ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS

สมหมาย จิตภักดี
SOMMAI JITPAKDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-184-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS

สมหมาย จิตภักดี

SOMMAI JITPAKDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45887
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2546

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-184-1

b.....
i.....

RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS

SOMMAI JITPAKDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-184-1

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS

ชื่อนักศึกษา นายสมหมาย จิตภักดี

รหัสประจำตัว 41061118

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.สมยศ	จุณณะปิยะ	
ดร.ทองทด	วานิชศรี	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวสุวิทย์	
รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 24 ธันวาคม 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....20.....**เดือน**.....มกราคม.....**พ.ศ**.....2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ
นักศึกษา	นายสมหมาย จิตภักดี
รหัสประจำตัว	41061118
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้ออกแบบควบคุมระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถในกิจการการรถไฟแห่งประเทศไทย แม้ระบบดังกล่าวมีใช้แพร่หลายทั่วโลกแต่ต้องให้เหมาะสมกับแต่ละประเทศด้วย โดยการออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมนั้นเป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งมีการบังคับสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณกับอุปกรณ์และตรวจสอบการทำงานซึ่งกันและกันให้มีความปลอดภัย รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการเดินขบวนรถมากขึ้น

Thesis Title	Railway Signalling Systems
Student	Mr. Sommai Jitpakdee
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis presents the details of railway signalling system design by using computer in order to improve and design of a traffic system in the State Railway of Thailand. The system is extensively exercised all over the world by defining the standard control table which has an interlocking system between instruments for increasing the safety, speed and more efficiency in transportation.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เพราะได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์ทำให้ผู้วิจัยเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และกราบขอบพระคุณมา ณ.ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ บุพการี เพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยจนสามารถเขียนวิทยานิพนธ์ได้ลุล่วง

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมของสถาบันที่ได้เอื้ออำนวยการเขียนวิทยานิพนธ์ได้ทุกขั้นตอน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านและหวังว่าวิทยานิพน์นี้จะเป็นประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยในการวิจัยและนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป

สมหมาย จิตภักดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ 4

2.1 กล่าวนำ 4

2.2 การก่อสร้างเส้นทางรถไฟ 4

2.2.1 ราง 4

2.2.2 ชุดประกับราง 5

2.2.3 เครื่องยึดเหนี่ยวราง 6

2.2.4 หมอนรองราง 6

2.2.5 วัสดุโรยเส้นทาง 7

2.2.6 พื้นเส้นทางหรือคันเส้นทางและส่วนประกอบคันเส้นทาง 7

2.3 อุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ 8

2.3.1 อุปกรณ์วงจรไฟตอน 8

2.3.2 อุปกรณ์สัญญาณรถไฟ 10

2.3.2.1 สัญญาณเตือน 11

2.3.2.2 สัญญาณเข้า 12

2.3.2.3 สัญญาณออก 13

2.3.2.4 หลักเขตสับเปลี่ยน 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2.4 หลักเขตปลอดภัย 15
2.3.3 ประแจกลไฟฟ้า 15
2.3.4 เครื่องขอและให้ทางสะดวก 17

บทที่ 3 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี 19
3.1 กล่าวนำ 19
3.2 การกำหนดการแสดงท่าระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ 19
3.3 ความจุของทาง 20
3.4 ระบบอาณัติสัญญาณ 20
3.5 ระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ 25

บทที่ 4 การกำหนดการเดินขบวนรถไฟที่สถานี 28
4.1 กล่าวนำ 28
4.2 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี 28
4.2.1 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟ สภาวะเบื้องต้น 29
4.2.2 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่อง ...29
4.2.3 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น 29
4.2.4 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง ...33
4.2.5 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น 33
4.2.6 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่องไปยังด้านขึ้น 33
4.2.7 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น ...37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.8 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ...37
ไปยังเส้นทางด้านล่อง
4.2.9 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 ...37
จากเส้นทางด้านขึ้น
4.2.10 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ..37
ไปยังเส้นทางด้านล่อง
4.2.11 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 41
จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง
4.2.12 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 .41
ทั้งสองเส้นทาง ในขณะระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง
4.3 การออกแบบโปแกรมคอมพิวเตอร์ 45

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ 47
5.1 กล่าวนำ 47
5.2 การทดสอบและผลการทดสอบการเดินขบวนรถไฟ 47
5.2.1 การควบคุมเงื่อนไขการเดินรถไฟในสถานะเบื้องต้น 47
ก่อนการควบคุมทุกเส้นทาง
5.2.2 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 1 49
5.2.3 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 2 53
5.2.4 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 1 59
5.3 สรุปการทดสอบและผลการทดสอบ 63

บทที่ 6 บทสรุป 64

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก 67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 91

ประวัติผู้เขียน 92

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 การแสดงท่าระบบอาณัติสัญญาณ 19

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทางรถไฟ 4

2.2 ลักษณะรางเหล็ก 5

2.3 แสดงประกับราง 5

2.4 แสดงเครื่องยึดเหนี่ยวประเภทต่าง ๆ 6

2.5 แสดงลักษณะเส้นทางแยกชนิดต่าง ๆ 8

2.6 แสดงวงจรไฟตอนระบบวงจรปิดในสภาวะเส้นทางปกติ 8

2.7 แสดงวงจรไฟตอนระบบวงจรปิดในสภาวะขบวนรถไฟครอบครองเส้นทาง 9

2.8 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งฉนวนหัวต่อราง 10

2.9 แสดงการต่อวงจรไฟตอนที่ชุดประแจจุดเส้นทางแยก 10

2.10 แสดงภาพเสาสัญญาณเตือน 11

2.11 แสดงภาพสัญญาณเสาเข้า 12

2.12 แสดงเสาสัญญาณออก 14

2.13 แสดงหลักเขตสับเปลี่ยนและหลักปลอดภัย 14

2.14 แสดงโครงสร้างประแจมือ 15

2.15 แสดงภาพประแจกลไฟฟ้า 16

2.16 แสดงส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า 16

2.17 เครื่องทางสะดวกชนิดลูกตรากลม 17

3.1 แสดงระยะเบรคและหยุดขบวนรถไฟ 20

3.2 การกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณเส้นทางด้านล่อง 22

3.3 การกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณเส้นทางด้านขึ้น 23

3.4 การแสดงอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณย่านสถานีรถไฟ 24

3.5 แสดงโครงสร้างระบบ CBI 25

3.6 แสดงโครงสร้าง Flow Chart Diagram ของระบบ CBI 26

4.1 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟในสภาวะเบื้องต้น 30
ก่อนการควบคุมทุกเส้นทาง

4.2 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอด 31
ที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่อง

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจาก 32
สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น

4.4 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอด 34
ที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง

4.5 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจาก 35
สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านขึ้น

4.6 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่าน 36
สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่องไปยังด้านขึ้น

4.7 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอด 38
ที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น

4.8 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจาก 39
สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่อง

4.9 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอด 40
ที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านขึ้น

4.10 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจาก 42
สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง

4.11 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่าน 43
สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง

4.12 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอด 44
ที่สถานีในชานชาลาที่ 1 ทั้งสองเส้นทาง ขณะระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง

4.13 ตัวอย่างโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อควบคุมการเดินขบวนรถไฟ 45

4.14 แสดงเมนูการควบคุมแต่ละเงื่อนไขในการเดินขบวนรถไฟ 46

4.15 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถไฟ 46

5.1 แสดงเงื่อนไขสภาวะเบื้องต้นก่อนการควบคุม 48

5.2 แสดงตารางสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณก่อนการควบคุม 48

5.3 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 49
จากเส้นทางด้านล่อง

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.4 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถวิ่งผ่าน 50

5.5 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 50
วงจรไฟตอนหมายเลข 1T

5.6 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 51
วงจรไฟตอนหมายเลข 3T

5.7 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 51
วงจรไฟตอนหมายเลข 9T

5.8 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 52
วงจรไฟตอนหมายเลข 111T

5.9 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 52
วงจรไฟตอนหมายเลข 62T

5.10 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 53
จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง

5.11 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะเตรียมทางให้ขบวนรถวิ่งผ่าน 54

5.12 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 54
วงจรไฟตอนหมายเลข 2T

5.13 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 55
วงจรไฟตอนหมายเลข 4T

5.14 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 55
วงจรไฟตอนหมายเลข 10T

5.15 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 56
วงจรไฟตอนหมายเลข 111T

5.16 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 56
วงจรไฟตอนหมายเลข 61T

5.17 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 57
วงจรไฟตอนหมายเลข 111T

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.18 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 57
วงจรไฟตอนหมายเลข 9T

5.19 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 58
วงจรไฟตอนหมายเลข 3T

5.20 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 58
วงจรไฟตอนหมายเลข 1T

5.21 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 59
ไปยังเส้นทางด้านขึ้น

5.22 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะการเตรียมเส้นทาง 60
ให้ขบวนรถวิ่งผ่าน

5.23 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 60
วงจรไฟตอนหมายเลข 112T

5.24 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 61
วงจรไฟตอนหมายเลข 10T

5.25 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 61
วงจรไฟตอนหมายเลข 4T

5.26 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่ 62
วงจรไฟตอนหมายเลข 2T

5.27 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถวิ่งผ่านพ้นเขตควบคุม 62
ของระบบอาณัติสัญญาณเข้าสู่ตอนเส้นทางระหว่างสถานี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตของการเดินรถไฟ ระบบอาณัติสัญญาณยังมิได้ถูกนำมาใช้งาน จึงทำให้การเดินรถไฟในขณะนั้นเกิดความยุ่งยากหลายประการ [1-2] ดังเช่น เกี่ยวกับความปลอดภัยในการเดินรถไฟเพราะพนักงานขับรถไฟไม่สามารถรู้ได้เลยว่าในเส้นทางที่นำขบวนรถเข้าไปนั้นมีสิ่งกีดขวางหรือไม่ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ต่อมาจึงได้มีการใช้เครื่องให้สัญญาณ

ในยุคที่ 1 นั้นได้มีการใช้ธงเป็นตัวให้สัญญาณในเวลากลางวันและใช้ตะเกียงน้ำมันให้สัญญาณในเวลากลางคืน โดยขณะนั้นการเดินขบวนรถไฟมีเพียงวันละ 1 หรือ 2 ขบวนและการติดต่อระหว่างสถานียังไม่เกิดขึ้น ต่อมาความนิยมในการโดยสารเส้นทางรถไฟมีมากขึ้นทำให้การเดินขบวนรถไฟมีมากกว่า 1 หรือ 2 ขบวน ต่อวัน จึงทำให้ต้องมีการสับหลีกขบวนรถไฟที่สถานีเกิดขึ้น ดังนั้นบรรดานักคิดค้นจึงได้หาวิธีการต่างๆ เพื่อช่วยให้การเดินรถไฟปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในยุคที่ 2 ได้นำสัญญาณ high ball signals ส่วนประกอบมีลูกกลมสานด้วยไม้ไผ่ (แบบตะกร้อ) ใช้ชักขึ้นลงกับเสาสูงประมาณ ๑๐ เมตร ระยะระหว่างเสาสัญญาณจะห่างกันประมาณ ๕ กิโลเมตร การดูท่าสัญญาณต้องอาศัยกล้องส่องทางไกลเมื่อลูกกลมคลุมด้วยผ้าขาวชักขึ้นสุดยอดเสาแสดงว่าขบวนรถไฟออกจากสถานีแล้ว แต่ถ้าอยู่เพียงครึ่งเสาแสดงว่า ขบวนรถไฟที่จะถึงต้องหยุดที่สถานีเพื่อรับสินค้าหรือผู้โดยสาร เมื่อขบวนรถไฟผ่านสถานีข้างหน้าแล้วให้ลดลูกกลมไว้ที่พื้นดินเป็นท่าสัญญาณแสดงว่า ขบวนรถไฟทุกขบวนต้องหยุดที่เสาสัญญาณนี้ แต่ถ้าลูกกลมถูกชักขึ้นสุดยอดเสาคลุมด้วยผ้าดำแสดงว่า ขบวนรถมีอุปสรรคไปไม่ได้ หรือช้ากว่ากำหนดเวลา

ในยุคที่ 3 ได้นำสัญญาณ red disc signal ทำด้วยโลหะลักษณะเป็นจานกลมทาสีแดง ติดตั้งอยู่กับเสาซึ่งหมุนได้เป็นแนวราบ ถ้าจานหมุนขนานกับแนวเส้นทางแสดงว่า สัญญาณท่าอนุญาตให้ขบวนรถผ่านไปได้ แต่ถ้าหมุนให้จานตั้งฉากกับแนวเส้นทางแสดงว่า สัญญาณท่าห้ามเป็นต้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีเจริญขึ้น ระบบการเดินรถไฟได้พยายามนำเอาระบบอาณัติสัญญาณ มาใช้งานเพื่อทำให้เกิดความสะดวกในการติดต่อระหว่างสถานีและก่อให้เกิดความปลอดภัยให้แก่กิจการรถไฟมากขึ้น บริษัทรถไฟในประเทศอังกฤษได้ร่วมประชุมหาทางกำหนดชนิดรูปร่างท่าของสัญญาณให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่ผลของการประชุมข้อตกลงระหว่างกันกระทำได้เพียงสีของสัญญาณเท่านั้น โดยตกลงให้ใช้ สีขาว เป็นท่าสัญญาณอนุญาต สีแดง เป็นท่าสัญญาณห้าม และ

สีเขียว เป็นท่าสัญญาณระวัง และในปีเดียวกันนี้ได้มีผู้คิดสัญญาณชนิดหางปลาขึ้นโดยถือแบบอย่างมาจากธงของเรือรบ ท่าของสัญญาณมี 3 ท่า คือ ท่านอนในแนวราบ เป็นท่าสัญญาณห้าม ตกลงทำมุม ๔๕ องศา เป็นท่าระวัง และยกขึ้น ๙๐ องศา เป็นท่าอนุญาต จากผลการทดสอบใช้งานปรากฏว่า สัญญาณหางปลาในท่าตั้งตรงและสีของสัญญาณในเวลากลางคืน แสงไฟสีขาวสังเกตยาก จึงได้มีการเปลี่ยนเป็น สีเขียว เป็นท่าสัญญาณอนุญาต สีแดง เป็นท่าสัญญาณห้าม และสีเหลือง เป็นท่าสัญญาณระวัง ส่วนสัญญาณหางปลาให้ถือท่านอนในแนวราบ เป็นท่าสัญญาณห้าม ยกขึ้น ๔๕ องศา เป็นท่าสัญญาณระวัง (ในบางประเทศลดลง ๔๕ องศา เป็นท่าสัญญาณระวัง)

ในระยะเริ่มแรกของการปรับปรุงเรื่องลักษณะของสัญญาณดังกล่าวข้างต้นสัญญาณประจำที่ยังไม่สัมพันธ์กับประแจทางหลีก จนกระทั่ง ปี พ.ศ. ๒๔๑๘ จึงได้มีผู้คิดค้นเครื่องสัญญาณที่สัมพันธ์กับประแจทางหลีกได้ เรียกว่าเครื่องสัญญาณประแจกล หลักสำคัญกล่าวคือ สัญญาณประจำที่จะแสดงท่าสัญญาณอนุญาตได้ต่อเมื่อประแจทางหลีกทุกตัวที่เกี่ยวข้องอยู่ในท่าที่ถูกต้องตามความหมายของสัญญาณที่แสดง ซึ่งกลไกของการสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณและประแจกลเป็นกลไกทางแมคคานิคส์ ต่อมาเมื่อวิทยาการด้านไฟฟ้าเจริญขึ้นจึงได้ปรับปรุงให้มาสัมพันธ์กันทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในปัจจุบัน

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในส่วนของวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอระบบอาณัติสัญญาณรถไฟเป็นระบบที่มีประโยชน์ [3-4] โดยใช้ในการกำหนดทิศทางและช่วงเวลาในการเดินขบวนรถไฟ ในอดีตการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟใช้ระบบบังคับสัมพันธ์โดยรีเลย์ (all relay interlocking: ARI) ซึ่งระบบนี้จะมีข้อเสีย คือ อายุการใช้งานของตัวรีเลย์สั้น ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งมากเนื่องจากตัวอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าสำหรับการจ่ายให้รีเลย์ทำงาน เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูง กล่าวคือ ในช่วงระยะเวลาใช้งานนานๆ ระบบนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ซึ่งประกอบกับการทำงานของระบบจะมีการตอบสนองที่ล่าช้าด้วย ด้วยเหตุเหล่านี้จึงได้มีการพัฒนาระบบที่ใช้ควบคุมอาณัติสัญญาณรถไฟเพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวและให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบัน จึงได้มีการนำระบบการบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ (computer-based interlocking: CBI) มาใช้แทนระบบเก่า โดยระบบ CBI นี้ จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าระบบเดิม คือ ให้ความรวดเร็วหรือตอบสนองได้ดี ให้ความปลอดภัยที่มากขึ้นกว่าเดิม สามารถที่จะเพิ่มการเข้าออกย่านสถานีของขบวนรถไฟได้ในปริมาณมากกว่าเดิม และยังสามารถทำการตรวจสอบและวิเคราะห์อาการเสียของอุปกรณ์แสดงผลได้ง่าย โดยการแสดงสถานะการทำงานต่างๆ ของระบบจะถูกแสดงทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์และทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งผลที่ได้จะสะดวกและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปวิเคราะห์ ทั้งในปัจจุบันและอนาคตด้วย จากการศึกษาวิจัยข้อดีของระบบ CBI ที่ได้กล่าวมาแล้วในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้นำ

เสนอการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟด้วยระบบ CBI ซึ่งระบบนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเดินรถไฟแห่งประเทศไทยในอนาคต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการเสนอการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้ควบคุมระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถไฟบนเส้นทางเดียว โดยสามารถสับหลีกและวิ่งสวนทางกันที่สถานี วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท บทที่ 1 จะเป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดและขอบเขตการวิจัย ในบทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกันโครงสร้างอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ ในบทที่ 3 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานีและเชื่อมโยงเป็นระบบที่ใช้ควบคุมและกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของขบวนรถที่วิ่งบนเส้นทางเดียวกัน ในบทที่ 4 การควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี คือ การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานี โดยอาศัยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจะใช้แทนอุปกรณ์ควบคุมโดยรีเลย์สำหรับอนาคต ในบทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่ย่านสถานี โดยจำลองขบวนรถไฟวิ่งบนเส้นทางสับหลีกที่สถานี และวิ่งผ่านไปยังสถานีข้างเคียงทั้งสองบนเส้นทางด้านขึ้นและด้านล่อง และบทที่ 6 จะกล่าวถึงเนื้อหาโดยสรุปทั้งหมด

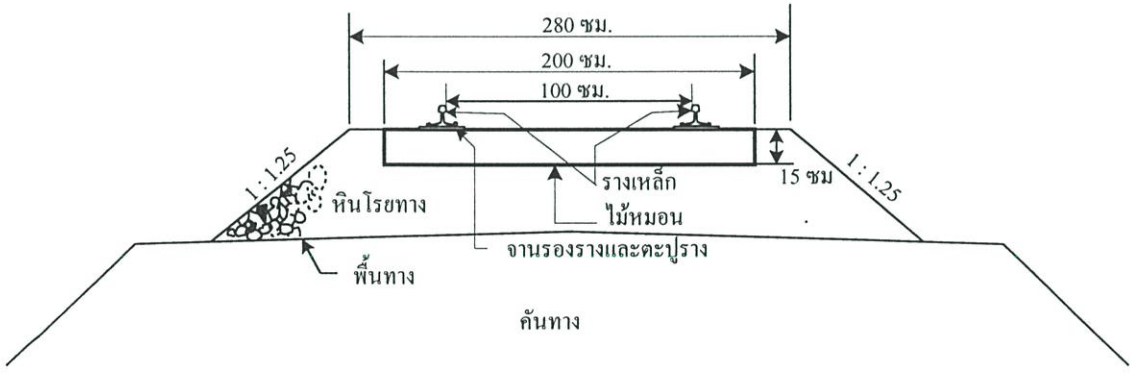
บทที่ 2
ทฤษฎีเบื้องต้นอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

2.1 กล่าวนำ

ในการขนส่งไม่ว่าจะเป็นผู้โดยสารหรือสินค้าชนิดต่างๆ เส้นทางรถไฟจะต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง และมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่ทันสมัยเป็นมาตรฐานสากลเพื่อความสะดวกและปลอดภัย ซึ่งการขนส่งเส้นทางรถไฟถือเป็นสิ่งสาธารณูปโภคสำหรับประชาชนทั่วไป ซึ่งรัฐบาลจะเป็นผู้ดูแลและกำหนดแนวทาง ความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ และที่สำคัญอีกอย่างคือความเป็นไปได้ในการก่อสร้างโดยจะมีการสำรวจเส้นทางเพื่อที่จะให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดได้ประโยชน์จากการใช้งานและคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดด้วย

2.2 การก่อสร้างเส้นทางรถไฟ

การก่อสร้างเส้นทางเป็นงานที่มีขอบเขตกว้างขวางมากเพราะองค์ประกอบของเส้นทางมีมาก นอกจากแต่ละในส่วนจะมีลักษณะจำเพาะของตัวมันเองยังมีส่วนสัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ อีกด้วยทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติสำหรับการอธิบายต่อไปนี้จะขอกล่าวโดยสังเขปเกี่ยวกับโครงสร้างเส้นทางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [2-5]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเส้นทางรถไฟ

2.2.1 ราง (rail)

เป็นรางเหล็กทำหน้าที่รองรับล้อรถ เพื่อให้ล้อรถวิ่งไปได้เรียบและเร็วในทิศทางที่ต้องการ รับน้ำหนักจากรถถ่ายทอดลงสู่หมอนที่รองรับรางเป็นท่อนๆ วางต่อกันในเส้นทางโดยมีเหล็กประกับราง และสลักเกลียวต่อกับรางแหวนสปริงบังคับให้ต่อเป็นแนวเดียวกัน

รางรถไฟที่นิยมใช้ในการรถไฟทุกประเทศโดยทั่วไปจะมีลักษณะฐานแบนซึ่งรางชนิดนี้ได้ถูกพัฒนาให้การใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่องการก่อสร้างเป็นไปได้ใน 2 แบบ

คือ รางความยาวมาตรฐาน (standard) และรางเชื่อมยาว (long welded rails) ซึ่งลักษณะของรางที่ดีจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2)

รูปที่ 2.2 ลักษณะรางเหล็ก

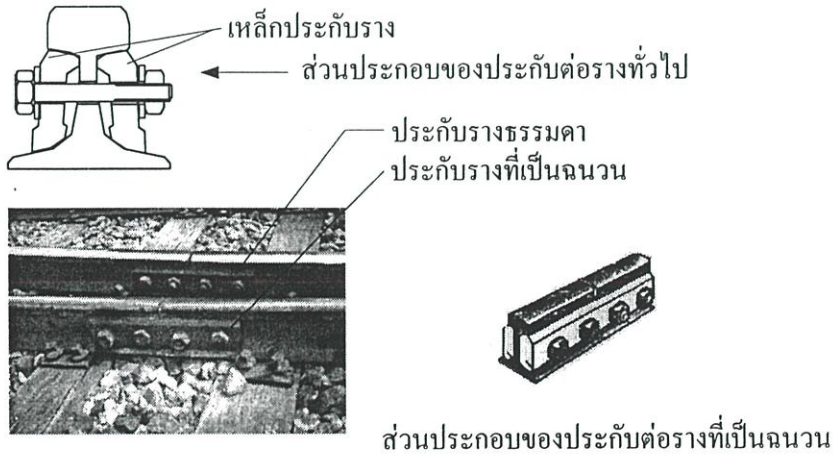
ก. สามารถรับน้ำหนักจากล้อได้ดีทั้งเส้นทางดิ่ง และเส้นทางราบโดยที่รางนั้นจะไม่มีความเค้น (stress) และการแอ่นตัว (deflection) เกินพิกัดที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ก็เพราะรางที่วางอยู่บนเส้นทางจะมีลักษณะเหมือนกับคานที่วางต่อเนื่องอยู่บนหมอน

ข. สันรางต้องมีส่วนโค้ง (profile) ที่เหมาะสมและความกว้างเพียงพอที่จะให้ล้อรถไฟกดลงบนรางโดยที่ไม่เกิดความเค้น

ค. เอวรางจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะรับน้ำหนักในทางดิ่ง และตามขวางไปทั่วหน้าตัดของรางและมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงเนื่องจากล้อรถไฟไม่ได้อยู่ตรงกลาง

2.2.2 ชุดประกับราง

เป็นอุปกรณ์สำหรับต่อรางแต่ละท่อนให้ต่อกัน ลักษณะเป็นแท่งเหล็ก 2 แท่ง เจาะรูตามปลายรางทั้งสองขันยึดด้วยสลักเกลียว ซึ่งการใช้ประกับจะแล้วแต่ขนาดของรางที่ใช้ ในส่วนของรางช่วงที่ถูกกำหนดให้เป็นวงจรไฟตอนเพื่อตรวจสอบขบวนรถ ประกับจะถูกออกแบบให้มีฉนวนรองกั้นเพื่อไม่ให้แนบชิดติดกับเอวรางโดยตรงและที่หัวต่อรางจะมีแผ่นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าขนาดหน้าตัดเท่ากับหน้าตัดของรางกั้นอยู่เพื่อไม่ให้หัวรางติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงประกับราง

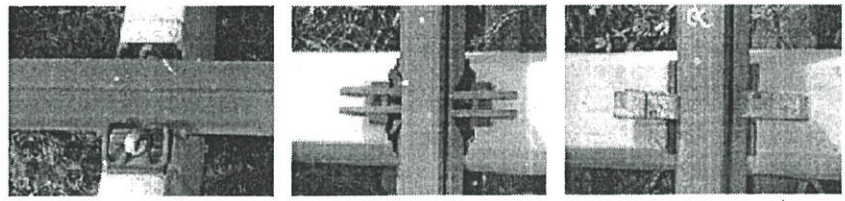
2.2.3 เครื่องยึดเหนี่ยวราง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดรางให้ติดกับหมอนรองราง การใช้งานมีหลายลักษณะแล้วแต่ชนิดการใช้งานของหมอนรองราง เช่นหมอนไม้ จะใช้ชนิดที่เป็นตะปูรางหรือ สกรูหัวเหลี่ยม ในส่วนของหมอนคอนกรีตการออกแบบมีหลายแบบจึงมีการออกแบบให้เหมาะสมกับหมอนที่ใช้ ซึ่งจุดประสงค์ในการใช้เครื่องยึดเหนี่ยวมีดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ก. ต้องการยึดรางให้ติดแน่นกับหมอนในตำแหน่งที่ต้องการ

ข. ต้องการบังคับรางให้ตั้งหรือวางอยู่ในลักษณะที่กำหนดไว้ เช่น วางรางให้ตรงหรือวางรางให้เอียง

ตะปูราง
สำหรับหมอนไม้



เครื่องยึดเหนี่ยวสำหรับหมอนคอนกรีตประเภทต่างๆ

รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องยึดเหนี่ยวประเภทต่างๆ

2.2.4 หมอนรองราง (sleeper)

เป็นส่วนประกอบของเส้นทางที่วางฝังอยู่บนหินโรยเส้นทางเพื่อรองรับรางซึ่งในสมัยก่อนจะใช้หินเป็นแท่งๆ วางรองรับราง ต่อมาได้เปลี่ยนเป็นไม้และเหล็ก ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ไม้และเหล็กมีราคาสูงจึงได้มีการผลิตหมอนที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กออกใช้งาน การใช้หมอนรองรางมีจุดประสงค์หลายอย่างดังนี้

1. เพื่อยึดหรือบังคับรางทั้ง 2 เส้นที่วางขนานกันให้มีความกว้าง (gauge) ที่กำหนดไว้โดยเครื่องยึดเหนี่ยว
2. เป็นตัวกลางช่วยถ่ายน้ำหนักจากรางให้แผ่กระจายสู่หินโรยเส้นทาง
3. เพื่อให้รางวางตรงหรือวางเอียงตามกำหนดไว้
4. เพื่อบังคับแนวเส้นทางรถไฟให้เป็นไปตามกำหนดไว้ โดยมีแรงต้านของหินโรยเส้นทางบังคับหมอนซึ่งเกิดจากความฝืดของหน้าหมอนด้านล่างที่วางอยู่บนหินโรยเส้นทาง
5. เป็นตัวกลางที่บังคับการยืดหดของรางเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
6. เป็นตัวเพิ่มน้ำหนักถ่วงให้โครงสร้างของเส้นทาง (track skeleton) ให้มากขึ้นซึ่งมีประโยชน์ในการดุ้งของราง (bucking) ยากมากขึ้น

2.2.5 วัสดุโรยเส้นทาง (ballast)

เป็นวัสดุที่ใช้รองรับอยู่ระหว่างใต้หมอนกับพื้นเส้นทางเพื่อกระจายน้ำหนักจากหมอนรองรางลงสู่พื้นเส้นทางและยังสามารถบังคับให้เส้นทางมีระดับตามกำหนดไว้ วัสดุโรยเส้นทางที่ใช้มีหลายชนิดเช่น ขี้เถ้า ทราย กรวดย่อย กากเหล็กและหินย่อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญของเส้นทาง สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทยจะใช้หินย่อยโดยส่วนใหญ่ การพิจารณาคุณสมบัติของหินดังนี้

1. ต้องเป็นหินที่มีความแข็ง ไม่แตกหรือป่นง่ายเมื่อทำการอัดหินหรือเนื่องจากการเสียดสีระหว่างก้อนหินด้วยกัน
2. ต้องเป็นหินที่ไม่ดูดน้ำมากเกินไป
3. หินที่มีน้ำหนักมากดีกว่าหินมีน้ำหนักน้อย
4. ต้องเป็นหินที่สะอาดไม่มีฝุ่นดินหรือหินที่ไม่ได้ขนาดผสมอยู่

2.2.6 พื้นเส้นทางหรือคันเส้นทางและส่วนประกอบคันเส้นทาง

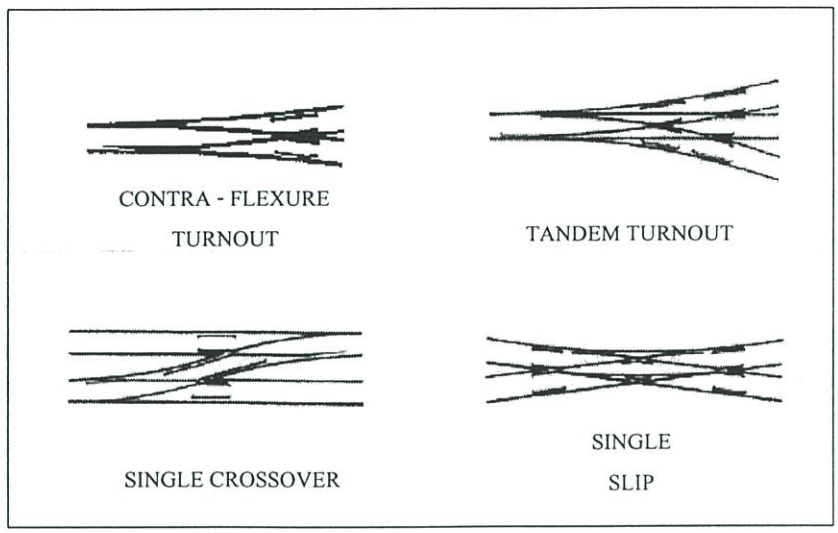
เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งซึ่งเปรียบเสมือนฐานรากของเส้นทางรถไฟ ถ้าฐานรากมีความมั่นคงแข็งแรงส่วนประกอบเส้นทางที่อยู่ด้านบนจะมีความมั่นคงไปด้วย กล่าวคือถ้าฐานรากอ่อนแอ ถึงจะเสริมความแข็งแรงส่วนบน ใช้หมอนรองรางจำนวนถี่ รางขนาดใหญ่หรือหินโรยเส้นทางหนาจำนวนเท่าใดเส้นทางก็ยังมีจุดอ่อนอยู่นั่นเอง ฉะนั้นในการก่อสร้างเส้นทางสมัยใหม่จึงให้ความสำคัญในการสร้างตัวถนนเป็นพิเศษ แม้จะมีการลงทุนสูง

