

การพัฒนาชุดประแจกลและจุดสับรางสำหรับทางรถไฟขนาด 10.25 นิ้ว  
Development of Railway Point Machine and Turnout  
for 10.25 inch Railway Gauge



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF RAILWAY POINT MACHINE AND TURNOUT  
FOR 10.25 INCH RAILWAY GAUGE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BECHALOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การพัฒนาชุดประแจกลและจุดสับรางสำหรับทางรถไฟขนาด 10.25 นิ้ว

นางสาวธิดาพร ทนวนรัมย์ รหัสประจำตัว 59010652

นายนราวิชญ์ อัญมณีรัตน์ รหัสประจำตัว 59010704

นางสาวพาขวัญ พุนจิตร์บริสุทธิ์ รหัสประจำตัว 59010955

ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

### บทคัดย่อ

ชุดประแจทางเหล็กรถไฟเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนเส้นทางในการเดินรถของรถไฟ  
โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างชุดประแจทางเหล็กรถไฟและประแจกลมือ ที่ใช้สำหรับ  
ควบคุมทิศทางของรางรถไฟที่มีขนาดทาง 10.25 นิ้ว (อัตราส่วน 1:4 ของขนาดทางมาตรฐาน) การ  
ควบคุมลิ้นประแจสามารถทำได้ด้วยการใช้มือหมุนชุดทดเฟืองแบบรีเวอร์ท (Reverted Compound  
Gear Train)

ในการออกแบบชุดประแจทางเหล็กรถไฟ ได้อ้างอิงขนาดและรูปร่างมาจากชุดประแจรถไฟ  
ของศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนไทย จากนั้นใช้โปรแกรม AutoCAD ออกแบบชุดประแจทางเหล็ก  
รถไฟ และใช้โปรแกรม SOLIDWORKS จำลองการทำงานของชุดประแจทางเหล็กรถไฟและประแจมือ  
กล นอกจากนี้ในโครงการนี้ยังได้จัดทำชุดจำลองย่อส่วนประแจทางเหล็กรถไฟและประแจกล  
(อัตราส่วน 1:16 ของขนาดทางมาตรฐาน) ด้วยการพิมพ์สามมิติ (3D printing) เพื่อใช้เป็นชุดสาธิต  
จำลองการทำงานของประแจทางเหล็กรถไฟและประแจกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF RAILWAY POINT MACHINE AND TURNOUT  
FOR 10.25 INCH RAILWAY GAUGE

Tidaporn Tanuanram 59010652

Naravit Arnyamaneerat 59010704

Pakwan Poonjitborisut 59010955

Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsarn, Advisor

Year 2019

**ABSTRACT**

Railway turnout is a device used to change the route of a train. The objective of this project was to design and construct the model of railway turnout and manual point machine for controlling the direction of 10.25 inch railway track (1:4 ratio of standard gauge). Tongue rail can be controlled by manual turning the reverted compound gear train.

The dimensions and geometry of designed railway turnout were based on the railway turnout, manufactured by the Italian-Thai Industrial Complex. Later, the AutoCAD program was employed to design the railway turnout and the SOLIDWORKS program was utilized to simulate the operation of railway turnout and point machine. Moreover, in this project, the scaled model of the railway turnout and manual point machine (1:16 ratio of standard gauge) was built by using the 3D printer. This scaled model is to be used as a demonstration setup of the railway turnout and manual point machine.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำและแนวทางการแก้ไขปัญหาเสมอมา คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน สำหรับคำปรึกษา และความคิดเห็น ในด้านการคำนวณ และ คุณศิวตล ไชยบท คุณจุฑามาศ สุขเจริญและคณะ สำหรับข้อเสนอแนะในด้านการประกอบชิ้นงาน รวมทั้งขอขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธิดาพร ทนวนรัมย์  
นราวิชญ์ อัญมณีรัตน์  
พาขวัญ พูนจิตรบบริสุทธิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด III อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ทฤษฎี.....	3
2.2.1 ความรู้พื้นฐานวิศวกรรมรางรถไฟ.....	3
2.2.1.1 การจำแนกประเภทประเภททางหลัก.....	5
2.2.1.2 การควบคุมประเภท.....	7
2.2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) .....	9
2.2.2.1 การตรวจสอบทั่วไป (General Checks) .....	9
2.2.3 ตัวแปรพื้นฐานการออกแบบประเภททางหลัก .....	10
2.2.3.1 ความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล (Unbalanced Centrifugal Acceleration) .....	11
2.2.3.2 การสูญเสียของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy Loss) .....	11
2.2.4 การคำนวณค่ายกโค้งของรางด้านนอก (Deficient Elevation of Outer Rail) .....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเอกสารมีประโยชน์สมควรจะเอามาใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และตั้ง IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 ระบบการทดเฟือง .....	13
2.2.5.1 อัตราทดของเฟือง.....	14
2.2.5.2 Reverted Compound Trains [4] .....	14
2.2.5.3 แรงบิดของพินเนียน.....	15
2.2.6 กรรมวิธีการผลิต.....	16
2.2.7 เซนทรอยด์และโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่.....	17
2.2.7.1 โมเมนต์ที่หนึ่งหรือจุดเซนทรอยด์.....	17
2.2.7.2 โมเมนต์ที่สองหรือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่.....	17
2.2.8 ความเค้นดัด.....	18
2.2.9 โมเมนต์ดัด.....	18
2.2.10 ตัวคูณแรงกระแทก (Impact Factor) .....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.1 การรวบรวมข้อมูล .....	20
3.2 การออกแบบกลไกประแจกลมือ.....	20
3.2.1 การเขียนแบบ.....	20
3.2.1.1 เส้นทางการเดินรถ.....	20
3.2.1.2 เขียนแบบประแจกลมือและประแจทางหลัก.....	22
3.2.2 3D Printing .....	24
3.2.3 การคำนวณโมเมนต์ที่หนึ่งของพื้นที่หน้าตัดราง.....	25
3.2.4 การคำนวณตัวแปรพื้นฐานการออกแบบประแจทางหลัก.....	26
3.2.5 การคำนวณแรงบิดขาออก .....	27
3.2.6 การคำนวณแรงบิดขาเข้าและออกของชบวนเฟือง.....	34
3.2.7 การคำนวณหาค่าหนักล้อสูงสุด.....	36
3.3 การจัดทำชุดประแจทางหลักและชุดประแจกลมือ.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด V ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลลัพธ์.....	44
4.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของประแจทางหลัก.....	44
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของเพลาล้อบนประแจทางหลัก แบบโมเดล 3D Printing .....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.2 ปัญหาจากการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	46
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก. การออกแบบชุดประแจกลมือ สำหรับรางขนาด 10.25 นิ้ว จากโปรแกรม SOLIDWORKS .....	50
ภาคผนวก ข. การออกแบบชุดประแจสับราง สำหรับรางขนาด 10.25 นิ้ว จากโปรแกรม AutoCAD.....	67
ภาคผนวก ค. ใบรายการตรวจสอบ ชุดประแจสับรางสำหรับทางรถไฟขนาด 10.25 in.....	74

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของวัสดุ.....	16
3.1 ความยาวของรางแต่ละประเภทใน Switching Part.....	37
3.2 ความยาวของรางแต่ละประเภทใน Crossing Part.....	37
3.3 ความยาวหมอนไม้แต่ละท่อน .....	39
3.4 อุปกรณ์เสริมในการประกอบประแจสับราง .....	41
4.1 ผลการทดสอบประแจทางหลัก.....	44
4.2 ผลการทดสอบโมเดลประแจทางหลัก 3D Printing.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VII ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมและส่วนประกอบประแจทางหลัก.....	3
2.2 ทางตัดหรือหัวตะเฒ่.....	4
2.3 รากัน.....	4
2.4 ลิ่นรางและรางประกองลิ่น.....	5
2.5 รางปิด.....	5
2.6 ประแจทางหลักชนิด Single Crossover.....	6
2.7 ประแจทางหลักชนิด Double Crossover.....	6
2.8 ประแจทางหลักชนิด Track Crossing.....	7
2.9 ประแจทางหลักชนิด Slip Switch.....	7
2.10 ประแจกลมมือ.....	8
2.11 ประแจกลสายลวด.....	8
2.12 ประแจกลไฟฟ้า.....	8
2.13 สัญญาณไฟสี่.....	9
2.14 ระยะระหว่างลิ่นรางและรางประกองตำแหน่งปิด.....	9
2.15 ระยะรางลิ่นกับรางประกองตำแหน่งเปิด.....	10
2.16 โค้งนำ (Lead Curve).....	11
2.17 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประแจทางหลัก.....	12
2.18 การยกโค้งกรณี Cant Deficiency.....	13
2.19 ลักษณะของขบวนเฟื่อง Reverted Compound Trains.....	14
2.20 ลักษณะของสะพานเกียร์และพินเนียน.....	15
2.21 หลักการของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่.....	17
3.1 มุมมองด้านบนเส้นทางเดินรถหน้า Workshop.....	21
3.2 เส้นทางเดินรถช่วงประแจทางหลัก.....	21
3.3 เส้นทางเดินรถในอีกมุมมอง.....	22

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ประแจกลที่ออกแบบใน SOLIDWORKS .....	22
3.5 เขียนแบบประแจทางหลัก .....	23
3.6 หน้าตัดของลึนรางและรางประกอบที่เปลี่ยนไปตามช่วงของความยาว .....	23
3.7 เขียนแบบรางประกอบ .....	23
3.8 หน้าตัดรางประกอบที่เปลี่ยนไปตามความยาว .....	23
3.9 เขียนแบบลึนราง .....	24
3.10 เครื่อง 3D Printing รุ่น Original PRUSA i3 MK3 .....	24
3.11 โมเดลประแจกลมือและลึนรางช่วง Switching Part จาก 3D Printing .....	25
3.12 โมเดลประแจทางหลักทั้งช่วง Switching และ Crossing Part และชุดประแจกลมือ จาก 3D Printing .....	25
3.13 การแบ่งพื้นที่หน้าตัดรางเพื่อคำนวณโมเมนต์ที่หนึ่ง .....	25
3.14 ส่วนประกอบหลักในการคำนวณแรงบิดขาออก .....	27
3.15 รูปร่างหน้าตัดของลึนราง .....	28
3.16 คุณสมบัติหน้าตัดของลึนราง .....	29
3.17 ระยะห่างระหว่างลึนรางและรางประกอบที่ออกแบบ .....	30
3.18 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ในวิดีโอด้วยโปรแกรม Tracker .....	31
3.19 ค่าที่สามารถหาได้จากโปรแกรม Tracker .....	31
3.20 คำนวณความเร่งเฉลี่ยด้วยวิธี RMS ผ่าน Microsoft Excel .....	32
3.21 แผนภูมิอิสระของระบบ .....	32
3.22 แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของระบบ .....	33
3.23 การคำนวณขบวนเฟือง Reverted Compound Trains .....	35
3.24 วัดความยาวของเหล็กรางรถไฟ .....	38
3.25 ตัดเหล็กรางรถไฟ .....	38
3.26 ชุดประแจกลมือ .....	39
3.27 เครื่องจักรการไส .....	40

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 เครื่องจักรการตัด .....	40
3.29 การยัดเหล็กทรงรถไฟกับหมอนไม้โดยใช้สกรูกับงานแหวนล้อค.....	41
3.30 การยัดเหล็กทรงรถไฟกับหมอนไม้โดยมีแผ่นเหล็กตัดมาเสริม .....	41
3.31 การยัดเหล็กทรงรถไฟในส่วนทางตัด .....	42
3.32 การเชื่อมรางแบบรางต่อ .....	42
3.33 การยัดประแจกลมือกับลิ้นราง.....	43
3.34 การประกอบชุดประแจทางหลักและประแจกลมือที่เสร็จสมบูรณ์.....	43
4.1 ชุดประแจทางหลักที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ .....	44
4.2 ชุดโมเดลประแจทางหลัก 3D Printing ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ .....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางได้มีบทบาทเข้ามามากขึ้นในการขนส่งมวลชนของประเทศไทย การขนส่งทางรางเป็นวิธีการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่วิ่งบนราง รถไฟเป็นหนึ่งในยานพาหนะที่สำคัญ ที่นิยมใช้กันทั่วไป อีกทั้งยังมีความคุ้มค่ามากสำหรับการเดินทางและการขนส่งสินค้าในระยะทางไกล ระบบขนส่งทางรางประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายส่วนที่มีความสำคัญ ในที่นี้จะกล่าวถึงประแจกล ซึ่งมีหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของขบวนรถไฟ ประแจกลมีกลไกระบบเพื่องตในการขับเคลื่อน ที่มีต้นกำลังอยู่ 2 แบบคือ 1.ประแจกลมือ (Hand Operated) 2.ประแจกลไฟฟ้า (Electric)

ทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบชุดประแจทางหลักและประแจกลมือ ซึ่งมีหน้าที่บังคับทิศทางให้ขบวนรถไฟวิ่งไปตามทางตรงหรือทางแยกซ้ายขวา โดยใช้ล้อที่มีครีบบอยู่ด้านในครีบล้อนี้เรียกว่า “บังใบล้อ” (Wheel Flange) บังคับไม่ให้ล้อรถไฟพลัดตกจากราง ส่วนทางรถไฟตรงจุดที่ต้องการให้ขบวนรถไฟวิ่งเปลี่ยนไปทิศทางที่ต้องการจะติดตั้งรางรถไฟแบบพิเศษเรียกว่า “ประแจทางหลัก” (Switch หรือ Turnout) อุปกรณ์นี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือลิ้นราง (Tongue Rail) สามารถโยกไปด้านซ้ายขวาได้เมื่อขบวนรถไฟวิ่งผ่านลิ้นรางจะบังคับบังใบล้อให้วิ่งไปตามทิศทางที่เปิดลิ้นรางรับไว้ การควบคุมลิ้นรางมีหลายวิธี วิธีง่ายๆแบบใช้คันโยกด้วยมือเรียกว่าประแจมือ หากใช้หลักการชักรอก การดึงของลวดสลิงจากสถานีจะเรียกว่าประแจกลสายลวด ส่วนการใช้รีเลย์หรือระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้นถูกเรียกว่าประแจกลไฟฟ้า ซึ่งการศึกษาในโครงการนี้จะศึกษาในส่วนของประแจกลมือ (Hand Operated)

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สำหรับโครงการนี้เป็นการสร้างแบบจำลองประแจทางหลักและประแจกล

1. เพื่อศึกษาหลักการเคลื่อนที่ของประแจกลมือ
2. เพื่อศึกษาออกแบบกล่องชุดเพื่องตกำลังและประแจกลมือ ที่ใช้สำหรับควบคุมทิศทางของรางรถไฟที่มีขนาดทาง 10.25 in อัตราส่วน 1:4 จากขนาดมาตรฐาน 1.435 m
3. เพื่อเรียนรู้การทำงานและการบำรุงรักษาของอุปกรณ์รางรถไฟ
4. เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาเรียนรู้แก่นักศึกษารุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคาดการณ์ได้ว่าสามารถออกแบบประแจกลมือและติดตั้งกับประแจทางหลักบนทางรถไฟแล้วสามารถมีการทำงานได้จริง แต่อาจจะมีส่วนประกอบของทาง ณ ประแจทางหลักที่มีความแตกต่างจากรูปร่างมาตรฐาน เนื่องจากปัจจัยการออกแบบให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ที่ต้องการสร้าง

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการ

การออกแบบกลไกประแจกลมือนั้นได้นำเรื่องการทดเฟืองมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มแรงบิดขาออกให้มีค่าเพิ่มขึ้น ในด้านส่วนประกอบของทางรถไฟที่เกี่ยวข้องกับประแจทางหลักนั้นได้อ้างอิงจากรูปแบบการใช้งานจริง โดยการนำเหล็กมาผ่านวิธีการการผลิตรูปแบบต่างๆ เช่น การเจาะ การไส ฯลฯ ให้ได้ตรงตามที่ได้มีการออกแบบเอาไว้ แนวคิดทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเพื่อเตรียมตัวในการไปแข่งขัน Railway Challenge [1] จึงต้องสร้างทางรถไฟไว้สำหรับทดสอบการวิ่งของตัวรถ

### 1.5 ขอบเขตของโครงการ

1. เน้นศึกษาเฉพาะประแจทางหลักสำหรับขนาดทาง 10.25 in อัตราส่วน 1:4 จากขนาดมาตรฐาน 1.435 m
2. ศึกษาออกแบบชุดเฟืองทดสำหรับประแจกลมือสามารถส่งแรงได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้ลิ้นรางสามารถเคลื่อนที่ซ้ายขวาได้จริง

### 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการออกแบบและหลักการทำงานจากของจริงว่าประแจทางหลักและประแจกล
2. ออกแบบชุดกลไกทดเฟืองให้มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับของจริง
3. การหาข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งทางรางเพื่อเป็นตัวอย่างในการเขียนแบบและออกแบบทางรถไฟ ณ จุดสักราง

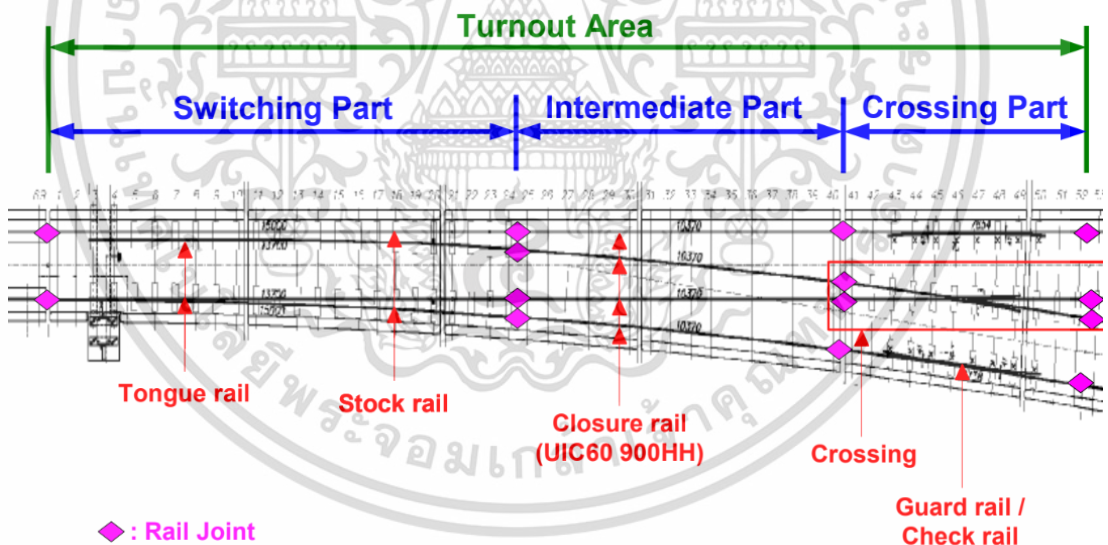
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

ในการออกแบบระบบกลไกประแจทางหลักนั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษากลไกที่ใช้ได้จริงเป็นพื้นฐาน การใช้ประโยชน์จากระบบเฟืองทด ข้อบังคับเกี่ยวกับความปลอดภัยต่างๆของอุปกรณ์เช่น การตรวจสอบระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นว่าอยู่ในระยะที่ปลอดภัยหรือไม่ กรรมวิธีการผลิตรูปแบบต่างๆที่ใช้ในการผลิตส่วนประกอบของระบบราง ความรู้วิศวกรรมรางรถไฟที่เกี่ยวข้องในส่วนของจุดสับราง และการหาแรงบิดในระบบ

### 2.2 ทฤษฎี

#### 2.2.1 ความรู้พื้นฐานวิศวกรรมรางรถไฟ

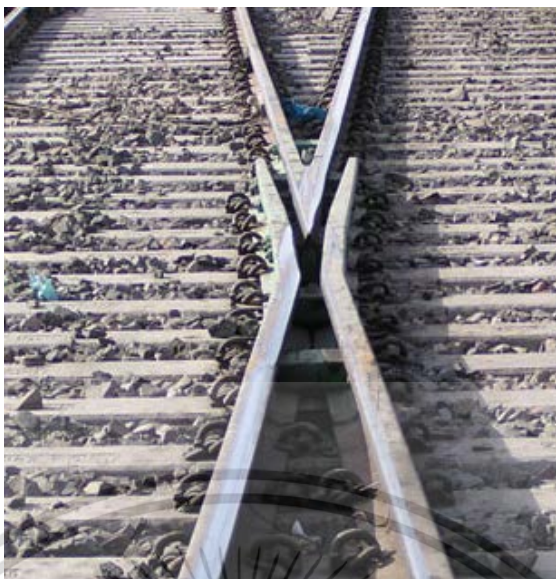


รูปที่ 2.1 ภาพรวมและส่วนประกอบประแจทางหลัก

ประแจทางหลักแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆ มีส่วนประกอบประแจทางหลัก [5] ที่สำคัญซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบมีดังต่อไปนี้

1. ทางตัดหรือหัวตะเฒ่ (Crossing) คือ จุดตัดของทางหลักและทางหลักซึ่งเป็นส่วนที่รับแรงกระแทกจากล้อมาก แสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ทางตัดหรือหัวตะเฒ่

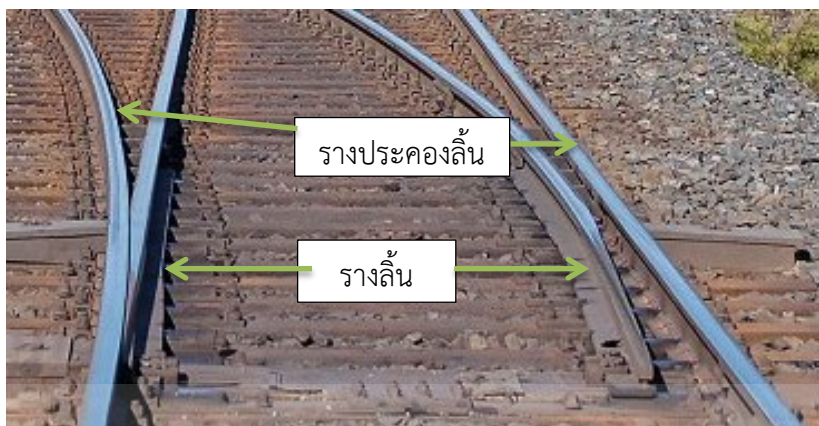
2. รางกัน (Guard Rail) คือ รางที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อให้อยู่ในทิศทางที่ถูกต้องและป้องกันการตกรางของรถไฟ เรียกอีกชื่อว่า Check Rail ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างของตะเฒ่ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รางกัน

3. ลิ้นราง (Tongue Rails) คือ เป็นส่วนของรางที่เคลื่อนที่ได้ โดยรางแรกเป็นของทางตรง อีกรางหนึ่งเป็นของทางโค้ง มีหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทางของรถไฟ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Switch Rails หรือ Point Blades แสดงดังรูปที่ 2.4

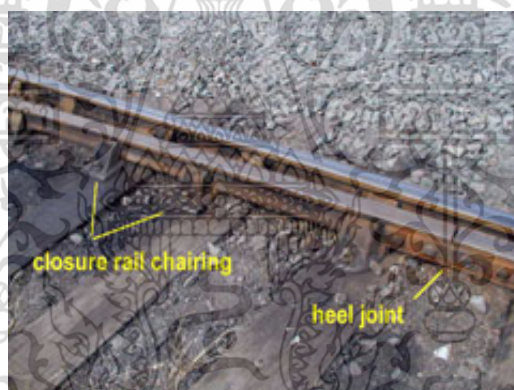
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลึ้นรางและรางประกอบลึ้น

4. รางประกอบลึ้น (Stock Rails) คือ รางทั่วไปที่ใช้วิ่งซึ่งอยู่ด้านข้างของลึ้นราง เป็นรางที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่น กลึง เจาะ ให้โค้งงอตามที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 2.4

5. รางปิด (Closure Rails) คือ รางตรงหรือโค้งที่อยู่ระหว่างปลาย Switching Part และต้นทางของ Crossing Part แสดงดังรูปที่ 2.5



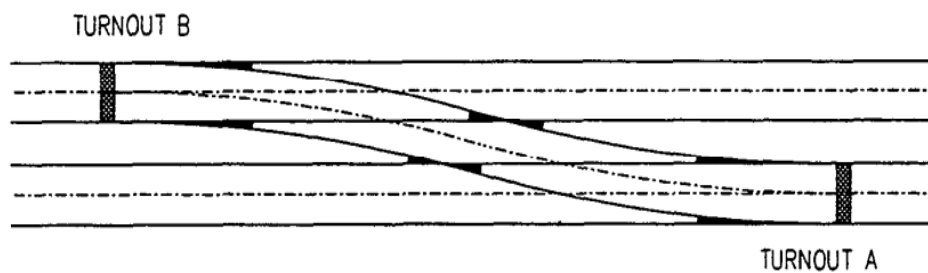
รูปที่ 2.5 รางปิด

### 2.2.1.1 การจำแนกประเภทประแจทางหลัก

#### 1. Single Crossover

ประแจทางหลัก Single Crossover ที่แสดงดังรูปที่ 2.6 ประกอบไปด้วยประแจทางหลัก 2 ตำแหน่งใน 2 ทางที่อนุญาตให้รถไฟเคลื่อนที่ไปอีกทางหนึ่ง ซึ่งทางทั้งคู่ไม่จำเป็นต้องขนานกัน

