การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการตารางเวลารถไฟและไบโอดีเซลในประเทศไทย

USE OF MATHEMATICAL MODELING FOR MANAGING TRAIN SCHEDULES AND BIODIESEL IN THAILAND

สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์
SOMKIAT KHWANPRUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2568

KMITL-2025-EN-D-098-099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USE OF MATHEMATICAL MODELING FOR MANAGING TRAIN SCHEDULES AND BIODIESEL IN THAILAND

SOMKIAT KHWANPRUK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

DOCTOR OF ENGINEER IN CIVIL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2025

KMITL-2025-EN-D-098-099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการตารางเวลารถไฟและไบโอดีเซลในประเทศไทย
นักศึกษา	นายสมเกียรติ ขวัญพฤกษ์
รหัสประจำตัว	62601010
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์	รศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์และบริหารจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและจัดการทรัพยากร โดยเฉพาะด้านการผลิตสินค้าเกษตรเพื่อเป็นพลังงาน การบริหารจัดการตลาด รวมถึงการวางแผนและควบคุมตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง ซึ่งเป็นเส้นทางสำคัญของการคมนาคมและการขนส่งสินค้าภายในประเทศ การใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางการบูรณาการระหว่างวิศวกรรมศาสตร์และความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด เพื่อให้ได้แนวทางการตัดสินใจที่มีความแม่นยำและตอบสนองความต้องการของประชาชนอย่างยั่งยืน โดยแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อจำลองและวิเคราะห์สถานการณ์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ประกอบด้วย ส่วนแรกเป็นการสร้างและพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้น สำหรับการคาดการณ์ตลาดสินค้าเกษตรและตลาดพลังงาน โดยเน้นไปที่การวางแผนการผลิตและการจำหน่ายสินค้าในธุรกิจพลังงานไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันข้อจำกัดในรูปแบบเส้นตรงผ่านเครื่องมือโปรแกรมเชิงเส้น รวมถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ตัดสินใจสถานการณ์ของตลาดพลังงานโดยพิจารณาจากความต้องการในการใช้งานและความต้องการในการขายในช่วงเวลาหนึ่งๆ การนำเสนอแบบจำลองนี้เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมและภาครัฐสามารถตัดสินใจในเรื่องการเลือกวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งสามารถปรับแต่งและนำไปใช้กับสินค้าเกษตรอื่น ๆ ได้ในอนาคต ส่วนที่สองเป็นการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนตารางเวลาเดินรถไฟความเร็วสูงเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านทรัพยากรในการวางแผนจำนวนเที่ยว ระยะเวลาการหยุดแต่ละสถานี รวมไปถึงการบริหารจัดการในเรื่องของความต้องการใช้งานของประชากรและความสามารถในการให้บริการ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังช่วยลดเวลาการเดินทางให้รวดเร็ว ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จัดทำ ช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเห็นถึงผลตอบแทนในแง่ของความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมและยั่งยืน ได้ผลตอบแทนที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดด้านผลผลิตการเกษตรและความสามารถในการผลิต พร้อมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดการวางแผนบริหารจัดการ การกำหนดปริมาณการซื้อขายทรัพยากรธรรมชาติ หรือผลผลิตทางการเกษตรของประเทศโดยมีพื้นฐานทางการตลาด รวมถึงการวางแผนการใช้ทรัพยากรพลังงานในธุรกิจขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dissertation	Use of Mathematical Modeling for Managing Train Schedules and Biodiesel in Thailand
Student	Somkiat Khwanpruk
Student ID	62601010
Degree	Doctor of Engineering
Major	Civil Engineering
Year	2025
Dissertation Advisor	Assoc. Prof. Dr. CHALIDA U-TAPAO

ABSTRACT

This thesis presents the application of mathematical models to analyze and manage various aspects related to resource production and management. Specifically, it focuses on the production of agricultural goods for energy, market management, and the planning and scheduling of high-speed rail services, which serve as crucial transportation routes within the country. The use of mathematical modeling in this research represents an integrated approach combining engineering principles with economic and marketing knowledge, aiming to provide precise decision-making tools that meet the needs of the population sustainably. The study is divided into two main parts, demonstrating the application of mathematical models to simulate and analyze different environmental scenarios. The first part involves the development of linear models for forecasting agricultural product markets and energy markets. Emphasis is placed on planning the production and distribution of goods in the biodiesel energy business, utilizing optimization techniques based on the relationships between objective functions and constraints expressed in linear forms through linear programming tools. Additionally, the models are applied to analyze energy market situations, considering factors such as demand and supply over specific periods. This modeling approach serves as a valuable tool for industries and government agencies to make informed decisions regarding the selection of raw agricultural materials such as oil palm, coconut, and soybean—for efficient biofuel production. These models also offer flexibility for adaptation and future application to other types of agricultural products. The second part of the research involves applying the models to analyze

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and plan high-speed rail schedules to optimize resource utilization. The scheduling considerations include the number of trips, station stop durations, and managing the demand from the population and service capacity. Besides reducing unnecessary energy consumption, these strategies also aim to shorten travel times, thereby improving efficiency and service quality. The results of this study demonstrate that the developed mathematical models assist involved agencies in recognizing the economic benefits that are both appropriate and sustainable. The models support achieving optimal returns within the constraints of agricultural productivity and manufacturing capacity, while simultaneously reducing environmental impacts. Moreover, these models provide a framework for further development in resource management planning, including setting trade volumes for natural resources and agricultural outputs based on market conditions. They also serve as practical tools for planning energy resource utilization in transportation businesses, contributing to more sustainable and efficient economic development.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์เรื่อง “การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการตารางเวลารถไฟและไบโอดีเซลในประเทศไทย” เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชลิดา อูตะเภา ซึ่งได้ถ่ายทอดความรู้ คำชี้แนะสั่งสอน และประสบการณ์ด้านการทำวิจัย คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลัง ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้ดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ อันทำให้ดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่สอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และแนะนำให้คำปรึกษาอันมีค่า รวมทั้งให้กำลังใจและสนับสนุนส่งเสริมตลอดการทำดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ บุคคลทุกท่านที่เป็นแรงบันดาลใจของผู้วิจัย คุณค่าและประโยชน์ของดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ครอบครัว ญาติพี่น้อง ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง หากดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........II

กิตติกรรมประกาศ........V

สารบัญ........VI

สารบัญรูป........X

บทที่ 1 บทนำ........1

1.1 กล่าวนำ........1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย........2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........3

บทที่ 2 ศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน,........5

2.1 บทนำ........5

2.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซล........6

2.2.1 ปาล์มน้ำมัน........6

2.2.2 มะพร้าว........7

2.2.3 ถั่วเหลือง........8

2.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษา........8

2.3.1 การวิเคราะห์ทางด้านการตลาด........9

2.3.2 การวิเคราะห์ทางด้านราคา........9

บทที่ 3 แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่า........11

3.1 ความสำคัญและความเป็นมา........11

3.2 การผลิตไบโอดีเซล........12

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล........12

3.2.2 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล........14

3.2.3 ความแตกต่างของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล........16

3.3 แบบจำลองแบบสมดุลของตลาดไบโอดีเซล........17

3.3.1 ผู้ผลิตในตลาดไบโอดีเซลที่ใช้ในแบบจำลองแบบสมดุล........17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 ตัวแปรในการตัดสินใจและพารามิเตอร์ในแบบจำลอง....................................... 18
3.3.3 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของปัญหา.. 19
3.3.4 สถานการณ์ที่ใช้ในการพิจารณาในแบบจำลอง 20
3.4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ 21
3.5 สรุปผลการศึกษา.. 24
บทที่ 4 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหาร จัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง.... 25
4.1 ความสำคัญของปัญหา 25
4.2 วิธีการและแผนการดำเนินงานวิจัย.. 28
4.2.1 การรวบรวมข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้ 28
4.2.2 การศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลเพื่อประกอบการวิเคราะห์ 28
4.2.3 การพัฒนาต้นแบบตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง.. 28
4.2.4 การพัฒนาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่อไปนี้.......................... 28
4.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง... 28
4.2.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยแบ่งการพิจารณาเป็นกรณีต่างๆ ดังนี้ 28
4.3 ผลการศึกษาด้านข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการใช้รถไฟที่มีอยู่ในปัจจุบัน.............. 29
4.4 ผลการสำรวจพื้นฐาน (Filed Survey) 31
4.5 แนวความคิดในการออกแบบระบบในการคำนวณและสร้างตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง.. 38
4.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบ Timetable Optimizer.............................. 39
4.7 หลักการทำงานของ Demand Forecasting Module 40
4.7.1 ผลการเปรียบเทียบโมเดลทางสถิติ 46
4.7.2 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาปริมาณผู้โดยสารรถไฟความเร็วสูง 47
4.8 หลักการทำงานของ Optimization Moddule... 50
4.8.1 ดัชนี:.. 50
4.8.2 พารามิเตอร์:... 50
4.8.3 ตัวแปรตัดสินใจ:... 51
4.8.4 การคำนวณค่าข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง... 51
4.8.5 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาปริมาณขบวนรถที่เหมาะสม... 53
4.9 หลักการทำงานของ Timetable Generator Module 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9.1 อธิบายการใช้งานและส่วนประกอบหลักของ Timetable Generator.............58

4.9.2 การกรอกข้อมูลเพื่อคำนวณหาตารางการเดินรถจาก Timetable Generator. 61

4.9.3 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาตารางการเดินรถจาก Timetable Generator... 63

4.10 สรุปผลการศึกษา 68

4.11 ข้อเสนอแนะ 68

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70

5.1 สรุปผลการวิจัย 70

5.1.1 แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่าของตลาดไบโอดีเซลในประเทศไทย 70

5.1.2 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟ 71

5.1.3 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรในประเทศไทย 71

5.2 แนวทางการวิจัยในอนาคต 73

บรรณานุกรม.. 74

ประวัติผู้เขียน.. 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณและมูลค่าของน้ำมันดีเซลที่ถูกทดแทนด้วยน้ำมันไบโอดีเซล......................6
ตารางที่ 2.2 การใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ปี 2557-2560 (หน่วยเป็น ตัน)..................... 7
ตารางที่ 2.3 ผลผลิตมะพร้าวในประเทศไทยแยกตามรายภาค..8
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบสมบติการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล B100 กับ B20 17
ตารางที่ 3.2 แสดงราคาของไบโอดีเซลและปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง ที่ขายในตลาดพลังงานในสถานการณ์ที่ผลิตผ่านแบบจำลอง............22
ตารางที่ 4.1 จำนวนผู้โดยสารของทั้งประเทศและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552 – 2560.. 30
ตารางที่ 4.2 จำนวนผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียเหนือ ปีงบประมาณ 2552 – 2560................ 42
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างตารางเวลาที่ใช้ในการเดินรถ...53
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลนำเข้าที่ที่ใช้ในการคำนวณ..54
ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO..57
ตารางที่ 4.6 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ...61
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์จากการทำ Optimization ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable62
ตารางที่ 4.8 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-หนองคาย (10 ขบวนแรกจาก 36 ขบวน)...63
ตารางที่ 4.9 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-กรุงเทพมหานคร (10 ขบวนแรกจาก 36 ขบวน)... 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 สถิติแสดงราคามะพร้าวเฉลี่ยต่อปี 10

