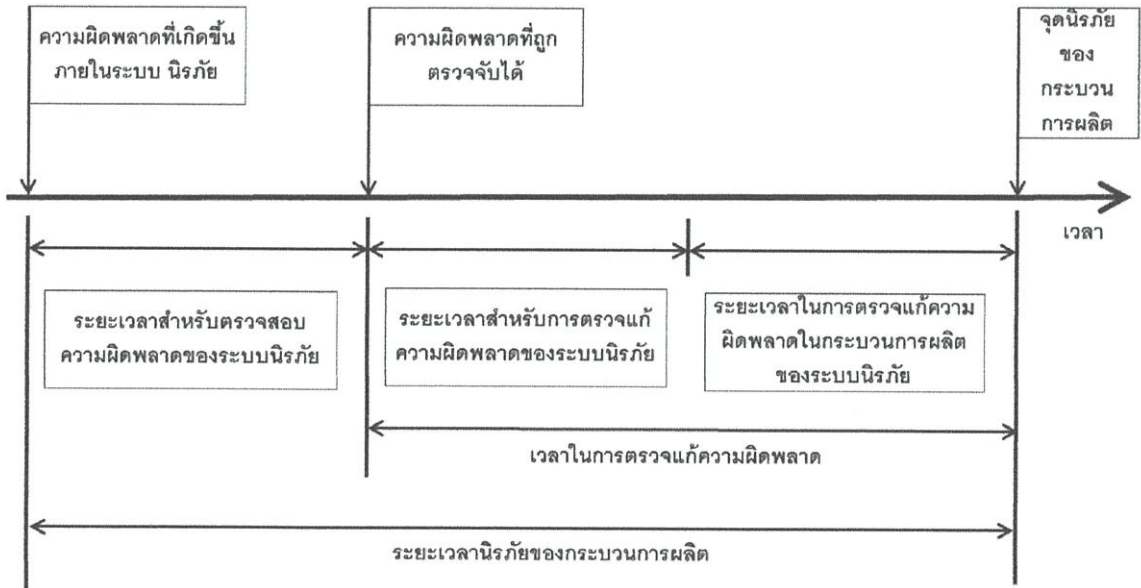
- การตรวจสอบความผิดพลาดของรายการคำสั่งในการทำงานทำได้ยาก
- การกำหนดมาตรฐานการออกแบบรายการคำสั่งในการทำงานทำได้ยาก
- การควบคุมการเปลี่ยนแปลงรายการคำสั่งในการทำงานทำได้ยาก
- ไม่สะดวกในการทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก
- เป็นไปได้ยากในการตรวจสอบการทำงานแบบสมบูรณ์ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านระยะเวลาและจำนวนคำสั่งค่อนข้างมากไป

การออกแบบระบบควบคุมนิรภัยต้องการออกแบบให้มีคุณสมบัติในลักษณะเมื่อเกิดความผิดพลาดแล้วนิรภัย (Fail Safe Design) หรือออกแบบให้ระบบจ่ายพลังงานออกไปในสภาวะปกติ และจะหยุดจ่ายพลังงานเมื่อถึงสภาวะทำงาน (De-energize to Trip) ระบบ PLC ในปัจจุบันจะถูกออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้ทั้ง 2 รูปแบบคือ เกิดความผิดพลาดนิรภัย (Safe Failure) หรืออันตราย (Dangerous Failure) ตัวอย่างเช่น ในระบบ PLC ที่ใช้ส่วนขับเคลื่อนเป็นทรานซิสเตอร์ ในสภาวะการทำงานปกติจะทำการจ่ายพลังงาน โดยให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ถ้าระยะเวลาในการทำงานผ่านไป อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาด แล้วทำให้ทรานซิสเตอร์เปิดวงจรเป็นผลทำให้ไม่

สามารถจ่ายพลังงานไปยังอุปกรณ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการนิรภัย แต่ถ้าเกิดความผิดพลาดแล้วทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวจริงเป็นผลทำให้ไม่สามารถหยุดจ่ายพลังงานไปยังอุปกรณ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตราย เป็นต้น

### 2.6.3 การควบคุมความผิดพลาด (Failure Control Methodology)

การควบคุมความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบนิรภัยให้อยู่ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด มีความจำเป็นอย่างยิ่งกับระบบนิรภัยที่ทำงานอยู่ตลอดเวลา (Active Safety System) ซึ่งเวลาดังกล่าวถูกแสดงในรูปแบบของช่วงเวลาที่ยอมรับได้ของกระบวนการผลิต(Process Safety Time) ในช่วงระยะเวลานี้ ถ้ามีความผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้น ทั้งเกิดจากกระบวนการผลิตหรือเกิดจากระบบนิรภัยเอง จะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อกระบวนการผลิต สิ่งแวดล้อม และส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตต่างๆ ในช่วงระยะเวลานี้จะประมาณ 1 วินาทีเท่านั้น ดังนั้นระบบนิรภัยที่ทำงานอยู่ตลอดเวลาจะต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดหรือแก้ไขความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นให้อยู่ภายในช่วงระยะเวลานี้ ดังแสดงในภาพที่ 2.35



ภาพที่ 2.35 ระยะเวลานิรภัยของกระบวนการผลิต

## 2.6.4 การเขียนโปรแกรมการทำงานของส่วนประมวลผลแบบ PLC

ส่วนประมวลผลที่เป็น PLC ในระบบควบคุมดิจิทัล จะมีการจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับใช้กำหนดรายการคำสั่งการทำงานและสามารถนำไปใช้สำหรับเขียนโปรแกรมการทำงานตามฟังก์ชันดิจิทัลที่ต้องการ เครื่องมือในการเขียนโปรแกรมการทำงานจะต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบันการตรวจสอบ เช่น TÜV ว่าเหมาะสมในการนำไปใช้งานกับ PLC ในระบบควบคุมดิจิทัล ซึ่งจะต้องมีการควบคุมการอ่าน เขียน และการแก้ไขโปรแกรมไปยังส่วนประมวลผล เพราะอาจเป็นเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดอันตรายในขณะทำการอ่าน เขียน หรือขณะทำการแก้ไขโปรแกรม เครื่องมือในการเขียนโปรแกรม หรือที่เรียกว่า “Engineering Tools” ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาขนาดเล็ก (Notebook) เชื่อมต่อโดยตรงกับส่วนประมวลผลผ่านช่องติดต่อสื่อสาร (Communication Port) และจะมีฟังก์ชันหรือลอจิกพื้นฐานให้เลือกใช้ในการเขียนโปรแกรมการทำงาน นอกจากนั้นแล้วยังสามารถทำการพิมพ์โปรแกรมที่เขียนออกมาเป็นรายงานหรือเอกสารที่ใช้สำหรับการอ้างอิงและตรวจสอบการทำงานได้ เอกสารดังกล่าวเรียกว่า “FLD” (Function Logic Diagrams) โดยรูปแบบของฟังก์ชันและลอจิกต่างๆ จะอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน IEC-1131 Part 3 และยังมีฟังก์ชันในการติดต่อสื่อสารกับระบบอื่นๆ เพื่อความสะดวกในการแสดงค่าสัญญาณเตือนหรือตัวแปรต่างๆ ในปัจจุบันเครื่องมือเหล่านี้จะทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการแบบ WINDOWS ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งาน

### 2.6.4.1 การเขียนโปรแกรม (Configuration)

เนื่องจากเครื่องมือทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการแบบ WINDOWS ทำให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่าย เพียงการหยิบสัญลักษณ์ของฟังก์ชันต่างๆ จากเมนูมาไว้ในพื้นที่ทำงาน จากนั้นก็ทำการเชื่อมต่อกัน และกำหนดตำแหน่งของส่วนรับหรือส่วนส่งสัญญาณ การกำหนดฟังก์ชันในการทำงานต่างๆ จะใช้ข้อมูลที่ได้จาก ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Diagrams)

