สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การจำลองขนาดของรางและโบกี้รถไฟเพื่อหาความเร็วสูงสุด

FINDING MAXIMUM VELOCITY OF TRAIN'S MODEL

กิตจา เพ็งส้ม
จตุพร วารินทราศักดิ์
สุวลี พาณิชยารมณ์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 39652
วัน, เดือน, ปี 19 มิ.ย. 2544
b.....
i.....

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FINDING MAXIMUM VELOCITY OF TRAIN'S MODEL

KITJA PHENGSOM

JATUPORN VARINTARASAK

SUWALEE PHANITCHAYAROM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปัญหาพิเศษ** | การจำลองขนาดรางและโบกี้รถไฟเพื่อหาความเร็วสูงสุด<br>FINDING MAXIMUM VELOCITY OF TRAIN'S MODEL |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายกิตจา เพ็งส้ม 40051002<br>นางสาวจตุพร วารินทราศักดิ์ 40051006<br>นางสาวสุวลี พาณิชยารมณ์ 40051055 |
| **ภาควิชา** | คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| **สาขาวิชา** | คณิตศาสตร์ประยุกต์ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทร สุชาติเวชภูมิ<br>อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวช |

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2543

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล | |
| กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษฎา ไตรสุรัตน์ | |
| กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทร สุชาติเวชภูมิ | |
| กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวช | |

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์)
หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปัญหาพิเศษ** | การจำลองขนาดรางและโบกี้รถไฟเพื่อหาความเร็วสูงสุด |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายกิตจา เพ็งส้ม 40051002 |
| | นางสาวจตุพร วารินทราศักดิ์ 40051006 |
| | นางสาวสุวลี พาณิชยารมณ์ 40051055 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต |
| **ภาควิชา** | คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| **สาขาวิชา** | คณิตศาสตร์ประยุกต์ |
| **ปีการศึกษา** | 2543 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทร สุชาติเวชภูมิ |
| | อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวช |

## บทคัดย่อ


ภายใต้ยุคแห่งการแข่งขันงานบริการ คอมพิวเตอร์ได้มีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในการช่วยจัดการ เก็บข้อมูลข่าวสาร รวมไปถึงในเรื่องของการให้บริการที่ฉับไว นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์ยังได้มีส่วนช่วยในเรื่องของ การออกแบบวิเคราะห์ข้อมูล และการนำเสนอความรู้ต่างๆ เพื่อให้ชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำได้ตระหนักว่า รถไฟเป็นยานพาหนะที่เหมาะสมสำหรับประชาชนทุกระดับ เพราะว่ารถไฟมีราคาที่ประหยัดเมื่อเปรียบเทียบกับการขนส่งชนิดอื่นๆ รวมไปถึงสามารถกำหนดระยะเวลาในการเดินทางได้ค่อนข้างแน่นอน แต่ว่ารถไฟมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเร็ว ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความลาดชันของทาง รัศมีความโค้งของทาง ขนาดความกว้างของราง น้ำหนักบรรทุก รวมไปถึงความเร็วสูงสุดของหัวรถจักรแต่ละชนิด ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้รวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วสูงสุดของขบวนรถจากเงื่อนไขต่างๆ และคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกจากความเร็วที่กำหนดได้

ในส่วนของการเผยแพร่โครงร่างปัญหาพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำได้จัดทำในรูปแบบ ฐานข้อมูล สำหรับผู้ที่สนใจ และต้องการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับ หัวรถจักร ขบวนรถ รวมไปถึงรางรถไฟ เพื่อนำไปประยุกต์ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Special Project Title | Finding Maximum Velocity of Train's Model |
| Students | Mr.Kitja Phengsom 40051002 |
| | Miss.Jatuporn Varintarasak 40051006 |
| | Miss.Suwalee Phanitchayarom 40051055 |
| Degree | Bachelor's Degree of Science |
| Department | Mathematics and Computer Sciences |
| Programme | Applied Mathematics |
| Academic Year | 2000 |
| Special Project Advisor | Assistant Professor Sunthorn Suchatvejapoom |
| | Lecturer Pornchai Janejirapongvej |


## ABSTRACT

In the service competition era, computers are extremely essential in information analysis design and presentation for easier and clearer comprehension.

As a result of our group realized that trains are suitable vehicles for all class of people because it is economical compared to other types of transportation. In addition, trains have fixed time of departure and arrival but trains have restriction about speed which have many clauses Ex. Slope of Route, Radius of Route, Width of Railway, Weight of Carriage and Maximum Speed of each other Locomotives. Thus, our group gathered the data in order to calculate speed of train from many conditions and weight of carriage from velocity determination.

A part of presentation this project, our group have organized database for person who want to research data about locomotives, bogies and railway in order to apply in the future.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการทดลองขนาดของรางรถไฟและโบกี้รถไฟเพื่อหาความเร็วสูงสุดสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภัคคินี ซิตสกุล ที่ทำให้คณะผู้จัดทำเกิดแนวคิดในการจัดทำปัญหาพิเศษเรื่องนี้ขึ้นมา รวมไปถึงคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดการทำปัญหาพิเศษชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวศ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ เกี่ยวกับทางรถไฟ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุนทร สุชาติเวชภูมิ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการการสอบทุกท่าน ที่ทำให้การสอบปัญหาพิเศษครั้งนี้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศรันย์ อินทโกสุม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับภาษาทางคอมพิวเตอร์และให้ความเอื้อเฟื้อตำราต่าง ๆ เพื่อประกอบการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขอขอบพระคุณ นายช่างสมยศ สงวนสิงห์ วิศวกรกำกับกองการทางถาวร การรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ให้ความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับทางรถไฟ รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ นายช่างวิเชียร เลาหศักดิ์ถาวร วิศวกรกำกับการกองแผนงานบำรุงทางการรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับขอบเขตของปัญหาพิเศษชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ นายช่างเทียนชัย ศาลิโกเศศ ศูนย์วิศวกรรมเครื่องกล ฝ่ายการช่างกลที่ให้ความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับหัวรถจักร โบกี้รถไฟ รวมไปถึงความสัมพันธ์ของแรงต่าง ๆ ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการคำนวณของปัญหาพิเศษชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ การรถไฟแห่งประเทศไทย และพี่ๆวิศวกรฝ่ายช่างกล และฝ่ายโยธาทุกท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเอกสาร ข้อมูล และความสะดวกต่าง ๆ ตลอดการทำปัญหาพิเศษนี้

ท้ายที่สุดคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านกำลังใจและทุนทรัพย์ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำปัญหาพิเศษไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ.....1

1.3 ขอบเขตของปัญหา.....1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....2

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ทำปัญหาพิเศษ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 หลักเกณฑ์การพิจารณากำหนดหน่วยลากจูง.....3

2.2 ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย.....11

2.3 ราง.....12

2.4 ขนาดของราง.....24

2.5 ทางโค้ง.....25

2.6 ค่ายกโค้ง (cant).....27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....29

3.1 คำนวณหาจำนวนโบกี้ของ รถโดยสาร,รถเสบียง ในกรณีที่ขบวนรถแล่น ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง.....29

3.2 คำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถไฟสามารถแล่นได้ เมื่อกำหนดจำนวนโบกี้.....35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การพัฒนาโปรแกรม.....39
4.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม.....40
4.2 ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของขบวนรถที่ได้จากโปรแกรม.....47

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....48

ภาคผนวก.....50
บรรณานุกรม.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


**ตารางที่** **หน้า**

2.1 Values of starting resistance at speed 0 km/hr .....6

2.2 ตารางเปรียบเทียบ $R_g$ กับ gradient .....9

2.3 ตารางรัศมีความโค้งกับค่าขยายขนาดทาง.....24

2.4 ตารางแสดงอัตราส่วนของรางสั้นสำหรับรางในของโค้ง.....26

2.5 เวอร์ไซน์.....26

3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Track in Effort ($T_E$) กับ Speed (V).....34

3.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Trailing Load ($T_L$) กับ Track in Effort ($T_E$).....38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ขบวนรถขณะขึ้นทางลาดชัน | 9 |
| 2.2 | ลักษณะของสามเหลี่ยมคล้าย | 11 |
| 3.1 | ไดอะแกรมแสดงการคำนวณหาจำนวนโบกี้ | 29 |
| 3.2 | ผังงานสำหรับการคำนวณหาจำนวนโบกี้เมื่อรู้ความเร็ว | 33 |
| 3.3 | ไดอะแกรมแสดงการคำนวณหาความเร็ว | 35 |
| 3.4 | ผังงานสำหรับการคำนวณหาความเร็วเมื่อทราบจำนวนโบกี้ | 37 |
| 4.1 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับเส้นทาง | 40 |
| 4.2 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับราง | 41 |
| 4.3 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับหัวรถจักร | 42 |
| 4.4 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับรถโดยสาร (Passenger Train) | 43 |
| 4.5 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับรถเสบียง (Freight Train) | 44 |
| 4.6 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับการคำนวณหาจำนวนโบกี้ | 45 |
| 4.7 | แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับการคำนวณหาความเร็ว | 46 |
| 4.8 | แสดงภาพเคลื่อนไหวของขบวนรถ | 47 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มความเร็วของรถไฟนี้ เนื่องมาจากการเดินทางโดยพาหนะอื่นจะประสบกับปัญหาในการเดินทาง เช่น การโดยสารทางเรือ ซึ่งสามารถเดินทางได้เฉพาะบริเวณที่มีแม่น้ำหรือคลองเชื่อมต่อกันเท่านั้นและยังมีความเสี่ยงในการเดินทางสูงเนื่องจากมาตรการรักษาความปลอดภัยยังไม่เพียงพอ เมื่อพบกับข้อจำกัดเหล่านี้การเดินทางทางบกจึงสะดวกกว่า ซึ่งการเดินทางทางบกนั้นสามารถเดินทางได้หลายวิธี ดังนี้ การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัวประสบกับปัญหาการขึ้นราคาของน้ำมันที่ค่อนข้างสูง และค่าทางด่วนเนื่องจากการจราจรติดขัด ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ส่วนในการเดินทางโดยรถประจำทางเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ก็จะประสบกับปัญหาการจราจรติดขัด ความไม่แน่นอนของระยะเวลาที่ต้องใช้ในการรอรถ และการจอดรับผู้โดยสารในช่วงระยะทางสั้น ๆ ตลอดความยาวของถนน ทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินทางมาก และในการเดินทางโดยรถไฟฟ้าเป็นวิธีการเดินทางที่รวดเร็ว และสะดวก แต่ข้อจำกัดของรถไฟฟ้าก็คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่ค่อนข้างสูง ไม่เหมาะกับผู้ที่มีรายได้น้อย และพื้นที่การเดินรถของรถไฟฟ้ายังเป็นไปในวงแคบ โดยเดินรถในบางเขตของกรุงเทพมหานครเท่านั้น ด้วยข้อจำกัดจากพาหนะอื่น ๆ จะเห็นได้ว่ารถไฟเป็นวิธีการเดินทางที่ลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะรถไฟสามารถแล่นได้ทั่วประเทศ มีความปลอดภัยสูง ค่าโดยสารแยกหลายระดับตามความต้องการและอำนาจซื้อของผู้โดยสาร ใช้เวลาในการเดินทางค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของเวลาในการเข้า-ออกสถานีก็จะน้อยตามไปด้วย และไม่ต้องกังวลกับปัญหาการจราจร แต่รถไฟมีขอบเขตจำกัดในด้านความเร็วที่ไม่สูงนัก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของหัวข้อปัญหาพิเศษนี้ ทั้งนี้เพื่อให้การโดยสารรถไฟนั้นมีความสะดวก และรวดเร็ว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ

เพื่อศึกษาและจำลองขนาดของรางรถไฟและโบกี้รถไฟที่ให้ความเร็วสูงสุด

## 1.3 ขอบเขตของปัญหา

1. สามารถหาความเร็วสูงสุดของขบวนรถ เมื่อกำหนดชนิดของหัวรถจักร ขนาดความกว้างของราง ข้อจำกัดของเส้นทาง และจำนวนโบกี้รถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถหาจำนวนโบกี้รถไฟที่มากที่สุดที่รถไฟสามารถแล่นได้โดยปลอดภัย เมื่อกำหนดความเร็ว ของรถไฟ ชนิดของหัวรถจักร ข้อจำกัดของเส้นทาง และขนาดความกว้างของรางรถไฟ
3. การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟที่ศึกษาจะไม่ขึ้นกับสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ เป็นต้น
4. การกำหนดความกว้างของรางจะอยู่ในช่วง 0.5 – 2 เมตร
5. การศึกษาการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ จะต้องระบุประเภทของโบกี้รถไฟ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการสร้างรางรถไฟและโบกี้
2. เพื่อเป็นแบบจำลองในการคำนวณความเร็วของรถไฟ
3. เพื่อเป็นแบบจำลองในการเดินรถให้ปลอดภัย

## 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. หาหัวข้อปัญหาพิเศษ
2. ค้นคว้าข้อมูล
3. เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ
4. ทดสอบรูปแบบโปรแกรม
5. ตั้งขอบข่ายการควบคุมผลลัพธ์
6. การนำผลลัพธ์ไปใช้งาน
7. จัดทำเอกสารประกอบการใช้งาน

## 1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ทำปัญหาพิเศษ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 133 MHz
2. หน่วยความจำ 64 MB
3. ฮาร์ดดิสก์ ความจุอย่างน้อย 8.4 GB
4. Drive CD-ROM 50X
5. Printer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 หลักเกณฑ์การพิจารณากำหนดหน่วยลากจูง

**สมรรถนะในการลากจูง**

สมรรถนะในการลากจูง หมายถึง คุณลักษณะและความสามารถของรถต้นกำลัง (motive power) ที่จะออกแรงฉุดลากภาระที่ความเร็วต่างๆบนรางที่กำหนดโดยปกติขบวนรถจะสามารถวิ่งไปได้บนรางก็ด้วยแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นที่ล้อกำลังที่เรียกว่า " tractive force on the perimeter of driving force" แต่หากเมื่อใดแรงฉุดที่พยายามจะหมุนล้อกำลังนี้สูงเกินกว่าแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesive tractive force) แล้ว ล้อกำลังก็จะเริ่มดิ้นไปบนรางโดยที่ขบวนรถจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า แรงฉุดลากที่ล้อกำลังจะถูกจำกัดไว้ที่แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางซึ่งหากไม่ต้องการให้ปรากฏล้อดิ้นดังกล่าวแล้ว แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางจะต้องสูงกว่าแรงฉุดลากเสมอ นอกจากนั้นปรากฏการณ์อีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นกับขบวนรถเมื่อเคลื่อนที่ไปแล้วคือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถ (Train resistance) ซึ่งแรงฉุดลากจะต้องเอาชนะแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถนี้ จึงจะสามารถทำอัตราเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วขบวนรถขึ้นไปได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถที่จะสรุปความสัมพันธ์ของแรงต่างๆ ได้ดังนี้

$$T_A > T_D > R_T \qquad (2.1)$$

เมื่อ $T_A$ = Adhesive tractive force

$T_D$ = Tractive force on the perimeter of driving wheels

$R_T$ = Train resistance

### 2.1.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง (Adhesive tractive force)

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับรางสามารถที่กำหนดเป็นสูตรได้ว่า

$$T_A = 1000 \mu w_d \qquad (kg) \qquad (2.2)$$

โดย $w_d$ = น้ำหนักกดเพลาของล้อกำลังทุกล้อ (ตัน)

$\mu$ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติจะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับรางแปรผันไปได้มากพอสมควร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ สภาพของทาง, ความเร็วของขบวนรถ, น้ำหนักกดเพลา,สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น การรถไฟของแต่ละประเทศได้พยายามทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เหมาะสมกับประเทศนั้นๆออกมา ยกตัวอย่างเช่น

JNR กำหนดว่า หากเป็นรถจักรดีเซลไฟฟ้าแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางจะเขียนเป็นสมการได้คือ

$$f(v) = 0.285\frac{1+0.114v}{1+0.150v} \qquad (2.3)$$

DB กำหนดว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางของรถจักรดีเซลไฟฟ้าซึ่งแต่ละเพลามีการขับเคลื่อนอิสระแล้ว จะมีค่า อยู่ระหว่าง $\frac{1}{4} - \frac{1}{3.6}$ หรือ $0.25 - 0.277$

สำหรับ ร.ฟ.ท. ฝ่ายการช่างกลได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางของรถจักรดีเซลไฟฟ้า = 0.25 ดีเซลไฮโดรลิก = 0.285

### 2.1.2 แรงฉุดลากที่เกิดขึ้นที่ล้อกำลัง (Tractive force on the driving force)

ในการคิดคำนวณแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นกับล้อกำลัง ผู้สร้างจะต้องคำนึงกำลังของเครื่องยนต์และเครื่องถ่ายทอดกำลัง,ประสิทธิภาพของเครื่องถ่ายทอดกำลัง,อัตราส่วนเฟืองทด,ขนาดของล้อกำลัง,ความเร็วของรถจักรในขณะใดขณะหนึ่ง แล้วนิยมเขียนในรูปของความสัมพันธ์ของแรงฉุดลากกับความเร็วที่เรียกว่า Tractive effort-speed diagram สำหรับคุณลักษณะของรถจักรชนิดนั้นๆ

### 2.1.3 แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถ

แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถเกิดขึ้นจากแรงต้านทานหลายๆแรงมารวมกันอย่างสลับซับซ้อน และค่าของแรงต้านทานการเคลื่อนที่นี้แปรผันไปได้มากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างของตัวรถ,สภาพภูมิอากาศ, ความเร็วของขบวนรถ, สภาพราง เป็นต้น ดังนั้น ในขณะที่ขบวนรถเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง แรงฉุดลากจะต้องมีค่ามากพอจะเอาชนะแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถไปได้ แต่สำหรับในกรณีที่ขบวนรถขึ้นทางลาดชัน ในบางโอกาสจะพบว่าความเร็วของขบวนรถหยุดนิ่งอยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่งโดยไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งเป็นช่วงจังหวะที่แรงฉุดลากมีค่าสมดุลย์กับแรงความต้านทานการเคลื่อนที่ของขบวนรถพอดีที่เรียกว่า Balance speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่รวมกันขึ้นเป็นความต้านทานรวม ($R_T$) ของขบวนรถพออนุมานได้ว่าประกอบด้วย

- ความต้านทานในการเคลื่อนที่จากสภาพหยุดนิ่งของขบวนรถ Starting resistance ($R_S$)
- ความเสียดทานระหว่างเพลาล้อกับ bearing
- ความเสียดทานระหว่างล้อกับราง
- ความเสียดทานระหว่างล้อกับแท่งห้ามล้อ
- ความต้านทานของอากาศ
- ความต้านทานอันเนื่องจากการส่ายตัวของขบวนรถ
- ความต้านทานอันเนื่องจากอุปกรณ์กลไกต่างๆ

} Running resistance ($R_R$) บนทางราบตรงที่ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง

- ความต้านทานในการขึ้นทางลาดชัน Grade resistance ($R_G$)
- ความต้านทานของโค้ง (ความเสียดทานระหว่างบังใบล้อกับราง เมื่อขบวนรถเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่) Curve resistance ($R_C$)

ความต้านทานทั้งหมดนี้สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$R_T = \left\{ \begin{matrix} R_S \\ R_R \end{matrix} \right\} + R_G + R_C \qquad (2.4)$$

2.1.3.1 Starting resistance

ความต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะขบวนรถเคลื่อนตัวจากสภาพที่หยุดนิ่งบนทางราบนี้เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่างๆอันได้แก่ โครงสร้างของ axle bearing ลักษณะผิวสัมผัสของ bearing , น้ำหนักกดเพลา,ลักษณะการหล่อลื่น,อุณหภูมิ,เวลาที่นับจากขบวนรถหยุดจนถึงเวลาที่ขบวนรถจะเริ่มเคลื่อนที่อีกครั้ง และสภาพของขอพ่วง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ตัวเลขค่าที่สำคัญที่ส่งผลกับ Starting resistance คือ ตัวเลขความต้านทานที่ได้จากลักษณะการหล่อลื่นระหว่างเพลาล้อกับ bearing ค่านี้จะสูงในขณะเริ่มเคลื่อนตัว และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อขบวนรถเคลื่อนตัวด้วยความเร็วถึง 2-3 กม/ชม. จากนั้นค่า Starting resistance จะเปลี่ยนไปเป็นค่า Running resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองหาค่า Starting resistance ของ JNR ได้ผลดังนี้

**ตารางที่** 2.1 Values of starting resistance at speed 0 Km/hr

| Kind of train | Starting resistance on flat straight section(Kg/t) | Starting resistance from temporary stop on upward Gradient section(Kg/t) |
|---|---|---|
| Passenger | | |
| Coach Plane bearing | 8 | 6 |
| (P.C) Roller bearing | 3 | 3 |
| Freight car | 10 (7 for trains drawn by SL and Hydraulic type DL) | 8 (5 for trains drawn by SL and hydraulic type DL on gradient 15 % or below,10 for trains of special consist using tight lock or similar coupler) |
| D.C | 3 | 3 |
| Plane bearing | 8 | 8 |
| D.C | | |
| Roller bearing | 3 | 3 |
| Light Plane bearing | 8 | 8 |
| Engine Roller bearing | 5 | 5 |

2.1.3.2 Running resistance

ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ขบวนรถเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่างๆที่เรียกว่า Running resistance นี้มีสาเหตุมาจาก

1) ความเสียดทานระหว่างเพลาล้อกับ bearing
2) ความเสียดทานระหว่างล้อกับราง
3) ความเสียดทานระหว่างล้อกับแท่งห้ามล้อ
4) ความต้านทานของอากาศ
5) ความต้านทานอันเนื่องจากการส่ายตัวของขบวนรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ความต้านทานอันเนื่องจากอุปกรณ์กลไกต่างๆ

ดังนั้นลักษณะของล้อเลื่อน,ทาง,น้ำหนักกดเพลา,ความเร็วขบวนรถ,พื้นที่หน้าตัดของล้อเลื่อน,จำนวนรถที่พ่วง,อุณหภูมิ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะทำให้เกิดค่า Running resistance ที่ยุ่งยากสลับซับซ้อนในการคิดคำนวณขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองปฏิบัติ JNR พบว่า ค่า Running resistance มีรูปแบบของสมการทั่วๆไป ดังนี้

$$R_R = A + Bv + Cv^2 \qquad (2.5)$$

เมื่อ

$R_R$ = Running resistance (Kg/t)

v = Train speed (Km/hr)

A = Resistance not related to train speed (e.g. resistance between wheel axle and bearing, etc.)