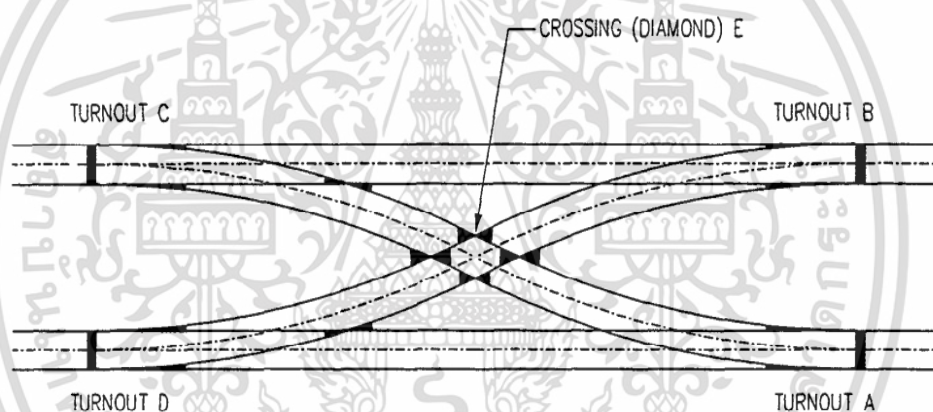
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ประแจทางหลักชนิด Single Crossover

## 2. Double Crossover

ประแจทางหลัก Double Crossover หรือเรียกอีกชื่อว่า Scissors Crossover แสดงดังรูปที่ 2.7 ประกอบไปด้วยการไขว้กันของทั้ง 2 ทางตรงกันข้ามซ้อนทับกัน โดยมีประแจทางหลัก 4 ตำแหน่งรวมอยู่ในนั้นและจำเป็นต้องมี Crossing Diamond ติดตั้งอยู่ระหว่าง 2 ทางหลัก

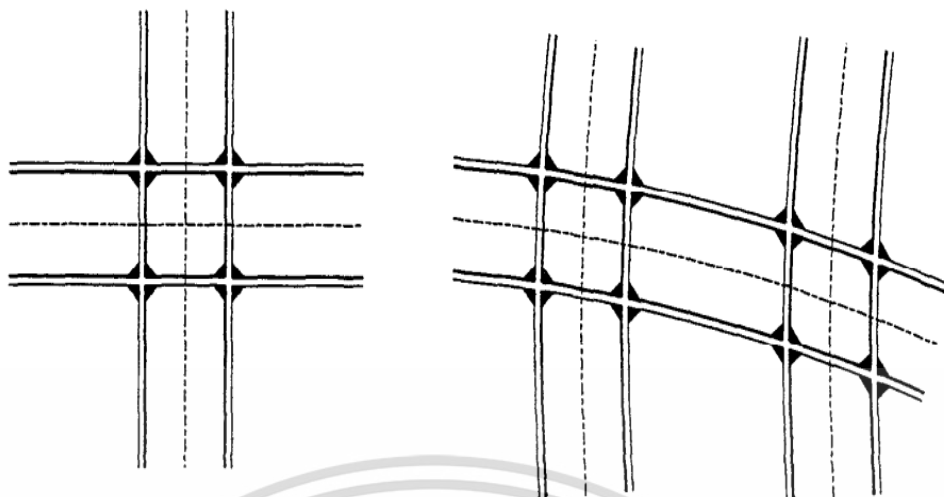


รูปที่ 2.7 ประแจทางหลักชนิด Double Crossover

## 3. Track Crossing

ประแจทางหลัก Track Crossing แสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นลักษณะที่อนุญาตให้ทั้งสองทางข้ามกัน จากรูปร่าง Track Crossing มักถูกเรียกว่า Crossing Diamonds หรือ Simply Diamonds

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

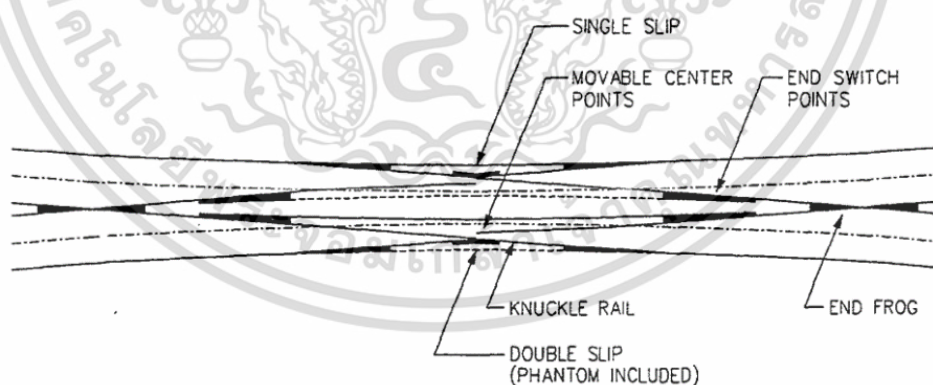


รูปที่ 2.8 ประแจทางหลักชนิด Track Crossing

#### 4. Slip Switch

สำหรับ Single Slip Switch ทำงานบนหลักการเดียวกับ Double Slip Switch แต่จะยอมให้มีการสับเปลี่ยนทางแค่แบบเดียวเท่านั้น เมื่อมีรถไฟเดินทางมาถึงจุดตัด รถไฟสามารถข้ามจุดตัดต่อไปได้เลยหรือเปลี่ยนเส้นทางไปยังเส้นทางอื่น อย่างไรก็ตามรถไฟจากทางอื่นสามารถข้ามจุดตัดไปได้เท่านั้นและไม่สามารถสลับเส้นทางไปทางอื่นได้ แสดงดังรูปที่ 2.9

สำหรับ Double Slip Switch รถไฟสามารถเปลี่ยนจากทางตรงหนึ่งไปยังอีกทางหนึ่งได้ และอนุญาตให้รถไฟออกจากทั้งสองทางในฝั่งตรงข้ามกันของจุดตัด แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ประแจทางหลักชนิด Slip Switch

#### 2.2.1.2 การควบคุมประแจกล

1. ประแจกลมือ เป็นการควบคุมอย่างง่ายและมีการใช้งานตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน มีอยู่
- 2 รูปแบบหลักๆก็คือการใช้คานโยกและมือหมุน แม้ในปัจจุบันจะหันมาใช้ประแจกลไฟฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ยังมีการติดตั้งประแจมือเป็นอีกทางเลือกยามฉุกเฉินอยู่ แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ประแจกลมือ

2. ประแจกลสายลวด เป็นการใช้นิการดึงหรือชักออกของลวดสลิงจากสถานีเพื่อควบคุมการสับราง มักใช้ร่วมกับสัญญาณทางปลาและสัญญาณไฟสี แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ประแจกลสายลวด

3. ประแจกลไฟฟ้า เป็นการใช้นิการหลักการของมอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนให้สับราง ซึ่งอาจควบคุมด้วยรีเลย์หรือคอมพิวเตอร์จากสถานี มักใช้ร่วมกับสัญญาณไฟสี แสดงดังรูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ประแจกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 สัญญาณไฟสี

## 2.2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) คือการทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามระยะเวลาที่กำหนดเอาไว้เพื่อป้องกันการเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร ทำการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรต่างๆ การเปลี่ยนอะไหล่ ซึ่งการดำเนินการลักษณะนี้จะสามารถยืดอายุการใช้งานเครื่องจักรได้

### 2.2.2.1 การตรวจสอบทั่วไป (General Checks)

1. ใช้สายตาตรวจสอบว่ามีวัตถุใดๆที่สามารถทำให้ก้านส่งกำลังหรือชิ้นส่วนใดๆของประแจกลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือเคลื่อนที่ติดขัด เช่น เศษขยะ ก้อนหิน ฯลฯ
2. เมื่อประแจอยู่ตำแหน่ง End Position ที่ลิ้นรางถูกปิดดังรูปที่ 2.14 โดยการตรวจสอบระยะของช่องว่างระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นนั้นต้องมีระยะน้อยกว่า 1 mm ที่แสดงดังรูปที่ 2.14 แต่ถ้าหากกระยะช่องว่างนั้นมีขนาดมากกว่า 5 mm เงื่อนไขนี้จะเกี่ยวข้องกับด้านความปลอดภัย จึงต้องเรียกเจ้าหน้าที่มาตรวจสอบ

Closing gap between  
tongue rail and stock rail

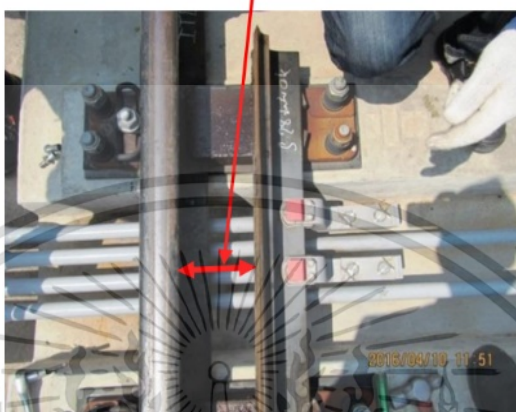


รูปที่ 2.14 ระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นตำแหน่งปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ณ ตำแหน่งที่ลึนรางถูกปิดตั้งรูปที่ 2.15 เมื่อวัดระยะระหว่างลึนรางและราง  
 ประคองลึนตรงตำแหน่งก้านที่ต่อกลับประแจจะต้องมีระยะห่างอยู่ในช่วง 135-148 mm ที่แสดงตั้ง  
 รูปที่ 2.15

Opening distance 135 - 148 mm.



รูปที่ 2.15 ระยะรางลึนกับรางประคองตำแหน่งเปิด

4. ทาจาระบีบางๆ บน Slide Chair แต่ถ้าหากสกปรกมากให้เอาจาระบีของเก่าออก  
 ก่อนทาอันใหม่ด้วยเกรียงเหล็ก
5. ทำการหมุนประแจลงมือไปอีกฝั่งหนึ่งแล้วทำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 ซ้ำอีกรอบ
6. ตรวจสอบด้วยสายตาว่าไม่พบเห็นรอยแตกร้าวของคอนกรีตของตัวประแจกล
7. ตรวจสอบอย่างรอบคอบอีกครั้งว่าไม่มีวัตถุใดๆตกหล่นอยู่ในกล่องประแจกล  
 จากนั้นปิดฝากล่องและล็อคให้เรียบร้อย พร้อมตรวจสอบอีกครั้งว่าไม่มีอุปกรณ์เครื่องมือใดๆไว้รอบ  
 ประแจกล

### 2.2.3 ตัวแปรพื้นฐานการออกแบบประแจทางหลัก

วัตถุประสงค์ของการกำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานนี้เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานในการจำกัด  
 ปัจจัยที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากการที่รถไฟวิ่งผ่านประแจทางหลัก โดยข้อมูลเหล่านี้อ้างอิงมาจาก  
 เอกสารการคำนวณออกแบบประแจทางหลักการรถไฟแห่งประเทศไทย [2] ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับ  
 กระทรวงรถไฟของประเทศจีนที่ใช้ในอุตสาหกรรมระบบราง

ตัวแปรเหล่านี้แสดงถึงความแตกต่างจากอิทธิพลของแรงจากด้านข้างที่เกิดจากการที่รถไฟวิ่ง  
 บนราง ความอันตรายที่เกิดขึ้นมี 3 ข้อดังนี้

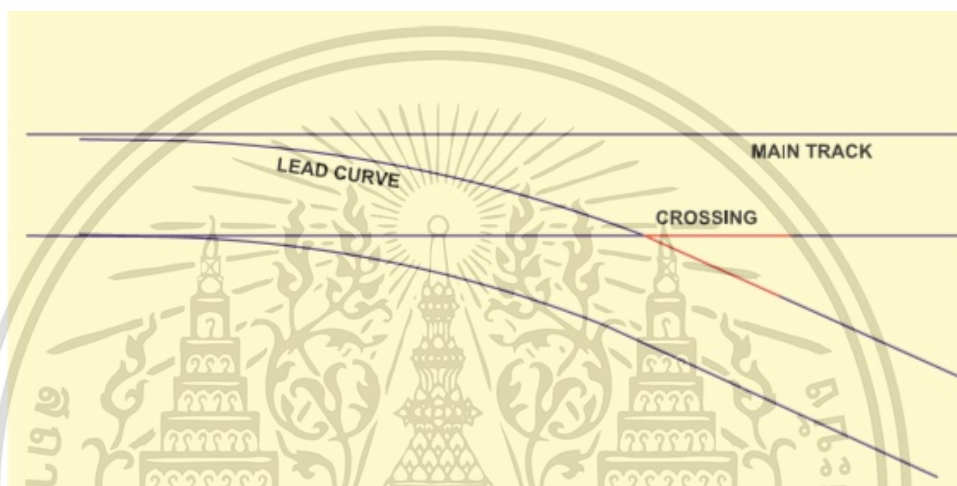
1. ผลกระทบเกี่ยวกับความสะดวกสบายในการขับหรือโดยสาร
2. เกี่ยวกับเสถียรภาพของประแจทางหลักและความราบรื่นในการเคลื่อนที่ผ่านของรถไฟ ซึ่ง  
 เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุการตกรางเนื่องมาจากเกิดล้อป็นรางเพราะแรงด้านข้างที่มีมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เร่งการสึกหรอของส่วนประกอบประแจทางหลักซึ่งทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

#### 2.2.3.1 ความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล (Unbalanced Centrifugal Acceleration)

เพื่อลดความซับซ้อนของโครงสร้าง การยกโค้งจะไม่ถูกนำมาใช้กับโค้งนำ (Lead Curve) ที่แสดงดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะก่อให้เกิดความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล ( $\alpha$ ) เมื่อรถไฟวิ่งบนโค้งนำ (Lead Curve)



รูปที่ 2.16 โค้งนำ (Lead Curve)

$$\alpha = \frac{V^2}{3.6^2 R}$$

(2.1)

โดยที่  $\alpha$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล ( $\text{m/s}^2$ )

$V$  คือ ความเร็วที่รถไฟวิ่ง ( $\text{km/hr}$ )

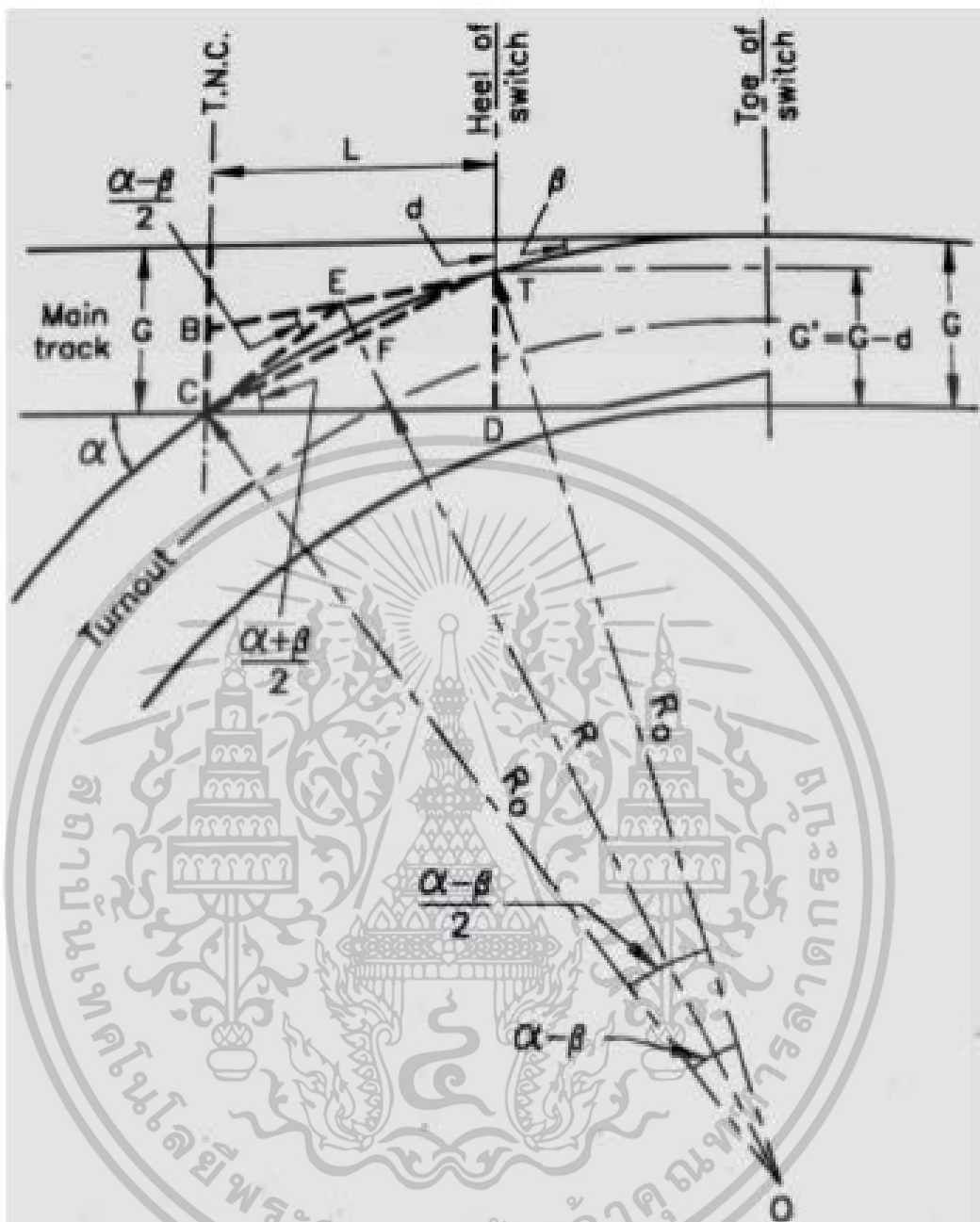
$R$  คือ รัศมีของโค้งนำหรือรัศมีรางด้านนอก ( $\text{m}$ )

ซึ่งการออกแบบประแจทางหลักนั้นต้องมีค่า  $\alpha \leq 0.6 \text{ m/s}^2$

#### 2.2.3.2 การสูญเสียของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy Loss)

เมื่อรถไฟเคลื่อนที่จากทางตรงสู่ทางโค้งหรือวิ่งผ่านจุดกึ่งกลางของทางโค้งนั้น ผลกระทบของรถไฟบนรางนั้นจะเกิดขึ้นทันทีที่รถไฟถูกบังคับให้เปลี่ยนทิศทาง ณ ขณะนั้น ซึ่งตัวของรถไฟจะสูญเสียพลังงานบางส่วนเพื่อเอาชนะแรงปะทะตามขวาง (Transverse Force) บนราง โดยจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องก็คือมุมปะทะ (Impact Angle) สามารถหาได้จากรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประแจทางหลัก

ที่มา: Vijai Krishnan (2018)

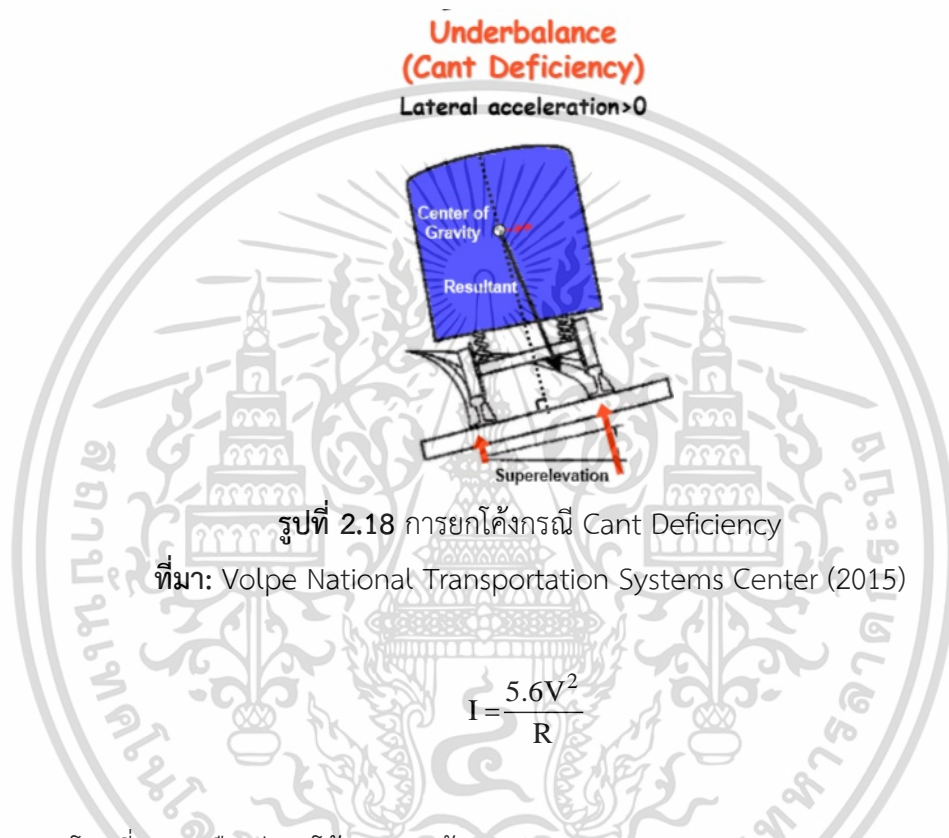
$$E_{k,loss} = V^2 \sin^2 \beta \tag{2.2}$$

- โดยที่  $E_{k,loss}$  คือ พลังงานจลน์ที่สูญเสีย ( $\text{km}^2 / \text{hr}^2$ )
- $V$  คือ ความเร็วที่รถไฟวิ่ง ( $\text{km} / \text{hr}$ )
- $\beta$  คือ มุมปะทะ (degree)

ซึ่งการออกแบบประแจทางหลักนั้นต้องมีค่า  $E_{k,loss} \leq 0.65 \text{ km}^2 / \text{hr}^2$   
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 การคำนวณค่ายกโค้งของรางด้านนอก (Deficient Elevation of Outer Rail)

ในทางโค้งนั้นหากมีการยกกระดุมไม่เพียงพอจะทำให้เกิดแรงลัพท์กระทำต่อรางด้านนอกมากกว่าด้านใน ส่งผลให้เกิดความเร่งด้านข้าง (Lateral Acceleration) ที่รางด้านนอก แสดงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งมีผลต่อความเสถียรของรถไฟโดยสารและอาจก่อให้เกิดการพลิกคว่ำของรถไฟ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่ายกโค้งให้กลับสู่สภาวะที่สมดุล ซึ่งจำเป็นที่จะต้องจำกัดค่ายกโค้งทั่วไปไว้ให้น้อยกว่า 75 mm



รูปที่ 2.18 การยกโค้งกรณี Cant Deficiency  
ที่มา: Volpe National Transportation Systems Center (2015)

$$I = \frac{5.6V^2}{R}$$

(2.3)

- โดยที่ I คือ ค่ายกโค้งของรางด้านนอก (mm)  
V คือ ความเร็วที่รถไฟวิ่ง (km/hr)  
R คือ รัศมีโค้งนำหรือรัศมีรางด้านนอก (m)

ซึ่งโดยทั่วไปค่ายกโค้งถูกจำกัดให้มีค่า  $I < 75$  mm และ  $I < 90$  mm ในกรณีที่เงื่อนไขขบวนรถและขบวน

## 2.2.5 ระบบการทดเฟือง

ระบบฟันเฟืองเป็นสิ่งสำคัญในการขับเคลื่อนของระบบ ซึ่งช่วยในการทดแรงบิดของระบบนั้นหมายความว่าอัตราทดของเฟืองจะมากกว่า 1 แต่จะทำให้รอบทางขาออกน้อยกว่าทางขาเข้า โดยในระบบประกอบไปด้วยเฟืองตรงและสะพานเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

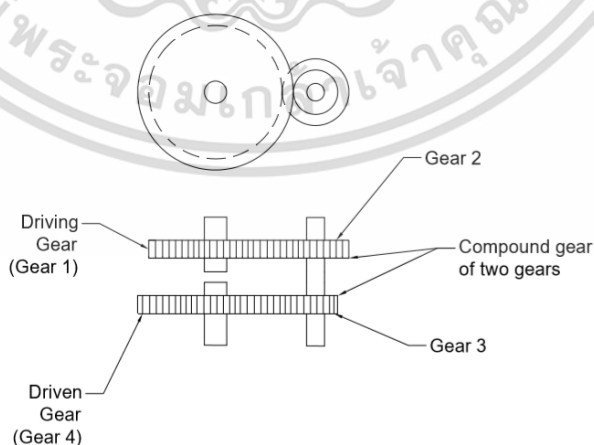
- เฟืองตรง คือเฟืองที่ลักษณะของฟันขนานแกนเพลลาและเป็นฟันตรง ใช้ในการถ่ายทอดพลังงาน และมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับชนิดอื่น มีการสูญเสียพลังงานที่ต่ำ อีกทั้งมีความแข็งแรงพอสมควร เมื่อทำงานจะก่อเสียงรบกวนที่น้อย แต่เสียงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ในความเร็รรอบที่สูง
- สะพานเฟือง คือเฟืองตรงที่มีรัศมีไม่สิ้นสุด มีรูปร่างยาวเป็นเส้นตรง โดยจะใช้คู่กับเฟืองตรงที่ถูกเรียกว่าฟันเนียน มักใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง จะมีการเจาะรูได้หลายรูปแบบ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ค่อนข้างหลากหลาย

### 2.2.5.1 อัตราทดของเฟือง

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (2.4)$$

- โดยที่  $i$  คือ อัตราทดของเฟืองตรงทั้งระบบ  
 $z_2$  คือ จำนวนฟันเฟืองตาม (teeth)  
 $z_1$  คือ จำนวนฟันเฟืองขับ (teeth)  
 $n_2$  คือ ความเร็รรอบของเฟืองตาม (rpm)  
 $n_1$  คือ ความเร็รรอบของเฟืองขับ (rpm)  
 $T_{out}$  คือ แรงบิดขาออกที่สะพานเฟืองกับฟันเนียน (N·m)  
 $T_{in}$  คือ แรงบิดขาเข้า (N·m)

