การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง

STUDY AND DEVELOPMENT OF RAILWAY STATION MODEL MANAGEMENT SYSTEM

วสิน เตรียมพิทักษ์
WASIN TRIAMPITAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-230-063

การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง

STUDY AND DEVELOPMENT OF RAILWAY STATION MODEL MANAGEMENT SYSTEM

วศิน เตรียมพิทักษ์

WASIN TRIAMPITAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-230-063

STUDY AND DEVELOPMENT OF RAILWAY STATION MODEL MANAGEMENT SYSTEM

WASIN TRIAMPITAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-230-063

COPYRIGHT 2018
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง
Thesis Title Study and Development of Railway Station Model Mangement System
นักศึกษา นายวศิน เตรียมพิทักษ์
รหัสประจำตัว 58601216
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-230-063

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	
รศ.ดร.ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	หล่าสกุล	
ผศ.ดร.วันวิสา	ชัชวงษ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-302 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง
นักศึกษา	นายวศิน เตรียมพิทักษ์
รหัสประจำตัว	58601216
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟ โดยการพัฒนาซอฟต์แวร์การจัดการสถานีรถไฟ ได้อ้างอิงตามหลักการทำงานของระบบสกาดา เพื่อนำมาใช้ในการมอนิเตอร์ ควบคุม เก็บข้อมูลการทำงาน และแจ้งเตือน ผ่านอินเตอร์เฟสผู้ใช้งานของซอฟต์แวร์ โดยระบบต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟประกอบด้วยระบบการจ่ายไฟ ระบบให้แสงสว่าง ระบบปั๊มน้ำ ระบบน้ำทิ้ง ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม ระบบลิฟต์ ระบบบันไดเลื่อน ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย ระบบรักษาความปลอดภัย และระบบประตูกั้นชานชาลา โดยใช้หน่วยควบคุมระยะไกล (RTU) หรือโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ในการควบคุมอุปกรณ์ภายในสถานีรถไฟ และทำการอินเตอร์เฟสร่วมกับซอฟต์แวร์การจัดการสถานีรถไฟที่พัฒนาขึ้น ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC และซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ได้ใช้เครือข่ายแลนในการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลให้แก่กัน ในการทดลองจะทำการจำลองการทำงานในทุก ๆ ระบบว่าสามารถปฏิบัติตามคำสั่งของผู้ใช้งาน รวมถึงสามารถแจ้งเตือน แสดงผล และเก็บข้อมูลการทำงานได้อย่างถูกต้องหรือไม่ จากการทดลองซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งทำให้ระบบการจัดการสถานีรถไฟนี้สามารถนำไปใช้และให้ความรู้แก่บุคลากรภายในประเทศเพื่อพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้

Title	Study and Development of Railway Station Model Management System
Student	Mr.Wasin Triampitak
Student ID.	58601216
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Vanvisa Chutchavong

ABSTRACT

This thesis presents study and development of railway station management system software that reference SCADA system, which is used to monitor, control, data acquire and alarm via human machine interface of station management software. Systems in the station such as power supply, lighting, pump and drainage, environment, lift and escalator, fire protection and detection, security and platform screen doors. These systems in railway station are controlled by RTU or PLC and interfaced with railway station management software. The communication between PLC and software uses LAN to transmit data to each other. In experiment, all systems in the software are simulated that systems can follow the user's instruction, including alert, display and data acquire correctly. Result in experiment, railway station management software can operate properly. This railway station management system can be used and knowledgeable for local personnel to develop in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความเมตตาและความอนุเคราะห์ของ ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคณาจารย์สาขาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่านที่ให้ความรู้ คอยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ไม่เพียงเท่านั้น ยังคอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณนายอลงกรณ์ วิจิตรธนสาร และนายธนวิชญ์ อนุวงศ์พินิจ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ทั้งให้ความรู้ คำแนะนำและคอยเป็นพี่ที่ให้คำปรึกษาจนงานสำเร็จลุล่วง รวมถึงเพื่อน ๆ น้อง ๆ สมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยห้อง E12-1216 ทุกคน

ขอขอบคุณ โครงการชุดปฏิบัติการระบบการจัดการสถานีรถไฟ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้มอบความรู้ประสบการณ์และโอกาส ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ สนับสนุน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา และครอบครัว ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณต่อข้าพเจ้าทุกท่าน

วศิน เตรียมพิทักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VIII
สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ระบบควบคุมดูแลและการเก็บข้อมูล.....3
2.2 หน่วยควบคุมระยะไกล (RTU).....4
2.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit, CPU).....5
2.2.2 แอนะล็อกอินพุต (Analog input module).....6
2.2.3 แอนะล็อกเอาต์พุต (Analog output module).....8
2.2.4 ดิจิทัลอินพุต (Digital input module).....9
2.2.5 วงจรนับ (Digital counter or accumulator module).....9
2.2.6 ดิจิทัลเอาต์พุต (Digital output module).....10
2.2.7 ช่องทางการติดต่อสื่อสาร (Communication interface).....10
2.2.8 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply module).....11
2.3 PLC.....11
2.3.1 ฮาร์ดแวร์.....12
2.3.2 ทฤษฎีภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม PLC.....14
2.4 สถานีหลัก (Master Station).....18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สถาปัตยกรรมที่ใช้ในการสื่อสาร 21
2.5.1 แบบจุดต่อจุด (Point-to-point Architecture) 21
2.5.2 แบบหลายจุด (Multi-point Architecture) 21
2.5.3 สถานีถ่ายทอด (Relay station Architecture) 22
2.6 รูปแบบของการสื่อสาร 23
2.6.1 Polled (Master-Slave) 23
2.6.2 Contention (Peer-to-Peer) 26
2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 27
2.7.1 RS-232 28
2.7.2 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า 28
2.7.3 ลักษณะกลไกการเชื่อมต่อ 30
2.7.4 คำอธิบายการทำงานของวงจรแลกเปลี่ยน 30
2.7.5 ลำดับการทำงานแบบอะซิงโครนัสของอินเตอร์เฟส RS-232 31
2.8 โพรโทคอลสกาดา 32
2.8.1 HDLC 32
2.8.2 การทำงานของโพรโทคอล 34
2.8.3 Error control/Flow control 34
2.8.4 โพรโทคอล Modbus 35
2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับสื่อกลางในการเชื่อมต่อระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ 49
2.9.1 เครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network, LAN) 49
2.9.2 โมเด็ม (Modem) 50
2.9.3 TCP/IP 50
2.10 ทบทวนวรรณกรรม 51

บทที่ 3 การออกแบบระบบ 53
3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ 53
3.2 การออกแบบแปลนสถานีรถไฟภายในซอฟต์แวร์ 54
3.3 การออกแบบระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์ 55
3.3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ และชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อควบคุมระยะไกล 58
3.3.3 การออกแบบตู้อุปกรณ์ (Rack) 64
3.4 การออกแบบอินเตอร์เฟส และการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในซอฟต์แวร์ 66
3.4.1 ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply System) 66
3.4.2 ระบบแสงสว่าง (Lighting System) 85
3.4.3 ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System) 88
3.4.4 ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System) 91
3.4.5 ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System) 97
3.4.6 ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage System) 103
3.4.7 ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System) 106
3.4.8 ระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Doors System) 108
3.5 การออกแบบการเก็บประวัติการแจ้งเตือนการทำงาน 111

บทที่ 4 ผลการทดลอง 113
4.1 หน้าหลักของโปรแกรม (Home Page) 113
4.2 ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply System) 114
4.2.1 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ (Overhead Catenary) 114
4.2.2 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี (Low Voltage System) 123
4.2.3 ระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator System) 133
4.2.4 ระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply: UPS) 138
4.3 ระบบแสงสว่าง (Lighting System) 149
4.3.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบแสงสว่าง 150
4.4 ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System) 154
4.4.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบรักษาความปลอดภัย 155
4.5 ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System) 156
4.5.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน 157

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System) 161
4.6.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย 163
4.7 ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage)..... 168
4.7.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง 169
4.8 ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System)..... 171
4.8.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม 172
4.9 ระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door System)..... 176
4.9.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบประตูกั้นชานชาลา..... 177
4.10 ระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อและตั้งค่า (System Configuration)..... 181
4.11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจริง..... 182

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 185
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 185
5.2 ข้อเสนอแนะ 186

เอกสารอ้างอิง 187

ภาคผนวก..... 189
ภาคผนวก ก. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ 190

ประวัติผู้เขียน..... 192

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รหัสคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรมภาษาแลดเดอร์ 15

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ลอจิกและสัญลักษณ์บูลีน 16

2.3 รหัสคำสั่งพื้นฐานการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาบล็อกฟังก์ชัน 16

2.4 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ RS-232 29

2.5 ชนิดข้อมูลของ Modicon ที่สนับสนุน 39

2.6 รายการรหัสข้อยกเว้นที่ถูกส่งกลับ 48

3.1 จำนวนอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ 58

3.2 รายละเอียดอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ 58

4.1 I/O List แสดงการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าทั้งหมด 115

4.2 I/O List แสดงการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าให้สถานีทั้งหมด 124

4.3 I/O List แสดงการทำงานของระบบควบคุมกำเนิดไฟฟ้าให้สถานีทั้งหมด 134

4.4 I/O List แสดงการทำงานของระบบสำรองไฟฟ้าทั้งหมด 139

4.5 I/O List แสดงการทำงานระบบแสงสว่างในสถานี 150

4.6 I/O List แสดงการทำงานระบบรักษาความปลอดภัย 154

4.7 I/O List แสดงการทำงานระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน 156

4.8 I/O List แสดงการทำงานระบบป้องกันอัคคีภัย 163

4.9 I/O List แสดงการทำงานระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง 169

4.10 I/O List แสดงการทำงานระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม 172

4.11 I/O List แสดงการทำงานระบบประตูกั้นชานชาลา (PSD) 176

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบสกาดาทั่วไป....4

2.2 โครงสร้างของ RTU ทั่วไป....5

2.3 แผนภาพการทำงานของโมดูลอินพุตแอนะล็อกทั่วไป....6

2.4 สถาปัตยกรรมของการประมาณค่าต่อเนื่อง A/D....8

2.5 วงจรการทำงานของดิจิทัลอินพุต....9

2.6 โมดูลพัลส์อินพุต....10

2.7 โมดูลดิจิทัลเอาต์พุต....11

2.8 กระบวนการทำงานของ PLC....12

2.9 ระบบของ PLC....12

2.10 สัญญาณ (a) ไม่ต่อเนื่อง (b) ดิจิทัล (c) แอนะล็อก....13

2.11 รูปแบบการสื่อสารพื้นฐาน....14

2.12 การเปรียบเทียบการใช้งานของภาษาแลดเดอร์ ภาษาบล็อกและภาษาลำดับข้อความ....18

2.13 รูปแบบวิธีการต่าง ๆ สำหรับสถานีหลัก....19

2.14 สถาปัตยกรรมของสถานีย่อย....20

2.15 สถาปัตยกรรมแบบจุดต่อจุดระหว่าง 2 สถานี....21

2.16 สถาปัตยกรรมแบบหลายจุด....21

2.17 รูปแบบของสถานีถ่ายทอดแบบจัดเก็บและส่งต่อ....22

2.18 รูปแบบของ Talk-through Repeater....23

2.19 ตัวอย่างเทคนิคการสำรวจสำหรับสถานีหลักและ RTU....24

2.20 การจัดลำดับความสำคัญสูงและปกติ....25

2.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง DTE และ DCE....29

2.22 ชนิดและรูปแบบของเฟรม HDLC....33

2.23 รูปแบบสำหรับเฟรมข้อความ Modbus....37

2.24 แผนภาพแสดงชนิดข้อมูล Modbus....39

2.25 ตัวอย่างของสถานะคอยล์ที่อ่านได้....40

2.26 ตัวอย่างของสถานะอินพุตที่อ่านได้....41

2.27 ตัวอย่างการอ่านค่ารีจิสเตอร์ถือครอง....42

2.28 ตัวอย่างการอ่านรีจิสเตอร์อินพุต....43

2.29 ตัวอย่างการบังคับขดลวดเดี่ยว....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.30 ตัวอย่างการตั้งค่ารีจิสเตอร์เดี่ยว 44
2.31 การอ่านข้อความร้องขอสถานะข้อยกเว้น 45
2.32 ข้อความการทดสอบ Loopback 46
2.33 ตัวอย่างการบังคับคอยล์หลายตัว 46
2.34 ตัวอย่างการปรับค่ารีจิสเตอร์หลายตัว 47
2.35 ตัวอย่างการร้องขอที่ผิดกฎ 48
2.36 อีเทอร์เน็ตที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลระบบสกาดา 49
2.37 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ RTU ด้วยโมเด็ม 50
2.38 เฟรมของอินเทอร์เน็ต 51
2.39 ระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลองที่ได้ออกแบบ 52
3.1 โครงสร้างภาพรวมของระบบ 53
3.2 แบบแปลนสถานีรถไฟฟ้าบางบำหรุ (A) แบบแปลนส่วนสถานี (B) แบบแปลนส่วนชานชาลา .. 54
3.3 ตัวอย่างห้องควบคุมระบบ 56
3.4 ฟังก์ชันการทำงานของระบบ 57
3.5 ตัวอย่างแผนผังชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกระยะไกลติดตั้งบน Rack 19” 65
3.6 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกระยะไกล (RTU) 65
3.7 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ PN 66
3.8 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ DP 66
3.9 วงจรจ่ายไฟให้กับรางรถไฟ 67
3.10 แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ 67
3.11 ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ 68
3.12 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ 69
3.13 วงจรจ่ายไฟให้กับสถานีรถไฟ 69
3.14 แผนผังงานการทำงานของแผงจ่ายไฟใหญ่ (Main Distribution board, MDB) 70
3.15 แผนผังงานการทำงานของวงจรตัดไฟ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB) 71
3.16 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ MDB1 และ MDB2 72
3.17 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ TIE 72
3.18 ภาษาแลดเดอร์การส่งค่าของ MCB ไปยัง MCCB 73
3.19 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ MCCB, MCCB2 และ MCCB12 74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.20	ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานีรถไฟ	74
3.21	วงจรของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า	75
3.22	แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า	76
3.23	ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า	77
3.24	ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า	78
3.25	วงจรแหล่งจ่ายไฟสำรอง	78
3.26	แผนผังงานการทำงานของ Main Circuit Breaker (MCB)	79
3.27	แผนผังงานการทำงานของ UPS Outgoing	80
3.28	ภาษาแลดเดอร์ระบบ MCB ของ UPS A และUPS B	81
3.29	ภาษาแลดเดอร์ Group Alarm ของ UPS A และUPS B	81
3.30	ภาษาแลดเดอร์ UPS A และ UPS B ทำงานบนแบตเตอรี่	82
3.31	ภาษาแลดเดอร์การผ่านสัญญาณของ UPS A และ UPS B	82
3.32	ภาษาแลดเดอร์ Outgoing UPS A และ Outgoing UPS B	83
3.33	ภาษาแลดเดอร์แสดงเหตุการณ์จำลองแบตเตอรี่ของ UPS ต่ำ	83
3.34	ภาษาแลดเดอร์การผ่านสัญญาณของระบบ	83
3.35	ภาษาบล็อกของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง	84
3.36	ส่วนแสดงผลของระบบแสงสว่าง (A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์	85
3.37	แผนผังงานการทำงานของระบบแสงสว่าง	86
3.38	ภาษาแลดเดอร์ระบบแสงสว่าง	87
3.39	ภาษาบล็อกระบบแสงสว่าง	88
3.40	ส่วนแสดงผลของระบบรักษาความปลอดภัย	88
3.41	แผนผังงานการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย	89
3.42	ภาษาแลดเดอร์ระบบกล้องวงจรปิด	89
3.43	ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการเข้าถึง	90
3.44	ภาษาบล็อกระบบรักษาความปลอดภัย	90
3.45	ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน	91
3.46	แผนผังงานการทำงานของลิฟต์	91
3.47	แผนผังงานการทำงานของบันไดเลื่อน	92
3.48	ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของระบบลิฟต์	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.49 ภาษาบล็อกของลิฟต์ทุกตัว ... 93

3.50 ภาษาแลดเดอร์ของบันไดเลื่อน ... 95

3.51 ภาษาบล็อกของบันไดเลื่อนทุกตัว ... 96

3.52 อินเตอร์เฟสของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (A) การแจ้งเตือนอัคคีภัย (B) การแจ้งเตือนของ FM200 ... 98

3.53 แผนผังงานการทำงานของการแจ้งเตือนอัคคีภัย ... 99

3.54 แผนผังงานการทำงานของ FM200 ... 100

3.55 ภาษาแลดเดอร์ของการแจ้งเตือนไฟไหม้ ... 101

3.56 ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของ FM200 1 ห้อง ... 102

3.57 ภาษาบล็อกของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย ... 102

3.58 หน้าแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ... 104

3.59 แผนผังงานการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ... 104

3.60 ภาษาแลดเดอร์ของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ... 105

3.61 ภาษาบล็อกของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ... 105

3.62 ส่วนแสดงผลของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ... 106

3.63 แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ... 107

3.64 ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของเครื่องปรับอากาศและเครื่องวัดอุณหภูมิในห้อง 1 ห้อง ... 107

3.65 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ... 108

3.66 ส่วนแสดงผลของระบบประตูกั้นชานชาลา ... 108

3.67 ตัวอย่างภาษาของระบบประตูกั้นชานชาลา ... 110

3.68 ตัวอย่างภาษาบล็อกของประตูกั้นชานชาลาฝั่งตะวันออก ... 110

3.69 ตารางบันทึกการแจ้งเตือนจากระบบย่อยต่าง ๆ ... 111

3.70 ตารางบันทึกเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ... 112

4.1 หน้าหลักของโปรแกรม ... 113

4.2 หน้าแสดงเมื่อต้องทำการล็อกอิน ... 114

4.3 หน้าต่างของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ ... 115

4.4 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q3 ... 117

4.5 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q3 ... 118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q5 118
4.7 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q5 119
4.8 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q4 119
4.9 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q4 120
4.10 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q6 120
4.11 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q6 121
4.12 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q2 121
4.13 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q2 122
4.14 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q1 122
4.15 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q1 123
4.16 หน้าต่างของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี 124
4.17 เมื่อสั่งเปิดสวิตช์ MDB1 126
4.18 เมื่อสั่งปิดสวิตช์ MDB1 126
4.19 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB1 เป็นสถานะ Remote 127
4.20 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB1 เป็น Trip State 127
4.21 เมื่อสั่งเปิดสวิตช์ MDB2 128
4.22 เมื่อสั่งปิดสวิตช์ MDB2 128
4.23 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB2 เป็นสถานะ Remote 129
4.24 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB2 เป็น Trip State 129
4.25 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 เปิด 130
4.26 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 ปิด 130
4.27 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 ให้เป็นสถานะ Remote 131
4.28 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 เปิด 131
4.29 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 ปิด 132
4.30 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 เป็นโหมด Remote 132
4.31 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB3 เปิด 133
4.32 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB3 ปิด 133
4.33 วงจรการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า 135

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.34 วงจรการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าเป็นสีเขียวคือเริ่มทำงาน 135
4.35 การแจ้งเตือน Low Fuel Alarm 136
4.36 ATS Switch สถานะ Normal 136
4.37 ATS Switch สถานะ Generator 137
4.38 MCCB9 มีสถานะสวิตช์เปิด 137
4.39 MCCB9 มีสถานะสวิตช์ปิด 138
4.40 MCCB9 มีสถานะ Trip State 138
4.41 หน้าโปรแกรมของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง 139
4.42 UPS A Main Circuit Breaker มีสถานะสวิตช์เปิด 142
4.43 UPS A Outgoing Disconnector Switch มีสถานะสวิตช์เปิด 142
4.44 UPS A มีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm) 143
4.45 UPS A กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้หมด (Battery Low) 143
4.46 UPS A กรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery) 144
4.47 UPS A กรณีมีสถานะสวิตช์ Bypass 144
4.48 UPS B Main Circuit Breaker มีสถานะสวิตช์เปิด 145
4.49 UPS B Outgoing Disconnector Switch มีสถานะสวิตช์เปิด 145
4.50 UPS B มีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm) 146
4.51 UPS B กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้หมด (Battery Low) 146
4.52 UPS B กรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery) 147
4.53 UPS A กรณีมีสถานะสวิตช์ Bypass 147
4.54 UPS A กรณีมีสถานะ Auxiliary Mode 148
4.55 UPS B กรณีมีสถานะ Auxiliary Mode 148
4.56 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่าง (A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์ทางเดิน 149
4.57 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S1 151
4.58 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S2 151
4.59 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S3 151
4.60 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน U1 152

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.61 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน U2 152
4.62 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P1 153
4.63 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P2 153
4.64 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P3 153
4.65 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย 154
4.66 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อกล้องวงจรปิดชำรุด 155
4.67 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อ CASS ชำรุด 155
4.68 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนของอุปกรณ์ เมื่อมีการชำรุด 156
4.69 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน 156
4.70 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง 158
4.71 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อทำงานปกติ 158
4.72 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจากผู้โดยสารในลิฟต์ 159
4.73 ส่วนการแจ้งเตือนฉุกเฉินการทำงานของระบบลิฟต์ 159
4.74 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อนเมื่อเกิดเหตุขัดข้องเตือนเป็น Group Alarm 160
4.75 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อน เมื่อทำงานปกติและมีสถานะขึ้น 160
4.76 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อน เมื่อทำงานปกติและมีสถานะลง 161
4.77 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อนเมื่อมีคนกดปุ่ม Emergency Button 161
4.78 ส่วนแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุ Alarm ต่าง ๆ 161
4.79 หน้าโปรแกรมการทำงานของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (A) ส่วนการแจ้งเตือนอัคคีภัย (B) ส่วนการแจ้งเตือนของ FM200 162
4.80 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 1 164
4.81 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 2 164
4.82 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 3 165
4.83 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 4 165
4.84 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 165
4.85 แสดงสถานะแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด 166
4.86 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดการทำงานในขั้นแรก 166
4.87 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด หรือชำรุด 167
4.88 แสดงสถานะแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด 167

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.89 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดการทำงานในขั้นแรก 168

4.90 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด หรือชำรุด 168

4.91 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของ FM200 ที่เกิดความผิดปกติ 168

4.92 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง 169

4.93 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงานปกติ 170

4.94 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำชำรุด หรือมีปัญหา 170

4.95 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำ และนำทิ้งมีระดับน้ำในแทงค์น้ำเต็ม 171

4.96 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงาน และระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกิน 171

4.97 หน้าโปรแกรมของระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม 171

4.98 การแสดงผลการทำงานของห้องควบคุมที่มีระบบปรับอากาศชำรุด 173

4.99 การแสดงผลการทำงานของห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 173

4.100 การแสดงผลการทำงานของห้องสื่อสารที่มีระบบปรับอากาศชำรุด 174

4.101 การแสดงผลการทำงานของห้องสื่อสารที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 174

4.102 การแสดงผลการทำงานของห้องกำเนิดไฟฟ้าที่มีระบบปรับอากาศชำรุด 175

4.103 การแสดงผลการทำงานของห้องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 175

4.104 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิสูงเกิน และห้องการสื่อสารมีเครื่องปรับอากาศชำรุด 175

4.105 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลา 176

4.106 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะ Local Operation Activate 177

4.107 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะ Interlocked Override 178

4.108 การทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีระบบจ่ายไฟล้มเหลว (Power Failure) 178

4.109 ระบบประตูกั้นชานชาลาปิด และล็อคเรียบร้อย 179

4.110 ระบบประตูกั้นชานชาลาปิดมีสถานะ Isolated 179

4.111 ระบบประตูกั้นชานชาลามีการขัดข้อง 180

4.112 ระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะเปิด 180

4.113 ส่วนบันทึกการทำงาน เมื่อประตูกั้นชานชาลาทั้งสองฝั่งทำงานผิดปกติ 180

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.114 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในสภาวะใช้งานปกติ 181

4.115 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์กับ Remote I/O ส่วน Profibus DP ผิดปกติ 182

4.116 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์กับ Remote I/O ส่วน Profinet ผิดปกติ 182

4.117 ชุดควบคุมการทำงาน หรือ PLC 183

4.118 ชุดคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ พร้อมด้วยซอฟต์แวร์การจัดการสถานีรถไฟที่พัฒนาขึ้น 183

4.119 ชุดระบบการจัดการสถานีรถไฟที่จัดตั้ง ณ 909 ตึก 12 ชั้น 184

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันระบบขนส่งทางรางในประเทศไทยยังขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านระบบการจัดการสถานีรถไฟ อีกทั้งการจัดการดูแลภายในสถานีรถไฟยังใช้บุคลากรเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงมีการนำความรู้ทางด้านเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟเพื่อพัฒนาระบบที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยเพิ่มความสะดวกทางด้านการจัดการ และลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นภายในสถานีรถไฟ โดยการนำความรู้ในเรื่องระบบสกาดา (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) มาประยุกต์ใช้กับระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟที่มีการรายงานข้อมูลผ่านศูนย์กลางและเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติหรือควบคุมผ่านการตัดสินใจจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งระบบที่กล่าวมานี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์กับการจัดการสถานีรถไฟได้

ระบบสกาดาเป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบระบบเวลาจริง (Real-time system) ใช้ในการตรวจสอบสถานะ รวมถึงควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งช่วยให้การจัดการภายในสถานีรถไฟมีความสะดวก ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ การเรียนรู้ระบบสกาดาจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญในระบบขนส่งทางราง บุคลากรต้องมีความรู้ความชำนาญอย่างถูกต้อง เพื่อป้องกันความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการจะให้บุคลากรมีความรู้ความเข้าใจและนำไปใช้ในการทำงานจริงได้นั้น จะต้องศึกษาและลงมือปฏิบัติกับระบบที่มีการใช้งานจริง แต่เนื่องจากการลงมือปฏิบัติกับระบบที่มีการใช้งานจริงนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้งานภายในสถานี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำลองระบบควบคุมการจัดการภายในสถานีรถไฟเพื่อใช้ในการเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบให้ถ่องแท้ นอกจากนี้ยังสามารถทดลองปฏิบัติจริงได้โดยไม่เกิดความสูญเสีย

โครงการวิจัยเริ่มแรกนั้น ได้พัฒนาตัวต้นแบบสำหรับการจัดการภายในสถานีรถไฟจำลองเป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งสามารถนำมาอธิบายถึงหลักการทำงานของระบบและเป็นเพียงระบบการจัดการที่ใช้ได้กับสถานีรถไฟจำลองเท่านั้น เพราะมีความแตกต่างกับการใช้งานจริงของสถานีรถไฟ และไม่มีมาตรฐานรองรับ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอระบบที่มีการใช้งานซอฟต์แวร์ที่มีการทำงานเหมือนกับซอฟต์แวร์ในห้องควบคุมจริง เพื่อให้ผู้ที่ได้ศึกษามีความคุ้นชินกับลักษณะและการทำงานของระบบ นอกจากนั้นยังมีการนำ Programmable Logic Controller (PLC) มาใช้กับระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงของสถานีรถไฟ และยังมีมาตรฐานในการใช้งานในปัจจุบัน โดยผู้ใช้สามารถทดลองการทำงานของระบบต่าง ๆ ด้วยตัวเองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจำลองระบบการจัดการสถานีรถไฟ สำหรับไว้ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบภายในสถานีรถไฟ และทดลองการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ โดยซอฟต์แวร์ระบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะมีการทำงานสอดคล้องตามหลักการทำงานของระบบสกาดา ซึ่งเป็นระบบที่ใช้งานจริงกับสถานีรถไฟฟ้าในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและค้นคว้าระบบการจัดการสถานีรถไฟ

1.3.2 พัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟ โดยใช้ภาษา Ladder ในการพัฒนาซอฟต์แวร์

1.3.3 ทดสอบการทำงานและปรับปรุงระบบให้มีความสอดคล้องกับระบบที่มีการใช้งานจริง

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

เริ่มจากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียงกับงานวิจัยในเรื่องระบบการจัดการสถานีรถไฟ รวมถึงศึกษาหลักการทำงานของระบบสกาดา (SCADA) เพื่อทำความเข้าใจและนำมาใช้ในการออกแบบระบบการจัดการสถานีรถไฟโดยอิงตามหลักการทำงานของระบบสกาดา เมื่อศึกษาจนเกิดความเข้าใจแล้วจึงพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบการจัดการสถานีรถไฟด้วยโปรแกรมเฉพาะ และทำการทดลองระหว่างซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์ จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปและประเมินผล

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

สามารถนำระบบการจัดการสถานีรถไฟที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ในการเรียนการสอน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นต้องมีความสอดคล้องกับการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในสถานีรถไฟ เพื่อให้ผู้ที่มาศึกษาเกิดความรู้ความเข้าใจที่สอดคล้องกับความเป็นจริง และเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นกับระบบจำลองนี้ รวมถึงสามารถนำการวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดให้มีความใกล้เคียงกับระบบที่ใช้กับสถานีรถไฟจริงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาบุคลากรภายในประเทศ และเป็นการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านระบบขนส่งทางรางมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำระบบจำลองนี้ขึ้นมานั้น เพื่อให้เกิดความเสมือนจริงมากที่สุดจึงจำเป็นต้องศึกษาหาความรู้และทำความเข้าใจในเรื่องของระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ รวมถึงการคิดวิธีการที่จะสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ให้เหมาะสมต่อหลักการศึกษา และสามารถที่จะนำไปใช้กับอุตสาหกรรมในระบบขนส่งทางรางได้ อีกทั้งต้องศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้พัฒนาในระบบจำลองนี้ ทั้งทางด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและคิดหาแนวทางในการพัฒนาต่อยอดต่อไป

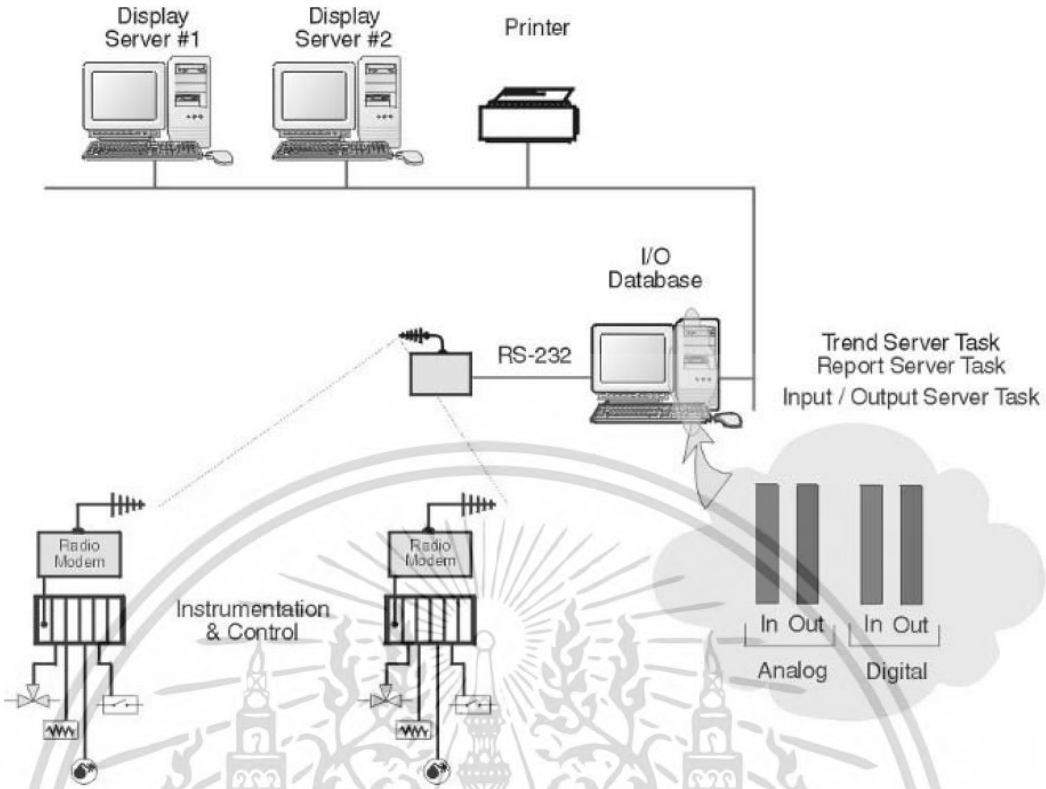
2.1 ระบบควบคุมดูแลและการเก็บข้อมูล

ระบบสกาดา (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) [1] เป็นระบบตรวจสอบ ควบคุม และวิเคราะห์ข้อมูลแบบระบบเวลาจริง (Real-time System) มีการจัดเก็บข้อมูลจากทุกระบบแล้วส่งไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนถึงควบคุมการทำงานของระบบควบคุมต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม

ระบบสกาดาประกอบไปด้วยหน่วยควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit, RTU) ซึ่งทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ และทำการส่งข้อมูลที่ได้นั้นไปยังสถานีหลัก (Master Station) ผ่านทางระบบการสื่อสาร (Communication System) โดยสถานีหลักจะทำการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมา และผู้ดำเนินงานในสถานีหลักยังสามารถที่จะควบคุมการทำงานจากระยะไกลได้เช่นกัน

สำหรับระบบสกาดาที่ซับซ้อนมากขึ้นนั้น มีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ 5 ระดับ ดังนี้

1. อุปกรณ์ควบคุมและวัดค่าต่าง ๆ
2. หน่วยควบคุมระยะไกล (RTU)
3. ระบบการสื่อสาร
4. สถานีหลัก
5. ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล



รูปที่ 2.1 ระบบสกาดาทั่วไป

และสำหรับคุณสมบัติหลักของซอฟต์แวร์สกาดาประกอบด้วย

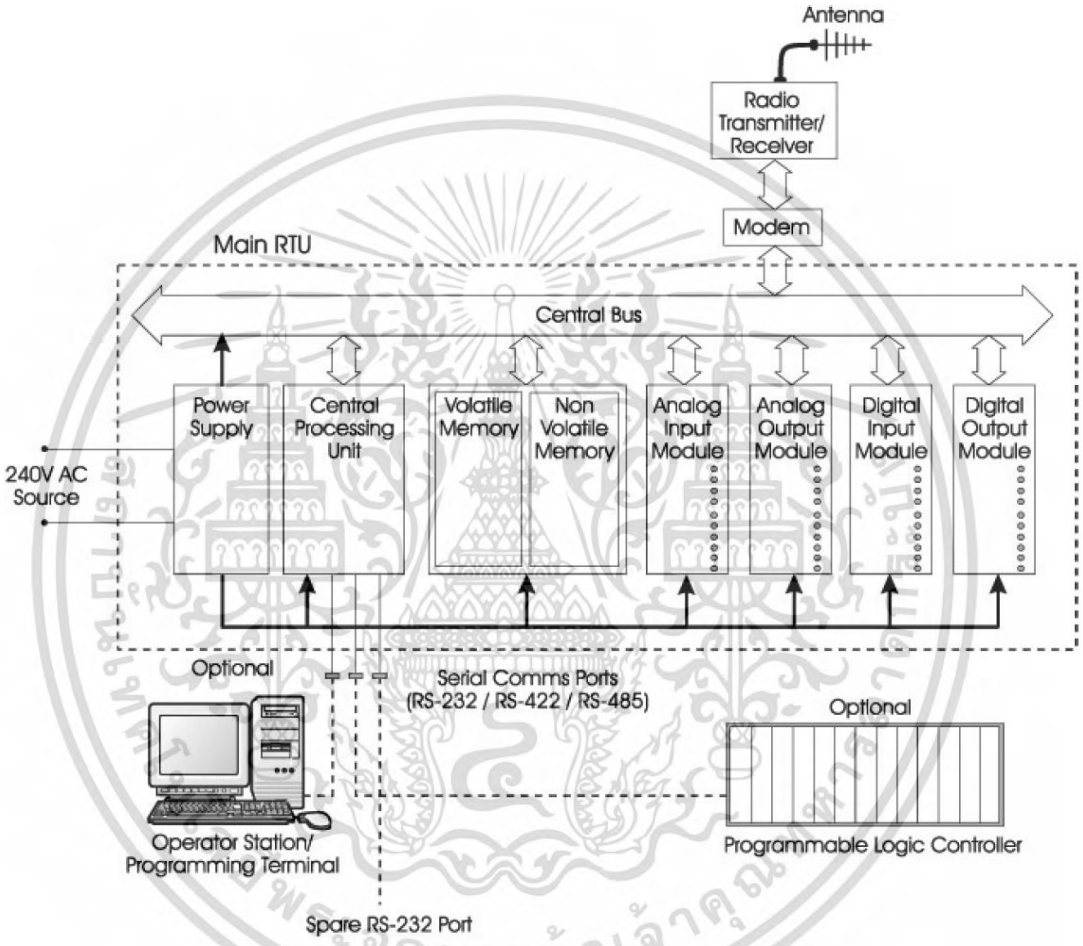
- ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interfaces)
- ส่วนแสดงผลกราฟิก (Graphics Displays)
- การแจ้งเตือน (Alarms)
- ส่วนติดต่อ RTU (และ PLC)
- ความนิยม
- ความยืดหยุ่น
- การเข้าถึงข้อมูล
- ฐานข้อมูล
- ระบบเครือข่าย
- การคงทนต่อความเสียหายและการทำสำรอง (Fault tolerance and Redundancy)
- การประมวลผลแบบกระจายระหว่างเครื่องลูกข่ายและเซิร์ฟเวอร์

2.2 หน่วยควบคุมระยะไกล (RTU)

RTU [2] เป็นหน่วยควบคุมและเก็บรวบรวมข้อมูลที่สามารถทำได้ด้วยตัวมันเอง ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ทั่ว ๆ ไปที่สามารถสังเกตการณ์และควบคุมอุปกรณ์ในสถานที่ห่างไกลได้ โดยการ

ทำงานหลักคือการควบคุมและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการประมวลผลของอุปกรณ์ที่อยู่ห่างไกล และส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีหลัก นอกจากนี้ RTU ยังสามารถติดต่อสื่อสารกับ RTU ตัวอื่น ๆ ได้โดยการเชื่อมต่อแบบ peer-to-peer ทำให้มันสามารถที่จะทำหน้าที่เป็นสถานีถ่ายทอด (จัดเก็บและส่งต่อข้อมูล) ไปยัง RTU ตัวอื่นที่ไม่สามารถเข้าถึงสถานีหลักได้

องค์ประกอบของ RTU โดยทั่วไปจะแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ RTU ทั่วไป

โมดูลฮาร์ดแวร์ของ RTU โดยทั่วไปประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางและหน่วยความจำ แอนะล็อกอินพุต แอนะล็อกเอาต์พุต เคาน์เตอร์อินพุต ดิจิทัลอินพุต ดิจิทัลเอาต์พุต ส่วนติดต่อระบบสื่อสาร และแหล่งจ่ายไฟ

2.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit, CPU)

โดยทั่วไปจะเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 16 หรือ 32 บิต และมีหน่วยความจำทั้งหมด 256 กิโลไบต์ (ขยายได้ถึง 4 เมกะไบต์) ซึ่งแบ่งออกเป็น EPROM RAM และ Flash/EEPROM

องค์ประกอบของหน่วยประมวลผลกลางมีดังต่อไปนี้

- พอร์ตการสื่อสาร (Communication ports) จะมี 2 หรือ 3 พอร์ต (RS-232/RS-422/RS-485) ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน สถานีควบคุม รวมถึงระบบติดต่อสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet)

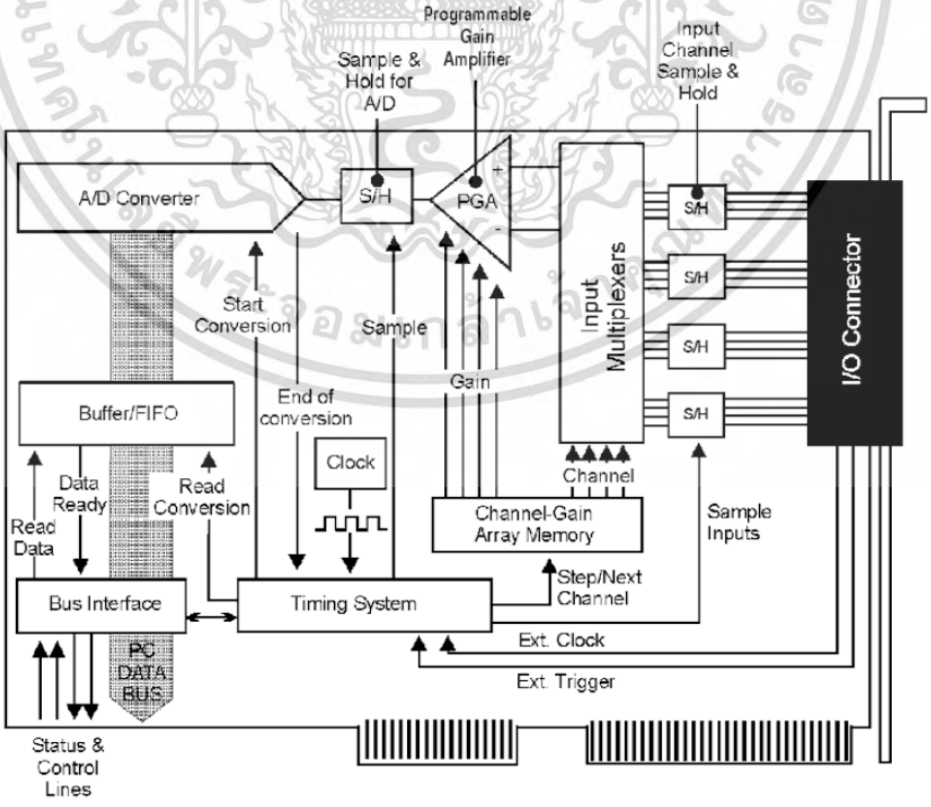
- แอลอีดีวิเคราะห์ (LED) ช่วยลดความยุ่งยากในการแก้และวินิจฉัยปัญหา เช่น ในกรณีที่ CPU หรือ I/O เกิดล้มเหลว

- นาฬิกาบนระบบเวลาจริง (Real-time Clock) มีประโยชน์ในการบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยจะได้เวลาที่ถูกต้องแม่นยำ

- Watchdog Timer ทำหน้าที่ในการตรวจสอบว่าการทำงานของ RTU เป็นปกติหรือไม่ ซึ่งการทำงานของ RTU ปกติจะรีเซตค่าเวลาให้กับ Watchdog แต่ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ทำให้ไม่สามารถทำได้ในระยะเวลาที่กำหนด Watchdog Timer จะทำการรีเซตหน่วยประมวลผลกลางเพื่อให้ RTU ที่เกิดผิดพลาดนั้นกลับขึ้นมาทำงานอีกครั้ง

2.2.2 แอนะล็อกอินพุต (Analog input module)

มีส่วนประกอบหลักอยู่ 5 อย่างที่ทำโมดูลแอนะล็อกอินพุตขึ้น ประกอบด้วย มัลติเพล็กซ์เซอร์อินพุต เครื่องขยายสัญญาอินพุต วงจรสุ่มและคงค่า ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สุดท้ายอินเตอร์เฟสบัสและระบบกำหนดเวลาของบอร์ด



รูปที่ 2.3 แผนภาพการทำงานของโมดูลอินพุตแอนะล็อกทั่วไป

มัลติเพล็กซ์เซอร์เป็นอุปกรณ์ที่จะนำอินพุตแอนะล็อกหลาย ๆ ตัว (ปกติ 16 ตัว) มารวมกันและเปลี่ยนแต่ละอินพุตมาเป็นเอาต์พุตตามลำดับ ซึ่งเอาต์พุตโดยทั่วไปจะผ่านตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter หรือ ADC) ไม่จำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณในแต่ละช่องรับสัญญาณ ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก

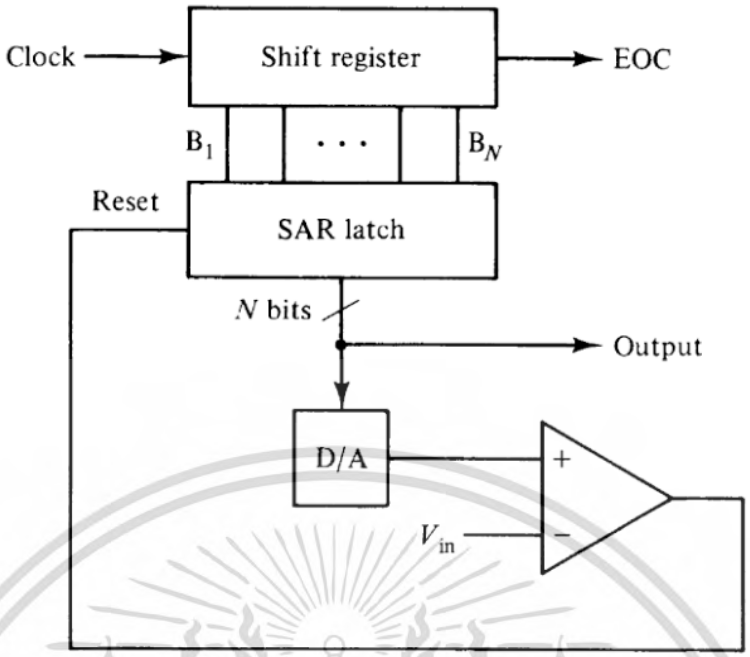
ในกรณีที่ต้องมีการปรับแรงดันไฟฟ้าในระดับต่ำ จำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณเพื่อให้เข้ากับช่วงอินพุตของตัวแปลง A/D ของบอร์ด ถ้าสัญญาณระดับต่ำถูกป้อนเข้าไปในบอร์ดโดยตรงโดยที่ไม่มีการขยายสัญญาณ จะส่งผลต่อการสูญเสียความแม่นยำ บอร์ดบางอันมีการขยายสัญญาณในตัว (หรือ Gain) ในขณะที่บอร์ดเหล่านั้นมีการควบคุมอัตราการขยายสัญญาณด้วยการโปรแกรม (Programmable-Gain Amplifier, PGA) ทำให้สามารถเลือกค่ากำลังขยายที่แตกต่างกันสำหรับช่องสัญญาณที่แตกต่างกันในการแปลงชุดสัญญาณผ่านซอฟต์แวร์ได้

ตัวแปลงสัญญาณ A/D ส่วนใหญ่ต้องมีเวลาที่กำหนดตายตัวในระหว่างที่สัญญาณอินพุตคงที่ (Aperture Time) เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล จึงมีการนำอุปกรณ์สุ่มและคงค่า (Sample and Hold) มาใช้ในการป้อนข้อมูลไปยังตัวแปลงสัญญาณ A/D โดยจะสุ่มตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุตจากมัลติเพล็กซ์เซอร์หรือตัวขยายสัญญาณได้อย่างรวดเร็วและเก็บค่าคงที่ไว้สำหรับ Aperture Time [3]

ตัวแปลงสัญญาณ A/D เป็นตัวสำคัญหลักของโมดูล โดยมีหน้าที่คือการวัดแรงดันไฟฟ้าแอนะล็อกอินพุตและส่งออกเป็นรหัสดิจิทัลที่สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าอินพุต ซึ่ง ADC มีอยู่หลายชนิดแต่ส่วนที่มีการใช้บ่อยที่สุดคือการรวม A/Ds และการประมาณค่าต่อเนื่อง A/Ds

การรวม (หรือ Dual-Slope) A/Ds ใช้สำหรับการใช้งานที่ความถี่ต่ำมาก (สูงสุดไม่กี่ร้อยเฮิรตซ์) และอาจต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูง มักพบในเทอร์โมคัปเปิลและโมดูล RTD นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่น ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายต่ำ ต้านทานสัญญาณรบกวน

การประมาณค่าต่อเนื่อง A/Ds [4] ช่วยให้ค่า Sampling Rate สูงขึ้น (สูงถึง 100 กิโลเฮิรตซ์พร้อมด้วย 12 บิต) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายยังเหมาะสม อัลกอริทึมการแปลงจะคล้ายกับการค้นหาไบนารี่ ซึ่ง A/D จะเริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (โดยจะเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณ D/A ภายใน) ตามสัดส่วนครึ่งหนึ่งจากช่วงของข้อมูลทั้งหมด ถ้าอินพุตแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าค่าที่เปรียบเทียบจะได้ค่าบิตเป็น 0 และทำการ A/D ซ้ำเพื่อเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเปรียบเทียบก่อนหน้าสำหรับอินพุตถัดไป ถ้าอินพุตแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าจะได้ค่าบิตเป็น 1 และการเปรียบเทียบถัดไปจะใช้ค่าเปรียบเทียบที่มากกว่านั้นสำหรับอินพุตถัดไป สำหรับส่วนที่เหลือของช่วงอินพุตจะทำการทดสอบถัดไปตามกระบวนการดังกล่าวจนครบทุกบิตหรือจนกว่าจะได้รับบิตที่ถูกต้องแม่นยำตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของการประมาณค่าต่อเนื่อง A/D

โมดูลอินพุตแอนะล็อกทั่วไป

- 8 หรือ 16 แอนะล็อกอินพุต
- ความละเอียด 8 หรือ 12 บิต
- ค่าอินพุต 4-20 มิลลิแอมป์ (หรือ 0-20 มิลลิแอมป์/ ±10 โวลต์/ 0-10 โวลต์)
- ความต้านทานอินพุตทั่วไป 240 กิโลโอห์ม ถึง 1 เมกะโอห์ม
- อัตราการแปลงทั่วไป 10 ไมโครวินาที ถึง 30 มิลลิวินาที

2.2.3 แอนะล็อกเอาต์พุต (Analog output module)

โมดูลแอนะล็อกเอาต์พุตทำหน้าที่ตรงข้ามกับโมดูลแอนะล็อกอินพุตโดยจะทำการแปลงค่าดิจิทัล (ตามที่ CPU ให้มา) เป็นแอนะล็อกซึ่งใช้ตัวแปลงสัญญาณ D/A หรือ DAC

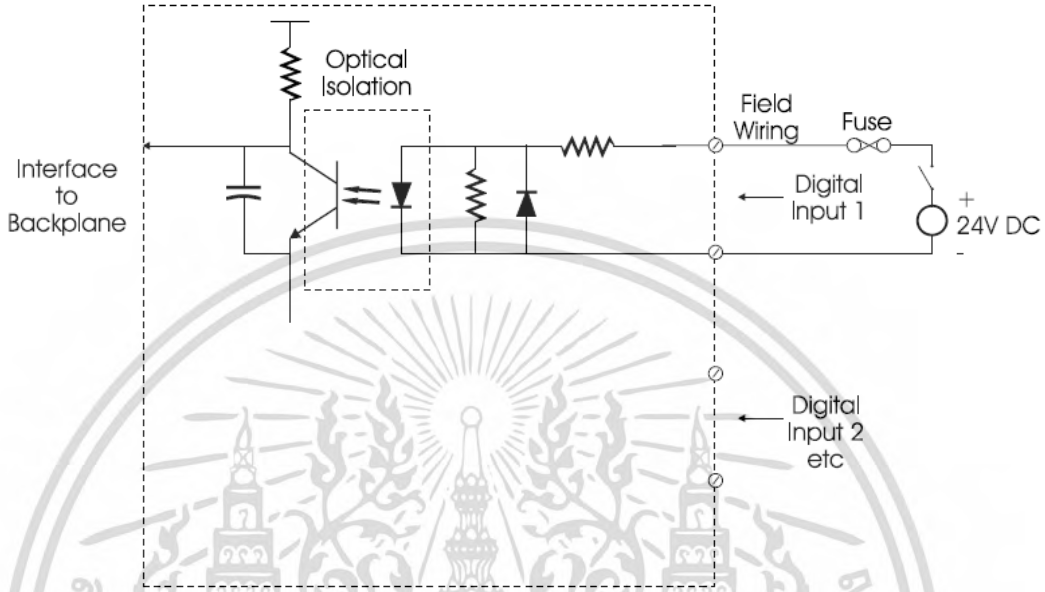
โดยทั่วไปโมดูลแอนะล็อกเอาต์พุตมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 8 แอนะล็อกเอาต์พุต
- ความละเอียด 8 หรือ 12 บิต
- ค่าเอาต์พุต 4-20 มิลลิแอมป์ (หรือ 0-20 มิลลิแอมป์/ ±10 โวลต์/ 0-10 โวลต์)
- อัตราการแปลงทั่วไป 10 ไมโครวินาที ถึง 30 มิลลิวินาที

สิ่งที่ควรระวังในเรื่องนี้เพื่อให้มั่นใจว่าความต้านทานต่อโหลดไม่ต่ำกว่าที่ระบุ (โดยทั่วไปคือ 50 กิโลโอห์ม) หรือแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงจะเหลือเฟือ การออกแบบโมดูลแอนะล็อกเอาต์พุตโดยทั่วไปต้องการให้เอาต์พุตแรงดันไฟฟ้ามากกว่าเอาต์พุตปกติ (เว้นแต่จะมีการจ่ายพลังงานจากภายนอก)

2.2.4 ดิจิทัลอินพุต (Digital input module)

ส่วนนี้ใช้เพื่อระบุรายการต่าง ๆ เช่น สถานะและสัญญาณการแจ้งเตือน ส่วนใหญ่อุปกรณ์ดิจิทัลอินพุตจะมี 8 16 หรือ 32 อินพุต โดยภายในอุปกรณ์จะมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.5 วงจรการทำงานของดิจิทัลอินพุต

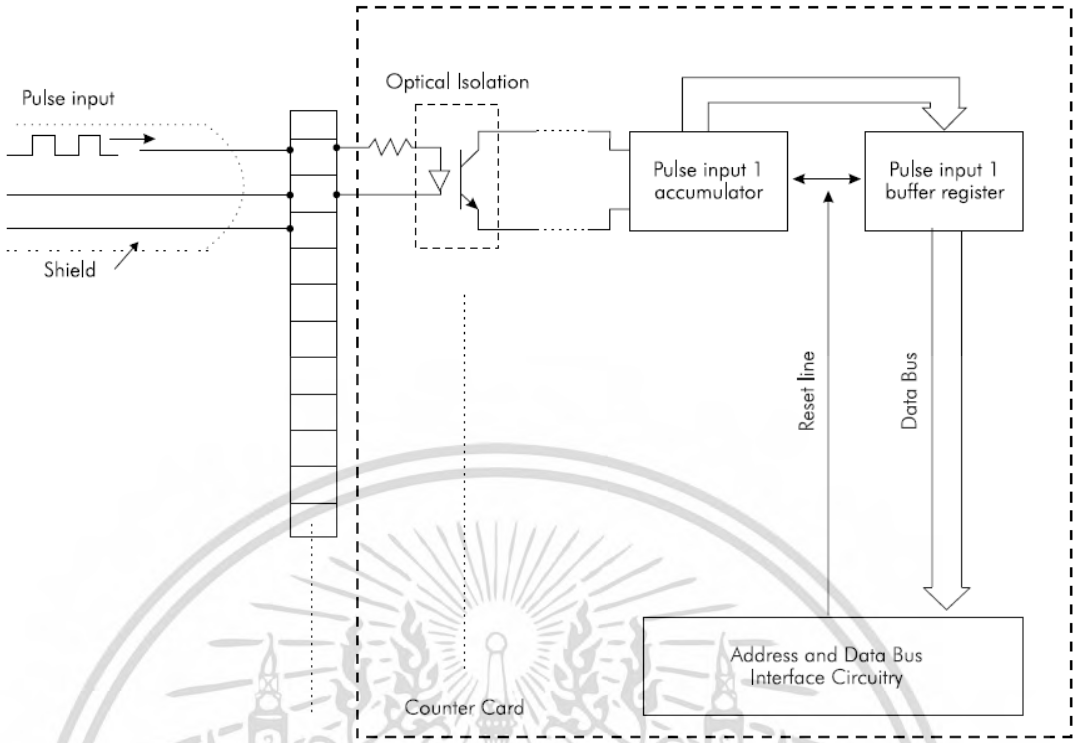
2.2.5 วงจรนับ (Digital counter or accumulator module)

มีการประยุกต์ใช้งานหลายอย่างที่จำเป็นต้องใช้โมดูลพัลส์อินพุต ตัวอย่างเช่น แผงวัดแสง โมดูลนี้อาจเป็นสัญญาณแบบ Contact Closure หรือถ้าความถี่พัลส์สูงพอ เช่น รีเลย์ Solid State เป็นต้น สัญญาณพัลส์อินพุตเป็น Dry contact ทั่วไป กล่าวคือกำลังจากแหล่งจ่ายไฟ RTU มากกว่าแหล่งกำเนิดพัลส์

Optical Isolation เป็นประโยชน์ในการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากภายนอก ขนาดของแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) เป็นสิ่งสำคัญเมื่อพิจารณาจำนวนพัลส์ที่ถูกนับก่อนถ่ายโอนข้อมูลไปยังตำแหน่งหน่วยความจำอื่น ตัวอย่างเช่น รีจิสเตอร์ 12 บิต มีความสามารถในการนับได้ 4096 ในขณะที่ 16 บิต ได้ 65,536

รายละเอียดทั่วไปของโมดูลนี้คือ

- 4 อินพุตตัวนับ
- ตัวนับ 16 บิต (65,536 ต่ออินพุตตัวนับ)
- ความถี่ในการนับสูงสุดถึง 20 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 2.6 โมดูลพัลส์อินพุต

2.2.6 ดิจิทัลเอาต์พุต (Digital output module)

โมดูลดิจิทัลเอาต์พุตจะส่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ช่องสัญญาณเอาต์พุตที่เหมาะสมโดยมีการใช้อยู่ 3 วิธีการคือ 1.Triac Switching 2.Reed Relay Switching 3.TTL Voltage Output

รายละเอียดโมดูลดิจิทัลเอาต์พุตโดยทั่วไปคือ

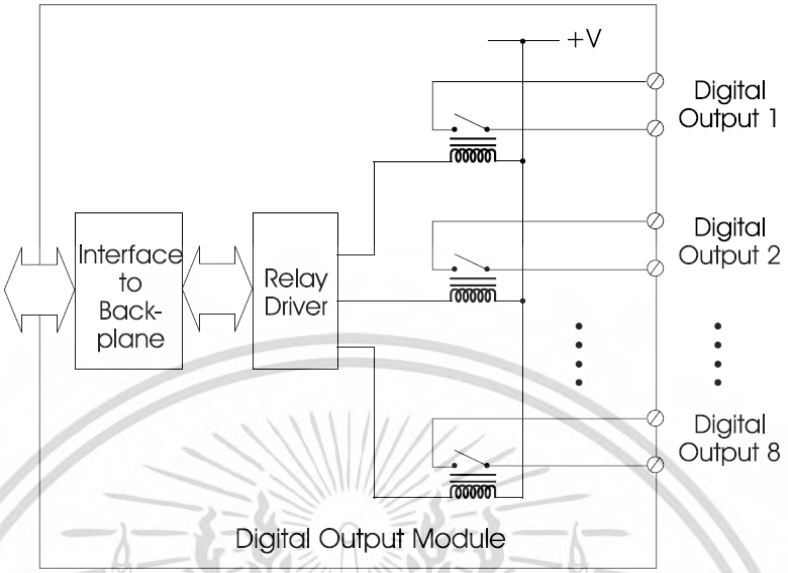
- 8 ดิจิทัลเอาต์พุต
- AC 240 โวลต์/ DC 24 โวลต์ (0.5 แอมป์ ถึง 2.0 แอมป์)
- ไฟ LED แสดงสถานะที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละเอาต์พุตเพื่อระบุสถานะปัจจุบัน
- Optical Isolation หรือ Dry Relay Contact สำหรับแต่ละเอาต์พุต

2.2.7 ช่องทางการติดต่อสื่อสาร (Communication interface)

RTU สมัยใหม่ควรมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะจัดกับสื่อการสื่อสารต่าง ๆ เช่น

- RS-232/RS-442/RS-485
- อีเทอร์เน็ต
- การเชื่อมต่อสายโทรศัพท์/Dedicated Landlines
- สัญญาณไมโครเวฟ/มัลติเพล็กเซอร์
- ดาวทียม
- โพรโทคอล X.25

- สัญญาณวิทยุผ่าน Trunked/VHF/UHF/900 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 2.7 โมดูลดิจิทัลเอาต์พุต

2.2.8 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply module)

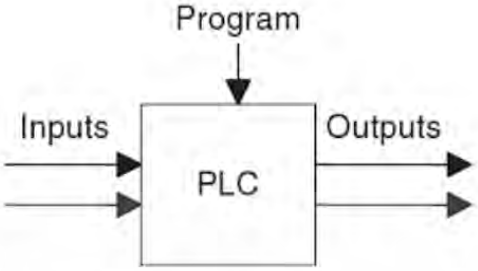
โดยทั่วไป RTU ควรจะสามารถดำเนินการจาก 110/240 V AC ± 10% 50 Hz หรือ 12/24/48 V DC ± 10% แบตเตอรี่ที่ควรใช้งานเป็นกรดตะกั่วหรือนิกเกิลแคดมียม ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการสแตนด์บายใช้เวลา 20 ชั่วโมงและชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเป็นเวลา 12 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ที่หมดแล้ว ตู้สำหรับแบตเตอรี่มาตรฐานทั่วไปเป็น IP52 สำหรับกการติดตั้งภายในและ IP56 สำหรับการติดตั้งภายนอก

2.3 PLC

PLC (Programmable Logic Controller) [5-6] เป็นคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์รูปแบบพิเศษ ซึ่งใช้หน่วยความจำโปรแกรมเพื่อเก็บคำสั่งและใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น ตรรกะ การเรียงลำดับ เวลา การนับและการคำนวนทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ควบคุมเครื่องจักรและกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้วิศวกรดำเนินการโดยอาจมีความรู้เล็กน้อยทางด้านคอมพิวเตอร์และภาษาคอมพิวเตอร์ ไม่ได้ออกแบบเฉพาะเพื่อให้โปรแกรมเมอร์สามารถตั้งค่าหรือเปลี่ยนแปลงโปรแกรมได้เท่านั้น ดั้งนั้นนักออกแบบของ PLC จึงได้ตั้งโปรแกรมไว้ล่วงหน้าเพื่อให้สามารถใช้โปรแกรมควบคุมได้ง่ายโดยใช้รูปแบบภาษาที่เรียบง่าย

โปรแกรมควบคุมของ PLC จะแตกต่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดย PLC จะปรับปรุงภาษาคอมพิวเตอร์แบบเดิมให้เป็นภาษาเชิงสัญลักษณ์สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะมี

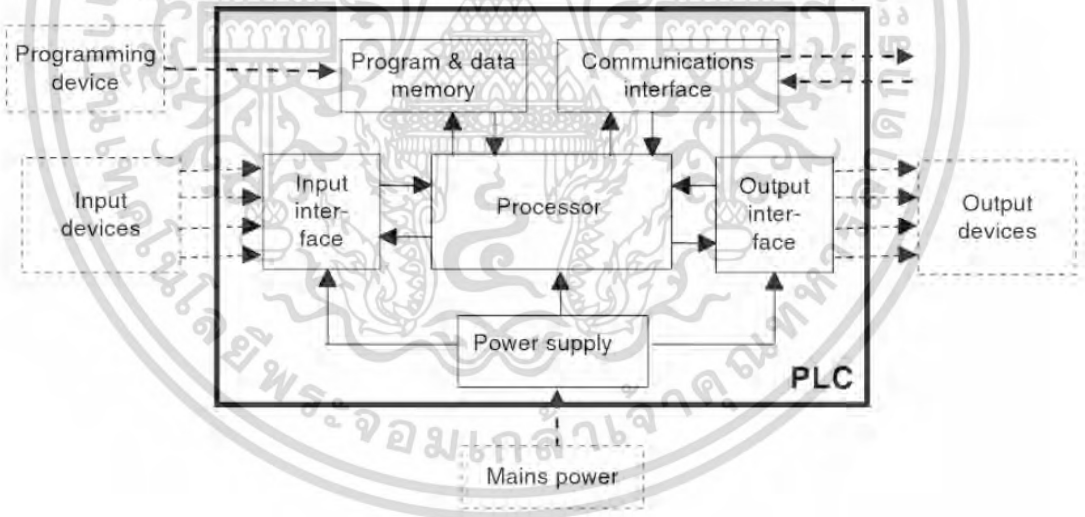
ลักษณะคล้ายวงจรไฟฟ้า ทำให้เข้าใจหลักการเขียนโปรแกรมควบคุม PLC ได้ง่ายและสามารถศึกษาด้วยตนเองได้ ทำให้เป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.8 กระบวนการทำงานของ PLC

2.3.1 ฮาร์ดแวร์

โดยทั่วไปแล้วระบบ PLC มีส่วนประกอบพื้นฐานของหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ แหล่งจ่ายไฟ ส่วนของอินเตอร์เฟสอินพุตเอาต์พุต อินเตอร์เฟสการสื่อสาร และอุปกรณ์การเขียนโปรแกรม รูปที่ 2.9 จะแสดงการจัดวางพื้นฐาน โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.9 ระบบของ PLC

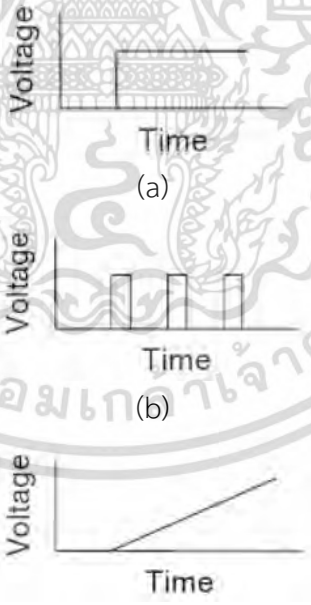
- หน่วยประมวลผลหรือหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) คือหน่วยที่มีไมโครโปรเซสเซอร์ โดยหน่วยนี้จะแปลความหมายของสัญญาณอินพุตและดำเนินการควบคุมตามโปรแกรมที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งจะเป็นการสื่อสารการตัดสินใจให้กระทำสัญญาณไปยังเอาต์พุต
- หน่วยจ่ายไฟจำเป็นต้องใช้เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้า AC ไปเป็นแรงดันไฟฟ้า DC ต่ำที่จำเป็นสำหรับโปรเซสเซอร์และวงจรในโมดูลอินเตอร์เฟสอินพุตและเอาต์พุต

- อุปกรณ์การเขียนโปรแกรมใช้เพื่อป้อนโปรแกรมที่ต้องการลงในหน่วยความจำของโปรเซสเซอร์ โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาในอุปกรณ์แล้วจึงถ่ายโอนไปยังหน่วยความจำของ PLC

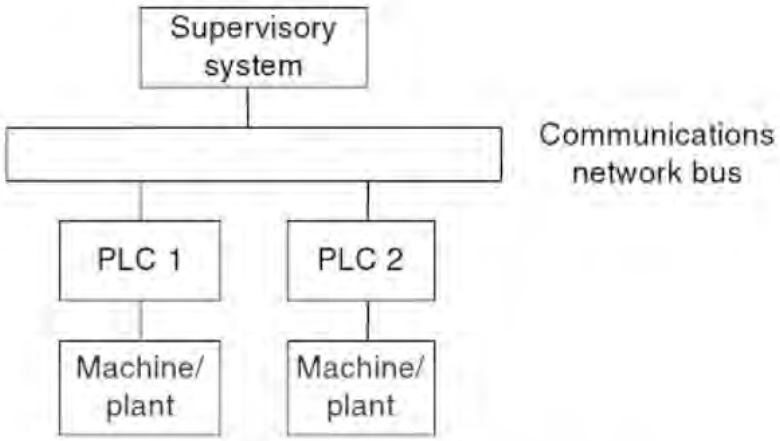
- หน่วยความจำคือตำแหน่งที่ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งการดำเนินการควบคุมที่จะใช้งานโดยไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกจัดเก็บไว้ นอกจากนี้ยังรวมถึงข้อมูลที่เก็บจากอินพุตสำหรับการประมวลผลและข้อมูลสำหรับเอาต์พุต

- ส่วนอินพุตและเอาต์พุตเป็นที่ที่โปรเซสเซอร์ได้รับและสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสามารถจัดแบ่งประเภทให้อยู่ในรูปสัญญาณมีสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Discrete) สัญญาณดิจิทัลและสัญญาณแอนะล็อก ดังรูปที่ 2.10 อุปกรณ์ที่ให้สัญญาณไม่ต่อเนื่องหรือสัญญาณดิจิทัลจะเป็นสัญญาณที่ให้ค่าสถานะเป็น ON หรือ OFF อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น สวิซต์ อุปกรณ์ดิจิทัลถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์สัญญาณไม่ต่อเนื่องที่มีลำดับสัญญาณ ON/OFF อุปกรณ์อยาลอกให้สัญญาณที่มีขนาดเป็นสัดส่วนกับขนาดของตัวแปรที่กำลังตรวจสอบ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

- อินเตอร์เฟสการสื่อสารจะใช้เพื่อรับและส่งข้อมูลบนเครือข่ายการสื่อสารจากหรือไปยัง PLC ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการดำเนินการ เช่น การตรวจสอบอุปกรณ์ การรวบรวมข้อมูล การซิงค์ระหว่างแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน และการจัดการการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.10 สัญญาณ (a) ไม่ต่อเนื่อง (b) ดิจิทัล (c) แอนะล็อก



รูปที่ 2.11 รูปแบบการสื่อสารพื้นฐาน

ข้อได้เปรียบของ PLC ที่มากกว่า RTU คือ สามารถนำไปใช้ในงานที่มีจุดประสงค์ทั่วไปและสามารถติดตั้งได้ง่านสำหรับฟังก์ชันต่างๆ ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ PLC ยังมีขนาดเล็กและใช้พื้นที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม PLC อาจไม่เหมาะสำหรับความต้องที่ระบุเป็นพิเศษ เช่น สำหรับการใช้งานวิทยุระยะไกล

2.3.2 ทฤษฎีภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม PLC [7-9]

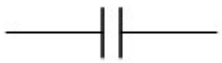
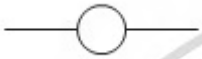
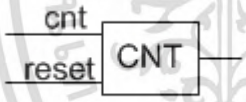
ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรมของ PLC จะเป็นภาษาสัญลักษณ์คล้ายวงจรไฟฟ้าหรือวงจรตรรกะ อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการเขียนโปรแกรมจำเป็นต้องมีทักษะในการเขียนโปแกรม และ PLC มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้วิศวกรใช้โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมมากมาย เป็นผลให้โปรแกรมแลดเดอร์ (LAD) ได้รับการพัฒนาเป็นวิธีการเขียนโปแกรมที่สามารถแปลงเป็นภาษาเครื่องด้วยซอฟต์แวร์เพื่อใช้กับผู้ผลิต PLC ซึ่งแต่ละรุ่นมีแนวโน้มที่จะพัฒนารูปแบบของตัวเองและเพื่อให้ได้มาตรฐานสากลสำหรับโปรแกรมแลดเดอร์ รวมถึงวิธีการทั้งหมดที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม PLC โดยมาตรฐานมีการตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1993 คือ IEC 61131-3 นอกจากนี้โปรแกรมบล็อกฟังก์ชัน (Functional Block Programming) ยังเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเขียนโปรแกรม โดยภาษาที่จะนำเสนอมีดังต่อไปนี้

- ภาษาแลดเดอร์ (Ladder Language)

ภาษาแลดเดอร์เป็นภาษาสัญลักษณ์เชิงไฟฟ้าหรือวงจรแลดเดอร์ของ PLC ภาษาแลดเดอร์แปลงวงจรไฟฟ้าเป็นการปฏิบัติตรรกะแอนด์ (AND) ตรรกะออร์ (OR) และตรรกะนอต (NOT) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ภาษาแลดเดอร์จะประกอบด้วยสัญลักษณ์หน้าสัมผัส ซึ่งรูปแบบจะมีลักษณะคล้ายวงจรของรีเลย์ ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแลดเดอร์จะมีความสะดวกในการเขียนและตรวจได้ง่าย จึงทำให้การเขียนแบบนี้เป็นที่นิยม ระดับงานที่ใช้ควบคุมมีทั้งจากวงจรแบบธรรมดาจนถึงแบบซีเควนซ์ในลักษณะเปิด-ปิด ภาษาแลดเดอร์เป็นภาษาพื้นฐานที่ใช้งานตั้งแต่ PLC ขนาดเล็กเป็นต้นไป

ตารางที่ 2.1 รหัสคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรมภาษาแลดเดอร์

สัญลักษณ์	คำสั่งแลดเดอร์	ชื่อ	รายละเอียด
	LD	LOAD	หน้า contact NO ถ้าเริ่มบล็อกจะใช้ LD
	AND	AND	
	OR	OR	
	LD NOT	LOAD NOT	หน้า contact NC ถ้าเริ่มบล็อกจะใช้ LD NOT
	AND NOT	AND NOT	
	OR NOT	OR NOT	
	OUT	OUT RELAY	รีเลย์ทำงานแบบ มีไฟจ่ายคอยล์ทำงาน
	OUT NOT	OUT NOT RELAY	รีเลย์ทำงานแบบ ไม่มีไฟจ่ายคอยล์ทำงาน
	KEEP	KEEP RELAY	รีเลย์ทำงานค้างสถานะ กระตุ้นแค่ครั้งเดียว ขา S เซ็ต ขา R รีเซ็ต
	CNT	COUNT	ตัวนับ ขา cnt เป็นขานับ ขา reset เป็นขารีเซ็ต ค่าสูงสุด 9999
	TIM	TIMER	ตัวจับเวลา จับเวลาสูงสุด 999.9 sec

- ภาษาบูลีน (Boolean Language)

ภาษาบูลีนเป็นภาษาข้อความที่มีไว้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ทางลอจิกทำให้สามารถเข้าใจได้ง่าย ภาษาบูลีนสัมพันธ์กับ AND OR และ NOT Gate ซึ่งสัญญาณอินพุตเขียนด้วยตัวอักษรโดยตัวอย่างในที่นี้แทนด้วย A B C เป็นต้น ส่วนสัญญาณเอาต์พุตนั้น แทนด้วย Y และเครื่องหมายคูณหรือจุด (.) หมายถึง AND เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง OR และขีดข้างบน หมายถึง NOT แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ลอจิกและสัญลักษณ์บูลีน

สัญลักษณ์ลอจิก	คำอธิบายลอจิก	สมการบูลีน
AND	Y เป็น “1” ถ้า A และ B เป็น “1”	Y = A.B หรือ Y = AB
OR	Y เป็น “1” ถ้า A หรือ B เป็น “1”	Y = A+B
NOT	Y เป็น “1” ถ้า A เป็น “0”	Y เป็น “0” ถ้า A เป็น “1”
NOT AND	Y เป็น “1” ถ้า A และ B เป็น “0” หรือ A หรือ B เป็น “1” หรือ ทั้ง A และ B เป็น “1”	Y = A.B หรือ Y = AB และ Y = A+B
NOT OR	Y เป็น “1” ถ้า A และ B เป็น “0”	Y = A+B

- ภาษาบล็อก (Function Block Language)

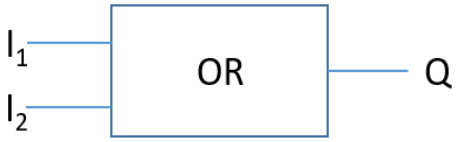
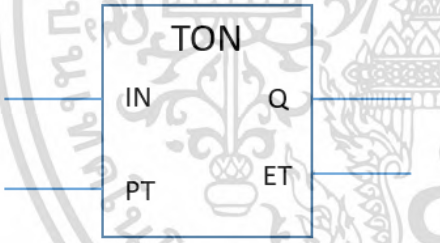
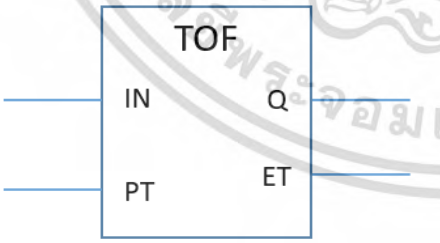
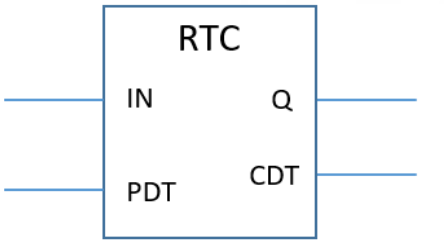
ภาษาบล็อกหรือบล็อกฟังก์ชันเป็นภาษาสัญลักษณ์คล้ายวงจรตรรกะ ซึ่งเป็นหน่วยโปรแกรมชนิดโปรแกรมย่อยของ PLC ซึ่งบล็อกฟังก์ชันจะคล้ายฟังก์ชัน ทำให้โปรแกรม PLC เรียกใช้โปรแกรม PLC ของบล็อกฟังก์ชันได้ โดยใช้คำสั่งเพียงคำสั่งเดียว แทนโปรแกรม PLC ของบล็อกฟังก์ชันทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยคำสั่งหลายคำสั่งของ PLC

บล็อกฟังก์ชันเป็นหน่วยโปรแกรมประกอบด้วย ตัวแปรอินพุตจำนวนตัวแปรเดียวหรือตัวแปรอินพุตหลายจำนวน และตัวแปรเอาต์พุตจำนวนตัวแปรเดียวหรือตัวแปรเอาต์พุตหลายตัวแปร บล็อกฟังก์ชันอาจมีหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายใน ตัวแปรเอาต์พุตเป็นผลลัพธ์โปรแกรมของตัวแปรอินพุตและข้อมูลภายในบล็อกฟังก์ชัน ทำให้การเรียกใช้บล็อกฟังก์ชันโดยตัวแปรอินพุตเดิมอาจได้ตัวแปรเอาต์พุตที่ไม่ใช่ค่าเดิม

ตารางที่ 2.3 รหัสคำสั่งพื้นฐานการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาบล็อกฟังก์ชัน

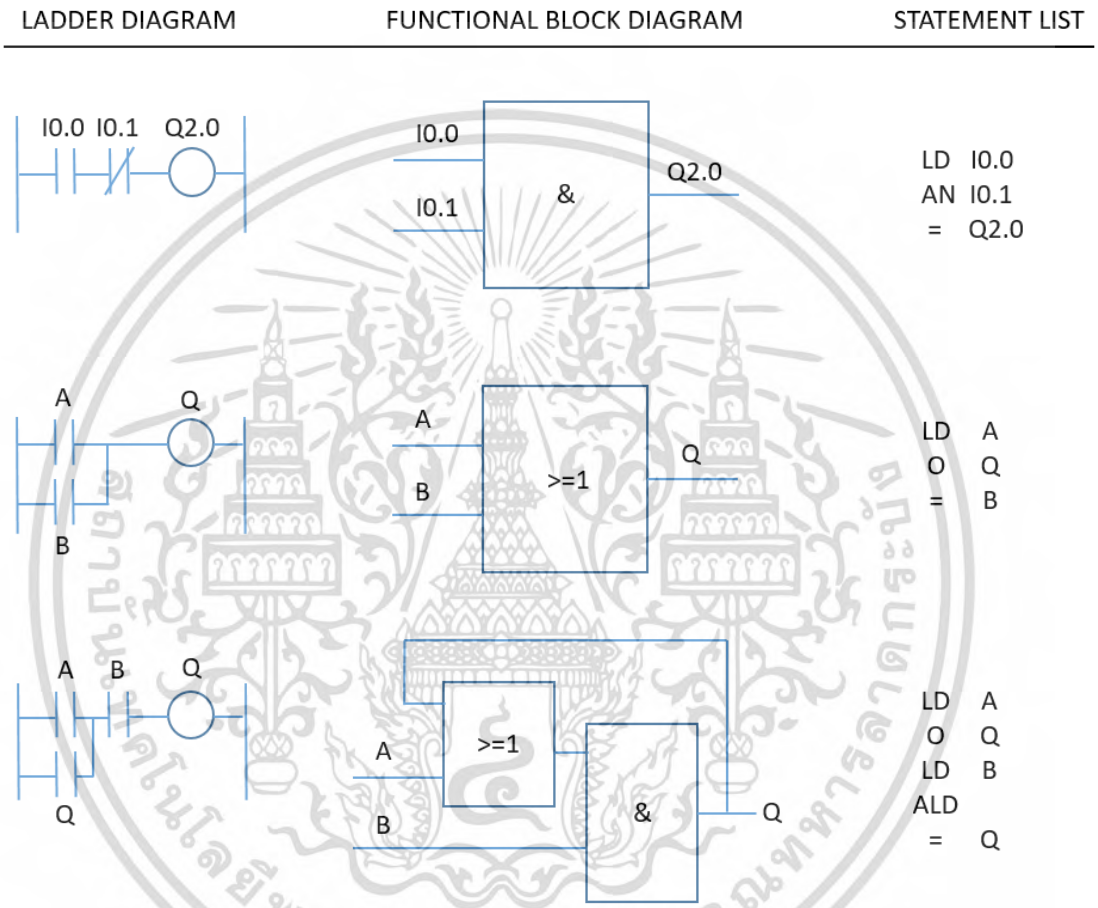
สัญลักษณ์	ความหมาย
	Not Logic I = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)
	AND Logic I_1 = Input (BOOL) I_2 = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
	OR Logic I_1 = Input (BOOL) I_2 = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)
	NAND Logic I_1 = Input (BOOL) I_2 = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)
	NOR Logic I_1 = Input (BOOL) I_2 = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)
	Exclusive OR Logic I_1 = Input (BOOL) I_2 = Input (BOOL) Q = Output (BOOL)
	On delay timer IN = start pulse timer input (BOOL) PT = pulse duration time (TIME) Q = output pulse (BOOL) ET = elapsed time (TIME)
	Off delay timer IN = start pulse timer input (BOOL) PT = pulse duration time (TIME) Q = output pulse (BOOL) ET = elapsed time (TIME)
	Real time clock EN = enable input (BOOL) PDT = preset date and time (DT) Q = output (BOOL) CDT = current date and time (DATE_AND_TIME)

- ภาษาลำดับข้อความ (Statement List Language)

ภาษาลำดับข้อความเป็นภาษาข้อความ ซึ่งเป็นการสร้างหรือเขียนโปรแกรม โดยใช้คำสั่งเป็นแบบภาษาเครื่อง โดยทั่วไปผู้ใช้มักจะเป็นผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ทางด้าน PLC และโปรแกรมที่ถูกสร้างแบบภาษาลำดับข้อความ อาจจะไม่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ ภาษาแลดเดอร์ หรือภาษาบล็อก ได้ ซึ่งมีการเปรียบเทียบการใช้งานของภาษาแลดเดอร์ ภาษาบล็อก และภาษาลำดับข้อความ ดังรูปที่ 2.12