รูปที่ 3.1 แสดงความเป็นไปได้ของการตัดสินใจที่จะขายน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว 18

รูปที่ 3.2 แสดงสถานการณ์ในการตัดสินใจของผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง เพื่อขายผลิตภัณฑ์ของตนเองในตลาดพลังงาน 100%, 50% และ 0% 21

รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย 27

รูปที่ 4.2 สถานีรถไฟสระบุรี 31

รูปที่ 4.3 ตารางเวลาเดินรถสถานีรถไฟสระบุรี 31

รูปที่ 4.4 สถานีรถไฟนครราชสีมา 32

รูปที่ 4.5 ตารางเวลาเดินรถสถานีนครราชสีมา 32

รูปที่ 4.6 สถานีชุมทางบัวใหญ่ 33

รูปที่ 4.7 ตารางเวลาเดินรถสถานีชุมทางบัวใหญ่ 33

รูปที่ 4.8 สถานีบ้านไผ่ 34

รูปที่ 4.9 ตารางเวลาเดินรถสถานีบ้านไผ่ 34

รูปที่ 4.10 สถานีรถไฟขอนแก่น 35

รูปที่ 4.11 ชานชลาสถานีรถไฟขอนแก่น 35

รูปที่ 4.12 สถานีรถไฟอุดรธานี 36

รูปที่ 4.13 ตารางเวลาเดินรถสถานีรถไฟอุดรธานี 36

รูปที่ 4.14 สถานีรถไฟหนองคาย 37

รูปที่ 4.15 ตารางเวลาเดินรถสถานีหนองคาย 37

รูปที่ 4.16 ส่วนประกอบของระบบ Timetable Optimize 40

รูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของ Demand Forecasting Module 40

รูปที่ 4.18 ขั้นตอนการพยากรณ์ 41

รูปที่ 4.19 การใช้แบบจำลองเส้นตรงในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 43

รูปที่ 4.20 การใช้แบบจำลองแบบเลขยกกำลังในการจำลองปริมาณผู้โดยสาร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 43

รูปที่ 4.21 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Logarithmic trendline ในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 44

รูปที่ 4.22 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Power trendline ในการจำลองปริมาณ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Polynomia Trendline 2 Second Order.... 45
รูปที่ 4.24 ผลการใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Polynomial Trendline ในการจำลอง 45
รูปที่ 4.25 Optimization Model ในโปรแกรม LINGO ที่ใช้ในการหาค่าปริมาณ........................ 48
รูปที่ 4.26 ผลลัพธ์จาก Optimization Model ในโปรแกรม LINGO.. 49
รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO และค่าที่เกิดขึ้นจริงในอดี 49
รูปที่ 4.28 แสดงการทำงานของ Optimization Module 50
รูปที่ 4.29 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนขบวนรถที่เหมาะสม 55
รูปที่ 4.30 ผลลัพธ์โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนขบวนรถที่เหมาะสม.............................. 56
รูปที่ 4.31 แสดงการทำงานของ Timetable Generator Module... 58
รูปที่ 4.32 แสดง Display สำหรับ ข้อมูลนำเข้า.. 59
รูปที่ 4.33 การกรอกข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable 62
รูปที่ 4.34 Train Diagram การเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-
หนองคาย 64
รูปที่ 4.35 Train Diagram ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-
กรุงเทพมหานคร 66
รูปที่ 4.36 Train Diagram ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) และขาขึ้น (Outbound)
.... 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

มนุษย์มีความต้องการในการดำเนินชีวิตในแต่ละวันที่แตกต่างกัน มีความต้องการในการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการที่หลากหลาย กลุ่มผู้ผลิตสินค้าและบริการจะมีความต้องการในการขายสินค้าและบริการของตนเองในราคาที่สูงที่สุด ในขณะที่ผู้บริโภคมีความต้องการสินค้าและบริการตามปริมาณที่ตนเองต้องใช้ ในคุณภาพที่สูงสุดโดยมีปัจจัยเรื่องราคาเป็นตัวกำหนดประกอบ ความเป็นเหมาะสมในการแลกเปลี่ยนนี้อยู่ภายใต้การคาดการณ์หรือคาดเดาตัวกลางที่เรามักจะใช้คำว่าตลาด ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการกำหนดราคาหรือทิศทางในการซื้อขายสินค้าและบริการ

ในประเทศไทยนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าเรามีสินค้าทางเกษตรเป็นสินค้าหลักในการทำรายได้เข้าประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าในกลุ่ม ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และ ถั่วเหลือง เราผลิตสินค้าเหล่านี้ขายในรูปสินค้าเกษตรเพื่อนำไปแปรรูป หรือ นำสินค้าเหล่านี้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้และส่งออกไปขายต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในอีกด้านหนึ่งของสถานการณ์ในภาพรวมของโลกที่มีต่อวิกฤตการพลังงาน แนวโน้มการขาดแคลนพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลายภาคส่วนได้พัฒนากระบวนการศึกษาเพื่อนำเอาพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในระบบเศรษฐกิจ เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศนับเป็นการพัฒนาเพื่อการพึ่งตนเองของแต่ละประเทศอย่างเป็นระบบ มีการนำเอาสินค้าเกษตรมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทน ทำให้กระทบต่อสินค้าเกษตรเพื่อการบริโภค เหตุการณ์เช่นนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำแบบจำลองทางคณิตศาตร์มาใช้ในการช่วยตัดสินใจแทนเกษตรกรในการผลิต และ จำหน่ายสินค้าทางการเกษตร เพื่อการผลิตพลังงานหรือเพื่อการผลิตสินค้า หรือ เพื่อการบริโภค

เช่นเดียวกับแนวคิดเรื่องการบริหารจัดการด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานเพื่อการขนส่งทางราง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นเส้นทางหลักของประชากรไทย ในการเดินทาง และ ขนส่งสินค้า หากมีการวางแผนอย่างเหมาะสมจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ลดเวลาในการเดินทางลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองส่วนหลักๆ โดยมีแนวคิดการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสถานการณ์ ได้แก่

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคาดการณ์ตลาดสินค้าเกษตรและตลาดพลังงาน เป็นการช่วยตัดสินใจในการผลิตและจำหน่ายสินค้าทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจพลังงานไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง เพื่อเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรตามความต้องการของประชากร

เห็นได้อย่างชัดเจนว่าผู้วิจัยต้องการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักในการบริหารงานในหลากหลายรูปแบบ หากแต่เป้าหมายมีความสัมพันธ์กับความต้องการในการใช้งานของประชากร สื่อออกมาได้กับความต้องการในตลาดสินค้าทางการเกษตร ตลาดพลังงาน ปริมาณการขนส่ง จำนวนเที่ยวรถไฟ การใช้เทคนิคเหล่านี้ เป็นการผนวกรวมศาสตร์แห่งวิชาการทางวิศวกรรมกับเรื่องของความต้องการของมนุษย์ เพื่อหาแนวทางที่เป็นคำตอบที่ประชากรที่ใช้งานจะยอมรับได้อย่างยั่งยืนทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุด มาใช้ในการบริหารจัดการความต้องการของมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่นพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความต้องการในการใช้งานทรัพยากรในชีวิตประจำวัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมสำหรับการบริหารจัดการวางแผนการใช้งานทรัพยากรด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการใช้พลังงาน หรือแม้แต่การวางแผนตารางการใช้งานรถไฟสาธารณะในชีวิตประจำวัน โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้ 1.3.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Deterministic Model) และ วิเคราะห์ ด้วยวิธี การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยใช้ความสัมพันธ์ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Functions) และ ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint Functions) เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และหาคำตอบด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1 ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมในการตัดสินใจการใช้วัตถุดินทางการเกษตรเพื่อการเป็นอาหารหรือเป็นแหล่งพลังงานเพื่อการขนส่ง เพื่อความคุ้มค่า ต่อการบริหารจัดการมากที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ สินค้าเกษตรอื่นๆ ได้ต่อไป

1.3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์ตัดสินใจสถานการณ์ของตลาดพลังงานโดยพิจารณาจากความต้องการในการใช้งาน (Demand) ความต้องการในการขาย (Supply) ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น

1.3.3 ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมในการบริหารจัดการตารางเวลาในการเดินรถไฟสาธารณะ ทั้งจำนวนเที่ยวของรถไฟ จำนวนสถานที่ระยะเวลาในการหยุดแต่ละสถานี เพื่อเป็นการวางแผนการใช้งานทรัพยากรอย่างเหมาะสม

1.3.4 ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ที่แต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้รวบรวมเอาไว้แล้ว และได้ทำการเผยแพร่เท่านั้นอีกทั้งข้อจำกัดของช่วงเวลาในการพิจารณาทำให้ข้อมูลเป็นจริงตามช่วงเวลาที่พิจารณาเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลลัพธ์ของการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ คาดว่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

1.4.1 เพื่อแนะนำผู้สนใจและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมมาช่วยในการตัดสินใจ ในการกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อม และการจัดการทรัพยากร ซึ่งในงานศึกษานี้ คือ การเลือกวัตถุดิบทางการเกษตร สำหรับผลิตไบโอดีเซล การตัดสินใจเมื่อเปรียบเทียบกับราคาในตลาดพลังงาน หรือแม้แต่การวางแผนการจัดตารางรถไฟสาธารณะ

1.4.2 ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จัดทำขึ้น ช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเห็นว่า โดยผลตอบแทนในแง่ของความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม และยั่งยืน นั่นคือ ได้ผลตอบแทนที่เหมาะสม ภายใต้ข้อจำกัดด้านผลผลิตการเกษตรและความสามารถในการผลิต พร้อมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดการวางแผนบริหารจัดการ การกำหนดปริมาณการซื้อขายทรัพยากรธรรมชาติ หรือผลผลิตทางการเกษตรของประเทศโดยมีพื้นฐานทางการตลาดรวมถึงการวางแผนการใช้ทรัพยากรพลังงานในบางธุรกิจขนส่งเช่นการรถไฟเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน, น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองในประเทศไทย

ในบทนี้จะกล่าวถึงปัญหาวิกฤตพลังงานของโลกและประเทศไทย ซึ่งมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่พลังงานประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) มีอยู่จำกัด และ มีแนวโน้มที่จะถูกใช้หมดลงในอนาคต เนื่องจากเป็นทรัพยากรณ์ที่ใช้แล้วหมดไป เอทานอลจึงถูกมองเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือก เพื่อช่วยลดปัญหาวิกฤตขาดแคลนพลังงานในอนาคต แต่ปัจจัยการผลิตเอทานอลซึ่งเป็นผลผลิตการเกษตรที่ใช้ในการบริโภคสำหรับคนและสัตว์ มีกำลังการผลิตอย่างจำกัดเช่นกัน ในบทนี้จึงได้นำเสนอการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้ในการช่วยตัดสินใจในการเลือกวัตถุดิบในการผลิต เอทานอล และการเลือกจำหน่ายวัตถุดิบการเกษตรให้กับตลาดบริโภคหรือตลาดพลังงาน เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด

2.1 บทนำ

ประเทศไทยนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศราว 10% ของ GDP (the Gross Domestic Product) ในกลุ่มของการใช้พลังงานเพื่อการคมนาคมขนส่งประเทศไทยมีการใช้น้ำมันดีเซลถึง 36% จากการใช้พลังงานดีเซลทั้งหมด 50%ของประเทศ จากอัตราดังกล่าวนั้นมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจของประเทศ (Silalertruksa & Gheewala, 2012) สำหรับประเทศไทยนั้นไบโอดีเซลนับได้ว่าเป็นพลังงานชีวมวลที่สำคัญ มีส่วนผสมที่ผลิตมาจากผลิตผลทางการเกษตรได้แก่ น้ำมันปาล์ม ซึ่งจากข้อมูลภาพรวมของทั้งประเทศนั้น ปาล์มน้ำมันยังเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่ประชาชนมีการผลิตเพื่อการบริโภคและส่งออกอีกด้วย จากข้อมูลของกระทรวงพลังงานในปี 2555 ได้มีแผนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล B10 และใช้ในภาพรวมของทั้งประเทศอย่างกว้างขวาง กล่าวคือ ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 2,230.33 ล้านลิตรจากปริมาณการผลิตไบโอดีเซลทั้งหมด 2,866.72 ล้านลิตร ที่เหลือผลิตจากสบู่ดำและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าน้ำมันปาล์มสามารถเข้ามาทดแทนปริมาณการนำเข้าน้ำมันดีเซลคิดเป็นมูลค่าประมาณ 74,967.73 ล้านบาท (Krungsri, 2017) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากตารางจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าผลผลิตของปาล์มน้ำมันสามารถมาทดแทนการนำเข้าน้ำมันดีเซลได้อย่างมีนัยสำคัญ การสนับสนุนให้เกษตรกรผลิตและส่งขายให้กับหน่วยงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะช่วยเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรกรรมและลดการนำเข้าสินค้าจำพวกพลังงานจากต่างประเทศลงได้ หากแต่ปัญหาการไม่เพียงพอต่อการผลิตและการบริโภคน้ำมันปาล์มนั้นเป็นอีกประเด็นที่ควรมีการหยิบยกมาศึกษาและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียอย่างชัดเจน ในบทนี้จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ถึงศักยภาพของทางด้านการผลิตและใช้งานผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญที่ประเทศสามารถผลิตทั้งใช้ภายในประเทศ ส่งออกขาย ในรูปแบบสินค้าเกษตร และนอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวลได้ ได้แก่ ปาล์มน้ำมันที่กล่าวข้างต้น มะพร้าวและ ถั่วเหลือง อีกด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณและมูลค่าของน้ำมันดีเซลที่ถูกทดแทนด้วยน้ำมันไบโอดีเซล

ปี	ปริมาณความต้องการน้ำมันดีเซล (ล้านลิตร)	ไบโอออยผลผลิตทางการเกษตร (ล้านลิตร)			การทดแทนน้ำมันดีเซล (%)	มูลค่า (ล้านบาท)
		น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว	รวม		
2555	26,191.30	2,163.21	0	2,163.21	10.35	70,863.10
2556	27,069.20	2,160.87	0	2,160.87	10.11	71,584.06
2557	27,947.20	2,186.57	0	2,186.57	9.99	73,038.26
2558	28,825.10	2,230.33	0	2,230.33	9.95	74,964.73

การคำนวณมูลค่าใช้การราคาเฉลี่ยน้ำมันดีเซลในท้องตลาด ระหว่างเดือน มกราคม ถึง กันยายน 2559 ที่ราคา 26.15 บาทต่อลิตรน้ำมันดีเซล

2.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซล

2.2.1 ปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าในปี 2559 เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มปริมาณการเพาะปลูกจากเดิม 4.30 ล้านไร่ (ในปี 2558) เป็น 4.56 ล้านไร่ โดยมีอัตราผลผลิตที่สูงขึ้นจาก 2,409 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 2,803 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ระหว่างที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลพบว่ายังมีปัจจัยอีกมากที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมัน เช่นกรณีของปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี พบว่ามีผลต่อปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อปีเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น จากข้อมูลในปี 2557 ถึง 2562 บริเวณที่ทำการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันที่มีสภาพค่อนข้างแห้งแล้งทำให้อัตราการผลิตปาล์มน้ำมันค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับฤดูกาลเพาะปลูกปกติ ข้อมูลการผลิตและการนำปาล์มน้ำมันไปใช้ในรูปแบบต่างๆ แสดงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังตารางที่ 2.2 แต่อย่างไรก็ตามปาล์มน้ำมันยังคงเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรหลัก เป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวภาพจำพวกไบโอออยที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย การพัฒนาการเรื่องการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้มีจำนวนมากขึ้นภายใต้ปัจจัยอื่นๆ ด้วยต้นทุนที่ต่ำลง และ ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นน้ำมันปาล์มเพื่อนำมาผสมในน้ำมันดีเซล มีความสำคัญต่อบทบาทในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในอนาคต (Food & Agriculture, 2017)

ตารางที่ 2.2 การใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ปี 2557-2560 (หน่วยเป็น ตัน)

ปี	ใช้ในภาคการเกษตร	ผลผลิต	การนำเข้า	การส่งออก	การบริโภคภายในประเทศ	
					เพื่อบริโภค	ผลิตไบโอดีเซล
2557	204,000	2,000,610	-	255,252	939,369	842,398
2558	167,591	2,068,475	53,279	68,102	1,053,329	833,223
2559	334,691	1,814,496	-	56,638	970,945	890,585
2560	230,929	2,162,496	-	70,000	1,050,000	1,000,000

ที่มา : Department of Internal Trade

2.2.2 มะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยมาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ทั้งในแง่ของการบริโภคและการเป็นวัตถุดิบในการผลิต มีการผลิตมะพร้าวทั่วทุกภาคของประเทศไทย แสดงได้ในตารางที่ 2.3 ทำให้โอกาสในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอออยมีมากกว่า น้ำมันจากงา น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง และ น้ำมันดอกทานตะวัน ซึ่งนับเป็นวัตถุดิบจำพวกเดียวกันในการนำมาบริโภคในครัวเรือน อีกทั้งราคาในการผลิตไบโอดีเซลของวัตถุดิบในกลุ่มนี้มีค่า สูงราว 80% ของราคาการผลิตไบโอดีเซล ทำให้โอกาสในการนำเอามะพร้าวมาเป็นวัตถุดิบมีความเด่นชัดกว่าวัตถุดิบอื่นในกลุ่มนี้ (Food & Agriculture, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลผลิตมะพร้าวในประเทศไทยแยกตามรายภาค

ภาคต่างๆในประเทศไทย	ผลผลิตมะพร้าว (ตัน)		
	2557	**2558**	**2559**
รวมทุกภาค	970,730	904,025	857,710
ภาคเหนือ	6,821	5,000	3,520
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,598	2,890	2,123
ภาคกลาง	419,789	419,789	400,745
ภาคใต้	516,595	476,346	451,322

2.2.3 ถั่วเหลือง

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าในปี **2559/2560** เกษตรกรผู้ปลูกถั่วเหลืองเพิ่มปริมาณการเพาะปลูกจากเดิม 0.212 ล้านไร่ (ในปี **2555/2556**) เป็น **0.217** ล้านไร่ โดยมีอัตราผลผลิตที่สูงขึ้นจาก 55,979 ตัน เป็น 56,963 ตัน อัตราผลผลิตจากปี **2559/2560** อยู่ที่ 264 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มจากปี 2558/2559 ซึ่งมีปริมาณอยู่ 262 กิโลกรัมต่อไร่ (Food & Agriculture, 2017) แม้ว่าต้นทุนในการผลิตเป็นไบโอดีเซลของน้ำมันจากถั่วเหลืองจะมีความเป็นไปได้น้อยกว่า ปาล์มน้ำมันและมะพร้าว แต่เนื่องจากแนวโน้มผลผลิตของถั่วเหลืองมีปริมาณมากขึ้นจึงทำให้เพิ่มความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญแหล่งหนึ่งของไบโอดีเซล

2.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

น้ำมันไบโอดีเซล หรือที่เราเรียกกันว่า B100 ในประเทศไทยปัจจุบันมีการผลิตจากวัตถุดิบที่ได้จากน้ำมันปาล์ม เช่น น้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil = CPO) น้ำมันปาล์มดับกลิ่นฟอกขาวบริสุทธิ์ (refined bleached deodorized palm oil = RBDPO) สเตียรินปาล์ม และกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์ม (free fatty acids of palm oil = Free fatty acid). นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์ในประเทศให้ใช้น้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว กลับมาทำให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในประเทศไทยมีอยู่เพียงหนึ่งหรือสองแห่ง นับเป็นความรับผิดชอบต่อสังคมขององค์กรที่สำคัญในการนำวัตถุดิบเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ผลิตเป็นไบโอดีเซลใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และต่อยอดทางธุรกิจ อย่างไรก็ตามมีการจำกัดการใช้งานน้ำมันปรุงอาหารเพื่อนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลเพียง 5-6 ล้านลิตรต่อปีเท่านั้น อีกเหตุผลที่สำคัญได้แก่ความมุ่งหวังของรัฐบาลในการช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมัน ในการใช้ผลผลิตมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยมีกำหนดและควบคุมการควบคุมการนำเข้าน้ำมันปาล์มอย่างเข้มงวด (Statista) ในขณะเดียวกันขั้นตอนหรือกระบวนการในการผสมไบโอดีเซลระหว่างปิโตรเลียม บริเวณโรงกลั่นก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งได้รับการควบคุมและติดตามอย่างเข้มงวด ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดการผสมไบโอดีเซล และเป็นไปตามความต้องการของการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศทั้งหมด ทั้งนี้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดและการใช้งานน้ำมันดีเซลสำหรับยานพาหนะบนทั้ง ทั้งการขนส่งทางบก น้ำ และอากาศ รวมไปถึงภาคการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมอีกด้วย

2.3.1 การวิเคราะห์ทางด้านการตลาด

ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งจากการบริโภคเป็นน้ำมันปรุงอาหารภายในประเทศและการนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยมีอัตราการผลิตอยู่ที่ 1.78% และ 8.11% ตามลำดับ สำหรับปี 2559 ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อการบริโภคอยู่ที่ 970,945 ตัน ลดลงจาก 1,053,329 ตันในปี 2558 อยู่ที่ 7.82% ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบสำหรับการผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ที่ 890,858 ตัน เพิ่มขึ้นจาก833,223 ตันในปี 2558 คิดเป็นร้อยละ 6.88 เนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันดีเซลจริงเพิ่มขึ้นจาก 58.52 ล้านลิตร ในปี 2558 เป็น 61.22 ล้านลิตรในปี 2559