### 2.2.5.2 Reverted Compound Trains [4]



รูปที่ 2.19 ลักษณะของขบวนเฟือง Reverted Compound Trains

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.19 แสดงรูปแบบของ Reverted Compound Trains [4] ซึ่งเป็นการ ออกแบบขบวนของเฟืองที่มีแกนของเพลาคู่และเอาท์พุทอยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ขนาด ของขบวนเฟืองมีขนาดที่เล็กลง ใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากเพลานึ่งไปยังอีกเพลานึ่ง ซึ่งจะใช้ หลักการคำนวณในการออกแบบหาจำนวนฟันแต่ละซี่ของระบบขบวนเฟืองนี้

### 2.2.5.3 แรงบิดของพินเนียน

รูปที่ 2.20 แสดงแรงที่ตัวพินเนียนส่งต่อให้กับสะพานเกียร์เรียกว่า แรงบิดของพิน เนียน แรงนี้เกิดจากการหมุน มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร จึงสามารถคำนวณแรงบิดของพินเนียนได้จาก สมการ

$$T_p = F_r \times r_p$$

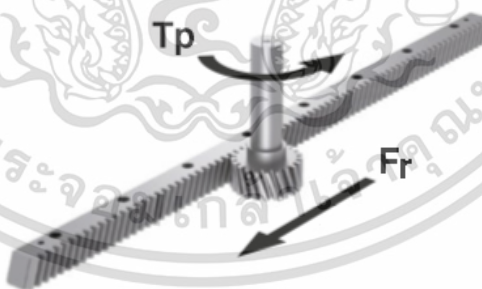
(2.5)

โดยที่  $T_p$  คือ แรงบิดของพินเนียน (Nm)

$F_r$  คือ แรงสุทธิของสะพานเกียร์ (N)

$r_p$  คือ รัศมีพินช์ของพินเนียน (m)

โดยแรงสุทธิของสะพานเกียร์เกิดจากการมวลทั้งหมดที่เคลื่อนที่ภายใต้ความเร่ง เดียวกัน และมีผลจากแรงเสียดทานต่างๆของระบบ โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนั้นสามารถหาค่า ได้จากตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.20 ลักษณะของสะพานเกียร์และพินเนียน

Materials	$\mu_s$	$\mu_k$
Steel on steel	0.74	0.57
Steel on wood	0.485	0.08
Aluminum on steel	0.61	0.47
Copper on steel	0.53	0.36
Wood on Wood	0.25 – 0.5	0.2
Glass on glass	0.94	0.4
Teflon on steel	0.04	0.04

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุ  
ที่มา: Engineering ToolBox (2004)

### 2.2.6 กรรมวิธีการผลิต

รางที่จะใช้ในทางวิ่งนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้ได้ขนาดคุณสมบัติหลายๆอย่างเป็นไปตามการออกแบบที่ได้วางเอาไว้ รวมถึงชิ้นส่วนต่างๆของประแจรถไฟ ลึนรางที่เกิดจากการนำรางมาผ่านกระบวนการการใส่ราง ส่วนตะเข้อาจเกิดจากการตีขึ้นรูปหรือการหล่อขึ้นรูป โดยกระบวนการหลักๆที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

#### 1. การตี (Forging)

การตีขึ้นรูปหรือแปรรูปโลหะด้วยการใช้แรงอัด ทบ ตี เพื่อให้มีรูปร่างและเอาไปใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยแบ่งเป็นหลายชนิดเช่น การตีกระทบ การตีด้วยค้อน การตีรีด อีกทั้งยังแบ่งเป็นสองประเภทคือ การตีขึ้นรูปอิสระที่ไม่ใช้แม่พิมพ์และการตีขึ้นรูปแบบใช้แม่พิมพ์

#### 2. การกัด (Milling)

กระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องมือในการเอาเนื้อวัสดุที่เป็นส่วนเกินออกไปจากชิ้นงาน ทำให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถทำให้ผิวชิ้นงานเรียบได้ในอุตสาหกรรมการผลิต งานกัดสามารถแบ่งหลักๆได้คือ การกัดแนวอนและการกัดแนวตั้ง

#### 3. การรีด (Rolling)

กระบวนการการรีดจะใช้ลูกรีดหมุนในทิศทางที่ต่างกัน โดยแต่ละตัวลูกรีดนั้นจะมีลักษณะของร่องที่แตกต่างกันตามที่ต้องการออกแบบ โดยจะให้โลหะร้อนเคลื่อนที่ผ่านตามร่อง จะทำให้ถูกบีบออกมาเป็นรูปร่างที่ถูกออกแบบไว้ การรีดมีหลายลักษณะเช่น การรีดเกลียว การรีดแหวน การรีดขึ้นรูป การรีดแบบแผ่น ฯลฯ

## 2.2.7 เซนทรอยด์และโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

### 2.2.7.1 โมเมนต์ที่หนึ่งหรือจุดเซนทรอยด์

โมเมนต์ที่หนึ่งของรูปร่างใดๆรอบแกนเกิดจากผลรวมของพื้นที่ย่อยเล็กๆ คูณกับระยะที่ห่างจากแกน โมเมนต์ที่หนึ่งมักถูกใช้ในการกำหนดเซนทรอยด์ของพื้นที่ โดยแสดงดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$Q_x = A\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i dA_i = \int y dA \quad (2.6)$$

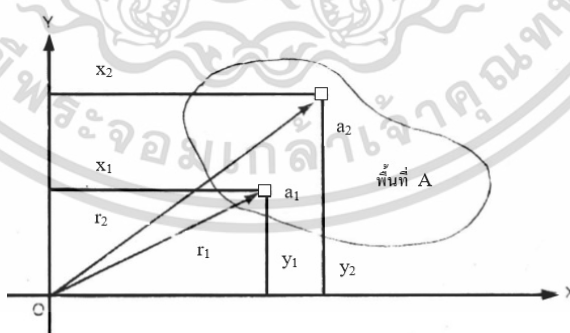
และ

$$Q_y = A\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i dA_i = \int x dA \quad (2.7)$$

โมเมนต์ที่หนึ่งของพื้นที่มีหน่วยเป็น  $m^3$

### 2.2.7.2 โมเมนต์ที่สองหรือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

โมเมนต์ที่สองของพื้นที่นั้นๆหรือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่รอบแกนใดๆสามารถบ่งบอกคุณสมบัติเกี่ยวกับพื้นที่หน้าตัดที่มีผลกับการกระจายแรง ส่วนการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่นั้นรอบแกนหนึ่งจะมีค่าเท่ากับผลรวมของพื้นที่ขนาดย่อยๆคูณกับระยะทางจากแกนหนึ่งนั้นยกกำลังสอง แสดงดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) สำหรับการหาค่าโมเมนต์ทั้งสองแบบสามารถพิจารณาตามรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 หลักการของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

$$I_x = \sum_{i=1}^n a_i y_i^2 = \int y^2 dA \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_y = \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 = \int x^2 dA \quad (2.9)$$

โมเมนต์ที่สองของพื้นที่มีหน่วยเป็น  $m^4$

### 2.2.8 ความเค้นดัด

เมื่อรางถูกแรงภายนอกกระทำหรือรับน้ำหนักไว้จะเกิดแรงต้านในรางนั้น ผลของแรงภายนอกและแรงคู่ควบที่มากกระทำ จะทำให้เกิดความเค้นดัดเกิดขึ้นที่หน้าตัดของรางที่ตั้งฉากกับแกนตามความยาวของคานนั้น ซึ่งความเค้นดัดในรางมีสมการ (2.10)

$$S = \frac{Mc}{I} \quad (2.10)$$

โดยที่ S คือ ความเค้นดัดในราง (Pa)

M คือ โมเมนต์ดัดในราง (Nm)

c คือ ระยะจากแกนสะเทินถึงหน้าตัด (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของราง ( $m^4$ )

โดยข้อมูลจากความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบขนส่งทางรถไฟ [5] ได้กำหนดความเค้นดัดสูงสุด ( $S_{max}$ ) ของรางแต่ละประเภทดังนี้

1. รางต่อ (Jointed Rail) 32,000 psi
2. รางเชื่อม (Continuous Welded Rail) 25,000 psi

### 2.2.9 โมเมนต์ดัด

โมเมนต์ดัดเป็นโมเมนต์ที่เกิดเนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำต่อราง ซึ่งเป็นโมเมนต์ที่ทำให้รางที่รับแรงเฉือนนั้นเกิดการโค้งจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ สำหรับโมเมนต์ดัดสูงสุดในรางใช้ทฤษฎีคานยาวบนพื้นอีลาสติกของ Winkler & Schwedler จากความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบขนส่งทางรถไฟ [6] แสดงดังสมการ (2.11)

$$M_{max} = P \left( \frac{EI}{64u} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.11)$$

โดยที่  $M_{max}$  คือ โมเมนต์ดัดสูงสุดในราง (Nm)

P คือ น้ำหนักกดมากที่สุดของล้อ (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (Pa)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของราง ( $m^4$ )

u คือ ค่าโมดูลัสสภาพทาง (Pa)

โดยค่าโมดูลัสสภาพทางในแต่ละกรณี [5] สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

1. ทางที่ใช้หมอนไม้ 3,000 lb/in/in
2. ทางที่ใช้หมอนคอนกรีต 6,000 lb/in/in
3. ทางที่ใช้หมอนไม้บนหินโรยทางที่มีหิมะ 9000 lb/in/in

### 2.2.10 ตัวคูณแรงกระแทก (Impact Factor)

ตัวคูณเพิ่มเนื่องจากแรงกระแทกในสมการ (2.12) มีความสัมพันธ์กับแรงกระทำสถิตและแรงกระทำเชิงพลวัต ซึ่งสามารถใช้ในการหาน้ำหนักล้อที่มากที่สุดได้

$$\text{แรงกระทำสถิต} \times \text{ตัวคูณแรงกระแทก (Impact Factor)} = \text{แรงกระทำเชิงพลวัต} \quad (2.12)$$

โดยตัวคูณแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการที่ (2.13) และ (2.14)

1. สมาคมวิศวกรรรมรถไฟอเมริกา (AREMA)

$$I.F. = 1 + \frac{33V}{100D} \quad (2.13)$$

โดยที่ I.F. คือ ตัวคูณแรงกระแทก

V คือ ความเร็วที่รถไฟวิ่ง (mi/hr)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (in)

2. การรถไฟแห่งประเทศไทย (SRT)

$$I.F. = 1 + \frac{V}{100} \quad (2.14)$$

โดยที่ I.F. คือ ตัวคูณแรงกระแทก

V คือ ความเร็วที่รถไฟวิ่ง (km/hr)

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงาน

ภายในบทที่ 3 จะกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบชุดสับประแจกลมือ ประแจทางหลัก การติดต่อประสานงานขอข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ รวมถึงการจัดทำและการทดลองใช้งานจริง

### 3.1 การรวบรวมข้อมูล

ในการจัดทำชุดประแจทางหลักและส่วนประกอบของระบบรางต่างๆ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของจริงจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบรางในประเทศไทย เพื่อนำมาเป็นแนวทางและปรับใช้ให้เข้ากับสิ่งที่ออกแบบให้เป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งข้อมูลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1. เอกสารการคำนวณออกแบบประแจทางหลักการรถไฟแห่งประเทศไทย [2]
2. การเขียนแบบจากศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนแห่งประเทศไทย [3]

### 3.2 การออกแบบกลไกประแจกลมือ

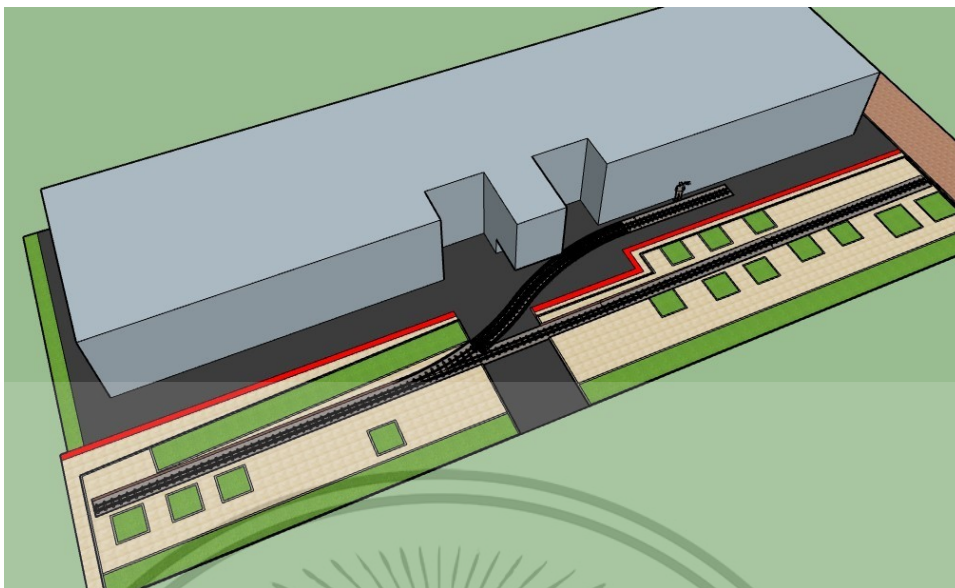
ต้องมีการออกแบบระบบทดเฟือง จำนวนฟันเฟือง การคำนวณแรงบิด รวมถึงการใช้โปรแกรมเขียนแบบแล้วทำการจำลองการเคลื่อนที่ผ่านโปรแกรมก่อนการจัดทำของจริง และการวาดภาพรวมแผนเส้นทางการเดินรถที่จะสร้างหน้า Workshop ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

#### 3.2.1 การเขียนแบบ

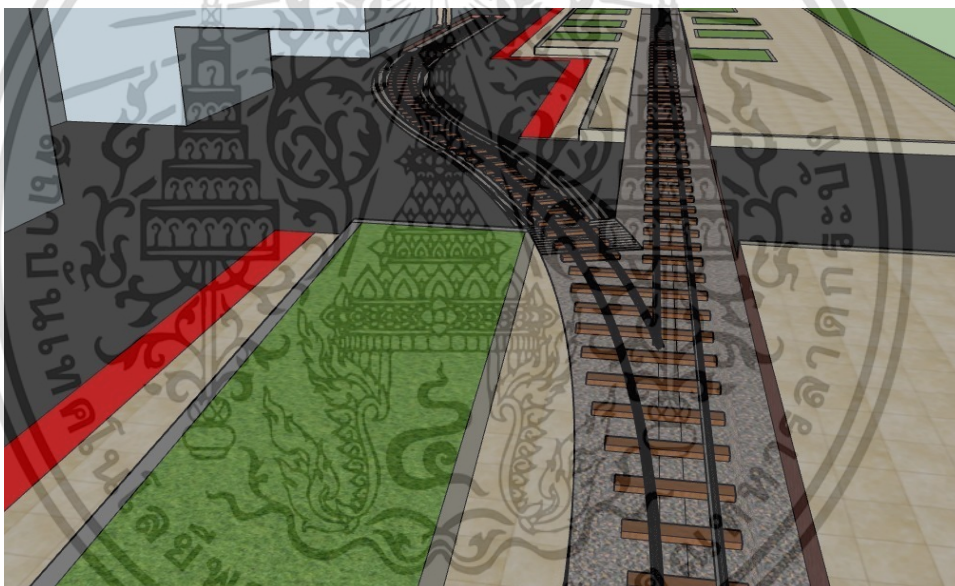
หัวข้อนี้จะแสดงการเขียนแบบเส้นทางการเดินรถ เส้นทางในส่วนประแจทางหลัก การแสดงรูปแบบของชุดประแจกลมือ ส่วนประกอบแต่ละชิ้นเมื่อมาประกอบกันในโปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่งได้คำนวณคร่าวๆ เกี่ยวกับอัตราทดเกียร์ แล้วนำมาเลือกจำนวนฟันเฟือง ค่าโมดูล ในโปรแกรม

##### 3.2.1.1 เส้นทางการเดินรถ

หัวข้อนี้แสดงถึงภาพรวมของเส้นทางการเดินรถเป็นรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งออกแบบในโปรแกรม SketchUp แสดงดังรูปที่ 3.1 , 3.2 และ 3.3

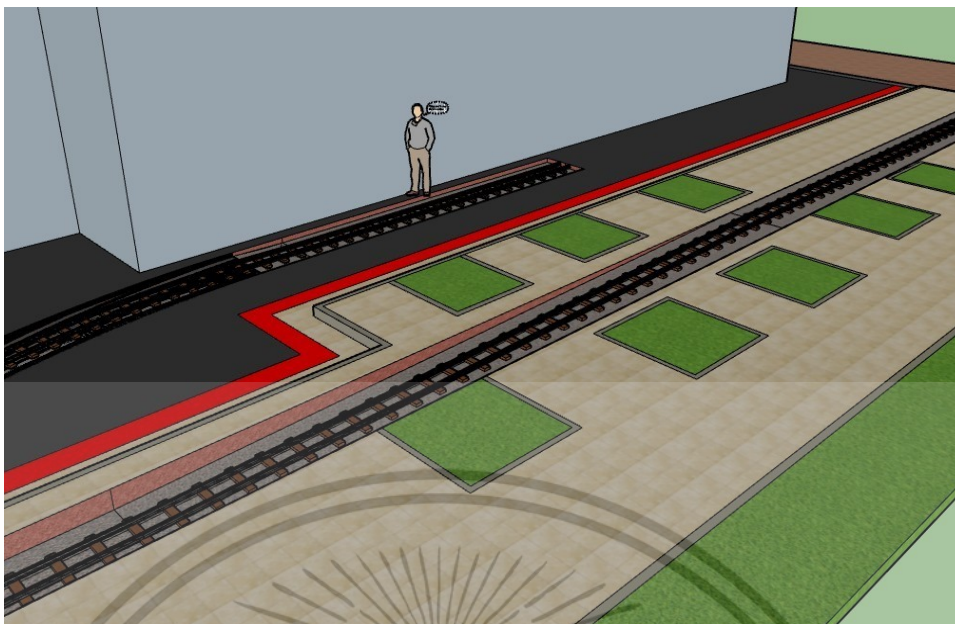


รูปที่ 3.1 มุมมองด้านบนบนเส้นทางเดินรถหน้า Workshop



รูปที่ 3.2 เส้นทางเดินรถช่วงประแจทางหลัก

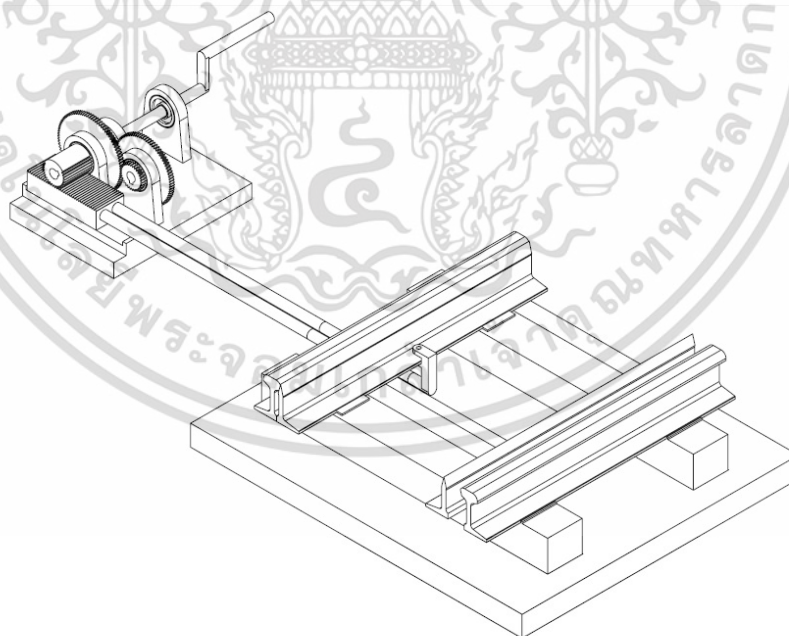
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เส้นทางเดินรถในอีกมุมมอง

### 3.2.1.2 เขียนแบบประแจกลมือและประแจทางเหล็ก

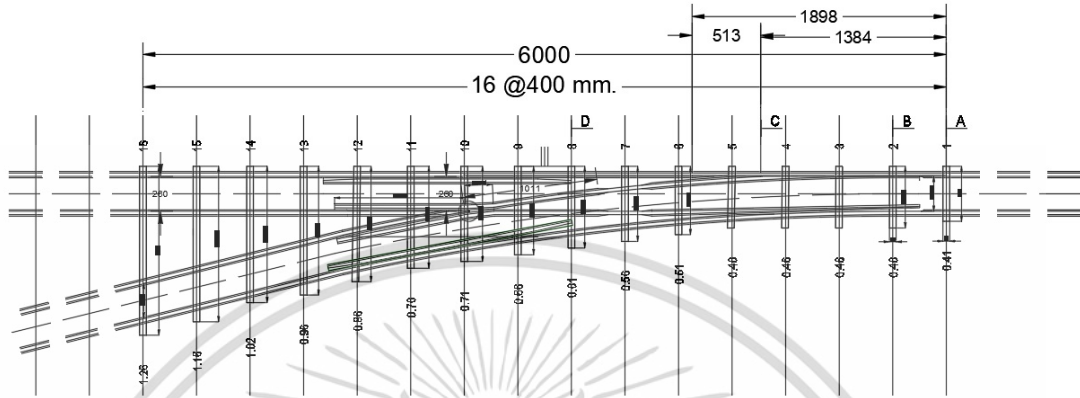
รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบประแจกลนั้นโดยโปรแกรม SOLIDWORKS ในการจำลองก่อนนำไปสร้างจริง



รูปที่ 3.4 ประแจกลที่ออกแบบใน SOLIDWORKS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

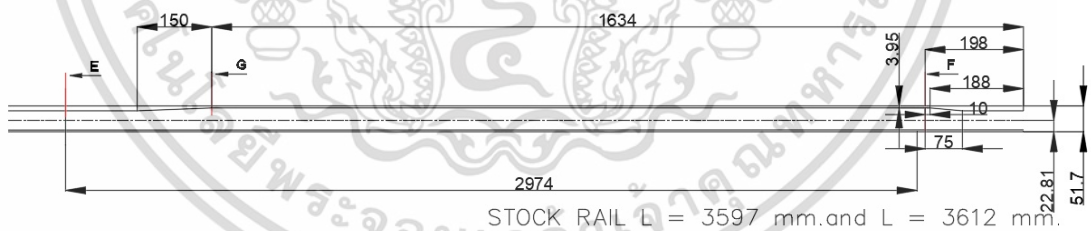
จากข้อมูลของการเขียนแบบจากศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนแห่งประเทศไทย [3] ได้นำแบบมาทำการย่ออัตราส่วนให้เหมาะสมกับรางรถไฟที่จะทำการสร้าง แสดงดังรูปที่ 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 และ 3.9



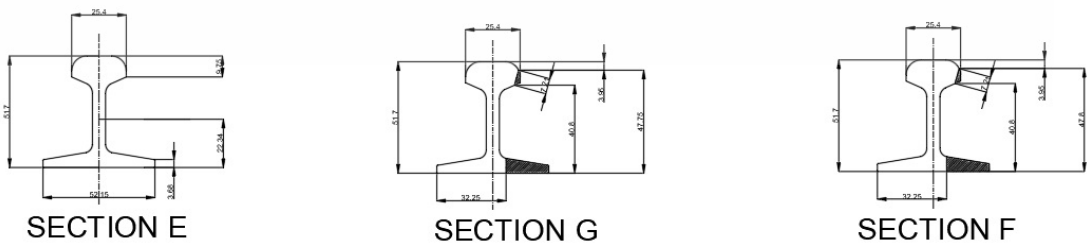
รูปที่ 3.5 เขียนแบบประแจทางหลัก



รูปที่ 3.6 หน้าตัดของลิ้นรางและรางประกอบที่เปลี่ยนไปตามช่วงของความยาว

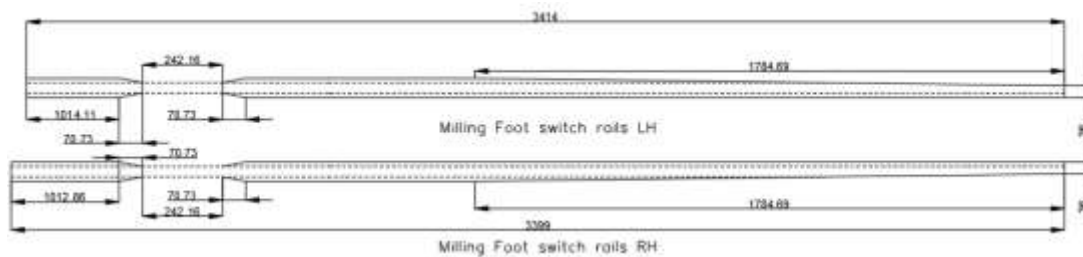


รูปที่ 3.7 เขียนแบบรางประกอบ



รูปที่ 3.8 หน้าตัดรางประกอบที่เปลี่ยนไปตามความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เขียนแบบลิ้นราง