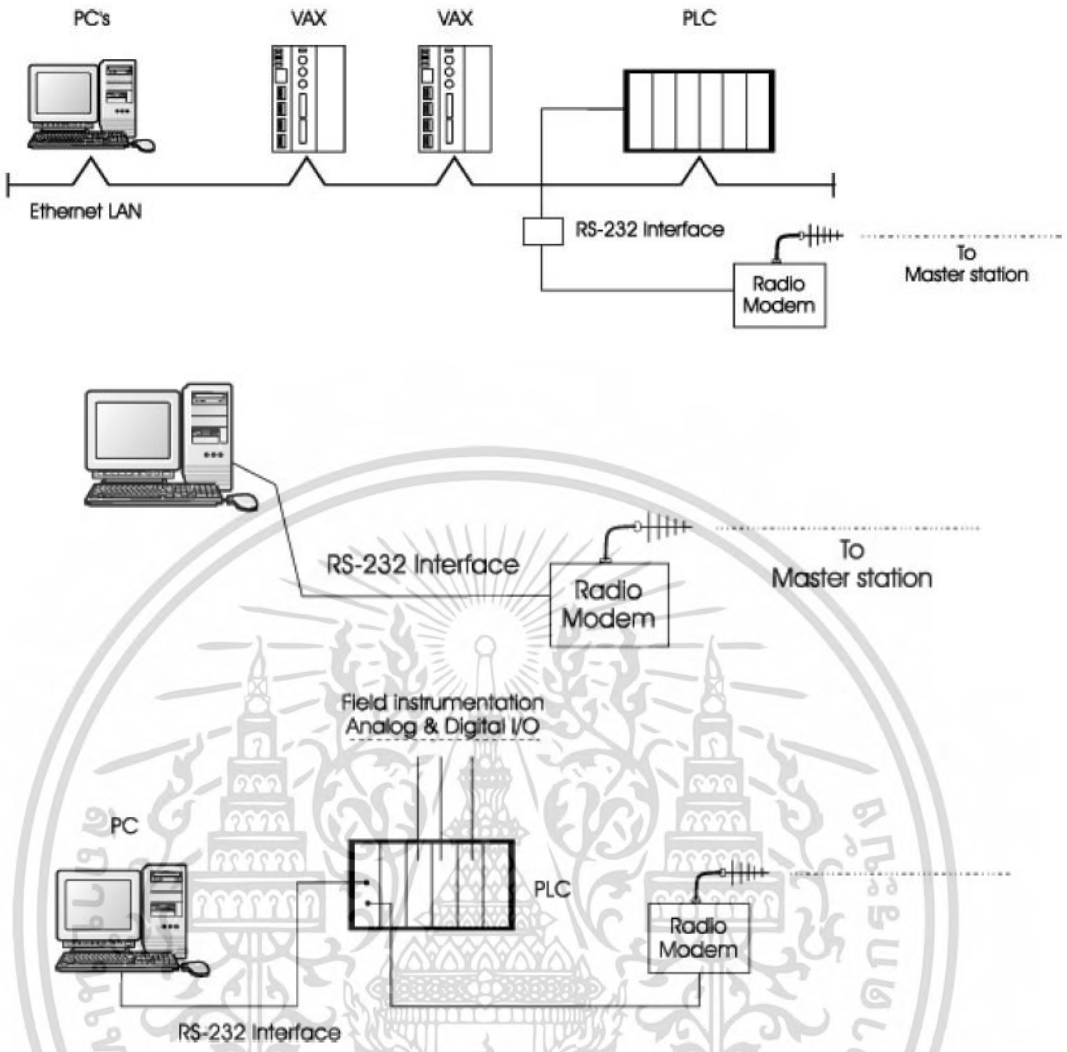
รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบการใช้งานของภาษาแลดเดอร์ ภาษาบล็อกและภาษาลำดับข้อความ

2.4 สถานีหลัก (Master Station)

สถานีหลักจะมีฟังก์ชันการทำงานหลักอยู่ 2 ฟังก์ชัน คือ

1. รับข้อมูลจาก RTU และสถานีย่อย
2. ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์โดยผู้ดำเนินการในสถานี

โดยสถานีหลักเมื่อนำมารวมกับระบบต่างๆ ที่เป็นไปได้แล้ว จะมีโอกาสเป็นไปได้หลายรูปแบบดังรูปที่ 2.13

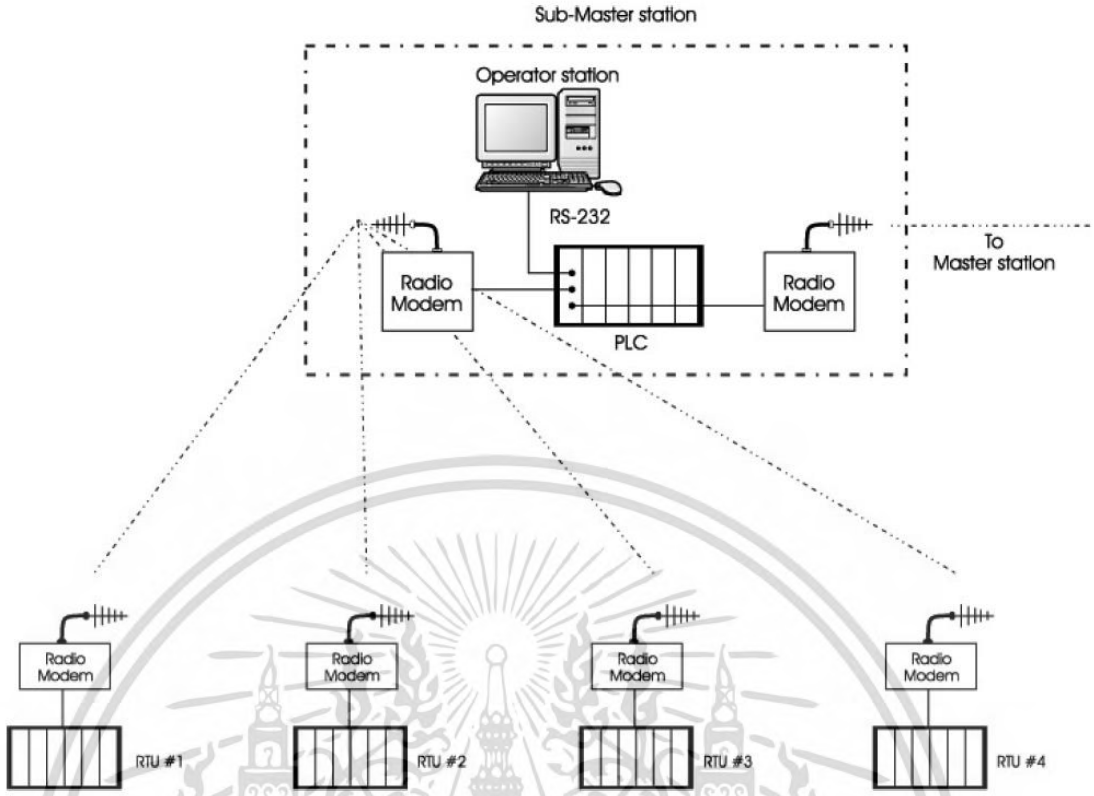


รูปที่ 2.13 รูปแบบวิธีการต่างๆ สำหรับสถานีหลัก

นอกจากนี้ยังอาจจำเป็นในการจัดตั้งสถานีย่อยขึ้น เนื่องจากว่าสถานีหลักอาจไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์หรือระบบที่อยู่ห่างไกลมากๆ ได้ โดยสถานีย่อยจะมีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้

- รวบรวมข้อมูลจาก RTU ภายในบริเวณ
- เก็บและแสดงผลข้อมูลในสถานีควบคุม
- ส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีหลัก
- ส่งคำขอควบคุมจากสถานีหลักมายัง RTU ที่อยู่บริเวณสถานีย่อย

โดยสถาปัตยกรรมของสถานย่อย จะแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สถาปัตยกรรมของสถานีย่อย

สถานีหลักมีฟังก์ชันทั่วไปดังต่อไปนี้

- การสื่อสาร เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าให้กับ RTU แต่ละตัว ทั้งเริ่มต้นค่าอินพุตและเอาต์พุต รวมถึงการดาวน์โหลดการควบคุมและการเก็บข้อมูลการทำงานของ RTU

- ควบคุมการดำเนินการ เกี่ยวกับการเลือกใช้งานข้อมูลของ RTU แต่ละตัว โดยการเขียนค่าหรือเปลี่ยนค่าการทำงานให้กับ RTU ที่ต้องการใช้งาน เมื่อมีการทำงานหรือการแจ้งเตือนเกิดขึ้นก็จะมีการเก็บประวัติการทำงานไปยังฐานข้อมูล โดยจะมีการแสดงข้อมูลที่จำเป็นบนหน้าจอควบคุม

- วิเคราะห์ เกี่ยวกับการวินิจฉัยข้อมูลที่ถูกต้องจากปัญหาการล้มเหลวในการทำงานของ RTU รวมถึงคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

จากฟังก์ชันที่กล่าวมานำมาพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในสถานีหลัก คือ ซอฟต์แวร์ระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ หรืออาจจะเรียกว่าซอฟต์แวร์ระบบสกาดา ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อระหว่างระบบควบคุมและระบบคอมพิวเตอร์

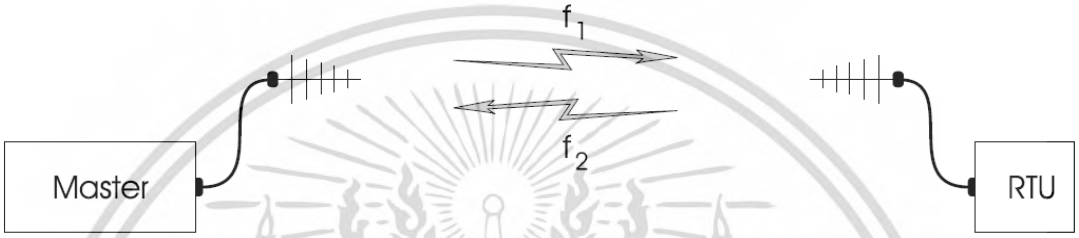
โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 โมดูลหลัก ได้แก่ รวบรวมข้อมูล (Data Acquisition) ควบคุม (Control) เก็บข้อมูลในฐานข้อมูล (Database Storage) และส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Man Machine Interface, MMI)

2.5 สถาปัตยกรรมที่ใช้ในการสื่อสาร [10]

สำหรับสถาปัตยกรรมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารมีอยู่หลักๆ 3 สถาปัตยกรรม ซึ่งสามารถนำมาใช้ร่วมกันในระบบเดียวได้ ดังนี้

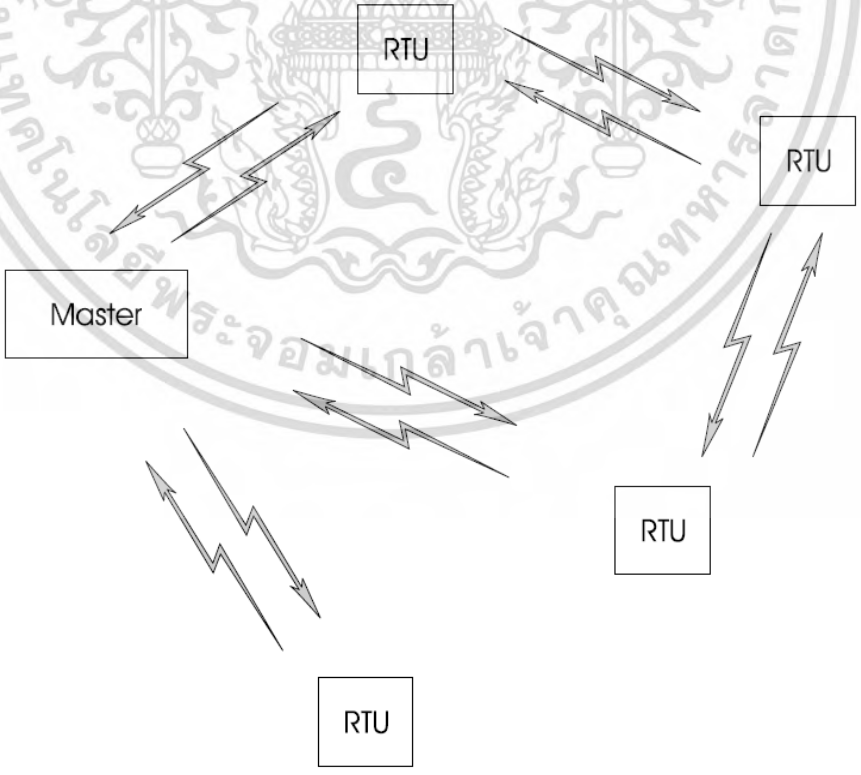
2.5.1 แบบจุดต่อจุด (Point-to-point Architecture)

เป็นการเชื่อมต่อสื่อสารที่ง่ายที่สุด โดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง 2 สถานี ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งการสื่อสารแบบสองทาง (Full-Duplex) หรือการติดต่อสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Half-Duplex)



รูปที่ 2.15 สถาปัตยกรรมแบบจุดต่อจุดระหว่าง 2 สถานี

2.5.2 แบบหลายจุด (Multi-point Architecture)



รูปที่ 2.16 สถาปัตยกรรมแบบหลายจุด

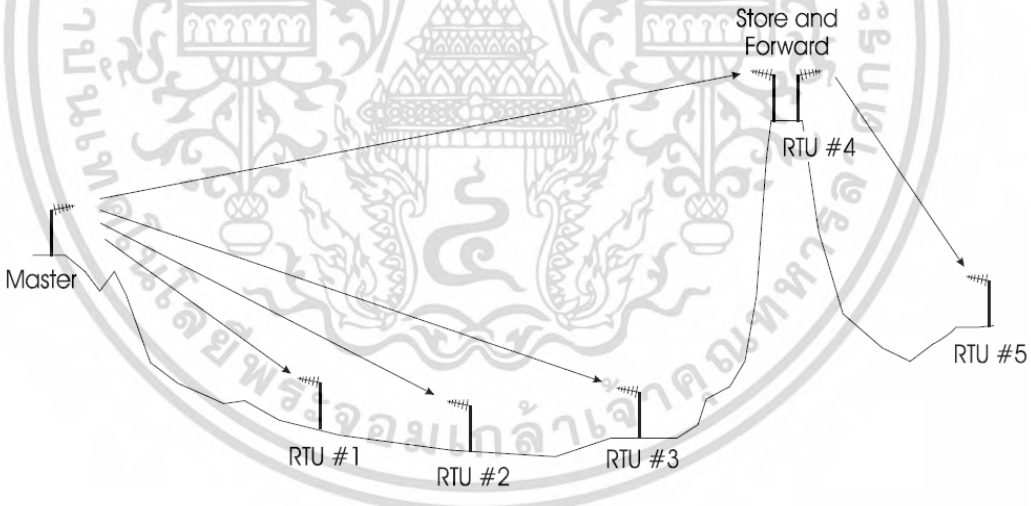
สำหรับการเชื่อมต่อแบบหลายจุดโดยปกติจะมีหนึ่งสถานีควบคุม (Master) และหลายสถานีดำเนินการ (Slave) ซึ่งข้อมูลจะทำการส่งผ่านไปมาระหว่างสถานีควบคุมและสถานีดำเนินการแต่ละสถานี แต่ถ้าสถานีดำเนินการจำเป็นต้องโอนถ่ายข้อมูลให้แก่กันสถานีควบคุมจะทำหน้าที่ในการจัดการดูแลในการถ่ายโอนนั้น

2.5.3 สถานีถ่ายทอด (Relay station Architecture)

ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 วิธี คือ การเก็บและส่งต่อ (Store and Forward) และการพูดคุยผ่านการกระจายสัญญาณ (Talk-through Repeater)

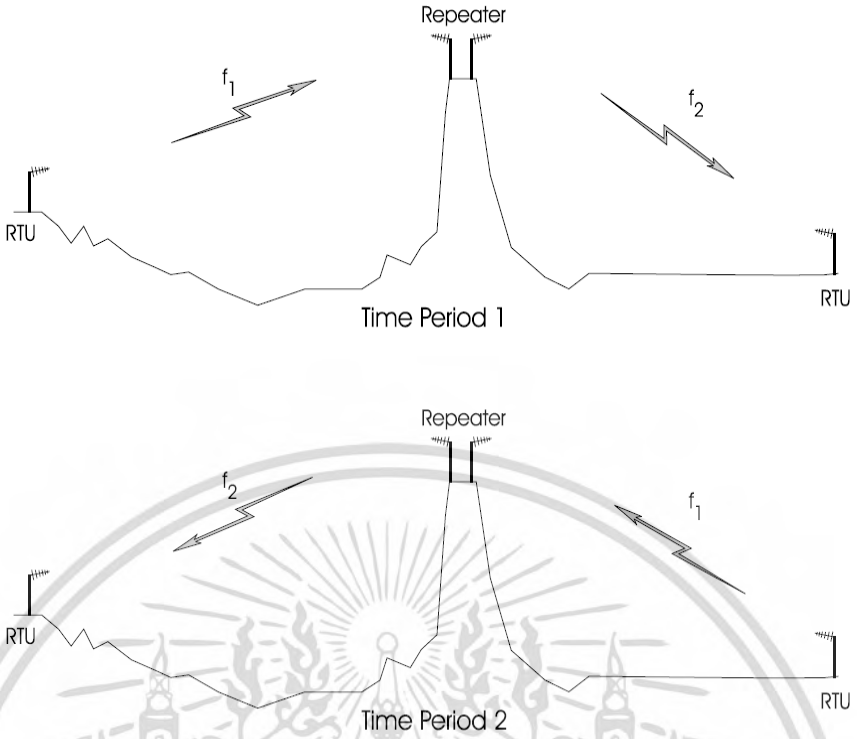
- การเก็บและส่งต่อ สามารถเป็นส่วนหนึ่งของวิธีอื่นๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น โดยให้สถานีกลางทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีอื่นที่อยู่นอกช่วงของสถานีหลัก ซึ่งสถานีกลางส่วนมากจะเรียกว่าสถานีเก็บและส่งต่อ สถานีเก็บและส่งต่อจะไม่ได้ทำการส่งข้อมูลพร้อมกัน หรือกล่าวคือจะเริ่มจากการรับข้อมูลจากสถานีหลักก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลนั้นๆ หลังจากนั้นจึงทำการส่งต่อไปยังสถานีปลายทาง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการดำเนินการนั้นเป็นขั้นตอน ไม่สามารถตอบสนองได้อย่างทันที

วิธีนี้ดำเนินการได้ช้ากว่าการกระจายสัญญาณเนื่องจากแต่ละข้อมูลที่ทำการส่งมาจะต้องทำการส่งถึงสองครั้ง แต่ประโยชน์ของวิธีการนี้คือประหยัดในเรื่องของความสูงเสาส่งและประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.17 รูปแบบของสถานีถ่ายทอดแบบจัดเก็บและส่งต่อ

- การพูดคุยผ่านการกระจายสัญญาณเป็นวิธีที่นิยมโดยทั่วไปในการเพิ่มช่วงของระบบวิทยุ โดยเสากระจายสัญญาณจะตั้งอยู่บนพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่อยู่บนที่สูงคอยทวนสัญญาณวิทยุที่ได้รับพร้อมๆ กันในหลายคลื่นความถี่ ซึ่งกล่าวได้ว่าทุกสถานีที่ได้รับการทวนสัญญาณจำเป็นต้องได้รับและส่งสัญญาณในช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน



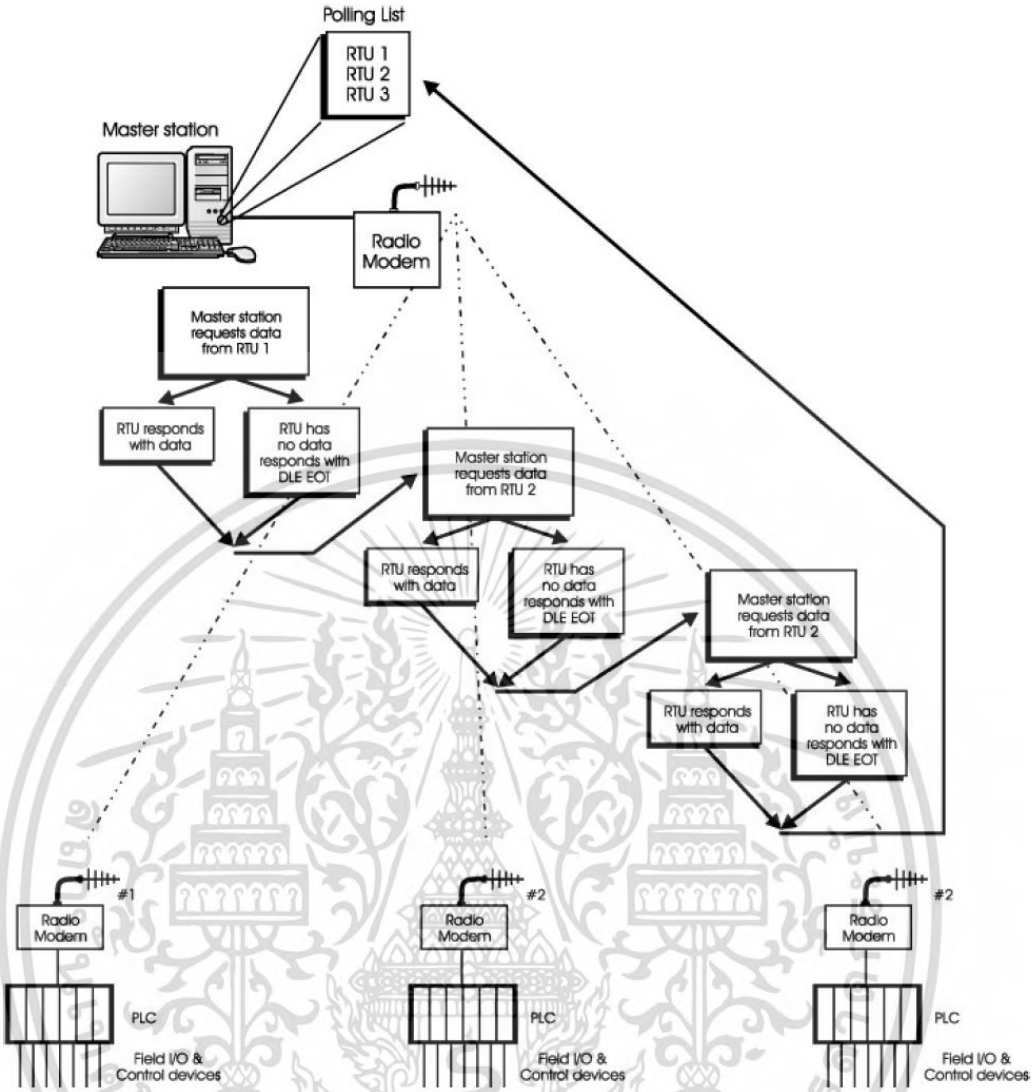
รูปที่ 2.18 รูปแบบของ Talk-through Repeater

2.6 รูปแบบของการสื่อสาร

สำหรับรูปแบบของการสื่อสารที่นำมาใช้ในระบบการจัดการสถานีรถไฟในที่นี้มี 2 รูปแบบ คือ Polled และ Contention

2.6.1 Polled (Master-Slave) [11]

ในที่นี้สามารถใช้การกำหนดจุดต่อจุด (point-to-point) หรือหลายจุด (multi-point) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดในการนำมาใช้ โดยสถานีควบคุม (Master) จะอยู่ในการควบคุมของระบบการสื่อสารและทำการร้องขอข้อมูลเพื่อโอนถ่ายจากสถานีดำเนินการ (Slave) ตัวหนึ่งไปยังสถานีดำเนินการอีกตัว สถานีดำเนินการไม่ได้ทำการเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารแต่ขึ้นอยู่กับสถานีควบคุม โดยใช้การติดต่อสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (half-duplex) ซึ่งสถานีดำเนินการจะทำการตอบสนองต่อคำร้องขอจากสถานีควบคุมเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าสถานีดำเนินการไม่ทำการตอบสนองในเวลาที่กำหนด สถานีควบคุมจะทำการร้องขอใหม่ (โดยปกติจะทำซ้ำ 3 ครั้ง) และบันทึกว่าสถานีดำเนินการนั้นไม่สามารถใช้งานได้ก่อนที่จะลองสถานีดำเนินการลำดับถัดไป เป็นไปได้ที่จะทำการลองสถานีดำเนินการที่ไม่สามารถใช้งานได้ในรอบต่อไปของรายการสำรวจ (polling) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเทคนิคการสำรวจสำหรับสถานีหลักและ RTU

ข้อดีของวิธีการนี้คือ

- ซอฟต์แวร์ใช้งานง่ายและเชื่อถือได้ เนื่องจากความเรียบง่ายของรูปแบบ
- ความล้มเหลวของการเชื่อมต่อระหว่างสถานีควบคุมและโหนดสถานีดำเนินการจะถูกตรวจจับได้อย่างรวดเร็ว
- ไม่มีการชนกันเกิดขึ้นในระบบเครือข่าย ดังนั้นปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านจะคงที่

สำหรับระบบที่มีการโหลดอย่างมากกับแต่ละโหนดจะมีข้อกำหนดในการถ่ายโอนข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถคาดการณ์และมีประสิทธิภาพ

ข้อเสียคือ

- ความแตกต่างในข้อกำหนดการถ่ายโอนข้อมูลของแต่ละสถานีดำเนินการไม่สามารถจัดการได้

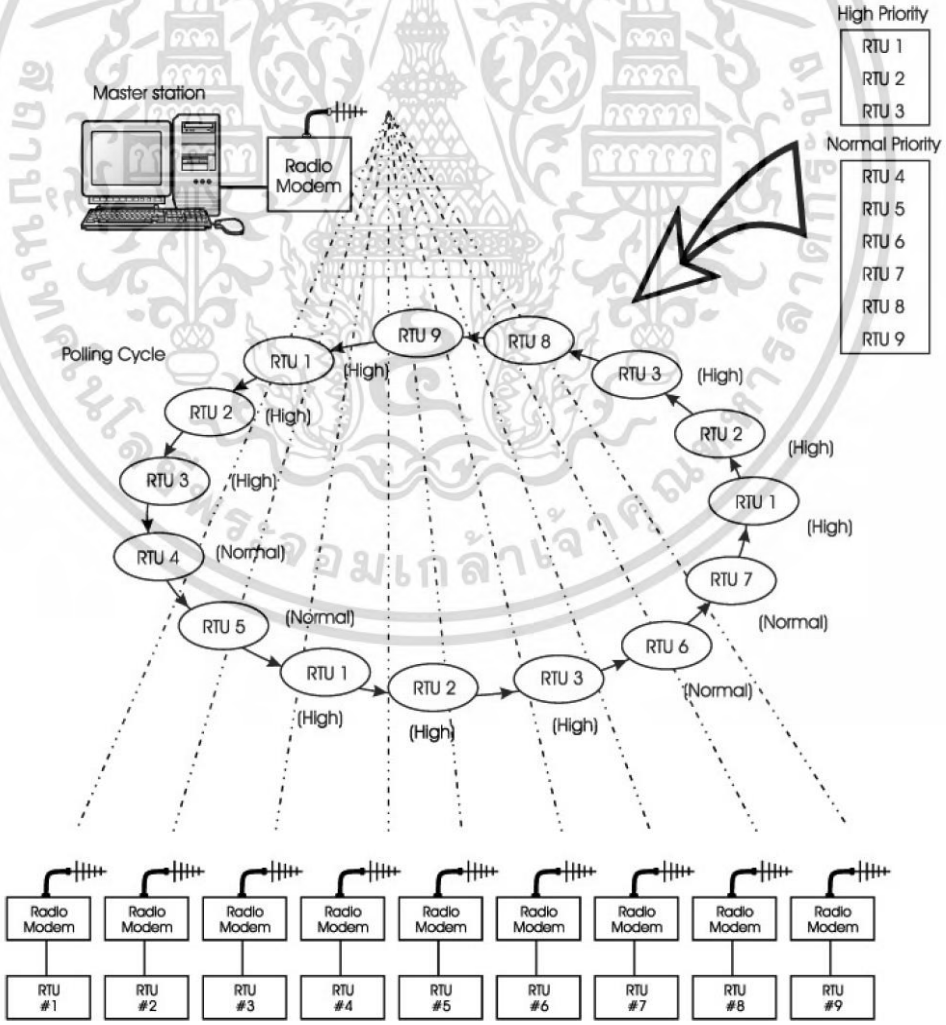
- คำร้องขอประเภทอินเทอร์รัพ (Interrupt) จากสถานีดำเนินการที่ร้องขอดำเนินการเร่งด่วนไม่สามารถจัดการได้ (เนื่องจากสถานีควบคุมอาจจะกำลังประมวลผลสถานีดำเนินการอื่นอยู่)

- ระบบที่โหลดน้อยด้วยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเล็กน้อยจากสถานีดำเนินการ ค่อนข้างไม่มีประสิทธิภาพและไม่จำเป็น

- สถานีดำเนินการที่ต้องการสื่อสารกันต้องทำผ่านทางสถานีควบคุมที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นในการออกแบบสำหรับสถานีหลัก

ข้อมูลลำดับความสำคัญที่ส่งมาจากสถานีหลักสามารถแทนที่ลำดับการสำรวจตามมาตรฐานได้ ในกรณีนี้สถานีหลักจะดำเนินการตามการร้องขอของการสำรวจสำหรับสถานีที่เฉพาะเจาะจง จากนั้นจึงส่งการร้องขอความสำคัญไปยังสถานีเฉพาะนั้นๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเรียงตามลำดับการสำรวจ จากนั้นรอเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสำหรับการตอบสนองจาก RTU หรือดำเนินการต่อด้วยการสำรวจสถานีดำเนินการอีก 2 ถึง 3 ตัวในลำดับของการสำรวจ ก่อนที่จะทำการร้องขอการตอบกลับจากสถานีที่เฉพาะเจาะจงนั้น

ตัวอย่างของการจัดลำดับความสำคัญสูงและปกติ จะแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การจัดลำดับความสำคัญสูงและปกติ

2.6.2 Contention (Peer-to-Peer)

สำหรับตัวอย่างของวิธีการนี้เช่น CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการควบคุมการสื่อสาร โดยจะไม่มีสถานีที่ทำการควบคุมและแต่ละสถานีจะต้องทำการช่วงชิงในการเข้าถึงสายส่งสัญญาณในการเชื่อมต่อการสื่อสาร ในกรณีที่เกิดการชนกันของข้อมูลซึ่งเป็นสิ่งที่อาจเกิดขึ้นได้ สถานีจะต้องทำการหยุดรอแล้วจึงดำเนินการใหม่

2.6.2.1 การติดต่อสื่อสารระหว่าง RTU (RTU to RTU communication)

สำหรับบางสถานการณ์ที่ RTU ต้องการติดต่อสื่อสารกับ RTU ตัวอื่น วิธีการที่ใช้คือการตอบสนองต่อการสำรวจโดยสถานีหลักที่มีข้อมูลที่อยู่ปลายทางซึ่งอยู่นอกเหนือจากสถานีหลัก

สถานีหลักจะทำการตรวจสอบพื้นที่ที่อยู่ปลายทางของข้อมูลที่ได้รับจาก RTU และถ้าไม่ได้เกี่ยวข้องกับตัวมันเองแล้ว สถานีหลักจะทำการส่งอีกครั้งไปยัง RTU ที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ในเครือข่าย Master-Slave หรือกลุ่มของสถานีทั้งหมดที่มีสถานะเท่าเทียมกัน สำหรับปัญหาการชนกันของข้อมูลมีเพียงอย่างเดียวที่ทำเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลคือการรอสายส่งสัญญาณก่อนที่จะทำการส่งใหม่อีกครั้ง โดยระบบจะใช้วิธีการกู้คืนเพื่อขจัดปัญหาการชนกันของข้อมูล ซึ่งปกติระบบนี้จะมีประสิทธิภาพมากในอัตราการส่งข้อมูลต่ำ วิธีการนี้จะใช้เฉพาะเครือข่ายที่โหนดทั้งหมดสามารถเข้าถึงสื่อเดียวกันได้

2.6.2.2 การรายงานข้อยกเว้นหรือเหตุการณ์ (Exception or Event Reporting)

วิธีในการลดการถ่ายโอนข้อมูลที่ไม่จำเป็น คือ การใช้รูปแบบรายงานข้อยกเว้น ซึ่งวิธีการนี้เป็นที่นิยมในการใช้กับรูปแบบ CSMA/CD แต่ยังสามารถเสนอวิธีในการแก้ปัญหาสำหรับวิธีการสำรวจซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนมากที่จะถ่ายโอนจากแต่ละสถานีดำเนินการ

สถานีควบคุมระยะไกล (RTU) จะตรวจสอบข้อมูลอินพุตเพื่อเปลี่ยนสถานะหรือข้อมูล เฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสถานะเท่านั้น แล้วจึงทำการเขียนบล็อกของข้อมูลเพื่อทำการส่งไปยังสถานีหลัก ซึ่งแต่ละจุดแอนะล็อกหรือดิจิทัลที่ต้องรายงานกลับไปยังสถานีหลักจะมีชุดของพารามิเตอร์การรายงานข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง เช่น ขีดจำกัดการเตือนภัยของค่าแอนะล็อกในแต่ละอุปกรณ์

2.6.2.3 การสำรวจเพิ่มด้วย CSMA/CD พร้อมการรายงานข้อยกเว้น

แนวทางปฏิบัติเพื่อรวมวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ คือ การใช้แนวคิดของ Slot time สำหรับแต่ละสถานี สมมติว่าสถาปัตยกรรมประกอบด้วยหนึ่งสถานีควบคุมและหลายสถานีดำเนินการที่ต้องการติดต่อสื่อสารกับสถานีหลัก โดยไม่มีการสื่อสารระหว่างสถานีดำเนินการยกเว้นอาจผ่านสถานีควบคุม

เวลาที่สถานีแต่ละสถานีได้รับอนุญาตให้ส่งผ่านข้อมูลจะเรียกว่า Slot time ซึ่งจะมี 2 ประเภทดังนี้

- สถานีดำเนินการ (Slave) ส่งผ่านไปยังสถานีควบคุม (Master)
- สถานีควบคุมส่งผ่านไปยังสถานีดำเนินการ

Slot time จะถูกคำนวณเป็นจำนวนรวมสูงสุดของเวลาตั้งค่าโมเด็ม เพิ่มด้วยเวลาในการส่งผ่านสัญญาณวิทยุ เวลาสำหรับข้อความโพรโทคอล และเวลาปิดรับ (Muting time) สำหรับแต่ละครั้งในการส่งผ่านข้อมูล

สถานีควบคุมเริ่มดำเนินการโดยการสำรวจแต่ละสถานีดำเนินการในแต่ละรอบ โดยสถานีดำเนินการแต่ละตัวจะซิงโครไนซ์ (Synchronize) กับข้อความของสถานีควบคุมและจะทำการส่งข้อความตอบรับ หลังจากนั้นสถานีดำเนินการจะส่งเฉพาะช่วงเวลาที่สถานีควบคุมทำการรับช่องเวลาซึ่งสลับกับการส่งช่องเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะซึ่งถูกตรวจพบโดยโหนดของสถานีดำเนินการ สถานีดำเนินการนั้นจะส่งข้อมูลให้กับสถานีควบคุมที่ได้รับช่องเวลา ถ้าสถานีดำเนินการพยายามส่งผ่านในช่องเวลาเดียวกัน ข้อความที่ถูกส่งไปนั้นจะเสียหายและสถานีดำเนินการจะไม่ได้รับการตอบกลับจากสถานีควบคุม ซึ่งสถานีดำเนินการจะทำการสุ่มเลือกช่องเวลาของสถานีควบคุมที่ทำการรับภายหลัง และจะพยายามส่งข้อความไปใหม่ ถ้าสถานีควบคุมยังคงได้ข้อความที่เสียหาย อาจเลือกที่จะทำการสำรวจสถานีดำเนินการทั้งหมด เนื่องจากกลไกประเภท CSMA/CD อาจเสียหายเนื่องจากมีการรับส่งข้อมูลที่มากเกินไป

2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ระบบการจัดการสถานีรถไฟในการจัดทำครั้งนี้ จะมีมาตรฐานมารองรับทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อให้เกิดความถูกต้องเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมาตรฐานที่ใช้คือ RS-232 และ RS-485 เป็นองค์ประกอบสำคัญในการถ่ายโอนข้อมูลดิจิทัลระหว่าง RTU กับ RTU หรือสถานีดำเนินการ และโมเด็มที่แปลงข้อมูลดิจิทัลให้เป็นรูปแบบแอนะล็อกที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านทางไกล

มาตรฐานอินเตอร์เฟสกำหนดรายระเอียดทางไฟฟ้าและเชิงกลที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารจากผู้ผลิตรายต่างๆ เข้าด้วยกันและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในที่นี้ควรให้ความสำคัญกับ RS-232 และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดเฉพาะรายละเอียดทางไฟฟ้าและเครื่องกลสำหรับอินเตอร์เฟส ซึ่งต้องไม่มีการกำหนดโพรโทคอล

มาตรฐานเหล่านี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลดิจิทัลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมาตรฐาน RS-232 ออกแบบมาเพื่อเชื่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เข้ากับโมเด็ม ซึ่งข้อมูลจะถูกแปลงเป็นรูปแบบแอนะล็อกที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านทางไกล สำหรับ RS-485 มีความสามารถในการถ่ายโอนข้อมูลดิจิทัลได้มากกว่า 1200 เมตร

โดยส่วนมากที่เป็นที่นิยมของมาตรฐาน RS คือ มาตรฐาน RS-232 (แต่อาจเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด) ซึ่งในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงก่อน โดยจะอธิบายถึงการแสดงการทำงานที่ถูกต้องของ RS-232E นอกจากนี้จะกล่าวถึง RS-485 ที่เป็น EIA-232E และ EIA-485

2.7.1 RS-232

มาตรฐานอินเตอร์เฟส RS-232C [12] สำหรับการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (มาตรฐานอินเตอร์เฟสCCITT V.24) กำหนด “อินเตอร์เฟสระหว่าง Data Terminal Equipment (DTE) และ Data Communications Equipment (DCE) ที่ใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูลไบนารี่แบบอนุกรม”

ได้รับการตีพิมพ์ในสหรัฐอเมริการในปีพ.ศ. 2512 โดยฝ่ายวิศวกรรมของ EIA (Electronic Industries Alliance) ในความร่วมมือของ Bell Laboratories และผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารชั้นนำ เพื่อกำหนดความต้องการอินเตอร์เฟสอย่างชัดเจนเมื่อเชื่อมต่อข้อมูลปลายทางเข้ากับระบบโทรศัพท์ของบริษัท Bell ซึ่งปัจจุบันถูกแก้ไขเป็น EIA-232E ในปีพ.ศ. 2534

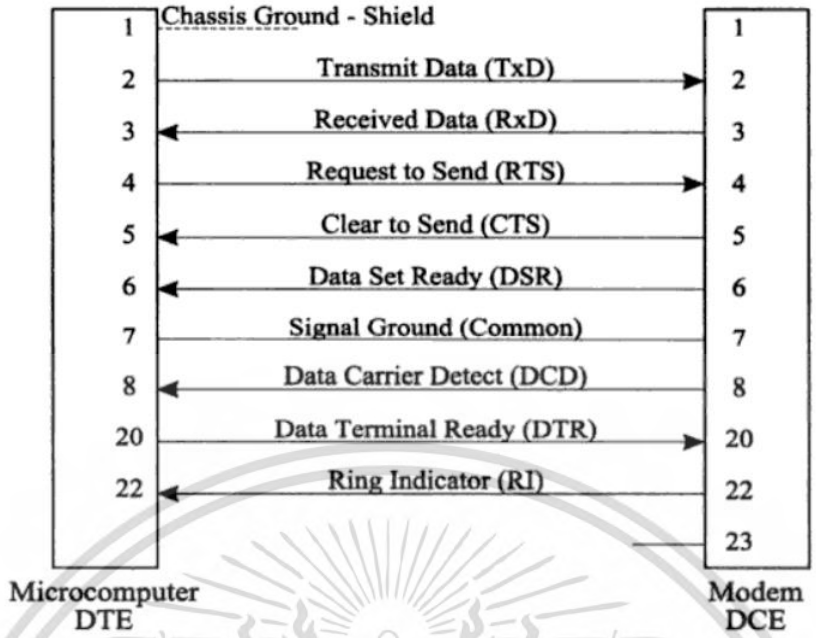
มาตรฐาน RS-232 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

- ลักษณะสัญญาณไฟฟ้า เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า ลักษณะกราวด์ของสัญญาณสับเปลี่ยนวงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
- ลักษณะกลไกการเชื่อมต่อของส่วนติดต่อเชิงกลระหว่าง DTE และ DCE
- คำอธิบายลักษณะการทำงานของวงจรแลกเปลี่ยน เช่น ฟังก์ชันของข้อมูล เวลาและสัญญาณควบคุมที่ใช้เป็นส่วนติดต่อระหว่าง DTE และ DCE

2.7.2 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า

มาตรฐานอินเตอร์เฟส RS-232 ถูกออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ 2 ชนิดดังนี้

- DTE หรือ Data Terminal Equipment (เช่น คอมพิวเตอร์ ปริ้นเตอร์) โดยอุปกรณ์ DTE ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ DCE จะส่งข้อมูลไปยังขา (Pin) 2 และรับข้อมูลที่ขา 3 บนคอนเนคเตอร์แบบ D 25 ขา
- DCE หรือ Data Communications Equipment ปัจจุบันถูกเรียกว่า Data Circuit-terminating Equipment ใน RS-232D/E (เช่น คอมพิวเตอร์ โมเด็ม) โดยอุปกรณ์ DCE จะส่งข้อมูลระหว่าง DTE และลิงค์การสื่อสารข้อมูลทางกายภาพ (เช่น ระบบโทรศัพท์) ซึ่งจะส่งข้อมูลที่ขา 3 และรับข้อมูลที่ขา 2 บนคอนเนคเตอร์แบบ D 25 ขา



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง DTE และ DCE

ที่ตัวรับสัญญาณ RS-232 จะระบุระดับแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แรงดันไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ RS-232

	Voltage Between		
Logic 0	+3V	And	+25V
Logic 1	-3V	And	-25V
Undefined	-3V	And	+3V

เครื่องส่งสัญญาณ RS-232 ต้องผลิตแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นเล็กน้อยในช่วง +5V ถึง +25V และ -5V ถึง -25V เพื่อรองรับแรงดันตก (Voltage Drop) ตามสายไฟ ในทางปฏิบัติเครื่องส่งสัญญาณส่วนใหญ่ทำงานที่แรงดันระหว่าง 5V และ 12V

มาตรฐาน RS-232 กำหนดการเชื่อมต่อไฟฟ้า 25 จุด ซึ่งจะมีการอธิบายภายหลัง การเชื่อมต่อไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ สายข้อมูล สายควบคุม สายเวลา และสายพิเศษ โดยสายข้อมูลใช้เพื่อถ่ายโอนข้อมูล ขา 2 และ 3 ใช้เพื่อการนี้ การไหลของข้อมูลถูกกำหนดจากมุมมองของอินเตอร์เฟส DTE ด้วยเหตุนี้ “สายส่ง” ที่ DTE ส่ง (DCE รับ) จะมีส่วนร่วมกันที่ขา 2 ของทั้ง DTE และ DCE สำหรับ “สายรับ” ที่ DTE ได้รับ (DCE ส่ง) จะมีส่วนร่วมที่ขา 3 ของทั้ง DTE และ DCE นอกจากนี้ ขา 7 เป็นสายทางกลับสำหรับทั้งสายส่งและรับข้อมูล ต่อมาสายควบคุมจะใช้สำหรับ

การควบคุมอุปกรณ์เชิงโต้ตอบซึ่งเรียกว่า “Hardware Handshaking” และกำหนดเส้นทางที่ข้อมูลไหลผ่านการเชื่อมต่อ โดยจะมี 4 สายควบคุมที่ใช้ทั่วไป ได้แก่

- RTS: Request to Send
- CTS: Clear to Send
- DSR: Data Set Ready (หรือ DCE ready ใน RS-232D/E)
- DTR: Data Terminal Ready (หรือ DTE ready ใน RS-232D/E)

โปรดสังเกตว่าสายควบคุมดำเนินการในแง่แรงดันตรงข้ามกับสายข้อมูล เมื่อสายควบคุมใช้งาน (logic=1) แรงดันไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง +3 ถึง +25V และเมื่อไม่ใช้งาน (logic=0) แรงดันไฟฟ้าจะเป็นศูนย์หรือค่าลบ

โครงสร้างโดยทั่วไปของเฟรมข้อมูลที่ใช้สำหรับแอปพลิเคชัน RS-232 มีตามนี้ บิตแรกเป็นบิตเริ่มต้นตามด้วยบิตข้อมูลโดยมีนัยสำคัญน้อยที่สุดก่อน บิตข้อมูลอาจอยู่ในแพ็กเกจสำหรับบิต 5 6 7 หรือ 8 หลังจากบิตข้อมูลสุดท้ายจะมีแพริตีบิต (คู่ คี่หรือไม่มี) ตามด้วยบิตหยุด หลังจากบิตหยุดจะมีการทำเครื่องหมายสถานะด้วย 1- $1^{1/2}$- หรือ 2-bit periods เพื่อระบุว่าลำดับของบิตข้อมูลเสร็จสิ้นก่อนที่เฟรมถัดไปจะสามารถส่งได้

ความจุไฟฟ้า (สูงสุด 2500 pF) ในสายเชื่อมต่อจำกัดระยะห่างสูงสุดของการส่งผ่านด้วย RS-232 โดยทั่วไปอยู่ที่ 50 เมตร

2.7.3 ลักษณะกลไกการเชื่อมต่อ

ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ระบุโดย RS-232C แต่คอนเนคเตอร์ DB-25 (25 ขา, ชนิด D) และคอนเนคเตอร์ DB-9 (9 ขา, ชนิด D) มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ RS-232 มาก จนกลายเป็นมาตรฐานโดยพฤตินัย สำหรับการจัดสรร Pin ของคอนเนคเตอร์ DB-9 จะไม่เหมือนกับ DB-25 แต่จะมีสิ่งที่เป็นเหมือนกันดังนี้

- Data transmit : Pin 3
- Data receive : Pin 2
- Signal common : Pin 5

2.7.4 คำอธิบายการทำงานของวงจรแลกเปลี่ยน

ฟังก์ชันวงจร EIA ถูกกำหนดขึ้น โดยอ้างอิงถึง DTE ดังต่อไปนี้

- Pin 1: Protective ground (shield)

การเชื่อมต่อระหว่างกราวด์ที่ปลายแต่ละขาไม่ค่อยจะเกิดขึ้น จุดประสงค์คือการป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตราย โดยต้องมั่นใจว่ากรอบโลหะของ DTE และ DCE มีศักยภาพเหมือนกันที่ปลายทั้งสองข้าง อย่างไรก็ตามมีอันตรายที่สามารถสร้างเส้นทางสำหรับการไหลเวียนของกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นปลั๊กสายไฟมักเชื่อมต่อกันที่ปลายด้านเดียวเท่านั้น

- Pin 2: Transmitted data (TXD)

สายเส้นนี้นำข้อมูลอนุกรมจากขา 2 บน DTE ไปยังขา 2 บน DCE ในช่วงที่สายไม่ได้ใช้งานจะถูกจัดขึ้นที่แรงดันไฟฟ้าเชิงลบ

- Pin 3: Received data (RXD)

สายเส้นนี้มีข้อมูลอนุกรมจากขา 3 บน DCE ไปยังขา 3 บน DTE

- Pin 4: Request to send (RTS)

ดูสถานะ Clear เพื่อทำการส่ง

- Pin 5: Cleat to send (CTS)

เมื่อโมเด็มที่ทำงานแบบ Half-duplex กำลังรับข้อมูล DTE จะช่วยให้ RTS ถูกยับยั้ง เมื่อถึงรอบการส่งของ DTE จะมีการเตือนไปยังโมเด็มโดยการยืนยันขา RTS เมื่อโมเด็มยืนยันขา CTS จะแจ้ง DTE ว่าปลอดภัยในการส่งข้อมูลแล้ว ขั้นตอนจะกลับกันเมื่อเปลี่ยนจากการส่งข้อมูลไปเป็นรับ

- Pin 6: Data set ready (DSR)

Pin นี้ยังเรียกได้อีกอย่างว่า DCE ready ในโหมดตอบรับ สัญญาณเสียงตอบรับและ DSR จะถูกยืนยันสองวินาทีหลังจากโทรศัพท์เลิกใช้งาน

- Pin 7: Signal ground (common)

เป็นเส้นทางกลับทั่วไปสำหรับสัญญาณรับและส่งข้อมูล การเชื่อมต่อขา 7 ไปยังขา 7 ระหว่างปลายทางทั้งสองจะต้องทำเสมอ

- Pin 8: Data carrier detect (DCD)

Pin นี้ยังเรียกได้อีกอย่างว่าเครื่องตรวจจับสัญญาณสายที่ได้รับ Pin 8 ถูกยืนยันโดยโมเด็มเมื่อได้รับสัญญาณและจะยังคงถูกยืนยันตลอดช่วงเวลาของการเชื่อมต่อ

- Pin 20: DTE ready (or data terminal ready)

DTE พร้อมใช้งาน แต่ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้โมเด็มสลับไปยังสายนั้น ในโหมดเริ่มต้น DTE ต้องพร้อมสำหรับการยืนยันอัตโนมัติ ในโหมดตอบรับ DTE ต้องพร้อมสำหรับการตอบรับอัตโนมัติ

- Pin 22: Ring indicator

Pin นี้ถูกยืนยันในขณะที่มีการแจ้งเตือนอยู่บนสาย

- Pin 23: Data signal rate selector (DSRS)

เมื่อมีอัตราข้อมูล 2 อัตรา สัญญาณที่มีอัตราสูงกว่าจะถูกเลือกโดยยืนยันที่ Pin 23

2.7.5 ลำดับการทำงานแบบอะซิงโครนัสของอินเตอร์เฟส RS-232

การทำงานแบบอะซิงโครนัสถือเป็นแนวทางทั่วไปเมื่อใช้ RS-232 และจะได้รับการตรวจสอบโดยใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ Half-duplex ที่ซับซ้อนมาก ในรูปที่ 2.12 จะแสดงคำอธิบายการดำเนินการกับสถานีผู้ใช้งานเริ่มต้น (หรือ DTE) โมเด็มที่เกี่ยวข้อง (หรือ DCE) ทางด้านซ้ายของแผนภาพ คอมพิวเตอร์ระยะไกลและโมเด็มที่อยู่ทางด้านขวา โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ผู้ใช้งานเริ่มต้น
- โมเด็มรับสัญญาณยืนยันสาย

2.8 โพรโทคอลสกาดา

สำหรับการจัดทำในครั้งนี้จะกล่าวถึงโพรโทคอล 2 แบบที่ใช้ทั่วไปสำหรับการใช้งานกับ SCADA ได้แก่ HDLC และ MODBUS ซึ่งจะมีการถูกแทนที่ด้วย DNP3 อีเทอร์เน็ตและโพรโทคอล TCP/IP มากขึ้น

2.8.1 HDLC

HDLC (High level Data Link Control) [13] ได้รับการกำหนดโดยองค์การมาตรฐานสากล เพื่อใช้สำหรับการเชื่อมโยงแบบหลายจุด (Multi-point) และจุดต่อจุด (Point-to-point) HDLC จะเป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงเบื้องต้น โดย HDLC เป็นโพรโทคอลแบบบิต ที่น่าสนใจคือมันถือเป็นบรรพบุรุษของโพรโทคอลเครือข่ายท้องถิ่น (Local area network) เช่น อีเทอร์เน็ต เป็นต้น

โหมดการทำงานมี 2 แบบที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับ HDLC ได้แก่

- โหมดตอบสนองปกติ (Normal Response Mode, NRM) ใช้เฉพาะในสถานีหลักที่เริ่มต้นธุรกรรมทั้งหมด
- โหมดสมดุลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Balanced Mode, ABM) ในโหมดนี้แต่ละโหนดจะมีสถานะเท่ากันและสามารถทำหน้าที่เป็นโหนดหลักหรือโหนดรอง

2.8.1.1 รูปแบบเฟรมของ HDLC

รูปแบบมาตรฐานจะแสดงในรูปที่ 2.12 เป็น 3 คลาสที่แตกต่างกันโดยเฟรมที่ใช้เป็นดังนี้

- Unnumbered frames

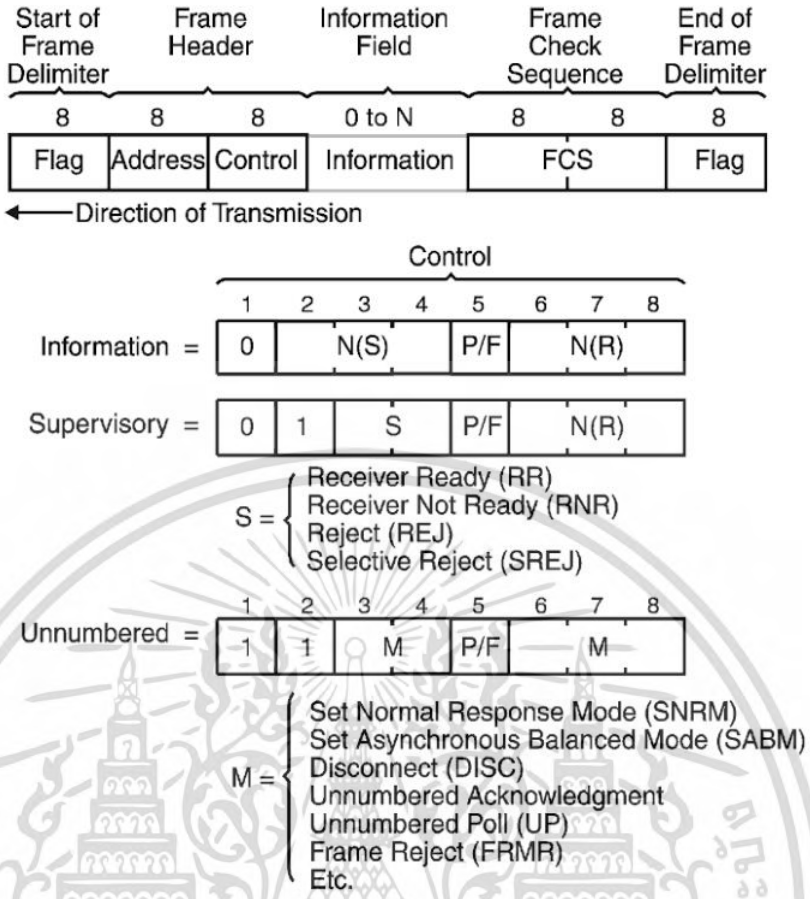
ใช้สำหรับตั้งการเชื่อมโยงหรือการเชื่อมต่อ และกำหนดว่าจะใช้ NRM หรือ ABM หรือไม่

- Information frames

ใช้เพื่อถ่ายทอดข้อมูลจริงจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง

- Supervisory frames

ใช้สำหรับควบคุมการไหลและวัตถุประสงค์ในการควบคุมข้อผิดพลาด โดยจะระบุว่าสถานีรองจะพร้อมรับเฟรมข้อมูลหรือไม่ และยังใช้เพื่อตอบรับเฟรม สำหรับการควบคุมข้อผิดพลาดมี 2 รูปแบบที่ใช้ คือ ขั้นตอนการคัดแยกการส่งกลับเนื่องจากข้อผิดพลาด และการร้องขอเพื่อส่งข้อมูลจำนวนเฟรมก่อนหน้า



รูปที่ 2.22 ชนิดและรูปแบบของเฟรม HDLC

2.8.1.2 ข้อมูลภายในเฟรม

ข้อมูลภายในเฟรมมีดังนี้

- อักขระ Flag คือไบต์ที่มีค่า 01111110 เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องรับทราบว่าอักขระที่ได้รับนั้นมีลักษณะเฉพาะ ขั้นตอนที่เรียกว่า Zero Insertion ถูกนำมาใช้ ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องการส่งเพื่อแทรก 0 หลังจากลำดับของ 1 จำนวนห้าตัวในข้อความ เพื่อให้อักขระ Flag ไม่สามารถปรากฏในข้อความได้ โดยเครื่องรับจะถอดค่า 0 ที่แทรกอยู่

- ลำดับการตรวจสอบเฟรม (Frame Check Sequence, FCS) ใช้วิธีการ CRC-CCITT ยกเว้น 1 จำนวนสิบหกตัวจะถูกเพิ่มไปที่ท้ายของข้อความก่อนที่จะดำเนินการคำนวน CRC และส่วนที่เหลือจะทำการอินเวอร์ส

- ฟิลด์แอดเดรส (Address Field) สามารถมี 1 ใน 3 ชนิดของแอดเดรสสำหรับข้อความร้องขอหรือข้อความตอบกลับไปยังหรือจากโหนดรอง โดยเป็นแอดเดรสสำรองมาตรฐานแอดเดรสกลุ่มสำหรับกลุ่มโหนดในเครือข่ายและแอดเดรส Broadcast สำหรับโหนดทั้งหมดในเครือข่าย (แอดเดรสเป็น 1 ทั้งหมด)

- ในกรณีที่มีโหนดรองจำนวนมากบนเครือข่าย ฟิลด์แอดเดรสสามารถขยายได้เกิน 8 บิต โดยการเข้ารหัสบิตอย่างมีนัยสำคัญน้อยที่สุดเป็น 1 จากนั้นจะระบุไบต์อื่นที่ตามหลังในฟิลด์แอดเดรส

หมายเลขลำดับการส่งและรับเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการตรวจหาและแก้ไขข้อผิดพลาดในข้อความ โดยบิต P/F คือ Poll และ Final บิต และเมื่อตั้งค่าเป็น 1 หมายถึงผู้รับต้องตอบสนองหรือตอบรับเฟรมนี้

2.8.2 การทำงานของโพรโทคอล

ลำดับการดำเนินการทั่วไปสำหรับการเชื่อมโยงแบบหลายจุดมีดังนี้

- โหนดหลักจะส่งเฟรมโหมดการตอบสนองตามปกติ (NRM) โดยกำหนดให้บิต P/F เป็น 1 พร้อมกับแอดเดรสของโหนดรอง

- โหนดรองตอบสนองด้วยการตอบรับ Unnumbered โดยตั้งค่าบิต P/F เป็น 1 หากโหนดรับไม่สามารถยอมรับคำสั่งการตั้งค่าได้ เฟรมโหมดยกเลิกการเชื่อมต่อจะถูกส่งกลับแทน

- ข้อมูลจะถูกถ่ายโอนพร้อมเฟรมข้อมูล

- โหนดหลักจะส่งเฟรม Unnumbered ที่มีการยกเลิกการเชื่อมต่อในฟิลด์ควบคุม (Control Field)

- โหนดรองตอบสนองด้วยการตอบรับ Unnumbered

มีวิธีการที่คล้ายกันสำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุด โดยใช้โหมดสมดุลแบบอะซิงโครนัส (ABM) ยกเว้นว่าโหนดทั้งสองสามารถเริ่มต้นการตั้งค่าการเชื่อมโยงและการถ่ายโอนเฟรมข้อมูล รวมถึงการลบล้างการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด

ความแตกต่างดังต่อไปนี้ยังนำมาใช้

- เมื่อโหนดรองถ่ายโอนข้อมูลจะส่งข้อมูลเป็นลำดับของเฟรมข้อมูลด้วยบิต P/F ที่ตั้งค่าไว้ที่ 1 ในเฟรมสุดท้ายของลำดับ

- ในโหมด NRM ถ้าโหนดลำดับที่สองไม่มีข้อมูลเพิ่มเติมในการถ่ายโอน มันจะตอบสนองด้วยเฟรม RNR (Receiver not Ready) พร้อมกับตั้งต่าบิต P/F ไว้ที่ 1

2.8.3 Error control/Flow control

สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ Half-duplex ของเฟรมข้อมูล การควบคุมความผิดพลาดจะใช้หมายเลขลำดับ ปลายทางแต่ละฝั่งจะมีหมายเลขลำดับการส่งและหมายเลขลำดับที่ได้รับ เมื่อโหนดได้รับเฟรมเสร็จเรียบร้อย มันจะตอบสนองด้วยเฟรมการกำกับดูแล (Supervisory frame) ที่ข้างในมีการระบุว่าเครื่องรับแล้ว (Receiver Ready, RR) พร้อมด้วยหมายเลขลำดับที่ได้รับ ซึ่งหมายเลขคือเฟรมถัดไปที่คาดไว้ ดังนั้นจึงตอบรับเฟรมก่อนหน้าทั้งหมด

ถ้าโหนดรับตอบสนองด้วยเฟรมตอบรับปฏิเสธ (Reject, REJ) เครื่องส่งสัญญาณจะต้องส่งเฟรมทั้งหมดจากหมายเลขลำดับที่ได้รับในเฟรม REJ กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องรับตรวจจับเฟรมที่ไม่อยู่ในลำดับ

นอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้การส่งซ้ำได้ ในกรณีนี้เครื่องรับจะส่งคืนเฟรม SREJ (Selective Reject) ที่มีเฉพาะหมายเลขลำดับของเฟรมที่ขาดหายไปเท่านั้น

สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุดที่ใช้ ABM กับการทำงานแบบ Full-duplex จำเป็นต้องใช้วิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเฟรมข้อมูลจะถูกส่งไปในสองทิศทางในเวลาเดียวกัน โดยมีการใช้รูปแบบเดียวกันกับการดำเนินการแบบ Half-duplex ยกเว้นการตรวจสอบลำดับของหมายเลขเฟรมที่ถูกต้องที่ต้องคงไว้ที่ปลายทางทั้งสองของการเชื่อมโยง

การควบคุมการไหลดำเนินไปตามหลักการที่ว่าจำนวนสูงสุดสำหรับเฟรมข้อมูลที่รอรับการตอบรับได้ตลอดเวลาเป็น 7 ถ้ามีการตอบรับถึง 7 ครั้ง โหนดการติดต่อสื่อสารจะระงับการรับส่งจนกว่าจะได้รับการตอบรับ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งในรูปแบบของเฟรมการตรวจสอบ RR หรือใช้บางอย่างในเฟรมข้อมูลที่ถูกส่งกลับมาจากเครื่องรับ

ถ้าหมายเลขลำดับที่ปลายทางทั้งสองของการเชื่อมโยงเปลี่ยนเป็นลำดับที่มีหมายเลขของเฟรมที่รอการตอบรับเกิน 7 โหนดลำดับที่สองจะส่งเฟรมปฏิเสธหรือคำสั่งปฏิเสธไปยังโหนดหลัก โดยโหนดหลักจะตั้งค่าการเชื่อมโยงอีกครั้ง และเมื่อได้รับการตอบรับจากโหนดรองทั้งสองฝั่งตั้งค่าหมายเลขลำดับทั้งหมดใหม่และเริ่มถ่ายโอนเฟรมข้อมูล

ซึ่งเป็นไปได้ที่เครื่องรับสัญญาณจะหมดพื้นที่บัฟเฟอร์เพื่อเก็บข้อความ เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้จะทำการส่งเฟรมการตรวจสอบ RNR ไปยังโหนดลำดับแรกเพื่อสั่งให้หยุดการส่งเฟรมข้อมูลเพิ่มเติม

2.8.4 โพรโทคอล Modbus

2.8.4.1 ภาพรวมทั่วไป

โพรโทคอลการสื่อสาร Modbus ได้รับการพัฒนาโดย Gould Modicon (ปัจจุบันคือ Schneider) สำหรับระบบควบคุมกระบวนการ (Process Control Systems) ตรงกันข้ามกับบัส (BUS) อื่นๆ อีกมากที่กล่าวถึง โดยไม่มีการกำหนดอินเตอร์เฟส ดังนั้นผู้ใช้สามารถเลือกระหว่าง EIA-232 EIA-422 EIA-485 หรือ 20 mA ทั้งหมดนี้เหมาะสำหรับอัตราการส่งที่กำหนดโดยโพรโทคอล

แม้ว่า Modbus จะค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับบัสอื่นๆ แต่มีข้อได้เปรียบในการยอมรับในหมู่ผู้ผลิตและผู้ใช้งาน ซึ่งประมาณ 20 ถึง 30 ผู้ผลิตผลิตอุปกรณ์ที่มีโพรโทคอล Modbus และหลายระบบที่ใช้ในการดำเนินงานอุตสาหกรรม จึงสามารถถือได้ว่าเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่มีความสามารถในการพิสูจน์แล้ว

Modbus เป็นการสื่อสารข้อมูลตามหลักการ Master-Slave โดยมีหนึ่งสถานีหลักและสถานีย่อยได้มากถึง 247 เฉพาะสถานีหลักที่เริ่มต้นการทำธุรกรรมเท่านั้น

การติดต่อเป็นแบบถาม-ตอบ (Query/Response) ที่สถานีย่อยเดียวเท่านั้น หรือกระจายสัญญาณ-ไม่ตอบรับ (Broadcast/No response) ที่สถานีย่อยทั้งหมด สำหรับการติดต่อจะประกอบด้วยเฟรมคำถามเดียวและคำตอบเดียว หรือเฟรมกระจายสัญญาณเดียว

ลักษณะเฉพาะของโพรโทคอล Modbus ที่คงที่ เช่น รูปแบบเฟรม ลำดับเฟรม การจัดการข้อผิดพลาดในการสื่อสาร เงื่อนไขข้อยกเว้นและการทำงานของฟังก์ชัน ส่วนคุณสมบัติอื่นที่สามารถเลือกได้เป็นสื่อกลางในการสื่อสาร ลักษณะการสื่อสารและโหมดการสื่อสาร ซึ่งก็คือ RTU และ ASCII ซึ่งลักษณะเฉพาะของผู้ใช้ถูกตั้งค่าไว้ที่อุปกรณ์แต่ละเครื่องและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อระบบกำลังทำงานอยู่

โพรโทคอล Modbus มีเฟรมสำหรับส่งข้อความระหว่างสถานีหลักและสถานีย่อย โดยข้อมูลในข้อความเป็นแอดเดรสของเครื่องรับ สิ่งที่เครื่องรับต้องทำ ข้อมูลที่จำเป็นในการดำเนินการและวิธีการตรวจสอบข้อผิดพลาด สถานีย่อยจะอ่านข้อความและหากไม่มีข้อผิดพลาดก็จะทำงานแล้วส่งคำตอบกลับไปยังสถานีหลัก ซึ่งข้อมูลในข้อความตอบกลับคือแอดเดรสของสถานีย่อย การปฏิบัติการ ผลการดำเนินการและวิธีตรวจสอบข้อผิดพลาด ถ้าข้อความเริ่มต้นเป็นประเภทกระจายสัญญาณก็จะไม่มีการตอบกลับจากสถานีย่อย

โดยปกติสถานีหลักสามารถส่งการสอบถามอื่นได้ทันทีที่ได้รับข้อความตอบกลับ ฟังก์ชัน Timeout ช่วยให้มั่นใจได้ว่าระบบจะยังคงทำงานเมื่อการสอบถามไม่ได้รับอย่างถูกต้อง

การแลกเปลี่ยนข้อมูลสามารถเลือกการสื่อสารได้ 2 โหมด

- ASCII อ่านเข้าใจง่าย สำหรับตัวอย่างการใช้งานเช่น การทดสอบ
- RTU กะทัดรัดและเร็วกว่า ใช้สำหรับการทำงานปกติ (Hex)

โหมด RTU (บางครั้งเรียกว่า Modbus-B สำหรับ Modbus-Binary) เป็นโหมด Modbus ที่สำคัญและกล่าวถึงในครั้งนี้ โหมดการส่งแบบ ASCII มีข้อความทั่วไปซึ่งยาวประมาณสองเท่าของข้อความ RTU ที่เท่ากัน

Modbus ยังมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดสำหรับการรับส่งและการสื่อสาร โดยข้อผิดพลาดในการสื่อสารจะถูกตรวจจับโดยเฟรมอักขระ การใช้บิตตรวจสอบ (Parity Check) และการตรวจสอบความซ้ำซ้อนหรือ CRC ถัดมาการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับว่ากำลังใช้โหมดการสื่อสาร RTU หรือ ASCII อยู่หรือไม่

2.8.4.2 ฟังก์ชัน Modbus

ฟังก์ชันทั้งหมดที่สนับสนุนโดยโพรโทคอล Modbus จะระบุด้วยหมายเลขดัชนี โดยได้รับการออกแบบตามคำสั่งควบคุมสำหรับอุปกรณ์วัดค่าและอุปกรณ์ควบคุม มีดังต่อไปนี้

- คำสั่งควบคุมคอยล์สำหรับการอ่านและการตั้งค่าคอยล์
- คำสั่งควบคุมอินพุตสำหรับการอ่านสถานะอินพุต
- คำสั่งควบคุมรีจิสเตอร์สำหรับการอ่านและการตั้งค่าถือครองอย่างน้อย 1 รายการ

- ฟังก์ชันวินิจฉัยการทดสอบและรายงาน
- ฟังก์ชันโปรแกรม
- ฟังก์ชันการควบคุมการสำรวจ
- รีเซ็ต

2.8.4.3 รายละเอียดโพรโทคอล

หัวข้อนี้จะทบทวนโพรโทคอล Modbus อย่างละเอียดและแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

- รูปแบบข้อความ (Message format)
- การประสาน (Synchronization)
- สัญกรณ์หน่วยความจำ (Memory notation)
- รหัสฟังก์ชัน (Function codes)
- การตอบสนองข้อยกเว้น (Exception responses)

1. รูปแบบข้อความ (Message format)

การติดต่อกันประกอบด้วยคำร้องขอจากโฮสต์ (Host) ไปยังอุปกรณ์รองที่เฉพาะเจาะจง และการตอบกลับจากอุปกรณ์นั้นกลับไปยังโฮสต์ ทั้งสองข้อความถูกจัดรูปแบบเป็นเฟรมข้อความ Modbus ซึ่งแต่ละเฟรมข้อความประกอบด้วยชุดไบต์ที่จัดกลุ่มเป็น 4 ฟิลด์ โดยแต่ละไบต์จะระบุไว้ในรูปแบบ Hex (ไม่ใช่ ASCII)

Address Field	Function Field	DATA Data Field	Error Check Field
1 Byte	1 Byte	Variable	2 Bytes

รูปที่ 2.23 รูปแบบสำหรับเฟรมข้อความ Modbus

ช่องแรกในเฟรมข้อความคือฟิลด์แอดเดรสซึ่งประกอบด้วยข้อมูลไบต์เดียว โดยในเฟรมคำขอไบต์นี้จะระบุคอนโทรลเลอร์ที่มีคำร้องขอกำกับ ส่วนเฟรมการตอบสนองที่เกิดขึ้นจะขึ้นต้นด้วยแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ตอบสนองนั้น ซึ่งสถานีย่อยแต่ละตัวสามารถมีฟิลด์แอดเดรสระหว่าง 1 ถึง 247 ถึงแม้ว่าข้อจำกัดในทางปฏิบัติจะจำกัดจำนวนสถานีย่อยสูงสุด การติดตั้ง Modbus ทั่วไปจะมีหนึ่งสถานีหลักและสองถึงสามสถานีย่อย

ช่องที่สองในเฟรมข้อความคือฟิลด์ฟังก์ชันซึ่งประกอบด้วยข้อมูลไบต์เดียว ในคำขอโฮสต์ไบต์นี้จะระบุฟังก์ชันที่ PLC เป้าหมายเป็นการปฏิบัติการทำงาน ถ้า PLC เป้าหมายสามารถทำการปฏิบัติการทำงานตามฟังก์ชันคำขอได้ ฟิลด์ฟังก์ชันของการตอบสนองจะสะท้อนคำขอเดิม มิฉะนั้นฟิลด์ฟังก์ชันของคำขอจะได้รับการสะท้อนด้วยบิตที่มีนัยสำคัญที่ตั้งค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นสัญญาณการตอบสนองข้อยกเว้น ตารางที่ 2.5 สรุปฟังก์ชันทั่วไปที่ใช้

ช่องที่สามในเฟรมข้อความคือฟิลด์ข้อมูลซึ่งแตกต่างกันในเรื่องของความยาวตามที่ฟังก์ชันระบุในฟิลด์ฟังก์ชัน ในคำขอโฮสต์ฟิลด์นี้มีข้อมูล PLC ที่อาจจำเป็นต้องทำตามฟังก์ชันคำร้องขอ ซึ่งการตอบสนองของ PLC ฟิลด์นี้จะมีข้อมูลต่างๆ ที่ร้องขอโดยโฮสต์ดังกล่าว

ไบต์สองตัวสุดท้ายในเฟรมข้อความประกอบด้วยฟิลด์ตรวจสอบข้อผิดพลาด ซึ่งค่าตัวเลขของฟิลด์นี้คำนวนโดยการทำงานของ CRC-16 (Cyclic Redundancy Check) ในเฟรมข้อความ สำหรับข้อผิดพลาดในการตรวจสอบนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าอุปกรณ์จะไม่ทำปฏิกิริยากับข้อความที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสื่อสาร

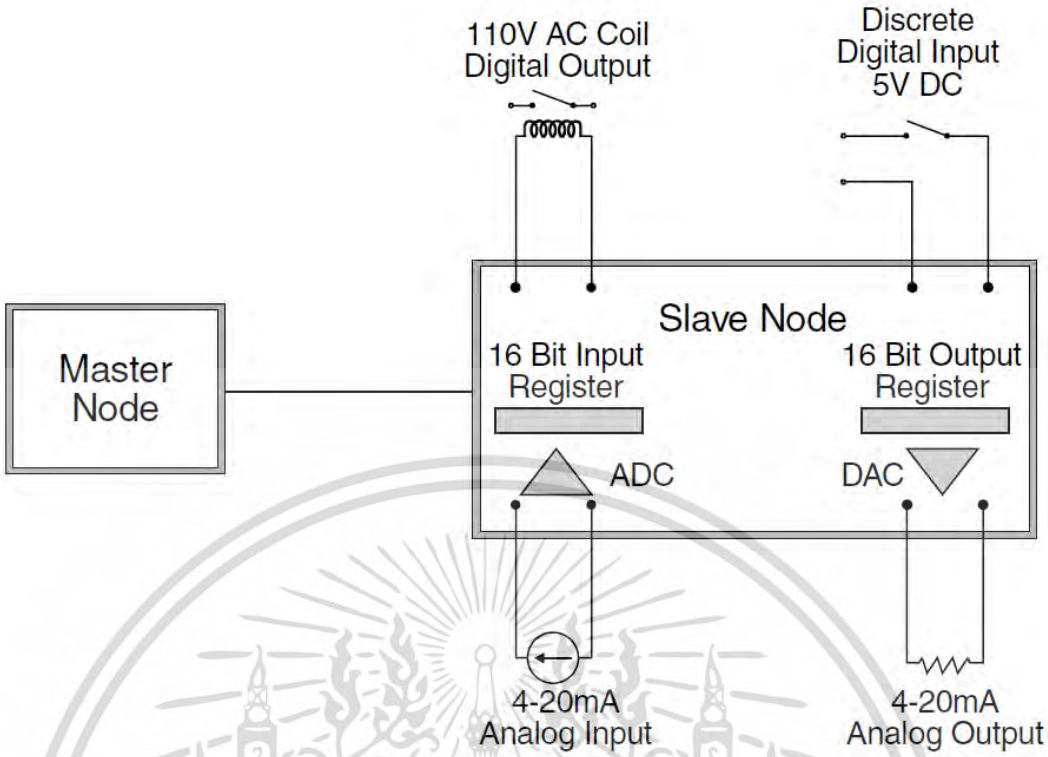
2. การประสาน (Synchronization)

เพื่อที่จะให้บรรลุการติดต่อสื่อสารที่น่าเชื่อถือ การรับข้อความจะต้องตรงกับสิ่งที่ส่งมา หรือกล่าวคืออุปกรณ์รับต้องสามารถระบุจุดเริ่มต้นของเฟรมข้อความใหม่ได้ ซึ่งภายใต้โพรโทคอล Modbus RTU การประสานเฟรมถูกสร้างขึ้นโดยการจำกัดเวลาว่าง (Idle) ระหว่างอักขระที่ต่อเนื่องภายในเฟรมข้อความ ถ้าหากอักขระล่วงเลยไปสามครั้ง (ประมาณ 3 มิลลิวินาที) โดยไม่มีอุปกรณ์รับที่ตรวจพบอักขระใหม่ ทำให้ข้อความที่ค้างอยู่จะถูกล้าง และไบต์ถัดไปจะถูกชี้แจงว่าเป็นฟิลด์แอดเดรสของบรรทัดข้อความใหม่

3. สัญกรณ์หน่วยความจำ (Memory notation)

สัญกรณ์หน่วยความจำช่วยให้สามารถแบ่งข้อมูลได้ 4 ประเภท คือ คอยล์ (Coil) อินพุตไม่ต่อเนื่อง (Discrete Input) รีจิสเตอร์อินพุต (Input Register) และรีจิสเตอร์ถือครอง (Holding Register) โดยตัวแปรรีจิสเตอร์ประกอบด้วยสองไบต์ ส่วนคอยล์และอินพุตไม่ต่อเนื่องเป็นหนึ่งไบต์

แต่ละฟังก์ชันจะอ้างอิงถึงข้อมูลประเภทเดียวเท่านั้น ซึ่งจะช่วยให้การอ้างอิงหน่วยความจำของเฟรมข้อความแสดงเป็นค่าออฟเซต (Offset) เทียบกับแอดเดรสต่ำสุดที่เป็นไปได้สำหรับชนิดของข้อมูลนั้น ตัวอย่างเช่น รีจิสเตอร์ถือครอง 40001 จะถูกอ้างอิงเป็น 0000



รูปที่ 2.24 แผนภาพแสดงชนิดข้อมูล Modbus

ในตารางที่ 2.5 แสดงช่วงแอดเดรสและค่าออฟเซตสำหรับประเภทข้อมูลเหล่านี้ รวมถึงรหัสฟังก์ชันที่ใช้ ซึ่งแผนภาพด้านบนช่วยให้สามารถอ้างอิงประเภทข้อมูล Modbus ได้ง่าย

4. รหัสฟังก์ชัน (Function codes) [14]

เฟรมคำขอแต่ละชุดประกอบด้วยรหัสฟังก์ชันที่กำหนดการกระทำที่คาดหวังไว้สำหรับคอนโทรลเลอร์เป้าหมาย โดยคำอธิบายของฟิลด์ข้อมูลคำขอขึ้นอยู่กับรหัสฟังก์ชันที่ระบุไว้

ซึ่งหัวข้อในย่อหน้าต่อไปนี้กำหนดและแสดงฟังก์ชันที่นิยมและได้รับการสนับสนุน โดยในตัวอย่างเหล่านี้เนื้อหาของฟิลด์เฟรมข้อความจะแสดงเป็นไบต์ฐานสิบหก (Hex)

ตารางที่ 2.5 ชนิดข้อมูลของ Modicon ที่สนับสนุน

ชนิดข้อมูล	**แอดเดรส สัมบูรณ์**	**แอดเดรส สัมพัทธ์**	**รหัส ฟังก์ชัน**	**คำอธิบาย**
คอยล์	00001 ถึง 09999	0 ถึง 9998	01	อ่านสถานะคอยล์
คอยล์	00001 ถึง 09999	0 ถึง 9998	05	บังคับคอยล์เดี่ยว
คอยล์	00001 ถึง 09999	0 ถึง 9998	15	บังคับหลายคอยล์
อินพุตไม่ต่อเนื่อง	10001 ถึง 19999	0 ถึง 9998	02	อ่านสถานะอินพุต
รีจิสเตอร์อินพุต	30001 ถึง 39999	0 ถึง 9998	04	อ่านค่ารีจิสเตอร์อินพุต

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ชนิดข้อมูล	แอดเดรส สัมบูรณ์	แอดเดรส สัมพัทธ์	รหัส ฟังก์ชัน	คำอธิบาย
รีจิสเตอร์ถือครอง	40001 ถึง 49999	0 ถึง 9998	03	อ่านค่ารีจิสเตอร์ถือครอง
รีจิสเตอร์ถือครอง	40001 ถึง 49999	0 ถึง 9998	06	ปรับค่ารีจิสเตอร์เดี่ยว
รีจิสเตอร์ถือครอง	40001 ถึง 49999	0 ถึง 9998	16	ปรับค่าหลายรีจิสเตอร์
-	-	-	07	อ่านสถานะข้อยกเว้น
-	-	-	08	การทดสอบวินิจฉัยย้อนกลับ

- การอ่านคอยล์หรือสถานะเอาต์พุตดิจิทัล (รหัสฟังก์ชัน 01)

Request Message

Address	Function Code	Initial Coil Offset		Number of Points		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	01	00	0A	00	02	9D	C9

Response Frame

Address	Function Code	Byte Count	Coil Data	CRC	
01	01	01	03	11	89

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของสถานะคอยล์ที่อ่านได้

ฟังก์ชันนี้ช่วยให้โฮสต์สามารถรับค่าสถานะ ON/OFF ของคอยล์ในอุปกรณ์เป้าหมายได้ ซึ่งฟิลด์ข้อมูลของเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของคอยล์ตัวแรกตามด้วยจำนวนคอยล์ที่ต้องการอ่านค่า ส่วนฟิลด์ข้อมูลของเฟรมตอบสนองประกอบด้วยจำนวนคอยล์นับเป็นจำนวนไบต์ซึ่งอาจมีหลายไบต์

ไบต์ข้อมูลคอยล์จะเต็มไปด้วยหนึ่งบิตสำหรับสถานะของคอยล์ที่เรียงต่อๆ กัน (1=ON, 0=OFF) บิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Bit) ของไบต์ข้อมูลคอยล์ตัวแรกจะบ่งบอกถึงสถานะของคอยล์ตัวแรกที่อ่านได้ ถ้าจำนวนของคอยล์ที่อ่านไม่เป็นจำนวนเท่าของเลขแปด

ไบต์ข้อมูลสุดท้ายจะถูกเติมด้วยค่าศูนย์จนเต็ม จำไว้ว่าถ้ามีการร้องขอจำนวนคอยล์หลายไบต์ข้อมูล บิตลำดับต่ำ (Low Order Bit) ของไบต์ข้อมูลแรกในเฟรมการตอบสนองของสถานีย่อยจะมีคอยล์แอดเดรสแรกที่ร้องขอ

ในตัวอย่างต่อไปนี้ โฮสต์จะขอสถานะของคอยล์ AH (00011) และ BH (00012) การตอบสนองของอุปกรณ์เป้าหมายบ่งชี้ว่าคอยล์ทั้งสองมีสถานะเป็น ON

Request Message

Address	Function Code	Initial Coil Offset		Number of Points		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	02	00	00	00	02	F9	CB

Response Frame

Address	Function Code	Byte Count	Input Data	CRC	
01	02	01	02	20	49

รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของสถานะอินพุตที่อ่านได้

- การอ่านสถานะข้อมูลดิจิทัลอินพุต (รหัสฟังก์ชัน 02)

ฟังก์ชันนี้จะช่วยให้โฮสต์สามารถอ่านข้อมูลอินพุตไม่ต่อเนื่องหรือดิจิทัลอินพุตอย่างน้อยหนึ่งรายการในอุปกรณ์เป้าหมายได้ ฟิลด์ข้อมูลของเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของดิจิทัลอินพุตแรกตามด้วยจำนวนดิจิทัลอินพุตที่ต้องการอ่าน ส่วนฟิลด์ข้อมูลของเฟรมตอบสนองประกอบด้วยจำนวนไบต์ข้อมูลดิจิทัลอินพุตซึ่งอาจมีจำนวนหลายไบต์

ไบต์ข้อมูลดิจิทัลอินพุตเต็มไปด้วยหนึ่งบิตสำหรับสถานะของดิจิทัลอินพุตที่เรียงต่อๆ กัน (1=ON, 0=OFF)) บิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุดของไบต์ข้อมูลดิจิทัลอินพุตแรกบ่งบอกถึงสถานะอินพุตตัวแรกที่อ่านค่าได้ ถ้าจำนวนของดิจิทัลอินพุตที่อ่านไม่เป็นจำนวนเท่าของเลขแปดไบต์ข้อมูลสุดท้ายจะถูกเติมด้วยค่าศูนย์จนเต็ม บิตลำดับต่ำของไบต์ข้อมูลแรกในเฟรมการตอบสนองของสถานีย่อยจะมีดิจิทัลอินพุตแอดเดรสแรกที่ร้องขอ

ในตัวอย่างต่อไปนี้ โฮสต์ขอสถานะของดิจิทัลอินพุต 10001 และ 10002 การตอบสนองของอุปกรณ์เป้าหมายระบุว่าดิจิทัลอินพุต 10001 เป็น OFF และ 10002 เป็น ON

- การอ่านรีจิสเตอร์ถือครอง (รหัสฟังก์ชัน 03)

ฟังก์ชันนี้ช่วยให้โฮสต์สามารถรับเนื้อหาของรีจิสเตอร์ถือครองที่อยู่ในอุปกรณ์เป้าหมายได้ โดยทั่วไปเป็นค่าการตั้งค่า (Setting) หรือพารามิเตอร์ ฟิลด์ข้อมูลของเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของรีจิสเตอร์ถือครองแรกตามด้วยจำนวนรีจิสเตอร์ที่ต้องการอ่าน ส่วนฟิลด์ข้อมูลของเฟรมตอบสนองประกอบด้วยจำนวนไบต์ของข้อมูลรีจิสเตอร์ตามด้วยค่าที่อ่านได้เป็นจำนวนหลายๆ ไบต์ เนื้อหาของแต่ละรีจิสเตอร์ที่ร้องขอจะถูกตอบกลับในไบต์ข้อมูลรีจิสเตอร์สองไบต์ที่เรียงต่อกัน (ไบต์ที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะถูกส่งก่อน)

ในตัวอย่างต่อไปนี้ โฮสต์ร้องขอเนื้อหารีจิสเตอร์ถือครองที่ 40003 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์ระบุว่าค่าตัวเลขของเนื้อหารีจิสเตอร์คือ 2047 โดยไบต์แรกของข้อมูลรีจิสเตอร์การตอบสนองเป็นไบต์ลำดับสูง (High Order Byte) ของรีจิสเตอร์ที่มาก่อน

Request Message

Address	Function Code	Starting Register		Register Count		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	03	00	02	00	01	25	CA

Response Frame

Address	Function Code	Byte Count	Register Data		CRC	
			Hi	Lo		
01	03	02	07	FF	FA	34

รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการอ่านค่ารีจิสเตอร์ถือครอง

- การอ่านรีจิสเตอร์อินพุต (รหัสฟังก์ชัน 04)

ฟังก์ชันนี้ช่วยให้โฮสต์สามารถรับเนื้อหาของรีจิสเตอร์อินพุตตั้งแต่หนึ่งรายการขึ้นไปในอุปกรณ์เป้าหมาย ฟิลด์ข้อมูลของเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของรีจิสเตอร์ที่ต้องการอ่าน ส่วนฟิลด์ข้อมูลของเฟรมตอบสนองประกอบด้วยไบต์ข้อมูลรีจิสเตอร์ที่ถูกอ่านประกอบด้วยกันหลายๆ ไบต์ที่

เนื้อหาของแต่ละรีจิสเตอร์ที่ร้องขอจะถูกตอบกลับในไบต์ข้อมูลรีจิสเตอร์สองไบต์ที่เรียงต่อกัน (ไบต์ที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะถูกส่งก่อน) โดยช่วงของค่ารีจิสเตอร์เป็น 0 ถึง 4095

ในตัวอย่างต่อไปนี้ โฮสต์ร้องขอเนื้อหาของรีจิสเตอร์อินพุต 30001 การตอบสนองของ PLC ระบุค่าตัวเลขของเนื้อหารีจิสเตอร์คือ 03FFH

Request Message

Address	Function Code	Starting Register		Register Count		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	04	00	00	00	01	31	CA

Response Frame

Address	Function Code	Byte Count	Register Data		CRC	
			Hi	Lo		
01	04	02	03	FF	F9	80

รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการอ่านรีจิสเตอร์อินพุต

- การบังคับคอยล์เดี่ยว (รหัสฟังก์ชัน 05)

ฟังก์ชันนี้ช่วยให้โฮสต์เปลี่ยนสถานะ ON/OFF ของคอยล์เพียงตรรกะเดียวภายในอุปกรณ์เป้าหมาย ฟิลด์ข้อมูลของเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของคอยล์ตามด้วยสถานะที่ต้องการสำหรับคอยล์นั้น โดยค่าสถานะ 65280 (FF00H) จะเปิดใช้งานคอยล์ ขณะที่ค่า 0 (0000H) จะยกเลิกการใช้งาน ส่วนค่าอื่นๆ นอกจากนี้เป็นสิ่งที่ผิดกฎหรือไม่มีความหมายใดๆ

ถ้าคอนโทรลเลอร์สามารถบังคับคอยล์ที่ถูกระบุเพื่อเปลี่ยนไปยังสถานะที่ร้องขอได้ เฟรมตอบสนองจะเหมือนกับเฟรมร้องขอ มิฉะนั้นแล้วจะมีการตอบกลับข้อยกเว้น นอกจากนี้ถ้าแอดเดรส 00 ถูกใช้เพื่อระบุโหมดกระจาย (Broadcast Mode) สถานีย่อยที่แนบมาทั้งหมดจะปรับเปลี่ยนแอดเดรสคอยล์ที่ระบุไปยังสถานะที่กำหนด

ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงความพยายามที่สำเร็จในการบังคับให้คอยล์ 00011 ปิด (สถานะเป็น OFF)

Request Message

Address	Function Code	Coil Offset		New Coil Status		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	05	00	0A	00	00	ED	C8

Response Frame

Address	Function Code	Coil Offset		New Coil Status		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	05	00	0A	00	00	ED	C8

รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการบังคับขดลวดเดี่ยว

- การปรับค่ารีจิสเตอร์เดี่ยว (รหัสฟังก์ชัน 06)

Request Message

Address	Function Code	Register Offset		Register Value		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	06	00	02	0C	00	2D	0A

Response Frame

Address	Function Code	Register Offset		Register Value		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	06	00	02	0C	00	2D	0A

รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการตั้งค่ารีจิสเตอร์เดี่ยว

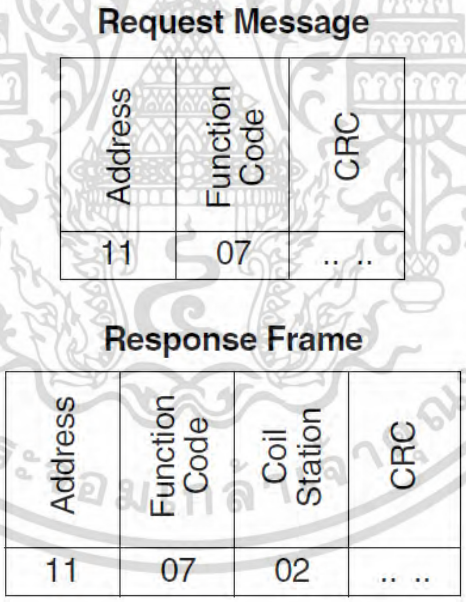
ฟังก์ชันนี้จะช่วยให้โฮสต์สามารถปรับเปลี่ยนเนื้อหาของรีจิสเตอร์ถือครองในอุปกรณ์เป้าหมายได้ ฟิลด์ข้อมูลเฟรมร้องขอประกอบด้วยแอดเดรสสัมพัทธ์ของรีจิสเตอร์ถือครองตามด้วยค่าใหม่ที่จะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์นั้น (ไบต์ที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะถูกส่งก่อน)

ถ้าคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนค่าใหม่ที่ถูกร้องขอมาลงในรีจิสเตอร์ที่ระบุได้ เฟรมตอบสนองจะเหมือนกับเฟรมร้องขอทุกประการ มิฉะนั้นแล้วจะมีการตอบกลับข้อยกเว้น

ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงความพยายามที่สำเร็จในการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาของรีจิสเตอร์ถือครอง 40003 เปลี่ยนค่าเป็น 3072 (0C00H) เมื่อแอดเดรสสถานีย่อยตั้งค่าไว้ที่ 00 (โหมดกระจาย) สถานีย่อยทั้งหมดจะโหลดรีจิสเตอร์ที่ถูกระบุพร้อมกับค่าที่ระบุไว้

- การอ่านสถานะข้อยกเว้น (รหัสฟังก์ชัน 07)

ฟังก์ชันนี้เป็นข้อความสั้นๆ ที่ร้องขอสถานะของแปดค่าดิจิทัลภายในอุปกรณ์สถานีย่อย ซึ่งสถานะของแปดค่าที่ว่านั้นได้ถูกกำหนดความหมายโดยมาตรฐาน ในกรณีพิเศษผู้ใช้หรือผู้ผลิตสามารถกำหนดความหมายของสถานะได้ ตัวอย่างเช่น อาจเป็นรายการต่างๆ สถานะของแบตเตอรี่การป้องกันหน่วยความจำได้รับการเปิดใช้งานหรือไม่ หรือสถานะของตู้แรค (Rack) อินพุต-เอาต์พุตระยะไกลที่เชื่อมต่อกับระบบ



รูปที่ 2.31 การอ่านข้อความร้องขอสถานะข้อยกเว้น

- การทดสอบ Loopback (รหัสฟังก์ชัน 08)

วัตถุประสงค์ของรหัสฟังก์ชันนี้คือเพื่อทดสอบการทำงานของระบบการสื่อสารโดยไม่มีผลต่อตารางหน่วยความจำของอุปกรณ์สถานีย่อย นอกจากนี้ยังสามารถใช้คุณสมบัติการวินิจฉัยเพิ่มเติมในอุปกรณ์สถานีย่อย (ควรได้รับการพิจารณาว่าจำเป็น) เช่น จำนวนข้อผิดพลาด CRC หรือจำนวนการตอบสนองข้อยกเว้น เป็นต้น

การดำเนินการส่วนใหญ่จะได้รับการพิจารณาในส่วนนี้เท่านั้น โดยจะเป็นการตอบกลับข้อความสอบถามแบบง่ายๆ

Request Frame

Address	Function Code	Data Diagnostic Code		Data		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
11	08	00	00	A5	37	..	..