B = Resistance proportional to train speed (e.g. resistance accompanying revolution of wheels , etc.)

C = Resistance proportional to the square of train speed (e.g. air resistance ,oscillation of rolling stock, etc.)

ซึ่งเมื่อทดลองหาค่าเป็นตัวเลขของสมการแล้ว JNR สรุปได้ว่า

สำหรับรถโดยสาร $R_{PC} = 1.74 + 0.0069v + 0.000313v^2$ (2.6)

สำหรับรถสินค้า $R_{FC} = 0.93 + 0.0120v + 0.000413v^2$ (2.7)

(ความเร็วไม่เกิน 85 กม/ชม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรถจักรดีเซล (powering)

$$R_L = 1.72 + 0.0084v + \frac{0.0369v^2}{w} \quad (2.8)$$

สำหรับรถจักรดีเซล (coasting)

$$R_L = 2.45 + 0.0500v + \frac{0.0481v^2}{w} \quad (2.9)$$

เมื่อ w = Weight of rolling stock (ton)

ในส่วนของ การรถไฟแห่งประเทศไทย ได้อาศัยสูตรในการคิด Running resistance ดังนี้

สำหรับรถโดยสาร $R_{PC} = 1.56 + 0.0075v + 0.0003v^2$ (2.10)

สำหรับรถสินค้า $R_{FC} = 2.6 + 0.0003v^2$ (2.11)

สำหรับรถจักร $R_L = 2.5 + 0.0004v^2 + \underbrace{0.003v^2 \frac{A_F}{W_L}}_{*}$ (2.12)

เมื่อกำหนดค่า $A_F$ = Air frontal area

$*$ = Air frontal resistance

2.1.3.3 Grade resistance

ในเส้นทางที่ขบวนรถวิ่งผ่านไปนั้น นอกเหนือจากทางที่ราบแล้ว ในบางครั้งจำเป็นที่จะผ่านเข้าไปในทางลาดชันที่ขึ้นบ้างลงบ้าง ในช่วงทางขึ้นแรงโน้มถ่วงของโลกจะพยายามเหนี่ยวรั้งให้ขบวนรถถอยลงมาในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของขบวนรถ แรงเหนี่ยวรั้งหรือต้านทานนี้เรียกว่า "Grade resistance"

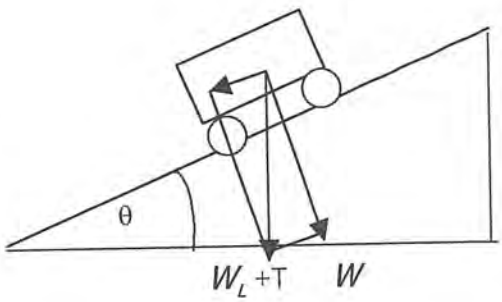
เมื่อ $W_L + T$ = น้ำหนักรวมของรถจักรและรถพ่วง

$W$ = น้ำหนักของขบวนรถในแนวตั้งฉากกับแนวทาง

$Q$ = น้ำหนักของขบวนรถในแนวทาง

$\theta$ = มุมของความลาดชันของทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 2.1 แสดงขบวนรถขณะขึ้นทางลาดชัน

Grade resistance ซึ่งเป็นแรงต้านทานอันเนื่องจากความลาดชัน ต่อน้ำหนักขบวนรถนี้ กำหนดเป็นหน่วย Kg/ton ได้โดย

$$R_G = \frac{Q}{W_L + T} = \sin\theta \cong \tan\theta$$ เมื่อ $\theta$ เป็นมุมเล็กมาก

นั่นคือ $R_G$ ในหน่วย Kg/ton จะเท่ากับ gradient ในหน่วย % ดังตารางที่ 2.2

$$R_G = i \quad \text{Kg/ton} \qquad (2.13)$$

**ตารางที่** 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gradient กับ ค่า $R_G$

| Gradient | $R_G$ in Kg/ton | Gradient | $R_G$ in Kg/ton |
|---|---|---|---|
| 1: ∝ resp. 0% | 0 | 1:100 resp. 10% | 10 |
| 1:1000 resp. 1% | 1 | 1:80 resp. 12.5% | 12.5 |
| 1:500 resp. 2% | 2 | 1:50 resp. 20% | 20 |
| 1:400 resp. 2.5% | 2.5 | 1:40 resp. 25 % | 25 |
| 1:333 resp. 3% | 3 | 1:25 resp. 40 % | 40 |
| 1:250 resp. 4% | 4 | 1:20 resp. 50% | 50 |
| 1:125 resp. 8% | 8 | 1:10 resp. 100% | 100 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 Curve resistance

เมื่อขบวนรถเคลื่อนตัวเข้าไปอยู่ในช่วงทางโค้งจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างบังใบล้อกับรางเนื่องจากล้อเลื่อนจะพยายามพุ่งไปในทิศทางที่ได้จากกับจุดสัมผัสโค้ง (Tangential line) ด้วยแรงหนีศูนย์กลางของล้อเลื่อน ในขณะที่บังใบล้อถูกเบียดเข้ากับแก้มรางเพื่อบังคับให้ล้อหันเหไปตามทิศทางของราง รัศมีโค้ง,ความกว้างของทาง, ระดับของการยกระดับ(cant),ช่วงห่างระหว่างเพลาล้อในแคร่เดียวกัน (wheel base) ,ช่วงห่างระหว่างศูนย์กลางโบกี้ของรถ (bogies center), ความเร็วขบวนรถ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดค่าความต้านทานที่เรียกว่า Curve resistance ขึ้น จากการทดลองของ JNR ทำให้สามารถกำหนดสมการหาค่า Curve resistance ได้ว่า

$$R_C = \frac{800}{R} \quad \text{(Kg/ton)} \qquad (2.14)$$

เมื่อ $R$ = รัศมีโค้งของทาง (m)

ส่วน DB กำหนดสมการหาค่า curve resistance ว่า

$$R_C = \frac{400}{R-20} \quad \text{(Kg/ton)} \qquad (2.15)$$

สำหรับ การรถไฟแห่งประเทศไทย กำหนดค่า $R_C$ = 1 Kg / t ตลอดเส้นทาง

**ผลสรุปในการพิจารณากำหนดหน่วยลากจูงของรถจักร**

เมื่อทราบค่า Adhesive tractive force $(T_A)$ หรือ Tractive force on the perimeter of driving force $(T_D)$ และ Train resistance แล้วก็สามารถทำการคำนวณหาน้ำหนักลากจูงของรถต้นกำลังในขณะเริ่มเคลื่อนที่ ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง หรือ ณ ทางตอนใดตอนหนึ่งได้โดยใช้สูตร

$$T_L = \frac{(T_A - (W_L(R_S + R_G + R_C)))}{\begin{Bmatrix} R_{PC} \\ R_{FC} \end{Bmatrix} + R_G + R_C} \quad \text{เมื่อเริ่มเคลื่อนที่} \qquad (2.16)$$

และ $$T_L = \frac{(T_D - (W_L(R_S + R_G + R_C)))}{\begin{Bmatrix} R_{PC} \\ R_{FC} \end{Bmatrix} + R_G + R_C} \quad \text{ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง} \qquad (2.17)$$

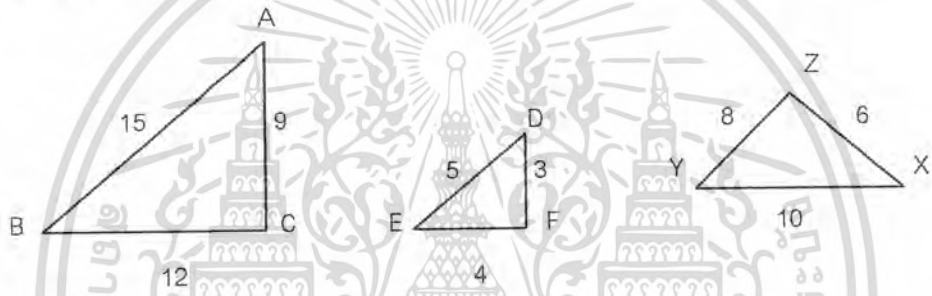
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $T_L$ = น้ำหนักลากจูงหน่วยเป็นตัน

จากน้ำหนักจูงที่ได้นี้จะนำมาพิจารณากำหนดหน่วยลากจูงของรถจักรแต่ละชนิด โดยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักลากจูงที่ได้จากการกำหนดชนิดของรถจักรและชนิดของขบวนรถ เส้นทางที่จะต้องผ่าน,พิกัดความเร็ว,การเคลื่อนตัวในสภาพทางที่มีความลาดชันและโค้งต่างๆ เพื่อตัดสินใจกำหนดน้ำหนักลากจูงให้กับรถจักรแต่ละชนิดเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเดินรถต่อไป

## 2.2 ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย

ความรู้เรื่องสามเหลี่ยมคล้ายเป็นความรู้พื้นฐาน สำหรับการนำเรขาคณิต ไปใช้งานด้านต่างๆ มากมาย และยังเป็นพื้นฐานในการเข้าใจเรื่องอัตราส่วนตรีโกณมิติอีกด้วย




**รูปที่ 2.2 ลักษณะของสามเหลี่ยมคล้าย**

รูปที่ 2.2 แสดงรูปสามเหลี่ยมสามรูปคือ $\Delta ABC$, $\Delta DEF$, $\Delta XYZ$ เราจะสังเกตเห็นได้โดยง่ายว่า $\Delta ABC$ กับ $\Delta DEF$ มีความคล้ายคลึงกันโดยลักษณะของรูปร่าง $\Delta DEF$เป็นเสมือนส่วนย่อยของ $\Delta ABC$ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะรูปสามเหลี่ยมทั้ง 2 มีมุมเท่ากันเป็นคู่ๆดังนี้

$$\angle A = \angle D$$

$$\angle B = \angle E$$

$$\angle C = \angle F$$

และความยาวด้านของรูปสามเหลี่ยมทั้ง 2 ยังได้สัดส่วนกันอีกด้วยคือ

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EF} = \frac{CA}{FD}$$

ถ้ารูปสามเหลี่ยมสองรูปใดๆที่มีมุมเท่ากันเป็นคู่ๆ และความยาวด้านในลำดับเดียวกันมีสัดส่วนเดียวกันในลักษณะนี้ เราจะกล่าวว่ารูปสามเหลี่ยมสองรูปนั้นคล้ายกัน (Similar) อันที่จริง $\Delta XYZ$ ในรูปที่ 2.2 ก็คล้ายกันกับทั้ง $\Delta ABC$ และ$\Delta DEF$ ด้วยเช่นกัน หากแต่มิได้จัดวางไว้ในลักษณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ชัดเจนนัก หากเราพิจารณาเปรียบเทียบขนาดของ $\angle A, \angle B, \angle C$ กับ $\angle X, \angle Y, \angle Z$ โดยลำดับเราจะพบว่า

$$\angle A = \angle X$$

$$\angle B = \angle Y$$

$$\angle C = \angle Z$$

และเห็นได้ด้วยว่า

$$\frac{AB}{XY} = \frac{BC}{YZ} = \frac{CA}{ZX}$$

การตรวจสอบว่ารูปสามเหลี่ยมสองรูปว่าคล้ายกันหรือไม่นั้น เราตรวจสอบเฉพาะการเท่ากันเป็นคู่ๆ ของมุมสามเหลี่ยมทั้งสองก็เป็นการเพียงพอ เพราะมีทฤษฎีบทในเรขาคณิตที่บอกให้ทราบว่ารูปสามเหลี่ยมที่มีมุมเท่ากันเป็นคู่ๆนั้น ความยาวด้านในลำดับเดียวกันก็จะอยู่ในอัตราส่วนเดียวกันด้วยโดยอัตโนมัติ

## 2.3 ราง

### 2.3.1 หน้าที่

รางนับเป็นโครงสร้างส่วนบนที่สำคัญที่สุดของทางรถไฟ ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของรถจักรและล้อเลื่อนที่วิ่งผ่านไปมา

### 2.3.2 รูปหน้าตัด (Section)

รางที่วางในทางรถไฟในปัจจุบันเป็นรางแบบฐานแบน (Flat Bottom Rails) รูปร่างของรางที่เป็นอยู่ปัจจุบันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการพิจารณาในด้านการทำหน้าที่ของราง วิธียึดเหนี่ยวรางให้ติดกับหมอนรองรางและความประหยัดวัสดุคือ เหล็กที่นำมาผลิตเป็นราง รูปหน้าตัดของรางแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ

- หัวราง (Head) เป็นส่วนที่สัมผัสกับล้อรถ จะต้องมีสันรางที่สอดคล้องกับรูปร่างลักษณะ (Contour) ของล้อ
- ฐานราง (Base) เป็นส่วนที่สัมผัสและถูกยึดตรึงติดกับหมอนรองราง ฐานรางจะต้องกว้างพอที่รางจะนั่งบนหมอนได้อย่างมั่นคง และสะดวกต่อการติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยว
- เอวราง (Web) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงหัวรางกับฐานรางเข้าด้วยกัน เอวรางจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรับแรงดัด (Bending) แต่ต้องไม่หนาเทอะทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ขนาด (Size)

ขนาดรางระบุเป็นหน่วยน้ำหนักต่อ 1 หน่วยความยาว คือ ปอนด์/หลา หรือ กิโลกรัม/เมตร ขนาดรางที่เป็น กิโลกรัม/เมตร จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดรางที่เป็น ปอนด์/หลา

### 2.3.4 ความยาวมาตรฐาน (Standard Length)

ความยาวมาตรฐานของราง คือความยาวรางเป็นท่อนๆเมื่อยังมิได้เชื่อมติดกันเป็นรางเชื่อม มีตั้งแต่ 8 เมตรขึ้นไปจนถึง 36 เมตร

### 2.3.5 ส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition)

ส่วนผสมทางเคมีของรางขึ้นอยู่กับขนาดรางและขบวนการที่ใช้ในการผลิตเหล็กกล้าซึ่งจะนำมารีดเป็นราง

ธาตุ (Element) ต่างๆที่ผสมอยู่ในเหล็กที่นำมาผลิตราง มีบทบาทต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ของรางดังนี้

- คาร์บอน เป็นธาตุที่สำคัญที่สุด ช่วยให้รางมีความแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน สามารถนำรางไปชุบให้แข็งได้ทั่วถึงตลอดทุกส่วน ธาตุคาร์บอนนี้ถ้าผสมอยู่ในอัตราค่อนข้างสูงจะทำให้รางมีความทนทานต่อการสึกหรออันเนื่องมาจากการเสียดสี (Abrasive Wear) ได้ดี แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้รางเปราะ
- แมงกานีส เป็นธาตุที่สำคัญรองจากคาร์บอน ช่วยให้รางมีความเหนียว สามารถต้านทานแรงดึงได้สูง และทนทานต่อแรงกระแทก นอกจากนี้ยังเอื้ออำนวยต่อการชุบแข็งอีกด้วย
- ซิลิกอน เป็นธาตุที่ใช้เป็นตัวไล่ออกซิเจนในระหว่างขบวนการผลิตเหล็กกล้าที่จะนำมารีดเป็นรางช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงดึง เอื้ออำนวยต่อการชุบแข็ง และเพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- กำมะถัน ธาตุนี้ถ้าผสมอยู่ในรางเล็กน้อยจะช่วยให้การรีดเหล็กกล้าเป็นรางกระทำได้ง่ายอีกทั้งการนำรางไปดัดเจาะก็กระทำได้สะดวก แต่ถ้ามีอยู่มากเกินไปก็จะเป็นผลเสียในด้านการเชื่อมราง เพราะจะกระทำไม่ได้
- ฟอสฟอรัส ธาตุนี้ก็มีส่วนช่วยให้รางรีดง่ายเช่นเดียวกับกำมะถัน แต่ไม่ควรให้มีส่วนผสมเกิน 0.04 % เพราะจะทำให้รางเกิดการผุกร่อนได้ง่าย แม้อยู่ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6 การผลิต (Manufacture)

เหล็กกล้าที่นำมารีดเป็นรางมีขบวนการผลิตได้หลายวิธีคือ

OA = Openhearth , Acid

OB = Openhearth, Basic

BA = Bessemer, Acid

BB = Bessemer, Basic

E = Electric

O = Oxgen Blow

การผลิตเหล็กกล้าที่ทำกันมาแต่เดิมส่วนใหญ่ใช้ขบวนการ Basic Openhearth ซึ่งวิธีการโดยย่อคือนำส่วนผสมของสินแร่เหล็กและเศษเหล็กต่างๆใส่ลงไปในเตาถลุง เผาจนกระทั่งโลหะหลอมละลายแล้วพ่นอากาศเข้าไป คาร์บอนและสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่ปะปนอยู่ในสินแร่เหล็กจะถูกออกซิเจนในอากาศที่พ่นเข้าไปเข้าทำปฏิกริยาด้วย เกิดเป็นกากโลหะ (Slag) ลอยฟองอยู่บนผิวหน้าของโลหะเหลว เปิดช่องที่ก้นเตาถลุงให้เหล็กเหลวไหลลงสู่ภาชนะที่เรียกว่า Ladle แล้วนำเหล็กเหลวลงไปเทลงในแบบหล่อ ซึ่งจุเหล็กได้ราว 8-10 ตัน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น เมื่อเหล็กแข็งตัวแล้วก็ถอดแบบออก แท่งเหล็กที่ได้ตอนนี้เรียกว่า Ingot นำ Ingot ไปใส่เตาเผาแล้วเผาจนเหล็กร้อนแดงจึงนำไปเข้าเครื่องรีดเพื่อรีดเป็นท่อนเหล็กยาว ขนาดหน้าตัดเป็น 20x20 ซม.ท่อนเหล็กที่ได้ตอนนี้เรียกว่า Bloom นำ Bloom ไปตัดออกเป็น 2 – 3 ท่อนแล้วนำไปเผาและตัดหัวตัดท้ายก่อนส่งเข้าเครื่องเพื่อรีดเป็นรางกว่าจะสำเร็จเป็นรูปร่าง เหล็กจะผ่านการรีดราว 25 ครั้งโดยเฉลี่ย

ปัจจุบันการผลิตเหล็กกล้านิยมใช้การ Oxygen Blow ซึ่งต่างจากขบวนการ Basic Openhearth ตรงที่พ่นออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปแทนการพ่นอากาศ ขบวนการ Oxygen Blow มีข้อดีตรงที่ช่วยลดเวลาในการถลุงเหล็กได้มาก

การถลุงเหล็กครั้งหนึ่งๆ เรียกเป็น Charge หรือ Heat แต่ละ Charge จะได้เนื้อเหล็กหนักประมาณ 80-100 ตัน การลำเลียงเหล็กเหลวในแต่ละ Charge ใส่ Ladle ไปหล่อเป็น Ingot จะแบ่งเป็น 2 ครั้ง แต่ละครั้งเรียกว่า Cast ใน Charge หนึ่งๆจะได้ Ingot 10-12 แท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.7 เครื่องหมายที่เอวราง (Marking)

รางทุกท่อนจะต้องมีเครื่องหมายปรากฏอยู่ที่เอวรางทั้ง 2 ด้านซึ่งปกติจะอยู่ห่างจากปลายรางทั้ง 2 ข้างประมาณ 1.50 ม. เครื่องหมายที่เอวรางดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

- Rolled Mark เป็นเครื่องหมายรอยนูนที่เป็นเอวรางด้านหนึ่ง ประกอยด้วยเครื่องหมายหรือตัวอักษรตัวเลข ขนาดโตประมาณ 2 ซม. Rolled Mark เกิดขึ้นพร้อมๆกับที่รางถูกรีดออกมาซึ่งประกอบด้วย

  - ชื่อ(ตัวย่อ) และ/หรือเครื่องหมายบริษัทผู้ผลิตราง
  - ปีที่ผลิตเป็นเลขอารบิค
  - เดือนที่ผลิตเป็นเลขโรมัน
  - ขบวนการผลิต
  - ลูกศรแสดงทิศทางด้านบนของ Ingot
  - ชนิดของราง รางธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ

    MM = ราง Medium Manganese

    C = ราง Carbon
  - ขนาดและมาตรฐานของราง
  - ชื่อ(ตัวย่อ)ผู้ซื้อราง

ตัวอย่าง Rolled Mark ของรางที่ รฟท. ซื้อจากประเทศออสเตรีย

DO 1978 XO MM8 OA RSR

Rolled Mark ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เมื่อนำรางไปใช้งาน

- Hot Stamp เป็นเครื่องหมายรอยบุ๋มที่เอวรางคนละด้านกับ Rolled Mark ประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษรขนาดโตประมาณ 1 ซม. Hot Stamp เกิดจากการใช้คนตีประทับที่เอวรางในขณะที่รางยังร้อนอยู่ ประกอบด้วย

  - ตัวเลขที่บอกลำดับการถลุงเหล็ก (Charge Number)
  - ตัวอักษร A,B,C,...,Z บอกลำดับรางนับจากด้านบนของ Ingot (Rail Number) A หมายถึง รางท่อนแรก Z หมายถึงรางท่อนสุดท้ายของแต่ละ Ingot
  - ตัวเลขบอกเลข Ingot (Ingot Number)

ตัวอย่าง Hot Stamp

753 C 4 Hot Stamp ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านการผลิตและการตรวจจับราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.8 อายุใช้งาน (Service Life)**

อายุใช้งานของรางย่อมมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทาง ตลอดจนความปลอดภัยของขบวนถ้าตัดปัญหาเรื่องรางชำรุด (รางหัก รางร้าว รางเป็นแผล)ออกไป อายุใช้งานของรางจะขึ้นอยู่กับอัตราการสึกของราง ซึ่งโดยทั่วไปยอมให้รางสึกได้ถึง 25 % ของพื้นที่หน้าตัดหัวราง หรือ 10 % ของพื้นที่หน้าตัดรางทั้งหมด

อัตราการสึกของรางขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- รัศมีโค้ง (Radius of Curvature) รางที่วางในทางโค้งแคบ คือรัศมีสั้น เช่น 180-200 ม.จะสึกเร็วกว่ารางที่วางในทางโค้งรัศมี 800-1000 ม.

จากการศึกษาในสหรัฐอเมริกาได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกของรางกับรัศมีโค้งดังนี้

$$W = K(1+\frac{1764.5}{R})T_a$$

ในเมื่อ W = อัตราการสึกของราง (มม.$^2$/ปี)

$T_a$ = น้ำหนักผ่านทาง (ล้านตัน/ปี)

R = รัศมีโค้ง (ม.)

