

แบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก
TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM



จักรเทพ ใจดี
JAKTEP JAIDEE
มีดีพร ภัคดีพันธ์
MEDEEPORN PAKDEEPAN
วิโรจน์ เดชธีรานุกูล
VIROJ DEJTERANUKUL

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก
TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM



JAKTEP JAIDEE
MEDEEPORN PAKDEEPAN
VIROJ DEJTERANUKUL

THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก		
Thesis Title	TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM		
ชื่อนักศึกษา	นายจักรเทพ ใจดี	รหัสนักศึกษา	56010151
	นางสาวมีดีพร ภักดีพันธ์	รหัสนักศึกษา	56010978
	นายวิโรจน์ เดชธีรานุกูล	รหัสนักศึกษา	56011142
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.วันวิสา ชัชวงษ์		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเสนอแบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก โดยนำระบบควบคุม PID มาใช้ควบคุมรถไฟให้เข้าจอดได้ตรงสถานี โดยใช้เอ็นโคดเดอร์ตรวจสอบตำแหน่งของรถไฟจำลอง และส่งผลลัพธ์กลับไปยังโปรแกรมผ่านทางเครือข่ายไร้สาย นำเสนอผ่านซอฟต์แวร์ และชุดรถไฟจำลอง ผู้ใช้งานสามารถทดลองควบคุม ตรวจสอบผลลัพธ์ ผ่านทางอินเทอร์เน็ตของโปรแกรม จากการทดลองพบว่า ค่าตัวแปร PID ที่ดีที่สุด คือ $P=2.0$ $I=0.0$ $D=0.0$ ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์

Thesis Title	TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM		
Student	Mr.Jaktep Jaidee	Student ID.	56010151
	Miss.Medeepon Pakdeepan	Student ID.	56010978
	Mr.Viroj Dejtiranukul	Student ID.	56011142
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Information Engineering		
Department	Computer Engineering		
Academic Year	2016		
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Vanvisa Chutchavong		

ABSTRACT

This thesis is a research about the Moving Block Signaling train control by PID control systems. Used to control train parked at the station. Use Encoder Software Check the location of model trains and sends the results back to the application via a wireless network. Presentation by software and model trains. User can control trail check for results. Through the interface of the program. The experiment showed that the PID parameters is best $P = 2.0$ $I = 0.0$ $D = 0.0$, which makes the error is zero.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันวิสา ชัชวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้ และคำแนะนำ รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังให้คำปรึกษา และแนวทางการแก้ปัญหา เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้น ทำให้การทำงานเป็นไปได้อย่างราบรื่นตลอดการทำงาน อีกทั้งต้องขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท เพื่อนๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในการทำงานตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จักรเทพ ใจดี
มีตีพร ภักดีพันธ์
วิโรจน์ เดชธีรานุกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ภาพรวม หรือโครงสร้างรวมของโครงการ.....	1
1.4 แผนผัง หรือตารางเวลาการดำเนินงานโครงการ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 อุปกรณ์ที่ต้องใช้.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ.....	4
2.1.1 สัญญาณประจำที่.....	4
2.1.2 สัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง.....	4
2.1.3 สัญญาณให้รถเคลื่อนขบวน	4
2.1.4 การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ.....	6
2.1.5 ระบบตอนสัญญาณหรือระบบบล็อก	7
2.1.6 การเดินรถด้วยระบบตอนสัญญาณคงที่.....	8
2.1.7 หลักการเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟ.....	9
2.1.8 ระบบตอนสัญญาณแบบไม่คงที่ (Moving Block Signal).....	10
2.2 วงจรไฟตอน (Track Circuit).....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 หลักการทำงาน.....	12
2.3 ระบบควบคุม (Control System).....	13
2.3.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด.....	13
2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด.....	14
2.4 Arduino.....	19
2.4.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม.....	20
2.4.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	20
2.4.3 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3).....	22
2.5 เอ็นโคดเดอร์ (Encoder).....	23
2.5.1 หน้าที่หลักของ Encoder.....	24
2.5.2 ชนิดของ Encoder.....	24
2.5.3 หลักการทำงานของ Encoder.....	24
2.5.4 อินเทอร์เฟซ.....	27
บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ.....	29
3.1 ความต้องการของระบบ.....	29
3.2 ภาพรวมของระบบ.....	29
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	30
3.3.1 รูปแบบและส่วนประกอบของโปรแกรม.....	31
3.3.2 การเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ.....	31
3.3.3 การสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลอง.....	33
3.3.4 การวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder.....	35
3.3.5 การควบคุมความเร็วของรถไฟอัตโนมัติ.....	36
3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	38
3.4.1 รูปแบบและโครงสร้างพื้นฐานของระบบราง.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 ชุดรถไฟจำลอง Roco.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	40
4.1 การจำลองรูปแบบการเดินรถ	40
4.1.1 การควบคุมความเร็วของรถไฟ.....	40
4.1.2 การควบคุมตำแหน่งการเดินรถ	41
4.1.3 การควบคุมค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่.....	41
4.1.4 การหยุดการทำงาน และรีเซ็ตค่าที่แสดง	43
4.2 การสั่งงานอุปกรณ์ภายในชุดรถไฟจำลอง.....	44
4.3 โมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ.....	45
4.4 การทดลอง.....	46
บทที่ 5 สรุปผลโครงการ อุปสรรค และข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปผลโครงการ.....	75
5.2 อุปสรรคและการแก้ไข	75
5.3 ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก Posterและรูปผลงาน.....	79
ภาคผนวก ข การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE.....	82
ภาคผนวก ค การติดตั้งโปรแกรม Visual Studio.....	84
ภาคผนวก ง การใช้งานโปรแกรม Train Control.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=0.01$	46
ตารางที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=0.05$	47
ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=0.1$	48
ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=0.5$	49
ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=1.0$	50
ตารางที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=1.5$	51
ตารางที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0$	52
ตารางที่ 4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=3.0$	53
ตารางที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=5.0$	54
ตารางที่ 4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0 I=0.01$	56
ตารางที่ 4.11 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0 I=0.05$	57
ตารางที่ 4.12 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0 I=0.1$	58
ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0 I=0.15$	59
ตารางที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=0.2 I=0.1 D=0.01$	61
ตารางที่ 4.15 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2 I=0.1 D=0.05$	62
ตารางที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=2.0 I=0.1 D=0.1$	63
ตารางที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=1.5 I=0.1 D=0.01$	64
ตารางที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=1.5 I=0.1 D=0.05$	65
ตารางที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลา และตำแหน่งของค่า $P=1.5 I=0.1 D=0.1$	66
ตารางที่ 4.20 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.2 I = 0.1 D = 0.01$	68
ตารางที่ 4.21 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2 I = 0.1 D = 0.05$	69
ตารางที่ 4.22 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0 I = 0.1 D = 0.1$	70
ตารางที่ 4.23 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5 I = 0.1 D = 0.01$	71
ตารางที่ 4.24 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5 I = 0.1 D = 0.05$	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.25 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.1$	73



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพรวมหรือโครงสร้างรวมของโครงการ.....	2
รูปที่ 2.1 สัญญาณแบบกำหนดระยะทางชนิดทางปลา	5
รูปที่ 2.2 สัญญาณไฟประเภทต่างๆ	6
รูปที่ 2.3 ตำแหน่งการตั้งสัญญาณไฟสี.....	6
รูปที่ 2.4 รางรถไฟถูกคั่นด้วยฉนวนไฟฟ้าเพื่อแบ่งตอนของทางออกจากกัน	7
รูปที่ 2.5 ระยะความยาวที่สัญญาณควบคุมเท่ากับระยะความยาวของตอนคงที่	8
รูปที่ 2.6 ระยะทางเพิ่มเติมของตอนคงที่ที่ล้ำเข้าไปในตอนข้างหน้า.....	9
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของระบบตอนสัญญาณไม่คงที่.....	11
รูปที่ 2.8 แผนภาพการทำงานของวงจรไฟตอนขณะที่ไม่มีขบวนรถ.....	13
รูปที่ 2.9 แผนภาพการทำงานของวงจรไฟตอนขณะที่มีขบวนรถ.....	13
รูปที่ 2.10 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบPID.....	15
รูปที่ 2.11 P-Action.....	16
รูปที่ 2.12 I-Action	17
รูปที่ 2.13 D-Action.....	18
รูปที่ 2.14 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ FeedBack Control	18
รูปที่ 2.15 (ก) บอร์ด Arduino ต่อกับ LED.....	20
(ข) บอร์ด Arduino ต่อกับ XBee Shield	20
รูปที่ 2.16 รูปแบบการเขียนโปรแกรม Arduino	21
รูปที่ 2.17 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload	21
รูปที่ 2.18 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด.....	21
รูปที่ 2.19 การ Compile และ Upload โค้ดโปรแกรม	22
รูปที่ 2.20 Layout & Pin out Arduino Board	23
รูปที่ 2.21 หลักการ Encoder	23
รูปที่ 2.22 ระบบ Dc Servo Motor ที่มีการป้อนกลับตำแหน่งและความเร็ว	24
รูปที่ 2.23 สัญญาณพัลส์ที่เกิดจาก Incremental Rotary Encoder	25

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.24 สัญญาณเอาต์พุตแบบรหัส Binary จำนวน 4 บิต ของ Absolute Encoder.....	25
รูปที่ 2.25 สัญญาณเอาต์พุตแบบรหัส Gray จำนวน 4 บิต ของ Absolute Encoder.....	26
รูปที่ 2.26 เฟส B จะนำเฟส A อยู่ 90องศา	26
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ.....	30
รูปที่ 3.2 ลักษณะและลำดับการทำงานของฟอร์มโนโปรแกรม.....	31
รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ.....	32
รูปที่ 3.4 ผังงานการเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ.....	33
รูปที่ 3.5 การสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลอง.....	34
รูปที่ 3.6 ผังงานการสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลอง.....	34
รูปที่ 3.7 ผังงานการสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลองในการเดินหน้าหรือถอยหลัง.....	35
รูปที่ 3.8 การวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder	35
รูปที่ 3.9 ผังงานการวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder.....	36
รูปที่ 3.10 ผังงานแสดงการควบคุมรถไฟจำลองโดยใช้ PID.....	37
รูปที่ 3.11 การควบคุมความเร็วของรถไฟจำลองอัตโนมัติ.....	38
รูปที่ 3.12 โครงสร้างพื้นฐานของระบบรางที่ใช้ในการจำลอง.....	38
รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของชุดรถไฟจำลองที่นำมาใช้ในระบบ.....	39
รูปที่ 4.1 หน้าหลักของโปรแกรมจำลอง (Simulation).....	40
รูปที่ 4.2 การควบคุมความเร็วของรถไฟ.....	41
รูปที่ 4.3 การควบคุมตำแหน่งการเดินรถไฟ.....	41
รูปที่ 4.4 ควบคุมค่าความผิดพลาด.....	42
รูปที่ 4.5 รถไฟทำการย้อนกลับมายังจุดหมาย.....	42
รูปที่ 4.6 รถไฟทำการย้อนกลับมายังจุดหมาย.....	42
รูปที่ 4.7 รถไฟหยุดเคลื่อนที่.....	43
รูปที่ 4.8 หยุดการทำงานของโปรแกรม และรีเซ็ตค่า.....	43
รูปที่ 4.9 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย.....	44

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบใช้สาย.....	44
รูปที่ 4.11 โมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ	45
รูปที่ 4.12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในโมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ.....	45
รูปที่ 4.13 การปรับค่า $P=0.01$	46
รูปที่ 4.14 การปรับค่า $P=0.05$	47
รูปที่ 4.15 การปรับค่า $P=0.1$	48
รูปที่ 4.16 การปรับค่า $P=0.5$	49
รูปที่ 4.17 การปรับค่า $P=1.0$	50
รูปที่ 4.18 การปรับค่า $P=1.5$	51
รูปที่ 4.19 การปรับค่า $P=2.0$	52
รูปที่ 4.20 การปรับค่า $P=3.0$	53
รูปที่ 4.21 การปรับค่า $P=5.0$	54
รูปที่ 4.22 สรุปค่า P	55
รูปที่ 4.23 การปรับค่า $P=2.0 I=0.01$	56
รูปที่ 4.24 การปรับค่า $P=2.0 I=0.05$	57
รูปที่ 4.25 การปรับค่า $P=2.0 I=0.1$	58
รูปที่ 4.26 การปรับค่า $P=2.0 I=0.15$	59
รูปที่ 4.27 สรุปค่า PI	60
รูปที่ 4.28 การปรับค่า $P = 2.0 D = 0.5$	61
รูปที่ 4.29 การปรับค่า $P = 2.0 D = 1.0$	62
รูปที่ 4.30 การปรับค่า $P = 2.0 D = 5.0$	63
รูปที่ 4.31 การปรับค่า $P = 2.0 D = 10.0$	64
รูปที่ 4.32 การปรับค่า $P = 2.0 D = 15.0$	65
รูปที่ 4.33 การปรับค่า $P = 2.0 D = 20.0$	66
รูปที่ 4.34 สรุปค่า PD	67

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.35 การปรับค่า $P = 0.2 \ I = 0.1 \ D = 0.01$	68
รูปที่ 4.36 การปรับค่า $P = 2 \ I = 0.1 \ D = 0.05$	69
รูปที่ 4.37 การปรับค่า $P = 2.0 \ I = 0.1 \ D = 0.1$	70
รูปที่ 4.38 การปรับค่า $P = 1.5 \ I = 0.1 \ D = 0.01$	71
รูปที่ 4.39 การปรับค่า $P = 1.5 \ I = 0.1 \ D = 0.05$	72
รูปที่ 4.40 การปรับค่า $P = 1.5 \ I = 0.1 \ D = 0.1$	73
รูปที่ 4.41 สรุปลค่า PID กำหนด $P = 1.5 \ I = 0.1$	74
รูปที่ 4.42 สรุปลค่า PID กำหนด $P = 2.0 \ I = 0.1$	74
รูปที่ ก.1 Poster ของปริญญาานิพนธ์แบบจ าลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก.....	80
รูปที่ ก.2 ผลงานของปริญญาานิพนธ์แบบจ าลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก.....	81
รูปที่ ข.1 หน้าต่างแสดงขนาดของโปรแกรม Arduino IDE	83
รูปที่ ค.1 หน้าต่างแสดงขนาดของโปรแกรม Visual Studio.....	85
รูปที่ ง.1 หน้าต่างแสดงขนาดของไฟล์ Train Control.....	87
รูปที่ ง.2 หน้าต่างแสดงการเริ่มใช้โปรแกรม Train Control.....	88
รูปที่ ง.3 ตัวโปรแกรม Train Control	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากระบบขนส่งทางรางของประเทศไทยในปัจจุบัน ยังมีความล่าช้า เมื่อเทียบกับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น จีน ญี่ปุ่น และชาติการถ่ายถอดองค์ความรู้มาสู่ประเทศไทย ทำให้การเรียนรู้ทางด้านระบบขนส่งทางรางนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก ในโครงการที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาชุดจำลองระบบอัตโนมัติสัญญาณเพื่อใช้เรียนรู้ แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของการเข้าจอด ด้วยเหตุนี้ปริญญาณิพนธ์นี้จึงหาแนวทางการแก้ไขของปัญหานี้ โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาควบคุมการเข้าจอดของรถไฟให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และยังสามารถควบคุมความเร็วของรถไฟ เพื่อเพิ่มความสะดวกและป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น โดยนำความรู้เรื่อง Proportional Integral Derivative (PID) มาประยุกต์ใช้และสร้างโปรแกรมควบคุมรถไฟจำลอง ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วของรถไฟให้มีความสอดคล้องกับการเข้าจอดของรถไฟให้ตรงกับประตูกันขานชานชาลาของแต่ละสถานี

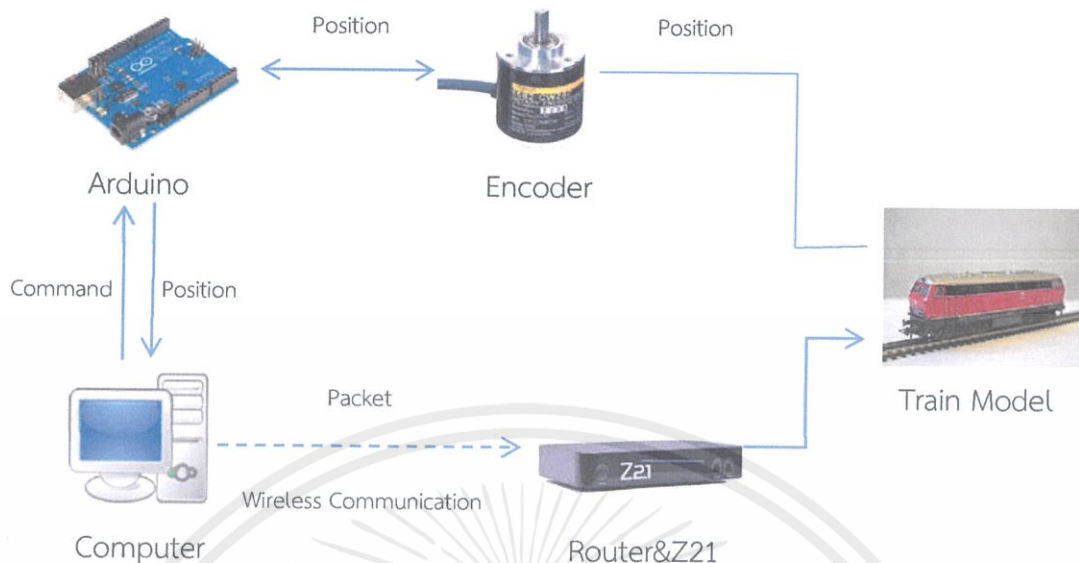
โดยควบคุมรถไฟ ด้วยเทคนิค Moving Block ซึ่งจะมีอุปกรณ์เก็บข้อมูลตำแหน่งของรถไฟแต่ละขบวนแล้วส่งต่อไปยังตัวควบคุมโปรแกรมควบคุมรถไฟจำลองเพื่อคำนวณการเข้าจอดให้อยู่ในระยะเวลาที่ต้องการ ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้โดยสาร อีกทั้งยังช่วยป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเข้าจอดของรถไฟจำลอง
2. เพื่อให้มีมาตรฐานในการจอดเข้ารถไฟของแต่ละสถานี
3. สามารถนำแบบจำลองที่ทำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานจริงของผู้โดยสาร

1.3 ภาพรวม หรือโครงสร้างรวมของโครงการ

ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการสร้างระบบควบคุมความเร็วของรถไฟจำลองโดยการสร้างโปรแกรมในการแสดงข้อมูลของรถไฟจำลองผ่านคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ ซึ่งจะเชื่อมต่อกับรถไฟจำลอง โดยแสดงผลเป็นข้อมูลปัจจุบันของรถไฟจำลอง ณ ขณะนั้น เช่น ความเร็วของรถไฟ ตำแหน่งที่อยู่ของรถไฟและควบคุมให้มีการเข้าจอดประจำสถานีให้ตรงกับประตูกันขานชานชาลา โดยภาพรวมการทำงานจะเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ภาพรวมหรือโครงสร้างรวมของโครงการ

1.4 แผนผัง หรือตารางเวลาการดำเนินงานโครงการ

ในโครงการนี้มีแผนผังซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

No.	Task Name	2559					2560				
		AUG	SET	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY
1.	กำหนดขอบเขตงาน										
2.	ศึกษา PID										
3.	ศึกษา Encoder										
4.	เขียนโปรแกรมควบคุมรถไฟ										
5.	นำ Encoder มาเชื่อมต่อกับรถไฟ										
6.	จัดทำเอกสารประกอบวิชาโครงการเทอม1										
7.	ควบคุม Encoder										
8.	เขียนโปรแกรมควบคุม PID										
9.	ทำให้รถไฟและ PID มีความแม่นยำในการจอด										
10.	ทดลองโปรแกรม										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

No.	Task Name	2559					2560				
		AUG	SET	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY
11.	ปรับปรุงและแก้ไขโปรแกรม										
12.	จัดทำต้นฉบับปริญญาบัตร										

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถจำลองระบบควบคุมการเดินรถไฟผ่านระบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่รองรับ
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบที่ใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้นได้
3. สามารถควบคุมความเร็วของรถไฟให้มีความสอดคล้องกับการเข้าจอดของรถไฟให้ตรงกับประตูกันชนชานชาลาของแต่ละสถานี
4. ได้รับความรู้ความเข้าใจมากขึ้นจากการเรียนรู้แบบจำลองระบบการเดินรถไฟ
5. เห็นคุณค่าและความสำคัญของระบบขนส่งทางราง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาภายในประเทศ
6. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบอาณัติสัญญาณขั้นพื้นฐาน และการบริหารจัดการการเดินรถไฟมากยิ่งขึ้น

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้

1.6.1 ซอฟต์แวร์

1. โปรแกรม Visual Studio
2. โปรแกรม Arduino IDE

1.6.2 ฮาร์ดแวร์

1. ชุดรถไฟจำลอง Roco อัตราส่วน 1:87 (No-SCALE) ประกอบด้วย
 - หัวจักรรถไฟ พร้อมตู้ขบวนโดยสาร
 - รางรถไฟจำลอง เป็นวงรี รางเดี่ยว ความยาว 5.185 เมตร
 - Wifi Router และอุปกรณ์เข้ารหัส Z21
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ Arduino และ Encoder

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ

รถไฟเป็นยานพาหนะขนส่งซึ่งเส้นทางการเดินรถไม่ได้ถูกกำหนดโดยพนักงานขับรถไฟ แต่ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟภาคพื้นดินจะเป็นผู้กำหนดว่าขบวนรถจะวิ่งไปในทิศทางใด ระบบอัตโนมัติสัญญาณจึงเป็นสิ่งที่นำมาใช้สื่อสารกับพนักงานขับรถไฟ เพื่อการควบคุมขบวนรถไฟภายใต้กรอบของระบบที่จัดวางไว้ และตกลงทำความเข้าใจกันไว้แล้ว ซึ่งอาจจะเป็นระบบกลไก สัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ในการเดินขบวนรถไฟ เพื่อแจ้งให้พนักงานขับรถไฟทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า และตัดสินใจที่จะหยุดรถ ชะลอความเร็ว หรือบังคับทิศทาง โดยระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟในประเทศไทยคือระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศยุโรป ระบบอัตโนมัติสัญญาณควบคุมการเดินขบวนรถไฟนั้นมีหลายระดับ ซึ่งมีความซับซ้อนและราคาติดตั้งแตกต่างกัน ระบบอัตโนมัติสัญญาณที่ทันสมัยจะเป็นหลักประกันด้านความปลอดภัยที่สูง จึงทำให้ราคาการสร้างระบบขนส่งมีต้นทุนที่สูงไปด้วย

2.1.1 สัญญาณประจำที่

ในการเดินขบวนรถนั้น จะมีการกำหนดระยะห่างของการปล่อยขบวนรถเข้าไปในเส้นทางหนึ่งๆ ซึ่งระยะห่างจากหัวขบวนหนึ่งจนถึงอีกหัวขบวนหนึ่ง เรียกว่า “เฮดเวย์”(Headway) หากต้องการให้รองรับขบวนรถได้จำนวนมากจำเป็นต้องลดเฮดเวย์ลงซึ่งจะทำให้ขบวนรถวิ่งใกล้กัน จึงทำให้เกิดความเสี่ยงที่รถไฟจะวิ่งชนท้ายกันมากขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการลดเฮดเวย์ทำให้เกิดการพัฒนาาระบบสัญญาณประจำที่ (Fixed Signal) ในการเดินรถของรถไฟนั้น สัญญาณต่าง ๆ จะถูกติดตั้งไว้ข้างทางของทางรถไฟเรียกว่าสัญญาณประจำที่

2.1.2 สัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง

สัญญาณแบบปล่อยขบวนรถให้เดินตามกันโดยกำหนดระยะห่างของเวลา (Time Interval) จะปลอดภัยเมื่อคนขับสามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้าแล้วหยุดขบวนได้ทัน จึงมีการพัฒนาระบบสัญญาณ เรียกว่าสัญญาณต้นทางหรือสัญญาณกำหนดระยะทาง สัญญาณนี้จะอยู่หน้าสัญญาณกำกับสถานี (Home Signal) เมื่อคนขับเห็นสัญญาณนี้ในท่าเตือน จะสามารถหยุดขบวนรถได้โดยไม่ล้ำเข้าไปในสัญญาณกำกับเขตสถานี ศัพท์เทคนิครถไฟเรียกสัญญาณประจำที่นี้ว่า สัญญาณเตือน (Warner หรือ Warning Signal)

2.1.3 สัญญาณให้รถเคลื่อนขบวน

ในเส้นทางการเดินรถ ที่มีการใช้สัญญาณประจำที่ (Fixed Signal) รถไฟจะทำการเคลื่อนที่ตามสัญญาณที่แสดง ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ สัญญาณทางปลา (Semaphore Signals) และสัญญาณไฟ (Light Signals)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 สัญญาณทางปลา

สัญญาณทางปลาหรือสัญญาณใบธง สำหรับประเทศไทยเป็นแบบที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศทางทวีปยุโรป ในประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ทางปลาสำหรับสัญญาณเตือนจะเป็นทางแฉก ทาสีเหลืองคาดดำ ส่วนสัญญาณกำกับตอนมีทางกลมทาสีแดงคาดขาว ถ้าสัญญาณยกขึ้นทั้งคู่แสดงว่าตอนสัญญาณข้างหน้าว่าง ทางไม่ยกแสดงว่าอาจมีสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัญญาณแบบกำหนดระยะทางชนิดทางปลา

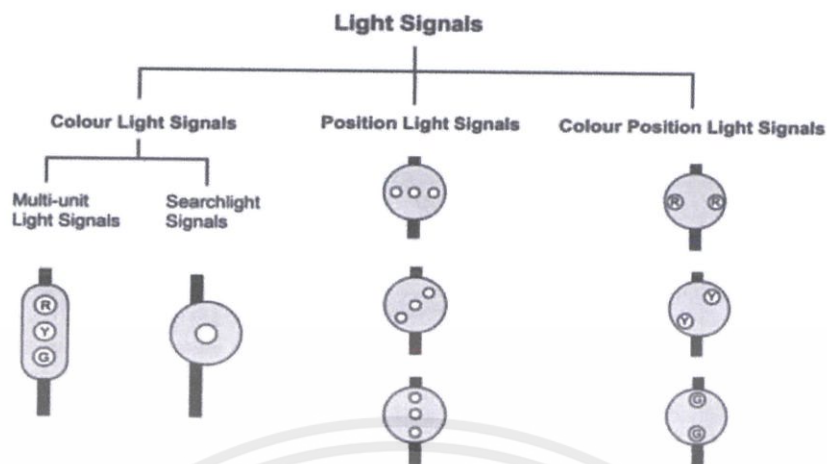
(อ้างอิงโดย หนังสือช่างรถไฟ ผู้เขียน นคร จันทศรี)

2.1.3.2 สัญญาณไฟ

1. สัญญาณไฟสี (Color Light Signal) ถ้าสัญญาณเตือนเป็นท่าเตือน (ไฟเหลือง) สัญญาณต้นถัดไปต้องเป็นท่าห้าม (ไฟแดง) ในการรถไฟมีการใช้ไฟสีแบบ 2 และ 3-Aspect อีกทั้งสัญญาณไฟสียังสามารถแสดงเส้นทางที่คนขับจะต้องนำขบวนรถเข้าไป โดยการติดตั้งแถบดวงไฟไว้เหนือสัญญาณ เรียกว่า สัญญาณบอกทาง (Route Indicator) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2. สัญญาณไฟให้ท่า (Position Light Signal) คือสิ่งที่ใช้ตำแหน่งของไฟในการสื่อความหมาย ในหลาย ๆ ประเทศเช่นประเทศในอเมริกาเหนือ มีการใช้สัญญาณไฟให้ท่าอยู่ ส่วนในยุโรปมักจะใช้สัญญาณไฟให้ท่าเฉพาะในการเคลื่อนที่เพื่อสับเปลี่ยนรถ

3. สัญญาณไฟสีให้ท่า (Color Position Light Signal) คือการรวมการให้สัญญาณด้วยระบบสีและระบบตำแหน่งเข้าด้วยกัน โดยสีแดงหมายถึงหยุด สีเหลืองหมายถึงเตรียมพร้อมที่จะหยุดที่สัญญาณต่อไป และสีเขียวหมายถึงดำเนินการต่อหรือเส้นทางสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 สัญญาณไฟประเภทต่าง ๆ

(อ้างอิงโดย Pachl J.,2009)



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งการตั้งสัญญาณไฟ

(อ้างอิงโดย หนังสือช่างรถไฟ ผู้เขียน นคร จันทคร)

2.1.4 การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ

2.1.4.1 การเคลื่อนที่ขบวนรถหรือการเดินรถ (Train Movements)

บนเส้นทางหลัก (Main Line) รถไฟทุกขบวนต้องมีป้ายสัญลักษณ์สิ้นสุดขบวน เพื่อให้พนักงานตรวจสอบการผ่านตอนโดยสมบูรณ์