Response Frame

Address	Function Code	Data Diagnostic Code		Data		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
11	08	00	00	A5	37	..	..

รูปที่ 2.32 ข้อความการทดสอบ Loopback

- การบังคับคอยล์หรือดิจิทัลเอาต์พุตหลายตัว (รหัสฟังก์ชัน 15)

Request Frame

Address	Function Code	Address		Byte Count	Data Coil Status		CRC	
		Hi	Lo		Hi	Lo		
01	0F	00	01	0F	FF	03	..	..

Response Frame

Address	Function Code	Address		Number of Coils		CRC	
		Hi	Lo	Hi	Lo		
01	0F	00	01	00	0A	..	..

รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการบังคับคอยล์หลายตัว

ฟังก์ชันนี้จะบังคับกลุ่มของคอยล์ที่เรียงติดต่อกัน (หรือใกล้เคียง) ให้เป็นสถานะ ON หรือ OFF ตัวอย่างต่อไปนี้ตั้งค่า 10 คอยล์ โดยเริ่มต้นที่แอดเดรส 01H (ที่สถานีย่อยแอดเดรส 01) ให้เปลี่ยนเป็นสถานะ ON ถ้าสถานีย่อยแอดเดรส 00 ถูกใช้ในโหมดกระจายสำหรับเฟรมร้องขอจะมีผลทำให้สถานีย่อยทั้งหมดเปลี่ยนแปลงคอยล์ตามแอดเดรสที่ระบุไว้

- การบังคับรีจิสเตอร์หลายตัว (รหัสฟังก์ชัน 16)

ฟังก์ชันนี้คล้ายกับการปรับค่ารีจิสเตอร์เดี่ยวและการบังคับคอยล์หลายตัว ในตัวอย่างต่อไปนี้ แอดเดรสสถานีย่อย 01 มีรีจิสเตอร์สองตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยเริ่มที่แอดเดรส 10

Request Frame

Address	Function Code	Address		Quantity		Byte Count	First Register		Second Register		CRC
		Hi	Lo	Hi	Lo		Hi	Lo	Hi	Lo	
01	10	00	0A	00	02	04	00	0A	01	02	.. ..

Response Frame

Address	Function Code	Address		Quality		CRC
		Hi	Lo	Hi	Lo	
01	10	00	0A	00	02	.. ..

รูปที่ 2.34 ตัวอย่างการปรับค่ารีจิสเตอร์หลายตัว

- การตอบสนองข้อยกเว้น

เฟรมร้องขอที่มีข้อผิดพลาดของ Parity หรือ Checksum ที่ถูกเพิกเฉย หรือกล่าวคือไม่มีการตอบสนองที่ส่งมาจากอุปกรณ์ใดๆ ซึ่งถ้าหากไม่ใช่เฟรมร้องขอที่ถูกต้องมีการร้องขอที่ผิดกฎ (ไม่ได้รับการสนับสนุนโดยหน่วยสถานีย่อยเป้าหมาย) การตอบสนองข้อยกเว้นจะถูกส่งกลับไปยังโฮสต์

ฟิลด์สี่ข้อของการตอบสนองข้อยกเว้นประกอบด้วย

1. แอดเดรสของตัวควบคุมการตอบสนอง
2. หมายเลขฟังก์ชันที่ร้องขอซึ่งมีบิตนัยสำคัญที่สูงที่สุดกำหนดให้เป็น 1
3. รหัสข้อยกเว้นที่เหมาะสม

4. การตรวจสอบ CRC-16

ตารางต่อไปนี้จะแสดงรหัสข้อยกเว้นที่สำคัญที่สุดที่อาจได้รับการตอบกลับ

ตารางที่ 2.6 รายการรหัสข้อยกเว้นที่ถูกส่งกลับ

รหัส	ชื่อเรียก	คำอธิบาย
01	ฟังก์ชันที่ผิดกฎ	ไม่สนับสนุนฟังก์ชันที่ร้องขอ
02	แอดเดรสข้อมูลที่ผิดกฎ	ไม่สนับสนุนแอดเดรสที่ร้องขอ
03	ค่าข้อมูลที่ผิดกฎ	ไม่สนับสนุนค่าข้อมูลที่ระบุ
04	ความล้มเหลวในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	PLC ไม่สามารถตอบสนองต่อข้อความได้
05	การรับทราบ	PLC กำลังประมวลผลคำสั่ง
06	ไม่ว่าง ข้อความถูกปฏิเสธ	PLC ไม่ว่าง

ตัวอย่างของการร้องขอที่ผิดกฎและการตอบสนองข้อยกเว้นที่สอดคล้องกันโดยจะแสดงในรูปที่ 2.35 การร้องขอในตัวอย่างนี้เป็นสถานะคอยล์จริงจากจุด 514 ถึง 521 (จำนวนแปดคอยล์เริ่มต้นที่ 00000 มีค่าออฟเซต 0201H) ซึ่งจุดเหล่านี้ไม่ได้รับการสนับสนุนในอุปกรณ์เฉพาะนี้

Request Message

Address	Function Code	Starting Point	Number of Points	CRC
01	01	02 01	00 08	6D B4

Exception Response Message

Address	Function Code	Exception Code	CRC
01	81	02	C1 91

รูปที่ 2.35 ตัวอย่างการร้องขอที่ผิดกฎ

2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับสื่อกลางในการเชื่อมต่อระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์

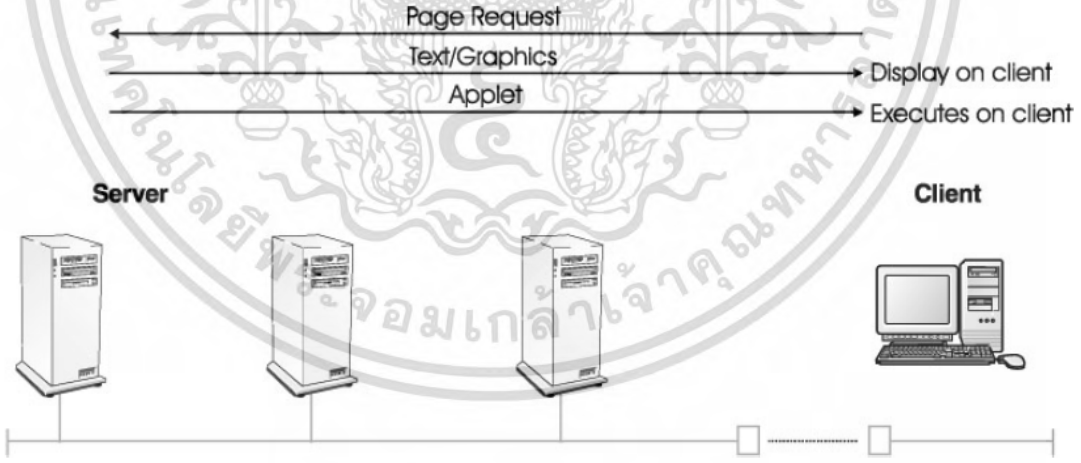
สถานีหลักที่ใช้ระบบสกาดาและ RTU ปัจจุบันใช้ส่วนประกอบของเครือข่ายท้องถิ่น (เช่น อีเทอร์เน็ต) และ TCP/IP มากขึ้นในการสื่อสารแบบเรียลไทม์

2.9.1 เครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network, LAN)

LAN เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการแบ่งปันข้อมูลและแหล่งข้อมูล เพื่อให้โหนดทั้งหมดในเครือข่ายสกาดาสามารถแบ่งปันข้อมูลได้ โดยต้องเชื่อมต่อด้วยสื่อกลางในการส่งสัญญาณ วิธีการเชื่อมต่อเรียกว่าโครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) โหนดจำเป็นต้องแบ่งปันสื่อกลางในการส่งข้อมูลในลักษณะที่ทำให้โหนดทั้งหมดสามารถเข้าถึงสื่อได้โดยไม่กระทบกับผู้ส่ง

LAN เป็นเส้นทางการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ สถานีปลายทาง สถานีดำเนินการและอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะอ้างอิงถึงอุปกรณ์หรือโฮสต์ LAN ช่วยให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ผู้ใช้หลายคนร่วมกันได้ โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างสถานีทั้งหมดบนเครือข่าย นอกจากนี้ยังสามารถบริหารจัดการกิจการงานต่างๆ ได้จากภายใน

อีเทอร์เน็ตเป็น LAN ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากมีราคาถูกและใช้งานง่าย การเชื่อมต่อเครือข่ายสกาดาเข้ากับ LAN ทำให้ทุกคนภายในองค์กรมีซอฟต์แวร์และสิทธิ์ในการเข้าถึงระบบ เนื่องจากข้อมูลถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้สามารถจำกัดการอ่านข้อมูลได้ สำหรับปัญญาด้านความปลอดภัยเป็นเรื่องที่น่ากังวลแต่สามารถแก้ไขได้



รูปที่ 2.36 อีเทอร์เน็ตที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลนระบบสกาดา

2.9.2 โมเด็ม (Modem)

รูปที่ 2.37 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ RTU ด้วยโมเด็ม

บ่อยครั้งในระบบสกาดาที่ใช้ RTU ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล ระยะทางสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากสิบเมตรถึงแสนกิโลเมตร หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการติดต่อสื่อสารกับ RTU ที่อยู่ห่างไกลคือการเชื่อมต่อสายโทรศัพท์แบบ Dial-Up สำหรับระบบนี้อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ สองโมเด็ม และ RTU (ในที่นี้สมมติให้ RTU มีพอร์ต COM อยู่แล้ว) โมเด็มจะถูกเก็บไว้ในโหมดตอบรับอัตโนมัติและ RTU สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์สามารถเรียก RTU ได้เช่นกัน ซอฟต์แวร์นี้ทำมาจากผู้ผลิต RTU ส่วนโมเด็มสามารถซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป

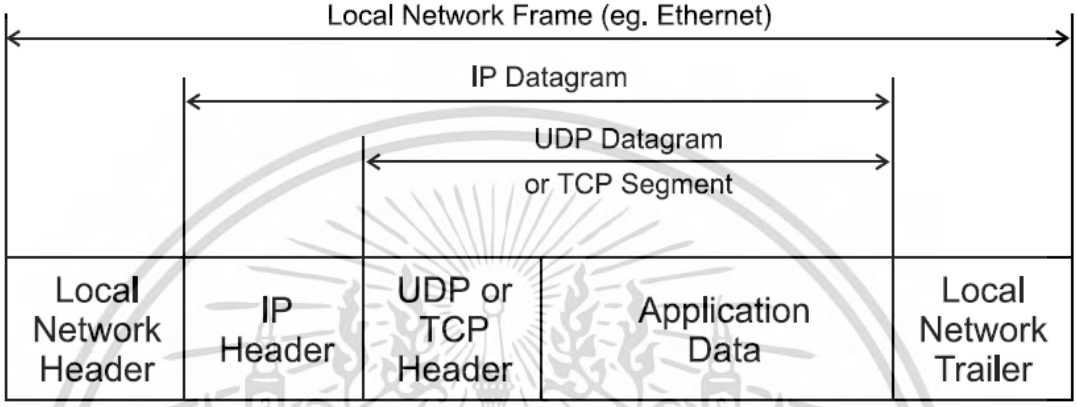
สายโมเด็มใช้เพื่อเชื่อมต่อ RTU ไปยังเครือข่ายผ่านคู่สาย ระบบเหล่านี้จะค่อนข้างระยะสั้น (ไม่เกิน 1 กิโลเมตร) และใช้ FSK (Frequency Shift Keying) ในการสื่อสาร นอกจากนี้ยังใช้เพื่อสื่อสารกับ RTU เมื่อ RS-232 หรือ RS-485 ไม่สามารถนำมาใช้ได้ อัตราบิตที่ใช้กับระบบประเภทนี้ไม่ค่อยเร็วอยู่ที่ 1200 ถึง 9600 บิต/วินาที

2.9.3 TCP/IP

TCP/IP [15] เป็นมาตรฐานสากลสำหรับเครือข่ายและการดำเนินงานของชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer) โดยใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Internetwork)

IP (Internet Protocol) เป็นโพรโทคอลที่ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลไปส่งยังจุดหมายปลายทางไม่ว่าปลายทางจะอยู่ที่ใดบนอินเทอร์เน็ต โพรโทคอลต่าง ๆ ใน TCP/IP Suite ทั้ง TCP UDP ICMP ต่างก็ต้องอาศัยระบบนี้ เนื่องจากโพรโทคอลนี้มีกลไกที่ค่อนข้างฉลาดในการหาเส้นทางขนส่งข้อมูล ถึงแม้ว่า IP จะเชี่ยวชาญมากเพียงใด แต่ IP ก็เป็นโพรโทคอลที่ Unreliable คือไม่มีการตรวจสอบว่าปลายทางได้รับข้อมูลหรือไม่ และ Connectionless คือ จะไม่มีสถานะเหมือนการเชื่อมต่อกันระหว่างต้นทางกับปลายทาง ซึ่งปกติแล้วการรับส่งถึงนั้นก็จะต้องทำการต่อสาย หรือสร้างเส้นทางการส่งระหว่างต้นทางและปลายทาง โดยข้อมูลจะสามารถส่งถึงกันและกันได้ทุกเมื่อที่สายยังมีการเชื่อมต่อกันอยู่ แต่การรับส่งผ่าน IP จะต้องทำการต่อสายใหม่ทุกครั้งที่รับส่ง 1 IP Datagram และเมื่อส่งเสร็จก็จะทำการปลดสายออก ออก ในระดับ IP ก็จะรู้จักข้อมูลเพียงแต่ใน Datagram เดียวเท่านั้น ไม่รู้จัก Datagram อื่นที่ส่งไปก่อนหน้าหรือตามมา และจะไม่รู้ว่า Datagram แต่ละอันมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

UDP (User Datagram Protocol) เป็นโพรโทคอลสำหรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่ภายในชั้น Transportation layer ของ OSI โมเดล ซึ่งเป็นโพรโทคอลพื้นฐานที่อาศัย IP เป็นพาหะในการส่งข้อมูล โดยเป็นโพรโทคอลที่ไม่ต้องการการเชื่อมต่อ (Connectionless) และไม่มีการรับรองการไปถึงของข้อมูล (Unreliable Transport Protocol) ซึ่งได้ถูกระบุไว้ในเอกสาร RFC 768



รูปที่ 2.38 เฟรมของอินเทอร์เน็ต

2.10 ทบทวนวรรณกรรม

ในปี 1987 Dennis J. Gaushell และ Henry T. Darlington [16] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมข้อมูลการประมวลผลเพื่อนำมาใช้งานโดยผู้ดำเนินการ และการควบคุมอุปกรณ์ระยะไกล ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมระบบสาธารณูปโภคที่ทันสมัย โดยระบบที่จะทำให้สิ่งเหล่านี้บรรลุเป้าหมายเรียกว่าระบบสกาดา (SCADA) บทความนี้ได้นำเสนอภาพรวมฟังก์ชันของสกาดา และพื้นฐานการดำเนินการของระบบ

ในปี 1992 Brian Quartey ได้เขียนบทความ AN APPLICATION OF PLC'S AS AN RTU IN SCADA SYSTEMS [17] ซึ่งเป็นการเขียนบทความสรุปรายงานการใช้ PLC ในระบบ SCADA ซึ่งในยุคต์นั้น hardware ที่ใช้ PLC ในการควบคุมยังมีจำนวนข้อนข้างน้อยและทั้งหมดจะเป็นแบบ Hardwire (ใช้เพียงแค่ logic ในการควบคุม) ในบทความได้เขียนเกี่ยวกับข้อจำกัดต่างๆ ของการใช้ PLC เช่น หน่วยความจำต่ำ ทำงานแบบ sequential ได้ยาก เป็นต้น

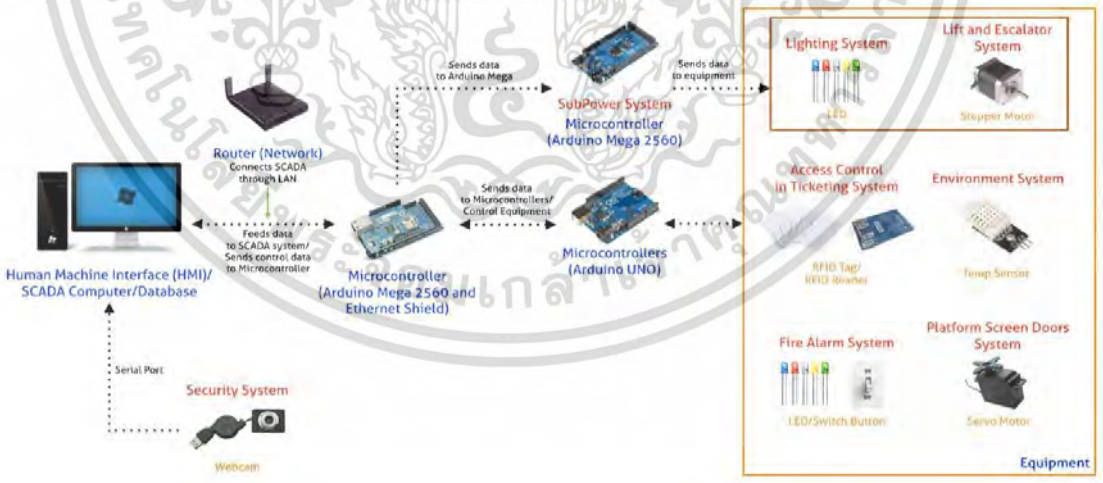
ในปี 2004 Mini S. Thomas เขียนบทความเรื่อง Design, Development, and Commissioning of a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Laboratory for Research and Training [18] ขึ้น ซึ่งเป็นการนำ PLC มาทำการควบคุมการจ่ายไฟฟ้ากำลังสูงแบบ 3 เฟส โดยทำเป็นชุดสาธิตที่นำอุปกรณ์ PLC จริงและนำหม้อแปลงไฟ 3 เฟส จริงมาแสดงผลเพื่อให้ผู้เข้าอบรมเขียนโปรแกรม PLC ผ่าน คอมพิวเตอร์และดูผลลัพธ์จากอุปกรณ์จริง ในห้องแล็บของ Mini

S. Thomas ได้ใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 พัฒนาส่วนเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับ PLC โดยผ่านทาง Ethernet

ในปี 2009 SCADA Cristina Anita Bejan ได้เขียนบทความ Automation System Laboratory, Elements and Applications [19] เป็นการศึกษาการใช้งานระบบ SCADA แบบอัตโนมัติ โดยใช้ PLC ของบริษัท Siemens โดยได้จัดตั้งชุด PLC ที่มีหน้าที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ผู้จัดทำได้เขียนบทความเกี่ยวกับวิธีการสอนการใช้งาน PLC ซึ่งสามารถติดต่อกับหน้าจอ interface ที่เป็นชุดหน้าจอสัมผัสโดยใช้ซอฟแวร์ WinCC ในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้และและใช้ SINAMICS ในการเขียนโปรแกรมควบคุม PLC โดยใช้ภาษา ladder

ในปี 2015 Alan Kardek Rêgo Segundo ได้สร้างระบบฝึกสอน SCADA ที่ราคาถูก เนื่องจากสร้างขึ้นมาด้วย Microcontroller แทนที่จะเป็น PLC จึงทำให้ลดต้นทุนลงมากในชื่อของ Low cost SCADA system for education [20] เขาได้สร้างระบบขึ้นมาจาก microcontroller PIC ซึ่งผลที่ออกมาทำให้เข้าสามารถสอนนักศึกษาได้แต่ไม่สามารถนำไปใช้จริงได้เนื่องจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นไม่มีความน่าเชื่อถือเพียงพอเมื่อเทียบกับ PLC

ในปี 2016 วศิน เตรียมพิทักษ์ และคณะได้เผยแพร่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง โดยในบทความได้นำเสนอในเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งอ้างอิงหลักการทำงานตามระบบสกาดา โดยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออาดูโน่ (Arduino) เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมและเก็บข้อมูลจากระบบจำลองที่เป็นอุปกรณ์จำลองต่าง ๆ

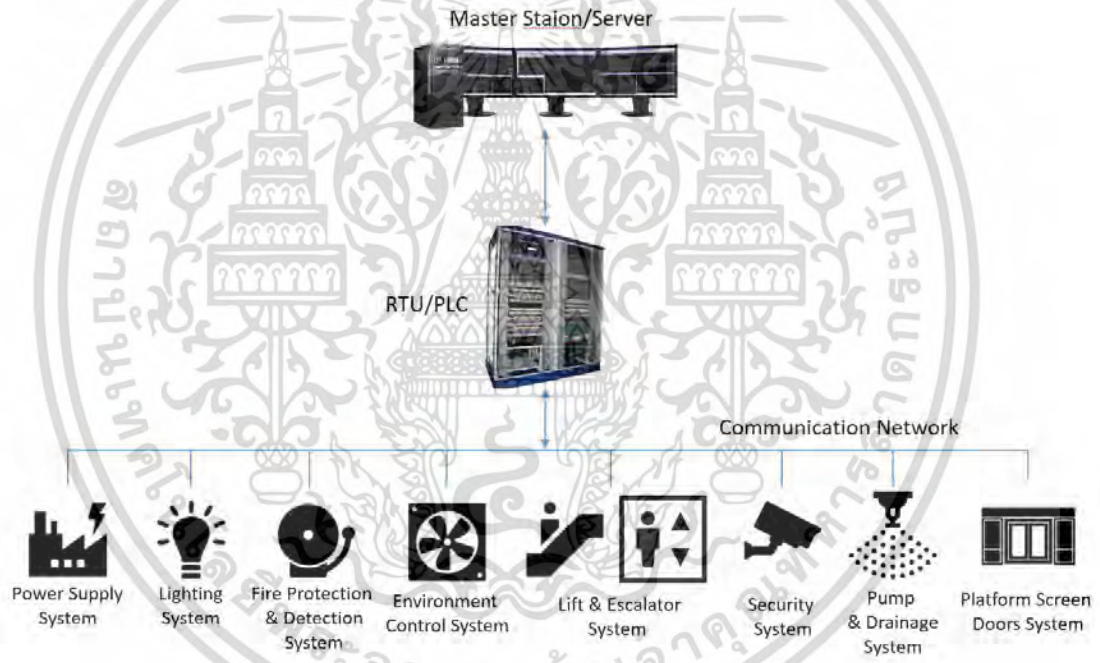


รูปที่ 2.39 ระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลองที่ได้ออกแบบ

บทที่ 3
การออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างภาพรวมของระบบ รวมถึงหลักการทำงานและการออกแบบในส่วนต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย หลักการทำงานของซอฟต์แวร์ การออกแบบแปลนสถานีรถไฟ การออกแบบระบบการควบคุมภายในสถานีรถไฟ การออกแบบการทำงานของระบบต่าง ๆ และการออกแบบระบบการเก็บประวัติการแจ้งเตือนการทำงาน

3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ



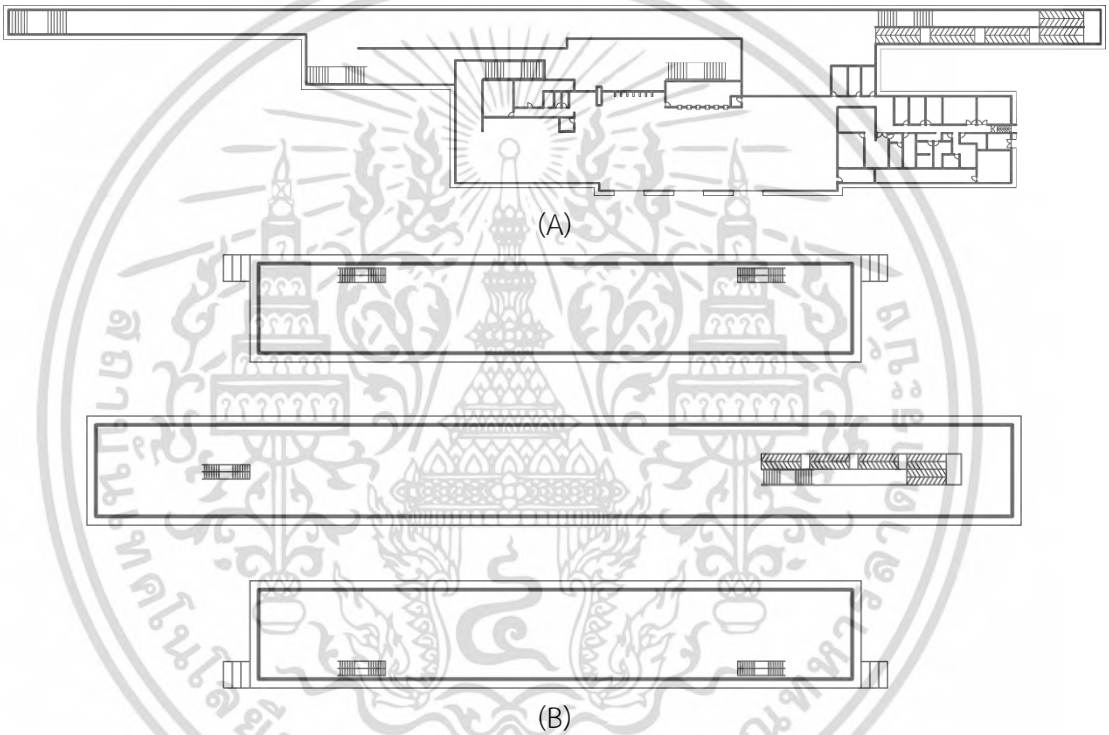
รูปที่ 3.1 โครงสร้างภาพรวมของระบบ

การจัดการดูแลระบบต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ จะเป็นการควบคุมและสังเกตการณ์ทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ ได้แก่ ระบบการจ่ายไฟ ระบบแสงสว่าง ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน และระบบประตูกั้นชานชาลา โดยการควบคุมและสังเกตุการณ์ระบบทั้งหมดที่ได้กล่าวมาจะแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการจัดการระบบต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการควบคุมหลัก คอยสั่งการทำงานให้กับทุกระบบ นอกจากการควบคุมแล้วยังมีการรับข้อมูลการแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติ ซึ่งจะมีอุปกรณ์

เสมือนทำหน้าที่เป็นระบบต่าง ๆ โดยจะมีตัวกลางที่ทำหน้าที่คอยรับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์เหล่านั้น คือ PLC การที่คอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อสื่อสารกับ PLC ได้ จะต้องมีการใช้เครือข่ายหรือเซิร์ฟเวอร์เป็นตัวกลางในการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลให้แก่กัน ซึ่งการทำงานที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในระบบจะมีการเก็บบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.1

3.2 การออกแบบแปลนสถานีรถไฟภายในซอฟต์แวร์

โครงสร้างของสถานีรถไฟที่นำมาใช้เป็นแบบแปลนจากสถานีรถไฟฟ้าบางบำหรุประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของสถานี (Station) และส่วนของชานชาลา (Platform) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบแปลนสถานีรถไฟฟ้าบางบำหรุ
(A) แบบแปลนส่วนสถานี (B) แบบแปลนส่วนชานชาลา

ระบบภายในสถานีรถไฟ มีดังนี้

1. ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply System) แสดงสถานะของวงจรไฟฟ้า และสามารถควบคุมการจ่ายไฟในแต่ละส่วนของวงจร

2. ระบบแสงสว่าง (Lighting System) แสดงสถานะการเปิดปิดไฟ

3. ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage System) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปั๊มน้ำ

4. ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Air Conditioning Unit) และเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature)

5. ระบบรักษความปลอดภัย (Security System) แสดงการทำงานของกล้องวงจรปิด (Closed Circuit Television System, CCTV) และระบบความปลอดภัยของรหัสผ่านเข้า – ออก (Controlled Access Security System, CASS)

6. ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System) แสดงการติดตามการแจ้งเหตุการณ์การเกิดอัคคีภัยภายในสถานีรถไฟ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และการทำงานของสารสะอาดดับเพลิง (FM200)

7. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System) แสดงสถานะการทำงานของลิฟต์และบันไดเลื่อน

8. ระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Doors System) แสดงสถานะการทำงานของประตูกั้นชานชาลา

3.3 การออกแบบระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ

3.3.1 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์

หลักการออกแบบซอฟต์แวร์การจัดการสถานีรถไฟ (Railway Station Management System) ซอฟต์แวร์ต้องใช้งานได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน โดยจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ง่ายต่อการใช้งาน และปรับปรุงแก้ไขได้ง่าย นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากผู้ใช้งานระบบการจัดการสถานีรถไฟจะต้องติดตามและควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดภายในสถานีรถไฟตลอดเวลา ซึ่งต้องคำนึงถึงสุขภาพทางสายตาของผู้ใช้งาน ดังนั้น ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (HMI) จึงมีการออกแบบให้มีพื้นหลังเป็นสีเทา ซึ่งเป็นสีที่มีความสว่างน้อย จะช่วยลดอาการเกร็งกล้ามเนื้อสายตาของผู้ใช้งานในกรณีที่ห้องควบคุมไม่มีแสงสว่าง ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างห้องควบคุมระบบ

ขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์ มีดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) ศึกษาระบบการจัดการภายในสถานีรถไฟ ทำความเข้าใจกับปัญหาที่เกิดขึ้น และสร้างจุดมุ่งหมาย นั่นคือ ซอฟต์แวร์จะต้องสามารถควบคุมและติดตามการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์ (Design) นำเครื่องมือต่าง ๆ มาช่วยในการออกแบบ ในขั้นตอนนี้จะไม่ได้เป็นการเขียนซอฟต์แวร์จริง ๆ แต่จะช่วยให้สามารถเขียนซอฟต์แวร์ได้ง่ายขึ้น โดยสามารถเขียนตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนนี้ ช่วยให้การเขียนซอฟต์แวร์มีข้อผิดพลาดน้อยลง และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. ขั้นตอนการเขียนซอฟต์แวร์ (Coding) ในขั้นตอนนี้จะนำเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นมาจากขั้นตอนการออกแบบมาเปลี่ยนให้เป็นซอฟต์แวร์ ซึ่งการสร้างซอฟต์แวร์นั้น ได้เลือกใช้ TIA Portal V13 และใช้ภาษาแลดเดอร์ (Ladder Language) ในการเขียนซอฟต์แวร์เป็นหลัก

4. ขั้นตอนการตรวจสอบข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ (Testing and Debugging) หลังจากที่ทำการเขียนซอฟต์แวร์เสร็จสิ้นแล้ว ซอฟต์แวร์นั้นจะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนว่า มีข้อผิดพลาด (Error) หรือไม่ ทำการตรวจสอบด้วยการคอมไพเลอร์ (Compiler) ซึ่งหากมีข้อผิดพลาดใด ๆ เครื่องคอมพิวเตอร์จะแจ้งให้ทราบผ่านหน้าจอ

5. ขั้นตอนการบำรุงรักษาซอฟต์แวร์ (Software Maintenance) เมื่อผ่านการตรวจสอบตามขั้นตอนเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้อาจต้องการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบเดิม เพื่อให้เหมาะกับเหตุการณ์ เช่น ต้องการเปลี่ยนแปลงหน้าตาของระบบ มีการเพิ่มเติมข้อมูลหรือลบข้อมูล จึงจะต้องคอยปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีฟังก์ชันใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น

ฟังก์ชันการทำงานของระบบ

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะมีฟังก์ชันการทำงานเหมือนกับซอฟต์แวร์ที่ใช้งานจริง ซึ่งอิงตามหลักการทำงานของระบบสกาดา โดยมีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้

1. ระบบแสดงผลแบบ MMI (Man Machine Interface)

คือ ความสามารถในการแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ในรูปแบบกราฟิก ข้อความ สัญลักษณ์ แผนภาพ เป็นต้น โดยสามารถเชื่อมโยงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟิกเหล่านี้กับพารามิเตอร์จาก Data Server ได้ ความสามารถในการสั่งการทำงานผ่านระบบกราฟิก เช่น การปิด/เปิดสวิตซ์บนจอมอนิเตอร์ส่งผลไปยัง I/O ของ PLC เป็นต้น และสามารถแสดงผลได้หลายหน้าจอ

2. ระบบแจ้งเตือน

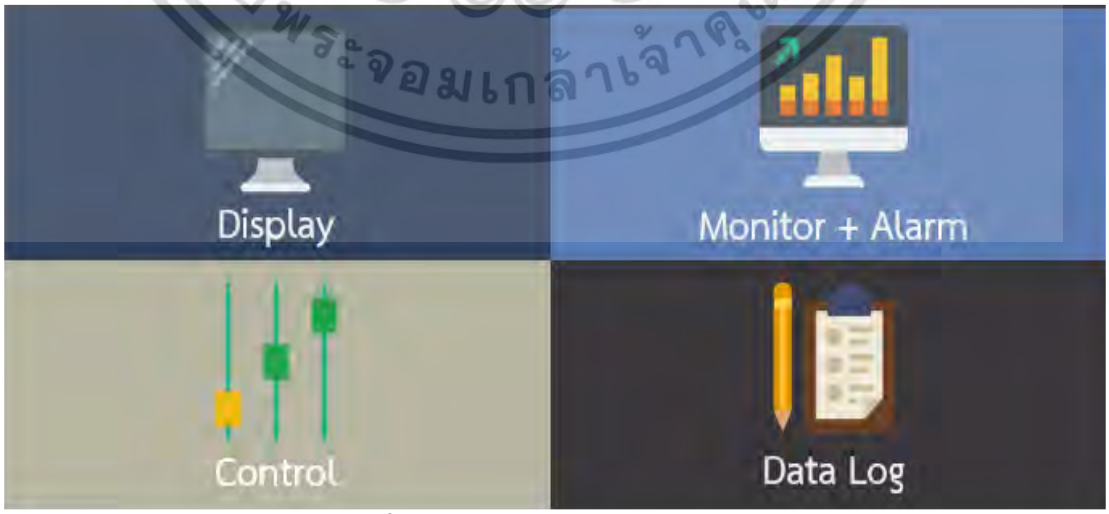
SCADA Software ส่วนใหญ่มีระบบแจ้งเตือนโดย Alarm Display จะรับสัญญาณมาจาก Alarm DB ในฝ่าย SCADA Server โดย Alarm DB สามารถที่จะทำการกำหนดคอนฟิก เช่นจะนำสัญญาณตัวใดมาเป็นตัวพารามิเตอร์ในการแจ้งเตือนบ้าง และมีการแบ่งระดับของ Priority Limit เป็นต้น

3. การควบคุมการทำงาน

การเข้าถึงพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ หมายถึง ความสามารถในการเข้าถึงกลุ่มของพารามิเตอร์ในอุปกรณ์เช่น I/O ของ PLC เป็นต้น ความสามารถของ Data Server ในการกำหนดว่าพารามิเตอร์ใดอ่านได้อย่างเดียวเขียนได้อย่างเดียวหรือทั้งอ่านทั้งเขียน เป็นต้น

4. การเก็บข้อมูลการทำงาน

ในระบบการจัดการสถานีรถไฟจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง และปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลการทำงานทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการควบคุมหรือการแจ้งเตือนที่เกิด ขึ้นตามเวลาจริง (Real-time) ไว้ในฐานข้อมูล โดยในที่นี้จะเก็บข้อมูลที่เป็น Alarm หรือการแจ้งเตือนเป็นหลัก



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชันการทำงานของระบบ

3.3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ และชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อควบคุมระยะไกล

ในส่วนของชุดอุปกรณ์จะทำการออกแบบจำนวนอินพุต เอาต์พุตทั้งหมด จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบของสถานีรถไฟตามชนิดของอุปกรณ์หรือระบบภายในสถานี จำนวนของอุปกรณ์และฟังก์ชันในการใช้งาน โดยทำการออกแบบให้สามารถรองรับได้ทั้งหมด 256 จุด โดยรายละเอียดของอินพุตและเอาต์พุตแสดงดังตารางที่ 3.1 และการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ จะยึดตามตาม Input หรือ Output ดัง I/O List ทั้งหมดในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 จำนวนอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ

No.	Input/Output	IO	RTU Main (PN/DP)	RM-01 Profibus DP	RM-02 Profinet Interface	Summary
1	Digital Output	DO	64	32	32	**128**
2	Digital Input	DI	32	32	32	**96**
3	Analog Output	AO	8	4	4	**16**
4	Analog Input	AI	8	4	4	**16**
Total			112	72	72	**256**

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Power Supply System-Overhead Catenary System			
1	OCS Switch Q1	Switching State	OFF	DO
2	OCS Switch Q1	Switching State	ON	DO
3	OCS Switch Q1	Switching State	OFF	DI
4	OCS Switch Q1	Switching State	ON	DI
5	OCS Switch Q2	Switching State	OFF	DO
6	OCS Switch Q2	Switching State	ON	DO
7	OCS Switch Q2	Switching State	OFF	DI
8	OCS Switch Q2	Switching State	ON	DI
9	OCS Switch Q3	Switching State	OFF	DO
10	OCS Switch Q3	Switching State	ON	DO
11	OCS Switch Q3	Switching State	OFF	DI
12	OCS Switch Q3	Switching State	ON	DI

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Power Supply System-Overhead Catenary System			
13	OCS Switch Q4	Switching State	OFF	DO
14	OCS Switch Q4	Switching State	ON	DO
15	OCS Switch Q4	Switching State	OFF	DI
16	OCS Switch Q4	Switching State	ON	DI
17	OCS Switch Q5	Switching State	OFF	DO
18	OCS Switch Q5	Switching State	ON	DO
19	OCS Switch Q5	Switching State	OFF	DI
20	OCS Switch Q5	Switching State	ON	DI
21	OCS Switch Q6	Switching State	OFF	DO
22	OCS Switch Q6	Switching State	ON	DO
23	OCS Switch Q6	Switching State	OFF	DI
24	OCS Switch Q6	Switching State	ON	DI
	Power Supply System-Low V. System			
25	MDB1 Switch	Switching State	Open	DO
26	MDB1 Switch	Switching State	Close	DO
27	MDB1 Switch	Switching State	Open	DI
28	MDB1 Switch	Switching State	Close	DI
29	MDB1 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI
30	MDB1 Switch	Trip State	Trip	DI
31	MDB2 Switch	Switching State	Open	DO
32	MDB2 Switch	Switching State	Close	DO
33	MDB2 Switch	Switching State	Open	DI
34	MDB2 Switch	Switching State	Close	DI
35	MDB2 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI
36	MDB2 Switch	Trip State	Trip	DI
37	MCCB1 Status	Status	Open	DO
38	MCCB1 Status	Status	Close	DO
39	MCCB1 Status	Status	Open	DI
40	MCCB1 Status	Status	Close	DI
41	MCCB1 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Power Supply System-Low V. System			
42	MCCB2 Status	Status	Open	DO
43	MCCB2 Status	Status	Close	DO
44	MCCB2 Status	Status	Open	DI
45	MCCB2 Status	Status	Close	DI
46	MCCB2 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI
47	MCCB3 Status	Status	Open	DO
48	MCCB3 Status	Status	Close	DO
49	MCCB3 Status	Status	Open	DI
50	MCCB3 Status	Status	Close	DI
51	MCCB3 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI
	Power Supply System-UPS			
52	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Open	DO
53	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Close	DO
54	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Open	DI
55	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DO
56	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Close	DO
57	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DI
58	UPS A Group alarm	State	Appear / Disappear	DI
59	UPS A Battery low	State	Appear / Disappear	DI
60	UPS A load on battery	State	Appear / Disappear	DI
61	UPS A load on auxiliary source	State	Appear / Disappear	DI
62	UPS A Bypass switch ON	State	Appear / Disappear	DI
63	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Open	DO

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Power Supply System-UPS			
64	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Close	DO
65	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Open	DI
66	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DO
67	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Close	DO
68	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DI
69	UPS B Group alarm	Status	Appear / Disappear	DI
70	UPS B Battery low	Status	Appear / Disappear	DI
71	UPS B load on battery	Status	Appear / Disappear	DI
72	UPS B load on auxiliary source	Status	Appear / Disappear	DI
73	UPS B Bypass switch ON	Status	Appear / Disappear	DI
	Power Supply System-Generator			
74	Generator is running	Status	Appear / Disappear	DI
75	Low fuel alarm	Status	Appear / Disappear	DI
76	ATS Position "normal"	Status	Appear / Disappear	DI
77	ATS Position "Generator"	Status	Appear / Disappear	DI
78	MCB Status	Status	Open	DO
79	MCB Status	Status	Close	DO
80	MCB Status	Status	Open	DI
81	MCB Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Power Supply System-Generator			
82	MCB trip	Status	Appear / Disappear	DI
	Lighting Control			
83	Lighting Zone 1	Status	ON	DI
84	Lighting Zone 2	Status	ON	DI
85	Lighting Zone 3	Status	ON	DI
86	Lighting Zone 4	Status	ON	DI
87	Lighting Zone 5	Status	ON	DI
88	Lighting Zone 6	Status	ON	DI
89	Lighting Zone 7	Status	ON	DI
90	Lighting Zone 8	Status	ON	DI
	Fire Protection & Detection System			
91	Fire Alarm Zone P/F	Status	Fire	DI
92	Fire Alarm Zone C/C	Status	Fire	DI
93	Fire Alarm Zone Ground	Status	Fire	DI
94	Fire Alarm Zone E&M room	Status	Fire	DI
95	FM200 R1 Panel Power supply	Status	ON	DI
96	FM200 R1 First Stage Alarm	Status	Appear / Disappear	DI
97	FM200 R1 Group Alarm	Status	Appear / Disappear	DI
98	FM200 R2 Panel Power supply	Status	ON	DI
99	FM200 R2 First Stage Alarm	Status	Appear / Disappear	DI
100	FM200 R2 Group Alarm	Status	Appear / Disappear	DI
	Platform Screen Doors			
101	Local Operation -Activated	Activated	Appear / Disappear	DI
102	Interlocked Override	Alarm	Appear / Disappear	DI

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

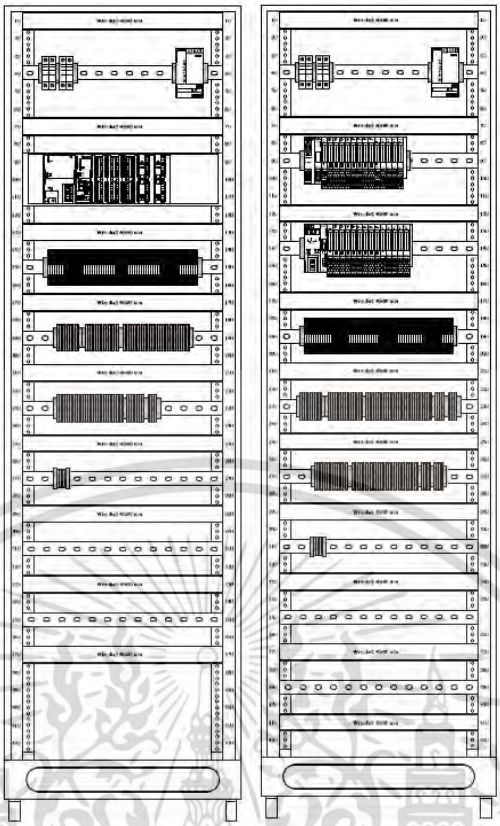
No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Platform Screen Doors			
103	PSD-Power failure	Failure	Appear / Disappear	DI
104	All Door closed & Locked	Closed & Locked	Appear / Disappear	DI
105	PSD1 Isolated	Isolated	Appear / Disappear	DI
106	PSD1 Failured	Failure	Appear / Disappear	DI
107	EWD Status	Open	Appear / Disappear	DI
107	EWD Status	Open	Appear / Disappear	DI
	Security System			
108	CCTV Group Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
109	CASS Group Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
	Pump and Drainage			
110	Pump & Drainage Power	Alarm	Appear / Disappear	DI
111	Pump & Drainage Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
112	Water Tank Flooding alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
	Environment Control System			
113	CER. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI
114	CER. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
115	SOR. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

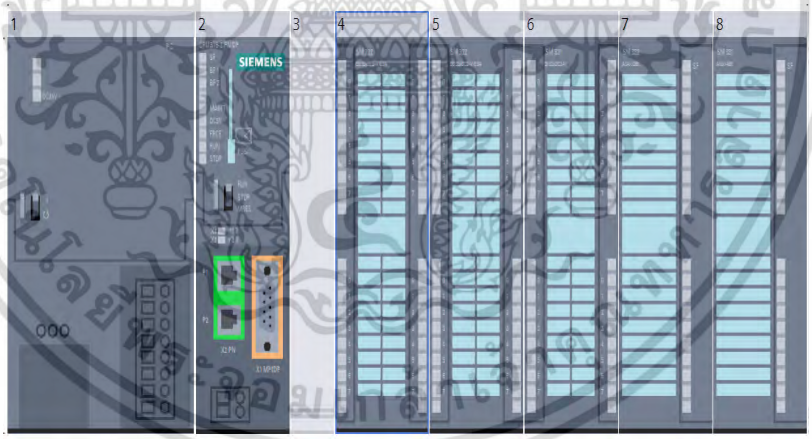
No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type
	Environment Control System			
116	SOR. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
117	SIG. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI
118	SIG. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
	Lift and Escalator			
119	Lift Group alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
120	Lift Operation/Running	Status	Run / Stop	DI
121	Lift Passenger Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
122	Escalator Group alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI
123	Escalator Operation/Running	Status	Run / Stop	DI
124	Escalator UP Direction	Status	Up / Stop	DI
125	Escalator Down Status	Status	Down / Stop	DI
126	Escalator Emergency Stop Switch Operated	Alarm	Appear / Disappear	DI

3.3.3 การออกแบบตู้อุปกรณ์ (Rack)

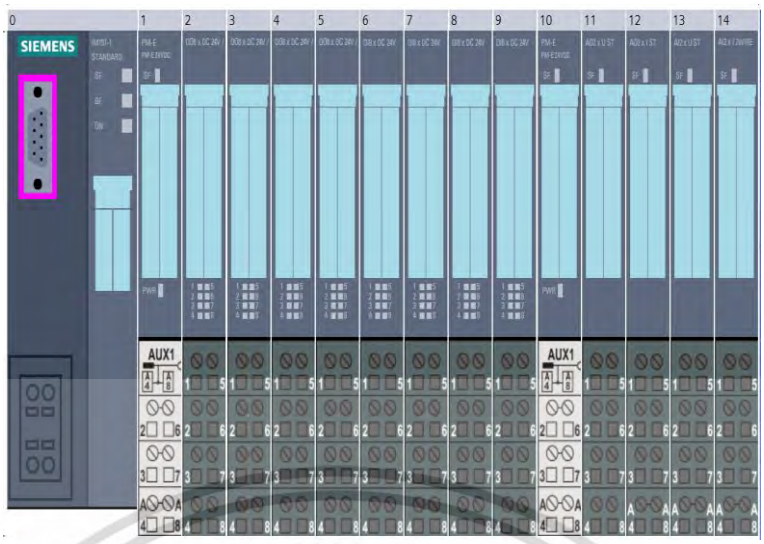
ในชุดอุปกรณ์จะใช้ Rack 19” แบบเปิดไม่มีฝาปิด ขนาดไม่น้อยกว่า 32U พร้อมชุดเชื่อมต่อตามจำนวนอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต โดยมีการติดตั้งสายไฟและวงจรไฟฟ้าเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้เรียบร้อย โดยที่มีการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ RTU สำหรับควบคุมระยะไกล ดังรูปที่ 3.5 และมีชุดอุปกรณ์หลัก ๆ สามอุปกรณ์ได้แก่ ชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกระยะไกล (RTU) ชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ PN และ ชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ DP แสดงดังรูปที่ 3.6 – 3.8



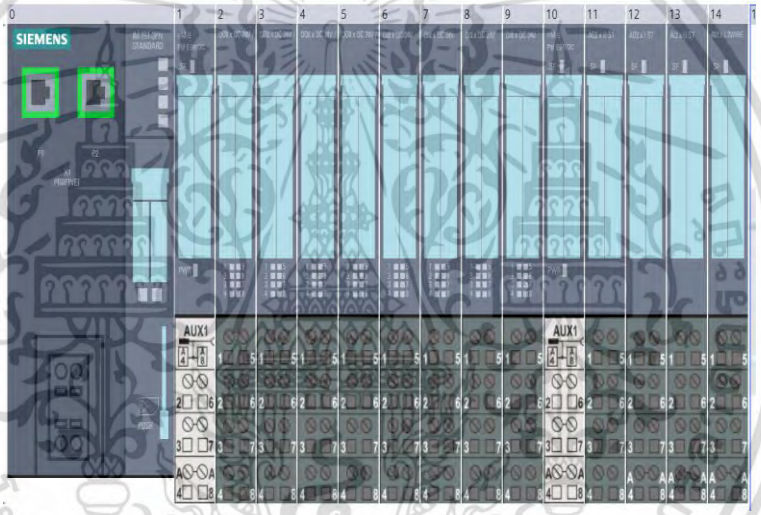
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างแผนผังชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกระยะไกลติดตั้งบน Rack 19”



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกระยะไกล (RTU)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ PN



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสำหรับควบคุมระยะไกล (Remote IO) สำหรับ DP

3.4 การออกแบบอินเตอร์เฟส และการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในซอฟต์แวร์

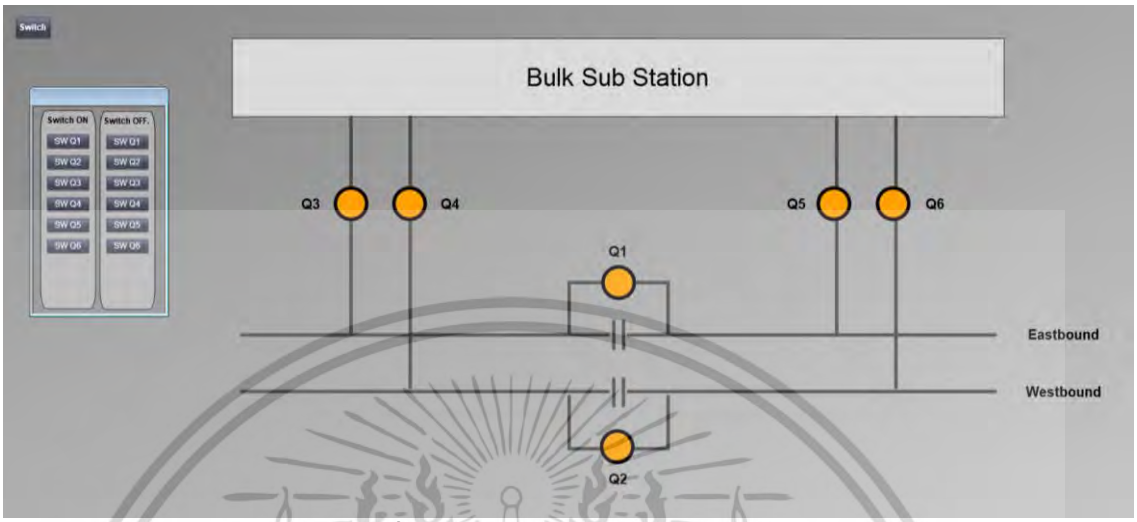
ซอฟต์แวร์นี้จะแบ่งออกเป็น 8 ระบบ ได้แก่ ระบบควบคุมการจ่ายไฟ ระบบแสงสว่าง ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม และระบบประตูกั้นชานชาลา

3.4.1 ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply System)

3.4.1.1 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ (Overhead Catenary)

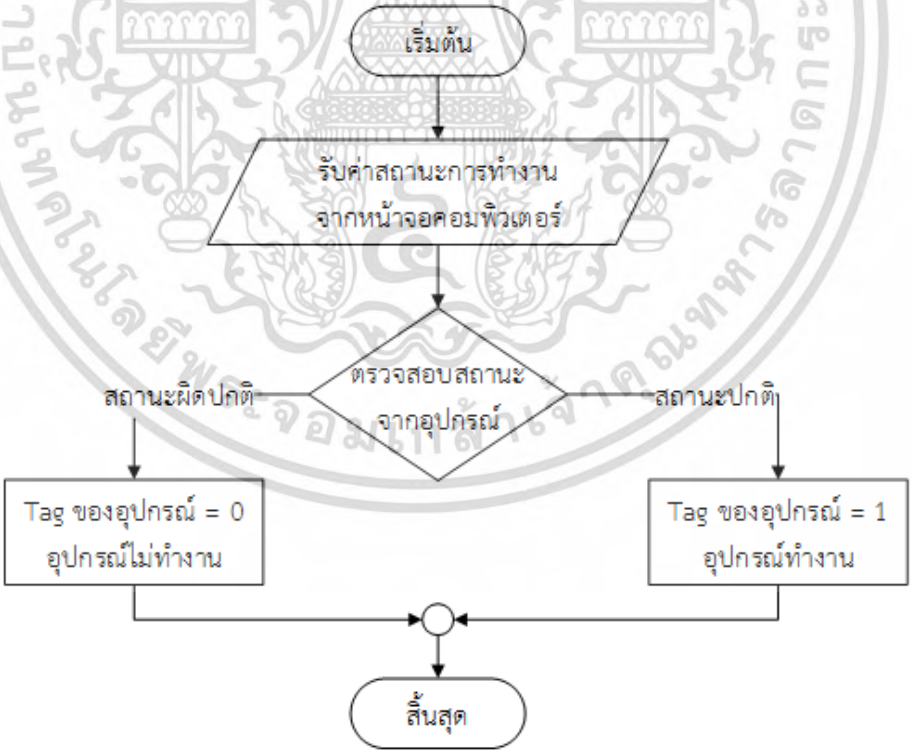
ระบบในส่วนนี้จะเป็นส่วนของวงจรซึ่งทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับรางรถไฟ ซึ่งจะใช้หลักการของการจ่ายไฟเหนือหัว และตัวอย่างหน้าอินเตอร์เฟสจะแสดงดังรูปที่ 3.9 โดยวงจรได้แบ่ง

ออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ ปุ่มจ่ายไฟเหนือหัว (Overhead Contact System, OCS) และสวิตช์จ่ายไฟ (Switch)



รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายไฟให้กับรางรถไฟ

- หลักการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

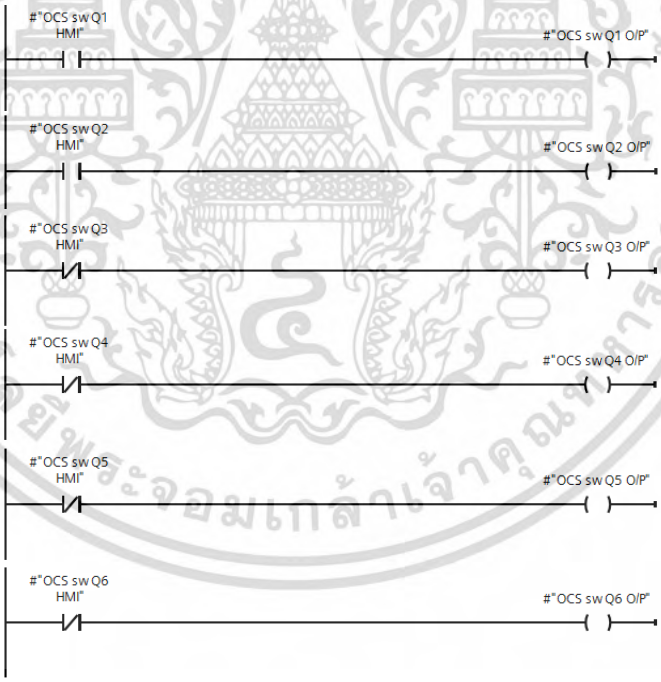


รูปที่ 3.10 แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

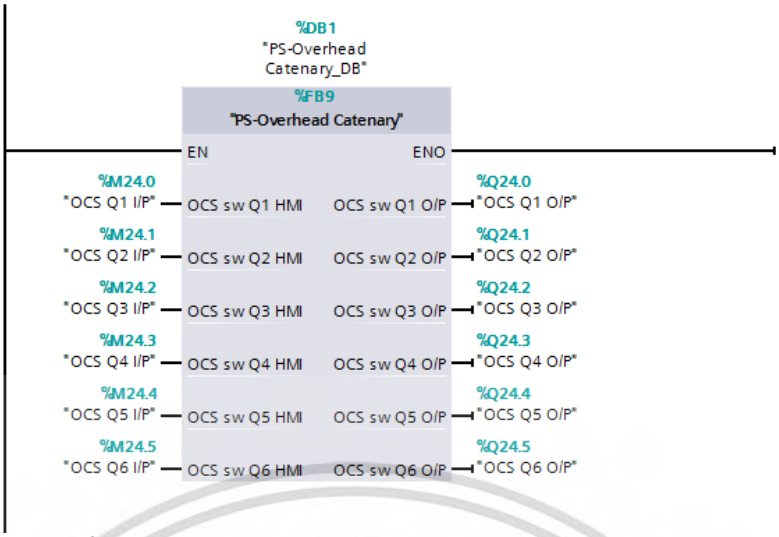
เมื่อต้องการควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ ผู้ใช้จะทำการสั่งงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยระบบจะทำการตรวจสอบว่าค่าที่รับมาเป็น 1 หรือ 0 หากเป็น 1 จะทำการสั่งงานให้อุปกรณ์เอาต์พุตทำงาน แต่ถ้าเป็น 0 จะทำการสั่งให้อุปกรณ์เอาต์พุตหยุดทำงาน แสดงผังงานดังรูปที่ 3.10

- การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมของระบบนี้ จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.11 คือ กำหนดให้ #OCS sw Q1 HMI, #OCS sw Q2 HMI เป็นอินพุตของสวิตช์จ่ายไฟที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #OCS sw Q1 O/P, #OCS sw Q2 O/P เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #OCS sw Q3 HMI, #OCS sw Q4 HMI, #OCS sw Q5 HMI และ #OCS sw Q6 HMI เป็นอินพุตของปุ่มจ่ายไฟเหนือหัวที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #OCS sw Q3 O/P, #OCS sw Q4 O/P, #OCS sw Q5 O/P และ #OCS sw Q6 O/P เป็นเอาต์พุตของปุ่มจ่ายไฟเหนือหัวจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.12 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและแก้ไข



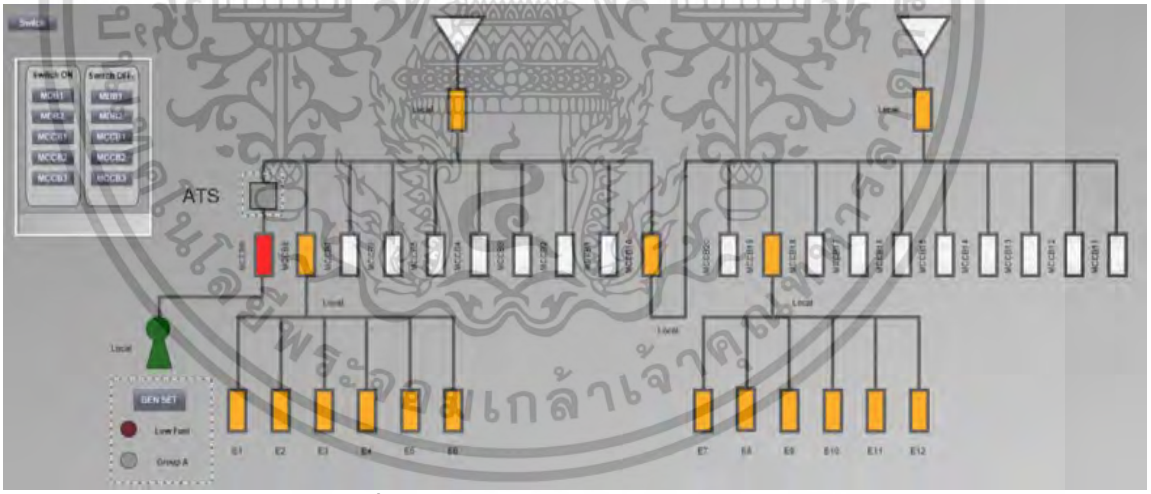
รูปที่ 3.11 ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ



รูปที่ 3.12 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

3.4.1.2 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี (Low Voltage)

ระบบในส่วนนี้จะมีส่วนของวงจรจ่ายไฟให้กับสถานี ดังรูปที่ 3.13 โดยวงจรได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย คือ แผงจ่ายไฟ (Main Distribution board, MDB) วงจรตัดต่อไฟ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB) และ TIE Switch

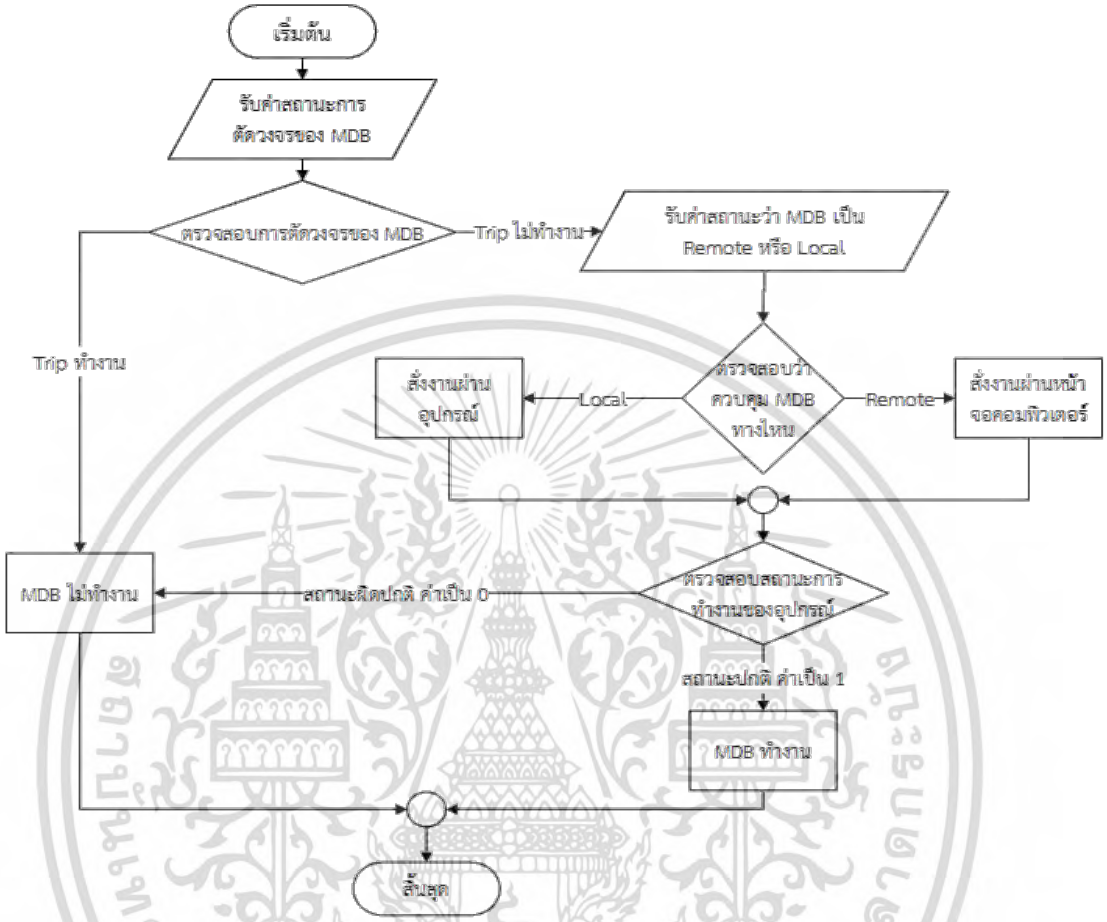


รูปที่ 3.13 วงจรจ่ายไฟให้กับสถานีรถไฟ

- หลักการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี

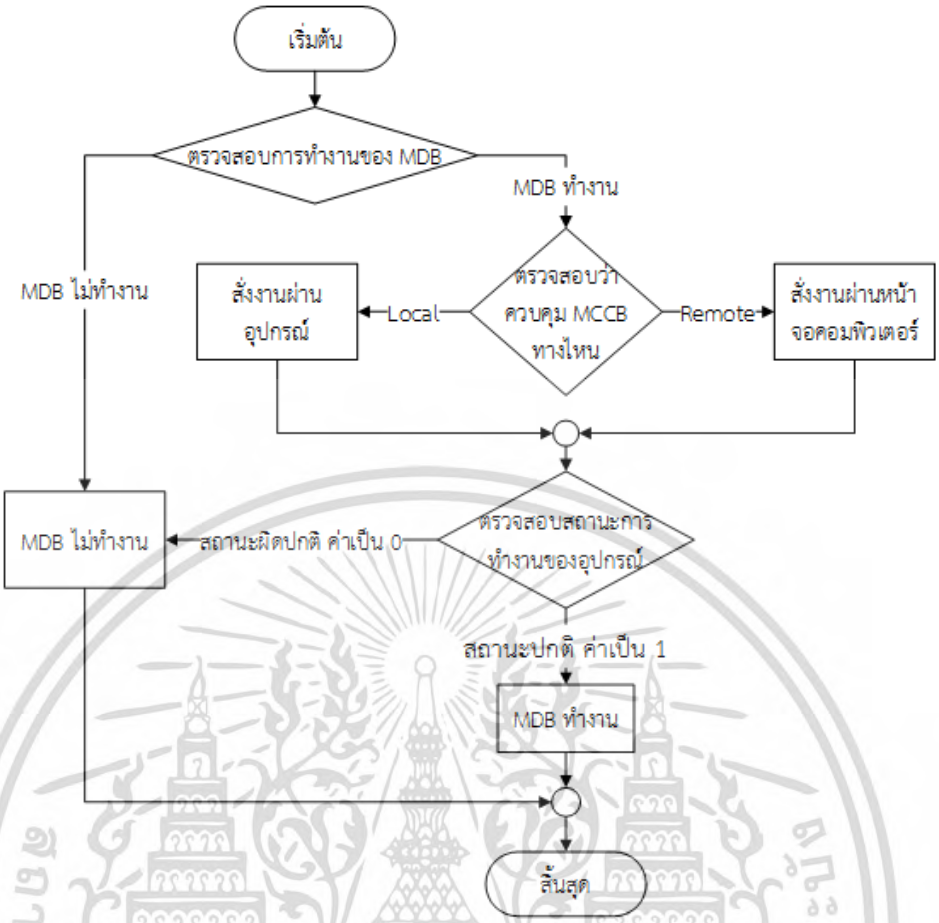
ในส่วนของระบบนี้ ขั้นแรกผู้ใช้ต้องตรวจสอบว่าแผงจ่ายไฟ (Main Distribution board, MDB) มีการตัดวงจร (Trip) หรือไม่ หากมีระบบจะไม่สามารถทำงานได้ และในการควบคุมระบบผู้ใช้สามารถเลือกควบคุมได้ 2 ทาง คือ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Remote) และผ่านอุปกรณ์โดยตรง (Local) โดยเริ่มต้นจะควบคุมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ หากต้องการควบคุมผ่านอุปกรณ์

โดยตรง ต้องไปเปลี่ยนค่าที่อุปกรณ์ให้เป็น Local และในระบบนี้จะมี MDB 2 ตัว ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกัน แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังงานการทำงานของแผงจ่ายไฟใหญ่ (Main Distribution board, MDB)

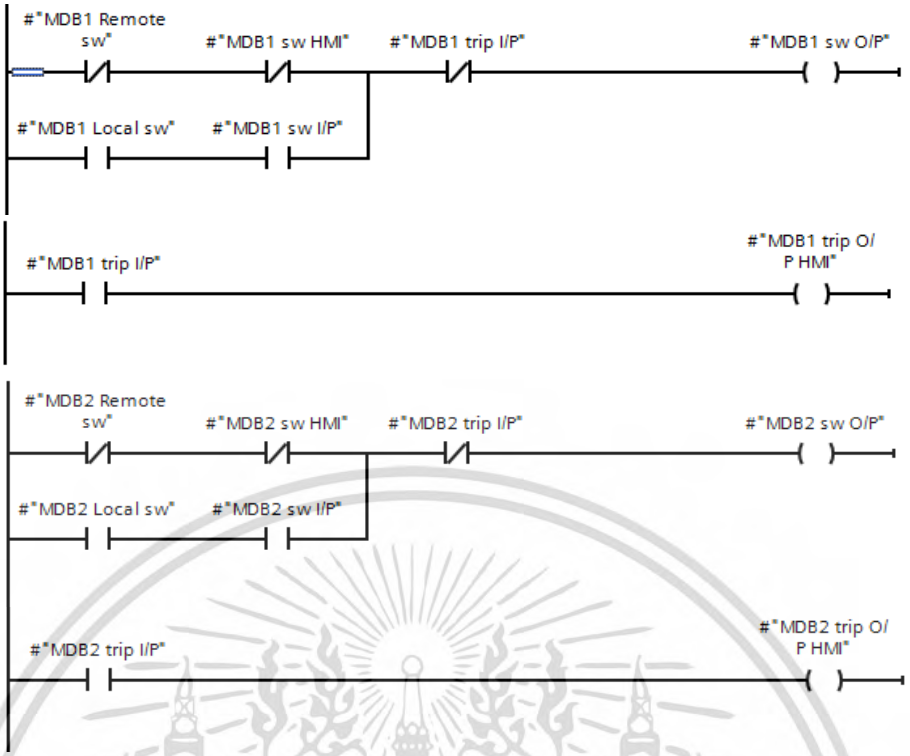
ขั้นที่สอง จะเป็นการทำงานของวงจรตัดไฟ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB) ซึ่ง MCCB จะทำงานได้ ก็ต่อเมื่อ MDB ทำงาน ยกเว้น MCCB 1 เนื่องจาก MCCB 1 จะได้รับไฟจากระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยผู้ใช้สามารถเลือกควบคุม MCCB ได้ 2 ทาง เช่นเดียวกับ MDB แสดงผังงานการทำงานของส่วนนี้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนผังงานการทำงานของวงจรตัดไฟ (Molded Case Circuit Breaker, MCCB)

- การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี

การเขียนซอฟต์แวร์ระบบนี้ จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.16 คือ กำหนดให้ #MDB1 Remote sw และ #MDB1 Local sw เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากสวิตช์ภายนอกเพื่อกำหนดว่าอุปกรณ์ MDB1 อยู่ในสถานะ Remote หรือ Local #MDB1 sw HMI เป็นอินพุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 ที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #MDB1 sw I/P เป็นอินพุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #MDB1 sw O/P เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #MDB1 trip I/P เป็นอินพุตของสวิตช์เพื่อจำลองสถานะการที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #MDB1 trip O/P HMI เป็นเอาต์พุตเพื่อจำลองสถานะการจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ ซึ่งระบบMDB2 มีการทำงานเหมือน MDB1

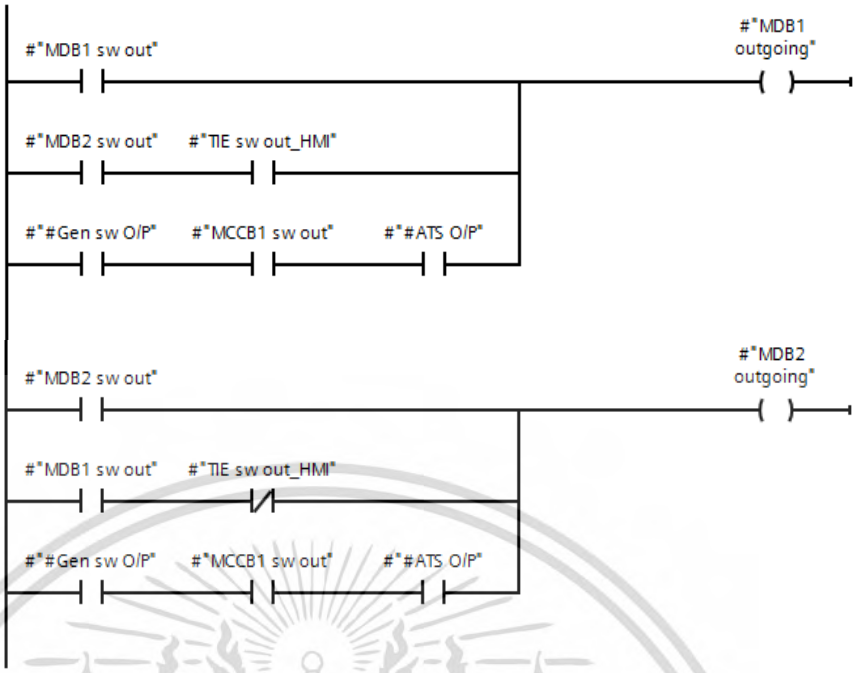


รูปที่ 3.16 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ MDB1 และ MDB2

#MDB1 sw out เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #MDB2 sw out เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB2 ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #TIE sw O/P HMI เป็นเอาต์พุตของ TIE ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ ดังรูปที่ 3.17

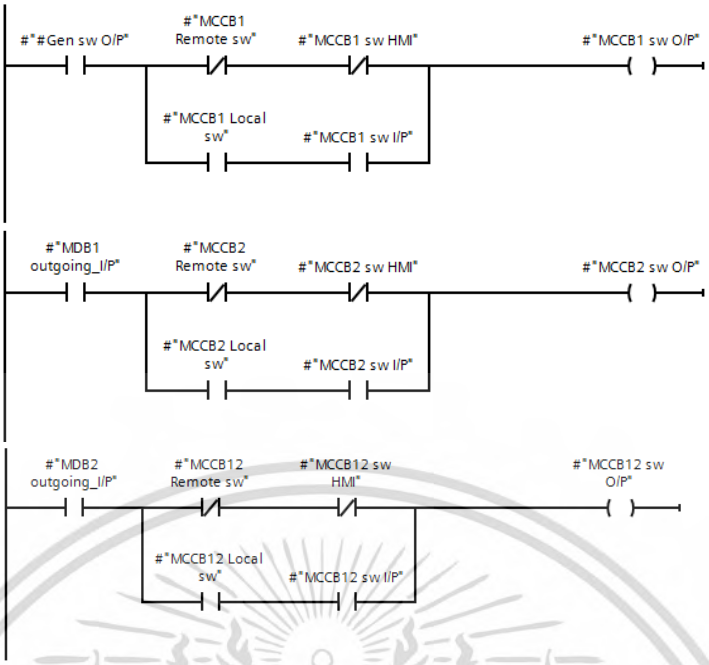
รูปที่ 3.17 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ TIE

#MDB1 sw out และ #MDB2 sw out เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 และ MDB2 ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ตามลำดับ ##ATS O/P เป็นเอาต์พุตของ ATS #MDB1 outgoing และ #MDB2 outgoing เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MDB1 และ MDB2 ตามลำดับ โดยจะเป็นค่าที่จะส่งไปให้ระบบ MCCB ดังรูป 3.18