K = สัมประสิทธิ์ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับรัศมีโค้ง(รฟท. ใช้ 1.5 มม.$^2$/ล้านตัน

- ลาดทาง (Gradient) อัตราการสึกของรางที่วางในทางลาดลงจะมากกว่าในทางลาดขึ้น อันเป็นผลจากการลงห้ามล้อ ส่วนอัตราการสึกของรางที่วางในทางลาดชันเพียงเล็กน้อย(ประมาณ 5 % )จะพอๆกับรางที่วางในทางราบ

จากผลการทดลองในเยอรมันได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกของรางกับลาดทางดังนี้

ทางลาดขึ้น $W = \frac{3400(1+12G)}{R-120(1-4G)}$

ทางลาดลง $W = \frac{3400(1+28G)}{R-120(1-8G)}$

ในเมื่อ W = อัตราการสึกของราง. (มม.$^2$/ตัน)

R = รัศมีโค้ง (ม.)

G = ลาดทาง

- สภาพการเดินรถ (Traffic Condition) ได้แก่น้ำหนักผ่านทาง น้ำหนักเพลา ความเร็วและความหนาแน่นของขบวนรถ

- สภาพทาง (Track Geometry) เกี่ยวกับการบำรุงรักษาทาง อันประกอบด้วย ขนาดทาง แนวทางและระดับ โดยเฉพาะระดับตามขวาง

- คุณสมบัติของเหล็กที่นำมารีดเป็นราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



อายุใช้งานของรางที่วางในทางตรงอาจคำนวณโดยใช้สูตร $T = Kg\sqrt{T_a}$

ในเมื่อ T = น้ำหนักผ่านทางตลอดอายุใช้งานของราง (ล้านตัน)

$T_a$ = น้ำหนักผ่านทางต่อปี (ล้านตัน)

g = ขนาดราง (ปอนด์/หลา)

K = สัมประสิทธิ์ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับมาตรฐานการบำรุงรักษาทางสำหรับ ทางที่ได้รับการบำรุงรักษาตามปกติ K = 1.35

อายุใช้งาน (ปี) = $T / T_a$

2.3.9 **รางเชื่อม** (Welded Rails)

2.3.9.1 กำเนิดรางเชื่อม

เนื่องจากหัวต่อรางเป็นจุดอ่อนของทางรถไฟ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางเป็นจำนวนมากค่าใช้จ่ายดังกล่าวได้แก่ การอัดหินหัวต่อรางค่าใช้จ่ายในการขันสลักเกลียวต่อราง ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดหัวต่อราง ฯลฯ จึงมีผู้คิดค้นกำจัดหรือลดจำนวนหัวต่อราง ด้วยการเชื่อมปลายรางมาตรฐานเข้าด้วยกัน จึงเกิดเป็นรางเชื่อมขึ้นมา

2.3.9.2 วิธีเชื่อมราง

วิธีเชื่อมรางที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 4 แบบคือ

- วิธีเชื่อมรางแบบเธอร์มิต(Thermit Welding) เป็นวิธีเชื่อมรางที่เก่าแก่และง่ายที่สุดโดยอาศัยปฏิกริยาทางเคมีอันเนื่องมาจากความร้อนระหว่างเหล็กออกไซด์กับอลูมิเนียม เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

วิธีเชื่อมรางแบบเธอร์มิต เริ่มด้วยการจัดปลายรางทั้ง 2 ข้างให้เสมอกันและมีระยะห่างจากกัน ระหว่าง 8-16 มม. ประกอบแบบหล่อแล้วเผาปลายรางให้ร้อนแดง วางเบ้าบรรจุผงเชื่อมเหนือช่องว่างที่ปลายรางและจุดผงเชื่อม เมื่อผงเชื่อมเกิดปฏิกริยาได้ที่จนหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วก็เปิดช่องให้โลหะไหลลงสู่ช่องว่างที่ปลายราง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 10 นาทีจึงทำการสกัดโลหะส่วนเกินออก แล้วเจียระไนให้เรียบ

วิธีเชื่อมรางแบบเธอร์มิตนี้เป็นวิธีที่ง่าย เครื่องมือที่ใช้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมรางในทาง

- วิธีเชื่อมรางแบบประกาย (Flash-Butt Welding) เป็นวิธีเชื่อมรางโดยการเผาปลายรางด้วยไฟจนหลอมเหลวแล้วอัดปลายรางให้เชื่อมติดกันด้วยเครื่องไฮดรอลิก หลังจากนั้นจึงสกัดโลหะส่วนเกินออกและเจียระไนให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39652

วิธีเชื่อมรางแบบประกายนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมรางในโรงงาน การเชื่อมรางเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ต้องลงทุนสูงเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

- วิธีเชื่อมรางด้วยไฟฟ้า (Electric Enclosed Welding ) เป็นวิธีเชื่อมรางโดยการเผาปลายรางด้วยไฟ เช่นเดียวกับวิธีเชื่อมรางแบบประกาย ต่างกันตรงที่ไม่มีประกายไฟออกมาให้เห็น เนื่องจากมีฝาครอบปิดอยู่

วิธีเชื่อมรางด้วยไฟฟ้าใช้ได้ในการเชื่อมรางแบบประภ ายโดยเป็นการเชื่อมรางในโรงงาน รฟท.มีวิธีเชื่อมรางมีอยู่ 2 วิธีคือ

1) การเชื่อมรางในโรงงาน ใช้วิธีเชื่อมรางแบบประกายโดยเชื่อมรางมาตรฐานให้ยาวท่อนละ 144 ม. แล้วส่งไปวางในทางโดยขบวนรถบรรทุกรางเชื่อม
2) การเชื่อมรางในทาง ใช้วิธีเชื่อมรางแบบเธอร์มิต โดยเชื่อมรางเชื่อมซึ่งยาวท่อนละ 144 ม.ที่วางในทางแล้วให้ยาวยิ่งขึ้นโดยไม่จำกัดความยาว

**2.3.10 การยึดของราง**

การยึดของรางธรรมดาหรือรางที่มีความยาวมาตรฐานจะผันแปรไปตามสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กราง ความยาวราง และอุณหภูมิรางที่เปลี่ยนแปลงไป การยึดหดของรางธรรมดานี้เป็นไปตลอดทั้งเส้น แต่ในกรณีรางเชื่อมโดยเฉพาะรางเชื่อมยาวนั้นรางมิได้ยืดหดตามแบบอย่างของรางธรรมดา คงยืดหดเฉพาะช่วงปลายรางทั้ง 2 ข้างเท่านั้น ส่วนช่วงกลางรางไม่มีการยืดหรือหดช่วงปลายรางทั้ง 2 ข้างที่เกิดการยืดหดนี้เรียกว่า ระยะยืดหด(Breathing Length) ความยาวของระยะยืดหดของรางขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของราง ระยะหมอน แรงต้านทานตามยาวของหินโรยทาง และความแตกต่างของอุณหภูมิรางขณะที่วางรางหรือติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวรางกับอุณหภูมิรางสูงสุดหรือต่ำสุด

- รางเชื่อมสั้น หมายถึงรางที่มีความยาวไม่เกิน 2 เท่าของระยะยืดหดที่ปลายรางแต่ละข้าง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ารางเชื่อมนั้นสั้นคือรางเชื่อมที่ยังมีการยืดหดตลอดทั้งเส้น

- รางเชื่อมยาว หมายถึงรางเชื่อมที่มีความยาวมากกว่า 2 เท่าของระยืดหดที่ปลายรางแต่ละข้างหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ารางเชื่อมยาวคือรางเชื่อมที่มีการยืดหดเฉพาะช่วงปลายรางเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะยืดหดสูงสุดเป็นเมตรที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับขนาดตารางที่เป็นปอนด์ต่อหลา เช่นรางเชื่อมขนาด 80 ปอนด์/หลา จะมีระยะยืดหดสูงสุด 80 ม.เป็นต้น

### 2.3.11 วิธีปฏิบัติต่อรางเชื่อม

เมื่ออุณหภูมิรางสูงขึ้นหรือต่ำลงจากอุณหภูมิขณะวางราง หรือติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวรางก็จะทำให้รางเกิดการขยายตัวหรือหดตัว ก่อให้เกิดแรงดันหรือแรงดึงภายในราง แรงดันหรือแรงดึงนี้จะมีค่ามาก หรือน้อยเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิรางขณะวางรางหรือติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวรางกับอุณหภูมิรางสูงสุดหรือต่ำสุดยิ่งอุณหภูมิรางแตกต่างกันมากแรงดันหรือแรงดึงที่เกิดขึ้นก็ย่อมมากตามไปด้วย ฉะนั้นในการวางรางเชื่อมและการปฏิบัติงานบำรุงทางรางเชื่อมจึงจำเป็นต้องกระทำ ณ อุณหภูมิรางปานกลาง ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้เกิดแรงดันหรือแรงดึงขึ้นภายในรางมากเกินควร อุณหภูมิรางปานกลางสำหรับประเทศไทยคือ 35° C ช่วงอุณหภูมิรางปานกลางคือ 25°-40° และพิกัดอุณหภูมิรางสูงสุดคือ 55° C

### 2.3.12 ข้อดีข้อเสียของรางเชื่อม

รางเชื่อมมีข้อดีดังต่อไปนี้ :-

- ประหยัดเงินลงทุนค่าหัวต่อรางในทาง เพราะค่าเชื่อมรางถูกกว่าค่าเหล็กประกับราง+ค่าสลักเกลียวต่อราง+ค่าหมอนที่เพิ่ม ณ หัวต่อราง
- ประหยัดเงินค่าบำรุงรักษาทางได้ประมาณ 15-25% เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการอัดหินต่อราง ค่าใช้จ่ายในการขันสลักเกลียวต่อราง ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดหัวต่อราง
- ประหยัดเงินค่าหมอนรองรางเพราะไม่ต้องใช้หมอนหัวต่อ
- ประหยัดเงินค่าซื้อราง เพราะเมื่อปลายรางที่เป็นหัวต่อรางชำรุดก็สามารถตัดส่วนที่ชำรุดออก แล้วนำส่วนดีที่เหลือมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นรางเชื่อมใช้งานได้ต่อไปอีกหรือในกรณีที่รางเป็นแผลหรือเกิดรอยชำรุดในเนื้อรางซึ่งตามปกติจะต้องถอดรางนั้นออกจากทาง ก็สามารถนำมาตัดส่วนชำรุดออกเอาแต่ส่วนที่ดีอยู่มาเชื่อมต่อกันช่วยให้รางนั้นใช้งานในทางได้ต่อไปอีกเป็นการประหยัดเงินค่ารางเนื่องจากสามารถใช้รางได้คุ้มค่า
- ยืดอายุการใช้งานของราง เนื่องจากไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปลายรางแบน
- ปัญหาเรื่องรางเดินจะลดลงหรือหมดไป
- ทางโค้งที่วางรางเชื่อมรูปโค้งจะเรียบสม่ำเสมอไม่เป็นแง่มุมหรือหักเป็นข้อศอกตรงหัวต่อราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การก่อวินาศกรรมกับรางกระทำได้ยากขึ้นเมื่อไม่มีหัวต่อราง

- ลดการสึกหรอของรถจักรและล้อเลื่อนอันเนื่องมาจากแรงกระแทกบริเวณหัวต่อรางช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถจักรและล้อเลื่อน

- ขบวนรถวิ่งได้เรียบและเร็วขึ้น ในขณะที่เสียงดังรบกวนก็น้อยลง เป็นการเพิ่มความสบายแก่ผู้โดยสาร

รางเชื่อมมีข้อเสียดังต่อไปนี้

- ในกรณีที่เกิดรางหักหรือรางชำรุดการเปลี่ยนรางกระทำได้ลำบากกว่าเมื่อเป็นรางมาตรฐาน

- การเคลื่อนย้ายรางยาวๆจำเป็นต้องมีขบวนรถสำหรับบรรทุกรางเชื่อมโดยเฉพาะ

- มีข้อจำกัดในการทำงานบำรุงรักษาซึ่งไม่อาจดำเนินการได้ทุกกาลเวลาเหมือนกับทางที่วางรางมาตรฐาน ต้องรอเวลาให้อุณหภูมิรางอยู่ในช่วงอุณหภูมิรางปานกลาง

- การวางรางเชื่อมกระทำได้ไม่สะดวกเหมือนกับวางรางมาตรฐาน เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับดินคันทาง สะพาน ทางโค้งและอื่นๆ

- การบำรุงรักษาทางรางเชื่อมต้องการความเอาใจใส่ดูแลมากกว่าทางรางมาตรฐานโดยเฉพาะแนวทาง ระดับทาง ความแข็งแรงของเครื่องประกอบราง และเครื่องยึดเหนี่ยวราง

- การดัดรางเชื่อมต้องใช้แรงงานมากกว่าการดัดรางมาตรฐาน และต้องกระทำในช่วงอุณหภูมิรางปานกลาง

- ในวันที่อากาศร้อนจัดหรือเย็นจัดผิดปกติ ทางรางเชื่อมต้องได้รับความสนใจตรวจตราเป็นพิเศษ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับหัวต่อราง แนวราง

### 2.3.13 การคำนวณหาช่องว่างหัวต่อราง

ในการวางรางหากเว้นช่องระหว่างปลายรางที่หัวต่อราง (Rail Gap) ไว้แคบเกินไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นรางจะขยายตัวจนปลายรางยันกัน แรงดันที่เกิดขึ้นย่อมทำให้รางคดและถ้าหากแรงต้านทานด้านของหินโรยทางไม่เพียงพอรางก็จะเกิดอาการหงิกงอ (Rail Kink) เป็นอันตรายต่อขบวนรถที่บังเอิญผ่านมาในขณะนั้น ในทางตรงกันข้ามหากเว้นช่องว่างระหว่างปลายรางไว้ห่างมากเกินไป เวลาขบวนรถผ่านไปมาล้อรถจะกระแทกบริเวณหัวต่อรางทำให้ปลายรางแบน(Rail End Batter) เมื่อหัวต่อรางถูกล้อกระแทกนานๆเข้าอาจทำให้เหล็กประกับรางหรือรางบริเวณหัวต่อรางร้าวหรือหักได้ นอกจากนี้ในฤดูหนาวเมื่อรางหดตัวก็จะเกิดแรงดึงสลักเกลียวต่อราง อันอาจทำให้สลักเกลียวต่อรางคดงอหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดได้ ด้วยเหตุนี้การเว้นช่องว่างระหว่างปลายทางรางให้พอเหมาะพอควรเมื่อวางครั้งแรกจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม

ในกรณีที่รางถูกปล่อยให้ยืดหดได้โดยอิสระ ความยาวรางจะเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ $1.15 \times 10^{-5}$ (ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้น-Coefficient of Linear Expansion) ของความยาวรางเมื่ออุณหภูมิรางเปลี่ยนแปลงไป 1°C

นั่นคือ $\Delta L = 1.15x10^{-5}(\Delta t)$ ต่อความยาวราง 1 หน่วย

$\Delta L$ = ความยาวรางที่เปลี่ยนแปลงไป

$\Delta t$ = อุณหภูมิรางที่แตกต่างไปจากอุณหภูมิรางขณะวางราง (°C)

โดยที่รางที่วางอยู่ในทางถูกตรึงด้วยเครื่องยึดเหนี่ยวราง จึงยืดหดไม่สะดวกก่อให้เกิดความเค้นขึ้นภายในราง (Internal Stress หรือ Temperature Stress) ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้มีค่าเท่ากับความเครียด(Strain) คูณกับ E ซึ่งเป็น Modulus of Elasticity ของเหล็กที่ใช้ทำรางมีค่าเท่ากับ $2.15X10^5$ กก./ซม.$^2$

นั่นคือ $S = \Delta LxE$

หรือ $\Delta L = \frac{S}{E} = \frac{S}{2.15x10^6}$

ถ้าการยืดหดของรางอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิถูกต้านทานด้วยแรงยึดเหนี่ยวจากเครื่องยึดเหนี่ยวราง ย่อมได้ $\Delta L = \Delta L$

หรือ $1.15x10^{-5}(\Delta t) = \frac{S}{2.15x10^6}$

ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในราง, $S = 24.7(\Delta t)$

แรงที่เกิดขึ้นภายในราง , $F = 24.7A(\Delta t)$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดรางเป็น ซม.$^2$ และ F มีหน่วยเป็น กก.

- ช่องว่างหัวต่อรางสำหรับรางมาตรฐาน ในการคำนวณหาช่องว่างหัวต่อรางสำหรับรางมาตรฐานจะไม่คำนึงถึงแรงยึดเหนี่ยวจากเครื่องยึดเหนี่ยวรางโดยถือว่ารางสามารถยืดหดได้โดยอิสระ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความยาวรางที่เปลี่ยนแปลงไปได้จากสูตร

$$\Delta L = 1.15x10^{-5}L(\Delta t)$$

ในเมื่อ $\Delta L$ = ความยาวรางที่เปลี่ยนแปลงไป (ซม.)

$L$ = ความยาวราง ณ อุณหภูมิรางขณะวางราง(ซม.)

$\Delta t$ = อุณหภูมิรางที่แตกต่างไปจากอุณหภูมิรางขณะวางราง(°C)

- ช่องว่างหัวต่อรางสำหรับรางเชื่อมจำเป็นต้องทราบระยะยืดหด (Breathing Length) ที่ปลายรางเชื่อมเสียก่อน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ L = ระยะยืดหด (ซม.)

N = จำนวนหมอนในช่วงระยะ L ซึ่งได้รับการใส่สมอกันรางเดิน หรือติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวรางแบบสปริงไว้อย่างเพียงพอ

T = แรงต้านทานตามยาวของหมอนราง (กก./หมอน/ราง)

A = พื้นที่หน้าตัดของราง (ซม.)

E = Modulus of Elasticity ของราง (กก./ซม.$^2$ )

A = ระยะหมอนรองราง (ซม.)

F = แรงที่เกิดขึ้นภายในรางเมื่ออุณหภูมิรางเปลี่ยนแปลง (Temperature Force ) กก.

โดยที่แรงที่เกิดขึ้นภายในรางเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้รางยืดหดถูกหักล้างด้วยแรงต้านจากเครื่องยึดเหนี่ยวรางหรือแรงต้านอันเนื่องมาจากการใส่สมอกันรางเดิน แรงต้านดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 0 ที่ปลายรางจนเท่ากับ NT ที่ระยะ L วัดจากปลายรางเข้ามาทั้ง 2 ข้างส่วนบริเวณกลางท่อนรางไม่มีการยืดหดเพราะแรงที่เกิดขึ้นภายในรางได้หักล้างกันเองจนหมดไป ดังนั้นรางย่อมยืดหดมากที่สุดตรงปลายราง อัตราการยืดหดจะลดลงตามระยะห่างจากปลายรางจนกระทั่งเป็น 0 ณ จุดที่อยู่ห่างจากปลายรางเป็นระยะ L กรณีเช่นนี้จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$NT = F$$

จาก $F = 24.7A(\Delta t)$

$$\therefore N = \frac{24.7A(\Delta t)}{T}$$

ระยะยืดหด $L = Na = \frac{24.7A(\Delta t)}{T}$

ในกรณีที่ a = 65 ซม.และ T = 200 กก./หมอน/ราง

$$L = \frac{24.7x\,65A(\Delta t)}{200} = 8A(\Delta t)$$

เนื่องจากการยืดหดของรางมีค่ามากที่สุดที่ปลายรางแล้วค่อยๆลดลงๆจนเป็น 0 ที่ระยะ L วัดจากปลายรางดังนั้นความยาวรางที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะ L คือ $\Delta L$ ย่อมมีค่าดังนี้

$$\Delta L = 1.15x10^{-5}(\frac{L}{2})(\Delta t)$$

$$\Delta L = 4.6x10^{-5}A(\Delta t)^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางเชื่อมรางโดยเฉพาะรางเชื่อมยาวควรกระทำเมื่ออุณหภูมิรางใกล้เคียงอุณหภูมิรางปานกลางนั่นคือระหว่าง 30° C - 40°โดยเว้นช่องว่างหัวต่อรางไว้ 9-10 มม.เมื่อวางรางเชื่อมแล้วจำเป็นต้องใส่สมอกันรางเดิน หรือตอกตะปูสปริงโดยเร็วที่สุด ระยะที่ต้องใส่สมอกันรางเดิน หรือตอกตะปูสปริงวัดจากปลายรางทั้ง 2 ข้างสำหรับรางเชื่อมควรยาวเท่ากับระยะยืดหดสูงสุดซึ่งมีค่าเป็นเมตรเท่ากับขนาดของรางเป็นปอนด์/หลาโดยประมาณ เช่น 80 เมตรสำหรับรางขนาด 80 ปอนด์/หลาเป็นต้น หมอนทุกท่อนที่อยู่ในระยะยืดหดจะต้องได้รับการใส่สมอกันรางเดินหรือตอกตะปูสปริง ส่วนบริเวณกลางท่อนรางอาจใส่หมอนเว้น 2 หรือ 3 หมอนแล้วแต่ความเหมาะสม สำหรับรางเชื่อมสั้นอาจใส่สมอกันรางเดิน หรือตอกตะปูสปริงหมอนเว้นหมอน การใส่สมอกันรางเดินหรือตอกตะปูสปริงให้เริ่มจากกลางท่อนรางไปหาปลายราง อุณหภูมิรางขณะใส่สมอกันรางเดินหรือตอกตะปูสปริงควรใกล้เคียงกับอุณหภูมิรางปานกลาง เช่นเดียวกับอุณหภูมิรางขณะวางราง

### 2.3.14 เครื่องประกอบราง(Rail Accessories)

เครื่องประกอบรางได้แก่

- เหล็กประกับราง(Fish Plates)

เหล็กประกับรางทำหน้าที่เชื่อมต่อปลายรางของราง 2 ท่อนเข้าด้วยกันเหล็กประกับรางแบบที่ใช้กันมาแต่เดิมส่วนใหญ่เป็นแบบมีเชิงรูปร่างคล้ายเหล็กฉาบ ต่อมาหันมานิยมใช้แบบไม่มีเชิงกันมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อใช้กับรางเชื่อมเหล็กประกับราง ที่นิยมใช้ กันส่วนใหญ่มีรูสลักเกลียว 4 รู การใช้เหล็กประกับรางนี้นับวันจะลดน้อยลงเนื่องจากมีการใช้งานเชื่อมเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้จำนวนหัวต่อรางลดลง

- สลักเกลียวต่อราง (Fishbolts)

สลักเกลียวต่อรางทำหน้าที่ยึดเหล็กประกับรางทั้ง 2 ข้างให้แนบสนิทกับหัวรางและฐานราง