### 2.6.4.2 โครงสร้างโปรแกรม (Hierarchy)

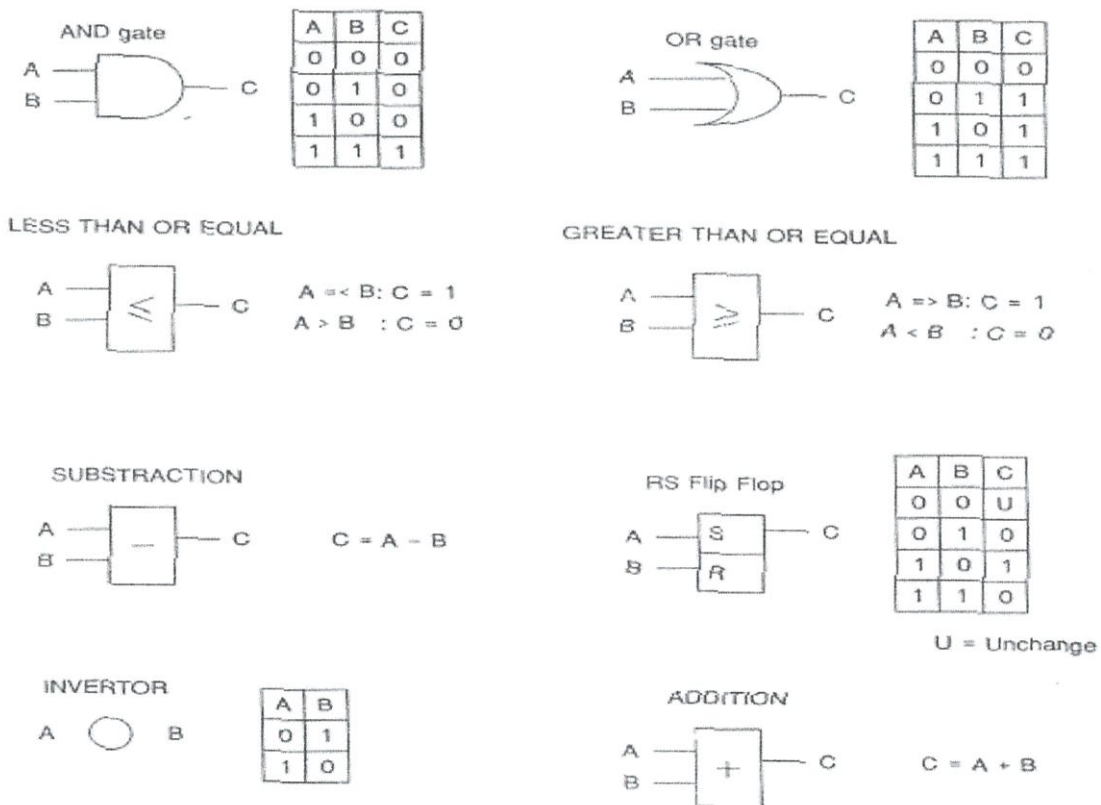
การเขียนโปรแกรมการทำงานสำหรับระบบควบคุมดิจิทัลขนาดใหญ่ นั้น จะไม่สามารถแสดง FLD ได้ในเอกสารเพียงหน้าเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถจัด FLD (Function Logic Diagram) ออกเป็นฟังก์ชันการทำงานย่อยๆ และสามารถกำหนดตัวแปรที่ใช้งานร่วมกันได้ตลอดทั้งโปรแกรม ซึ่งจะสะดวกในการกำหนดฟังก์ชันการทำงานพื้นฐานไว้เพียงที่เดียว จากนั้นก็สามารถเรียกใช้ได้ตลอดทั้งโปรแกรม

### 2.6.4.3 การทำงานแบบ Off-Line และ On-Line

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของเครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรม จะสามารถทำการเขียนหรือแก้ไขรายการคำสั่งการทำงาน โดยที่ไม่ต้องมีการติดต่อกับส่วนประมวลผล หรือที่เรียกว่า “Off-Line Mode” และในทำนองเดียวกันก็สามารถทำการเขียนหรือแก้ไขรายการคำสั่งการทำงานในขณะที่ติดต่อกับส่วนประมวลผล ทั้งในขณะที่ส่วนประมวลผลกำลังทำงานอยู่หรือที่เรียกว่า “On-Line Mode” การทำงานในลักษณะ On-Line Mode จะมีประโยชน์อย่างมากในการทดสอบการทำงานฟังก์ชันต่างๆ ทั้งในเวลาหลังจากการเขียนโปรแกรมแล้วเสร็จหรือก่อนที่จะทำการใช้งาน หลังการติดตั้งอุปกรณ์ทุกส่วนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งสามารถกำหนดหรือแก้ไขค่าของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตได้ตามต้องการ Forcing of Value จะทำให้เห็นการทำงานของฟังก์ชันได้อย่างชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้ว่าโปรแกรมทำงานนั้นถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่

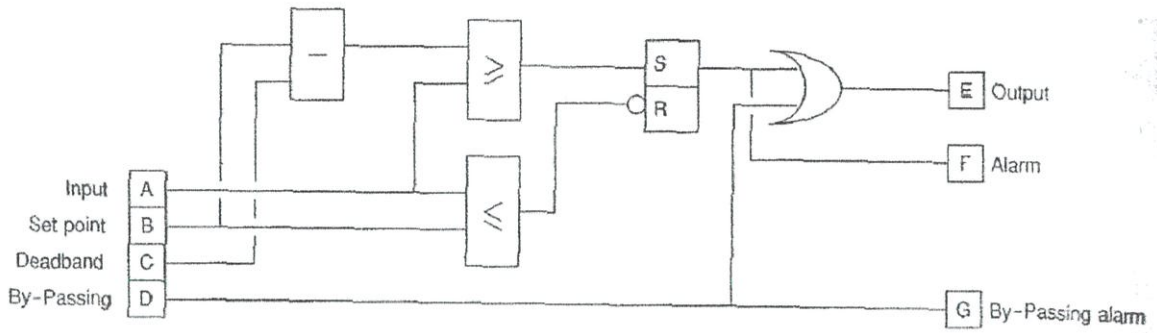
### 2.6.4.4 ฟังก์ชันและลอจิกพื้นฐาน

รายการคำสั่งการทำงานจะมีการจัดเตรียมไว้เป็นชุดคำสั่งฟังก์ชันพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้งานได้ และสามารถนำมาเชื่อมต่อกับโปรแกรมการทำงานแบบ Ladder Diagram ได้ ตัวอย่างชุดฟังก์ชันสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.36



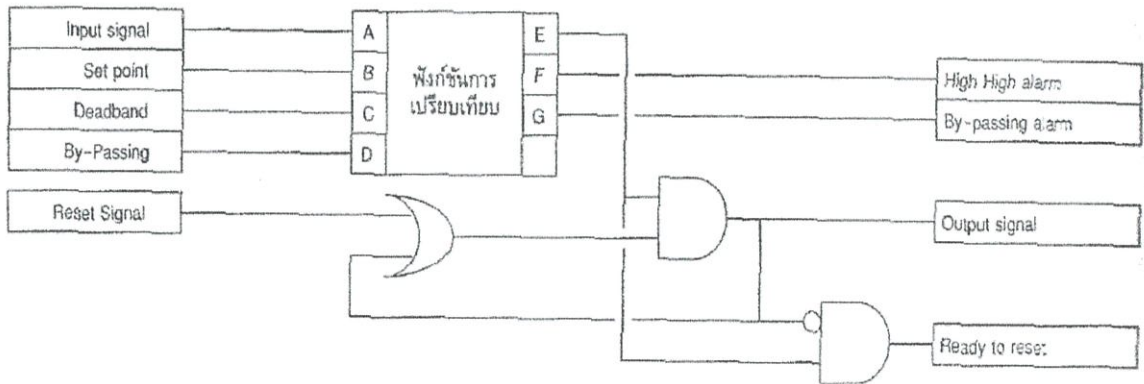
ภาพที่ 2.36 ตัวอย่างชุดฟังก์ชัน

ตัวอย่างที่ 7 จงเขียนโปรแกรมการทำงานของฟังก์ชันนิรภัยในการป้องกันความดันเกินในถัง โดยให้  
 อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์สุดท้ายเป็นแบบ 1oo1 (1 out of 1 voting) จะใช้อุปกรณ์การวัดเพียงตัวเดียว  
 ลำดับแรกจะทำการเขียนฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณสูงกว่าค่ากำหนดพร้อมฟังก์ชันการ  
 By-Passing แสดงได้ดังภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณสูง

จากนั้นทำการเขียนฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันความดันเกิน แสดงได้ดังภาพที่ 2.38