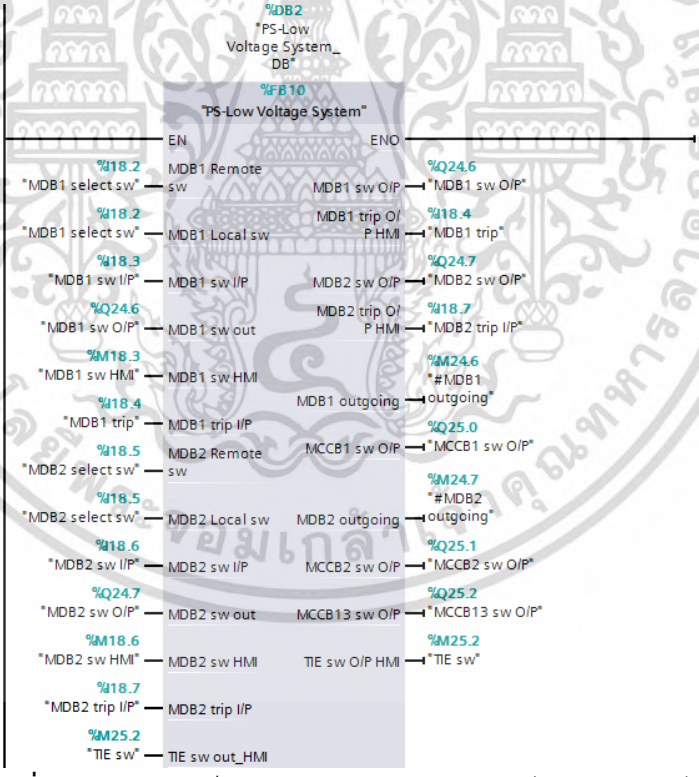


รูปที่ 3.18 ภาษาแลดเดอร์การส่งค่าของ MCB ไปยัง MCCB

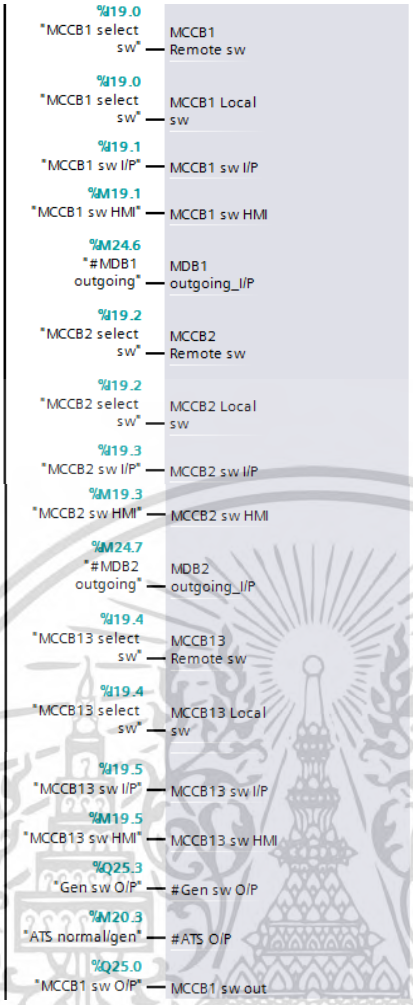
#MCCB1 Remote sw และ #MCCB1 Local sw เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากสวิตช์ภายนอกเพื่อกำหนดว่าอุปกรณ์ MCCB1 อยู่ในสถานะ Remote หรือ Local #MCCB1 sw HMI เป็นอินพุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MCCB1 ที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #MCCB1 sw I/P เป็นอินพุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MCCB1 ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #MCCB1 sw O/P เป็นเอาต์พุตของสวิตช์จ่ายไฟของ MCCB1 ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดยระบบ MCCB1 MCCB2 MCCB13 มีหลักการทำงานที่คล้ายกันแต่แตกต่างตรงที่ MCCB1 จะได้รับการจ่ายไฟจาก ##Gen sw O/P แต่ MCCB2 และ MCCB12 จะได้รับการจ่ายไฟจาก #MDB1 outgoing_I/P และ #MDB 2 outgoing_I/P ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.19 โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ภาษาแลดเดอร์ของระบบ MCCB, MCCB2 และ MCCB12



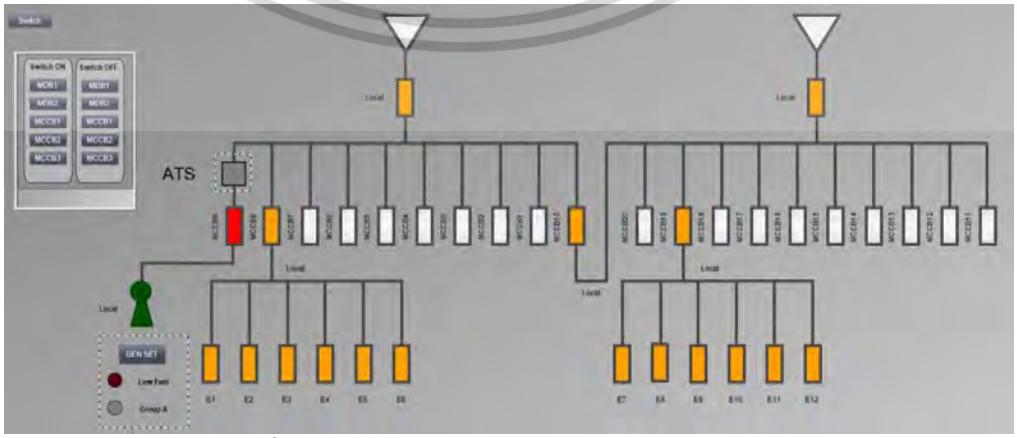
รูปที่ 3.20 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานีรถไฟ



รูปที่ 3.20 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานีรถไฟ (ต่อ)

3.4.1.3 ระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

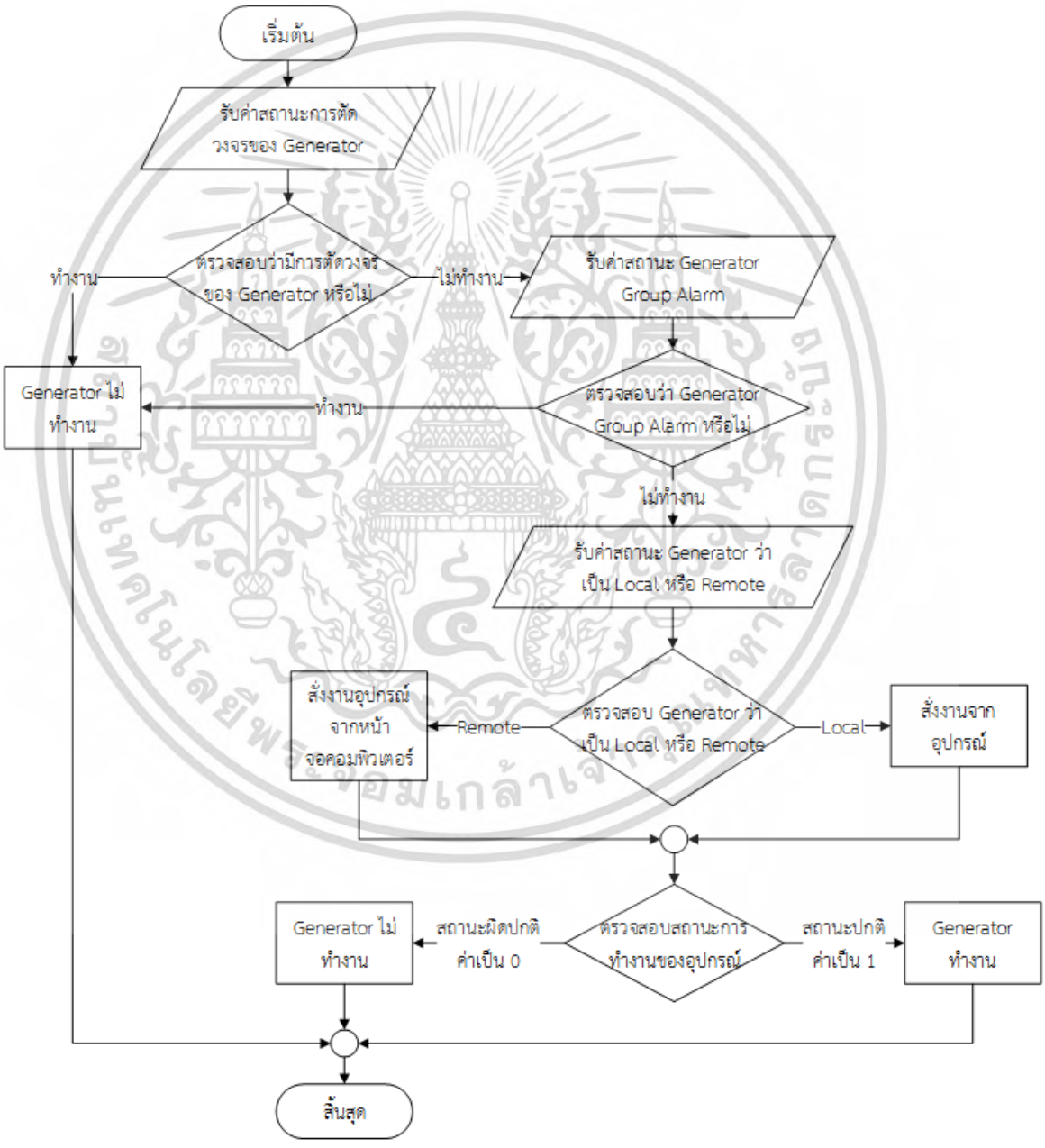
ในส่วนของระบบนี้ จะอยู่ในซอฟต์แวร์ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี โดยระบบนี้จะมีปุ่มสั่งเริ่มการทำงานของระบบ (Generator Switch) ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 วงจรของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

- หลักการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

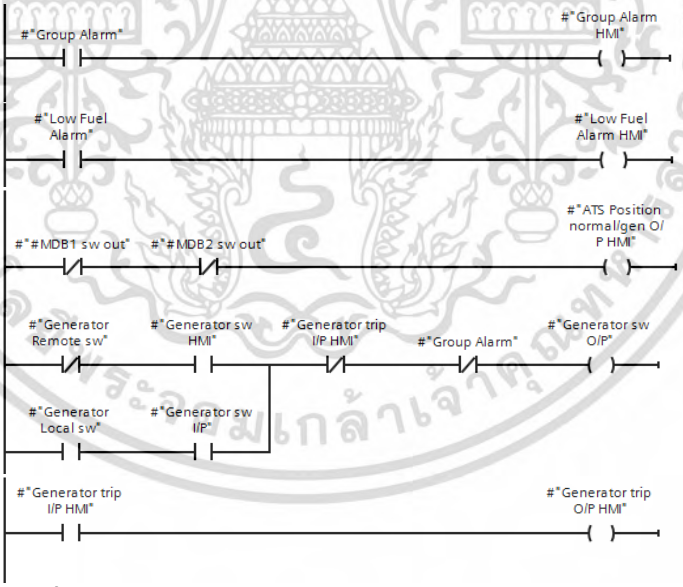
ขั้นแรกผู้ใช้ต้องตรวจสอบว่า Generator มีการตัดวงจร (Trip) หรือไม่ หากมีการตัดวงจร ระบบจะไม่สามารถทำงานได้ ขั้นที่สองตรวจสอบการขัดข้องของระบบ Generator (Group Alarm) และในการทำงานของระบบผู้ใช้สามารถเลือกควบคุมได้ 2 ทาง คือ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Remote) และผ่านอุปกรณ์โดยตรง (Local) โดยเริ่มต้นจะควบคุมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ หากต้องการควบคุมผ่านอุปกรณ์โดยตรง ต้องไปเปลี่ยนค่าที่อุปกรณ์ให้เป็น Local ซึ่งผังงานของระบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.22



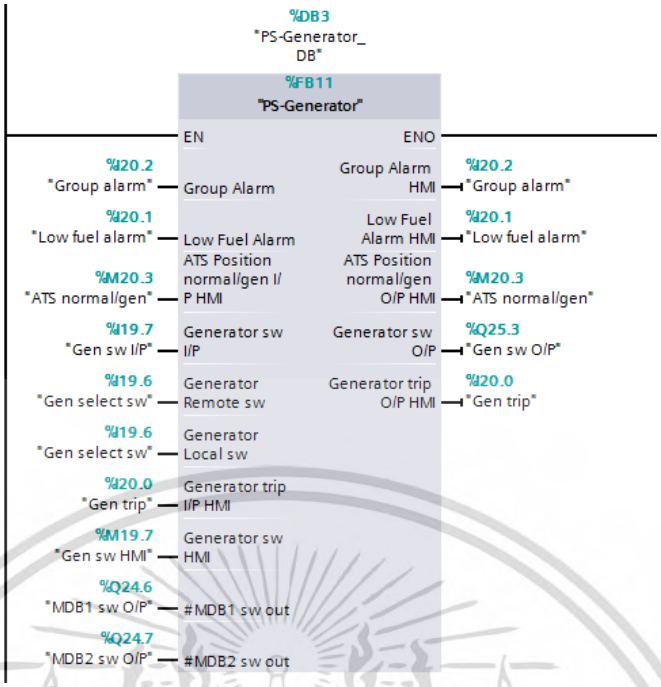
รูปที่ 3.22 แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

- การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมระบบนี้ จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.23 คือ กำหนดให้ #Group Alarm เป็นอินพุตของที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอกเพื่อจำลองว่าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าทำงานผิดปกติ #Group Alarm เป็นเอาต์พุตที่แสดงว่าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าทำงานผิดปกติบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Low Fuel Alarm เป็นอินพุตของที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอกเพื่อจำลองว่าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้ามีแบตเตอรี่ต่ำ #Low Fuel Alarm HMI เอาต์พุตที่แสดงว่าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้ามีแบตเตอรี่ต่ำ โดยแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Generator Remote sw และ #Generator Local sw เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากสวิตช์ภายนอกเพื่อกำหนดว่าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในสถานะ Remote หรือ Local #Generator sw HMI เป็นอินพุตของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #Generator sw I/P เป็นอินพุตของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Generator sw O/P เป็นเอาต์พุตของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Generator trip I/P HMI เป็นอินพุตของสวิตช์เพื่อจำลองสถานะการที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Generator trip O/P HMI เป็นเอาต์พุตเพื่อจำลองสถานะการจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.24



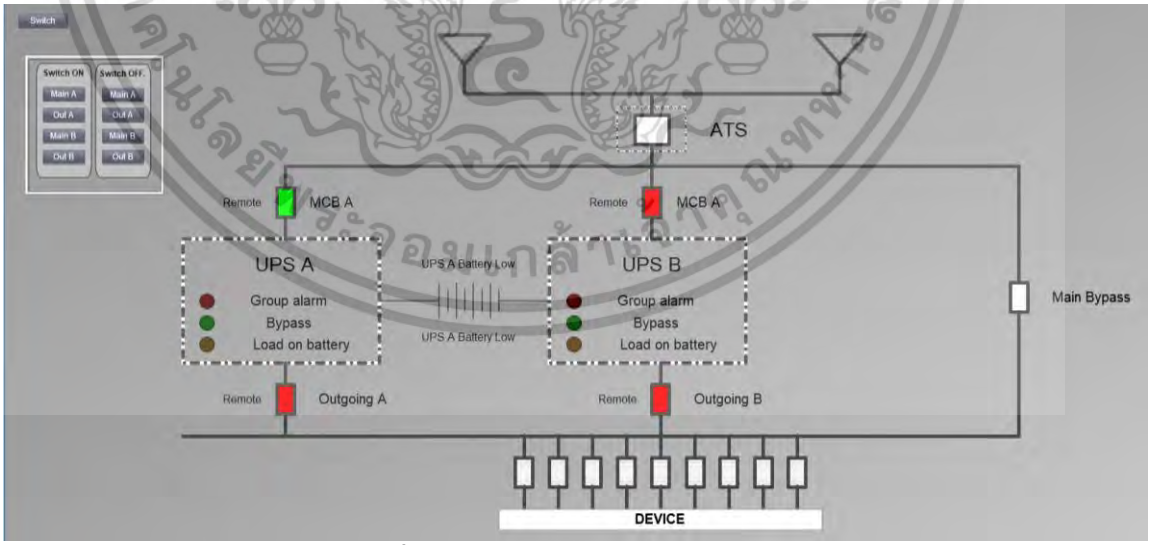
รูปที่ 3.23 ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.24 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

3.4.1.4 ระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply, UPS)

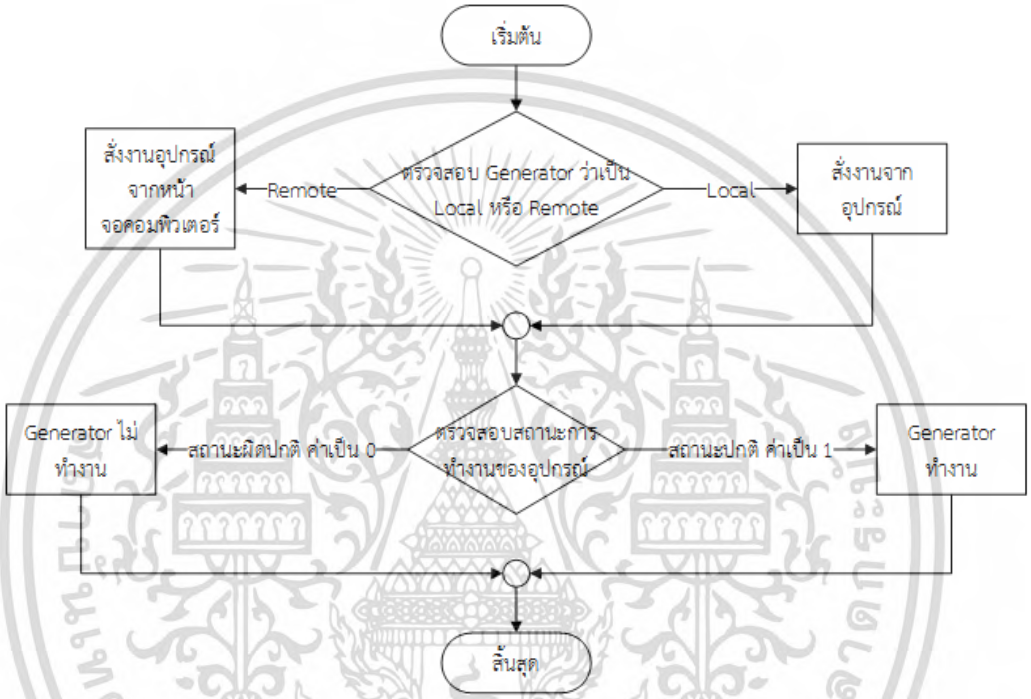
ในส่วนของระบบนี้ จะมีส่วนของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำรอง ดังรูปที่ 3.25 โดยวงจรได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย คือ Main Circuit Breaker (MCB), Outgoing Disconnector Switch และ Bypass Switch



รูปที่ 3.25 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำรอง

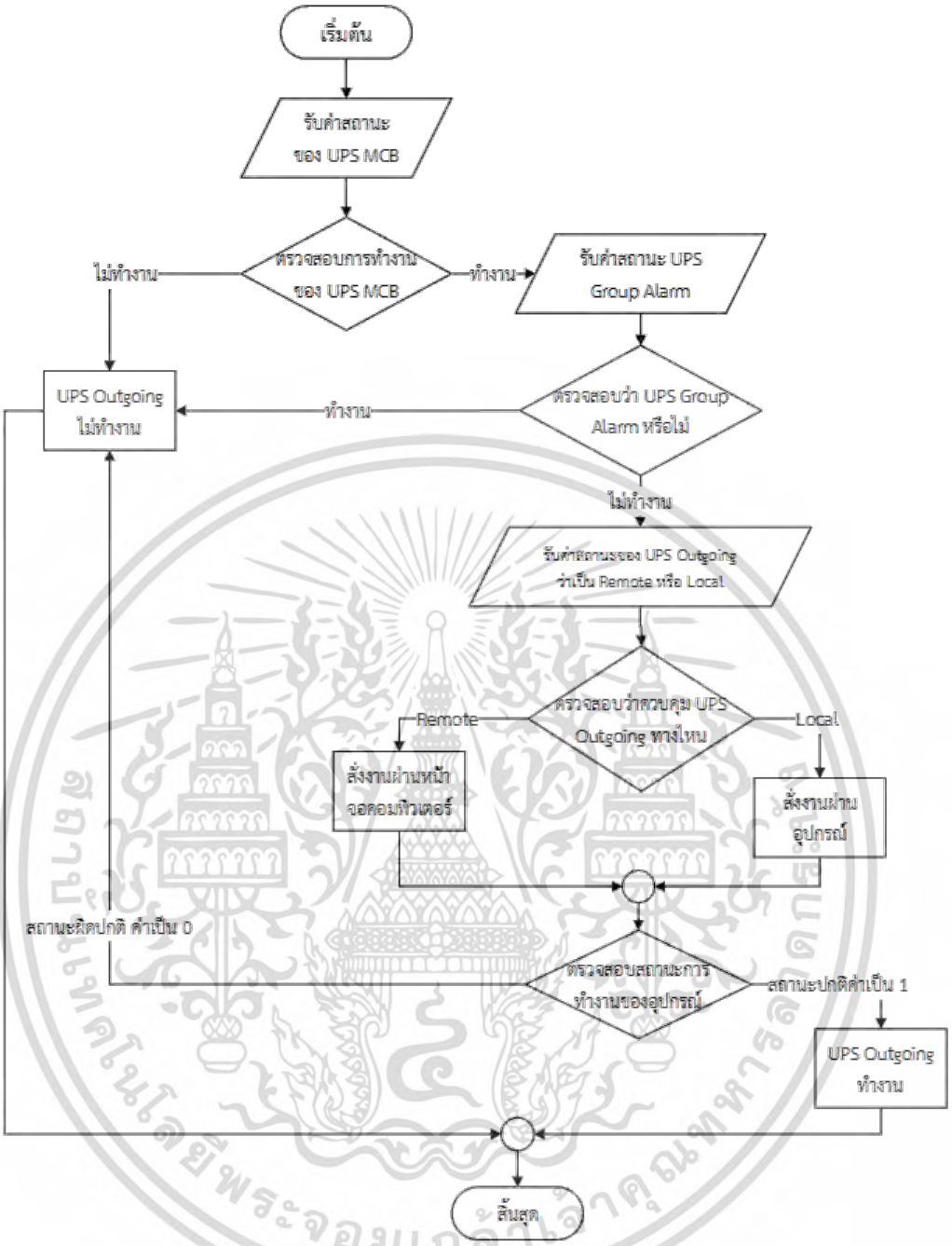
- หลักการทำงานของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง

ขั้นแรกผู้ใช้ต้องสั่งงานให้ Main Circuit Breaker (MCB) ทำงานก่อน โดยสามารถเลือกสั่งงานผ่านได้ 2 ทาง คือ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Remote) และผ่านอุปกรณ์โดยตรง (Local) โดยเริ่มต้นจะสามารถสั่งงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ หากต้องการควบคุมผ่านอุปกรณ์โดยตรง ต้องไปเปลี่ยนค่าที่อุปกรณ์ให้เป็น Local และในระบบนี้จะมี MCB 2 ตัว ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกัน แสดงผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แผนผังงานการทำงานของ Main Circuit Breaker (MCB)

ขั้นที่สอง เมื่อ MCB ทำงาน ผู้ใช้ต้องตรวจสอบความขัดข้องของระบบ UPS (Group Alarm) หากไม่มีความขัดข้อง UPS จะทำการส่งไฟออกไปยัง UPS Outgoing โดยผู้ใช้สามารถเลือกควบคุม UPS Outgoing ได้ 2 ทาง เช่นเดียวกับ MCB ซึ่งในระบบนี้มี UPS 2 ตัว และ UPS Outgoing 2 ตัว แสดงผังงานการทำงานของส่วนนี้ดังรูปที่ 3.27

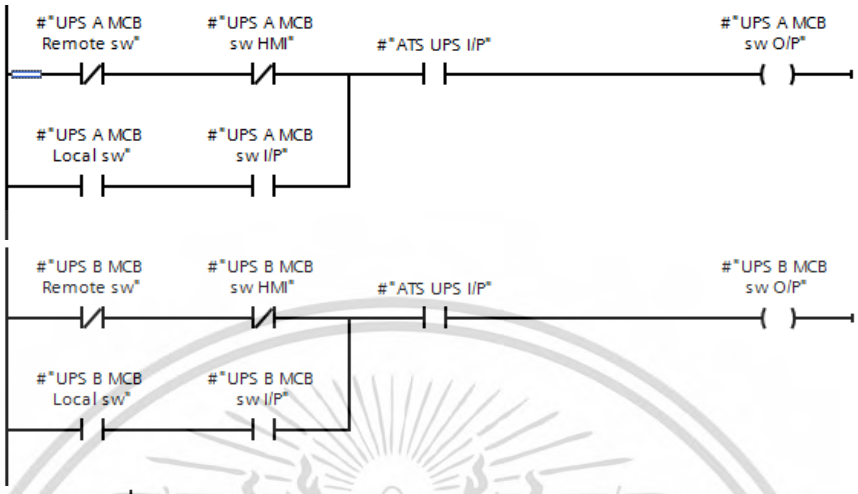


รูปที่ 3.27 แผนผังงานการทำงานของ UPS Outgoing

- การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง

การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมของระบบนี้ จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.28 คือ #UPS A MCB Remote sw และ #UPS A MCB Local sw เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากสวิตช์ภายนอกเพื่อกำหนดว่า MCB ของ UPS A อยู่ในสถานะ Remote หรือ Local #UPS A MCB sw HMI เป็นอินพุตสวิตช์ MCB ของ UPS A ที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #UPS A MCB sw I/P เป็นอินพุตสวิตช์ MCB ของ UPS A ที่รับค่าจาก

สวิตช์ภายนอก #UPS A MCB sw O/P เป็นเอาต์พุตสวิตช์ MCB ของ UPS A ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดย MCB ของ UPS B มีหลักการทำงานที่เหมือนกัน

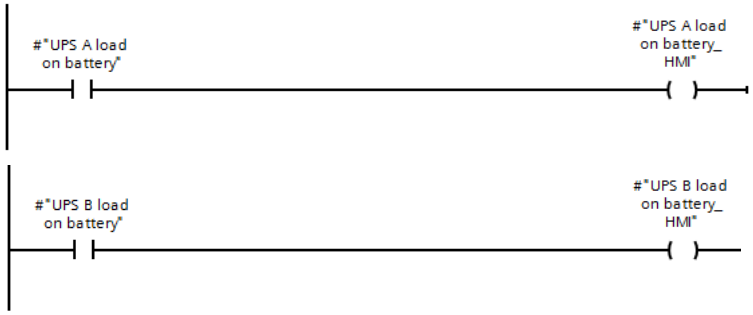


รูปที่ 3.28 ภาษาแลดเดอร์ระบบ MCB ของ UPS A และUPS B

#UPS A Group Alarm เป็นอินพุตของที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอกเพื่อจำลองว่าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำงานผิดปกติ #UPS A Group Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตที่แสดงว่าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำงานผิดปกติบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดย Group Alarm UPS A มีหลักการทำงานที่เหมือนกับ Group Alarm UPS B ดังรูปที่ 3.29

รูปที่ 3.29 ภาษาแลดเดอร์ Group Alarm ของ UPS A และUPS B

#UPS A load on battery เป็นอินพุตของที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอกเพื่อจำลองว่าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำงานบนแบตเตอรี่ #UPS A load on battery_HMI เป็นเอาต์พุตที่แสดงว่าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำงานบนแบตเตอรี่บนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดย UPS A load on battery มีหลักการทำงานที่เหมือนกับ UPS B load on battery ดังรูปที่ 3.30

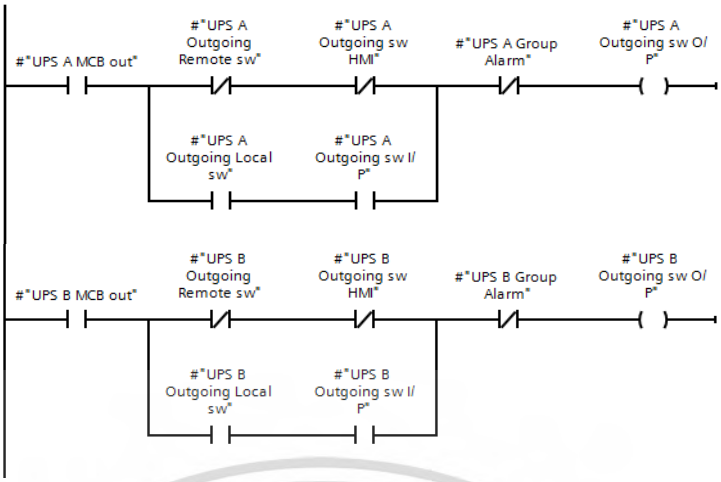


รูปที่ 3.30 ภาษาแลดเดอร์ UPS A และ UPS B ทำงานบนแบตเตอรี่

#UPS A Bypass sw ON เป็นอินพุตที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอกเพื่อจำลองว่าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำการผ่านสัญญาณ #UPS A Bypass sw ON_HMI เป็นเอาต์พุตที่ของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองทำการผ่านสัญญาณจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดย UPS A Bypass มีหลักการทำงานที่เหมือนกับ UPS B Bypass ดังรูปที่ 3.31

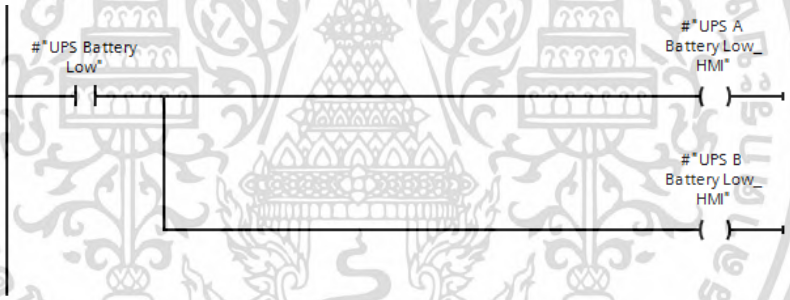
รูปที่ 3.31 ภาษาแลดเดอร์การผ่านสัญญาณของ UPS A และ UPS B

#UPS A MCB out เป็นอินพุตที่รับค่ามาจาก MCB ของ UPS A #UPS A Outgoing Remote sw และ #UPS A Outgoing Local sw เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากสวิตช์ภายนอกเพื่อกำหนดว่า Outgoing UPS A อยู่ในสถานะ Remote หรือ Local #UPS A Outgoing sw HMI เป็นอินพุตของ Outgoing UPS A ที่รับค่าจากหน้าจอซอฟต์แวร์ #UPS A Outgoing sw I/P เป็นอินพุต Outgoing UPS A ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #UPS A Outgoing sw O/P เป็นเอาต์พุต Outgoing UPS A ที่แสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ โดย Outgoing UPS A และ Outgoing UPS B มีหลักการทำงานที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันที่ Outgoing UPS B จะได้รับอินพุตมาจาก MCB ของ UPS B ดังรูปที่ 3.32



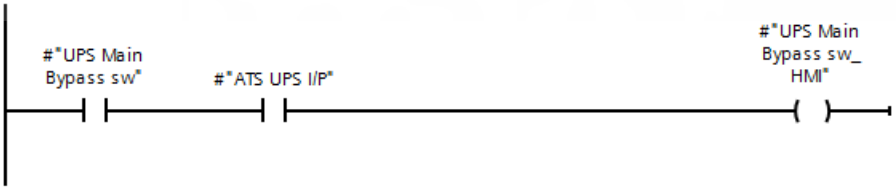
รูปที่ 3.32 ภาษาแลดเดอร์ Outgoing UPS A และ Outgoing UPS B

เนื่องจาก UPS A และUPS B ใช้งานแบตเตอรี่เดียวกัน #UPS Battery Low เป็นอินพุตที่จำลองเหตุการณ์แบตเตอรี่ต่ำ #UPS A Battery Low_HMI และ#UPS B Battery Low_HMI เป็นเอาต์พุตที่แสดงว่าแบตเตอรี่ต่ำผ่านหน้าจอซอฟต์แวร์ ดังรูปที่ 3.33



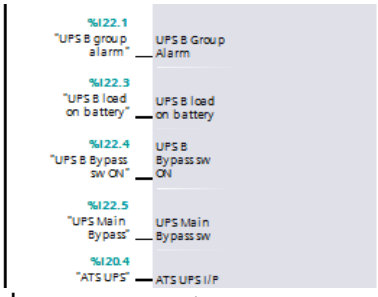
รูปที่ 3.33 ภาษาแลดเดอร์แสดงเหตุการณ์จำลองแบตเตอรี่ของ UPS ต่ำ

#UPS A Bypass sw ON เป็นอินพุตของการผ่านสัญญาณของระบบที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก # UPS A Bypass sw ON_HMI เป็นเอาต์พุตที่แสดงการผ่านสัญญาณของระบบบนหน้าจอซอฟต์แวร์ ดังรูปที่ 3.34 โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.34 ภาษาแลดเดอร์การผ่านสัญญาณของระบบ

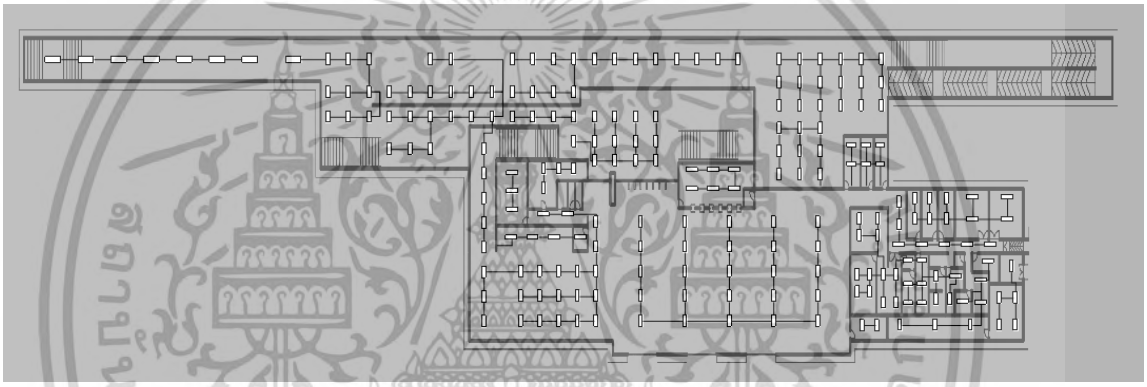
รูปที่ 3.35 ภาษาบล็อกของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง



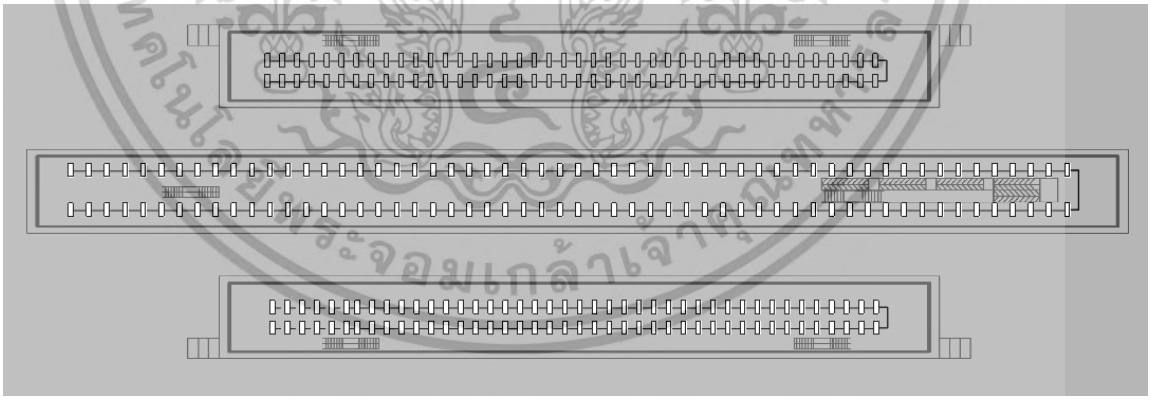
รูปที่ 3.35 ภาษาบล็อกของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง (ต่อ)

3.4.2 ระบบแสงสว่าง (Lighting System)

ในซอฟต์แวร์ส่วนนี้ได้ทำการแบ่งระบบออกเป็นแบบโซน โดยมีทั้งหมด 8 โซน ได้แก่ ส่วนชานชาลา 3 โซน ส่วนสถานี 3 โซน และส่วนอุโมงค์ 2 โซน ดังรูปที่ 3.36



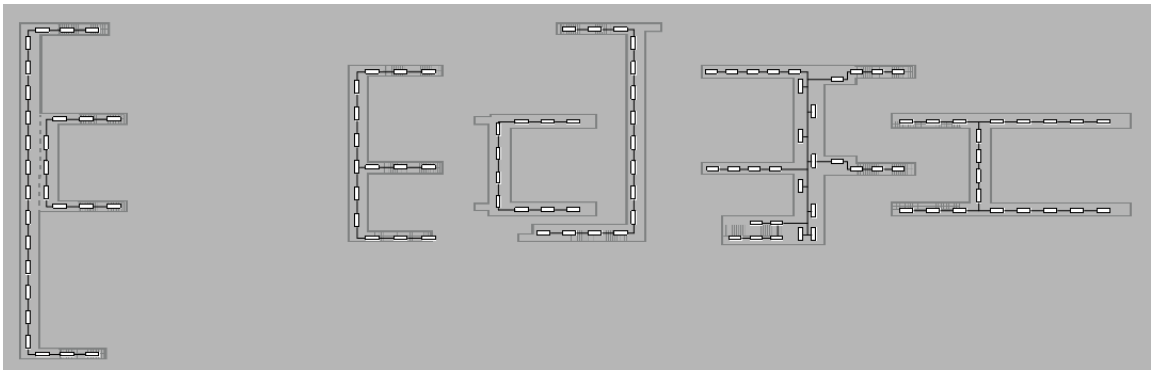
(A)



(B)

รูปที่ 3.36 ส่วนแสดงผลของระบบแสงสว่าง

(A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์

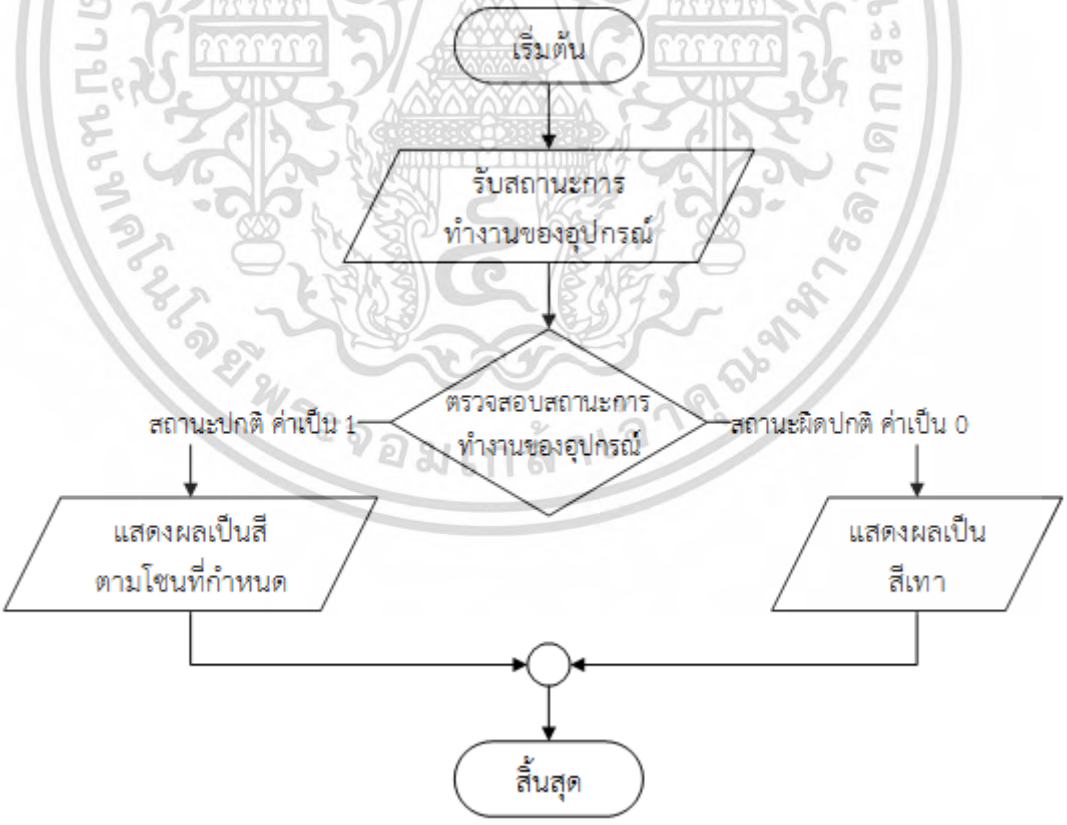


(C)

รูปที่ 3.36 ส่วนแสดงผลของระบบแสงสว่าง
(A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์ (ต่อ)

3.4.2.1 หลักการทำงานของระบบแสงสว่าง

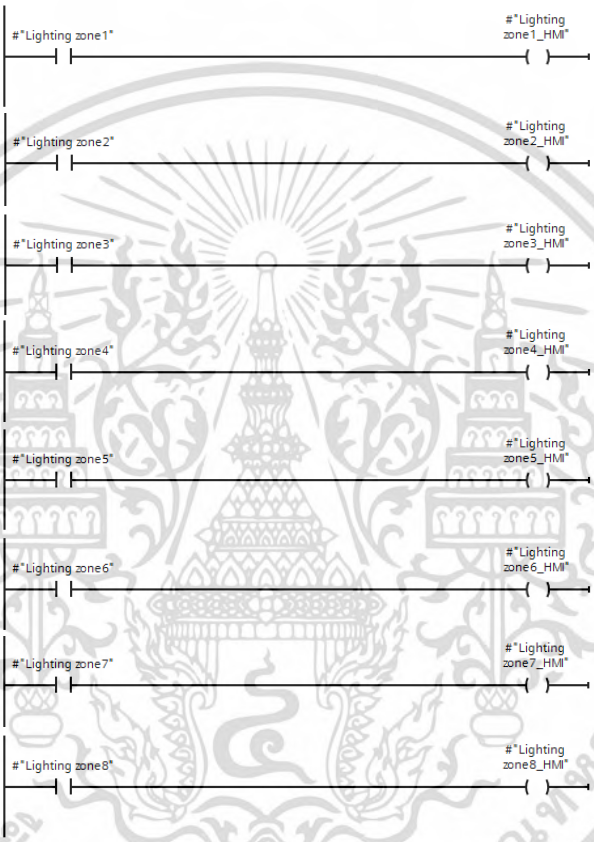
ในส่วนของระบบแสงสว่าง ซอฟต์แวร์จะทำการรับค่าจากหลอดไฟแต่ละโซนที่แบ่งไว้ ซึ่งแต่ละโซนจะมีสีที่แตกต่างกัน เพื่อแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ตามโซนที่กำหนด และหากปิดหลอดไฟจะแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นสีเทา มีแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.37



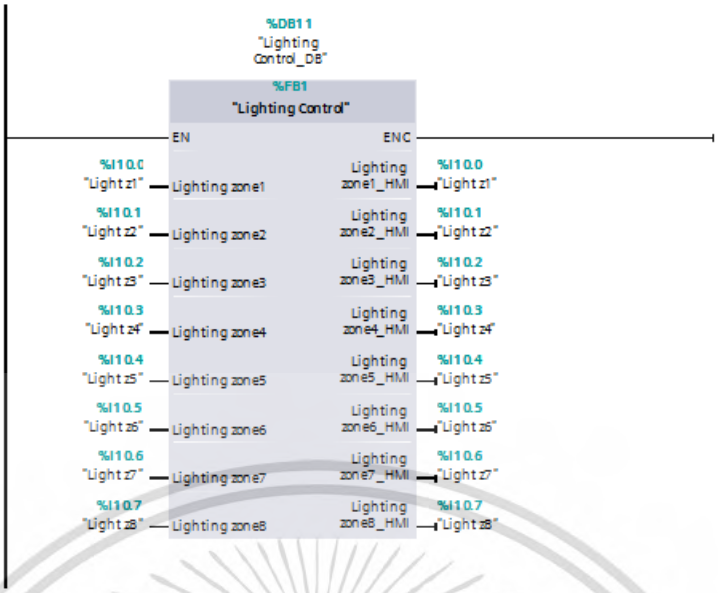
รูปที่ 3.37 แผนผังงานการทำงานของระบบแสงสว่าง

3.4.2.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบแสงสว่าง

ระบบแสงสว่างจะแบ่งเป็น 8 โซน ซึ่งจะมีหลักการทำงานเหมือนกัน โดยการเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมของระบบนี้ จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.38 คือ #Lighting zone1 เป็นอินพุตของระบบแสงสว่างที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Lighting zone1_HMI เป็นเอาต์พุตของระบบแสงสว่างที่แสดงบนหน้าจอ โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.39



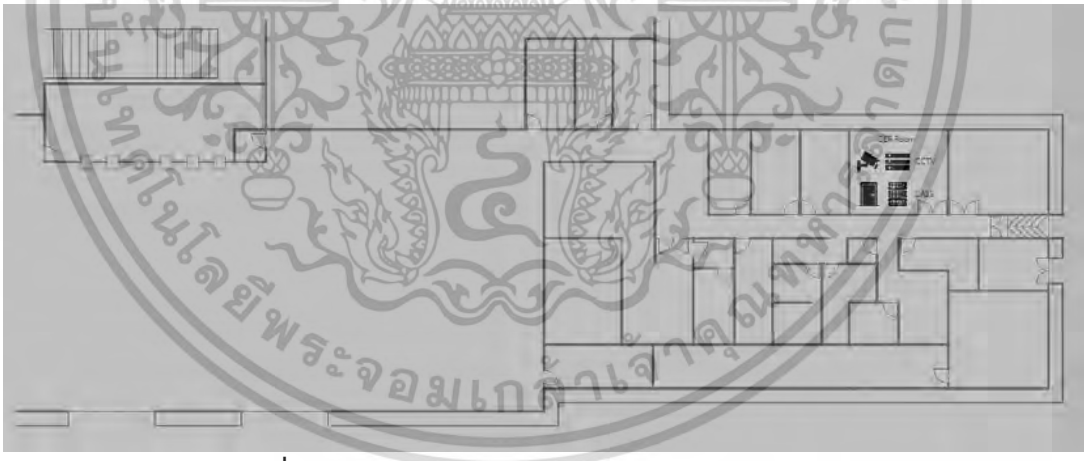
รูปที่ 3.38 ภาษาแลดเดอร์ระบบแสงสว่าง



รูปที่ 3.39 ภาษาบล็อกระบบแสงสว่าง

3.4.3 ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System)

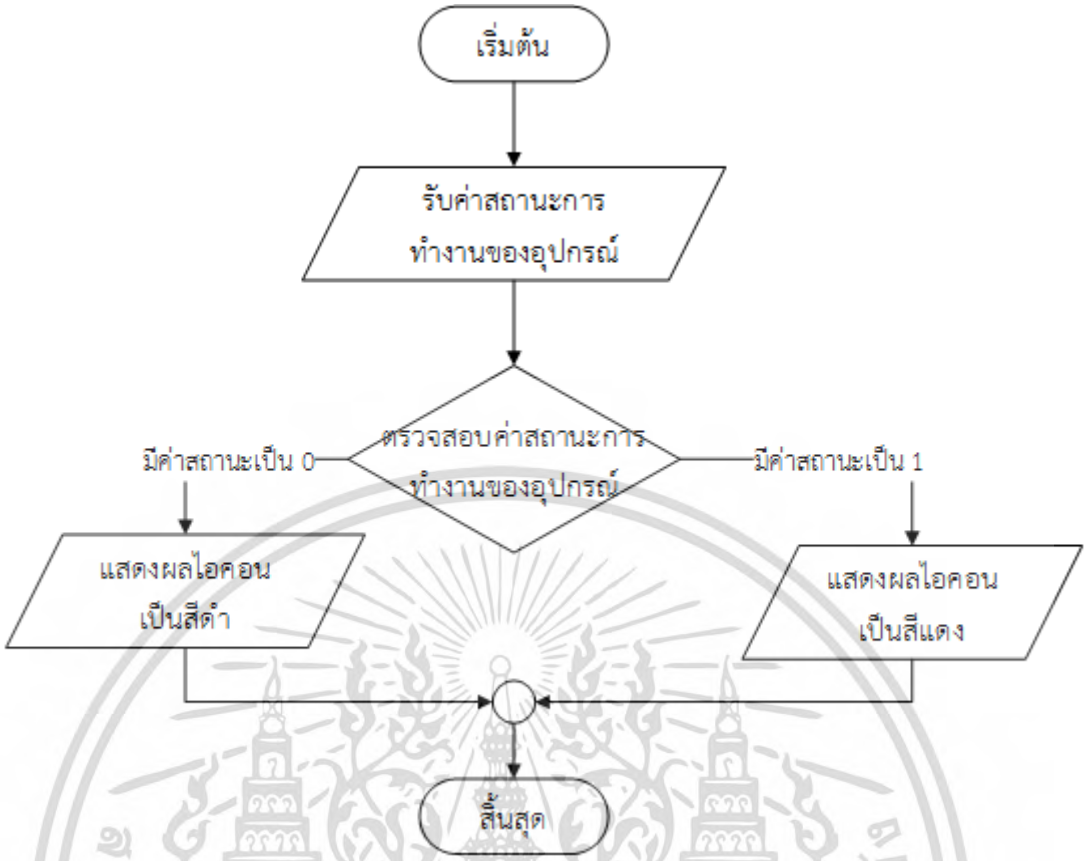
ในระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบกล้องวงจรปิด (CCTV) และระบบควบคุมการเข้าถึง (Controlled Access Security System, CASS) ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 ส่วนแสดงผลของระบบรักษาความปลอดภัย

3.4.3.1 หลักการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย

ในส่วนของระบบรักษาความปลอดภัย ซอฟต์แวร์จะทำการรับค่าจากกล้องวงจรปิดและระบบควบคุมการเข้าถึง ซึ่งหากอุปกรณ์ใดทำงานปกติ จะแสดงผลเป็นไอคอนสีดำ แต่ถ้าหากอุปกรณ์ใดมีความผิดพลาดหรือชำรุด จะแสดงผลเป็นไอคอนสีแดง และมีแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 แผนผังงานการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย

3.4.3.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบรักษาความปลอดภัย

รูปที่ 3.42 ภาษาแลดเดอร์ระบบกล้องวงจรปิด

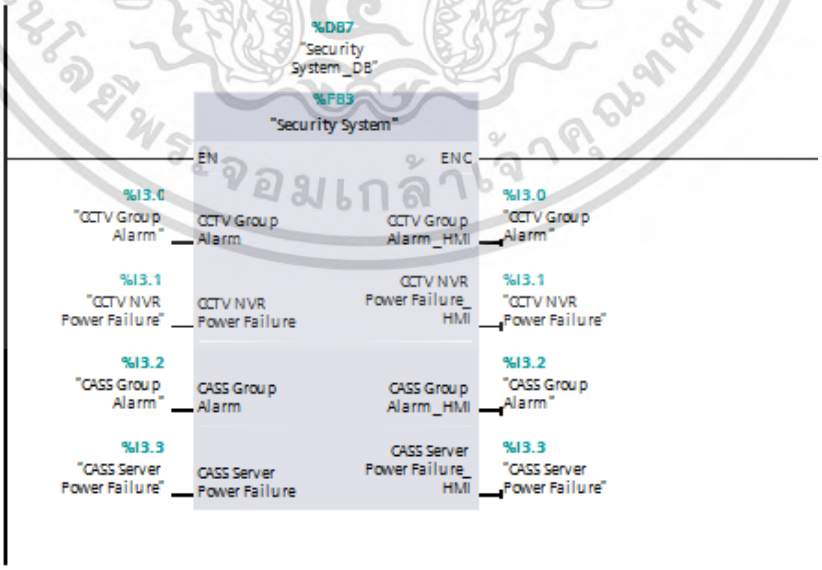
การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมระบบกล้องวงจรปิดจะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.42 คือ #CCTV Group Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ระบบกล้องวงจรปิดทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CCTV Group Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตเหตุการณ์ระบบกล้องวงจรปิดทำงานผิดปกติโดยจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #CCTV NVR Power Failure เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ระบบการบันทึกของกล้องวงจรปิดทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CCTV NVR Power Failure_HMI

เป็นเอาต์พุตเหตุการณ์ระบบการบันทึกของกล้องวงจรปิดทำงานผิดปกติจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์

การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมระบบควบคุมการเข้าถึง จะใช้ 2 ภาษาคือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.43 คือ #CASS Group Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ระบบควบคุมการเข้าถึงทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CASS Group Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตเหตุการณ์ระบบควบคุมการเข้าถึงทำงานผิดปกติ ซึ่งจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #CASS Server Power Failure เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์เซิร์ฟเวอร์ระบบควบคุมการเข้าถึงทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CASS Server Power Failure_HMI เป็นเอาต์พุตเหตุการณ์ระบบเซิร์ฟเวอร์ระบบควบคุมการเข้าถึงทำงานผิดปกติจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์

รูปที่ 3.43 ภาษาแลดเดอร์ของระบบควบคุมการเข้าถึง

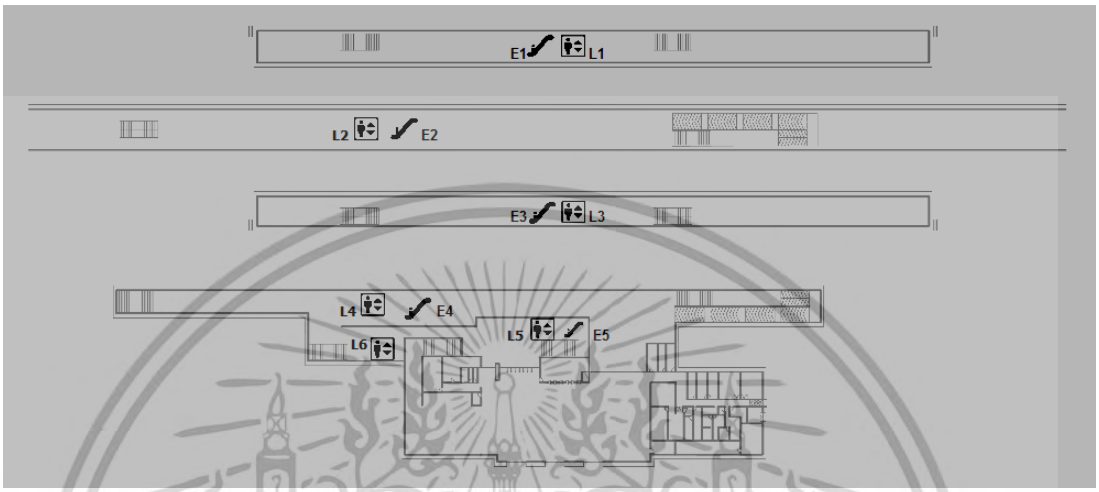
โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ภาษาบล็อกระบบรักษาความปลอดภัย

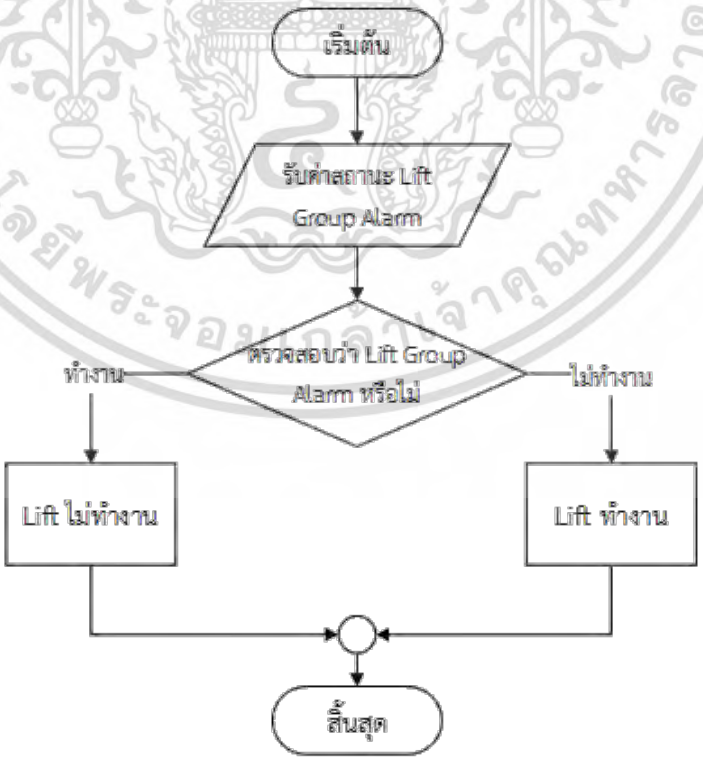
3.4.4 ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System)

ในระบบนี้จะแสดงผลการทำงานของ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบลิฟต์ (Lift) และระบบบันไดเลื่อน (Escalator) โดยจะมีตำแหน่งลิฟต์ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และ ตำแหน่งบันไดเลื่อนทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน

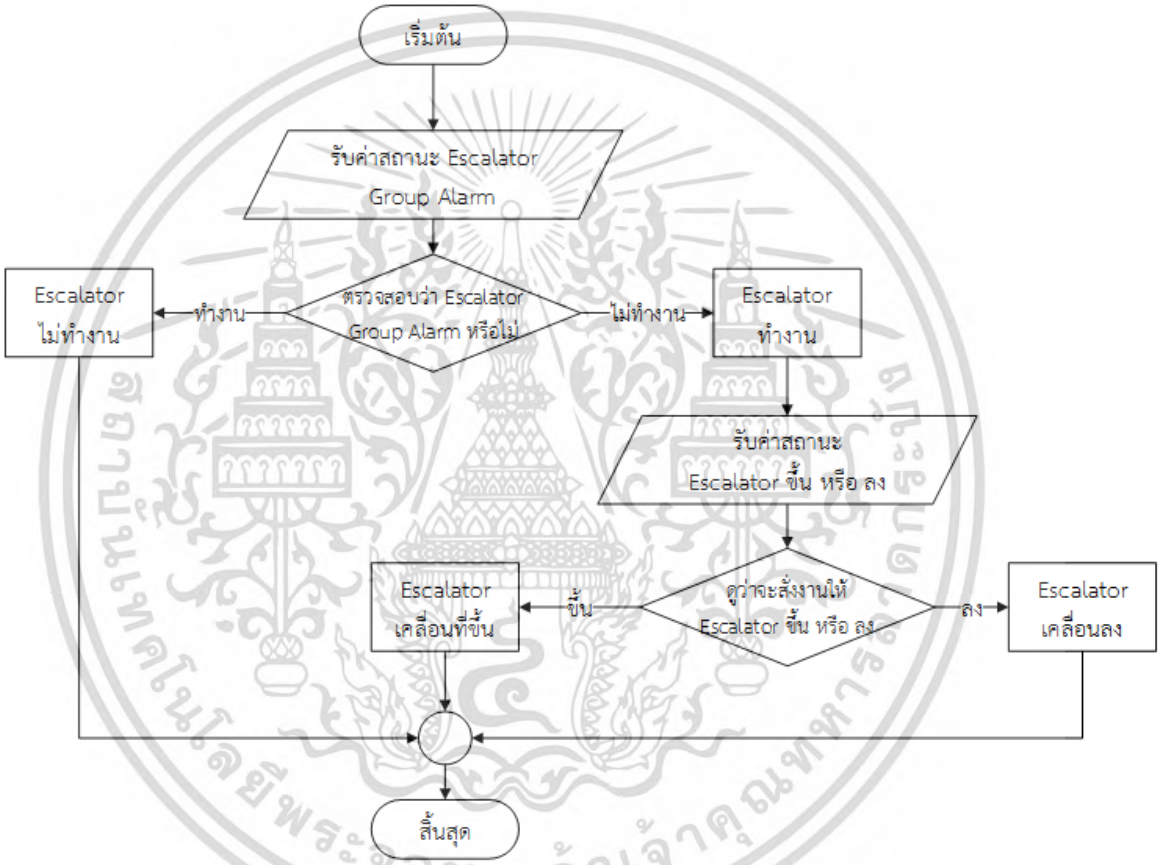
3.4.4.1 หลักการทำงานของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน



รูปที่ 3.46 แผนผังงานการทำงานของลิฟต์

ในส่วนของลิฟต์ ซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบว่าลิฟต์มีข้อผิดพลาดหรือไม่ (Lift Group Alarm) ซึ่งหากลิฟต์มีข้อผิดพลาด ลิฟต์จะไม่สามารถทำงานได้ แต่ถ้าลิฟต์ไม่มีข้อผิดพลาดใด ๆ ลิฟต์จะสามารถทำงานได้เป็นปกติ มีแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.46

ในส่วนของบันไดเลื่อน ซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบว่าบันไดเลื่อนมีข้อผิดพลาดหรือไม่ (Escalator Group Alarm) ซึ่งหากมีข้อผิดพลาด บันไดเลื่อนจะไม่สามารถทำงานได้ แต่ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดใด ๆ บันไดเลื่อนจะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงได้อย่างปกติ ซึ่งมีแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.47

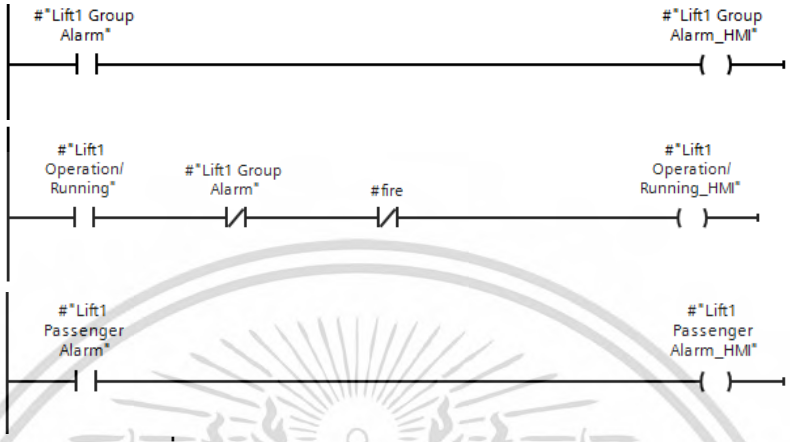


รูปที่ 3.47 แผนผังงานการทำงานของบันไดเลื่อน

3.4.4.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน

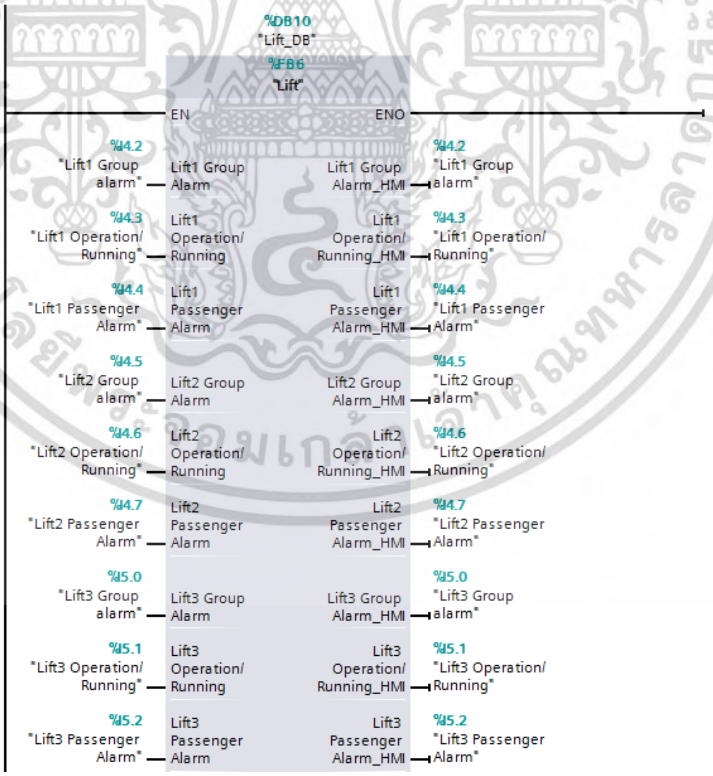
การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมลิฟต์ 1 ตัว จะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.48 คือ #Lift1 Group Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ของลิฟต์ที่ทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Lift1 Group Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์ของลิฟต์ที่ทำงานผิดปกติจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Lift1 Operation/Running เป็นอินพุตการสั่งงานของลิฟต์ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Lift1 Operation/Running_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะการทำงานของลิฟต์ผ่านหน้าจอ

ซอฟต์แวร์ #fire เป็นเอาต์พุตจากการแจ้งเตือนไฟไหม้ #Lift1 Passenger Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ของลิฟต์ที่มีผู้โดยสารกดปุ่มฉุกเฉินภายในลิฟต์ และ #Lift1 Passenger Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์ของลิฟต์ที่มีผู้โดยสารกดปุ่มฉุกเฉินภายในลิฟต์

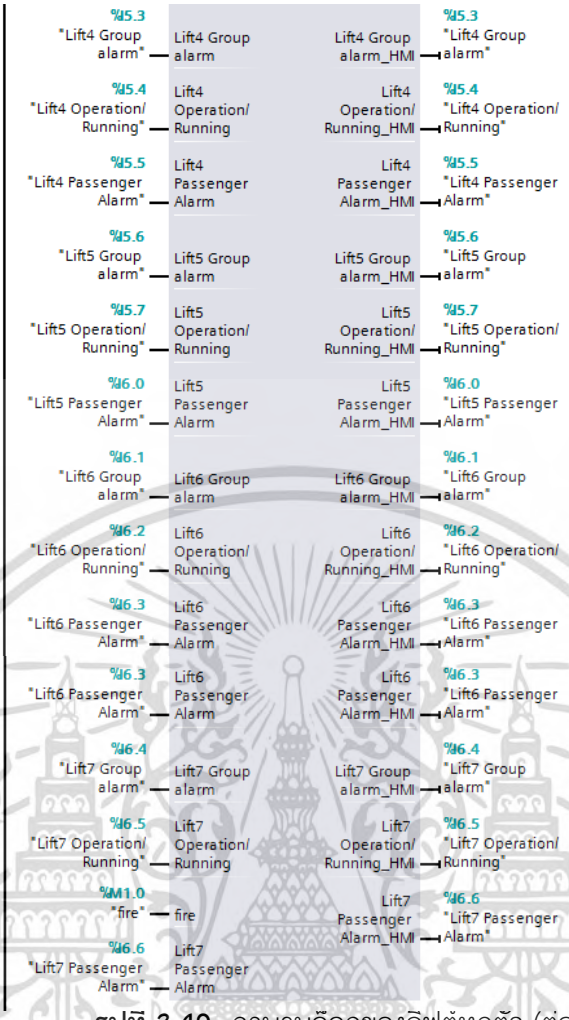


รูปที่ 3.48 ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของระบบลิฟต์

โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.49



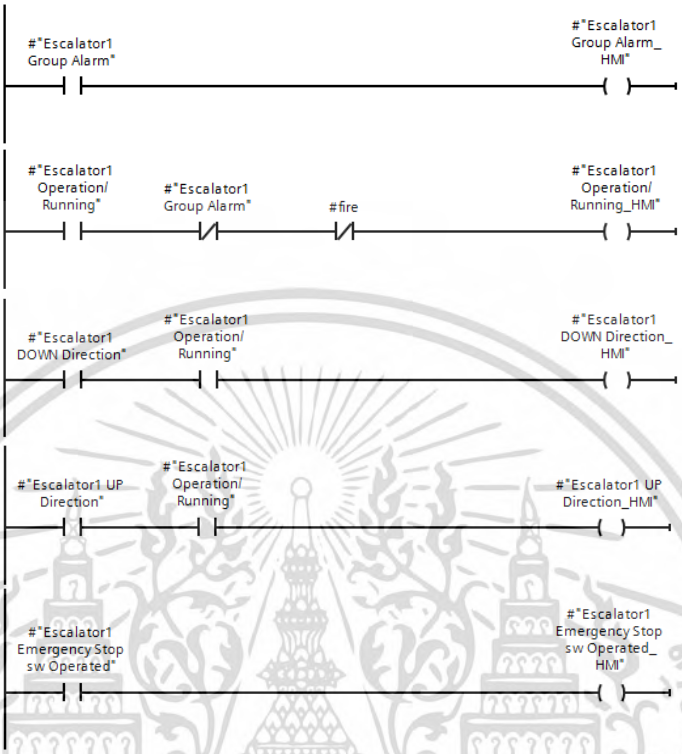
รูปที่ 3.49 ภาษาบล็อกของลิฟต์ทุกตัว



รูปที่ 3.49 ภาษาบล๊อกของลิฟต์ทุกตัว (ต่อ)

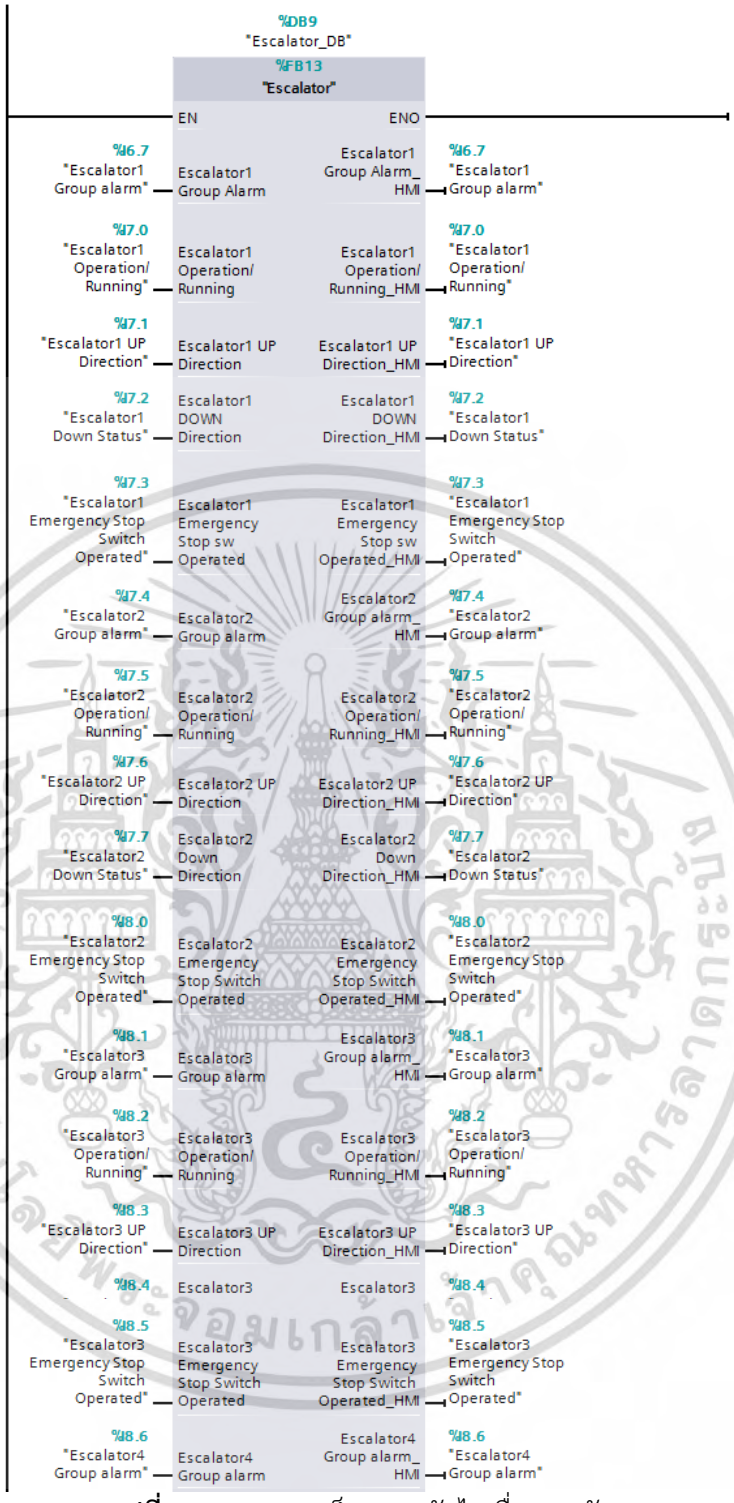
การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมบันไดเลื่อน 1 ตัว จะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.50 คือ #Escalator1 Group Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ของบันไดเลื่อนที่ทำงานผิดปกติ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Escalator1 Group Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์ของบันไดเลื่อนที่ทำงานผิดปกติจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Escalator1 Operation/Running เป็นอินพุตการสั่งงานของบันไดเลื่อนที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Escalator1 Operation/Running_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะการทำงานของบันไดเลื่อนผ่านหน้าจอซอฟต์แวร์ #fire เป็นเอาต์พุตจากการแจ้งเตือนไฟไหม้ #Escalator1 DOWN Direction เป็นอินพุตการสั่งงานให้บันไดเลื่อนเคลื่อนที่ลงที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Escalator1 DOWN Direction_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะการเคลื่อนที่ลงของบันไดเลื่อน #Escalator1 UP Direction เป็นอินพุตการสั่งงานให้บันไดเลื่อนเคลื่อนที่ขึ้นที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Escalator1 UP Direction_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะการเคลื่อนที่ขึ้นของบันไดเลื่อน #Escalator1 Emergency Stop sw Operated เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ของบันไดเลื่อนที่มีผู้โดยสารกดปุ่มฉุกเฉินที่บันไดเลื่อน และ #Escalator1 Emergency Stop sw

Operated_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์ของบันไดเลื่อนที่มีผู้โดยสารกดปุ่มฉุกเฉินที่บันไดเลื่อน

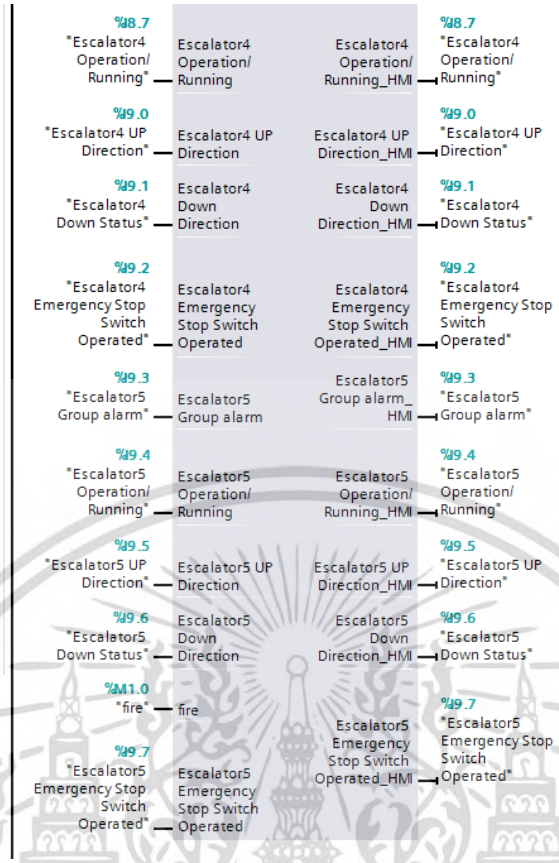


รูปที่ 3.50 ภาษาแลดเดอร์ของบันไดเลื่อน

โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.51



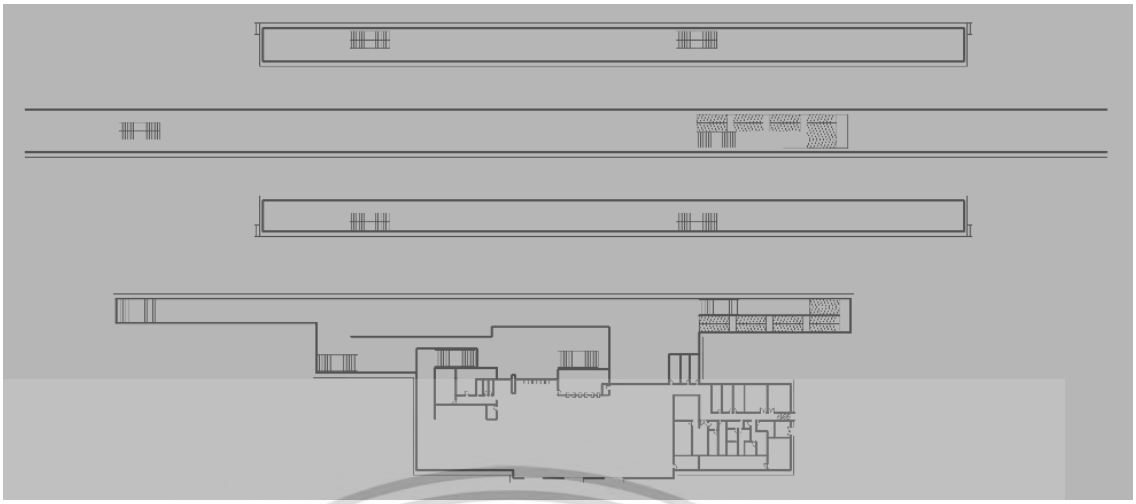
รูปที่ 3.51 ภาษาบล็อกของบันไดเลื่อนทุกตัว



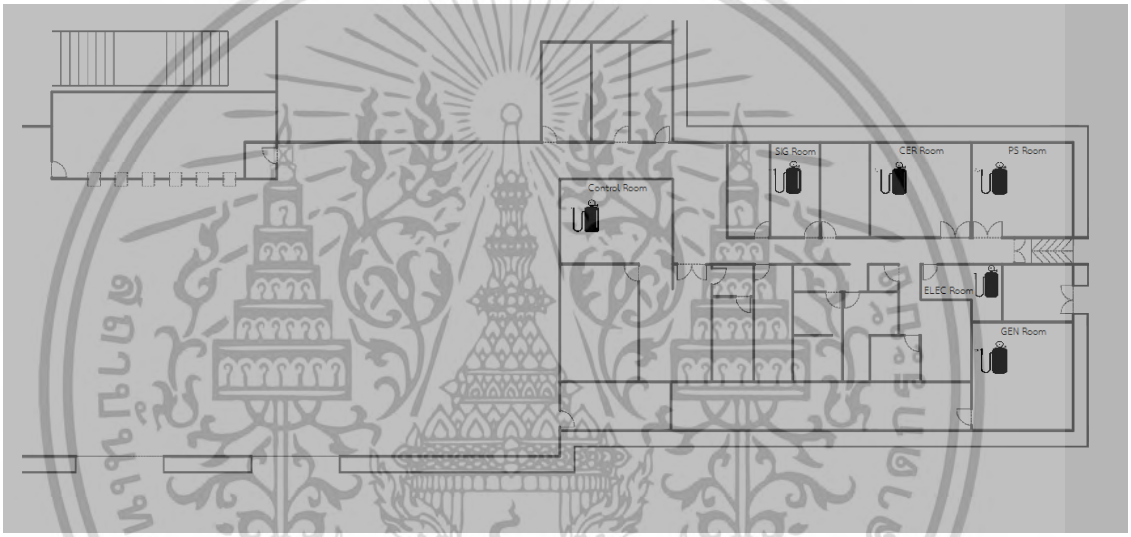
รูปที่ 3.51 ภาษาบล็อกของบันไดเลื่อนทุกตัว (ต่อ)

3.4.5 ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System)

ในระบบนี้จะแบ่งการแสดงผลการทำงานออกเป็น 2 อินเตอเฟส ได้แก่ อินเตอเฟสการแจ้งเตือนอัคคีภัย ซึ่งจะแบ่งพื้นที่การแจ้งเตือนอัคคีภัยออกเป็น 3 โซน ได้แก่ โซนชานชาลา โซนสถานี และโซนห้องต่าง ๆ และอินเตอเฟสการทำงานของสารสะอาดดับเพลิง (FM200) โดยส่วนนี้จะอยู่ในห้องที่มีความสำคัญต่าง ๆ ภายในสถานี ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ห้อง ดังนี้ ห้องควบคุม (Control Room) ห้องการสื่อสาร (Communication Room) ห้องส่งสัญญาณ (Signaling Room) ห้องจ่ายไฟของสถานี (Station Power Supply Room) ห้องควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator Room) และห้องไฟฟ้า (Electrical Room) ดังรูปที่ 3.52



(A)

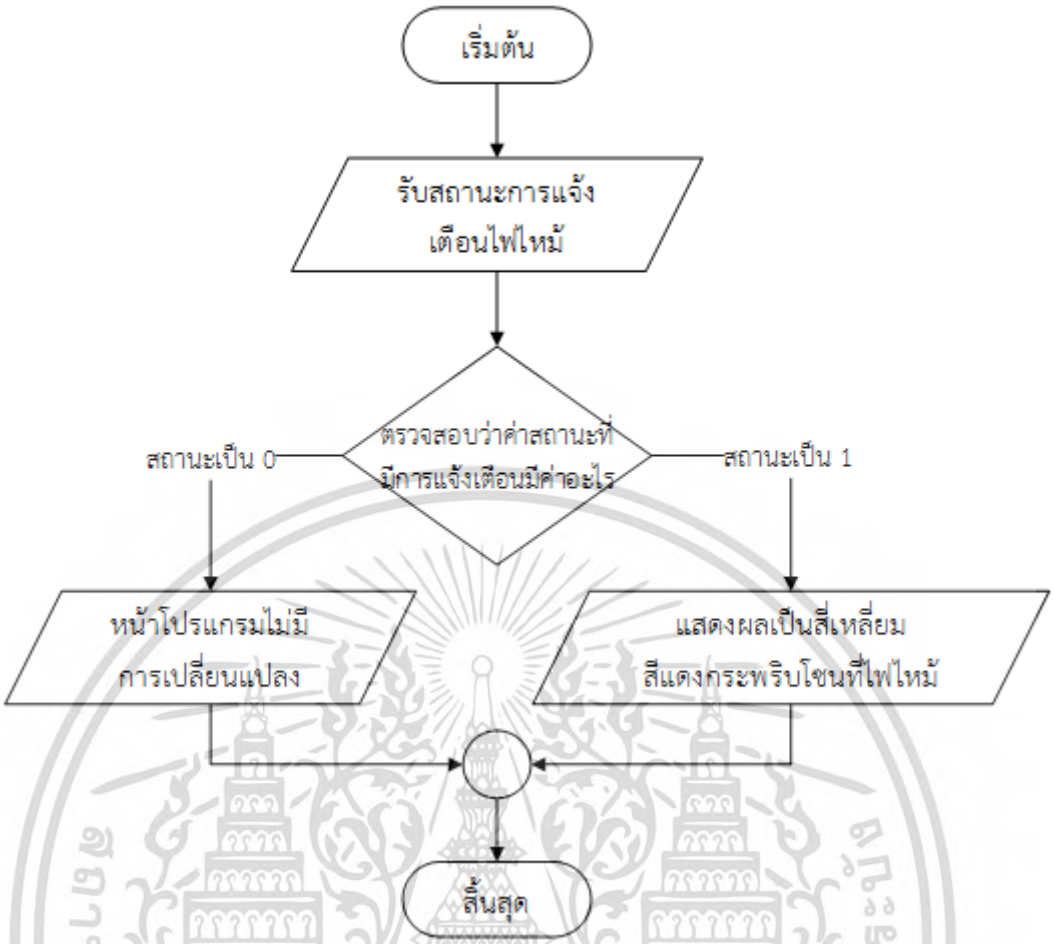


(B)

รูปที่ 3.52 อินเตอร์เฟสของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย
(A) การแจ้งเตือนอัคคีภัย (B) การแจ้งเตือนของ FM200