- แหวนสปริง (Spring Washers)

แหวนสปริงทำหน้าที่ยันระหว่างแป้นเกลียวกับเหล็กประกับรางเพื่อช่วยให้สลักเกลียวบังคับเหล็กประกับรางให้แน่นตึงอยู่เสมอ บางแห่งอาจใช้แหวนธรรมดาแทนแหวนสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ขนาดของทาง

2.4.1 ขนาดของทาง หรือต่อไปจะเรียกสั้นๆว่า "ขนาดทาง" คือ ระยะระหว่างริมรางในของสันราง ซึ่งมีจุดวัดอยู่ต่ำกว่าระดับสันรางลงมา 14 มิลลิเมตร ทางตรงต้องมีขนาดทางเท่ากับ 1,000 มิลลิเมตรเป็นมาตรฐาน

2.4.2 ทางโค้งแคบซึ่งมีรัศมีน้อยกว่า 400 เมตรลงมา จะต้องขยายขนาดทางโค้งออกไปเล็กน้อย คือเผื่อระยะไว้ระหว่างรางกับครีบล้อ เพื่อให้ล้อเคลื่อนตัวได้สะดวกและป้องกันมิให้ครีบล้อเบียดรางจนเกินควร ดังต่อไปนี้:-

**ตารางที่ 2.3** แสดงค่ารัศมีโค้งกับค่าขยายขนาดทาง

| รัศมีโค้ง (ม.) | ค่าขยายขนาดทาง (มม.) |
|---|---|
| 150 | 20 |
| 156 | 20 |
| 180 | 18 |
| 200 | 17 |
| 225 | 17 |
| 250 | 14 |
| 300 | 11 |
| 400 | 8 |
| 500 | 5 |
| 600 | 4 |
| มากกว่า 600 | 0 |

2.4.3 ในกรณีที่มีการขยายขนาดทาง อาจจะใส่รางกันทางด้านรางต่ำหรือรางในด้วยก็ได้ แต่ทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรใหญ่ฝ่ายการช่างโยธา

2.4.4 สำหรับประแจแต่ละแบบ ให้มีการขยายขนาดทางตามที่ระบุไว้ในแผนผังของประแจแบบนั้นๆ

2.4.5 ในการวัดสอบขนาดทาง ต้องระมัดระวัง และวางเครื่องวัดขนาดทางให้แนบกับรางและได้ฉากกับรางอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ในขณะทำการปรับขนาดทาง บางครั้งจำเป็นต้องถอนตะปูรางและถอดเครื่องยึดเหนี่ยวรางอย่างอื่น ออกเป็นระยะทางยาว ก็ให้สามารถกระทำได้ต่อเมื่อรางเส้นหลักได้มีการซ่อมเครื่องยึดเหนี่ยวรางตรึงแน่นดีแล้ว และขณะเมื่อจะถึงเวลาขบวนรถผ่านทางตอนนั้น จะต้องตรึงตะปูรางที่ด้านตรงข้ามไว้อย่างน้อย 1 หมอน เว้น 1 หมอน ไว้เป็นการชั่วคราว

2.4.7 ในการวางรางใหม่หรือเปลี่ยนรางเป็นหน้า ขนาดทางในทางตรงต้องให้ได้ 1,000 มิลลิเมตรพอดี

## 2.5 ทางโค้ง

2.5.1 การวางรางในของทางโค้ง จะใช้รางที่สั้นกว่ารางธรรมดาเพื่อพยายามรักษาหัวต่อรางให้ตรงกัน ส่วนที่สั้นลงกว่ารางธรรมดาคำนวณได้จากสูตร

$$D = LG/R \text{ (โดยประมาณ)}$$

ในเมื่อ D = ส่วนที่สั้นลง (เมตร)

L = ความยาวของรางนอก (เมตร)

G = ขนาดทาง (เมตร)

R = รัศมี (เมตร)

2.5.2 รางสั้นนั้นใช้เป็นรางในของโค้ง คละกันไปกับรางขนาดยาวธรรมดาเพื่อให้หัวต่อรางได้ฉาก ขนาดความยาวของรางสั้นที่มีใช้อยู่ขณะนี้ คือ

ขนาด 7.96 เมตร สำหรับใช้กับรางยาว 8.00 เมตร

ขนาด 8.94 เมตร สำหรับใช้กับรางยาว 9.00 เมตร

ขนาด 11.93 เมตร สำหรับใช้กับรางยาว 12.00 เมตร

ขนาด 17.90 เมตร สำหรับใช้กับรางยาว 18.00 เมตร

การวางรางในทางโค้ง ห้ามมิให้มีหัวต่อเยื้องกันเกินกว่า 5 เซนติเมตร ตาราง 2.3 แสดงอัตราส่วนของรางสั้นที่ต้องใช้สำหรับโค้งต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง 2.3** แสดงอัตราส่วนของรางสั้นสำหรับรางในของโค้ง

| รัศมี | จำนวนใน100ช่อง | | จำนวนใน100ช่อง | | จำนวนใน100ช่อง | | จำนวนใน100ช่อง | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (m) | ราง 8.0 m | ราง 7.96 m | ราง 9.0 m | ราง 8.96 m | ราง 12.0 m | ราง 11.93 m | ราง 18.0 m | ราง 17.9 m |
| 180 | 0 | 100 | 15 | 85 | 3 | 97 | 0 | 100 |
| 200 | 0 | 100 | 24 | 76 | 13 | 87 | 9 | 91 |
| 250 | 19 | 81 | 39 | 61 | 30 | 70 | 27 | 73 |
| 300 | 33 | 67 | 50 | 50 | 42 | 58 | 39 | 61 |
| 400 | 50 | 50 | 62 | 38 | 57 | 43 | 55 | 45 |
| 500 | 60 | 40 | 70 | 30 | 66 | 34 | 64 | 36 |
| 600 | 67 | 33 | 75 | 25 | 71 | 29 | 70 | 30 |
| 800 | 75 | 25 | 81 | 19 | 79 | 21 | 77 | 23 |
| 1000 | 80 | 20 | 85 | 15 | 83 | 17 | 82 | 18 |
| 1500 | 87 | 13 | 90 | 10 | 89 | 11 | 88 | 12 |
| 2000 | 90 | 10 | 93 | 7 | 91 | 9 | 91 | 9 |

**ตาราง 2.4** เวอร์ไซน์ เป็นมิลลิเมตร

| รัศมี (m) | ชยา (หรือความยาว) เป็นเมตร | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 8 | 9 | 10 | 12 | 16 | 18 | 20 | 24 | 36 |
| 180 | 44 | 56 | 69 | 100 | 178 | 225 | 278 | 400 | 900 |
| 200 | 40 | 51 | 63 | 90 | 160 | 202 | 250 | 360 | 810 |
| 250 | 32 | 41 | 50 | 72 | 128 | 162 | 200 | 288 | 648 |
| 300 | 27 | 34 | 42 | 60 | 107 | 135 | 167 | 240 | 540 |
| 400 | 20 | 25 | 31 | 45 | 80 | 101 | 125 | 180 | 405 |
| 500 | 16 | 20 | 25 | 36 | 64 | 81 | 100 | 144 | 324 |
| 600 | 13 | 17 | 21 | 30 | 53 | 67 | 83 | 120 | 270 |
| 800 | 10 | 13 | 16 | 23 | 40 | 51 | 62 | 90 | 203 |
| 1000 | 8 | 10 | 13 | 18 | 32 | 40 | 50 | 72 | 162 |
| 1500 | 5 | 7 | 8 | 12 | 21 | 27 | 33 | 48 | 108 |
| 2000 | 4 | 5 | 6 | 9 | 16 | 20 | 25 | 36 | 81 |

2.3.1 รัศมีความโค้งคำนวณได้จากสูตร

$R = C^2/8V$ (ค่าโดยประมาณ)

ในเมื่อ R = รัศมี (เมตร)

V = เวอร์ไซน์ หรือ ระยะค้ำตรงกลาง (เมตร)

C = ชยา หรือ ระยะช่วงราง (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เวอร์ไซน์หรือระยะค้ำตรงกลางสำหรับโค้งรัศมีต่างๆ และความยาวรางต่างๆกัน ในตาราง 3.4 หรือโดยคำนวณจากสูตร $V=C^2/8R$ (ค่าโดยประมาณ)

## 2.6 ค่ายกโค้ง (Cant)

2.6.1 ค่ายกโค้ง (หรือส่วนสูงของรางนอกกว่ารางใน) คือปริมาณที่ต้องยกรางนอกของทางโค้งขึ้น เพื่อที่จะให้รางทั้งสองข้างรับความดันเท่าๆกัน ค่ายกโค้งขึ้นอยู่กับรัศมีทางโค้งและความเร็วขบวนรถ ค่ายกโค้งมีพิกัดกำหนดไว้สูงสุดไม่เกิน 90 มิลลิเมตร

2.6.2 ค่ายกโค้ง ที่สมดุลกับความเร็วขบวนรถ เรียกว่า "ค่ายกโค้งตามทฤษฎี (Equilibrium Cant)" คำนวณได้จากสูตร

$$h = GV^2/gR$$

ซึ่งอาจถอดออกมาเป็นสูตร สำหรับใช้ได้สะดวกในทางปฏิบัติ คือ

$$h = 8.338V^2/R$$

ในเมื่อ h = ค่ายกโค้งตามทฤษฎี (มิลลิเมตร)

G = ระยะระหว่างศูนย์กลางราง (1.06 เมตร)

V = ความเร็วของขบวนรถซึ่งทางการกำหนด (กม./ชม.)

R = รัศมีความโค้ง (เมตร)

g = กราวิทัต (Gravity) = 9.81 เมตร/วินาที$^2$

2.6.3 เนื่องจากขบวนรถที่วิ่งเป็นประจำในทางโค้งแต่ละแห่ง มิได้ใช้ความเร็วสูงสุดเท่าที่ทางการกำหนดและเครื่องวัดความเร็วรถที่ติดอยู่กับรถจักรอาจคลาดเคลื่อนได้ ในทางปฏิบัติจึงกำหนด "ค่ายกโค้งจริง" ไว้เพียง 2 ใน 3 ของ "ค่ายกโค้งตามทฤษฎี" โดยเผื่อความเร็วที่ใช้ในสูตรไว้ 5 กม./ชม. ฉะนั้น

ค่ายกโค้งจริง $h = 2/3$ ของ $(8.338(V+5)^2)/R$

หรือ $h = 5.5587\ (V+5)^2/R$

และเพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงกำหนดให้ใช้ "ค่ายกโค้งจริง" เป็นตัวเลขที่หารด้วย 5 ลงตัว

2.6.4 ค่ายกโค้งสูงสุด (Maximum Cant) กำหนดให้ยกโค้งได้สูงสุดไม่เกิน 90 มิลลิเมตร ไม่ว่าโค้งนั้นจะมีรัศมีเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 ในการคำนวณหาอัตราความเร็วสูงสุดที่สามารถจะอนุญาตให้ขบวนรถวิ่งผ่านทางโค้งได้ให้นำเอาส่วนขาดของการยกโค้งที่กำหนดให้มีได้สูงสุด คือ 50 มิลลิเมตร มาบวกกับค่ายกโค้งจริงของโค้งนั้นๆ แล้วคำนวณหาความเร็วสูงสุดได้จากสูตร

$$V_{max.} = \sqrt{(h+50)R/8.338}$$

2.6.6 ในทางโค้งที่ขบวนรถผ่านด้วยความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไม่จำเป็นต้องยกรางนอกให้สูงกว่ารางใน เช่นในประแจ หรือโค้งท้ายประแจในย่านสถานี และสามารถคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่สามารถจะอนุญาตให้ขบวนรถวิ่งผ่านโค้งที่ไม่มีการยกโค้งได้ ตามสูตรในข้อ 2.6.5 ข้างต้นโดย h มีค่า = 0 ม.ม.

2.6.7 ส่วนเกินของค่ายกโค้ง (Cant Excess) คือค่ายกโค้งจริงในทางที่มากกว่าค่ายกโค้งที่สมดุลย์กับความเร็วของขบวนรถที่วิ่งผ่านโค้งนั้นๆ ค่ายกโค้ง ถ้ายกไว้สูงมากเกินไปอาจทำให้รางและครีบล้อสึกหรอเร็วขึ้น หรืออาจเป็นเหตุให้ล้อนำด้านนอกของรถโบกี้ตกรางได้ง่ายขึ้น และยุ่งยากแก่การลดค่ายกโค้งในโค้งต่อหรือโค้งกลับ นอกจากนั้นยังทำให้รางในของโค้งต้องรับน้ำหนักขบวนรถมากกว่าปกติ จนหัวรางสึกแบนเร็วมาก

2.6.8 ในทางปฏิบัติ การยกโค้งให้ยกรางนอกขึ้นสูงกว่ารางในของโค้ง สำหรับรัศมีของโค้งและความเร็วต่างๆ กัน ของขบวนรถ

2.6.9 โดยทั่วไปในทางโค้ง การให้ความสำคัญแก่ค่ายกโค้งมากกว่าค่าระดับตามยาว เพราะค่ายกโค้งที่ไม่สม่ำเสมอย่อมทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของระดับตามขวางและทวิสท์ในโค้งผิดจากค่ามาตรฐานมากอาจจะทำให้รถตกรางได้ง่าย โดยเฉพาะในโค้งต่อ

2.6.10 สำหรับในทางโค้งที่นำเอาส่วนขาดของค่ายกโค้งมาใช้เต็มที่นั้น ให้หมั่นตรวจสอบค่ายกโค้งจริงในทางอยู่เสมอและควรรีบทำการซ่อมฉุกเฉินทันทีที่ตรวจพบว่าระดับตามขวางและ/หรือทวิสท์มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงถึงพิกัดใช้งานไม่ควรปล่อยไว้ เพราะจะทำให้ทางเสียเพิ่มเร็วมากขึ้นจนอาจจะเป็นอันตราย

2.6.11 โค้งทุกโค้งที่ขบวนรถใช้ความเร็วผ่านโค้งนั้นเกินกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องใส่โค้งต่อเชื่อมระหว่างทางตรงกับโค้งกลมทั้งสองปลายของโค้ง

ถ้าการยกรางในขึ้นจนได้ระดับตามยาวที่ต้องการ ณ จุดใด เป็นเหตุให้ต้องลดระดับรางนอก ลงเพื่อให้ได้ เท่ากับค่ายกโค้งที่ถูกต้อง ควรปรับแก้การยกรางใหม่โดยยกรางในเพิ่งขึ้นอีก จนสามารถยกรางนอกขึ้นเพื่อปรับระดับตามขวางได้ ในการนี้จำเป็นต้องยอมให้ระดับตามยาว และระดับตามขวางผิดพลาด จากค่ามาตรฐานได้บ้าง แต่ไม่ควรเกินพิกัดหลังซ่อมที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้เป็นการคำนวณเกี่ยวกับความเร็วของขบวนรถไฟและจำนวนของโบกี้ที่หัวรถจักรสามารถฉุดลากได้โดยจะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

**3.1 คำนวณหาจำนวนโบกี้ของ รถโดยสาร (Passenger Train) ,รถเสบียง (Freight Train) ในกรณีที่ ขบวนรถแล่น ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง**

**3.2 คำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถไฟสามารถแล่นได้ เมื่อกำหนดจำนวนโบกี้**

### 3.1 คำนวณหาจำนวนโบกี้ของ รถโดยสาร (Passenger Train) ,รถเสบียง (Freight Train) ในกรณีที่ ขบวนรถแล่น ณ ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง

**ข้อจำกัด**

- TYPE OF LOCOMOTIVE (ALSTHOM)
- LOCOMOTIVE WEIGHT $W_L$ = 86.5 tons
- MAX RPM 1420 POWER 95 %
- ADHESIVE EFFECTIVE $\mu$ = 30 %
- ในการหาน้ำหนักลากจูง $(T_L)$ จะหา ณ ที่ความลาดชันมากสุดที่ขบวนรถนั้นแล่นผ่าน (%)

**รูปที่ 3.1 Data Flow Diagram แสดงการคำนวณหาจำนวนโบกี้**

**สูตรที่ใช้ในการคำนวณ**

ใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายในการคำนวณหาระยะยกได้สูงสุดที่รางสามารถทำได้ เทียบกับรางที่มีขนาดความกว้างมาตรฐาน 1 เมตร มีระยะยกสูงสุด 90 มิลลิเมตร จะได้

$$\frac{h}{L} = \frac{90}{1000}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สูตรที่ใช้ในการคำนวณ**

ใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายในการคำนวณหาระยะยกได้สูงสุดที่รางสามารถทำได้ เทียบกับรางที่มีขนาดความกว้างมาตรฐาน 1 เมตร มีระยะยกสูงสุด 90 มิลลิเมตร จะได้

$$\frac{h}{L} = \frac{90}{1000}$$

เมื่อ $h$ = ระยะยกสูงสุดที่สามารถยกได้ของรางที่มีขนาดกว้าง $L$ (mm.)

$L$ = ขนาดความกว้างของราง (mm.)

หมายเหตุ ค่า $L$ สามารถระบุได้ตั้งแต่ 500-2,000 mm.

คำนวณหาความเร็วสูงสุดของขบวนรถที่รางสามารถรองรับได้ จากสูตร

$$h = \frac{5.5587(V+5)^2}{R}$$

เมื่อ $h$ = ระยะยกสูงสุดของราง (mm.)

$V$ = ความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ (Km/hr)

$R$ = รัศมีโค้ง (m.)

คำนวณหาน้ำหนักลากจูงของขบวนรถ จากสูตร

$$T_L = \frac{(T_E - (W_L(R_L + R_G + R_C)))}{\begin{Bmatrix} R_{PC} \\ R_{FC} \end{Bmatrix} + R_G + R_C}$$

เมื่อ $T_L$ = น้ำหนักลากจูง (Trailing Load) (tons)

$R_L$ = ความต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ขบวนรถเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่างๆ (Locomotive Rolling Resistance) (Kg/ton)

$$= 2.5 + 0.0004v^2 + 0.003v^2(\frac{A_F}{W_L})$$

$R_{PC}$ = ความต้านทานที่เกิดขึ้นเมื่อขบวนรถเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่าง ๆ โดยที่ขบวนรถเป็นประเภทรถโดยสาร ( Passenger Car Rolling Resistance) (Kg/ton)

$$= 1.56 + 0.0075v + 0.0003v^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_{FC}$ = ความต้านทานที่เกิดขึ้นเมื่อขบวนรถเคลื่อนที่ ณ ความเร็วต่าง ๆ โดยขบวนรถเป็นประเภท รถเสบียง (Freight Car Rolling Resistance) (Kg/ton)

$= 2.6 + .0003v^2$

$R_G$ = ความต้านทานในการขึ้นทางลาดชัน (Gradient Resistance) (Kg/ton)

$R_C$ = ความต้านทานของโค้ง (Curve Resistance) (Kg/ton)
(การรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดให้ $R_C = 1$ Kg/ton ตลอดเส้นทาง)

$T_E$ = แรงฉุดลากที่เกิดที่ล้อกำลัง (Track in Effort) (Kg)

$W_L$ = น้ำหนักของหัวรถจักร (tons)

เมื่อต้องการคำนวณหาจำนวนโบกี้ (ประเภทรถโดยสาร,รถเสบียง) ที่หัวรถจักรฉุดลาก ณ ความเร็วใด ๆ ขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. เมื่อทราบว่าเส้นทางที่ขบวนรถนั้นแล่นผ่าน มีความลาดชันมากสุดเท่าใด นั่นคือทำให้เรารู้ค่า $R_G$ (Gradient Resistance) สาเหตุที่ต้องนำความลาดชันที่มากที่สุดมาคำนวณหาน้ำหนักฉุดลาก (Trailing Load) เพราะการที่จะหาจำนวนโบกี้ ที่หัวรถจักรสามารถฉุดลากได้นั้นต้องคำนึงถึงกรณีที่ขบวนรถขึ้นทางลาดชัน แล้วสามารถฉุดลากจำนวนโบกี้นั้นๆได้อย่างปลอดภัย
2. เมื่อทราบเส้นทางที่ผ่าน และกำหนดความกว้างของรางแล้วจะสามารถคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ จากสูตรทั้ง 2 ดังนี้

$$\frac{h}{L} = \frac{90}{1{,}000}$$

$$h = \frac{5.5587(V+5)^2}{R}$$

3. ระบุความเร็วที่ต้องการ โดยความเร็วต้องไม่เกินความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ก็จะสามารถหาค่า
   - $R_L$
   - $R_{PC}$
   - $R_{FC}$
   - $T_E$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