นอกจากในส่วนของพื้นเส้นทางที่เป็นถนนแล้วยังมีส่วนประกอบอื่นอีกที่เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ที่ต้องคำนึงถึงเพราะเส้นทางรถไฟนั้นตัดผ่านภูมิประเทศในลักษณะต่างๆ กันแล้วแต่ละ ท้องถิ่น เช่นพื้นที่ลำคลองหรือแม่น้ำ ต้องสร้างสะพาน หรือตัดผ่านภูเขาต้องสร้างอุโมงค์หรือระเบิดภูเขาเพื่อเปิดเส้นทางให้สามารถตัดผ่านไปได้

เนื่องจากในการก่อสร้างเส้นทางยังต้องพิจารณาการใช้งานของเส้นทางรถไฟ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในทุกๆ ด้านโดยคำนึงถึงในการโดยสาร การขนส่ง และตลอดจนความคล่องตัวในการเดินรถไฟเพราะบนเส้นทางหลักโดยส่วนใหญ่เส้นทางรถไฟยังเป็นเส้นทางเดี่ยว กล่าวคือขบวนรถจะวิ่งไปมาในเส้นทางเดียว เพราะฉะนั้นในด้านความคล่องตัวเพื่อความรวดเร็วและปลอดภัยจะต้องมีการกำหนดก่อสร้างจุดสับหลีกขบวนรถไฟ นั่นก็คือ สถานีรถไฟ ซึ่งหน้าที่จะรวมไปถึงสถานีทำการทำสับเปลี่ยนขบวนรถ ทำการขนส่งถ่ายสัมภาระ และการโดยสารของประชาชนทั่วไป

องค์ประกอบในการก่อสร้างสถานี นอกจากตัวอาคารแล้ว อุปกรณ์พื้นฐานหลักที่มีความจำเป็นจะต้องติดตั้งบนเส้นทางนั่นคือ ประแจ (point) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นจุดแยก (turnout) หรือเส้นทางแยกเพื่อสามารถให้ขบวนรถไฟเปลี่ยนทิศทางได้ ในเริ่มแรกที่ยังไม่มีการติดตั้งระบบอาณัติสัญญาณก็จะใช้ประแจมือ (hand point) ซึ่งลักษณะจะมีคันควบคุมท่าของประแจที่จุดติดตั้งประแจ

และมีการกำหนดประเภทของสถานีตามระเบียบปฏิบัติของการรถไฟเพื่อยึดถือปฏิบัติในกิจกรรมร่วมกันให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



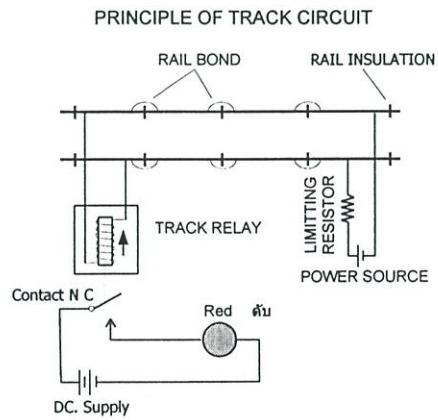
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของเส้นทางแยก (turn out) ชนิดต่างๆ

2.3 อุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

อุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ติดตั้งบนเส้นทางรถไฟ ได้ถูกออกแบบโครงสร้างในการทำงานเป็นระบบ fail-safe และตรวจสอบสถานะการทำงานแต่ละอุปกรณ์ เพื่อเตรียมพร้อมในการควบคุมและการกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของขบวนรถไฟวิ่งเข้าและออกย่านสถานีได้ตลอดเวลา สามารถอธิบายโครงสร้างอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณดังนี้

2.3.1 อุปกรณ์วงจรไฟตอน (track circuit)

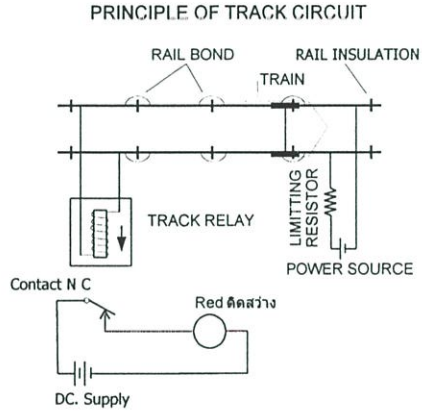
วงจรไฟตอนเป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบขบวนรถที่อยู่บนเส้นทาง และจะส่งข้อมูลมาแสดงผลยังจุดควบคุมและแผงบรรยายเส้นทาง ในหลักการ fail-safe หมายถึงระบบความปลอดภัยเมื่อเกิดการขัดข้องของระบบอาณัติสัญญาณรถไฟได้มีการออกแบบระบบโครงสร้างของอุปกรณ์ใช้เพื่อควบคุมความปลอดภัยมื่อระบบควบคุมหลักตามเงื่อนไขกำหนดไว้ในตารางควบ คุมการเดิน



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรไฟตอนระบบวงจรปิดในสภาวะเส้นทางปกติ

ขบวนรถไฟ เกิดการขัดข้องหรือทำงานผิดพลาด ระบบดังกล่าวก็ยังสามารถมีหน้าที่ให้ความปลอดภัยอยู่เสมอ โดยยกตัวอย่างโดยสร้างอุปกรณ์วงจรไฟตอนที่ออกแบบการทำงานเป็นระบบวงจรปิด (close circuit) แต่ละสภาวะดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7

จากรูปที่ 2.6 โดยการนำเอาระบบวงจรปิด (close circuit) ที่มีคุณสมบัติตรวจสอบการทำงานของระบบตลอดเวลา มาออกแบบการทำงานวงจรไฟตอนเพื่อใช้ตรวจสอบสภาพของทางรถไฟ ว่ามีขบวนรถไฟครอบครองเส้นทางอยู่หรือไม่ หลักการทำงานแบ่งทางรถไฟออกเป็นตอนๆ หัวต่อรางของตอนนั้นๆ ที่ติดกันจะมีฉนวนกั้นไม่ให้กระแสไฟฟ้าเดินถึงกันได้และปลายตอนทั้งสองจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายเพื่อตรวจสอบสภาพเส้นทาง ถ้าไม่มีขบวนรถไฟครอบครองเส้นทางหรือเส้นทางชำรุด วงจรไฟตอนจะแสดงผลสภาวะเส้นทางปกติบนแผงควบคุมบรรยายเส้นทาง



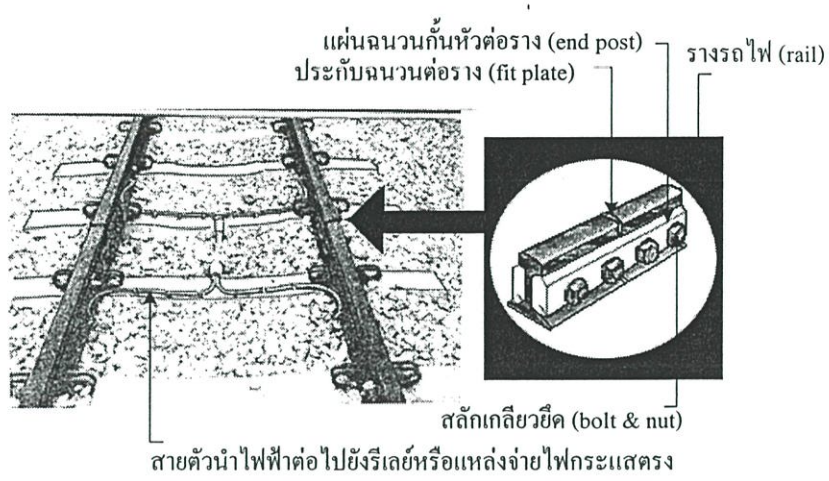
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรไฟตอนระบบวงจรปิดในสภาวะขบวนรถไฟครอบครองเส้นทาง

จากรูปที่ 2.7 เมื่อมีขบวนรถไฟเคลื่อนที่เข้าสู่วงจรไฟตอนล้อและเพลาของขบวนรถจะลัดวงจร ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงรีเลย์ทางด้านปลายวงจรจะอยู่ในสภาวะไม่ทำงาน ทำให้เปลี่ยนจากสภาวะเส้นทางปกติเป็นสีแดงบนเส้นทางจะแสดงผลที่จุดควบคุมบรรยายเส้นทางว่ามีขบวนรถครอบครองเส้นทางอยู่

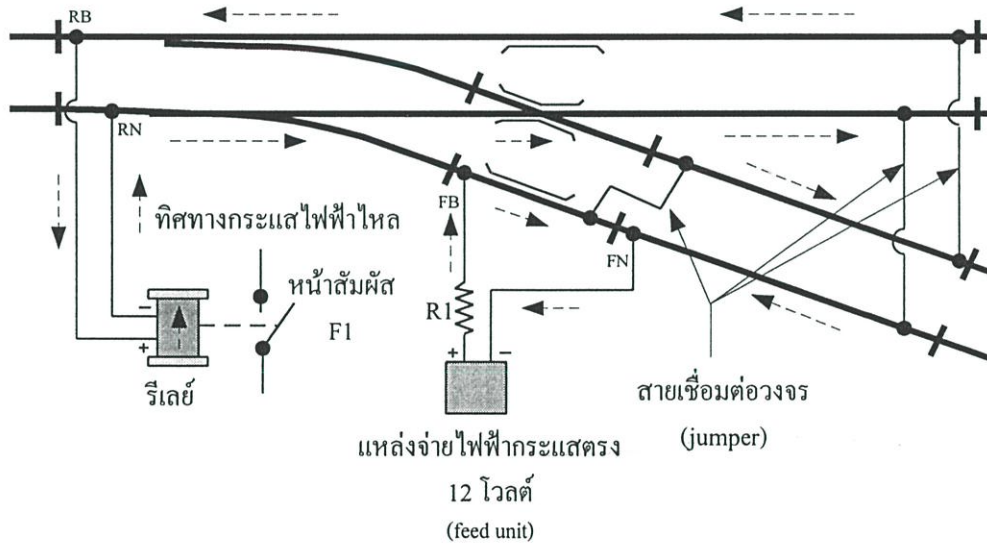
การติดตั้งวงจรไฟตอนบนรางนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแบ่งส่วนของรางออกเป็นช่วงๆ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่จะกั้นกระแสไฟฟ้าให้ไหลไปตามทิศทาง และขอบเขตของรางรถไฟที่กำหนดให้เป็นวงจรไฟตอน คือ ฉนวนหัวต่อราง (insulate rail joint) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนกั้นจุดต่อหัวรางเพื่อมิให้กระแสไฟฟ้าไหลถึงกันได้ ตามโครงสร้างและการติดตั้งฉนวนหัวต่อรางดังแสดงในรูปที่ 2.8

และในส่วนของชุดประแจจุดเส้นทางแยกที่มีการติดตั้งวงจรไฟตอนนั้น มีรางติดตั้งสลับ ซับซ้อน การใช้ฉนวนหัวต่อราง จึงต้องใช้จำนวนมาก เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรางที่นำมาต่อกับวงจรไฟตอนได้ตลอดทั้งเส้น เพื่อไม่ให้เกิดจุดบอดขึ้นบนวงจรไฟตอน ซึ่งจุดบอดนั้น

คือส่วนที่เมื่อรางหักหรือชำรุดแล้ว แต่วงจรไฟตอนยังสามารถแสดงสภาวะปกติได้ นั่นคือรีเลย์ยังสามารถดูดทำงานได้ซึ่งจะเป็นอันตรายกับการเดินรถเป็นอย่างยิ่ง การต่อวงจรไฟตอนในชุดประแจจุดทางเส้นแยก ดังแสดงรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งฉนวนหัวต่อราง

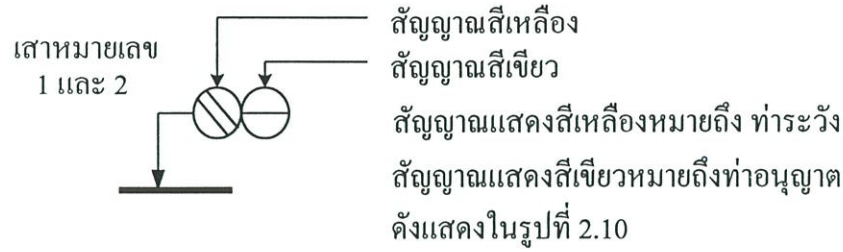


รูปที่ 2.9 แสดงการต่อวงจรไฟตอนที่ชุดประแจจุดเส้นทางแยก

2.3.2 อุปกรณ์สัญญาณรถไฟ

อุปกรณ์สัญญาณเป็นอุปกรณ์ในส่วนที่จะบรรยายหรือแสดงให้พนักงานขับรถได้มองเห็นเพื่อจะได้ปฏิบัติตามสัญญาณนั้น ในการที่จะนำขบวนรถเข้าหรือออกจากสถานี ช่วงในสภาวะปกติของสัญญาณจะมีการแสดงท่าเพื่อสื่อความหมายตลอดเวลา ซึ่งแล้วแต่ชนิดและความสำคัญของสัญญาณ การจำแนกชนิดสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

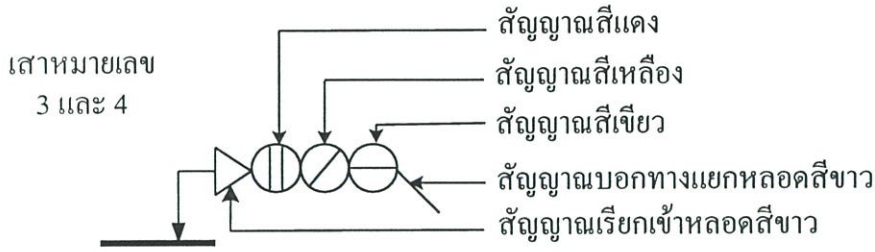
2.3.2.1 สัญญาณเตือน



รูปที่ 2.10 แสดงภาพเสาสัญญาณเตือน

จากรูปที่ 2.10 ลักษณะเป็นสัญญาณชนิด 2 ดวงโคม ดวงโคมด้านล่างเป็นสัญญาณสีเหลือง "ท่าระวัง" จะติดแสดงสภาวะปกติซึ่งความหมาย คือ ให้ขบวนรถผ่านไปได้ด้วยความระมัดระวังและสัญญาณต้นต่อไปแสดง "ท่าห้าม" ส่วนสัญญาณสีเขียว "ท่าอนุญาต" ติดตั้งอยู่ด้านบน เมื่อสัญญาณสีเขียวติดในสภาวะมีการเตรียมเส้นทางหมายความว่า อนุญาตให้ขบวนรถผ่านสัญญาณนี้ได้ด้วยความเร็วเต็มพิกัด สัญญาณต้นต่อไปถัดจากนี้อยู่ใน "ท่าระวัง" (สีเหลือง) หรือ "ท่าอนุญาต" (สีเขียว)" การบังคับสัมพันธ์สัญญาณ หรือการเปลี่ยนท่าจากสีเหลืองเป็นสีเขียวจะถูกบังคับจากสัญญาณเสาเข้า นั่นคือในขณะที่ยังไม่มีการเตรียมเส้นทางนั้นสัญญาณเสาเข้ายังแสดง "ท่าห้าม" (สีแดง) เสาเตือนก็จะยังคงติดสีเหลือง เมื่อมีการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถเข้าสู่สถานี สัญญาณเข้าจะเปลี่ยนท่าแสดงสีเหลืองหรือสีเขียว (แล้วแต่กรณี) เสาเตือนจะถูกบังคับให้สีเหลืองดับ และสีเขียวจะติดสว่างขึ้น

2.3.2.2 สัญญาณเข้า (home signal)



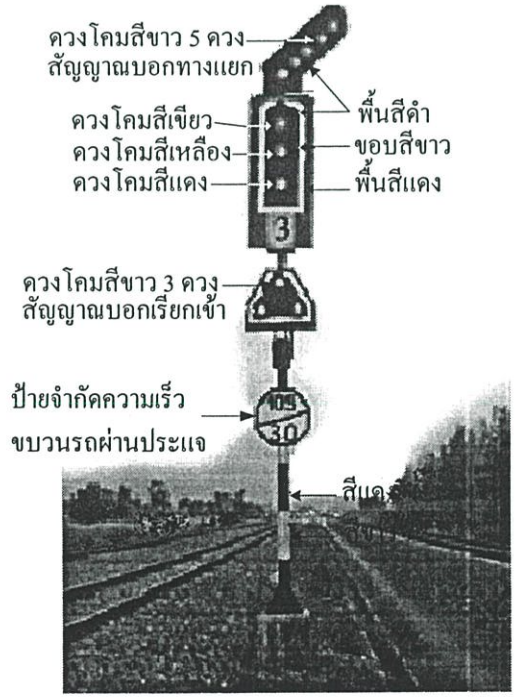
สัญญาณแสดงสีแดงหมายถึง สัญญาณท่าห้าม

สัญญาณแสดงสีเหลืองหมายถึง สัญญาณท่าระวัง

สัญญาณแสดงท่าสีเขียวหมายถึง สัญญาณท่าอนุญาต

สัญญาณบอกทางแยกแสดงสีขาวหมายถึง สัญญาณท่าทางหลีก

สัญญาณเรียกเข้าแสดงสีขาวหมายถึง ท่าสัญญาณเรียกเข้า ดังแสดงในรูปที่ 2.11

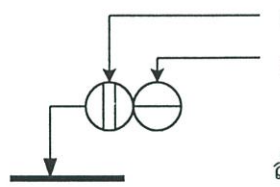


รูปที่ 2.11 แสดงภาพสัญญาณเสาเข้า (home signal)

จากรูปที่ 2.11 เป็นสัญญาณบังคับที่ให้ขบวนรถหยุดที่ตำแหน่งหน้าเสาหรือวิ่งผ่านสัญญาณเข้าสู่สถานีได้ ประกอบไปด้วยสัญญาณหลักมี 3 ดวงโคม คือ สัญญาณสีแดง สัญญาณสีเหลือง และสัญญาณสีเขียว นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรองหรือสัญญาณที่ช่วยในการเดินรถรวมอยู่ด้วย

คือ สัญญาณบอกทางแยกและสัญญาณเรียกเข้า การบังคับสัญญาณหลักทั้งหมดจะถูกบังคับโดยจุดควบคุมและบรรยายเส้นทาง ซึ่งจะตรวจสอบสถานะการเตรียมเส้นทาง วงจรไฟตอนที่เกี่ยวข้องในการเตรียมเส้นทางเข้าสู่สถานีว่าเส้นทางปกติหรือไม่และท่าประแจต่างๆ ถูกต้องหรือไม่และจะส่งเอ้าพุทไปบังคับสัญญาณให้แสดงท่า นอกจากนี้เมื่อสัญญาณแสดงท่าแล้วจะมีการตรวจสอบสภาวะของสัญญาณแสดงท่าถูกต้องสัมพันธ์กับการเตรียมเส้นทางหรือไม่ เช่นการเตรียมเส้นทางเข้าเส้นทางหลีก สัญญาณบอกทางแยกต้องติดขึ้นพร้อมกับสัญญาณสีเหลือง "ท่าระวัง" ในกรณีที่สัญญาณแสดงท่าไม่ถูกต้อง เช่น เตรียมทางเข้าทางหลีกแล้วสัญญาณบอกทางแยกไม่ติดสัญญาณหลัก (สีแดง) จะไม่สามารถเปลี่ยนท่าสัญญาณไปเป็นสัญญาณสีเหลือง "ท่าระวัง" ไม่ได้เลย ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าสัญญาณเกิดขัดข้อง แต่จะสามารถให้ขบวนรถเข้ามาสู่สถานีได้ ต้องใช้สัญญาณเรียกเข้ามา นั่นคือต้องบังคับได้สัญญาณเรียกเข้าแสดงท่าอนุญาต (ไฟสีขาว 3 ดวง ติดขึ้น) เมื่อ พนักงานขับรถจะนำขบวนรถไฟเข้าสู่สถานี โดยปฏิบัติตามระเบียบการเดินรถที่กำหนดไว้

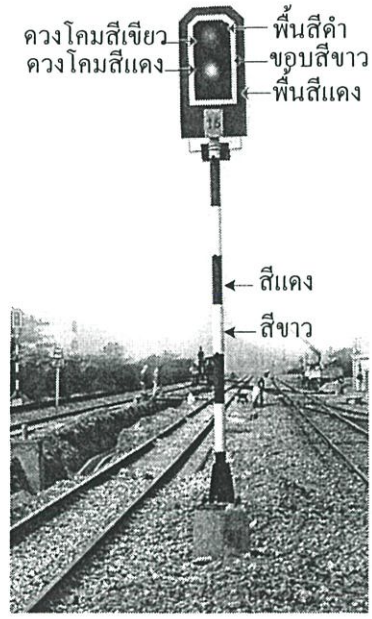
2.3.2.3 สัญญาณออก (starter signal)



เลขหมายเลข
15 16 17 และ 18

สัญญาณแสดงสีแดงหมายถึง สัญญาณท่าห้าม
สัญญาณแสดงสีเขียวหมายถึง ท่าอนุญาต"
ดังแสดงในรูป 2.12

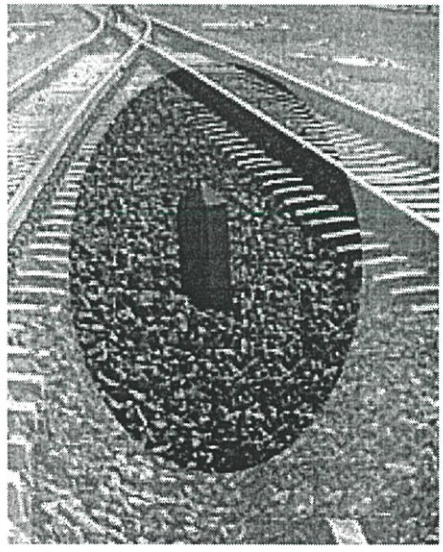
จากรูปที่ 2.12 เป็นสัญญาณบังคับที่สามารถให้ขบวนรถหยุดหน้าสถานีหรืออนุญาตให้ขบวนรถเข้าสู่ตอนระหว่างสถานีทั้งสองเพื่อเดินไปอีกสถานีหนึ่ง (ปลายทาง)ได้ ประกอบด้วยสัญญาณหลัก 2 ดวงโคม คือ สีแดงและสีเขียว สัญญาณในสภาวะปกติสัญญาณจะแสดง "ท่าห้าม" (สีแดง) คือในกรณีที่ยังไม่มีการเตรียมทางให้ขบวนรถออกจากสถานีเข้าสู่ตอนสัญญาณต้นนี้จะแสดง "ท่าห้าม" เมื่อต้องการที่จะเตรียมทางให้สัญญาณออกเปลี่ยนท่าเป็น "ท่าอนุญาต" (สีเขียว) เพื่อให้ขบวนรถไฟเข้าสู่ตอนไปยังสถานีปลายทางได้ จะต้องมีการขอทางสะดวก นั่นคือจะต้องได้รับความเห็นชอบยืนยันว่า "ตอนว่าง" (ไม่มีขบวนรถไฟเข้าออกก่อนหน้านี้) โดยสถานีปลายทางเสียก่อนโดยกระทำการผ่านเครื่องทางสะดวก เมื่อทำการขอทางสะดวกเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเตรียมเส้นทางเพื่อให้สัญญาณออกเปลี่ยนจาก "ท่าห้าม" (สีแดง) มาเป็น "ท่าอนุญาต" (สีเขียว)



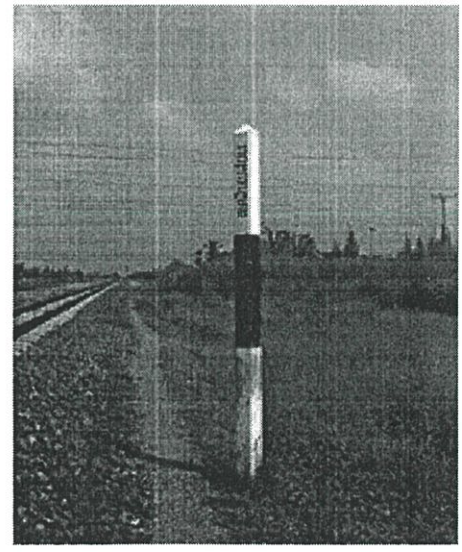
รูปที่ 2.12 แสดงเสาสัญญาณออก (starter signal)

2.3.2.4 หลักเขตสับเปลี่ยน (limit shunt post)

เป็นหลักเขตแสดงระยะที่สามารถทำการสับเปลี่ยนขบวนรถได้ภายในย่านสถานีบน "เส้นทางตรง" ซึ่งจะกำหนดระยะจากฉนวนหัวต่อรางหน้า



หลักปลอดภัย (clearance post)



หลักเขตสับเปลี่ยน (limit shunt post)

รูปที่ 2.13 แสดงหลักเขตสับเปลี่ยน (limit shunt post) และหลักปลอดภัย (clearance post)

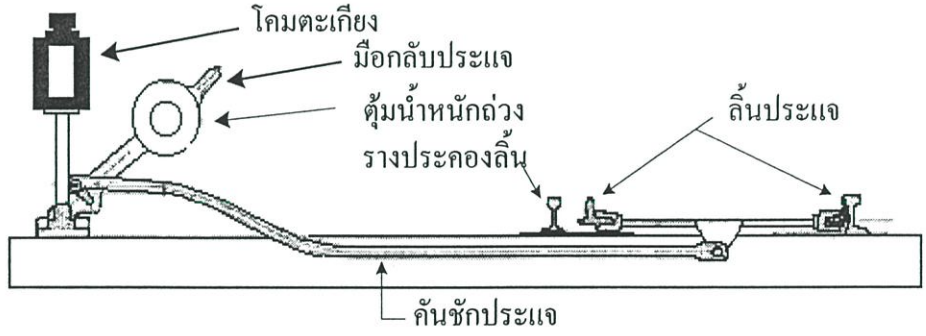
ประแจเบอร์นอกสุดไปจนถึงจุดติดตั้งฉนวนหัวต่อรางสำหรับเขตสับเปลี่ยนและที่ตำแหน่งนี้จะทำการติดตั้งหลักเขตสับเปลี่ยนด้านขวามือสำหรับทิศทางขบวนรถวิ่งออกจากสถานี ความยาวของระยะเขตสับเปลี่ยนไม่น้อยกว่า 500 เมตร ซึ่งเป็นระยะของความยาวขบวนรถมากที่สุด ระเบียบปฏิบัติเมื่อจะมีการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถวิ่งเข้าหรือออกจากสถานี ต้องหยุดทำการสับเปลี่ยนและจัดเก็บรถที่ไม่เกี่ยวข้องกับขบวนรถที่จะเดินทางไปยังปลายทางดังแสดงในรูป 2.13

2.3.2.5 หลักเขตปลอดภัย (clearance post)

เป็นหลักสีแดงติดตั้งระหว่าง เส้นทางตรงกับเส้นทางแยกของชุดประแจ ณ ตำแหน่งซึ่งมีระยะห่างของศูนย์กลางราง ไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร ติดตั้งเพื่อแสดงส่วนที่แคบที่สุดระหว่างเส้นทางหลีกกับเส้นทางตรง ณ ตำแหน่งประแจที่สามารถให้ขบวนรถจอดเทียบเคียงกัน ซึ่งขบวนรถไฟทั้งสองต้องไม่หยุดเลยหลักนี้ (ไปในทิศทางหน้าประแจ) ดังแสดงในรูป 2.13

2.3.3 ประแจกลไฟฟ้า (electric point machine)

จากที่กล่าวมา ก่อนมีการวางรางรถไฟกำหนดจุดก่อสร้างในย่านสถานี ในการเดินขบวนรถไฟ ชุดประแจเป็นส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในย่านสถานีเพื่อเป็นจุดแยกเปลี่ยนทิศทางขบวนรถ เช่นเส้นทางแยกสำหรับเข้าสู่เส้นทางหลีก ในการก่อสร้างเส้นทางและย่านสถานีเมื่อเริ่มทำการติดตั้งชุดประแจในส่วนของชุดบังคับยังไม่มีการใช้ชุดบังคับอัตโนมัติ เพียงแต่ติดตั้งคันโยกสำหรับเปลี่ยนท่าประแจที่ปลายลิ้นซึ่งชุดประแจนี้เรียกว่า ประแจมือ ดังแสดงในรูปที่ 2.14

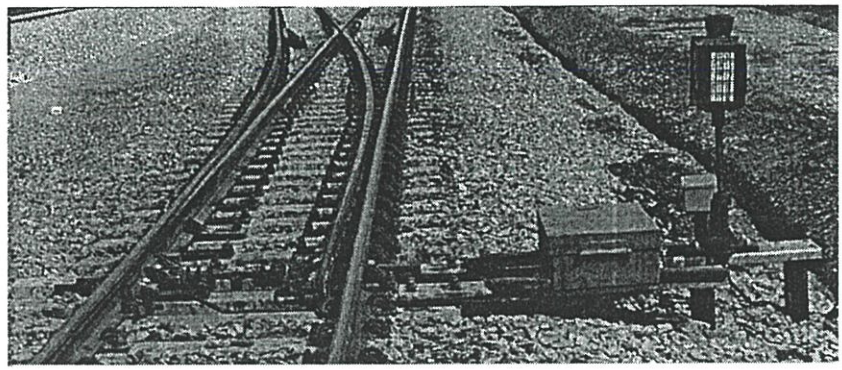


รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างประแจมือ

แต่เมื่อมีการติดตั้งระบบอาณัติสัญญาณที่สถานีนั้นจะมีการติดตั้งชุดควบคุมบังคับด้วยไฟฟ้า ชุดประแจชนิดนี้เรียกว่า "ประแจกลไฟฟ้า" ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ชุดประแจกลไฟฟ้าจะทำหน้าที่กลับประแจและล็อกปลายลิ้นให้อยู่ในท่าที่ต้องการ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องติดตั้งเข้าที่ปลายลิ้นประแจเส้นทางหลักๆ ที่มีความจำเป็นต่อการเดินขบวนรถไฟ เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการเตรียมเส้นทางและสามารถล็อกและตรวจสอบท่าประแจโดยอัตโนมัติทำให้มีความปลอดภัยสูง การควบคุมบังคับประแจสามารถกระทำได้โดยการเตรียมเส้นทางหรือควบคุมโดยตรงจากปุ่ม

กดบังคับประแจที่ติดตั้งที่สถานีและนอกจากนี้ในสภาวะประแจขัดข้องต้องมีมือหมุนสำหรับหมุนเปลี่ยนท่าประแจได้ที่ชุดหีบประแจโดยตรง

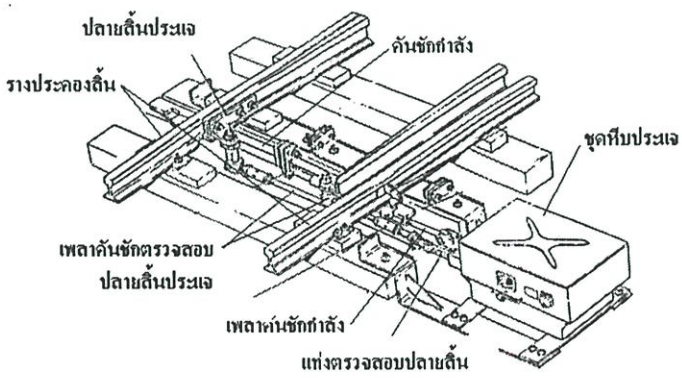
การจำแนกส่วนประกอบชุดประแจกลไฟฟ้าสามารถจำแนกตามอุปกรณ์การติดตั้งที่ปลายลิ้นจำแนกได้ 2 ส่วน คือ



รูปที่ 2.15 แสดงภาพประแจกลไฟฟ้า

ก. ชุดล็อกบังคับปลายลิ้น เป็นชุดทำงานเพื่อบังคับให้ปลายลิ้นเคลื่อนไปในท่าที่ต้องการ เมื่อเคลื่อนไปจนสุดแล้ว จะล็อกปลายลิ้นโดยใช้การล็อกทางกลให้อยู่กับที่