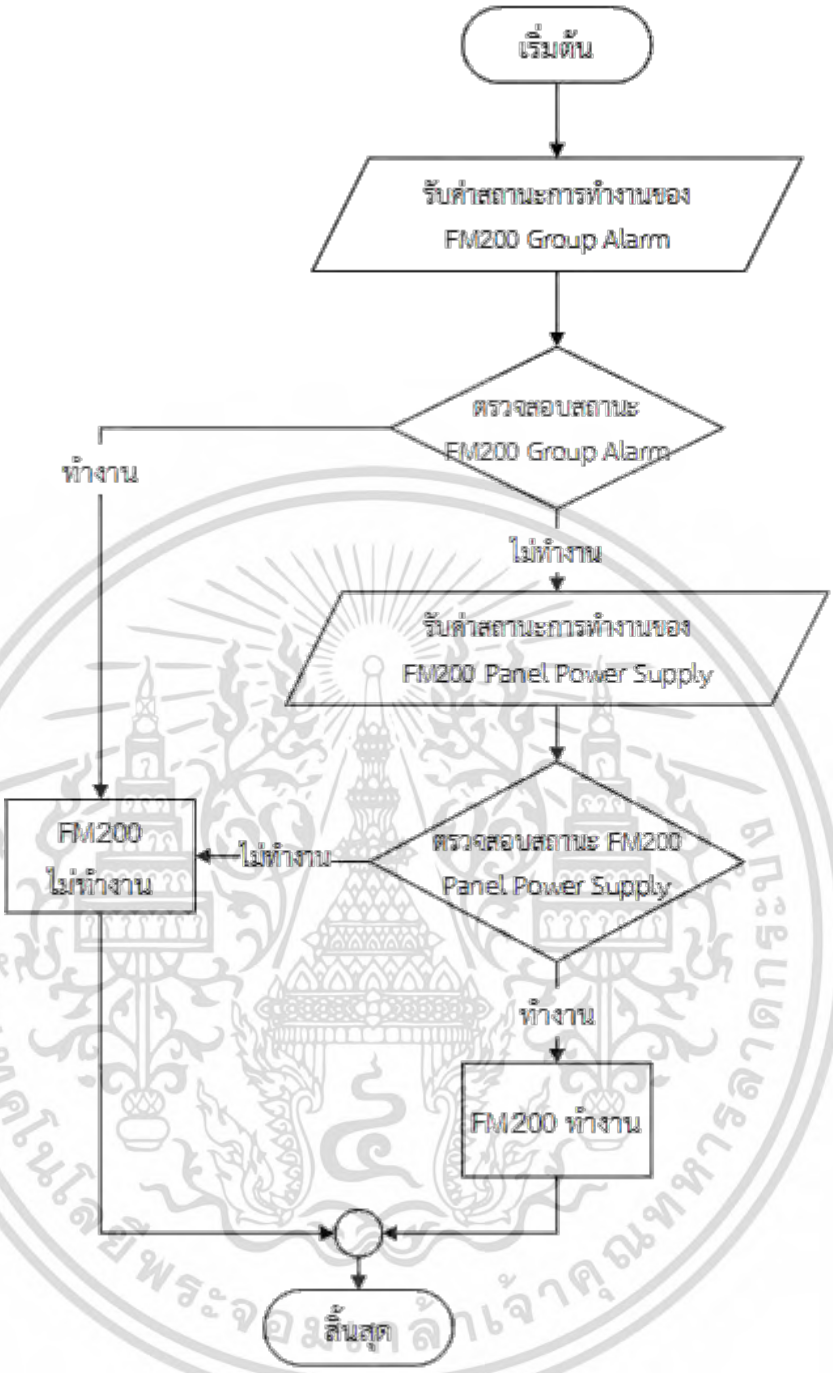
3.4.5.1 หลักการทำงานของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย

ในส่วนของการแจ้งเตือนอัคคีภัย ซอฟต์แวร์จะรับค่าการแจ้งเตือนไฟไหม้ ซึ่งหากมีเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ จะแสดงผลเป็นสี่เหลี่ยมสีแดงกระพริบ แต่หากไม่มีเหตุการณ์ไฟไหม้เกิดขึ้น จะไม่มีการแสดงผลใด ๆ บนหน้าซอฟต์แวร์ มีแผนผังงานแสดงดังรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 แผนผังงานการทำงานของการแจ้งเตือนอัคคีภัย

ในส่วนของ FM200 ซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบว่า FM200 มีข้อผิดพลาดหรือไม่ (FM200 Group Alarm) หากมีข้อผิดพลาด FM200 จะไม่ทำงาน แต่หากไม่มีข้อผิดพลาด FM200 จะสามารถรับค่าจาก FM200 Panel Power Supply เพื่อตรวจสอบว่า FM200 ทำงานอยู่หรือไม่ แสดงแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 แผนผังงานการทำงานของ FM200

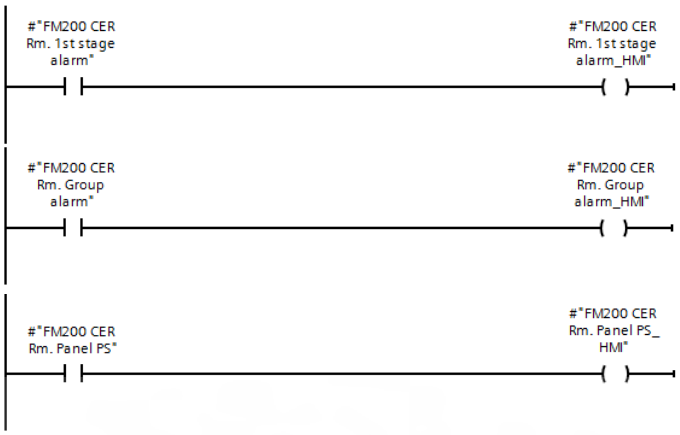
3.4.5.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย

การเขียนซอฟต์แวร์การแจ้งเตือนไฟไหม้จะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.55 คือ #Fire Alarm zone p/f เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การเกิดไฟไหม้บริเวณชานชาลา ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Fire Alarm zone p/f_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการแจ้งเตือนไฟไหม้บริเวณชานชาลา โดยจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Fire Alarm zone ground เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การเกิดไฟไหม้

บริเวณสถานี ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Fire Alarm zone ground_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการแจ้งเตือนไฟไหม้บริเวณสถานี โดยจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์ #Fire Alarm zone e&m Rm. เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การเกิดไฟไหม้บริเวณห้องควบคุมทุกห้อง ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Fire Alarm zone e&m Rm._HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการแจ้งเตือนไฟไหม้บริเวณห้องควบคุมทุกห้อง โดยจะแสดงบนหน้าจอซอฟต์แวร์

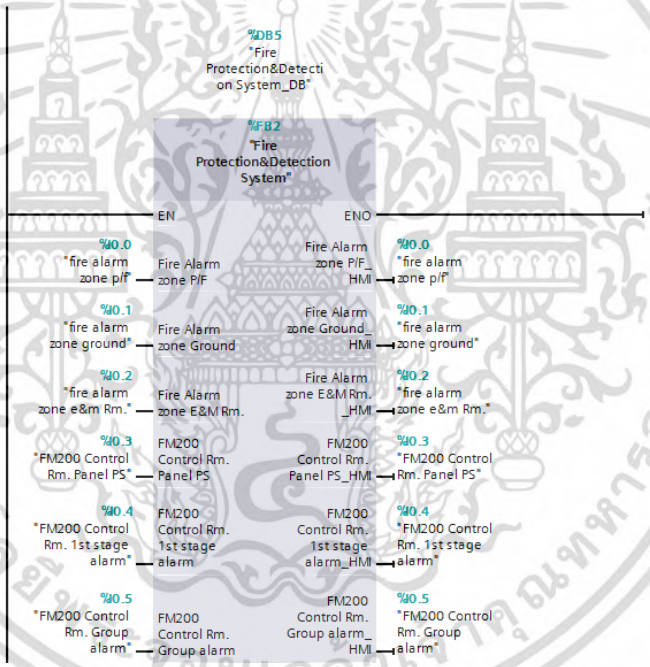
รูปที่ 3.55 ภาษาแลดเดอร์ของการแจ้งเตือนไฟไหม้

การเขียนซอฟต์แวร์การแจ้งเตือนไฟไหม้จะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.56 คือ #FM200 CER Rm. 1st stage alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การทำงานของ FM200 ที่อยู่ในสถานะ 1st stage ภายในห้องการสื่อสาร (Communication Room, CER Rm.) โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก #FM200 CER Rm. 1st stage alarm_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการทำงานของ FM200 ที่อยู่ในสถานะ 1st stage ภายในห้องการสื่อสาร ผ่านหน้าจอซอฟต์แวร์ #FM200 CER Rm. Group alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การทำงานผิดปกติของ FM200 ภายในห้องการสื่อสาร โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก #FM200 CER Rm. Group alarm_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการทำงานผิดปกติของ FM200 ภายในห้องการสื่อสาร ผ่านหน้าจอซอฟต์แวร์ #FM200 CER Rm. Panel PS เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การทำงานของแผงวงจรไฟฟ้าของ FM200 ภายในห้องการสื่อสาร โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก #FM200 CER Rm. Panel PS_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงการทำงานของแผงวงจรไฟฟ้าของ FM200 ผ่านหน้าจอซอฟต์แวร์

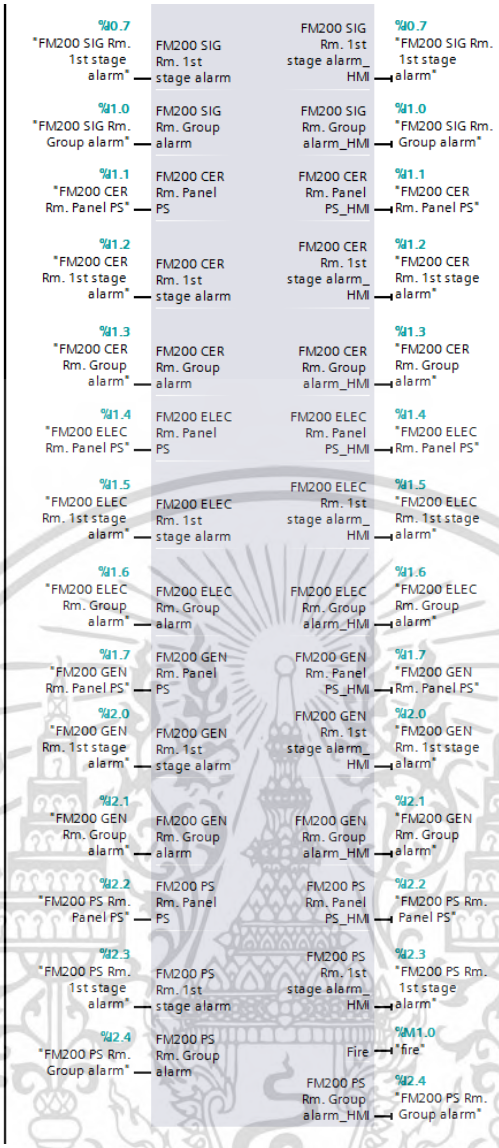


รูปที่ 3.56 ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของ FM200 1 ห้อง

โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.57



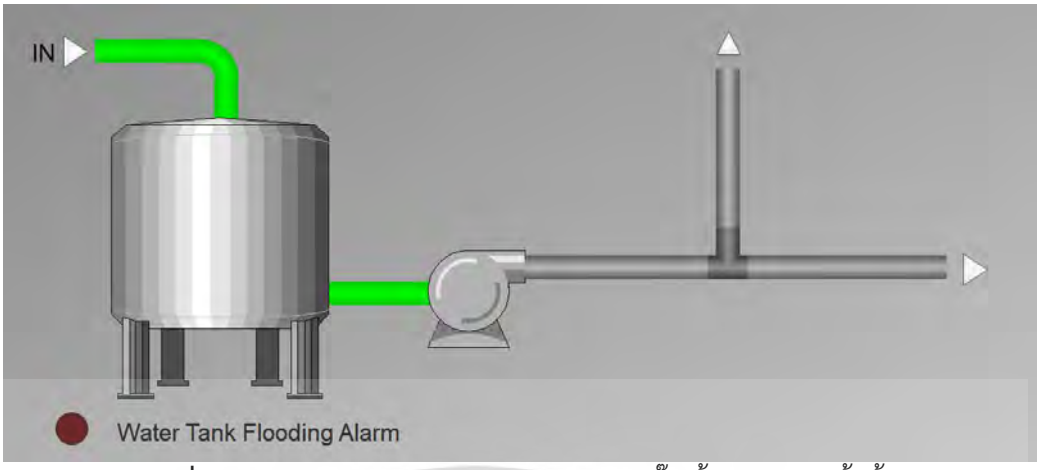
รูปที่ 3.57 ภาษาบล็อกของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย



รูปที่ 3.57 ภาษาบล็อกของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (ต่อ)

3.4.6 ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage System)

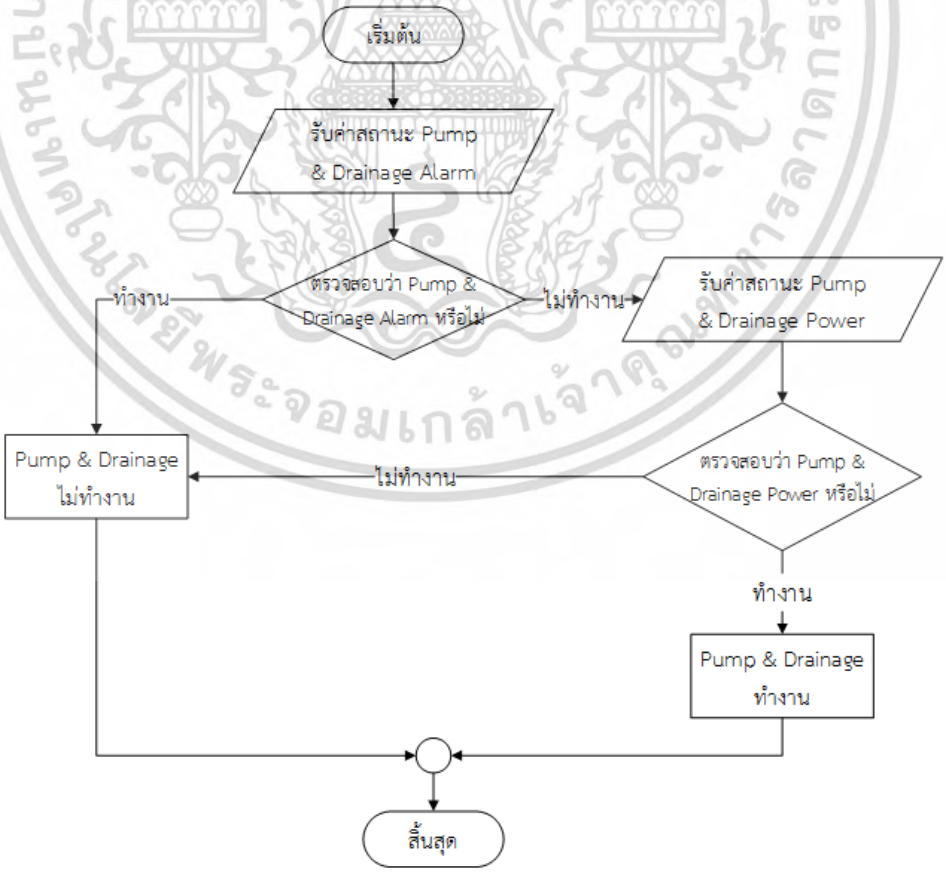
ในซอฟต์แวร์นี้ จะมีการแสดงผล 3 ส่วน ได้แก่ การแจ้งเตือนไฟที่ส่งไปเลี้ยงระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage Power) การแจ้งเตือนเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบปั๊มน้ำและน้ำทิ้ง (Pump & Drainage Alarm) และ การแจ้งเตือนเกี่ยวกับระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำ (Water Tank Flooding Alarm) แสดงดังรูปที่ 3.58



รูปที่ 3.58 หน้าแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

3.4.6.1 หลักการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

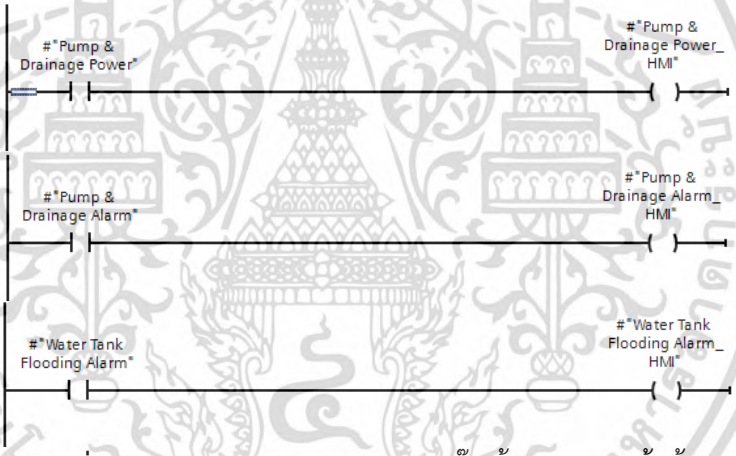
ในซอฟต์แวร์นี้ จะทำการรับค่าสถานะของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage) แล้วทำการตรวจสอบว่า มีข้อผิดพลาดหรือไม่ (FM200 Group Alarm) หากมีข้อผิดพลาด FM200 จะไม่ทำงาน แต่หากไม่มีข้อผิดพลาด จะสามารถรับค่าจาก Pump & Drainage Power เพื่อตรวจสอบว่า FM200 ทำงานอยู่หรือไม่ แสดงแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.59



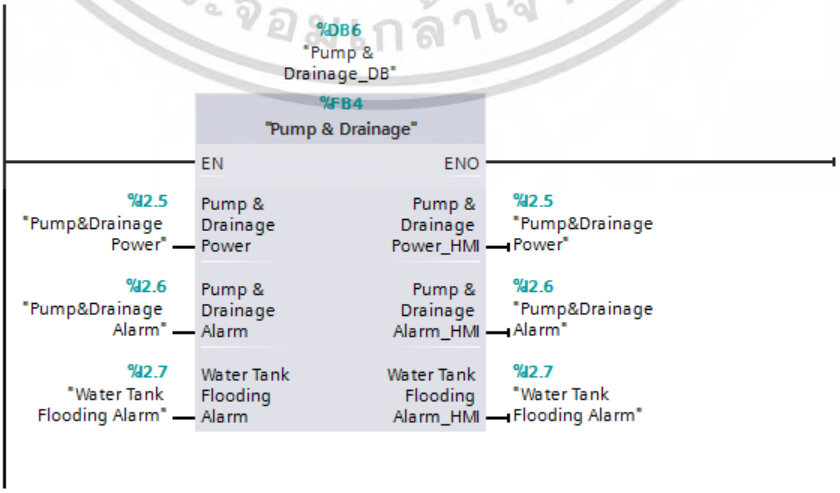
รูปที่ 3.59 แผนผังงานการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

3.4.6.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งจะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.60 คือ #Pump & Drainage Power เป็นอินพุตการสั่งงานให้ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงาน ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Pump & Drainage Power_HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลให้ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงาน ผ่านหน้าซอฟต์แวร์ #Pump & Drainage Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การทำงานผิดปกติของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Pump & Drainage Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลการทำงานผิดปกติของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งผ่านหน้าซอฟต์แวร์ #Water Tank Flooding Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์ระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกินระดับที่กำหนดไว้ ที่รับค่าจากสวิตช์ภายนอก #Water Tank Flooding_HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลว่าระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกินระดับที่กำหนดไว้ โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.61



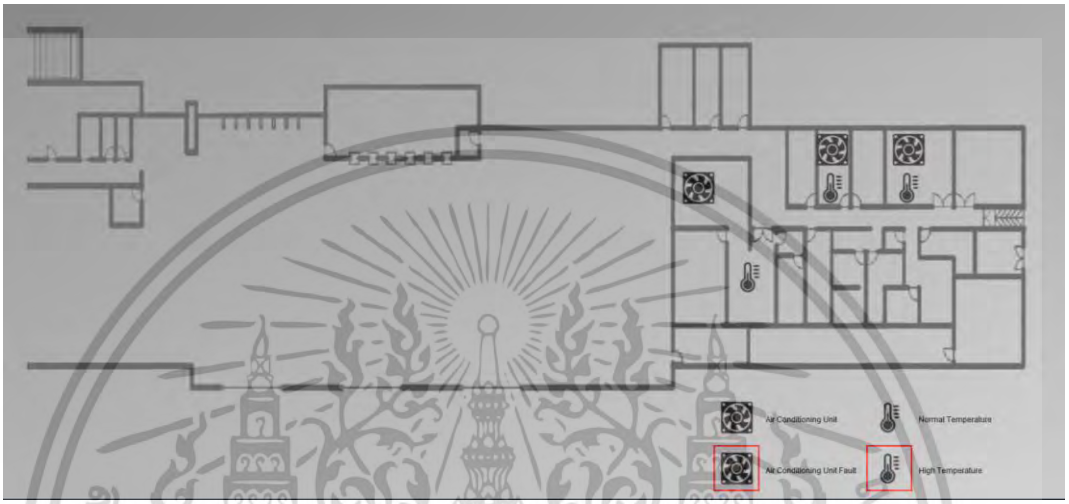
รูปที่ 3.60 ภาษาแลดเดอร์ของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง



รูปที่ 3.61 ภาษาบล็อกของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

3.4.7 ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System)

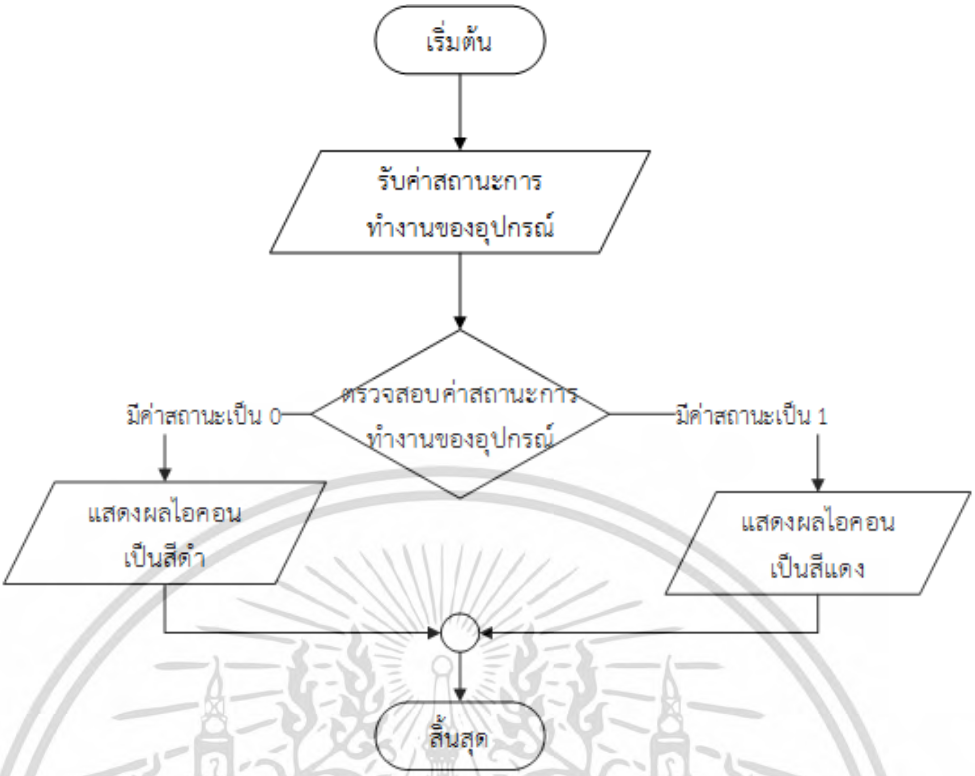
ในระบบนี้จะแสดงผล 2 อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioning Unit) และเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยจะมีการแสดงผลในห้อง 3 ห้อง ได้แก่ ห้องควบคุม (Control Room) ห้องการสื่อสาร (Communication Room) และห้องส่งสัญญาณ (Signaling Room) ดังรูปที่ 3.62



รูปที่ 3.62 ส่วนแสดงผลของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

3.4.7.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

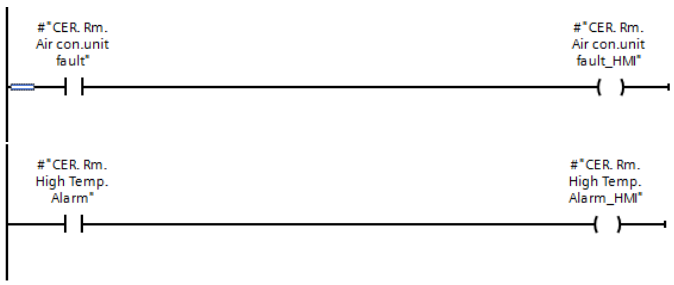
ในส่วนของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ซอฟต์แวร์จะทำการรับค่าจากเครื่องปรับอากาศและเครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งหากอุปกรณ์ใดทำงานปกติ จะแสดงผลเป็นไอคอนสีดำ แต่ถ้าหากอุปกรณ์ใดมีความผิดพลาดหรือชำรุด จะแสดงผลเป็นไอคอนสีแดง และมีแผนผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.63



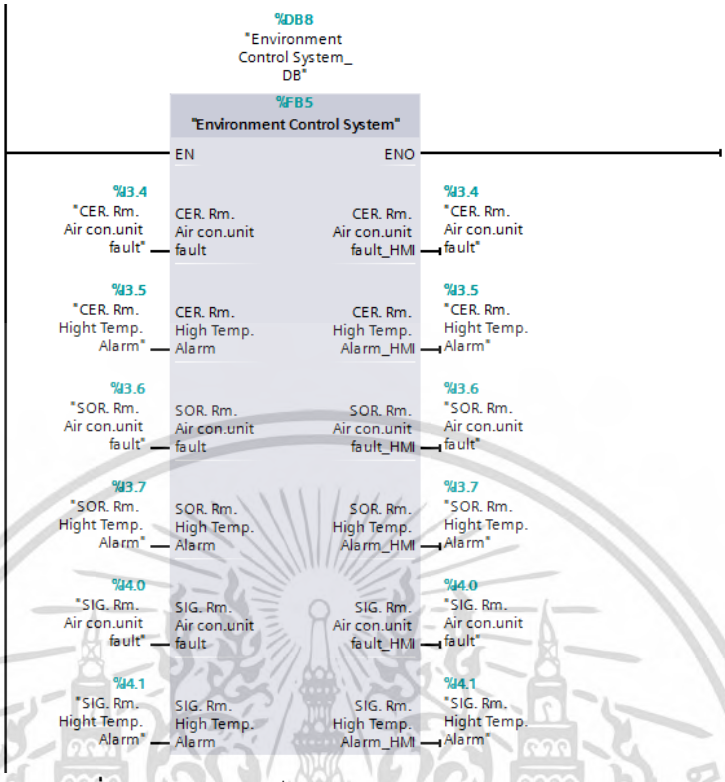
รูปที่ 3.63 แผนผังงานการทำงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

3.4.7.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมจะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.64 คือ #CER Rm. Air con.unit fault เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์เมื่อเครื่องปรับอากาศภายในห้องการสื่อสารชำรุด โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CER Rm. Air con.unit fault_HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลการจำลองเหตุการณ์เมื่อเครื่องปรับอากาศภายในห้องการสื่อสารชำรุด ผ่านหน้าซอฟต์แวร์ #CER Rm. High Temp. Alarm เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์เมื่อภายในห้องการสื่อสารมีอุณหภูมิที่สูงเกินกำหนด โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก #CER Rm. High Temp. Alarm_HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลการจำลองเหตุการณ์เมื่อภายในห้องการสื่อสารมีอุณหภูมิที่สูงเกินกำหนด ผ่านหน้าซอฟต์แวร์โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อก ดังรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.64 ตัวอย่างภาษาแลดเดอร์ของเครื่องปรับอากาศและเครื่องวัดอุณหภูมิในห้อง 1 ห้อง



รูปที่ 3.65 ภาษาบล็อกของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

3.4.8 ระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Doors System)

โดยจะแบ่งประตูกั้นชานชาลาออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งที่รางไปทางทิศตะวันตก (Westbound Line) และฝั่งที่รางไปทางทิศตะวันออก (Eastbound Line) ซึ่งในแต่ละฝั่งจะมีประตูชานชาลาฉุกเฉิน (Emergency Walkway Door, EWD) แสดงดังรูปที่ 3.66

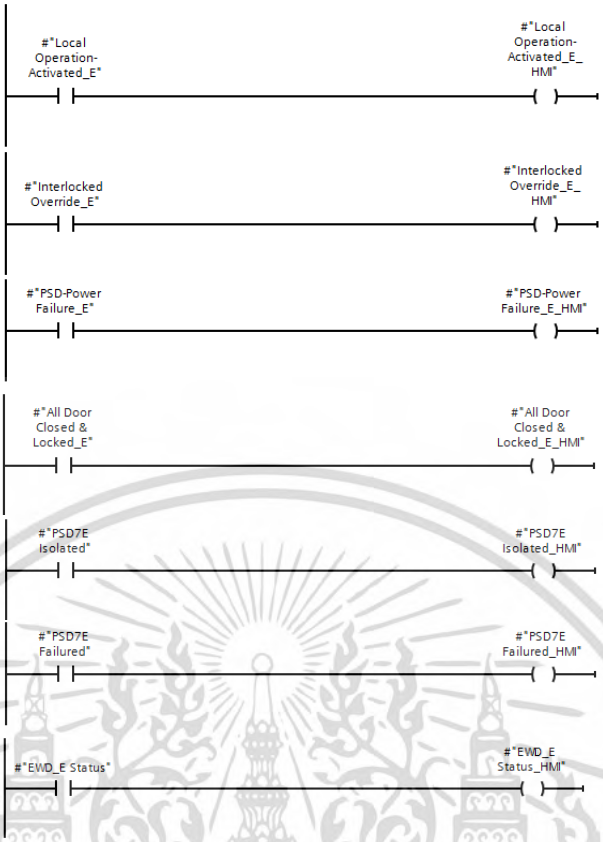
รูปที่ 3.66 ส่วนแสดงผลของระบบประตูกั้นชานชาลา

3.4.8.1 หลักการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลา

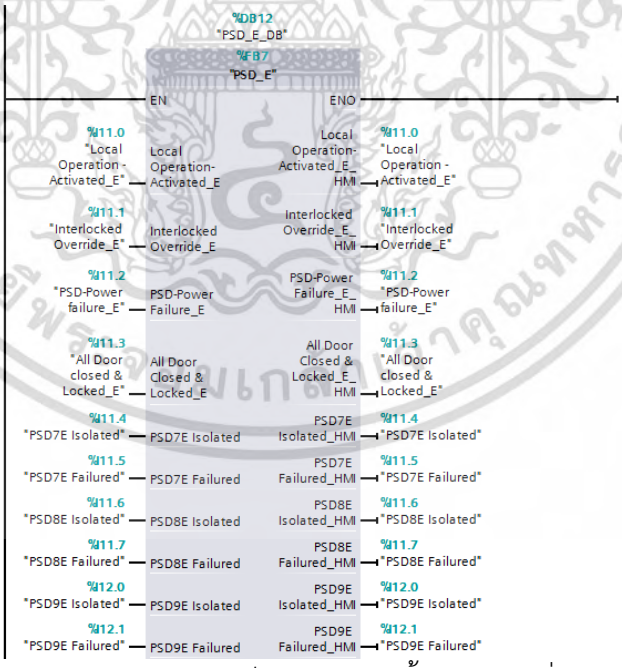
ในส่วนของระบบประตูกั้นชานชาลา ซอฟต์แวร์จะสามารถรับค่าจากสวิตช์ภายนอก โดยจะแสดงสถานะดังต่อไปนี้ การจำลองเหตุการณ์เมื่อเจ้าหน้าที่ควบคุมประตูกั้นชานชาลาด้วยตนเองที่ตู้ควบคุม (Local Operation - Activated) การจำลองเหตุการณ์การควบคุมระหว่างระบบประตูกั้นชานชาลาและสัญญาณจากรางรถไฟ (Interlocked Override) การจำลองเหตุการณ์เมื่อแหล่งจ่ายไฟให้ประตูกั้นชานชาลาทำงานผิดปกติ (PSD – Power Failure) ประตูกั้นชานชาลาทุกบานปิดและล็อคสนิท (All Door Closed & Locked) การจำลองเหตุการณ์การตัดไฟที่ประตูกั้นชานชาลา (PSD Isolated) การจำลองเหตุการณ์การชำรุดของประตูกั้นชานชาลา (PSD Failure) และการเปิดปิดของประตูชานชาลาฉุกเฉิน (EWD Status)

3.4.8.2 การเขียนซอฟต์แวร์ระบบประตูกั้นชานชาลา

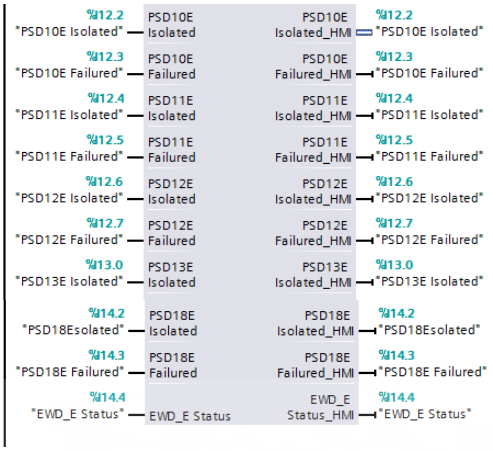
การเขียนซอฟต์แวร์ของระบบประตูกั้นชานชาลาจะใช้ 2 ภาษา คือ ภาษาแลดเดอร์และภาษาบล็อก ซึ่งในระบบนี้จะมีการเขียนภาษาแลดเดอร์ดังรูปที่ 3.67 คือ #Local Operation – Activated_E เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์เมื่อเจ้าหน้าที่ควบคุมประตูกั้นชานชาลาด้วยตนเองที่ตู้ควบคุม โดยรับค่าจากสวิตช์ภายนอก # Local Operation – Activated_E _HMI เป็นเอาต์พุตการแสดงผลการจำลองเหตุการณ์เมื่อเจ้าหน้าที่ควบคุมประตูกั้นชานชาลาด้วยตนเองที่ตู้ควบคุม #Interlocked Override_E เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การควบคุมระหว่างระบบประตูกั้นชานชาลาและสัญญาณจากรางรถไฟ #Interlocked Override_E_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์การควบคุมระหว่างระบบประตูกั้นชานชาลาและสัญญาณจากรางรถไฟ #PSD-Power Failure_E เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์เมื่อแหล่งจ่ายไฟให้ประตูกั้นชานชาลาทำงานผิดปกติ #PSD-Power Failure_E _HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์เมื่อแหล่งจ่ายไฟให้ประตูกั้นชานชาลาทำงานผิดปกติ #All Door Closed & Locked_E เป็นอินพุตแสดงสถานะว่าประตูกั้นชานชาลาทุกบานปิดและล็อคสนิท #All Door Closed & Locked_E_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะว่าประตูกั้นชานชาลาทุกบานปิดและล็อคสนิท #PSD7E Isolated เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การตัดไฟที่ประตูกั้นชานชาลา #PSD7E Isolated_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์การตัดไฟที่ประตูกั้นชานชาลา #PSD7E Failure เป็นอินพุตการจำลองเหตุการณ์การชำรุดของประตูกั้นชานชาลา #PSD7E Failure_HMI เป็นเอาต์พุตการจำลองเหตุการณ์การชำรุดของประตูกั้นชาน #EWD_E Status เป็นอินพุตแสดงสถานะการเปิดปิดของประตูชานชาลาฉุกเฉิน #EWD_E Status_HMI เป็นเอาต์พุตแสดงสถานะการเปิดปิดของประตูชานชาลาฉุกเฉิน โดยได้ทำการแปลงภาษาแลดเดอร์ให้เป็นภาษาบล็อกดังรูปที่ 3.68



รูปที่ 3.67 ตัวอย่างภาษาของระบบประตูกั้นชานชาลา



รูปที่ 3.68 ตัวอย่างภาษาบล็อกของประตูกั้นชานชาลาฝั่งตะวันออก



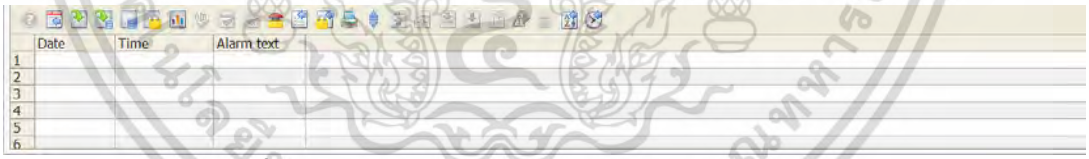
รูปที่ 3.68 ตัวอย่างภาษาบล็อกของประตูกั้นชานชาลาฝั่งตะวันออก (ต่อ)

3.5 การออกแบบการเก็บประวัติการแจ้งเตือนการทำงาน

ในส่วนของการเก็บประวัติการทำงานนั้น เป็นส่วนหนึ่งของซอฟต์แวร์ที่จะแสดงและบันทึกเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นโดยจะแสดงวัน (Date) เวลา (Time) ผู้ใช้งาน (User) ชื่ออุปกรณ์ (Equipment Name) และค่าการทำงานของอุปกรณ์ (Equipment Value)

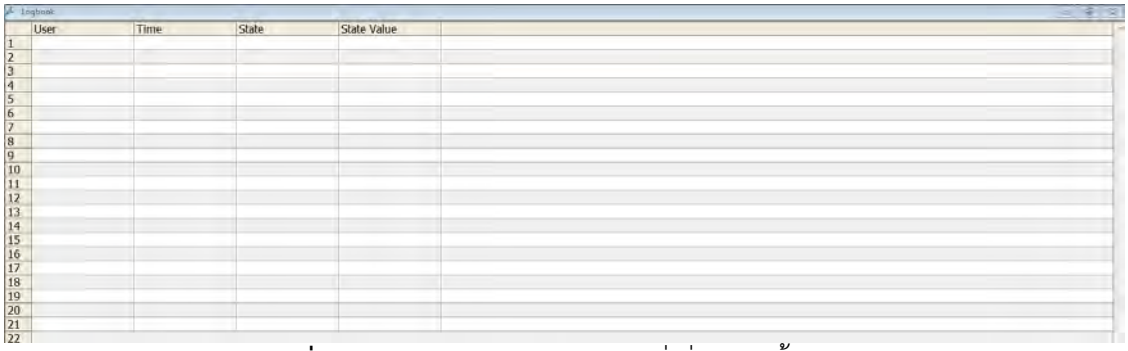
ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. Alarm log เป็นการบันทึกการแจ้งเตือนจากระบบย่อยต่าง ๆ เช่น การแจ้งเตือนจากระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door, PSD) การแจ้งเตือนจากระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System) เป็นต้น ดังรูปที่ 3.69



รูปที่ 3.69 ตารางบันทึกการแจ้งเตือนจากระบบย่อยต่าง ๆ

2. Event log เป็นการบันทึกเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบ รวมถึงการส่งค่าคำสั่งเอาต์พุต (Output) และรับค่าคำสั่งอินพุต (Input) จากอุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับสถานะการแจ้งเตือน เช่น การลงชื่อเข้าใช้งานของผู้ใช้งาน (Login) การแสดงการทำงานของแสงสว่าง เป็นต้น ดังรูปที่ 3.70


Logbook

	User	Time	State	State Value
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

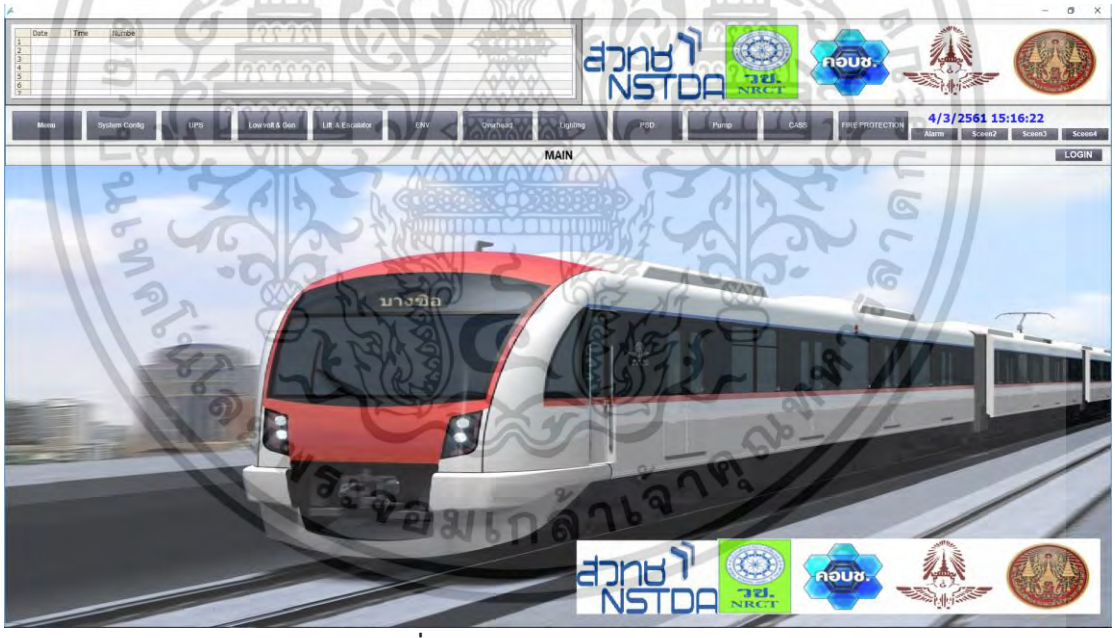
รูปที่ 3.70 ตารางบันทึกเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการออกแบบโปรแกรม และผลของการใช้งานโปรแกรมโดยจะแบ่งผลการทดลองเป็น 10 ส่วน ได้แก่ หน้าหลักของโปรแกรม (Home Page) หน้าการเก็บประวัติการทำงานทั้งหมด (Logbook) ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply) ระบบแสงสว่าง (Lighting System) ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System) ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System) ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System) ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage) ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System) และระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Doors System)

4.1 หน้าหลักของโปรแกรม (Home Page)



รูปที่ 4.1 หน้าหลักของโปรแกรม

โปรแกรมจะมีหน้าหลัก ทำหน้าที่เป็นหน้าจอหลักของโปรแกรมที่สามารถเข้าใช้งานหน้าต่าง (Window) ของโปรแกรมได้ทุกระบบและในหน้านี้จะมีหน้าต่างย่อย แสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปหน้าจอหลักของโปรแกรมจะเห็นปุ่มการใช้งานต่าง ๆ เพื่อไปยังหน้าต่างย่อยของระบบต่าง ๆ และมีการแสดงวันและเวลา อีกทั้งมีส่วนที่เก็บประวัติข้อมูลการแจ้งเตือนทั้งหมด (Alarm) และยังมีปุ่มสำหรับเปิดหน้าจอที่สอง หน้าจอที่สาม และหน้าจอที่สี่ ในกรณีที่มีหน้าจอที่ต้องมอนิเตอร์หลายหน้าจอ และการ

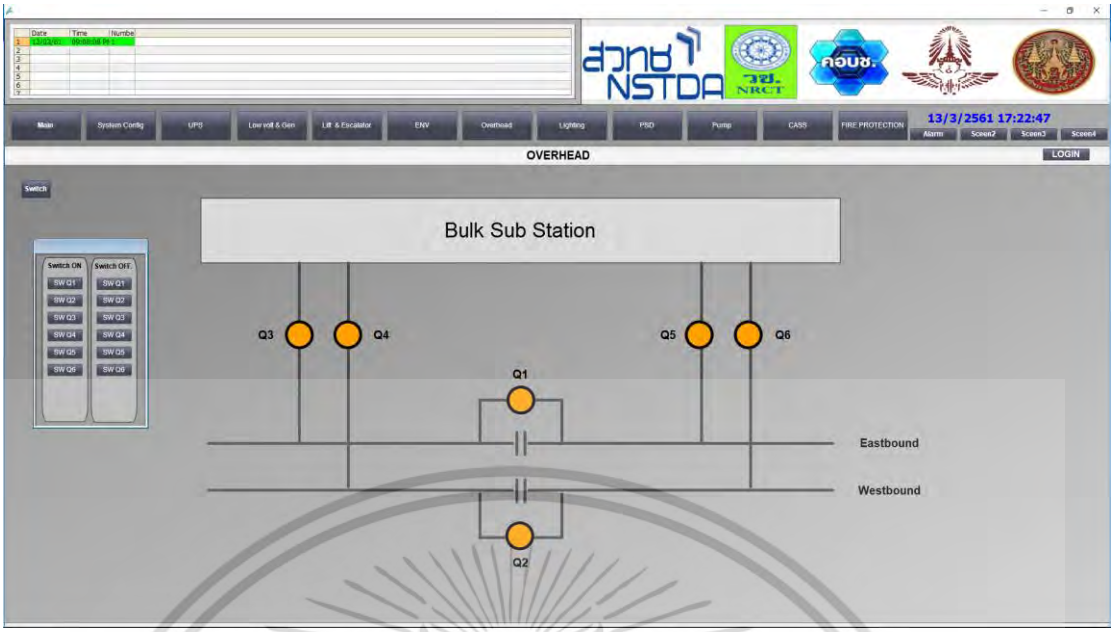
จะใช้งานเมนูปุ่มระบบต่าง ๆ นี้ จะต้องทำการล็อกอินก่อน โดยเมื่อกดปุ่ม LOGIN จะปรากฏหน้าต่างให้ใส่รหัสผู้ใช้งาน และพาสเวิร์ดแสดงดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 หน้าแสดงเมื่อต้องทำการล็อกอิน

4.2 ระบบควบคุมการจ่ายไฟ (Power Supply System)

4.2.1 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ (Overhead Catenary)

การจ่ายไฟให้กับรถไฟจะใช้หลักการของการจ่ายไฟเหนือหัว (Overhead Catenary) เป็นระบบการจ่ายไฟที่ใช้กับรถไฟทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งจะประกอบด้วยสายลวดตัวนำเปลือย แขวนไว้กับลูกถ้วยฉนวนซึ่งยึดตรึงที่เสากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขารับกระแสไฟฟ้าเหนือหัวที่เรียกว่า สาลี่ (Pantograph) เข้าสู่ระบบขับเคลื่อนขบวนรถ เพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้า โดยหน้าต่างของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟจะแสดงดังรูปที่ 4.3 และรายละเอียดการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายไฟ จะแสดงดัง I/O List ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 หน้าต่างของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

ตารางที่ 4.1 I/O List แสดงการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าทั้งหมด

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-Overhead Catenary System				
1	OCS Switch Q1	Switching State	OFF	DO	Q0.1
2	OCS Switch Q1	Switching State	ON	DO	Q0.0
3	OCS Switch Q1	Switching State	OFF	DI	I0.1
4	OCS Switch Q1	Switching State	ON	DI	I0.0
5	OCS Switch Q2	Switching State	OFF	DO	Q0.3
6	OCS Switch Q2	Switching State	ON	DO	Q0.2
7	OCS Switch Q2	Switching State	OFF	DI	I0.3
8	OCS Switch Q2	Switching State	ON	DI	I0.2
9	OCS Switch Q3	Switching State	OFF	DO	Q0.5
10	OCS Switch Q3	Switching State	ON	DO	Q0.4
11	OCS Switch Q3	Switching State	OFF	DI	I0.5
12	OCS Switch Q3	Switching State	ON	DI	I0.4
13	OCS Switch Q4	Switching State	OFF	DO	Q0.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-Overhead Catenary System				
14	OCS Switch Q4	Switching State	ON	DO	Q0.6
15	OCS Switch Q4	Switching State	OFF	DI	I0.7
16	OCS Switch Q4	Switching State	ON	DI	I0.6
17	OCS Switch Q5	Switching State	OFF	DO	Q1.1
18	OCS Switch Q5	Switching State	ON	DO	Q1.0
19	OCS Switch Q5	Switching State	OFF	DI	I1.1
20	OCS Switch Q5	Switching State	ON	DI	I1.0
21	OCS Switch Q6	Switching State	OFF	DO	Q1.3
22	OCS Switch Q6	Switching State	ON	DO	Q1.2
23	OCS Switch Q6	Switching State	OFF	DI	I1.3
24	OCS Switch Q6	Switching State	ON	DI	I1.2

4.2.1.1 การใช้งานระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

จากรูปที่ 4.3 แสดงวงจรการจ่ายไฟให้กับรางรถไฟ 2 ราง ได้แก่ รางที่ไปทางทิศตะวันตก (Westbound Line) และรางที่ไปทางทิศตะวันออก (Eastbound Line) โดยในเริ่มแรกสวิตช์ที่วงจรทั้งหมดจะมีสวิตช์ที่มีสถานะเป็นสีส้ม คือ ยังไม่มีการใช้งานปิดหรือเปิดสวิตช์ และในวงจรจะมีสวิตช์ต่าง ๆ คือ

1. สวิตช์จ่ายไฟ (Switch) มีไว้ในกรณีตัวจ่ายไฟเหนือหัว (Overhead Contact System) ในแต่ละฝั่งของรางรถไฟเกิดการชำรุดโดยโปรแกรมสามารถสั่งงานสวิตช์ให้เป็นวงจรปิด (Close Circuit) ได้ จะทำให้ตัวจ่ายไฟเหนือหัวอีกฝั่งของรางรถไฟสามารถจ่ายไฟฉุกเฉินได้ทันที

- OCS Q1 (Overhead Contact System no.1) จะแบ่งฝั่งวงจรการจ่ายไฟของรางรถไฟ Eastbound Line (อยู่ระหว่าง OCS Q3 และ OCS Q5)

- OCS Q2 (Overhead Contact System no.2) จะแบ่งฝั่งวงจรการจ่ายไฟของรางรถไฟ Westbound Line (อยู่ระหว่าง OCS Q4 และ OCS Q6)

2. วงจรตัวจ่ายไฟเหนือหัว 4 วงจร ได้แก่

- OCS Q3 (Overhead Contact System no.3) คือ วงจรจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 3

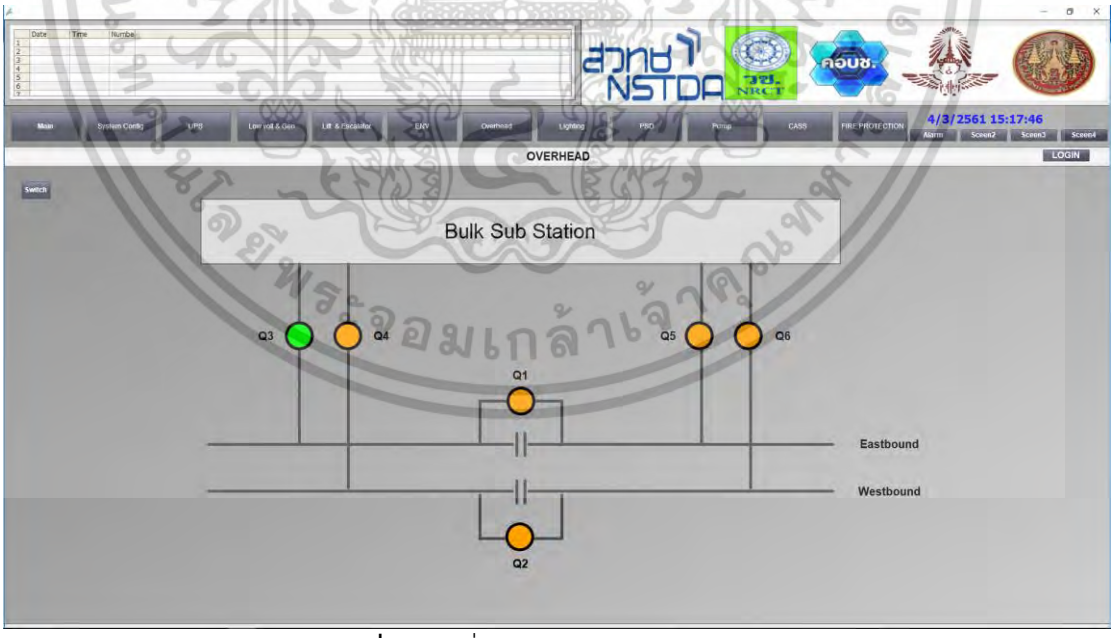
- OCS Q4 (Overhead Contact System no.4) คือ วงจรจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 4
- OCS Q5 (Overhead Contact System no.5) คือ วงจรจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 5
- OCS Q6 (Overhead Contact System no.6) คือ วงจรจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 6

โดยแสดงลำดับการจ่ายไฟของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟได้ดังนี้

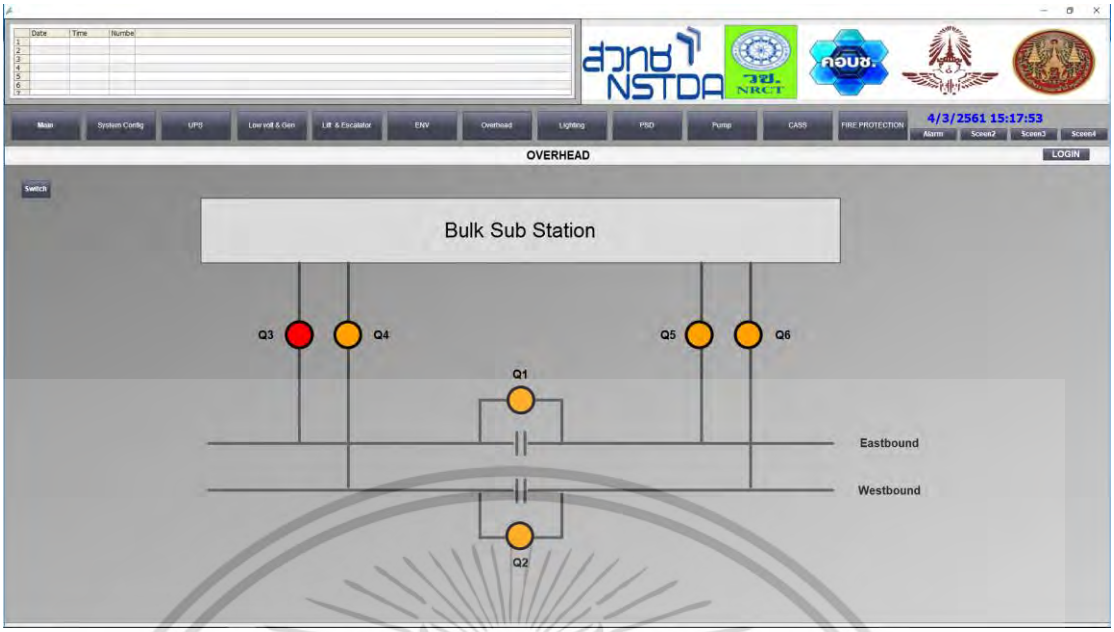
สถานีไฟฟ้าย่อย (Bulk Substation) จะทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับวงจรตัวจ่ายไฟเหนือหัวทั้ง 4 วงจร และหากในแต่ละฝั่งของรางรถไฟเกิดเหตุฉุกเฉิน โปรแกรมสามารถสั่งงานสวิตช์ให้เป็นวงจรปิด (Close Circuit) ได้

4.2.1.2 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบควบคุมการจ่ายไฟให้รางรถไฟ

- กรณีสั่งจ่ายไฟ หรือเปิดสวิตช์ Q3 จะสามารถสั่งการได้โดยกดปุ่ม SWITCH แล้วเลือก Q3 ON จะเป็นการสั่งการจ่ายไฟ หรือเปิดสวิตช์ Q3 ให้กับรางรถไฟ Eastbound Line รางเดียวนั่นคือการทำงานของ DO แต่โดยปกติแล้ว เมื่อเราสั่งการเปิดสวิตช์ไปนั้นเราจะไม่ทราบว่าคำสั่งนั้นจะไปถึงอุปกรณ์สวิตช์หรือไม่ จึงต้องมี Feedback การทำงานกลับมาที่ระบบโดยผ่านพอร์ต DI โดยในที่นี้จะเป็นการนำไฟ 24 VDC มาเชื่อมต่อกับพอร์ต DI ตามแท็กที่กำหนดไว้ใน I/O List โดยในกรณีนี้จะ เชื่อมต่อกับแท็ก I0.4 จะเป็นการสั่งเปิดสวิตช์จะเห็นได้ว่าสวิตช์ Q3 จะเป็นสีเขียว และสั่งปิดไฟ โดยการนำไฟ 24 VDC เชื่อมต่อกับแท็ก I0.5 จะเป็นการปิดสวิตช์ Q3 โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

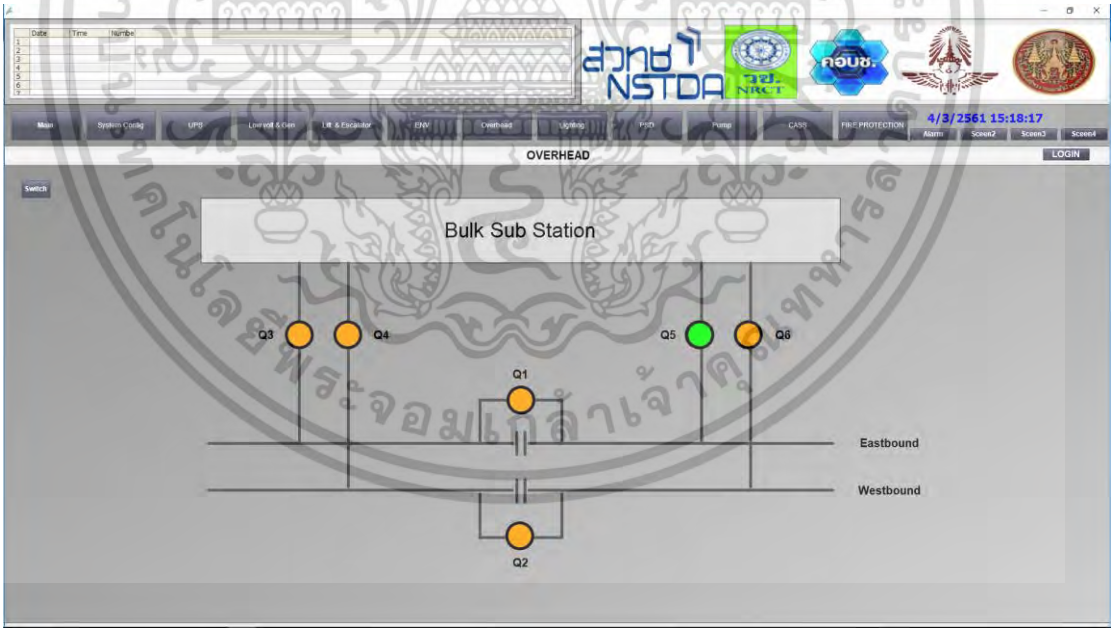


รูปที่ 4.4 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q3

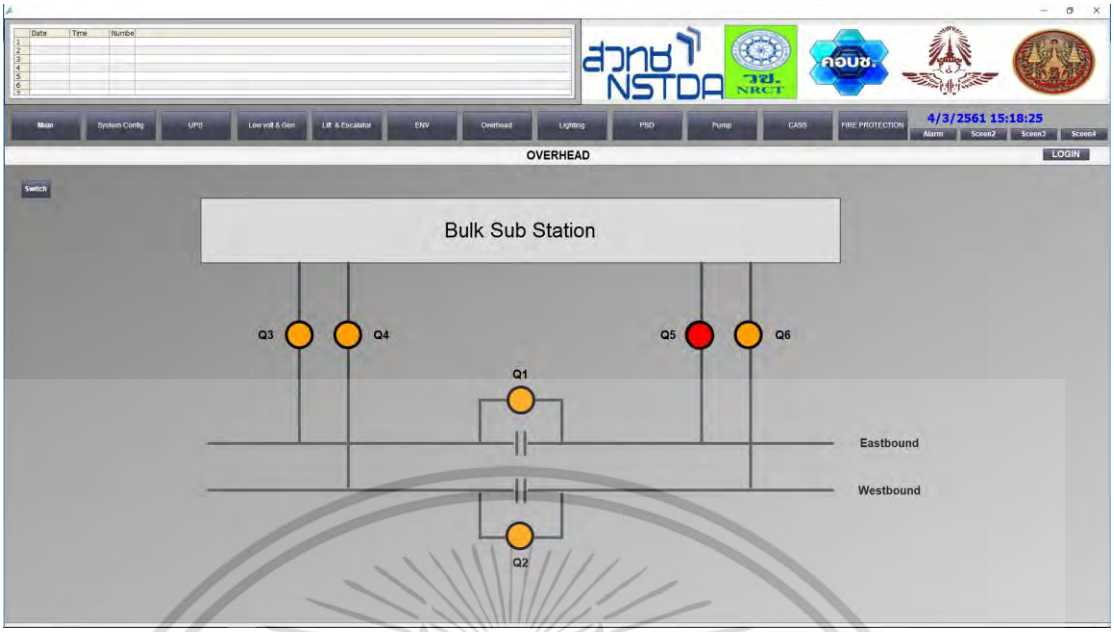


รูปที่ 4.5 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q3

- กรณีสั่งจ่ายไฟ หรือเปิดสวิตช์ Q5 ให้กับรางรถไฟ Eastbound Line รางเดียว และสั่งปิดไฟ หรือปิดสวิตช์ Q5 แสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

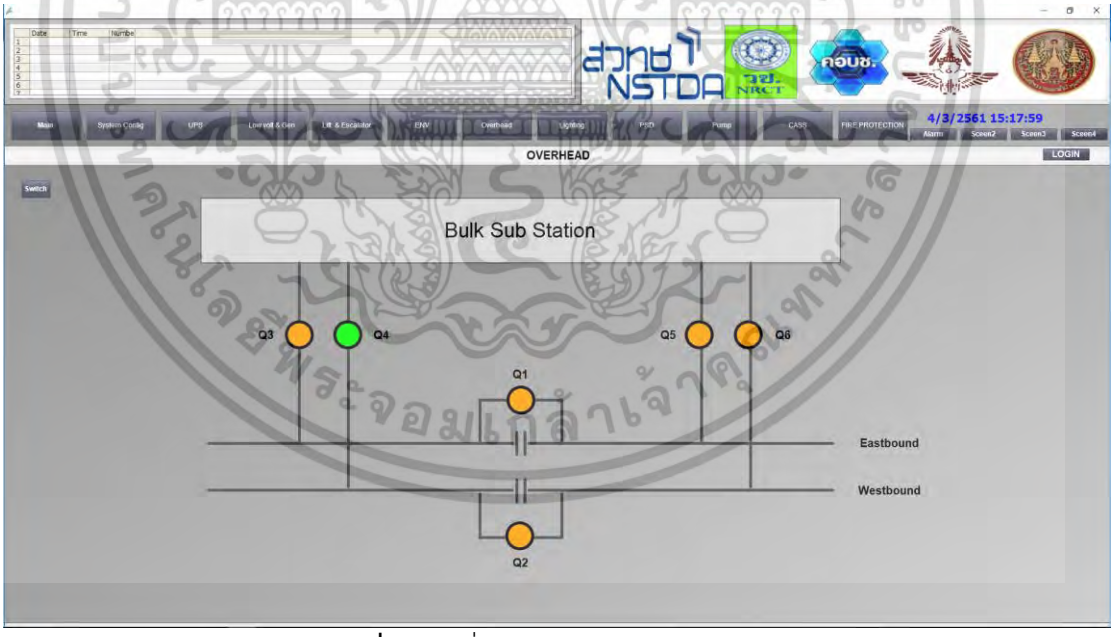


รูปที่ 4.6 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q5

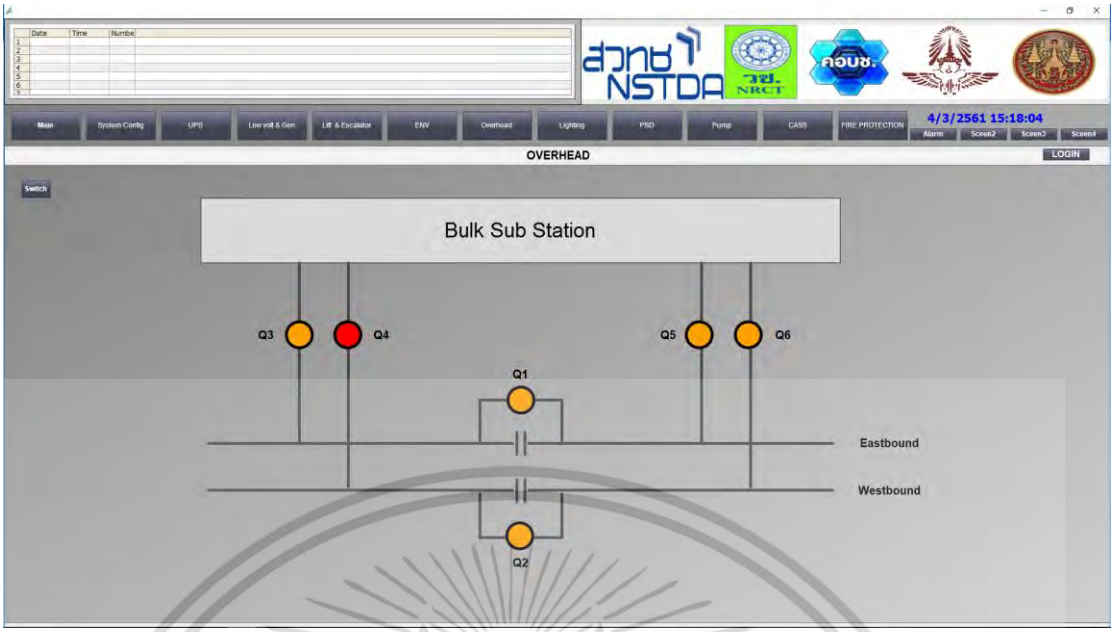


รูปที่ 4.7 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q5

- กรณีสั่งจ่ายไฟ หรือเปิดสวิตช์ Q4 ให้กับรางรถไฟ Westbound Line รางเดียว และสั่งปิดไฟ หรือปิดสวิตช์ Q4 แสดงดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

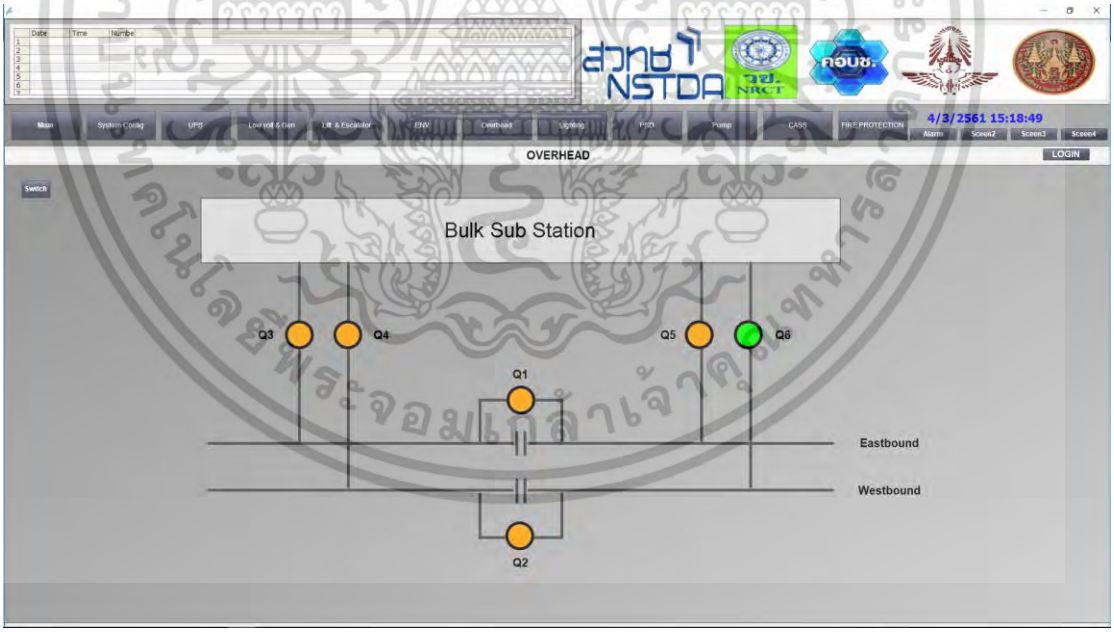


รูปที่ 4.8 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q4

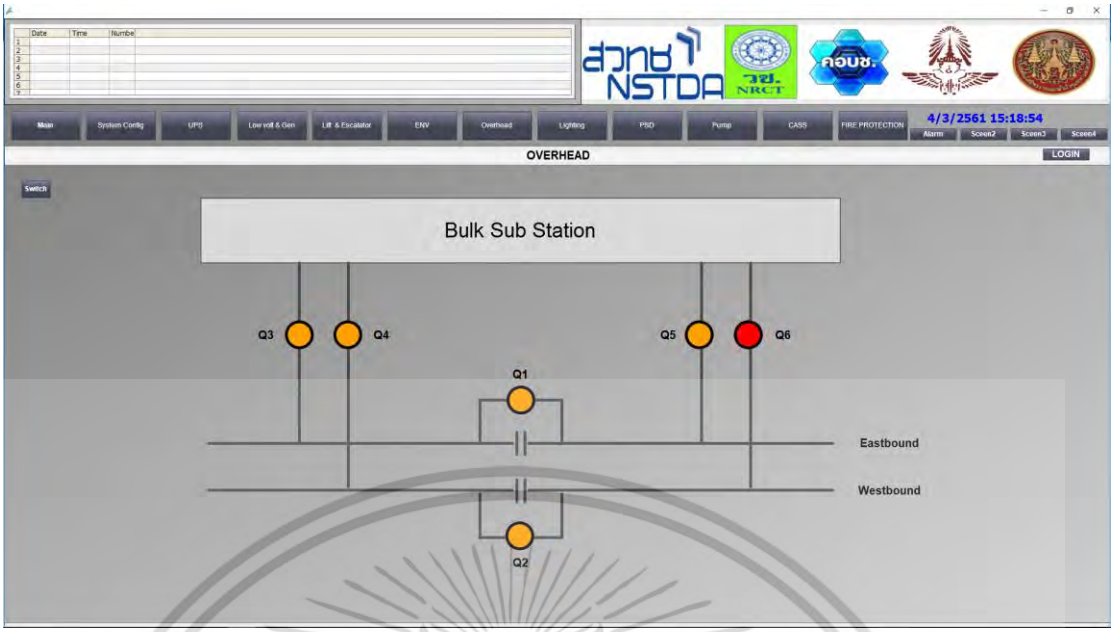


รูปที่ 4.9 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q4

- กรณีสั่งจ่ายไฟ หรือเปิดสวิตช์ Q6 ให้กับรางรถไฟ Westbound Line รางเดียว และสั่งปิดไฟ หรือปิดสวิตช์ Q6 แสดงดังรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11



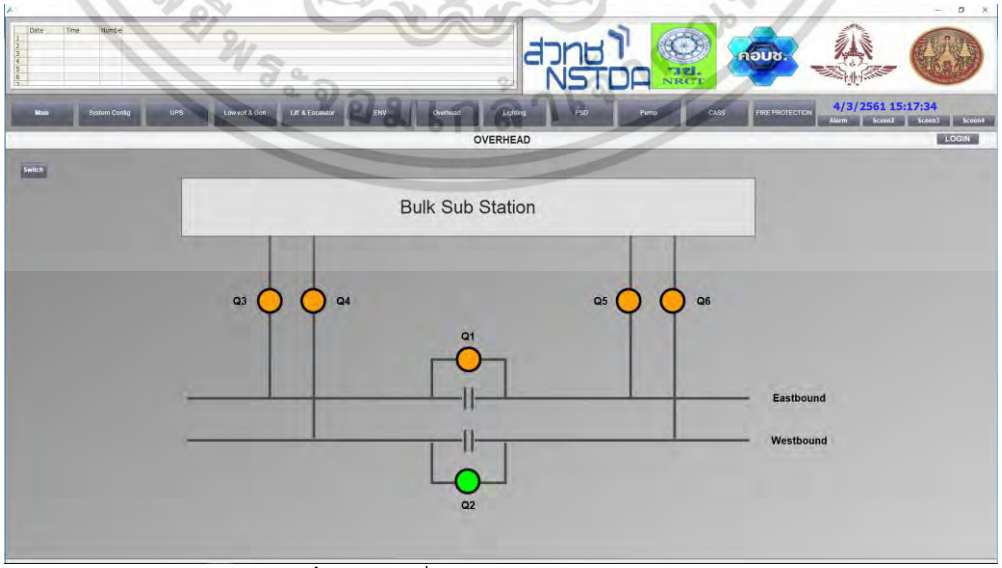
รูปที่ 4.10 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q6



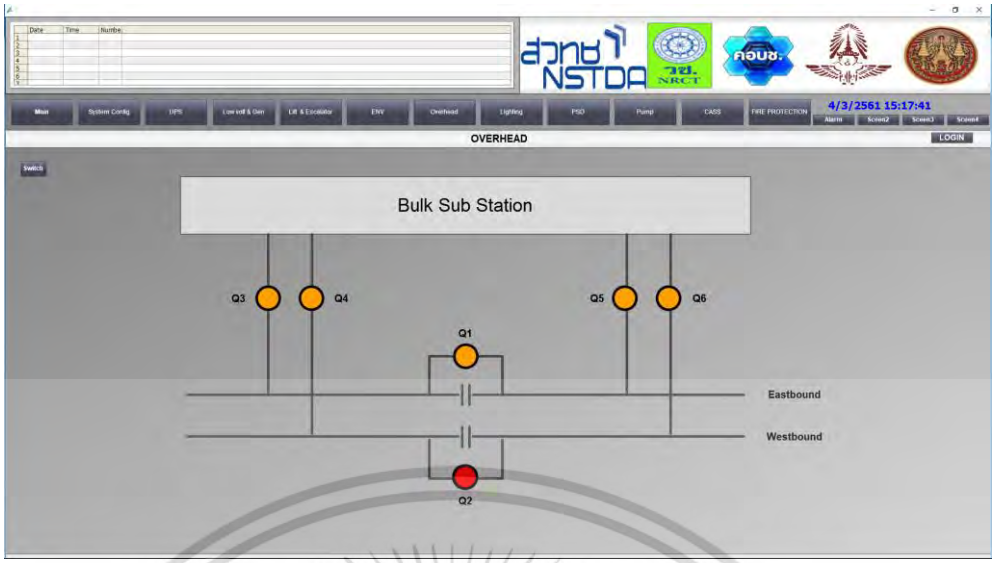
รูปที่ 4.11 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q6

เห็นได้ว่า Eastbound Line จะรับกระแสไฟฟ้าเข้าสู่รางได้นั้นจะต้องได้รับการจ่ายไฟจากวงจรตัวจ่ายไฟเหนือหัว (OCS Q3 และ OCS Q5) ซึ่งได้รับกระแสไฟฟ้ามาจากสถานีไฟฟ้าอีกที (Bulk Substation)

- การควบคุมเปิดสวิตช์ Q2 (OCS Q2) โดยที่เมื่อเปิดจะเป็นสีเขียว และเป็นสีแดงเมื่อปิด จะใช้งานในกรณีที่ตัวจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 4 (OCS Q4) หรือ 6 (OCS Q6) ไม่สามารถใช้งานได้และต้องการสั่งโปรแกรมจ่ายไฟให้กับรางรถไฟ Westbound Line รางเดียว โดยเมื่อทำการเปิดสวิตช์ Q2 จะเป็นสีเขียว ดังรูปที่ 4.12 และเมื่อปิดจะเป็นสีแดง ดังรูปที่ 4.13

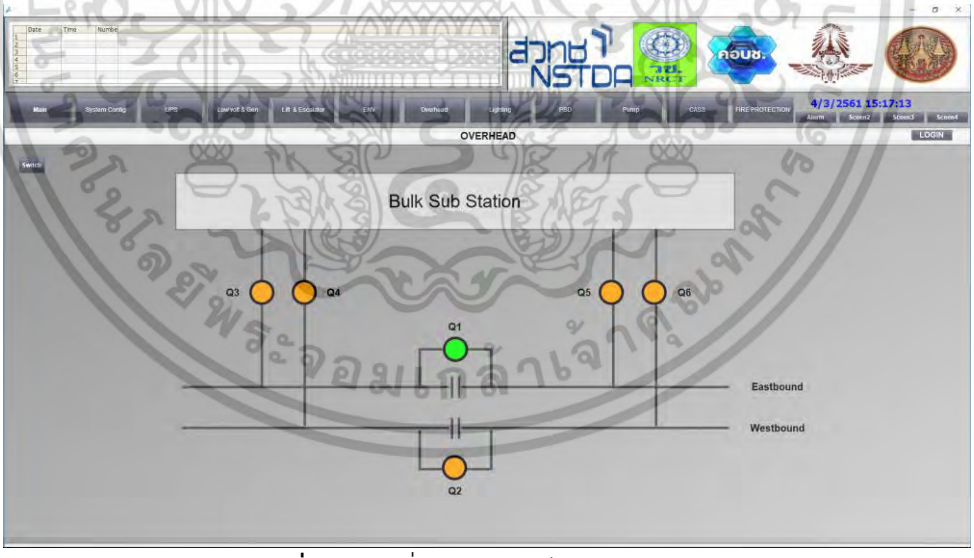


รูปที่ 4.12 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q2

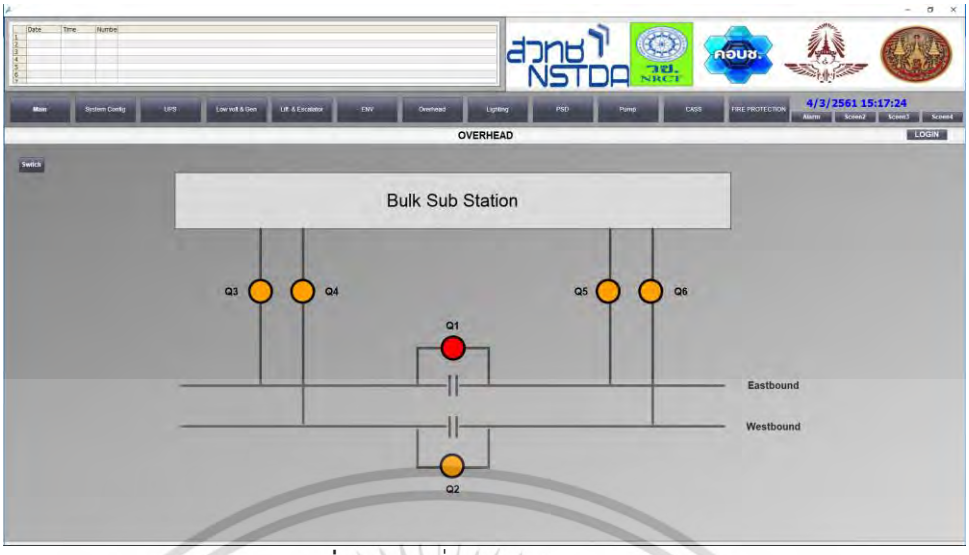


รูปที่ 4.13 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q2

- การควบคุมเปิดสวิตช์ Q1 (OCS Q1) โดยที่เมื่อเปิดจะเป็นสีเขียว และเป็นสีแดงเมื่อปิด จะใช้งานในกรณีที่ตัวจ่ายไฟเหนือหัวตัวที่ 3 (OCS Q3) หรือ 5 (OCS Q5) ไม่สามารถใช้งานได้และต้องการสั่งโปรแกรมจ่ายไฟให้กับรางรถไฟ Eastbound Line รางเดียว โดยเมื่อทำการเปิดสวิตช์ Q1 จะเป็นสีเขียว ดังรูปที่ 4.14 และเมื่อปิดจะเป็นสีแดง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 เมื่อทำการจ่ายไฟให้สวิตช์ Q1



รูปที่ 4.15 เมื่อทำการปิดสวิตช์ Q1

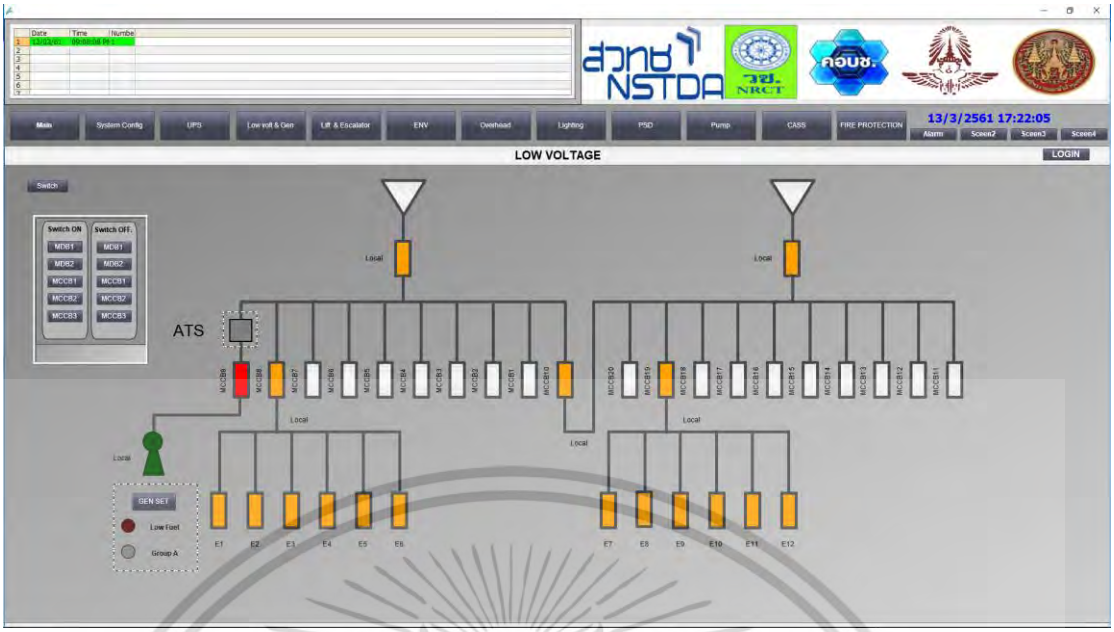
จากรูปที่ 4.14 เห็นได้ว่า Eastbound Line ยังคงมีกระแสไฟฟ้าใช้งานในรางได้อยู่ โดยสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้จากวงจรจ่ายไฟเหนือตัวที่ 4 ตัวเดียว (OCS Q4) โดยจะต้องใช้งานสวิตช์ (OCS Q2) ในการสั่งวงจรปิดทำให้กระแสไฟฟ้าส่งไปยังรางรถไฟอีกฝั่งได้

4.2.2 ระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี (Low Voltage System)

4.2.2.1 การใช้งานระบบควบคุมการจ่ายไฟให้กับสถานี

ในรูปที่ 4.16 แสดงวงจรการจ่ายไฟให้กับสถานีรถไฟ โดยในวงจรจะมี

1. แผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ 2 วงจร ได้แก่
   - MDB1 = Main Distribution board no.1 (แผงจ่ายไฟตัวที่ 1)
   - MDB2 = Main Distribution board no.2 (แผงจ่ายไฟตัวที่ 2)
2. วงจรตัดต่อไฟ 3 วงจร ได้แก่
   - MCCB8 = Molded Case Circuit Breaker no.8
   - MCCB19 = Molded Case Circuit Breaker no.19
   - MCCB9 = Molded Case Circuit Breaker no.9
3. TIE Switch (MCCB10) มีไว้ในกรณีแผงจ่ายไฟในแต่ละฝั่งเกิดการชำรุด โดยโปรแกรมสามารถสั่งงานสวิตช์ให้เป็นวงจรปิด (Close circuit) ได้ จะทำให้แผงจ่ายไฟอีกฝั่งสามารถจ่ายไฟได้ทันที
4. Trip State ภาวะตัดการทำงานจากกระแสเกิน