2.1.4.2 การเคลื่อนที่เพื่อสับเปลี่ยนรถ (Shunting Movements)

การเคลื่อนที่เพื่อสับเปลี่ยนรถ คือการเคลื่อนที่เพื่อเตรียมตั้งขบวนรถตัดต่อเคลื่อน ย้ายรถจากเส้นทางหนึ่งไปอีกเส้นทางหนึ่ง สำหรับการให้อนุญาตสามารถทำได้โดย การแสดงท่าอนุญาตที่เสาสัญญาณ Shunting Signal ซึ่งสามารถติดตั้งไว้ที่เสา Interlocking Signal เพื่อให้อนุญาตให้ Shunting Movement เคลื่อนที่ผ่านสัญญาณ Interlocking ในท่าหยุดได้ และการส่งทางวาจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ระบบตอนสัญญาณหรือระบบบล็อก

ระบบบล็อก (Block Systems) อาจมีได้ต่างความหมายตามการใช้งาน วัตถุประสงค์ของระบบบล็อก เพื่อให้รถไฟเว้นระยะห่างกันอย่างปลอดภัย ระบบบล็อกประกอบด้วย อุปกรณ์สัญญาณและข้อบังคับการเดินรถ หากพิจารณาที่ระบบตามวิธีการควบคุม มีการทำงาน 2 แบบ ดังนี้

2.1.5.1 Manual Block System

ผู้ควบคุมเป็นผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบสถานะการร่วางของบล็อกตอน นั้น ๆ ก่อนที่จะอนุญาตให้รถไฟเข้าไปในบล็อก

2.1.5.2 Automatic Block System

มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสถานะรางที่อยู่ในตอน รวมถึงส่วนระยะเผื่อว่าว่างหรือไม่ ทำให้สัญญาณทำงานได้อัตโนมัติ ไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบว่ารถไฟได้ผ่านไปแล้วทั้งขบวนหรือยัง ระบบบล็อกอัตโนมัติยังทำหน้าที่ป้องกันการเดินรถเข้ามาในทิศตรงกันข้ามบนทางรถไฟที่มีการเดินรถทั้งสองทิศทางสวนกัน อุปกรณ์ที่ตรวจสอบสถานะรางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 แบบ ได้แก่

1. วงจรไฟตอน (Track Circuits) คือวงจรไฟฟ้าที่ใช้รางรถไฟที่อยู่ในตอนเป็นส่วนหนึ่งของวงจร มีแหล่งกำเนิดกระแสไฟที่ปลายด้านหนึ่งของตอนและมีอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสที่ปลายอีกด้านหนึ่ง รางรถไฟถูกคั่นด้วยฉนวนไฟฟ้าเพื่อแบ่งตอนของทางออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 2.4 ถ้ามีรถไฟวิ่งอยู่ในตอนแล้วชุดเพลาล้อที่กำลังสัมผัสบนรางทั้งสองจะลัดวงจรทำให้ อุปกรณ์ตรวจวัดว่าไม่มีกระแสไหลมาที่อุปกรณ์ตรวจจึงแปลความหมายได้ว่ามีรถไฟบนราง



รูปที่ 2.4 รางรถไฟถูกคั่นด้วยฉนวนไฟฟ้าเพื่อแบ่งตอนของทางออกจากกัน

(อ้างอิงโดย Pachl J.,2009)

2. อุปกรณ์นับเพลาล้อ (Axle Counters) ระบบนี้มีจุดนับจำนวนเพลาล้อที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านของตอน การตรวจวัดว่ามีรถเข้ามาในตอนทำโดยการเปรียบเทียบจำนวนเพลาล้อที่ผ่านจุดนับตรงตำแหน่งทางเข้ากับจำนวนเพลาล้อที่ออกจากจุดนับตรงตำแหน่งทางออกของตอน ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

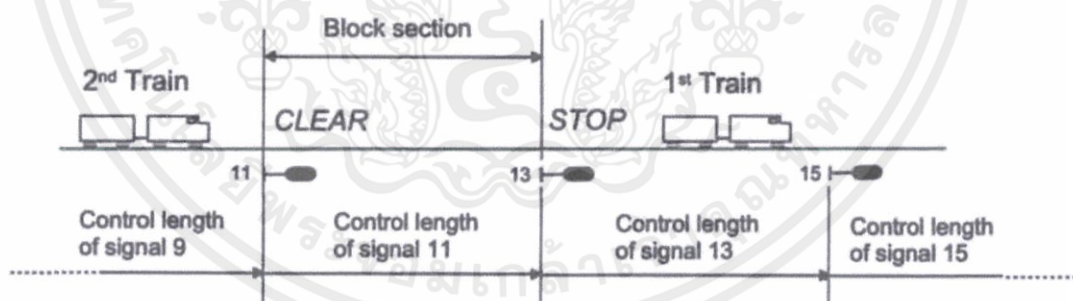
2.1.6 การเดินทางด้วยระบบตอนสัญญาณคงที่

ปัจจุบันการเดินทางด้วยระบบตอนสัญญาณคงที่เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในโลก การให้สัญญาณผ่านเสาสัญญาณประจำที่ ที่ติดตั้งบนทางรถไฟเป็นรูปแบบที่ใช้กันทั่วไป แต่ก็มีการใช้ระบบสัญญาณบนรถ (Cab Signal) ซึ่งเป็นการให้สัญญาณส่งไปที่ห้องพนักงานขับรถโดยตรงมากขึ้น โดยเฉพาะบนเส้นทางรถไฟความเร็วสูงที่ไม่สามารถมองเห็นสัญญาณประจำที่ในระยะทางไกลได้อย่างปลอดภัย

2.1.6.1 กฎพื้นฐานของการเดินทางในระบบตอนคงที่

ระบบตอนคงที่คือระบบตอนที่แบ่งเส้นทางรถไฟเป็นส่วนๆ มีความยาวคงที่ในแต่ละตอนได้รับการป้องกันการเข้าไปในตอนที่สัญญาณประจำที่หรือสัญญาณบนรถ ในการเคลียร์สัญญาณบนตอน เพื่อให้รถไฟวิ่งเข้าไปในตอนที่นั้นได้ โดยจะต้องทำตามข้อกำหนดดังนี้

1. รถไฟขบวนข้างหน้าต้องออกจากตอนไปแล้ว ดังรูปที่ 2.5
2. ในเส้นทางที่ใช้ Block Overlap รถไฟขบวนหน้าต้องแล่นผ่านและออกไปจาก Block Overlap หลังเสาสัญญาณของตอนต่อไปแล้ว ดังรูปที่ 2.6
3. รถไฟขบวนหน้าต้องได้รับการป้องกันการด้วยสัญญาณไฟแดง (Stop Signal) ของตอนที่กำลังใช้งานอยู่ ดังรูปที่ 2.5
4. รถไฟที่จะให้เคลื่อนที่เข้าไปในตอนที่ต้องได้รับการป้องกันการจากรถไฟที่วิ่งสวนทิศทางมาใน เส้นทางที่ไม่ได้ใช้ Block Overlap ระยะความยาวที่สัญญาณควบคุมเท่ากับระยะความยาวของตอนที่ดังรูปที่ 2.5 ตัวอย่างเช่น อเมริกาเหนือและรัสเซีย



รูปที่ 2.5 ระยะความยาวที่สัญญาณควบคุมเท่ากับระยะความยาวของตอนที่

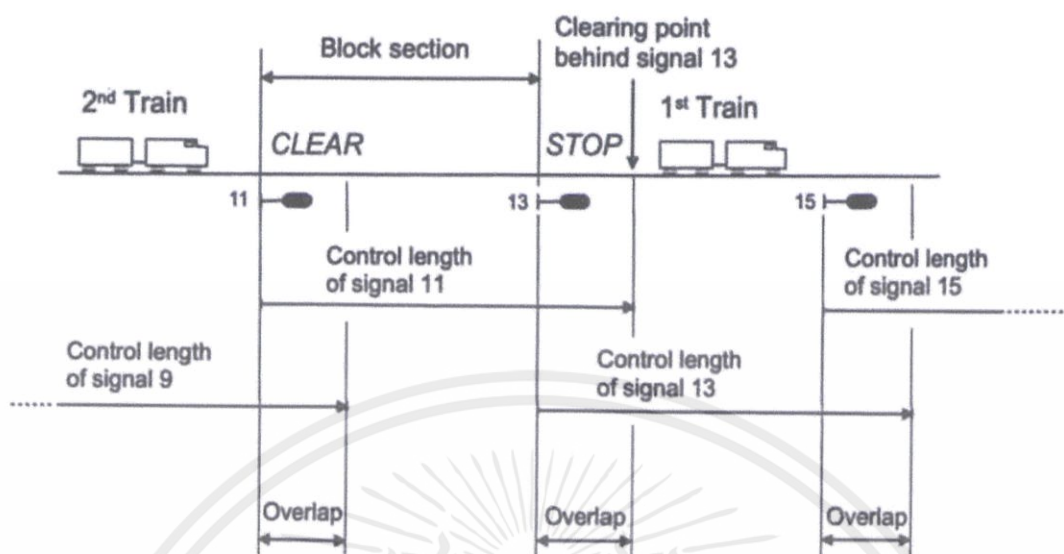
(อ้างอิงโดย Pachl J.,2009)

2.1.6.2 ระยะเหลื่อม

ระยะเหลื่อม (Overlap) คือระยะทางเพิ่มเติมของตอนที่ ที่ลำเข้าไปใน ตอนข้างหน้าแสดงดังรูปที่ 2.6 ระยะเหลื่อมนี้มีเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในกรณีที่พนักงานขับรถเห็นสัญญาณหยุดแต่ไม่สามารถเบรกรถให้หยุดได้ทัน ในการเคลียร์สัญญาณ (Clear Signal) บนตอนที่ ต้องไม่มีรถไฟอยู่บนความยาวที่ควบคุมทั้งหมดนี้โดยเสาสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ระยะทางเพิ่มเติมของตอนคงที่ที่ล้ำเข้าไปในตอนข้างหน้า
(อ้างอิงโดย Pachl J.,2009)

2.1.7 หลักการเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟ

ระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟ (Headway) ยิ่งมีระยะห่างยิ่งดี ยิ่งวิ่งเข้ายิ่งดีในแง่ของความปลอดภัย แต่ในแง่ของการให้บริการแล้วยิ่งแย่ เพราะทำให้เสียเวลารอนาน จึงทำให้ต้องระยะห่างที่น้อยที่สุด ที่ระดับความเร็วต่างๆ และมีการรับประกันความปลอดภัยได้

2.1.7.1 การรักษาระยะห่างโดยใช้ความสัมพันธ์ของระยะเบรกของสองขบวน

ระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟเท่ากับความแตกต่างของระยะเบรกของขบวนรถไฟที่วิ่งตามกันรวมกับระยะเหลือม โดยระยะเบรกเป็นสัดส่วนกับความเร็วของขบวนรถไฟในขณะนั้น ด้วยรูปแบบนี้ทำให้สามารถเดินรถไฟขนส่งผู้โดยสารด้วยความถี่มากที่สุดแต่ไม่ปลอดภัย เพราะหากขบวนหน้าเกิดหยุดกะทันหันเนื่องจากการชน ทำให้รถไฟขบวนหน้าหยุดก่อนไปถึงระยะเบรกของตนเอง ส่งผลให้รถขบวนที่ตามมามีระยะเบรกเหลือไม่พอ อาจทำให้ชนกับรถขบวนข้างหน้าได้ จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานจริง

2.1.7.2 การรักษาระยะห่างโดยใช้ Fixed Block

Fixed Block เป็นการแบ่งเส้นทางเดินรถเป็นส่วน ๆ หรือเป็นตอน (Block) โดยในแต่ละ Block จะมีรถไฟอยู่ได้ขบวนเดียว ระยะห่างของรถไฟสองขบวนใดๆ ที่วิ่งตามกัน จะเท่ากับระยะเบรกสูงสุดของรถขบวนหลังรวมกับความยาวของตอน ซึ่งอยู่ด้านหลังของรถไฟขบวนหน้ารวมกับระยะเพื่อความปลอดภัย โดยไม่เกี่ยวกับระยะเบรกของรถขบวนหน้าหรือตำแหน่งที่แท้จริงของรถขบวนหน้าแต่อย่างใด ขอเพียงแค่ทราบวาตอน ใดที่รถขบวนหน้าครอบครองอยู่เท่านั้น แต่ละตอน อาจยาวได้หลายร้อยเมตร รถขบวนหลังที่ความเร็วขณะนั้นจะต้องสามารถเบรกให้หยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนเข้าเขตของ Block ที่รถขบวนหน้าครอบครองอยู่ ในการใช้ Fixed Block นี้ หากต้องการให้รถวิ่งเข้าใกล้กันได้มากขึ้น (กล่าวคือ Headway น้อยลง) โดยยังคงมีความปลอดภัย ก็ต้องเพิ่มจำนวนของ Block ให้ถี่มากขึ้น หรือติดตั้งวงจรถนนรางให้มากขึ้น ซึ่งหมายถึงการลงทุนที่มากขึ้นด้วย แต่ถ้าถี่มากไปความเร็วที่รถไฟก็จะลดลง เพราะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างระบบสั่งการกับรถไฟ

2.1.7.3 การรักษาระยะห่างโดยใช้ Absolute Breaking Distance/Moving block

ในระบบนี้ ระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟเท่ากับระยะเบรกของรถขบวนที่ตามหลังรวมกับระยะ Overlap เสมือนหนึ่งว่ารถขบวนข้างหน้าอาจหยุด ณ ตำแหน่งปัจจุบันทันที วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของการรักษาระยะห่างของรถไฟให้น้อยที่สุดและยังคงความปลอดภัยไว้โดยอาศัยความทันสมัยของเทคโนโลยีการทำงานของระบบสัญญาณวิทยุ (Radio-Based Train Control) ในปัจจุบัน ทำให้ระบบนี้น่าจะกลายเป็นมาตรฐานของระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟในเมืองต่อไป

2.1.8 ระบบตอนสัญญาณแบบไม่คงที่ (Moving Block Signal)

การออกแบบรถไฟโดยกำหนดความยาวตอนคงที่ (Fixed Blocks) นั้นเป็นที่นิยมมาแต่เดิมอย่างแพร่หลาย แม้จะใช้งานได้ดีเป็นอย่างไรก็ดี แต่มีข้อเสียอยู่หลายประการ อาทิ มีราคาแพง บำรุงรักษายาก ไม่สะดวกในการตรวจสอบหาข้อบกพร่องเมื่อเกิดการชำรุด รวมถึงขีดความสามารถในการขนส่งของระบบจะตายตัว เช่น หากออกแบบเสตเวย์ 2 นาที เส้นทางนั้นจะรองรับขบวนได้ 30 ขบวนต่อชั่วโมง และในทางปฏิบัติอาจรองรับได้น้อยกว่านั้น เนื่องจากขบวนรถต้องเสียเวลาหยุดรับส่งผู้โดยสารที่สถานี ประโยชน์อย่างเห็นได้ชัดของระบบตอนสัญญาณแบบไม่คงที่คือ ค่าติดตั้งระบบและความสะดวกในการตรวจสอบข้อบกพร่องเมื่อระบบเกิดปัญหา

2.1.8.1 หลักการทำงานของระบบตอนสัญญาณไม่คงที่

ระบบควบคุมการเดินขบวนรถแบบตอนสัญญาณไม่คงที่จะส่งรหัสพิกัดความเร็วจากศูนย์ควบคุมการเดินรถซึ่งเรียกภาษาอังกฤษว่า Communication Based Train Control (CBTC) หรือ Transmission Based Signaling (TBS) แทนที่จะส่งรหัสพิกัดความเร็วโดยใช้วงจรไฟตอน ศูนย์ควบคุมการเดินรถจะทำหน้าที่กำหนดความเร็วและความยาวของตอนสัญญาณให้เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและความเร็วของรถแต่ละขบวนที่อยู่ภายใต้การควบคุม

หลักการทำงานและวิธีการส่งสัญญาณวิทยุในระบบตอนสัญญาณไม่คงที่แบบ CBTC จะแบ่งทางรถไฟออกเป็นพื้นที่หรือช่วงควบคุมการเดินรถ แต่ละพื้นที่มีคอมพิวเตอร์ควบคุมซึ่งติดต่อกับรถทุกขบวนที่อยู่ภายใต้การควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุ รถทุกขบวนจะส่งรหัสวิทยุบอกเลขขบวน (Identity) ตำแหน่งของขบวน ทิศทางวิ่งและความเร็วจริงไปยังศูนย์ควบคุมคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ควบคุมจะคำนวณและจัดระยะห่างระหว่างรถแต่ละขบวนแล้วส่งรหัสพิกัดความเร็วกลับไปยังรถที่วิ่งตามหลัง แสดงดังรูปที่ 2.7

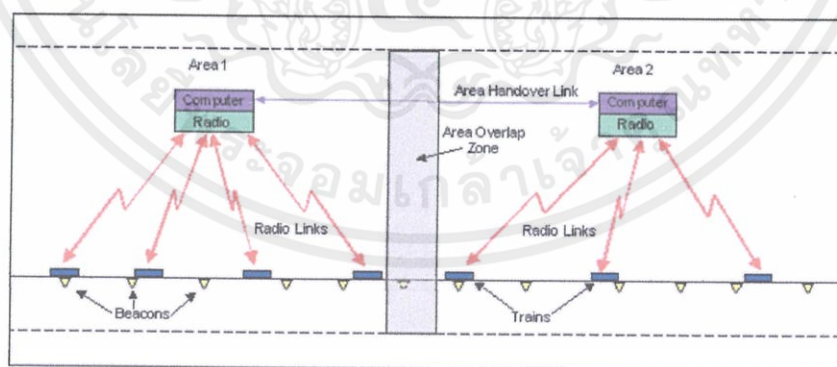
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งรหัสวิทยุระหว่างขบวนรถกับศูนย์ควบคุมจะดำเนินการต่อเนื่อง เพื่อให้ศูนย์ควบคุม สามารถส่งสัญญาณบอกตำแหน่งของรถที่วิ่งอยู่ข้างหน้าพร้อมทั้งบอกว่าจะต้องวิ่งด้วยความเร็วเท่าใดจึงจะเบรกได้โดยไม่ชนท้ายกัน ความจริงแล้วระบบนี้คือการบอกระยะทางที่ขบวนจะสามารถวิ่งได้ด้วยพิกัดความเร็วที่กำหนด (Distance-to-go) แบบตอนสัญญาณเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีความยาวตอนและพิกัดความเร็วเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของขบวนรถที่เดินอยู่ในพื้นที่ควบคุมนั่นเอง

ในกรณีที่ระบบการสื่อสารขัดข้อง ทำให้ข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมกับขบวนรถขาดหายไป คอมพิวเตอร์บนรถจะอาศัยพิกัดความเร็วที่ได้รับครั้งสุดท้ายเบรกขบวนรถ ดังนั้นระบบตอนสัญญาณไม่คงที่ก็ยังคงรักษาคุณสมบัติของตอนสัญญาณแบบคงที่ไว้ประการหนึ่ง นั่นคือต้องจัดระยะห่างระหว่างขบวนรถที่วิ่งตามกันให้สามารถหยุดได้โดยไม่ชนท้ายกัน

การส่งต่อขบวนรถระหว่างพื้นที่ควบคุมการเดินทางจะดำเนินการผ่านเครือข่ายวิทยุและคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ควบคุม โดยต้องจัดให้มีพื้นที่ควบคุมทับซ้อนระหว่างศูนย์ควบคุม (Area Overlap) เมื่อขบวนรถเคลื่อนเข้าสู่พื้นที่ทับซ้อน คอมพิวเตอร์ของศูนย์ควบคุมการเดินทางเดิมจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ของศูนย์ควบคุมที่จะมารับช่วงต่อให้เตรียมรับสัญญาณจากขบวนรถที่เดินเข้ามาใหม่และจะแจ้งให้ขบวนรถเปลี่ยนรหัสขบวนรถ (ID) ให้ตรงกับรหัสของพื้นที่ควบคุมใหม่ เมื่อศูนย์ควบคุมใหม่รับทราบรหัสขบวนรถแล้วก็ป็นอันเสร็จสิ้น

ระบบตอนสัญญาณไม่คงที่อีกแบบหนึ่งที่ได้พัฒนาขึ้น คือแบบติดตั้งคอมพิวเตอร์บอกตำแหน่งของขบวนรถไว้บนรถ รถขบวนหนึ่งจะรู้ตำแหน่งของตนเองแล้วปรับระยะห่างและพิกัดความเร็วไปตามตำแหน่งและความเร็วของรถขบวนอื่นที่เดินร่วมทาง ระบบนี้มีข้อได้เปรียบที่ติดตั้งอุปกรณ์เดินรถภาคพื้นดินน้อยกว่า แต่ปริมาณข้อมูลที่ต้องส่งถึงกันระหว่างขบวนรถจะมากกว่าระบบที่กล่าวข้างต้นมากมายซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบของเทคโนโลยีแบบนี้



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของระบบตอนสัญญาณไม่คงที่
(<http://www.railway-technical.com/sigtxt3.shtml>)

2.2 วงจรไฟตอน (Track Circuit)

วงจรไฟตอน เป็นวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายสำหรับตรวจสอบความเคลื่อนไหวของขบวนรถไฟ วงจรแบบแรกสุด อาศัยการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าที่ราวทั้งสองข้างของรางรถไฟ ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรไฟตอนสำหรับรางรถไฟแบบเชื่อมยาว โดยอาศัยคลื่นวิทยุเป็นตัวตรวจจับความเคลื่อนไหว ระบบวงจรไฟตอนสามารถนำไปใช้ในระบบติดตามความเคลื่อนไหวขบวนรถ และระบบอาณัติสัญญาณประจำที่ในเขตสถานีรถไฟได้

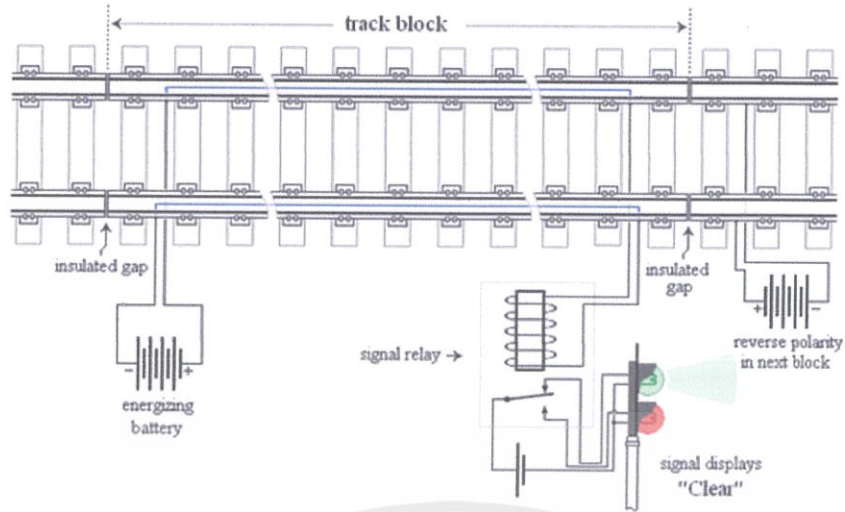
ราว (Rail) หมายถึงเหล็กเส้นที่เมื่อนำมาประกอบกับหมอน (Sleeper) จะได้เป็นรางรถไฟ (Track)

2.2.1 หลักการทำงาน

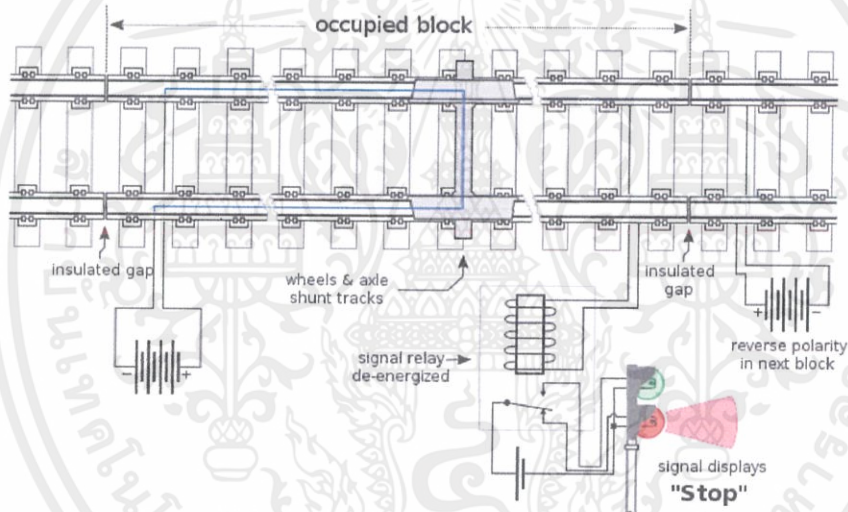
วงจรไฟตอนปกติจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ปลายรางด้านหนึ่ง ซึ่งอีกด้านต่อกับรีเลย์หรืออุปกรณ์ควบคุมที่ทำงานอย่างเดียวกัน ซึ่งในสถานีรถไฟหรือย่านรับส่งสินค้าจะแบ่งรางรถไฟออกเป็นตอนๆ แต่ละตอนคั่นด้วยฉนวนไฟฟ้าเรียกว่าตอนสัญญาณ ขณะที่ไม่มีขบวนรถแสดงดังรูปที่ 2.8 รีเลย์จะทำงานและสามารถต่อเข้ากับระบบแสดงผลซึ่งจะแสดงว่าไม่มีขบวนรถ และสามารถให้สัญญาณอนุญาตแก่ขบวนรถที่จะเดินเข้าสู่ตอนนั้นได้ ในขณะที่ขบวนรถเดินเข้าสู่ตอนนั้น แสดงดังรูปที่ 2.9 ก็จะทำให้กระแสไหลจากราวข้างหนึ่งไปราวอีกข้างผ่านเพลาล้อ ทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน เมื่อให้สัญญาณอนุญาตก็จะไม่แสดงท่าอนุญาตจนกว่าขบวนรถจะพ้นตอนสัญญาณดังกล่าวไปแล้ว

ตอนสัญญาณแต่ละตอนจะให้กระแสไฟฟ้าในลักษณะสลับขั้วกัน กล่าวคือ ตอนหนึ่ง ราวซ้ายขั้วบวก (ราวขวาขั้วลบ) ตอนถัดไป ราวซ้ายก็จะต้องเป็นขั้วลบ (ราวขวาขั้วบวก) ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า หากฉนวนระหว่างตอนสัญญาณเสียหาย กระแสไฟฟ้าแทนที่จะไหลจากตอนข้างเคียงไปยังอีกตอนหนึ่ง แล้วทำให้รีเลย์ทำงานเหมือนหนึ่งมีขบวนรถทับเส้นทาง ทั้งนี้เพื่อเป็นมาตรการความปลอดภัยในการเดินรถ วงจรไฟตอนบางแบบไม่ใช่ไฟฟ้ากระแสตรง หากแต่อาศัยไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ตามกำหนด โดยมากจะอยู่ในช่วง 91 Hz ถึง 10 KHz จากนั้นจึงต่อเข้ากับรีเลย์โดยมีตัวเก็บประจุกันไม่ให้ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปได้ พร้อมทั้งมีวงจรกรองเพื่อให้สามารถตรวจสอบความเคลื่อนไหวของขบวนรถได้ดียิ่งขึ้น

ในกรณีรางรถไฟแบบเชื่อมยาวตลอด การจะอาศัยวงจรไฟตอนแบบเดิมเป็นไปได้ยาก ดังนั้น อาจจะใช้วิธีการปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ต่างกัน และจัดให้มีวงจรรับกระแสที่ตอบสนองต่อความถี่ที่ถูกต้อง ไม่ตอบสนองต่อความถี่อื่น โดยแต่ละตอนจะใช้กระแสไฟฟ้าต่างความถี่กัน



รูปที่ 2.8 แผนภาพการทำงานของวงจรไฟตอนขณะที่ไม่มีขบวนรถ
(อ้างอิงโดย American Railway Association, New York (1922))



รูปที่ 2.9 แผนภาพการทำงานของวงจรไฟตอนที่มีขบวนรถ
(อ้างอิงโดย American Railway Association, New York (1922))

2.3 ระบบควบคุม (Control System)

2.3.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open – loop Control System) หรือ ระบบควบคุมแบบไม่ป้อนกลับ (Non-Feedback Control System)

เป็นระบบที่ควบคุมโดยการคาดคะเนของมนุษย์ เช่น การควบคุมอุณหภูมิในห้องโดยเตาผิง (ถ้าเตาผิงมีปุ่มให้ตั้งเวลา เปิดและปิดเท่านั้น) และอีกอย่างหนึ่งคือ ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบควบคุมซึ่งไม่มีการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ต้องการกับสิ่งที่ได้ออกมาจากระบบในทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุม สิ่งที่ต้องการหมายถึงสัญญาณป้อนเข้า (Input) และสิ่งที่ได้จากระบบเรียกว่าสัญญาณออกจากระบบ (Output)