### 3.2.2 3D Printing

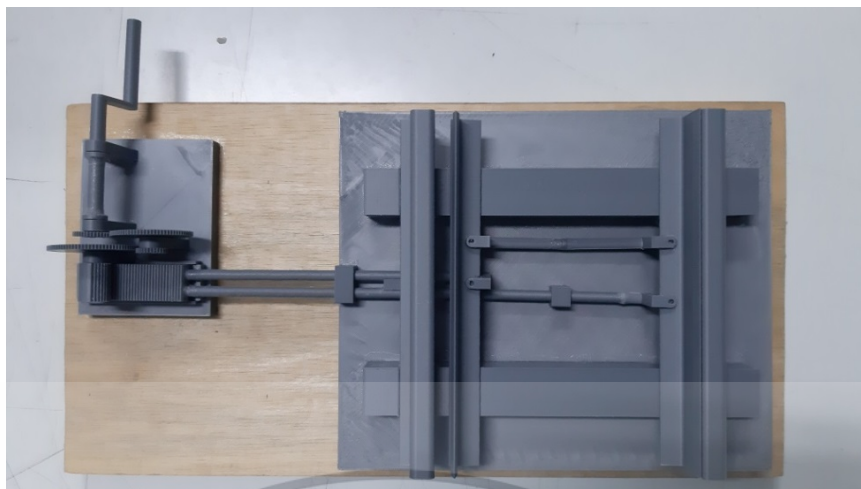
นอกจากการจำลองประแจกลมือที่ออกแบบไว้ในโปรแกรมเขียนแบบนั้น ได้มีการจำลองออกมาเป็นชิ้นงานพลาสติก โดยใช้เครื่อง 3D Printing รุ่น Original PRUSA i3 MK3 แสดงดังรูปที่ 3.10 ใช้วัสดุเป็นเส้นพลาสติกชนิด PLA

ในการศึกษานี้ได้จัดทำโมเดลประแจกลมือและลิ้นรางช่วง Switching จาก 3D Printing โดยมีขนาดครึ่งหนึ่งจากที่ออกแบบไว้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11 และได้จัดทำชุดจำลองย่อส่วนประแจทางหลักแบบสมบูรณ์ทั้งช่วง Switching และ Crossing ขนาด 1 ต่อ 16 แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 เครื่อง 3D Printing รุ่น Original PRUSA i3 MK3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



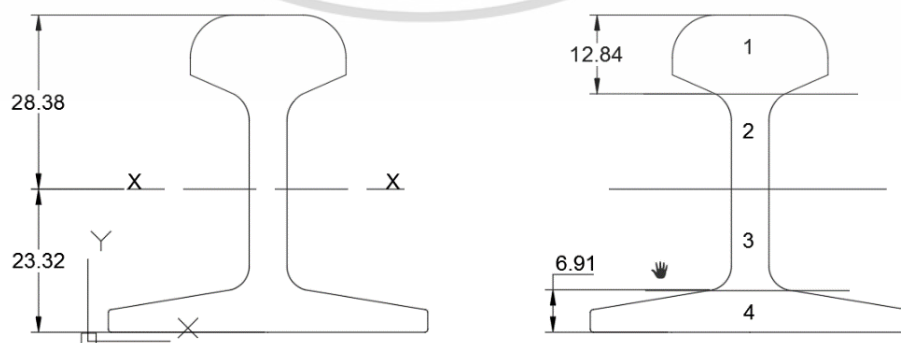
รูปที่ 3.11 โมเดลประแจกลมือและลิ้นรางช่วง Switching Part จาก 3D Printing



รูปที่ 3.12 โมเดลประแจทางหลักทั้งช่วง Switching และ Crossing Part และชุดประแจกลมือ จาก 3D Printing

### 3.2.3 การคำนวณโมเมนต์ที่หนึ่งของพื้นที่หน้าตัดราง

นำโปรไฟล์รางมาแบ่งพื้นที่หน้าตัดดังรูปที่ 3.13 เพื่อง่ายต่อการคำนวณ



รูปที่ 3.13 การแบ่งพื้นที่หน้าตัดรางเพื่อคำนวณโมเมนต์ที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Segment1 : } A_1 = 277.8216 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 28.38 - \frac{12.84}{2} = 21.96 \text{ mm}$$

$$\text{Segment2 : } A_2 = 102.1322 \text{ mm}^2$$

$$y_2 = \frac{28.38 - 12.84}{2} = 7.77 \text{ mm}$$

$$Q_{x,top} = \sum y_i A_i$$

$$= (21.96 \times 279.8210) + (7.77 \times 102.1322)$$

$$\approx 6938.436354 \text{ mm}^3$$

$$\text{Segment3 : } A_3 = 108.3430 \text{ mm}^2$$

$$y_3 = \frac{23.32 - 6.91}{2} = 8.25 \text{ mm}$$

$$\text{Segment4 : } A_4 = 284.9346 \text{ mm}^2$$

$$y_4 = 23.32 - \frac{6.91}{2} = 19.865 \text{ mm}$$

$$Q_{x,bottom} = \sum y_i A_i$$

$$= (8.205 \times 108.3430) + (19.865 \times 284.9346)$$

$$\approx 6549.180144 \text{ mm}^3$$

### 3.2.4 การคำนวณตัวแปรพื้นฐานการออกแบบประแจทางหลัก

ในการศึกษานี้กำหนดให้ตัวรถไฟวิ่งด้วยความเร็ว 11 km/hr

1. ความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล (Unbalanced centrifugal acceleration)

จากสมการที่ (2.1)

$$\alpha = \frac{V^2}{3.6^2 R}$$

เมื่อ  $V = 11 \text{ km/hr}$  ,  $R = 20 \text{ m}$

จะได้

$$\alpha = \frac{11^2}{3.6^2 \times 20} = 0.47$$

ซึ่งตรงตามเงื่อนไข

$$\alpha \leq 0.6 \text{ m/s}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การสูญเสียพลังงานจลน์ (Kinetic energy loss)

จากสมการที่ (2.2) 
$$E_{k,loss} = V^2 \sin^2 \beta$$

เมื่อ  $V = 11 \text{ km/hr}$ ,  $\beta = 3 \text{ degree}$

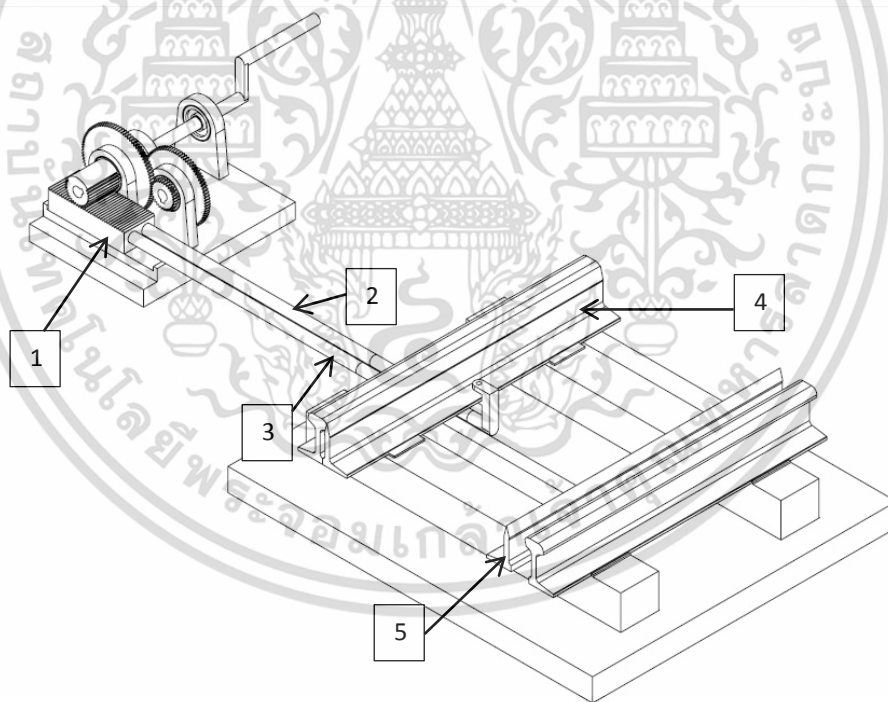
จะได้ 
$$E_{k,loss} = 11^2 \sin^2 3 = 0.33 \text{ km}^2 / \text{hr}^2$$

ซึ่งตรงตามเงื่อนไข 
$$E_{k,loss} \leq 0.65 \text{ km}^2 / \text{hr}^2$$

ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าประแจทางหลักนี้ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับความเร็ว 11 km/hr ประแจทางหลักมีความราบรื่น ปลอดภัย เสถียร และอายุการใช้งานที่ยาวนาน

### 3.2.5 การคำนวณแรงบิดขาออก

การคำนวณจำเป็นที่จะต้องหาความเร่งการเคลื่อนที่ของลิ้นรางขณะทำการสับราง โดยมีเงื่อนไขให้กระบวนการนี้ทำเสร็จสิ้นทั้งหมด 7 s



รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบหลักในการคำนวณแรงบิดขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.14 ประกอบไปด้วย

1. สะพานเฟือง ขนาด  $4 \times 10 \times 2 \text{ cm}^3$
2. ก้านส่งกำลังแบบสั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 cm ความยาว 30 cm
3. ก้านส่งกำลังแบบยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 cm ความยาว 48 cm
4. ลี้นรางตรง ความยาว 2200 mm
5. ลี้นรางโค้ง ความยาว 2203 mm

โดยกำหนดวัสดุเป็นเหล็กกล้า (steel) ซึ่งมีความหนาแน่น  $7700 \text{ kg/m}^3$

จาก 
$$m = \rho V \tag{3.1}$$

เมื่อ  $m$  คือ มวล (kg)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของมวล ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  คือ ปริมาตรของมวล ( $\text{m}^3$ )

จาก 
$$V = A \times h \tag{3.2}$$

เมื่อ  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของมวล ( $\text{m}^2$ )

$h$  คือ ความยาวของมวล (m)

โดยคุณสมบัติของลีนรางและพื้นที่หน้าตัด แสดงดังรูปที่ 3.15 และ รูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 รูปร่างหน้าตัดของลีนราง

```
Specify opposite corner or [Fence/WPolygon/CPolygon]:
Command: MASSPROP
Select objects: 1 found
Select objects:
----- REGIONS -----
Area:                423.6511
Perimeter:           152.2131
Bounding box:        X: 39.9000 -- 72.1500
                    Y: 0.0000 -- 49.7136
Centroid:            X: 49.7465
                    Y: 15.2431
Moments of inertia:  X: 179238.1402
                    Y: 1071574.4328
Product of inertia:  XY: -300857.1724
```

รูปที่ 3.16 คุณสมบัติหน้าตัดของลิ้นราง

จากรูปที่ 3.16 ได้พื้นที่หน้าตัดของลิ้นราง  $A_{\text{ลิ้นราง}} = 423.6511 \text{ mm}^2$  โดยจะหามวลของแต่ละชิ้นจากสมการที่ (3.1) และ (3.2)

1. มวลลิ้นรางทางโค้ง

$$m_{\text{curve, tongue rail}} = 7700 \times 423.6511 \times 10^{-6} \times 2.203$$

$$m_{\text{curve, tongue rail}} = 7.1864 \text{ kg}$$

2. มวลลิ้นรางทางตรง

$$m_{\text{straight, tongue rail}} = 7700 \times 423.6511 \times 10^{-6} \times 2.2$$

$$m_{\text{straight, tongue rail}} = 7.1766 \text{ kg}$$

3. มวลก้านส่งกำลัง

$$m_{\text{short, rod}} = 7700 \times \frac{\pi \times 0.012^2}{4} \times 0.3$$

$$m_{\text{short, rod}} = 0.26125 \text{ kg}$$

$$m_{\text{long, rod}} = 7700 \times \frac{\pi \times 0.012^2}{4} \times 0.48$$

$$m_{\text{long, rod}} = 0.418 \text{ kg}$$

4. มวลสะพานเฟือง

$$m_{\text{rack}} = 7700 \times 80 \times 10^{-6}$$

$$m_{\text{rack}} = 0.616 \text{ kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5. ระยะลื่นรางตำแหน่งเปิด

จากข้อกำหนดลื่นรางเปิดให้อยู่ในช่วงระยะ 135 – 148 mm หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเป็น 141.5 mm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของรางที่มีความกว้าง 1.435 m แต่ขนาดของรางที่ใช้ในการศึกษานั้นมีความกว้าง 10.25 in หรือ 0.26035 m

ทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์

$$\frac{141.5\text{mm}}{1.435\text{m}} = \frac{x}{0.26035\text{m}}$$

$$x = 25.6721 \text{ mm}$$

ได้ระยะเป็น 25.6721 mm ซึ่งจะเป็นระยะเฉลี่ยที่ลื่นรางเคลื่อนที่เวลาสับรางไปอีกฝั่งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 3.17

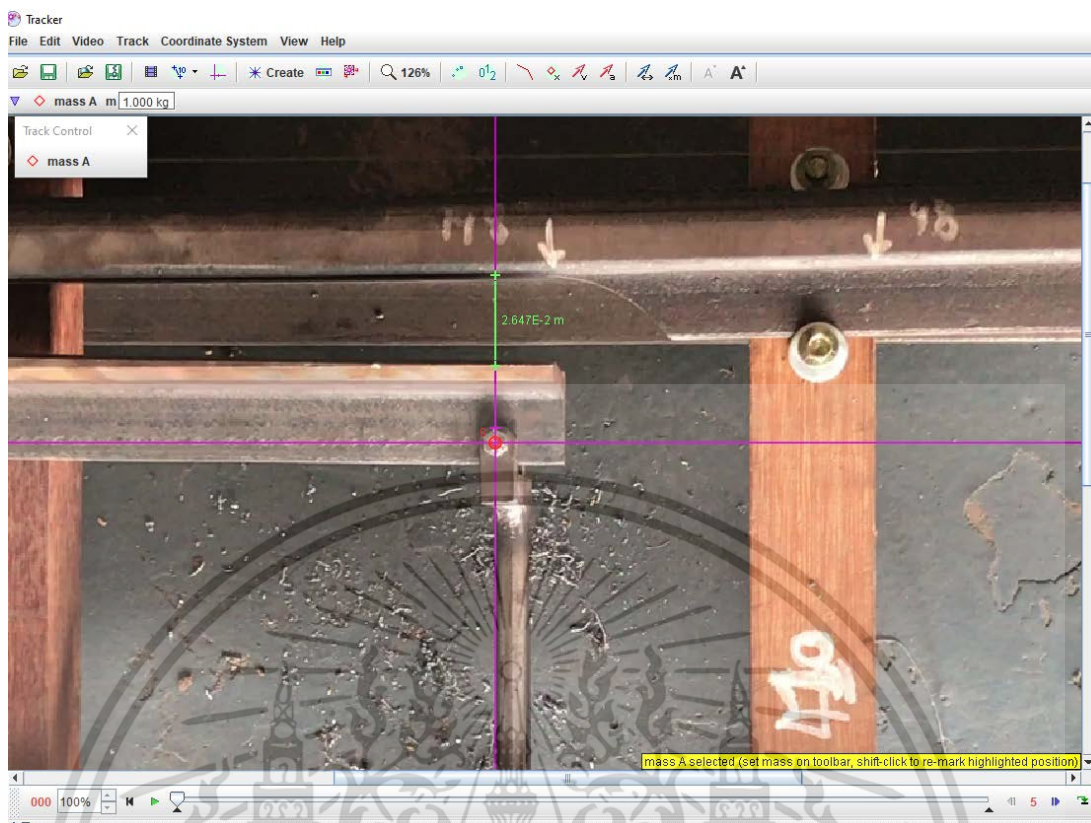


รูปที่ 3.17 ระยะห่างระหว่างลื่นรางและรางประคองที่ออกแบบ

### 6. ความเร่งในการสับราง

การวิเคราะห์ความเร่งนั้นจะใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลื่นรางในวิดีโอ โดยวิดีโอมีค่า Frame Rate 60/s ดังรูปที่ 3.18 และสามารถหาค่าตัวแปรการเคลื่อนที่ต่างๆ ได้ เช่น ระยะทาง ความเร่ง ความเร็วแต่ละเวลาได้ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ในวิดีโอด้วยโปรแกรม Tracker

t (s)	x (m)	$v_x$ (m/s)	$a_x$ (m/s <sup>2</sup> )
3.418	7.888E-3	-0.000	-3.730E-3
3.502	7.888E-3	2.176E-3	7.459E-3
3.585	8.251E-3	2.176E-3	7.459E-3
3.668	8.251E-3	2.176E-3	-3.730E-3
3.752	8.613E-3	2.720E-3	5.594E-3
3.835	8.704E-3	2.176E-3	1.865E-2
3.918	8.976E-3	5.983E-3	3.543E-2
4.002	9.701E-3	8.702E-3	3.693E-3
4.085	1.043E-2	6.462E-3	-3.693E-3
4.170	1.079E-2	7.001E-3	-1.662E-2
4.253	1.160E-2	5.439E-3	-1.846E-2
4.337	1.170E-2	2.176E-3	-2.238E-2
4.420	1.197E-2	2.720E-3	-1.865E-3
4.503	1.215E-2	1.632E-3	5.594E-3
4.587	1.224E-2	3.263E-3	3.730E-3
4.670	1.269E-2	3.263E-3	-1.119E-2
4.753	1.278E-2	5.439E-4	-1.305E-2
4.837	1.278E-2	1.088E-3	-0.000
4.920	1.296E-2	1.088E-3	-3.730E-3

รูปที่ 3.19 ค่าที่สามารถหาได้จากโปรแกรม Tracker

จากรูปที่ 3.19 พบว่าความเร่งมีค่าไม่คงที่และมีการหน่วงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้ต้องใช้วิธีรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย หรือ Root Mean Square (RMS) เพื่อหาความเร่งเฉลี่ย ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

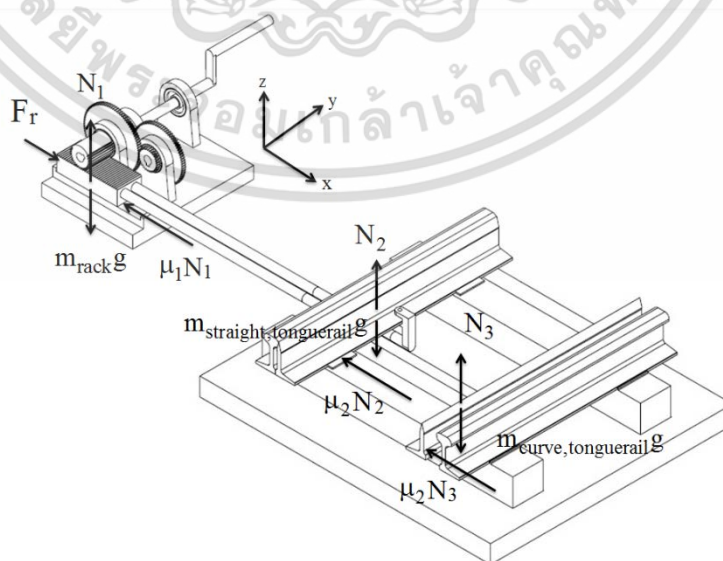
สมการที่ (3.3) โดยคำนวณผ่าน Microsoft Excel ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งได้ค่าความเร่งเฉลี่ยเท่ากับ

$$a_{rms} = 0.069763 \text{ m/s}^2$$

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} (a(t))^2 dt} \tag{3.3}$$

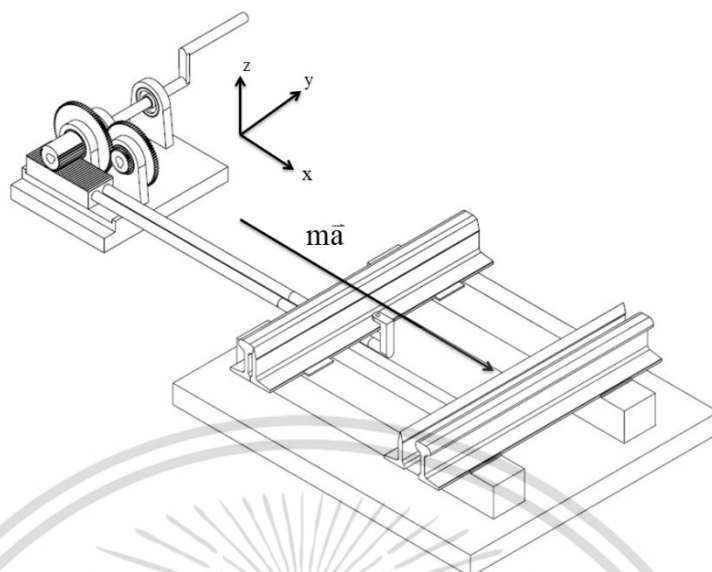
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
(s)	(m/s)	(m/s <sup>2</sup> )								
t	v <sub>[x]</sub>	a <sub>[x]</sub>		a(x) <sup>2</sup>		พท.		Sum พท.		a(x) RMS
0.00E+00										
8.33E-02	5.44E-04									
1.67E-01	2.18E-03	3.73E-03		1.39E-05		6.79419E-06		0.004867		0.069763
2.50E-01	1.63E-03	-9.32E-03		8.69E-05		9.60558E-06				
3.33E-01	0.00E+00	-7.46E-03		5.56E-05		1.52284E-05				
4.17E-01	5.44E-04	1.31E-02		1.70E-04		1.2417E-05				
5.00E-01	2.18E-03	3.73E-03		1.39E-05		3.04567E-06				
5.83E-01	1.63E-03	-5.59E-03		3.13E-05		2.34282E-06				
6.67E-01	5.44E-04	-1.86E-03		3.48E-06		2.34282E-06				
7.50E-01	1.63E-03	5.59E-03		3.13E-05		2.34282E-06				
8.33E-01	1.63E-03	-1.86E-03		3.48E-06		1.17141E-06				
9.17E-01	1.09E-03	-3.73E-03		1.39E-05		9.3713E-07				
1.00E+00	1.09E-03	0.00E+00		0.00E+00		3.74852E-06				
1.08E+00	1.09E-03	7.46E-03		5.56E-05		7.49704E-06				
1.17E+00	2.18E-03	7.46E-03		5.56E-05		5.81541E-06				
1.25E+00	2.72E-03	-5.54E-03		3.07E-05		1.67648E-05				
1.33E+00	1.08E-03	-1.48E-02		2.18E-04		1.56165E-05				
1.42E+00	0.00E+00	-3.69E-03		1.36E-05		1.21717E-05				
1.50E+00	5.44E-04	1.29E-02		1.67E-04		1.21902E-05				
1.59E+00	2.18E-03	3.73E-03		1.39E-05		3.04567E-06				
1.67E+00	1.63E-03	-5.59E-03		3.13E-05		2.34282E-06				
1.75E+00	5.44E-04	-1.86E-03		3.48E-06		6.09134E-06				
1.84E+00	1.63E-03	9.32E-03		8.69E-05		9.60558E-06				
1.92E+00	2.18E-03	7.46E-03		5.56E-05		3.9828E-06				
2.00E+00	2.72E-03	-1.86E-03		3.48E-06		8.66845E-06				

รูปที่ 3.20 คำนวณความเร่งเฉลี่ยด้วยวิธี RMS ผ่าน Microsoft Excel



รูปที่ 3.21 แผนภูมิอิสระของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของระบบ

### 7. แรงบิดขาออก

จากรูปที่ 3.21 และ 3.22 แสดงแผนภูมิอิสระและจลนพลศาสตร์ของระบบ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อ 2 ของนิวตัน ซึ่งความเร่งในระบบเป็นความเร่งเฉลี่ยซึ่งหาโดยวิธี RMS ในหัวข้อก่อนหน้า

$$\rightarrow +\Sigma \vec{F}_x = m\vec{a}$$

จะได้  $F_r - \mu_1 N_1 - \mu_2 N_2 - \mu_2 N_3 = ma$  (3.4)

โดยที่  $\mu_1 =$  สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเหล็ก

จากตารางที่ 2.1  $\mu_1 = 0.74$

$$N_1 = m_{\text{rack}} g$$

$$N_1 = 0.616 \times 9.81$$

$$N_1 = 6.04296 \text{ N}$$

ดังนั้น

$$\mu_1 N_1 = 0.74 \times 6.04296$$

$$\mu_1 N_1 = 4.718 \text{ N}$$

โดยที่

$\mu_2 =$  สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเหล็กบนหมอนไม้

จากตารางที่ 2.1

$$\mu_2 = 0.485$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_2 = m_{\text{straight,tonguerail}}g$$

$$N_2 = 7.1766 \times 9.81$$

$$N_2 = 70.4024 \text{ N}$$

ดังนั้น

$$\mu_2 N_2 = 0.485 \times 70.4024$$

$$\mu_2 N_2 = 34.1452 \text{ N}$$

โดย

$$N_3 = m_{\text{curve,tonguerail}}g$$

$$N_3 = 7.1864 \times 9.81$$

$$N_3 = 70.4986 \text{ N}$$

ดังนั้น

$$\mu_2 N_3 = 0.485 \times 70.4986$$

$$\mu_2 N_3 = 34.1918 \text{ N}$$

โดย

$$m = m_{\text{curve,tonguerail}} + m_{\text{straight,tonguerail}} + m_{\text{rack}} + m_{\text{short,rod}} + m_{\text{long,rod}}$$

$$m = 7.1864 + 7.1766 + 0.616 + 0.26125 + 0.418$$

จะได้

$$m = 15.65825 \text{ kg}$$

ดังนั้น

$$ma = 15.65825 \times 0.069763$$

$$ma = 1.0924 \text{ N}$$

จากสมการที่ (3.4) จะได้

$$F_r = 1.0924 + 4.718 + 34.1452 + 34.1918$$

$$F_r = 74.1474 \text{ N}$$

จากสมการที่ (2.4)

$$T_p = F_r \times r_p$$

จากการออกแบบ  $r_p = 0.015 \text{ m}$

$$T_p = 74.1474 \times 0.015$$

ได้ค่าแรงบิดขาออก

$$T_{\text{out}} = T_p = 1.1122 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 3.2.6 การคำนวณแรงบิดขาเข้าและออกของขบวนเฟือง

ในการคำนวณหาแรงบิดขาเข้านั้นจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราทดเฟือง โดยพิจารณาจากสมการที่ (2.5) ในการออกแบบได้กำหนดให้ขบวนเฟืองมีอัตราทด 6:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

จาก  $i = 6$  และ  $T_{out} = T_p = 1.1122 \text{ N}\cdot\text{m}$

$$\text{ดังนั้น} \quad 6 = \frac{1.1122}{T_{in}}$$

จึงได้แรงบิดขาเข้า  $T_{in} = 0.18536 \text{ N}\cdot\text{m}$

สำหรับการหาจำนวนฟันเฟืองในขบวนนั้นจะใช้หลักการทฤษฎี Reverted Compound Trains [4] ในกลศาสตร์เครื่องจักรกล โดยการตั้งสมมติฐานให้สะพานเฟืองและฟันเนียนไม่มีผลต่อการทดแรงบิด จะสามารถพิจารณาได้ดังรูปภาพที่ 3.23



โดยจะทำการออกแบบ Reverted Compound Trains [4] โดยมีอัตราทดที่ต้องการคือ 6:1

$$\text{ทำการแยกแพกเตอร์} \quad 6 = \frac{7 \times 2 \times 3}{7}$$

$$\text{ทำการทดลองสองชุดที่มีค่าใกล้เคียงกัน} \quad \frac{z_1}{z_2} = \frac{7}{14}, \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{3}$$

$$\text{จะได้} \quad z_2 = 2z_1 \text{ และ } z_4 = 3z_3 \quad (3.5)$$

$$\text{จากข้อกำหนด} \quad z_1 + z_2 = z_3 + z_4$$

$$\text{จึงกำหนดให้} \quad z_1 + z_2 = K \text{ และ } z_3 + z_4 = K$$

$$\text{จากสมการที่ (3.5) จะได้} \quad 3z_1 = K \text{ และ } 4z_3 = K$$

$$\text{จับสมการข้างต้นมาหารกัน} \quad 1 = \frac{3z_1}{4z_3}$$

$$\text{ทดลองเลือกค่าจำนวนฟัน} \quad z_1 = 40, z_3 = 30$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกิจกรรมงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.5) จะได้  $z_2 = 2 \times 40$  ,  $z_4 = 3 \times 30$

ดังนั้นได้ค่าจำนวนฟัน  $z_2 = 80$  ,  $z_4 = 90$

### 3.2.7 การคำนวณหาน้ำหนักล้อสูงสุด

จากข้อมูลความเค้นดัดสูงสุดของรางต่อ (Jointed Rail) มีค่า 32,000 psi หรือ 220 MPa สามารถนำไปหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด

จากสมการที่ (2.10)

$$S = \frac{Mc}{I}$$

เมื่อ  $S = 220 \text{ MPa}$  ,  $I = 283,372.4 \text{ mm}^4$  ,  $c = 23.32 \text{ mm}$

ดังนั้นได้โมเมนต์ดัดสูงสุด (M) มีค่าเท่ากับ 2,681 Nm

นำค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดไปแทนค่าในสมการที่ (2.11) เพื่อหาน้ำหนักที่มากกระทำ (P) เมื่อค่าโมดูลัสสภาพทาง (u) เล็กเงื่อนไขทางที่ประกอบด้วยหมอนไม้ มีค่า 3,000 lb/in/in หรือ 6,894,759 Pa จากสมการที่ (2.11)

$$M_{\max} = P \left( \frac{EI}{64u} \right)^{\frac{1}{4}}$$

เมื่อ  $M_{\max} = 2,681 \text{ Nm}$  ,  $I = 283,372.4 \text{ mm}^4$  ,  $E = 200 \text{ GPa}$  ,  $u = 6,894,759 \text{ Pa}$

ดังนั้นได้ค่าน้ำหนักของล้อ (P) มีค่าเท่ากับ 25,184 N (Dynamics Load)

จากนั้นต้องเปลี่ยน Dynamics Load เป็น Static Load โดยใช้ความสัมพันธ์ของตัวคูณแรงกระแทก (Impact Factor) ของ รพท.