รูปที่ 4.16 หน้าต่างของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี

ตารางที่ 4.2 I/O List แสดงการทำงานของระบบจ่ายไฟฟ้าให้สถานีทั้งหมด

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-Low Volte System				
25	MDB1 Switch	Switching State	Open	DO	Q8.0
26	MDB1 Switch	Switching State	Close	DO	Q8.1
27	MDB1 Switch	Switching State	Open	DI	I8.0
28	MDB1 Switch	Switching State	Close	DI	I8.1
29	MDB1 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I8.2
30	MDB1 Switch	Trip State	Trip	DI	I8.3
31	MDB2 Switch	Switching State	Open	DO	Q8.2
32	MDB2 Switch	Switching State	Close	DO	Q8.3
33	MDB2 Switch	Switching State	Open	DI	I8.4
34	MDB2 Switch	Switching State	Close	DI	I8.5
35	MDB2 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I8.6
36	MDB2 Switch	Trip State	Trip	DI	I8.7
37	MCCB1 Status	Status	Open	DO	Q8.4
38	MCCB1 Status	Status	Close	DO	Q8.5
39	MCCB1 Status	Status	Open	DI	I9.0
40	MCCB1 Status	Status	Close	DI	I9.1

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-Low Volte System				
41	MCCB1 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I9.2
42	MCCB2 Status	Status	Open	DO	Q8.6
43	MCCB2 Status	Status	Close	DO	Q8.7
44	MCCB2 Status	Status	Open	DI	I9.3
45	MCCB2 Status	Status	Close	DI	I9.4
46	MCCB2 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I9.5
47	MCCB3 Status	Status	Open	DO	Q9.0
48	MCCB3 Status	Status	Close	DO	Q9.1
49	MCCB3 Status	Status	Open	DI	I9.6
50	MCCB3 Status	Status	Close	DI	I9.7
51	MCCB3 Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I10.0

โดยแสดงลำดับการจ่ายไฟของระบบควบคุมการจ่ายไฟให้กับสถานีได้ดังนี้

- MDB1 มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ MCCB1 และ MCCB2 ซึ่ง MCCB1 จะจ่ายไฟให้กับระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ส่วนนี้จะอธิบายในหัวข้อ 4.2.3 และ MCCB2 จะจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ภายในสถานีรถไฟ

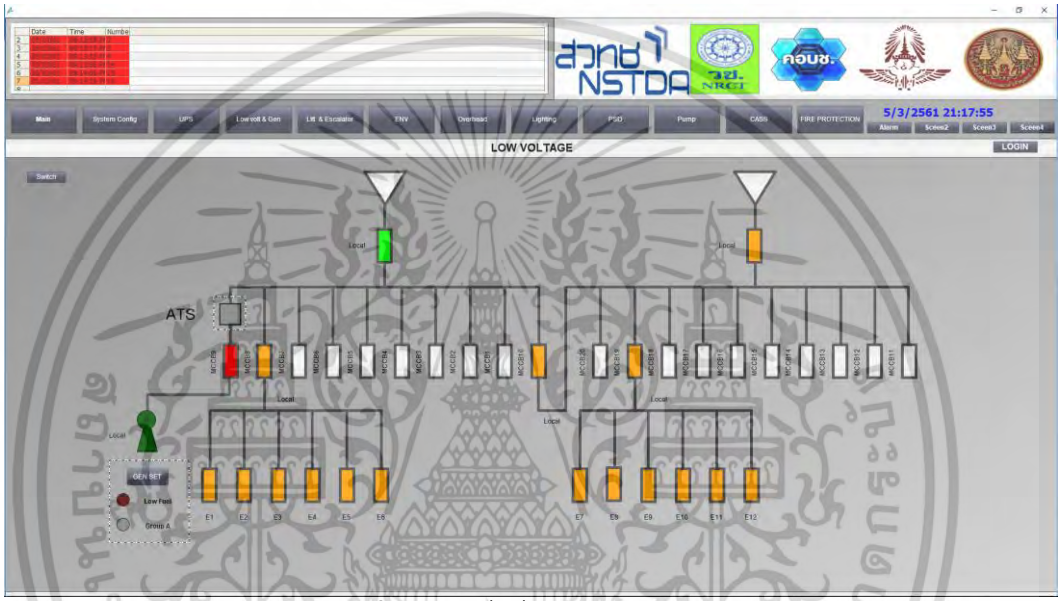
- MDB2 มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ MCCB12 ซึ่ง MCCB12 จะจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ภายในสถานีรถไฟ

4.2.2.2 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบควบคุมการจ่ายไฟให้สถานี

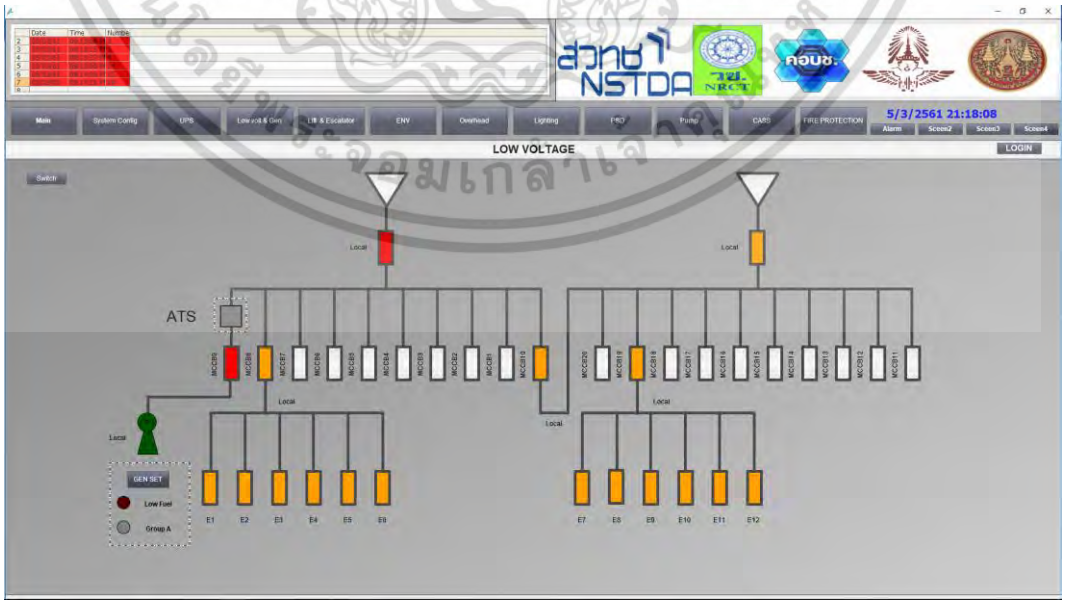
- กรณีสั่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ (Essential/Non- Essential) ทั้งสองฝั่ง โดยสั่งจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยจะสั่งผ่านสวิตช์ที่อยู่ทางด้านซ้ายของหน้าจออินเตอร์เฟส จะเป็นการสั่งผ่านพอร์ต DO เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน และจะเป็น Feedback การทำงานผ่านพอร์ต DI กลับมาแสดงผลเช่นเดียวกัน จากหน้าจออินเตอร์เฟส จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ จะรับกระแสไฟฟ้าได้นั้นจะต้องได้รับการจ่ายไฟจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB1, MCCB2 และ MCCB13) ซึ่งได้รับกระแสไฟฟ้ามาจากแผงจ่ายไฟอีกที (MDB1 และ MDB2) โดยแผงจ่ายไฟและเซอร์กิตเบรกเกอร์จะสามารถมีสถานะเปิด และสถานะปิด และมีการแสดงถึงสถานะ Remote และ Local โดยที่สถานะ Remote เพื่อบอกว่าสามารถควบคุมการจ่ายไฟผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ หากต้องการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต้องไปเปลี่ยนสวิตช์ให้เป็น Local และหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงว่า Local ซึ่งในการ

ทำงานของระบบนี้ จะมีการจ่ายไฟทันที และสถานะ Trip State คือจะเป็นการตัดการทำงานจากกระแสไฟฟ้าเกิดที่อุปกรณ์นั้น ๆ

เมื่อสั่ง MDB1 เปิด โดยการกดสวิตช์ MDB1 ON จนไฟสถานะขึ้นที่ DO : Q8.0 และทำการสร้าง Feedback กลับมาโดยการต่อ input 24 VDC กับพอร์ต DI : I8.0 จะทำให้ MDB1 มีสถานะเปิดสวิตช์การทำงานเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.17 และเมื่อทำการปิดสวิตช์ โดยการกดสวิตช์ และต่อ input ตาม I/O List โดยเมื่อปิดสวิตช์ MDB1 จะมีสถานะเป็นสีแดง โดยแสดงดังรูปที่ 4.18

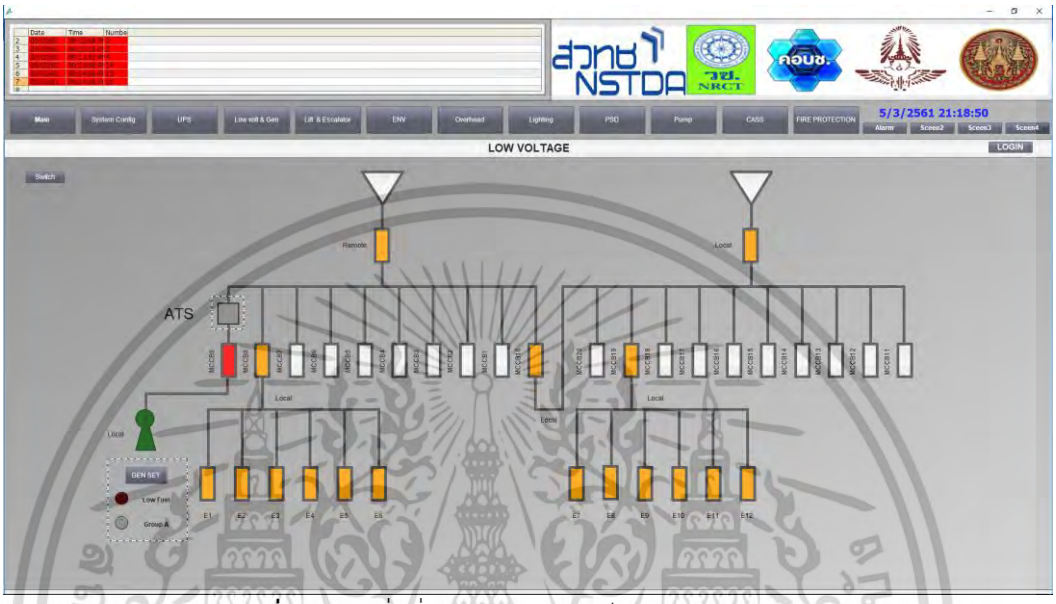


รูปที่ 4.17 เมื่อสั่งเปิดสวิตช์ MDB1

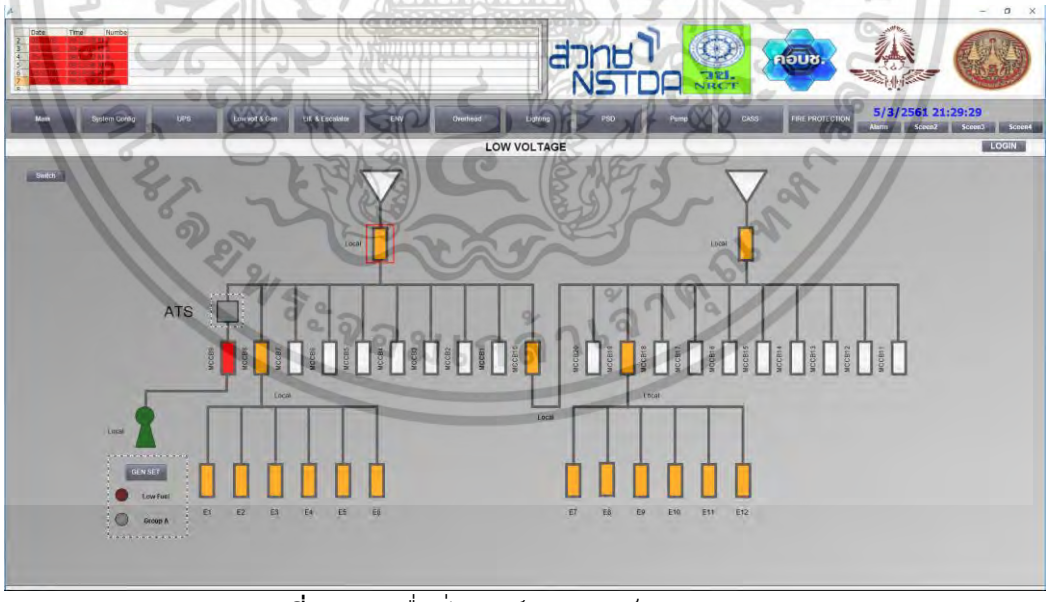


รูปที่ 4.18 เมื่อสั่งปิดสวิตช์ MDB1

ในสภาวะปกติ จะมีสถานะเป็น Local หรือการควบคุมผ่านอุปกรณ์โดยตรง หากต้องการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์จะต้องสั่งให้เป็นโหมด Remote โดยสั่งผ่าน Input DI : I8.2 โดยจะมีคำว่า Remote ขึ้นมาที่ MDB1 โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.19 และเมื่อมี Trip State จะเป็นสี่เหลี่ยมสีแดงขึ้นมาโดยแสดงดังรูปที่ 4.20



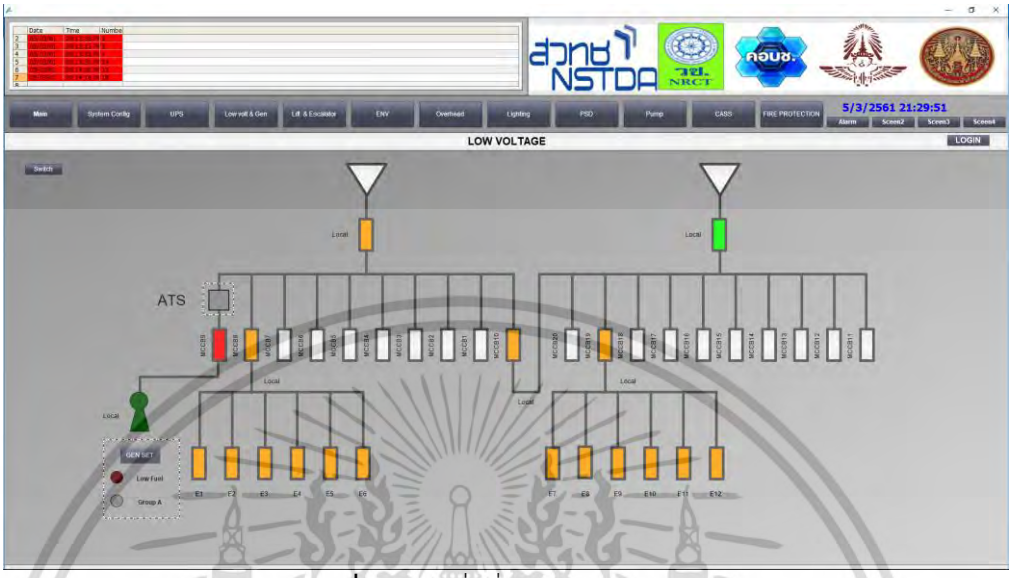
รูปที่ 4.19 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB1 เป็นสถานะ Remote



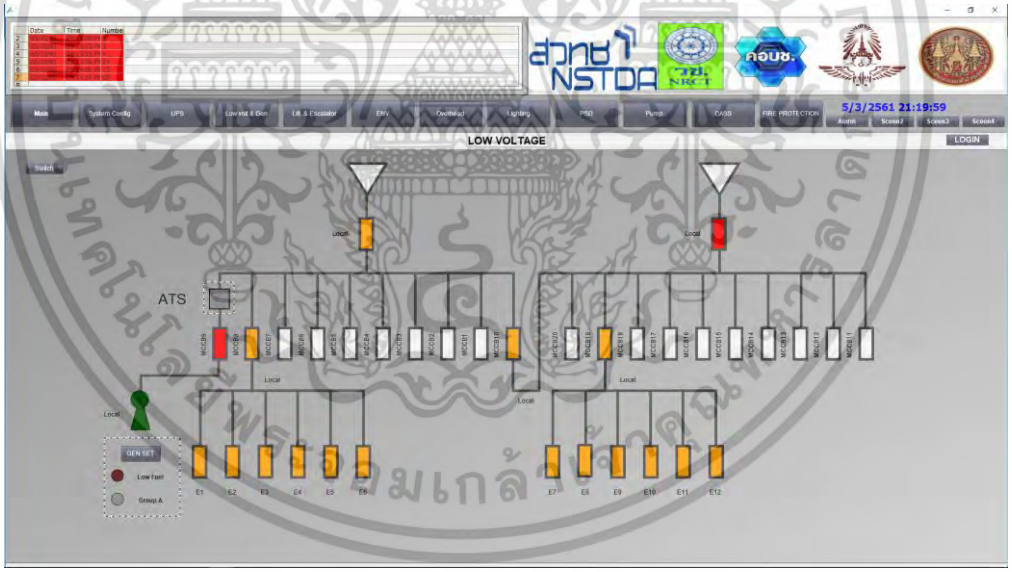
รูปที่ 4.20 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB1 เป็น Trip State

สำหรับสวิตช์ MDB2 นั้นจะมีการทำงานเช่นเดียวกับสวิตช์ MDB1 โดยเมื่อสั่ง MDB2 เปิด โดยการกดสวิตช์ MDB2 ON จนไฟสถานะขึ้นที่ DO : Q8.2 และทำการสร้าง Feedback กลับมาโดยการต่อ input 24 VDC กับพอร์ต DI : I8.4 จะทำให้ MDB2 มีสถานะเปิดสวิตช์การทำงาน

เป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.21 และเมื่อทำการปิดสวิตช์ โดยการกดสวิตช์ และต่อ input ตาม I/O List โดยเมื่อปิดสวิตช์ MDB2 จะมีสถานะเป็นสีแดง โดยแสดงดังรูปที่ 4.22

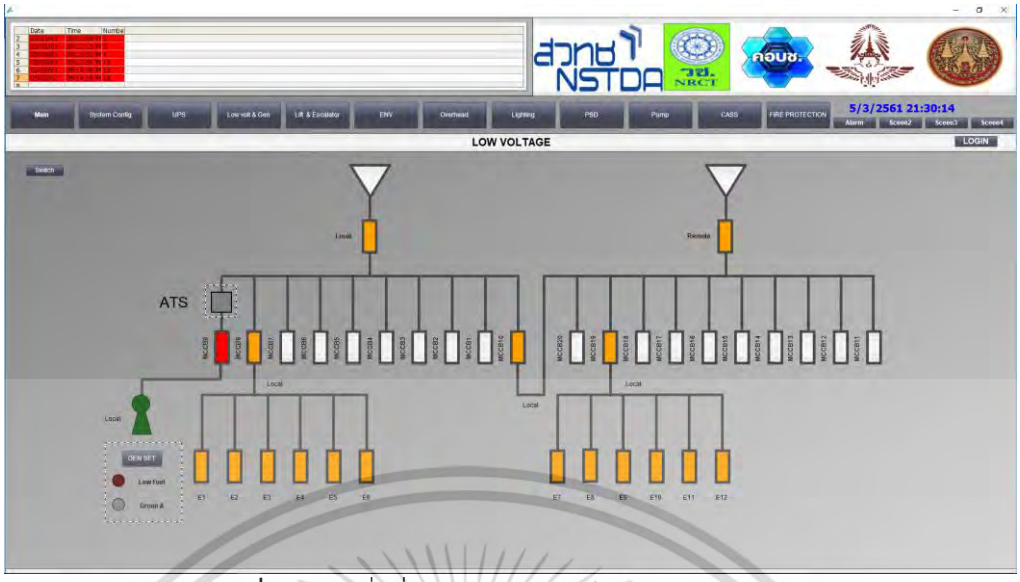


รูปที่ 4.21 เมื่อสั่งเปิดสวิตช์ MDB2

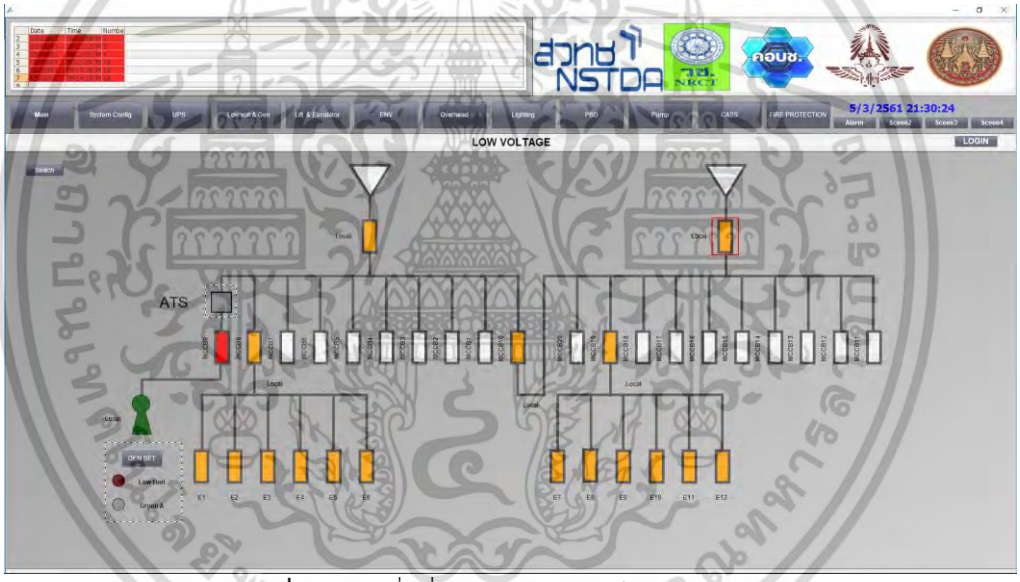


รูปที่ 4.22 เมื่อสั่งปิดสวิตช์ MDB2

ในสภาวะปกติ จะมีสถานะเป็น Local หรือการควบคุมผ่านอุปกรณ์โดยตรง หากต้องการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์จะต้องสั่งให้เป็นโหมด Remote โดยสั่งผ่าน Input DI : I8.6 โดยจะมีคำว่า Remote ขึ้นมาที่ MDB2 โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.23 และเมื่อมี Trip State จะเป็นสี่เหลี่ยมสีแดงขึ้นมาโดยแสดงดังรูปที่ 4.24

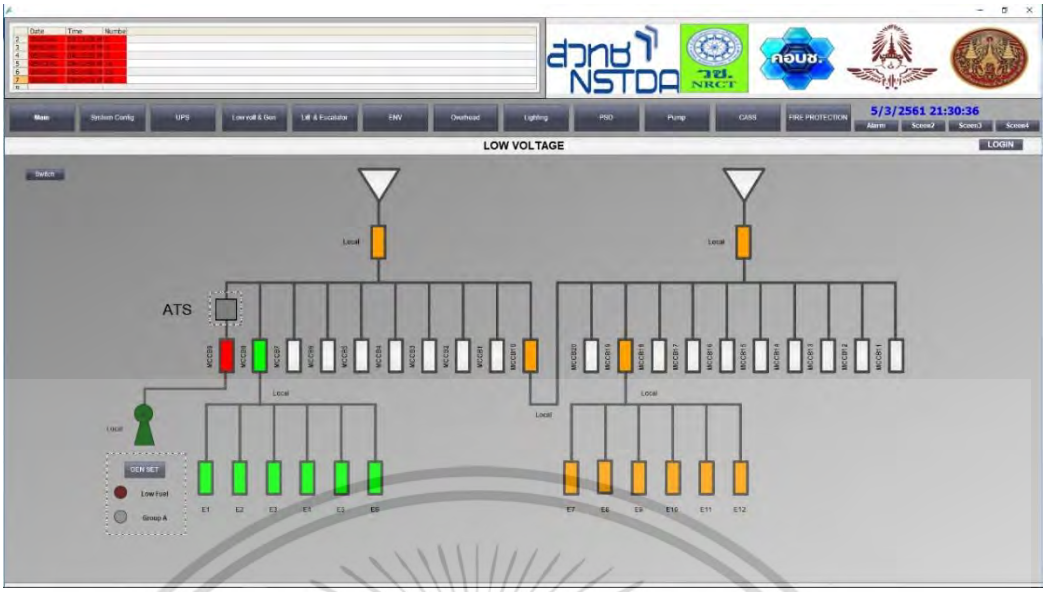


รูปที่ 4.23 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB2 เป็นสถานะ Remote

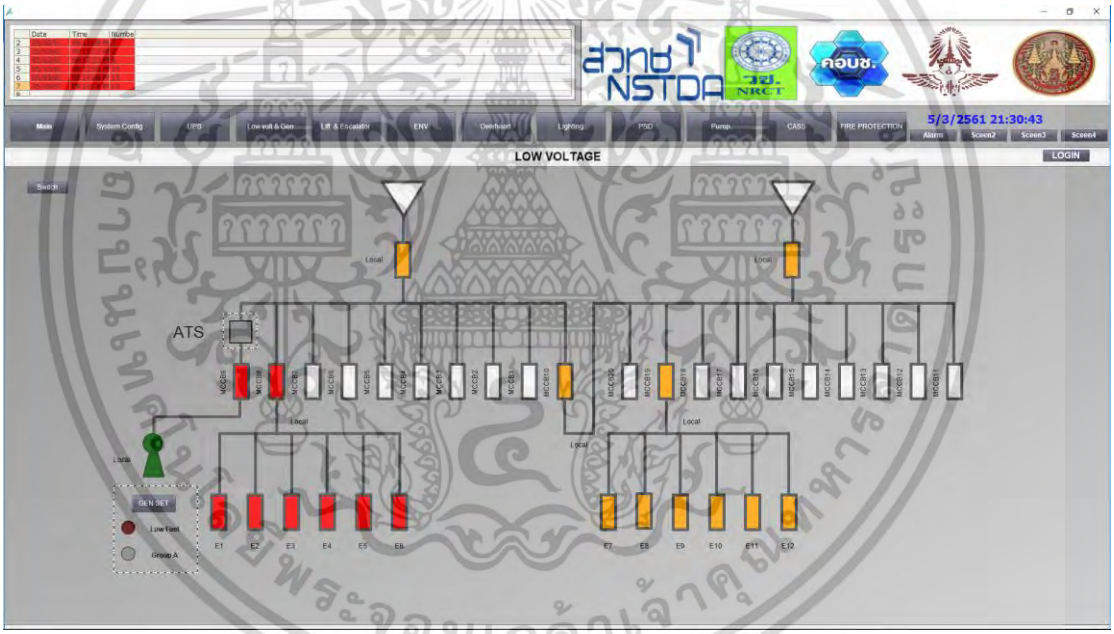


รูปที่ 4.24 เมื่อสั่งสวิตช์ MDB2 เป็น Trip State

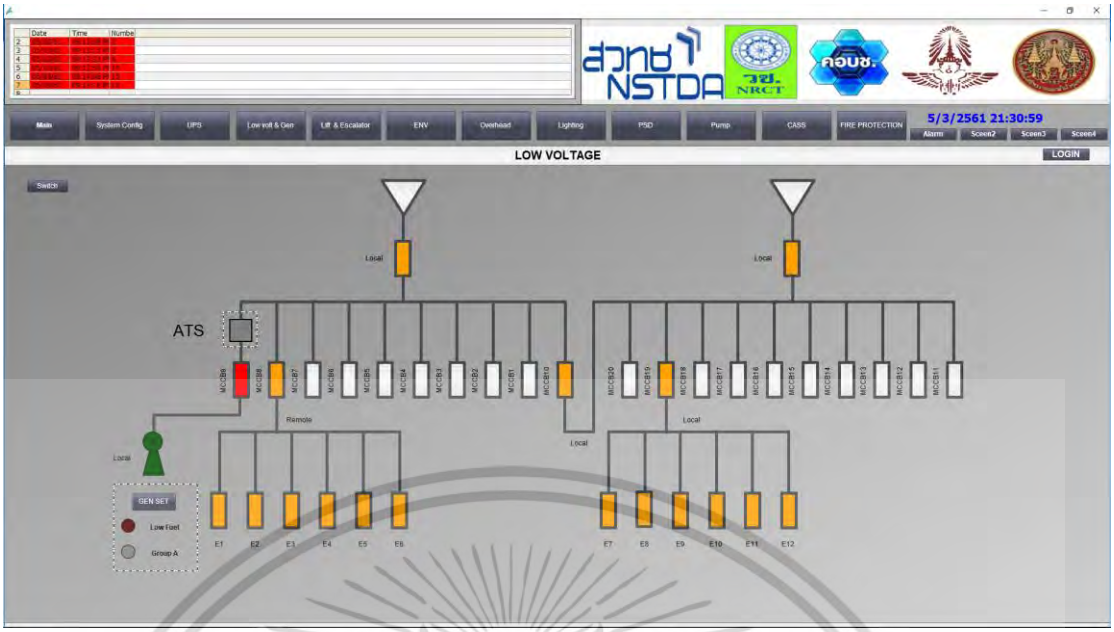
ในส่วนต่อมา จะเป็นการควบคุมสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (MCCB) ซึ่งจะรับกระแสไฟฟ้ามาจาก MDB อีกทีหนึ่ง เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ (E) โดยการทำงานจะสามารถสั่งเปิด ปิดจากสวิตช์บนหน้าขออินเตอร์เฟสได้ และมี Feedback กลับมาแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟสว่าเป็นสถานะเปิด หรือปิด โดยเมื่อมีสถานะเปิด MCCB1 (หรือในหน้าอินเตอร์เฟสคือ MCCB8) จะเป็นสีเขียว และอุปกรณ์ต่าง ๆ (E1-E7) จะเป็นสีเขียวตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 4.25 และเมื่อปิดจะเป็นสีแดง ดังรูปที่ 4.26 และสามารถเปลี่ยนสถานการณ์ควบคุมจากควบคุมที่ตัวอุปกรณ์ หรือ Local มาเป็นโหมดควบคุมด้วยหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Remote) โดยแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.25 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 เปิด

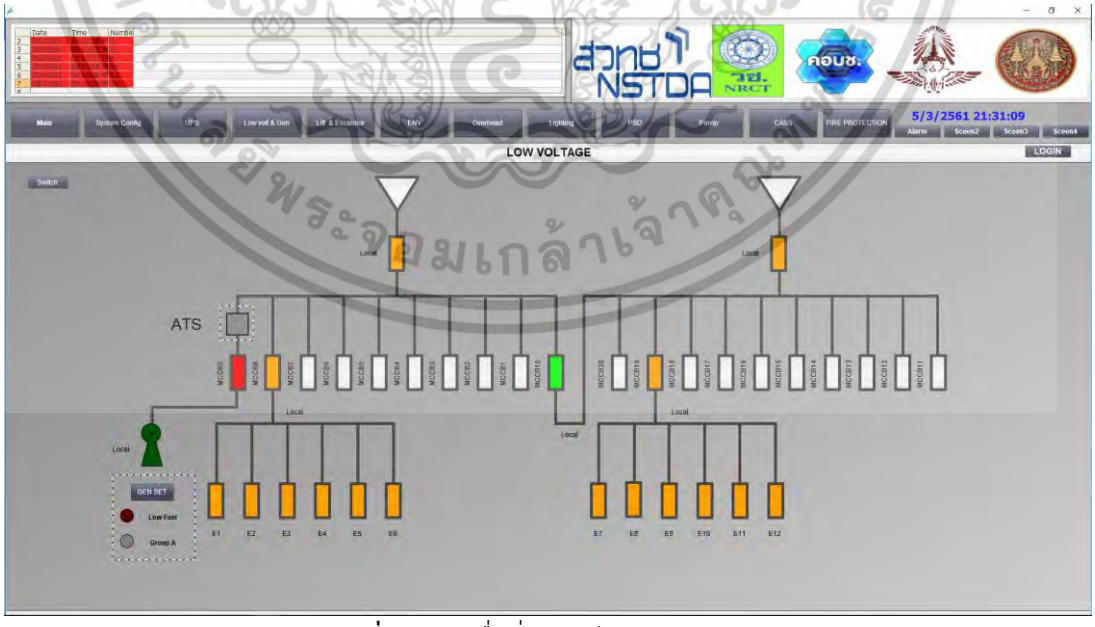


รูปที่ 4.26 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 ปิด

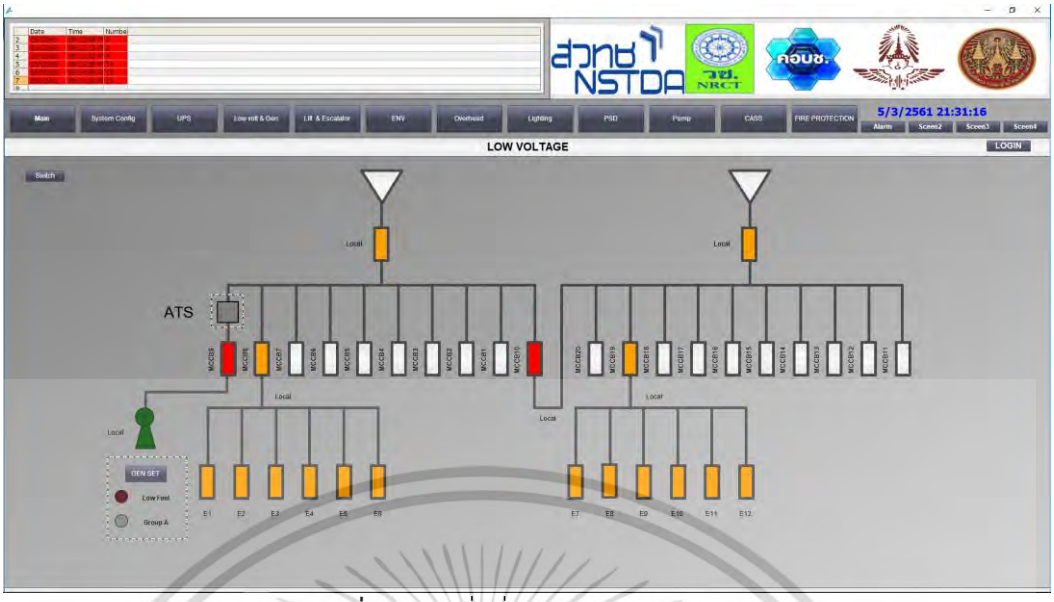


รูปที่ 4.27 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB1 ให้เป็นสถานะ Remote

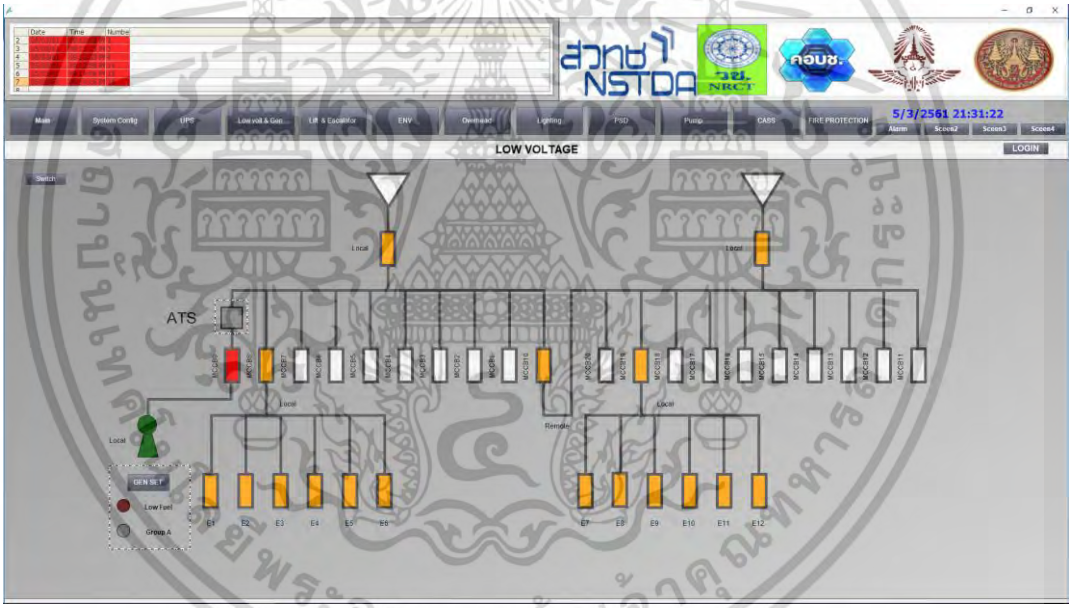
ในส่วนต่อมาคือในส่วนของ MCCB2 หรือในอินเตอร์เฟสคือ MCCB10 ซึ่งจะเป็นเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเหมือน TIE SWITCH คือเพื่อมีไว้ในกรณีแผงจ่ายไฟในแต่ละฝั่งเกิดการชำรุด โดยโปรแกรมสามารถสั่งงานสวิตช์ให้เป็นวงจรปิด (Close Circuit) ทันที โดยจะมีสามสถานะเช่นเดียวกัน คือ เปิดใช้งาน ปิดใช้งาน และเปลี่ยนจาก Local เป็น Remote โดยแสดงดังรูปที่ 4.28 รูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30 ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 เปิด

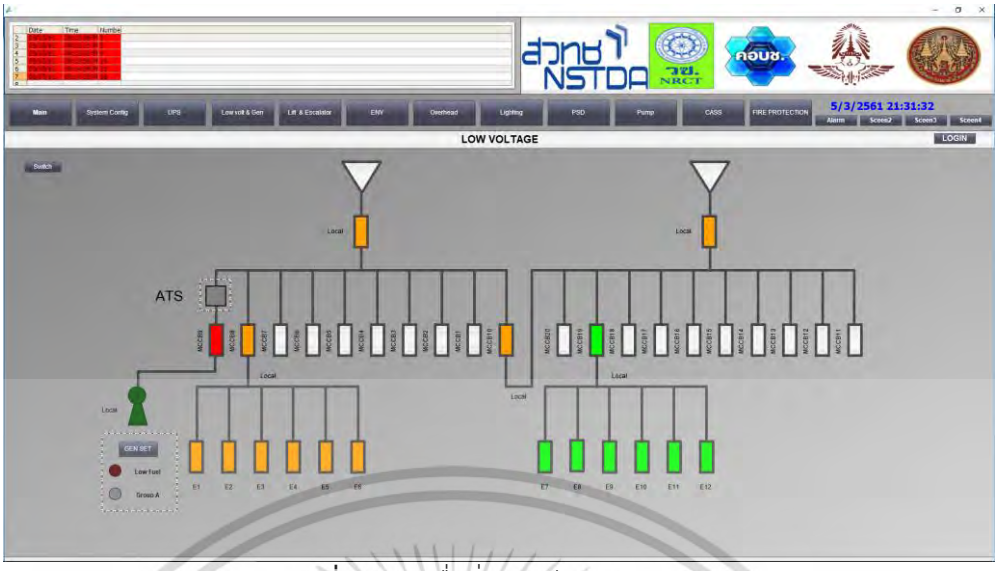


รูปที่ 4.29 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 ปิด

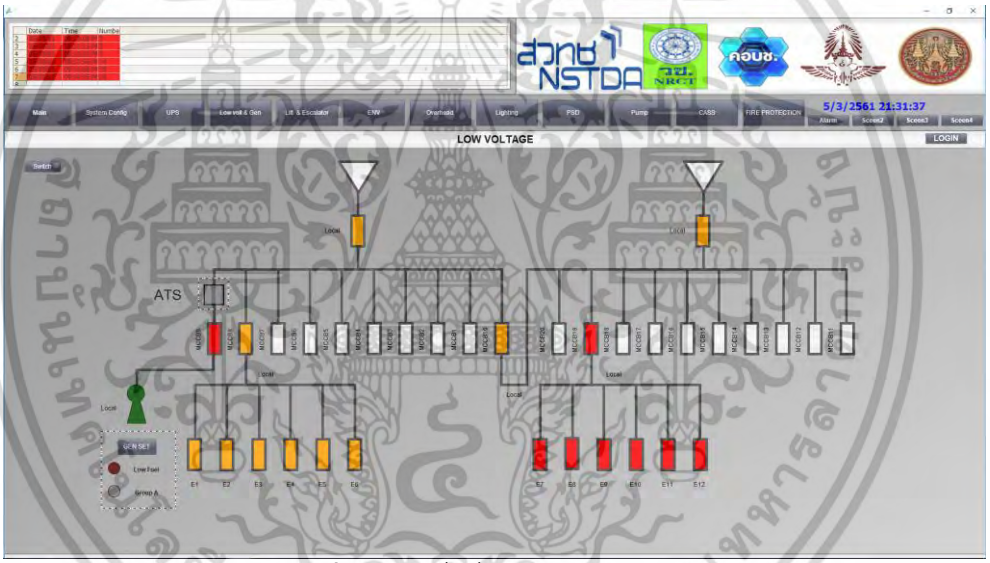


รูปที่ 4.30 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB10 เป็นโหมด Remote

ในส่วนของ MCCB3 (หรือในหน้าอินเตอร์เฟสคือ MCCB19) จะมีการทำงานเช่นเดียวกันกับ MCCB1 และ MCCB2 เพียงแต่จะจ่ายไฟแยกมาคนละส่วน โดยมี MCCB2 เป็นตัวเชื่อม โดยจะมีการทำงานโดยเมื่อเปิด จะเป็นสีเขียว และอุปกรณ์ต่าง ๆ (E8-E12) จะเป็นสีเขียวตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 4.31 และเมื่อปิดจะเป็นสีแดง ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.31 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB3 เปิด



รูปที่ 4.32 เมื่อสั่งสวิตช์ MCCB3 ปิด

4.2.3 ระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า (Generator System)

4.2.3.1 การใช้งานระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

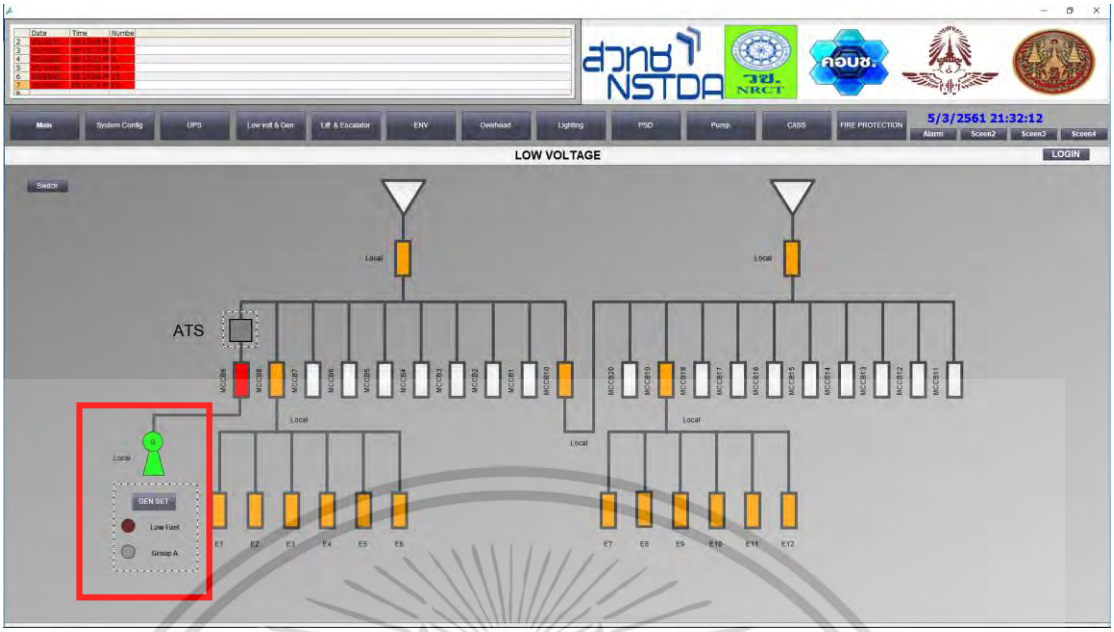
ระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าเป็นระบบย่อยที่อยู่ในหน้าจออินเตอร์เฟสของระบบจ่ายไฟฟ้าให้สถานี โดยจะอยู่ที่มุมด้านล่างซ้ายของอินเตอร์เฟส ดังรูปที่ 4.33 แสดงวงจรการกำเนิดไฟฟ้า (ในกรอบสีแดง) โดยในวงจรจะมี Generator Switch โดยแสดงลำดับการทำงานของระบบ Generator ได้ดัง I/O List ทั้งหมดดังตารางที่ 4.3

จากตาราง I/O List สถานการณ์ทำงานของระบบควบคุมกำเนิดไฟฟ้า หากระบบ Low Voltage เกิดข้อผิดพลาดหรือชำรุด ระบบ Generator จะสั่งงาน Automatic Transfer

Switch (ATS) ให้เป็นวงจรปิด เพื่อทำให้สั่งงานระบบ Generator ได้ โดยจะมีการสั่งงานสวิตช์เพื่อให้ระบบทำงานได้ และยังมีการทำงานของ MCB ในส่วนที่จะจ่ายไปให้วงจรหลัก อีกด้วย

ตารางที่ 4.3 I/O List แสดงการทำงานของระบบควบคุมกำเนิดไฟฟ้าให้สถานีทั้งหมด

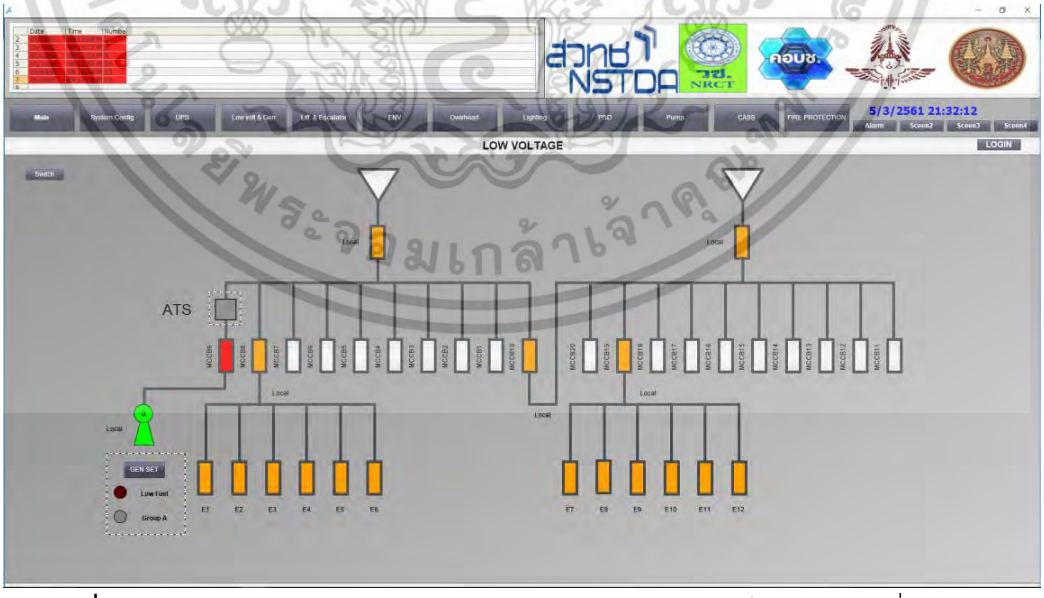
No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-Generator				
74	Generator is running	Status	Appear / Disappear	DI	I10.1
75	Low fuel alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I10.2
76	ATS Position "normal"	Status	Appear / Disappear	DI	I10.3
77	ATS Position "Generator"	Status	Appear / Disappear	DI	I10.4
78	MCB Status	Status	Open	DO	Q9.2
79	MCB Status	Status	Close	DO	Q9.3
80	MCB Status	Status	Open	DI	I10.5
81	MCB Select Switch	Switching State	Local/Remote	DI	I10.6
82	MCB trip	Status	Appear / Disappear	DI	I10.7



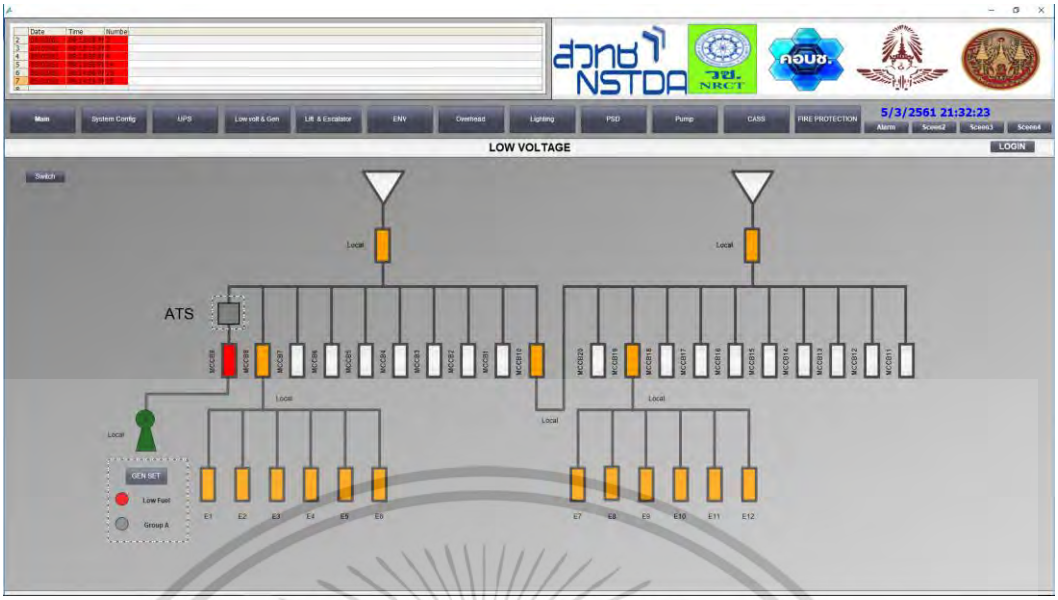
รูปที่ 4.33 วงจรการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

4.2.3.2 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า

ในการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้า เมื่อสั่งให้ระบบทำงาน โดยผ่านการอินพุต DI : I10.1 จะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์ Generator จะแสดงเป็นสีเขียว เพื่อแจ้งว่าระบบ Generator ทำงาน โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.34 และหากน้ำมันเหลือน้อย จะสามารถแจ้งเตือน Low Fuel Alarm ที่หน้าจอโดยจะมีไฟสีแดงขึ้นมา โดยแสดงดังรูปที่ 4.35

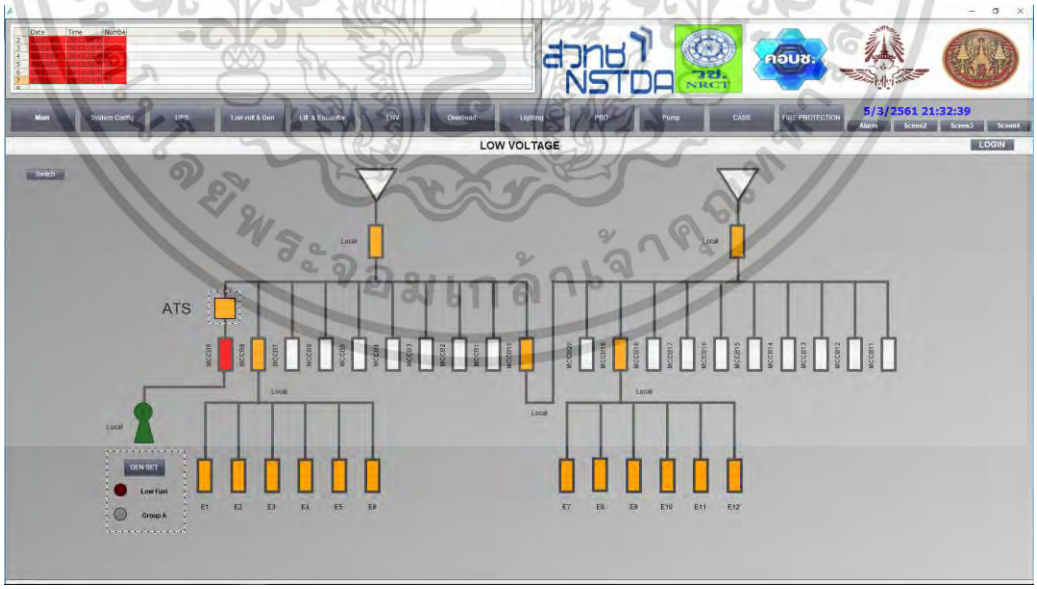


รูปที่ 4.34 วงจรการทำงานของระบบควบคุมการกำเนิดไฟฟ้าเป็นสีเขียวคือเริ่มทำงาน

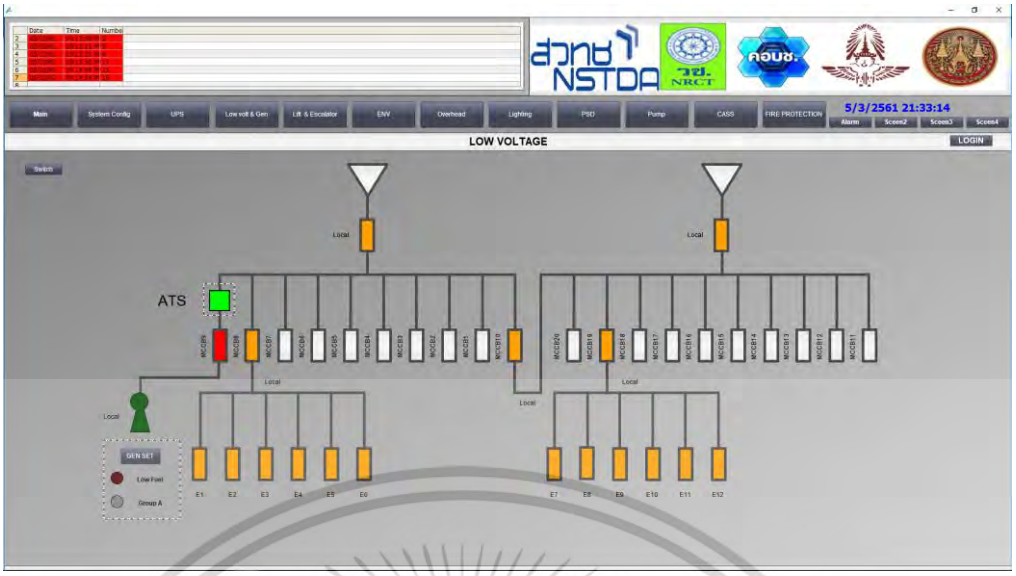


รูปที่ 4.35 การแจ้งเตือน Low Fuel Alarm

กรณีจะสั่งงานระบบ Generator จะเห็นได้ว่าระบบจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ ATS เป็นวงจรปิด และสามารถสั่งให้ระบบทำงานได้ โดยกดปุ่ม Generator Switch จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ แต่ในที่นี้ จะไม่สามารถสั่งผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ แต่สมมติให้มี Input feedback เข้ามายัง ATS โดยในที่นี้จะใช้เป็น input DI : I10.3 และ I10.4 เป็นสถานะ Normal ซึ่งสวิตช์ ATS จะเป็นสีส้มโดยแสดงดังรูปที่ 4.36 และสถานะ Generator โดยสวิตช์จะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.37

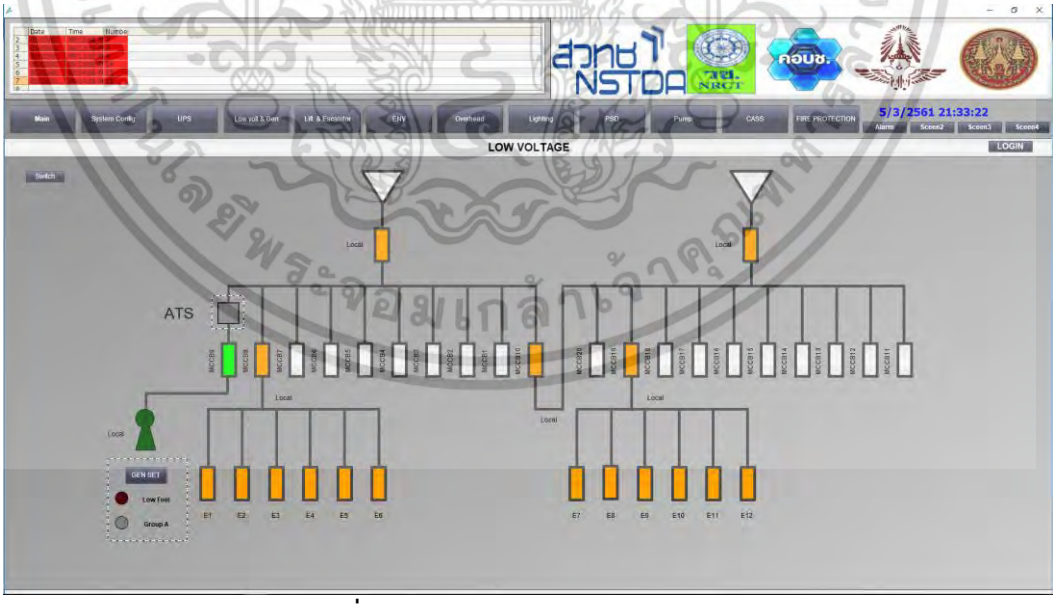


รูปที่ 4.36 ATS Switch สถานะ Normal

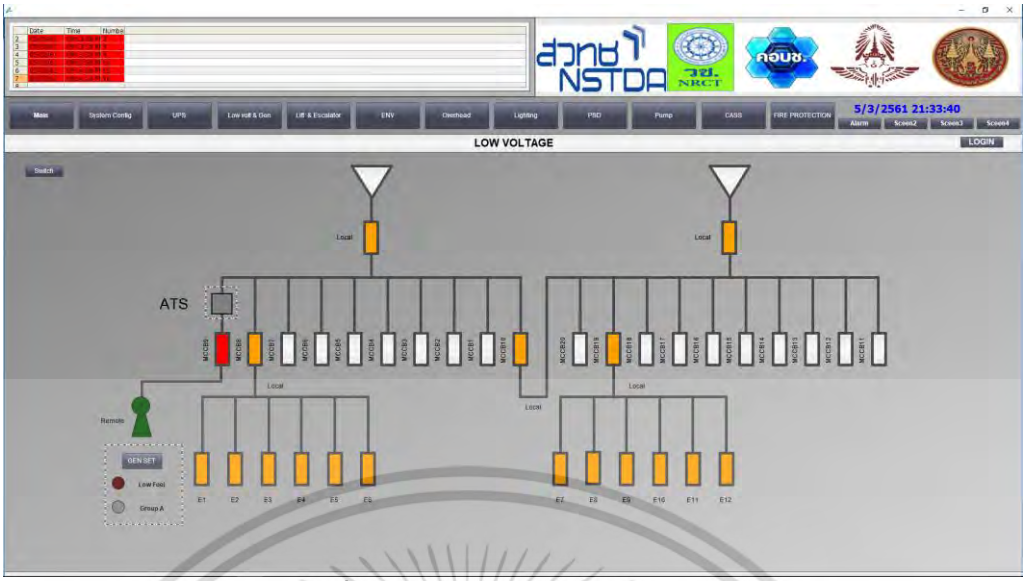


รูปที่ 4.37 ATS Switch สถานะ Generator

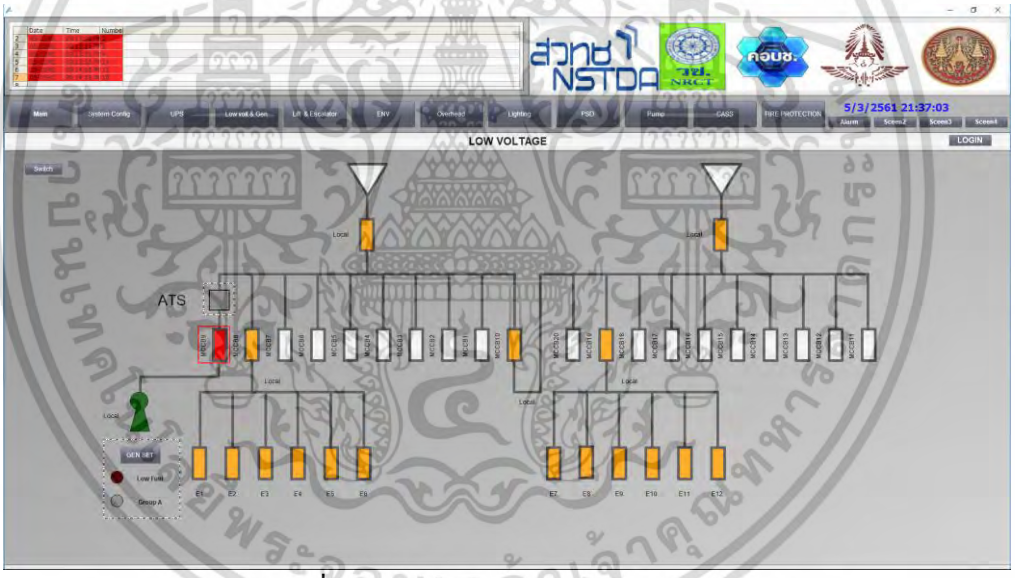
ในส่วนต่อมา จะเป็นส่วนควบคุมสวิตช์เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อจ่ายไฟฟ้าจาก Generator ให้กับวงจร ในที่นี้คือ MCCB9 โดยจะมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับ MCCB ตัวอื่นดังที่กล่าวมาข้างต้น คือจะสามารถสั่งเปิดจากสวิตช์บนหน้าจออินเตอร์เฟสได้ และสมมติสถานะเป็น Feedback กลับมาผ่าน Digital Input เพื่อแสดงสถานะสวิตช์เปิด จะเป็นสีเขียว และสวิตช์ปิด จะเป็นสีแดง และ Trip State ได้ โดยแสดงดังรูปที่ 4.38 - 4.40



รูปที่ 4.38 MCCB9 มีสถานะสวิตช์เปิด



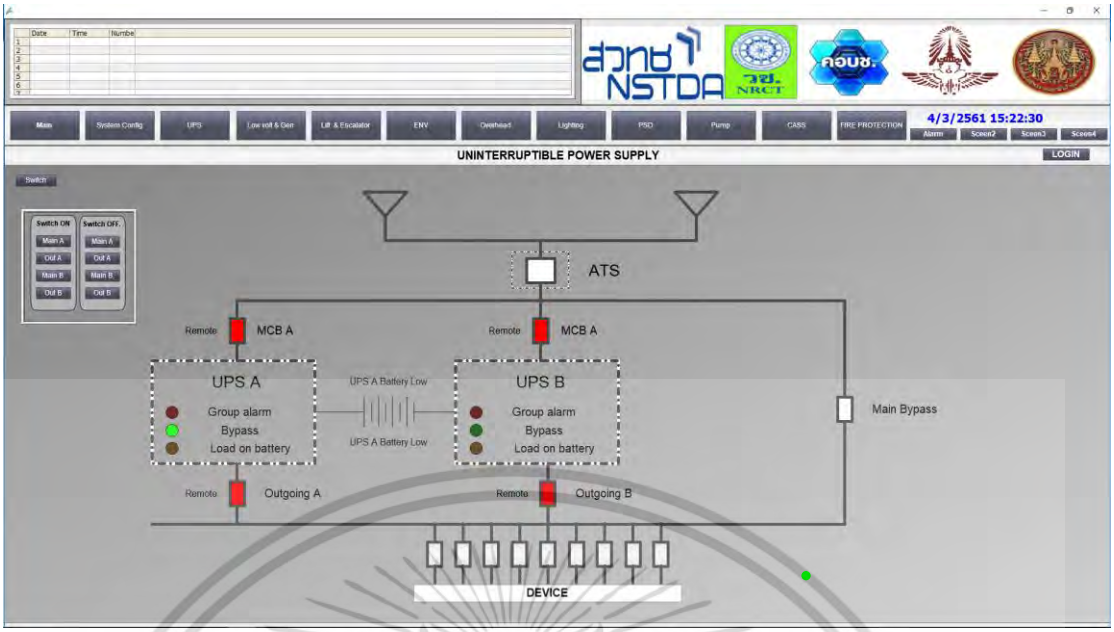
รูปที่ 4.39 MCCB9 มีสถานะสวิตช์ปิด



รูปที่ 4.40 MCCB9 มีสถานะ Trip State

4.2.4 ระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply: UPS)

เมื่อแหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply: UPS) รับพลังงานไฟฟ้าเข้ามา ไม่ว่าคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นอย่างไรก็จะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็นปกติ รวมถึงทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งหลักการของ UPS ก็คือ ใช้วิธีการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ส่วนหนึ่ง และในกรณีที่เกิดปัญหาทางไฟฟ้า



รูปที่ 4.41 หน้าโปรแกรมของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง

ตารางที่ 4.4 I/O List แสดงการทำงานของระบบสำรองไฟฟ้าทั้งหมด

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-UPS				
52	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Open	DO	Q12.0
53	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Close	DO	Q12.1
54	UPS A Main circuit Breaker	Switching State	Open	DI	I12.0
55	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DO	Q12.2
56	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Close	DO	Q12.3
57	UPS A Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DI	I12.1
58	UPS A Group alarm	State	Appear / Disappear	DI	I12.2
59	UPS A Battery low	State	Appear / Disappear	DI	I12.3

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Power Supply System-UPS				
60	UPS A load on battery	State	Appear / Disappear	DI	I12.4
61	UPS A load on auxilliary sourcce	State	Appear / Disappear	DI	I12.5
62	UPS A Bypass switch ON	State	Appear / Disappear	DI	I12.6
63	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Open	DO	Q12.4
64	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Close	DO	Q12.5
65	UPS B Main circuit Breaker	Switching State	Open	DI	I12.7
66	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DO	Q12.6
67	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Close	DO	Q12.7
68	UPS B Outgoing disconnector switch	Switching State	Open	DI	I13.0
69	UPS B Group alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I13.1
70	UPS B Battery low	Status	Appear / Disappear	DI	I13.2
71	UPS B load on battery	Status	Appear / Disappear	DI	I13.3
72	UPS B load on auxilliary sourcce	Status	Appear / Disappear	DI	I13.4
73	UPS B Bypass switch ON	Status	Appear / Disappear	DI	I13.5

4.2.4.1 การใช้งานระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง

จากรูปที่ 4.41 แสดงระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง โดยในระบบจะมี 2 แหล่งจ่าย ได้แก่ UPS A และ UPS B ซึ่งในวงจรจะมี

1. Main Circuit Breaker (MCB)
    - UPS A Main Circuit Breaker
    - UPS B Main Circuit Breaker
2. Outgoing Disconnector Switch
    - UPS A Outgoing Disconnector Switch
    - UPS B Outgoing Disconnector Switch
3. Bypass Switch
    - UPS A Bypass Switch
    - UPS B Bypass Switch
    - Main Bypass Switch

ซึ่งในแต่ละแหล่งจ่ายไฟจะมีฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้ กรณีมีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm) กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟหมด (Battery Low) และกรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery)

โดยแสดงลำดับการจ่ายไฟของระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง ได้ดังนี้

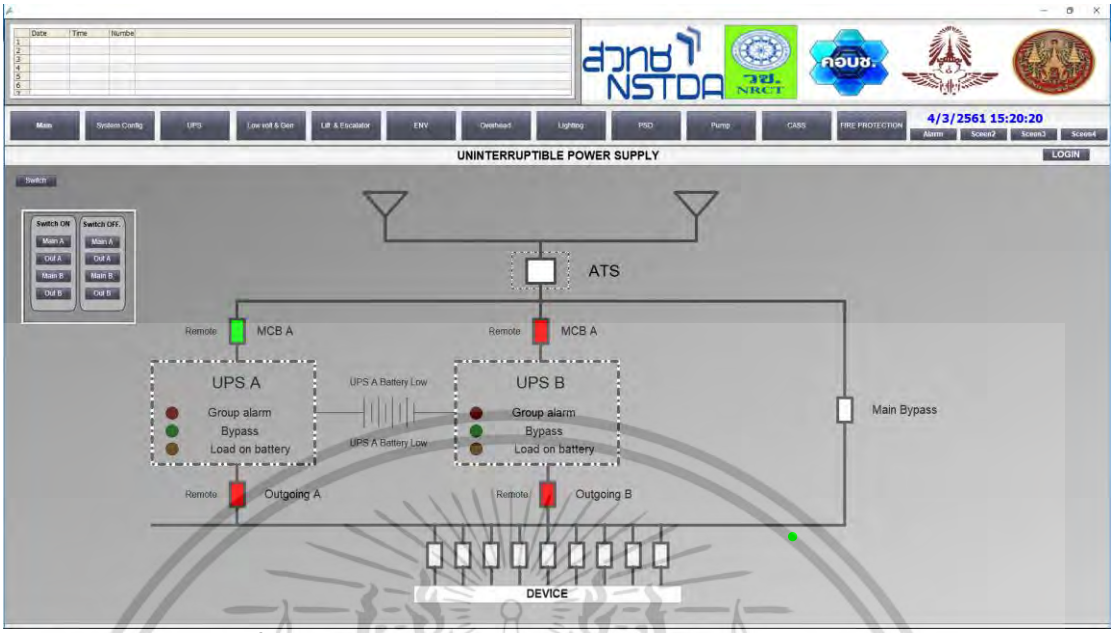
หากต้องการใช้งานระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง จะต้องสั่งงาน Automatic Transfer Switch (ATS) ให้เป็นวงจรปิด เพื่อทำให้สั่งงานระบบแหล่งจ่ายไฟสำรองได้ โดยจะมีการสั่งงานดังนี้

- UPS A Main Circuit Breaker มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ UPS A ซึ่ง UPS A จะจ่ายไฟส่งต่อให้กับ UPS A Outgoing Disconnector Switch เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ

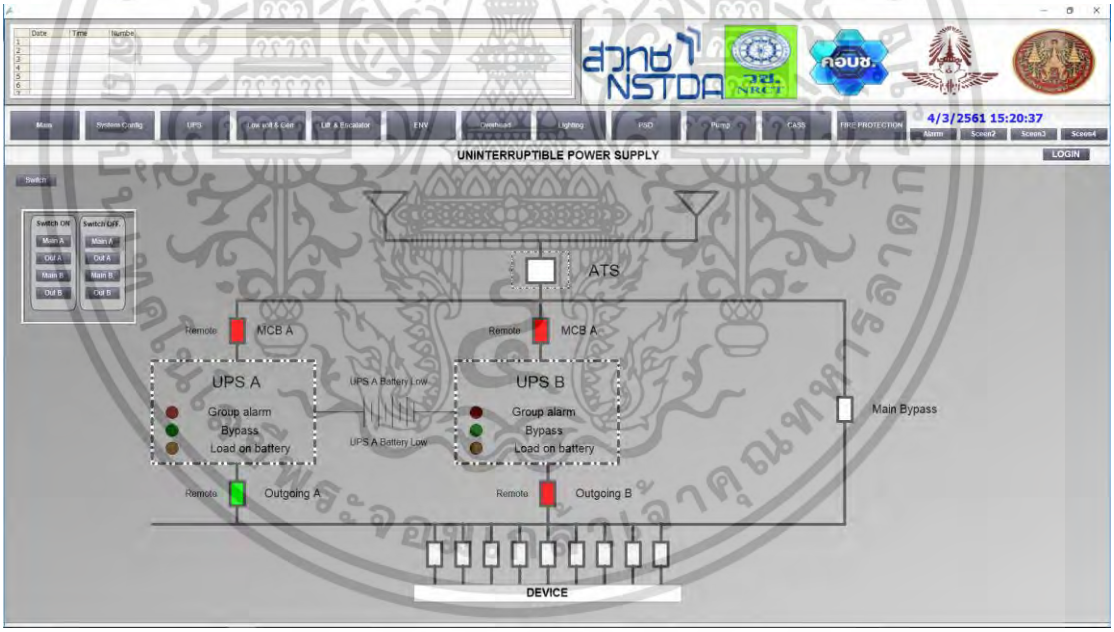
- UPS B Main Circuit Breaker มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ UPS B ซึ่ง UPS B จะจ่ายไฟส่งต่อให้กับ UPS B Outgoing Disconnector Switch เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ

4.2.4.2 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง

- กรณีไฟฟ้าดับ จึงจะสั่งให้ UPS A และ UPS B ทำงาน จากรูปที่ 4.41 จะเห็นได้ว่าระบบจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ ATS เป็นวงจรปิด จะทำให้ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานทันที โดย UPS A Main Circuit Breaker มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ UPS A ซึ่ง UPS A จะจ่ายไฟส่งต่อให้กับ UPS A Outgoing Disconnector Switch เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ ซึ่งจะสามารถสั่งการได้จากสวิตช์ที่หน้าอินเตอร์เฟสผ่านการทำงานของพอร์ต Digital Output และจำลองการทำงานเป็น Feedback กลับมาที่อินเตอร์เฟสผ่านพอร์ต Digital Input โดย UPS A Main Circuit Breaker ในสภาวะปกติจะมีสถานะปิด (สีแดง) และเมื่อทำการสั่งเปิด จะมีสถานะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.42 เช่นเดียวกันกับ UPS A Outgoing Disconnector Switch เมื่อมีสถานะเป็นเปิดสวิตช์จะเป็นสีเขียวเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.43

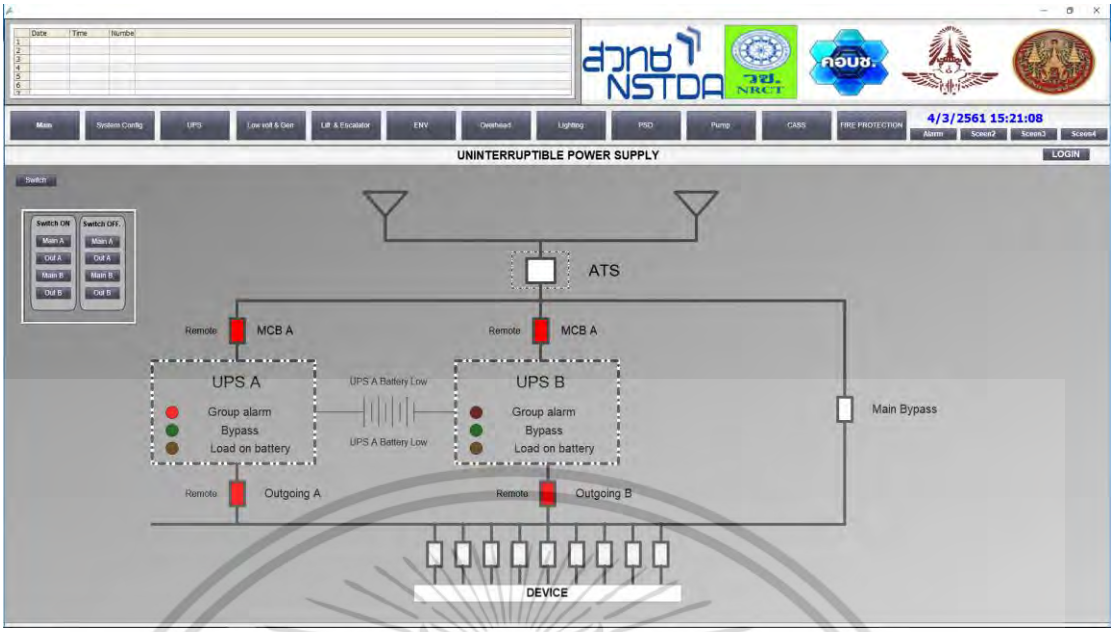


รูปที่ 4.42 UPS A Main Circuit Breaker มีสถานะสวิตช์เปิด

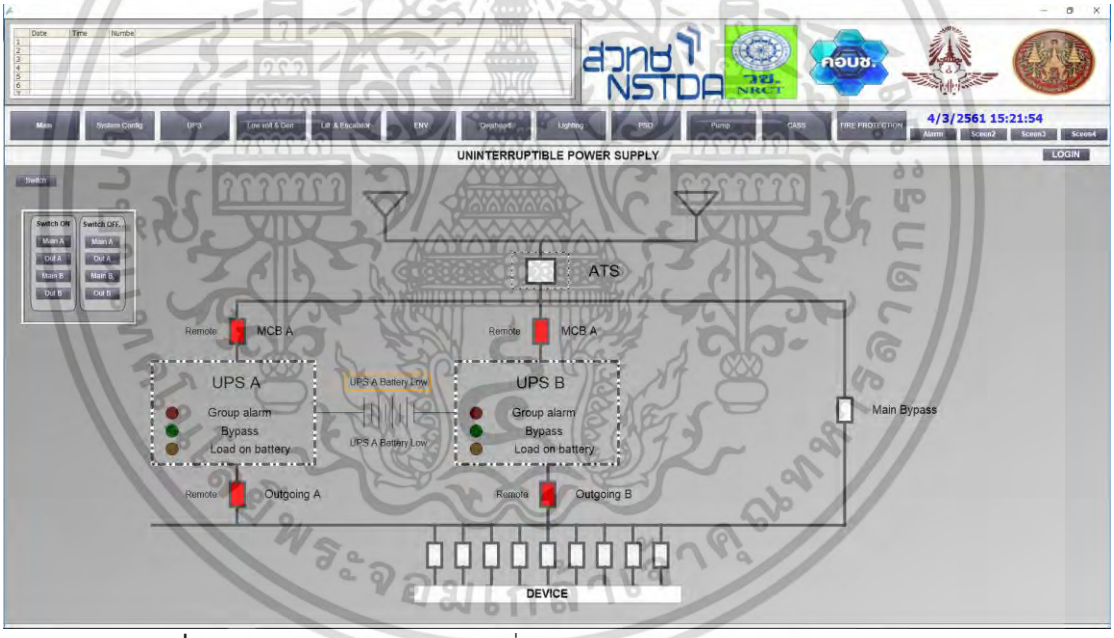


รูปที่ 4.43 UPS A Outgoing Disconnector Switch มีสถานะสวิตช์เปิด

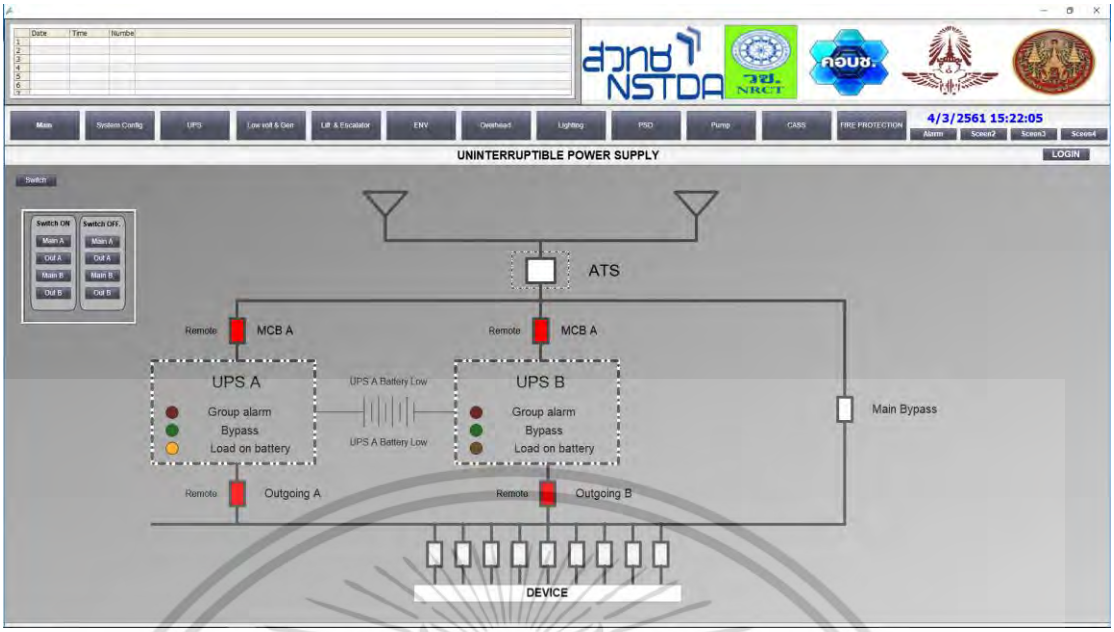
นอกจากนี้ในส่วนของ UPS A แหล่งจ่ายไฟจะมีฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้ กรณีมีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm) แสดงดังรูปที่ 4.44 กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้หมด (Battery Low) แสดงดังรูปที่ 4.45 และกรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery) แสดงดังรูปที่ 4.46 และกรณีที่สวิตช์ Bypass ทำงาน แสดงดังรูปที่ 4.47



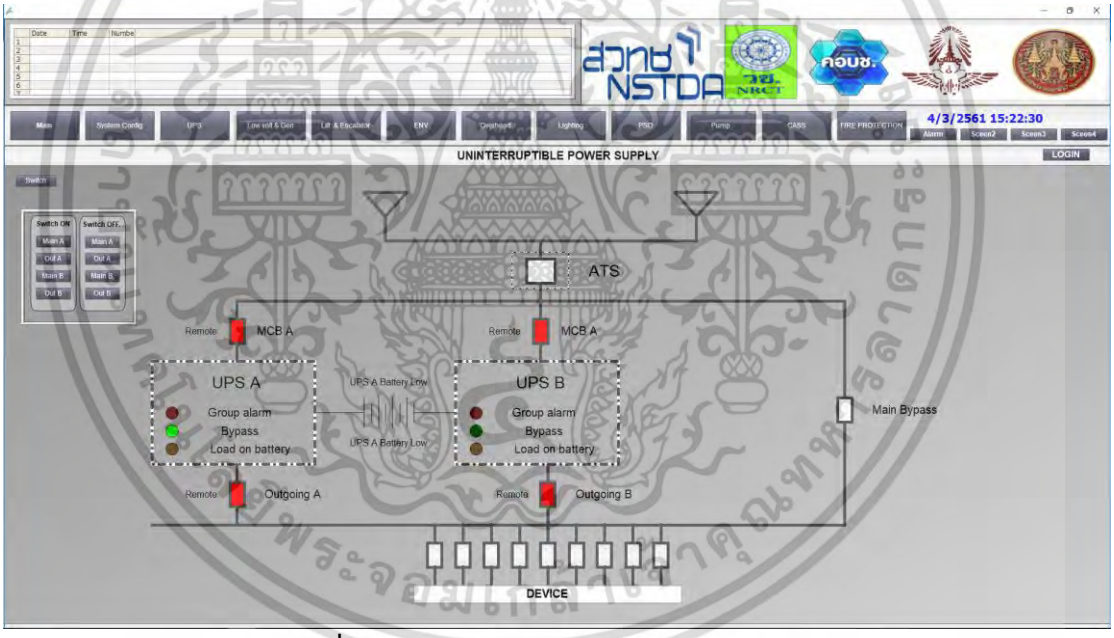
รูปที่ 4.44 UPS A มีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm)



รูปที่ 4.45 UPS A กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้หมด (Battery Low)



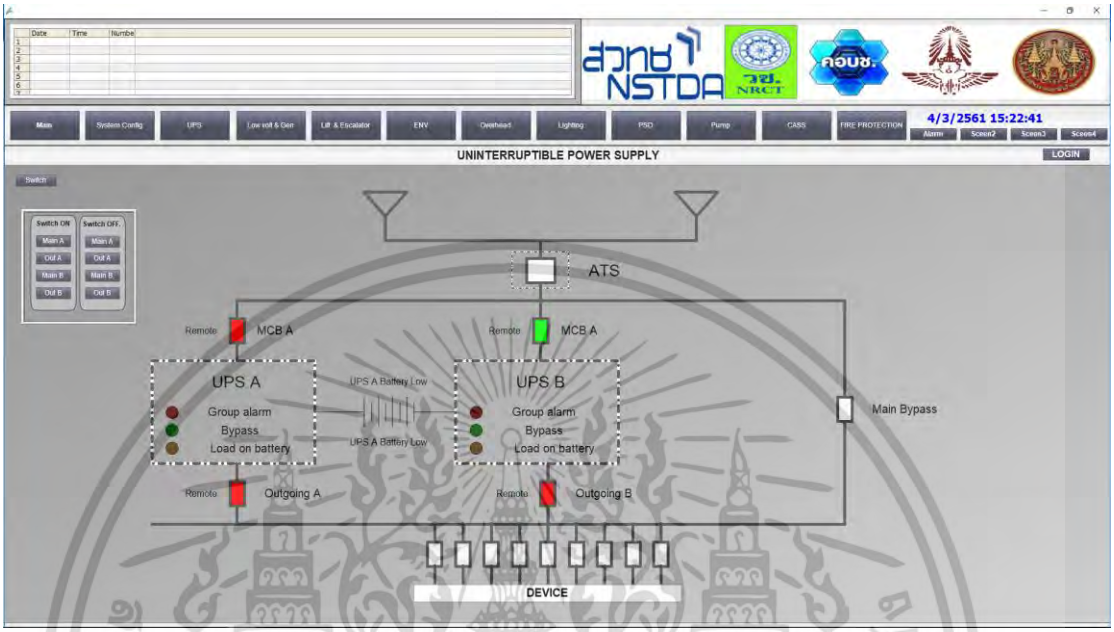
รูปที่ 4.46 UPS A กรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery)