2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด(Close – loop Control System) หรือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ(Feedback Control System)

ระบบแบบป้อนกลับเป็นระบบที่มีการ “เปรียบเทียบกับสิ่งที่ได้กับสิ่งที่ต้องการ” ผลต่างที่เกิดขึ้นนี้ เรียกมันว่า ค่าความผิดพลาดของระบบ (Error) จากนั้นระบบจะทำการป้อนกลับมายัง อินพุตอีกครั้งหนึ่ง เพื่อแก้ไขความผิดพลาด จึงเรียกว่า ระบบแบบป้อนกลับ (Feedback Control System)

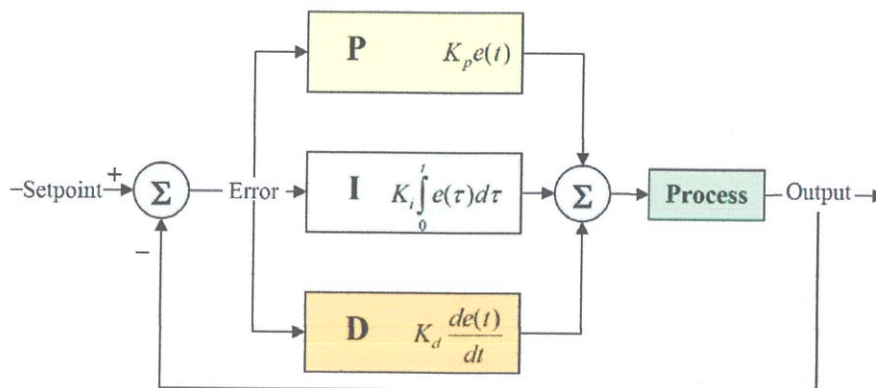
2.3.2.1 ระบบควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative)

PID คือส่วนหนึ่งของระบบควบคุมแบบวงปิด หรือ ว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งฝังผ่านพ้นไปและค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ PID บางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง แสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบPID

(อ้างอิงโดย <http://bme-4inone.blogspot.com/2010/07/pid.html>)

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสาม ตามสมการที่ 2.1

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.1)$$

เมื่อ

P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

I_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

D_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

การควบคุมแบบ PID จะประกอบไปด้วยส่วนการควบคุมที่สำคัญด้วยกัน คือ P มาจากคำว่า Proportional Control Action (P - Action) เป็นการกำหนดการทำงานของ Output ดังสมการที่ 2.2 ให้เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์กับค่า Error หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้ ดังสมการที่ (2.3)

$$\text{Output} = (\text{Error} \times 100) / P_b \quad (2.2)$$

$$\text{Error} = (\text{ค่าSet point}) - (\text{ค่าที่วัดได้}) \quad (2.3)$$

ในทางปฏิบัติ P Action จะเข้าใกล้ค่าหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่ค่า Set point จริง ซึ่งเรียกว่าค่า Offset บางครั้งเรียกว่า "อัตราการขยาย" จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือเรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน ดังสมการที่ (2.4) ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_p สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.4)$$

เมื่อ

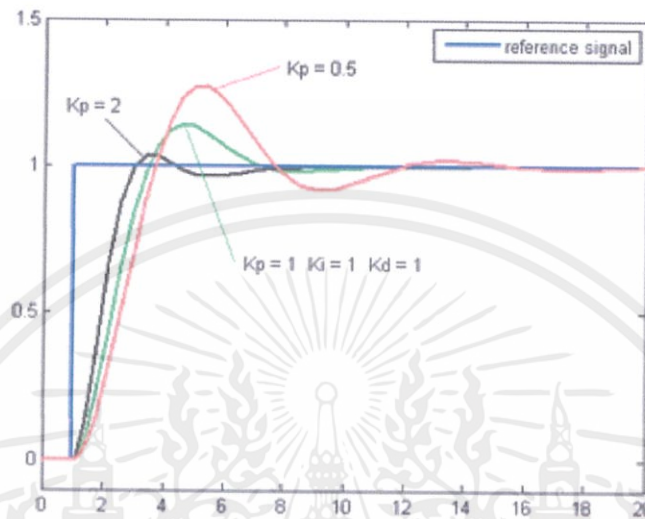
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ค่าความผิดพลาด = $SP - PV$

t : เวลา



รูปที่ 2.11 P-Action

(อ้างอิงโดย <http://bme-4inone.blogspot.com/2010/07/pid.html>)

มาจากคำว่า Integral Control Action (I-Action) จะใช้ในการแก้ปัญหา Offset ระบบควบคุม I Action จะเข้าไปช่วยกำจัดค่า Offset ที่ยังคงมีอยู่ให้ระบบเข้าสู่ Set point โดยค่า Output ที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับ Integral time ที่กำหนดขึ้นมาตั้งแต่ต้น หากกำหนดให้ Integral time น้อย ระบบจะเข้าสู่ Set point ได้อย่างรวดเร็วแต่จะเกิดการกระเพื่อม Hunting ของ Process มากด้วย และหากกำหนดให้ Integral time มากจะเกิด Hunting น้อย แต่จะใช้เวลานานกว่าระบบจะเข้าสู่ Set point

บางครั้งเรียกว่า "Treset" เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, K_i ดังสมการที่ (2.5) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.5)$$

เมื่อ

I_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

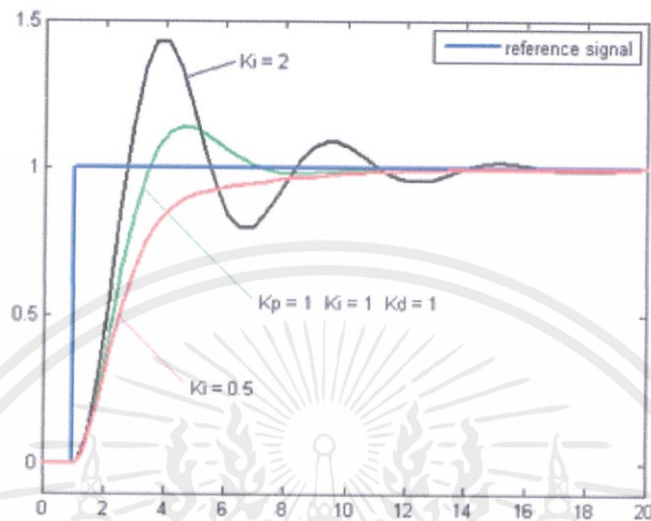
K_i : อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e: ความผิดพลาด = SP - PV

t: เวลา

T: ตัวแปรปริพันธ์หุน



รูปที่ 2.12 I-Action

(อ้างอิงโดย <http://bme-4inone.blogspot.com/2010/07/pid.html>)

เทอมปริพันธ์จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้

D มาจากคำว่า Derivative Control Action (D-Action) ในกรณีที่มีการรบกวนระบบจากภายนอก Disturbance เป็นผลให้ Process ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด เราควรจะใช้การควบคุมแบบ D Action Derivative ซึ่งจะมีการตอบสนองที่รวดเร็ว เป็นผลให้ระบบเข้าสู่ Set Point ได้รวดเร็วขึ้น

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุก ๆ เวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d ดังแสดงในสมการที่ (2.6) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.6)$$

เมื่อ

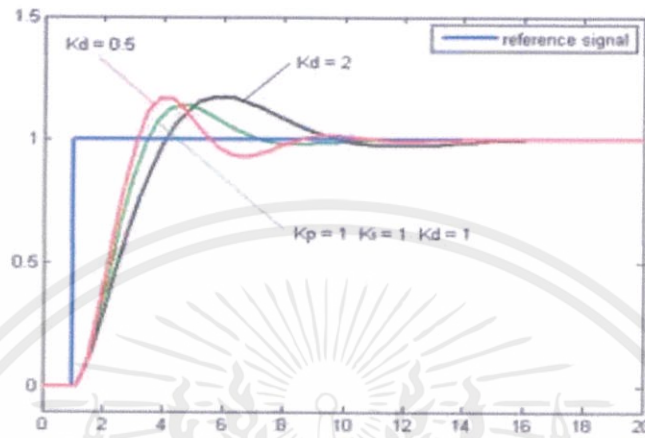
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d : อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ความผิดพลาด = $SP - PV$

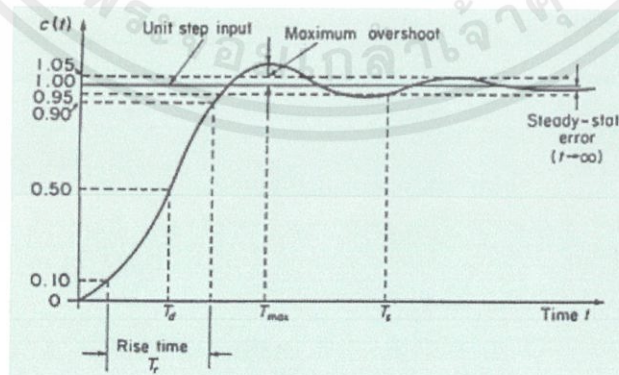
t : เวลา



รูปที่ 2.13 D-Action

(อ้างอิงโดย <http://bme-4inone.blogspot.com/2010/07/pid.html>)

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจากเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ



รูปที่ 2.14 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ Feedback Control

(อ้างอิงโดย <https://sites.google.com/site/suppapongclub/ceaa-luk-rabbpid>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ FeedBack จะใช้สัญญาณอินพุทแบบ Unit Step ใส่เข้าไปในระบบเพื่อใช้วิเคราะห์ transient ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยสามารถตรวจจากลักษณะ ดังรูปที่ 2.14

1. Steady State Performance ค่านี้จะได้จากการหาค่า steady-state error ของการตอบสนองต่อฟังก์ชันอินพุทพื้นฐาน

2. Transient Performance ค่านี้จะวิเคราะห์โดยการใส่ unit-step function เป็นอินพุทอ้างอิงและจะได้ผลตอบสนองดังรูป ลักษณะที่สำคัญของผลตอบสนองนี้ได้แก่

- Overshoot เป็นค่า error ที่มากที่สุดระหว่างอินพุทและเอาต์พุท ค่านี้ จะใช้ในการประมาณความเสถียรของระบบ ค่า overshoot จะวัดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุทอ้างอิงดังสมการที่ (2.7)

$$\text{Percent overshoot} = \text{Maximum overshoot} / \text{Final desired value} \times 100 \quad (2.7)$$

- Time delay ค่า time delay t_d เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเอาต์พุทมีค่าเป็น 50 % ของค่าอินพุทอ้างอิง

- Rise time ค่า rise time t_r เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เอาต์พุทมีค่าเป็น 10% จนถึง 90% ของค่าอินพุทอ้างอิง

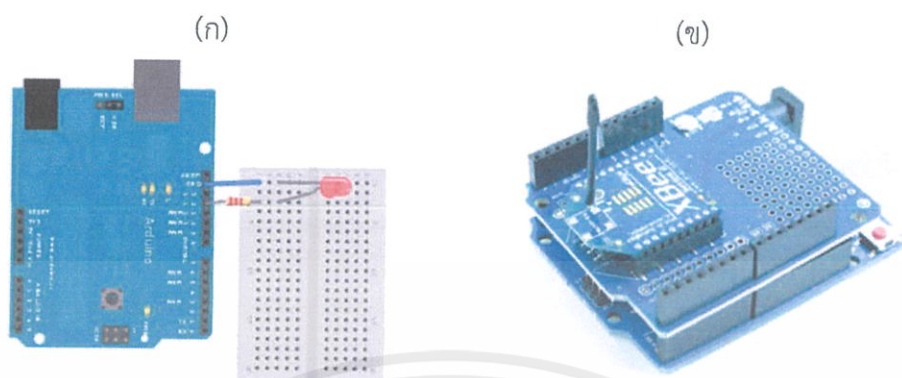
- Setting time ค่า setting time t_s เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของเอาต์พุทลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยปกติแล้วขอบเขตนี้จะอยู่ในช่วง 5% ของอินพุทอ้างอิง นอกจากนี้ยังมีลักษณะที่สำคัญอื่น ๆ อีก เช่น damping ratio, damping factor และ undamped natural frequency

2.4 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดังรูปที่ 2.15(ก)) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่าง (ดังรูปที่ 2.15(ข)) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino

Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



รูปที่ 2.15 บอร์ด Arduino ต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ

(ก) บอร์ด Arduino ต่อกับ LED (ข) บอร์ด Arduino ต่อกับ XBee Shield

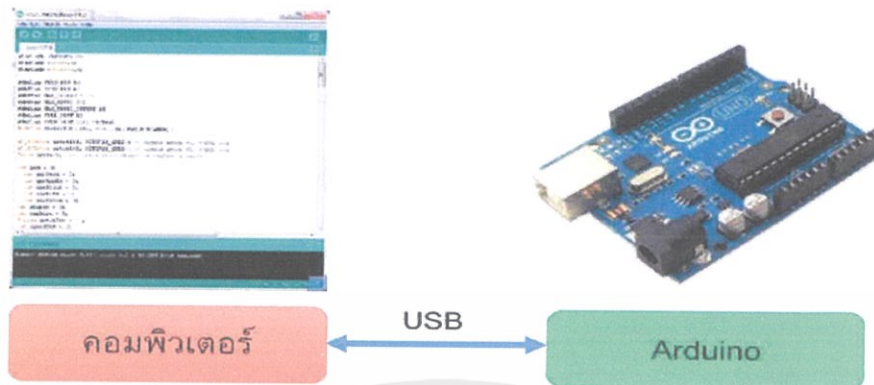
(อ้างอิงโดย <http://paiboondev.blogspot.com/p/arduino.html>)

2.4.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

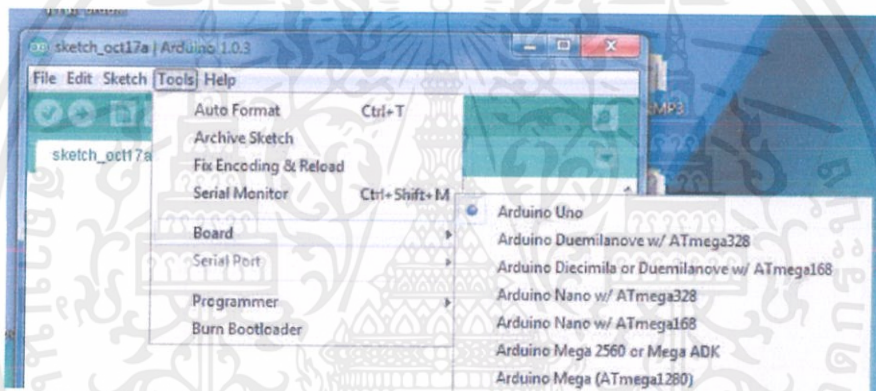
1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. ราคาไม่แพง
5. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.4.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

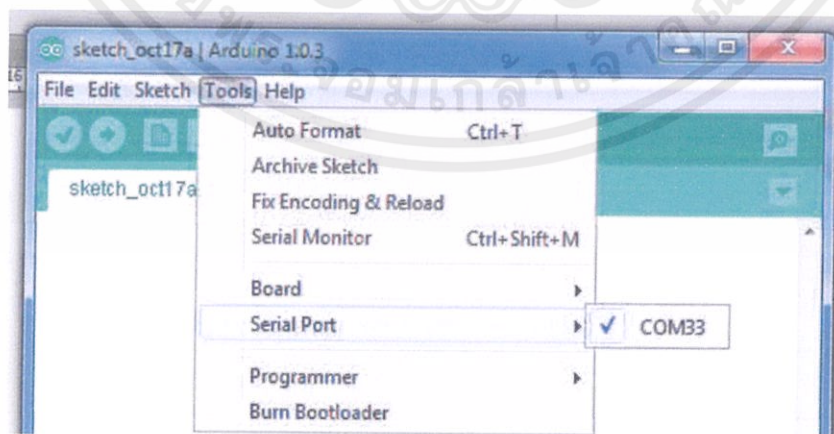
1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software
2. หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ ดังรูปที่ 2.17 และหมายเลข Com port ดังรูปที่ 2.18
3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.16 รูปแบบการเขียนโปรแกรม Arduino
(อ้างอิงโดย <http://paiboonddev.blogspot.com/p/arduino.html>)

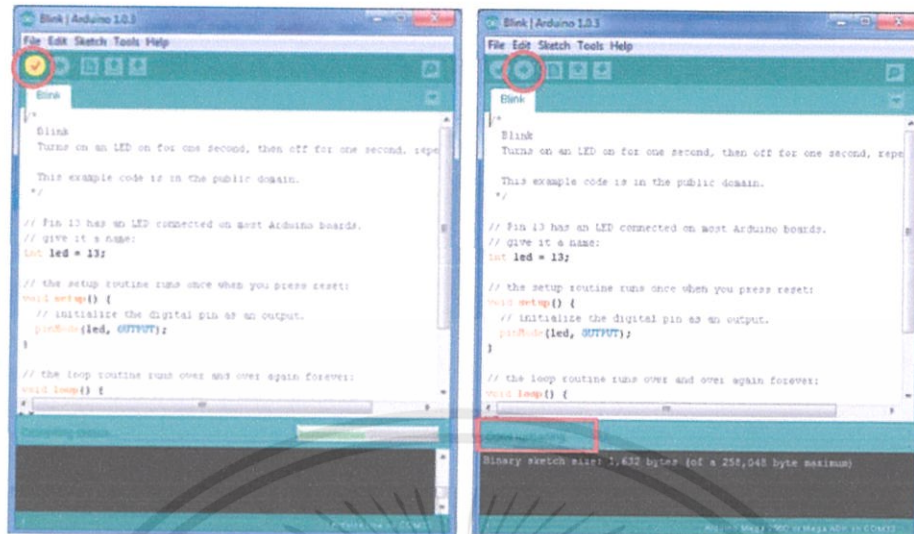


รูปที่ 2.17 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload
(อ้างอิงโดย <http://paiboonddev.blogspot.com/p/arduino.html>)



รูปที่ 2.18 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด
(อ้างอิงโดย <http://paiboonddev.blogspot.com/p/arduino.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



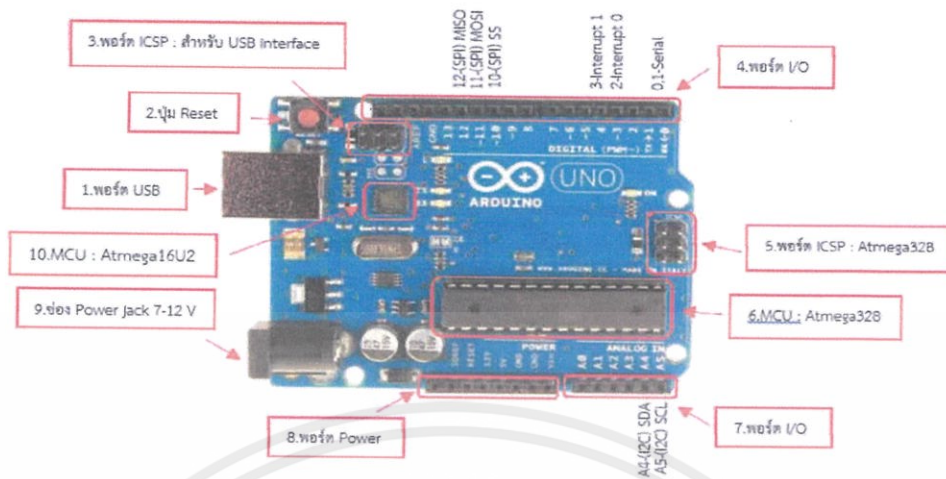
รูปที่ 2.19 การ Compile และ Upload โค้ดโปรแกรม
(อ้างอิงโดย <http://pailboondev.blogspot.com/p/arduino.html>)

2.4.3 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

ดังรูปที่ 2.20

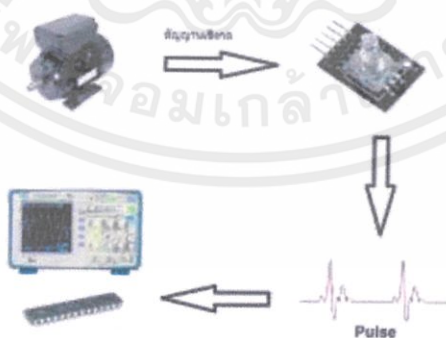
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 Layout & Pin out Arduino Board
 (อ้างอิงโดย <http://paiboonddev.blogspot.com/p/arduino.html>)

2.5 เอ็นโคดเดอร์ (Encoder)

Encoder เป็นเซ็นเซอร์ตรวจสอบการหมุน กล่าวได้ว่าการใช้งานหลักๆ ที่สำคัญส่วนใหญ่ใช้กับการหมุน โดยสามารถตรวจสอบการหมุนได้ 2 แบบคือ เชิงเส้น (Linear) และ เชิงมุม (Angular) แต่เนื่องจากในตลาดทั่วไปนิยมใช้แบบ Angular encoder ทำให้ Encoder จะหมายถึงแบบ Angular หลักการง่ายๆ ของ Encoder คือ Encoder จะรับสัญญาณเชิงกล จากการหมุนต่าง ๆ มา แปลให้อยู่ในรูปแบบของ Pulse ซึ่งเราสามารถนำ Pulse ที่ได้ไปใช้งานต่อ



รูปที่ 2.21 หลักการ Encoder

(อ้างอิงโดย https://mcu56.learninginventions.org/?page_id=256)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

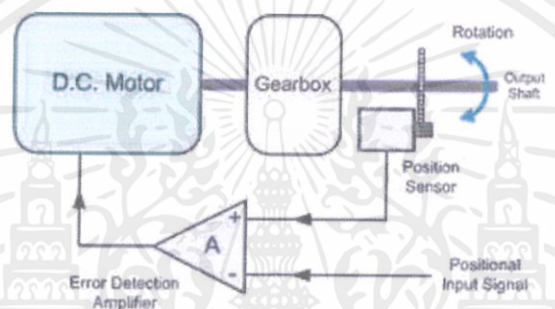
จากรูปที่ 2.21 Encoder จะแปลงสัญญาณเชิงกลที่ได้ให้เป็นสัญญาณเชิงไฟฟ้าที่อยู่ในรูปพัลส์ (Pulse)

2.5.1 หน้าที่หลักของ Encoder

การทำงานของเอนโค้ดเดอร์จะเกี่ยวข้องกับการหมุนทั้งสิ้น

1. ตรวจวัดความเร็วรอบ (Speed)
2. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation)
3. มุมของการหมุน
4. จำนวนรอบของการหมุน

ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ระบบ Dc Servo Motor ที่มีการป้อนกลับตำแหน่งและความเร็ว

(อ้างอิงโดย <http://bmesensor.blogspot.com/p/potentiometer-or-potentiometric.html>)

2.5.2 ชนิดของ Encoder

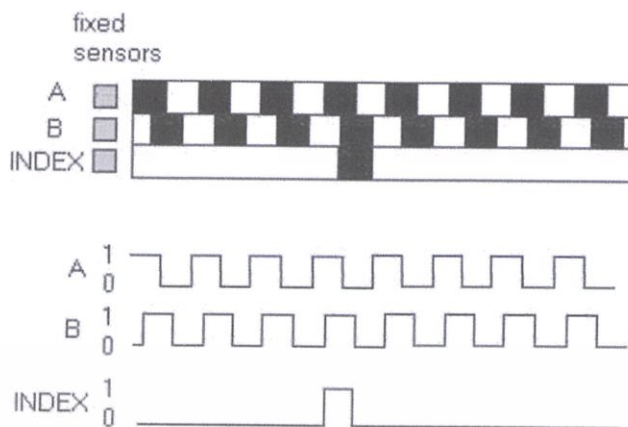
ชนิดของ Encoder ที่ใช้อยู่ทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.5.2.1 Incremental Encoder

Incremental Encoder เป็นเอนโค้ดเดอร์ที่รูปแบบสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งจะไม่เหมือนกับไซน์เวฟ โดยจำนวนพัลส์ที่ออกมานั้น จะมีความสัมพันธ์กับระยะการเคลื่อนที่ ตำแหน่ง ระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง นอกจากนี้ยังสามารถระบุได้ถึงทิศทางการหมุนของตัวเอนโค้ดเดอร์ได้ว่าจะ หมุน ตามเข็มนาฬิกา หรือ ทวนเข็มนาฬิกา โดยอาศัยการตรวจจับทิศทางการหมุนจากมุมเฟสของสัญญาณเอาต์พุต A กับ B ว่าสัญญาณใดเกิดก่อนกัน ซึ่งจะมีมุมเฟสที่ต่างกันอยู่ 90 องศา

เอนโค้ดเดอร์แบบนี้ มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถจดจำตำแหน่งแกนหมุนของตัวเองได้ว่าอยู่ที่จุดใด ด้วยเหตุนี้การหมุนกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น Homing Point นั้นจะทำได้ยาก จึงต้องอาศัยการเก็บข้อมูลพัลส์ตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อหาค่าตำแหน่ง ซึ่งในบางครั้งอาจจะอ้างอิงจากจุด Zero Point ซึ่งจะสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นทุกการหมุน 1 รอบ แล้วค่อยดูว่าหมุนไปทิศทางใด ระยะทางเท่าไร จากจุดนี้ แสดงดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 สัญญาณพัลส์ที่เกิดจาก Incremental Rotary Encoder

(อ้างอิงโดย <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-rotary-encoder/>)

2.5.2.2 Absolute Encoder

Absolute Encoder เป็นเอ็นโค้ดเดอร์ที่ออกแบบมาให้มีรูปแบบสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นลักษณะของการเข้ารหัส เพื่อต้องการแก้ปัญหาของ Incremental Encoder เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของ Incremental Encoder ไม่สามารถระบุตำแหน่งพัลส์กับตำแหน่งองศาของแกนเอ็นโค้ดเดอร์ได้ ซึ่งแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยการใช้ Absolute Rotary Encoder ซึ่งจะใช้รหัสแทนสัญญาณพัลส์ โดยรหัสเหล่านี้ ก็จะมีหลากหลายรูปแบบ เช่น BCD, Binary, Gray Code ซึ่งจะสามารถแทนค่าตำแหน่งองศาที่แกนของเอ็นโค้ดเดอร์หยุดอยู่ได้

นอกจากนี้ยังเลือกเป็นสัญญาณแบบขนาน หรือ อนุกรม ก็ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ถึงแม้ว่าจะหยุดจ่ายไฟ และ จ่ายไฟเข้าไปใหม่ก็ยังสามารถบ่งบอกได้ว่า ตำแหน่งองศาที่อยู่ นั้น คือเท่าใด ดังรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25

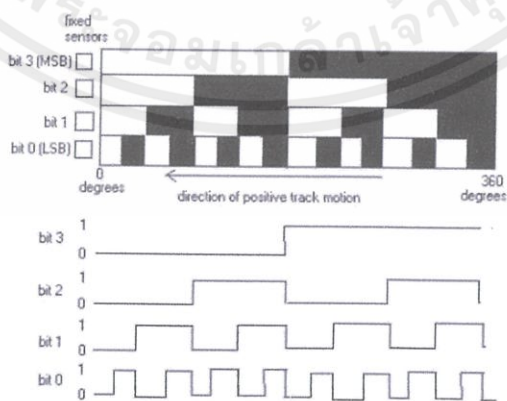
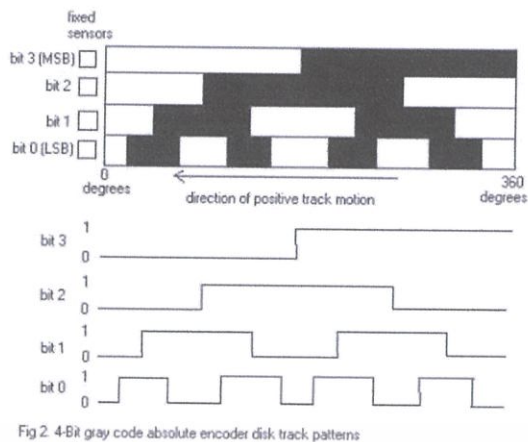


Fig 3 4-Bit binary code absolute encoder disk track patterns

รูปที่ 2.24 สัญญาณเอาต์พุตแบบรหัส Binary จำนวน 4 บิต ของ Absolute Encoder

(อ้างอิงโดย <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-rotary-encoder/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

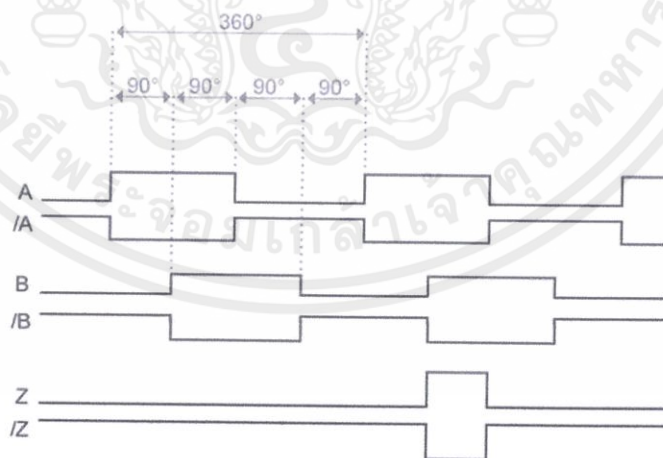


รูปที่ 2.25 สัญญาณเอาต์พุตแบบรหัส Gray จำนวน 4 บิต ของ Absolute Encoder
(อ้างอิงโดย <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-rotary-encoder/>)