ข. ชุดขับเคลื่อน หรือ หีบประแจ เป็นชุดต้นกำเนิดกำลังในการขับเคลื่อนโดยใช้แรงบิดให้หมุนตามต้องการ นอกจากนี้ภายในหีบยังมีชุดตรวจสอบปลายลิ้น โดยมีคันชักที่ต่อมาจากปลายลิ้นทั้งสอง เป็นตัวดึงเข้าออกตามจังหวะห่วงปลายส่งไปขับแท่งตรวจสอบปลายลิ้นประแจ (detector slide) ซึ่งเป็นเหล็กแบนแบบเลื่อนได้ (slide) ด้วยแรงจากปลายลิ้น ทำงานสัมพันธ์กับตำแหน่งหมุนสุดแกนชุดขับในหีบประแจ จากชุดนี้จะมี contact switch สำหรับต่อทางไฟในชุด



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของประแจกลไฟฟ้า

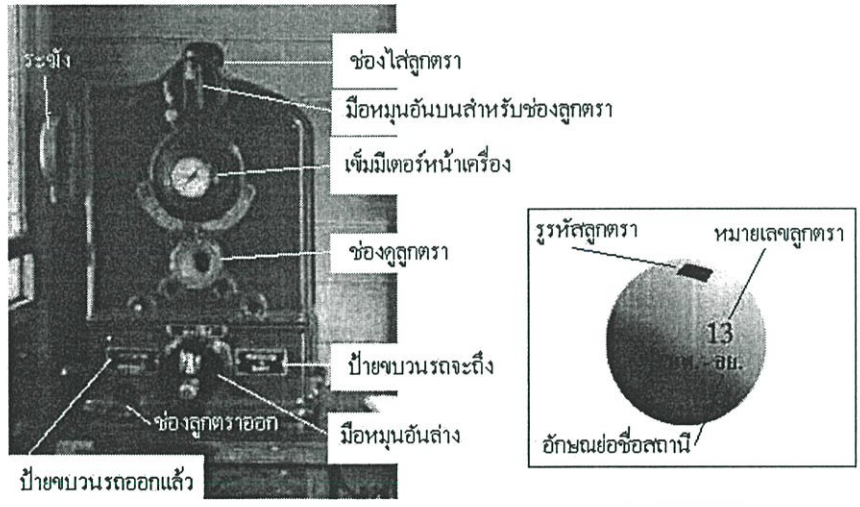
อินพุท / เอาต์พุท เพื่อส่งข้อมูลสถานะหรือท่าประแจไปยังจุดควบคุมและบรรยายเส้นทาง เพื่อจะได้ทราบว่าประแจอยู่ในท่าที่ถูกต้องหรือไม่

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สำหรับการบังคับให้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนปลายลิ้นประแจนั้น จะรับอินพุทจากการเตรียมเส้นทางของระบบอาณัติสัญญาณ เข้าสู่ชุดควบคุมจะทำการตรวจสอบท่าประแจว่าประแจอยู่ในท่าที่ต้องการหรือไม่ ถ้ายังไม่ถูกต้อง ก็จะส่งอินพุทไปควบคุมให้มอเตอร์ในชุดหีบประแจทำงานเพื่อกลับประแจยังท่าที่ต้องการ เมื่อถูกต้องและสนิทดีแล้วโดยตรวจสอบที่ชุดตรวจสอบปลายลิ้นประแจ ชุดควบคุมก็จะทำงานในขั้นตอนต่อไปนั่น คือ การควบคุมบังคับสัญญาณให้แสดงท่าตามที่ต้องการต่อไป ดังแสดงในรูป 2.16

2.3.4 เครื่องขอและให้ทางสะดวก

ในระบบการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทยนั้น ได้จัดระเบียบการเดินรถไฟไว้เป็นข้อปฏิบัติซึ่งเรียกว่า "ระเบียบตอนสมบูรณ์" เพื่อให้พนักงานขับรถมีความมั่นใจว่าทางข้างหน้าในระหว่างสองสถานีที่จะนำขบวนรถเข้าไปสู่นั้นไม่มีขบวนรถขบวนหนึ่งขบวนใดวิ่งเข้าไปก่อนหน้านี้แล้วซึ่งการปฏิบัติพนักงานสถานีต้นทาง ก่อนที่จะอนุญาตให้ขบวนรถวิ่งออกจากสถานีไปสู่สถานีปลายทางนั้นจะต้องทำการ "ขอทาง" กับสถานีปลายทางเสียก่อนเมื่อสถานีปลายทางรับทราบ



รูปที่ 2.17 เครื่องทางสะดวกชนิดลูกตรากลม

ว่าจะมีขบวนรถวิ่งเข้ามาจะทำการ "ให้ทาง" ซึ่งกระบวนการขอและให้ทางกันนี้จะทำการผ่านเครื่องมือสื่อสารที่เรียกว่า "เครื่องตราทางสะดวก (token block) เป็นเครื่องชนิดที่มีลูกตรา ติดตั้งไว้ระหว่างสองสถานีที่ต้องการให้ขบวนรถวิ่งไปสู่ซึ่งกันและกัน ซึ่งเมื่อนายสถานีปลายทางได้ทำการยืนยันการให้ทางสะดวกหลังจากได้รับสัญญาณการขอทางสะดวกจากนายสถานีต้นทาง โดยจะทำการหมุนมือที่หน้าเครื่องไปทางตำแหน่งป้าย "ขบวนรถจะถึง" แล้วส่งสัญญาณกลับไปทางสถานีต้นทาง นายสถานีต้นทางจะทำการหมุนมือที่หน้าเครื่องมาที่ตำแหน่งป้าย "ขบวนรถออกแล้ว" ณ ตำแหน่งนี้เครื่องตราทางสะดวกที่สถานีต้นทางจะบังคับให้ลูกตราออกจากเครื่อง 1 ลูก ลักษณะ

45887

ลูกตราจะเป็นทรงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มม. ใช้เป็นหลักฐานในการเดินขบวนรถออกจากสถานี โดยจะนำไปกับพนักงานขับรถและเมื่อขบวนรถวิ่งถึงสถานีปลายทาง พนักงานขับรถจะส่งมอบลูกตราให้กับนายสถานีปลายทางซึ่งจะนำใส่เข้าไปในเครื่องตราทางสะดวกทางช่องใส่ลูกตราแล้วทำการส่งสัญญาณมาที่สถานีต้นทางเพื่อดำเนินการ "คืนทาง" เพื่อให้ทางนั้นคืนสภาวะ "ทางปิด" หรือทางว่าง โดยมือหมุนที่หน้าเครื่องตราทางสะดวกของทั้งสองสถานีจะถูกทำให้อยู่ในตำแหน่ง "ทางปิด"

ในสภาวะก่อนที่จะเตรียมทางเพื่อให้สัญญาณอนุญาตให้ขบวนรถเข้าหรือออกจากสถานีนั้น จะต้องผ่านการ "ขอและให้ทาง" สะดวกทุกครั้งตามหลักการปฏิบัติในระเบียบตอนสมบูรณ์ ในการออกแบบระบบจึงทำการเชื่อมโยงอินพุท/เอ้าท์พุทจากชุดควบคุมและบรรยายเส้นทางเข้าสู่เครื่องทางสะดวกเพื่อตรวจสอบสภาวะของเครื่องลูกตราทางสะดวกว่าอยู่ในตำแหน่งใด ดังแสดงในรูปที่ 2.17

บทที่ 3
การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี หัวข้อจากบทที่ 2 ถูกนำมาติดตั้งเชื่อมโยงเป็นระบบใช้ควบคุมและกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของขบวนรถที่วิ่งบนเส้นทางร่วมเดียวกันรวมทั้งการสับหลีกขบวนรถภายในย่านสถานีและยังเป็นจุดจอดของขบวนรถเพื่อรับส่งผู้โดยสาร แต่ในการกำหนดจุดต่างๆ จะต้องคำนึงถึงอัตราความเร็วสูงสุดที่ 120 กม./ชม. ความยาวของขบวนรถไฟที่ไม่เกิน 500 เมตร และการทำงานระหว่างอุปกรณ์ของระบบอาณัติสัญญาณจะต้องมีการบังคับสัมพันธ์ตอบสนองซึ่งกันและกัน

3.2 การกำหนดการแสดงท่าระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

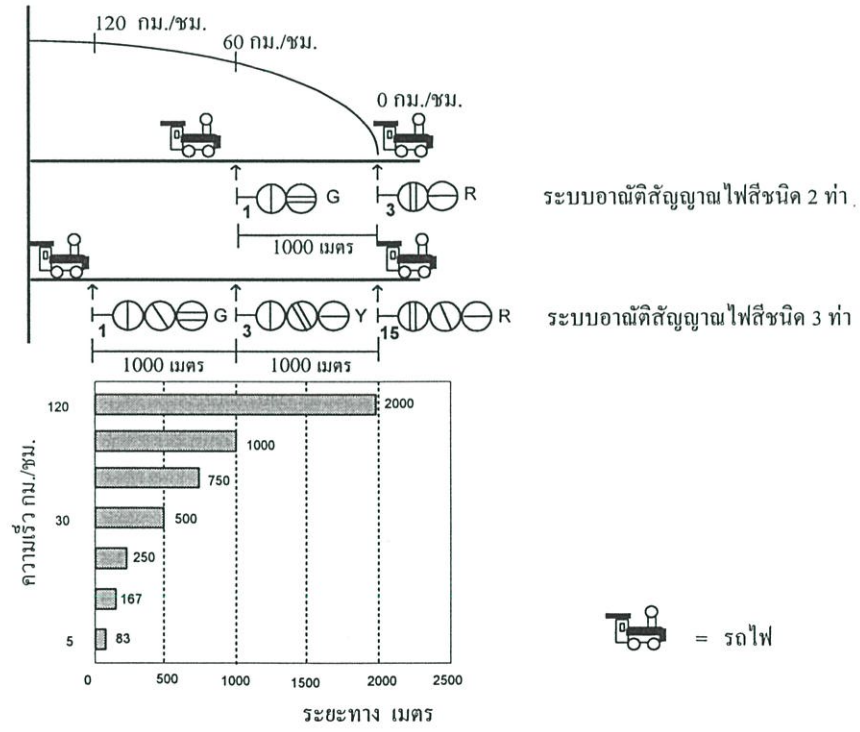
การแสดงท่าของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณ [3] ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันถูกกำหนดโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นกฎข้อบังคับการเดินขบวนรถ (ขคร) เปรียบเสมือนกฎหมายในการเดินขบวนรถไฟที่พนักงานขับรถ (พขร) จะต้องศึกษาทำความใจใช้เป็นกฎระเบียบสำหรับสื่อความหมายในการปฏิบัติเหมือนกันทุกเส้นทางทั่วประเทศเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและรวดเร็ว มากำหนดเงื่อนไขการเดินรถไฟที่ย่านสถานีในอนาคต ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแสดงท่าระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

ทิศทางขบวนรถ เข้าและออกสถานี (Route)	การแสดงท่าเสาสัญญาณเตือน (Warner Signal)	การแสดงท่าเสาสัญญาณเข้า (Home Signal)	การแสดงท่าประแจ (Point Machine)	การแสดงท่าเสาสัญญาณออก (Starter Signal)
สภาวะเบื้องต้นก่อนการควบคุมเงื่อนไขทุกเส้นทาง	สีเหลือง (Y)	สีแดง(R)	ทางตรง	สีแดง (R)
เงื่อนไขขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1	สีเขียว (G)	สีเหลือง (Y)	ทางตรง	สีแดง (R)
เงื่อนไขขบวนรถไฟวิ่งออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1	สีเหลือง (Y)	สีแดง (R)	ทางตรง	สีเขียว (G)
เงื่อนไขขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2	สีเหลือง (Y)	สีเหลือง (Y) + Junction Sig	ทางหลีก	สีแดง (R)
เงื่อนไขขบวนรถไฟวิ่งออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2	สีเหลือง (Y)	สีแดง (R)	ทางหลีก	สีเขียว (G)
เงื่อนไขขบวนรถไฟวิ่งผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1	สีเขียว (G)	สีเขียว (G)	ทางหลีก	สีเขียว (G)
เงื่อนไขระบบขัดข้อง	สีเหลือง (Y)	สีแดง (R) +Junction, +Call-On Sig	ทางตรง, ทางหลีก	สีแดง (R)

3.3 ความจุของทาง (track capacity)

ความจุของทาง หมายถึงจำนวนขบวนรถไฟสูงสุดที่สามารถวิ่งได้บนเส้นทางหรือรางรถไฟต่อวัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ [2-3] สำหรับการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ ในที่นี้จะพิจารณาส่วนของอัตราความเร็วสูงสุดของรถไฟที่สามารถวิ่งได้ตามมาตรฐานการขนส่งทางรถไฟ โดยอยู่ที่ 120 กม./ชม. ที่ความกว้างระหว่างรางรถไฟที่ 1 เมตร ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่ปลอดภัยมากที่สุด สำหรับสภาพเส้นทางการเดินขบวนรถไฟตามปกติและเมื่อขบวนรถวิ่งผ่านระบบอาณัติสัญญาณชนิดต่างๆ เช่น ระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด 2 ท่า ประกอบด้วยสีเขียวและสีแดงหรือสีเขียวและสีเหลือง ส่วนระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด 3 ท่า ประกอบด้วยสีเขียว สีเหลืองและสีแดง ค่าอัตราความเร็วที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของท่าสัญญาณ ดังแสดงตามสัญลักษณ์อาณัติสัญญาณในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงระยะเบรคและหยุดขบวนรถไฟ

3.4 ระบบอาณัติสัญญาณ (Signalling system)

ระบบอาณัติสัญญาณเป็นระบบที่ใช้ควบคุมการเดินขบวนรถไฟ ซึ่งวิธีการควบคุมอาศัยสัญญาณไฟสีชนิดต่างๆ ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เชื่อมต่อด้วยสายเคเบิล (Cable) ที่วางใต้ดินขนานกับเส้นทางรถไฟ เป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ โดยการออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และต้องเป็นไป

ตามเงื่อนไขของการเดินขบวนรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยรูปแบบของระบบอาณัติสัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ลาดชัน ทางโค้งและเขตชุมชน ยังรวมถึงงบประมาณที่ใช้ด้วย

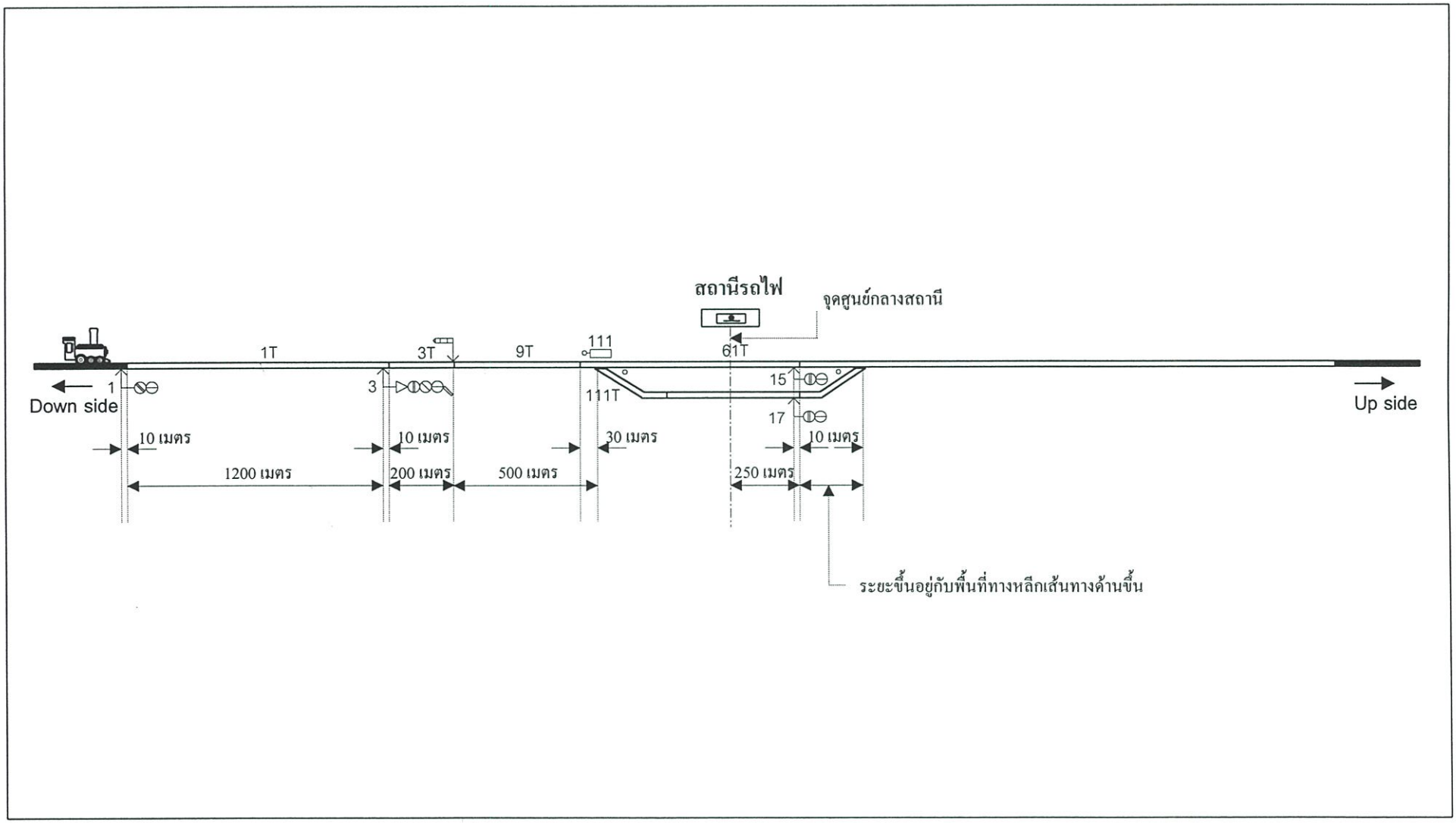
จากหัวข้อ 3.1 ถึง 3.3 ถูกนำมาใช้ในการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณ ซึ่งการกำหนดระยะติดตั้งอุปกรณ์อาณัติสัญญาณภายในย่านสถานีต้องกำหนดจุดเริ่มต้น โดยให้สถานีเป็นจุดศูนย์กลางแบ่งย่านสถานีออกเป็น 2 ด้าน คือด้านล่อง (Down Side) เป็นเส้นทางรถไฟด้านต้นตอนหรือต้นทาง โดยกำหนดอุปกรณ์ด้วยหมายเลขคี่ทั้งหมด ดังแสดงในรูป 3.2 ซึ่งจะตรงกันข้ามกับด้านขึ้น (Up Side) ที่มีการกำหนดหมายเลขอุปกรณ์เป็นเลขคู่ทั้งหมดเช่นกัน ดังแสดงในรูป 3.3 ในการกำหนดระยะจุดติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง 2 ด้าน จะเหมือนกันแต่การกำหนดจุดติดตั้งจะแสดงเฉพาะด้านขึ้นของสถานีเท่านั้น และการวางระยะอุปกรณ์จะเริ่มจากการกำหนดจุดในการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 5 จุด ดังแสดงในรูป 3.4 ดังนี้

<u>จุดที่1</u> เริ่มจากการกำหนดพื้นที่สำหรับรับส่งผู้โดยสารและสินค้าที่ชานชาลาย่านสถานี โดยให้สถานีเป็นจุดศูนย์กลางเริ่มในการกำหนดระยะทาง ซึ่งในจุดนี้จะต้องคำนึงถึงความหนาแน่นของผู้ใช้บริการโดยสารกับพื้นที่รองรับ มาออกแบบกำหนดระยะติดตั้งอุปกรณ์ ในที่นี้การรถไฟฯ ได้กำหนดระยะทางไม่น้อยกว่า 500 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับกฎของการรถไฟฯ ที่มีความยาวของขบวนรถไฟสูงสุดไม่เกิน 500 เมตร และต้องแบ่งรางรถไฟออกเป็น 2 เส้นทาง คือทางตรงและทางหลีก เพื่อใช้ในการสับเปลี่ยนหรือหลีกขบวนรถไฟ จากนั้น จึงทำการติดตั้งวงจรไฟตอน (Track Circuit) หมายเลข 61T และ 62T และติดตั้งเสาสัญญาณออก (Starter signal) ประจำเส้นทางหมายเลข 15 16 17 และ 18 มีระยะห่าง 10 เมตร จากจุดตัดของ Feed (F) และ Relay (R) ของวงจรไฟตอนหมายเลข 61Tและ 62T

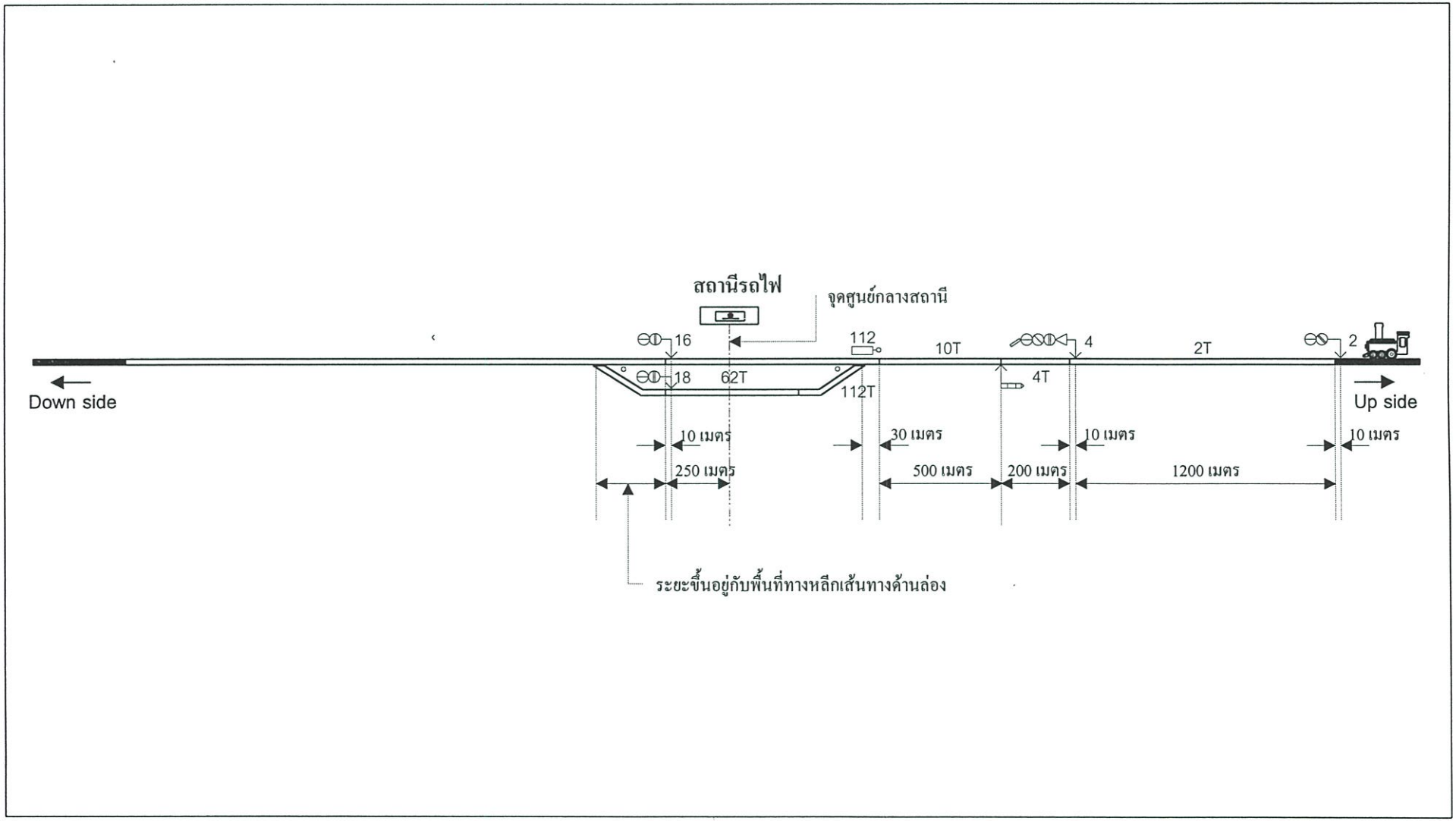
<u>จุดที่2</u> จะใช้พื้นที่ในการวางประแจกล (Point Machine) หมายเลข 112 ที่จุดเส้นทางแยกกำหนดระยะออกไปทางด้านขึ้นอีก 30 เมตร เป็นจุดสิ้นสุดวงจรไฟตอนหมายเลข 112T

<u>จุดที่3</u> จะใช้เป็นพื้นที่ในการสับเปลี่ยนขบวนรถไฟ หรือตัดต่อโบกี้บรรทุกสินค้า การกำหนดระยะสิ้นสุดจากจุดที่ 2 ออกไปทางด้านขึ้นอีกไม่น้อยกว่า 500 เมตร เพื่อติดตั้งวงจรไฟตอนหมายเลข 10T ช่วงปลายเส้นทางเป็นจุดสิ้นสุดวงจรไฟตอนหมายเลข 10T ซึ่งเป็นจุดติดตั้งเสาเขตสับเปลี่ยน (Limit Shunt Post) เพื่อบ่งบอกเขตการเดินรถและระยะเส้นทางช่วงนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจุดที่ 1

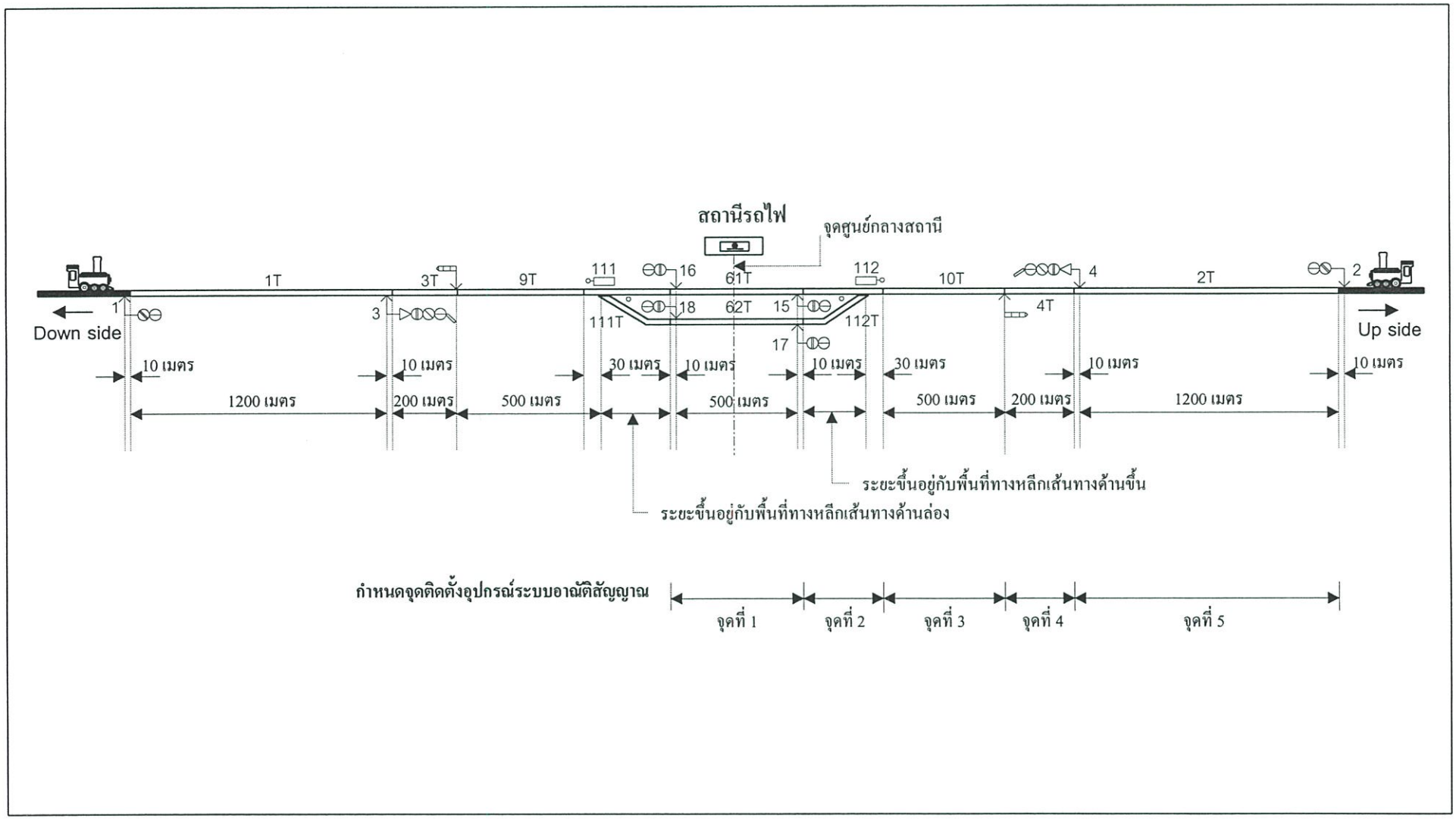
<u>จุดที่4</u> คือเขตปลอดภัยโดยจะใช้ในการป้องกันในกรณีไม่สามารถหยุดขบวนรถไฟได้ ในเขตหน้าเสาสัญญาณเข้า (Home Signal) หมายเลข 4 หรือขอบเขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T ที่เสาสัญญาณเข้าแสดงท่าห้าม (สีแดง) ซึ่งระยะเขตปลอดภัยนี้สามารถให้ขบวนรถไฟล้ำเส้นทางเข้าไปในวงจรไฟหมายเลข 4T ได้ไม่เกิน 200 เมตร (การกำหนดระยะขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของขบวนรถไฟด้วย) และจุดสิ้น สุดวงจรไฟตอนหมายเลข 4T ออกไปอีก 10 เมตร เป็นจุดที่ติดตั้งเสาสัญญาณเข้าหมายเลข 4



รูปที่ 3.2 การกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณเส้นทางด้านล่อง



รูปที่ 3.3 การกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสญญาณในเส้นทางด้านขึ้น



รูปที่ 3.4 การแสดงอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณย่านสถานีรถไฟ

จุดที่5 เป็นเขตเสาสัญญาณเตือน (Warner Signal) หมายเลข 2 โดยพื้นที่นี้ใช้เป็นบริเวณให้พนักงานขับรถตรวจสอบการแสดงท่าระบบสัญญาณและสภาพย่านสถานีและเส้นทางในการเข้าสู่สถานี ซึ่งใช้เสาสัญญาณเข้าหมายเลข 4 และเสาสัญญาณเตือนหมายเลข 2 เป็นตัวบ่งบอกและมีระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณทั้ง 2 ต้น เป็นระยะทาง 1200 เมตร ซึ่งใช้ระยะช่วงนี้ในการเบรคเพื่อหยุดขบวนรถไฟที่อัตราความเร็วกำหนด ตามรูปที่ 3.2

3.5 ระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (computer-based interlocking system)

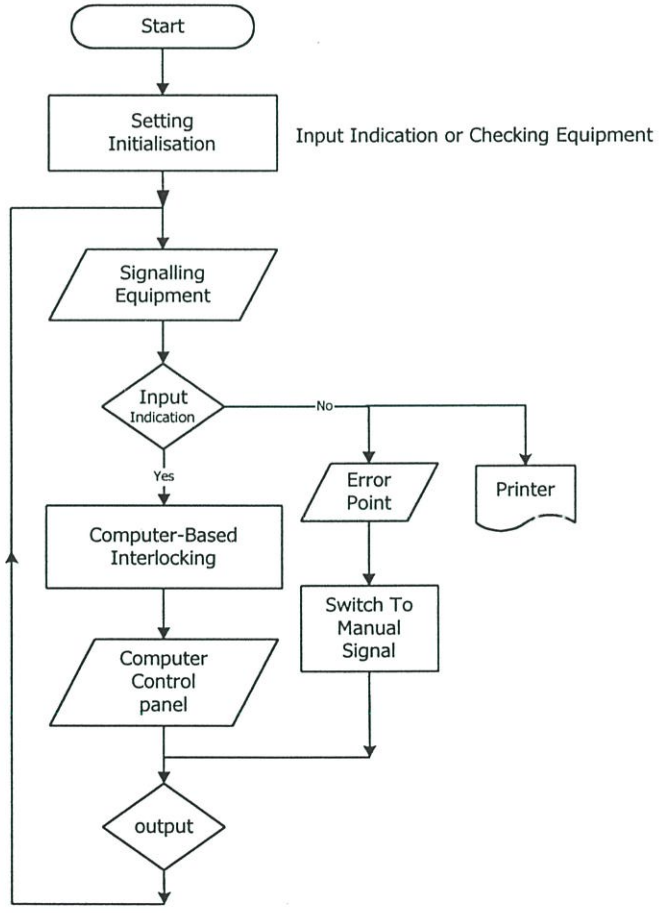
ระบบ CBI ซึ่งถูกสร้างขึ้นอันเนื่องมาจากข้อเสียของระบบ ARI ซึ่งระบบ CBI จะให้ขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลาย [4] และมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบนี้จะอาศัยการนำเอาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาออกแบบระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดของการเดินขบวนรถที่เป็นไปตามการเขียนตารางควบคุม ที่ได้ค่าจากการวางอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณดังรูปที่ 2 ซึ่งระบบ CBI จะมีโครงสร้างการทำงานของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างระบบ CBI