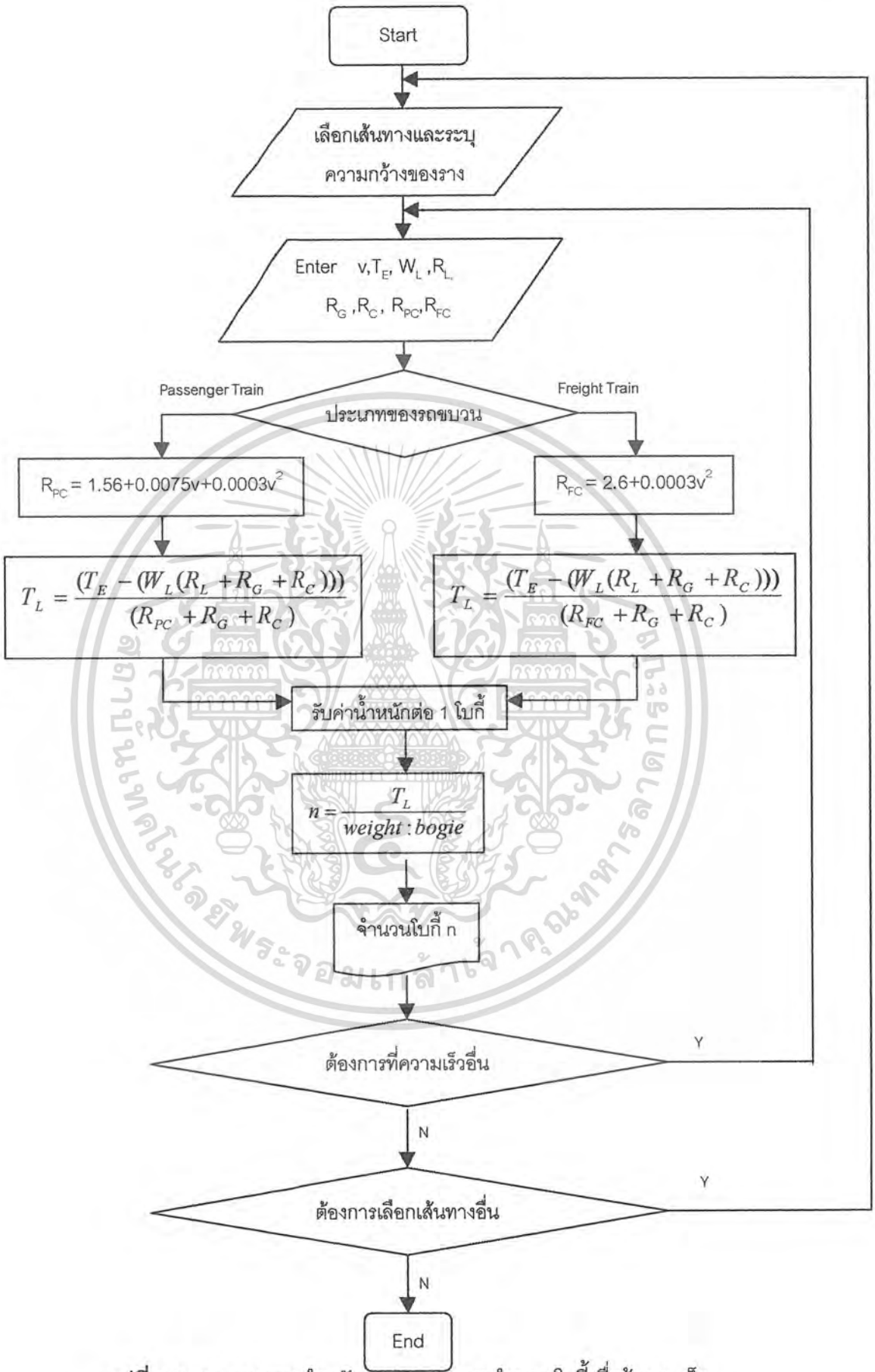
4. เมื่อทราบค่าต่างๆครบแล้ว ก็จะสามารถหาน้ำหนักลากจูง $T_L$ ได้จากสูตร

$$T_L = \frac{(T_E - (W_L(R_L + R_G + R_C)))}{\begin{Bmatrix} R_{PC} \\ R_{FC} \end{Bmatrix} + R_G + R_C}$$

5. เมื่อคำนวณหา $T_L$ เรียบร้อยแล้ว นั่นก็หมายความว่า หัวรถจักรนี้ สามารถลากจูงขบวนรถ (โบกี้) ได้เท่ากับค่า $T_L$ (tons)
6. เมื่อต้องการทราบจำนวนโบกี้ที่หัวรถจักรสามารถฉุดลากได้ ต้องทราบก่อนว่า น้ำหนักต่อ 1 โบกี้ ของรถโดยสาร,รถเสบียง เป็นเท่าไร ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนของโบกี้ได้จาก

จำนวนโบกี้ = ($T_L$ /น้ำหนักต่อ1โบกี้) (หน่วยเป็น คัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.2** Flow Chart สำหรับการคำนวณหาจำนวนโบกี้เมื่อรู้ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Track in Effort ($T_E$) กับ Speed (V)

| V<br>Km/hr | $T_E$<br>Kg |
|---|---|
| 0 | 23513 |
| 5 | 23513 |
| 10 | 23513 |
| 15 | 23513 |
| 20 | 23513 |
| 25 | 17575 |
| 30 | 14250 |
| 35 | 12398 |
| 40 | 10925 |
| 45 | 9833 |
| 50 | 8835 |
| 55 | 8123 |
| 60 | 7458 |
| 65 | 6935 |
| 70 | 6508 |
| 75 | 6128 |
| 80 | 5748 |
| 85 | 5415 |
| 90 | 5083 |

$T_E$ = Track in Effort (Kg)

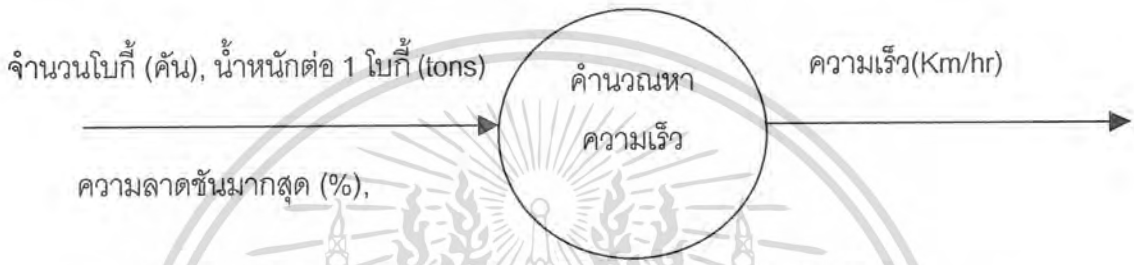
V = Speed (Km/hr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 คำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถไฟสามารถแล่นได้ เมื่อกำหนดจำนวนโบกี้

ข้อจำกัด

- TYPE OF LOCOMOTIVE (ALSTHOM)
- LOCOMOTIVE WEIGHT ($W_L$) =86.5 tons
- MAX RPM 1420 POWER 95%
- ADHESIVE EFFECTIVE ($\mu$) =30%




**รูปที่** 3.2 Data Flow Diagram แสดงการคำนวณหาความเร็ว

ขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. เมื่อทราบน้ำหนักต่อ 1 โบกี้ และทราบจำนวนโบกี้แล้ว ดังนั้น
   น้ำหนักทั้งขบวนรถที่หัวรถจักรต้องลากจูง = น้ำหนักต่อ 1 โบกี้ × จำนวนโบกี้ (tons)
2. เมื่อทราบน้ำหนัก ของทั้งขบวนที่หัวรถจักรต้องลากจูง นั่นก็คือ ทราบค่า $T_L$ นั่นเอง
3. จากสูตร $T_L$

$$T_L = \frac{(T_E - (W_L(R_L + R_G + R_C)))}{\begin{Bmatrix} R_{PC} \\ R_{FC} \end{Bmatrix} + R_G + R_C}$$

โดยที่ $T_E, R_L, R_{PC}, R_{FC}$ มีความสัมพันธ์กับค่า v ดังนั้นเมื่อทราบค่า $T_L$ ที่คำนวณได้จากข้อ 2. ก็จะสามารถหาค่า v ออกมาได้ ซึ่งค่า v ที่ออกมานี้เป็นความเร็วสูงสุดที่ขบวนรถสามารถแล่นได้เมื่อกำหนด จำนวนโบกี้ใดๆลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

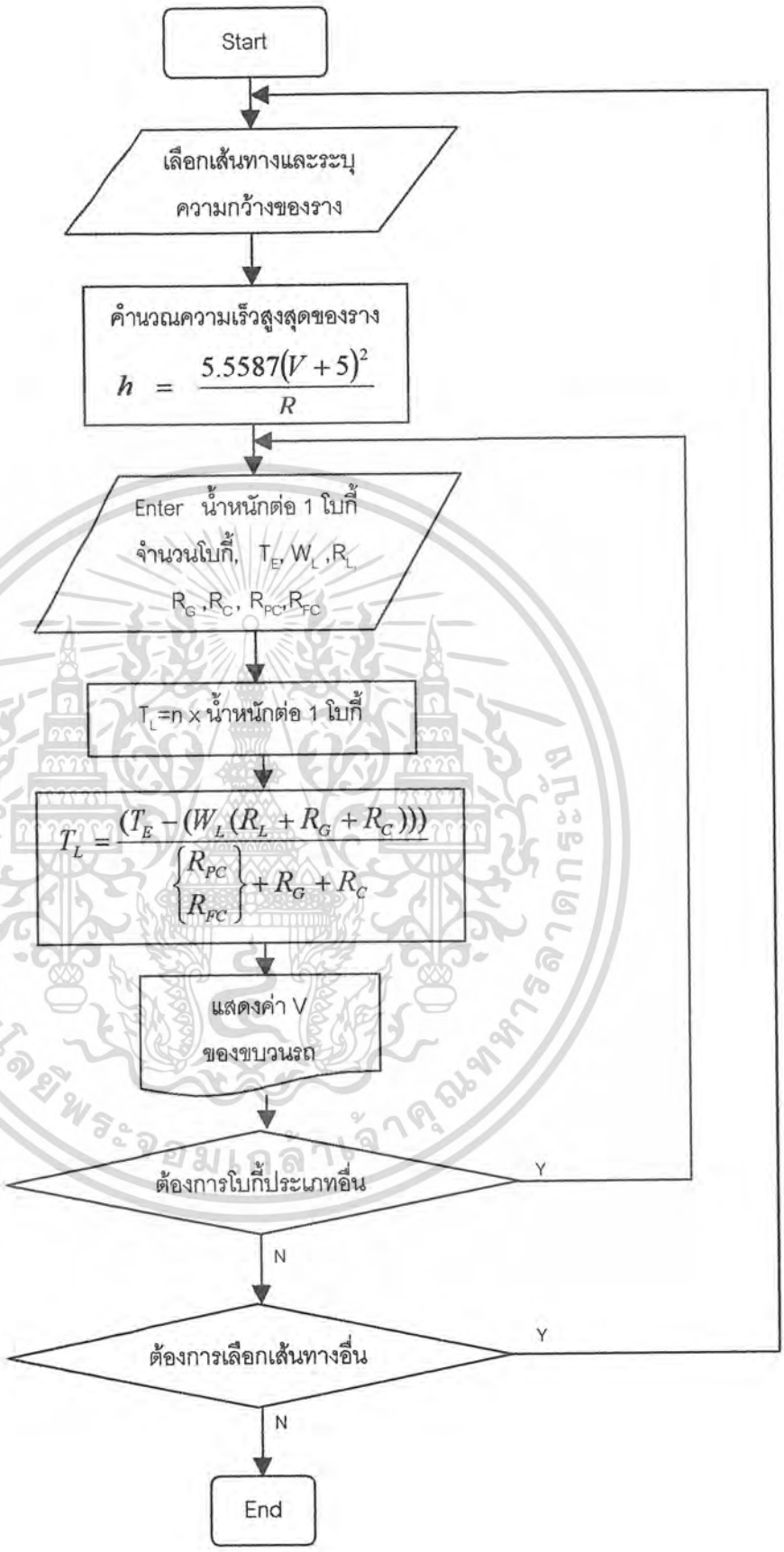
4. คำนวณความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ จากสูตร

$$\frac{h}{L} = \frac{90}{1{,}000}$$

$$h = \frac{5.5587(V+5)^2}{R}$$

5. เปรียบเทียบค่าความเร็วสูงสุดที่ได้จากความสามารถของรางและความเร็วสูงสุดที่ได้จากกำลังของหัวรถจักร เลือกค่าที่น้อยกว่ามาเป็นความเร็วสูงสุดของขบวนรถที่แล่นได้โดยปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.4** Flow Chart สำหรับการคำนวณหาความเร็วเมื่อทราบจำนวนโบกี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Trailing Load ($T_L$) กับ Track in Effort ($T_E$)

| $T_L$ | | | | | | | $T_E$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | Kg |
| 2853 | 1722 | 1220 | 936 | 753 | 626 | 532 | 23513 |
| 8909 | 2995 | 1773 | 1245 | 950 | 762 | 632 | 23513 |
| 8708 | 2971 | 1764 | 1240 | 947 | 761 | 631 | 23513 |
| 8468 | 2942 | 1753 | 1235 | 944 | 758 | 629 | 23513 |
| 8191 | 2906 | 1740 | 1228 | 940 | 755 | 627 | 23513 |
| 5878 | 2119 | 1267 | 889 | 677 | 540 | 445 | 17575 |
| 4555 | 1674 | 1000 | 699 | 528 | 419 | 342 | 14250 |
| 3778 | 1419 | 848 | 591 | 445 | 351 | 285 | 12398 |
| 3164 | 1215 | 727 | 505 | 379 | 297 | 239 | 10925 |
| 2699 | 1061 | 636 | 441 | 329 | 257 | 205 | 9833 |
| 2292 | 923 | 554 | 383 | 283 | 219 | 174 | 8835 |
| 1988 | 820 | 494 | 340 | 251 | 192 | 151 | 8123 |
| 1719 | 726 | 438 | 300 | 220 | 167 | 130 | 7458 |
| 1503 | 650 | 393 | 269 | 196 | 147 | 113 | 6935 |
| 1325 | 586 | 355 | 242 | 175 | 131 | 100 | 6508 |
| 1171 | 530 | 322 | 219 | 157 | 116 | 87 | 6128 |
| 1028 | 475 | 289 | 196 | 139 | 102 | 75 | 5748 |
| 906 | 427 | 260 | 175 | 123 | 89 | 64 | 5415 |
| 794 | 381 | 232 | 155 | 108 | 76 | 53 | 5083 |

V = Speed (Km/hr)

$T_L$ = Trailing Load (tons)

$T_E$ = Track in Effort (Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การพัฒนาโปรแกรม

จากการศึกษาค้นคว้าโครงร่างปัญหาพิเศษเรื่องการจำลองขนาดรางและโบกี้รถไฟเพื่อหาความเร็วสูงสุด จากเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ ซึ่งได้นำเสนอในรูปแบบฐานข้อมูล พร้อมทั้งเป็นโปรแกรมที่แสดงรูปแบบจำลองต่างๆ ของรถไฟ สำหรับผู้ที่มีความสนใจสามารถใช้โปรแกรมนี้คำนวณได้ เนื่องจากว่าคณะผู้จัดทำได้สร้างเป็นหน้าจอการคำนวณที่มีรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน

โครงงานนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากหลายฝ่ายทั้งที่เป็นเอกสารอ้างอิง ข้อมูลการค้นคว้าจากอินเตอร์เน็ต และการสัมภาษณ์จากคณะวิศวกรฝ่ายต่างๆ ของการรถไฟแห่งประเทศไทย แต่กระนั้นการศึกษาโครงงานนี้ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่จำกัด และเนื่องจากข้อมูลเป็นไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ อาจทำให้เกิดปัญหาและข้อผิดพลาดบางประการได้

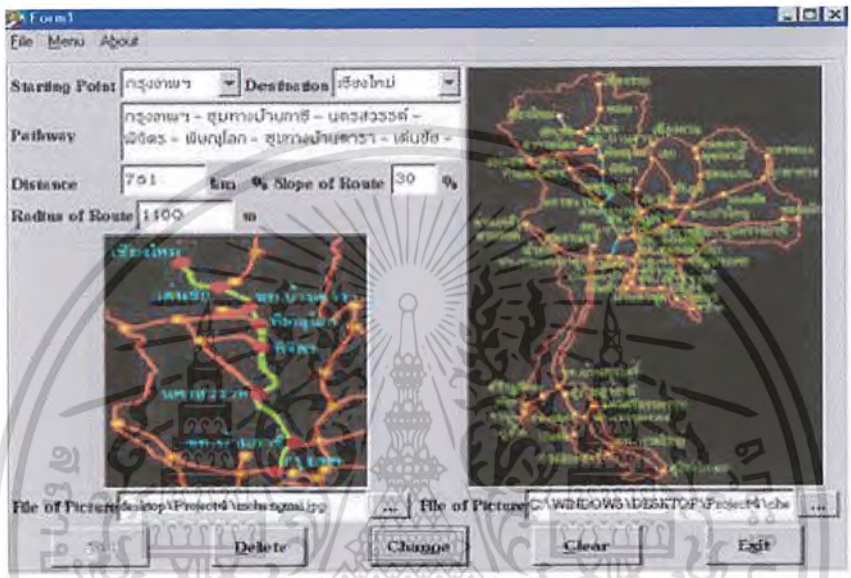
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

เมื่อทำการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม จะต้องทำการเลือกเมนูการทำงานจากเมนูบาร์ ได้แก่ เมนู File , Menu หรือ About เมนูใดเมนูหนึ่ง

ในที่นี้จะเริ่มต้นกล่าวถึงเมนู File เป็นลำดับแรก เมื่อทำการคลิกเลือกเมนู File จะปรากฏเมนูย่อย 5 เมนู ได้แก่ เมนูย่อย Map , Rail , Locomotive , Bogie และ Exit

4.1.1 เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูย่อย Map โปรแกรมจะแสดงหน้าจอการทำงาน ดังรูป 4.1



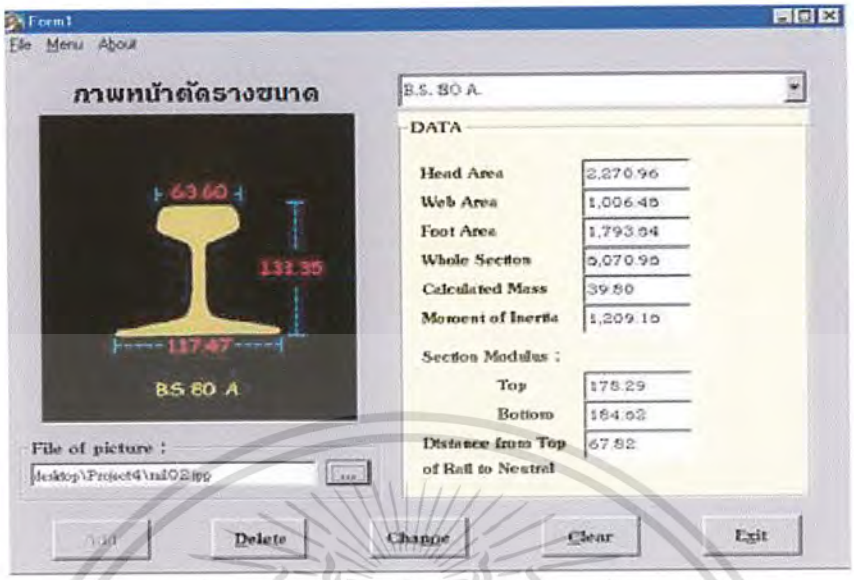

**รูปที่4.1 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับเส้นทาง**

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Map มีดังนี้

1. ทำการระบุสถานีต้นทาง และสถานีปลายทางเพื่อเลือกเส้นทาง
2. โปรแกรมจะทำการสืบค้นฐานข้อมูลจากสถานีต้นทางและปลายทางที่ระบุไว้ในข้อ 1 ถ้าพบเส้นทางดังกล่าวในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดอื่นๆ ของเส้นทางนั้นๆ ถ้าไม่พบข้ามไปทำข้อ 4
3. สามารถคลิกปุ่ม Delete เพื่อทำการยกเลิกเส้นทางนี้ออกจากฐานข้อมูล หรือคลิกปุ่ม Change เพื่อทำการปรับปรุงรายละเอียดของเส้นทางนี้ในฐานข้อมูล
4. ทำการใส่รายละเอียดต่างๆ ของเส้นทางนั้นให้ครบ เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล แล้วคลิกปุ่ม Add เพื่อทำการเพิ่มเส้นทางนี้ในฐานข้อมูล
5. คลิกปุ่ม Clear เมื่อต้องการสืบค้นเส้นทางอื่น
6. คลิกปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูย่อย Rail โปรแกรมจะแสดงหน้าจอการทำงาน ดังรูป 4.2



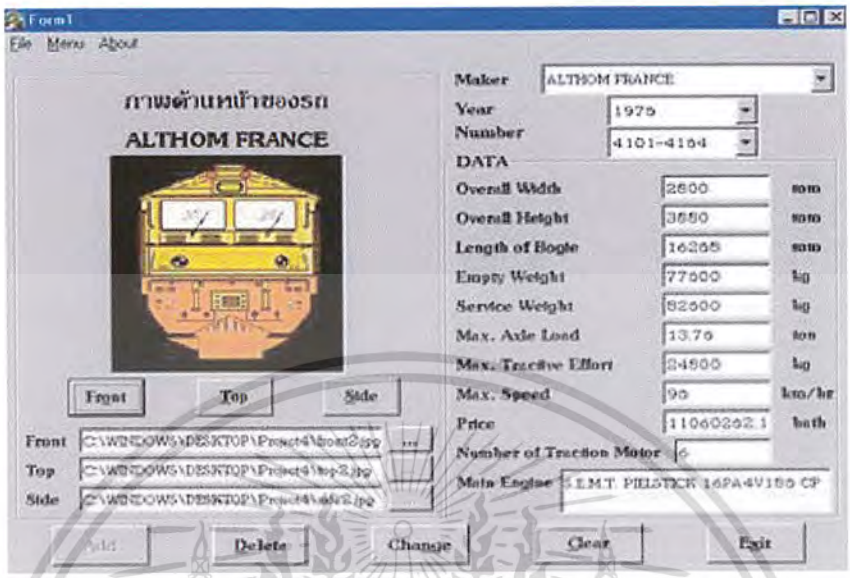

**รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับราง**

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Rail มีดังนี้

1. ทำการระบุขนาดราง
2. โปรแกรมจะทำการสืบค้นฐานข้อมูลจากขนาดของรางที่ระบุไว้ในข้อ 1 ถ้าพบรางขนาดดังกล่าวในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดอื่นๆ ของรางนั้นๆ ถ้าไม่พบข้ามไปทำข้อ 4
3. สามารถคลิกปุ่ม Delete เพื่อทำการยกเลิกรางขนาดที่ระบุออกจากฐานข้อมูล หรือคลิกปุ่ม Change เพื่อทำการปรับปรุงรายละเอียดของรางขนาดที่ระบุในฐานข้อมูล
4. ทำการใส่รายละเอียดต่างๆ ของรางขนาดที่ระบุ ให้ครบ เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล แล้วคลิกปุ่ม Add เพื่อทำการเพิ่มขนาดรางนั้นๆ ในฐานข้อมูล
5. คลิกปุ่ม Clear เมื่อต้องการสืบค้นรางขนาดอื่นๆ
6. คลิกปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูย่อย Locomotive โปรแกรมจะแสดงหน้าจอการทำงาน ดังรูป 4.3




**รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับหัวรถจักร**

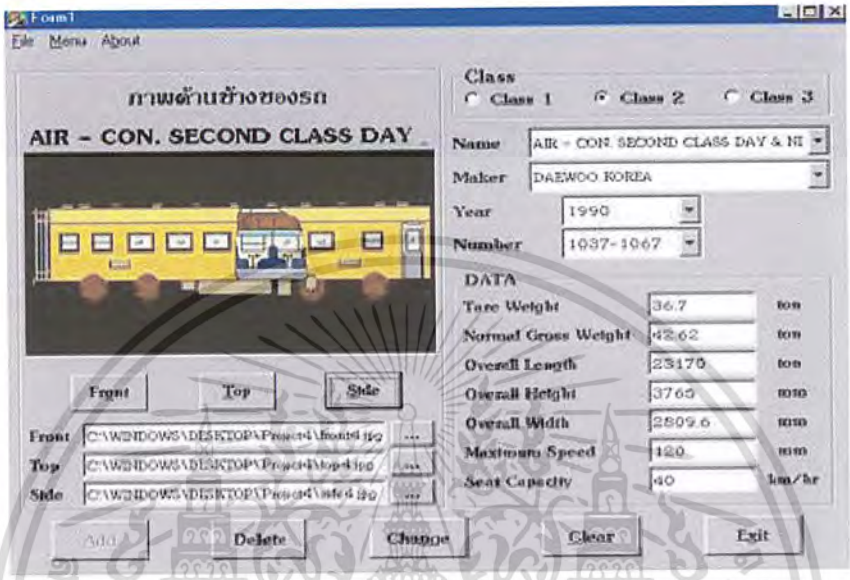
รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Locomotive มีดังนี้

1. ทำการระบุชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต , ปีที่เริ่มใช้และหมายเลขรถของหัวรถจักร
2. โปรแกรมจะทำการสืบค้นฐานข้อมูลจากชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต, ปีที่เริ่มใช้ และ หมายเลขรถที่ระบุไว้ในข้อ 1 ถ้าพบในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดอื่นๆ ของหัวรถจักรนั้นๆ ถ้าไม่พบข้ามไปทำข้อ 4
3. สามารถคลิกปุ่ม Delete เพื่อทำการยกเลิกหัวรถจักรที่ระบุออกจากฐานข้อมูล หรือคลิกปุ่ม Change เพื่อทำการปรับปรุงรายละเอียดของหัวรถจักรที่ระบุในฐานข้อมูล
4. ทำการใส่รายละเอียดต่างๆ ของหัวรถจักรที่ระบุ ให้ครบ เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล แล้วคลิกปุ่ม Add เพื่อทำการเพิ่มหัวรถจักรนั้นๆ ในฐานข้อมูล
5. คลิกปุ่ม Clear เมื่อต้องการสืบค้นหัวรถจักรอื่นๆ
6. คลิกปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูย่อย Bogie แล้ว จะต้องเลือกระหว่าง Passenger และ Freight

4.1.4.1 เมื่อเลือกคลิก Passenger แล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอการทำงานดังรูป 4.4



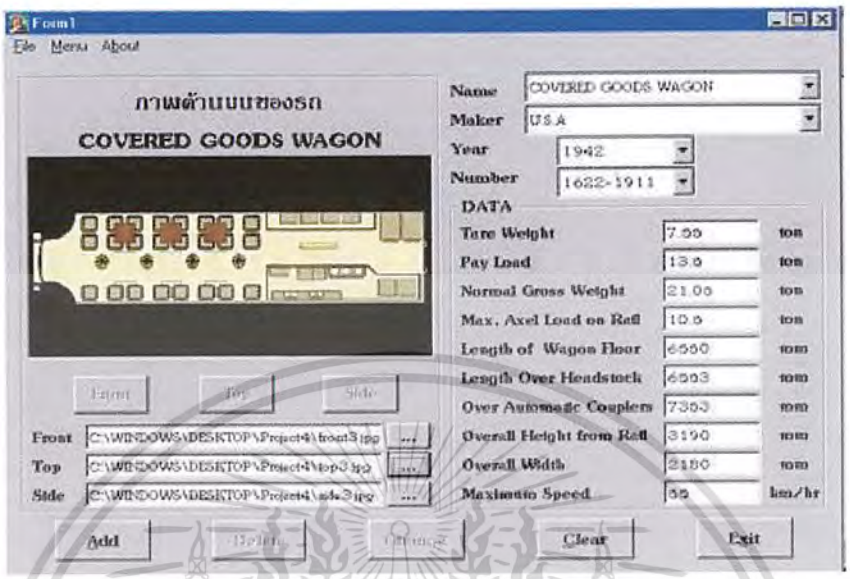

**รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับรถโดยสาร (Passenger Train)**

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Passenger มีดังนี้

1. ทำการระบุชั้น , ชื่อโบกี้โดยสาร , ชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต , ปีที่เริ่มใช้และหมายเลขโบกี้ของโบกี้โดยสาร
2. โปรแกรมจะทำการสืบค้นฐานข้อมูลจากชั้น , ชื่อโบกี้โดยสาร , ชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต, ปีที่เริ่มใช้ หมายเลขโบกี้ของโบกี้โดยสาร ที่ระบุไว้ในข้อ 1 ถ้าพบในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดอื่นๆ ของโบกี้โดยสารนั้นๆ ถ้าไม่พบข้ามไปทำข้อ 4
3. สามารถคลิกปุ่ม Delete เพื่อทำการยกเลิกโบกี้โดยสารที่ระบุออกจากฐานข้อมูล หรือคลิกปุ่ม Change เพื่อทำการปรับปรุงรายละเอียดของโบกี้โดยสารที่ระบุในฐานข้อมูล
4. ทำการใส่รายละเอียดต่างๆ ของโบกี้โดยสารที่ระบุให้ครบ เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล แล้วคลิกปุ่ม Add เพื่อทำการเพิ่มโบกี้โดยสารนั้นๆ ในฐานข้อมูล
5. คลิกปุ่ม Clear เมื่อต้องการสืบค้นโบกี้โดยสารอื่นๆ
6. คลิกปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 เมื่อเลือกคลิก Freight แล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอการทำงานดังรูป 4.5




**รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับรถเสบียง** (Freight Train)

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Frieght มีดังนี้

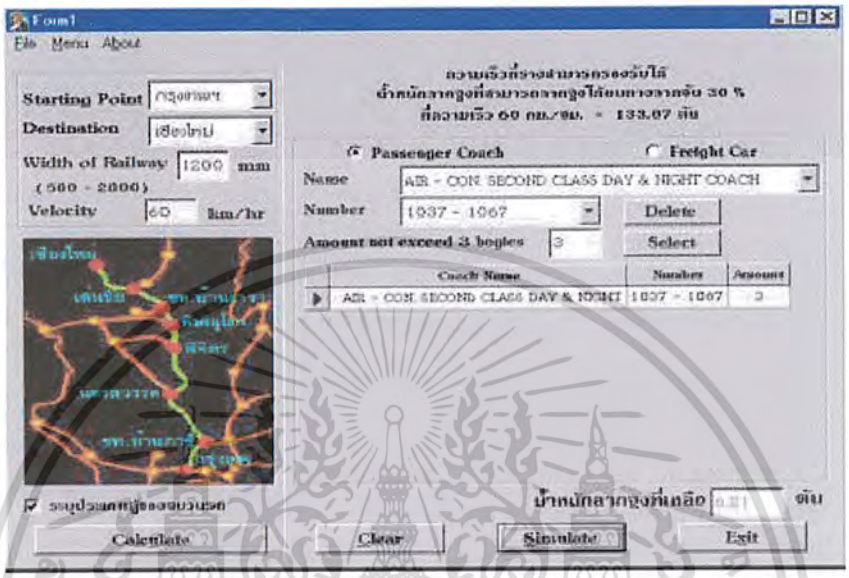
1. ทำการระบุชื่อโบกี้เสบียง , ชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต , ปีที่เริ่มใช้และหมายเลขโบกี้ของโบกี้เสบียง
2. โปรแกรมจะทำการสืบค้นฐานข้อมูลจากชื่อโบกี้โบกี้เสบียง , ชื่อบริษัทหรือประเทศของผู้ผลิต, ปีที่เริ่มใช้ และหมายเลขโบกี้ของโบกี้เสบียงที่ระบุไว้ในข้อ 1 ถ้าพบในฐานข้อมูล โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดอื่นๆ ของโบกี้เสบียงนั้นๆ ถ้าไม่พบข้ามไปทำข้อ 4
3. สามารถคลิกปุ่ม Delete เพื่อทำการยกเลิกโบกี้เสบียงที่ระบุออกจากฐานข้อมูล หรือคลิกปุ่ม Change เพื่อทำการปรับปรุงรายละเอียดของโบกี้เสบียงที่ระบุในฐานข้อมูล
4. ทำการใส่รายละเอียดต่างๆ ของโบกี้เสบียงที่ระบุให้ครบ เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล แล้วคลิกปุ่ม Add เพื่อทำการเพิ่มโบกี้เสบียงนั้นๆ ในฐานข้อมูล
5. คลิกปุ่ม Clear เมื่อต้องการสืบค้นโบกี้เสบียงอื่นๆ
6. คลิกปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูย่อย Exit แล้ว โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงาน

ในลำดับต่อไปจะกล่าวถึงเมนู Menu เมื่อทำการคลิกเลือกเมนู Menu จะปรากฏเมนูย่อย 2 เมนู ได้แก่ เมนูย่อย Weight และ Velocity

เมื่อเลือกคลิก Weight แล้วจะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.6



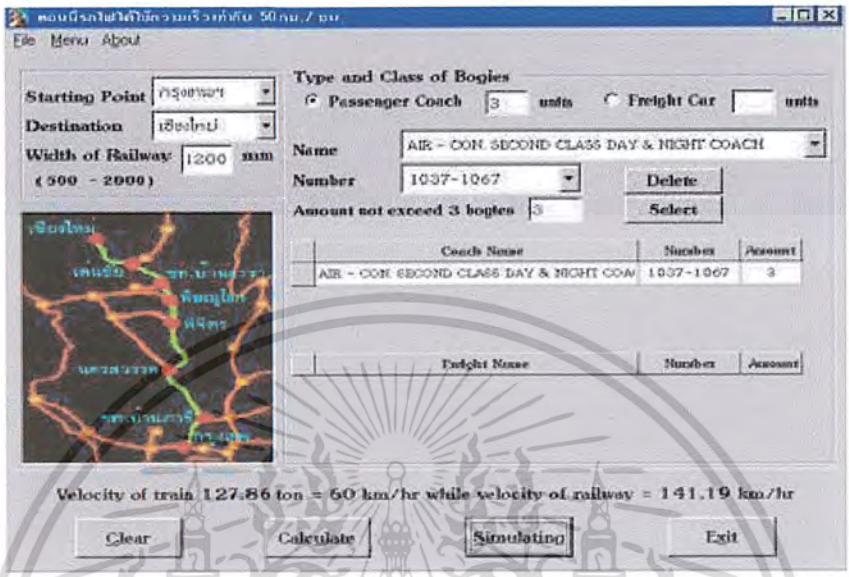

**รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับการคำนวณหาจำนวนโบกี้**

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Weight มีดังนี้

1. ระบุเส้นทาง , ขนาดความกว้างของราง และความเร็วที่ต้องการ
2. คลิกปุ่ม Calculate โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักลากจูงที่สามารถลากจูงได้ตามความเร็วที่กำหนด
3. ถ้าไม่เลือก "ระบุประเภทตู้ของขบวนรถ" โปรแกรมจะแสดงน้ำหนักลากจูงทั้งหมดที่หัวรถจักรสามารถลากจูงได้ และสิ้นสุดการคำนวณ
4. ถ้าเลือก "ระบุประเภทตู้ของขบวนรถ" เพื่อกำหนดจำนวนโบกี้ของขบวนรถ ซึ่งจะต้องมีค่าน้ำหนักรวมทั้งหมดไม่เกิน น้ำหนักลากจูงที่ขบวนรถสามารถลากจูงได้
5. นำค่าจำนวนโบกี้ที่ได้จากข้อ 4 มาแสดงภาพจำลอง โดยการคลิกปุ่ม Simulate
6. จบการคำนวณ
7. คลิกปุ่ม Clear เพื่อทำการคำนวณครั้งต่อไป
8. คลิกปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเลือกคลิก Velocity แล้วจะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.7




**รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอการทำงานที่เกี่ยวกับการคำนวณหาความเร็ว**

รายละเอียดการทำงานของเมนูย่อย Velocity มีดังนี้

1. ระบุเส้นทาง , ขนาดความกว้างของราง , กำหนดจำนวนโบกี้ตามประเภทของโบกี้โดยระบุชื่อและหมายเลขโบกี้ จะแสดงการเลือกผ่านตาราง
2. คลิกปุ่ม Calculate โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความเร็วสูงสุดซึ่งแปรตามกำลังของหัวรถจักรและขนาดความกว้างของรางที่สามารถน้ำหนักลากจูงน้ำหนักที่ต้องการได้อย่างปลอดภัย
3. นำค่าความเร็วที่ได้จากข้อ 2 มาแสดงภาพจำลอง โดยการคลิกปุ่ม Simulate
4. จบการคำนวณ
5. คลิกปุ่ม Clear เพื่อทำการคำนวณครั้งต่อไป
6. คลิกปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของขบวนรถที่ได้จากโปรแกรม

จากการทำงานใน 4.1 สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของขบวนรถ ได้ดังรูปที่ 4.8

**รูปที่ 4.8 แสดงภาพเคลื่อนไหวของขบวนรถ**

เมื่อทำการคลิกปุ่ม Close โปรแกรมจะสิ้นสุดการจำลองการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับโครงสร้างปัญหาพิเศษ การจำลองขนาดของรางและโบกี้รถไฟ เพื่อหาความเร็วสูงสุด เนื่องจากหัวใจหลักของปัญหาพิเศษเรื่องนี้ อยู่ตรงที่การคำนวณ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีใหญ่ๆ คือ กรณีแรกเป็นการคำนวณหาจำนวนโบกี้ ในกรณีที่ขบวนรถแล่น ณ. ความเร็วใดความเร็วหนึ่ง ส่วนกรณีที่สองเป็นการคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถไฟสามารถแล่นได้ เมื่อกำหนดจำนวนโบกี้ ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีรายละเอียดดังนี้

กรณีแรกต้องการคำนวณหาจำนวนโบกี้ โดยกำหนดความเร็วที่ต้องการเข้าไป แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการที่รถไฟจะวิ่งไปบนรางได้โดยปลอดภัย จะมีปัจจัยอยู่อย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ ต้องเป็นความเร็วที่รางสามารถรองรับได้ ดังนั้นก่อนอื่นเราต้องคำนวณความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ จากนั้นถึงจะมาคำนวณความเร็วเนื่องจากหัวรถจักรและขบวนรถ เมื่อเราได้ความเร็วมา 2 ค่า จะต้องพิจารณาว่าความเร็วตัวใดที่น้อยกว่า เอาตัวนั้นมาเป็นคำตอบ สาเหตุก็ดังกล่าวมาแล้ว คือ ต้องเป็นความเร็วที่รางสามารถรองรับได้ จึงจะทำให้ขบวนรถไฟที่แล่นมีความปลอดภัย

จากผลการทดลองกรณีแรก พบว่า

**น้ำหนักที่ลากจูงได้ จะแปรผกผันกับความเร็ว ซึ่งความเร็วจะแปรผันตามกับขนาดความกว้างของรางและกำลังของหัวรถจักร**

กรณีที่สอง ต้องการคำนวณหาความเร็วสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนโบกี้,ชนิดของขบวนรถ ซึ่งในกรณีนี้ก่อนอื่นต้องคำนวณหาน้ำหนักฉุดลากก่อน จากนั้นถึงจะคำนวณหาความเร็วสูงสุดได้ เพราะน้ำหนักฉุดลากมีความสัมพันธ์กับความเร็ว ดังสมการในบทที่3 แต่ทั้งนี้ความเร็วที่คำนวณออกมาได้ จะเป็นความเร็วเนื่องจากหัวรถจักรและขบวนรถ เพราะฉะนั้นจึงต้องคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รางสามารถรองรับได้ แล้วถึงจะนำมาเปรียบเทียบเอาค่าที่น้อยกว่า จึงจะทำให้ขบวนรถไฟที่แล่นมีความปลอดภัย

จากผลการทดลองกรณีที่สอง พบว่า

**ความเร็วที่คำนวณได้จะแปรผกผันกับน้ำหนักที่ลากจูง**

**ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องนี้ได้พบปัญหาบางประการดังนี้**

1. ในการหาค่า Track in effort ($T_E$) เนื่องจาก Track in effort มีความสัมพันธ์กับความเร็ว แต่จากการค้นคว้าพบว่า การรถไฟแห่งประเทศไทย ใช้เป็นกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Track in effort กับความเร็ว ดังนั้นค่าต่างๆ ที่คำนวณออกมานั้น อาจจะผิดพลาดไปจากความเป็นจริงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการใส่ค่าจำนวนโบกี้ในกรณีที่สองนั้น พบว่าจำนวนโบกี้ที่ใส่เข้าไปยังคงจำกัดแค่ 20 โบกี้ ซึ่งทำให้โปรแกรมนั้นมีข้อจำกัดเกินไป
3. ในการแสดงภาพเคลื่อนไหวนั้น ภาพที่แสดงยังคงมีการกระตุกอยู่อันเนื่องมาจากขนาดของภาพที่ใช้แสดงนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป

**ข้อเสนอแนะต่าง ๆ สำหรับผู้ที่สนใจดังนี้**

1. ผู้ศึกษาหรือผู้สนใจควรจะทำความเข้าใจเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่อช่วยให้เข้าใจในการคำนวณยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากข้อมูลบางส่วนของปัญหาพิเศษเรื่องนี้เป็นรูปภาพและตารางซึ่งใช้หน่วยความจำมากเพราะฉะนั้นจึงควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดการเกิดปัญหาเมื่อทำการจัดเก็บหรือเรียกใช้ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ขนาดความกว้างของรางที่มีใช้อยู่ในการรถไฟทั่วโลก

| IMPERIAL | METRIC | USED IN |
|---|---|---|
| 7ft 0 1/4 in | 2140mm | (UK – Brunei Old Great Western Railway) |
| 6ft 4 3/8 in | 1945mm | Netherlands – Old Dutch State Railway 1839-1855 |
| 6ft | 1829mm | (USA – Old Erie , Oregon , some Southern lines) |
| 5ft 8 1/2 in | 1740mm | (USA – Gulala R , CA) |
| 5ft 6in | 1676mm | India , Pakistan , Bangladesh , Sri Lanka , Spain , Portugal , Argentina (some old US lines) , modern Bart system in San Francisco , Chile |
| 5ft 3in | 1600mm | Australia – V/Line and AN , Ireland , Brazil (Tasmania and New Zealand – in early days) |
| 5ft | 1524mm | (UK – Braithwaite's Eastern Countries Railway) , USSR , Finland , Mongolia , (Manchuria) , (old USA) |
| 4ft 10 7/8 in | 1495mm | Toronto , Canada including the subway |
| 4ft 8 1/2 in Standard Gauge | 1435mm | Standard Gauge. UK , Western Europe , USA , Canada , Mexico , Australia–V/Line , SRA-NSW , AN , Westrail , QR-Interstate , Argentina , Spain , Turkey , Iran , Iraq , Saudi Arabia , Syria , Peru , Uruguay , Paraguay , both Koreas , China , Japan (Chinkansen) , Egypt , Algeria , Morocco , Tunisia , New Zealand (early days) , South Africa (early days) |
| 4ft | 1219mm | (Scotland) Glasgow Underground , (Wales - mines) , Spain |
| 3ft 6in Cape Gauge | 1067mm | Southern Africa: South Africa , Botswana , Zimbabwe , Zambia , Angola, Mozambique , Malawi (formerly Nyasaland) , Tanzania (Tazara link) , Nigeria , Sudan , Ghana , Philippines , Japan-main JR system ,Taiwan , Indonesia , Ecuador , Canada , Sweden , Norway , (UK mine lines) , Australia-Queensland , AN , esp. Tasrail , Westrail , Victoria-Bellarine Peninsula , NSW-Lithgow Zig Zag , (NT-old North Australia and old Ghan Lines) , (India 1865-68) |
| 3ft 5 1/4 in Arabian Gauge | 1050mm | Algeria , Syria ,Lebanon , Jordan , (Saudi Arabia pre-1917) , Dahomey. Known as the Arabian guage. |
| 3ft 3 3/8 in Metre Gauge | 1000mm | India , Pakistan , Bangladesh , Myanmar (formerly Burma) , Malaysia incl. Borneo , Thailand , Cambodia , Vietnam , China (Kunming-Hanoi link) , many secondary lines in Europe , Bolivia , Ecuador , Chile , Argentina , Brazil , East Africa-Kenya , Uganda , Tanganyika , Ethiopia , Malagasy |
| 3ft 1 3/8 in | 950mm | Italy – secondary lines , Libya (closed) , Eritrea |
| 3ft | 914mm | USA – Old narrow gauge systems mainly Colorado , Mexico , Central America , Columbia , Peru , (Ireland) , UK-Isle of Man , (Newfoundland , since closed; White Pass still open) |
| 2ft 11in | 891mm | Sweden |
| 2ft 7 1/2 in | 800mm | Snowdon Mountain Railway (Wales), Pilatus (Switzerland)-both rack railways. |
| 2ft 6in | 762mm | India , Pakistan , Sri Lanka , USA , W. Europe , (Cyprus) , UK-minor lines (mostly closed) , Australia-4 feeder lines in Victoria (only Puffing Billy remains) , Argentina-Rio Turbio , (some British and Indian Military lines pre-1920) , China , Taiwan , Japan |
| 2ft 5 1/2 in | 750mm | Spain , Minor narrow gauge lines in Africa and South America , Argentina (Rio Turbio) |
| 2ft 4in | 712mm | UK |
| 2ft 3in | 686mm | Wales – Talyllyn |
| 2ft and 1ft 11 1/2 in Narrow Gauge | 600mm(nominal) | Wales , India , Pakistan , USA-Maine , Queensland Sugar Cane , Fiji , many other industrial plantation and mining railways throughout the world. (The German , French , Austrian and most British military railway standard pre-1920) |
| 1ft 6in | 457mm | Used on many industrial and works lines |
| 1ft 3in | 381mm | UK (Pioneer agricultural lines in UK-Heywood) , Romney Hythe and Dymchurch , Eskdale , (Australia-proposed for an ACT tourist line) |
| Zero | Zero | (France , Ireland-two Lartigue steam monorails) , W. Germany-Wuppertal , (India-Patiala steam tramway) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SUL. | SUL. | DA.500 | DA.1000 | HI. | HI. | |
| 1 | ABBREVIATION NAME | | SUL. | SUL. | DA.500 | DA.1000 | HI. | HI. | |
| 2 | NUMBER | | 651-654 | 561-563 | 511-540 | 571-583 | 611-615 | 616-630 | |
| | | | | | | | | 611-670 | |
| 3 | MAKER | | SULZER | SULZER | DAVENPORT | DAVENPORT | HITACHI | HITACHI | |
| | | | SWITZERLAND | SWITZERLAND | U.S.A. | U.S.A. | JAPAN | JAPAN | |
| 4 | YEAR IN SERVICE | B.E.(A.D.) | 2490(1947) | 2494(1951) | 2495 (1952) | 2498 (1955) | 2501 (1958) | 2504–2505 | |
| | | | | | | | | (1961-1962) | |
| 5 | WHEEL ARRANGEMENT | | Bo-Bo | A1A-A1A | Bo-Bo | Co-Co | Co-Co | Co-Co | |
| 6 | OVERALL WIDTH | mm | 2792 | 2792 | 2801.15 | 2790.30 | 2795 | 2815 | |
| 7 | OVERALL HEIGHT (ABOVE RAIL LEVEL) | mm | 3815 | 3815 | 3848.1 | 3848.1 | 3784 | 3820 | |
| 8 | LENGTH OVER AUTOMATIC COUPLERS | mm | 12100 | 13600 | 9893.2 | 16954.4 | 14300 | 14300 | |
| 9 | AUTO. COUPLER HEIGHT (ABOVE RAIL) | mm | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | |
| 10 | WHEEL BASE OF ONE BOGI | mm | 2400 | 3000 | 2184.4 | 3886.2 | 3500 | 3500 | |
| | - AXLE SPACE (IN ONE BOGI) | mm | 1200 | 1500,1500 | 1092.2 | 1778,2108 | 1750,1750 | 1750,1750 | |
| 11 | TOTAL WHEEL BASE | mm | 5300 | 10800 | 7112 | 13208 | 11200 | 11200 | |
| 12 | DISTANCE BETWEEN CENTER PIVOTS | mm | 6900 | 7800 | 4927.6 | 10972.8 | 9200 | 9200 | |
| 13 | WHEEL DIAMETER , NEW / WORN | mm | 914/846 | 914/762 | 914/846 | 914/846 | 914/846 | 914/846 | |
| 14 | EMPTY WEIGHT | kg | 43300 | 55000 | 46664 | 77100 | 67250 | 67250 | |
| 15 | SERVICE WEIGHT | kg | 46500 | 59200 | 48124 | 80000 | 72000 | 72000 | |
| 16 | MAX. AXLE LOAD | ton | 11.625 | 11.9 , 7.3 | 12 | 13.33 | 12 | 12 | |
| 17 | MAIN ENGINE & MODEL | | SULZER | SULZER | CATERPILLAR | CATERPILLAR | M.A.N. | M.A.N. | |
| | | | 6LDA25 | 8LDA25 | D.397 | D.397 | W8V22/30m.A.u.L. | W8V22/30m.A.u.L. | |
| | NUMBER OF ENGINE / LOCOMOTIVE | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | NUMBER OF CYLINDER | | 6 | 8 | 12V | 12V | 8 | 8 | |