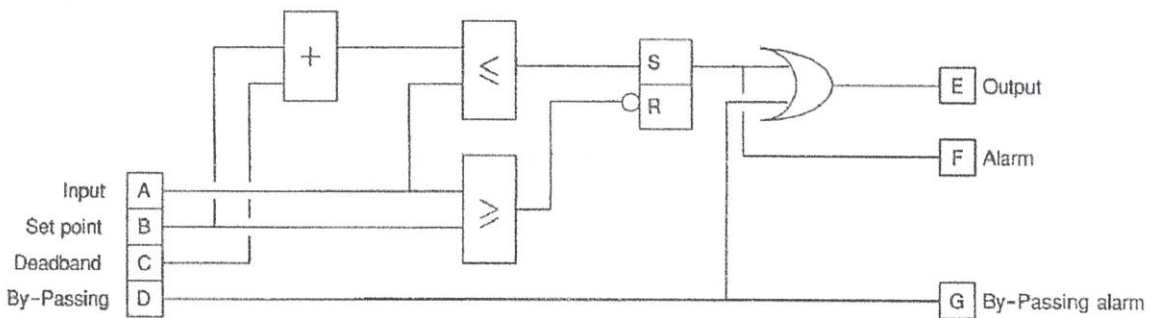


ภาพที่ 2.38 ฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันความดันเกิน

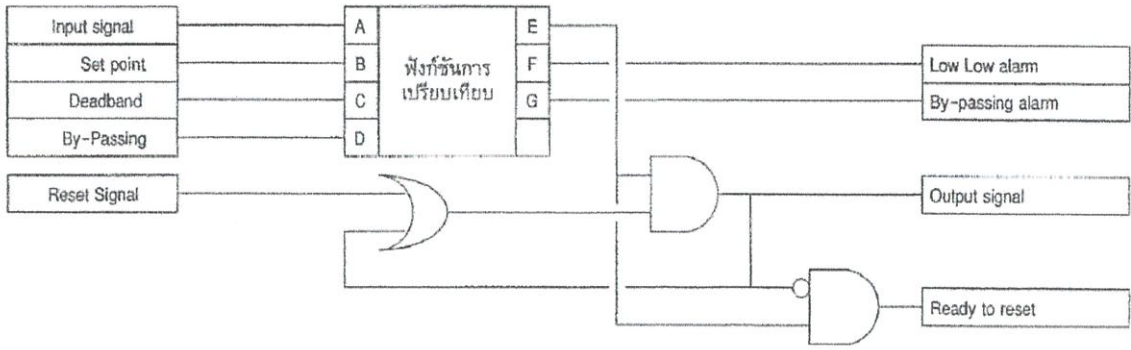
จากภาพที่ 2.38 จะแสดงรายละเอียดการทำงานของฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันความดันเกินได้ดังนี้ ในสภาวะปกติเมื่อสัญญาณอินพุตที่อ่านได้จากกระบวนการมีค่าต่ำกว่าค่า Set Point จะทำให้เอาต์พุต E จากฟังก์ชันการเปรียบเทียบมีค่าเป็น 1 แต่สัญญาณเอาต์พุต ยังคงเป็น 0 เป็นผลทำให้สัญญาณเตือนพร้อมในการรีเซ็ต (Ready to Reset) ทำงานและเมื่อให้สัญญาณรีเซ็ตมีค่าเป็น 1 จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 1 หรือจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่เมื่อสัญญาณที่อ่านได้จากอินพุตมีค่ามากกว่าค่า Set Point จะทำให้เอาต์พุต E มีค่าเป็น 0 และจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าลดต่ำกว่าค่า Set Point - Deadband จะทำให้ค่าเอาต์พุต E ของฟังก์ชันการเปรียบเทียบมีค่าเป็น 1 อีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าสัญญาณอินพุตลดลงแต่มีค่ามากกว่า ค่า Set Point - Deadband จะทำให้เอาต์พุต E ของฟังก์ชันการเปรียบเทียบยังคงเป็น 0 นอกจากนั้นแล้วในฟังก์ชันนี้จะมีสัญญาณเตือนสำหรับการ By-Passing ในกรณีที่ต้องการซ่อมบำรุงอุปกรณ์การวัด

ตัวอย่างที่ 8 จงเขียน โปรแกรมการทำงานของฟังก์ชันนิรภัยในการป้องกันระดับในถังต่ำกว่าค่าที่กำหนด โดยให้อุปกรณ์การวัดและอุปกรณ์สุดท้ายเป็นแบบ 1oo1(1 out of 1 voting) จะใช้อุปกรณ์การวัดเพียงตัวเดียว

ลำดับแรกจะทำการเขียนฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณต่ำกว่าค่ากำหนดพร้อมฟังก์ชันการ By-Passing แสดงได้ดังภาพที่ 2.39



ภาพที่ 2.39 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบสัญญาณต่ำ



ภาพที่ 2.40 ฟังก์ชันนิรภัยป้องกันระดับต่ำ

จากภาพที่ 2.40 จะแสดงรายละเอียดการทำงานของฟังก์ชันนิรภัยสำหรับป้องกันระดับต่ำได้ดังนี้ ในสภาวะปกติเมื่อสัญญาณอินพุตที่อ่านได้จากกระบวนการมีค่าสูงกว่าค่า Set Point จะทำให้เอาต์พุต E จากฟังก์ชันการเปรียบเทียบมีค่าเป็น 1 แต่สัญญาณเอาต์พุตยังคงเป็น 0 เป็นผลทำให้สัญญาณเตือนพร้อมในการรีเซ็ต (Ready to Reset) ทำงานและเมื่อให้สัญญาณรีเซ็ตมีค่าเป็น 1 จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 1 หรือจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย แต่เมื่อสัญญาณที่อ่านได้จากอินพุตมีค่าต่ำกว่าค่า Set Point จะทำให้เอาต์พุต E มีค่าเป็น 0 และจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 หรือหยุดจ่ายพลังงานออกไปยังอุปกรณ์สุดท้าย เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่า Set Point + Deadband จะทำให้ค่าเอาต์พุต E ของฟังก์ชันการเปรียบเทียบมีค่าเป็น 1 อีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นแต่มีค่าน้อยกว่าค่า Set Point + Deadband จะทำให้เอาต์พุต E ของฟังก์ชันการเปรียบเทียบยังคงเป็น 0 นอกจากนั้นแล้วในฟังก์ชันจะมีสัญญาณเตือนสำหรับการ By-Passing ในกรณีที่ต้องการซ่อมบำรุงอุปกรณ์การวัด

## บทที่ 3

### การออกแบบและปรับปรุงลอจิกควบคุม

#### 3.1 บทนำ

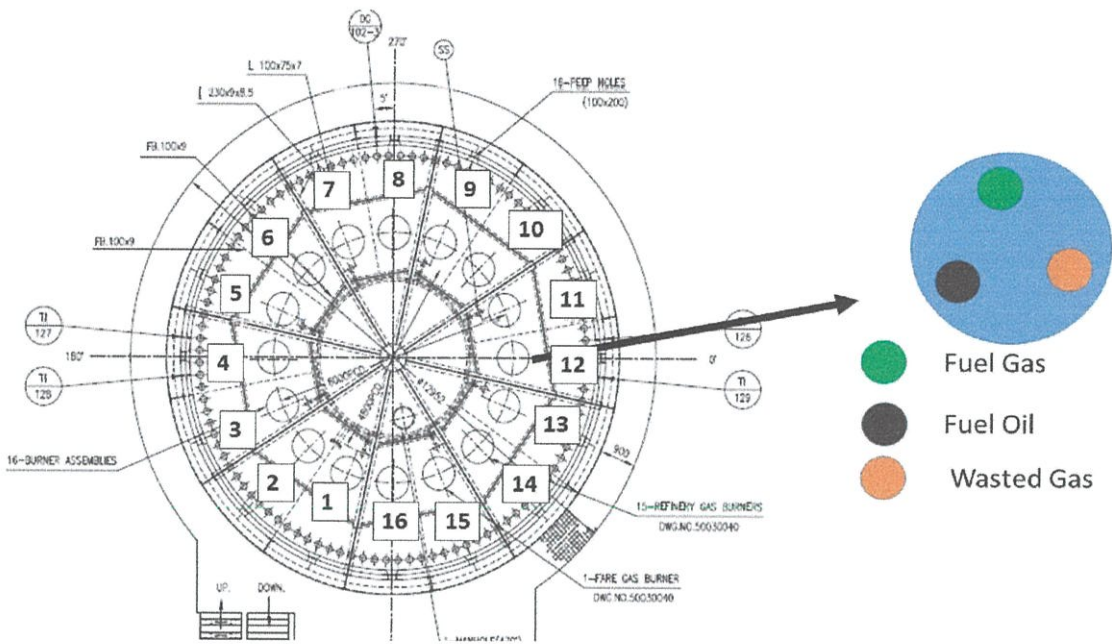
ในการควบคุมความปลอดภัยของกระบวนการผลิต เราจะใช้ระบบ ESD เพื่อควบคุมความปลอดภัยของหน่วยการผลิตที่ 3 ยกตัวอย่างการทำงานของระบบ ESD เช่น เราได้ออกแบบลอจิกควบคุมความปลอดภัยในระบบ ESD ของ Heat Exchanger ไว้ว่าที่ 200 องศาเซลเซียส เพื่อแจ้งเตือน (Alarm) และ 250 องศาเซลเซียส เพื่อตัดระบบการทำงาน (Trip) ของ Heat Exchanger นี้ถ้าอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้บน Heat Exchanger วัดค่าอุณหภูมิได้และส่งค่ามาที่ส่วนประมวลผลแล้ว ค่าอุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะปรากฏสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm) ที่หน้าจอควบคุมว่า Heat Exchanger มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดใช้งานแล้ว และถ้าอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์มากกว่า 250 องศาเซลเซียส ระบบจะสั่งให้หยุดการทำงาน (Trip) เพื่อเป็นการจำกัดขอบเขตความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์เอง อุปกรณ์รอบข้าง และระบบการผลิตที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้น