จากรูปโครงสร้างของระบบ CBI สามารถจำแนกออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (Signalling Equipment) เป็นส่วนอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนเส้นทางรถไฟ มีหน้าที่กำหนดทิศทางในการเดินขบวนรถ โดยการทำงานของระบบจะรับคำสั่งทั้งหมดจากอุปกรณ์ชนิดต่างๆ มาตรวจสอบสถานะการแสดงท่าสัญญาณแล้วจะส่งผลที่ได้รับไปยังส่วนต่อไป คือ การบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Interlocking) ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนในการคำนวณและประมวลผล (Central Processing Unit: CPU) การแสดงสถานะการบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) ของระบบอาณัติสัญญาณระหว่างระบบสัญญาณกับระบบสัญญาณ และระบบสัญญาณกับระบบประแจกล โดยมีระบบวงจรไฟตอน เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพเส้นทางและสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะมีการควบคุมและการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Control Panel) เป็นส่วนแสดงผลการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณทั้งหมดทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังสามารถสั่งการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำงานตามตารางควบคุมการเดินขบวนรถได้อีกด้วย

จากการอาศัยโครงสร้างของระบบ CBI ที่ประกอบไปด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน นำมาเขียน Flow Chart Diagram ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 โดย Flow Chart Diagram ถูกสร้างจากการพิจารณาโครงสร้างทั้งหมดของระบบว่าประกอบด้วยอะไรบ้างโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เริ่มต้นการทำงาน (Start) อุปกรณ์ในระบบจะถูกตั้งสถานะ (Setting Initialization) และมีการตรวจสอบสถานะของอินพุต (Input Indication) ต่างๆ ของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (Signalling Equipment) ทั้งหมดว่ามีการผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่ผิดพลาดข้อมูลจะถูกส่งไปยังหน่วยคำนวณและประมวลผล (Computer-Based Interlocking) โดยข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยังส่วนแสดงผลของระบบ



รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้าง Flow Chart Diagram ของระบบ CBI

(Computer Control Panel) โดยเป็นภาพรวมบนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดได้ด้วย สำหรับกรณีข้อมูลผิดพลาด ข้อมูลอินพุต (Input Indication) จะต้องถูกส่งไปแสดงในจุดบกพร่อง (Error Point) รวมทั้งออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) เพื่อให้ทราบจุดบกพร่อง

ของอุปกรณ์ และเพื่อเปลี่ยนแปลงการควบคุมการทำงานให้เป็นระบบการบังคับสัมพันธ์ทางกลแทน ระบบการบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์

หลังจากการกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่สถานีเรียบร้อยแล้ว แต่ยังไม่สามารถควบคุมและกำหนดทิศทางการวิ่งขบวนรถไฟได้ จึงต้องออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานี โดยอาศัยการแสดงท่าและสถานะของระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจากตารางที่ 3.1 มาออกแบบ ต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4
การควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี

4.1 กล่าวนำ

จากหัวข้อในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณที่ย่านสถานี เช่น เสาสัญญาณ ประแจ วงจรไฟตอนและโครงสร้างการบังคับสัมพันธ์ทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังไม่เพียงพอต่อการเดินขบวนรถไฟ จึงมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเดินขบวนรถ กล่าวคือ การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานี เพื่อควบคุมการกำหนดทิศทางการเดินขบวนรถให้มีประสิทธิภาพ รวดเร็วและปลอดภัยมากยิ่งขึ้นในอนาคต

4.2 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี

การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟเป็นการกำหนดเส้นทางหรือทิศทางการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกรวมถึงการสับหลีกที่ย่านสถานีซึ่งเงื่อนไขต่างๆ จะต้องสัมพันธ์กับอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณโดยผลที่ได้จะทำให้สามารถ นำมาสร้างตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในการเดินขบวนรถไฟที่มีขั้นตอนการทำงานสามารถตรวจสอบซึ่งกันและกันได้ และเป็นมาตรฐานสากลใช้งานแพร่หลายทั่วโลก โดยสามารถอธิบายการออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถแต่ละเส้นทาง ในการแสดงสถานะของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ จึงกำหนดสัญลักษณ์การออกแบบ ดังนี้

1 การแสดงสถานะระบบสัญญาณมี 5 สถานะ
- สัญญาณแสดงสีแดง (red) แทนสัญลักษณ์เป็น (R)
- สัญญาณแสดงสีเหลือง (yellow) แทนสัญลักษณ์เป็น (Y)
- สัญญาณแสดงสีเขียว (green) แทนสัญลักษณ์เป็น (G)
- สัญญาณแสดงบอกทางแยก (junction) แทนสัญลักษณ์เป็น (J)
- สัญญาณแสดงเรียกเข้า (call – on) แทนสัญลักษณ์เป็น (C)

2 การแสดงสถานะระบบประแจกลมี 2 สถานะ
- สัญญาณแสดงท่าเส้นทางตรง แทนสัญลักษณ์เป็น (P1)
- สัญญาณแสดงท่าเส้นทางหลีก แทนสัญลักษณ์เป็น (P2)

3 การแสดงสถานะระบบวงจรไฟตอนมี 3 สถานะ
- สัญญาณแสดงเส้นทางปกติไม่มีสิ่งกีดขวาง แทนสัญลักษณ์เป็น (T1)
- สัญญาณแสดงการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถผ่าน แทนสัญลักษณ์เป็น (T2)

- สัญญาณแสดงเส้นทางถูกขบวนรถครอบครอง แทนสัญลักษณ์เป็น (T3)

4.2.1 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟ สภาวะเบื้องต้น

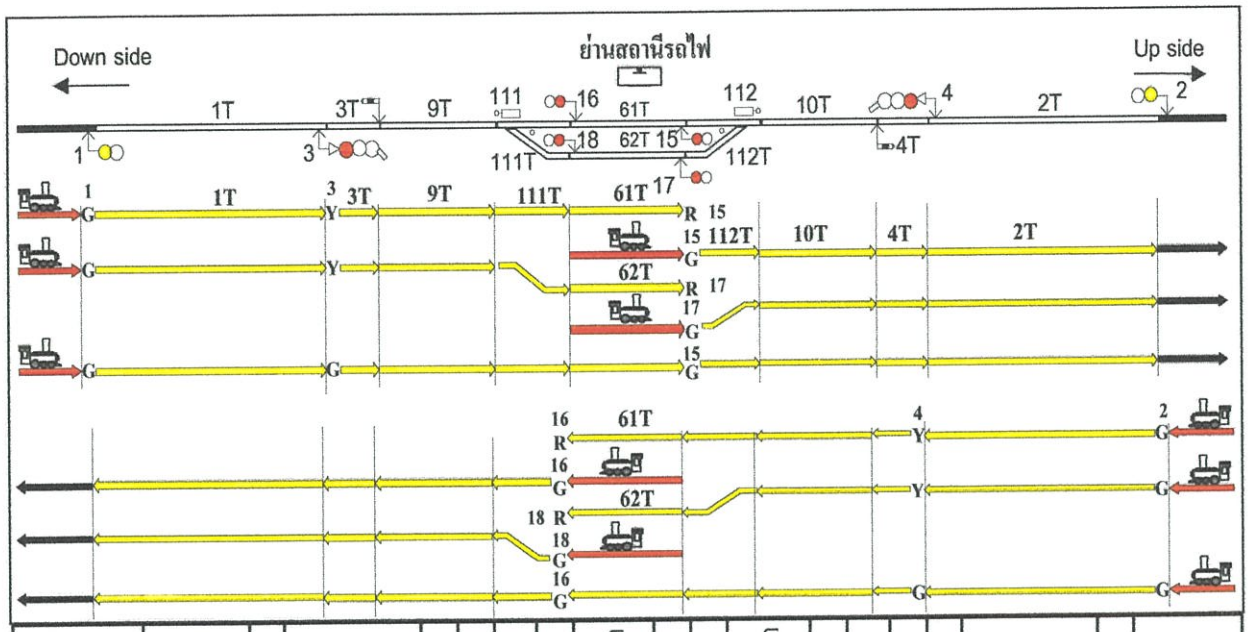
ก่อนที่จะเริ่มต้นใช้งานอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ย่านสถานี จะยังไม่มีการบังคับสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์อาณัติสัญญาณต่างๆ ซึ่งทำให้ยังไม่แสดงท่าสัญญาณใดๆ จนกระทั่งเมื่อเริ่มต้นการทำงานก็จะเกิดการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณทั้งหมด โดยแสดงสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ทั้งหมดผ่านจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์เพื่อบรรยายสถานะของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเส้นทาง ซึ่งเป็นสภาวะเบื้องต้นก่อนที่จะควบคุมในเงื่อนไขหรือเส้นทางอื่นๆ โดยออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถแต่ละเส้นทางทั้งด้านล่องและด้านขึ้น นำมากำหนดการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ มาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณในแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2.2 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่อง

การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟจากสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านล่อง (down side) เพื่อเข้าจอดรับและส่งผู้โดยสารที่สถานีในชานชาลาที่ 1 บนเส้นทางเขตพื้นที่ตำแหน่งวงจรไฟตอนหมายเลข 61T โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาเตือนหมายเลข 1 พื้นที่วงจรไฟตอน 1T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T 9T 111T ประแจกลหมายเลข 111 สัญญาณออกหมายเลข 16 และเข้าจอดที่เขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 61T ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

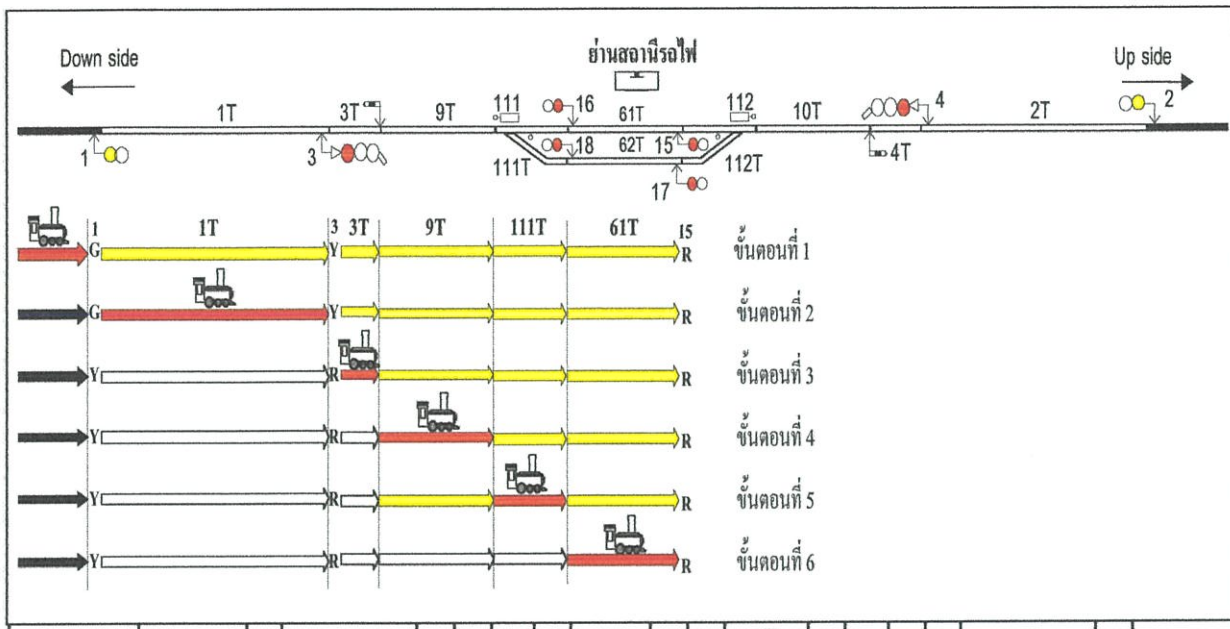
4.2.3 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น

การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 เขตพื้นที่วงจรไฟตอน 61T หลังจากขบวนรถจอดรับและส่งผู้โดยสารเรียบร้อยแล้วจะเดินขบวนรถออกจากสถานีไปยังเส้นทางด้านขึ้น (up side) โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ ดังนี้ คือ สัญญาณออกหมายเลข 15 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T ประแจกลหมายเลข 112 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 10T 4T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T และสัญญาณเตือนหมายเลข 2 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณโดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



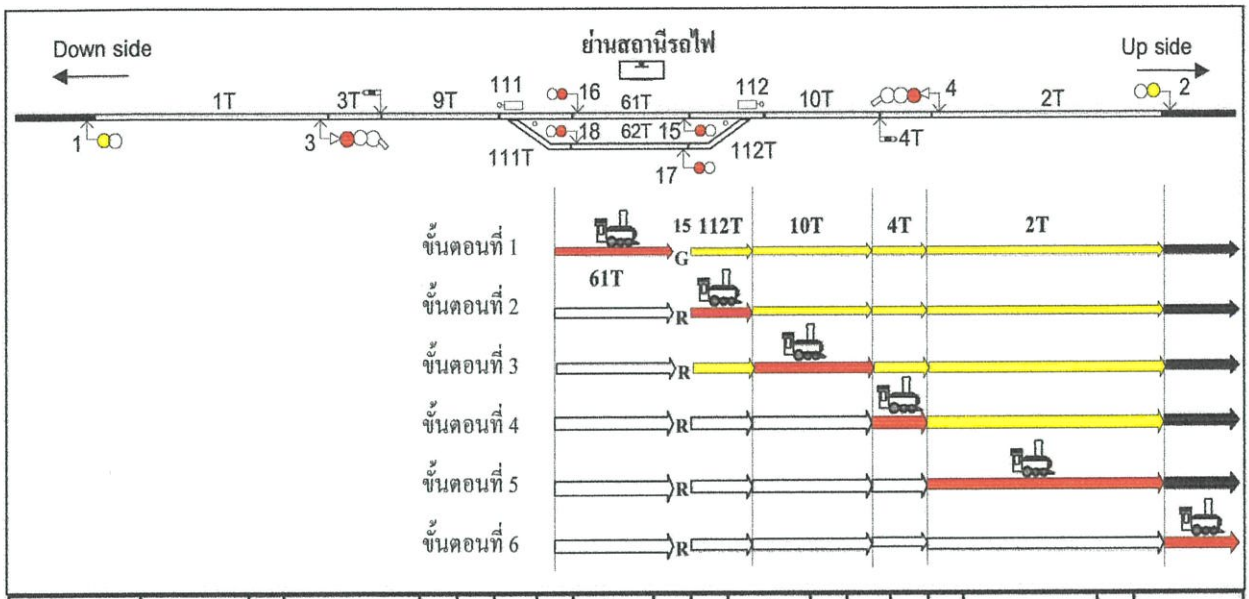
ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	→ G	T2	Y	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T3	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y→
ขั้นตอนที่ 3	→ G	T2	Y+J	T2	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T3	R	G	T2	P2	T2	T2	R	T2	Y→
ขั้นตอนที่ 5	→ G	T2	G	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	Y	T2	G ←
ขั้นตอนที่ 7	← Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 8	Y	T1	R	T1	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T2	Y+J	T2	G ←
ขั้นตอนที่ 9	← Y	T2	R	T2	T2	P2	T2	R	G	T1	T3	R	R	T1	P2	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่10	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	G	T2	G ←

รูปที่ 4.1 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟในสภาวะเบื้องต้น



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	G	T2	Y	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	G	T3	Y	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T3	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T3	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T2	P1	T3	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.2 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่อง



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T3	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T3	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T2	P1	T3	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T3	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T3	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.3 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น

4.2.4 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง

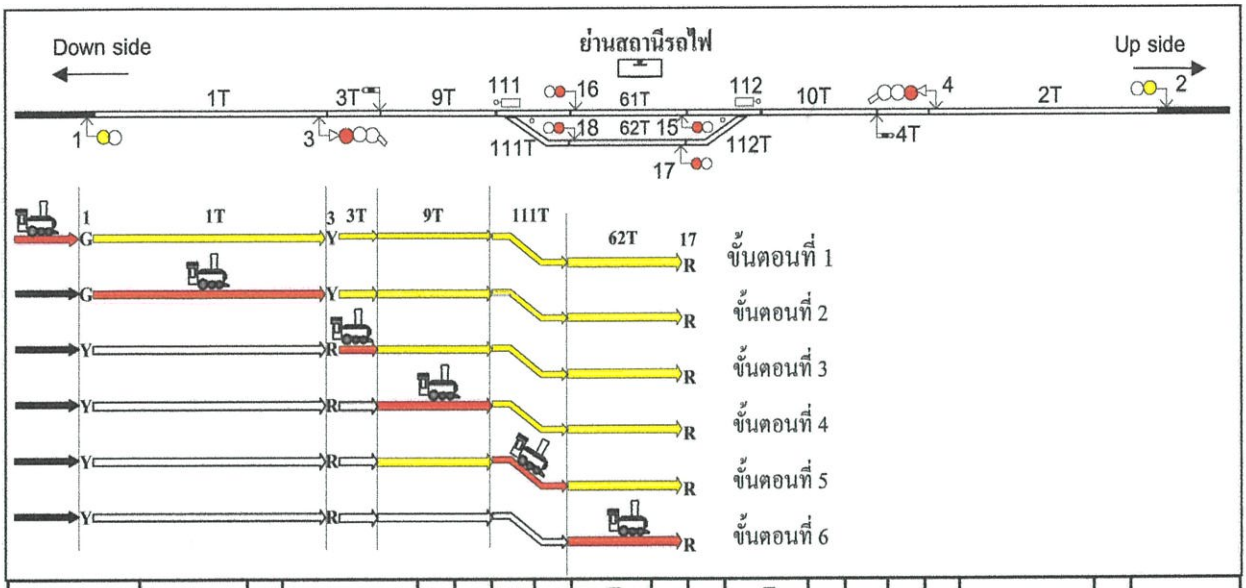
การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟจากสถานีข้างเคียงด้านล่อง เพื่อเข้าจอดรับผู้โดยสารและทำการสับหลีกขบวนรถที่สถานีในชานชาลาที่ 2 บนเส้นทางเขตพื้นที่ตำแหน่งวงจรไฟตอนหมายเลข 62T โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาณเตือนหมายเลข 1 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T 9T 111T ประแจกลหมายเลข 111 สัญญาณออกหมายเลข 18 และเข้าจอดเขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.2.5 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น

การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 เขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T หลังจากขบวนรถจอดที่สถานีรับและส่งผู้โดยสารและทำการสับหลีกขบวนรถเรียบร้อยแล้วจะเดินขบวนรถออกจาสถานีไปยังสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านขึ้น โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ ดังนี้ คือ สัญญาณออกหมายเลข 17 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T ประแจกลหมายเลข 112 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 10T 4T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T และสัญญาณเตือนหมายเลข 2 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

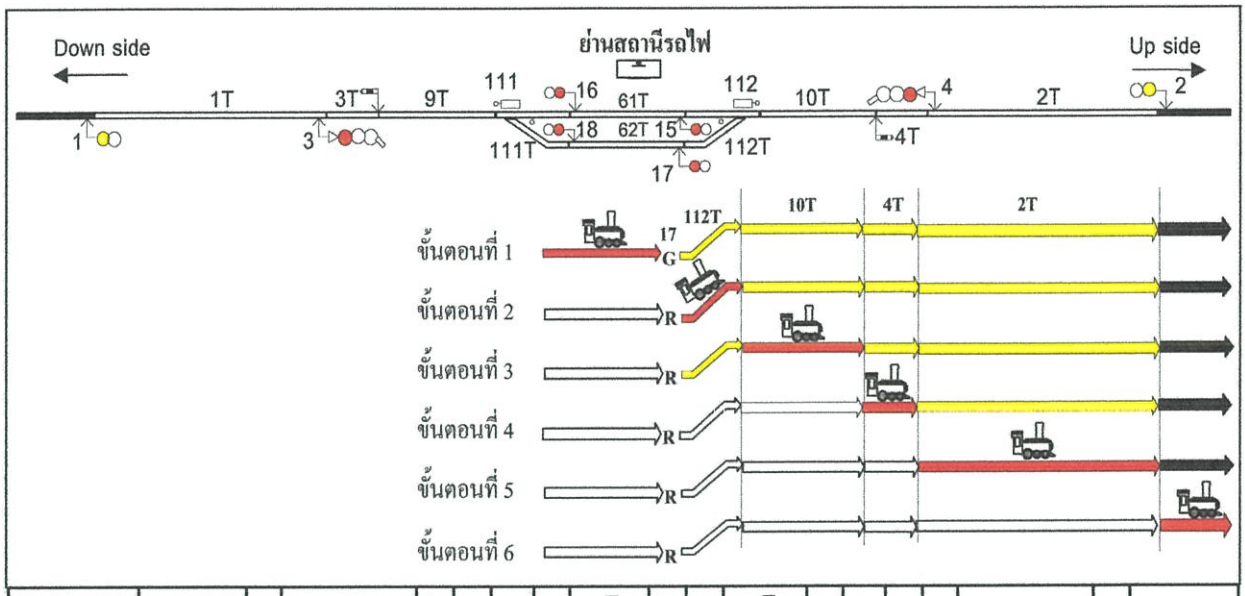
4.2.6 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่องไปยังด้านขึ้น

การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานี จากข้างเคียงบนเส้นทางด้านล่อง เพื่อเดินขบวนรถผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านขึ้นไม่จอดรับและส่งผู้โดยสารที่สถานี โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาณเตือนหมายเลข 1 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T 9T 111T ประแจกลหมายเลข 111 สัญญาณออกหมายเลข 16 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 61T ประแจกลหมายเลข 112 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T 10T 4T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T และสัญญาณหมายเลข 2 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



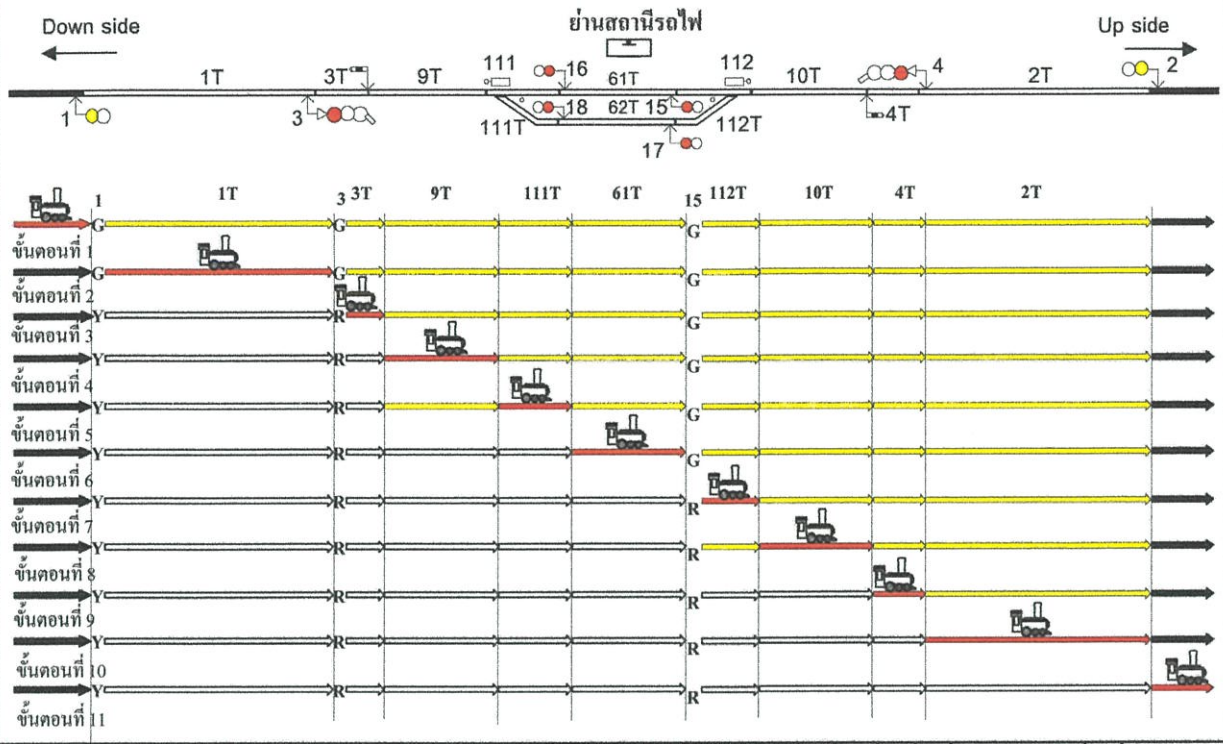
ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประเจกต 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประเจกต 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	G	T2	Y+J	T2	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	G	T3	Y+J	T2	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T3	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T3	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T2	P2	T3	R	R	T1	T2	R	R	T2	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T3	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.4 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T3	R	G	T2	P2	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T3	P2	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T2	P2	T3	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P2	T1	T3	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P2	T1	T1	R	T3	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.5 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านล่องขึ้น



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	G	T2	G	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 2	G	T3	G	T2	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T3	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T3	P1	T2	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T2	P1	T3	R	R	T2	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T3	T1	G	R	T2	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 7	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T3	P1	T2	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 8	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T2	P1	T3	T2	R	T2	Y
ขั้นตอนที่ 9	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T3	R	T2	Y
ขั้นตอนที่10	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T3	Y
ขั้นตอนที่11	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.6 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่างไปยังด้านขึ้น

4.2.7 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น

การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟจากสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านขึ้นเพื่อเข้าจอดรับและส่งผู้โดยสารที่สถานีในชานชาลาที่ 1 บนเส้นทางเขตพื้นที่ตำแหน่งวงจรไฟตอนหมายเลข 61T โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาเตือนหมายเลข 2 พื้นที่วงจรไฟตอน 2T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T 10T 112T ประแจกลหมายเลข 112 สัญญาณออกหมายเลข 15 และเข้าจอดที่เขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 61T ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

4.2.8 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังเส้นทางด้านล่อง

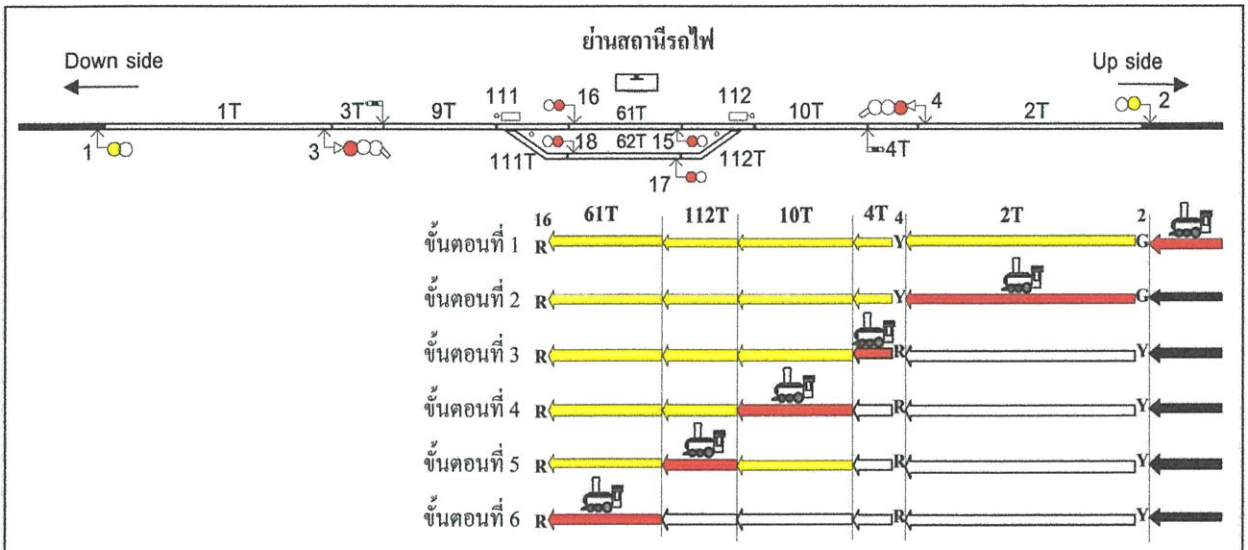
การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 เขตพื้นที่วงจรไฟตอน 61T หลังจากขบวนรถจอดรับและส่งผู้โดยสารเรียบร้อยแล้วจะเดินขบวนรถออกจากสถานีไปยังเส้นทางด้านล่อง โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ ดังนี้ คือ สัญญาณออกหมายเลข 16 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T ประแจกลหมายเลข 111 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 9T 3T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T และสัญญาณเตือนหมายเลข 1 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณโดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

4.2.9 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านขึ้น

การออกแบบเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟจากสถานีข้างเคียงด้านขึ้น เพื่อเข้าจอดรับผู้โดยสารและทำการสับหลีกขบวนรถที่สถานีในชานชาลาที่ 2 บนเส้นทางเขตพื้นที่ตำแหน่งวงจรไฟตอนหมายเลข 62T โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาณเตือนหมายเลข 2 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T 10T 112T ประแจกลหมายเลข 112 สัญญาณออกหมายเลข 17 และเข้าจอดเขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

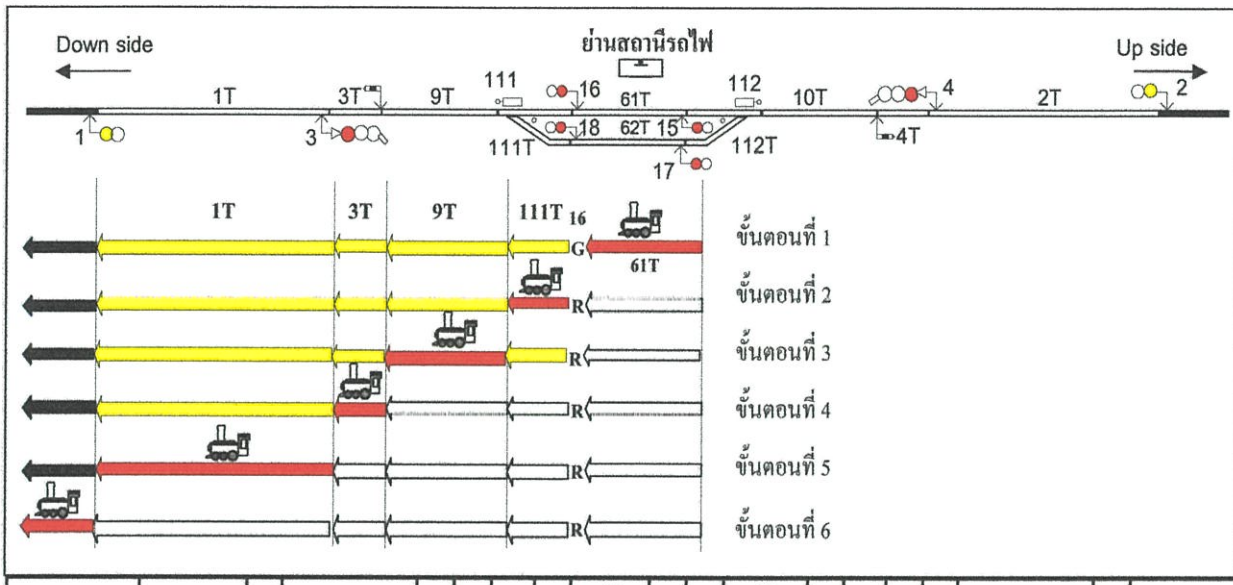
4.2.10 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านล่อง

การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 เขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T หลังจากขบวนรถจอดที่สถานีรับและส่งผู้โดยสารและทำการสับหลีกขบวนรถเรียบร้อยแล้วจะเดินขบวนรถออกจาสถานีไปยังสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านล่อง โดย



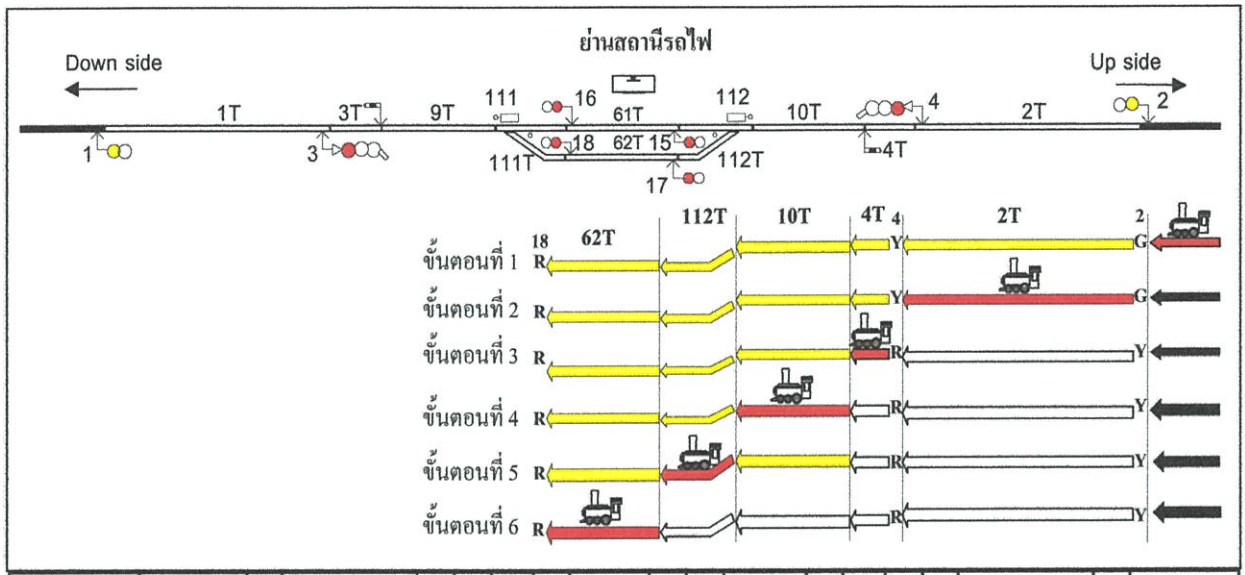
ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	Y	T2	G
ขั้นตอนที่ 2	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	Y	T3	G
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T3	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T3	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T2	T1	R	R	T3	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.7 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T2	R	T2	T2	P1	T3	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y		R	T2	T3	P1	T2	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y		R	T3	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T3	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y		R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.8 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังเส้นทางด้านล่อง



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P1	T2	T2	Y+J	T2	G
ขั้นตอนที่ 2	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P1	T2	T2	Y+J	T3	G
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P1	T2	T3	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T2	P1	T2	R	R	T1	T2	R	R	T2	P1	T3	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T2	P2	T2	R	R	T1	T2	R	R	T3	P2	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T3	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.9 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้น

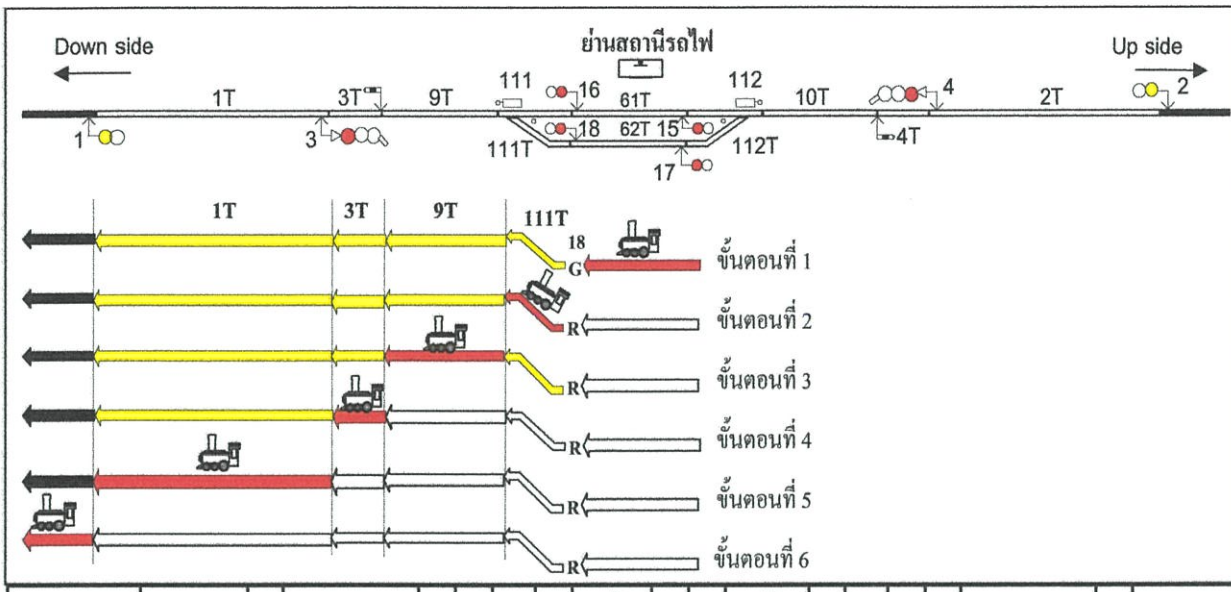
เดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ ดังนี้ คือ สัญญาณออกหมายเลข 18 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T ประแจกลหมายเลข 111 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 9T 3T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T และสัญญาณเตือนหมายเลข 1 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

4.2.11 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง

การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานี จากข้างเคียงบนเส้นทางด้านขึ้น เพื่อเดินขบวนรถผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 ไปยังสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านล่องไม่จอดรับและส่งผู้โดยสารที่สถานี โดยเดินขบวนรถผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาณเตือนหมายเลข 2 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T 10T 112T ประแจกลหมายเลข 112 สัญญาณออกหมายเลข 15 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 61T สัญญาณออกหมายเลข 16 ประแจกลหมายเลข 111 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T 9T 3T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T และสัญญาณหมายเลข 1 ตามลำดับ จึงนำสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

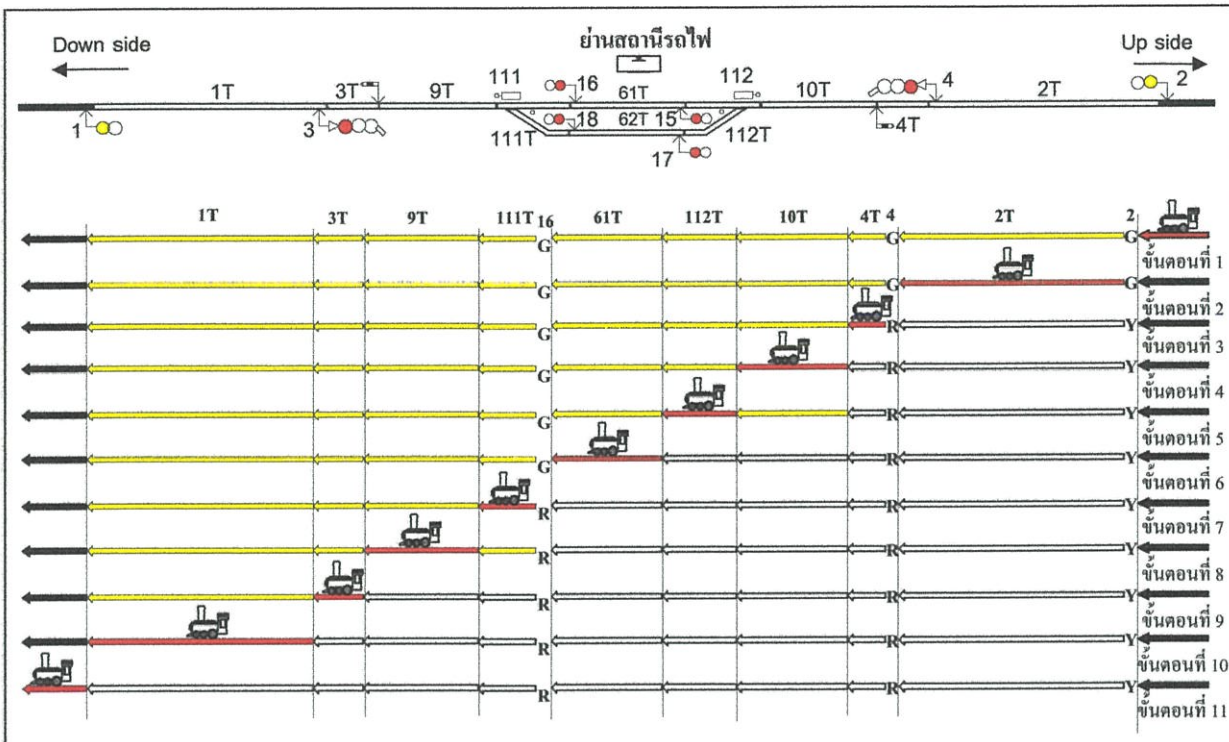
4.2.12 เงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 ทั้งสองเส้นทางในขณะระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง

สำหรับการออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง มีความแตกต่างจากเงื่อนไขอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว คือ ในขณะที่ระบบอาณัติสัญญาณควบคุมหลักเกิดการขัดข้องหรือชำรุด ไม่สามารถควบคุมได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ จึงต้องใช้ระบบอาณัติสัญญาณสำรอง คือ สัญญาณเรียกเข้า (Call-on Signal) สัญลักษณ์แสดงท่าสัญญาณสีขาวรูปสามเหลี่ยมที่ติดตั้งบนเสาสัญญาณเข้าหมายเลข 3 และ 4 ให้ขบวนรถไฟวิ่งเข้าจอดในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่องและเส้นทางด้านขึ้นทั้งสอง ได้ยกตัวอย่าง การจำลองให้ขบวนรถไฟวิ่งเข้าจอดชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านล่องและกำหนดให้ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขเกิดการขัดข้องหรือชำรุด คือ ที่ตำแหน่งวงจรไฟตอนหมายเลข 9T เมื่อทำการตรวจสอบไม่มีสิ่งกีดขวางบนเส้นทาง จึงทำการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณสำรองและได้นำการแสดงสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินขบวนรถมาออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณสำรอง โดยกำหนดขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



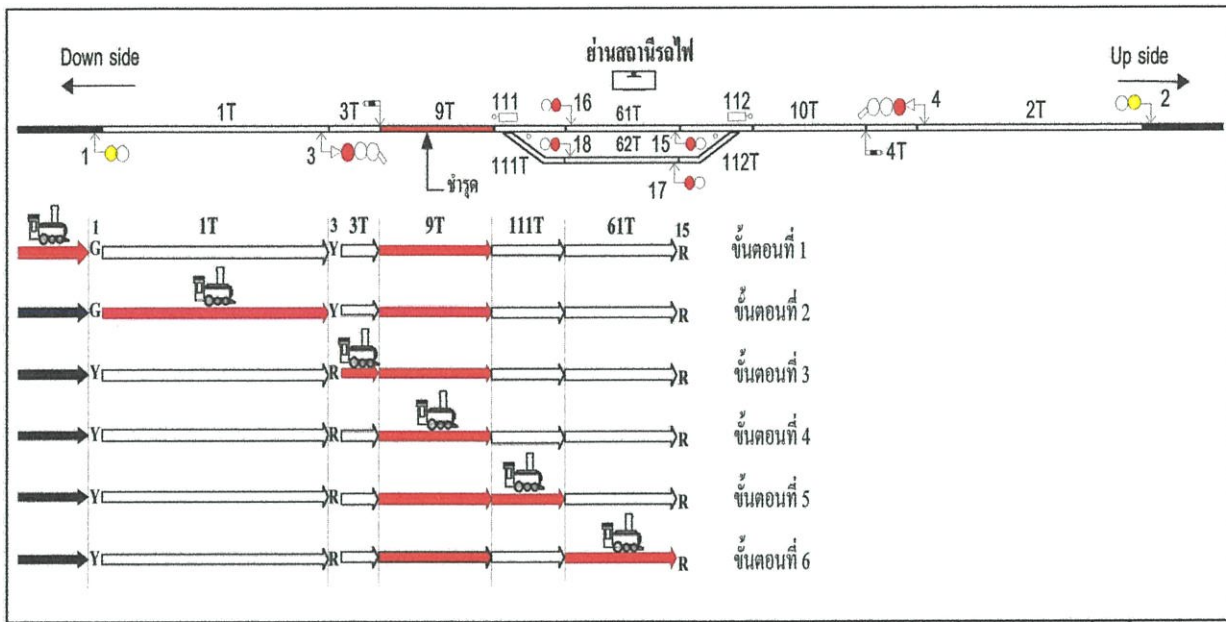
ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	R	G	T1	T3	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T2	R	T2	T2	P2	T3	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T2	R	T2	T3	P2	T2	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T2	R	T3	T1	P2	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T3	R	T1	T1	P2	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y		R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.10 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านล่อง



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	สัญญาณออก 18	61T	62T	สัญญาณออก 15	สัญญาณออก 17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	G	T2	G
ขั้นตอนที่ 2	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T2	G	T3	G
ขั้นตอนที่ 3	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T2	T3	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T2	P1	T3	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T2	T1	R	R	T3	P1	T2	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T2	R	T2	T2	P1	T2	G	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 7	Y	T2	R	T2	T2	P1	T3	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 8	Y	T2	R	T2	T1	P1	T2	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 9	Y	T2	R	T3	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่10	Y	T3	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่11	Y	T1	R	T1	T1	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

รูปที่ 4.11 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง



ขั้นตอนการควบคุมเงื่อนไข	สัญญาณเตือน/1 warner/1	1T	สัญญาณเข้า home/3	3T	9T	ประแจกล 111	111T	สัญญาณออก 16	18	61T	62T	สัญญาณออก 15	17	112T	ประแจกล 112	10T	4T	สัญญาณเข้า home/4	2T	สัญญาณเตือน/2 warner/2
สภาวะปกติ	Y	T1	R	T1	T3	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 1	Y	T1	R+C	T1	T3	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 2	Y	T3	R+C	T1	T3	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 3	Y	T1	R	T3	T3	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 4	Y	T1	R	T1	T3	P1	T1	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 5	Y	T1	R	T1	T3	P1	T3	R	R	T1	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y
ขั้นตอนที่ 6	Y	T1	R	T1	T3	P1	T1	R	R	T3	T1	R	R	T1	P1	T1	T1	R	T1	Y

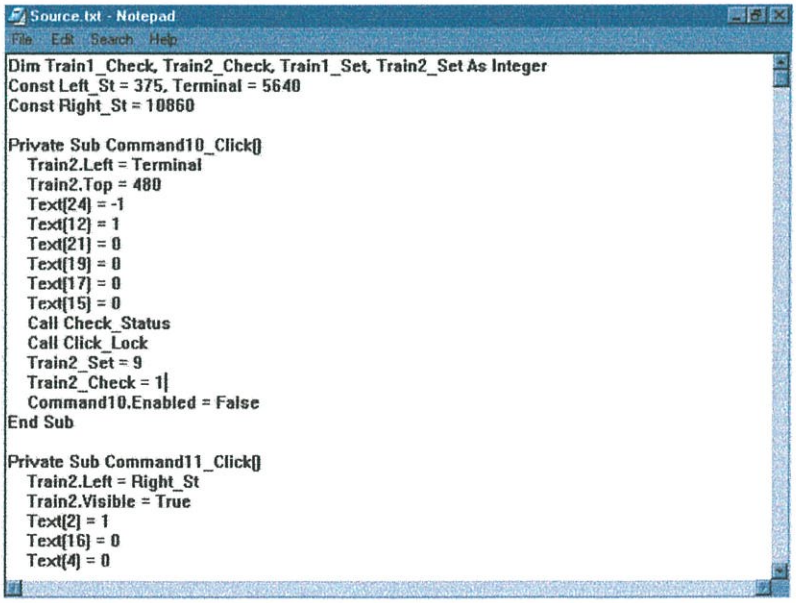
รูปที่ 4.12 การออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 1 ทั้งสองเส้นทาง ขณะระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง

4.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการเดินรถที่สถานี ได้อาศัยโครงสร้างการบังคับสัมพันธ์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 มาประยุกต์ออกแบบเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานแต่ละเงื่อนไขตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณและกำหนดสถานะการแสดงท่าอุปกรณ์ต่างๆ ดังสัญลักษณ์ต่อไปนี้

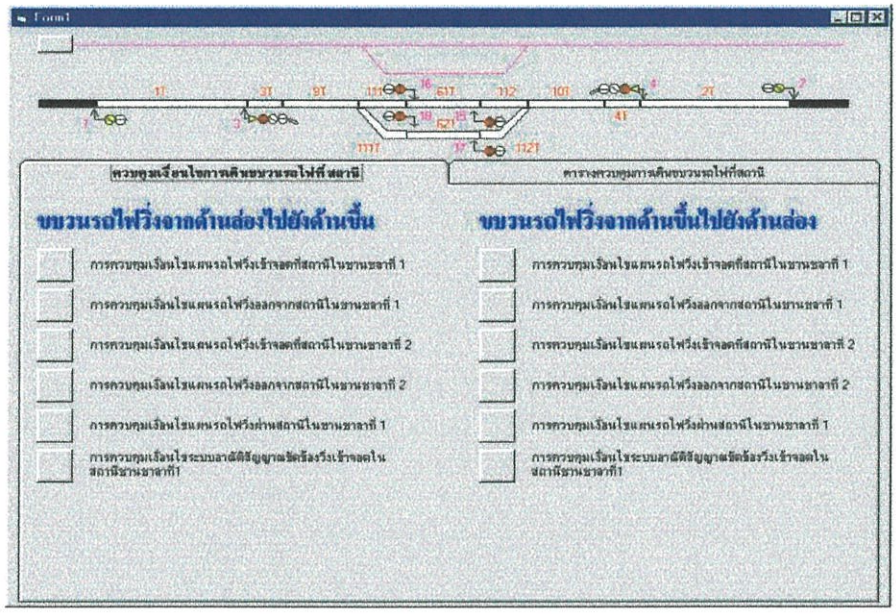
1 การแสดงสัญญาณสีเหลืองแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (0)
2 การแสดงสัญญาณสีเขียวแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (1)
3 การแสดงสัญญาณสีแดงแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (-1)
4 การแสดงสัญญาณเส้นทางแยกแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (1) ไม่แสดง (0)
5 การแสดงสัญญาณเรียกเข้าแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (1) ไม่แสดง (0)
6 การแสดงสัญญาณประแจกลเส้นทางตรงแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (1) และเส้นทางหลีก (0)
7 การแสดงสัญญาณวงจรไฟตอนเส้นทางปกติแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (1)
8 การแสดงสัญญาณวงจรไฟตอนการเตรียมเส้นทางแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (0)
9 การแสดงสัญญาณวงจรไฟตอนเส้นทางถูกขบวนรถครอบครองแทนค่าสัญลักษณ์ด้วย (-1)

การออกแบบโปรแกรมด้วยภาษา visual basic สามารถทำงานบน windows เนื่องจากมีความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรมด้านพหุสื่อคอมพิวเตอร์ และการบังคับสัมพันธ์ทางคอมพิวเตอร์ ดังตัวอย่าง Source Code ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมการเดินขบวนรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.13

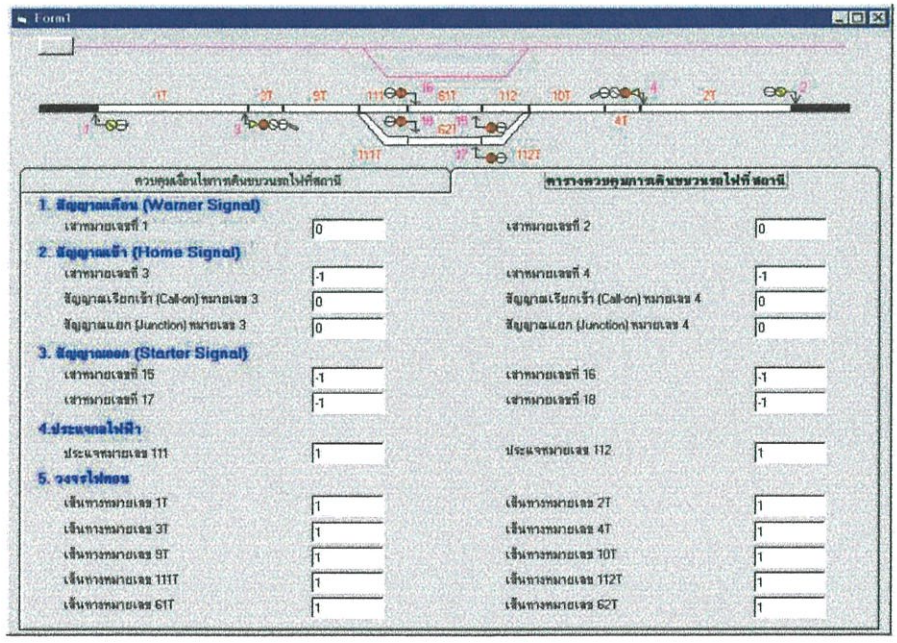


รูปที่ 4.13 ตัวอย่างโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อควบคุมการเดินขบวนรถไฟ

การออกแบบเมนูการควบคุมเงื่อนไขและแสดงสถานะอุปกรณ์ต่างๆ ตามตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สามารถบรรยายเส้นทางและอุปกรณ์อาณัติสัญญาณต่างๆ ในภาพรวมทุกอุปกรณ์พร้อมๆ กันบนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ทุกๆ ขั้นตอนในการควบคุมเงื่อนไขและสถานะของอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.14 แสดงเมนูการควบคุมแต่ละเงื่อนไขในการเดินขบวนรถไฟ



รูปที่ 4.15 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถไฟ

บทที่ 5
การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 กล่าวนำ

การทดสอบและผลการทดสอบการออกแบบเงื่อนไข และตารางควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี ในการควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานีโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาออกแบบควบคุมอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่สถานีมาทำการทดสอบและแสดงผลการทำงาน กล่าวคือ ในการทดสอบแต่ละเงื่อนไขจะต้องมีการบังคับสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องทุก ๆ อุปกรณ์ตามมาตรฐานสากลการเดินขบวนรถไฟบนเส้นทางเดียวที่มีการสับหลีกเส้นทางที่สถานี

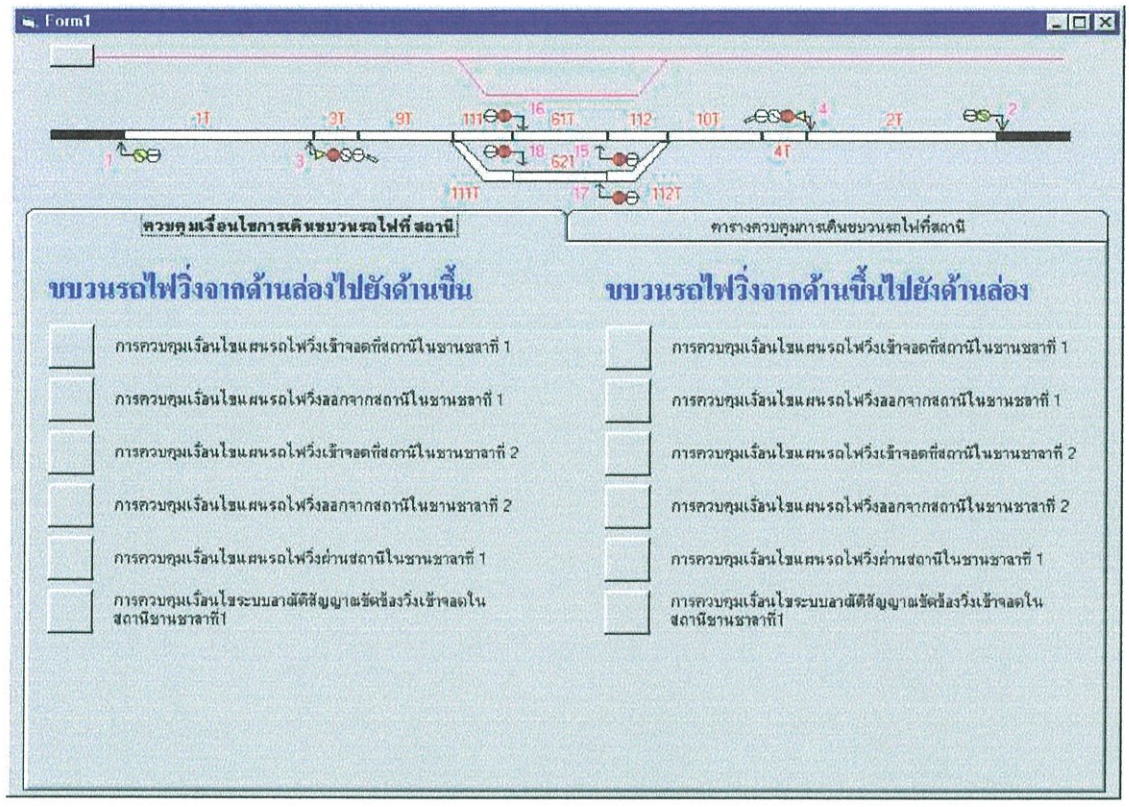
5.2 การทดสอบและผลการทดสอบการเดินขบวนรถไฟ

หลังจากการติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณเรียบร้อยแล้วได้ออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถเข้าและออกย่านสถานีรถไฟ โดยการประยุกต์โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาควบคุมการแสดงสถานะของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

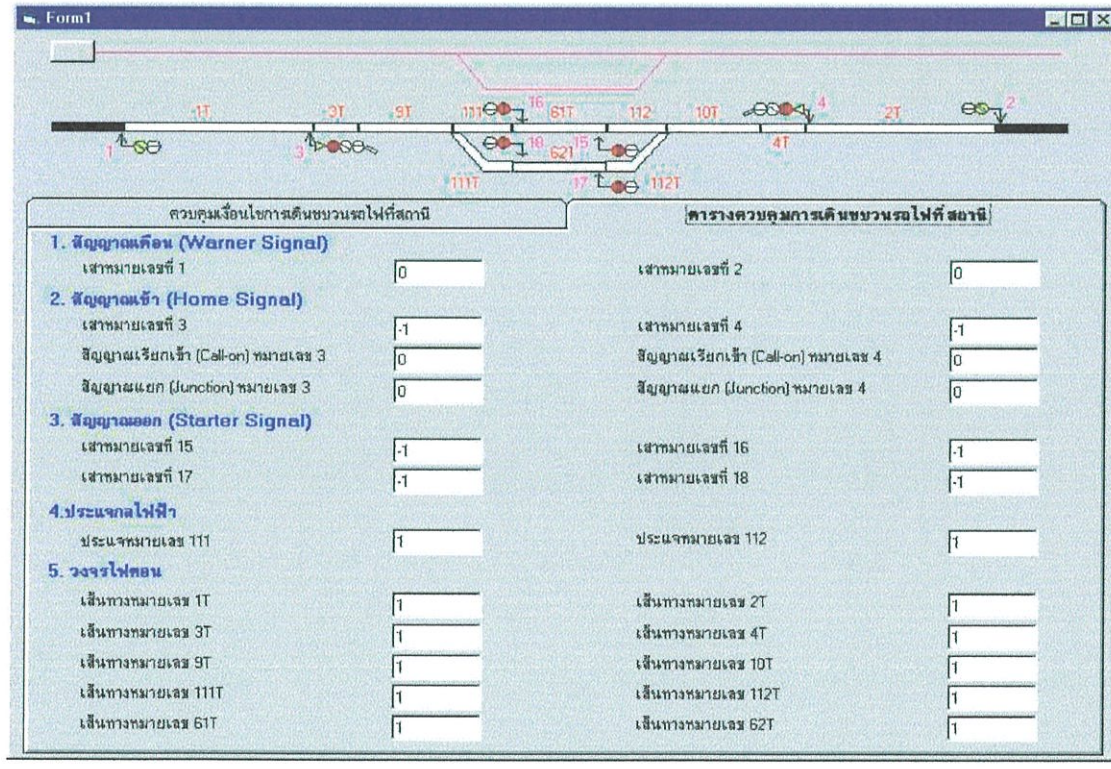
ในการทดสอบการเดินขบวนรถไฟในที่นี้จะขอยกตัวอย่างจำลองกำหนดขบวนรถไฟ 2 ขบวนที่วิ่งบนเส้นทางจากสถานีข้างเคียงทั้งสองเส้นทางพร้อม ๆ กัน มาทำสับหลีกที่สถานีต่อไป โดยกำหนดให้ขบวนรถไฟหมายเลข 1 วิ่งมาจากเส้นทางด้านล่องเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 เพื่อจอดรับส่งผู้โดยสารและรอทำการสับหลีกกับขบวนรถไฟหมายเลข 2 วิ่งมาจากสถานีบนเส้นทางด้านขึ้น โดยวิ่งผ่านสถานีและไม่จอดรับส่งผู้โดยสาร จึงมีขั้นตอนการควบคุมแต่ละเงื่อนไขในการแสดงสถานะตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณต่อไป ดังนี้

5.2.1 การควบคุมเงื่อนไขการเดินรถไฟในสถานะเบื้องต้นก่อนการควบคุมทุกเส้นทาง

การเริ่มต้นเข้าสู่ระบบเพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณทั้งหมด เพื่อเตรียมพร้อมในการควบคุมเงื่อนไขนั้น ตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เหมาะสมต่อไปดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงเงื่อนไขสภาวะเบื้องต้นก่อนการควบคุม



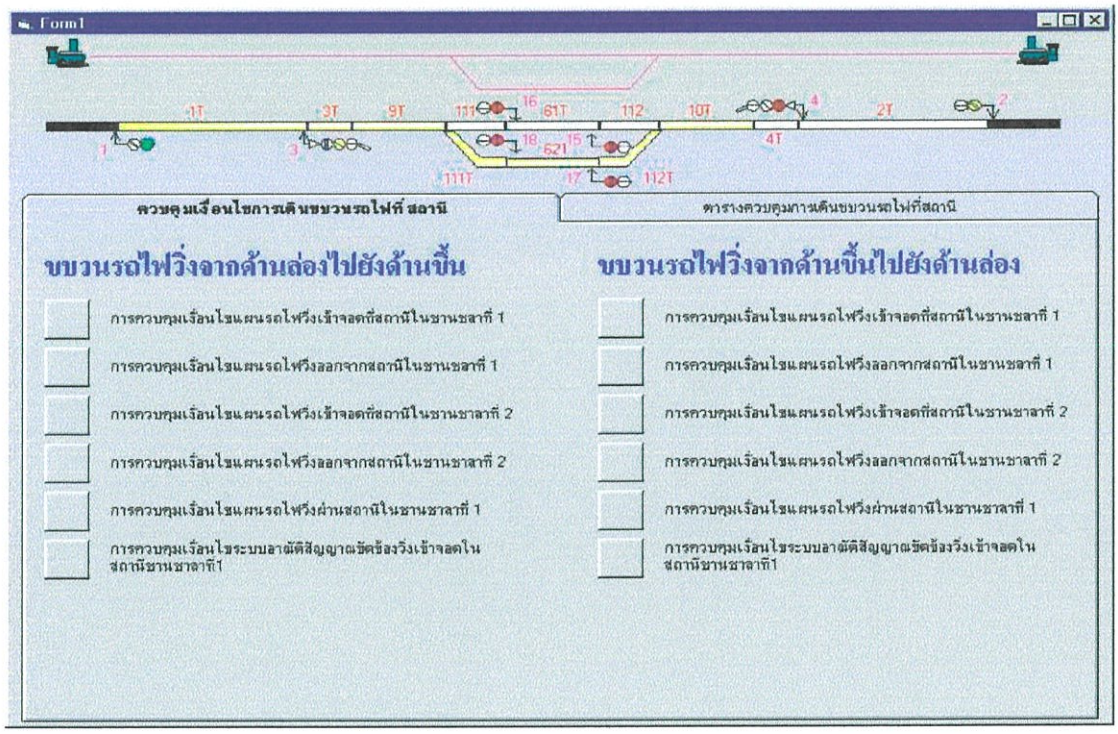
รูปที่ 5.2 แสดงตารางสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณก่อนการควบคุม

5.2.2 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 1

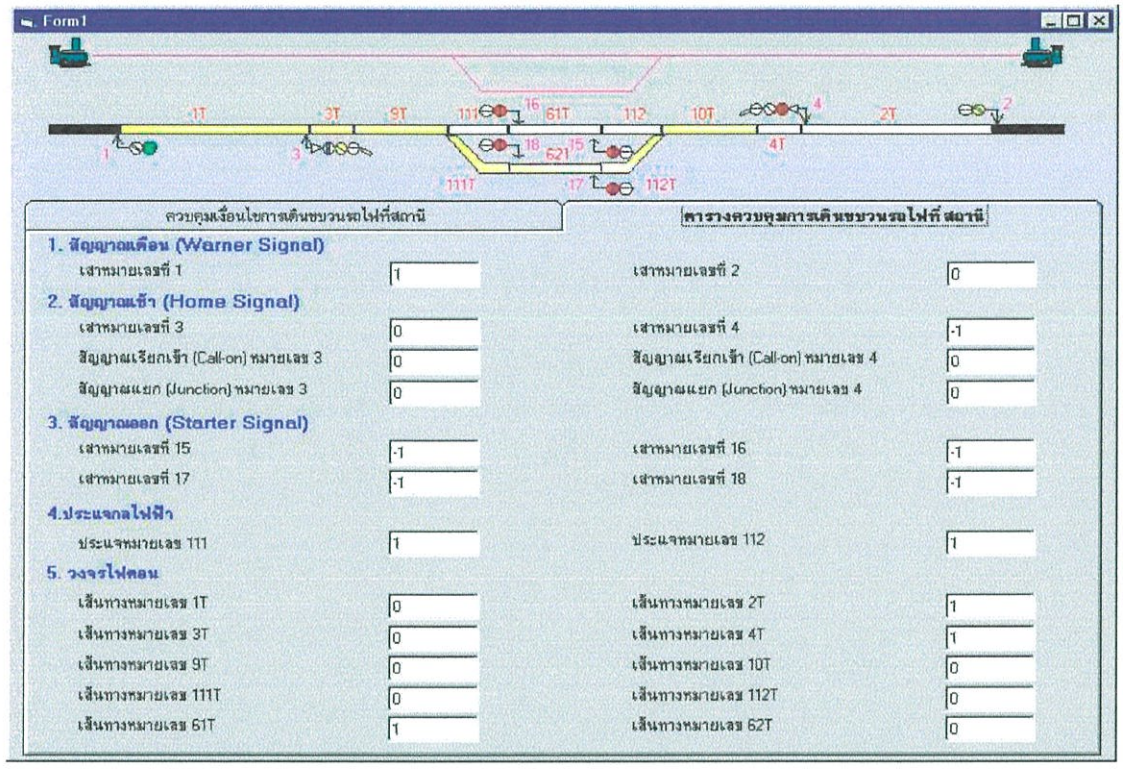
ผู้ควบคุมที่สถานีได้รับสัญญาณจากสถานีข้างเคียงว่าขบวนรถไฟจากเส้นทางด้านล่องจะวิ่งเข้าสู่สถานี เพื่อจอดรับส่งผู้โดยสารและทำการสับหลีกกับขบวนรถไฟที่วิ่งมาจากเส้นทางด้านขึ้น ผู้ควบคุมที่สถานีจึงเลือกเงื่อนไขควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง โดยมีขั้นตอนการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้.