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SUL. | SUL. | DA.500 | DA.1000 | HI. | HI. | |
| | MAX. OUTPUT @ RPM | hp@rpm | 735@850 | 960@850 | 500@1200 | 2X500@1200 | 1040@1000 | 1040@1000 | |
| | ENGINE OUTPUT , CONTINUOUS AT SITE | hp | 655 | 860 | 400 | 2X400 | 950 | 950 | |
| 18 | TRACTION MOTOR , TYPE | | EM.330 | EM.470 | 928-GK | 973-A | HS-222-Ar. | HS-221-Ar. | |
| 19 | NUMBER OF TRACTION MOTOR / LOCO. | | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | |
| | AXLE GEAR , TYPE | | - | - | - | - | - | - | |
| 20 | GEAR RATIO OF MOTOR & AXLE (AXLE GEAR) | | 14 : 85 | 13 : 72 | 13 : 72 | 17 : 70 | 14 : 77 | 15 : 76 | |
| 21 | MAIN GENERATOR OR ALTERNATOR , TYPE | | 8B 916 | 8B 950 | WESTINGHOUSE | WESTINGHOUSE | HI-503-AR. | HI-503-AR. | |
| | | | | | 1604-C | 1604-C | | | |
| 22 | NUMBER OF UNIT / LOCO. | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| 23 | MAX. TRACTIVE EFFORT AT WHEEL RIM , | kg | 10000 | 14000 | 14770 | 24000 | 21600 | 21600 | |
| | @ ADHESION WEIGHT | % | 21.5 | 23.6 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 24 | MIN. CONTINOUS TRACTIVE EFFORT | kg @ | 4600 | 8000 | 5700 | 11370 | 14580 | 13140 | |
| | | km/hr | 27.5 | 22 | 16 | 16 | 11.74 | 12.76 | |
| 25 | MAX. SPEED | km / hr | 65 | 65 | 82 | 92 | 70 | 70 | |
| 26 | BRAKING | | VACUUM BRAKE | VACUUM BRAKE | AIR & VACUUM | AIR & VACUUM | AIR & VACUUM | AIR & VACUUM | |
| | | | | | BRAKE | BRAKE | BRAKE | BRAKE | |
| 27 | CAPACITY OF FUEL TANK | l / car | 2100 | 2700 | 1590 | 3300 | 3300 | 3300 | |
| 28 | CAPACITY OF LUBRICATING OIL/ ENGINE | l | 280 | 420 | 136 | 136 | 230 | 230 | |
| 29 | CAPACITY OF HYDRAULIC OIL/ ENGINE | l | - | - | - | - | - | - | |
| 30 | CAPACITY OF SAND BOX | l / car | - | - | 240 | 360 | 420 | 420 | |
| 31 | CAPACITY OF COOLING WATER / ENGINE | l | 760 | 940 | 500 | 500 | 800 | 800 | |
| 32 | CAPACITY OF AIR COMPRESSOR | l / min | - | - | 1925 CFM. | 2X1925 CFM. | 1026 | 1026 | |
| | | @rpm | | | 1200 | 1200 | 430 | 430 | |
| 33 | NUMBER OF BATTERY CELL & CAPACITY | ; ah | 90;150 | 90;200 | 48;220 | 48;220 | 78;220 | 78;220 | |
| 34 | TOTAL BATTERY VOLTAGE | V | 125-150 | 126-150 | 67-75 | 67-75 | 109-133 | 94-110 | |

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SUL. | SUL. | DA.500 | DA.1000 | HI. | HI. | |
| 35 | NUMBER OF LOCO. OR DRC. ON BOOK | (Set) | 4 | 3 | 30 | 15 | 5 | 25 | |
| | (EXISTING LOCO.) | | (0) | (0) | (24) | (8) | (0) | (4) | |
| 36 | MIN. CURVE RADIUS NEGOTIABLE | m | - | - | - | 147.2 | 160 | 160 | |
| 37 | DIAGRAM NUMBER | | D.7/1 | D.6/1 | D.4/1 | D.10/1 | D.11/2 | D.12/1 | |
| 38 | TOTAL WEIGHT OF PASSENGER ton | | - | - | - | - | - | - | |
| 39 | SEATING PASSENGERS | | - | - | - | - | - | - | |
| 40 | STANDING PASSENGERS | | - | - | - | - | - | - | |
| 41 | PRICE | bath/loco./set | 4,080,000.00 | 1,386,582.94 | 1,164,816.56 | 2,229,377.37 | 2,736,747.45 | 2,736,747.45 | |

| NO | DESCRIPTION | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | GE. | ALS. | AHK. | ALD. | ADD. | HID. | GEA. |
| 1 | ABBREVIATION NAME | GE. | ALS. | AHK. | ALD. | ADD. | HID. | GEA. |
| 2 | NUMBER | 4001-4050 | 4101-4154 | 4201-4230 | 4301-4309 | 4401-4420 | 4501-4522 | 4523-4560 |
| 3 | MAKER | GENERAL | ALSTHOM | ALSTHOM | ALSTHOM | ALSTHOM | HITACHI | GENERAL |
| | | ELECTRIC | FRANCE | HEN. GER. | ATLANTIQUE | ATLANTIQUE | JAPAN | ELECTRIC |
| | | U.S.A | | KRUPP GER. | FRANCE | FRANCE | | U.S.A. |
| 4 | YEAR IN SERVICE B.E.(A.D.) | 2507-2509 | 2518 (1975) | 2523 (1980) | 2526 (1983) | 2528 (1985) | 2536 (1993) | 2538 (1995) |
| | | (1964-1966) | | | | | | |
| 5 | WHEEL ARRANGEMENT | Co-Co | Co-Co | Co-Co | Co-Co | Co-Co | Co-Co | Co-Co |
| 6 | OVERALL WIDTH mm | 2794 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2780 | 2820 |
| 7 | OVERALL HEIGHT (ABOVE RAIL LEVEL) mm | 3753 | 3880 | 3880 | 3880 | 3880 | 3870 | 3635 |
| 8 | LENGTH OVER AUTOMATIC COUPLERS mm | 16288 | 16258 | 16258 | 16258 | 16258 | 19900 | 19355 |
| 9 | AUTO. COUPLER HEIGHT (ABOVE RAIL) mm | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 |
| 10 | WHEEL BASE OF ONE BOGI mm | 3714 | 3300 | 3300 | 3300 | 3300 | 3700 | 3600 |
| | - AXLE SPACE (IN ONE BOGI) mm | 1803 , 1911 | 1650 , 1650 | 1650 , 1650 | 1650 , 1650 | 1650 , 1650 | 1850 , 1850 | 1800 , 1800 |
| 11 | TOTAL WHEEL BASE mm | 11932 | 12370 | 12370 | 12370 | 12370 | 15900 | 15500 |
| 12 | DISTANCE BETWEEN CENTER PIVOTS mm | 8326 | 10410 | 10410 | 10410 | 10410 | 13470 | 12700 |
| 13 | WHEEL DIAMETER , NEW / WORN mm | 914 / 846 | 914 / 844 | 914 / 844 | 914 / 844 | 914 / 844 | 914 / 844 | 914 / 844 |
| 14 | EMPTY WEIGHT kg | 70178 | 77500 | 77500 | 77500 | 77500 | 84500 | 80600 |
| 15 | SERVICE WEIGHT kg | 75000 | 82500 | 82500 | 82500 | 82500 | 90000 | 86500 |
| 16 | MAX. AXLE LOAD ton | 12.5 | 13.75 | 13.75 | 13.75 | 13.75 | 15 | 14.42 |
| 17 | MAIN ENGINE & MODEL | CUMMINS | S.E.M.T. | S.E.M.T. | S.E.M.T. | S.E.M.T. | CUMMINS | CUMMINS |
| | | KT38-L | PIELSTICK | PIELSTICK | PIELSTICK | PIELSTICK | KTTA50-L | KTA50-L |
| | | (KT2300-L) | 16PA4V185 | 16PA4V185 | 16PA4V185 | 16PA4V185 | | |
| | | | CP | VG | VG | VG | | |
| | NUMBER OF ENGINE / LOCOMOTIVE | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GE. | ALS. | AHK. | ALD. | ADD. | HID. | GEA. |
| | NUMBER OF CYLINDER | | 12V | 16V | 16V | 16V | 16V | 16V | 16V |
| | BORE × STROKE | mm | 139.7×152 | 185×210 | 185×210 | 185×210 | 185×210 | 159×159 | 159×159 |
| | MAX. OUTPUT @ RPM | hp@rpm | 2×660 @ 2000 | 2400 @ 1500 | 2400 @ 1500 | 2400 @ 1500 | 2400 @ 1500 | 2×1430 @ 1800 | 2×1250 @ 1800 |
| | ENGINE OUTPUT , CONTINUOUS AT SITE | hp | 2×600 | 2250 | 2250 | 2250 | 2250 | 2860 | 2500 |
| 18 | TRACTION MOTOR , TYPE | | 5GE-761-A3 | TA671A3 | TA671A3 | TA671D3 | TA671D3 | HS | 5-GE792 |
| | | | | | | | | 21241-01R | |
| 19 | NUMBER OF TRACTION MOTOR / LOCO. | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | AXLE GEAR , TYPE | | - | - | - | - | - | - | - |
| 20 | GEAR RATIO OF MOTOR & AXLE (AXLE GEAR) | | 18 : 93 | 18 : 79 | 18 : 79 | 18 : 79 | 18 : 79 | 18 : 73 | 17 : 90 |
| 21 | MAIN GENERATOR OR ALTERNATOR , TYPE | | 5GE-605-A1 | AT541 | AT5.4.P2 | AT5.4.P3 | AT5.4.A3 | YEFC,O-CD | 5GMG200 |
| 22 | NUMBER OF UNIT / LOCO. | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 23 | MAX. TRACTIVE EFFORT AT WHEEL RIM , | kg | 22500 | 24800 | 24800 | 25700 | 25700 | 27000 | 25950 |
| | @ ADHESION WEIGHT | % | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 24 | MIN. CONTINOUS TRACTIVE EFFORT | kg @ | 17963 | 20600 | 20600 | 20600 | 20600 | 17700 | 24090 |
| | | km/hr | 13 | 21 | 21.3 | 21.3 | 21.3 | 32.1 | 20.1 |
| 25 | MAX. SPEED | km / hr | 103 | 95 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 26 | BRAKING | | AIR & DUAL | AIR & DUAL | AIR & DUAL | AIR & DUAL | AIR & DUAL | AIR & DUAL | PURE |
| | | | BRAKE | BRAKE | BRAKE | BRAKE | BRAKE | BRAKE | AIR BRAKE |
| 27 | CAPACITY OF FUEL TANK | l / car | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 5000 | 4540 |
| 28 | CAPACITY OF LUBRICATING OIL/ ENGINE | l | 265 | 450 | 450 | 450 | 450 | 265 | 212 |
| 29 | CAPACITY OF HYDRAULIC OIL/ ENGINE | l | - | - | - | - | - | - | - |
| 30 | CAPACITY OF SAND BOX | l / car | 510 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 31 | CAPACITY OF COOLING WATER / ENGINE | l | 303 | 800 | 800 | 800 | 800 | 375 | 395 |
| 32 | CAPACITY OF AIR COMPRESSOR | l / min | 2×1614 | 1299 | 1299 | 1425 | 3360 | 2×3100 | 2×3200 |
| | | @ rpm | 1000 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (DEL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GE. | ALS. | AHK. | ALD. | ADD. | HID. | GEA. |
| 33 | NUMBER OF BATTERY CELL & CAPACITY | ; ah | 48 ; 180 | 36 ; 380 | 36 ; 380 | 36 ; 380 | 36 ; 380 | 32 ; 175 | 52 ; 180 |
| 34 | TOTAL BATTERY VOLTAGE | V | 64-75 | 72 | 72 | 72 | 72 | 64 | 68 |
| 35 | NUMBER OF LOCO. OR DRC. ON BOOK | (Set) | 50 | 54 | 30 | 9 | 20 | 22 | 38 |
| | (EXISTING LOCO.) | | (50) | (52) | (30) | (9) | (20) | (22) | (38) |
| 36 | MIN. CURVE RADIUS NEGOTIABLE | m | 57.9 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| 37 | DIAGRAM NUMBER | | D.14 / 1 | D.18 | D.19 | D.20 | D.21 | D.23 | D.24 |
| 38 | TOTAL WEIGHT OF PASSENGER ton | | - | - | - | - | - | - | - |
| 39 | SEATING PASSENGERS | | | - | - | - | - | - | - |
| 40 | STANDING PASSENGERS | | | - | - | - | - | - | - |
| 41 | PRICE | bath/loco./set | 4,590,384.30 | 11,060,252.11 | 23,541,744.98 | 26,919,211.15 | 42,387,625.24 | 75,059,743.0 | 54,350,498.0 |

# DIESEL HYDRAULIC LOCOMOTIVE

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC LOCOMOTIVE (DHL.) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *KM. | HE. | *HU | KP. | *HAS. | | |
| 1 | ABBREVIATION NAME | | KM. | HE. | HU. | KP. | HAS. | | |
| 2 | NUMBER | | 41-45 | 3001-3027 | 23-27 | 3101-3130 | 70-79 | | |
| 3 | MAKER | | KRAUSS MAFFEI | HENSCHEL | HUNSLET | KRUPP | HENSCHEL | | |
| | | | GERMANY | GERMANY | ENGLAND | GERMANY | GERMANY | | |
| 4 | YEAR IN SERVICE | B.E.(A.D.) | 2498 (1955) | 2507 (1964) | 2508 (1965) | 2512 (1969) | 2529 (1986) | | |
| 5 | WHEEL ARRANGEMENT | | C' | B' - B' | C' | B' – B' | C' | | |
| 6 | OVERALL WIDTH | mm | 2772 | 2800 | 2515 | 2800 | 2780 | | |
| 7 | OVERALL HEIGHT (ABOVE RAIL LEVEL) | mm | 3708 | 3800 | 3543 | 3875 | 3700 | | |
| 8 | LENGTH OVER AUTOMATIC COUPLERS | mm | 8350 | 12800 | 7658 | 12800 | 9600 | | |
| 9 | AUTO. COUPLER HEIGHT (ABOVE RAIL) | mm | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | | |
| 10 | WHEEL BASE OF ONE BOGI | mm | 2800 | 2200 | 2744 | 2200 | 4000 | | |
| | - AXLE SPACE (IN ONE BOGI) | mm | 1400 , 1400 | 1100 | 1372 , 1372 | 1100 | 2230 , 1770 | | |
| 11 | TOTAL WHEEL BASE | mm | 2800 | 8700 | 2744 | 8200 | 4000 | | |
| 12 | DISTANCE BETWEEN CENTER PIVOTS | mm | - | 6500 | - | 6000 | - | | |
| 13 | WHEEL DIAMETER , NEW / WORN | mm | 1106 | 914 / 846 | 1106 / 1038 | 914 / 846 | 914 / 846 | | |
| 14 | EMPTY WEIGHT | kg | 34000 | 46500 | - | 50500 | 39000 | | |
| 15 | SERVICE WEIGHT | kg | 36000 | 52000 | 30000 | 55000 | 41250 | | |
| 16 | MAX. AXLE LOAD | ton | 12 | 13 | 11 | 13.75 | 13.75 | | |
| 17 | MAIN ENGINE & MODEL | | M.A.N. | (MB.820Db) | GARDNER | (MB.835Db) | MTU. | | |
| | | | W8V17.5 / 22A. | MTU. | 8L 3B | MTU. | 6V396TC12 | | |
| | | | | 12V493TY11 | | 12V652TB11 | | | |
| | | | | 12V396TC12 | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NUMBER OF ENGINE / LOCOMOTIVE | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | NUMBER OF CYLINDER | | 8 | 12V | 8 | 12V | 6V | | |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC LOCOMOTIVE (DHL.) | | | | | | |
| | | | *KM. | HE. | *HU | KP. | *HAS. | | |
| | BORE X STROKE | mm | 175X220 | 175X205 | 5.5"X7.75" | 190X230 | 165X185 | | |
| | MAX. OUTPUT @ RPM | hp@rpm | 440 @ 1100 | 1200 @ 1500 | 240 @ 1300 | 1500 @ 1400 | 714 @ 2200 | | |
| | ENGINE OUTPUT , CONTINUOUS AT SITE | hp | - | 1100 | - | 1500 | 66 | | |
| 18 | TRACTION MOTOR , TYPE | | VOITH | VOITH | RS 18Z | VOITH | VOITH | | |
| | | | L.37V. | L 306 r. | | L 720 ru2 | L 3R 4 u2 | | |
| 19 | NUMBER OF TRACTION MOTOR / LOCO. | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | AXLE GEAR , TYPE | | - | ATV 18 | - | K130 , SK130 | ATV 18 | | |
| 20 | GEAR RATIO OF MOTOR & AXLE (AXLE GEAR) | | - | 1 : 3.62 | - | 1 : 3.94 | 1 : 3.605 | | |
| 21 | MAIN GENERATOR OR ALTERNATOR , TYPE | | - | - | - | - | - | | |
| 22 | NUMBER OF UNIT / LOCO. | | - | - | - | - | - | | |
| 23 | MAX. TRACTIVE EFFORT AT WHEEL RIM , | kg | 12000 | 17160 | 9100 | 18150 | 12236 | | |
| | @ ADHESION WEIGHT | % | 33.33 | 33 | 30.33 | 33 | 30 | | |
| 24 | MIN. CONTINOUS TRACTIVE EFFORT | kg @ | 7450 | 14900 | 6320 | 15250 | 11726 | | |
| | | km/hr | 7.55 | 11 | 5 | 14.5 | 5 | | |
| 25 | MAX. SPEED | km / hr | 54 ; 27 | 90 | 19.5 | 90 | 58 | | |
| 26 | BRAKING | | VACUUM | AIR & VACUUM | AIR BRAKE | AIR & DUAL | AIR BRAKE | | |
| | | | BRAKE | BRAKE | | BRAKE | | | |
| 27 | CAPACITY OF FUEL TANK | l / car | 1350 | 3500 | 1590 | 3500 | 2000 | | |
| 28 | CAPACITY OF LUBRICATING OIL/ ENGINE | l | 108 | 110 | 90 | 220 | 114 | | |
| 29 | CAPACITY OF HYDRAULIC OIL/ ENGINE | l | 200 | 200 | 145 | 380 | 150 | | |
| 30 | CAPACITY OF SAND BOX | l / car | - | 410 | - | 450 | 280 | | |
| 31 | CAPACITY OF COOLING WATER / ENGINE | l | 185 | 875 | - | 850 | 380 | | |
| 32 | CAPACITY OF AIR COMPRESSOR | l / min | - | 810 | - | 1300 | 680 | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | @rpm | | 2000 | | 2000 | 1800 | | |
| 33 | NUMBER OF BATTERY CELL & CAPACITY | ; ah | 24 ; 400 | 18 ; 250 | 18 ; 140 | 48 ; 140 | 12 ; 205 | | |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC LOCOMOTIVE (DHL.) | | | | | | |
| | | | *KM. | HE. | *HU | KP. | *HAS. | | |
| 34 | TOTAL BATTERY VOLTAGE | V | 24 | 24 | 24 | 64 | 24 | | |
| 35 | NUMBER OF LOCO. OR DRC. ON BOOK | (Set) | 5 | 27 | 5 | 30 | 10 | | |
| | (EXISTING LOCO.) | | (5) | (25) | (3) | (28) | (10) | | |
| 36 | MIN. CURVE RADIUS NEGOTIABLE | m | 50 | 120 | 36.5 | 80 | 122 | | |
| 37 | DIAGRAM NUMBER | | D.9 / 1 | D.15 / 1 | D.16 / 1 | D.17 | D.22 | | |
| 38 | TOTAL WEIGHT OF PASSENGER ton | | - | - | - | - | - | | |
| 39 | SEATING PASSENGERS | | - | - | - | - | - | | |
| 40 | STANDING PASSENGERS | | - | - | - | - | - | | |
| 41 | PRICE | bath/loco./set | 844,252.9 | 3,946,320.34 | 1,325,541.52 | 4,530,907.06 | 17,067,953.08 | | |