2.5.3 หลักการทำงานของ Encoder

Encoder จะมีหน้าที่เปลี่ยนการหมุนที่เป็นเชิงกลให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของพัลส์ (Pulse) เพื่อนำไปใช้แสดงผลหรือควบคุมเคาท์เตอร์ต่อไป

Encoder เป็นเซ็นเซอร์สำหรับการวัดจำนวนรอบ หรือ ระยะทางการหมุนและความเร็วของมอเตอร์สัญญาณพัลส์ Encoder ประกอบด้วย สัญญาณ A B และ Z ซึ่งสัญญาณ A กับ B จะต่างเฟสกัน 90 องศา ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน เช่น ถ้าหมุนตามเข็มนาฬิกา เฟส A จะนำหน้าเฟส B 90 องศา ในทิศทางการกลับกัน เฟส A ล้าหลัง เฟส B 90 องศา ส่วนสัญญาณ Z จะให้สัญญาณออก 1 พัลส์ทุกๆ 1 รอบซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 เฟส B จะนำเฟส A อยู่ 90 องศา
(อ้างอิงโดย https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)

1000 P/R จำนวนพัลส์ต่อรอบ หมายถึง จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในการหมุนครบหนึ่งรอบ ปรกติแล้วจะมีการระบุที่ตัว motor หรือ encoder เช่น 1000 p/r หมายถึง 1000 พัลส์ ต่อรอบ กล่าวคือมี พัลส์ ออกมา 1000 พัลส์ ก็ต่อเมื่อหมุนไป 1 รอบ และ พัลส์ Z จะออกมา 1 พัลส์ สัญญาณ A B Z อาจจะมีอยู่ในรูปของ differential ขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้

2.5.4 อินเตอร์รัพท์

อินเตอร์รัพท์ คือ ความสามารถในการทำให้ไมโครโพรเซสเซอร์ หรือ หน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) หยุดพักจากงานที่กระทำอยู่ในปัจจุบัน แล้วกระโดดไปทำงานอีกงานหนึ่งจนเสร็จ แล้วจึงกระโดดกลับมาทำงานชิ้นเดิมที่หยุดพักไว้ต่อไป

2.5.4.1 Interrupt vectors table

Interrupt vectors table เป็นส่วนที่เก็บค่าตำแหน่งของ interrupt service routine ไว้เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ เข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการตรวจสอบไปยัง interrupt vector table เพื่อหาตำแหน่ง หรือ address เริ่มต้นในการทำงานของ interrupt service Routine

2.5.4.2 Interrupt Service Routine (ISR) หรือ Interrupt Handler

Interrupt Service Routine (ISR) คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เข้ามา เมื่อหน่วยประมวลผลได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จาก NVIC หน่วยประมวลผลจะหยุดการทำงานของโปรแกรมปัจจุบันลงชั่วคราว แล้วเปลี่ยนไปทำงานยัง ISR ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ ที่เข้ามา โดยหาตำแหน่งของ ISR ในหน่วยความจำจาก Vector Table เมื่อทำงาน ISR เสร็จแล้วหน่วยประมวลผลก็จะกลับมาทำงานที่ทำค้างอยู่ก่อนที่จะเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์

2.5.4.3 ชนิดของอินเตอร์รัพท์

แบ่งตามชนิดของการเกิดได้ดังนี้ อินเตอร์รัพท์จากภายนอก เช่น การเปลี่ยนสถานะลอจิกของพอร์ตไดพอร์ตหนึ่ง และ อินเตอร์รัพท์จากภายใน เช่น อินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากทามเมอร์

2.5.4.4 การควบคุมอินเตอร์รัพท์

การควบคุมอินเตอร์รัพท์ คือการควบคุมว่าจะให้หน่วยประมวลผลตอบสนองต่ออินเตอร์รัพท์หรือไม่ แบ่งได้ดังนี้

1. Disable Interrupt คือการควบคุมให้หน่วยประมวลผลไม่ตอบสนองต่ออินเตอร์รัพท์ เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์ขึ้นหน่วยประมวลผลจะปล่อยผ่านอินเตอร์รัพท์นั้น
2. Enable Interrupt คือการควบคุมให้หน่วยประมวลผลตอบสนองต่ออินเตอร์รัพท์ไปตามปกติ

การควบคุมอินเทอร์เน็ตจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้หน่วยประมวลผลกระทำ
คำสั่งที่ไม่สามารถหยุดการทำงานได้ เช่น การนับเวลา หากมีการอินเทอร์เน็ตเกิดขึ้นจะทำให้การนับ
เวลาคลาดเคลื่อนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

3.1 ความต้องการของระบบ

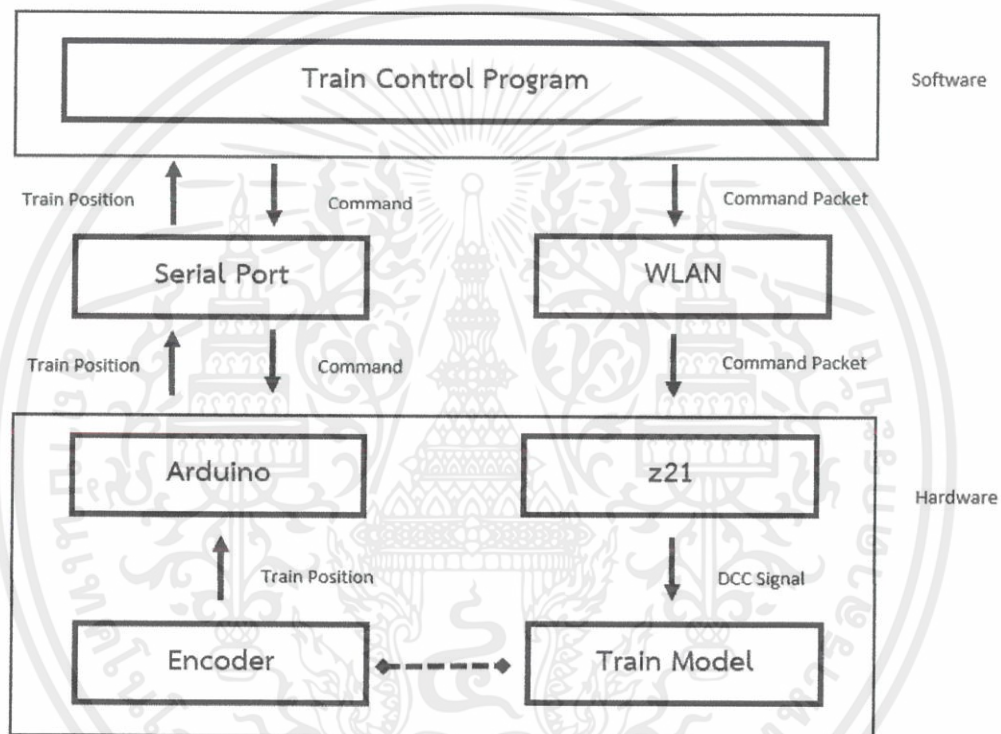
การเริ่มออกแบบระบบ ขั้นตอนแรกคือการวิเคราะห์หาความต้องการของระบบเพื่อทำการพิจารณาจุดประสงค์ คุณลักษณะในด้านต่างๆ ของแต่ละส่วน แล้วจึงนำมาวิเคราะห์เชื่อมโยง ออกแบบให้แต่ละส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กัน ตอบสนองความต้องการของระบบนั้น และให้สามารถทำงานสอดคล้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมการเดินรถและการจัดการ สิ่งที่ต้องพิจารณาในส่วนของการวิเคราะห์ระบบเพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบ มีดังนี้

1. แสดงตำแหน่งของรถไฟ แสดงสถานะรอบที่ล้อหมุนของรถไฟ ผ่านทางหน้าจอแสดงผล
2. ควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์ เช่น ควบคุมการจอด ให้ตรงตำแหน่งของประตูกับสถานีรถไฟ ควบคุมความเร็วของรถไฟ เป็นต้น
3. ระบบทำงานสอดคล้องตามเงื่อนไขของระบบ และสามารถควบคุมการเดินรถไฟจำลองได้ในสถานะเสมือนจริง
4. ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้
5. จัดเก็บข้อมูลการสั่งงานและกิจกรรมต่างๆ ของผู้ใช้ ที่กระทำการผ่านระบบที่สร้างขึ้น

3.2 ภาพรวมของระบบ

การพัฒนาระบบควบคุมการเดินรถไฟและการจัดการ มีการทำงานทั้งในส่วนของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ซึ่งทั้งสองส่วนนั้นมีการทำงานที่สัมพันธ์กันเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ตรงตามวัตถุประสงค์ของระบบ ในส่วนของซอฟต์แวร์ถูกพัฒนาให้ทำงานโดยมีตัวโปรแกรมควบคุมรถไฟ (Train Control) เพื่อทำการควบคุมรถไฟจำลองบนหน้าจอโปรแกรม ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบฮาร์ดแวร์ โดยจะทำให้มีการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นการเดินทาง ภายหลัง หรือหยุดรถ โดยผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อโปรแกรมเข้ากับแบบจำลองผ่านทางสายซีเรียล และเครือข่ายไร้สายสำหรับใช้งานแบบจำลอง มีจุดประสงค์ให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวมการทำงานของขบวนรถไฟจำลองร่วมกับซอฟต์แวร์และระบบควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้การสร้างซอฟต์แวร์ในการส่งข้อมูลจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลไปในสื่อต่างๆ ที่จำเป็นในการใช้งานเพิ่มเติม เช่น ผ่านสาย Serial และผ่านเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนการทำงานของ

ฮาร์ดแวร์มีทั้งส่วนที่เป็นชุดฮาร์ดแวร์สำเร็จรูป และส่วนที่ต้องทำการพัฒนาเขียนคำสั่งเอง ในส่วนที่เป็นชุดฮาร์ดแวร์สำเร็จรูปซึ่งประกอบไปด้วย ขบวนการไฟ ราง เราท์เตอร์สำหรับการสื่อสารไร้สาย และอุปกรณ์ z21 ในการรับ-ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์เหล่านี้จึงใช้สำหรับการควบคุมที่เฉพาะเจาะจงเช่น การควบคุมเกี่ยวกับการทำงานของขบวนการไฟ ดังนั้นในส่วนนี้จึงมีความจำเป็นในการเขียนซอฟต์แวร์เพื่อส่งข้อมูลเข้า (Input) ผ่านเครือข่ายไร้สายให้กับอุปกรณ์ควบคุมเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ในส่วนที่ต้องพัฒนาขึ้นเองได้แก่ ส่วนของการควบคุมจำนวนรอบของล้อรถไฟที่หมุน ที่จะสื่อสารกับพอร์ต I/O และส่วนของการติดตามตำแหน่งรถไฟ จำนวนรอบของล้อรถไฟที่หมุน ด้วยอุปกรณ์ Encoder ซึ่งจะต้องสื่อสารกับอาคูโน่ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ

3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

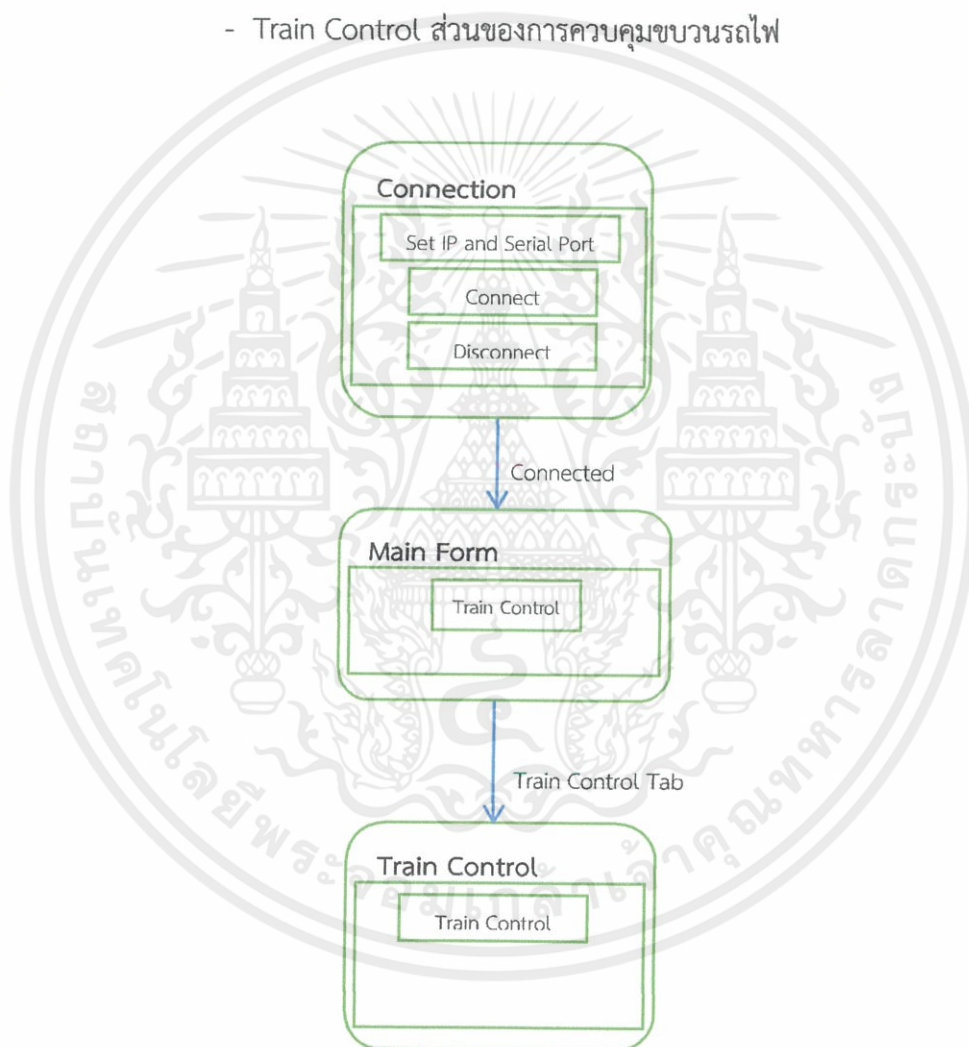
สำหรับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้ (User) และชุดรถไฟจำลอง (Train Model) โดยจะทำการรับคำสั่งจากผู้ใช้ จากนั้นจึงทำการประมวลผลภายในโปรแกรมก่อนจะส่งข้อมูลคำสั่งงานนั้นไปยังชุดรถไฟจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ อีกทั้งโปรแกรมจะทำการควบคุมชุดรถไฟจำลองให้เข้าการจอดได้ตรงกับสถานี รวมทั้งสามารถตรวจสอบตำแหน่งของรถไฟและระยะทางที่วิ่งของรถไฟ ซึ่งการประมวลผลนั้นจะต้องมีความสอดคล้องกับระบบอาณัติสัญญาณและการควบคุมการเดินทางรถไฟขั้นพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 รูปแบบและส่วนประกอบของโปรแกรม

โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นมีพื้นหลังเป็นสีโทนเทาดำเป็นหลัก เนื่องจากต้องการที่จะเน้นส่วนของเนื้อหาหลักหรือส่วนที่สำคัญในการใช้งานให้มีความเด่นมากชัดขึ้น โดยตรงตงนั้นจะให้ความสำคัญกับการใช้งานที่สะดวกเป็นหลัก ไม่ซับซ้อน รวมไปถึงมีความทันสมัยและไม่มีลูกเล่นที่มากเกินไป ลักษณะลำดับการทำงานของฟอร์มโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.2 โปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 1 Connection ส่วนของการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายและการส่งข้อมูลผ่านสาย
- 2 Main Form หน้าต่างการใช้งานหลัก
 - Train Control ส่วนของการควบคุมขบวนรถไฟ

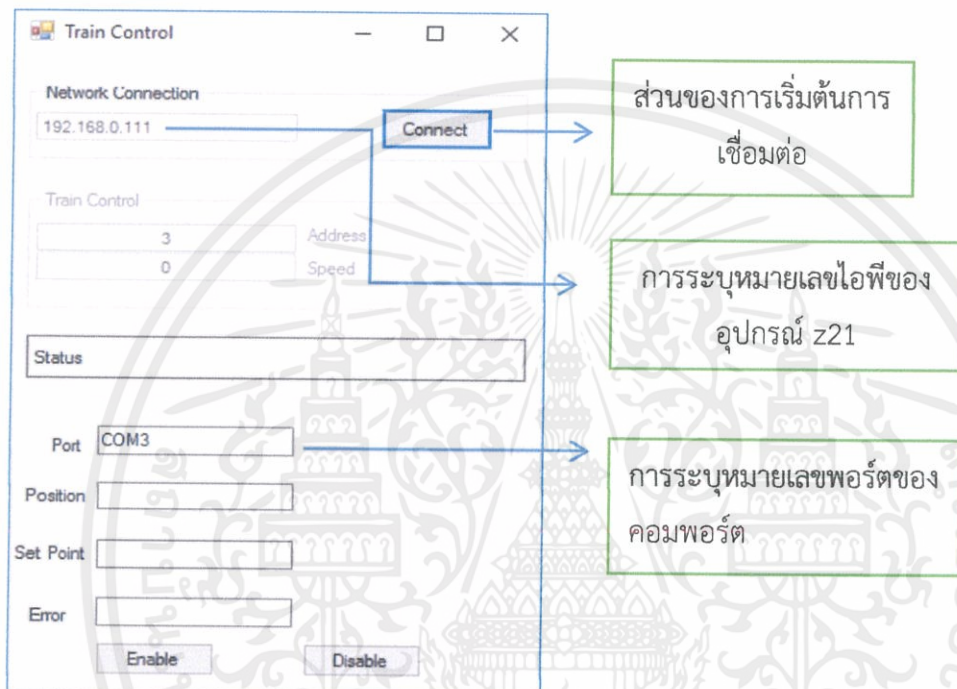


รูปที่ 3.2 ลักษณะและลำดับการทำงานของฟอร์มในโปรแกรม

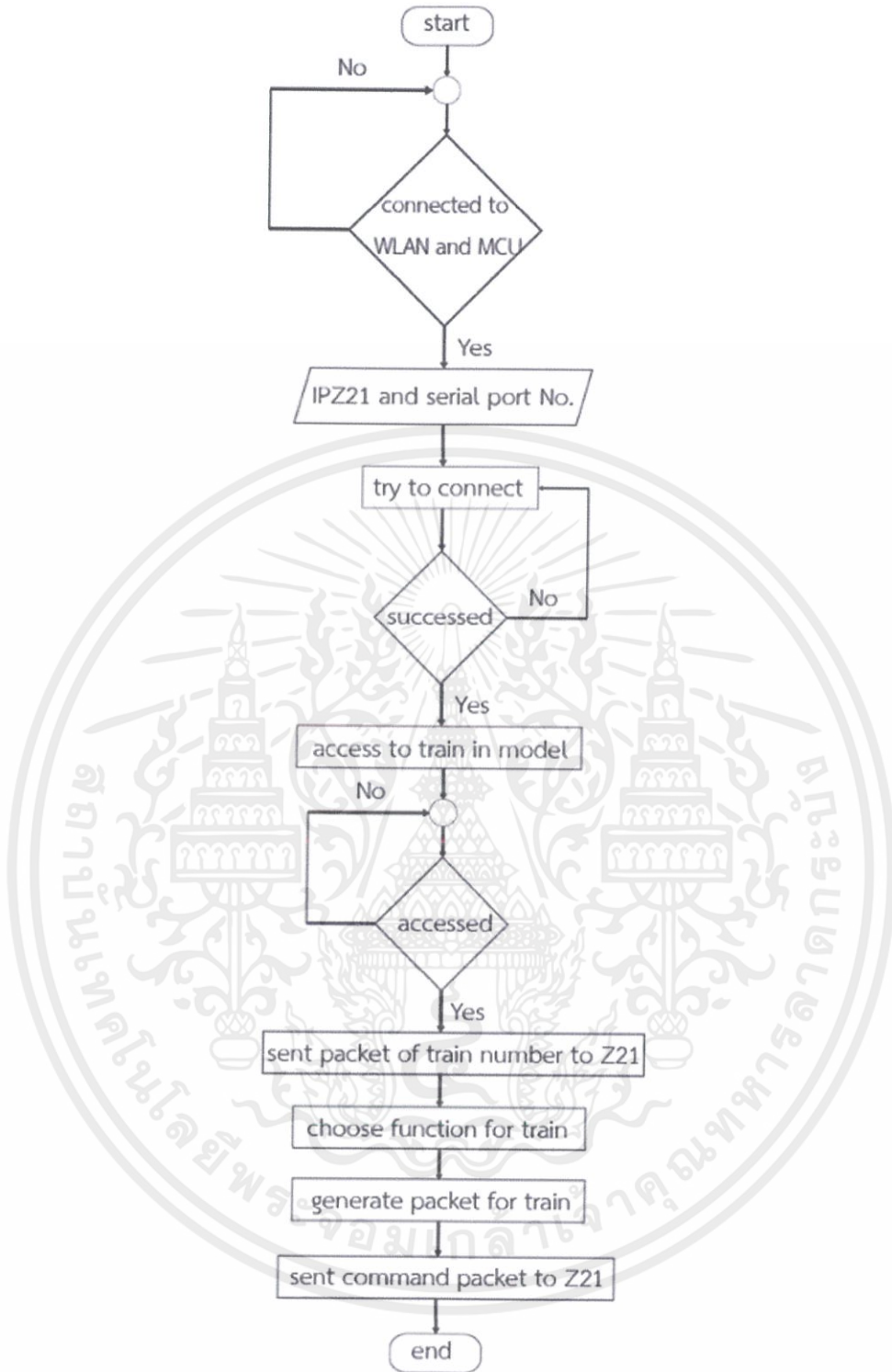
3.3.2 การเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ

สำหรับกระบวนการการเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้ใช้เลือกการเข้าใช้งานในโหมดการใช้งานจำลองรูปแบบการเดินรถร่วมกับชุดรถไฟจำลอง (Simulation with Train Model) ซึ่งต้องอาศัยการเชื่อมต่อทั้งแบบไร้สายและแบบใช้สาย ระบบจึงจะสามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินการต่อไปได้ เริ่มแรกผู้ใช้จะต้องทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เราท์เตอร์ของชุดรถไฟจำลอง และเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการเสียบสายผ่านพอร์ตยูเอสบี ตัวโปรแกรมกำหนดให้ผู้ใช้ต้องทำการระบุหมายเลขไอพีปลายทางของอุปกรณ์ z21 (โปรแกรมจะตั้งค่าเริ่มต้นไว้หากผู้ใช้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตัวอุปกรณ์) และระบุหมายเลขของซีเรียลพอร์ตที่เชื่อมต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์บนโปรแกรม จากนั้นจึงเริ่มการติดต่อทั้ง 2 ช่องทางการสื่อสาร หากสำเร็จจึงจะสามารถเข้าใช้งานระบบจำลองการเดินรถไฟได้ แสดงดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ



รูปที่ 3.4 ผังงานการเชื่อมต่อกับแบบจำลองการเดินรถไฟ

3.3.3 การสั่งงานควบคุมขบวนรถไฟจำลอง

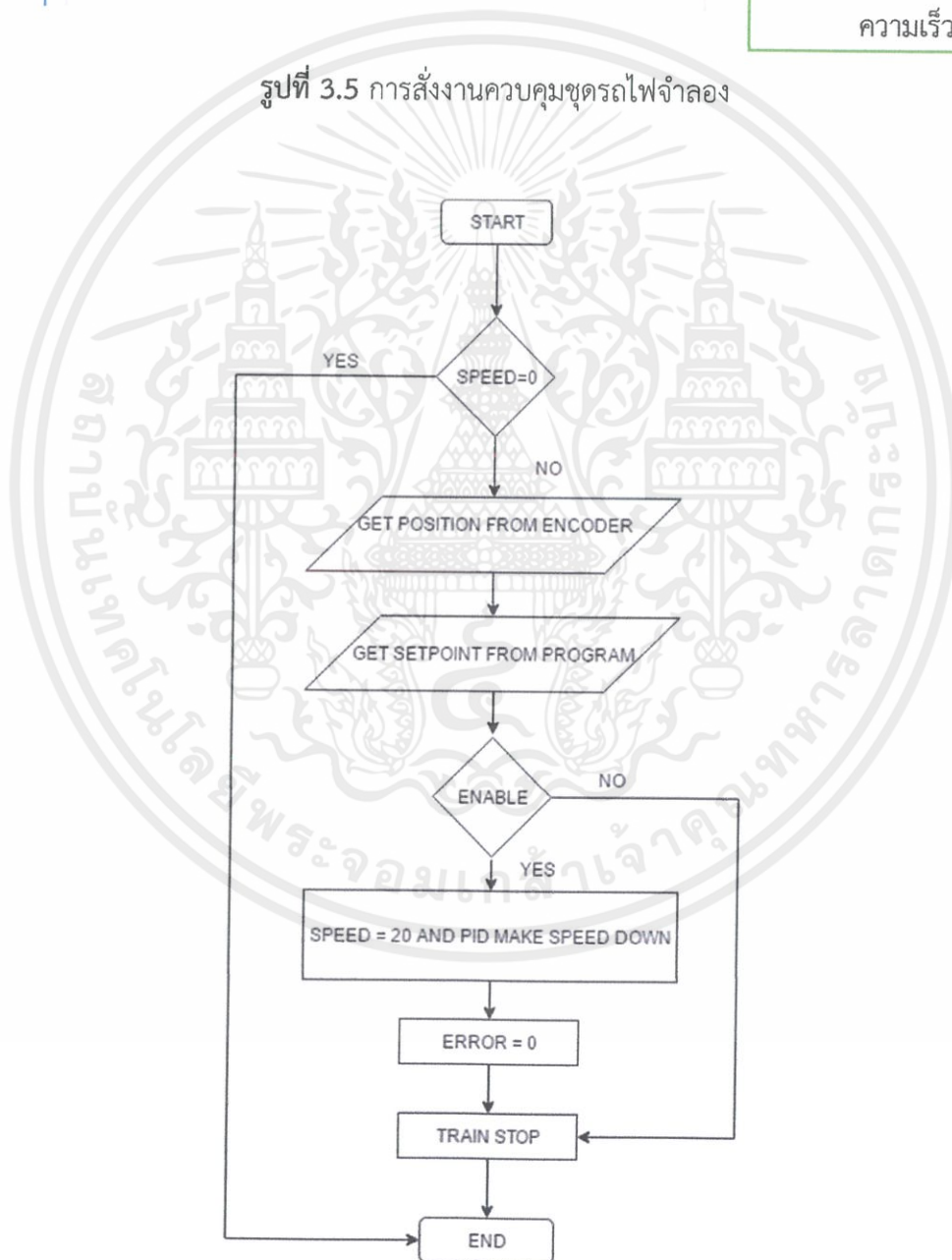
การจะควบคุมขบวนรถไฟได้นั้น ผู้ใช้งานจะต้องทำการเลือกขบวนรถไฟที่ต้องการควบคุม โดยทำการเลือกผ่านทางหน้าจอของโปรแกรม หลังจากนั้นจึงสามารถส่งคำสั่งไปควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทาง ความเร็ว ฟังก์ชันต่างๆ ของขบวนรถไฟได้ ส่วนการควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ที่รวมอยู่ในชุดรถไฟจำลองเช่นกัน สามารถทำได้เช่นเดียวกับการควบคุมขบวนรถไฟด้วยการส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ z21 ผ่านทางเครือข่ายไร้สายที่เชื่อมต่ออยู่ แสดงดังรูปที่ 3.5 รูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