ขั้นตอนที่ 1 การควบคุมการเตรียมเส้นทางหรือจองเส้นทางให้ขบวนรถไฟวิ่งผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ตามเงื่อนไข ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ การแสดงสถานะตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 5.4

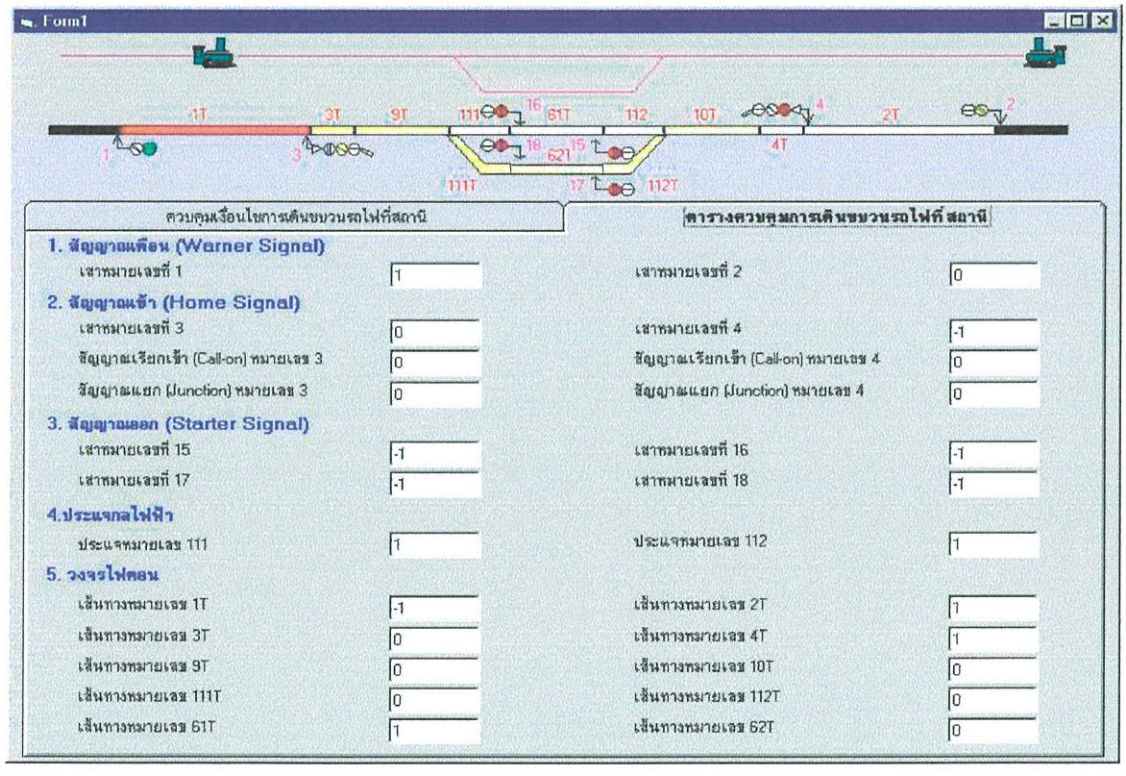
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อขบวนรถไฟวิ่งเข้าสู่เขตพื้นที่ควบคุมด้วยระบบอาณัติสัญญาณผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ และการแสดงสถานะตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ ดังนี้ เช่น สัญญาณเตือนหมายเลข 1 พื้นที่วงจรไฟตอน 1T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T, 9T ประแจกลหมายเลข 111 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T สัญญาณออกหมายเลข 18 และเข้าจอดเขตพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T ตามลำดับเพื่อรับและส่งผู้โดยสารและทำการสับหลีกต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ถึง 5.9



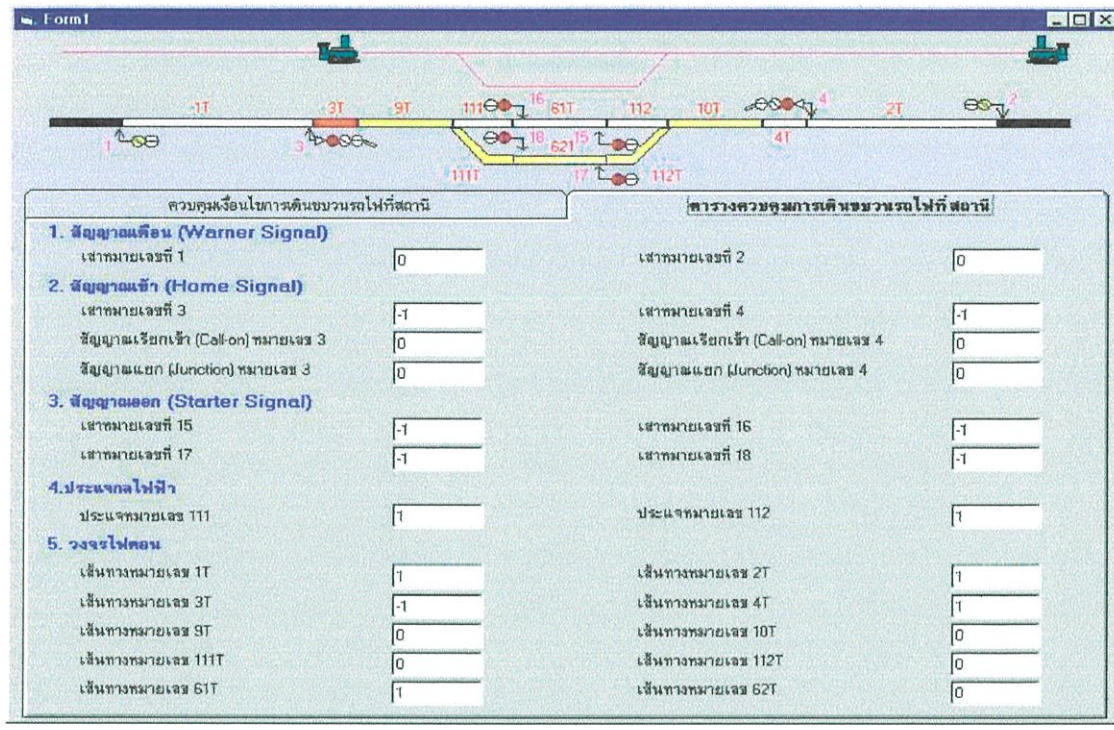
รูปที่ 5.3 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 จากเส้นทางด้านล่อง



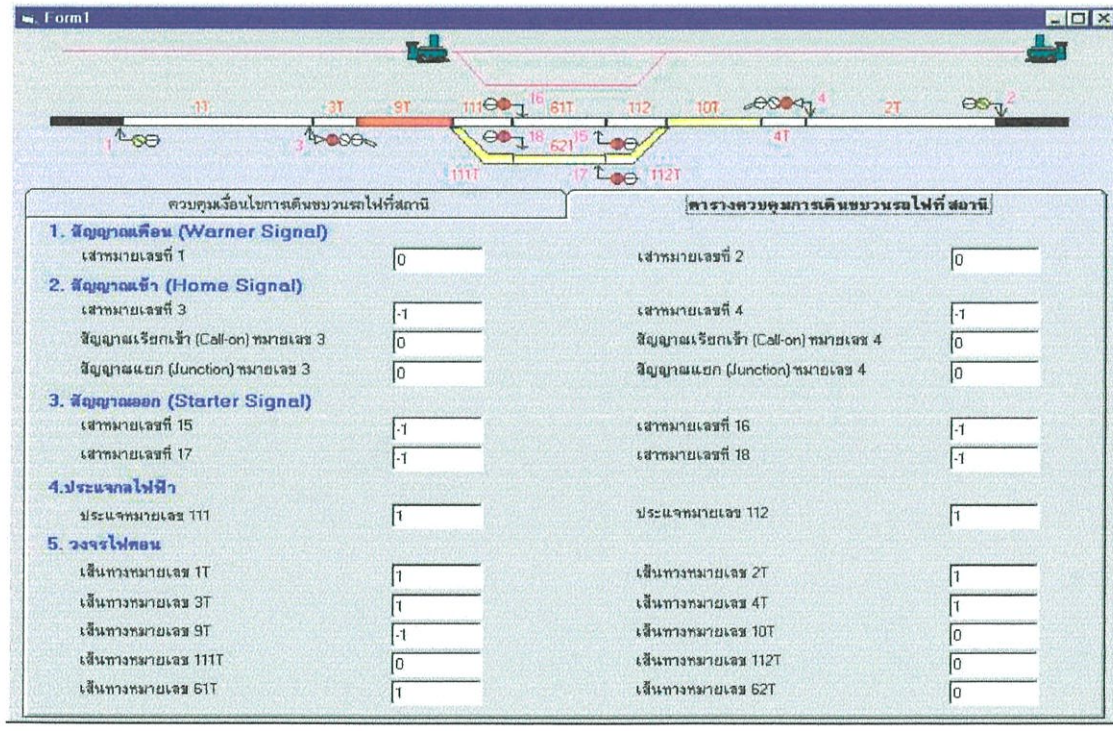
รูปที่ 5.4 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถวิ่งผ่าน



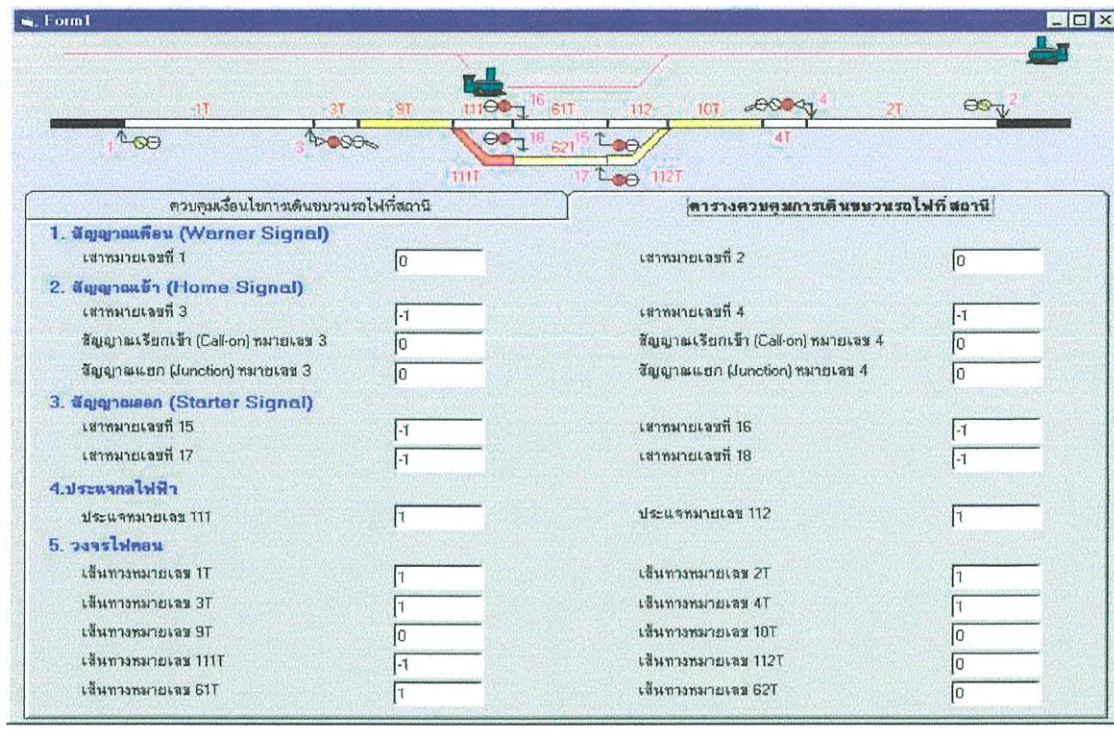
รูปที่ 5.5 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T



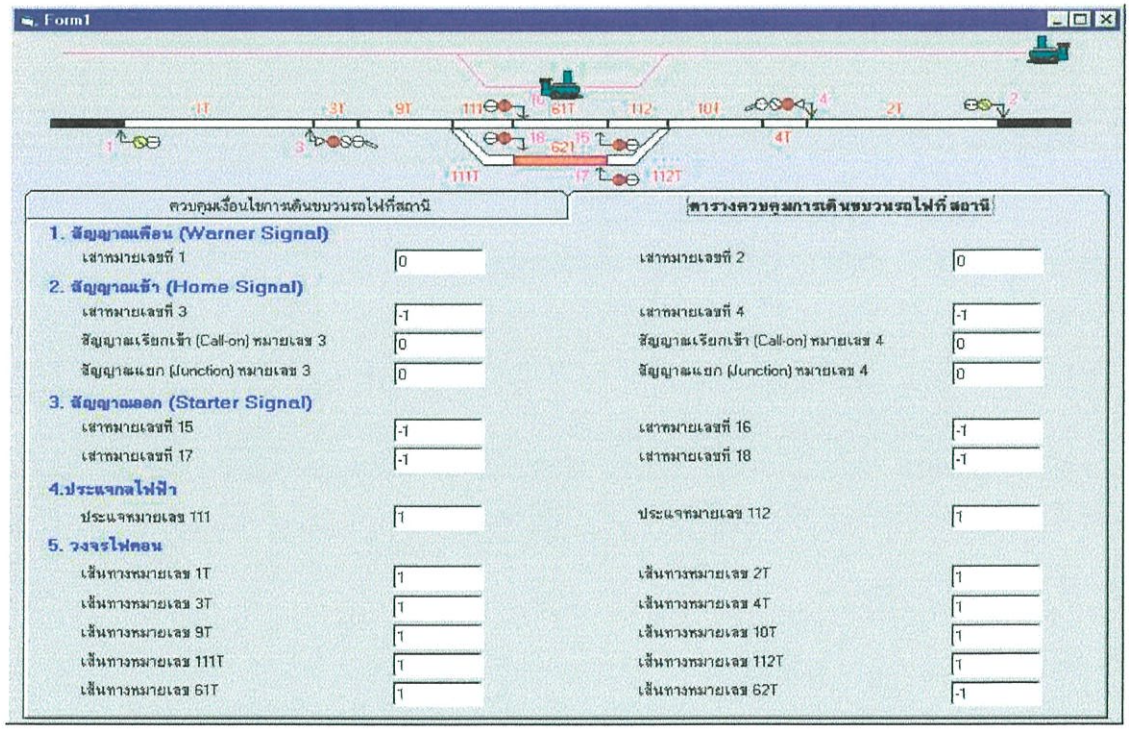
รูปที่ 5.6 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T



รูปที่ 5.7 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 9T



รูปที่ 5.8 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T



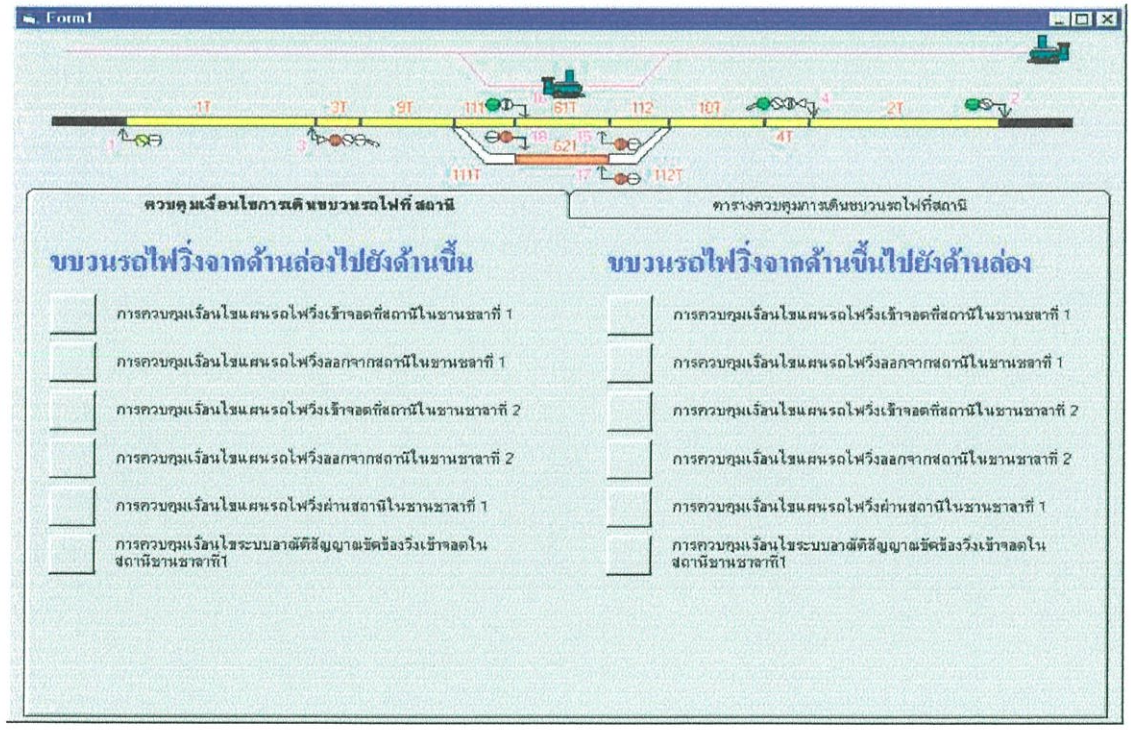
รูปที่ 5.9 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T

5.2.3 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 2

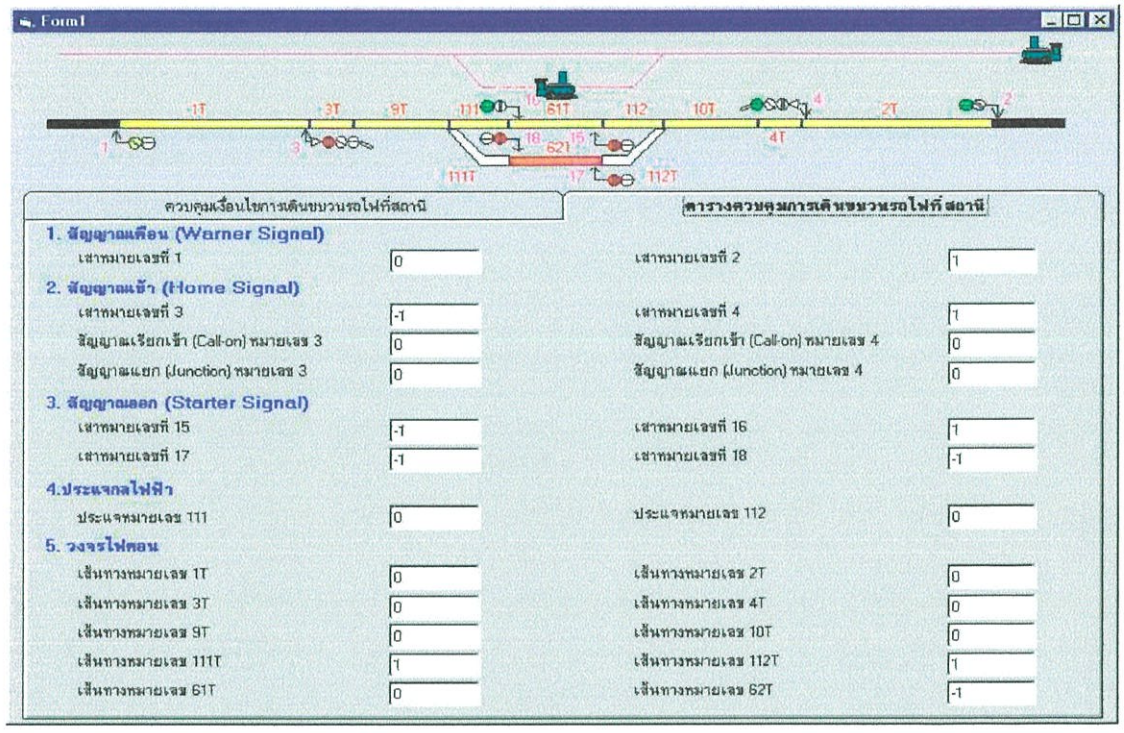
เมื่อผู้ควบคุมที่สถานีได้ตรวจสอบระบบต่าง ๆ เรียบร้อยและถูกต้องตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ จึงเลือกเงื่อนไขควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 2 ผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง โดยมีขั้นตอนการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การควบคุมการเตรียมเส้นทางหรือจองเส้นทางให้ขบวนรถไฟวิ่งผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ตามเงื่อนไข ดังแสดงในรูปที่ 5.10 และ การแสดงสถานะตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 5.11

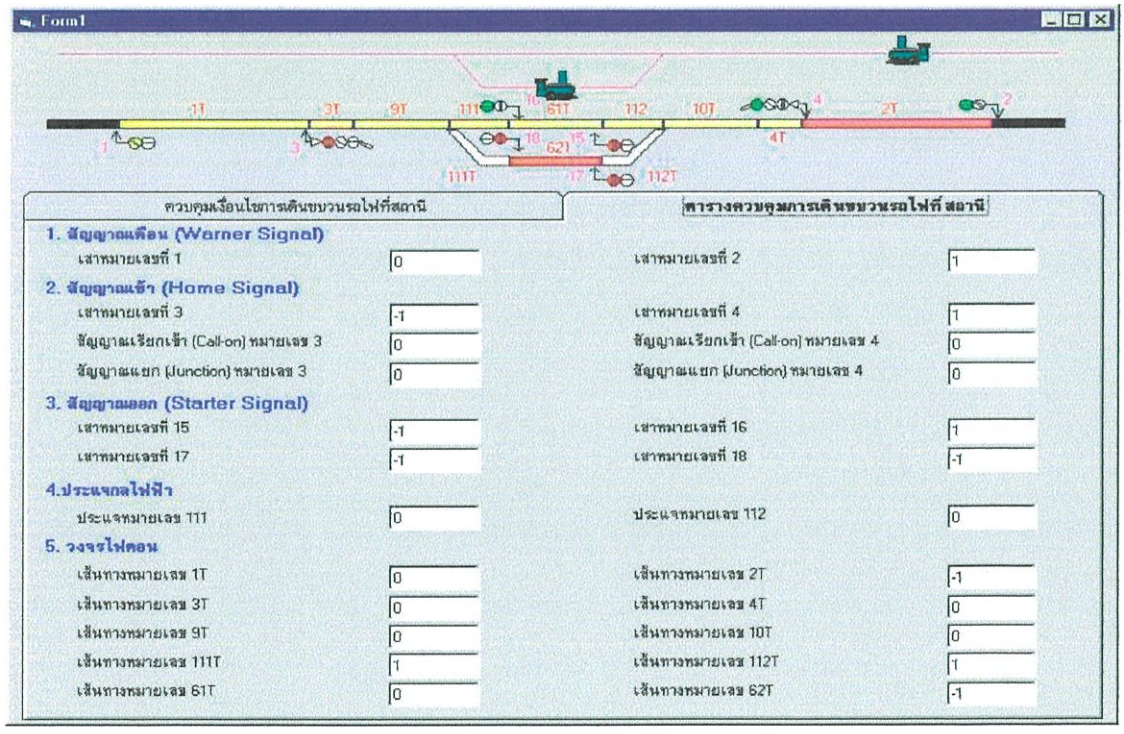
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อขบวนรถไฟวิ่งเข้าสู่เขตพื้นที่ควบคุมด้วยระบบอาณัติสัญญาณผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ สัญญาณเตือนหมายเลข 2 พื้นที่วงจรไฟตอน 2T สัญญาณเตือนหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T, 10T ประแจกลหมายเลข 112 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T สัญญาณออกหมายเลข 15 พื้นที่วงจรไฟตอน 61T สัญญาณออกหมายเลข 18 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T ประแจกลหมายเลข 111 พื้นที่วงจรไฟตอน 9T, 3T สัญญาณเข้าหมายเลข 3 พื้นที่วงจรไฟตอน 1T สัญญาณเตือนหมายเลข 1 และเดินขบวนรถไฟเข้าสู่ตอนหรือเส้นทางระหว่างสถานีในเส้นทางด้านล่องตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ถึง 5.20



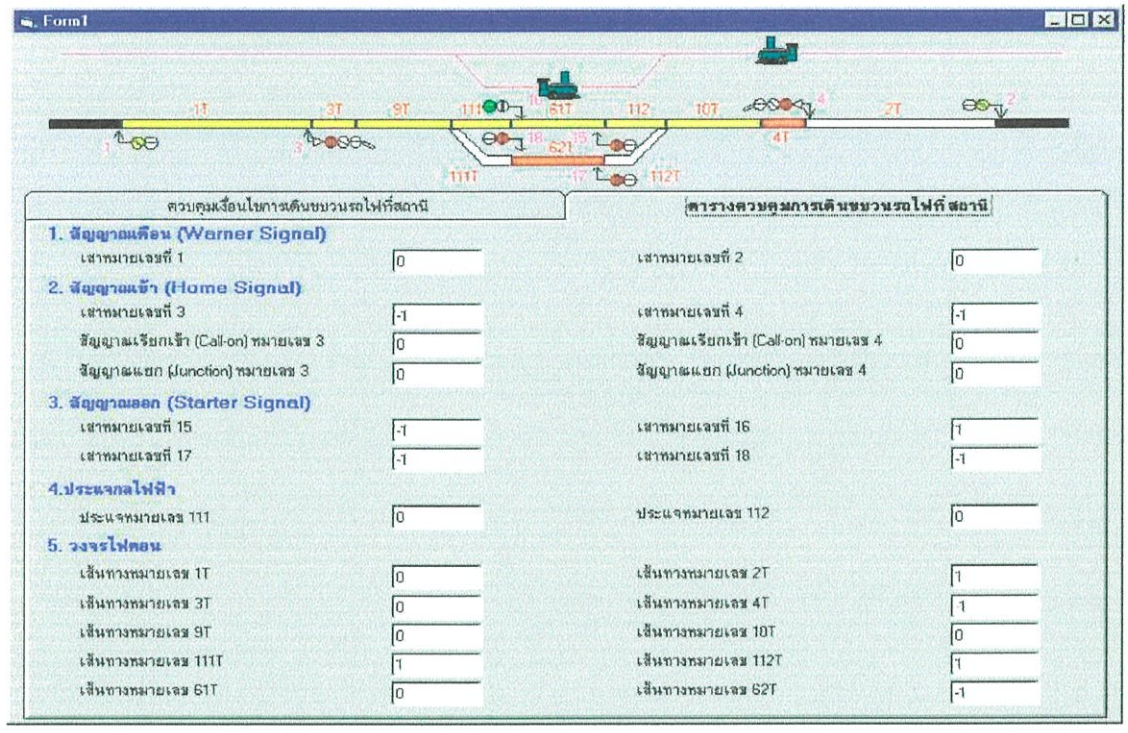
รูปที่ 5.10 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินขบวนรถไฟผ่านสถานีในชานชาลาที่ 1 จากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่อง



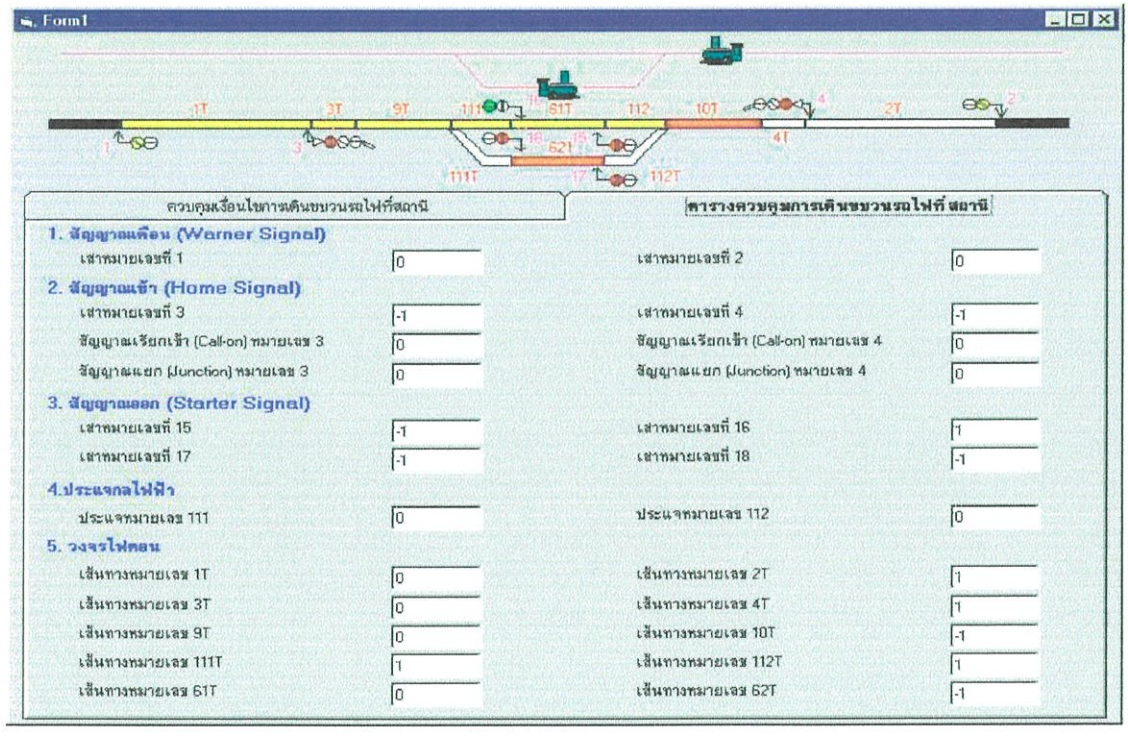
รูปที่ 5.11 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะเตรียมทางให้ขบวนรถวิ่งผ่าน