ในบทนี้จะอธิบายถึงการปรับปรุง และพัฒนาระบบควบคุมความปลอดภัยของการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา ถือว่าเป็นส่วนสำคัญและต้องมีความระมัดระวังในการใช้งานสูง เนื่องจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก อาจทำให้เชื้อเพลิงเกิดติดไฟและการระเบิดได้ ระบบ ESD ที่ควบคุมความปลอดภัยในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา ที่จะดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบัน ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัยของการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา ลอจิกควบคุมที่ออกแบบไว้ในระบบ ESD และการปรับปรุงแก้ไขลอจิกควบคุมใหม่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบัน

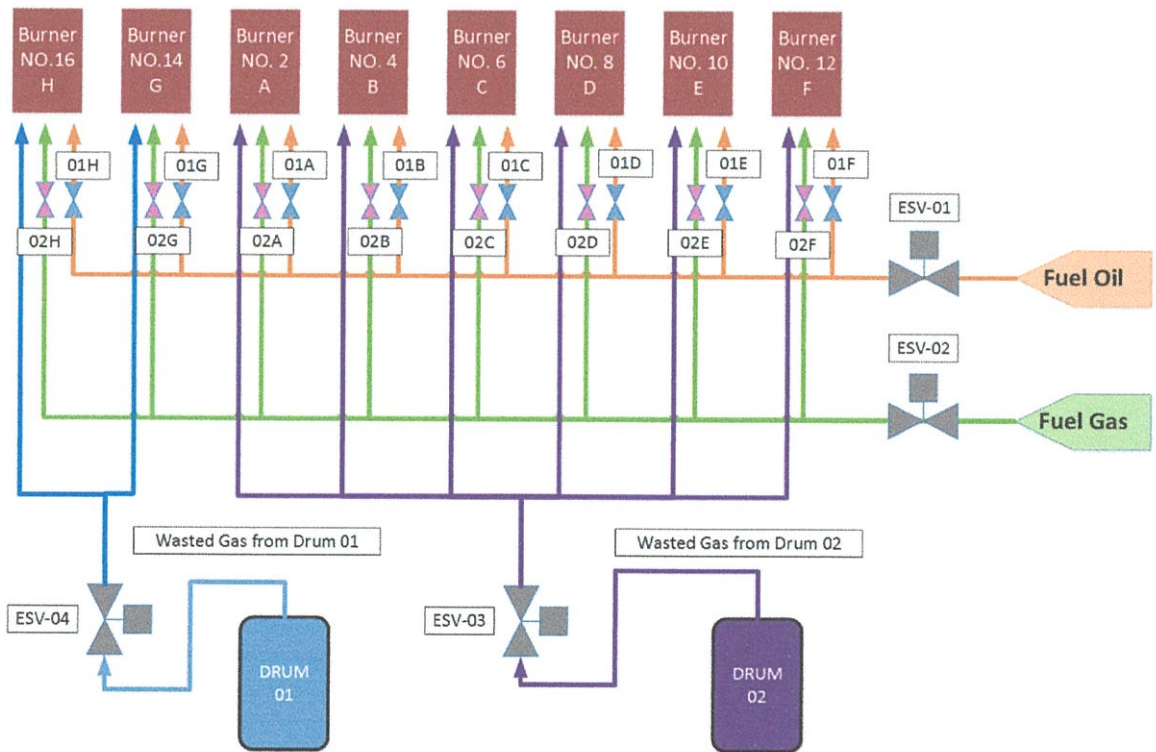
#### 3.2 ศึกษาข้อกำหนดและอุปกรณ์พื้นฐานของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3

##### 3.2.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3

เตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 นั้นมีหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำมันดิบที่ไหลผ่านท่อให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพื่อส่งน้ำมันดิบที่ถูกทำให้ร้อนเข้ากระบวนการกลั่นอื่นๆต่อไป เหตุผลที่จำ ต้องใช้เตาเผา เนื่องจากไม่สามารถใช้หอกถันในการทำอุณหภูมิสูงๆ เพื่อให้ถึงจุดเปลี่ยนสถานะของน้ำมันดิบหรือของไหลใดๆได้สะดวก จึงจะใช้เตาเผาในการช่วยเพิ่มความร้อนก่อนเข้ากระบวนการต่างๆ สามารถดูแผนภาพการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาได้ดังภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 หัวเตาเผาของเตาเผาในหน่วยการผลิตที่ 3



ภาพที่ 3.2 แผนภาพการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา

จากภาพที่ 3.2 หัวเตา (Burner) หมายเลขคู่แต่ละหัวจะมีเชื้อเพลิงที่ใช้งานทั้งหมด 3 ชนิด โดยหัวเตาที่จะทำการปรับปรุงแก้ไขจะเป็นหัวเตาหมายเลข 2 ถึงหมายเลข 12 เพราะใช้ควบคุมการจ่าย Wasted Gas โดยวาล์วนิรภัย ESV-03 ส่วนหัวเตาหมายเลข 14 และ 16 ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงแก้ไข โดยท่อเชื้อเพลิงของหัวเตาเผาแต่ละหัวจะมี Ball Valve ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดหรือปิดการจ่ายเชื้อเพลิง และวาล์วนิรภัย ESV-01 และวาล์วนิรภัย ESV-02 จะควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงหลักแต่ละชนิดได้แก่ Fuel Oil และ Fuel Gas กับให้หัวเตาหมายเลขคู่ทุกหัว ส่วน Wasted Gas จะถูกควบคุมด้วยวาล์วนิรภัย ESV-03 ที่รับมาจาก Drum 02 ของขั้นตอนการกลั่นอื่นๆ ในหน่วยการผลิตที่ 3 เพื่อมาเป็นเชื้อเพลิงและขจัดสารพิษที่เตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 นี้

อุปกรณ์ที่ใช้งานแต่ละชนิดจะมีหมายเลขแท็กที่จะนำไปใช้ในการควบคุมความปลอดภัยในระบบ ESD สามารถดูได้จากภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1

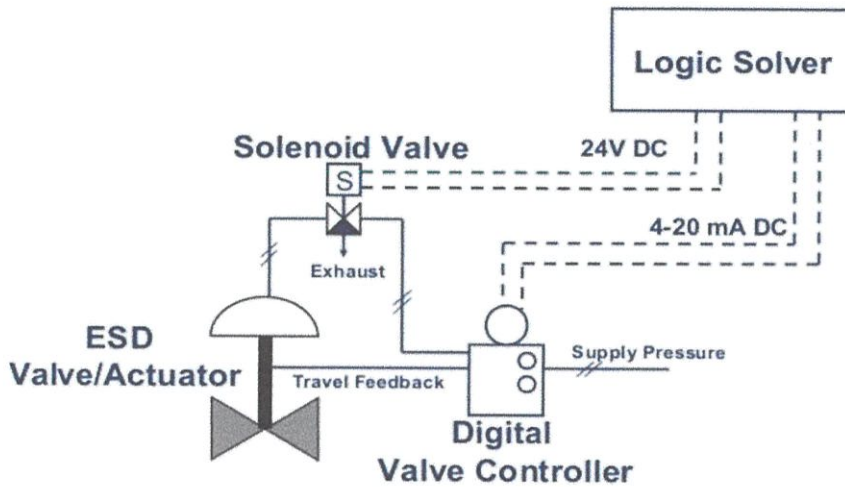
ตารางที่ 3.1 หมายเลขแท็กของอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในระบบ ESD

คำอธิบาย	หมายเลขแท็กในระบบ ESD		
	Fuel Oil	Fuel Gas	Wasted Gas
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 2	01A	02A	-
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 4	01B	02B	-
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 6	01C	02C	-
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 8	01D	02D	-
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 10	01E	02E	-
Ball Valve ของหัวเตาหมายเลข 12	01F	02F	-
วาล์วนิรภัย Fuel Oil	ESV-01	-	-
วาล์วนิรภัย Fuel Gas	-	ESV-02	-
วาล์วนิรภัย Wasted Gas	-	-	ESV-03

3.2.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 อุปกรณ์วัดและควบคุมที่ใช้ในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผานั้นมีดังนี้

### 3.2.2.1 วาล์วนิรภัย ESV (Emergency Shut-off Valve)

โดยวาล์วนิรภัย ESV-01 , ESV-02 , ESV-03 จะรับสัญญาณดิจิทัล (0-1) จากระบบควบคุม เพื่อทำงานเป็น 2 สถานะ คือ เปิดจนสุด (Fully-Open) หรือปิดจนสุด (Fully-Close) สำหรับควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง