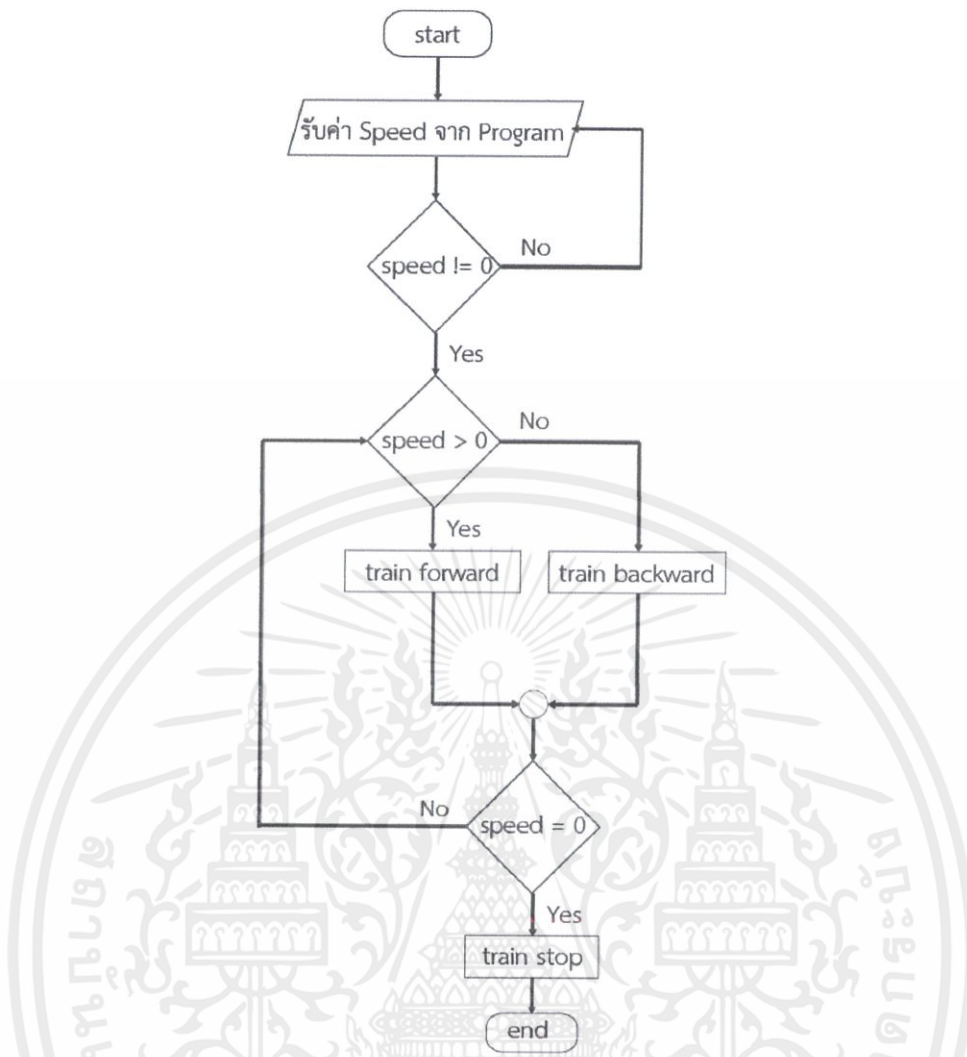


รูปที่ 3.5 การสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลอง



รูปที่ 3.6 ผังงานการสั่งงานควบคุมชุดรถไฟจำลอง

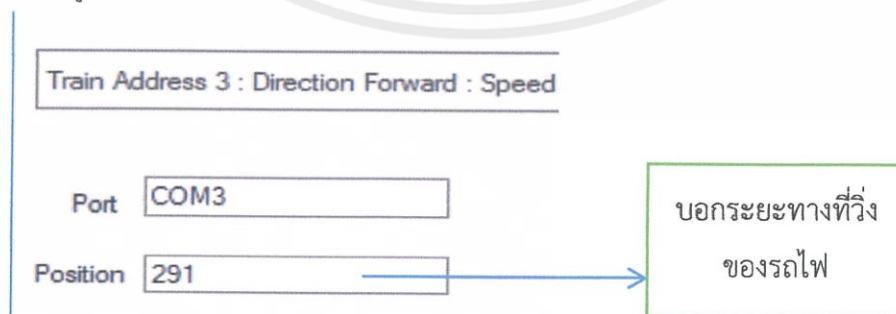
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ผังงานการสั่งงานควบคุมขูดรถไฟจำลองในการเดินทางหรือถอยหลัง

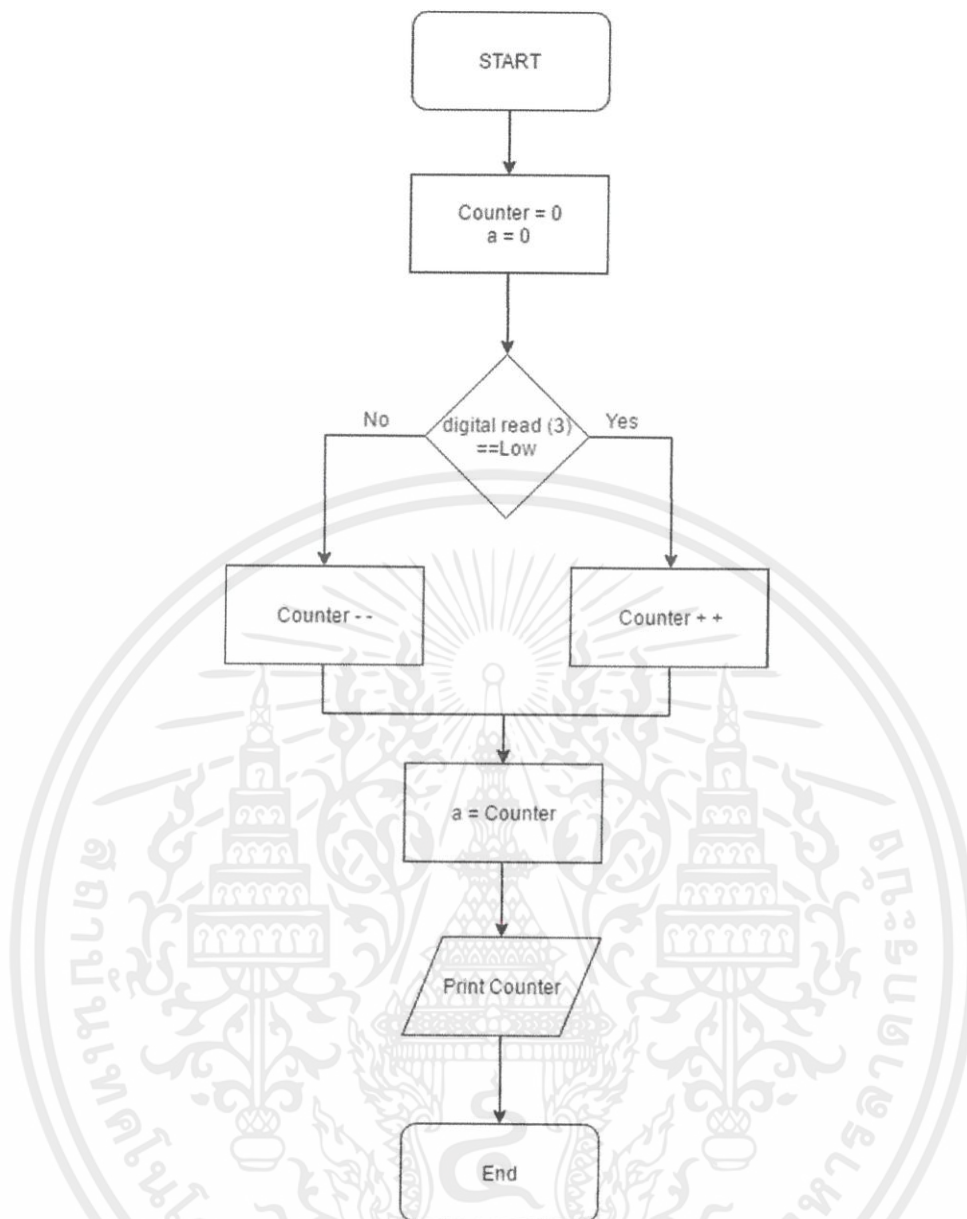
3.3.4 การวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder

ในรถไฟได้ทำการใช้อุปกรณ์ Encoder ไว้ โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณระยะทางที่วิ่งของรถไฟจากข้อมูล Pulse ของ Encoder ซึ่งเป็นข้อมูลที่บอกระยะทางที่วิ่งของรถไฟ แสดงดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 การวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder

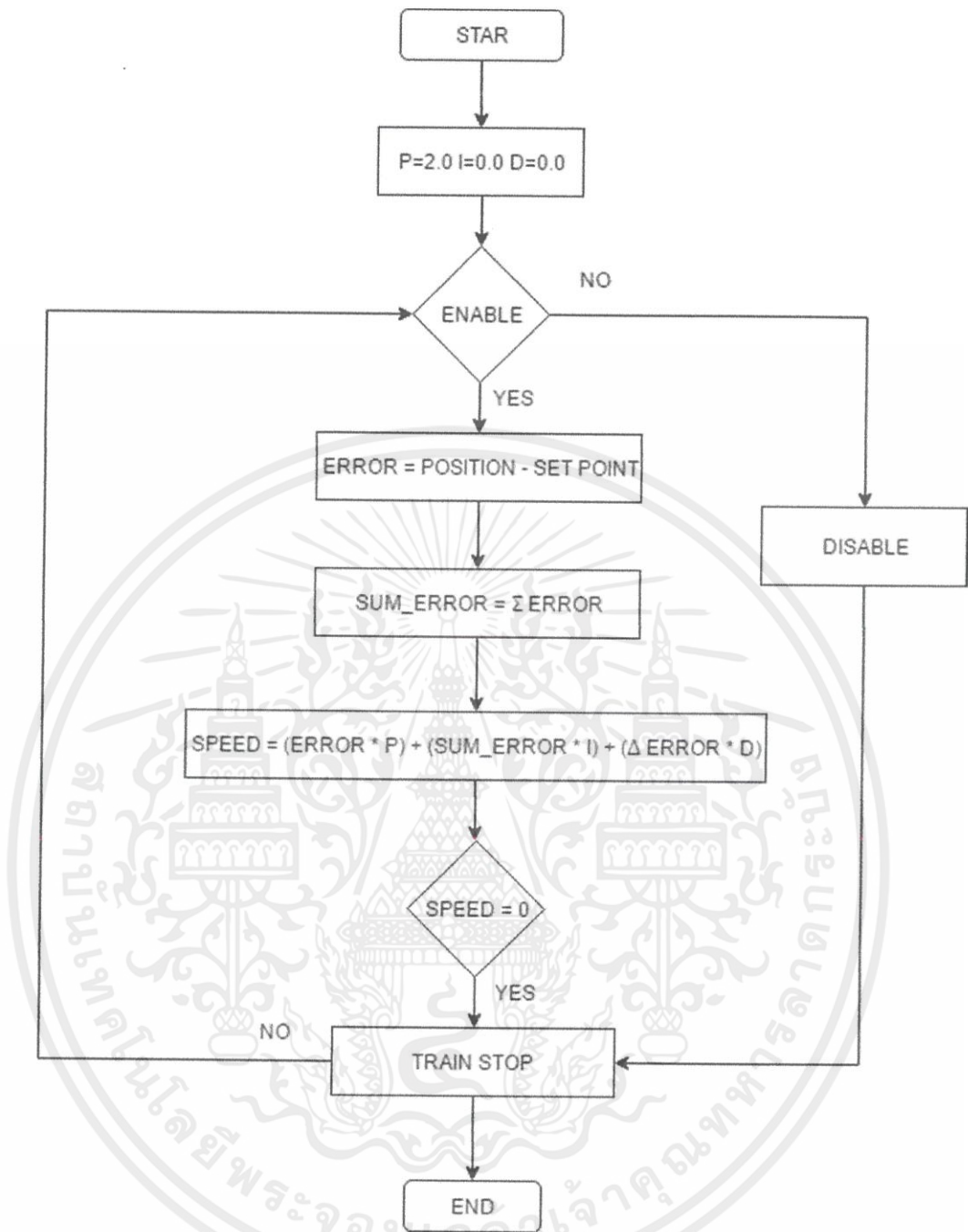
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ผังงานการวัดระยะทางที่วิ่งของรถไฟโดย Encoder

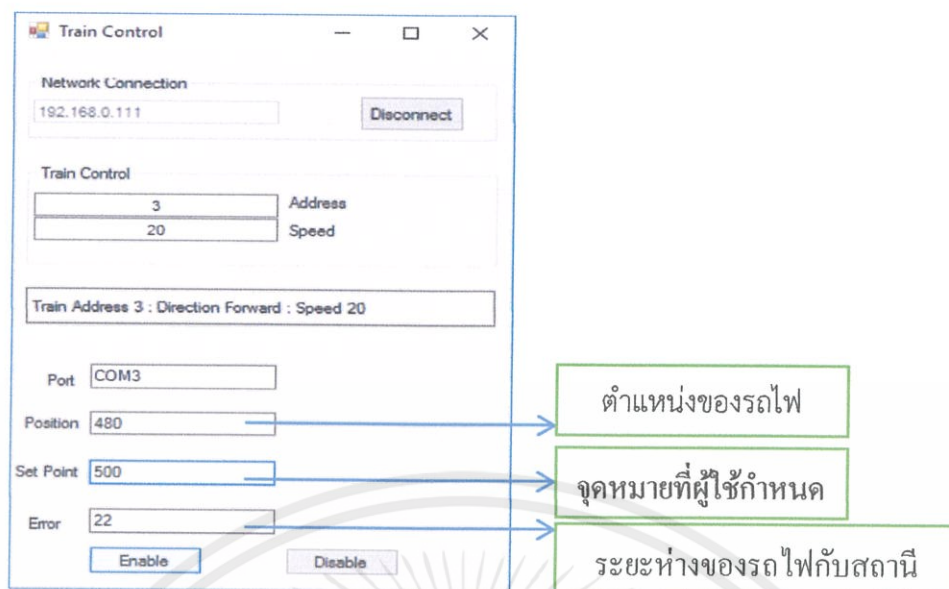
3.3.5 การควบคุมความเร็วของรถไฟจำลองอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะโปรแกรมจะทำการประมวลผลตำแหน่งของรถไฟจำลอง แล้วนำไปคำนวณความเร็วของรถไฟให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งความเร็วของรถไฟจะสัมพันธ์กับระยะห่างจากสถานี แสดงดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ผังงานแสดงการควบคุมรถไฟจำลองโดยใช้ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

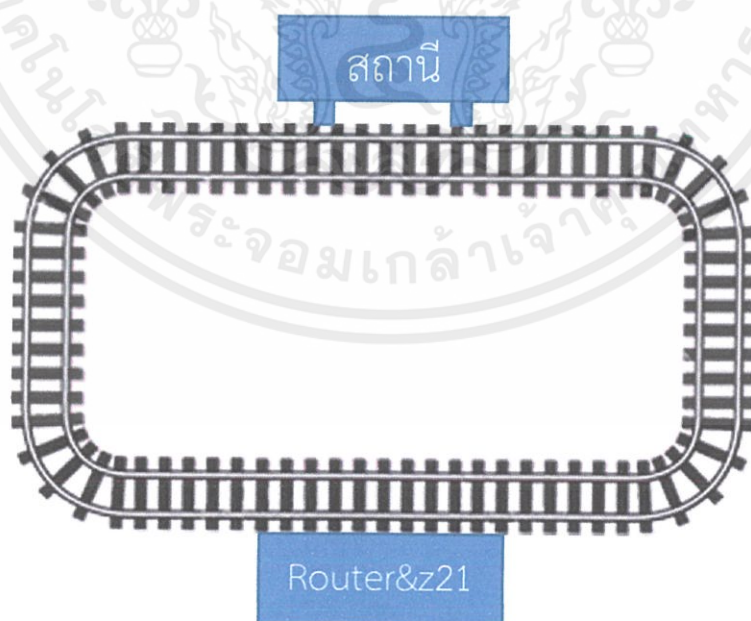


รูปที่ 3.11 การควบคุมความเร็วของรถไฟจำลองอัตโนมัติ

3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์

3.4.1 รูปแบบและโครงสร้างพื้นฐานของระบบราง

โครงสร้างระบบรางจำลอง ได้มีการออกแบบในชนิดของรางเดี่ยว และจะมี Encoder คอยคำนวณการเคลื่อนที่ของรถไฟตามที่กำหนด โดยจะมีสถานี จำนวน 1 สถานี เพื่อกำหนดให้รถไฟหยุดให้ตรงกับสถานีนั้น ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างพื้นฐานของระบบรางที่ใช้ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ชุดรถไฟจำลอง Roco

ชุดรถไฟจำลองที่เลือกใช้ คือ ชุดรถไฟจำลอง Roco ชนิด H0 ผลิตโดยประเทศเยอรมันซึ่ง เป็นประเทศชั้นนำทางด้านระบบขนส่งทางราง ภายในชุดประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ สำเร็จรูปสำหรับการควบคุมโดยเฉพาะ ในส่วนที่ได้เลือกนำมาใช้ประกอบด้วย เราท์เตอร์สำหรับการ สื่อสารไร้สาย z21 สำหรับส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ ขบวนรถไฟ 1 ขบวน รางชนิดยาว ดังรูปที่ 3.13



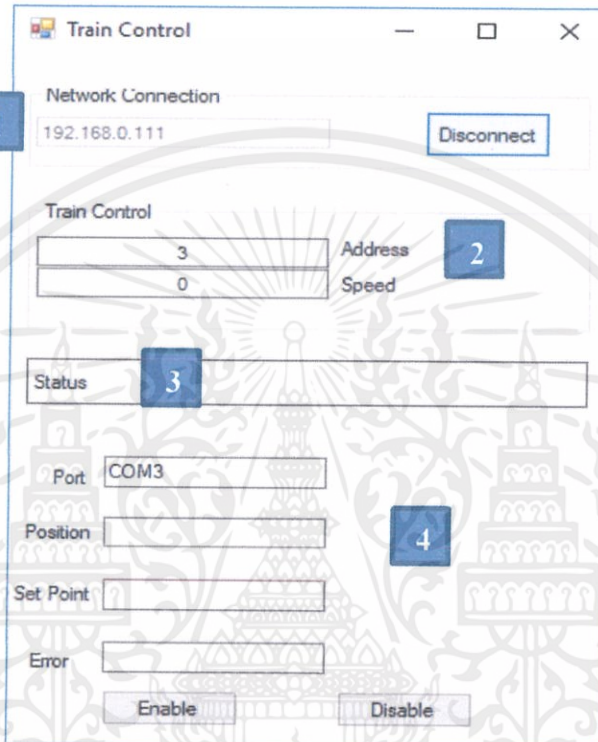
รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของชุดรถไฟจำลองที่นำมาใช้ในระบบ
(อ้างอิงโดย <https://goo.gl/XzGtky>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การจำลองรูปแบบการเดินรถ



รูปที่ 4.1 หน้าหลักของโปรแกรม (Simulation)

ส่วนประกอบของหน้าต่าง Simulation

1. ส่วนแสดงหมายเลขไอพีของอุปกรณ์ที่กำลังเชื่อมต่ออยู่
2. ส่วนแสดงหมายเลขรถไฟที่ควบคุม และความเร็วที่ใช้ในการควบคุม
3. ส่วนแสดงสถานะของรถไฟ
4. ส่วนแสดงตำแหน่งของขบวนรถไฟ

4.1.1 การควบคุมความเร็วของรถไฟ

ผู้ใช้สามารถกำหนดความเร็วของรถไฟที่ต้องการได้ โดยการป้อนค่าในส่วนของ Speed โดยมีหน่วยเป็น km/hr ดังรูปที่ 4.2

Train Control	
3	Address
20	Speed

รูปที่ 4.2 การควบคุมความเร็วของรถไฟ

4.1.2 การควบคุมตำแหน่งการเดินรถ

เมื่อทำการกำหนดความเร็วของรถไฟ ดังรูปที่ 4.2 แล้ว ในส่วนสถานะจะแสดงค่าหมายเลขรถไฟ ทิศทางการเดิน และความเร็วของรถไฟ หลังจากนั้นผู้ใช้ต้องทำการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการให้รถไฟหยุดในส่วนของ set point ดังรูปที่ 4.3

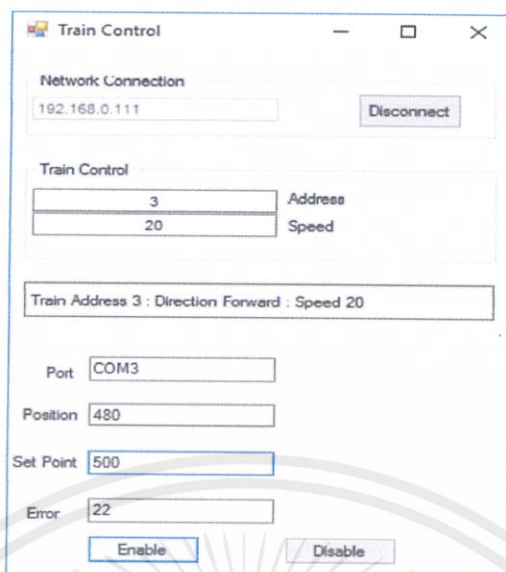
The screenshot shows a window titled "Train Control" with the following fields and buttons:

- Network Connection: 192.168.0.111 (with a Disconnect button)
- Train Control:
 - Address: 3
 - Speed: 20
- Status: Train Address 3 : Direction Forward : Speed 20
- Port: COM3
- Position: 291
- Set Point: 500
- Error: (empty field)
- Buttons: Enable and Disable

รูปที่ 4.3 การควบคุมตำแหน่งการเดินรถ

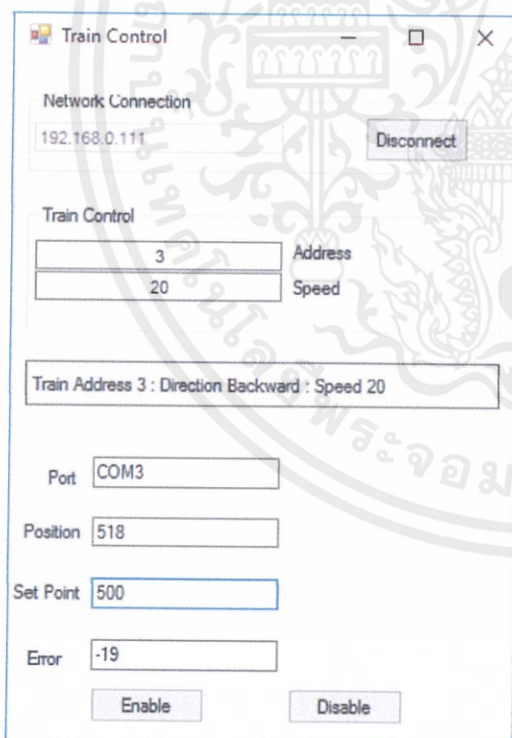
4.1.3 การควบคุมค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่

เมื่อทำการกำหนดค่า Set Point ดังรูปที่ 4.3 แล้ว ให้ผู้ใช้ทำการกดปุ่ม "Enable" ดังรูปที่ 4.4 เพื่อเริ่มการทำงาน เมื่อเริ่มการทำงานแล้ว รถไฟจะวิ่งไปยังตำแหน่งที่ผู้ใช้กำหนดค่าไว้ในส่วน Set Point

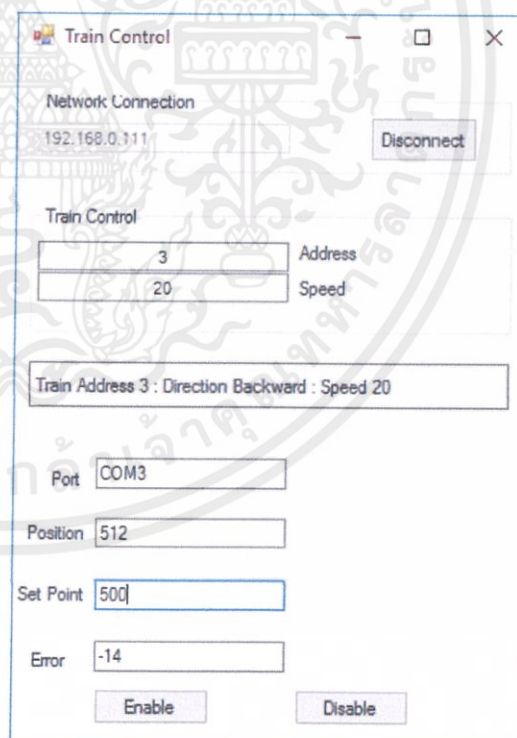


รูปที่ 4.4 การควบคุมค่าความผิดพลาด

เมื่อถึงจุดที่กำหนดไว้แล้ว ค่าตำแหน่งของรถไฟจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อย ซึ่งรถไฟจะทำการเปลี่ยนทิศทางย้อนกลับมายังตำแหน่ง Set Point ที่เรากำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 รถไฟทำการย้อนกลับมายังจุดหมาย



รูปที่ 4.6 รถไฟทำการย้อนกลับมายังจุดหมาย

รถไฟหยุดเคลื่อนที่เมื่อเข้าจุด Set Point ที่กำหนดไว้ ค่า Error ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 0 และในส่วนของความเร็วจะมีค่าเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Train Address 3 : Direction Backward : Speed 0

Port

Position

Set Point

Error

รูปที่ 4.7 รถไฟหยุดเคลื่อนที่

4.1.4 การหยุดการทำงาน และรีเซ็ตค่าที่แสดง

เมื่อรถไฟหยุดเคลื่อนที่แล้ว ผู้ใช้ต้องทำการกดปุ่มคำสั่ง “Disable” ดังรูปที่ 4.8 เพื่อหยุดการทำงานของโปรแกรม และรีเซ็ตค่าทั้งหมดหรือทำการกดปุ่ม “Disconnect” เพื่อเป็นการยกเลิกการเชื่อมต่อการทำงาน

Train Control

Network Connection
192.168.0.111

Train Control

<input type="text" value="3"/>	Address
<input type="text" value="20"/>	Speed

Train Address 3 : Direction Backward : Speed 0

Port

Position

Set Point

Error

รูปที่ 4.8 หยุดการทำงานของโปรแกรม และรีเซ็ตค่า

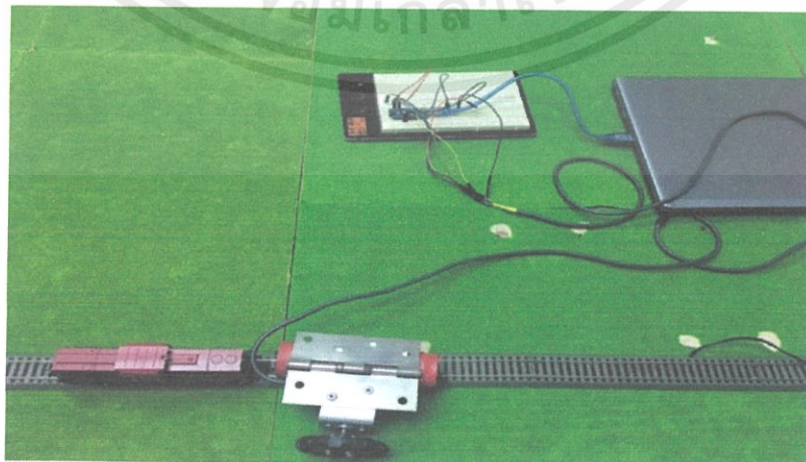
4.2 การสั่งงานอุปกรณ์ภายในชุดรถไฟจำลอง

เมื่อระบบได้รับคำสั่งงานจากผู้ใช้งาน โปรแกรมจะทำการส่งคำสั่งไปสั่งงานอุปกรณ์ที่ได้รับคำสั่งผ่านทางอุปกรณ์สำหรับการสื่อสาร แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบไร้สาย และแบบใช้สายโดยการส่งคำสั่งผ่านเครือข่ายไร้สายของระบบจะใช้อุปกรณ์เราท์เตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับคำสั่ง และอุปกรณ์ z21 ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เข้ารหัสคำสั่งให้เป็นสัญญาณคำสั่งไปควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ รถไฟจำลองและเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งผลลัพธ์ของการสั่งงานนั้นเป็นไปตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ และมีความถูกต้องในการแสดงผลที่เกิดขึ้น อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายในระบบแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย

สำหรับคำสั่งที่ส่งผ่านการสื่อสารแบบใช้สายนั้น จะอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางในการจัดการคำสั่งที่ได้รับรวมทั้งส่งคำสั่งควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่ได้รับคำสั่งโดยตรง ซึ่งผลลัพธ์ของการสั่งงานนั้นเป็นไปตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้และมีความถูกต้องในการแสดงผลที่เกิดขึ้น อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบใช้สายในระบบแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารแบบใช้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ

หลังจากการออกแบบรูปแบบโครงสร้างของชุดรถไฟจำลองจึงได้ทำการสร้างโมเดลชุดรถไฟจำลองจากอุปกรณ์ที่เลือกนำมา โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.11 ซึ่งโมเดลชุดรถไฟจำลองนี้สามารถทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้จริง และมีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในขั้นที่ดี โดยอาจจะมีข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อยในเรื่องของระยะของขบวนรถขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 4.11 โมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ

ส่วนประกอบและอุปกรณ์อื่นๆ ของระบบเช่นขบวนรถไฟ และเอ็นโคดเดอร์ ดังรูปที่ 4.12 สามารถทำงานสัมพันธ์กับซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในโมเดลชุดรถไฟจำลองของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลอง

ในการทดลองจะทำการจับเวลาที่ใช้ทั้งหมดตั้งแต่รถไฟเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 จนกระทั่งรถไฟหยุดที่จุด Set Point ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1000 ในโปรแกรม หรือเท่ากับ 1 ในตาราง โดยกำหนดค่า P ,ค่า I และค่า D แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง