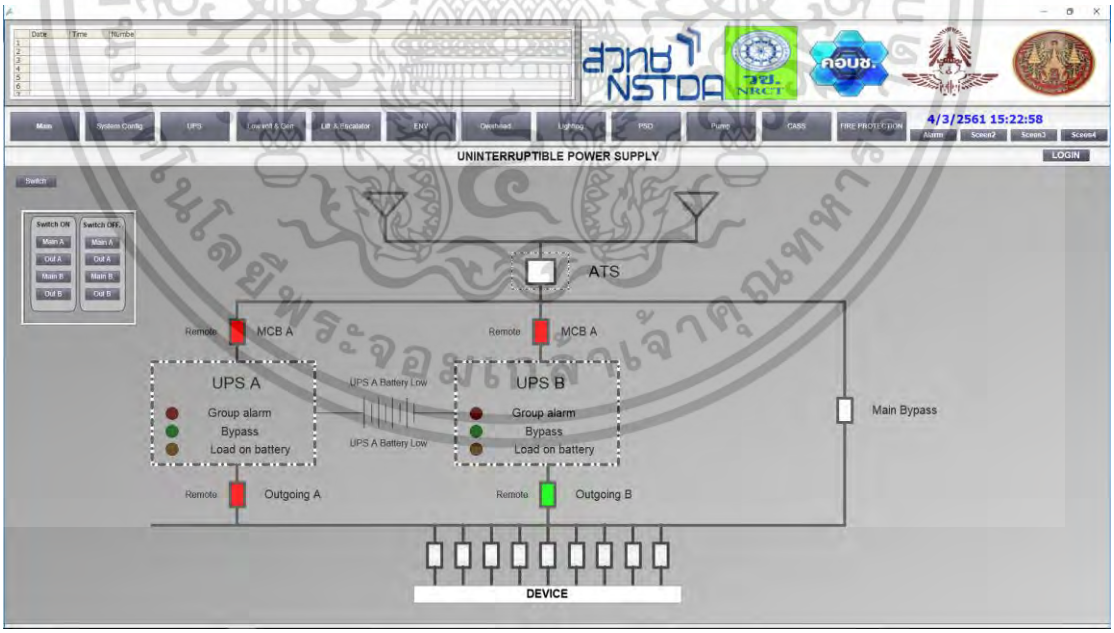
รูปที่ 4.47 UPS A กรณีมีสถานะสวิตช์ Bypass

ในระบบจะเห็นว่ามี UPS ในการสำรองไฟสองตัว หากตัวใดตัวหนึ่งเสียหาย ก็สามารถเรียกใช้อีกตัวหนึ่งได้ ในกรณีที่ UPS A เสียหาย และ ต้องการให้ UPS B ทำงาน โดย UPS B Main Circuit Breaker มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับ UPS B ซึ่ง UPS B จะจ่ายไฟส่งต่อให้กับ UPS B Outgoing Disconnector Switch เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ ซึ่งจะสามารถสั่งการได้จากสวิตช์ที่หน้าอินเตอร์เฟสผ่านการทำงานของพอร์ต Digital Output และจำลองการทำงานเป็น Feedback กลับมาที่อินเตอร์เฟสผ่านพอร์ต Digital Input โดย UPS A Main Circuit

Breaker ในสภาวะปกติจะมีสถานะเป็นปิด (สีแดง) และเมื่อทำการสั่งเปิด จะมีสถานะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.48 เช่นเดียวกันกับ UPS B Outgoing Disconnector Switch เมื่อมีสถานะเป็นเปิด สวิตช์จะเป็นสีเขียวเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.49



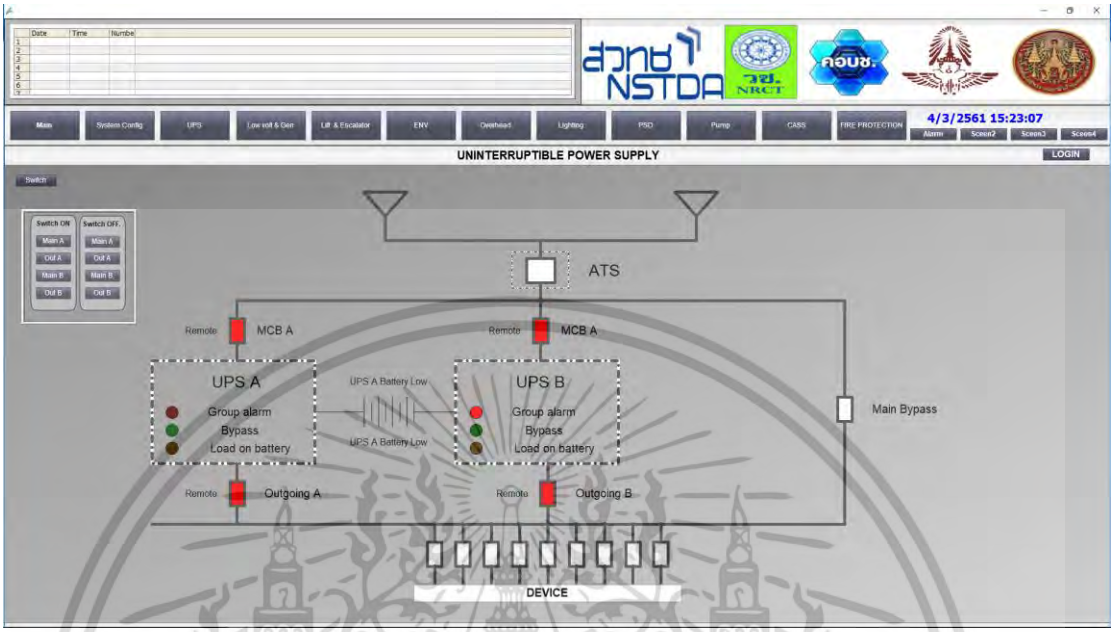
รูปที่ 4.48 UPS B Main Circuit Breaker มีสถานะสวิตช์เปิด



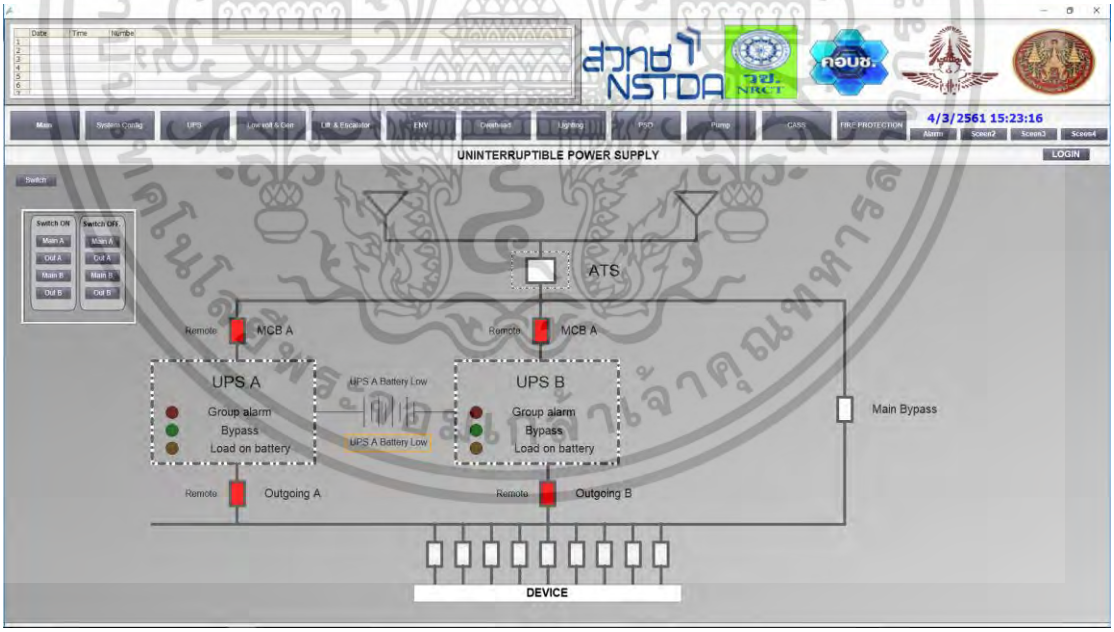
รูปที่ 4.49 UPS B Outgoing Disconnector Switch มีสถานะสวิตช์เปิด

นอกจากนี้ในส่วนของ UPS A แหล่งจ่ายไฟจะมีฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้ กรณีมีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm) แสดงดังรูปที่ 4.50 กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้

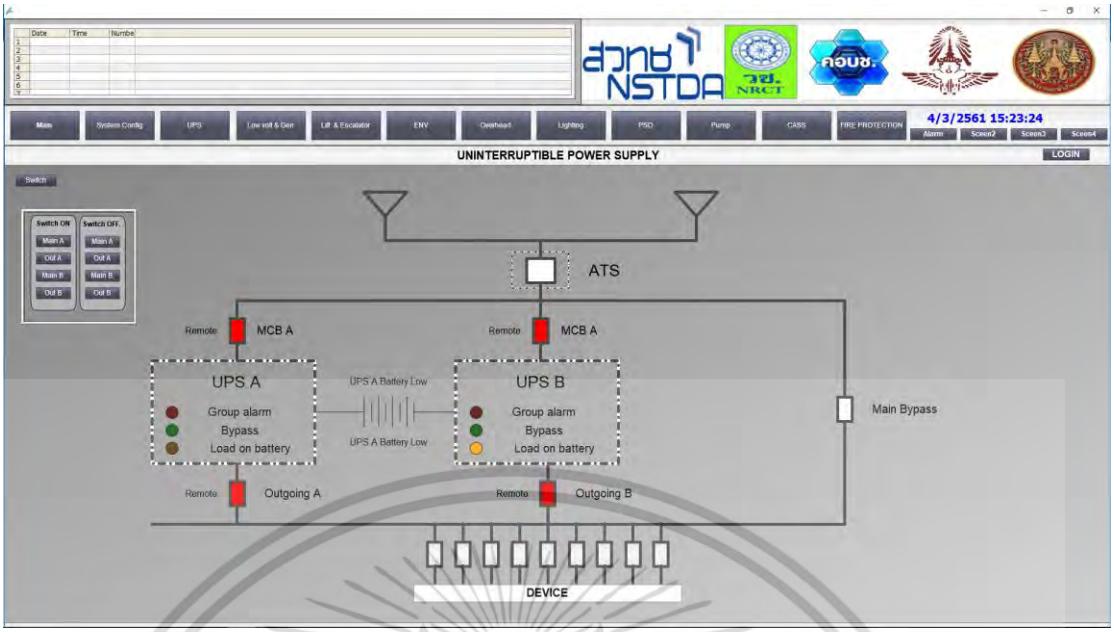
หมด (Battery Low) แสดงดังรูปที่ 4.51 และกรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery) แสดงดังรูปที่ 4.52 และกรณีที่สวิตช์ Bypass ทำงาน แสดงดังรูปที่ 4.53



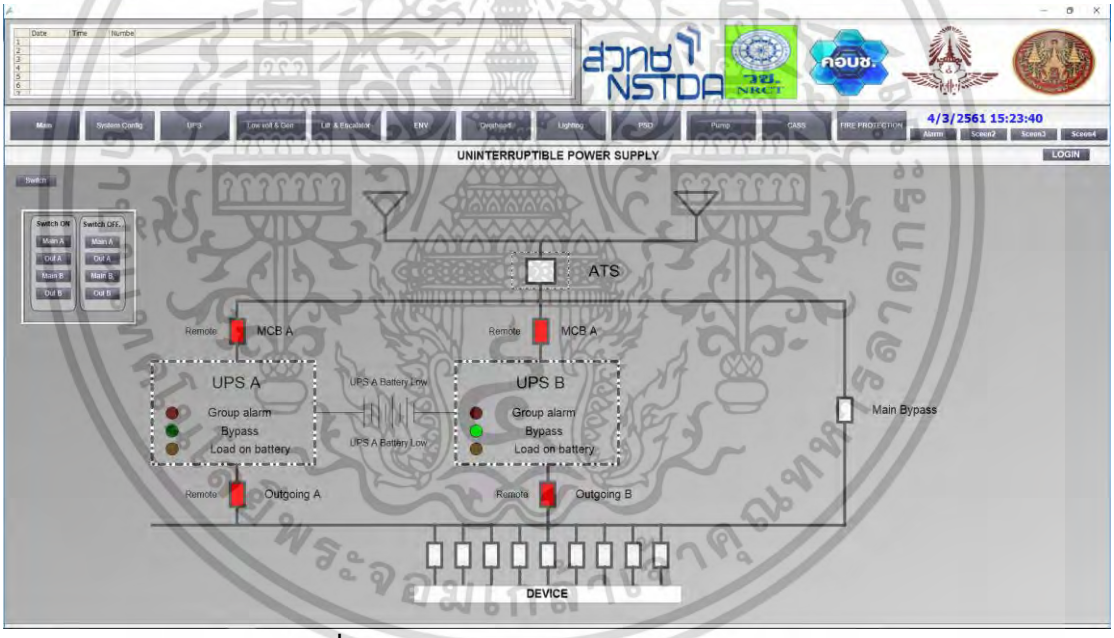
รูปที่ 4.50 UPS B มีความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟ (Group Alarm)



รูปที่ 4.51 UPS B กรณีแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟใกล้หมด (Battery Low)

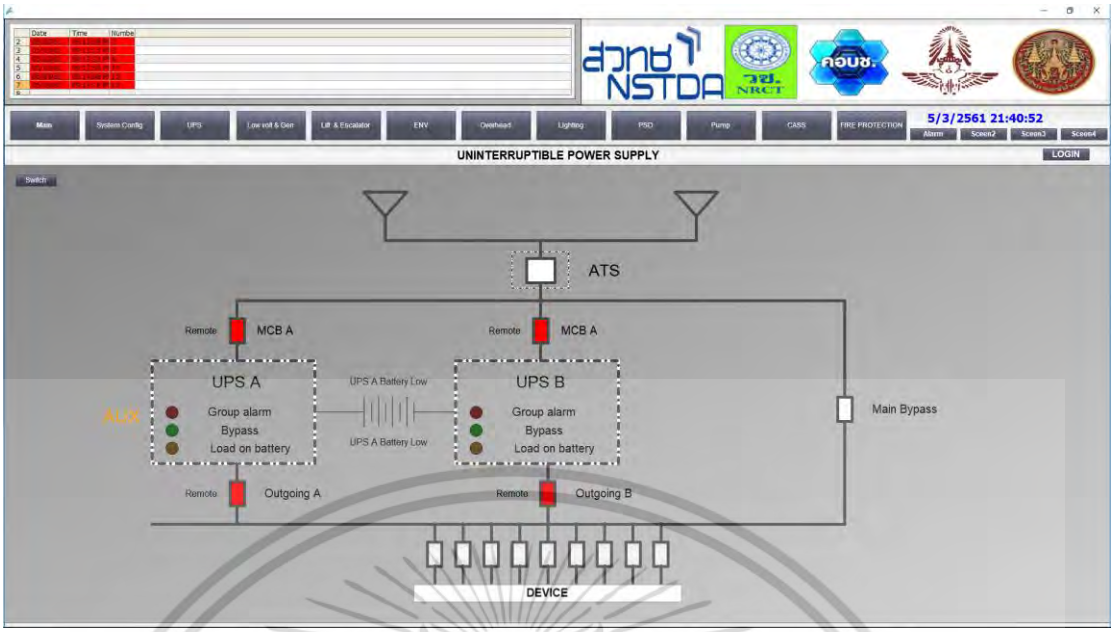


รูปที่ 4.52 UPS B กรณีใช้งานจากแบตเตอรี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Load on Battery)

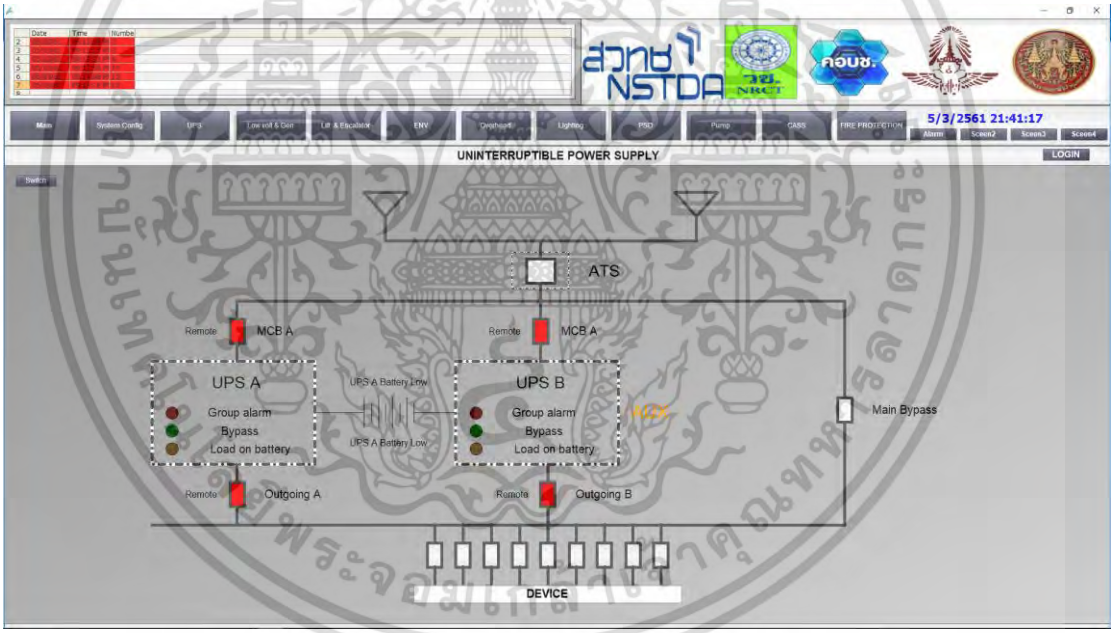


รูปที่ 4.53 UPS A กรณีมีสถานะสวิตช์ Bypass

นอกจากนี้ UPS ทั้งสองตัวสามารถใช้งานในโหมด Auxiliary Mode ได้ โดยเมื่อทำการเชื่อม Input แล้วจะแสดงเป็นคำว่า AUX ขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 4.54 สำหรับ UPS A และ รูปที่ 4.55 สำหรับ UPS B



รูปที่ 4.54 UPS A กรณีมีสถานะ Auxiliary Mode

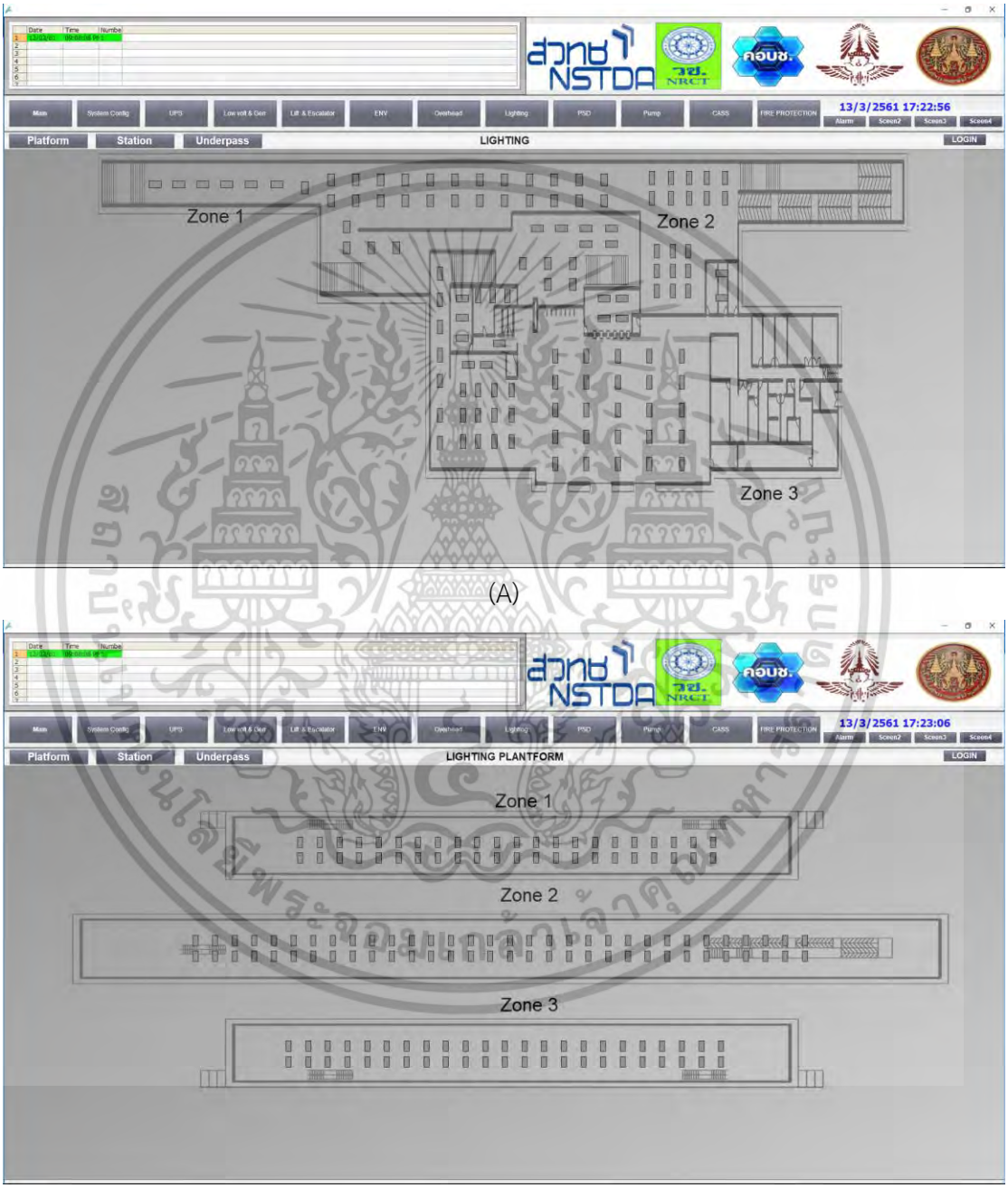


รูปที่ 4.55 UPS B กรณีมีสถานะ Auxiliary Mode

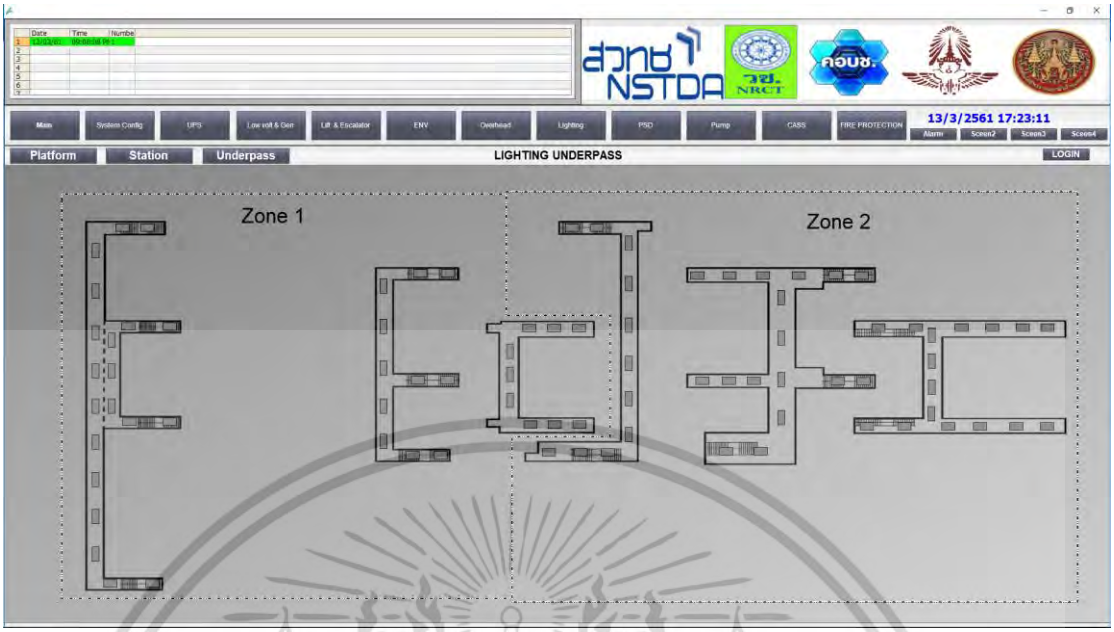
จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ จะรับกระแสไฟได้นั้น จะต้องได้รับการจ่ายไฟให้ UPS A Outgoing Disconnector Switch และ UPS B Outgoing Disconnector Switch ซึ่งจะได้รับกระแสไฟฟ้ามาจาก UPS A Main Circuit Breaker (UPS A MCB) และ UPS B Main Circuit Breaker (UPS B MCB) อีกที โดย MCB และ Outgoing Disconnector Switch ของทั้งสองแหล่งจ่ายไฟสำรอง

4.3 ระบบแสงสว่าง (Lighting System)

โปรแกรมแสงสว่างจะแบ่งออกเป็น 8 โซน โดยที่จะเป็นส่วนชานชาลา 3 โซน (P1, P2, P3) ส่วนสถานี 3 โซน (S1, S2, S3) และส่วนอุโมงค์อีก 2 โซน (U1, U2) จะแสดงดังรูปที่ 4.56 ซึ่งจะแสดงการทำงานของแสงสว่างในแต่ละโซน



รูปที่ 4.56 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่าง
(A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์ทางเดิน



(C)

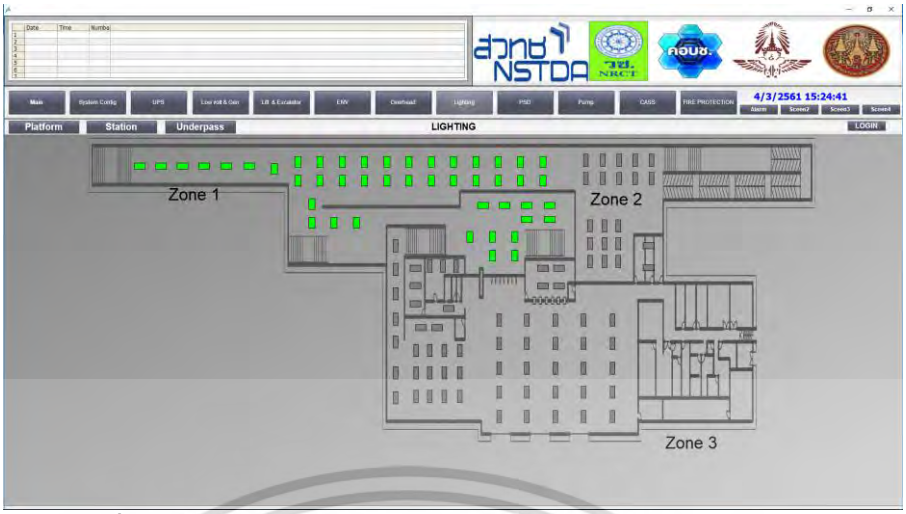
รูปที่ 4.56 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่าง
(A) ส่วนสถานี (B) ส่วนชานชาลา (C) ส่วนอุโมงค์ทางเดิน (ต่อ)

ตารางที่ 4.5 I/O List แสดงการทำงานระบบแสงสว่างในสถานี

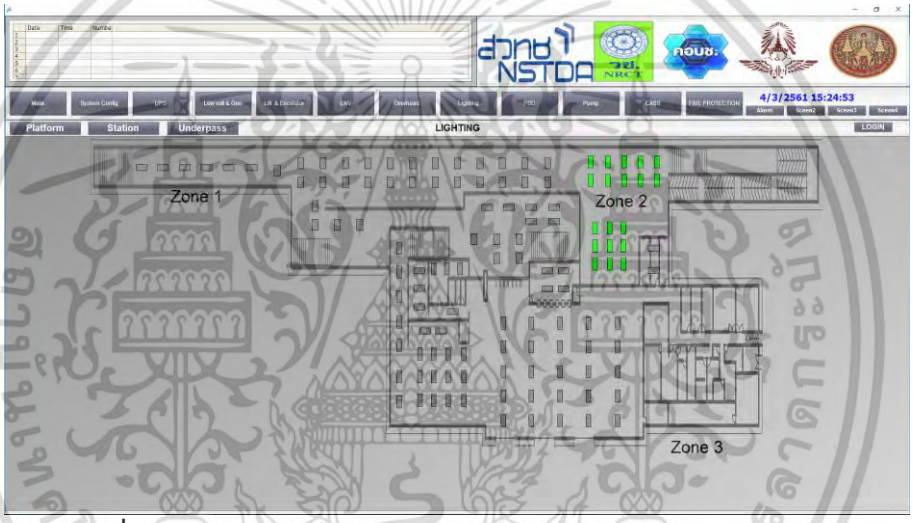
No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Lighting Control				
83	Lighting Zone 1	Status	ON	DI	I11.0
84	Lighting Zone 2	Status	ON	DI	I11.1
85	Lighting Zone 3	Status	ON	DI	I11.2
86	Lighting Zone 4	Status	ON	DI	I11.3
87	Lighting Zone 5	Status	ON	DI	I11.4
88	Lighting Zone 6	Status	ON	DI	I11.5
89	Lighting Zone 7	Status	ON	DI	I11.6
90	Lighting Zone 8	Status	ON	DI	I11.7

4.3.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบแสงสว่าง

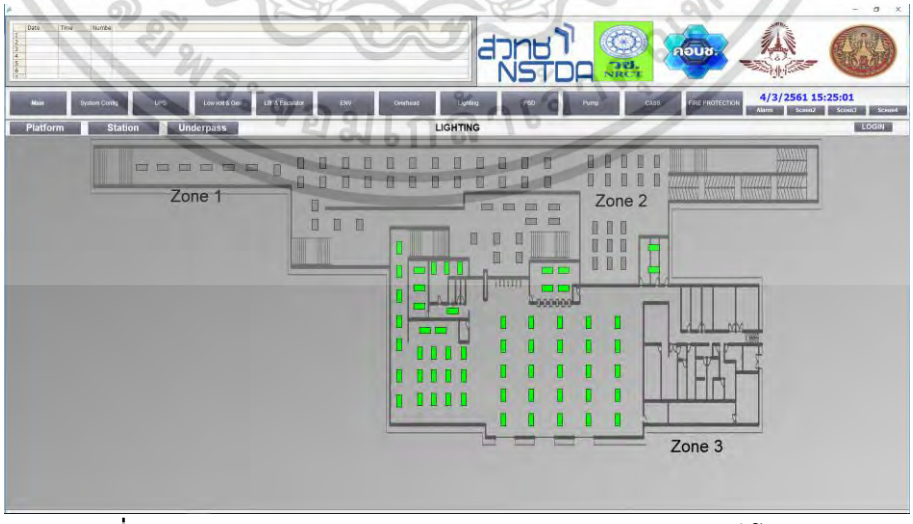
กรณีไฟฟ้าแสงสว่างในส่วนสถานี โซน S1 S2 และ S3 ทำงาน เมื่อไฟในโซนเหล่านี้ทำงาน จะแสดงเป็นสีเขียวที่แสดงถึงสถานะเปิดการทำงานของแสงสว่างในโซนนั้น ๆ โดยโปรแกรมจะมีหน้าต่าง (Window) แสดงดังรูปที่ 4.57 - 4.59



รูปที่ 4.57 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S1

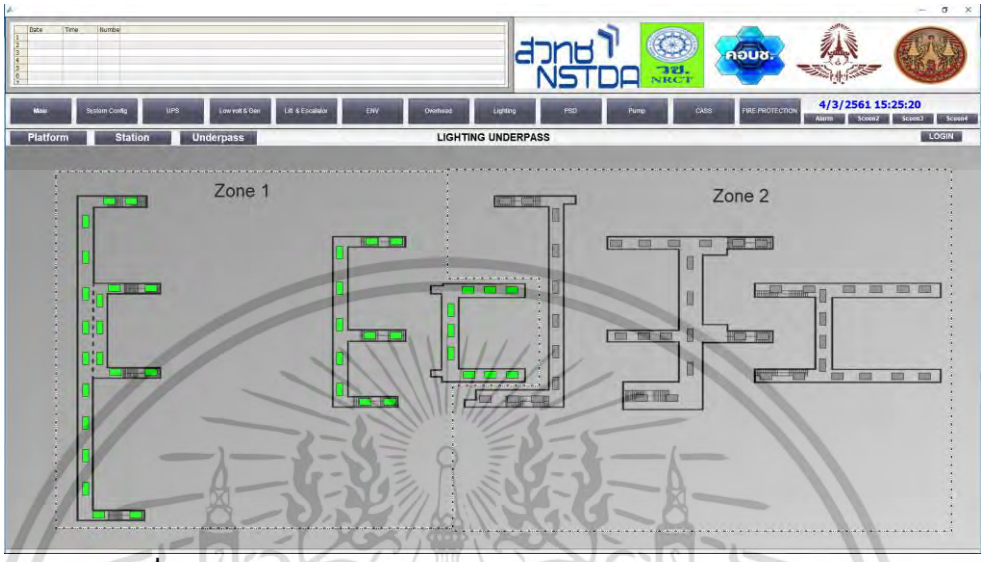


รูปที่ 4.58 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S2

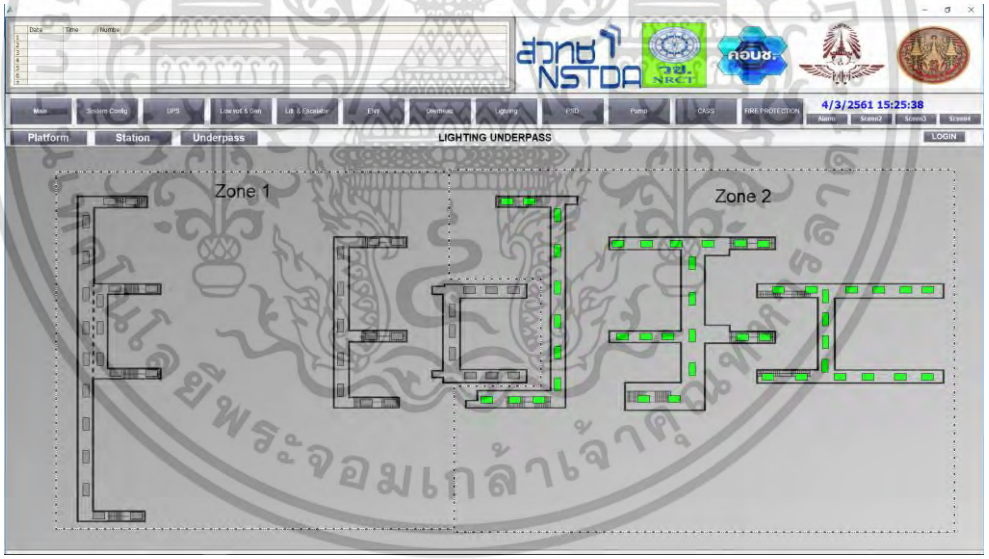


รูปที่ 4.59 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน S3

ลำดับถัดมาจะเป็นสถานการณ์ทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในโซนของอุโมงค์ทางเดิน (Underpass) โดยจะแบ่งเป็นสองโซนคือ U1 และ U2 โดยเมื่อมีสถานะไฟฟ้าสว่าง โซนนั้นจะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.60 และ รูปที่ 4.61

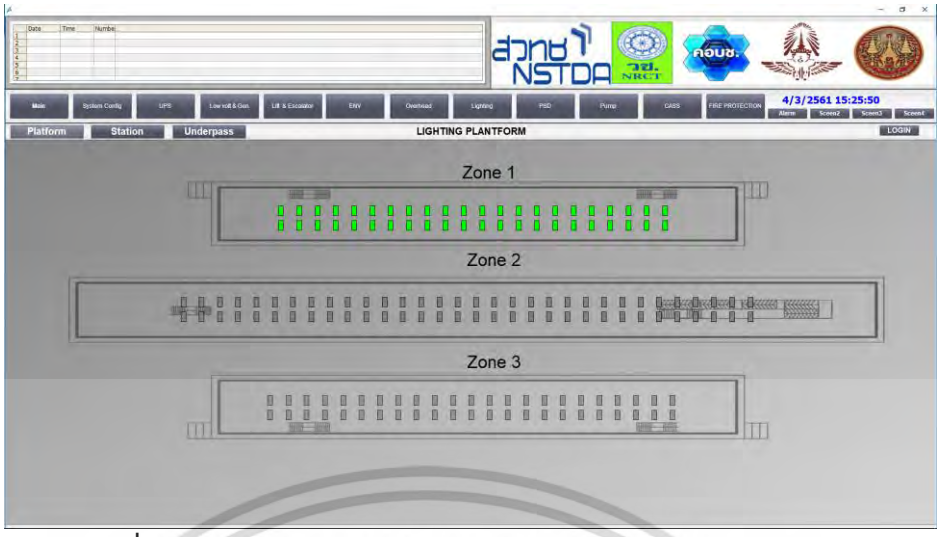


รูปที่ 4.60 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน U1

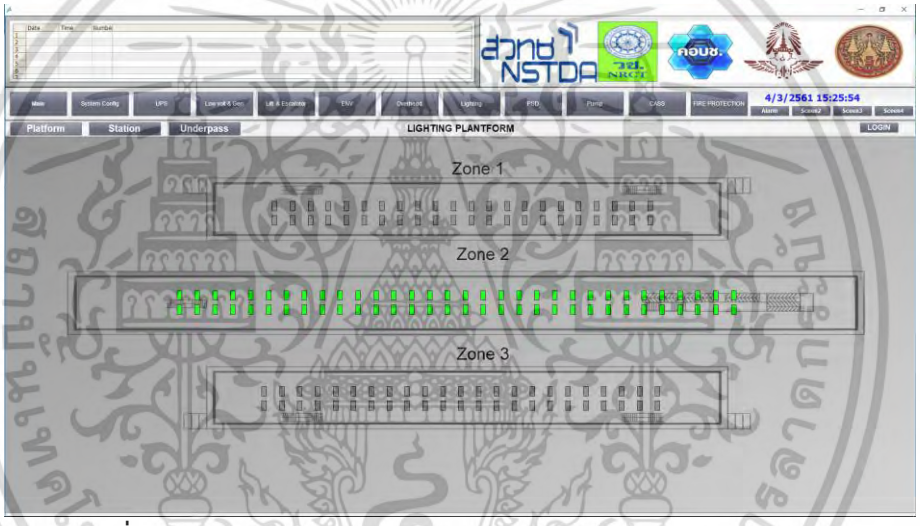


รูปที่ 4.61 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน U2

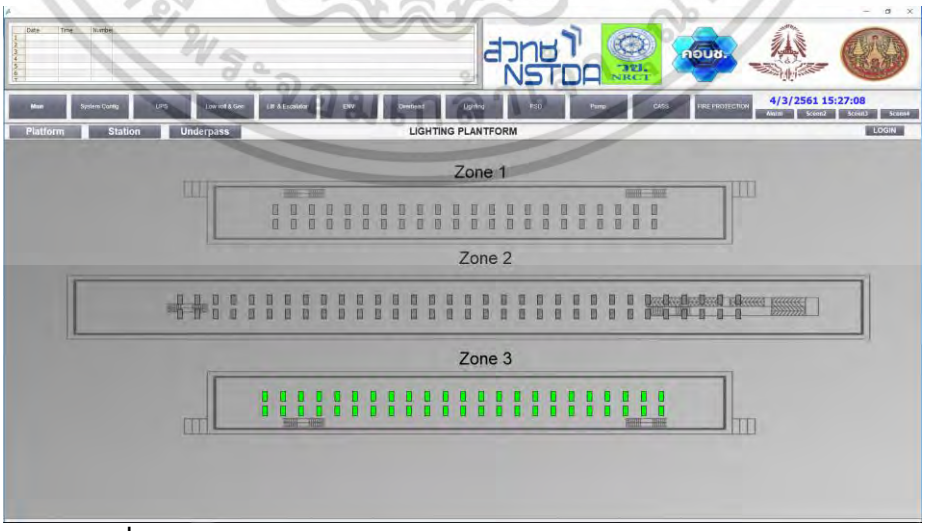
ถัดมาจะเป็นสถานการณ์ทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในโซนของชานชาลารถไฟโดยจะแบ่งเป็นสามโซนคือ P1 P2 และ P3 โดยเมื่อมีสถานะไฟฟ้าสว่าง โซนนั้นจะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.62-4.64



รูปที่ 4.62 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P1



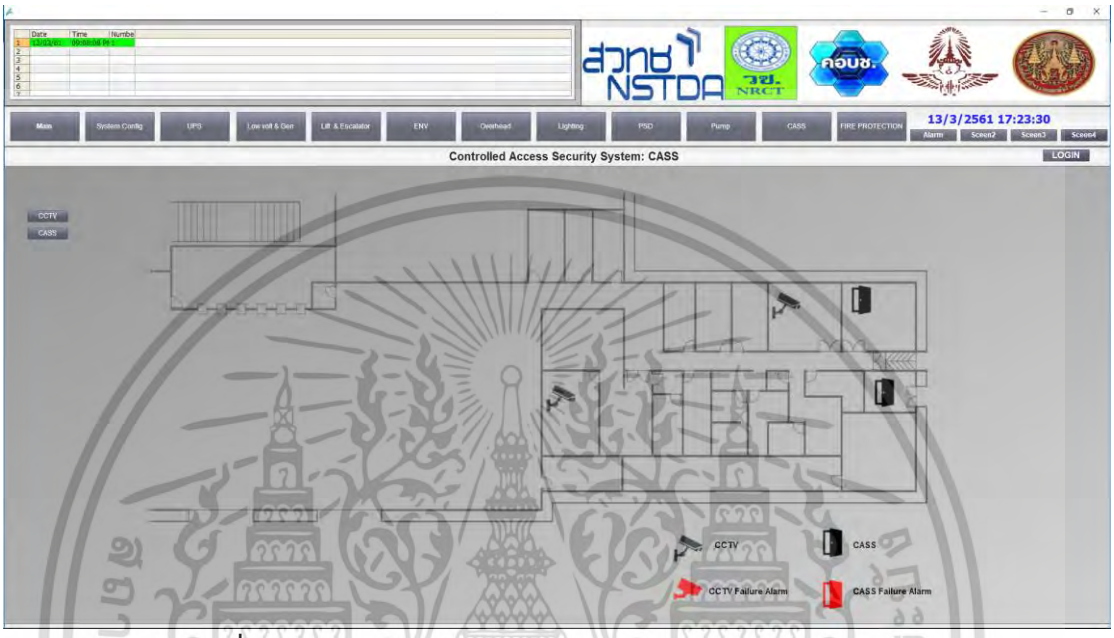
รูปที่ 4.63 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P2



รูปที่ 4.64 การแสดงผลการทำงานของระบบแสงสว่างสถานี โซน P3

4.4 ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System)

ระบบรักษาความปลอดภัย จะประกอบด้วย 2 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบกล้องวงจรปิด (CCTV) และระบบความปลอดภัยของรหัสผ่านเข้า-ออก (Controlled Access Security System: CASS โดยจะมีอินเตอร์เฟสผู้ใช้งานดังรูปที่ 4.65 และมีการทำงานดังตาราง I/O List ตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.65 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย

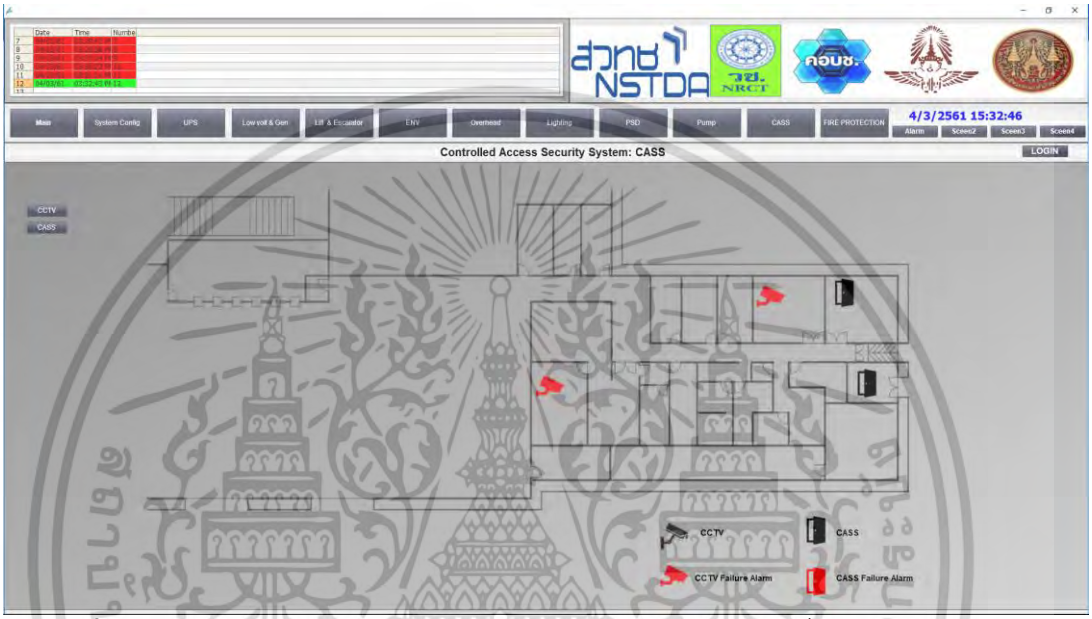
ตารางที่ 4.6 I/O List แสดงการทำงานระบบรักษาความปลอดภัย

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Security System				
108	CCTV Group Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I13.6
109	CASS Group Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I13.7

โปรแกรมจะแสดงผล 2 อุปกรณ์ ได้แก่ กล้องวงจรปิด (CCTV) และระบบความปลอดภัยของรหัสผ่านเข้า-ออก (Controlled Access Security System: CASS) ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับถัดไป โดยหน้าต่างของระบบรักษาความปลอดภัย หากมีความขัดข้องเกิดขึ้นจะแสดงรูปเป็นสีแดง

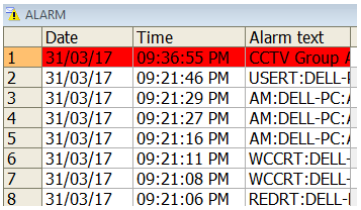
4.4.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบรักษาความปลอดภัย

กรณี CCTV เกิดการชำรุด จากรูปที่ 4.66 จะเห็นว่าสีไอคอนรูปกล้องวงจรปิดเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีแดง เพื่อแจ้งให้เห็นว่ามี CCTV ชำรุด และเมื่อระบบ CASS ชำรุด ก็จะมีสถานะไอคอนรูปประตูเปลี่ยนจากสีดำเป็นแดงเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.67 และในกรณีทั้งสองอุปกรณ์นี้สถานะเป็น ALARM แจ้งเตือนอุปกรณ์ชำรุด จึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.68



รูปที่ 4.66 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อกล้องวงจรปิดชำรุด

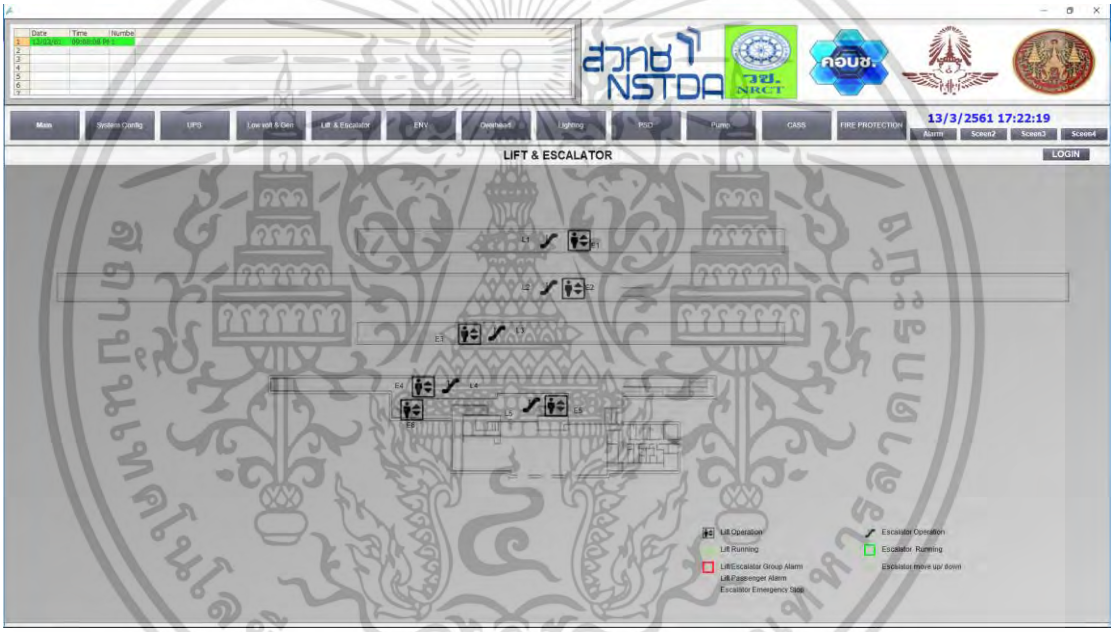
รูปที่ 4.67 การแสดงผลการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อ CASS ชำรุด



รูปที่ 4.68 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนของอุปกรณ์ เมื่อมีการชำรุด

4.5 ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lift & Escalator System)

ระบบลิฟต์ และบันไดเลื่อน จะทำการมอนิเตอร์การทำงานลิฟต์ และบันไดเลื่อนว่ามีการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ และมีความเสียหายหรือไม่ ถ้าเสียหายชำรุด ก็จะมีการแจ้งเตือนมา โดยอินเตอร์เฟสผู้ใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.69 และมีการทำงานดังตาราง I/O List ตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.69 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน

ตารางที่ 4.7 I/O List แสดงการทำงานระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Lift and Escalator				
119	Lift Group alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.6
120	Lift Operation/Running	Status	Run / Stop	DI	I14.7
121	Lift Passenger Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I15.0

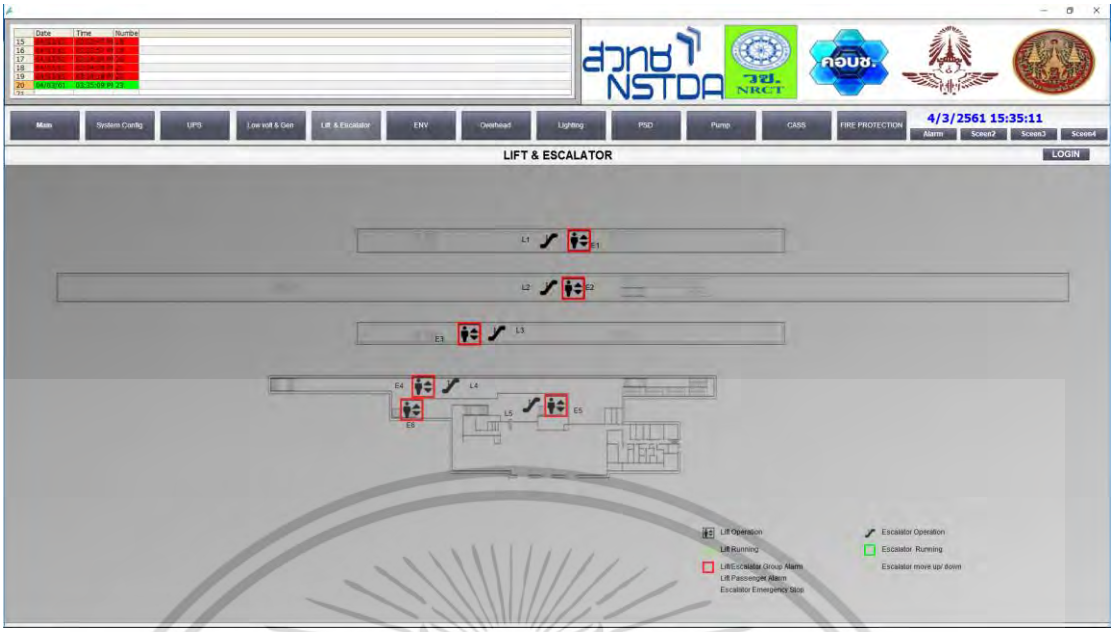
ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Lift and Escalator				
122	Escalator Group alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I15.1
123	Escalator Operation/Running	Status	Run / Stop	DI	I15.2
124	Escalator UP Direction	Status	Up / Stop	DI	I15.3
125	Escalator Down Status	Status	Down / Stop	DI	I15.4
126	Escalator Emergency Stop Switch Operated	Alarm	Appear / Disappear	DI	I15.5

โปรแกรมจะแสดงผลการทำงาน 2 อุปกรณ์ ได้แก่ ลิฟต์ (Lift) และบันไดเลื่อน (Escalator) ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับถัดไป โดยหน้าต่างของระบบลิฟต์และบันไดเลื่อนจะแสดงดังรูปที่ 4.69 โดยผู้ใช้งานโปรแกรมจะเห็นการทำงานของลิฟต์และบันไดเลื่อน ทั้งหมดในสถานี

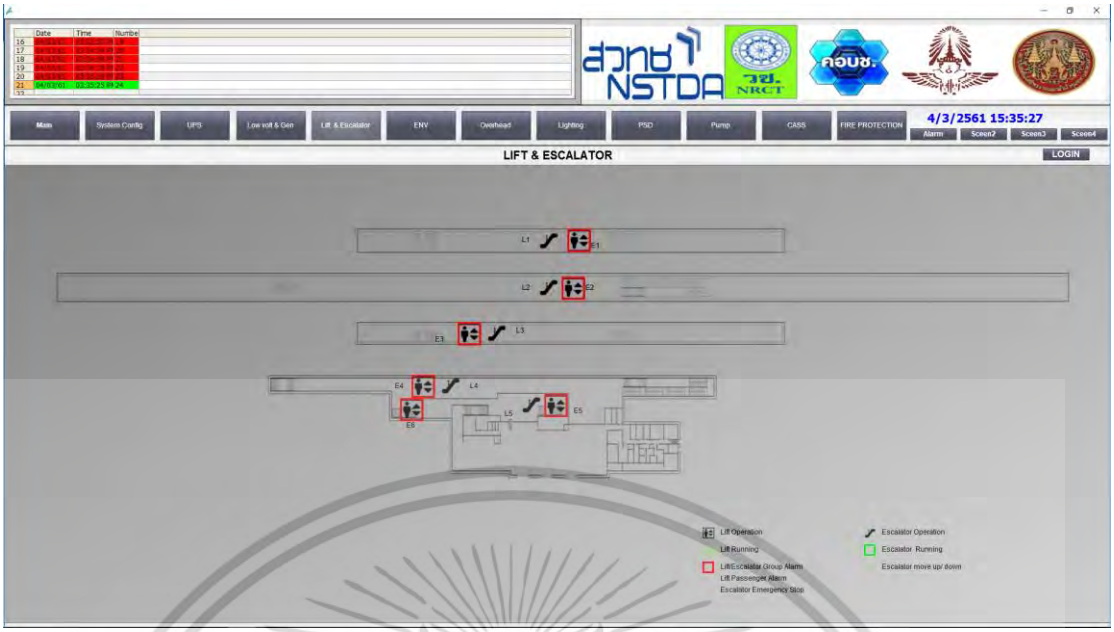
4.5.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน

การทำงานของระบบลิฟต์ จะมีสามสถานการณ์ทำงาน โดยสามารถจำลองการทำงานโดยการเชื่อมต่อ Input 24 VDC ไปยังพอร์ต DI ตามที่กำหนดไว้ใน I/O List โดยในเริ่มต้นจากรูปที่ 4.69 แสดงให้เห็นว่าสีไอคอนของลิฟต์ในโปรแกรมค่าเริ่มต้นจะเป็นสีดำ หากมีการแจ้งเตือนว่าลิฟต์มีปัญหา ซึ่งในที่นี้จะเป็น Group Alarm จะแจ้งเตือนโดยมีกรอบสีแดงแสดงขึ้นที่ลิฟต์ แสดงดังรูปที่ 4.70 และหากลิฟต์ทำงานปกติ จะมีสถานะเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.71 และหากมีผู้โดยสารกดปุ่ม Emergency Button ในลิฟต์ ก็จะมีการแจ้งเตือนเป็นกรอบสีแดง เช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.72 ซึ่งการแจ้งเตือนเหล่านี้ ก็จะแสดงใน Alarm Log ด้วยเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.73

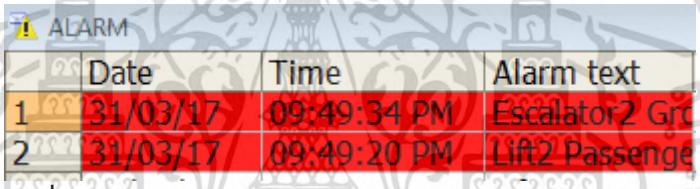


รูปที่ 4.70 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง

รูปที่ 4.71 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อทำงานปกติ

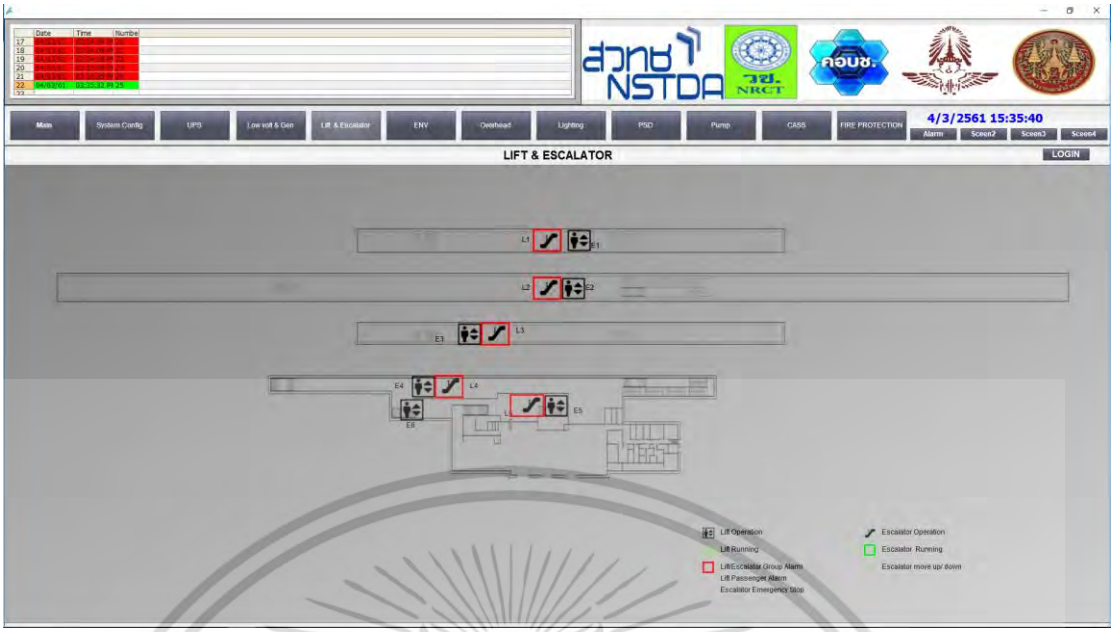


รูปที่ 4.72 การแสดงผลการทำงานของระบบลิฟต์เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจากผู้โดยสารในลิฟต์

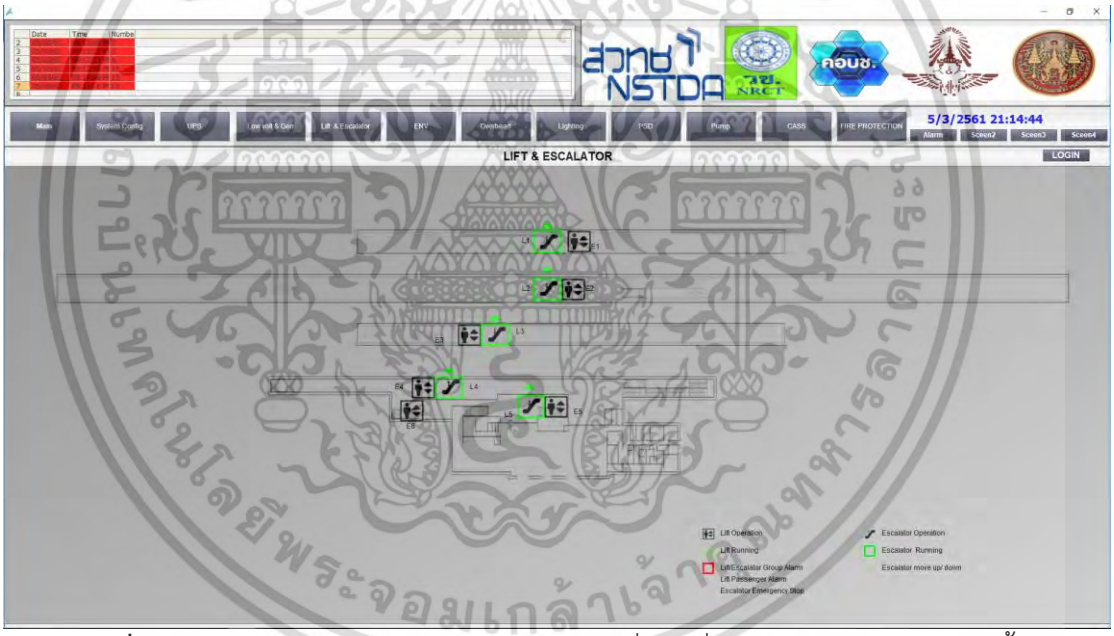


รูปที่ 4.73 ส่วนการแจ้งเตือนฉุกเฉินการทำงานของระบบลิฟต์

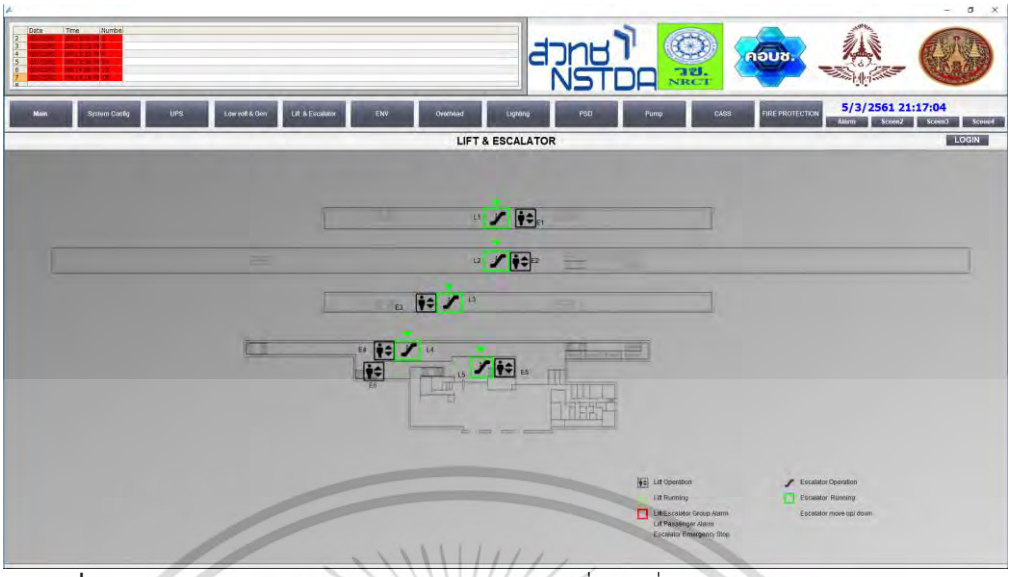
ลำดับถัดมา จะเป็นการทำงานของระบบบันไดเลื่อน จะมีสี่สถานการณ์ทำงาน โดยสามารถจำลองการทำงานโดยการเชื่อมต่อ Input 24 VDC ไปยังพอร์ต DI ตามที่กำหนดไว้ใน I/O List โดยในเริ่มแรกจากรูปที่ 4.69 แสดงให้เห็นว่าสีไอคอนของบันไดเลื่อนในโปรแกรมค่าเริ่มต้นจะเป็นสีดำ หากมีการแจ้งเตือนว่าลิฟต์มีปัญหาซึ่งในที่นี้จะเป็น Group Alarm จะแจ้งเตือนโดยมีกรอบสีแดงแสดงขึ้นที่บันไดเลื่อน แสดงดังรูปที่ 4.74 และหากลิฟต์ทำงานปกติ จะมีสถานะเป็นสีเขียว โดยจะแบ่งสถานะขึ้นและลง หากมีสถานะขึ้นจะมีลูกศรชี้ขึ้นด้วย โดยแสดงดังรูปที่ 4.75 และหากมีสถานะลงก็จะมีลูกศรชี้ลงโดยแสดงดังรูปที่ 4.76 และหากมีผู้โดยสารกดปุ่ม Emergency Button ก็จะมีการแจ้งเตือนเป็นกรอบสีแดง เช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.77 ซึ่งการแจ้งเตือนเหล่านี้ ก็จะแสดงใน Alarm Log ด้วยเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.78



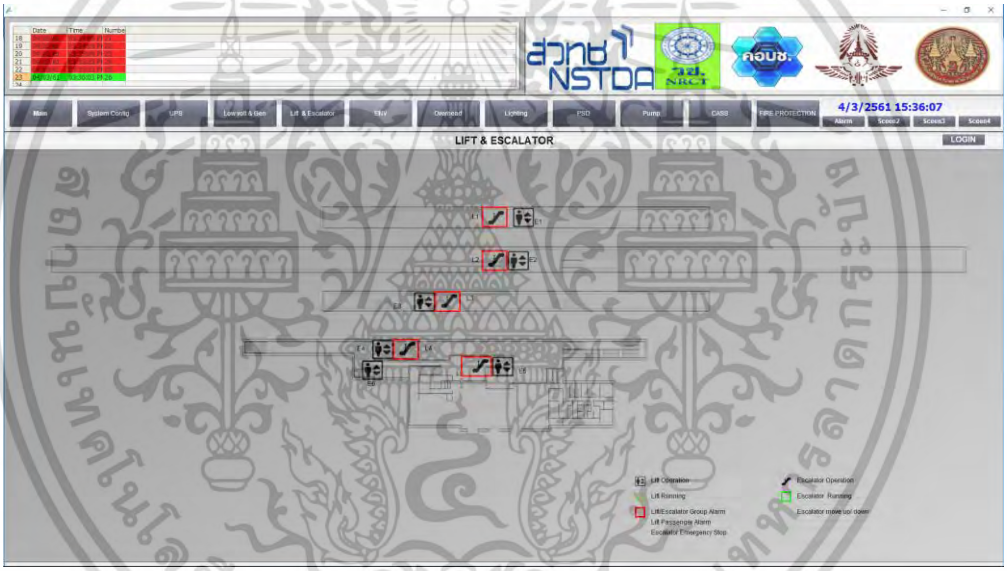
รูปที่ 4.74 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อนเมื่อเกิดเหตุขัดข้องเตือนเป็น Group Alarm



รูปที่ 4.75 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อน เมื่อทำงานปกติและมีสถานะขึ้น



รูปที่ 4.76 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อน เมื่อทำงานปกติและมีสถานะลง



รูปที่ 4.77 การแสดงการทำงานของระบบบันไดเลื่อนเมื่อมีคนกดปุ่ม Emergency Button

WinCC Recipe Control

	User	Time	State	State Value
62	Natcha	9:38:46 PM	Lift1 Operation	Run
63	Natcha	9:38:48 PM	Escalator1 Operation	Run
64				

รูปที่ 4.78 ส่วนแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุ Alarm ต่าง ๆ

4.6 ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย (Fire Protection & Detection System)

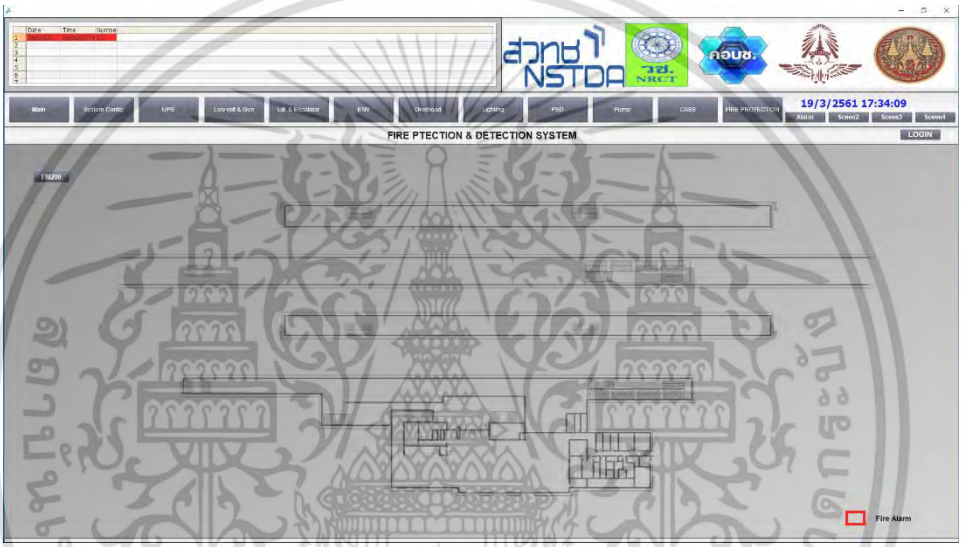
โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแจ้งเตือนอัคคีภัย จะแบ่งพื้นที่การแจ้งเตือนออกเป็น 3 โซน ได้แก่ โซนชานชาลา โซนสถานีและโซนห้องต่าง ๆ และส่วนที่ต้องใช้สารสะอาดดับเพลิง (FM200) โดยส่วนนี้จะอยู่ในห้องที่มีความสำคัญต่าง ๆ ภายในสถานี เนื่องจาก FM200 จะ

ไม่ทำให้อุปกรณ์ภายในห้องเกิดความเสียหาย ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ห้อง ดังรูปที่ 4.79 ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถทราบการแจ้งเตือนได้จากการแสดงสถานะไฟสีแดงกระพริบของพื้นที่ที่เกิดการแจ้งเตือน และสามารถทราบการทำงานของ FM200 ได้ จากการแสดงสถานะดังนี้

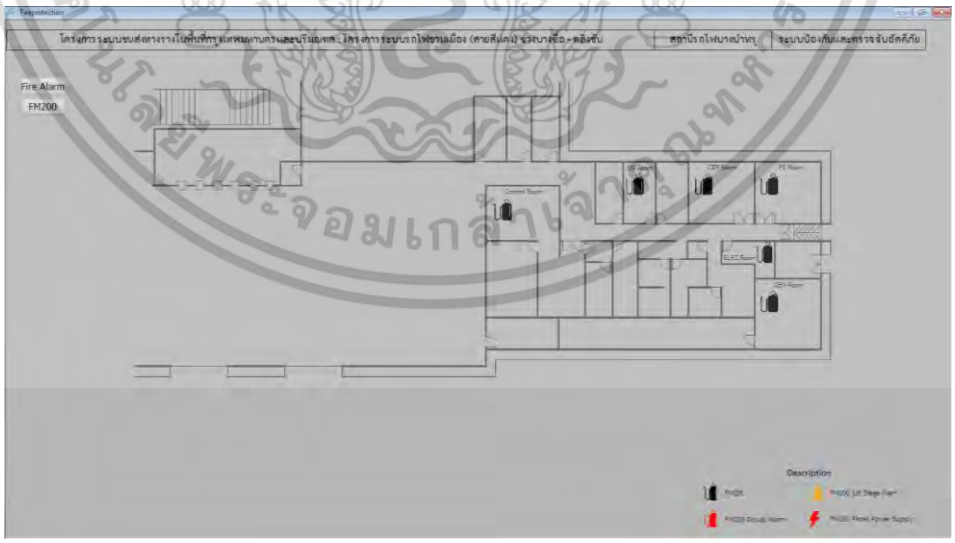
1. FM200 Panel Power Supply Fail คือ การแสดงสถานะแผงจ่ายไฟให้ FM200 เกิดข้อผิดพลาด

2. FM200 First Stage Alarm คือ การแสดงสถานะการทำงานของ FM200 ในขั้นแรก

3. FM200 Group Alarm คือ การแสดงสถานะของ FM200 ว่าเกิดความผิดปกติ โดยการทำงานของระบบทั้งหมด จะทำงานตามตาราง I/O List ตารางที่ 4.8



(A)



(B)

รูปที่ 4.79 หน้าโปรแกรมการทำงานของระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย
(A) ส่วนการแจ้งเตือนอัคคีภัย (B) ส่วนการแจ้งเตือนของ FM200

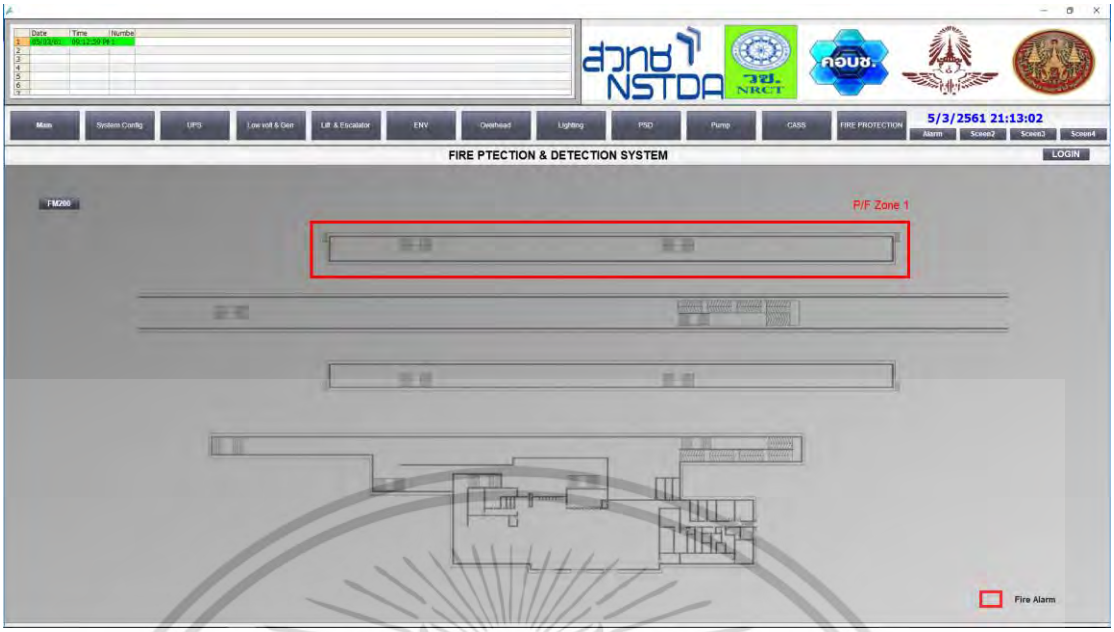
ตารางที่ 4.8 I/O List แสดงการทำงานระบบป้องกันอัคคีภัย

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Fire Protection & Detection System				
91	Fire Alarm Zone P/F	Status	Fire	DI	I1.4
92	Fire Alarm Zone C/C	Status	Fire	DI	I1.5
93	Fire Alarm Zone Ground	Status	Fire	DI	I1.6
94	Fire Alarm Zone E&M room	Status	Fire	DI	I1.7
95	FM200 R1 Panel Power supply	Status	ON	DI	I2.0
96	FM200 R1 First Stage Alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I2.1
97	FM200 R1 Group Alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I2.2
98	FM200 R2 Panel Power supply	Status	ON	DI	I2.3
99	FM200 R2 First Stage Alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I2.4
100	FM200 R2 Group Alarm	Status	Appear / Disappear	DI	I2.5

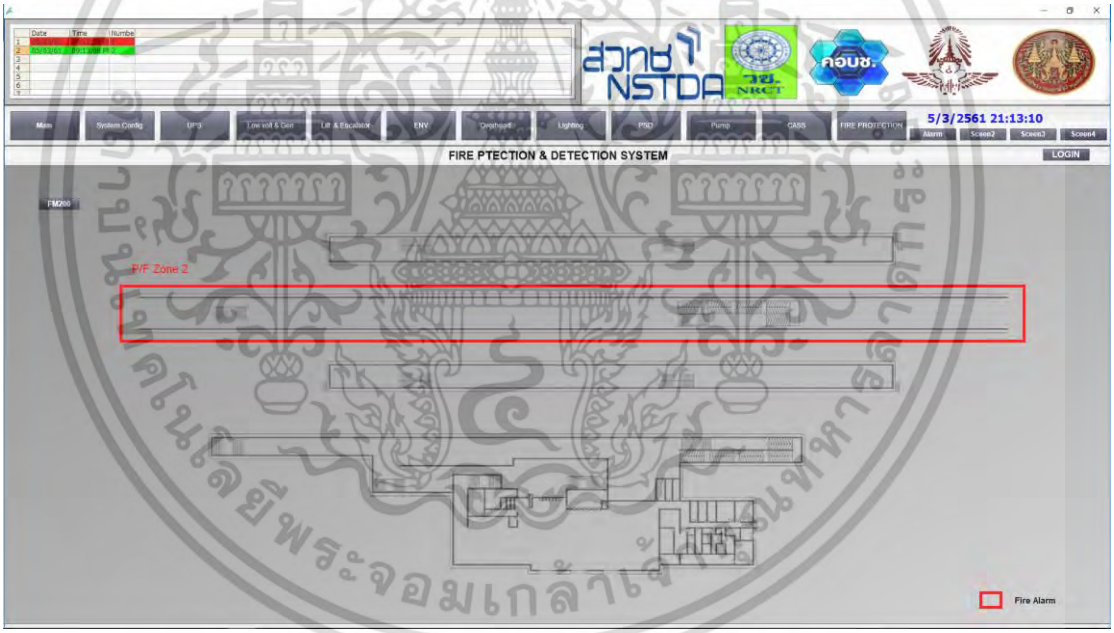
4.6.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย

- กรณีมีการแจ้งเตือนอัคคีภัยจากโซนชานชาลาและสถานีรถไฟ

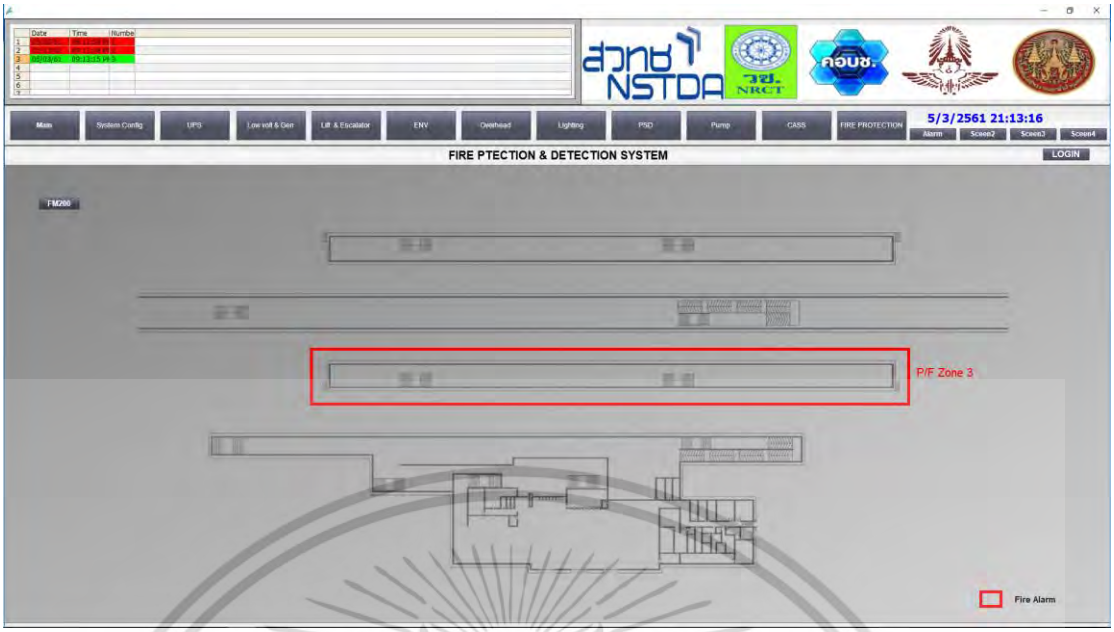
จากตาราง I/O List ตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า การแจ้งเตือนอัคคีภัยนั้น จะแบ่งออก เป็น 4 โซน โดยสามารถจำลองการเกิดอัคคีภัยในแต่ละโซนโดยการป้อน 24 VDC Input ไปยัง Digital Input ตามแท็กที่กำหนด โดยรูปที่ 4.80-4.83 จะเห็นได้ว่า มีกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงเกิดขึ้นในโซนต่าง ๆ ของสถานีรถไฟ และในกรณีนี้เป็นการแจ้งเตือนฉุกเฉินจึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.84



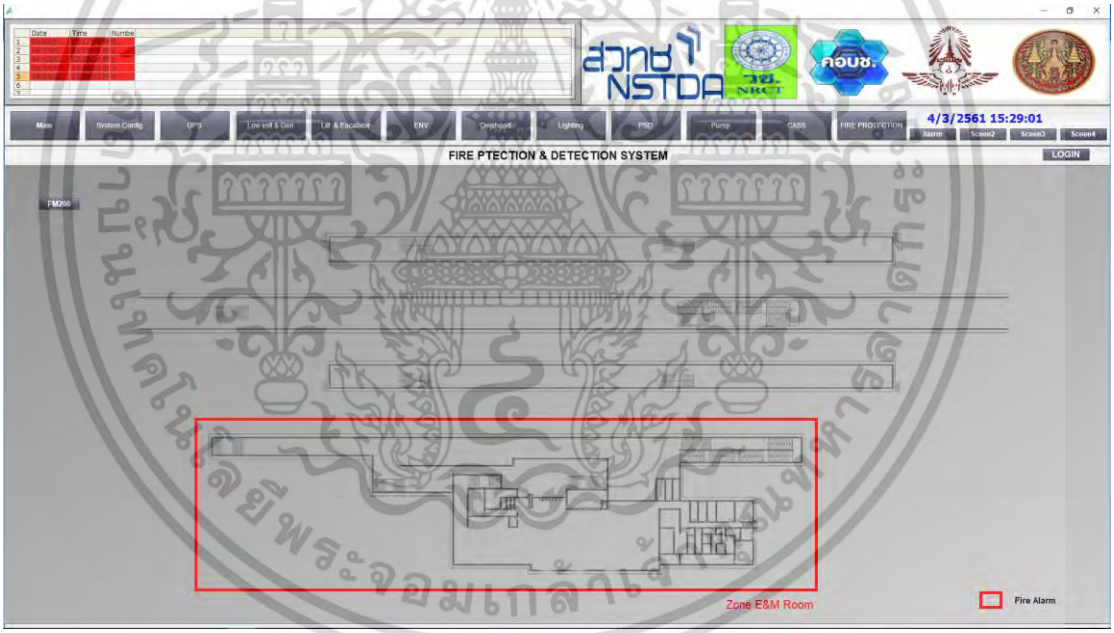
รูปที่ 4.80 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 1



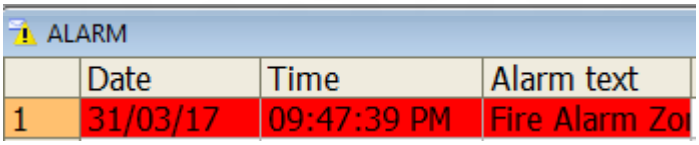
รูปที่ 4.81 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 2