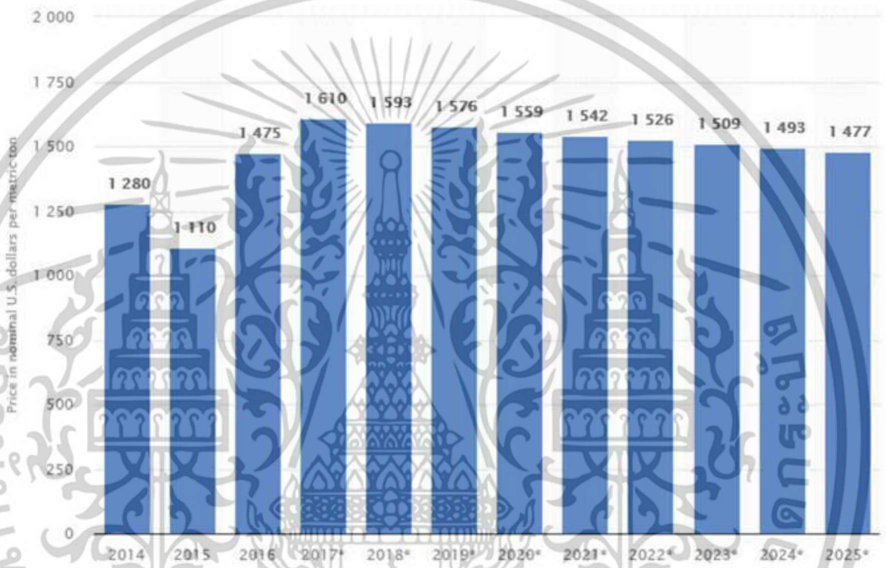
ในขณะที่ สำหรับปี 2556 – 2559 ความต้องการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองเมล็ดมีเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.03 ต่อปี (Food & Agriculture, 2017) สำหรับปี 2559 มีความต้องการอยู่ที่ 2.66 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 2.62 ล้านตันในปี 2558 คิดเป็นร้อยละ 1.53 การใช้ถั่วเหลืองมีจุดประสงค์หลายประการ เช่น การนำมาสกัดเอาน้ำมัน การปรับปรุงพันธุ์ และการแปรรูปอาหาร ปรากฏร้อยละ 67.3 ร้อยละ 0.15 และร้อยละ 32.05 ของความต้องการเมล็ดถั่วเหลืองโดยรวม ตามลำดับ (Food & Agriculture, 2017)

2.3.2 การวิเคราะห์ทางด้านราคา

ในกรณีปาล์มน้ำมัน ปี 2555 – 2558 ราคาปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มของไทยมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น เพิ่มขึ้นตามราคาน้ำมันปาล์มดิบตามราคาของตลาดโลก ส่งผลให้เกิดการแข่งขัดในการซื้อขายปาล์มน้ำมันด้านราคาเพื่อนำไปผลิตเป็น น้ำมันใช้ปรุงอาหารและ การนำไปผลิตเป็นน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในอุตสาหรรมไบโอดีเซล การเคลื่อนไหว ราคาผลปาล์มสดที่จำหน่ายโดยเกษตรกรในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.23 ในปี 2559 ราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัม อยู่ที่ 5.50 บาท เพิ่มขึ้นจาก 4.12 บาท ในปี 2558ในอัตราร้อยละ 33.50 ในกรณีถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง และน้ำมันถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาในประเทศก็แตกต่างกันไปตามราคาของตลาดและเกรดของเมล็ดถั่วเหลืองโลกปี 2559 อาจอยู่ที่ 14.47 บาทต่อกิโลกรัม ลดลงจากกิโลกรัมละ 15.46 บาทปี 2558 ร้อยละ 6.40 ราคานำเข้าเมล็ดถั่วเหลือง ปี 2559 อยู่ที่ 14.43 บาทลดลงจากปี 2558 จาก 15.00 บาทต่อกิโลกรัม และร้อยละ 3.80 ขายส่ง ราคาน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ ปี 2559 อยู่ที่กิโลกรัมละ 38.98 บาท ลดลงจาก 47.48 บาทต่อกิโลกรัมของปี 2558 คิดเป็นร้อยละ 18.55 ในกรณีของมะพร้าว ได้มีการคาดการณ์ราคาของมะพร้าวแสดงดังภาพที่ 1 สถิตินี้แสดงราคาเฉลี่ยต่อปีสำหรับน้ำมันมะพร้าวตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2568 ในปี 2559ราคาน้ำมันมะพร้าวเฉลี่ยอยู่ที่ 1,475 ดอลลาร์สหรัฐต่อเมตริกตัน



รูปที่ 2.1 สถิติแสดงราคามะพร้าวเฉลี่ยต่อปี

สรุปผลการศึกษา

จากผลการการศึกษาพบว่าประเทศไทยในปัจจุบันมีการดำเนินการพัฒนาพลังงานทดแทนตามแผนงาน พ.ศ. 2558 (AEDP, 2558) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพการณ์ทางด้านเศรษฐกิจพบว่าเป้าหมายของแผนการใช้พลังงานทดแทนจำพวกน้ำมันไบโอดีเซลลดลงเนื่องจากการคาดการณ์ราคาน้ำมันที่ลดลงและอุปทานวัตถุดิบเอธานอลและไบโอดีเซลมีจำกัดเป้าหมายสุดท้ายสำหรับการบริโภคทั้งน้ำมันแก๊สโซฮอล์และไบโอดีเซล

ในปี 2579 เป็น 2.6 พันล้านลิตรต่อถัง การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ทำให้ไทยเป็นประเทศผู้ใช้พลังงานรายใหญ่อันดับสองในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้รัฐบาลไทยประกาศเป็นผู้นำเข้าน้ำมันสุทธิเพื่อประกันการพัฒนาที่ยั่งยืนและความมั่นคงด้านพลังงานไทยใช้จ่ายเกิน 10% ของ GD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่า ของตลาดไบโอดีเซลในประเทศไทย

ในบทนี้นำเสนอแบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่า เพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการผลิตผลิตผลทางการเกษตร เพื่อนำมาใช้ในการเป็นวัตถุดิบในการเป็นพลังงานในตลาดไบโอดีเซลหรือการใช้วัตถุดิบเหล่านั้นในการผลิตเพื่อการอุปโภคและบริโภคในประเทศ โดยมีการกำหนดให้ในแบบจำลองนี้ มีผู้เล่นเชิงกลยุทธ์สามคนที่แข่งขันกันในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร ผู้เล่นทั้งสามรายมีความสามารถในการผลิตและตัดสินใจที่จะขายผลิตผลทางการเกษตรให้กับผู้ประกอบการหรือตลาดเพื่อการแปรรูปไปเป็นอาหารเพื่อการบริโภค หรือแปรรูปไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยการตัดสินใจขึ้นกับราคาของผลผลิตในตลาดดังกล่าว ผู้เล่นรายแรกเป็นตัวแทนของผู้ผลิตที่ผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ผู้เล่นรายที่สองและสามผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันถั่วเหลืองตามลำดับ การตัดสินใจของผู้เล่นเชิงกลยุทธ์เกี่ยวข้องกับปริมาณปาล์ม มะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองที่เกี่ยวข้องกับราคาตลาด บทความนี้ใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวัตถุประสงค์ของผู้มีอำนาจตัดสินใจภายในขอบเขตของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีอยู่และยังให้ผลลัพธ์สำหรับการผลิตพลังงานที่ยั่งยืน

3.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ไบโอดีเซลถือเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ ประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงาน จัดให้ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันสบู่ดำ ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตรในประเทศมีประมาณ 2,700 ล้านลิตร คิดเป็นเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ของศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทยในปี 2558 นอกจากนี้ ประชากรไทยใช้ไบโอดีเซลจากผลผลิตทางการเกษตรเพื่อลดการนำเข้า 74,964 ล้านบาท (ราคาปัจจุบัน)

นอกจากนี้การบริโภคน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นในภาคการขนส่ง เนื่องจากอุปสงค์และอุปทานของตลาดในประเทศไทยมีมาก เพราะเราไม่ใช่ประเทศที่ผลิตปิโตรเลียมได้ด้วยตัวเอง การพยายามที่จะพึ่งพาตัวเองด้วยการพัฒนาแหล่งน้ำมันทดแทนหมุนเวียนจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้ รัฐบาลไทยจึงผลักดันนโยบายหลายประการเพื่อเพิ่มการผลิตปาล์ม มะพร้าว และถั่วเหลือง และรับน้ำมันจากพวกเกษตรกรมาเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามปาล์ม มะพร้าว และถั่วเหลืองก็ยังเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทั้งของมนุษย์และสัตว์ต่างๆ เช่นกัน ตัวอย่างเช่นปาล์มใช้ในการผลิตน้ำมันปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารมนุษย์และสัตว์ และมะพร้าวเป็นอาหารทั่วไปที่ความนิยมในการบริโภคมีมากขึ้นในทุกๆปี ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การผลิตปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และถั่วเหลืองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ผลิตเพื่อเป็นพลังงานทดแทนและอาหารของมนุษย์และสัตว์ ดังนั้นปัจจัยด้านราคาของวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารไม่เพียงดึงดูดผู้ผลิตปาล์ม มะพร้าว และถั่วเหลืองเท่านั้น แต่ราคาในการนำมาเป็นวัตถุดิบหลักผลิตน้ำมันไบโอดีเซลก็เป็นอีกหนึ่งข้อดีจากสินค้าเกษตรเหล่านี้

ในบทนี้ได้นำเสนอและวิเคราะห์แบบจำลองดุลยภาพของตลาดที่มีการแข่งขันซึ่งสามารถนำไปใช้กับตลาดพลังงานน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจากการใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจนี้สามารถช่วยให้เกษตรกรผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และมันถั่วเหลือง หรือผู้มีอำนาจตัดสินใจรายอื่นในตลาดขายผลิตภัณฑ์ของตนให้กับผู้ผลิตพลังงานหรืออาหารได้อย่างเหมาะสมกับราคาในท้องตลาดผ่านการคาดการณ์ราคาของตลาดพลังงานได้

3.2 การผลิตไบโอดีเซล

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบประเภทน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมี 3 ชนิดคือ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้ว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. น้ำมันพืช

วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิดที่สำคัญคือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากเมล็ดฝ้ายและเมล็ดองุ่น นอกจากนี้ยังมีพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาสกัดเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ เช่น น้ำมันละหุ่ง น้ำมันรำข้าว น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันงา ฯลฯ วิธีการสกัดน้ำมันออกจากพืชโดยการนำพืชหรือวัตถุดิบเหล่านั้นไปบด จากนั้นนำไปสกัดด้วยวิธี soxhlet extraction ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ส่วนอีกวิธีการคือ การแช่ด้วยตัวทำละลายจากนั้นนำไปกรองน้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันอิสระที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 14-20 อะตอม ซึ่งมีจำนวนและตำแหน่งของพันธะคู่ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีน้ำ sterol phospholipid กลิ่น และสิ่งเจือปนอื่นๆ ในน้ำมัน โดยพบว่าน้ำมันจากเมล็ดองุ่นมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันดังนี้ กรดโอเลอิก>กรดลิโนเลอิก>กรดลิโนเลนิก>กรดปาล์มิติก โดยน้ำมันดอกคำฝอย (safflower oil) และน้ำมันลินซีด (linseed oil) มีกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกสูง ขณะที่น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงคือ กรดปาล์มิติก ประเทศที่นำน้ำมันจากพืชมาใช้ผลิตไบโอดีเซลบ้างแล้ว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้น้ำมันถั่วเหลือง ประเทศในทวีปยุโรปใช้น้ำมันจากเมล็ดองุ่น ประเทศอินเดียใช้น้ำมันปาล์ม สำหรับประเทศไทยสามารถใช้วัตถุดิบหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์มจากผลปาล์ม (palm kernel oil) และน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าว (coconut oil) โดยน้ำมันปาล์มถูกนำมาผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง และสบู่ดำ (Rashid & Anwar, 2008)