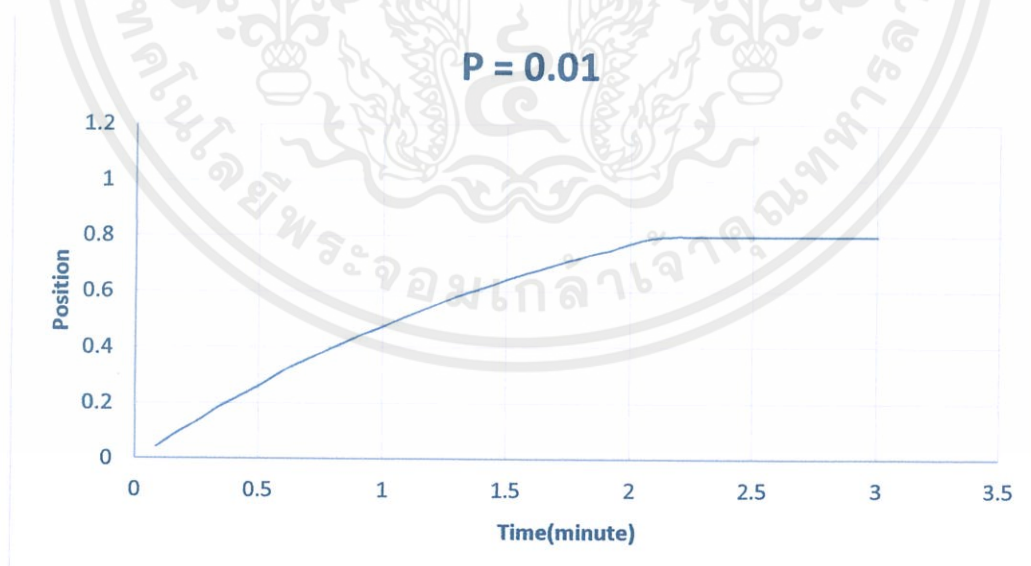
การทดลองที่ 1 กำหนดค่า $P = 0.01$ $I = 0.00$ $D = 0.00$ รถไฟจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 ไปยังตำแหน่งที่ 800 ภายใน 2.17 นาที ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.1 และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.01$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	42	93	135	184	224	262	308	346	380	414	447	477

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	509	539	568	596	618	645	668	689	712	733	750	775

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	793	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800



รูปที่ 4.13 การปรับค่า $P = 0.01$

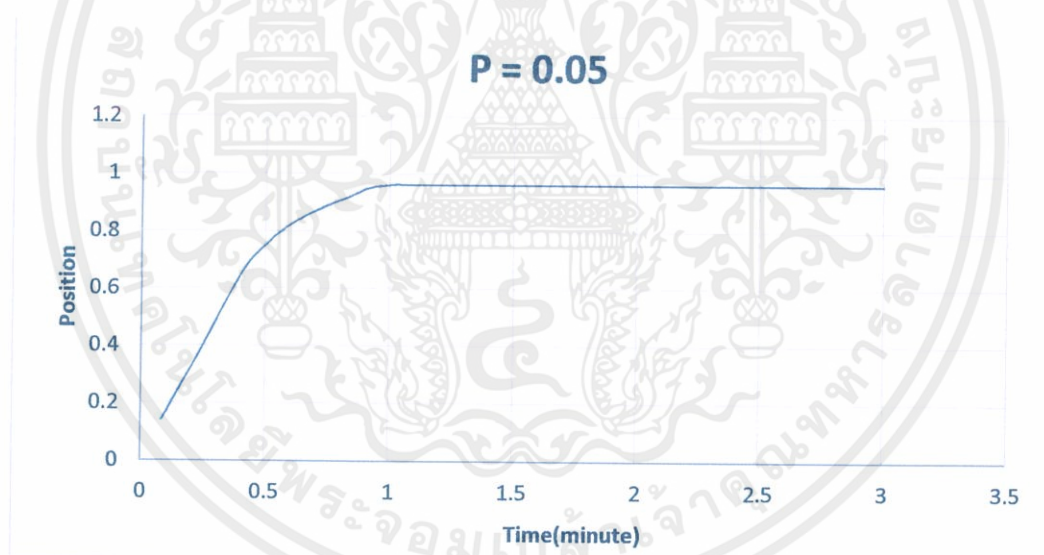
การทดลองที่ 2 กำหนดค่า $P = 0.05$ จะทำให้ได้รับผลตอบสนองที่เร็วขึ้น โดยรถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 - 963 ภายใน 1 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าค่า $P = 0.01$ แต่เนื่องจากกำหนดค่า P น้อยเกินไปทำให้ไปไม่ถึงจุด Set Point ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.2 และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.05$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	142	274	406	547	673	753	814	857	892	920	952	963

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963



รูปที่ 4.14 การปรับค่า $P = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

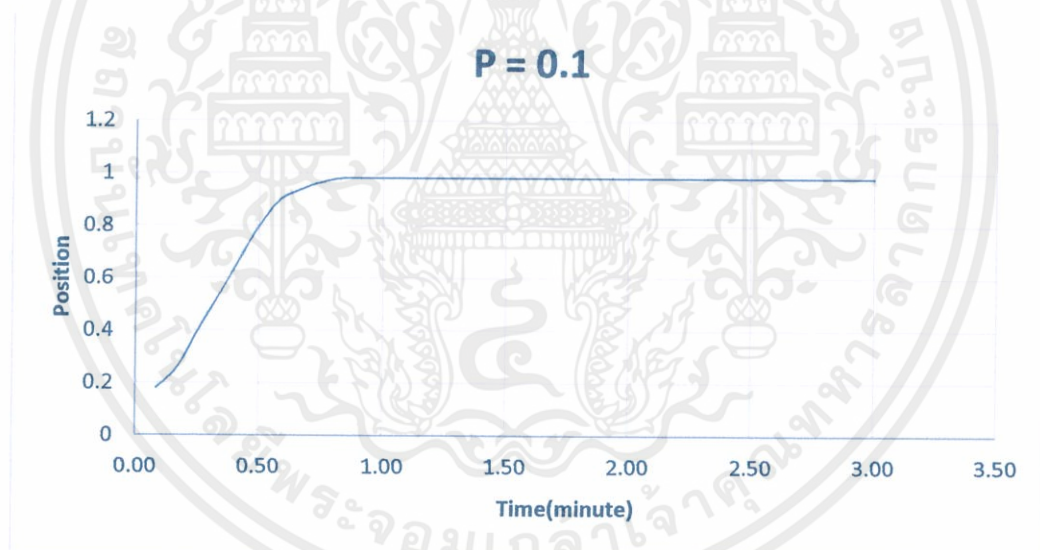
การทดลองที่ 3 กำหนดค่า $P = 0.1$ ทำให้ได้รับผลตอบสนองที่เร็วขึ้น โดยรถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 - 982 ภายใน 0.82 นาที แต่ค่า P ยังน้อยเกินไปทำให้รถไฟเคลื่อนที่ไม่ถึงจุด Set Point ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.1$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	180	257	399	534	667	803	899	940	967	982	982	982

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982	982



รูปที่ 4.15 การปรับค่า $P = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

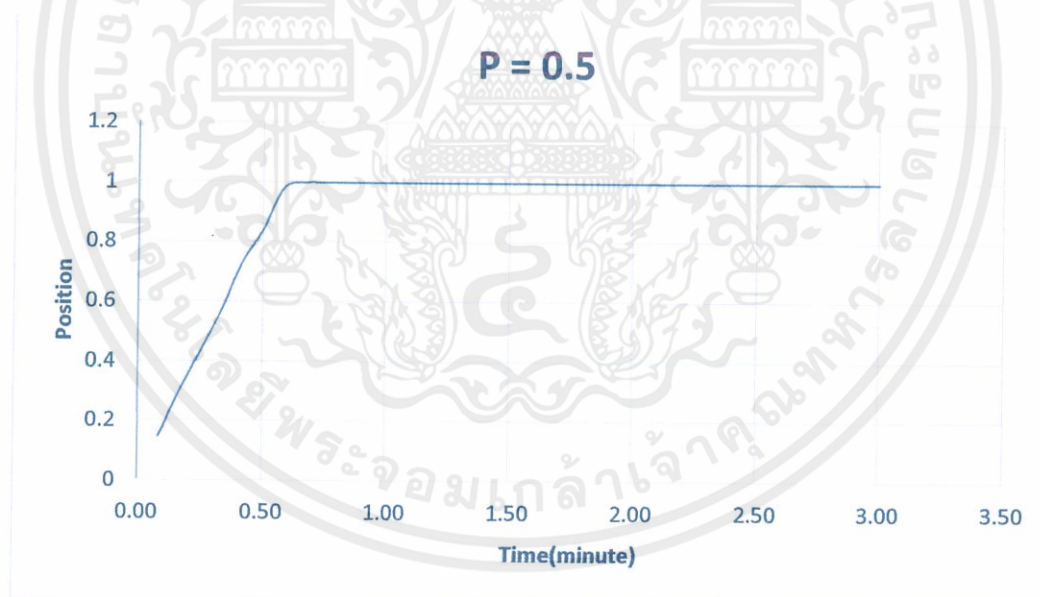
การทดลองที่ 4 กำหนดค่า $P = 0.5$ ทำให้ได้รับผลตอบสนองที่เร็วขึ้นและรถไฟเคลื่อนที่เข้าใกล้จุด Set Point ได้มากขึ้น โดยรถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0-998 ภายใน 0.67 นาที แต่เนื่องจากค่า P ยังน้อยเกินไป ทำให้รถไฟเคลื่อนที่ไปไม่ถึงจุดที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.5$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	147	296	431	567	730	840	980	998	998	998	998	998

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998



รูปที่ 4.16 การปรับค่า $P = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

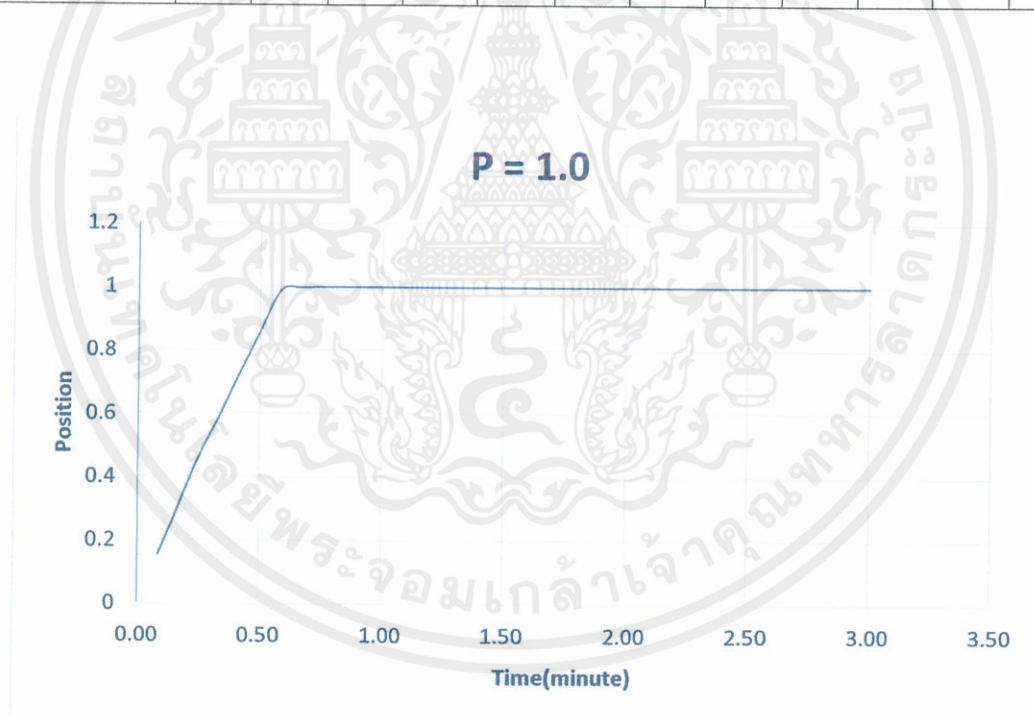
การทดลองที่ 5 ปรับค่า $P = 1.0$ ทำให้รถไฟเคลื่อนเข้าใกล้จุด Set Point ได้มากขึ้น โดยรถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0-999 ภายใน 0.75 นาที แต่เนื่องจากค่า P ยังน้อยเกินไป ทำให้รถไฟยังคงเคลื่อนที่ไปไม่ถึงจุดที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	155	309	462	591	729	860	990	998	999	999	999	999

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999



รูปที่ 4.17 การปรับค่า $P = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

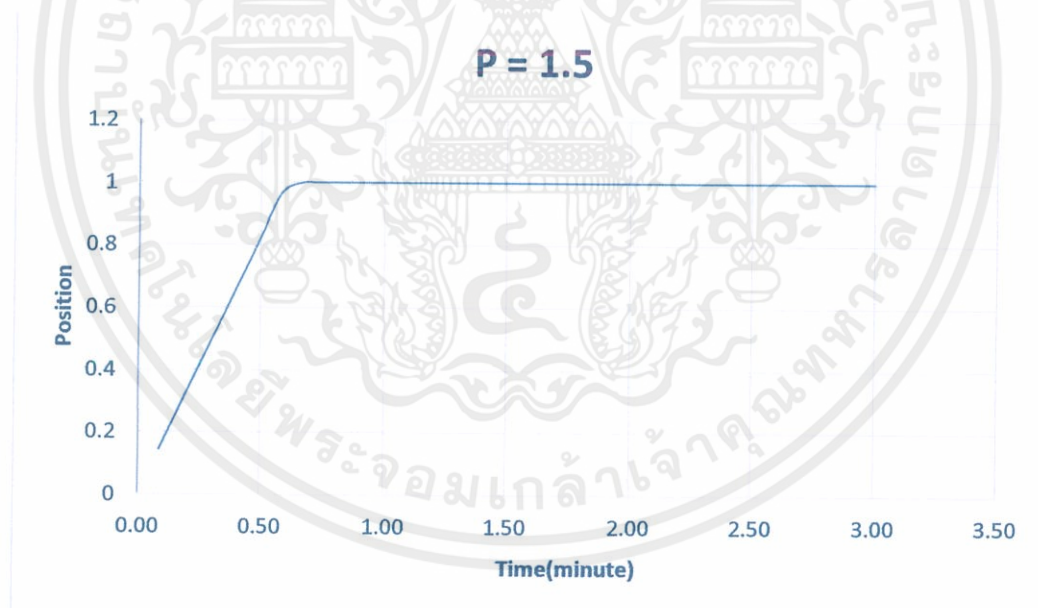
การทดลองที่ 6 ปรับค่า $P = 1.5$ ทำให้รถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 - 999 โดยใช้เวลา 0.67 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการกำหนดค่า $P = 1.0$ แต่เนื่องจากค่า P ยังน้อยเกินไป ทำให้รถไฟยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงจุดที่ต้องการ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	144	281	420	555	691	830	968	999	999	999	999	999

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999



รูปที่ 4.18 การปรับค่า $P = 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

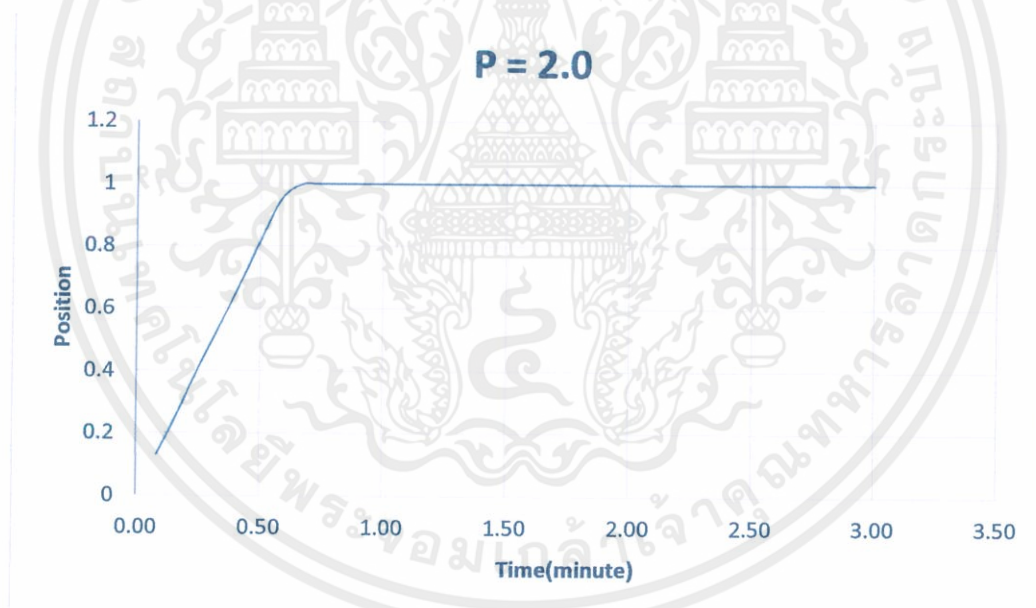
การทดลองที่ 7 ปรับค่า $P = 2.0$ ทำให้รถไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 ไปยังจุด Set Point และหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.75 นาทีซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	131	266	410	542	677	819	952	999	1000	1000	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.19 การปรับค่า $P=2.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

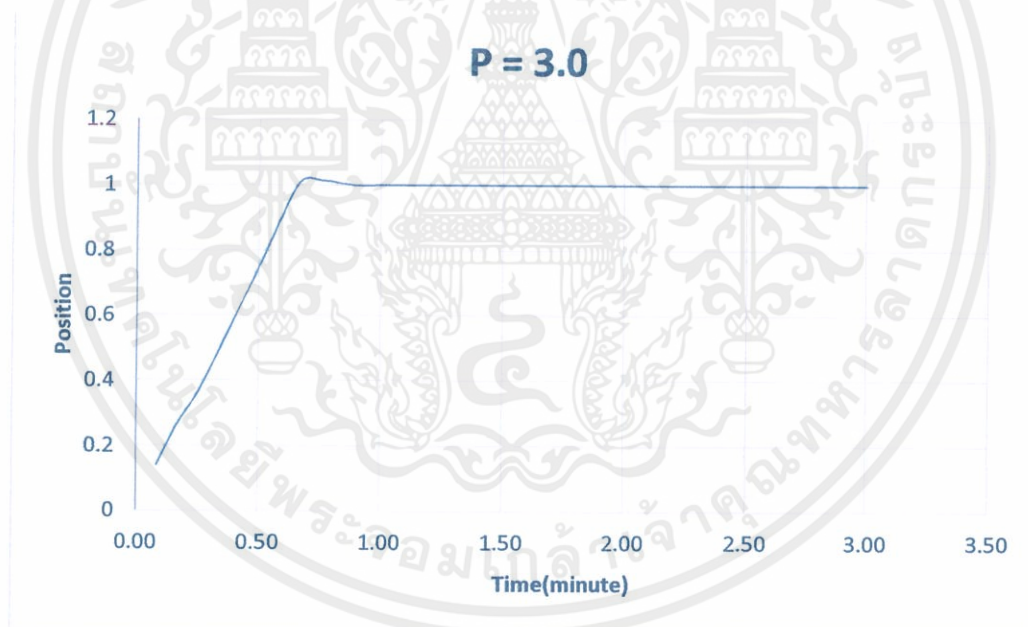
การทดลองที่ 8 ปรับค่า $P = 3.0$ ทำให้รถไฟเคลื่อนที่ไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1 นาที ซึ่งใช้เวลามากขึ้น และทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าพุ่งเกินสูงกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 3.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	140	264	360	485	617	749	890	1011	1015	1006	998	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.20 การปรับค่า $P = 3.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

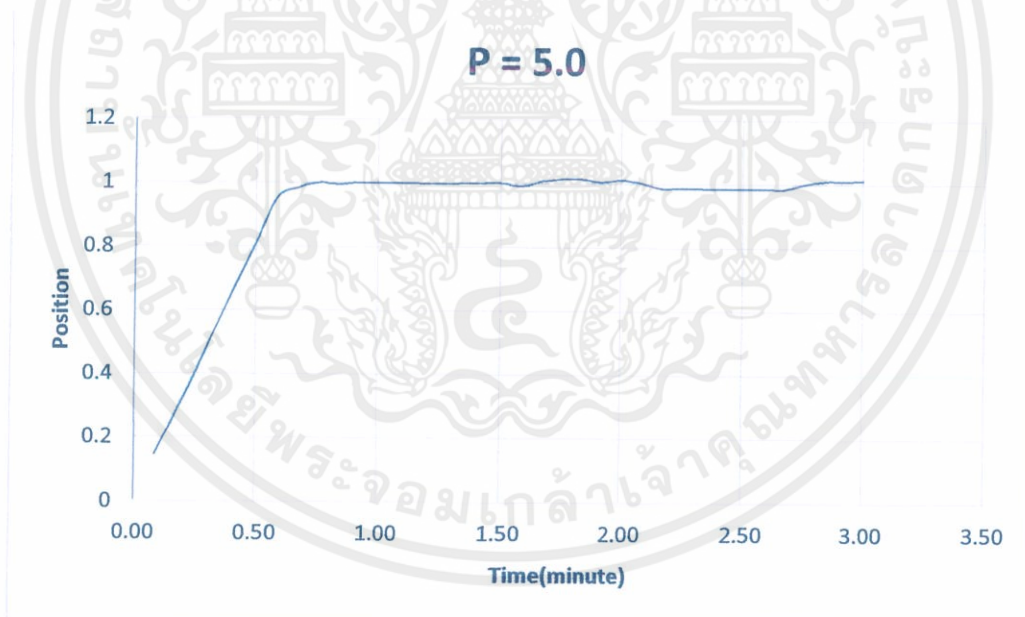
การทดลองที่ 9 ปรับค่า $P = 5.0$ ทำให้ได้รับค่าพุ่งเกินที่น้อยกว่าการกำหนดค่า $P = 3.0$ แต่รถไฟ ไม่สามารถหยุดในจุด Set Point ได้เนื่องจากค่า P มีค่ามากเกินไป ทำให้ได้ผลตอบสนองที่ไม่คงที่ และไม่สามารถหยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 5.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	147	270	402	543	680	817	954	985	1002	997	1002	1001

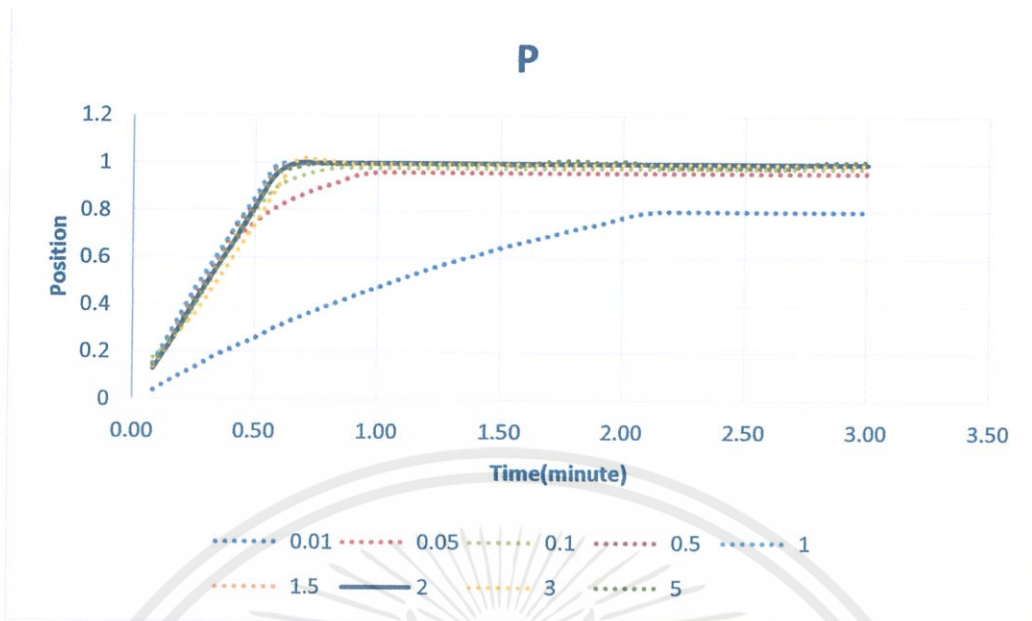
Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1001	1001	999	1001	1002	1003	993	1009	1016	1016	1007	1014

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1004	988	988	987	986	986	987	986	1002	1012	1012	1014



รูปที่ 4.21 การปรับค่า $P = 5.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สรุปค่า P

จากการทดลองปรับค่า P ทำให้ทราบได้ว่าการเพิ่มค่า P จะทำให้ค่าพุ่งเกินสูงขึ้น แต่หากใช้ P ที่ต่ำเกินไปจะทำให้ไม่ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ จึงต้องทำการทดลองปรับค่า P ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่าค่า P ที่ดีที่สุดคือค่า $P = 2$ โดยใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point น้อยที่สุด และไม่มีค่าพุ่งเกิน

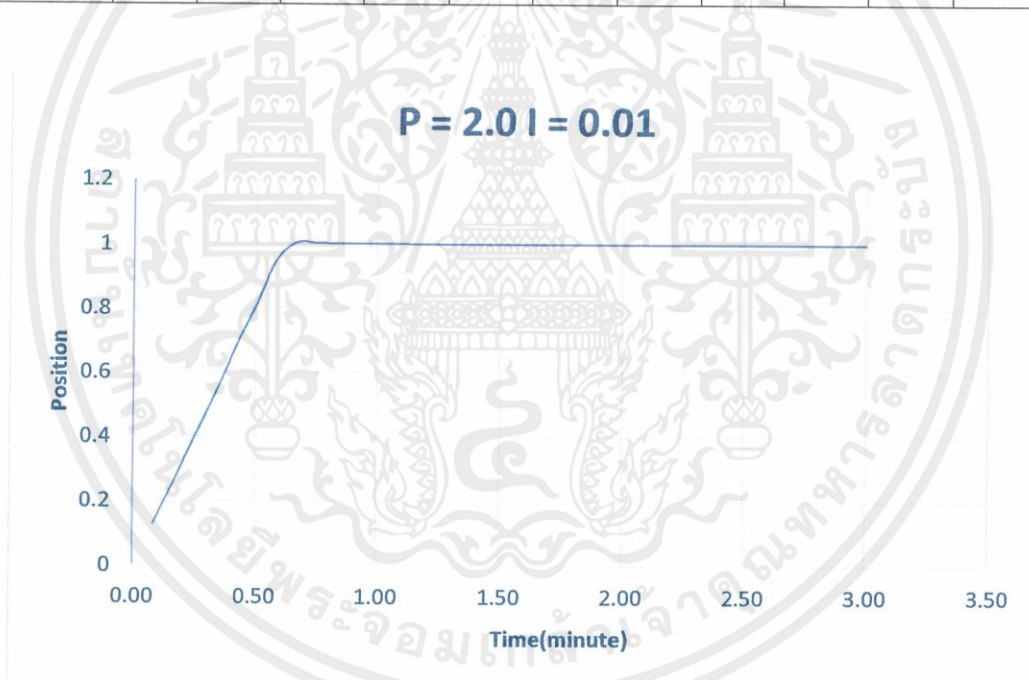
การทดลองที่ 10 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.01$ ทำให้รถโฟล์คหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.17 นาที แต่ผลการทดลองยังมีค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 4.10 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $I = 0.01$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	130	263	399	535	679	808	950	1005	1004	1002	1002	1002

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1002	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.23 การปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

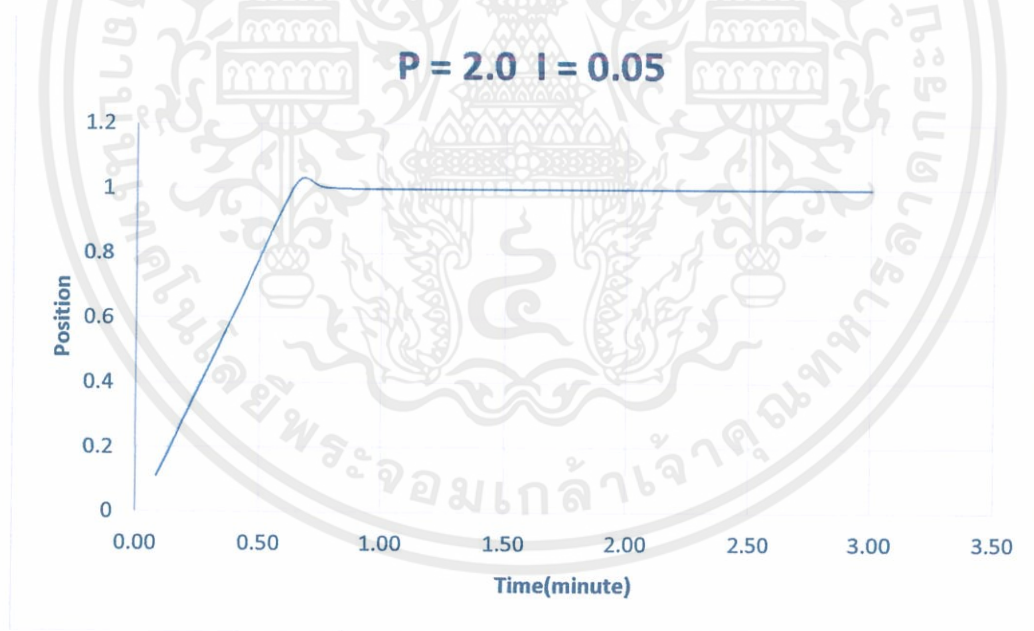
การทดลองที่ 11 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.05$ ทำให้รถไฟหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.92 นาที ซึ่งใช้เวลาลดลง แต่มีค่าความผิดพลาดมากกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.01$ ซึ่งผลที่ได้ ของเวลา และตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.11 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.11 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $I = 0.05$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	110	243	381	516	649	791	927	1030	1007	1001	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.24 การปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