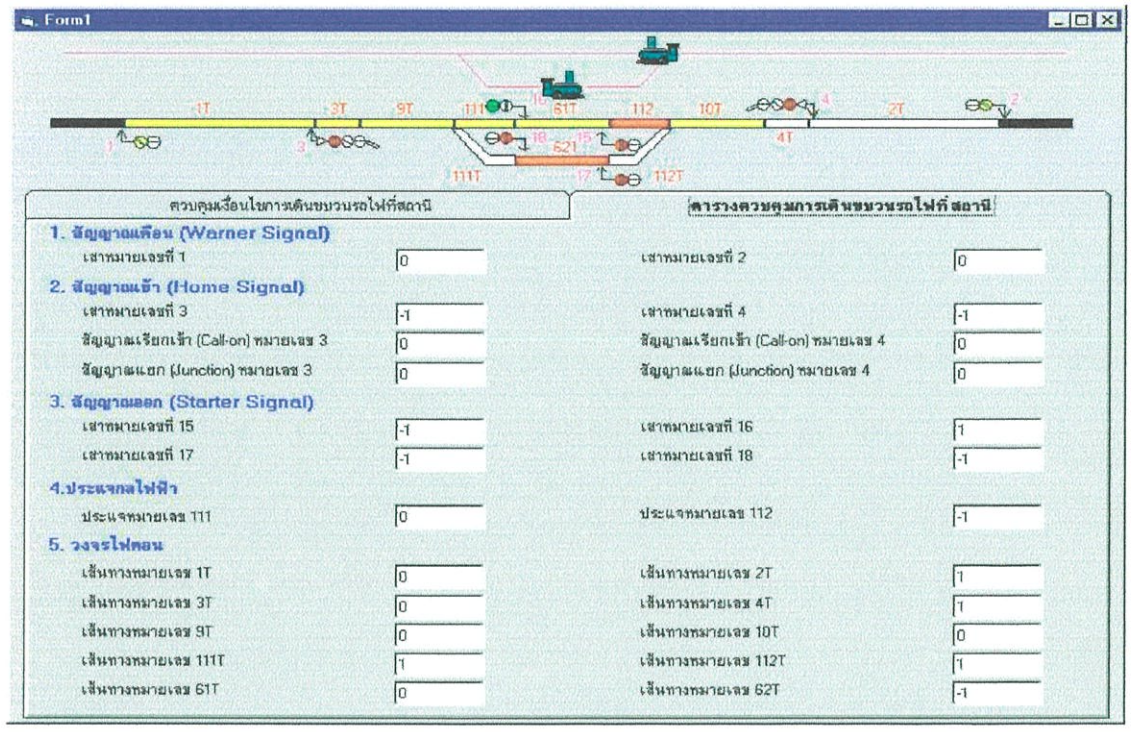
รูปที่ 5.12 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟดอนหมายเลข 2T



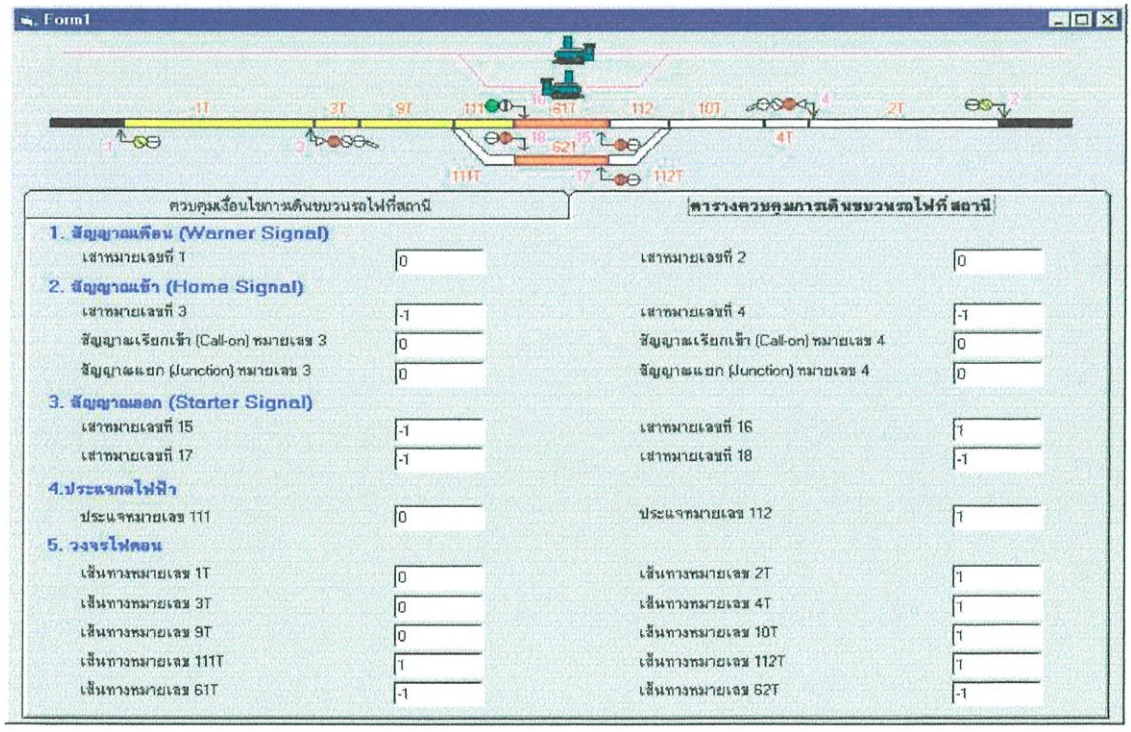
รูปที่ 5.13 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T



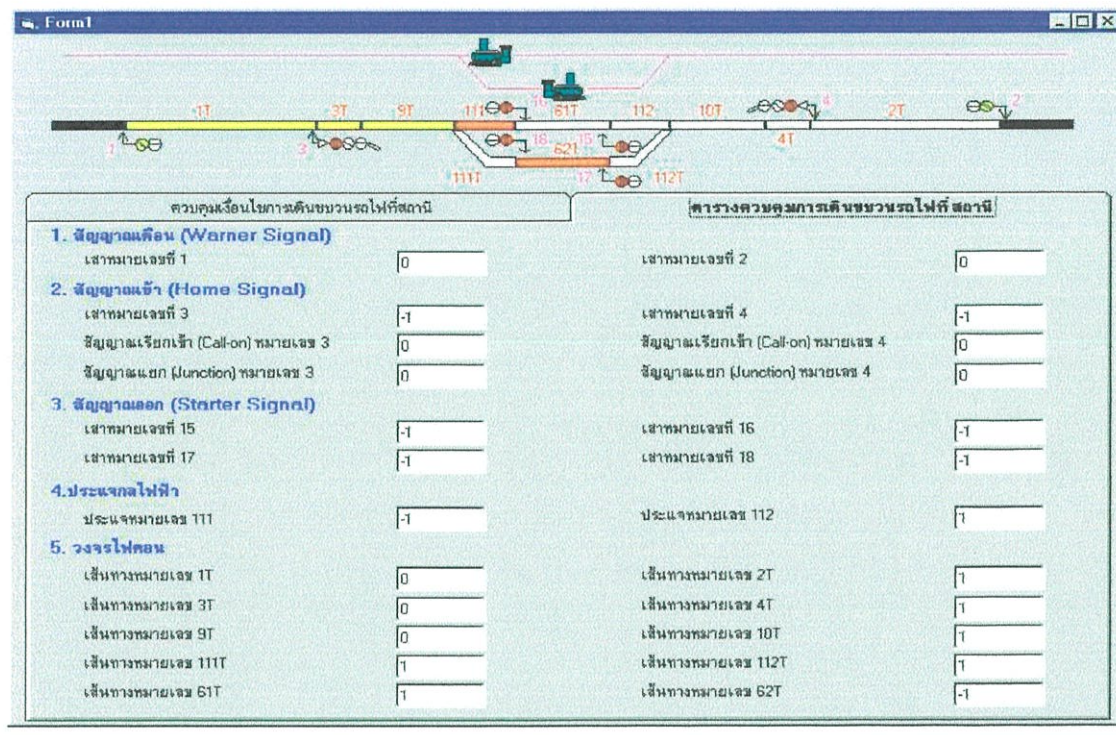
รูปที่ 5.14 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 10T



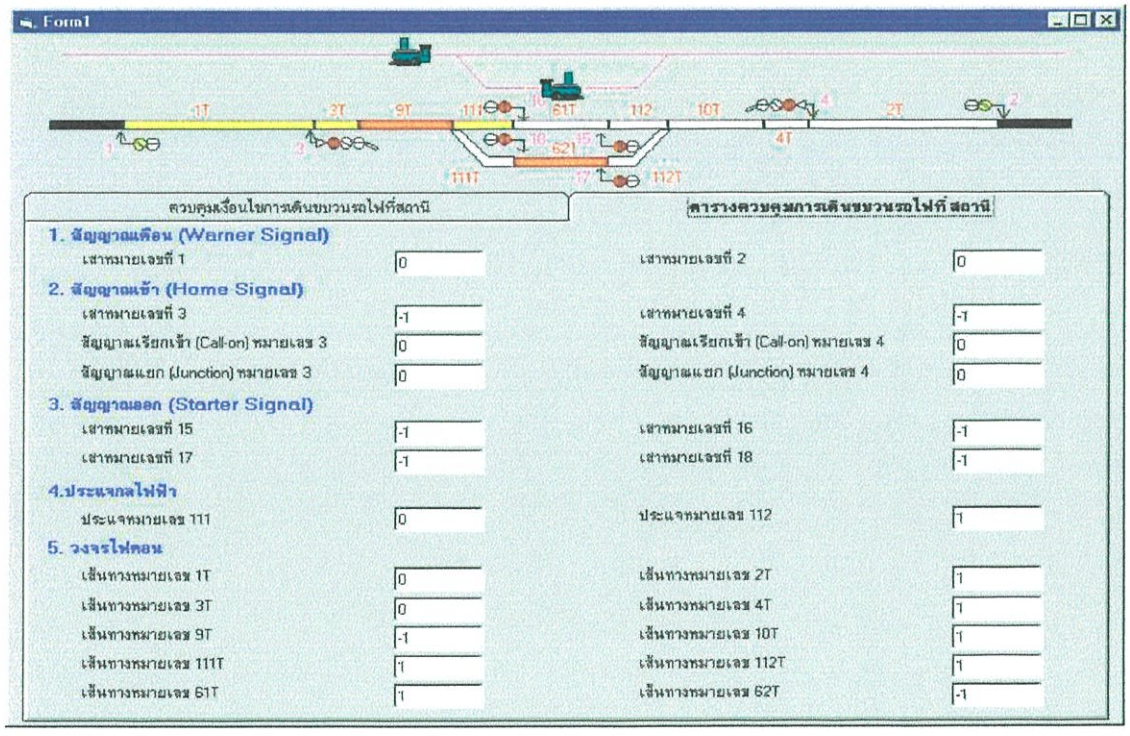
รูปที่ 5.15 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T



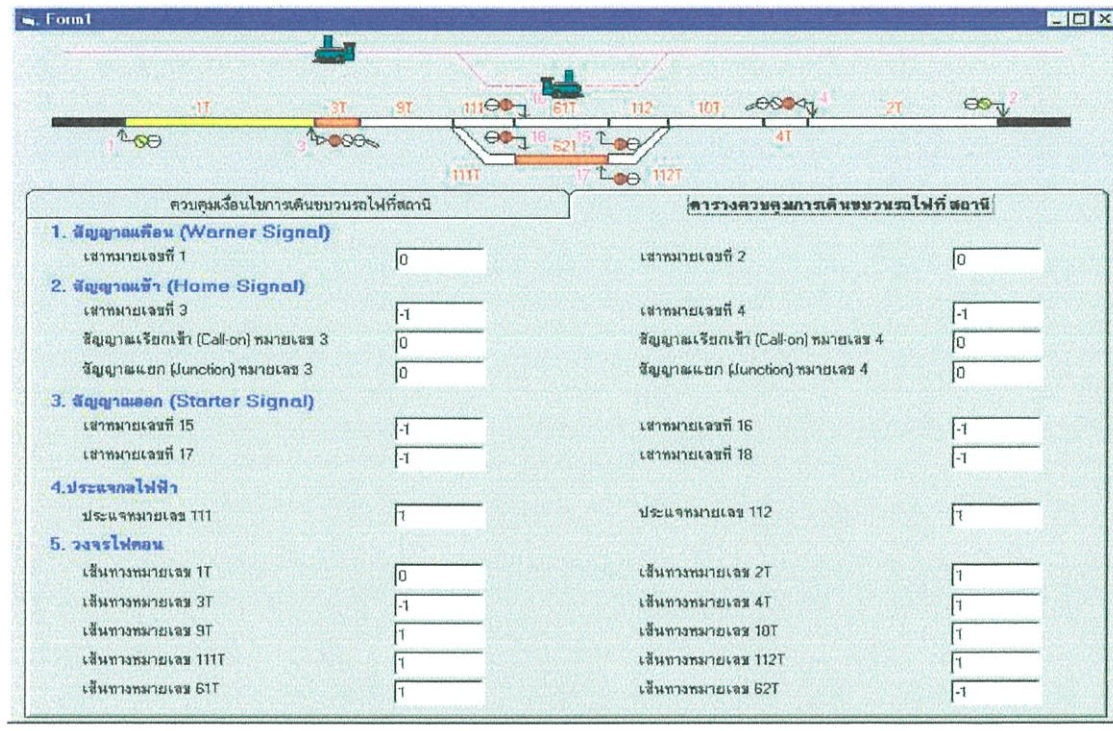
รูปที่ 5.16 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 61T



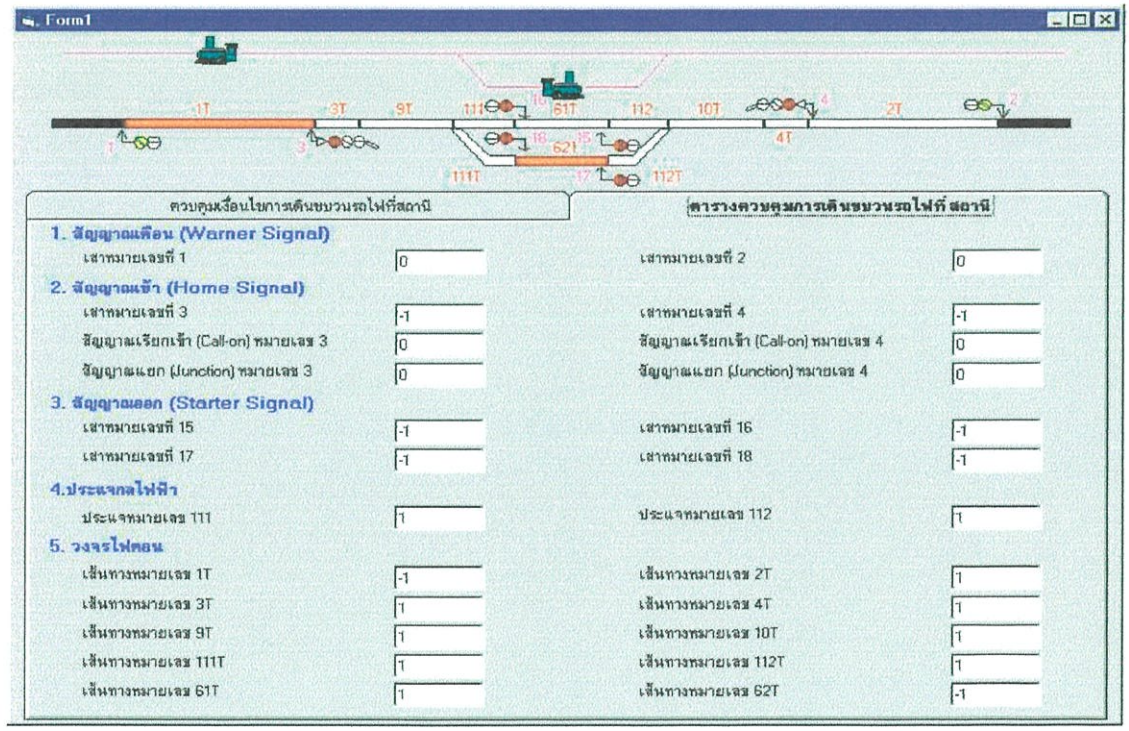
รูปที่ 5.17 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 111T



รูปที่ 5.18 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 9T



รูปที่ 5.19 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 3T



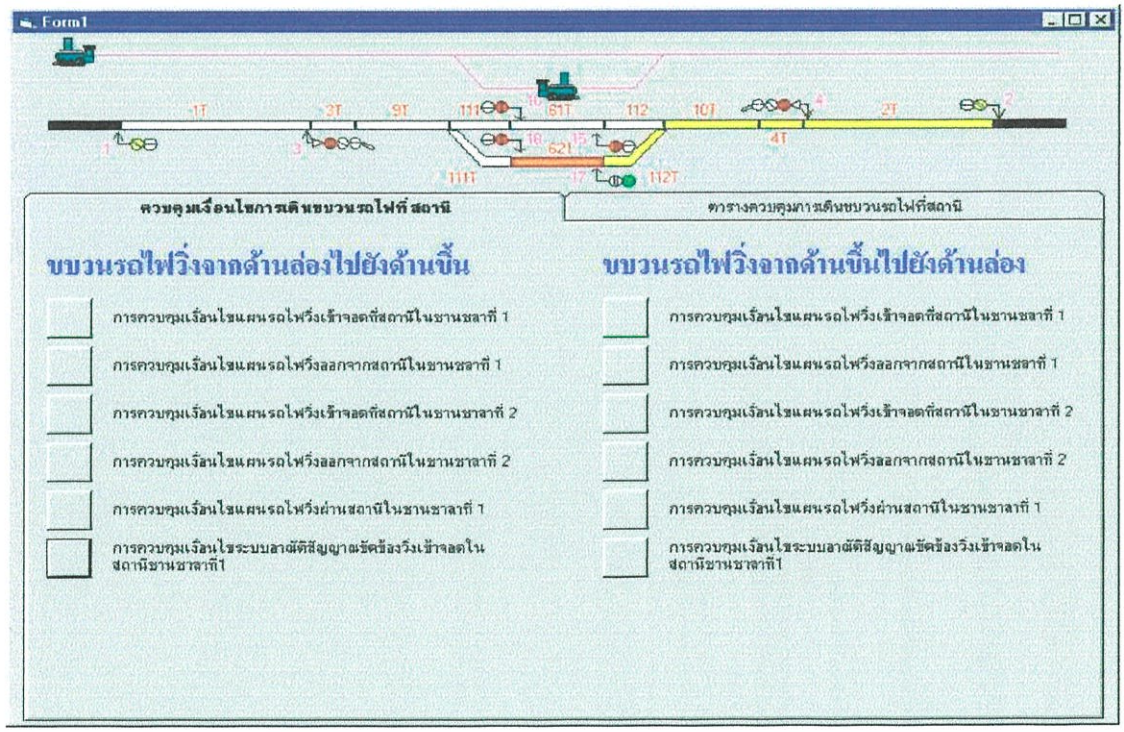
รูปที่ 5.20 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 1T

5.2.4 การเลือกเงื่อนไขการควบคุมการเดินขบวนรถไฟหมายเลข 1

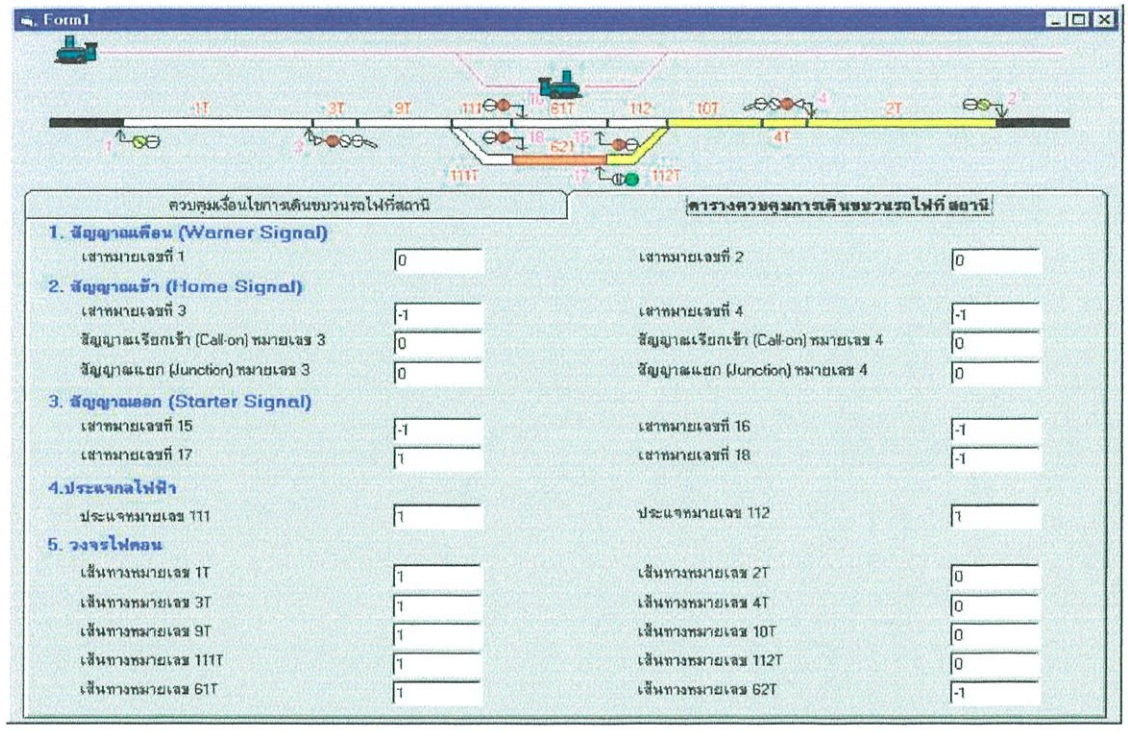
เมื่อผู้ควบคุมที่สถานีได้ตรวจสอบระบบต่างๆ เรียบร้อยและถูกต้องตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ และมีขบวนรถไฟจอดอยู่ที่พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข62T จึงเลือกเงื่อนไขควบคุมการเดินขบวนรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น หลังจากจอดขบวนรถรับและส่งผู้โดยสารและทำสับหลีกกับขบวนรถไฟหมายเลข 2 โดยมีขั้นตอนการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การควบคุมการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถไฟวิ่งผ่านอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่าง ๆ ตามเงื่อนไข ดังแสดงในรูปที่ 5.21 และการแสดงสถานะตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 5.22

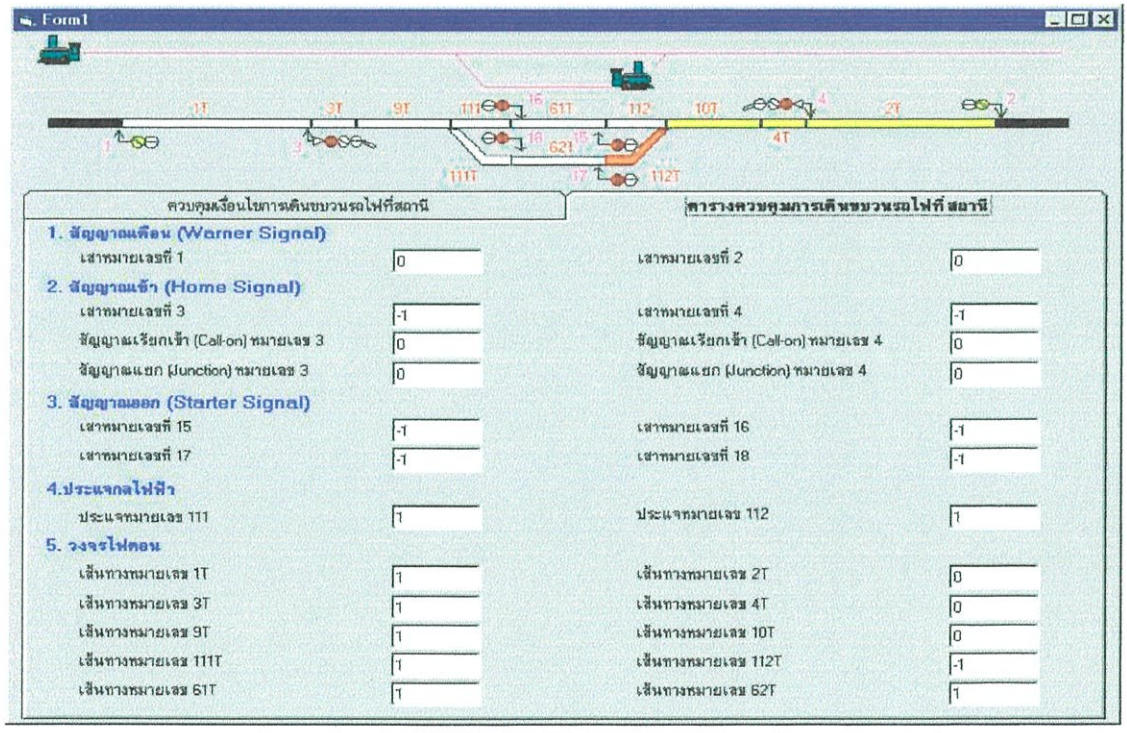
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อขบวนรถไฟวิ่งออกจากชานชาลาที่ 2 ที่สถานีเข้าสู่เขตพื้นที่ควบคุมด้วยระบบอาณัติสัญญาณผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 62T เป็นเส้นทางที่ขบวนรถไฟหมายเลข 1 จอดอยู่สัญญาณออกหมายเลข 15 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T ประแจกลหมายเลข 112 พื้นที่วงจรไฟตอน หมายเลข 10T, 4T สัญญาณเข้าหมายเลข 4 พื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T สัญญาณเตือนหมายเลข 2 และเดินขบวนรถไฟเข้าสู่ตอนระหว่างสถานี ในเส้นทางขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.23 ถึง 5.27



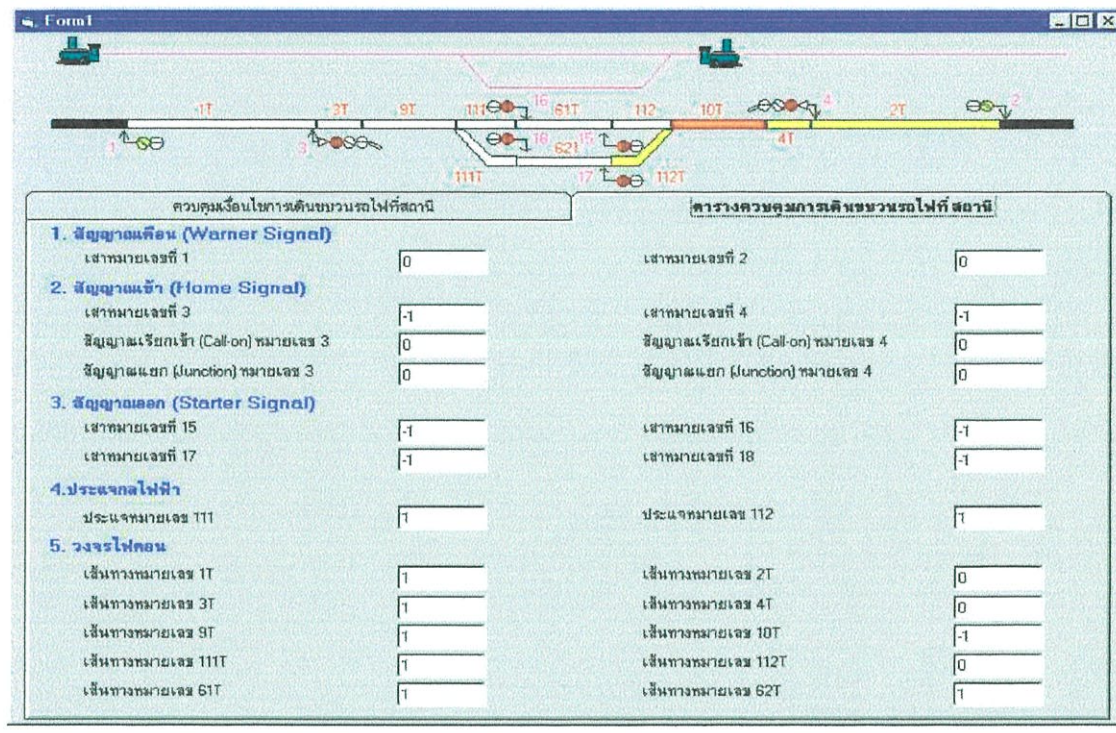
รูปที่ 5.21 แสดงการควบคุมเงื่อนไขการเดินรถไฟออกจากสถานีในชานชาลาที่ 2 ไปยังเส้นทางด้านขึ้น



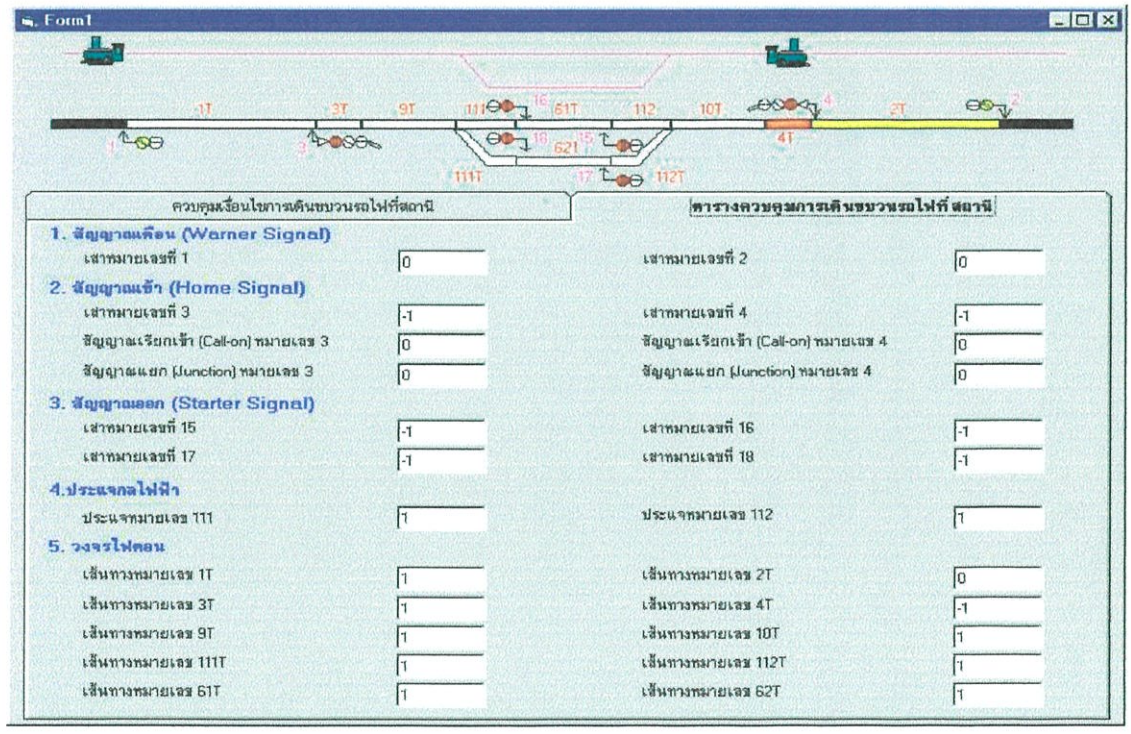
รูปที่ 5.22 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะการเตรียมเส้นทางให้ขบวนรถวิ่งผ่าน