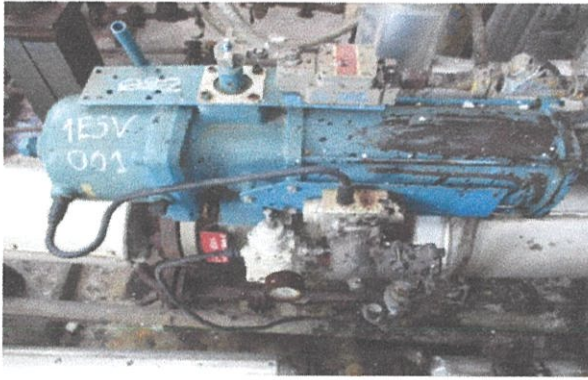


ภาพที่ 3.3 ลักษณะการทำงานของวาล์วนิรภัย

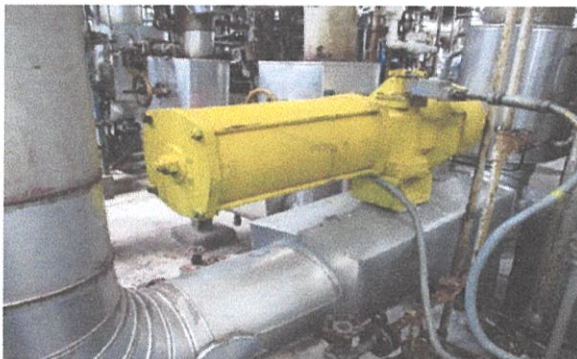
ลักษณะการทำงานของวาล์วนิรภัยนั้นจะรับสัญญาณจากส่วนประมวลผลลอจิก (Logic Solver) ในการกระทำคือ 0 = Fully Open หรือ 1 = Fully Close โดยจะส่งสัญญาณไปกระทำที่ ลวด Solenoid ในการเปิดหรือปิดโดยมีอุปกรณ์วัด Digital Valve Controller ในการตรวจสอบ สถานะการทำงานของวาล์วนิรภัยและแปลงสัญญาณเพื่อให้ส่วนประมวลผลลอจิกตรวจสอบการทำงาน ของวาล์วนิรภัยได้

ภาพที่ 3.4 -3.6 เป็นรูปวาล์วนิรภัยที่ใช้งานจริงของเตาเผาหน่วยการผลิตที่ 3 โดยลักษณะการทำงานจะรับสัญญาณจากส่วนประมวลในการกระทำ ดังนี้

- รับสัญญาณลอจิก 0 = เปิดวาล์วจนสุด (Fully Open)
- รับสัญญาณลอจิก 1 = ปิดวาล์วจนสุด (Fully Close)



ภาพที่ 3.4 วาล์วนิรภัยของ Fuel Oil (ESV-01)

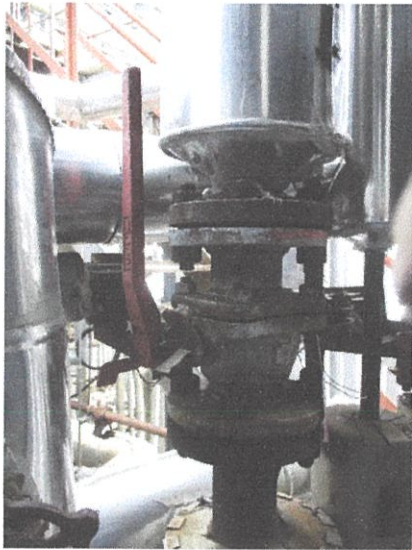


ภาพที่ 3.5 วาล์วนิรภัยของ Fuel Gas (ESV-02)



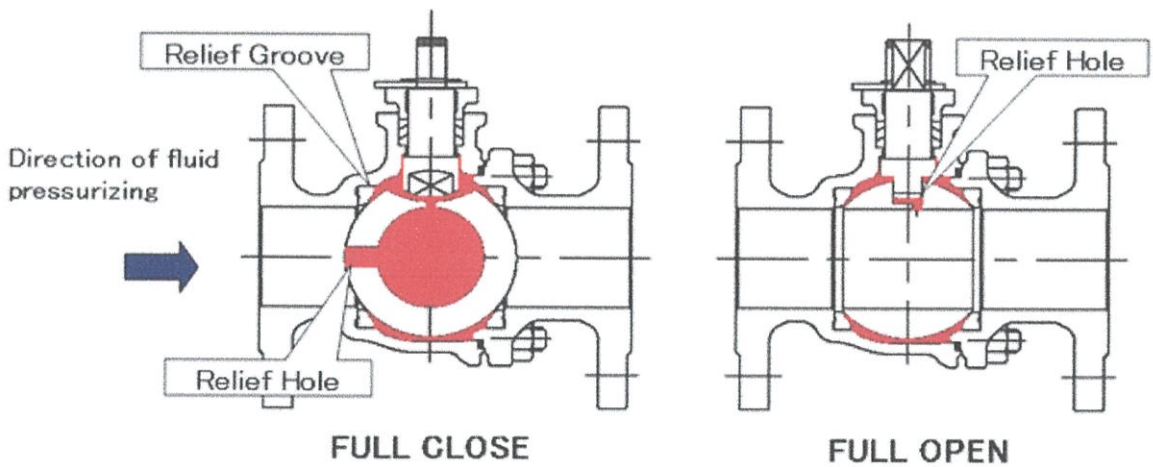
ภาพที่ 3.6 วาล์วนิรภัยของ Wasted Gas (ESV-03)

3.2.2.2 Ball Valve ที่ใช้สำหรับควบคุมการเปิดหรือปิด การจ่ายเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเข้าหัวเตาเผา



ภาพที่ 3.7 Ball Valve สำหรับควบคุมการเปิด/ปิด เชื้อเพลิงเข้าหัวเตาเผา

โดย Ball Valve ที่ใช้ควบคุมการเปิดหรือปิดของเชื้อเพลิงนั้นจะใช้เหมือนกันในทุกๆ หัวเตาโดยแต่ละตัว Ball Valve จะใช้งานเป็น Manual Valve (ต้องใช้พนักงานไปทำการเปิดหรือปิดด้วย) โดยจะมีหมายเลขแท็กของ Ball Valve แต่ละหัวเตาดังแสดงในตารางที่ 3.1



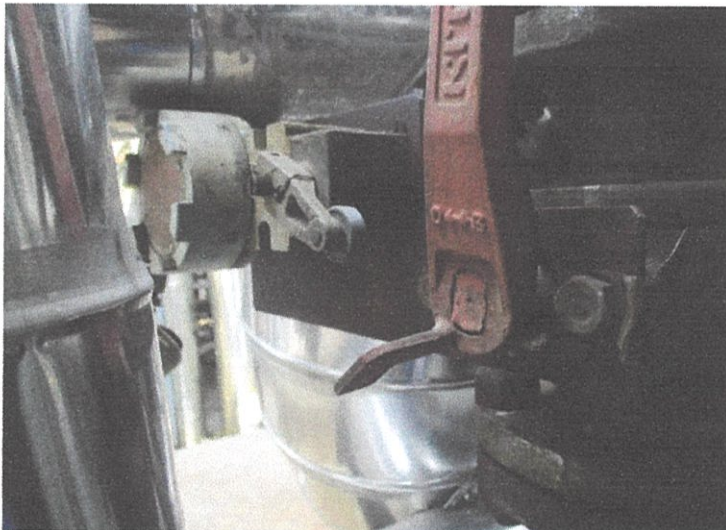
ภาพที่ 3.8 ลักษณะการทำงานของ Ball Valve

### 3.2.2.3 Limit Switch

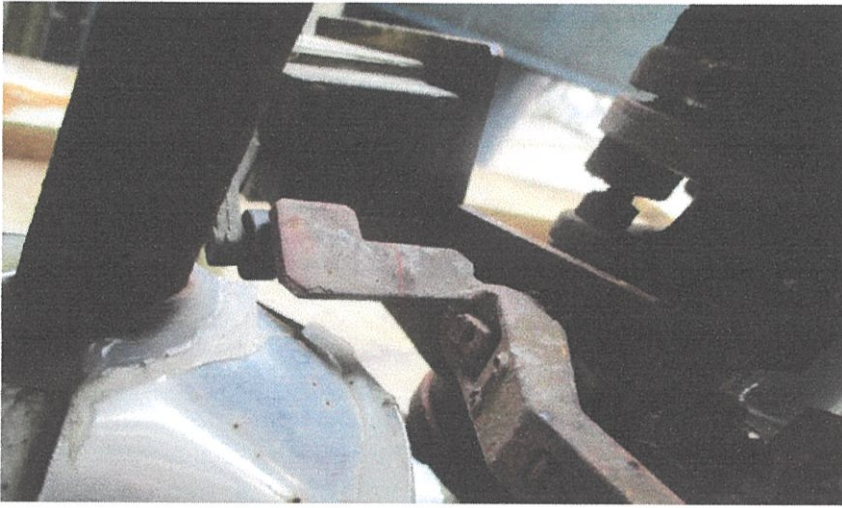
ใช้สำหรับการส่งสถานะเปิดหรือปิดของ Ball Valve มาที่หน้าจอบคุม คม โดยจะใช้หลักการทำงานคือก้านวาล์วจะไปแตะ Limit Switch เพื่อส่งสัญญาณไปที่ Controller เพื่อแสดงสถานะของวาล์วแต่ละตัวในขณะนั้น เนื่องจากการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้น เตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 ใช้ Limit Switch เพื่อเป็นการส่งสถานะการเปิดหรือปิดของ Ball Valve กลับมาที่ระบบ โดยสัญญาณที่ใช้งานในการส่งสัญญาณมาเข้าระบบเป็นดังนี้