จากสมการที่ (2.14)

$$I.F. = 1 + \frac{V}{100}$$

โดยที่  $V = 11 \text{ km/hr}$

ดังนั้น  $I.F. = 1.11$

จากนั้นแทนค่าในสมการที่ (2.12)

แรงกระทำสถิต  $\times$  ตัวคูณแรงกระแทก (Impact factor) = แรงกระทำเชิงพลวัต

โดยที่ แรงกระทำเชิงพลวัต (P) มีค่าเท่ากับ 25,184 N และ Impact factor = 1.1

ดังนั้น แรงกระทำสถิต (Static Load) มีค่าเท่ากับ 2,333.8 kg

สรุปได้ว่า น้ำหนักกดมากที่สุดของล้อมีค่าเท่ากับ 2,333.8 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.8 การคำนวณค่ายกโค้งของรางด้านนอก

จากสมการที่ (2.3)

$$I = \frac{5.6V^2}{R}$$

โดยที่  $V = 11 \text{ km/hr}$  ,  $R = 20 \text{ m}$

ดังนั้นค่าการยกโค้งของรางด้านนอกเท่ากับ  $I = 33.88 \text{ mm}$

ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขความปลอดภัย  $I < 75 \text{ mm}$

### 3.3 การจัดทำชุดประแจทางหลักและชุดประแจกลมมือ

ภายในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการจัดทำชุดประแจทางหลักและส่วนประกอบของระบบรางต่างๆ มีด้วยกันหลายขั้นตอนดังนี้

1. จัดซื้อเหล็กรางรถไฟ 6 m จำนวน 6 เส้น แล้วนำเหล็กรางรถไฟมาวัดความยาว แสดงดังรูปที่ 3.24 โดยวัดตามส่วนประกอบของประแจทางหลักที่ได้ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 เพื่อนำไปตัดในขั้นตอนต่อไป

Switching Part	
Stock rail (Straight)	2398 mm
Stock rail (Curve)	2403 mm
Tongue rail (Straight)	2200 mm
Tongue rail (Curve)	2203 mm

ตารางที่ 3.1 ความยาวของรางแต่ละประเภทใน Switching Part

Crossing Part	
Stock rail (Straight)	2400 mm
Stock rail (Curve)	2435 mm
Wing rail (Right)	2040 mm
Wing rail (Left)	2061 mm
Point rail	1385 mm
Splice rail	1412 mm

ตารางที่ 3.2 ความยาวของรางแต่ละประเภทใน Crossing Part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 วัดความยาวของเหล็กทรงรถไฟ

2. รูปที่ 3.25 แสดงการตัดเหล็กทรงรถไฟ ซึ่งตัดตามความยาวที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.25 ตัดเหล็กทรงรถไฟ

3. จัดซื้อหมอนไม้ 13 ท่อน ขนาด 2x2 in ซึ่งแต่ละท่อนมีความยาวดังตารางที่ 3.3

หมอนไม้	ความยาว (mm)
1	410
2	460
3	460
4	460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	490
6	530
7	580
8	640
9	750
10	830
11	930
12	1030
13	1150

ตารางที่ 3.3 ความยาวหมอนไม้แต่ละท่อน

4. จัดทำและประกอบประแจกลมือให้ตรงตามที่เขียนแบบ ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ชุดประแจกลมือ

5. จัดส่งเหล็กรางรถไฟ หมอนไม้ และชุดประแจกลมือ ไปยังศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนไทย อำเภอลำลูกกา จังหวัดสระบุรี เพื่อนำเหล็กรางรถไฟไปผ่านกระบวนการผลิตตามที่ออกแบบไว้ในโปรแกรม AutoCAD

6. การไสเหล็กรางรถไฟ ในส่วนของ Switching Part ไส Stock Rail (straight, Curve) , Tongue Rail (Left, Right) , ในส่วนของ Crossing Part ไส Point Rail, Splice Rail, Wing Rail (Left, Right) ทำผ่านเครื่องจักร CNC Milling Head รุ่น IK-451011 ดังรูปที่ 3.27 โดยมีผู้เชี่ยวชาญคอยควบคุมเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 เครื่องจักรการไส

7. ตัดเหล็กรางรถไฟ ในส่วนของ Switching Part ตัด Tongue Rail (Right) ในส่วนของ Crossing Part ตัด Wing Rail (Left, Right) , Stock Rail (Curve) ทำผ่านเครื่องจักร TMC Hydraulic Press รุ่น HSP 250T ดังรูปที่ 3.28 โดยผู้เชี่ยวชาญ โดยตัดที่รัศมี 20 m



รูปที่ 3.28 เครื่องจักรการตัด

8. ทำการยึดเหล็กรางรถไฟส่วนต่างๆที่ผ่านกระบวนการไสและตัดกับหมอนไม้ โดยการยึดรางรถไฟกับหมอนไม้มี 2 รูปแบบคือ

- 1). ยึดสกรูกับหมอนไม้โดยมีงานแหวนล็อกเหล็กรางรถไฟ ดังรูปที่ 3.29
- 2). ยึดสกรูผ่านแผ่นเหล็กติดกับเอวรางและหมอนไม้ ดังรูปที่ 3.30

การยึดและประกอบจะต้องใช้อุปกรณ์ในการดำเนินงานในตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	จำนวน
1. สกรูปลายสว่านหัวหกเหลี่ยม (Hexagon Self-drill Screw) ยาว 1.5 in	71 ชิ้น
2. แหวนอีแปะ (Plain Washer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 in	71 ชิ้น
3. น็อตหกเหลี่ยม (Hexagon Nut) M10	60 ชิ้น
4. แหวนอีแปะ (Plain Washer) M10	60 ชิ้น
5. เกลียวตลอด (Stud) M10 ยาว 1 m	1 แท่ง
6. แผ่นเหล็ก หนา 6 mm ขนาด 24 x 2.5 cm	8 แผ่น
7. สกรูหัวแฉก (Truss Bolt) M4	8 ชิ้น
8. น็อตหกเหลี่ยม (Hexagon Nut) M4	8 ชิ้น
9. สกรูหกเหลี่ยม (เกลียวเต็ม) (Hex Bolt) M5 ยาว 2.5 cm	1 ชิ้น
10. สกรูหกเหลี่ยม (เกลียวเต็ม) (Hex Bolt) M5 ยาว 4 cm	1 ชิ้น
11. น็อตหกเหลี่ยม (Hexagon Nut) M5	2 ชิ้น

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์เสริมในการประกอบประแจสับราง



รูปที่ 3.29 การยึดเหล็กรางรถไฟกับหมอนไม้โดยใช้สกรูกับงานแหวนล็อก



รูปที่ 3.30 การยึดเหล็กรางรถไฟกับหมอนไม้โดยมีแผ่นเหล็กตัดมาเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ยึดเหล็กรางรถไฟกับหมอนไม้จะต้องเจาะนำด้วยหัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 in
10. จากนั้นขันสกรูปลายสว่านหัวหกเหลี่ยม ยาว 1.5 in และ แหวนอีแปะเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 in เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ในการยึดเหล็กรางรถไฟกับหมอนไม้
11. ยึดเหล็กรางรถไฟส่วนหัวตะเฒ่หรือทางตัด ในช่วง Crossing Part ด้วยสตัดเกลียว M10 กับหัวน็อต M10 แสดงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การยึดเหล็กรางรถไฟในส่วนทางตัด

12. เชื่อมเหล็กรางรถไฟในช่วง Switching Part และ Crossing Part ด้วยการใช้วิธีเชื่อมแบบรางต่อ (Joint Rail) ใช้หัวน็อต M10 ขันเข้ากับแหวนและแผ่นเหล็กดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 การเชื่อมรางแบบรางต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. รูปที่ 3.33 แสดงการยึดประแจกลมือกับลึนรางด้วยน็อต M5 ความยาว 2.5 cm และ 4 cm แล้วใช้หัวน็อต M5 หมุนยึดด้านล่างอีกที เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ในการประกอบทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.33 การยึดประแจกลมือกับลึนราง



รูปที่ 3.34 การประกอบชุดประแจทางหลักและประแจกลมือที่เสร็จสมบูรณ์

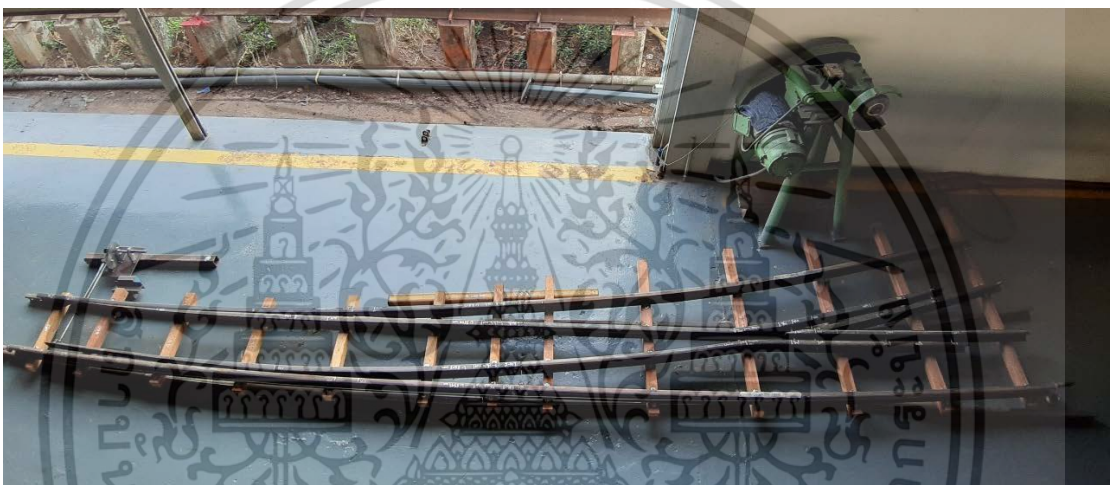
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# วิธีการทดลองและผลลัพธ์

### 4.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของประแจทางหลัก

การทดลองนี้เป็นการนำประแจทางหลักที่ผ่านการประกอบกันของรางครบทุกช่วง วางบนหมอนไม้และเชื่อมต่อกับประแจกลมือ ดังรูปที่ 4.1 โดยจะทำการทดลองสับประแจว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ผลการทดลองพบว่า



รูปที่ 4.1 ชุดประแจทางหลักที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

การทดสอบ	ผลลัพธ์
ลิ้นรางซ้ายตำแหน่ง Close Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ ลิ้นรางไม่ตีกลับ ระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นน้อยกว่า 1 mm
ลิ้นรางขวาตำแหน่ง Open Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ ลิ้นรางไม่ตีกลับ ระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นเฉลี่ย 26.47 mm
ลิ้นรางซ้ายตำแหน่ง Open Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ ลิ้นรางไม่ตีกลับ ระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นเฉลี่ย 24.82 mm
ลิ้นรางขวาตำแหน่ง Close Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ ลิ้นรางไม่ตีกลับ ระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นน้อยกว่า 1 mm

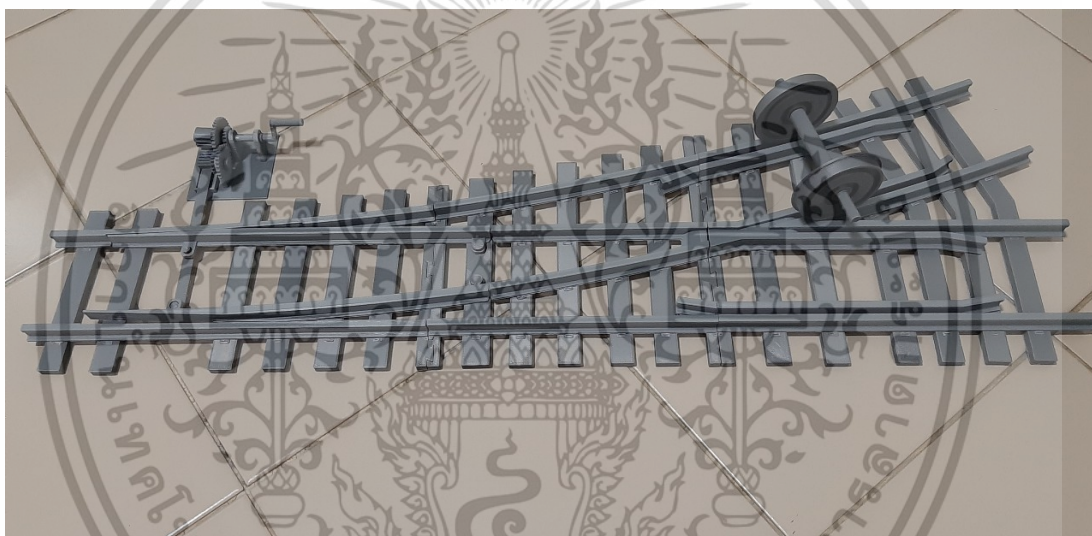
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประแจทางหลัก

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าระยะระหว่างลิ้นรางและรางประกอกลิ้นในแต่ละตำแหน่งนั้นมีความปลอดภัย โดยเทียบจากข้อมูลการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กำหนดให้ระยะระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลื่นรางและรางประคองลื่นในตำแหน่ง Close Position มีค่าน้อยกว่า 1 mm และตำแหน่ง Open Position มีค่าอยู่ในช่วง 24.49 - 26.85 mm (สำหรับความกว้างทางรถไฟ 10.25 in)

## 4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของเพลาล้อบนประแจทางหลัก แบบโมเดล 3D Printing

การทดลองนี้เป็นการนำโมเดลประแจสับราง 3D Printing ดังรูปที่ 4.2 โดยที่อ้างอิงโปรไฟล์ ล้อจากแบบที่จะนำมาสร้างจริงในอนาคต และตำแหน่ง Open Position จริง (สำหรับความกว้างทางรถไฟ 10.25 in) มาทดสอบว่าหากนำเพลาล้อรถไฟมาเคลื่อนที่บนโมเดลประแจทางหลักแล้วสามารถ เปลี่ยนทิศทางของเพลาล้อรถไฟจากทางหนึ่งไปอีกทางหนึ่งได้หรือไม่ จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง พบว่า



รูปที่ 4.2 ชุดโมเดลประแจทางหลัก 3D Printing ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

การทดสอบ	ผลลัพธ์
ลื่นรางซ้ายตำแหน่ง Close Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ และลื่นรางไม่ตีกลับ
ลื่นรางขวาตำแหน่ง Open Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ และลื่นรางไม่ตีกลับ
ลื่นรางซ้ายตำแหน่ง Open Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ และลื่นรางไม่ตีกลับ
ลื่นรางขวาตำแหน่ง Close Position	สามารถเคลื่อนที่ได้สมบูรณ์ และลื่นรางไม่ตีกลับ
เพลาล้อรถไฟเคลื่อนผ่านประแจไปทางตรง	สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้อย่างราบรื่น
เพลาล้อรถไฟเคลื่อนที่ผ่านประแจไปทางโค้ง	สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้อย่างราบรื่น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบโมเดลประแจทางหลัก 3D Printing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ค้นคว้า ออกแบบชุดประแจทางหลัก ประแจกลมือ นั้นพบว่า

1. สามารถเรียนรู้กลไกการเคลื่อนที่ของประแจกลมือ จากการสร้างชุดประแจทางหลัก ซึ่งมีขนาดความกว้างรางรถไฟอยู่ที่ 10.25 in หรือขนาด 1:4 จากขนาดมาตรฐาน และการสร้างโมเดลจาก 3D Printing ซึ่งออกแบบในโปรแกรม SOLIDWORKS

2. สามารถพัฒนาสร้างชุดประแจสับราง ขนาดความกว้างรางรถไฟ 10.25 in หรือขนาด 1:4 จากขนาดมาตรฐาน การควบคุมประเภทประแจกลแบบมือหมุนและออกแบบชุดเฟืองทดกำลังแบบ Reverted Compound Trains กำหนดอัตราทด 1:6 ให้สับเปลี่ยนทิศทางของลิ้นรางได้ โดยลิ้นรางนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปอีกตำแหน่งได้สมบูรณ์แบบและถูกต้อง ใช้แรงในการหมุนไม่มากจนเกินไป

3. สามารถเรียนรู้ถึงหลักการทำงานและการซ่อมบำรุงของประแจสับรางและชุดเฟืองทด ซึ่งการซ่อมบำรุงประแจสับรางนั้นควรหมั่นตรวจสอบด้วยวิธีระหว่างหมอนไม้กับเหล็กรางรถไฟว่ามีการชำรุดหรือคลายตัวหรือไม่ ตรวจสอบว่ารางในทางตรงนั้นยังคงเป็นแนวเดียวกับเส้นอ้างอิงและมีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิมหรือไม่ หากตรวจพบควรรีบดำเนินการแก้ไขเพราะอาจทำให้ขนาดความกว้างของรางคลาดเคลื่อนจาก 10.25 in และการเดินรถในอนาคตไม่มีความมั่นคงได้ สำหรับการซ่อมบำรุงชุดเฟืองทदनั้นควรหมั่นหยอดน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้การหมุนประแจกลมือนั้นมีความลื่นไหล ไม่ใช่แรงมากจนเกินไป หมั่นเช็คทำความสะอาดเฟือง ตรวจสอบเช็คว่ามีเศษวัสดุมาขัดการทำงานของชิ้นส่วนใดในประแจกลมือหรือไม่ และต้องหมั่นตรวจสอบระยะเปิดปิดของลิ้นรางแต่ละฝั่งว่ามีความคลาดเคลื่อนจากช่วงระยะ 24.29 – 26.85 mm หรือไม่ หากคลาดเคลื่อนสามารถปรับระยะของแท่งส่งกำลังได้

4. สามารถนำชุดประแจสับรางมาเป็นต้นแบบการศึกษา ทั้งหลักการทำงานและหลักการซ่อมบำรุงให้กับนักศึกษารุ่นถัดไป

### 5.2 ปัญหาจากการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1. การวัดและตัดเหล็กรางรถไฟอาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากสายตาของผู้วัด
2. พื้นผิวชิ้นงานจาก 3D printing อาจมีความขรุขระ เนื่องจากต้องทำการแกะซัพพอร์ตที่ถูกสร้างมาเพื่อประกอบชิ้นงานให้มันคงระหว่างการบรินท์ โดยจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่มีความซับซ้อน
3. ในส่วนของการประกอบรางเพื่อให้ได้ชุดประแจสับรางที่สมบูรณ์นั้น จำเป็นที่จะต้องให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้ดำเนินงานประกอบให้ จึงจำเป็นต้องขนส่งวัสดุไปดำเนินงานประกอบที่ ศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนไทย จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีระยะทางที่ไกลจากมหาวิทยาลัย ทำให้การดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างยากลำบาก นอกจากนี้ทางผู้จัดทำก็ต้องเดินทางไปด้วยหลายครั้ง เพื่อความเข้าใจในการดำเนินงานอย่างถูกต้อง

4. การยึดเหนี่ยวรางและหมอนในช่วง Tongue Rail ต้องประกบกับ Stock Rail ด้วยแหวนและน็อตยึดเมทัลชีท ทำให้รางและหมอนไม่อยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดเวลา จึงต้องทำแผ่นเหล็กดัดยึดหมอนแล้วใช้น็อตและสตั๊ดเจาะยึด

5. ในส่วนของระแจกลมือ หากในอนาคตมีการเดินรถแล้ว อาจมีแรงที่ส่งผลกระทบให้ระแจกลมืออาจหมุนกลับไม่สามารถลือคอยู่ในตำแหน่งทางโค้งได้ จึงต้องมีการทำตัวลือคเพิ่มขึ้น เพื่อให้การสับรางเป็นไปตามตำแหน่งที่ต้องการ

6. ผลของความเร่งเฉื่อยอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ เพราะแรงในการหมุนของแต่ละคนไม่เท่ากัน ในส่วนวิดีโอที่นำมาวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในโปรแกรมนั้นมีการสั่น ทำให้ค่าที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ควรหาฐานตั้งกล้องที่มีความมั่นคงเพื่อรักษาความนิ่งในการถ่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Institution of Mechanical Engineers. (2020). About Railway Challenge. สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2563, จาก <https://www.imeche.org/events/challenges/railway-challenge/about-railway-challenge>

[2] Yuan Baojun. (22 August 2014). Design Calculation for 1:10 BS80A Simple Turnout of Thailand Railway with Mechanical Point Machine

[3] ศิวตล ไชยบท, จุฑามาศ สุขเจริญ. การเขียนแบบจากศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนแห่งประเทศไทย

[4] ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร. (2558). กลศาสตร์เครื่องจักรกล

[5] BKK Trains. (2016). ส่วนประกอบประแจสับราง . สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2562, จาก <https://www.facebook.com/bkktrains>

[6] Hay, W. W. (1982) Railroad Engineering, 2nd Ed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