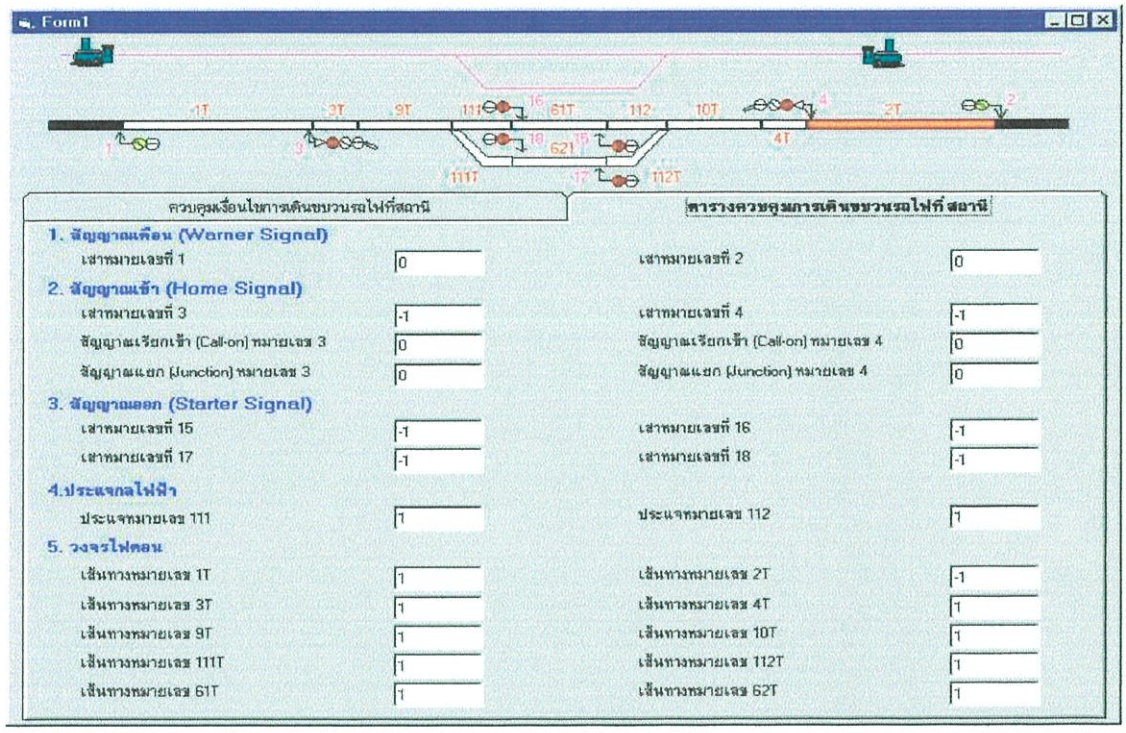
รูปที่ 5.23 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 112T



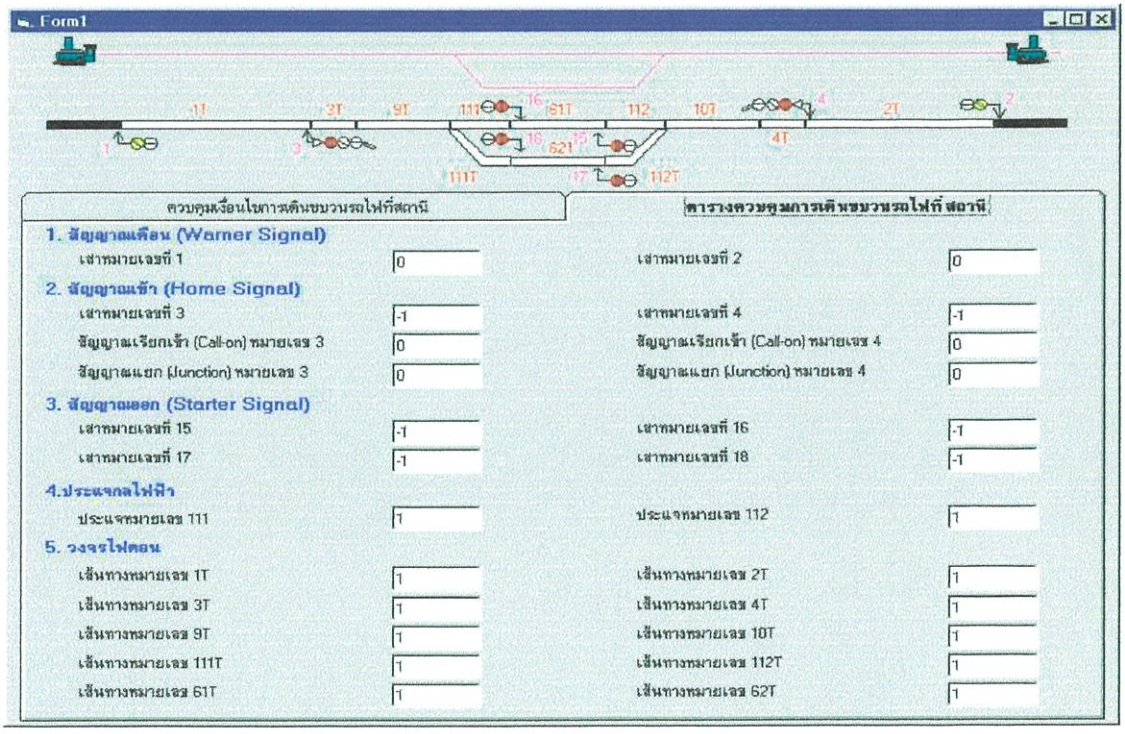
รูปที่ 5.24 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 10T



รูปที่ 5.25 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 4T



รูปที่ 5.26 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถครอบครองพื้นที่วงจรไฟตอนหมายเลข 2T



รูปที่ 5.27 แสดงสถานะอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณในขณะขบวนรถวิ่งผ่านพ้นเขตควบคุมของระบบอาณัติสัญญาณเข้าสู่ตอนเส้นทางระหว่างสถานี

5.3 สรุปการทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบและผลการทดสอบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี เมื่อมีการควบคุมการเดินขบวนรถหรืออยู่ในสภาวะปกติก็ตามระบบจะแสดงสถานะอุปกรณ์ทั้งหมดบนจอมอนิเตอร์ตามตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ ให้ผู้ควบคุมที่สถานีมองเห็นภาพรวมขอบเขตพื้นที่ควบคุมทั้งหมด ซึ่งการควบคุมแต่ละเงื่อนไขในการแสดงท่าสัญญาณจะไม่สลับซับซ้อนคลุมเคลือสามารถสื่อความหมายระหว่างผู้ควบคุมที่สถานีกับพนักงานขับรถได้รวดเร็วขึ้น

บทที่ 6
บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์ ที่มีการบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ใช้กำหนดทิศทาง และช่วงเวลาในการเดินขบวนรถไฟบนเส้นทางเดียว สามารถสับหลีกและวิ่งสวนทางกันที่สถานี ในอดีตการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟใช้ระบบบังคับสัมพันธ์โดยรีเลย์ ซึ่งมีข้อเสีย คือ อายุการใช้งานของตัวรีเลย์สั้น ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งมาก เนื่องจากตัวอุปกรณ์มีขนาดใหญ่สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าสำหรับการจ่ายให้รีเลย์ทำงาน เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูงและเมื่อใช้งานไปนานๆ จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ซึ่งประกอบกับการทำงานของระบบจะมีการตอบสนองที่ล่าช้าด้วยเหตุเหล่านี้จึงได้มีการพัฒนาระบบที่ใช้ควบคุมอาณัติสัญญาณรถไฟเพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวและให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบัน จึงนำระบบบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ โดยมีโครงสร้างและองค์ประกอบนำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดเนื้อหาออกเป็น 6 บท ดังนี้ ได้แก่

บทที่ 1 คือบทนำในบทนี้ได้กล่าวถึง ความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา และเหตุจูงใจของการพัฒนาระบบอาณัติสัญญาณรถไฟให้ทันสมัยใช้ควบคุมการเดินขบวนรถไฟในอนาคต

บทที่ 2 ได้กล่าวถึงในทฤษฎีเบื้องต้นอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ โดยเนื้อหาบทนี้จะประกอบสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของการก่อสร้างเส้นทางรถไฟ ซึ่งมีอุปกรณ์ คือ ราง ชุดประกับราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หมอนรองราง วัสดุโรยเส้นทาง พื้นที่เส้นทาง หรือดันเส้นทาง และส่วนที่สองประกอบด้วยสัญลักษณ์และคุณสมบัติจำเพาะในการทำงานของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณต่างๆ คือ อุปกรณ์วงจรไฟตอน อุปกรณ์สัญญาณรถไฟ อุปกรณ์ประแจกลไฟฟ้า อุปกรณ์ประแจกลไฟฟ้า อุปกรณ์เครื่องขอและให้ทางสะดวก เป็นต้น

บทที่ 3 ได้กล่าวถึงการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่สถานี โดยนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ ในบทที่ 2 มากำหนดระยะจุดติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องคำนึงถึงอัตราความเร็วสูงสุดในการเดินขบวนรถกับความยาวของขบวนรถและการทำงานระหว่างอุปกรณ์ของระบบอาณัติสัญญาณจะต้องมีการบังคับสัมพันธ์ตอบสนองซึ่งกันและกันมาประกอบในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ บนเส้นทางรถไฟที่สถานี

บทที่ 4 ได้กล่าวถึงการควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี โดยการออกแบบเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟเข้าและออกย่านสถานีมาออกแบบโครงสร้างโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ไปควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณแต่ละขั้นตอนในการเดินรถไฟที่สถานี

บทที่ 5 ได้กล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบ ได้นำเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่ออกแบบไว้ในบทที่ 4 มาออกแบบประยุกต์การบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์มาควบคุมการเดินขบวนรถไฟ โดยการจำลองขบวนรถไฟขึ้นมา 2 ขบวน วิ่งบนเส้นทางจากสถานีข้างเคียงทั้งสองเส้นทางในด้านล่องและด้านขึ้นพร้อมๆ กันมาทำการสับหลีกขบวนรถที่สถานีต่อไป โดยกำหนดให้ขบวนรถไฟหมายเลข 1 วิ่งจากเส้นทางด้านล่องเข้าจอดที่สถานีในชานชาลาที่ 2 เพื่อจอดรับส่งผู้โดยสารและรอทำการสับหลีกขบวนรถไฟหมายเลข 2 ที่วิ่งจากสถานีข้างเคียงบนเส้นทางด้านขึ้นโดยวิ่งผ่านที่สถานีและไม่จอดรับส่งผู้โดยสารที่สถานี ในการทดสอบและผลการทดสอบการใช้งานของระบบทั้งหมดที่ได้ออกแบบมาเพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณโดยคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้จริงตามเงื่อนไขและตารางควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานีทุกๆ เส้นทาง

ซึ่งระบบอาณัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์ ที่มีการบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าระบบเดิม คือ ให้ความรวดเร็วหรือตอบสนองได้ดี ให้ความปลอดภัยที่มากขึ้นกว่าเดิมสามารถที่จะเพิ่มการเข้าออกย่านสถานีของขบวนรถไฟได้ในปริมาณมากกว่าเดิมและยังสามารถทำการตรวจสอบและวิเคราะห์อาการเสียของอุปกรณ์แสดงผลได้ง่าย โดยการแสดงสถานะการทำงานต่าง ๆ ของระบบจะถูกแสดงทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ ซึ่งผลที่ได้จะสะดวกและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปวิเคราะห์ทั้งในปัจจุบันและอนาคตด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1]. D.J. McDwyn "Railway signal" Westinghouse Brake & Signal Australia 30 May 1994.

[2]. H. Yoshimura and S. Yoshikoshi "Railway Signal 2" Overseas Division Japan Association of Signal Industries 1998.

[3]. The Institution of Railway Signal Engineer "Railway Control System 2 " GEC. Alsthom Signalling London England 1999.

[4]. P.J. Sims "Railway Signal " Westinghouse Brake & Signal Australia 15 February 1993.

[5]. จำรัส อุกะโชค "บันทึกรางเชื่อมยาว (Long Welded Rail) ตอนที่ 1" จัดพิมพ์โดยสำนักงานศูนย์การฝึก การรถไฟแห่งประเทศไทย กันยายน 2514.

ภาคผนวก ก

การออกแบบโปรแกรม Visual Basic 6.0 มาควบคุมการเดินขบวนรถไฟที่สถานี

```
Dim Train1_Check, Train2_Check, Train1_Set, Train2_Set As Integer
Const Left_St = 375, Terminal = 5640
Const Right_St = 10860

Private Sub Command10_Click()
   Train2.Left = Terminal
   Train2.Top = 480
   Text(24) = -1
   Text(12) = 1
   Text(21) = 0
   Text(19) = 0
   Text(17) = 0
   Text(15) = 0
   Call Check_Status
   Call Click_Lock
   Train2_Set = 9
   Train2_Check = 1
   Command10.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command11_Click()
   Train2.Left = Right_St
   Train2.Visible = True
   Text(2) = 1
   Text(16) = 0
   Text(4) = 0
   Text(18) = 0
```

```
    Text(20) = 0
    Text(22) = 0
    Text(24) = 0
    Text(21) = 0
    Text(19) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train2_Set = 8
    Train2_Check = 1
    Command3.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command12_Click()
    Train2.Left = Terminal
    Text(23) = -1
    Text(10) = 1
    Text(13) = 0
    Text(19) = 0
    Text(17) = 0
    Text(15) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train2_Set = 7
    Train2_Check = 1
    Command12.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command13_Click()
    Train2.Left = Right_St
    Train2.Visible = True
    Text(2) = 1
    Text(16) = 0
```

```
    Text(4) = 0
    Text(18) = 0
    Text(20) = 0
    Text(14) = 0
    Text(23) = 0
    Text(13) = 0
    Text(19) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train2_Set = 6
    Train2_Check = 1
    Command5.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    Train1.Left = Left_St
    Train1.Visible = True
    Text(1) = 1
    Text(15) = 0
    Text(3) = 0
    Text(17) = 0
    Text(19) = 0
    Text(13) = 0
    Text(23) = 0
    Text(14) = 0
    Text(20) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train1_Set = 1
    Train1_Check = 1
    Command10.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
    Train1.Left = Terminal
    Text(23) = -1
    Text(9) = 1
    Text(14) = 0
    Text(20) = 0
    Text(18) = 0
    Text(16) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train1_Set = 2
    Train1_Check = 1
    Command3.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command4_Click()
    Train1.Left = Left_St
    Train1.Visible = True
    Text(1) = 1
    Text(15) = 0
    Text(3) = 0
    Text(17) = 0
    Text(19) = 0
    Text(21) = 0
    Text(24) = 0
    Text(22) = 0
    Text(20) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train1_Set = 3
    Train1_Check = 1
```

```
    Command12.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command5_Click()
    Train1.Left = Terminal
    Train1.Top = 480
    Text(24) = -1
    Text(11) = 1
    Text(22) = 0
    Text(20) = 0
    Text(18) = 0
    Text(16) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train1_Set = 4
    Train1_Check = 1
    Command5.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command6_Click()
    Train1.Left = Left_St
    Train1.Visible = True
    Text(1) = 1
    Text(15) = 0
    Text(3) = 1
    Text(17) = 0
    Text(19) = 0
    Text(13) = 0
    Text(23) = 0
    Text(9) = 1
    Text(14) = 0
    Text(20) = 0
```

```
    Text(18) = 0
    Text(16) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train1_Set = 5
    Train1_Check = 1
End Sub

Private Sub Command7_Click()
    Check = 0
End Sub

Private Sub Command9_Click()
    Train2.Left = Right_St
    Train2.Visible = True
    Text(2) = 1
    Text(16) = 0
    Text(4) = 1
    Text(18) = 0
    Text(20) = 0
    Text(14) = 0
    Text(23) = 0
    Text(10) = 1
    Text(13) = 0
    Text(19) = 0
    Text(17) = 0
    Text(15) = 0
    Call Check_Status
    Call Click_Lock
    Train2_Set = 10
    Train2_Check = 1
End Sub
```

```
Private Sub Form_Initialize()
    Text(1).Text = 0
    Text(2).Text = 0
    Text(3).Text = -1
    Text(4).Text = -1
    Text(5).Text = 0
    Text(6).Text = 0
    Text(7).Text = 0
    Text(8).Text = 0
    Text(9).Text = -1
    Text(10).Text = -1
    Text(11).Text = -1
    Text(12).Text = -1
    Text(13).Text = 1
    Text(14).Text = 1
    Text(15).Text = 1
    Text(16).Text = 1
    Text(17).Text = 1
    Text(18).Text = 1
    Text(19).Text = 1
    Text(20).Text = 1
    Text(21).Text = 1
    Text(22).Text = 1
    Text(23).Text = 1
    Text(24).Text = 1
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Train1_Check = 0
    Train2_Check = 0
End Sub
```

```
Public Sub Check_Status()
   Dim I As Integer
   For I = 1 To 24
      Select Case I
         Case 1
            If Text(I) = 0 Then
               traffic(1) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic11.JPG")
            Else
               traffic(1) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic12.JPG")
            End If
         Case 2
            If Text(I) = 0 Then
               traffic(2) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic61.JPG")
            Else
               traffic(2) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic62.JPG")
            End If
         Case 3
            If Text(I) = -1 Then
               traffic(3) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic21.JPG")
            ElseIf Text(I) = 0 Then
               traffic(3) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic22.JPG")
             Else
               traffic(3) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic23.JPG")
            End If
         Case 4
            If Text(I) = -1 Then
               traffic(4) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic51.JPG")
            ElseIf Text(I) = 0 Then
               traffic(4) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic52.JPG")
             Else
```

```
        traffic(4) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic53.JPG")
    End If
Case 5


Case 6
Case 7
Case 8
Case 9
    If Text(I) = -1 Then
        traffic(6) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic41.JPG")
    Else
        traffic(6) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic42.JPG")
    End If
Case 10
    If Text(I) = -1 Then
        traffic(5) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic31.JPG")
    Else
        traffic(5) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic32.JPG")
    End If
Case 11
    If Text(I) = -1 Then
        traffic(8) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic41.JPG")
    Else
        traffic(8) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic42.JPG")
    End If
Case 12
    If Text(I) = -1 Then
        traffic(7) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic31.JPG")
    Else
        traffic(7) = LoadPicture(App.Path & "\Traffic32.JPG")
    End If
Case 13
```

```
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(7) = LoadPicture(App.Path & "\111112STR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(7) = LoadPicture(App.Path & "\111112STY.JPG")
    Else
        Distance(7) = LoadPicture(App.Path & "\111112ST.JPG")
    End If
Case 14
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(8) = LoadPicture(App.Path & "\111112STR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(8) = LoadPicture(App.Path & "\111112STY.JPG")
    Else
        Distance(8) = LoadPicture(App.Path & "\111112ST.JPG")
    End If
Case 15
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(1) = LoadPicture(App.Path & "\12TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(1) = LoadPicture(App.Path & "\12TY.JPG")
    Else
        Distance(1) = LoadPicture(App.Path & "\12T.JPG")
    End If
Case 16
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(2) = LoadPicture(App.Path & "\12TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(2) = LoadPicture(App.Path & "\12TY.JPG")
    Else
        Distance(2) = LoadPicture(App.Path & "\12T.JPG")
    End If
Case 17
```

```
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(3) = LoadPicture(App.Path & "\34TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(3) = LoadPicture(App.Path & "\34TY.JPG")
    Else
        Distance(3) = LoadPicture(App.Path & "\34T.JPG")
    End If
Case 18
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(4) = LoadPicture(App.Path & "\34TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(4) = LoadPicture(App.Path & "\34TY.JPG")
    Else
        Distance(4) = LoadPicture(App.Path & "\34T.JPG")
    End If
Case 19
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(5) = LoadPicture(App.Path & "\910TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(5) = LoadPicture(App.Path & "\910TY.JPG")
    Else
        Distance(5) = LoadPicture(App.Path & "\910T.JPG")
    End If
Case 20
    If Text(I) = -1 Then
        Distance(6) = LoadPicture(App.Path & "\910TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
        Distance(6) = LoadPicture(App.Path & "\910TY.JPG")
    Else
        Distance(6) = LoadPicture(App.Path & "\910T.JPG")
    End If
Case 21
```

```
    If Text(I) = -1 Then
      Distance(11) = LoadPicture(App.Path & "\111TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
      Distance(11) = LoadPicture(App.Path & "\111TY.JPG")
    Else
      Distance(11) = LoadPicture(App.Path & "\111T.JPG")
    End If
  Case 22
    If Text(I) = -1 Then
      Distance(12) = LoadPicture(App.Path & "\112TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
      Distance(12) = LoadPicture(App.Path & "\112TY.JPG")
    Else
      Distance(12) = LoadPicture(App.Path & "\112T.JPG")
    End If
  Case 23
    If Text(I) = -1 Then
      Distance(9) = LoadPicture(App.Path & "\6162TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
      Distance(9) = LoadPicture(App.Path & "\6162TY.JPG")
    Else
      Distance(9) = LoadPicture(App.Path & "\6162T.JPG")
    End If
  Case 24
    If Text(I) = -1 Then
      Distance(10) = LoadPicture(App.Path & "\6162TR.JPG")
    ElseIf Text(I) = 0 Then
      Distance(10) = LoadPicture(App.Path & "\6162TY.JPG")
    Else
      Distance(10) = LoadPicture(App.Path & "\6162T.JPG")
    End If
End Select
```

```
    Next I
End Sub

Private Sub Text_LostFocus(Index As Integer)
    Call Check_Status
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    If Train1_Check = 1 Then
        Train1.Left = Train1.Left + 60
        Select Case Train1_Set
            Case 1, 3, 5
                If Train1.Left >= 675 And Train1.Left < 2730 Then
                    Text(15).Text = -1
                    Call Check_Status
                End If
                If Train1.Left > 2730 And Train1.Left < 3210 Then
                    Text(17).Text = -1
                    Call Check_Status
                End If
                If Train1.Left > 3210 And Train1.Left < 3690 Then
                    Text(1).Text = 0
                    Text(15).Text = 1
                    Text(3).Text = -1
                    Call Check_Status
                End If
                If Train1.Left > 3210 And Train1.Left < 3690 Then
                    Text(19).Text = -1
                    Call Check_Status
                End If
                If Train1.Left > 3690 And Train1.Left < 4170 Then
                    Text(17).Text = 1
```

```
    Call Check_Status
  End If
  If Train1_Set = 1 Or Train1_Set = 5 Then
    If Train1.Left > 4230 And Train1.Left < 4710 Then
      Text(13).Text = -1
      Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 4880 And Train1.Left < 5360 Then
      Text(23).Text = -1
      Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 5360 And Train1.Left < 5840 Then
      Text(13).Text = 1
      Text(19).Text = 1
      If Train1_Set <> 5 Then
        Text(20).Text = 1
        Text(14).Text = 1
      End If
      Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 5640 And Train1_Set <> 5 Then
      Train1.Left = 5640
      Train1_Check = 0
      If Train2.Visible = True And Train2.Left = 5640 Then
        Command10.Enabled = True
      Else
        Command11.Enabled = True
      End If
      Command3.Enabled = True
    Else
      If Train1.Left > 5640 And Train1_Set = 5 Then
        Train1_Set = 2
```

```
        End If
    End If
Else
    If Train1.Left > 4230 And Train1.Top < 480 Then
        Train1.Top = Train1.Top + 40
    End If
    If Train1.Left > 4230 And Train1.Left < 4710 Then
        Text(21).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 4880 And Train1.Left < 5360 Then
        Text(24).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 5360 And Train1.Left < 5840 Then
        Text(19).Text = 1
        Text(21).Text = 1
        Text(22).Text = 1
        Text(20).Text = 1
        Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left > 5640 Then
        Train1.Left = 5640
        Train1_Check = 0
        If Train2.Visible = True And Train2.Left = 5640 Then
            Command12.Enabled = True
        Else
            Command13.Enabled = True
        End If
        Command5.Enabled = True
    End If
End If
```

```
    If Train1.Left > 4710 And Train1.Left < 5190 Then
      Text(19).Text = 0
      Call Check_Status
    End If
  Case 2, 4
    If Train1_Set = 2 Then
      If Train1.Left >= 5895 And Train1.Left < 6375 Then
        Text(14).Text = -1
        Call Check_Status
      End If
      If Train1.Left >= 6375 And Train1.Left < 6540 Then
        Text(9).Text = -1
        Text(23).Text = 1
        Call Check_Status
      End If
      If Train1.Left >= 7020 And Train1.Left < 7340 Then
        Text(14).Text = 0
        Call Check_Status
      End If
      If Train1.Left >= 8040 And Train1.Left < 10095 Then
        Text(14).Text = 1
        Text(20).Text = 1
        Call Check_Status
      End If
    Else
      If Train1.Left > 6240 And Train1.Top > 80 Then
        Train1.Top = Train1.Top - 40
      End If
      If Train1.Left >= 5895 And Train1.Left < 6375 Then
        Text(22).Text = -1
        Call Check_Status
      End If
```

```
    If Train1.Left >= 6375 And Train1.Left < 6540 Then
        Text(11).Text = -1
        Text(24).Text = 1
        Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left >= 7020 And Train1.Left < 7340 Then
        Text(22).Text = 0
        Call Check_Status
    End If
    If Train1.Left >= 8040 And Train1.Left < 10095 Then
        Text(22).Text = 1
        Text(20).Text = 1
        Call Check_Status
    End If
End If
If Train1.Left >= 6540 And Train1.Left < 7560 Then
    Text(20).Text = -1
    Call Check_Status
End If
If Train1.Left >= 7560 And Train1.Left < 8040 Then
    Text(18).Text = -1
    Call Check_Status
End If
If Train1.Left >= 8040 And Train1.Left < 8540 Then
    Text(18).Text = -1
    Text(16).Text = -1
    Call Check_Status
End If
If Train1.Left >= 8520 And Train1.Left < 8600 Then
    Text(18).Text = 1
    Call Check_Status
End If
```

```
            If Train1.Left >= 10575 Then
               Text(16).Text = 1
               Call Check_Status
            End If
            If Train1.Left >= Right_St Then
               Train1.Visible = False
               Train1_Check = 0
               If Train2.Visible = True Then
                  If Train2.Top = 40 Then
                     Command4.Enabled = True
                  Else
                     Command2.Enabled = True
                  End If
               Else
                  Call Reset_Check_Lock
               End If
            End If
      End Select
   End If
   If Train2_Check = 1 Then
      Train2.Left = Train2.Left - 60
      Select Case Train2_Set
         Case 6, 8, 10
            If Train2.Left < 10575 And Train2.Left > 8520 Then
               Text(16).Text = -1
               Call Check_Status
            End If
            If Train2.Left < 8520 And Train2.Left > 8040 Then
               Text(18).Text = -1
               Call Check_Status
            End If
            If Train2.Left < 8040 And Train2.Left > 7560 Then
```

```
    Text(2).Text = 0
    Text(16).Text = 1
    Text(4).Text = -1
    Text(20).Text = -1
    Call Check_Status
  End If
  If Train2.Left < 7560 And Train2.Left > 7020 Then
    Text(18).Text = 1
    Call Check_Status
  End If
  If Train2_Set = 6 Or Train2_Set = 10 Then
    If Train2.Left < 7020 And Train2.Left > 6540 Then
      Text(14).Text = -1
      Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 6375 And Train2.Left > Terminal Then
      Text(23).Text = -1
      Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left > 5360 And Train2.Left < 5895 Then
      Text(14).Text = 1
      Text(20).Text = 1
      If Train2_Set <> 10 Then
        Text(19).Text = 1
        Text(13).Text = 1
      End If
      Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 5640 And Train2_Set <> 10 Then
      Train2.Left = 5640
      Train2_Check = 0
      If Train1.Visible = True And Train1.Left = 5640 Then
```

```
            Command5.Enabled = True
        Else
            Command4.Enabled = True
        End If
        Command12.Enabled = True
    Else
        If Train2.Left < 5640 And Train2_Set = 10 Then
            Train2_Set = 7
        End If
    End If
Else
    If Train2.Left < 7020 And Train2.Top < 560 Then
        Train2.Top = Train2.Top + 40
    End If
    If Train2.Left < 7020 And Train2.Left > 6540 Then
        Text(22).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 6375 And Train2.Left > 5895 Then
        Text(24).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left > 5360 And Train2.Left < 5895 Then
        Text(19).Text = 1
        Text(21).Text = 1
        Text(22).Text = 1
        Text(20).Text = 1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 5640 Then
        Train2.Left = 5640
        Train2_Check = 0
```

```
            If Train1.Visible = True And Train1.Left = 5640 Then
               Command3.Enabled = True
            Else
               Command2.Enabled = True
            End If
            Command10.Enabled = True
         End If
      End If
      If Train2.Left < 7020 And Train2.Left > 6540 Then
         Text(20).Text = 0
         Call Check_Status
      End If
   Case 7, 9
      If Train2_Set = 7 Then
         If Train2.Left < 5360 And Train2.Left > 4880 Then
            Text(13).Text = -1
            Call Check_Status
         End If
         If Train2.Left < 4880 And Train2.Left > 4710 Then
            Text(10).Text = -1
            Text(23).Text = 1
            Call Check_Status
         End If
         If Train2.Left < 4710 And Train2.Left > 4230 Then
            Text(19).Text = -1
            Call Check_Status
         End If
         If Train2.Left < 4230 And Train2.Left > 3690 Then
            Text(13).Text = 0
            Call Check_Status
         End If
         If Train2.Left < 3210 And Train2.Left > 2730 Then
```

```
        Text(13).Text = 1
        Text(19).Text = 1
        Text(15).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
Else
    If Train2.Left < 5040 And Train2.Top > 40 Then
        Train2.Top = Train2.Top - 40
    End If
    If Train2.Left < 5360 And Train2.Left > 4880 Then
        Text(21).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 4880 And Train2.Left < 4710 Then
        Text(12).Text = -1
        Text(24).Text = 1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 4710 And Train2.Left > 4230 Then
        Text(19).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 4230 And Train2.Left > 3690 Then
        Text(21).Text = 0
        Call Check_Status
    End If
    If Train2.Left < 3210 And Train2.Left > 2730 Then
        Text(21).Text = 1
        Text(19).Text = 1
        Text(15).Text = -1
        Call Check_Status
    End If
```

```
            End If
            If Train2.Left < 3690 And Train2.Left > 3210 Then
               Text(17).Text = -1
               Call Check_Status
            End If
            If Train2.Left < 2730 And Train2.Left > 1155 Then
               Text(17).Text = 1
               Call Check_Status
            End If
            If Train2.Left < 675 Then
               Text(15).Text = 1
               Call Check_Status
            End If
            If Train2.Left <= Left_St Then
               Train2.Visible = False
               Train2_Check = 0
               If Train1.Visible = True Then
                  If Train1.Top = 40 Then
                     Command11.Enabled = True
                  Else
                     Command13.Enabled = True
                  End If
               Else
                  Call Reset_Check_Lock
               End If
            End If
         End Select
      End If
End Sub


Public Sub Click_Lock()
```

```
    Command2.Enabled = False
    Command4.Enabled = False
    Command6.Enabled = False
    Command7.Enabled = False
    Command8.Enabled = False
    Command9.Enabled = False
    Command11.Enabled = False
    Command13.Enabled = False
End Sub

Public Sub Reset_Check_Lock()
    Command2.Enabled = True
    Command4.Enabled = True
    Command6.Enabled = True
    Command7.Enabled = True
    Command8.Enabled = True
    Command9.Enabled = True
    Command11.Enabled = True
    Command13.Enabled = True
End Sub
```

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. สมหมาย จิตภักดี และ กอบชัย เดชหาญ

" การออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์ "

COMPUTER-BASED RAILWAY SIGNALLING SYSTEM DESIGN

ตีพิมพ์ในวารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ฉบับปีที่ 36 เล่มที่ 1

ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2547

ประวัติผู้เขียน

นายสมหมาย จิตภักดี เกิดวันที่ 14 เมษายน 2509 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต (ไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปีการศึกษา 2535 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ไฟฟ้ากำลัง) จากโรงเรียนเทคโนโลยีช่างอุตสาหกรรมกรุงเทพ ปีการศึกษา 2530

ปี พ.ศ. 2536 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศกรตรีระดับ 6 ฝ่ายการอาณัติสัญญาณและโทรคมนาคม การรถไฟแห่งประเทศไทย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรโทระดับ 8