รูปที่ 4.82 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา 3



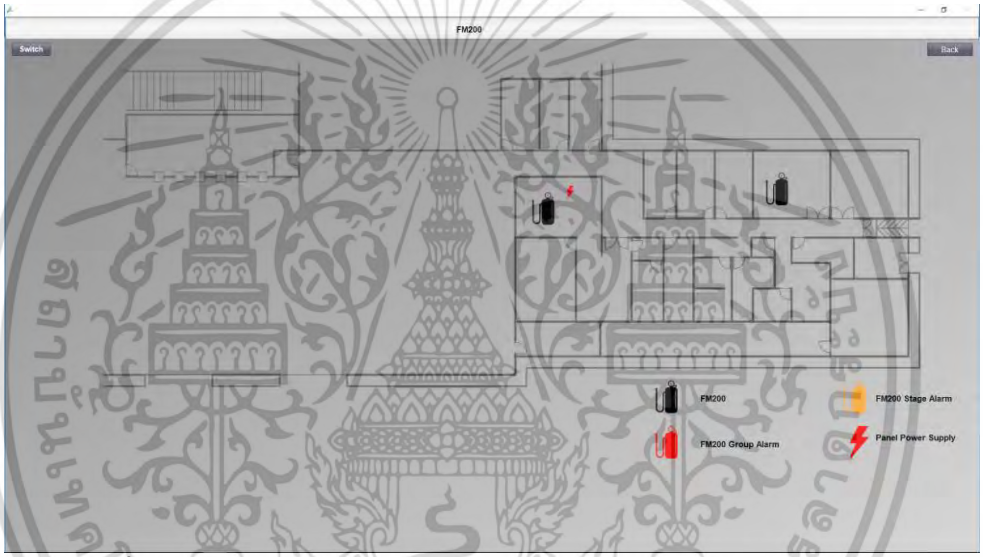
รูปที่ 4.83 ส่วนการแสดงผลการทำงานของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนสถานีรถไฟ



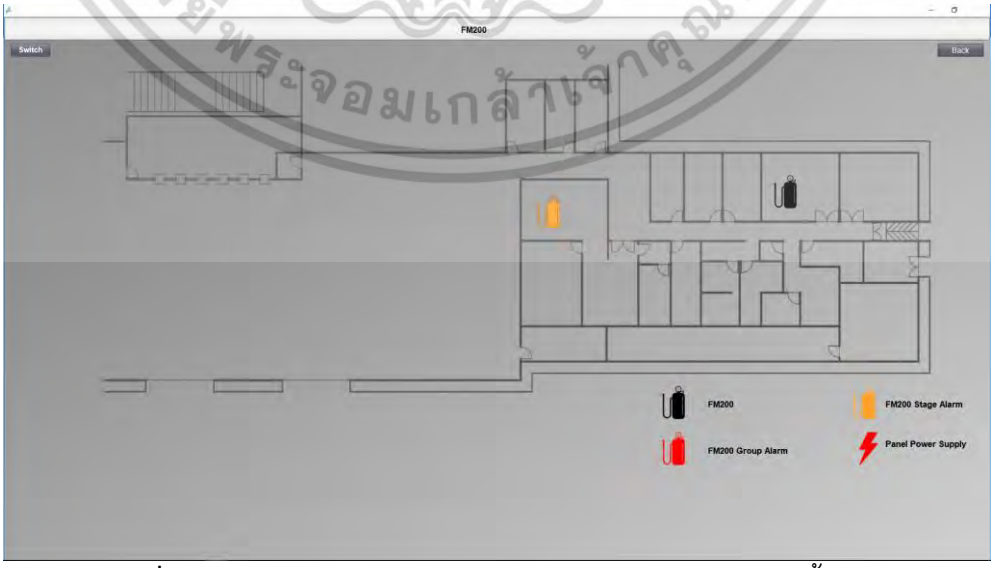
รูปที่ 4.84 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของการแจ้งเตือนไฟไหม้โซนชานชาลา

- กรณีแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องควบคุม (Control Room) เกิดข้อผิดพลาด และภายในห้องการสื่อสาร (Communication Room: CER) FM200 เกิดการทำงานในขั้นแรก อีกทั้ง FM200 ภายในห้องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Room) เกิดความผิดปกติ

จากรูปที่ 4.85 จะเห็นได้ว่า ภายในห้องควบคุมจะแสดงเป็นรูปถังสีดำและมีรูปสายฟ้าสีแดงอยู่ข้างๆ ถัง เพื่อแจ้งให้เห็นว่าแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องควบคุมเกิดข้อผิดพลาด และภายในห้องควบคุมจะแสดงเป็นรูปถังสีส้ม เพื่อแจ้งให้เห็นว่า FM200 ภายในห้องควบคุมเกิดการทำงานขั้นแรกแสดงดังรูปที่ 4.86 อีกทั้งภายในห้องควบคุมจะแสดงเป็นรูปถังสีแดง เพื่อแสดงให้เห็นว่า FM200 ภายในห้องควบคุมเกิดความผิดปกติ โดยแสดงดังรูปที่ 4.87 ซึ่งในกรณีนี้เป็นการแจ้งเตือนฉุกเฉินจึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.91



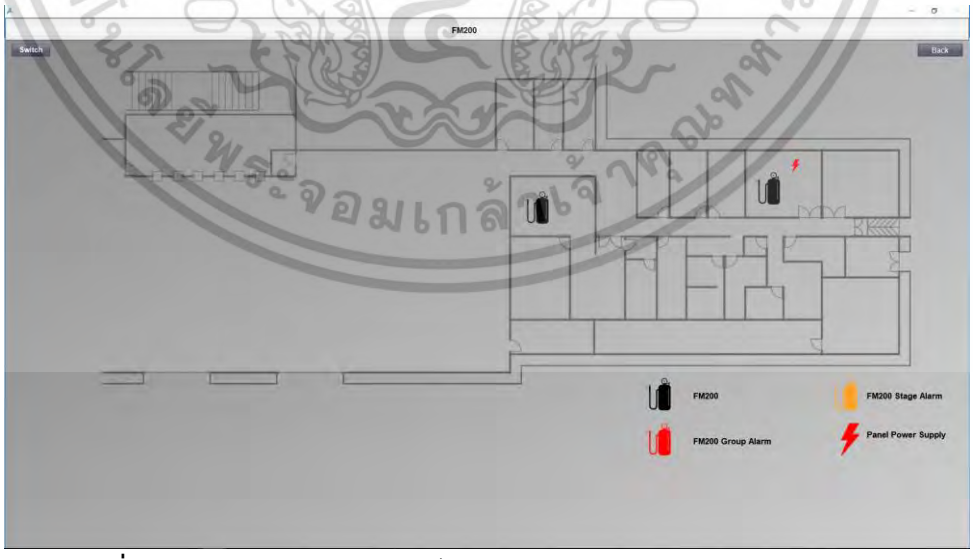
รูปที่ 4.85 แสดงสถานะแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด



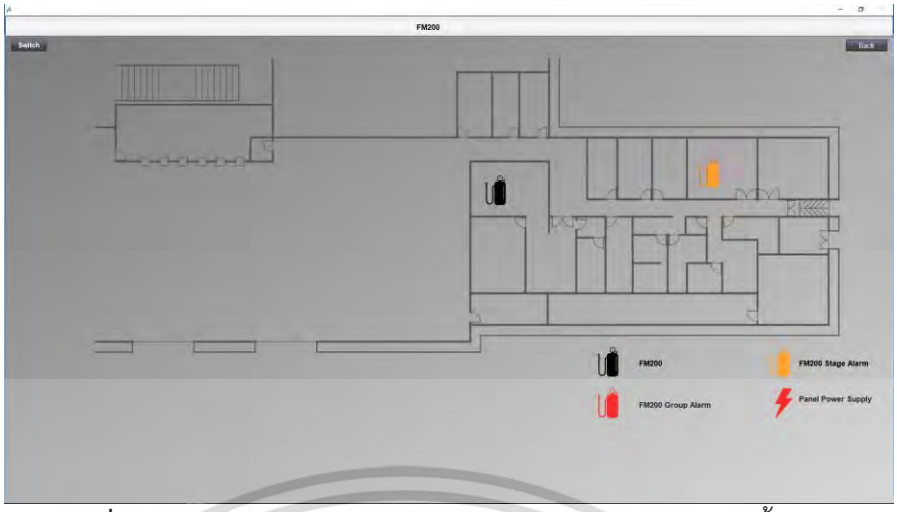
รูปที่ 4.86 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดการทำงานในขั้นแรก

รูปที่ 4.87 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด หรือชำรุด

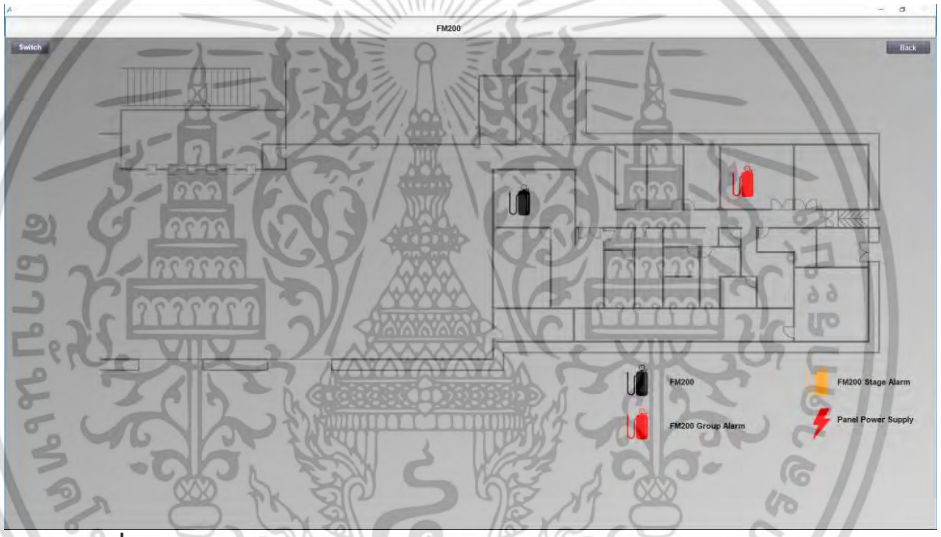
ในส่วนถัดมา จะเป็นการทำงานของ FM200 ของอีกห้องหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นห้องสื่อสาร หรือห้องกำเนิดไฟฟ้า ก็ได้ โดยจากรูปที่ 4.88 จะเห็นได้ว่า ภายในห้องสื่อสารจะแสดงเป็นรูปถังสีดำและมีรูปสายฟ้าสีแดงอยู่ข้างๆ ถัง เพื่อแจ้งให้เห็นว่าแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องสื่อสารเกิดข้อผิดพลาด และภายในห้องควบคุมจะแสดงเป็นรูปถังสีส้ม เพื่อแจ้งให้เห็นว่า FM200 ภายในห้องสื่อสารเกิดการทำงานขั้นแรกแสดงดังรูปที่ 4.89 อีกทั้งภายในห้องสื่อสารจะแสดงเป็นรูปถังสีแดง เพื่อแสดงให้เห็นว่า FM200 ภายในห้องสื่อสารเกิดความผิดปกติ โดยแสดงดังรูปที่ 4.90 โดยในกรณีนี้เป็นการแจ้งเตือนฉุกเฉินจึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.91



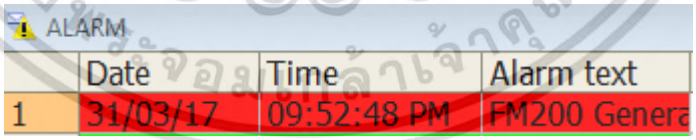
รูปที่ 4.88 แสดงสถานะแผงจ่ายไฟให้ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด



รูปที่ 4.89 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดการทำงานในขั้นแรก



รูปที่ 4.91 แสดงสถานะ FM200 ภายในห้องเกิดข้อผิดพลาด หรือชำรุด



รูปที่ 4.91 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของ FM200 ที่เกิดความผิดปกติ

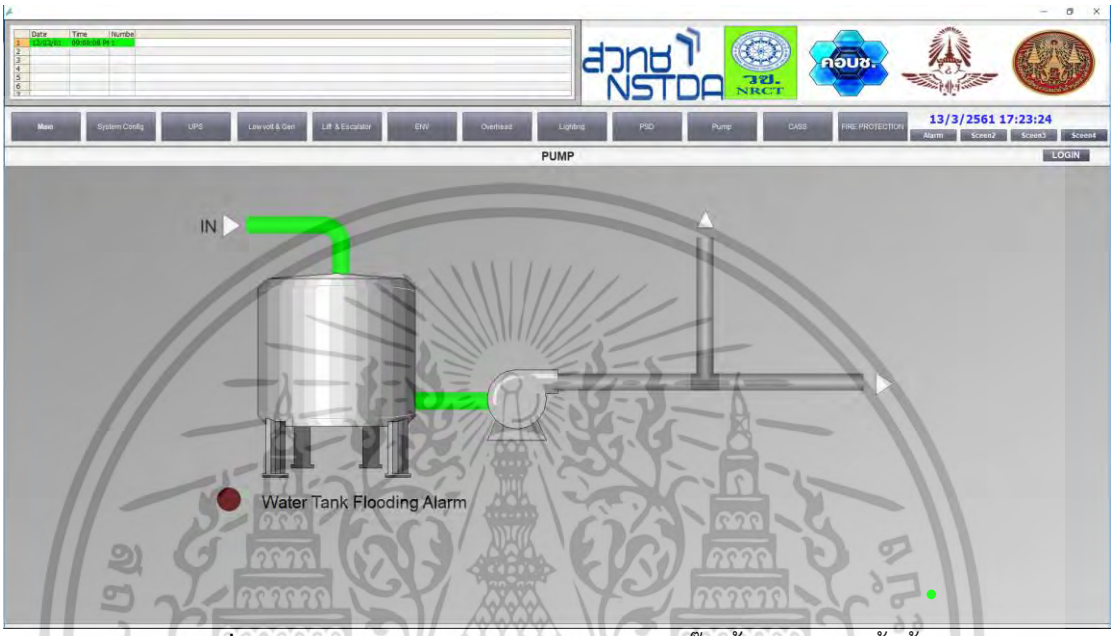
4.7 ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง (Pump & Drainage)

โปรแกรมจะแสดงการแจ้งเตือน 3 ส่วน แสดงดังรูปที่ 4.92 และการทำงานแสดงดัง I/O List ในตารางที่ 4.9 โดยอธิบายดังนี้

- Pump & Drainage Power คือการแจ้งเตือนเกี่ยวกับไฟที่ส่งไปเลี้ยงยังระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

- Pump & Drainage Alarm คือการแจ้งเตือนเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

- Water Tank Flooding Alarm คือการแจ้งเตือนเกี่ยวกับระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำ (Water Tank)



รูปที่ 4.92 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

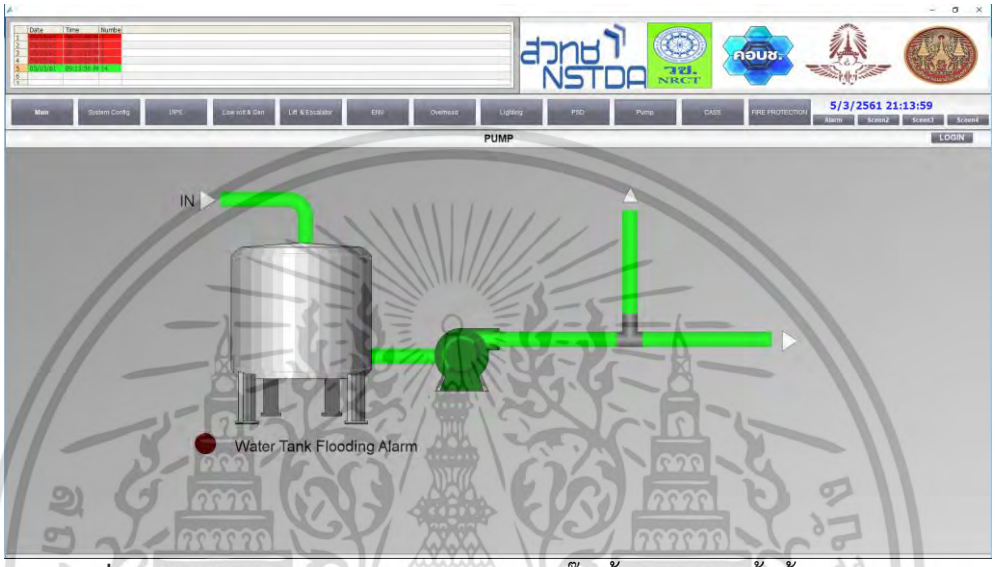
ตารางที่ 4.9 I/O List แสดงการทำงานระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Pump and Drainage				
110	Pump & Drainage Power	Alarm	Appear / Disappear	DI	I3.5
111	Pump & Drainage Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I3.6
112	Water Tank Flooding alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I3.7

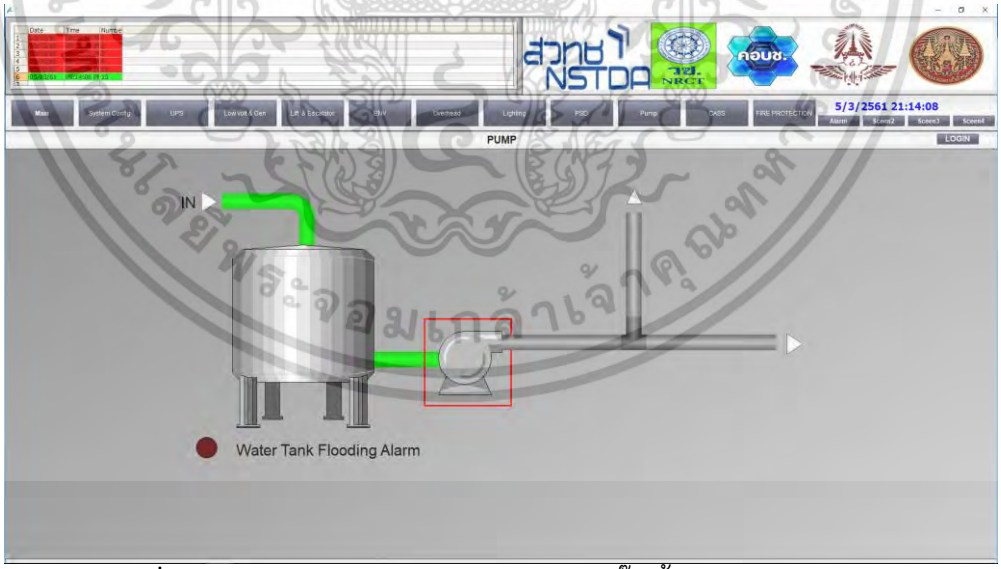
4.7.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง

กรณีระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงาน และระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกิน ในสภาวะปกติจะเป็นดังรูปที่ 4.92 จะเห็นได้ว่า สัญลักษณ์ระบบปั๊มน้ำเป็นสีเขียว และระบบน้ำทิ้งจะยังเป็นสีเทา เมื่อทำการเชื่อมต่อ Input จำลองการทำงานของระบบผ่านพอร์ต Digital Input เมื่อระบบน้ำทิ้งทำงาน

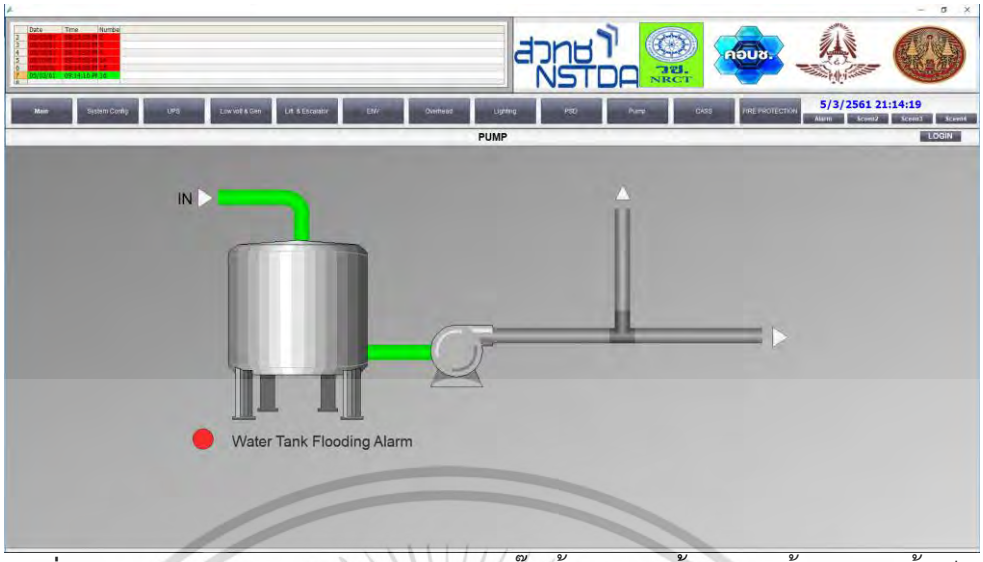
จะทำให้ท่อทางขวาของปั๊มน้ำเป็นสีเขียว แสดงดังรูปที่ 4.93 และเมื่อปั๊มน้ำมีปัญหาหรือชำรุด จะแสดงการแจ้งเตือนเป็นกรอบสีแดงที่ปั๊มน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.94 และเมื่อการแจ้งเตือนระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกิน จะมีไฟสีแดงแสดงที่หน้าอินเตอร์เฟส Water Tank Flooding Alarm แสดงดังรูปที่ 4.95 โดยในกรณีนี้การแจ้งเตือนระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเป็นการแจ้งเตือนฉุกเฉินจึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.96



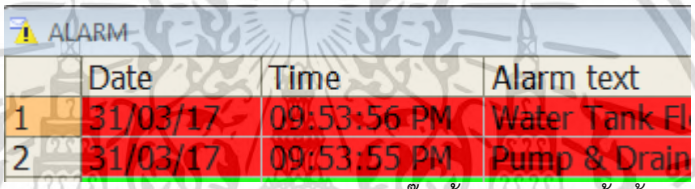
รูปที่ 4.93 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงานปกติ



รูปที่ 4.94 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำชำรุด หรือมีปัญหา

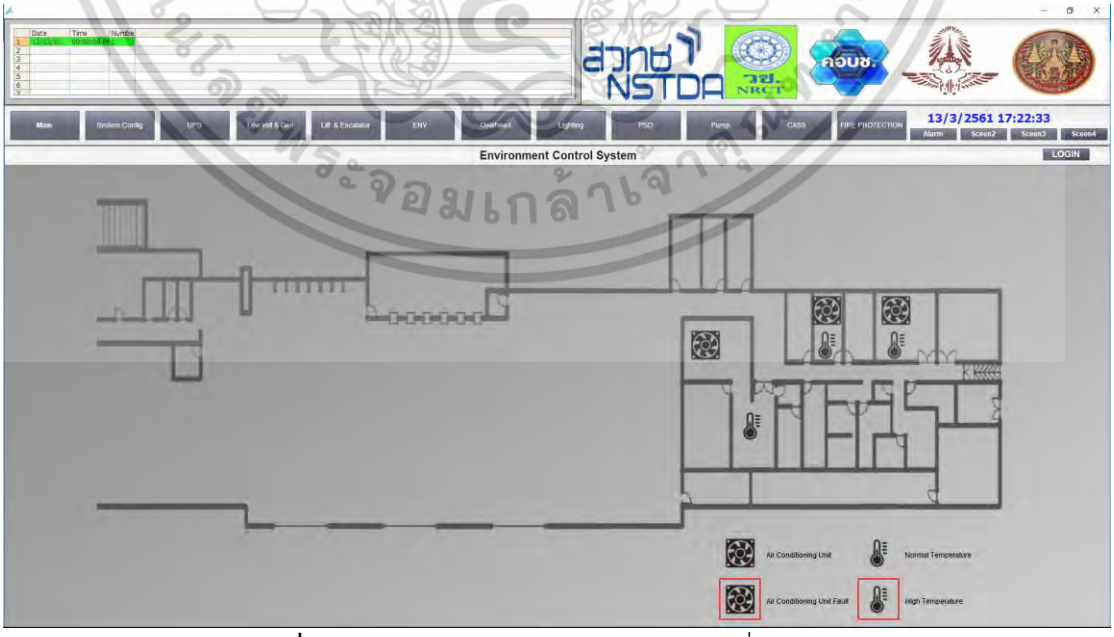


รูปที่ 4.95 การแสดงผลการทำงานของระบบปั๊มน้ำ และน้ำทิ้งมีระดับน้ำในแทงค์น้ำเต็ม



รูปที่ 4.96 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้งทำงาน และระดับน้ำภายในแท็งก์น้ำเกิน

4.8 ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม (Environment Control System)



รูปที่ 4.97 หน้าโปรแกรมของระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมจะแสดงผล 2 อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioning Unit) และเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature) ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับถัดไป โดยหน้าต่างของระบบควบคุมสิ่งแวดล้อมจะแสดงดังรูปที่ 4.97 และมีการทำงานดังตาราง I/O List ตารางที่ 4.10

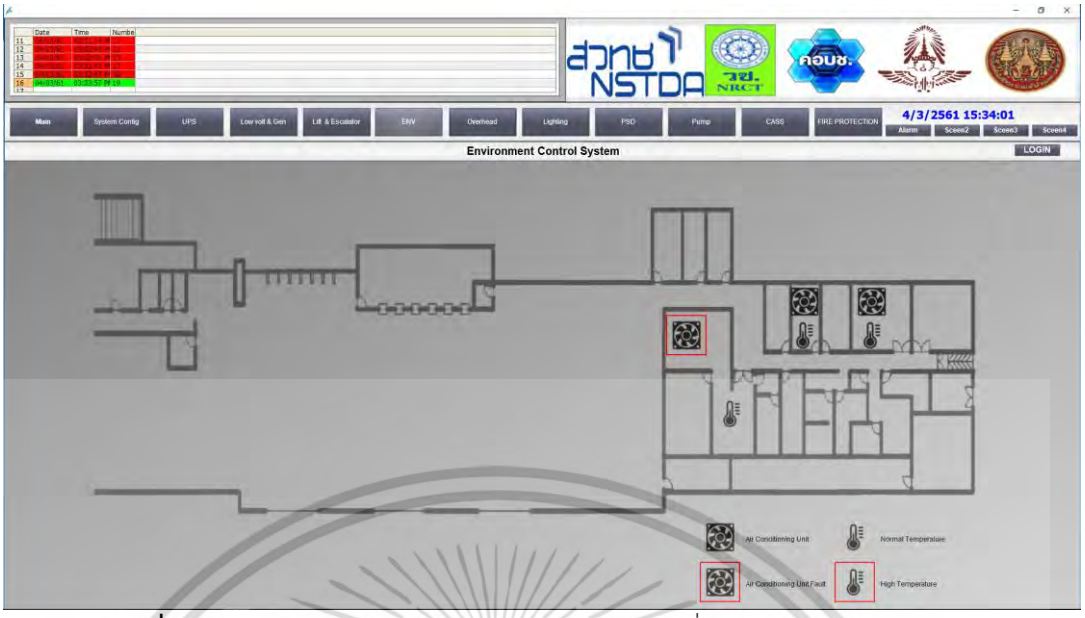
ตารางที่ 4.10 I/O List แสดงการทำงานระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Environment Control System				
113	CER. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.0
114	CER. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.1
115	SOR. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.2
116	SOR. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.3
117	SIG. Rm. Air con.unit fault	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.4
118	SIG. Rm. Hight Temp. Alarm	Alarm	Appear / Disappear	DI	I14.5

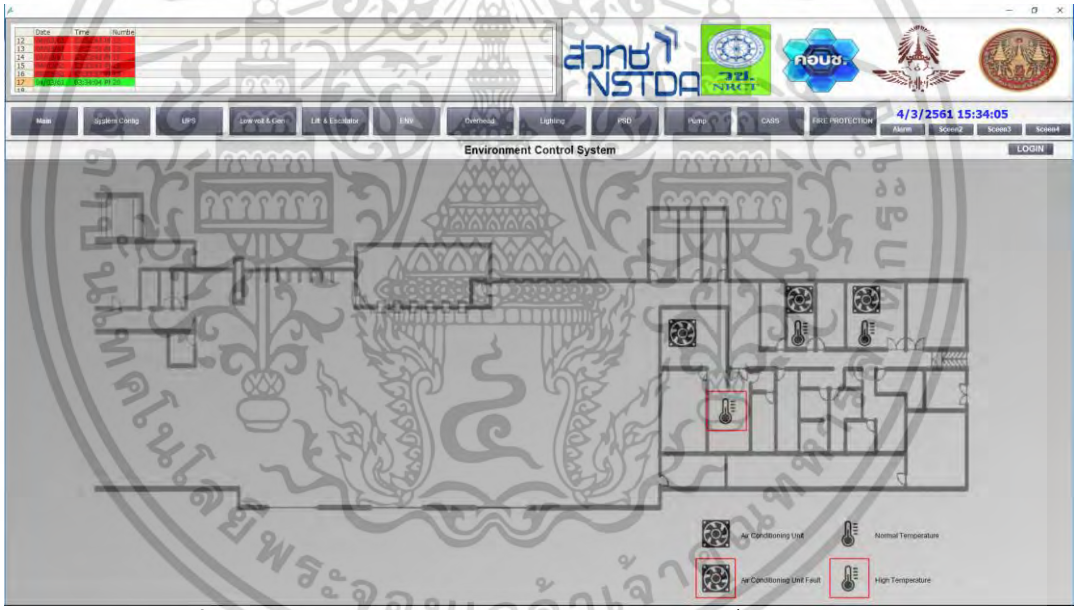
4.8.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม

กรณีที่ในห้องควบคุม (Control Room) มีอุณหภูมิที่สูงเกิน และในห้องการสื่อสารมีเครื่องปรับอากาศชำรุด

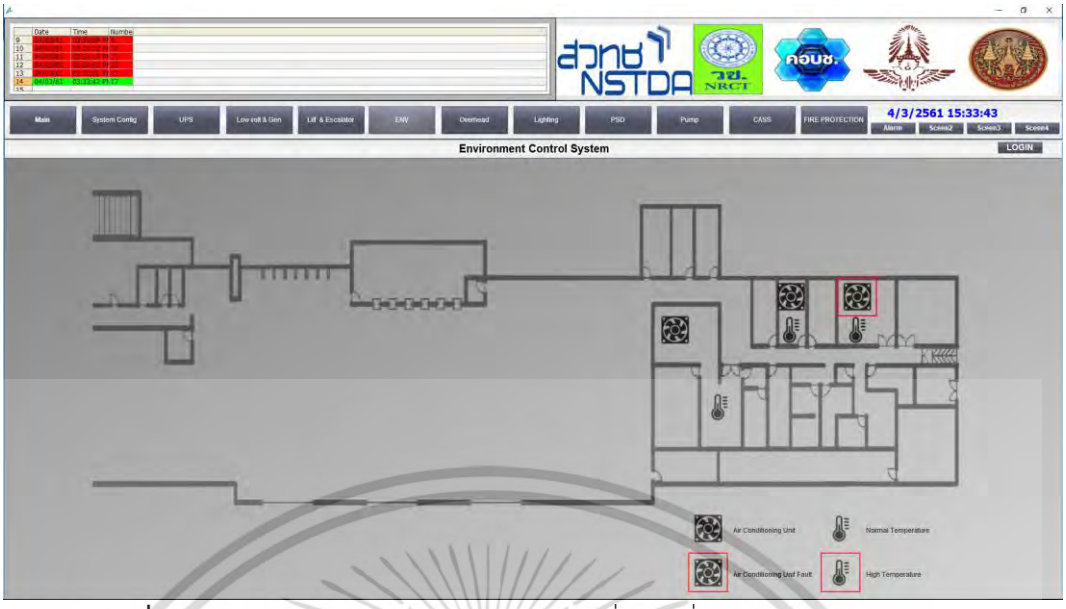
จากรูปที่ 4.97 จะเห็นว่าในสถานะปกตินั้น ไอคอนของระบบปรับอากาศ และระบบควบคุมอุณหภูมิจะเป็นสีดำ คือสภาวะทำงานปกติ และเมื่อระบบใดชำรุด จะเห็นว่าสีไอคอนทั้งสองจะมีกรอบสีแดง เพื่อแจ้งให้เห็นว่ามีเครื่องปรับอากาศชำรุด หรือในห้องมีอุณหภูมิสูงเกิน โดยจะแบ่งการทำงานลักษณะนี้เช่นเดียวกัน โดยแบ่งเป็นสามห้อง ได้แก่ ห้องควบคุมกลาง ระบบปรับอากาศชำรุดแสดงดังรูปที่ 4.98 และเมื่ออุณหภูมิในห้องสูงแสดงดังรูปที่ 4.99 ถัดมาเป็นห้องสื่อสารและอาณัติสัญญาณ ระบบปรับอากาศชำรุดแสดงดังรูปที่ 4.100 และเมื่ออุณหภูมิในห้องสูงแสดงดังรูปที่ 4.101 และสุดท้าย คือห้องกำเนิดไฟฟ้า ระบบปรับอากาศชำรุดแสดงดังรูปที่ 4.102 และเมื่ออุณหภูมิในห้องสูงแสดงดังรูปที่ 4.103 นอกจากนี้ระบบเป็นการแจ้งเตือนฉุกเฉิน หรือ Alarm จึงมีการบันทึกข้อมูลในส่วนของการแจ้งเตือนลงใน Alarm Log อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4.104



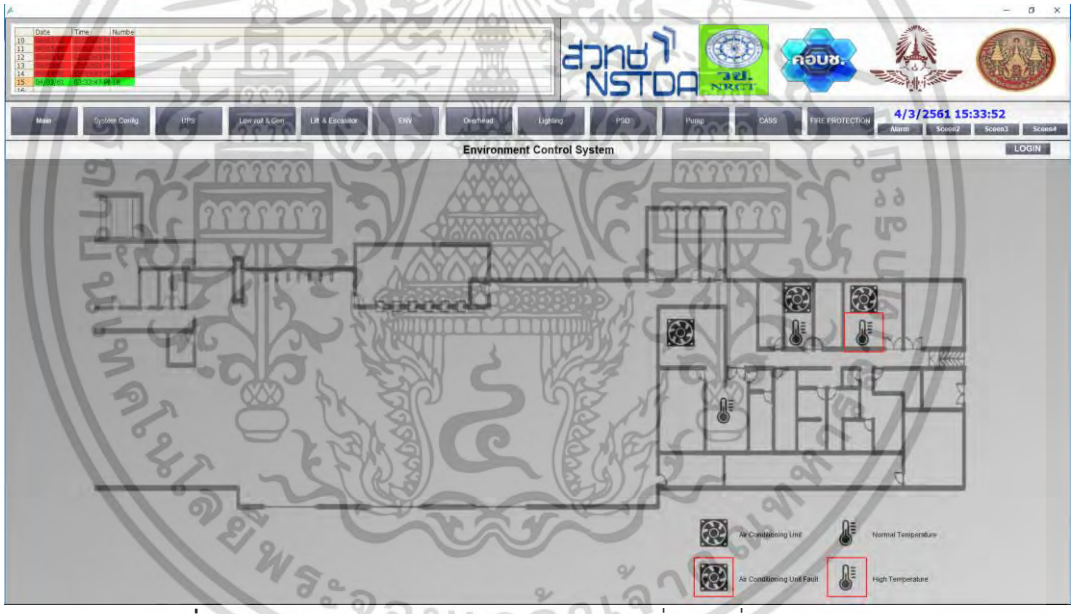
รูปที่ 4.98 การแสดงผลการทำงานของห้องควบคุมที่มีระบบปรับอากาศชำรุด



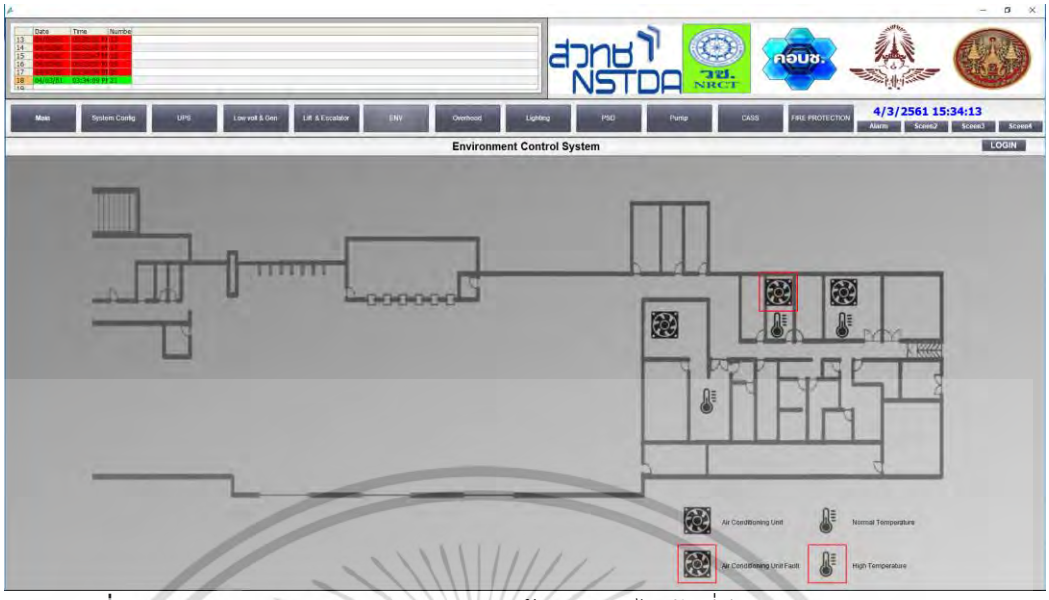
รูปที่ 4.99 การแสดงผลการทำงานของห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิสูงเกิน



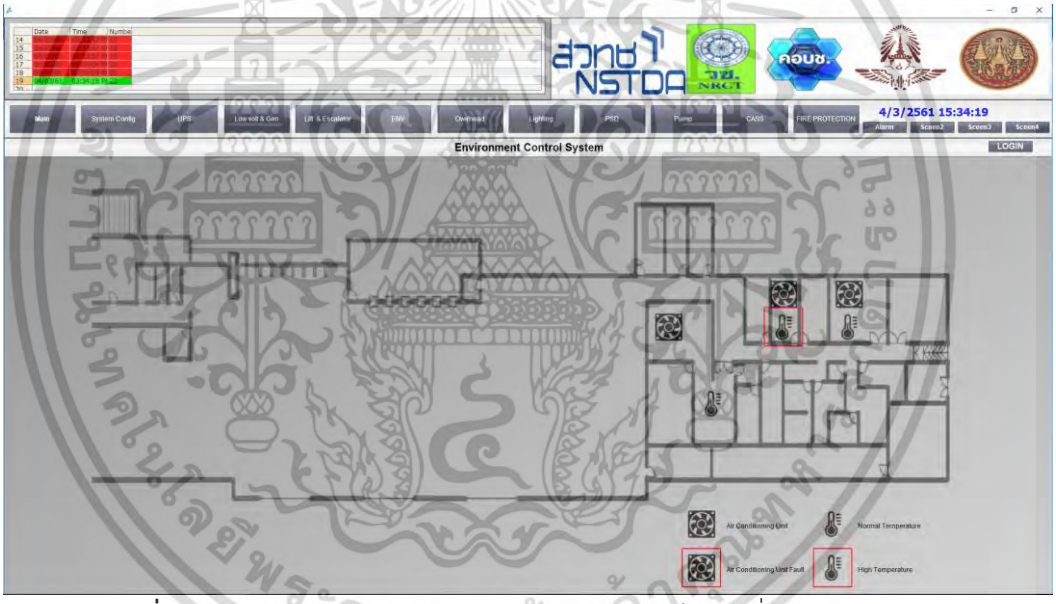
รูปที่ 4.100 การแสดงผลการทำงานของห้องสื่อสารที่มีระบบปรับอากาศชำรุด



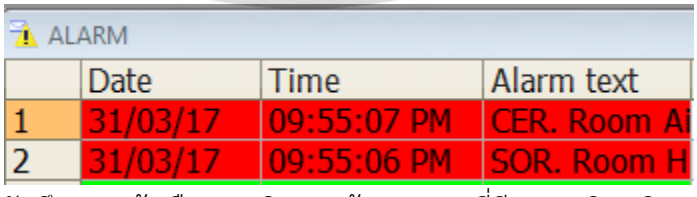
รูปที่ 4.101 การแสดงผลการทำงานของห้องสื่อสารที่มีอุณหภูมิสูงเกิน



รูปที่ 4.102 การแสดงผลการทำงานของห้องกำเนิดไฟฟ้าที่มีระบบปรับอากาศชำรุด



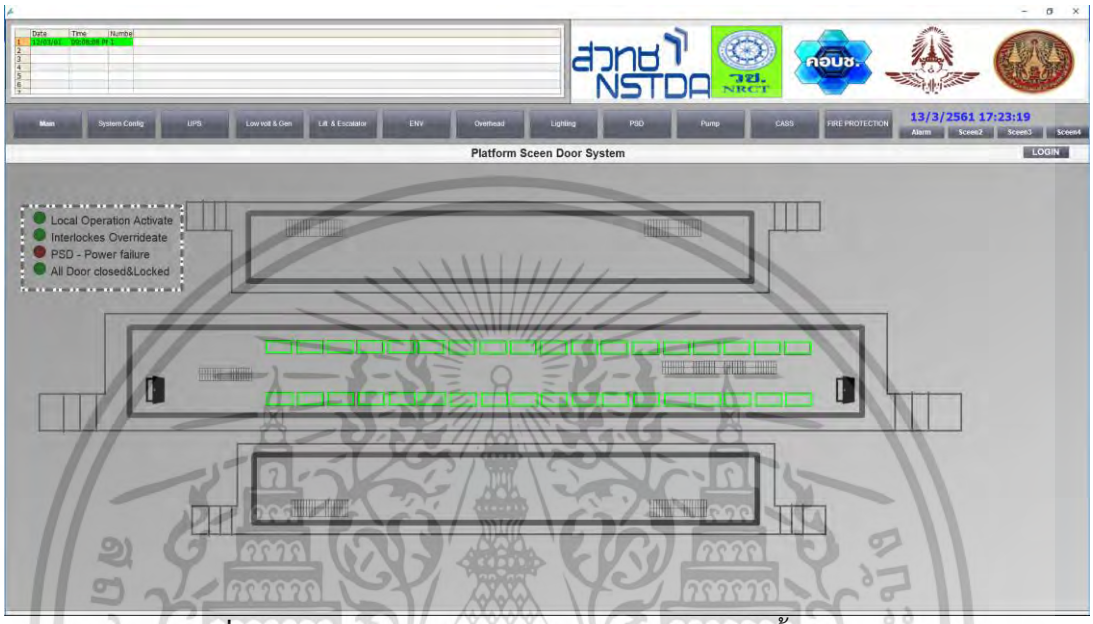
รูปที่ 4.103 การแสดงผลการทำงานของห้องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงเกิน



รูปที่ 4.104 ส่วนบันทึกการแจ้งเตือนฉุกเฉินของห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิสูงเกิน และห้องการสื่อสารมีเครื่องปรับอากาศชำรุด

4.9 ระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door System)

โปรแกรมจะแสดงผล 2 อุปกรณ์ ได้แก่ ประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door: PSD) และประตูชานชาลาฉุกเฉิน (Emergency Walkway Door: EWD) ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับถัดไป โดยหน้าต่างของระบบประตูกั้นชานชาลาจะแสดงดังรูปที่ 4.105



รูปที่ 4.105 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลา

ตารางที่ 4.11 I/O List แสดงการทำงานระบบประตูกั้นชานชาลา (PSD)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Platform Screen Doors				
101	Local Operation - Activated	Activated	Appear / Disappear	DI	I2.6
102	Interlocked Override	Alarm	Appear / Disappear	DI	I2.7
103	PSD-Power failure	Failure	Appear / Disappear	DI	I3.0
104	All Door closed & Locked	Closed & Locked	Appear / Disappear	DI	I3.1
105	PSD1 Isolated	Isolated	Appear / Disappear	DI	I3.2
106	PSD1 Failure	Failure	Appear / Disappear	DI	I3.3

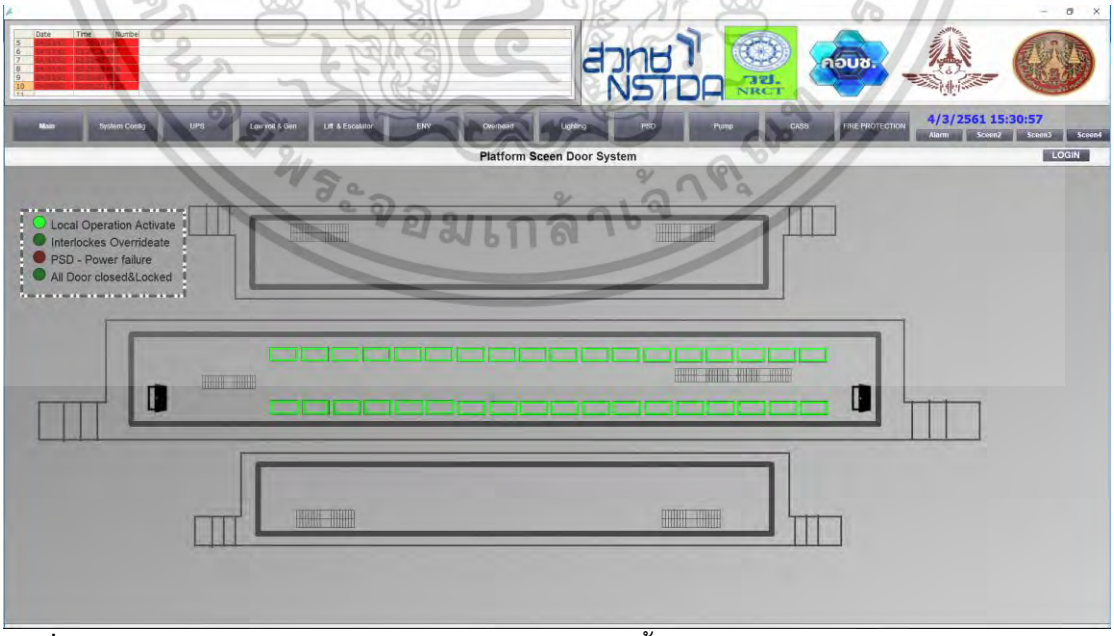
ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

No	Signal Name	State/Status	State Value	Signal Type	Tag
	Platform Screen Doors				
107	EWD Status	Open	Appear / Disappear	DI	I3.4

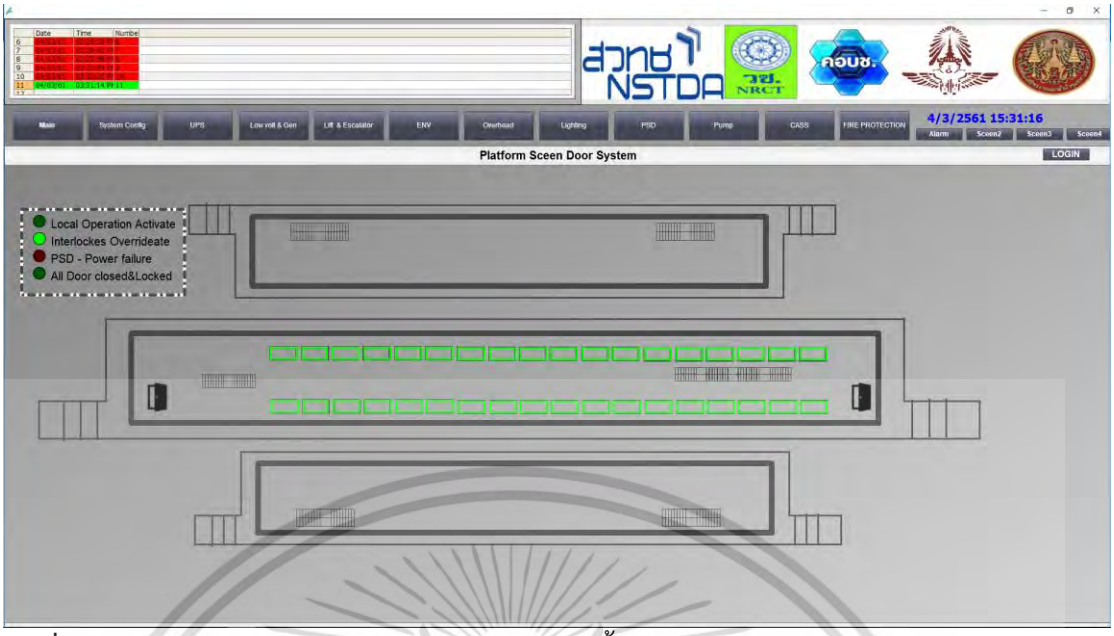
4.9.1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมหน้าระบบประตูกั้นชานชาลา

ในการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลา จะมีการจำลองผ่านพอร์ต Digital Input เพื่อจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับระบบอื่น ๆ โดยเมื่อมีการใช้งานในสภาวะปกติจะแสดงสถานะ Local Operation Activate โดยจะแสดงไฟสีเขียวขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 4.106 ต่อมาจะเป็นการทำงานเมื่ออยู่ในสภาวะ Interlocked Override แสดงดังรูปที่ 4.107 และเมื่อระบบจ่ายไฟฟ้าให้ประตูกั้นชานชาลาเกิดขัดข้องหรือล้มเหลว จะแสดงไฟสีแดงที่ PSD – Power Failure โดยแสดงดังรูปที่ 4.108 และเมื่อประตูกั้นชานชาลาทุกบานปิด ล็อกเรียบร้อยดี จะแสดงสถานะไฟสีเขียวที่ All Door closed & locked แสดงดังรูปที่ 4.109

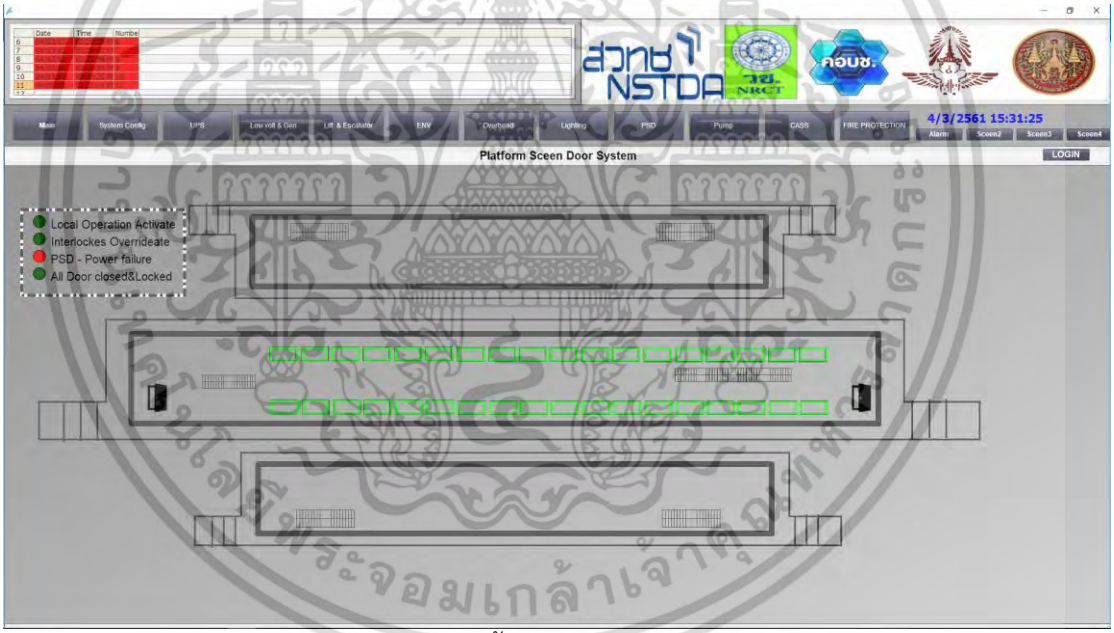
กรณีประตูกั้นชานชาลาทั้งสองฝั่งทำงานปกติ หากมีประตูบานใดขัดข้อง จะมีการตัดไฟเพื่อปิดการใช้งาน ซึ่งเรียกว่า Isolated จะแสดงสถานะดังรูปที่ 4.110 และหากประตูกั้นชานชามีความขัดข้องขึ้นมา จะทำการแจ้งเตือนเป็นสีแดงแสดงดังรูปที่ 4.111 และเมื่อประตูกั้นชานชาลาเปิดจะแสดงไอคอนประตูสีแดง แสดงดังรูปที่ 4.112



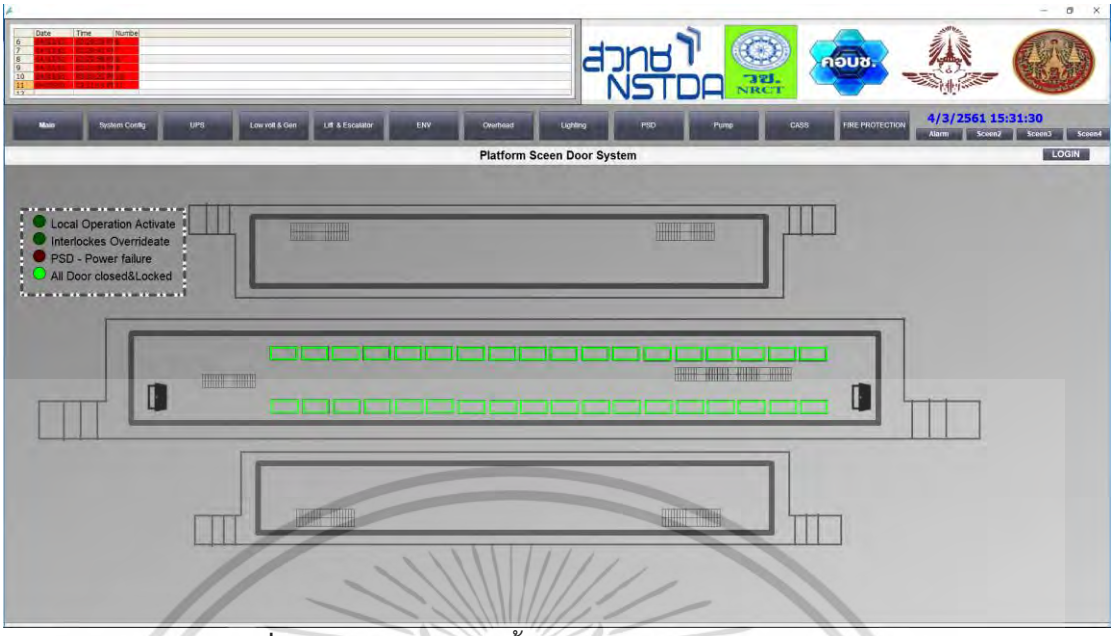
รูปที่ 4.106 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะ Local Operation Activate



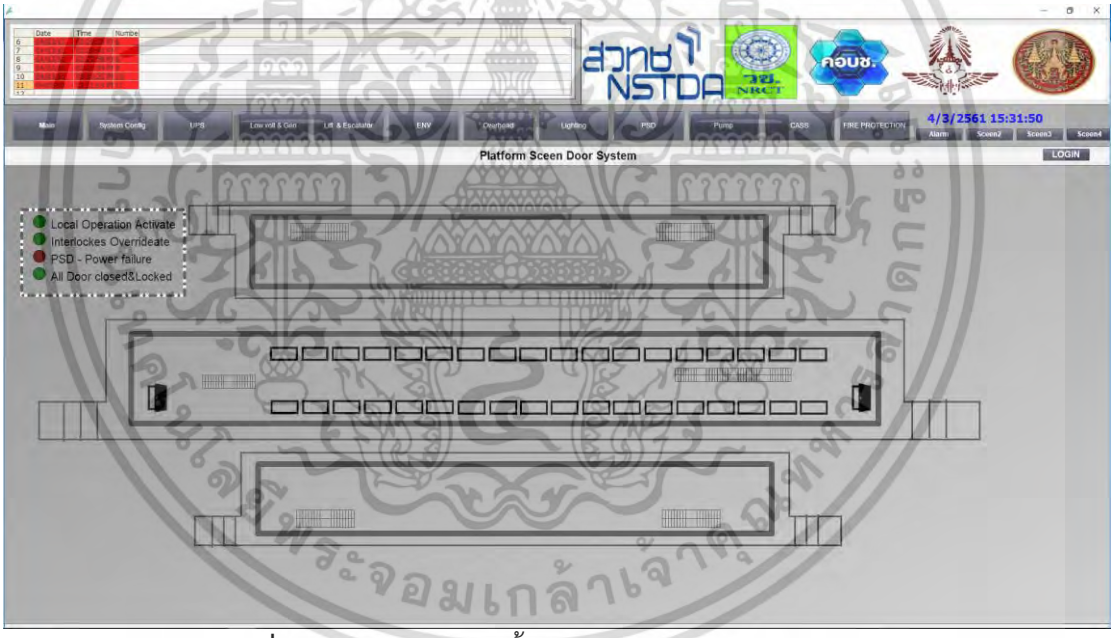
รูปที่ 4.107 ส่วนแสดงผลการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะ Interlocked Override



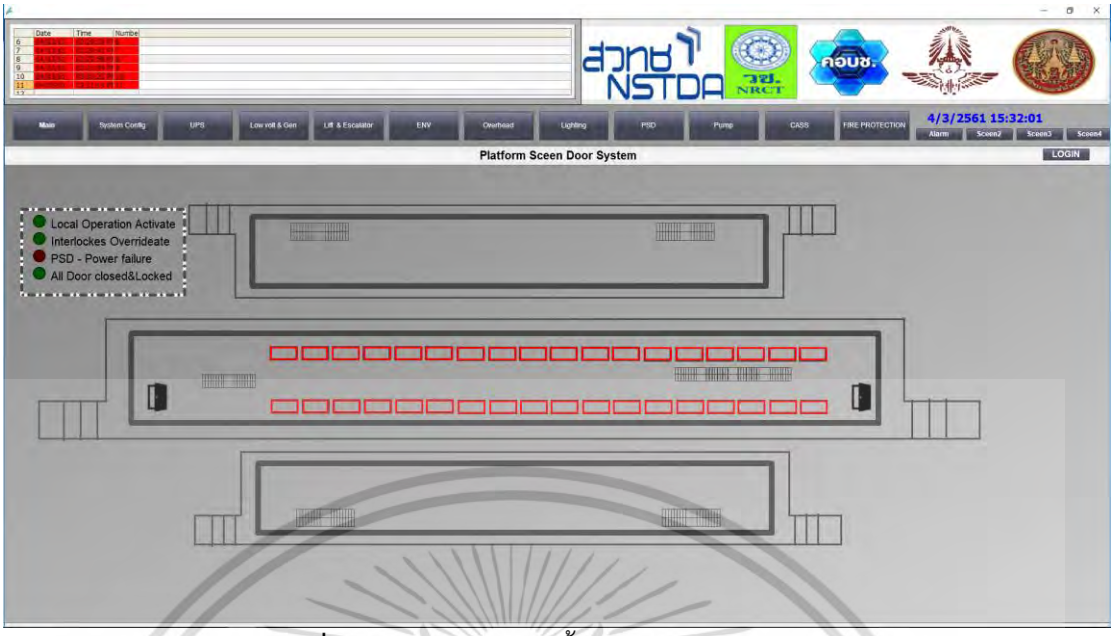
รูปที่ 4.108 การทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามีระบบจ่ายไฟล้มเหลว (Power Failure)



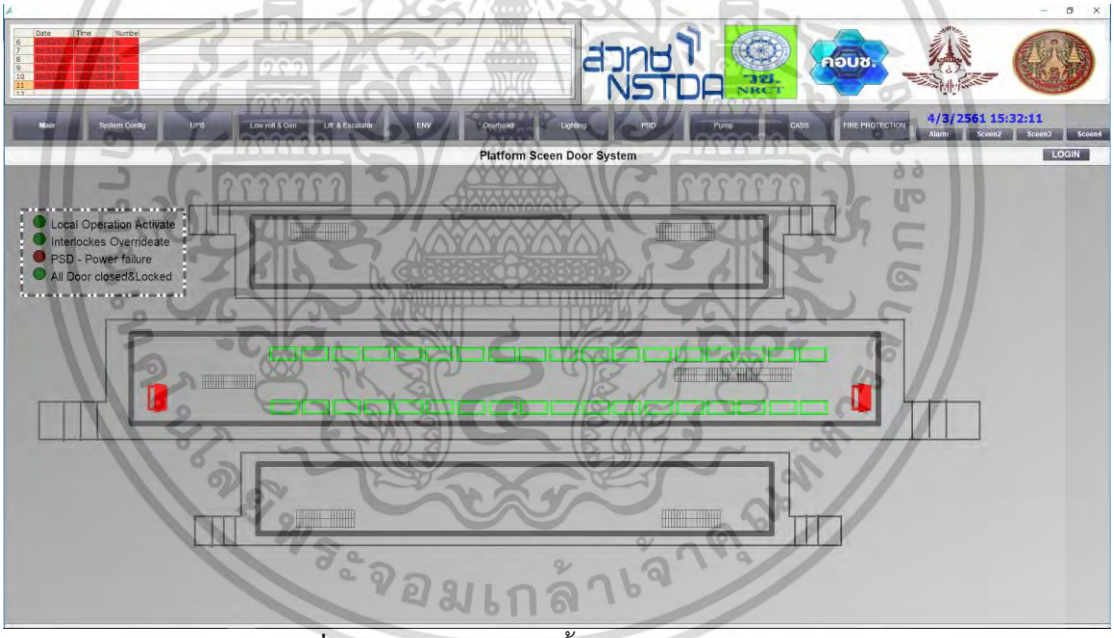
รูปที่ 4.109 ระบบประตูกั้นชานชาลาปิด และล็อคเรียบร้อย



รูปที่ 4.110 ระบบประตูกั้นชานชาลาปิดมีสถานะ Isolated

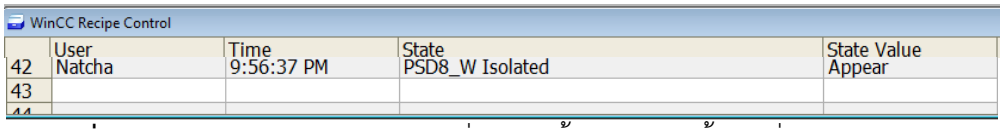


รูปที่ 4.111 ระบบประตูกั้นชานชาลามีการขัดข้อง



รูปที่ 4.112 ระบบประตูกั้นชานชาลามีสถานะเปิด

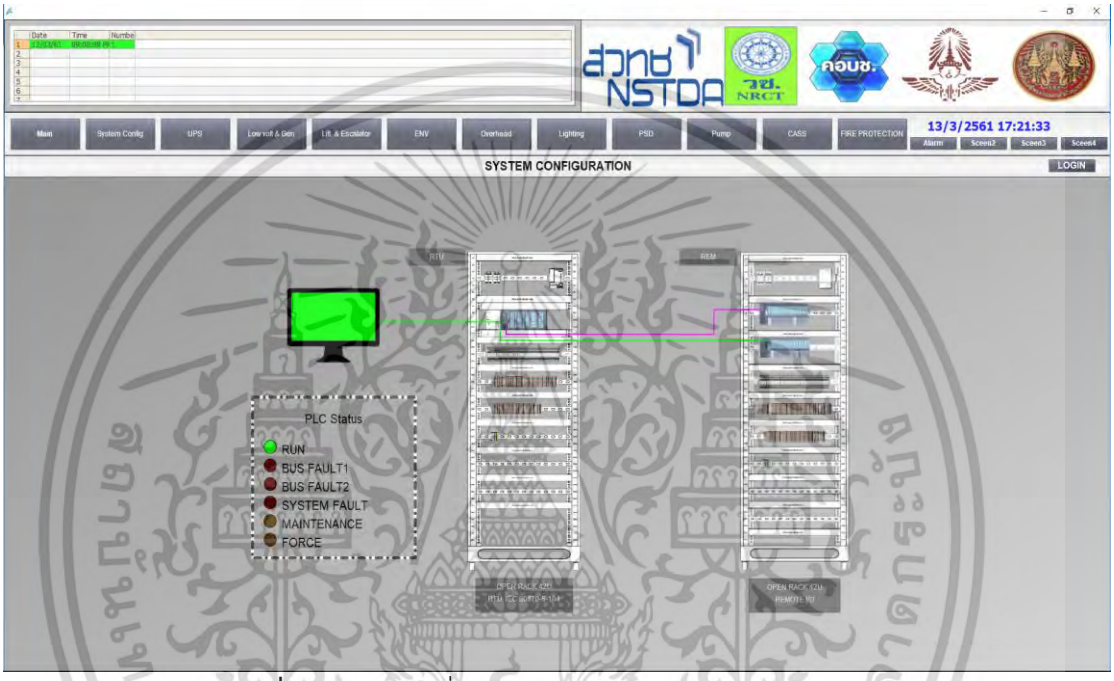
นอกจากนี้โปรแกรมจะมีหน้าต่างแสดงและบันทึกเหตุการณ์การแจ้งเตือนทั้งหมดทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับระบบผ่าน Alarm Logbook ดังรูปที่ 4.113



รูปที่ 4.113 ส่วนบันทึกการทำงาน เมื่อประตูกั้นชานชาลาทั้งสองฝั่งทำงานผิดปกติ

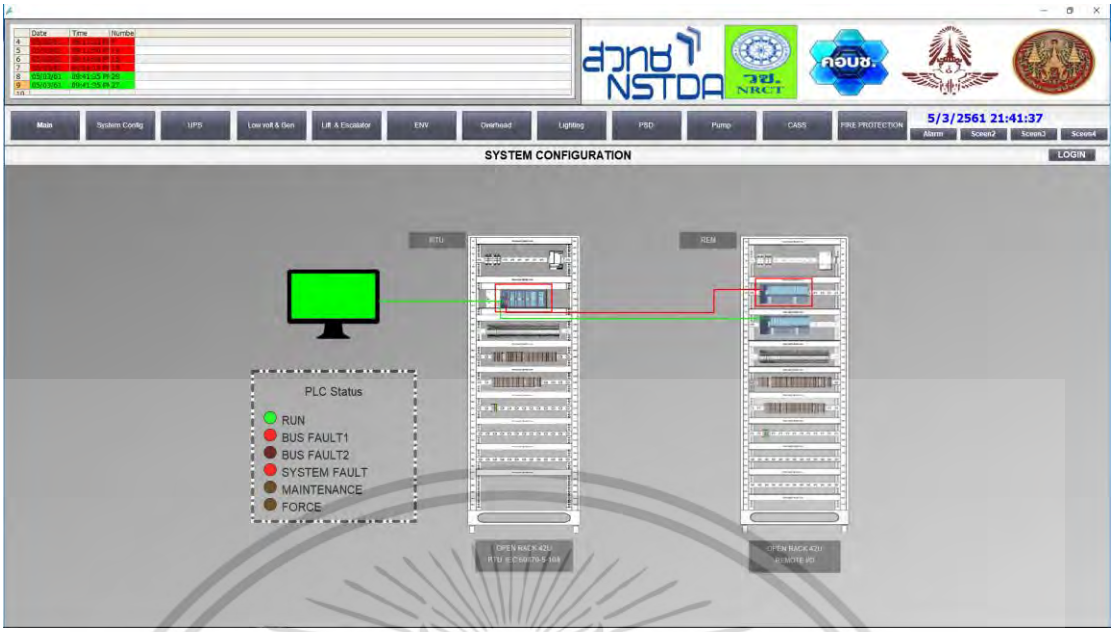
4.10 ระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อและตั้งค่า (System Configuration)

ในระบบจะสามารถตรวจสอบการเชื่อมต่อและการตั้งค่าอุปกรณ์ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ Work Station กับตู้ Rack โดยมีอุปกรณ์ RTU เป็นตัวเชื่อมต่อ และจากตู้ RTU จะเชื่อมต่อไปยังตู้ Remote I/O อีกทีหนึ่ง ซึ่งในระบบจะสามารถมอนิเตอร์การทำงานว่า อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้มีการเชื่อมต่อกันอยู่หรือไม่ หากสายหลุด หรือไม่มีการเชื่อมต่อ ก็จะมีการแจ้งเตือนขึ้นมา โดยในสภาวะปกติที่มีการเชื่อมต่อ จะแสดงดังรูปที่ 4.114

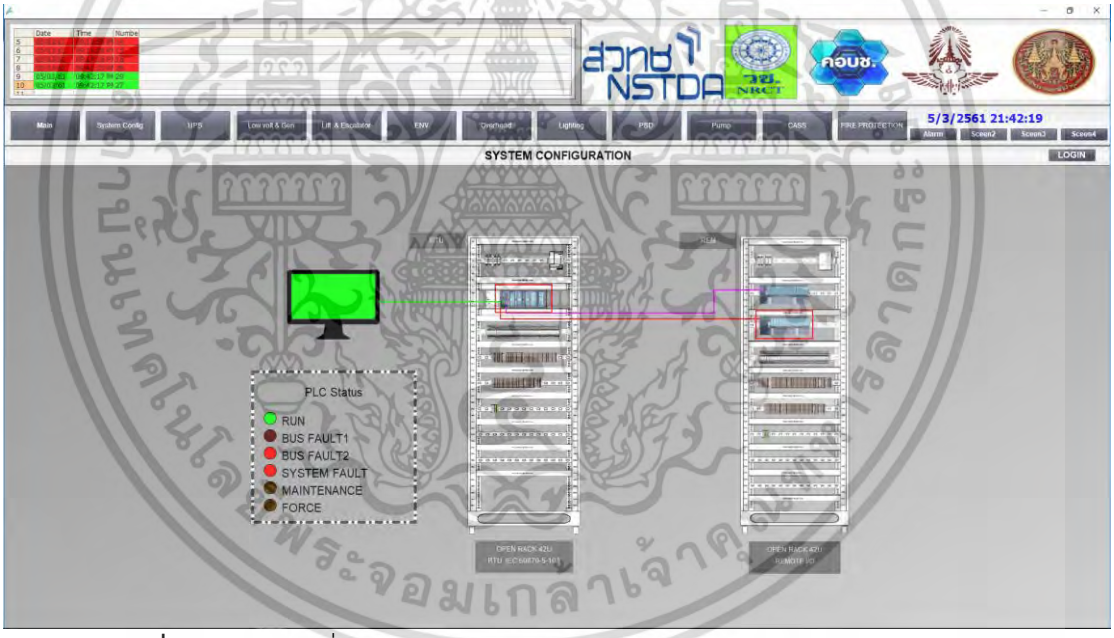


รูปที่ 4.114 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในสภาวะใช้งานปกติ

ในกรณีที่การเชื่อมต่อมีปัญหา หรือสายไฟหลุด ขาด ออกจากกัน ในกรณีที่สาย Profibus ที่เชื่อมระหว่างตู้ RTU กับ Remote I/O ในส่วน Profibus DP ขัดข้อง จะทำให้เดิมจากเส้นสีชมพูที่มีการเชื่อมต่อปกติ จะเปลี่ยนเป็นสีแดงที่แสดงถึงความขัดข้อง โดยแสดงดังรูปที่ 4.115 และเช่นเดียวกันกับสายสีเขียวในส่วน Profinet จะแสดงดังรูปที่ 4.116



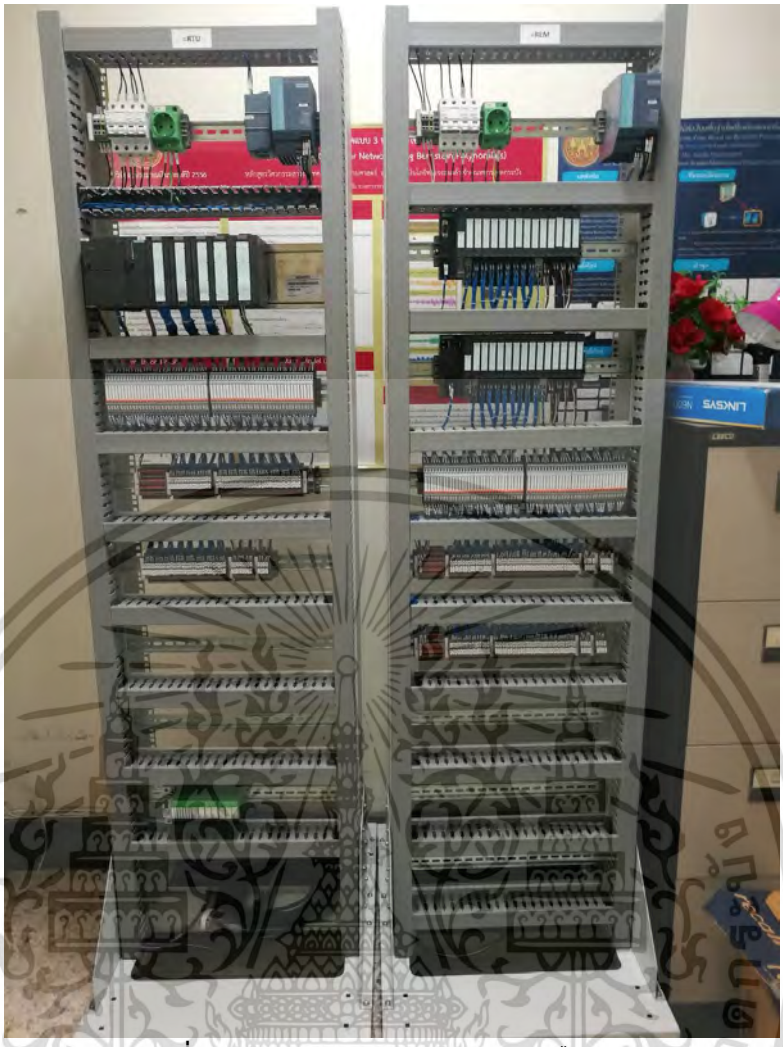
รูปที่ 4.115 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์กับ Remote I/O ส่วน Profibus DP ผิดปกติ



รูปที่ 4.116 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์กับ Remote I/O ส่วน Profinet ผิดปกติ

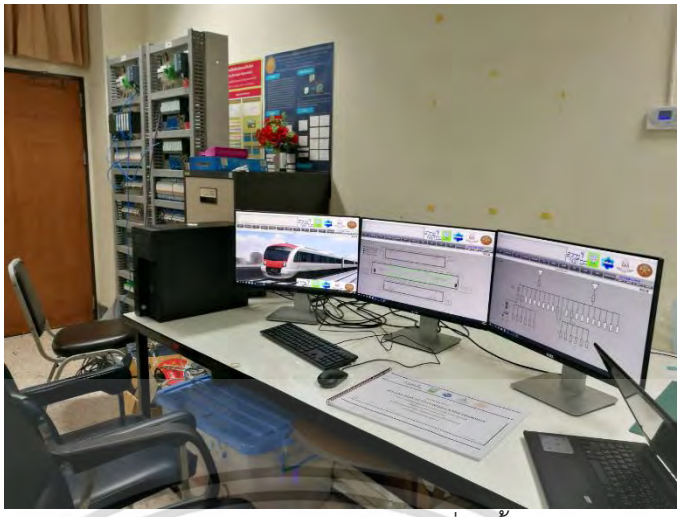
4.11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจริง

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ชุดควบคุมการทำงาน (Programmable Logic Control, PLC) และชุดคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เมื่อนำมาจัดตั้งจะแสดงดังรูปที่ 4.117-4.119



รูปที่ 4.117 ชุดควบคุมการทำงาน หรือ RTU

รูปที่ 4.118 ชุดคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ พร้อมด้วยซอฟต์แวร์การจัดการสถานีรถไฟที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.119 ชุดระบบการจัดการสถานีรถไฟที่จัดตั้ง ณ 909 ตึก 12 ชั้น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอถึงการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟ โดยเริ่มจากศึกษาภาพรวมการทำงานของระบบการจัดการสถานีรถไฟที่ใช้งานจริง ศึกษาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในโครงสร้างของระบบ จากนั้นทำการออกแบบระบบในส่วนต่าง ๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบการจัดการสถานีรถไฟที่ได้ศึกษามา ซึ่งการทำระบบในครั้งนี้มีทั้งส่วนของซอฟต์แวร์ ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นศูนย์กลางควบคุมระบบต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟ หรือกล่าวคือทำการควบคุมระบบภายใต้คำสั่งของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ยังแสดงผลการทำงานของทุกระบบให้ผู้ใช้งานได้ทราบ รวมถึงการแจ้งเตือนภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันที จากเหตุการณ์ทั้งหมดที่มีการดำเนินการภายในระบบจะมีการเก็บข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ Log โดยซอฟต์แวร์ได้ใช้ภาษาแลดเดอร์เป็นส่วนใหญ่ในการพัฒนา

สำหรับการจำลองระบบการจัดการสถานีรถไฟ จะมีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการควบคุมระบบต่าง ๆ คือ หน่วยควบคุมระยะไกลหรือ RTU และคอนโทรลเลอร์ลอจิกโปรแกรมหรือ PLC ซึ่ง 2 อุปกรณ์นี้เอาไว้ติดต่อสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมกลางกับอุปกรณ์จำลองระบบ โดย RTU และ PLC ที่นำมาใช้ในระบบการจัดการสถานีที่พัฒนาขึ้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงในสถานีรถไฟปัจจุบันทั้ง BTS MRT หรือ ARL ซึ่งจากที่กล่าวมาการทำระบบการจัดการสถานีรถไฟในครั้งนี้สามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริง จึงได้ออกแบบระบบการจัดการสถานีรถไฟเพื่อรองรับการใช้งานในสถานีรถไฟฟ้าบางบำหรุ ทั้งในเรื่องของจำนวนอินพุตเอาต์พุต และอินเตอร์เฟสของระบบทั้งหมด

จากผลการทดลองที่ลองทดสอบซอฟต์แวร์ระบบการจัดการสถานีรถไฟ พบว่าสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความผิดพลาดของโปรแกรม ซึ่งเป็นการทดสอบระบบทั้งหมดที่มีภายในสถานีรถไฟ ได้แก่ ระบบควบคุมการจ่ายไฟ ระบบแสงสว่าง ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน ระบบป้องกันและตรวจจับอัคคีภัย ระบบปั๊มน้ำและระบบน้ำทิ้ง ระบบควบคุมสิ่งแวดล้อม และระบบประตูกั้นชานชาลา โดยอิงตามหลักการทำงานในแต่ละระบบที่ได้ออกแบบไว้ ผลที่ได้จากการแสดงบนอินเตอร์เฟสในแต่ละระบบมีการทำงานที่สอดคล้องกับคำสั่ง รวมถึงการจำลองการแจ้งเตือน ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดยังสามารถเก็บข้อมูลการทำงานไว้ได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟในวิทยานิพนธ์นี้ ถึงแม้ดูเหมือนว่าจะสามารถนำไปใช้กับระบบจริงได้ แต่มีส่วนหนึ่งที่ทำให้ยังไม่สามารถมั่นใจได้เต็มที่นัก คือเราไม่สามารถทดลองกับ

อุปกรณ์จริง เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อน หรือแม้กับรางรถไฟจริง เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าถ้าหากนำไปใช้จริงแล้วจะเกิดปัญหาหรือไม่ นั่นทำให้ระบบที่จัดทำขึ้นนี้ยังเป็นแค่ระบบจำลองเสมือนจริงซึ่งไว้ใช้สำหรับการศึกษาและเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดให้กับผู้ที่สนใจในงานด้านนี้ นอกจากนี้การทำระบบการจัดการสถานีรถไฟควรจะมีการทำระบบซ้ำซ้อน หรือกล่าวคือมีระบบสำรองที่ไว้ใช้งานในยามที่ระบบหลักเกิดล่ม เพราะระบบจำเป็นต้องเปิดใช้งานแทบตลอดเวลา ถ้าสามารถทำได้จะทำให้มีความเหมือนจริงกับระบบที่ใช้งานจริงเพิ่มมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] David Bailey and Edwin Wright. **Practical SCADA for Industry.** 1st edition. Oxford : Newnes. 2003.

[2] Gordon Clarke and Deon Reynders. **Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870.5 and Related Systems.** 1st edition. Oxford : Newnes. 2004.

[3] Gary M. Miller and Jeffrey S. Beasley. **Modern Electronic Communication**. 9th editon. New Jersey : Prentice Hall PTR. 2008.

[4] Michael Demler. **High-Speed Analog-to-Digital Conversion**. 1st edition. Cambridge : Academic Press. 2012.

[5] William Bolton. **Programmable Logic Controllers.** 6th edition. Oxford : Newnes. 2015.

[6] ภูวดล ภูเด่นแดน และกรรชนม์ ปิ่นโต. **คล่องแคล่ว PLC**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2548.

[7] ธงชัย คล้ายคลึง. **Fundamentals of Programmable Logic Controller.** 2nd edition. นครราชสีมา : แผนกงานออกแบบและผลิตสื่อสิ่งพิมพ์ งานประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ กองกลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 2560.

[8] สุเธียร เกียรติสุนทร. **ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม พีแอลซีกับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2558.

[9] ธีรศิลป์ ทุมวิภาต. **เรียนรู้ PLC ขั้นต้นด้วยตนเอง**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2545.

[10] David Bailey. **Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry.** 1st edition. Oxford : Newnes. 2003.

[11] Cobus Strauss. **Practical Electrical Network Automation and Communication Systems**. 1st edition. Oxford : Newnes. 2004.

[12] John Park and Steve Mackay. **Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems.** 1st edition. Oxford : Newnes. 2003.

[13] Steve Mackay, Edwin Wright and John Park. **Practical Data Communications for Instrumentation and Control**. 1st edtion. Oxford : Newnes. 2003.

[14] Steve Mackay, Edwin Wright, Deon Reynders and John Park. **Practical Industrial Data Networks : Design, Installation and Troubleshooting**. 1st edtion. Oxford : Newnes. 2004.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[15] Deon Reynders and Edwin Wright. **Practical TCP/IP and Ethernet Networking for Industry**. 1st edition. Oxford : Newnes. 2003.

[16] Dennis J. Gaushell and Henry T. Darlington. “Supervisory Control and Data Acquisition” **Proceedings of the IEEE.** vol.75, issue 12, December 1987. pp. 1645-1658.

[17] Quartey, Brian, Donald Shaw, and Philippe Waked. "An application of PLC's as an RTU in SCADA systems." **Petroleum and Chemical Industry Conference, 1992, Record of Conference Papers., Industry Applications Society 39th Annual**. IEEE, 1992.

[18] Thomas, Mini S., Parmod Kumar, and Vinay K. Chandna. "Design, development, and commissioning of a supervisory control and data acquisition (SCADA) laboratory for research and training." **Power Systems, IEEE Transactions on 19.3,** 2004. pp. 1582-1588.

[19] C.A.Bejan, M.Iacob and G.Andreescu, “SCADA Automation System Laboratory, Elements and Applications” **International Symposium on Intelligent Systems and Informatics**. 25-26 September 2009. pp. 181–186.

[20] Kardek Rego Segundo, “Low cost SCADA system for education.” **Global Engineering Education Conference (EDUCON).** IEEE, 2015.

[21] วศิน เตรียมพิทักษ์, ไอศูรย์ กาญจนสุรัตน์, อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร, บุญชนะ ภู่ระหงษ์ และวันวิสา ชัชวงษ์. “การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง” **Thailand Railway Academic Symposium.** ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, กันยายน 2559. หน้า 31-38.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. **วศิน เตรียมพิทักษ์**, ไอศูรย์ กาญจนสุรัตน์, อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร, บุญชนะ ภู่ระหงษ์ และ วันวิสา ชัชวงษ์. “การศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟจำลอง” Thailand Railway Academic Symposium**.** ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, กันยายน 2559. หน้า 31-38.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวศิน เตรียมพิทักษ์
วัน เดือน ปีเกิด	12 สิงหาคม 2535
ที่อยู่	2665 ซอย 43 ถนนพระราม 2 แขวงบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ 10510
ประวัติการศึกษา	2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ 2.) ระบบสกาดา