ตารางที่ 3.2 สถานะการทำงานของ Ball Valve

สถานะของ Ball Valve	เอาต์พุตของสัญญาณ
“OPEN”	0 (0 Volt)
“CLOSE”	1 (24 Volts)



ภาพที่ 3.9 Limit Switch ส่งสถานะเปิด (ก้านวาล์วไม่แตะ Limit Switch)



ภาพที่ 3.10 Limit Switch ส่งสถานะปิด (ก้านวาล์วแต่ละ Limit Switch)

### 3.3 ศึกษาข้อกำหนดระบบ ESD ของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3

#### 3.3.1 จุดประสงค์ของการใช้งานระบบ ESD สำหรับเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3

เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานเตาเผาไม่ให้มี Wasted Gas ไปค้างสะสมอยู่ในเตาเผา ก่อนที่จะเริ่มใช้งานเตาเผา โดยใช้ระบบ ESD ในการป้องกัน นั่นคือจะต้องมีการจุดไฟในแต่ละหัวเตาเผาก่อนที่จะจ่าย Wasted Gas เข้าเตาเผา

#### 3.3.2 การใช้งานระบบ ESD ในเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 ในปัจจุบัน

ระบบ ESD ของหน่วยการผลิตที่ 3 ที่ควบคุมความปลอดภัยในการจ่ายเชื้อเพลิง จะมีเงื่อนไขเพื่อความปลอดภัยของกระบวนการดังนี้

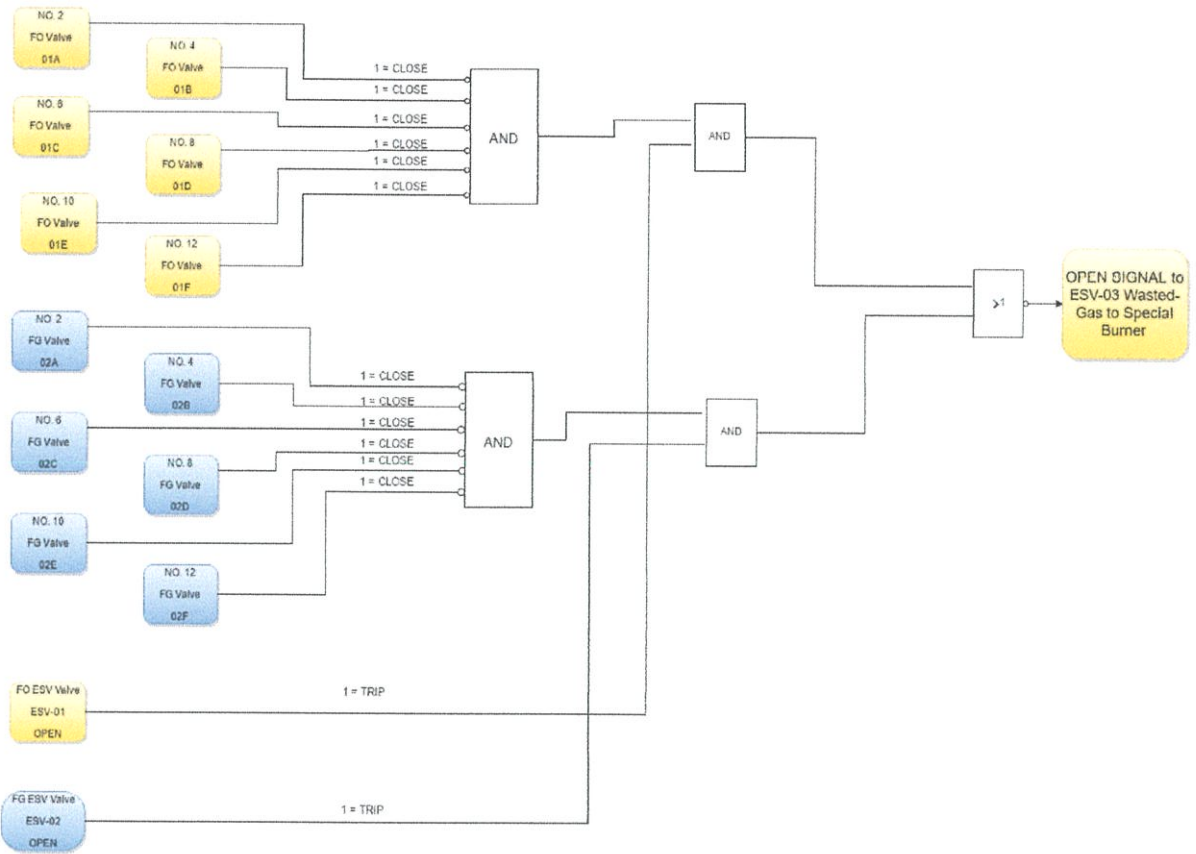
กรณีที่ 1 : ใช้ Fuel Oil และ Wasted-Gas เป็นเชื้อเพลิง

Ball Valve ของหัวจ่าย Fuel Oil ทั้งหมดตั้งแต่หมายเลข 2 ถึง หมายเลข 12 (01A-01F) ต้อง “เปิด” และ Fuel Oil ESV (ESV-01) ต้อง “เปิด” จึงจะทำให้วาล์วนิรภัย ESV-03 “เปิด”

กรณีที่ 2 : ใช้ Fuel Gas และ Wasted-Gas เป็นเชื้อเพลิง

Ball Valve ของหัวจ่าย Fuel Gas ทั้งหมดตั้งแต่หมายเลข 2 ถึง หมายเลข 12 (02A-02F) ต้อง “เปิด” และ Fuel Gas ESV (ESV-02) ต้อง “เปิด” จึงจะทำให้วาล์วนิรภัย ESV-03 “เปิด”

โดยนำเงื่อนไขทั้ง 2 กรณี มาใช้ออกแบบเป็นลอจิกควบคุมได้ดังภาพ 3.11 ดังนี้



ภาพที่ 3.11 แผนภาพลอจิกควบคุมเดิม

### 3.3.3 ปัญหาที่พบในการใช้งาน

เนื่องจากเงื่อนไขการใช้งานเดิมจะไม่สามารถใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดในเวลาเดียวกันได้ ซึ่งทำให้จะต้องมีการเปิด Ball Valve ที่ไม่ได้ใช้งาน เพื่อให้ตรงตามเงื่อนไขการป้องกัน โดยการเปิด - ปิดของ Ball Valve นั้น จะเป็นอย่าง Manual ทำให้ไม่ปลอดภัย และไม่มีเสถียรภาพในระบบ จึงพิจารณาให้มีการปรับปรุงและแก้ไขลอจิกควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบัน

### 3.4 การปรับปรุงและแก้ไขระบบ ESD ของเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3

#### 3.4.1 จุดประสงค์ของการปรับปรุงแก้ไขลอจิกควบคุม

เพื่อให้เตาเผาสามารถใช้งานเชื้อเพลิงได้ปกติโดยไม่ต้องไปเปลี่ยนหรือติดอุปกรณ์อะไรเพิ่มเติม เพียงแต่แก้ไขลอจิกควบคุมให้เข้าเงื่อนไขการทำงานใหม่ คือ เตาเผาสามารถใช้งานเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดในเวลาเดียวกันได้และจ่าย Wasted Gas เข้าเตาเผาได้

#### 3.4.2 ศึกษาเงื่อนไขใหม่ของการจ่ายเชื้อเพลิง

จากหัวข้อ 3.4.1 จุดหลักที่จะต้องแก้ไขคือลอจิกควบคุมในระบบ ESD ซึ่งการใช้งานให้มีความปลอดภัยและเสถียรภาพที่ดีจะต้องคำนึงถึง ความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นของเหตุการณ์และออกแบบลอจิกควบคุมให้ครอบคลุมถึงเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้มีมาตรฐานความปลอดภัย