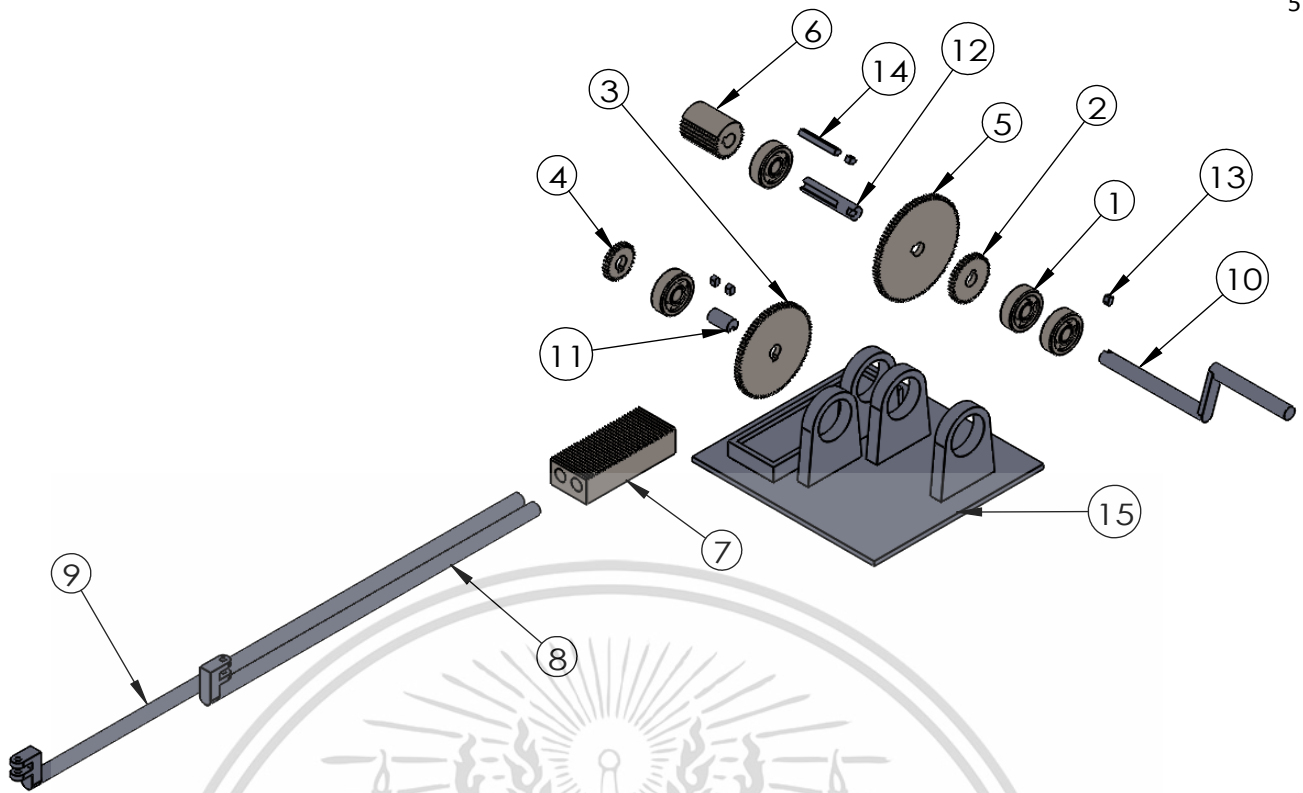


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.  
การออกแบบชุดประแจกลมือ สำหรับรางขนาด 10.25 นิ้ว  
จากโปรแกรม SOLIDWORKS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	Name	Quantity
1	Bearing	4
2	Gear 1 (40)	1
3	Gear 2 (80)	1
4	Gear 3 (30)	1
5	Gear 4 (90)	1
6	Pinion	1
7	Rack	1
8	Link Short	1
9	Link Long	1
10	Winch	1
11	Rod 1	1
12	Rod 2	1
13	Wedge 1	3
14	Wedge 2	1
15	Fix	1

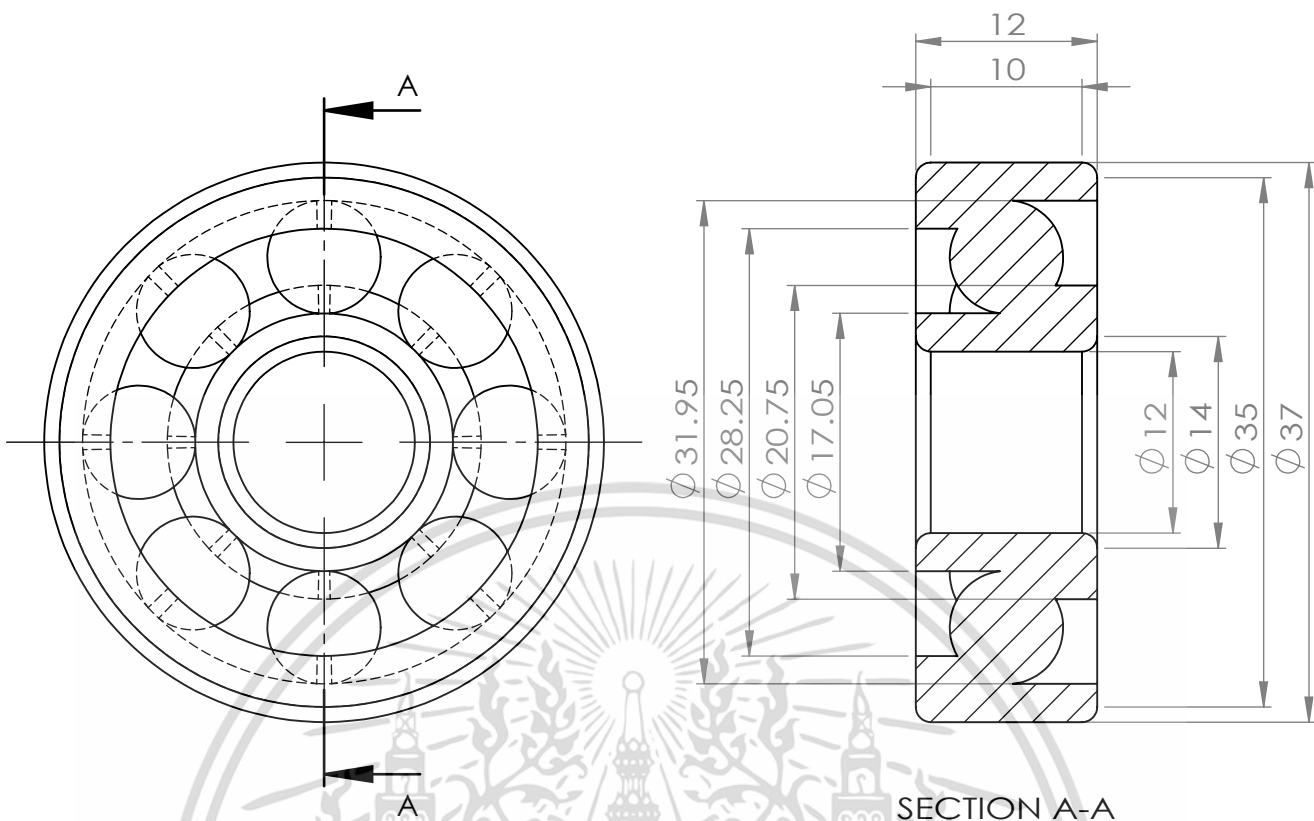


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า			
Title : Point Machine Design		No. : - Name : Assembly Overview	
Quantity : -	Scale : 1:6	Unit : mm.	Sheet : 1/16



Bearing Specification	
Size	7301B
Bore	12 mm.
Outside Diameter	37 mm.
Thickness	12 mm.



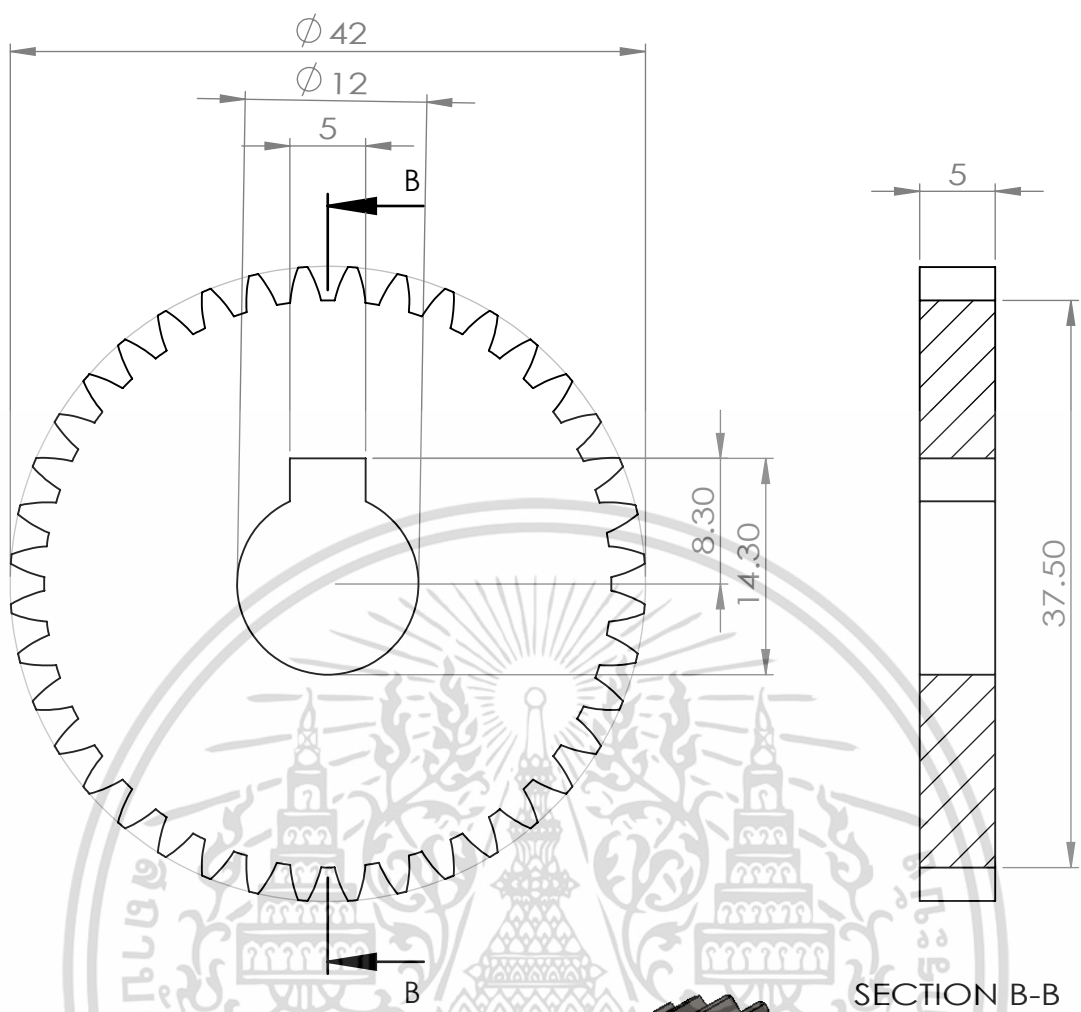
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 1 Name : Bearing

Quantity : 4 pieces Scale : 2:1 Unit : mm. Sheet : 2/16

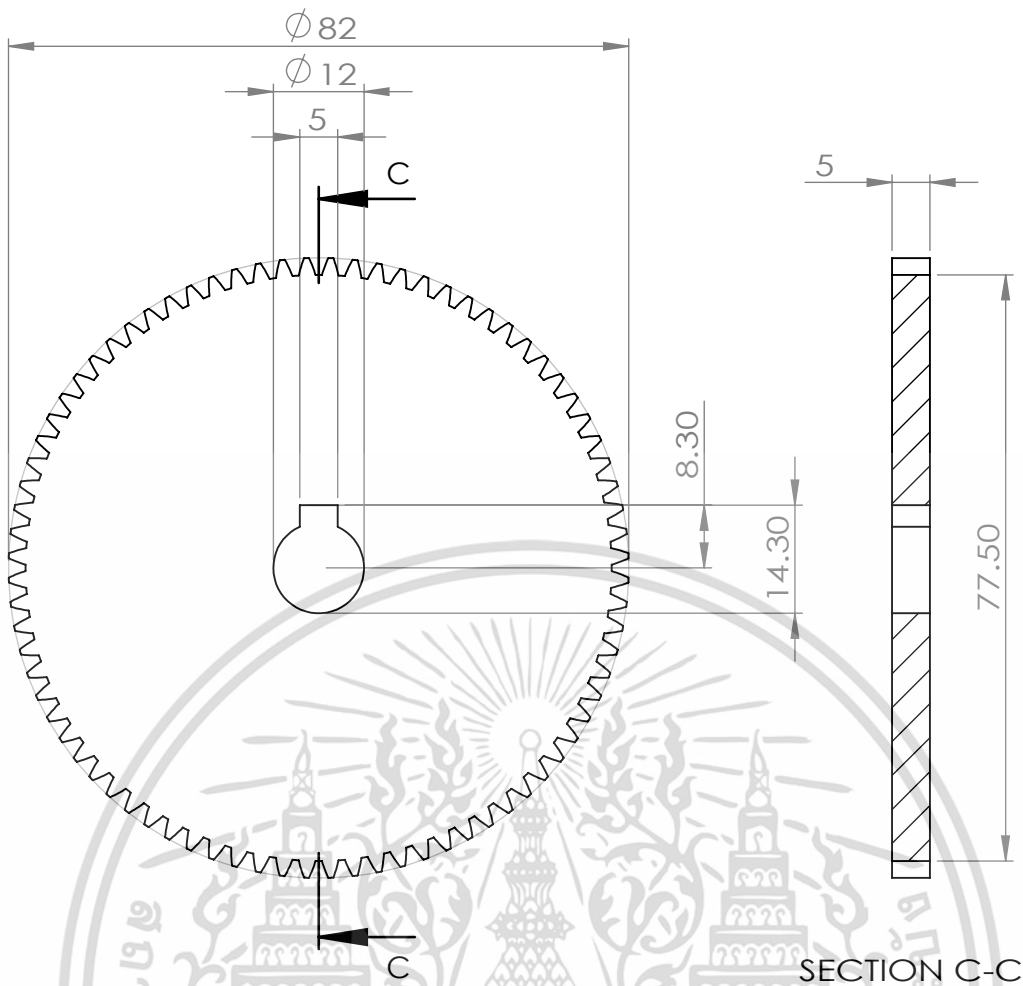


Gear 1 (40) Specification	
Module	1
Number of Teeth	40
Pressure Angle	20 °
Thickness	5 mm.



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Rail Transportation Engineering  
 Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Title : Point Machine Design      No. : 2      Name : Gear 1 (40)			
Quantity : 1 pieces	Scale : 2:1	Unit : mm.	Sheet : 3/16



Gear 2 (80) Specification	
Module	1
Number of Teeth	80
Pressure Angle	20 °
Thickness	5 mm.



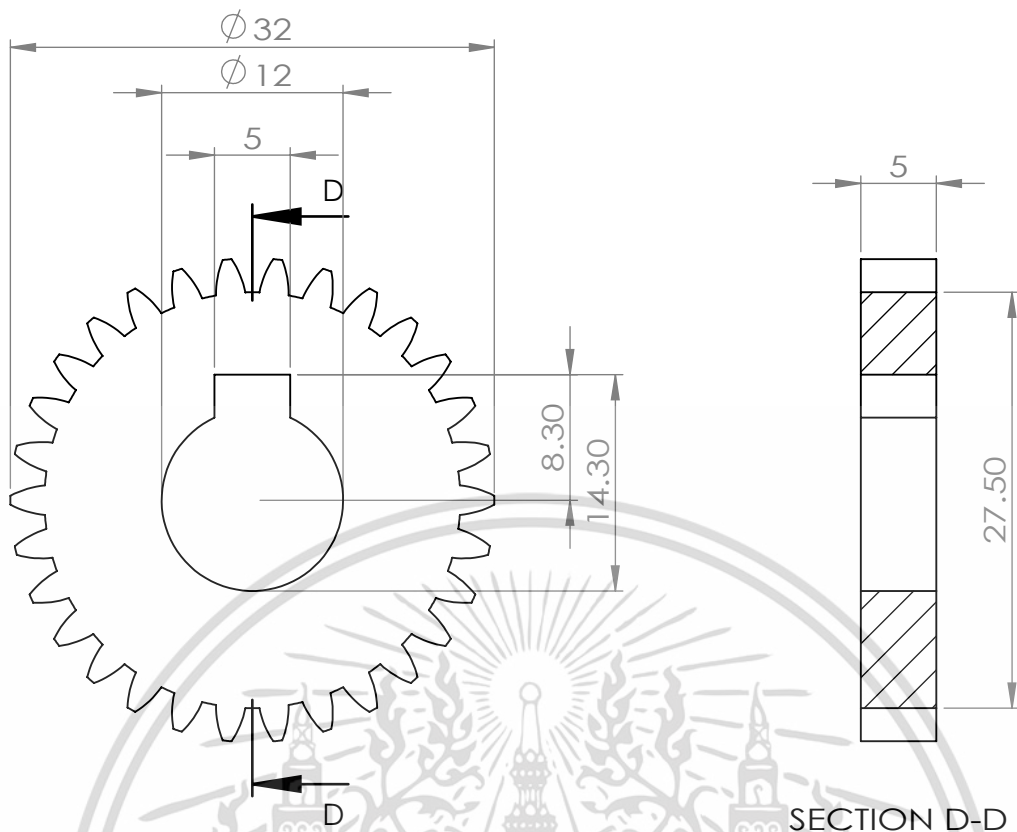
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 3 Name : Gear 2 (80)

Quantity : 1 pieces Scale : 1:1 Unit : mm. Sheet : 4/16



Gear 3 (30) Specification	
Module	1
Number of Teeth	30
Pressure Angle	20 °
Thickness	5 mm.



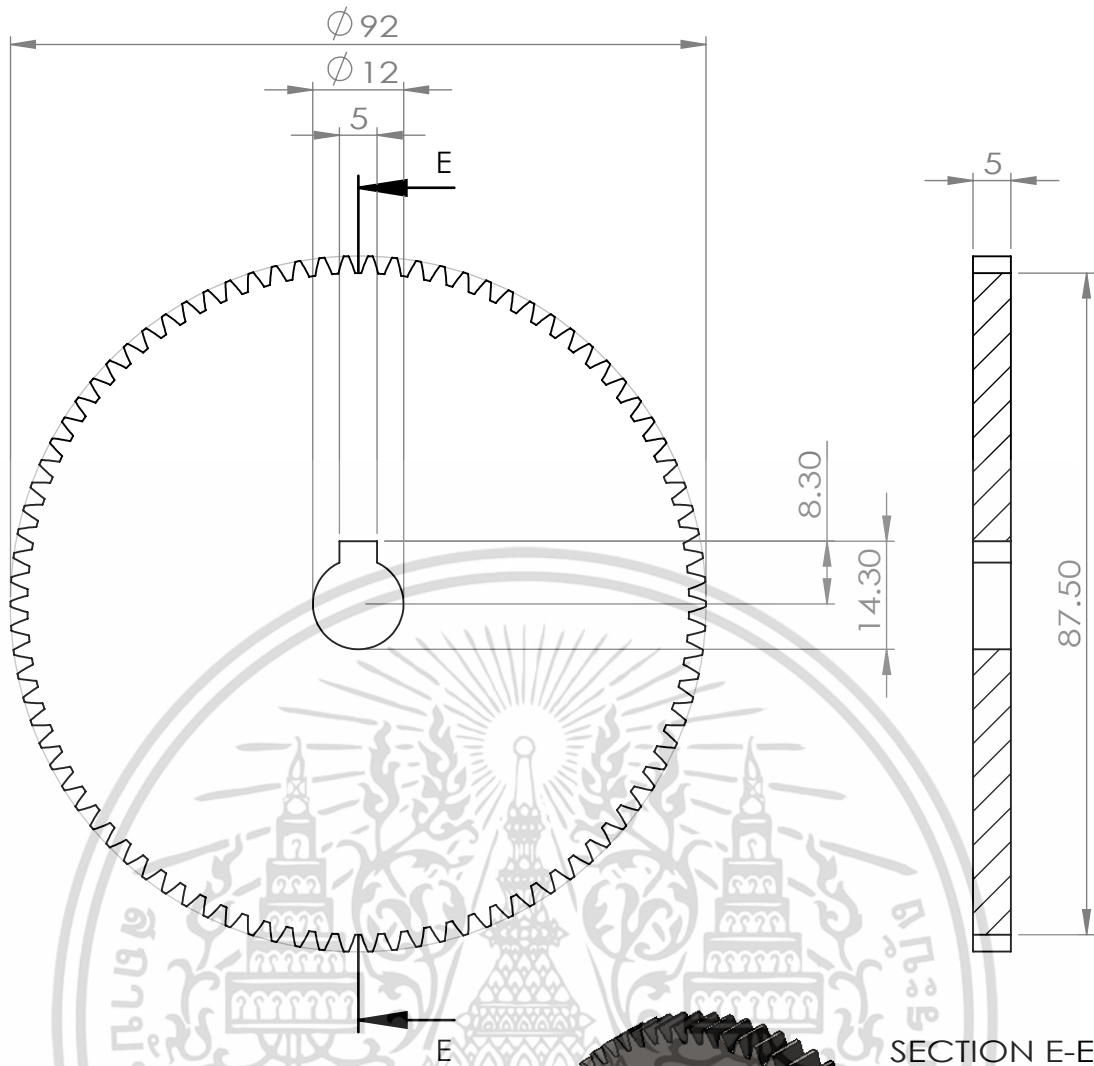
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 4 Name : Gear 3 (30)

Quantity : 1 pieces Scale : 2:1 Unit : mm. Sheet : 5/16



Gear 4 (90) Specification	
Module	1
Number of Teeth	90
Pressure Angle	20 °
Thickness	5 mm.



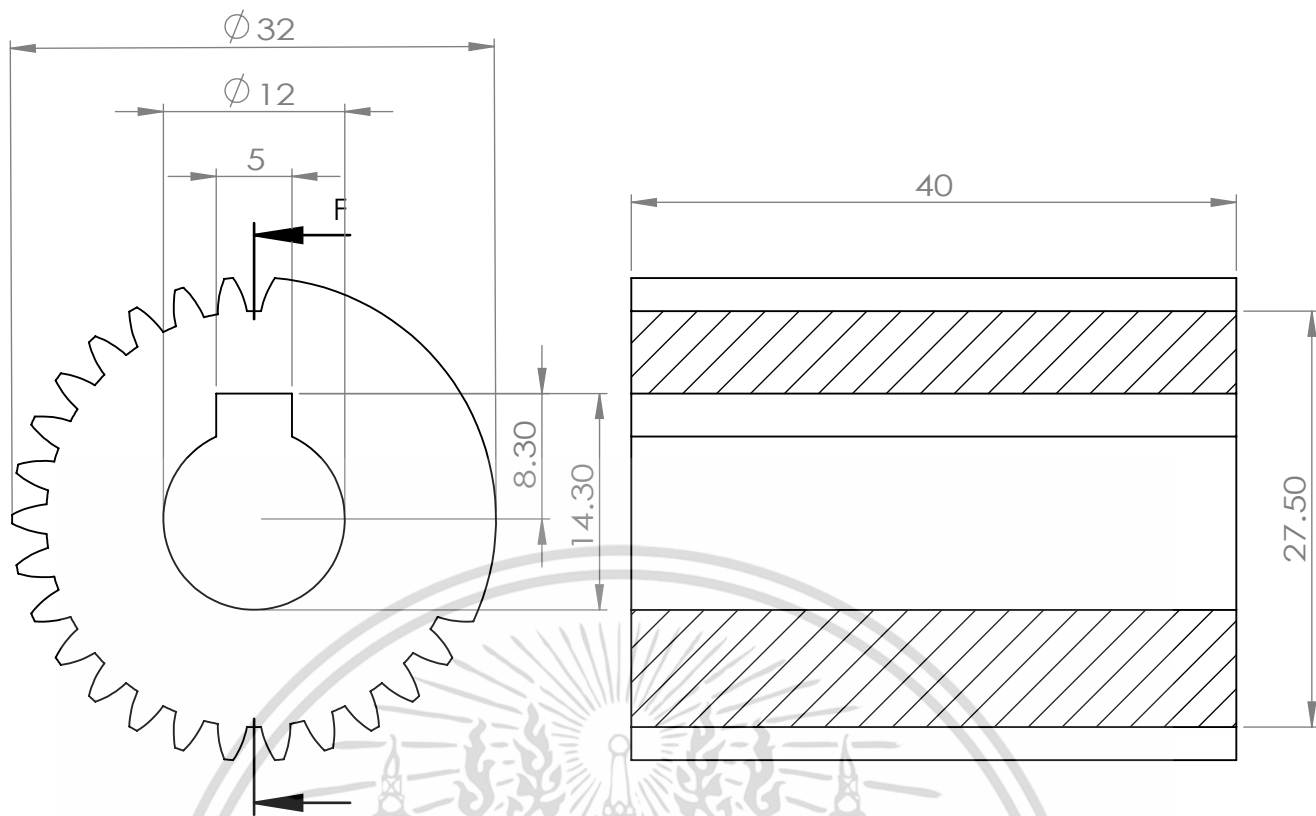
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

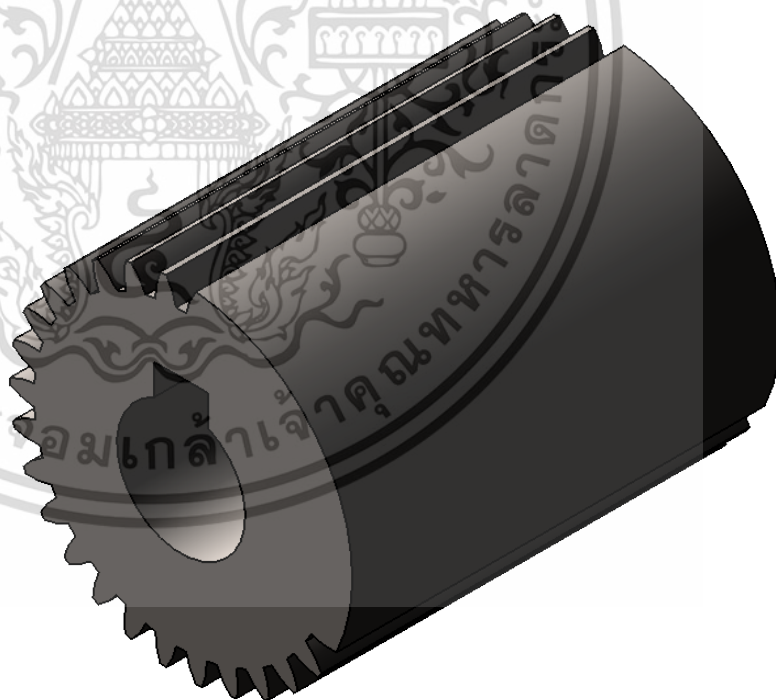
Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 5 Name : Gear 4 (90)

Quantity : 1 pieces Scale : 1:1 Unit : mm. Sheet : 6/16



SECTION F-F



Pinion Specification	
Module	1
Number of Teeth	30
Pressure Angle	20 °
Thickness	5 mm.