2. ไขมันสัตว์

ไขมันจากสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ไขมันจากไก่ น้ำมันหมูและไขมันจากวัว องค์ประกอบของไขมันสัตว์พบว่ามีกรดโอเลอิก (C18:1) มากที่สุดประมาณ 41-44% รองลงมาคือ กรดปาล์มมิติก (C16:0) 23% และกรดสเตียริก (C18:0) 13% โดยองค์ประกอบของไขมันสัตว์กับน้ำมันถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนคือ น้ำมันถั่วเหลืองมีกรดลิโนเลอิก (C18:2) มากที่สุด 52% รองลงมาคือ กรดโอเลอิก 21% และกรดปาล์มมิติก 11% ไขมันสัตว์จากไก่พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุดเมื่อเทียบกับไขมันสัตว์ด้วยกัน ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำมันหมูและน้ำมันจากวัว ขณะที่ในน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวถึง 81% ซึ่งอาจเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองและไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์ เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีส่วนทำให้การเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ เช่น กระบวนการออโตออกซิเดชัน (auto-oxidation) และพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ที่มีส่วนสำคัญกับความเสถียรต่อความร้อนของไบโอดีเซล มีการถกเถียงเกี่ยวกับปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวที่มีส่วนทำให้เครื่องยนต์เสื่อมสภาพลง ความหนืดของไบโอดีเซลที่มาจากไขมันสัตว์มีค่าสูงกว่าจากน้ำมันถั่วเหลืองเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ของ ASTM อาจเนื่องมาจากน้ำมันพืชจากถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าไขมันสัตว์ การใช้ไขมันสัตว์ในการผลิตไบโอดีเซลมีข้อดีคือ ราคาไม่แพง หาได้จากโรงงานอุตสาหกรรม แต่มีข้อเสียคือ ไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติในการไหลเท (pour point) ต่ำ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการกลั่นแยกส่วนก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Wyatt et al., 2005)

3. น้ำมันที่ใช้แล้ว

น้ำมันที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้ สามารถตรวจสอบได้โดยการหาค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยวิธีการไทเทรต (titration) พบว่า น้ำมันที่ใช้แล้วมีค่าความเป็นกรดและมีความหนืดเชิงไคเนติกส์สูงกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้ น้ำมันที่ใช้แล้วต้องใช้ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ปริมาณเอสเตอร์มากกว่าน้ำมันที่ไม่ได้ใช้ประมาณ 10% ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันใช้แล้วมีสิ่งเจือปนมากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้ แต่มีข้อดีคือ ทำให้ราคาไบโอดีเซลถูกกว่าน้ำมันปิโตรเลียม การใช้วัตถุดิบที่เหลือทิ้ง เช่น น้ำมันจากร้านอาหารหรือโรงงานอุตสาหกรรมมาผลิตไบโอดีเซล จะทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีราคาถูกลงและช่วยรัฐบาลแบ่งเบาภาระในการกำจัดวัตถุดิบที่ใช้แล้วเหล่านั้น น้ำมันที่ใช้แล้วและไขมันสัตว์ถือว่ามีคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันพืชกลั่นบริสุทธิ์ในด้านของปริมาณกรดไขมันอิสระ จึงต้องมีการบำบัดก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล เช่น ไขมันสัตว์อาจมีการปนเปื้อนของกระดูกและเศษเนื้อทำให้ต้องผ่านการกรองก่อน นอกจากนี้อาจมีการเอาน้ำออกและกลั่นด้วยไอน้ำ การฟอกสี การเอาน้ำออกทำได้โดยแยกตามความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นโดยใช้ถังในแนวราบ เพื่อลดความเข้มข้นของน้ำในไขมันที่เหลือทิ้งให้เหลือ 0.5% การเอาน้ำออกมีความจำเป็นสำหรับน้ำมันปรุงอาหารที่อาจมีน้ำปนอยู่ถึง 3 % นอกจากนี้ยังมีการกลั่นด้วยไอน้ำเพื่อทำลายโปรตีนที่เหลืออยู่ในไขมันและการฟอกสีเพื่อเอาโปรตีนที่เน่าเปื่อยออก แม้ว่าไขมันสัตว์และน้ำมันที่ใช้แล้วจะเป็นแหล่งวัตถุดิบราคาไม่แพงสำหรับผลิตไบโอดีเซลก็ตาม แต่ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่สูงทำให้วัตถุดิบประเภทนี้ไม่เหมาะกับการผลิตไบโอดีเซลร่วมกับด่างโดยตรงเนื่องจากอาจเกิดสบู่ปะปนออกมาด้วย

3.2.2 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลเมื่อมีส่วนที่เป็นน้ำมันแล้ว จะต้องอาศัยแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย การผลิตไบโอดีเซลทางการค้าจำเป็นต้องอาศัยความรู้และเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีความคุ้มทุนและสามารถผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เพื่อให้ได้เอสเตอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ด่าง กรด และเอนไซม์หรืออาจจะไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเริ่มจากการนำน้ำมันที่สกัดได้มาให้ความร้อนจากนั้นเติมแอลกอฮอล์ปฐมภูมิหรือแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (primary or secondary monohydric aliphatic alcohol) ที่มีคาร์บอน 1-8 อะตอมและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปนิยมใช้เมทานอลและเอทานอลมากที่สุด การใช้เอทานอลมีข้อดีคือ ได้จากพืช ทำให้สามารถหาทดแทนได้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การทำปฏิกิริยาต้องนำน้ำมันหรือไขมันมาผสมกับแอลกอฮออล์โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาทันที จากนั้นนำไปปั่นกวน โดยกำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์จะได้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นเอสเตอร์ของกรดไขมันและชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล นำชั้นบนไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการกลั่น แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ จากนั้นนำไปกรองด้วยโซเดียมซัลเฟตเพื่อกำจัดน้ำหรือนำชั้นบนไปทำให้เจือจางด้วยอีเทอร์แล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น ตามลำดับ แล้วนำไปดูดน้ำออกด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและระเหยตัวทำละลายออก จากนั้นหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เอสเตอร์ของกรดไขมันและกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่เหลืออยู่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น HPLC,GC, TLC และ NMR (สำหรับหาอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหมู่ methoxy และ methylene proton) (Leung & Guo, 2006) ไบโอดีเซลที่เตรียมจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้วจะมีไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นไตรเอสเตอร์ของกลีเซอรอลระหว่างกรดไขมัน 3 ตัวกับกรดคาร์บอกซิลิกสายโซ่ตรงยาวที่โมเลกุลเป็นโมโนและไดกลีเซอไรด์มาจากการแทนที่ของกรดไขมัน 2 ตัวและ 1 ตัวตามลำดับ ที่ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลของกรดคาร์บอกซิลิก ไขมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบประกอบด้วยกลีเซอไรด์และกรดไขมันหลายชนิด ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในการผลิตไบโอดีเซลคือ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือ เมทานอลเนื่องจากมีราคาถูกและมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ สภาวะในการทำปฏิกิริยาและการแยกผลิตภัณฑ์ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา การเกิดสบู่เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเกิดจากไฮดรอกไซด์ของโลหะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ สบู่ที่เกิดขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและทำให้ขั้นตอนในการแยกให้บริสุทธิ์มีความยุ่งยากมากขึ้นและเสียค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาต้องใช้แอลกอฮอล์ที่มีน้ำน้อย (anhydrous alcohol) คือไม่เกิน0.1-0.3% หรือน้อยกว่าเนื่องจากการมีน้ำจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของแอลคิลเอสเตอร์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ จากนั้นก็จะเกิดเป็นสบู่ขึ้น ปกติปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดหรือด่างในการเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนที่ผันกลับได้ โดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ สุดท้ายเปลี่ยนเป็นแอลคิลเอสเตอร์ 3 โมลและกลีเซอรอล 1 โมล ขั้นตอนที่กำหนดปฏิกิริยาจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาของ 3 ขั้นตอน เริ่มจากการถ่ายเทมวลระหว่างสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาคือ น้ำมันกับแอลกอฮอล์-ตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเกิดปฏิกิริยาเป็นเอสเตอร์ซึ่งเป็นอิมัลชันช่วงนี้เป็นช่วงที่กำหนดปฏิกิริยาช่วงที่ 2 โดยการควบคุมแบบไคเนติกส์ในการเกิดผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นจุดสมดุลที่อยู่ใกล้กับจุดสิ้นสุดปฏิกิริยา (Lotero et al., 2005)

ปริมาณน้ำจะส่งผลต่อปฏิกิริยาที่ใช้กรดมากกว่าปฏิกิริยาที่ใช้ด่าง กล่าวคือวัตถุดิบที่มีน้ำอยู่ 5% ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้กรดจะเหลือ 6% ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ด่างมีถึง 70% ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลดูจากปริมาณเมทิลเอสเตอร์ (น้ำหนักเอสเตอร์/น้ำหนักผลิตภัณฑ์) ซึ่งค่าที่ได้หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเมทิลเอสเตอร์ ส่วนค่าการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์หมายถึง น้ำหนักผลิตภัณฑ์/น้ำหนักน้ำมันตั้งต้น ซึ่งค่านี้หมายถึงการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเตอร์ได้มากหรือน้อย (Leung, DYC., and Guo, Y., 2006) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะต้องไม่มีน้ำปะปนมาเนื่องจากโมเลกุลน้ำจะทำลายโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา มีรายงานว่าการกำจัดโมเลกุลของน้ำสามารถใช้เตาอบไมโครเวฟที่ 60°C เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นนำน้ำมันผสมกับเอทานอลที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยขั้นตอนของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีการใช้เตาอบไมโครเวฟเข้ามาช่วยเพื่อกำจัดน้ำออกไป นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันยังใช้ไมโครเวฟช่วยในการปรับปรุงการสกัดและช่วยเร่งปฏิกิริยา โดยลดเวลาในการเกิดผลิตภัณฑ์ซึ่งปกติใช้เวลา 75 นาที เหลือเพียง 4 นาทีเท่านั้น อีกทั้งยังเกิดผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด แต่ต้องมีการควบคุมการใช้ไมโครเวฟไม่ให้ร้อนเกินไปเนื่องจากจะไปทำลายสารประกอบอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ เนื่องจากโครงสร้างของแอลกอฮอล์จะมีการจัดเรียงตัวในแนวสนามแม่เหล็กที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลมีการหมุนและเกิดความร้อนจากการเสียดสีของการหมุนระหว่างโมเลกุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิบริเวณ catalytic site สูง การใช้ไมโครเวฟจึงทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากันอย่างมีประสิทธิภาพและช่วยให้การแยกทำได้ดีขึ้นโดยใช้ไมโครเวฟ 2-3 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ 3 นาที การแยกชั้นจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ การใช้ไมโครเวฟในการแยกชั้นใช้กับการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียจะช่วยให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้เร็วและปลอดภัย (Saifuddin, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ความแตกต่างของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลมีที่มาจากพืชหรือสัตว์ สามารถหาทดแทนได้ด้วยการปลูกหรือเลี้ยงใหม่ แต่น้ำมันดีเซลเป็นสิ่งที่ได้มาจากการกระทำของธรรมชาติโดยตรง อาจจะต้องใช้เวลาหลายล้านปีจึงจะได้เป็นน้ำมันดีเซล ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลต้องใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เข้ามาร่วมด้วย รวมทั้งการใช้เอนไซม์ซึ่งต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีหรือชีวเคมี แต่การผลิตน้ำมันดีเซลต้องใช้การขุดเจาะไปใต้ดินเพื่อนำน้ำมันดิบมากลั่นเป็นน้ำมันชนิดต่างๆ ประเทศไทยไม่มีแหล่งในการขุดเจาะน้ำมันที่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นราคาน้ำมันดีเซลอาจมีการผันผวนได้ขึ้นกับตลาดต่างประเทศ แต่สำหรับไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้เองในประเทศ ทำให้สามารถที่จะควบคุมราคาของน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล สมบัติของไบโอดีเซล พบว่ามีค่าทางการไหลและการเผาไหม้ที่คล้ายกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือสามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลและใช้ในเครื่องยนต์ได้ เมื่อใช้ไบโอดีเซล 100% จะให้พลังงานเท่ากับ 90% ของน้ำมันดีเซล โดยสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลปกติได้ การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ตามมาตรฐานของ ASTM ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซลมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลมีกำมะถันเป็น 20-50% ของน้ำมันดีเซล D2 ไบโอดีเซลจากไขสัตว์มีค่าการหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันปิโตรเลียม โดยพบว่าค่าการหล่อลื่นมาจากการมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก และยังขึ้นอยู่กับปริมาณของ hydroxylated ester และปริมาณกลีเซอรีนอิสระ (free glycerin) นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลจุดวาบไฟ น้ำหนัก และความหนาแน่นของไบโอดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล (Lotero, E., et al., 2005)

เนื่องจากไบโอดีเซลมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ ไบโอดีเซล B5 B20 และ B100 ซึ่งทั้ง 3 ชนิดจะมีสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางการเผาไหม้ที่แตกต่างกันรวมทั้งค่าการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบสมบติการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล B100 กับ B20

ก๊าซและอนุภาคที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม	B100	B20
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	-48	-12
ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	-67	-20
อนุภาคขนาดเล็ก	-47	-12
ไนโตรเจนออกไซด์	-10	+2
ซัลเฟต	-100	-20
ก๊าซพิษ	-60 ถึง -90	-12 ถึง -20
สารก่อมะเร็ง	-80 ถึง -90	-20

ที่มา : (Lotero et al., 2005)

จากตารางที่ 3.1 สามารถสรุปได้ว่าการใช้ไบโอดีเซล B100 จะปลดปล่อยของเสียโดยรวมออกมาในปริมาณน้อยกว่าการใช้ไบโอดีเซล B20 โดยพบว่าไบโอดีเซล B100 สามารถปลดปล่อยก๊าซพิษลดลงกว่าน้ำมันดีเซลปกติได้ถึง 60 ถึง 90% ขณะที่การใช้ไบโอดีเซล B20 ลดการปลดปล่อยก๊าซพิษได้เพียง 12 ถึง 20% เท่านั้น รวมทั้งค่าของสารก่อมะเร็งจากการใช้ไบโอดีเซล B100 มีการลดลง 80% ถึง 90% ส่วนไบโอดีเซล B20 จะปล่อยสารก่อมะเร็งลดลง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากข้อมูลนี้จึงควรมีการสนับสนุนและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล B100 เพื่อช่วยลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

3.3 แบบจำลองแบบสมดุลของตลาดไบโอดีเซล

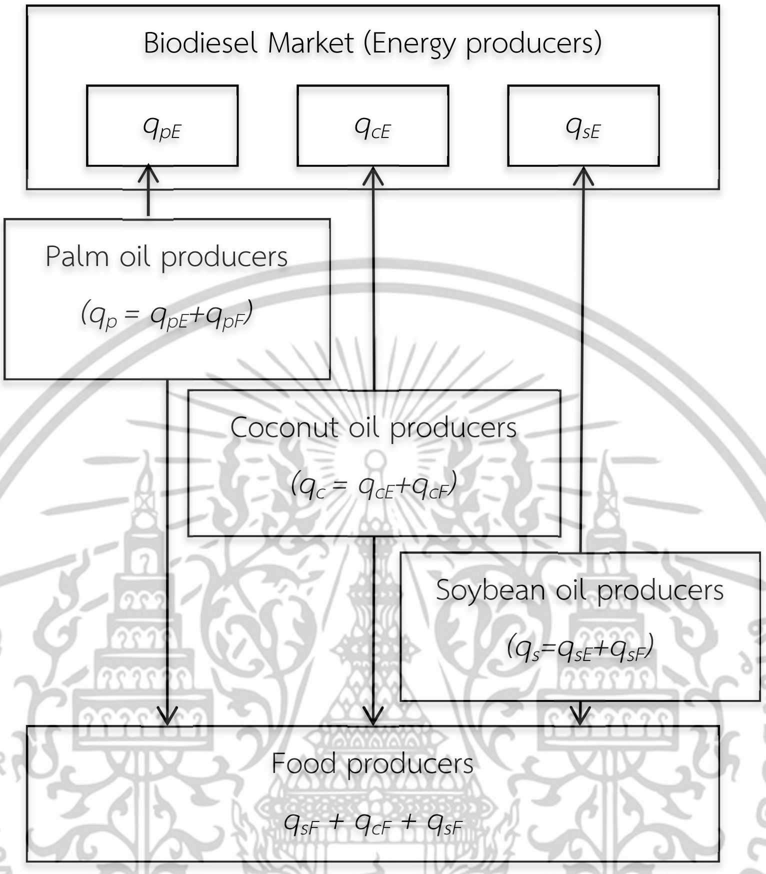
ในส่วนต่อไปนี้เราจะอธิบายผู้เข้าร่วม ผู้ผลิต หรือผู้เล่น ทั้งหมดในแบบจำลองได้แก่ ผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง ตลอดจนคำอธิบายโดยละเอียดของตลาดไบโอดีเซล นอกจากนี้เรายังนำเสนอเกี่ยวกับตัวแปรการตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดที่เกี่ยวข้อง [2]

3.3.1 ผู้ผลิตในตลาดไบโอดีเซลที่ใช้ในแบบจำลองแบบสมดุล

ผู้เข้าร่วมหรือผู้ผลิตในรูปแบบสมดุลสำหรับตลาดไบโอดีเซล ได้แก่ ผู้ผลิตปาล์ม มะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง ผู้ผลิตสามรายสามารถตัดสินใจขายปาล์มน้ำมัน (q_p) มะพร้าว (q_c) และถั่วเหลือง (q_s) ให้กับผู้ผลิตพลังงาน (q_pE, q_cE, q_sE) หรือผู้ผลิตอาหาร (q_pF, q_cF, q_sF) ตามลำดับ ผู้ผลิตสามารถตัดสินใจขายผลิตภัณฑ์ทั้งหมดให้กับผู้ผลิตพลังงาน ขายบางส่วน หรือไม่ขายก็ได้ ขึ้นอยู่กับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการของตลาดไบโอดีเซล รูปที่ 1 แสดงแผนภาพเความป็นไปได้ของการตัดสินใจที่จะตัดสินใจน้ำมันปาล์ม มะพร้าว และถั่วเหลืองสู่ตลาดไบโอดีเซล



รูปที่ 3.1 แสดงความเป็นไปได้ของการตัดสินใจที่จะขายน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองของผู้ผลิตสู่ตลาด

3.3.2 ตัวแปรในการตัดสินใจและพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

สำหรับตัวแปรในการตัดสินใจและพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองนี้ มีพื้นฐานและแนวคิดตาม [1], [3], [4] และแสดงด้วยสัญลักษณ์ดังแสดงด้านล่างนี้

q_{pE} แสดงถึงกำลังการผลิตน้ำมันปาล์ม ในหน่วย ลิตร

q_{cE} แสดงถึงกำลังการผลิตน้ำมันมะพร้าว ในหน่วย ลิตร

q_{sE} แสดงถึงกำลังการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง ในหน่วย ลิตร

q_{bp} แสดงถึงปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม ในหน่วยลิตร

q_{bc} แสดงถึงปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าว ในหน่วยลิตร

q_{bs} แสดงถึงปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง ในหน่วยลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

π_b แสดงราคาของน้ำมันไบโอดีเซลในตลาดพลังงาน ในหน่วย บาทต่อลิตร

γ_{bp} ราคาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ในหน่วย บาทต่อลิตร

γ_{bc} ราคาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ในหน่วย บาทต่อลิตร

γ_{bs} ราคาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง ในหน่วย บาทต่อลิตร

$\bar{q}_{EP}$ ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มในตลาด ในหน่วย ลิตร

$\bar{q}_{EC}$ ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวในตลาด ในหน่วย ลิตร

$\bar{q}_{ES}$ ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองในตลาด ในหน่วย ลิตร

b = -6.6823

a = 49.97

3.3.3 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของปัญหา

ในการตั้งวัตถุประสงค์ของแบบจำลองสมดุลนี้เพื่อต้องการเพิ่มผลกำไรของผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและ น้ำมันถั่วเหลือง ที่ตัดสินใจขายผลผลิตในตลาดพลังงานให้สูงสุด (กำไรพิจารณาโดยนำรายได้หักด้วยรายจ่าย) โดยผู้เล่นสามคน ได้แก่ผู้ผลิตที่ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (อธิบายไว้ใน (1) และ (2)) จากน้ำมันมะพร้าว (อธิบายไว้ใน (3) และ (4)) และจากน้ำมันถั่วเหลือง (อธิบายไว้ใน (5) และ (6)) ต้องตัดสินใจขายผลผลิตของตนเอง โดยมีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต ที่สัมพันกับปริมาณปาล์ม มะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองสูงสุดที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [5]

สมการผู้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ;

$$Max_{q_{pE}} \pi_E q_{pE} - \gamma_{pE} q_{pE} \quad (1)$$

ภายใต้เงื่อนไข $q_{pE} \leq \bar{q}_{pE}(\lambda_{pE})$ (2)

สมการผู้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ;

$$Max_{q_{cE}} \pi_E q_{cE} - \gamma_{cE} q_{cE} \quad (3)$$

ภายใต้เงื่อนไข $q_{cE} \leq \bar{q}_{cE}(\lambda_{cE})$ (4)

สมการผู้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง ;

$$Max_{q_{sE}} \pi_E q_{sE} - \gamma_{sE} q_{sE} \quad (5)$$

ภายใต้เงื่อนไข $q_{sE} \leq \bar{q}_{sE}(\lambda_{sE})$ (6)