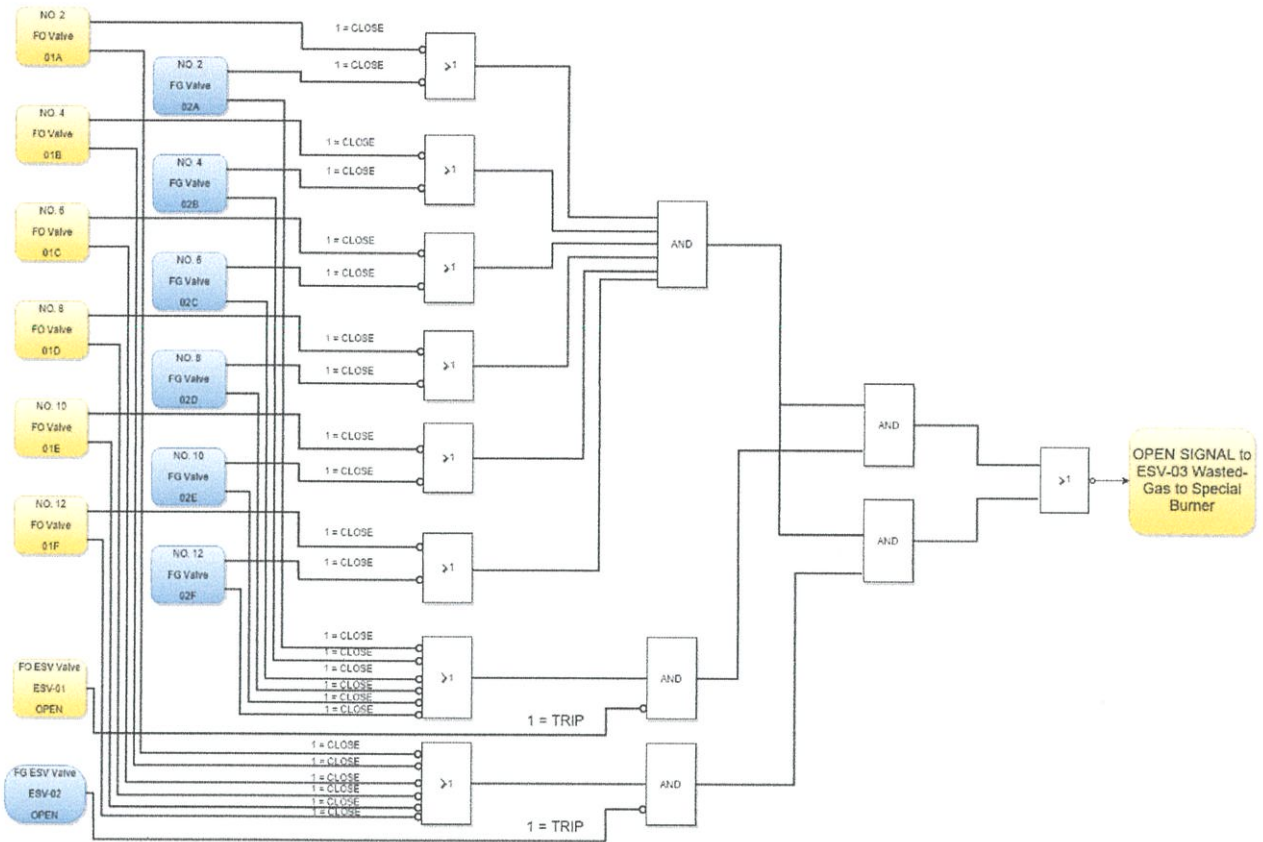
เงื่อนไขที่จะใช้งานใหม่ในระบบ ESD จะต้องครอบคลุมเงื่อนไขดังนี้

1. หัวเตาเผาหมายเลข 2 ถึงหมายเลข 12 สามารถใช้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งก็ได้
2. วาล์วนิรภัยของแต่ละชนิด เชื้อเพลิงจะเปิดก็ต่อเมื่อมีอย่างน้อย 1 ใน 6 หัวเตาใช้งานเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ
3. เมื่อตรงตามเงื่อนไขข้อ 1 และ 2 แล้วจึงสั่งเปิดวาล์วนิรภัยให้ Wasted Gas เข้าเตาเผาได้

โดยในขั้นต้นก่อนที่จะทำการออกแบบได้ปรึกษา และขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากผู้นิเทศงานเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้การออกแบบลอจิกควบคุมอันใหม่สามารถใช้งานได้จริง รวมถึงเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการออกแบบ

### 3.4.3 การออกแบบลอจิกควบคุมระบบ ESD ใหม่ที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง

จากหัวข้อข้างต้น ได้ออกแบบลอจิกการควบคุมใหม่ให้ตรงตามวัตถุประสงค์และครอบคลุมความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์อันตราย โดยได้ออกแบบลอจิกควบคุมใหม่ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ลอจิกควบคุมที่ออกแบบใหม่

จากการศึกษาและออกแบบลอจิกควบคุมข้างต้น เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้รับมอบหมาย และครอบคลุมการใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำจากผู้นิตเทศงานแล้ว

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและออกแบบล่อจิกควบคุม

#### 4.1 บทนำ

เนื่องจากระบบ ESD นั้นมีความสำคัญและรักษาความปลอดภัยขั้นสูงในการเข้าถึง เพราะเป็นการรักษาความปลอดภัยของทั้ง โรงกลั่น บริษัทจึงจำกัดสิทธิในการเข้าถึงและตรวจสอบในระบบ ESD จึงทำให้นักศึกษาไม่สามารถเข้าไปแก้ไขหรือปรับปรุงได้โดยตรง แต่จะมีเจ้าหน้าที่พนักงานขั้นสูงที่ได้รับมอบหมายให้เข้าถึงระบบส่วน ESD และต้องได้รับคำสั่งจากผู้ดูแลส่วนงานก่อนจึงจะสามารถแก้ไข ดังนั้นจึงทำได้เพียงศึกษาและออกแบบกับผู้นิเทศงานเพียงเท่านั้น

#### 4.2 การตรวจสอบล่อจิกควบคุมที่ได้ศึกษาและออกแบบใหม่

หลังจากที่ได้ศึกษาและออกแบบไปแล้วนั้น ได้มีการตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้งานกับผู้นิเทศงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับ โครงการแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถนำล่อจิกควบคุมอันใหม่ที่ออกแบบนี้ไปใช้งานได้ และเตรียมนำเสนอต่อที่ประชุมเพื่อแจ้งให้ทราบในการเปลี่ยนแปลงระบบควบคุมความปลอดภัยเพื่อให้ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบโดยทั่วไป

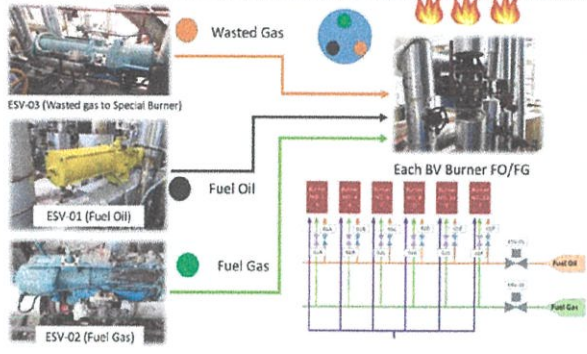
#### 4.3 การนำเสนอโครงการที่ออกแบบและศึกษาใหม่ของระบบ ESD

การนำเสนอโครงการรอบสุดท้ายเพื่อแจ้งให้ทราบและติดตามกระบวนการทำงานของนักศึกษาเพื่อการเพิ่มเติมและแก้ไขจุดบกพร่องกับทุกส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับ โครงการที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย โดยได้กำหนดให้ปรับเนื้อหาเบื้องต้นในการนำเสนอดังภาพที่ 4.1-4.2

# 3F – 101 WASTED GAS BURNING : Emergency Shutdown System Modification

Presented by KANIT PUNWATANASKUL 56010121

พัฒนาโครงการนี้ขึ้น  
ไปบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์



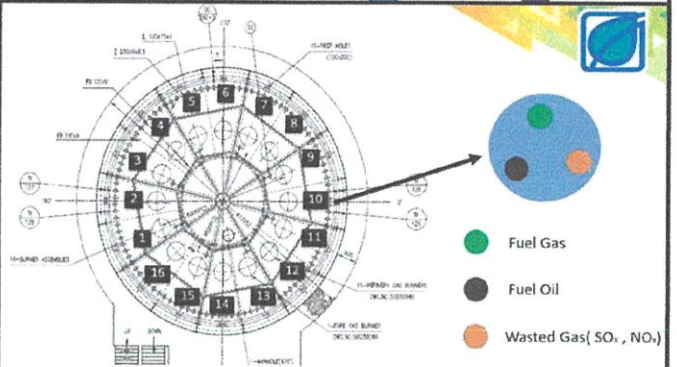
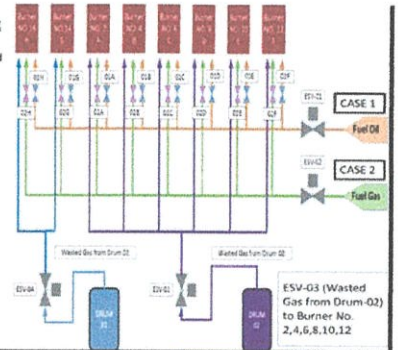
## Existing Interlock for Wasted Gas Burning

Actually, Today process section are operated in both Fuel Oil(FO) and Fuel Gas(FG) . Some burner are use FO and some are use FG.