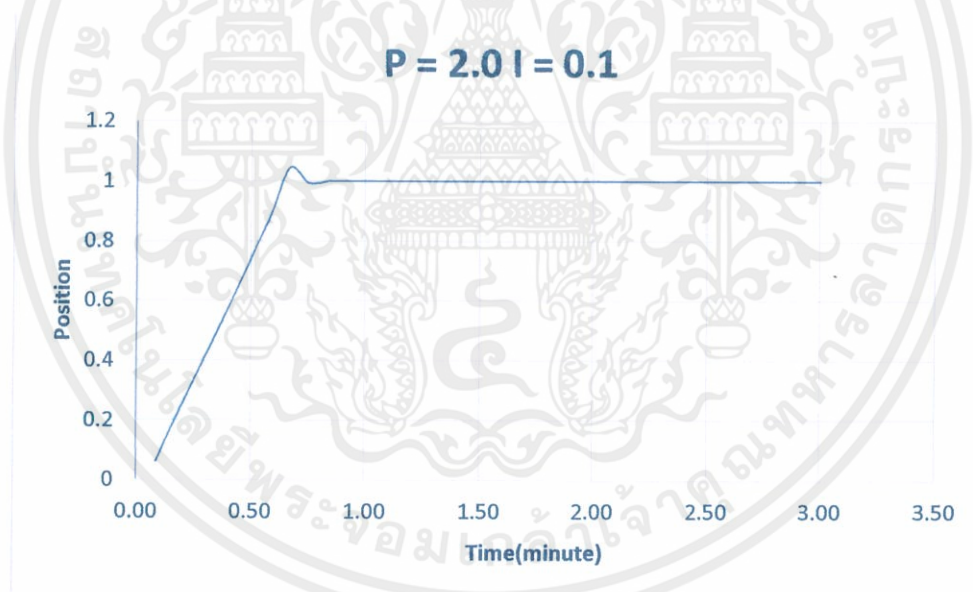
การทดลองที่ 12 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.83 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point น้อยกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.05$ แต่มีค่าความผิดพลาดมากกว่า ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.12 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.12 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	61	202	337	471	607	747	884	1045	995	1000	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.25 การปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

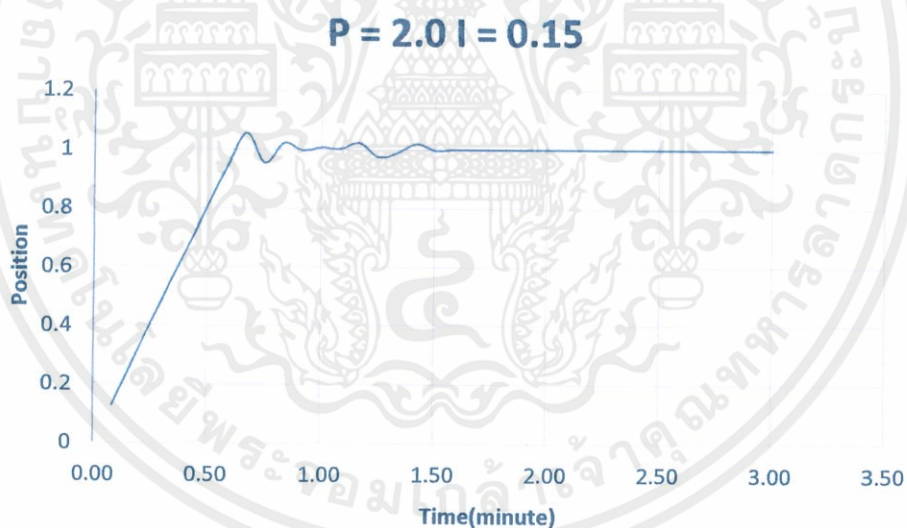
การทดลองที่ 13 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.15$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.67 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point เพิ่มขึ้นและมีค่าความผิดพลาดมากกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ เนื่องจากค่า P และค่า I ที่นำมาใช้ไม่เหมาะกับระบบนี้ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.13 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $I = 0.15$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	128	267	405	538	672	807	939	1057	955	1023	998	1008

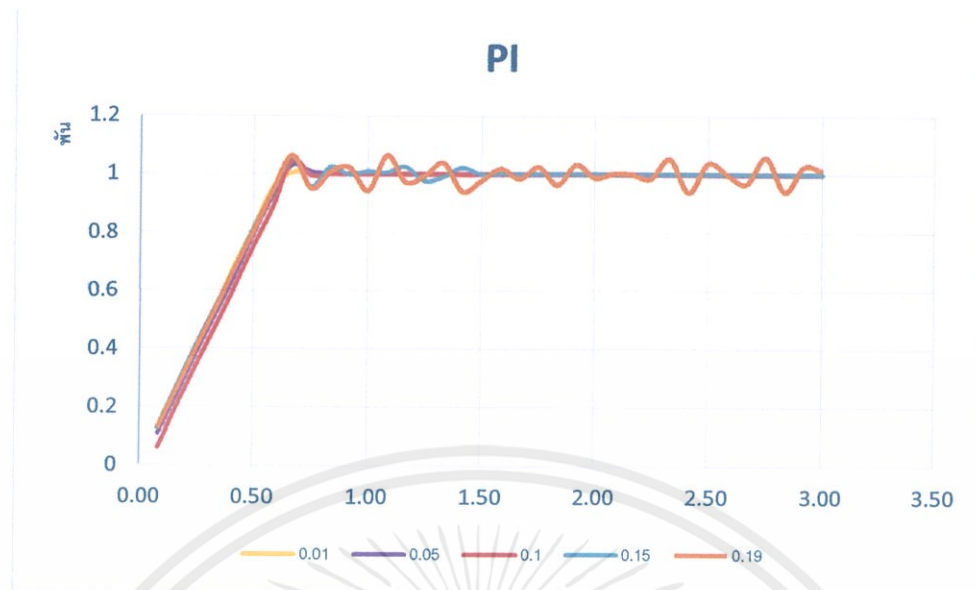
Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1004	1024	976	990	1021	999	1001	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.26 การปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.15$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 สรุปค่า PI

จากการทดลองปรับค่า I ทำให้ทราบได้ว่าการเพิ่มค่า I จะทำให้เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่จุด Set Point ลดลง ซึ่งทำให้ได้ผลตอบสนองที่เร็วขึ้น แต่การปรับค่า I เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองทำให้ทราบว่าหากกำหนดค่า $P = 2$ ค่า I ที่ดีที่สุดคือ $I = 0.1$ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่จุด Set Point ทั้งหมด 0.83 นาทีซึ่งใช้เวลาน้อยที่สุด

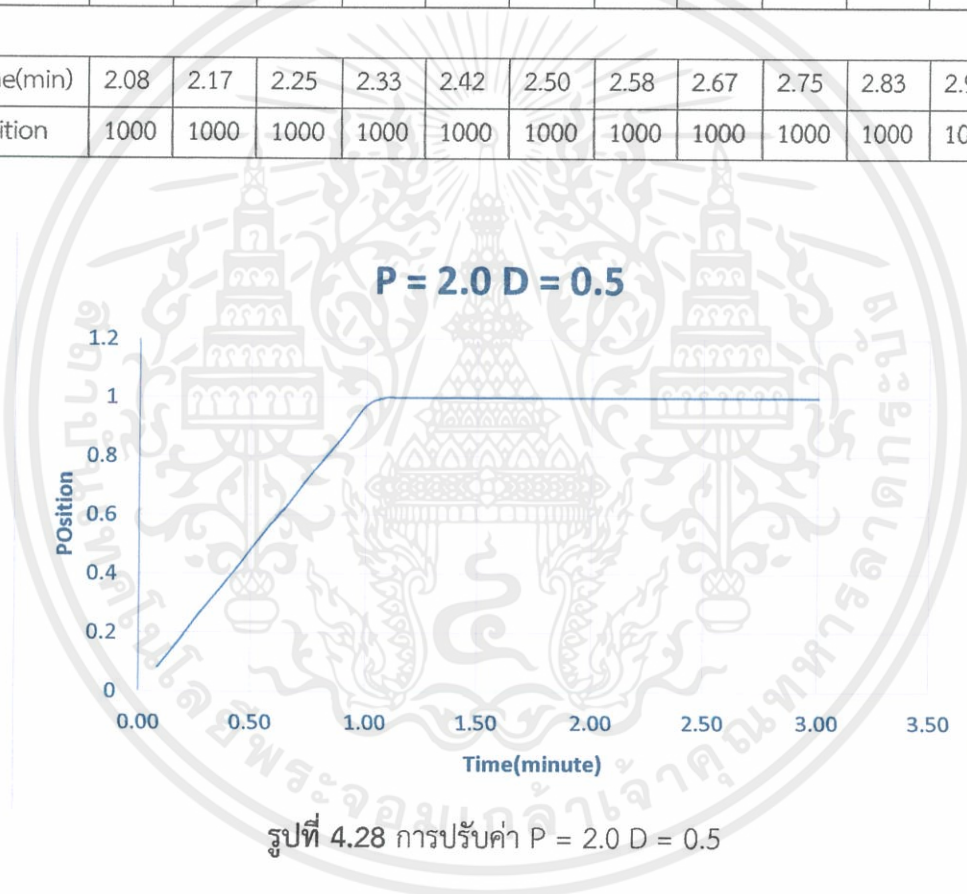
การทดลองที่ 14 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 0.5$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.08 นาทีซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.14 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.28

ตารางที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 0.5$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	82	161	246	324	401	485	567	644	730	809	887	973

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

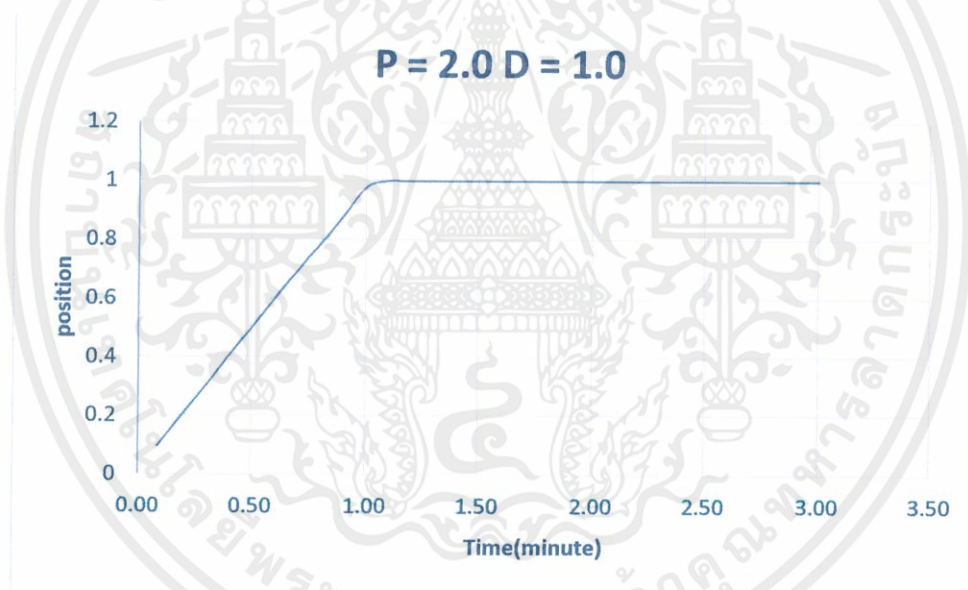
การทดลองที่ 15 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 1.0$ ทำให้รถโฟลด์ที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.08 นาที ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.15 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.15 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 1.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	95	177	257	336	420	498	580	661	739	815	897	979

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.29 การปรับค่า $P = 2.0$ $D = 1.0$

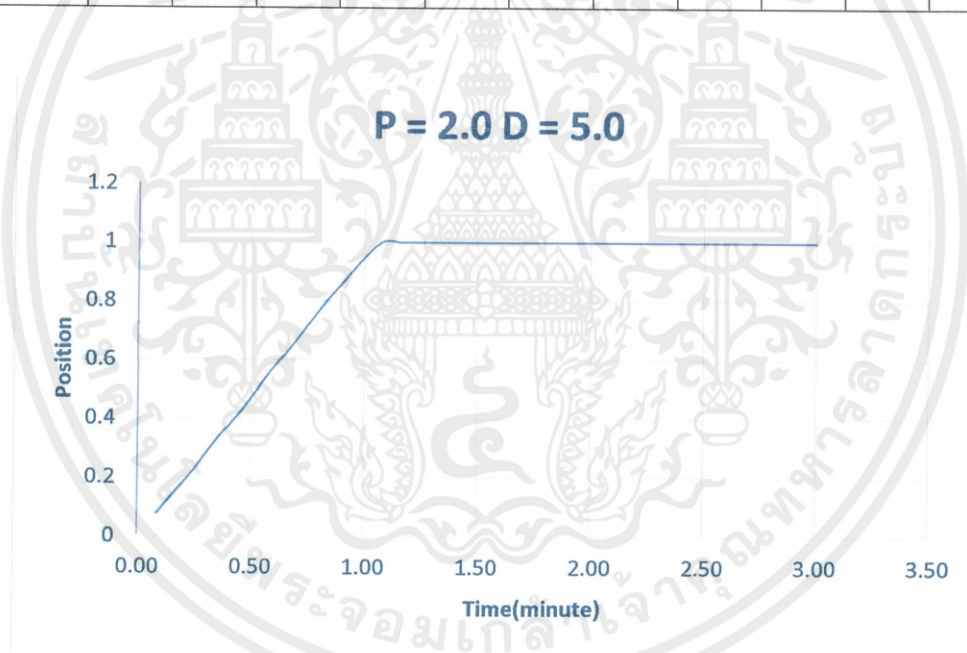
การทดลองที่ 16 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 5.0$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.17 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.16 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 5.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	75	152	228	316	390	471	560	634	716	800	874	948

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1003	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.30 การปรับค่า $P = 2.0$ $D = 5.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

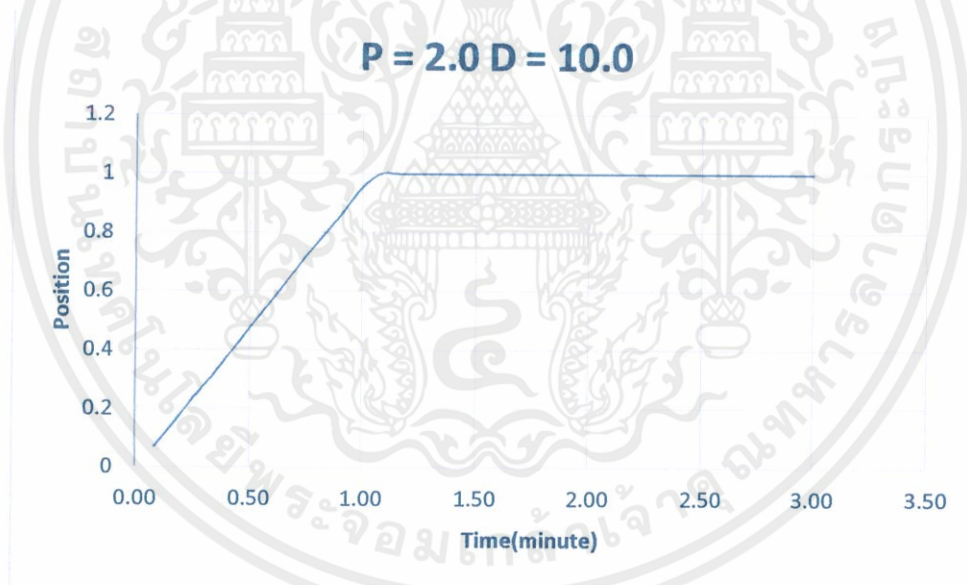
การทดลองที่ 17 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 10.0$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.17 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point เท่ากับการปรับค่า $P = 2.0$ $D = 5.0$ แต่มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.17 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 10.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	69	150	235	311	395	477	555	637	718	794	871	955

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1002	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.31 การปรับค่า $P = 2.0$ $D = 10.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

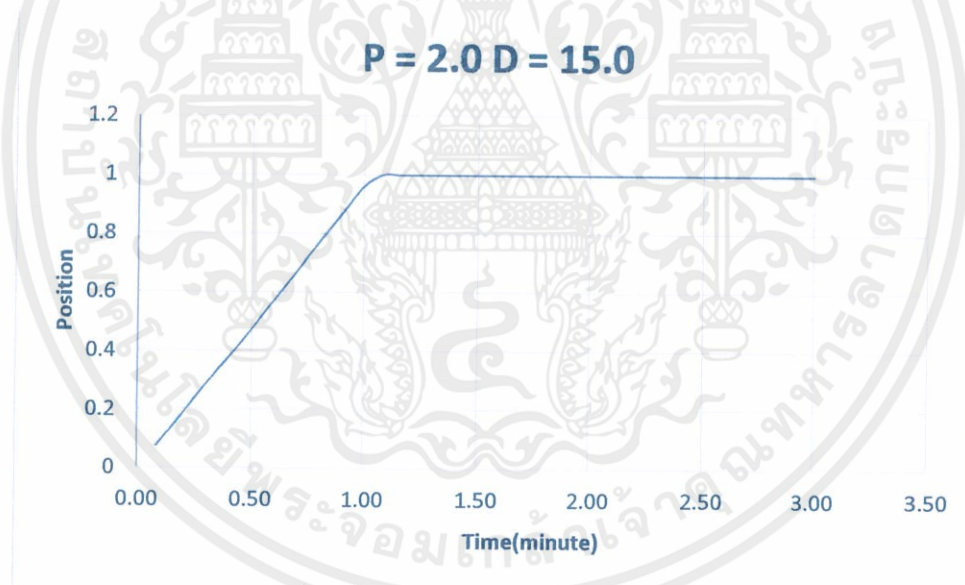
การทดลองที่ 18 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 15.0$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.17 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point เท่ากับการปรับค่า $P = 2.0$ $D = 10.0$ แต่มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.18 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 15.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	76	154	239	320	396	475	560	639	723	803	883	962

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1001	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.32 การปรับค่า $P = 2.0$ $D = 15.0$

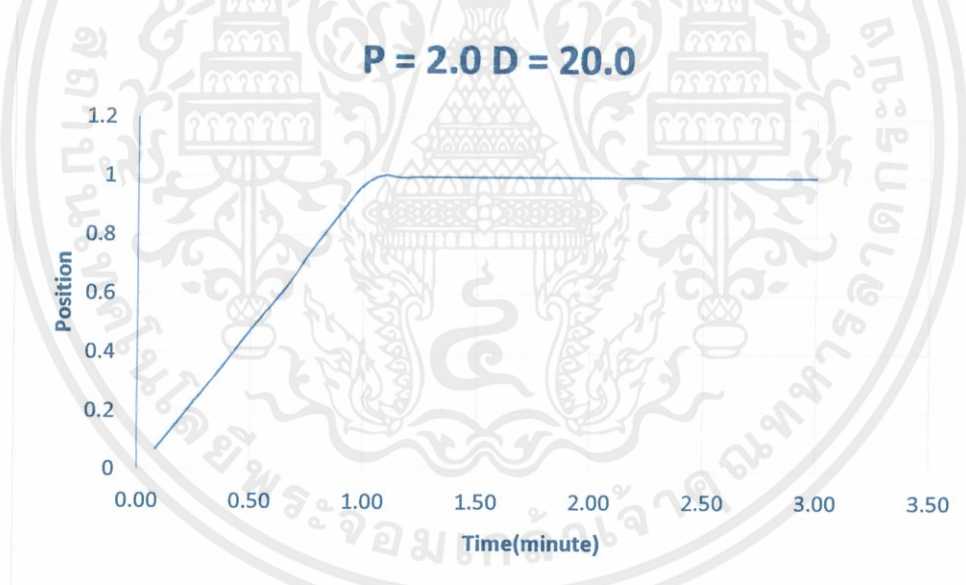
การทดลองที่ 19 ปรับค่า $P = 2.0$ $D = 20.0$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.25 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าจุด Set Point มากขึ้นและมีค่าความผิดพลาดมากกว่าการปรับค่า $P = 2.0$ $D = 15.0$ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.19 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $D = 20.0$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	71	151	233	311	395	478	555	635	728	815	897	972

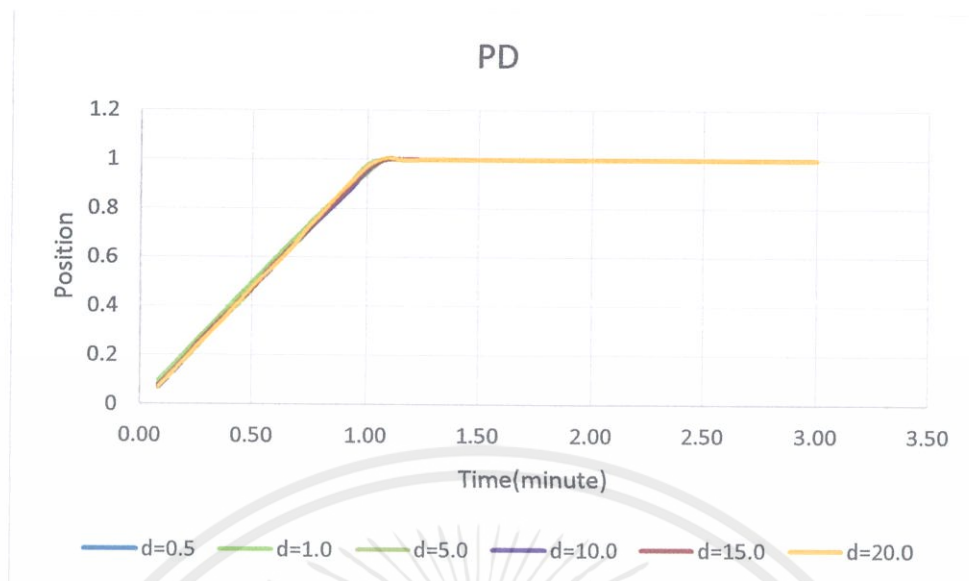
Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1005	998	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.33 การปรับค่า $P = 2.0$ $D = 20.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 สรุปค่า PD

จากการทดลองปรับค่า D ทำให้ทราบได้ว่าการเพิ่มค่า D จะทำให้ค่าความผิดพลาดและค่าพุ่งเกินลดลง แต่การปรับค่า D เพิ่มขึ้นทำให้ใช้เวลาในการเข้าสู่จุด Set Point มากขึ้นด้วยเช่นกัน จากการทดลองทำให้ทราบว่าหากกำหนดค่า $P = 2$ ค่า D ที่ดีที่สุดคือ $D = 1.0$ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่จุด Set Point ทั้งหมด 1.08 นาทีซึ่งใช้เวลาน้อยที่สุดและมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

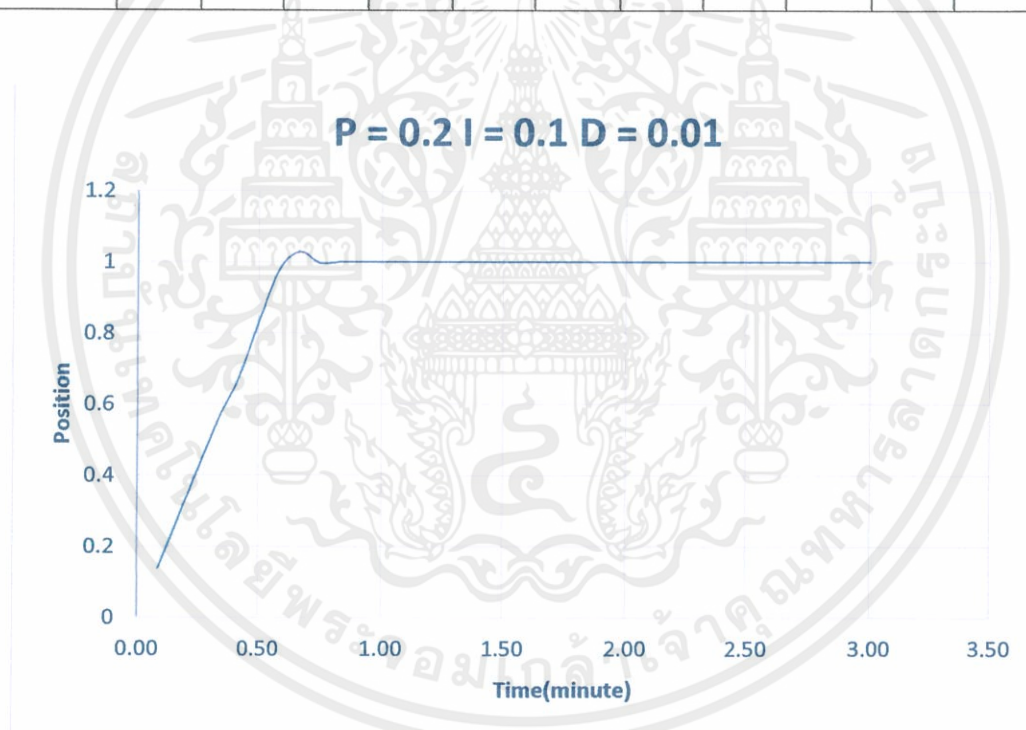
การทดลองที่ 20 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.83 นาที และมีค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.20 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.35

ตารางที่ 4.20 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 0.2$ $I = 0.1$ $D = 0.01$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	138	281	426	563	674	832	977	1028	997	1000	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.35 การปรับค่า $P = 0.2$ $I = 0.1$ $D = 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

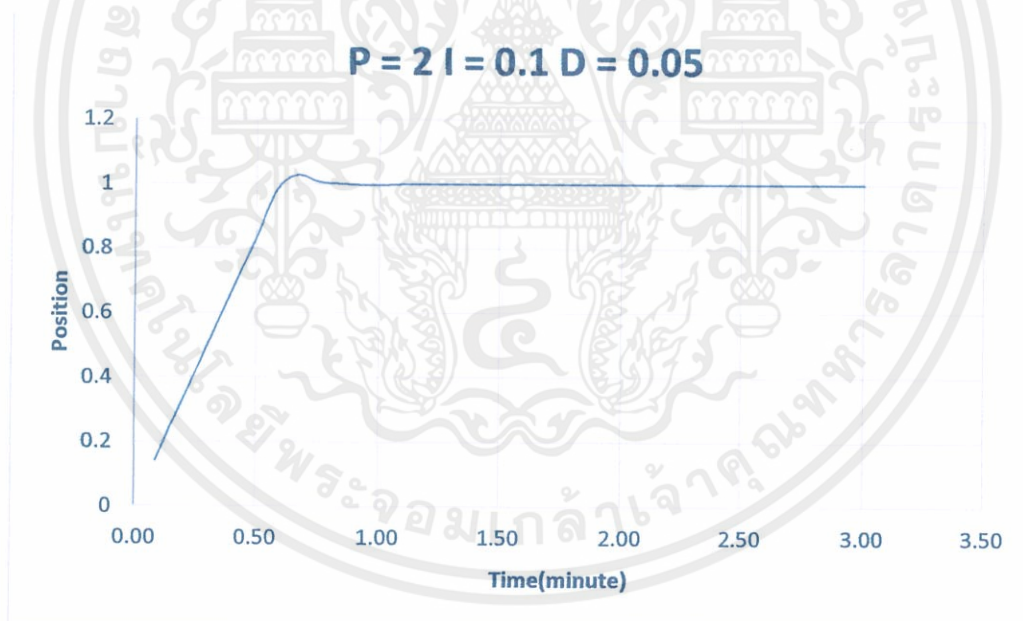
การทดลองที่ 21 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.05$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1.08 นาที ซึ่งใช้เวลาและมีค่าความผิดพลาดมากกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ แต่การปรับค่า D เพิ่มขึ้นทำให้ค่าพุ่งเกินลดลง ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดง ดังตารางที่ 4.21 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.36

ตารางที่ 4.21 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2$ $I = 0.1$ $D = 0.05$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	141	284	421	563	701	835	982	1028	1008	1002	999	997

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.36 การปรับค่า $P = 2$ $I = 0.1$ $D = 0.05$