เงื่อนไขของ Karush-Kuhn-Tucker

$$0 \leq -\pi_E + \gamma_{pE} + \lambda_{pE} \perp q_{pE} \geq 0 \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0 \leq \bar{q}_{pE} - q_{pE} \perp \lambda_{pE} \geq 0 \qquad (8)$$

$$0 \leq -\pi_E + \gamma_{cE} + \lambda_{cE} \perp q_{cE} \geq 0 \qquad (9)$$

$$0 \leq \bar{q}_{cE} - q_{cE} \perp \lambda_{cE} \geq 0 \qquad (10)$$

$$0 \leq -\pi_E + \gamma_{sE} + \lambda_{sE} \perp q_{sE} \geq 0 \qquad (11)$$

$$0 \leq \bar{q}_{sE} - q_{sE} \perp \lambda_{sE} \geq 0 \qquad (12)$$

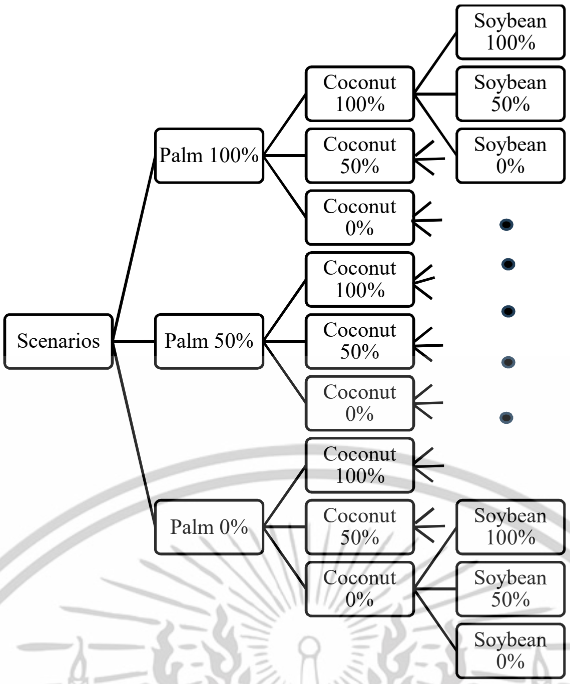
เงื่อนไข Market-clearing condition (อุปสงค์=อุปทาน)

$$\pi_E = a - b(q_{pE} + q_{cE} + q_{sE}) \qquad (13)$$

3.3.4 สถานการณ์ที่ใช้ในการพิจารณาในแบบจำลอง

สำหรับการจำลองสถานการณ์ทั้งหมดที่จะนำมาใช้ในการพิจารณา เพื่อตัดสินใจในการเลือกที่จะขายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรสามชนิด ได้แก่ผลผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองแบ่งออกเป็นสามส่วน กล่าวคือตัดสินใจในสถานการณ์ที่นำผลผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ผลิตไบโอดีเซล 100%, 50% และ 0% ในขณะที่ผู้ผลิตพลังงานยังสามารถซื้อผลิตประเภทน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจำนวน 100%, 50% และ 0% และเช่นเดียวกันกับน้ำมันถั่วเหลืองก็สามารถรับซื้อจำนวน 100%, 50% และ 0% เพื่อผลิตไบโอดีเซลเช่นเดียวกัน ดังนั้น โมเดลการปรับให้เหมาะสมนี้จะพิจารณาสถานการณ์ทั้งหมด 27 สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของสินค้าเกษตรแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น สถานการณ์ที่ 1 พิจารณาน้ำมันปาล์ม 100% (5,169 ล้านลิตร) น้ำมันมะพร้าว 100% (0.584 ล้านลิตร) และน้ำมันถั่วเหลือง 100% (0.024 ล้านลิตร) และสถานการณ์ที่ 2 พิจารณาน้ำมันปาล์ม 100% น้ำมันมะพร้าว 100% และน้ำมันถั่วเหลือง 50% ตามลำดับ รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของแต่ละสถานการณ์ทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นในแบบจำลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงสถานการณ์ในการตัดสินใจของผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลืองเพื่อขายผลิตภัณฑ์ของตนเองในตลาดพลังงาน 100%, 50% และ 0%

3.4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการแบบจำลองดุลยภาพของตลาดพลังงานทั้ง 27 สถานการณ์แสดงได้ตามตารางที่ 3.2 ซึ่งพบว่า น้ำมันปาล์มถูกคัดเลือกมาเพื่อผลิตไบโอดีเซลอยู่เสมอ ปริมาณน้ำมันปาล์ม 4.96 ล้านลิตร ราคาไบโอดีเซล 17.262 บาทต่อลิตร อย่างไรก็ตามหากปริมาณน้ำมันปาล์มในตลาดพลังงานลดลง น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันถั่วเหลืองจะส่งผลต่อราคาตลาดพลังงาน ตัวอย่างเช่น ผู้ผลิตพลังงานควรผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันถั่วเหลือง หากปริมาณน้ำมันปาล์มลดลงเหลือ 50% และเป็นศูนย์ (สถานการณ์ที่ 10 ถึง 27) และน้ำมันมะพร้าวจะส่งผลกระทบต่อตลาดพลังงานหากปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มลดลงเหลือ 50% และเป็นศูนย์ แต่ราคาไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นจาก 31.926 จนถึง 49.890 บาทต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามแม้ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันถั่วเหลืองจะสามารถนำมาใช้ในตลาดพลังงานได้ แต่จะพบว่าราคาน้ำมันไบโอดีเซลค่อนข้างสูงมาก (เป็นสองเท่าหากลดการผลิตจากน้ำมันปาล์มลง) เห็นได้อย่างชัดเจนว่า น้ำมันปาล์มยังคงเป็นหลักในเชิงการตลาดด้านราคา หากผู้ผลิตพลังงานต้องใช้น้ำมันมะพร้าวและ/หรือน้ำมันถั่วเหลืองก็จะเป็นเพียงการนำมาทดแทนการใช้งานในยามจำเป็นเท่านั้น ไม่มีความเหมาะสมในด้านราคาแต่อย่างใด

แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สถานการณ์ทั้ง 27 เป็นเพียงการพิจารณาแบบการลดและเพิ่มช่วงห่างถึง 50% ทำให้การวิเคราะห์ผลยังคงมีช่องว่างให้ผู้ที่สนใจ สามารถพิจารณาเพิ่มเติมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างในการพิจารณาแคบลง เพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ด้านราคาของ น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลืองซึ่งอาจจะเป็นไปได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.2 แสดงราคาของไบโอดีเซลและปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง ที่ขายในตลาดพลังงานในสถานการณ์ที่ผลิตผ่านแบบจำลอง

สถานการณ์	ปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ (น้ำมันปาล์ม; น้ำมันมะพร้าว; น้ำมันถั่วเหลือง	q_bP (ล้านลิตร)	q_bC (ล้านลิตร)	q_bS (ล้านลิตร)	ราคาไบโอดีเซล (บาทต่อลิตร)
1	5,169,435; 584,220; 24,239	4.9558	0	0	17.262
2	5,169,435; 584,220; 12,120	4.9558	0	0	17.262
3	5,169,435; 584,220; 0	4.9558	0	0	17.262
4	5,169,435; 292,110; 24,239	4.9558	0	0	17.262
5	5,169,435; 292,110; 12,120	4.9558	0	0	17.262
6	5,169,435; 292,110; 0	4.9558	0	0	17.262
7	5,169,435; 0; 24,239	4.9558	0	0	17.262
8	5,169,435; 0; 12,120	4.9558	0	0	17.262
9	5,169,435; 0; 0	4.9558	0	0	17.262
10	2,584,718; 584,220; 24,239	2.5847	0.1250	0.0242	31.926
11	2,584,718; 584,220; 12,120	2.5847	0.1371	0.0122	31.926
12	2,584,718; 584,220; 0	2.5847	0.1492	0	31.926

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

สถานการณ์	ปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ (น้ำมันปาล์ม; น้ำมันมะพร้าว; น้ำมันถั่วเหลือง	q_bP (ล้านลิตร)	q_bC (ล้านลิตร)	q_bS (ล้านลิตร)	ราคาไบโอดีเซล (บาทต่อลิตร)
13	2,584,718; 292,110; 24,239	2.5847	0.1250	0.0242	31.926
14	2,584,718; 292,110; 12,120	2.5847	0.1371	0.0122	31.926
15	2,584,718; 292,110; 0	2.5847	0.1492	0	31.926
16	2,584,718; 0; 24,239	2.5847	0	0.0242	32.751
17	2,584,718; 0; 12,120	2.5847	0	0.0122	32.751
18	2,584,718; 0; 0	2.5847	0	0	32.751
19	0; 584,220; 24,239	0	0.5842	0.0242	45.954
20	0; 584,220; 12,120	0	0.5842	0.0122	46.034
21	0, 584,220, 0	0	0.5842	0	46.114
22	0; 292,110; 24,239	0	0.2921	0.0242	47.882
23	0; 292,110; 12,120	0	0.2921	0.0122	47.962
24	0; 292,110; 0	0	0.2921	0	48.042
25	0; 0; 24,239	0	0	0.0242	49.810
26	0; 0; 12,120	0	0	0.0122	49.890
27	0; 0; 0	0	0	0	49.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในสถานการณ์ที่ 27 กล่าวคือไม่มีการใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซล ในตลาดพลังงานราคาน้ำมันจะเท่ากับ 49.97 บาทต่อลิตร ทำให้ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นได้ว่า หากต้องการให้ราคาน้ำมันดีเซลต่ำลง จากกลไกราคาน้ำมันในตลาดพลังงานมีความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนต่าง

3.5 สรุปผลการศึกษา

แบบจำลองสมดุลนี้นำเสนอผู้เล่นซึ่งเป็นผู้ผลิตผลผลิตทางการเกษตร มีการพิจารณารูปแบบการแข่งขันสำหรับตลาดพลังงานไบโอดีเซล ผู้ผลิตสามรายได้แก่ผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลืองเข้าแข่งขันกันในตลาดพลังงานไบโอดีเซล การตัดสินใจของผู้เล่นแต่ละคนจะเป็นผู้กำหนดราคาน้ำมันในตลาด ดังนั้นโครงสร้างตลาดจึงถือเป็นการแข่งขันที่สมบูรณ์แบบ ปัญหาความสมดุลนี้เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาเงื่อนไขของ Karush-Kuhn-Tucker (KKT) สำหรับปัญหาการปรับให้เหมาะสม (การเพิ่มผลกำไรสูงสุดให้กับผู้ผลิตพลังงาน) ที่ผู้เข้าร่วมตลาดพลังงานต้องเผชิญพร้อมกับข้อจำกัดเงื่อนไขในการเคลียร์ตลาด (Market Clearing Condition) [5], [6] ผลการศึกษาพบว่าราคาน้ำมันไบโอดีเซลจะลดลงถึงราคา 17.262 บาทต่อลิตร หากเกษตรกรขายปาล์มให้ตลาดพลังงาน 100% ที่ผลิตได้ (จำนวน5.17 ล้านลิตร) อย่างไรก็ตามหากปริมาณปาล์มที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลลดลงเหลือครึ่งหนึ่งและศูนย์ ราคาน้ำมันในตลาดก็จะเพิ่มขึ้น โดยราคาไบโอดีเซลจะถูกปรับขึ้นเป็น 31.926, 32.751 และ 49.970 บาทต่อลิตรของไบโอดีเซล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณปาล์ม มะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลืองในตลาดพลังงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่การวิเคราะห์ทางการตลาดด้วยวิธีนี้จะสนับสนุนให้มีการใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล แต่เนื่องจากผลิตผลดังกล่าวในอีกวัตถุประสงค์ของเกษตรกรผู้เพาะปลูกต้องขายในตลาดสินค้าเพื่อการบริโภค การหาจุดสมดุลของสองตลาดนี้ จึงควรพิจารณาเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาและหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม (Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูง โดยจะเป็นระบบเฉพาะทางด้านการวางแผนตารางการเดินรถที่ออกแบบมาช่วยแก้ปัญหาในการกำหนดจำนวนขบวนรถให้มีความเหมาะสมพร้อมทั้งการจัดตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมตามจำนวนขบวนรถที่กำหนด โดยระบบจะบูรณาการรับข้อมูลผู้ใช้งานจากการเดินทางรอบล่าสุด หรือข้อมูลในอดีต หลังจากนั้นจะมีการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงจากข้อมูลในอดีต เพื่อจะนำมาใช้หาจำนวนขบวนรถที่มีความเหมาะสม โดยวิธีการ Optimization และเมื่อได้จำนวนขบวนรถแล้ว จะส่งจำนวนขบวนรถไปคำนวณตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมเพื่อให้รอบการวางแผนมีความสมบูรณ์ ระบบ Timetable Optimizer มีความยืดหยุ่นในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงและ ช่วยประหยัดเวลาในการวางแผน และเป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการวางแผนปฏิบัติการ (Operations Planning) ซึ่งทำให้ฝ่ายปฏิบัติการเข้าใจข้อจำกัดต่างๆ ในการสร้างความสมดุลย์ระหว่างอุปสงค์และอุปทานและทำให้การทำงานมีความราบรื่นขึ้น