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

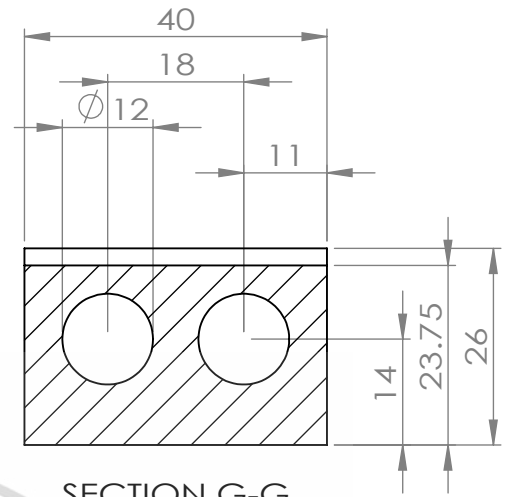
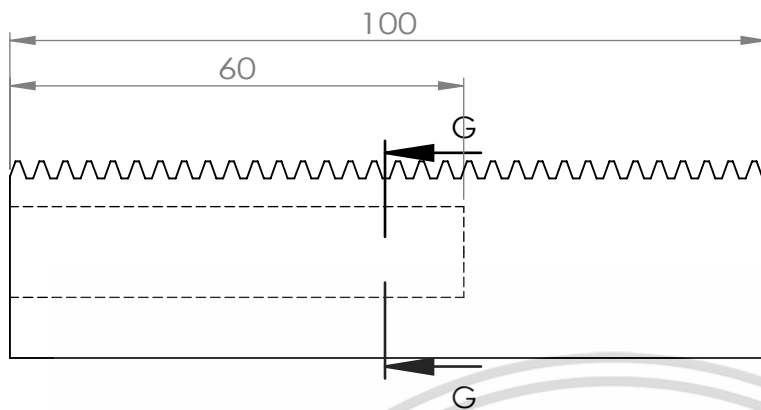
Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 6 Name : Pinion

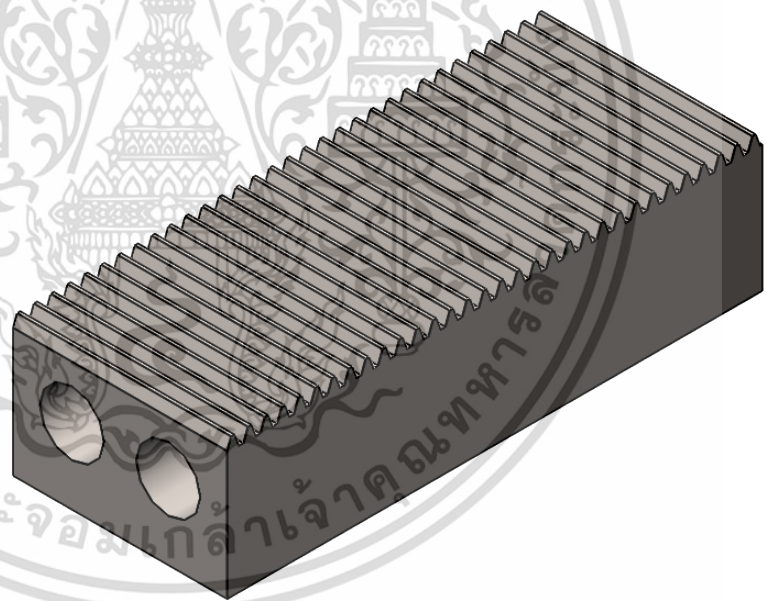
Quantity : 1 pieces Scale : 2:1 Unit : mm. Sheet : 7/16

F

F



SECTION G-G



## Rack Specification

Module	1
Number of Teeth	32
Pressure Angle	$20^\circ$
Thickness	40 mm.



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 7 Name : Rack

Quantity : 1 pieces

Scale : 1:1

Unit : mm.

Sheet : 8/16

A

A

F

F

E

E

D

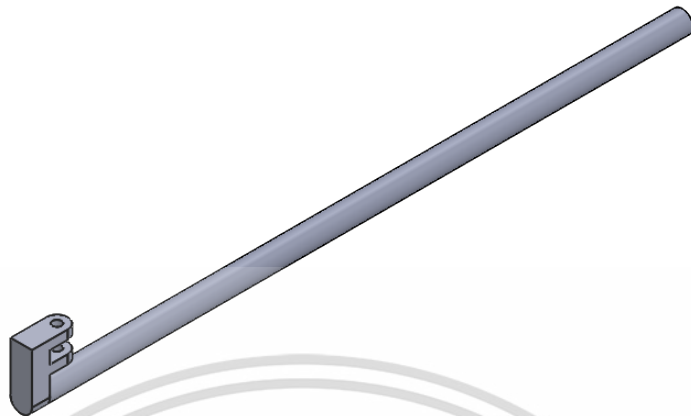
D

C

C

B

B



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 8 Name : Link Short

Quantity : 1 pieces Scale : 1:3 Unit : mm. Sheet : 9/16

A

A

4

3

2

1

60

F

F

E

E

D

D

C

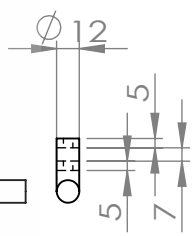
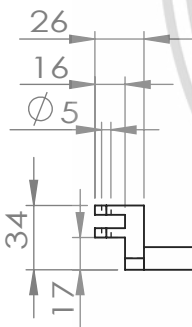
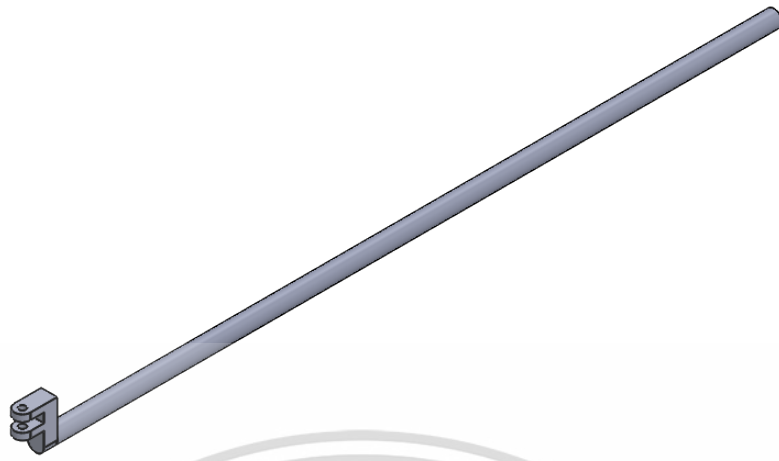
C

B

B

A

A



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Rail Transportation Engineering  
 Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

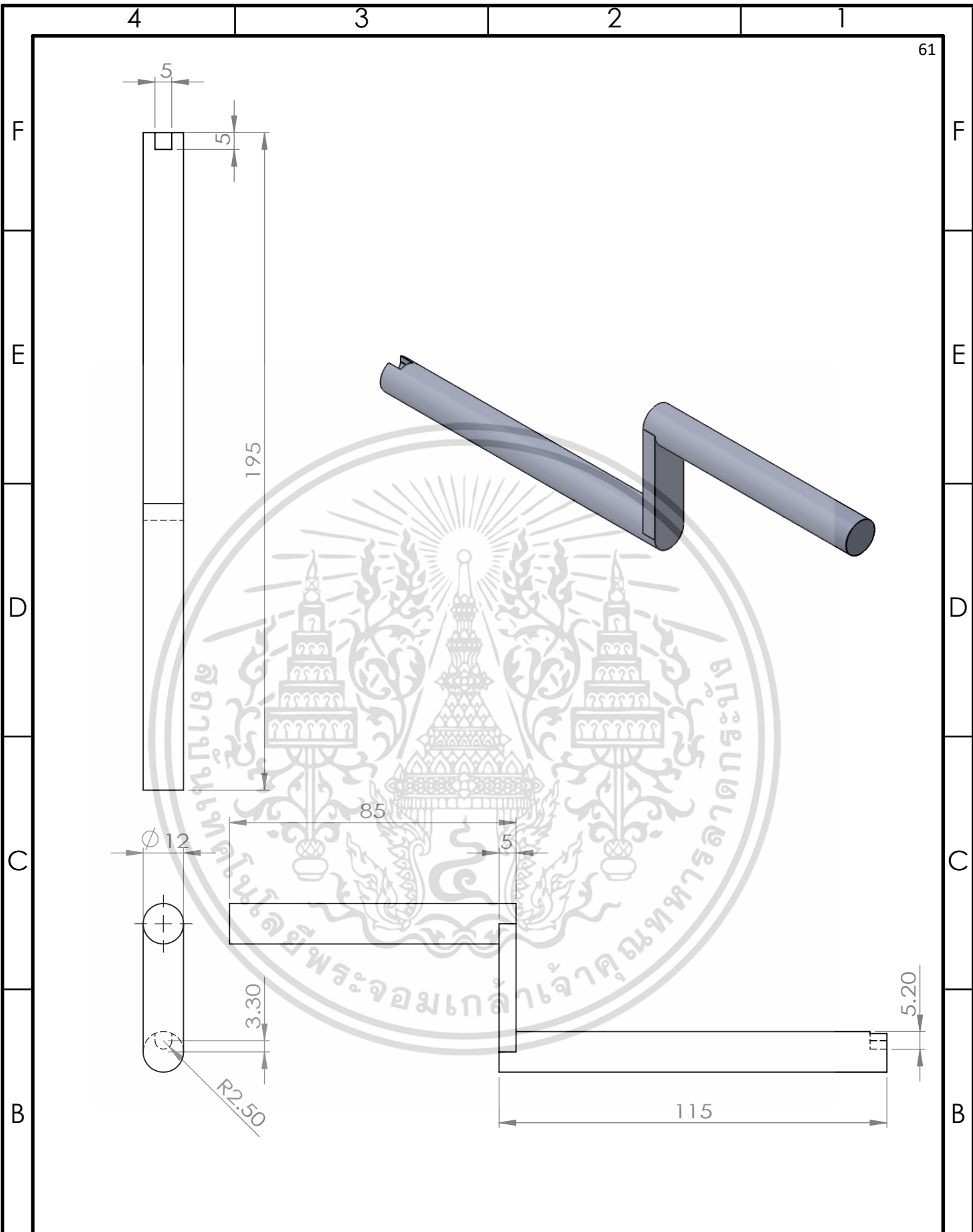
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในธุรกิจอื่น ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนสิทธิ์ในชื่อและภาพลักษณ์ของเอกสารทุกชิ้นที่ปรากฏในเอกสารนี้			
Title : Point Machine Design	No. : 9	Name : Link Long	
Quantity : 1 pieces	Scale : 1:4	Unit : mm.	Sheet : 10/16

4

3

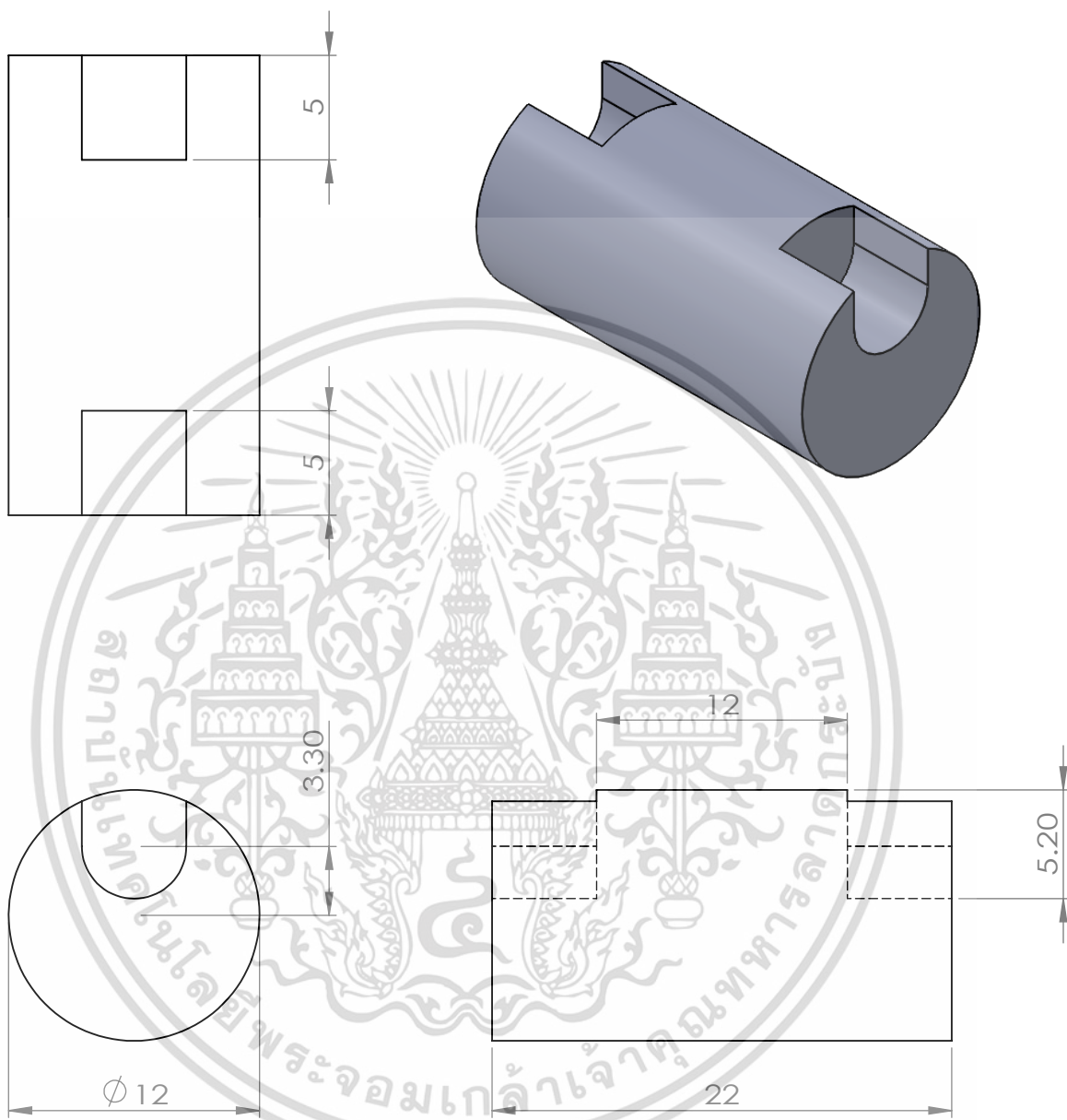
2

1



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Rail Transportation Engineering  
 Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Title : Point Machine Design			
No. : 10		Name : Winch	
Quantity : 1 pieces	Scale : 1:1.5	Unit : mm.	Sheet : 11/16

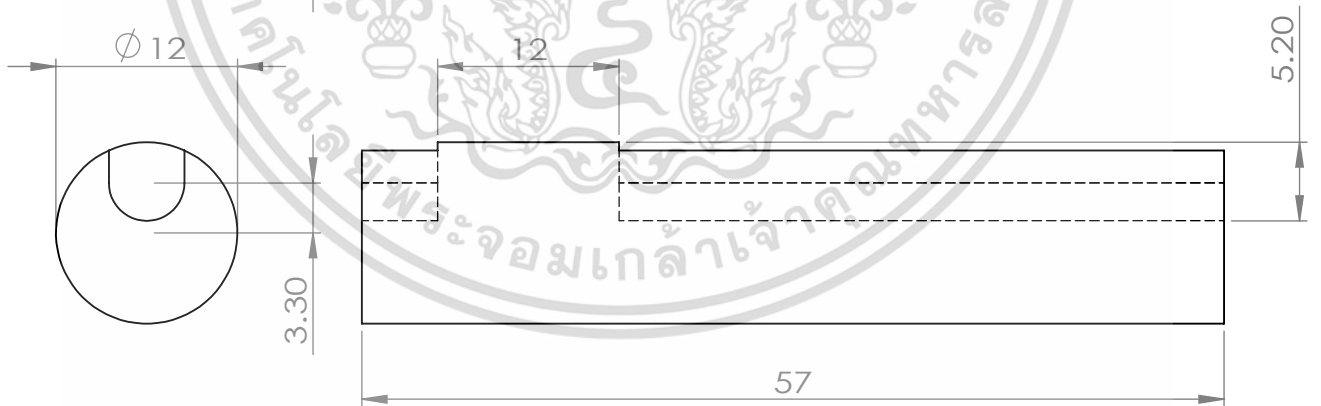
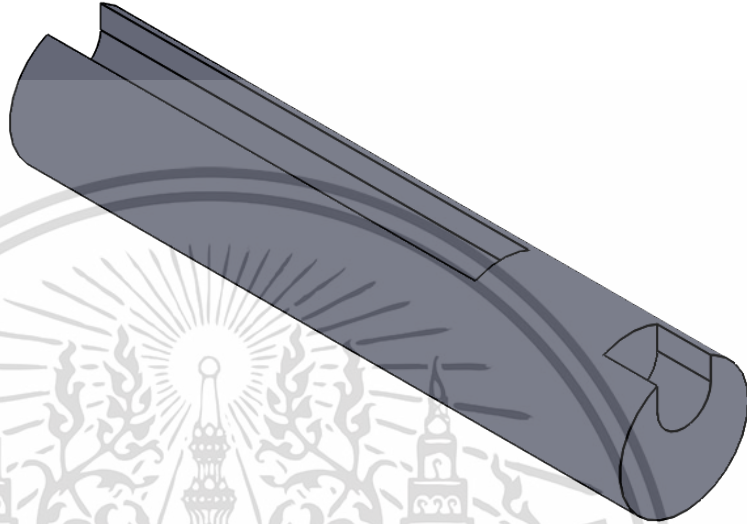
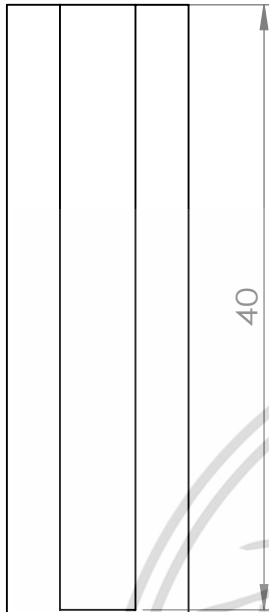


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในเชิงธุรกิจใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนสิทธิ์ในชื่อของสถาบันฯ และทรัพย์สินทางปัญญาของเอกสารทุกชนิดที่ปรากฏในเอกสารนี้			
<b>Title :</b> Point Machine Design		<b>No. :</b> 11	
<b>Quantity :</b> 1 pieces		<b>Name :</b> Rod 1	
<b>Scale :</b> 3:1		<b>Unit :</b> mm.	
<b>Sheet :</b> 12/16			



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design No. : 12 Name : Rod 2

Quantity : 1 pieces Scale : 2:1 Unit : mm. Sheet : 13/16

4

3

2

1

64

F

F

E

E

D

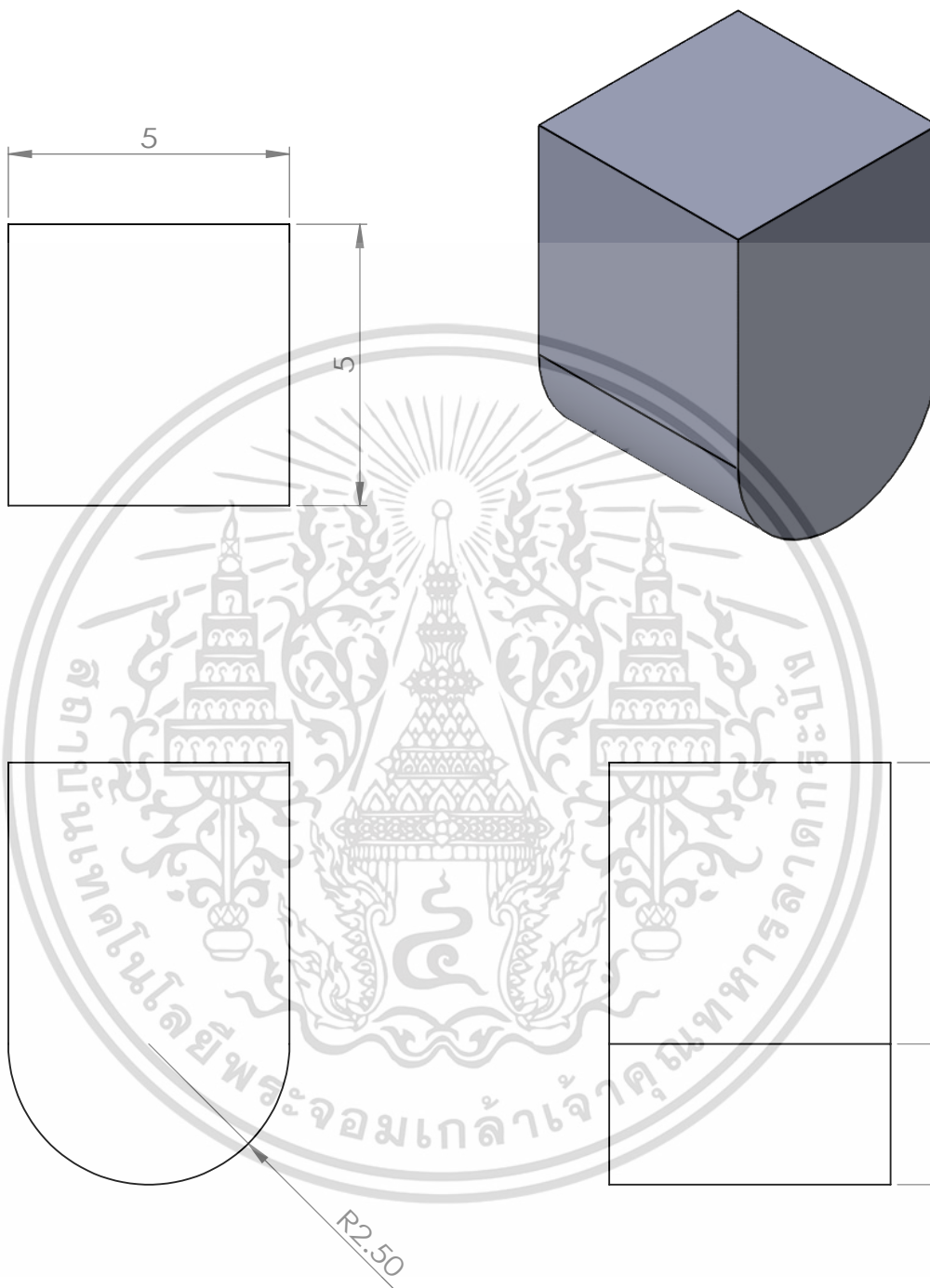
D

C

C

B

B



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Rail Transportation Engineering

Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

Title : Point Machine Design

No. : 13

Name : Wedge 1

Quantity : 4 pieces

Scale : 8:1

Unit : mm.