# DIESEL RAILCAR

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC RAILCAR(DRC) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | APN.20 | APD.60(20 คัน) | ANT.60(40 คัน) | KIHA58 | KIHA28 | KIRO28 | |
| 1 | ABBREVIATION NAME | | APN. | APD. | ANT. | APD. | APD. | APN. | |
| 2 | NUMBER | | 2121-2128 | 2525-2544 | 1101-1140 | 101-114 | 201-209 | 301-303 | |
| 3 | MAKER | | DAEWOO | DAEWOO | DAEWOO | JR-WEST | JR-WEST | JR-WEST | |
| | | | KOREA | KOREA | KOREA | JAPAN | JAPAN | JAPAN | |
| 4 | YEAR IN SERVICE | B.E.(A.D.) | 2538(1995) | 2539(1996) | 2539(1996) | 2541(1998) | 2541(1998) | 2541(1998) | |
| 5 | WHEEL ARRANGEMENT | | * 1A - 2 | * 1A - 2 | * 2 - 2 | * 1A – A1 | * 1A – 2 | * 1A - 2 | |
| 6 | OVERALL WIDTH | mm | 2705 | 2900 | 2900 | 2900 | 2900 | 2900 | |
| 7 | OVERALL HEIGHT (ABOVE RAIL LEVEL) | mm | 3886 | 3886 | 3886 | 4076 | 4076 | 4080 | |
| 8 | LENGTH OVER AUTOMATIC COUPLERS | mm | 24300 | 24300 | 24420 | 21300 | 21300 | 21300 | |
| 9 | AUTO. COUPLER HEIGHT (ABOVE RAIL) | mm | 850 | 850 | 850 | 860 | 860 | 860 | |
| 10 | WHEEL BASE OF ONE BOGI | mm | 2100 | 2600 | 2600 | 2100 | 2100 | 2100 | |
| | - AXLE SPACE (IN ONE BOGI) | mm | 2100 | 2600 | 2600 | 2100 | 2100 | 2100 | |
| 11 | TOTAL WHEEL BASE | mm | 19600 | 20100 | 20100 | 16500 | 16500 | 16500 | |
| 12 | DISTANCE BETWEEN CENTER PIVOTS | mm | 17500 | 17500 | 17500 | 14400 | 14400 | 14400 | |
| 13 | WHEEL DIAMETER , NEW / WORN | mm | 851/799 | 851/799 | 851/799 | 851/799 | 851/799 | 851/799 | |
| 14 | EMPTY WEIGHT | kg | 43500 | 42300 | 38400 | 39200 | 33100 | 33100 | |
| 15 | SERVICE WEIGHT | kg | 46100 | 45100 | 40100 | 41200 | 35100 | 35100 | |
| 16 | MAX. AXLE LOAD | ton | 12 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | |
| 17 | MAIN ENGINE & MODEL | | CUMMINS | CUMMINS | - | NIIGATA | NIIGATA | NIIGATA | |
| | | | NTA855-R1 | NTA855-R1 | - | DMH 17H | DMH 17H | DMH 17H | |
| | NUMBER OF ENGINE / CAR | | 1 | 1 | - | 2 | 1 | 1 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CYLINDER x BORE x STROKE | | 6X140X152 | 6X140X152 | - | 8X130X160 | 8X130X160 | 8X130X160 | |
| | MAX. OUTPUT @ RPN | hp @ rpm | 350 @ 2100 | 350 @ 2100 | - | 180 @ 1500 | 180 @ 1500 | 180 @ 1500 | |
| | ENGINE OUTPUT , CONTINUOUS AT SITE | hp | 298 | 298 | - | - | - | - | |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC RAILCAR (DRC.) | | | | | | |
| | | | APN.20 | APD.60(20 คัน) | ANT.60(40 คัน) | KIHA58 | KIHA28 | KIRO28 | |
| 18 | DONKEY ENGINE / CAR & MODEL | | PERKINS | PERKINS | PERKINS | - | DAIHUTSU | DAIHUTSU | |
| | | | 1006 – 6TG | 1006 – 6TG | 1006 – 6TG | - | 4VK – 8.8 | 4VK – 8.8 | |
| | NUNBER OF ENGINE / CAR | | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | |
| | CYLINDER x BORE x STROKE | mm | 4X100X127 | 4X100X127 | 4X100X127 | - | 8X88X100 | 8X88X100 | |
| | MAX. OUTPUT @ RPM | hp@rpm | 111.9 @ 1500 | 111.9 @ 1500 | 111.9 @ 1500 | - | 90 @ 3000 | 90 @ 3000 | |
| 19 | HYDRAULIC TORQUE CONTOR,TYPE | | VOITH | VOITH | - | DF115A MS300 | DF115A MS300 | DF115A MS300 | |
| | | | T221RZ | T221RZ | - | or TC2A, | or TC2A, | or TC2A, | |
| | | | | | | 2.2NICO | 2.2NICO | 2.2NICO | |
| | NUMBER OF TORQUE CONVENTOR / CAR | | 1 | 1 | - | 2 | 1 | 1 | |
| 20 | AXLE GEAR ,TYPE | | | | | | | | |
| 21 | GEAR RATIO OF MOTOR & AXLE (AXLE GEAR) | | | | | | | | |
| 22 | MAIN GENERATOR OR ALTERNATOR,TYPE | | - | - | - | - | - | - | |
| 23 | NUMBER OF UNIT / CAR | | - | - | - | - | - | - | |
| 24 | MAX.TRACTIVE EFFORT AT WHEEL RIM, | kg | - | - | - | - | - | - | |
| | @ADHESION WEIGHT , | % | - | - | - | - | - | - | |
| 25 | MIN .CONTINOUS TRACTIVE EFFORT | kg @ | - | - | - | - | - | - | |
| | | km/hr | - | - | - | - | - | - | |
| 26 | MAX.SPEED | km/hr | 120 | 120 | 100 - 120 | 95 | 95 | 95 | |
| 27 | BRAKING | | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | |
| 28 | CAPACITY OF FUEL TANK | l / car | M1500 | M1500 | M500 | 2X550 | 800 | 800 | |
| 29 | CAPACITY OF LUBRICANTING OIL/ ENGINE | l | M50 | M50 | M50 | | | | |
| 30 | CAPACITY OF HYDRAULIC OIL/ ENGINE | l | M80 | M80 | M80 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | CAPACITY OF SAND BOX | l / car | - | - | - | - | - | - | |
| 32 | CAPACITY OF COOLING WATER / ENGINE | l | | | | | | | |
| 33 | CAPACITY OF SERVICE WATER | l / car | (2X600)+100 | 2X500 | 2X600 | 800 | 850 | 850 | |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF DIESEL HYDRAULIC RAILCAR (DRC.) | | | | | | |
| | | | APN.20 | APD.60(20 คัน) | ANT.60(40 คัน) | KIHA58 | KIHA28 | KIRO28 | |
| 34 | CAPCITY OF AIR COMPRESSION | 1/ MIN | 600 | 900 | 620 | 2XC400 | 1XC600 | 1XC600 | |
| | | @ rpm | 1450 | 1500 | 1500 | | | | |
| 35 | NUMBER OF BATTERY CELL & CAPACITY | ;ah | 15 ; 200 | 15 ; 200 | 15 ; 200 | 15 ; 200 | 15 ; 200 | 15 ; 200 | |
| 36 | TOTAL BATTERY VOLTAGE | V | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | |
| 37 | NUMBER OF ON BOOK | car | 8 | 20 | 40 | 14 | 9 | 3 | |
| | EXISTING DRC. | car | 8 | 20 | 40 | 14 | 9 | 3 | |
| 38 | MIN. CURVE RADIUS NEGOTIABLE | m | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| 39 | DIAGRAM NUMBER | | APN.3 | APD.3 | | | | | |
| 40 | TOTAL WEIGHT OF PASSENGER | | 5.2 | 4.16 | 5.20 ; 2.6 | 5.16 , 4.16 | 5.46 | 3.38 | |
| 41 | SEATING PASSENGER | | 80 | 64 | 80 | 84/ 64 | 84 | 52 | |
| 42 | STANDING PASSENGER | | - | - | 40 | - | - | - | |
| 43 | PRICE million | bath/car | *25.226 | *26.978 | *20.095 | - | - | - | |

# PASSENGER COACH

| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF PASSENGER COACH | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. |
| 1 | ABBREVIATION NAME | | ANS. | ANS. | ANS. | ANS. | BTC. | BTC. | BTC. |
| 2 | COACH NUMBER | | 1 - 16 | 1001 - 1036 | 1037 - 1067 | 1068 - 1084 | 110 - 169 | 170 - 189 | 190 - 234 |
| | FULL NAME | | AIR – CON. | AIR – CON. | AIR – CON. | AIR – CON. | BOGIE | BOGIE | BOGIE |
| | | | SECOND CLASS | SECOND CLASS | SECOND CLASS | SECOND CLASS | THIRD | THIRD | THIRD |
| | | | DAY & NIGHT | DAY & NIGHT | DAY & NIGHT | DAY & NIGHT | CLASS | CLASS | CLASS |
| | | | COACH | COACH | COACH | COACH | CARRIAGE | CARRIAGE | CARRIAGE |
| 3 | MAKER | | MAKKASAN | TOKYU | DAEWOO | DAEWOO | KISHA | KINKI | KINKI |
| | | | THAILAND | JAPAN | KOREA | KOREA | KINKI | HITACHI | NIPPON |
| | | | | | | | HITACHI | KISHA | KAWASAKI |
| | | | | | | | JAPAN | JAPAN | JAPAN |
| 4 | YEAR PUT IN SERVICE | A.D. | 1982 | 1988 | 1990 | 1992 | 1949 - 1950 | 1950 - 1951 | 1953 - 1954 |
| 5 | TARE WEIGHT | ton | 36.000 | 34.800 | 36.700 | 35.000 | 27.000 | 27.000 | 28.500 |
| 6 | NORMAL GROSS WEIGHT | ton | 40.280 | 40.690 | 42.620 | 41.000 | 33.490 | 33.490 | 35.370 |
| 7 | MAX. AXEL LOAD ON RAIL | ton | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 10.5 | 10.5 , 12.0 | 10.5 , 12.0 |
| 8 | WHEEL ARRANGEMENT | | | | | | | | |
| | BOGIE WHEEL BASE | mm | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2000 , 2100 | 2000 , 2100 | 2000 , 2100 |
| | BOGIE CENTER LENGTH | mm | 14600 | 16970 | 16970 | 16970 | 12100 | 12100 | 12100 |
| | BOGIE CENTER TO HEADSTOCK | mm | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 |
| 9 | OVERALL LENGHT | mm | 20800 | 23170 | 23170 | 23170 | 18300 | 18300 | 18300 |
| 10 | HEIGHT OF FLOOR FROM RAIL | mm | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1090 | 1040 | 1040 |
| 11 | HEIGHT OF ROOF FROM RAIL | mm | 3780 | 3765 | 3765 | 3765 | 3550 | 3510 | 3510 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | OVERALL WIDTH | mm | 2804.6 | 2809.6 | 2809.6 | 2809.6 | 2805 | 2755 | 2805 |
| 13 | BRAKE LEVERAGE RATIO | | | | | | | | |
| | AT BOGIE | : 1 | 4 | 6.03 | 6.03 | 6.03 | 5.87 , 6.53 , 4 | 5.87 , 4 | 5.87 , 4 |
| | TOTAL | : 1 | 12 | 11.4 | 11.4 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF PASSENGER COACH | | | | | | |
| | | | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | ANS. บนท.ป. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. |
| 14 | BRAKE CYLINDER | | | | | | | | |
| | TYPE | | VAC. BRAKE | | | | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE |
| | | | " F" SEP. | | | | " E" SEP. | ECOM. FSEP. | ECOM. FSEP. |
| | NO./ CAR X DIA. | | 2 X 21" | | | | 2 X 18" , 2 X 21" | 2 X 18" , 2 X 21" | 2 X 18" , 2 X 21" |
| | TYPE | | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | | AIR BRAKE | AIR BRAKE |
| | NO./ CAR X DIA. | | 2 X 10" | 2 X 10" | 2 X 10" | 2 X 10" | | 2 X 10" | 2 X 10" |
| 15 | BRAKE REGULATOR | | YES | YES | YES | YES | - , YES | - , YES | - , YES |
| 16 | BEARING TYPE | | RB. | TAPER RB. | TAPER RB. | TAPER RB. | PB. , RB. | PB. , RB. | PB. , RB. |
| 17 | MAXIMUM SPEED | km/ hr | 90 | 120 | 120 | 120 | 70 , 90 | 70 , 90 | 70 , 90 , 100 , 120 |
| 18 | SEAT CAPACITY | | 32 | 40 | 40 | 40 | 72 | 72 | 72 |
| 19 | NO. ON BOOK | | 16 | 36 | 31 | 17 | 34 | 20 | 42 |

| NO | DESCRIPTION | CLASSIFICATION OF PASSENGER COACH | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *BTC. บชส. | *BTC. บชส. | *BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | |
| 1 | ABBREVIATION NAME | BTC. | BTC. | BTC. | BTC. | BTC. | BTC. | |
| 2 | COACH NUMBER | 220 , 232 | 247 , 251 , 268 | 281,284,291,297, | 235 – 251 | 281 - 319 | 320 - 330 | |
| | | | | 298,304,307,309, | 253 - 279 | | | |
| | | | | 311,315 | | | | |
| | FULL NAME | BOGIE | BOGIE | BOGIE | BOGIE | BOGIE | BOGIE | |
| | | THIRD | THIRD | THIRD | THIRD | THIRD | THIRD | |
| | | CLASS | CLASS | CLASS | CLASS | CLASS | CLASS | |
| | | CARRIAGE | CARRIAGE | CARRIAGE | CARRIAGE | CARRIAGE | CARRIAGE | |
| 3 | MAKER | KINKI NIPPON | UTSUNOMIYA | NANIWA | UTSUNOMIYA | NANIWA | NIPPON | |
| | | KAWASAKI | JAPAN | KOKI , FUJI | JAPAN | KOKI , FUJI | SHARYO | |
| | | JAPAN | | JAPAN | | JAPAN | JAPAN | |
| 4 | YEAR PUT IN SERVICE A.D. | 1996 | 1996 | 1996 | 1954 - 1955 | 1957 - 1958 | 1963 - 1964 | |
| 5 | TARE WEIGHT ton | 28.500 | 28.500 | 27.500 | 28.500 | 27.500 | 27.800 | |
| 6 | NORMAL GROSS WEIGHT ton | 35.370 | 35.370 | 34.620 | 35.370 | 34.620 | 34.620 | |
| 7 | MAX. AXEL LOAD ON RAIL ton | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 10.5 , 12.0 | 10.5 , 12.0 | 12.0 | |
| 8 | WHEEL ARRANGEMENT | | | | | | | |
| | BOGIE WHEEL BASE mm | 2100 | 2100 | 2100 | 2000 , 2100 | 2001 , 2100 | 2000 | |
| | BOGIE CENTER LENGTH mm | 12100 | 12100 | 12100 | 12100 | 12100 | 12100 | |
| | BOGIE CENTER TO HEADSTOCK mm | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2654 | |
| 9 | OVERALL LENGHT mm | 18300 | 18300 | 18300 | 18300 | 18300 | 18300 | |
| 10 | HEIGHT OF FLOOR FROM RAIL mm | 1040 | 1047 | 1040 | 1047 | 1040 | 1090 | |
| 11 | HEIGHT OF ROOF FROM RAIL mm | 3510 | 3510 | 3510 | 3510 | 3510 | 3550 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | OVERALL WIDTH | mm | 2805 | 2805 | 2805 | 2805 | 2805 | 2805 | |
| 13 | BRAKE LEVERAGE RATIO | | | | | | | | |
| | AT BOGIE | : 1 | 4 | 4 | 4 | 5.87 , 6.53 , 4 | 6.53 , 4 | 6.53 | |
| | TOTAL | : 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| NO | DESCRIPTION | | CLASSIFICATION OF PASSENGER COACH | | | | | | |
| | | | *BTC. บชส. | *BTC. บชส. | *BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | BTC. บชส. | |
| 14 | BRAKE CYLINDER | | | | | | | | |
| | TYPE | | | | | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | | |
| | | | | | | ECOM. FSEP. | ESEP. FSEP. | | |
| | NO./ CAR × DIA. | | | | | 2 × 18" , 2 × 21" | 2 × 18" , 2 × 21" | | |
| | TYPE | | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | AIR BRAKE | |
| | NO./ CAR × DIA. | | 2 × 10" | 2 × 10" | 2 × 10" | 2 × 10" | 2 × 10" | 2 × 10" | |
| 15 | BRAKE REGULATOR | | YES | YES | YES | - , YES | - , YES | - , YES | |
| 16 | BEARING TYPE | | RB. | RB. | RB. | PB. , RB. | RB. | RB. | |
| 17 | MAXIMUM SPEED | km/ hr | 100 | 90 , 100 | 90 , 100 , 120 | 70 , 90 , 120 | 120 , 90 , 100 | 70 , 90 | |
| 18 | SEAT CAPACITY | | 54 | 54 | 54 | 72 | 72 | 78 | |
| 19 | NO. ON BOOK | | 2 | 3 | 10 | 38 | 28 | 9 | |

# FREIGHT CAR

| NO | DESCRIPTION | | 4 – WHEELED WAGONS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CH. ถค. | CW. รส. | CW. รส. |
| 1 | ABBREVIATION NAME | | CG. | CG. | CG. | CG. | CH. | CW. | CW. |
| 2 | WAGON NUMBER | | 151342 - 151540 | 151541 - 151590 | 10001 | 11001 - 11010 | 351 - 450 | 306 - 355 | 356 - 425 |
| | FULL NAME | | COVERED | COVERED | COVERED | COVERED | COVERED | CATTLE | CATTLE |
| | | | GOODS | GOODS | GOODS | GOODS | HIGH - SIDED | WAGON | WAGON |
| | | | WAGON | WAGON | WAGON | WAGON | WAGON | | |
| 3 | MAKER | | FUJI CAR | MAKKASAN | MAKKASAN | MAKKASAN | MAKKASAN | KINKI SHARYO | JINO BUILDING |
| | | | JAPAN | | | | | JAPAN | JAPAN |
| 4 | YEAR PUT IN SERVICE | A.D. | 1967 | 1978 | 1961 | 1964 | 1942 | 1957 | 1960 |
| | | | | (REBUILT) | | | | | |
| 5 | TARE WEIGHT | ton | 8.90 | 8.90 | 7.70 | 8.00 | 7.69 | 8.40 | 7.80 |
| | PAY LOAD | ton | 15.00 | 15.00 | 13.50 | 13.50 | 13.50 | 12.50 | 12.50 |
| 6 | NORMAL GROSS WEIGHT | ton | 23.90 | 23.90 | 21.20 | 21.50 | 21.19 | 20.90 | 20.30 |
| 7 | MAX. AXLE LOAD ON RAIL | ton | 12.0 | 12.0 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| 8 | WHEEL ARRANGEMENT | | | | | | | | |
| | WHEEL BASE | mm | 3960 | 3750 | 3750 | 3750 | 3750 | 3750 | 3750 |
| | BOGIE CENTER LENGTH | mm | - | - | - | - | - | - | - |
| | BOGIE CENTER OF HEADSTOCK | mm | - | - | - | - | - | - | - |
| 9 | LENGTH OVER HEADSTOCK | mm | 6900 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 |
| | LENGTH OF WAGON FLOOR | mm | 6900 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 | 6550 |
| | LENGTH OVER AUTO. COUPLERS | mm | 7700 | 7350 | 7350 | 7350 | 7350 | 7350 | 7350 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | HEIGHT OF FLOOR FROM RAIL | mm | 1010 | 1010 | 1010 | 1010 | 1066 | 1103 | 1010 |
| 11 | OVERALL HEIGHT FROM RAIL | mm | 3310 | 3152 | 3227.3 | 3240.8 | 3390 | 3149 | 3149 |
| 12 | OVERALL WIDTH | mm | 2300 | 2300 | 2180 | 2180 | 2020 | 2290 | 2290 |
| 13 | BRAKE LEVERAGE RATIO | | | | | | | | |
| | TOTAL | : 1 | 11.15 | 11.4 | 6.75 | 6.75 | 6.75 | 6.75 | 8.16 |
| NO | DESCRIPTION | | 4 – WHEELED WAGONS | | | | | | |
| | | | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CG. ตญ. | CH. ถค. | CW. รส. | CW. รส. |
| 14 | BRAKE CYLINDER | | | | | | | | |
| | TYPE | | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE | VAC. BRAKE |
| | | | " F" SEP. | " F" SEP. | " F" SEP. | " F" SEP. | " E" SEP. | " F" SEP. | " F" SEP. |
| | NO./ CAR × DIA. | | 1 × 18" | 1 × 18" | 1 × 15" | 1 × 15" | 1 × 15" | 1 × 15" | 1 × 15" |
| 15 | BRAKE REGULATOR | | DRV2 - 450 | DRV2 - 450 | - | - | - | - | - |
| 16 | BEARING TYPE | | RB. | RB. | PB. | PB. | PB. | PB. | PB. |
| 17 | SEAT CAPACITY | | - | - | - | - | - | - | - |
| 18 | MAXIMUM SPEED | km / hr | 70 | 70 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 19 | NO. ON BOOK | | 184 | 48 | 1 | 8 | 7 | 4 | 4 |

# บรรณานุกรม


กองช่างกล ฝ่ายช่างกล. 2529. **หลักเกณฑ์การพิจารณากำหนดหน่วยลากจูง**. กรุงเทพฯ : การรถไฟแห่งประเทศไทย.

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2538. **คู่มือบำรุงทาง พ.ศ.2538**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สุวรรณภูมิ.

ฝ่ายการช่างโยธา. 2533. **วิธีปฏิบัติการก่อสร้างทางรถไฟ**. กรุงเทพฯ : การรถไฟแห่งประเทศไทย.

วิรุฬห์ บุญสมบัติ. 2534. **คณิตศาสตร์ทั่วไป**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิศวกรรมเครื่องกล. 2543. **Leading Particulars of Rolling Stock**. กรุงเทพฯ : การรถไฟแห่งประเทศไทย.

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และจำลอง ครูอุตสาหะ. 2542. **Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์**. กรุงเทพฯ: ห.จ.ก.ไทยเจริญการพิมพ์.

ประชา พฤกษ์ประเสริฐ และคณะ. 2532. **Photoshop 5.05**. กรุงเทพฯ: บ.ซัคเซสมิเดีย จำกัด.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้