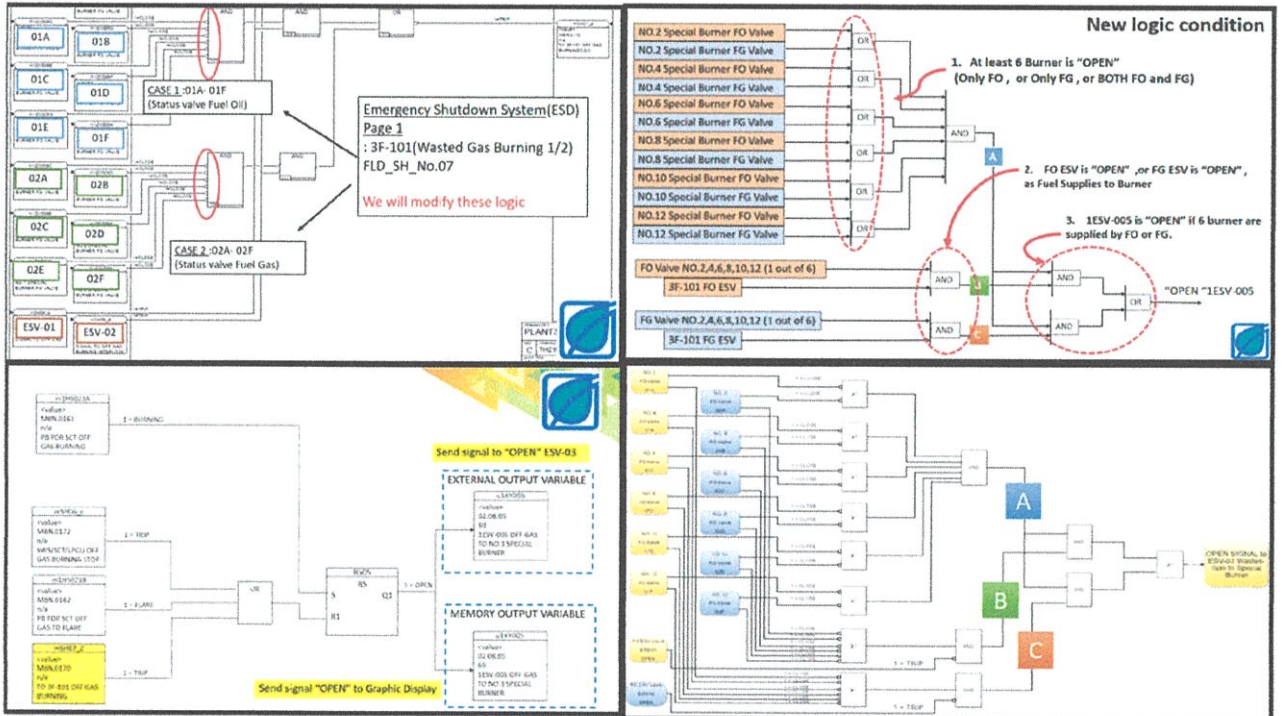
Existing interlock function of Special Burner 3F-101 is inappropriate as existing condition below :

**CASE 1:**  
Valve Tag NO. ESV-03 will "OPEN" if FO valve (Fuel Oil) Tag NO. ESV-01 is "OPEN" AND All FO Ball Valve for each Burner (01A – 01F) are "OPEN"

**CASE 2:**  
Valve Tag NO. ESV-03 will "OPEN" if FG valve (Fuel Gas) Tag NO. ESV-02 is "OPEN" AND All FG Ball Valve for each Burner (02A – 02F) are "OPEN"



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่าง โครงการงานที่นำเสนอต่อบริษัท



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่าง ลอจิกควบคุมอันใหม่ที่น่าเสนอ

หลังจากการนำเสนอและรวบรวมข้อคิดเห็นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถนำไปใช้งานได้และแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบโดยทั่วกัน

#### 4.4 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของโครงการ

จากการศึกษาและสอบถามผู้ให้สัมภาษณ์ เนื่องจากว่าทางบริษัทมีสัญญาการซื้อขายและเรียกใช้บริการซ่อมบำรุงต่างๆระหว่าง บริษัทเจ้าของผลิตภัณฑ์และระบบ ESD (ยี่ห้อ Triconex) และบริษัทบางจากปิโตรเลียม โดยได้ทำการประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงโครงการนี้เบื้องต้นได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การประเมินข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

คำอธิบาย	จำนวน	หน่วย
ยี่ห้อของระบบที่ใช้งาน	Triconex	-
จำนวนคน	1	คน
จำนวนชั่วโมง	8	ชั่วโมง
จำนวนวัน + ค่าเดินทาง	1	วัน
รวมทั้งหมด (โดยประมาณ)	30,000	บาท

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและออกแบบ ปัญหา ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการศึกษาและออกแบบลอจิกควบคุมอันใหม่ สำหรับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 สำหรับโรงกลั่นน้ำมันที่มีอันตรายสูง ความปลอดภัยในการควบคุมการผลิตจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการปฏิบัติงาน โดยโครงการที่นักศึกษาได้รับมอบหมายให้ศึกษาและออกแบบสามารถนำไปใช้งานกับเตาเผาของหน่วยการผลิตที่ 3 ได้จริงและถูกต้องตามจุดประสงค์ของโครงการ

สำหรับระหว่างการทำปฏิบัติโครงการสหกิจศึกษาทำให้นักศึกษามีแนวทางในการศึกษาต่อในเชิงลึกของสายการทำงานที่ได้ศึกษามา ทำให้เห็นภาพในการทำงานของอนาคตชัดเจนขึ้นและที่มากกว่านั้นคือได้ฝึกฝนความรับผิดชอบและความมีระเบียบวินัยในการทำงานระหว่างปฏิบัติงาน ทำให้เป็นประโยชน์ในการฝึกฝนตนเองสำหรับอนาคตข้างหน้า ทั้งนี้ทางบริษัทบางจากปิโตรเลียม ได้ให้นักศึกษา ศึกษาและทดลองทำอย่างเต็มที่ไม่มีข้อบกพร่องในความช่วยเหลือ ทำให้เป็นประสบการณ์ที่หาไม่ได้ในห้องเรียนก่อนที่จะต้องออกไปทำงานจริงๆ

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในระหว่างการทำโครงการและปฏิบัติงานของโครงการสหกิจศึกษา นักศึกษาจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการปรับตัวให้เข้ากับวัฒนธรรมขององค์กร จึงทำให้ช่วงเริ่มต้นมีปัญหาในการปรับตัวและการสื่อสารระหว่างหน่วยงานบ้าง เพราะการทำงานในบริษัทจำเป็นต้องทำงานร่วมกับผู้อื่น ด้วยเหตุนี้ นักศึกษาจึงควรรอบน้อมถ่อมตนและตั้งใจในการทำงานที่ได้รับมอบหมาย ในกรณีที่ต้องการไปขอความรู้หรือขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือหน่วยงานอื่นๆ และจะต้องคำนึงถึงว่าทุกคนมีหน้าที่ของตนเอง นักศึกษาจะต้องวางแผนการทำงานของโครงการและนัดหมายผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับขอคำปรึกษาและคำแนะนำให้ไม่กระทบกระเทือนกับงานหลักของผู้ที่ไปติดต่อ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาและออกแบบลอจิกควบคุมใหม่สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานและเสถียรภาพของการใช้งานเตาเผาได้ เนื่องจากในปัจจุบันใช้วาล์วที่มีลักษณะเป็น Manual Valve ซึ่งนักศึกษามีข้อเสนอแนะว่าควรจะเปลี่ยนไปใช้วาล์วแบบ Solenoid Valve ที่มีลักษณะเหมาะสมกับ Hazardous Area เพราะอยู่ใกล้กับเตาเผา เพื่อไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของการระเบิด จุดประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงก็เพื่อลดความเสี่ยงในขณะที่เจ้าหน้าที่ดูแลหน่วยการผลิตที่ 3 เข้าไปเปิด/ปิดวาล์วที่หน้างานจริง สำหรับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา แต่เปลี่ยนไปเป็นการสั่งเปิด/ปิดวาล์วได้จาก Control Room

## บรรณานุกรม

- [1] ทวิช ชูเมือง. (2548). ระบบวัดคุมนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [2] ทวิช ชูเมือง. (2549). การออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. เอ็ช เอ็น กรุป.
- [3] พนมไพร ช่วงจัน. (2546). วิชาดิจิตอลเบื้องต้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://pws.npru.ac.th/sophon/data/files/allbook.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 19 กันยายน 2559)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล คณิศวรรค์ พันธุ์วัฒนสกุล

วัน เดือน ปีเกิด 3 มีนาคม 2538

ที่อยู่ 53 ถนนด่านเก่า ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

E-mail oattkanit@gmail.com

โทรศัพท์ 082-563-5665

### ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2553 – 2555 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
- พ.ศ. 2556 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน แผนก Onshore Project Service  
บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) : PTTEP
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา แผนก Maintenance and Service Division  
บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) : BCP