Sheet : 14/16

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

65

F

F

E

E

D

D

C

C

B

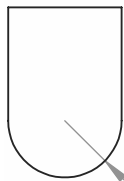
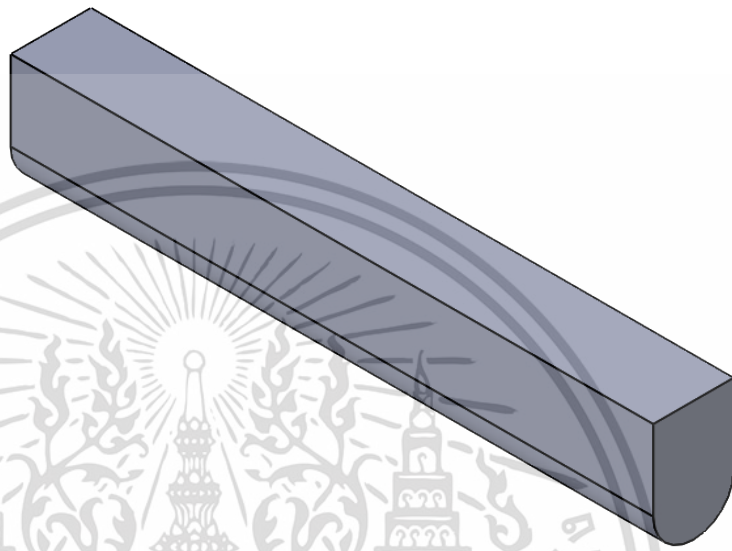
B

A

A

5

40



R2.50



5

7.50



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Rail Transportation Engineering  
 Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

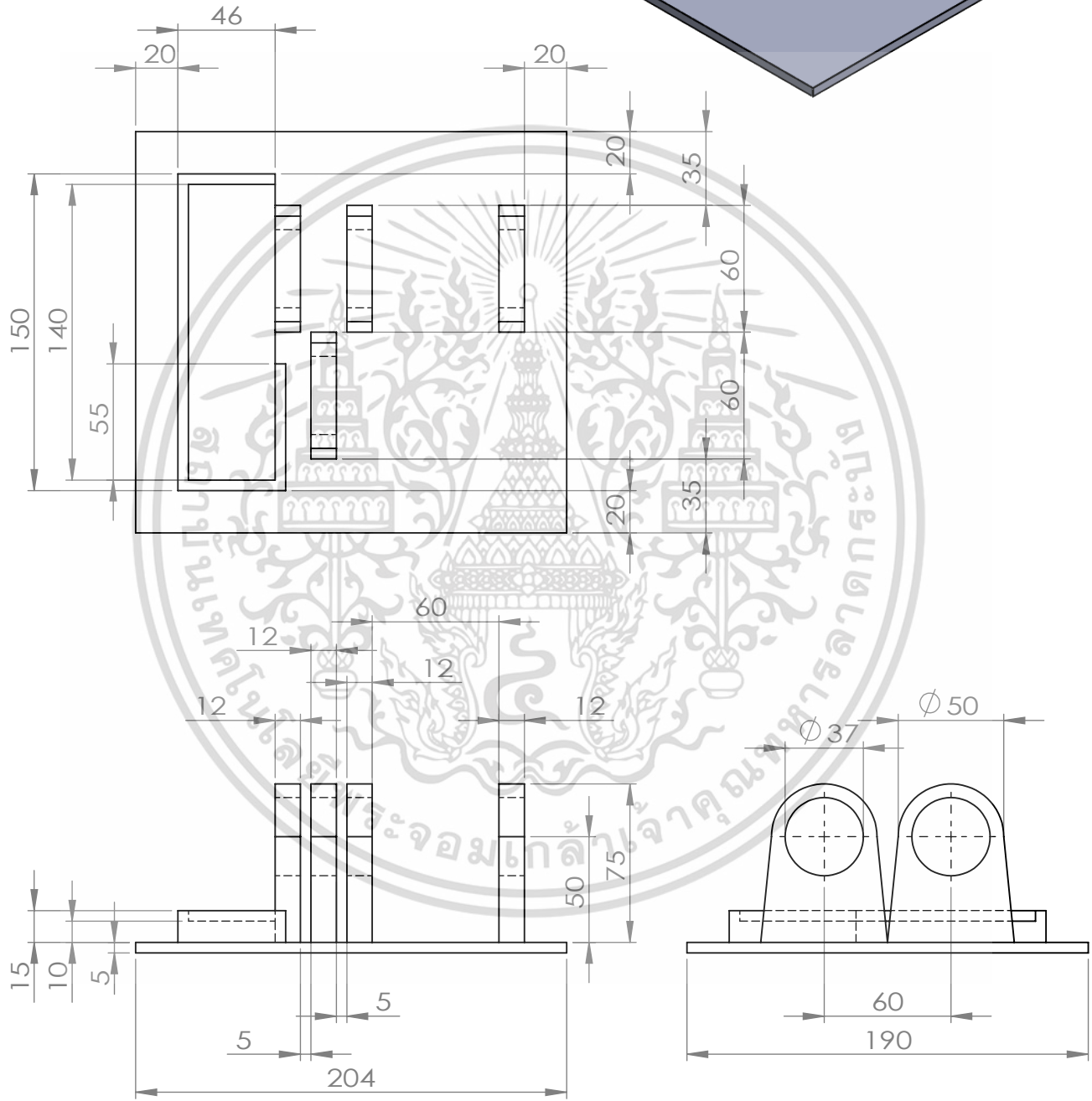
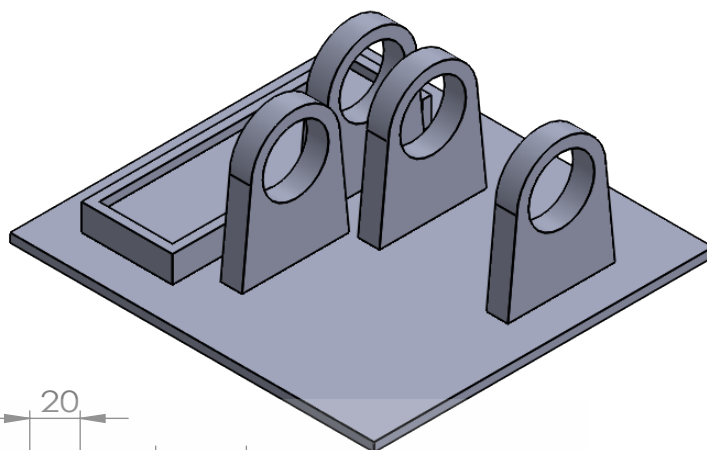
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Title : Point Machine Design			
No. : 14		Name : Wedge 2	
Quantity : 4 pieces	Scale : 3:1	Unit : mm.	Sheet : 15/16

4

3

2

1



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Rail Transportation Engineering  
 Development of Railway Point Machine and Turnout for 10.25 inch Railway Gauge

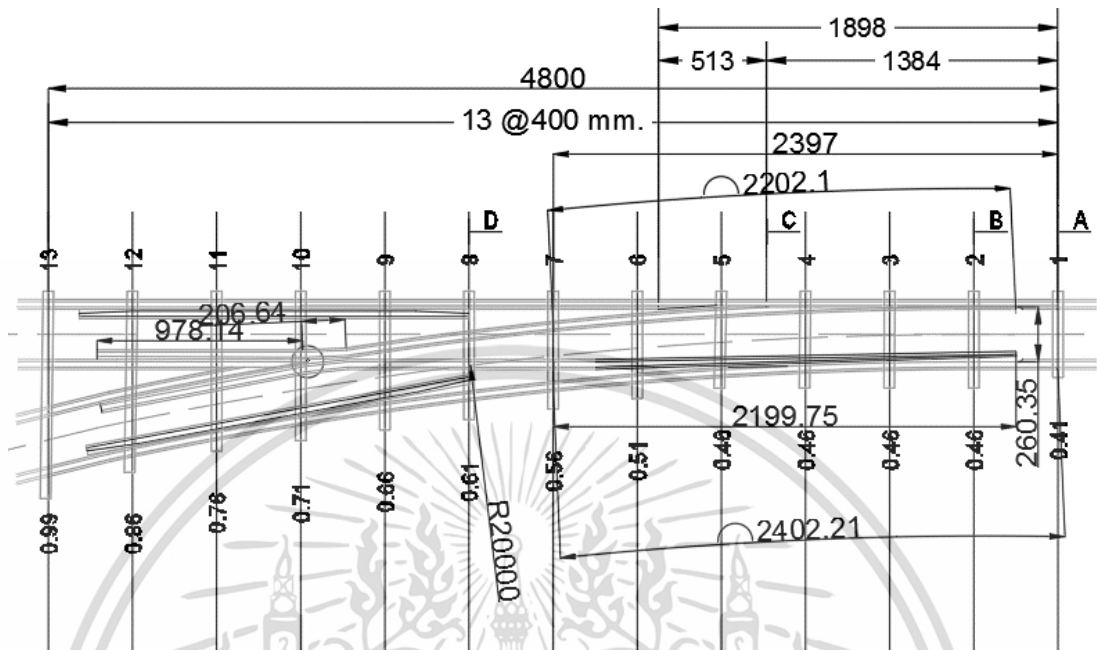
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า			
Title : Point Machine Design	No. : 15	Name : Fix	
Quantity : 1 pieces	Scale : 1:3	Unit : mm.	Sheet : 16/16

ภาคผนวก ข.  
การออกแบบชุดประแจสี่โบราณ สำหรับรางขนาด 10.25 นิ้ว  
จากโปรแกรม AutoCAD

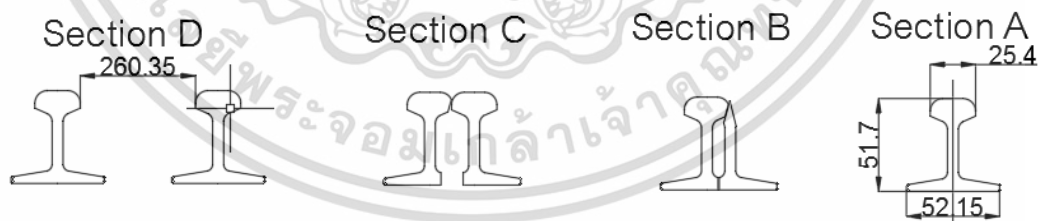


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบเต็มของชุดประแจ

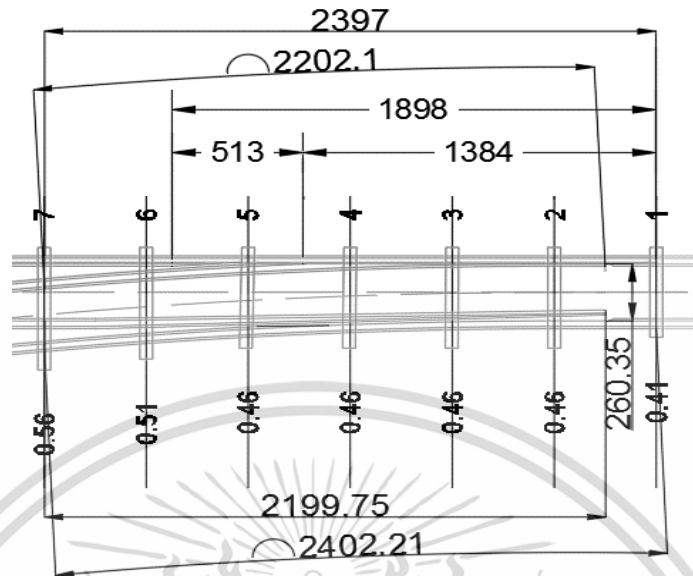


## แบบหน้าตัดรางของชุดประแจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

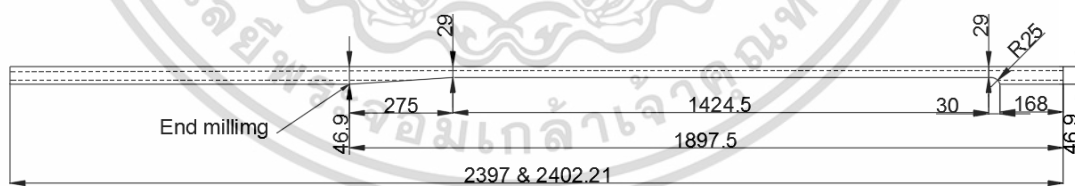
แบบ Switching Part



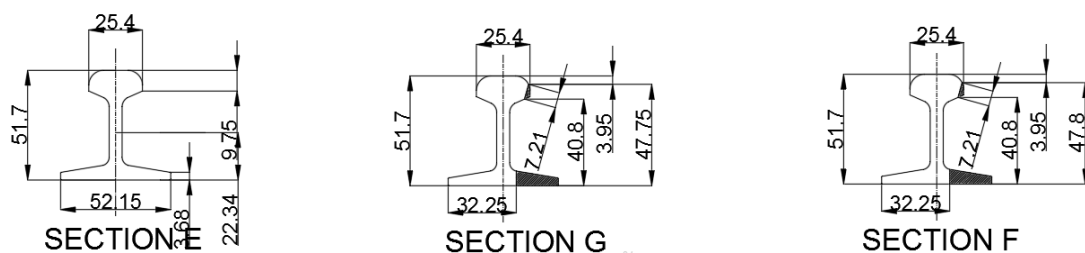
การไสหัวรางของ Stock Rail



การไสเท้ารางของ Stock Rail

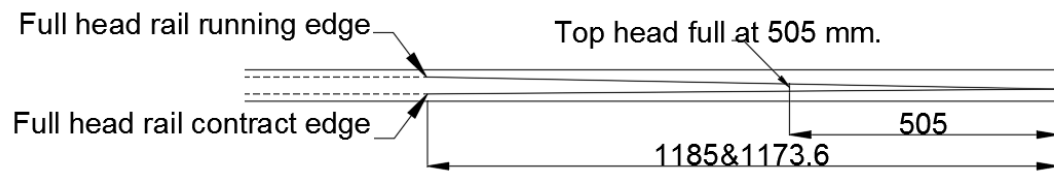


แบบหน้าตัดของการไสหัวและเท้าของ Stock Rail

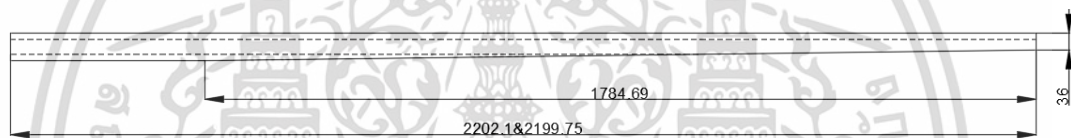


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

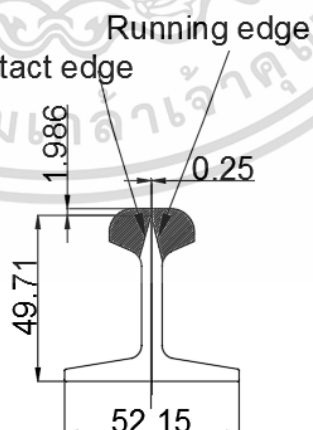
## การใส่หัวรางของ Tongue Rail



## การใส่เท้ารางของ Tongue Rail

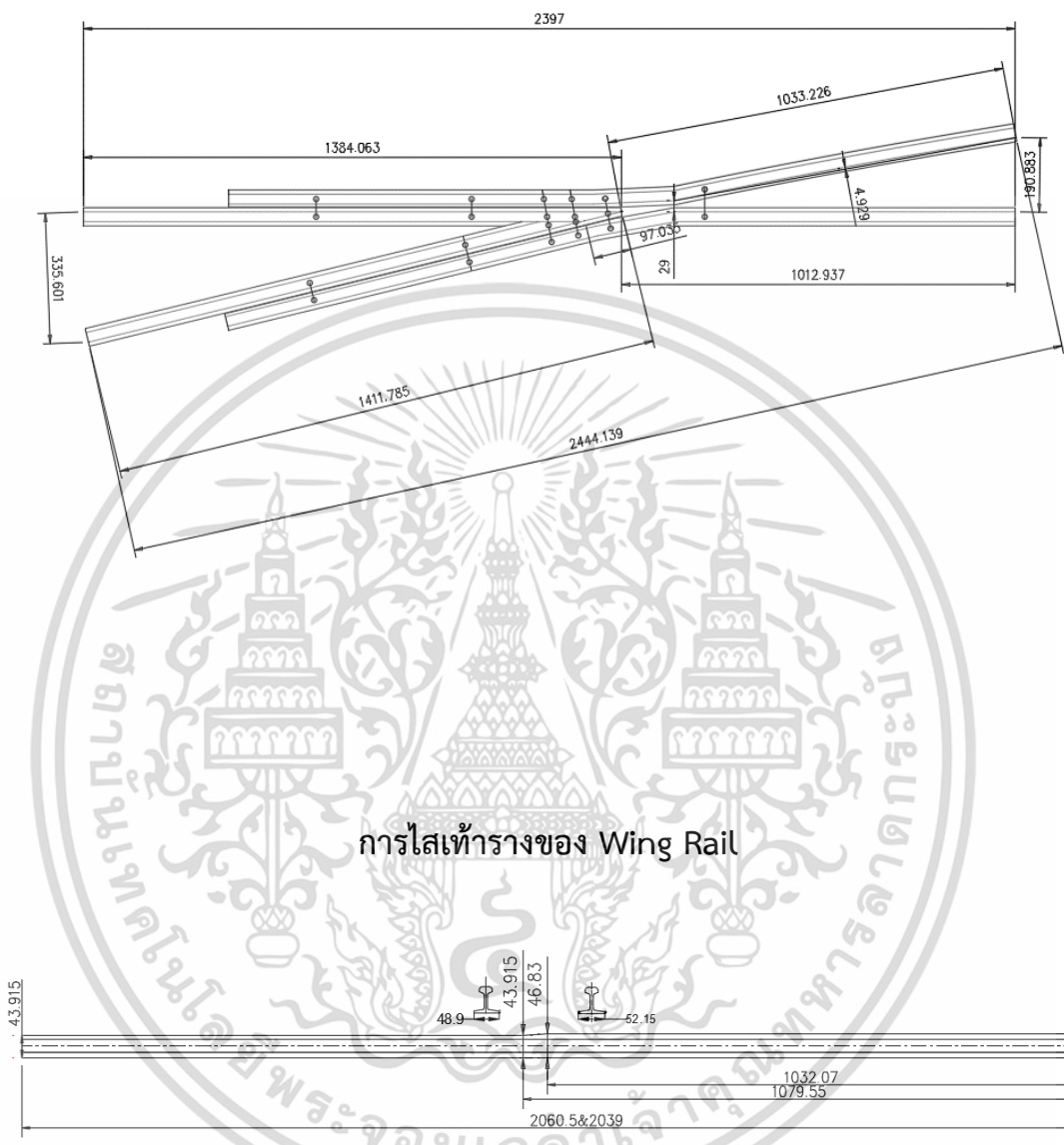


## แบบหน้าตัดการใส่หัวรางของ Tongue Rail



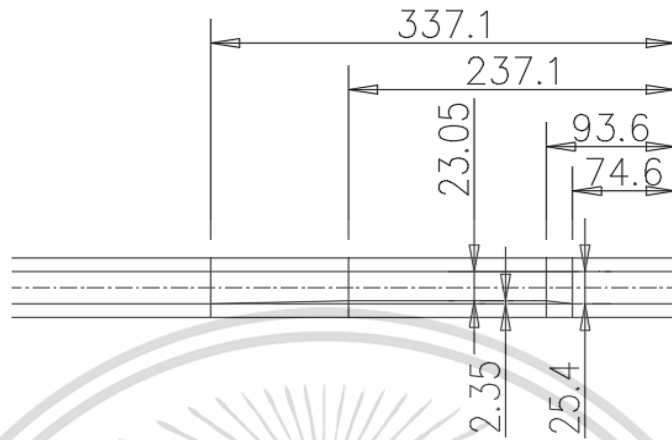
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แบบ Crossing Part

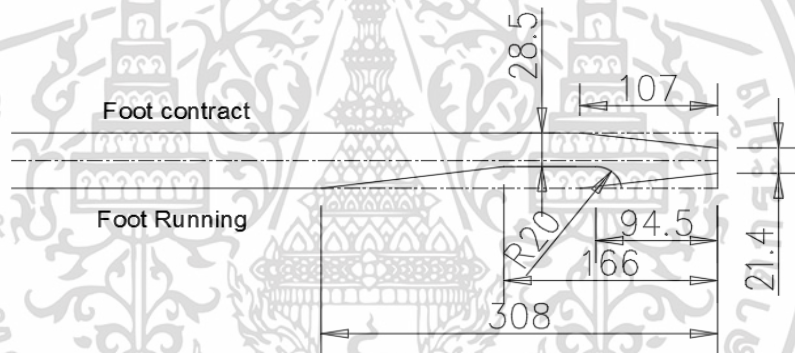


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

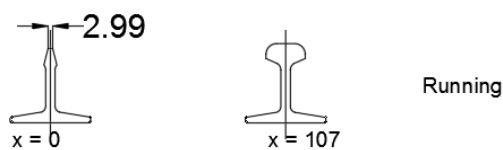
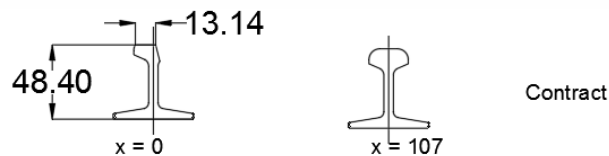
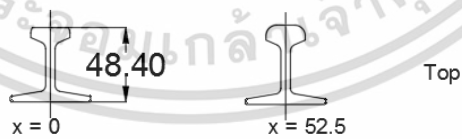
การใส่หัวรางของ Point Rail



การใส่เท้ารางของ Point Rail

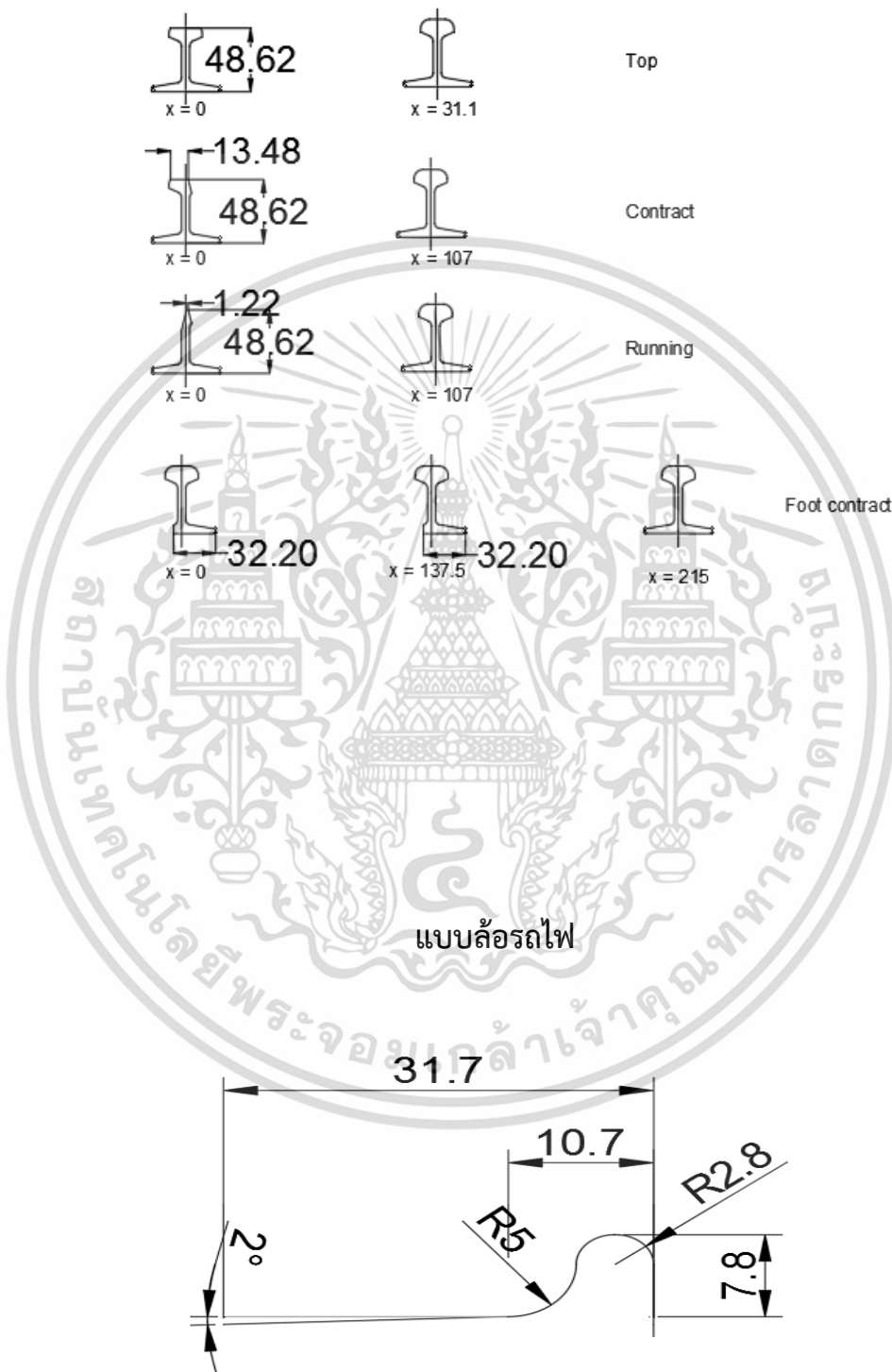


บบหน้าตัดการใส่หัวรางและเท้ารางของ Point Rail



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบหน้าตัดการใส่หัวรางและเท้ารางของ Splice Rail


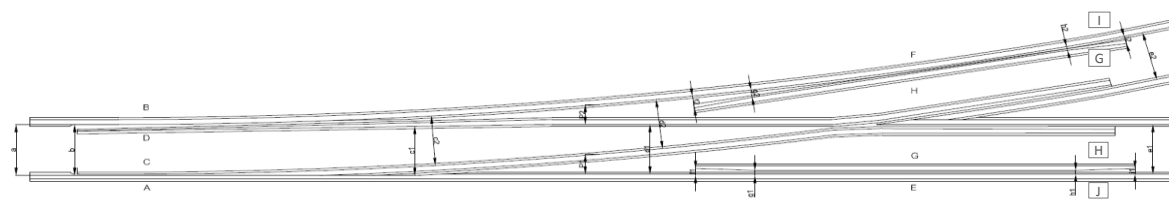


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.  
ใบรายการตรวจสอบ ชุดประแจสับรางสำหรับทางรถไฟ  
ขนาด 10.25 in



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<b>INSPECTION SHEET FOR TURNOUT 1:4 R20</b>	DATE : FOLIO 1/1 Created by :	Page 1 of 1								
											
Turnout No.	Deviation	Tg	Profil	Drawing No.	Marking	Assembly type	Order ref.				
	LH RH	1/4	6 KG.			Complete Partial					
<b>Track gauge ± 2mm</b>						rep./mark	<b>rail length ± 3mm</b>				
N°Bearer	Main line			Diverging line			theor.	real			
	cote	Theor.	Real	cote	Theor.		Real				
1	a	260						A	2397		
1-2	b	260						B	2402		
6	c1	260		c2	260			C	2202		
8	d1	260		d2	260			D	2200		
13	e1	260		e2	260			E	2400		
								F	2400		
								G	1850		
							H	1850			
<b>Gap between stopper and switch rail &lt; 2 mm.</b>											
Left haft sw.				Right half sw.				<b>Flangeway on the heel of the switch : ± 2mm</b>			
Nb	Gap			Nb	Gap			Main line	real value	Diverging line	real value
1				1							
2				2							
3				3				p1	104.5	p2	108
4				4							
<b>Opening of switch on the 1st drive axis</b>				<b>Flangeway clearance at the end of swith machining</b>							
Theorique / theoretical : 25.7 ± 2				Theor. 10mm mini		Réal / Real					
Left		Right		Main line							
				Diverging line							
<b>Observations:</b>				<b>inspection</b>				<b>Client inspection</b>			
				Name :				Name :			
				Date :				Date :			
				Visa :				Visa :			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้