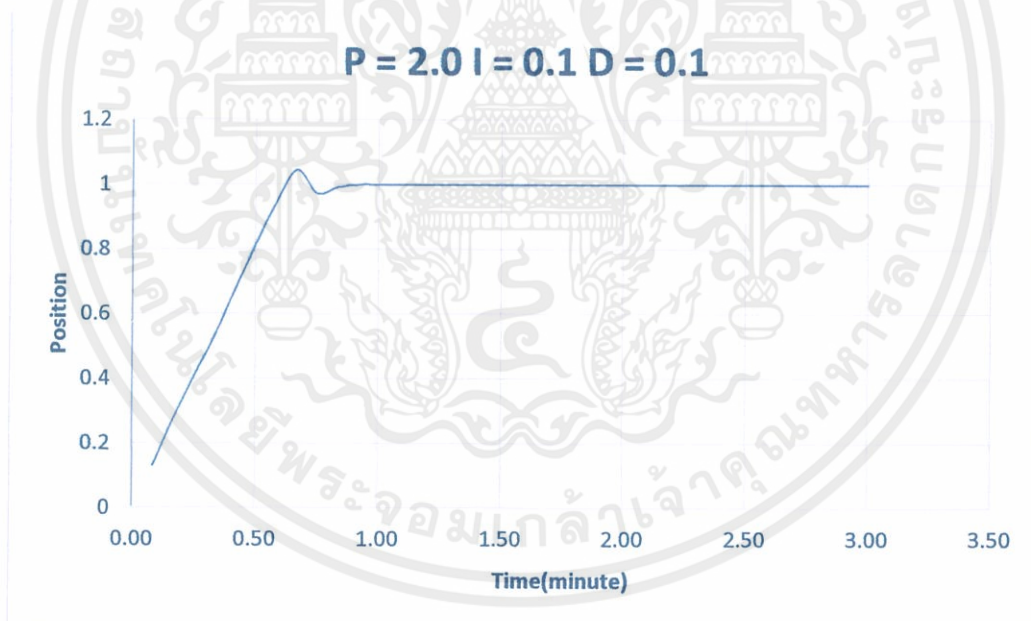
การทดลองที่ 22 ปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.1$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.92 นาที ซึ่งใช้เวลาลดลงแต่ทำให้ค่าพุ่งเกินสูงขึ้นและค่าความผิดพลาดสูงขึ้นกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.05$ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดง ดังตารางที่ 4.22 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.37

ตารางที่ 4.22 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.1$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	130	273	407	532	676	816	945	1045	973	992	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.37 การปรับค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

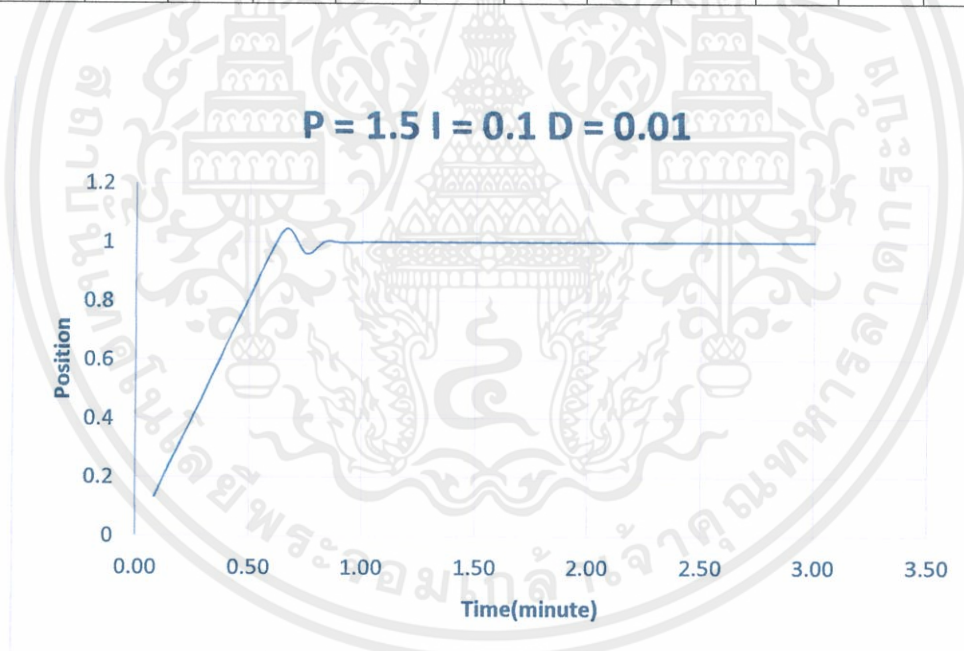
การทดลองที่ 23 ปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 1 นาที มีค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดสูงกว่าการกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดง ดังตารางที่ 4.23 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.38

ตารางที่ 4.23 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.01$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	133	273	405	542	684	815	953	1047	962	1003	999	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.38 การปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

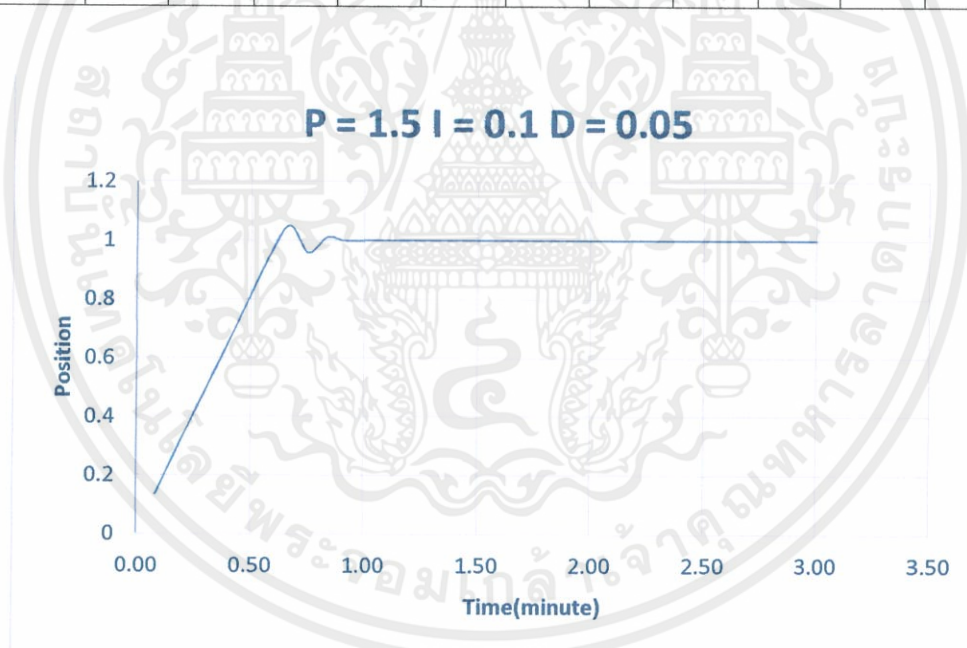
การทดลองที่ 24 ปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.05$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.92 นาที ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่ Set Point ลดลงแต่มีค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดสูงกว่าการกำหนดค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดง ดังตารางที่ 4.24 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.39

ตารางที่ 4.24 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.05$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	136	272	410	543	681	818	954	1051	959	1011	1000	1000

Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



รูปที่ 4.39 การปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

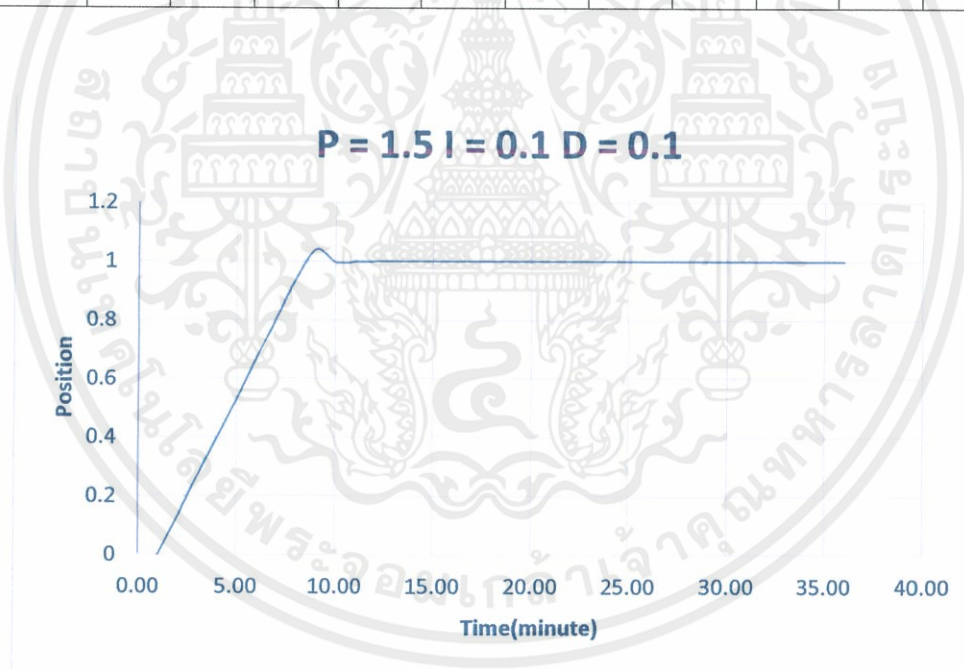
การทดลองที่ 25 ปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.1$ ทำให้รถไฟไปหยุดที่จุด Set Point โดยใช้เวลา 0.92 นาทีซึ่งเท่ากับการกำหนดค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.01$ แต่มีค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ซึ่งผลที่ได้ของเวลาและตำแหน่งแสดง ดังตารางที่ 4.25 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.40

ตารางที่ 4.25 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาและตำแหน่งของค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.1$

Time(min)	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
Position	130	269	400	534	674	808	944	1041	997	999	1000	1000

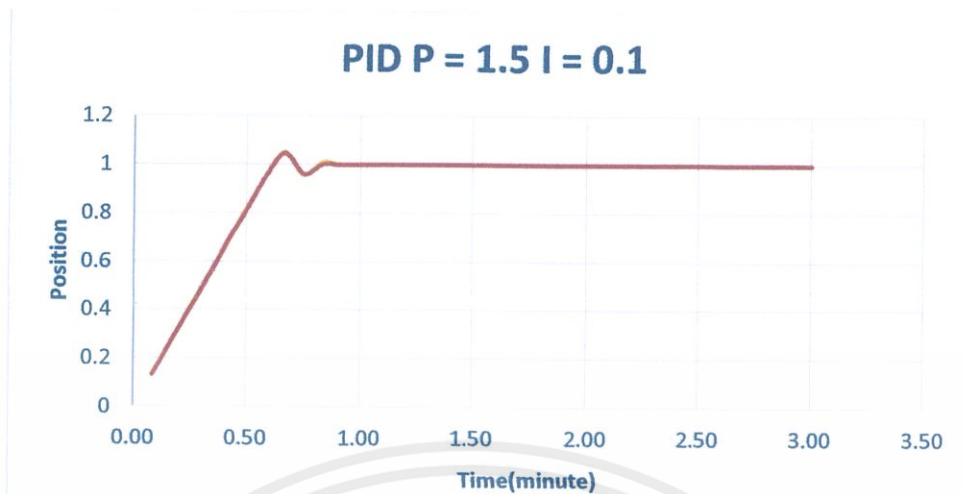
Time(min)	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.67	1.75	1.83	1.92	2.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Time(min)	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.92	3.00
Position	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

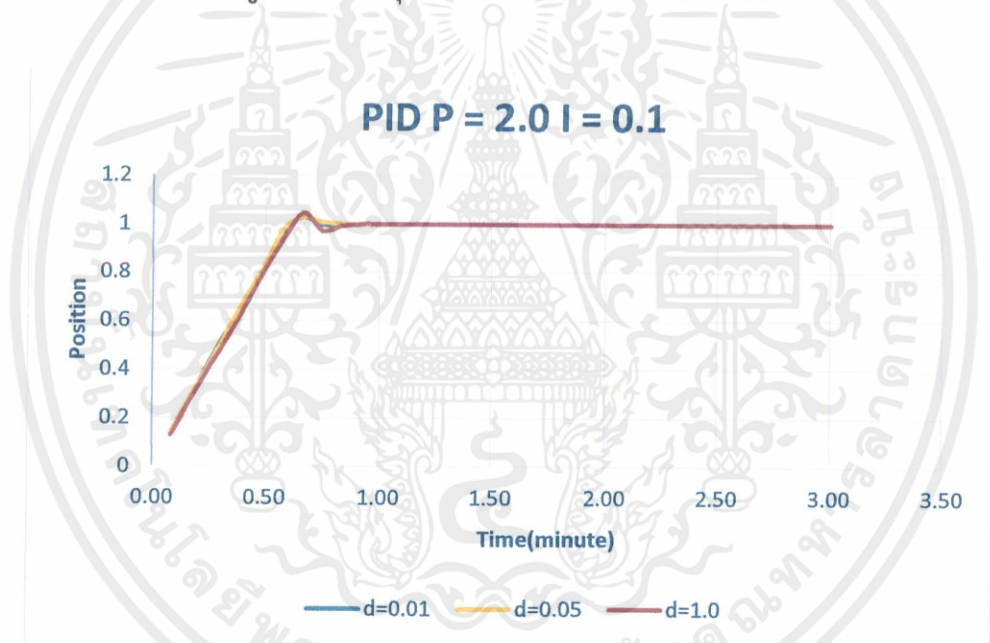


รูปที่ 4.40 การปรับค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ $D = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 สรุปค่า PID กำหนด $P = 1.5$ $I = 0.1$



รูปที่ 4.42 สรุปค่า PID กำหนด $P = 2.0$ $I = 0.1$

จากการทดลองปรับค่า D ทำให้ทราบได้ว่าปรับค่า D จะส่งผลกับค่าความผิดพลาดซึ่งค่า D ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง ค่า D ที่ดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับ ค่า P และค่า I ด้วย

หากกำหนดค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$ ค่า D ที่ดีที่สุดคือ 0.1 ใช้เวลาในการเข้าสู่จุด Set Point ที่ 0.92 นาที และมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ค่า D ที่เปลี่ยนไปไม่ได้มีผลต่อค่าความผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัด

หากกำหนดค่า $P = 2.0$ $I = 0.1$ ค่า D ที่ดีที่สุดคือ 0.1 เช่นกัน แต่การปรับค่า D ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความผิดพลาดลงอย่างเห็นได้ชัดกว่าการกำหนดค่า $P = 1.5$ $I = 0.1$

บทที่ 5

สรุปผลโครงการ อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงการ

โครงการนี้นำเสนอเรื่องของการจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก โดยนำเสนอผ่านซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผู้ใช้งานสามารถใช้งานโปรแกรมเพื่อทำควบคุม ตรวจสอบตำแหน่งของรถไฟจำลอง ผ่านทางอินเตอร์เฟซของโปรแกรม โดยนำทฤษฎีการควบคุมแบบ PID มาประยุกต์ใช้จากการทดลองพบว่าค่าตัวแปร PID ที่ดีที่สุดคือ $P = 2.0$ $I = 0.0$ $D = 0.0$ ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดโดยทั้งนี้ผู้ที่สนใจหรือต้องการจะศึกษาสามารถใช้โครงการนี้ เป็นสื่อการเรียนรู้ได้จริงในขั้นพื้นฐานเพื่อศึกษาเรื่องระบบควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อกซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการการเดินรถไฟให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นับเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการต่อยอดไปสู่การพัฒนาและประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคต

5.2 อุปสรรคและการแก้ไข

การศึกษาเรื่องระบบอัตโนมัติสัญญาณและการเดินรถไฟ เนื่องจากผู้วิจัยขาดความรู้ความเชี่ยวชาญทางด้านระบบขนส่งทางราง อีกทั้งการศึกษาการทำงานในระบบงานจริงนั้นบุคคลทั่วไปเข้าถึงได้ค่อนข้างยาก จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมอย่างมาก เช่น การศึกษาจากหนังสือ การขอเข้าร่วมในคลาสเรียนของหลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง การสอบถามจากบุคคลและผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง เพื่อให้การออกแบบและดำเนินการในแต่ละขั้นตอนเป็นไปได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับทฤษฎีที่รองรับ

ค่าตัวแปร PID ที่กำหนดในส่วนของตัวโปรแกรมควบคุมรถไฟยังไม่เหมาะสม จึงทำให้รถไฟมีการจอดที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ผู้ใช้ต้องการ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษากระบวนการทำงาน ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมก่อนนำไปใช้ รวมทั้งวิธีการติดตั้งต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดความขัดข้องขึ้นถ้าหากเกิดการขัดข้องขึ้นจำเป็นจะต้องรู้สาเหตุและสามารถแก้ไขความขัดข้องนั้นได้ควรมีการศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมเพื่อให้สามารถสั่งงานได้ตามที่ต้องการ ไม่เกิดข้อผิดพลาดขึ้นหากนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต่างจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงตัวโปรแกรมและอุปกรณ์นั้นๆ ก่อนโดยละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรองรับขบวนรถที่มากขึ้นและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของราง เนื่องจากขนาด โครงสร้างของรางและจำนวนอุปกรณ์ที่มี ทำให้การออกแบบสามารถรองรับการเดินรถได้เพียง 1 ขบวนเท่านั้น อีกทั้งโครงสร้างยังขาดอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สัญญาณไฟเข้าสำหรับตอนรถไฟ ซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องติดตั้งไว้ประจำตามจุด

การพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานบนอุปกรณ์อื่นได้ เช่น บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต ในรูปแบบของแอปพลิเคชัน ที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกมากกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริชญานิพนธ์ ขวัญจิรา พรธนโชค และธีรยุทธ ดอกแย้ม. การพัฒนาระบบควบคุมและจัดการการเดินรถไฟ. สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] นคร จันทศร. 2554. **ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ**. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [3] มานะชัย วัฒนหัตถกรรม และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. **ระบบควบคุมรถไฟและการอาณัติสัญญาณเบื้องต้น**. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [4] ศุภพงศ์ ประภาศรี. 2557. **PROCESS CONTROL**. [Online]. Available: www.sites.google.com/site/suppapongclub/ceaa-luk-rabbpid.
- [5] 4inone Group. 2553. **ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ และการควบคุมแบบ PID สำหรับงานควบคุม เครื่องมือทางการแพทย์**. [Online]. Available: www.bme-4inone.blogspot.com/2010/07/pid.html.
- [6] Ang, K.H., Chong, G.C.Y. and Li, Y. 2548. **PID control system analysis, design and technology**. [Online]. Available: <http://eprints.gla.ac.uk/3817>.
- [7] American Railway Association. 2465. **The Invention of the Track Circuit**. [Online]. Available: <https://goo.gl/q6dT1H>.
- [8] Jinghua Zhong. 2549. **PID Controller Tuning: A Short Tutorial**. [Online]. Available: <http://saba.kntu.ac.ir/eecd/pcl/download/PIDtutorial.pdf>.
- [9] IOXhop. 2558. **Arduino กับการใช้งานอินเทอร์เฟซ**. [Online]. Available: <https://goo.gl/Xx8tqn>.
- [10] Suchart Chanjaramanit. 2555. **PID Control System**. Electrical Engineering Faculty Of Engineering. Rajamangala University of Technology Lanna.,



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
Poster และ รูปผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Poster และ รูปผลงาน

Department of Computer Engineering
(Information Engineering)
KMIT ENGINEERING
PROJECT
DAY 2017

TRAIN POSITIONING MODEL BASE MOVING BLOCK SYSTEM

Jaktep Jaidee, Medeeporn Pakdeepan and Viroj Dejiranukul
Advisor: Asst.Prof.Dr. Vanvisa Chutchavong


Abstract

This thesis is a research about the moving block signaling train control by Proportional Integral Derivative (PID) control systems, used to control train parked at the station. Use encoder to check the location of model trains and sends the results back to the application via a wireless network. Presentation by software and model trains. Users can control train check for results through the interface of the program. The experiment showed that the best PID parameters is $P = 2.0$ $I = 0.0$ $D = 0.0$, which makes the error is zero.


Introduction

Because of the rail transport system in Thailand are currently obsolete more than neighboring countries such as China, Japan and lack of knowledge to convey to Thailand that made learning the rail transport system difficult. One of the problems is the park of the train is not directly. In this thesis find solutions of this problem by develop software to control train model to parked at each station more precisely and can control the speed of train. For added convenience and prevent accidents that may occur. And used the theory of Proportional Integral Derivative (PID) to control the speed of train to consistent with the park of trains to match the platform screen doors of each station.


Methodology



User Interface



Train & Encoder



Track & Station

Create a program to control the train model with the defined speed, forward and backward, and stop. Get the position of the train from encoder stuck on the train. The position to be calculated and tested by using PID control several values, to obtain the optimum values. In order to train stopped automatically. When the desired goal.

Results

The experiment was done by adjusting the variable PID until appropriate value. From the experimental results that when we define "P" too less will make the train stopped before the target and when configured P too much will make the train stopped over the target and when added "I" to make the train into the target faster. But the train will stop over the target more as well. And when added "D" will do the fewer mistakes. But it will take that long time.

Conclusion

This project is a presentation of the model train control moving block by develop software. The experiment showed the best PID parameters is $P = 2.0$ $I = 0.0$ $D = 0.0$ which makes the error is zero. The program can control device efficiently and can corresponds the operation of the hardware. That will send the position of the train correctly. The people who are interested or want to study can be used this project for a basic learning about moving block signaling train control.

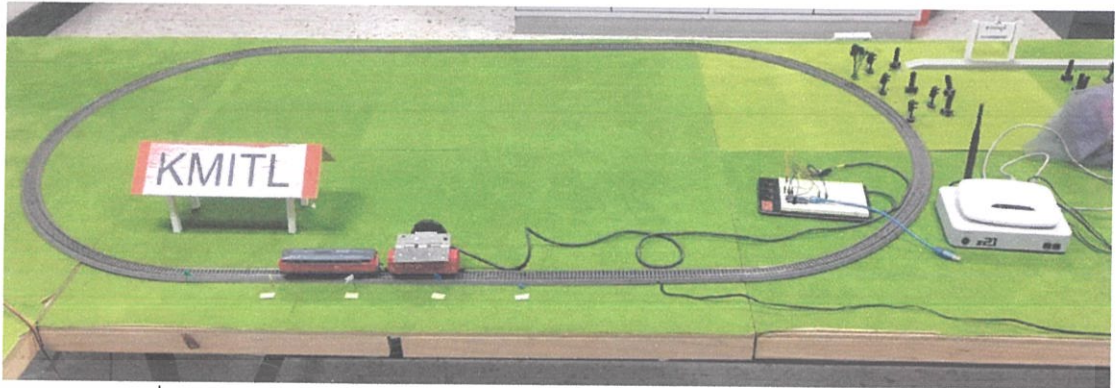
References

[1] Kwanjira Porntanachoke, and Teerayoot Dokyam., "DEVELOPMENT OF TRAIN OPERATION AND CONTROL". Information Engineering Faculty Of Engineering. King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang, 2015
[2] Suchart Chanjaramanit., "PID Control System" Electrical Engineering Faculty Of Engineering, Rajamangala University of TechnologyLanna., 2012

E-mail: kcvanvis@kmitl.ac.th,
jkgrod07@gmail.com, umi.allnerd@gmail.com, vrdivroj@gmail.com

รูปที่ ก.1 Poster ของปริญญาานิพนธ์แบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟวิงบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ผลงานของปริญญาโทแบบจำลองการควบคุมรถไฟแบบมูฟริงบล็อก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ตัวอย่าง การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE

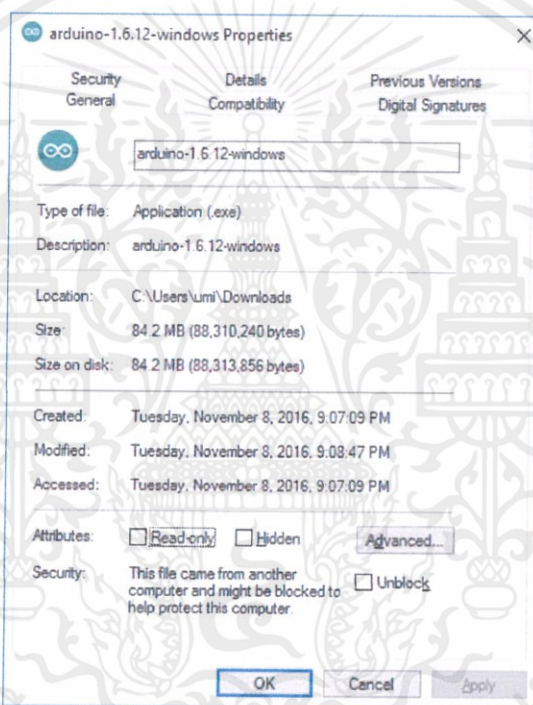
ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE

การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE

โปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อทำการดาวน์โหลด arduino-1.6.12-windows.exe เรียบร้อย ไฟล์จะมีขนาดและฟอร์แมตไฟล์ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 หน้าต่างแสดงขนาดของโปรแกรม Arduino IDE

2. double-click ไฟล์ arduino-1.6.12-windows.exe เพื่อเริ่มต้นติดตั้งโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

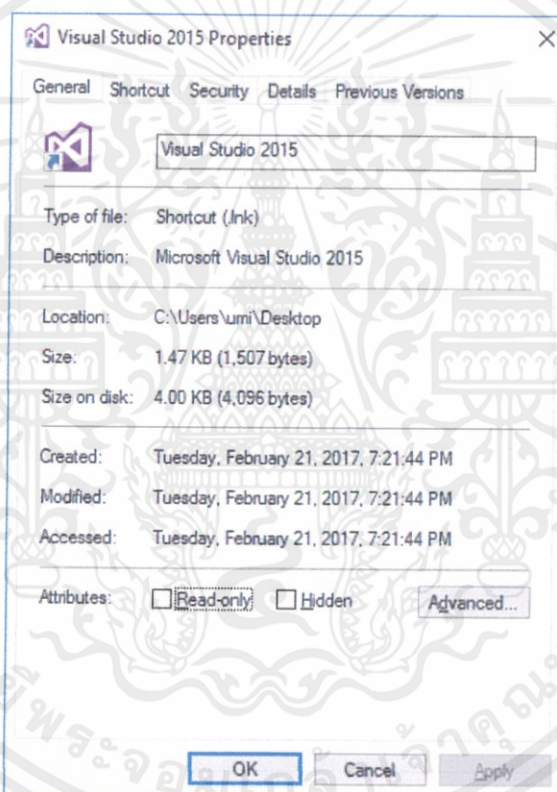
ภาคผนวก ค

ตัวอย่าง การติดตั้งโปรแกรม Visual Studio

การติดตั้งโปรแกรม Visual Studio

โปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อทำการดาวน์โหลด MisoftViStu14.0.24720_MWTSoft.exe เรียบร้อย ไฟล์จะมีขนาดและฟอร์แมตไฟล์ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ค.1 หน้าต่างแสดงขนาดของโปรแกรม Visual Studio

2. double-click ไฟล์ MisoftViStu14.0.24720_MWTSoft.exe เพื่อเริ่มต้นติดตั้งโปรแกรม

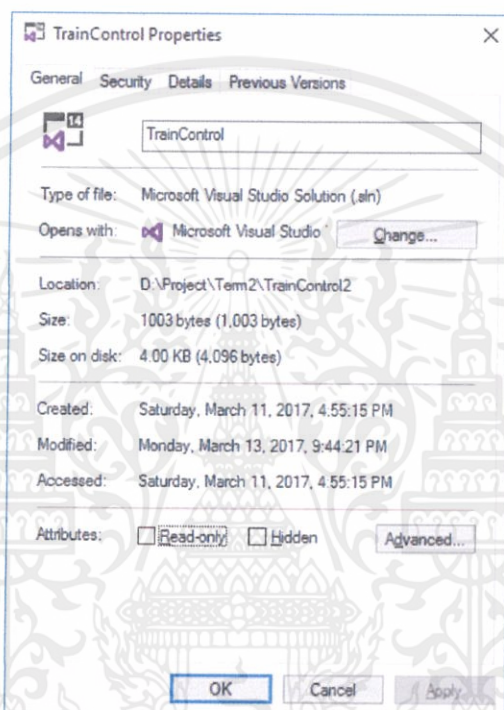


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

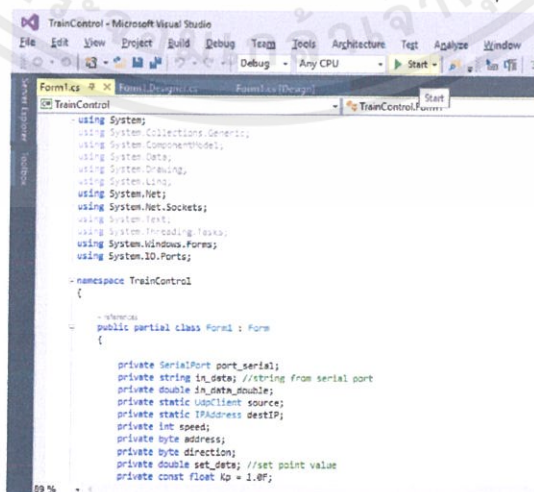
ตัวอย่าง การใช้งานโปรแกรม Train Control

1. เปิดไฟล์ที่มีชื่อว่า TrainControl.sln เพื่อทำการเปิดโปรแกรม ไฟล์จะมีขนาดและฟอร์แมตไฟล์ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 หน้าต่างแสดงขนาดของไฟล์ Train Control

2. เมื่อเปิดไฟล์แล้ว ต้องการจะใช้งานตัวแปรแกรม Train Control กดปุ่ม Start ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 หน้าต่างแสดงการเริ่มใช้โปรแกรม Train Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถสั่งงานโปรแกรม Train Control ได้ตามรูปแบบโปรแกรมดังรูปที่ ๓.3 ได้เลย

รูปที่ ๓.3 ตัวโปรแกรม Train Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้