4.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรถไฟความเร็วสูงมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เพราะสามารถใช้ลดเวลาในการเดินทาง ซึ่งการลดเวลาในการขนส่งนั้นเป็นข้อได้เปรียบอย่างมากเมื่อเทียบกับระบบขนส่งแบบรางที่มีอยู่ในปัจจุบัน การขนส่งระบบรางสามารถเคลื่อนย้ายสินค้าหรือผู้โดยการได้ในปริมาณมากในการเดินทางในแต่ละครั้ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มศักยภาพทางด้านระบบ Logistic ของประเทศไทยในอนาคต นอกจากนี้รถไฟความเร็วสูงเป็นระบบขนส่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพราะใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ก่อมลพิษน้อยกว่าการขนส่งแบบอื่นที่ใช้น้ำมัน โครงการร่วมมือพัฒนารถไฟความเร็วสูงกรุงเทพ-หนองคาย เป็นหนึ่งในเส้นทางที่อยู่ในแผนพัฒนาเส้นทางระบบรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทย มีจุดหมายเพื่อทดแทนระบบรถไฟชานเมืองและรถไฟสายต่าง ๆ ในประเทศไทย เชื่อมต่อภาคธุรกิจเข้ากับตัวเมืองอย่างรวดเร็ว และมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการขยายตัวด้านเศรษฐกิจการค้าการลงทุนและการขยายความเจริญจากศูนย์กลางไปยังเมืองหลักต่างๆ อีกทั้งเป็นการเติมเต็มให้ประเทศไทยได้เข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนโดยสมบูรณ์ กล่าวคือมีระบบคมนาคมขนส่งแบบรางที่สามารถเชื่อมต่อกับประเทศใกล้เคียงได้ โดยเส้นทางรถไฟสายกรุงเทพ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนองคาย มีระยะทางรวม 873 กิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยจะแบ่งการลงทุนออกเป็นสองช่วง คือ

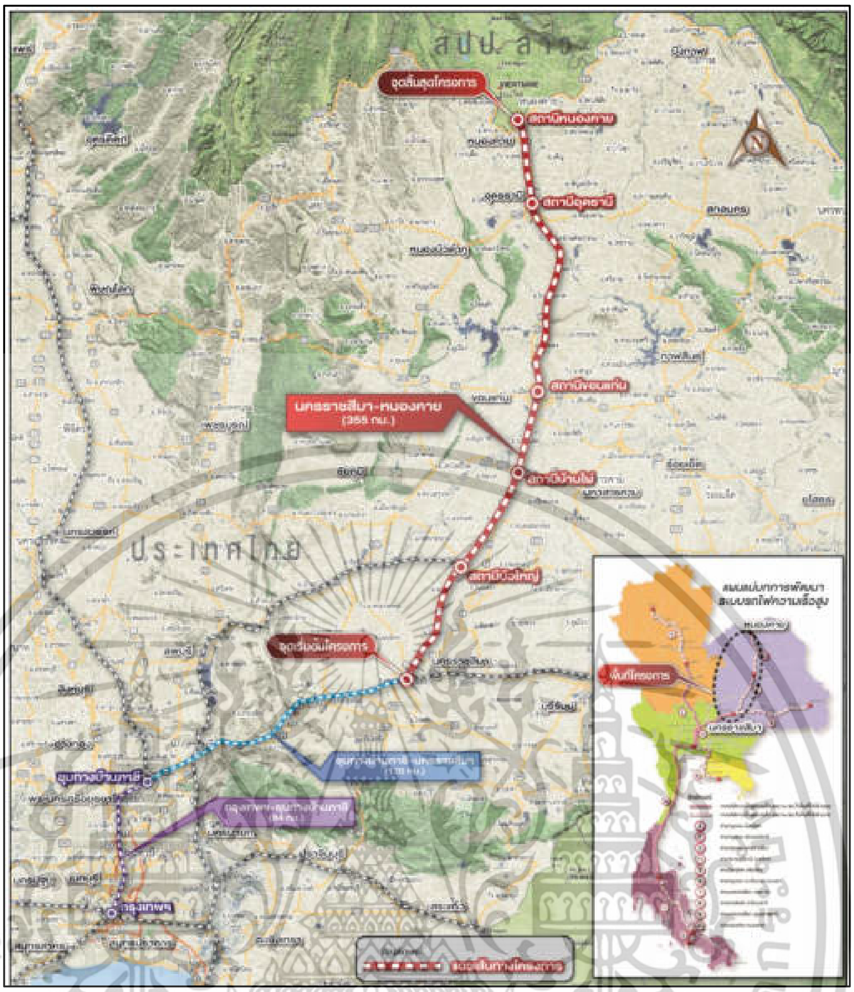
1) ช่วงกรุงเทพ-นครราชสีมา ระยะทาง: 252.5 กิโลเมตร มีสถานีจำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีกลางบางซื่อม, สถานีท่าอากาศยานดอนเมือง, สถานีอยุธยา, สถานีสระบุรี, สถานีปากช่อง และ สถานีนครราชสีมา คาดว่าจะก่อสร้างแล้วเสร็จภายในปี 2564 จากนั้นจะดำเนินการติดตั้งระบบและทดสอบ คาดจะเปิดให้บริการเต็มรูปแบบได้ในปี 2566

2) ช่วงนครราชสีมา-หนองคาย ระยะทาง: 617 กิโลเมตร สถานีจำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีบัวใหญ่ สถานีบ้านไผ่ สถานีขอนแก่น สถานีอุดรธานี สถานีหนองคาย คาดว่าจะก่อสร้างแล้วเสร็จภายในปี 2570

ในการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับระบบรถไฟความสูงจะต้องมีการเตรียมการในหลายด้าน (Schöbel, 2001) สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญคือกระบวนการวางแผนสำหรับการขนส่งสาธารณะ (The planning process for public transportation) ซึ่งจะมีส่วนประกอบสำคัญๆ คือ การออกแบบโครงข่ายการขนส่ง (Network Design) การวางแผนเส้นทางการเดินรถ (Line Planning), การวางแผนการใช้เจ้าหน้าที่และยานพาหนะ (Crew and Vehicle Scheduling) และการจัดตารางเวลาการเดินรถไฟความเร็วสูง (Timetable)

ตารางเวลาการเดินรถไฟความเร็วสูง (High-Speed Train Timetable) จะเป็นตัวกำหนดและระบุระยะเวลาการมาถึง และเวลาออกเดินทางของรถไฟจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางและจุดที่หมายที่พักระหว่างทาง ดังนั้นตารางเวลาการเดินรถไฟความเร็วสูง จะมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการบริหารจัดการ และการดำเนินการระบบรถไฟความเร็วสูงให้มีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยทั่วไปก่อนที่จะมีการกำหนดตารางเวลาของการเดินรถไฟความเร็วสูง จะมีการวางแผนเชิงกลยุทธ์แบบกว้างๆ โดยการคำนึงถึงปัจจัยด้านการเลือกคู่สถานีต้นทาง-ปลายทาง การกำหนดสถานีที่มีแนวโน้มของปริมาณความต้องการสูง, ปัจจัยทางด้านโครงสร้างพื้นฐานของสถานี, ปัจจัยด้านขีดความสามารถด้านต่างๆ อาทิเช่น ความจุของขบวนรถไฟความเร็วสูง, และปัจจัยอื่นๆ เกี่ยวข้อง ดังที่กล่าว มาการจัดตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสม จึงมีความสำคัญอย่างมากในการบริการจัดการระบบรถไฟความเร็วสูงให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย
ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งจราจรกระทรวงคมนาคม)

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักคือต้องการศึกษาและหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม (Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย โดยได้มีโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) พร้อมทั้งการพัฒนาระบบ Timetable Optimizer ขึ้นมา และทดสอบหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม (Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย รวมถึงข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทย เพื่อให้การดำเนินโครงการดังกล่าวเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการและแผนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาและการกำหนดยุทธศาสตร์ในการจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูงสายกรุงเทพ-หนองคาย โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีวิธีการและแผนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

4.2.1 การรวบรวมข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

ข้อมูลคุณลักษณะของระบบรถไฟความเร็วสูง รวมถึงตัวอย่างการใช้งานระบบในต่างประเทศ ข้อมูลการเส้นทางการเดินรถ คุณลักษณะเกี่ยวกับราง ตัวรถ ข้อจำกัด และข้อพิจารณาต่างๆ ข้อมูลผู้เกี่ยวกับความต้องการใช้รถ ปริมาณความต้องการ และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลเกี่ยวกับสถานีการพักรถ จุดพักรถ เส้นทาง และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลในเรื่องความเหมาะของตารางการเดินรถที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ผู้มารับบริการรถไฟ ข้อเสนอแนะจากบุคคลในพื้นที่

4.2.2 การศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลเพื่อประกอบการวิเคราะห์

ศึกษาผลกระทบของความล่าช้ากับการเปลี่ยนตารางการเดินรถ ศึกษาข้อมูลหรือหลักในการบริหารจัดการระบบรถไฟความเร็วสูงประเทศไทย ศึกษาแนวทางในการกำหนดตารางการเดินรถหลัก ตารางการเดินรถสำรอง รวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลการใช้รถไฟ สำหรับใช้เป็นค่าพยากรณ์ในระยะเวลาที่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลที่ผ่านการศึกษาการวิเคราะห์มาดำเนินการ

4.2.3 การพัฒนาต้นแบบตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง

ออกแบบตารางการเดินรถงานที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของจำนวนรถ ราง และข้อจำกัดอื่นๆ การทดสอบตารางต้นแบบกับตัวอย่าง เก็บข้อมูลของ Model มาวิเคราะห์และปรับปรุง

4.2.4 การพัฒนาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่อไปนี้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับรถไฟความเร็วสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการระบบ ลดความล่าช้าและการเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถ ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากแหล่งต่างๆเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง แบบจำลองในการบริหารการจัดการการเดินรถที่มีวัตถุประสงค์ลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินรถ และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้โดยสาร ให้เป็นไปตามค่าเป้าหมาย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการเดินรถโดยพิจารณาเงื่อนไขของขีดจำกัดอาทิเช่น Line Capacity Destination Rule, Stopping Duration, Station Capacity Constraints

4.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ตรวจสอบกับข้อมูลนำเข้าในอดีต ตรวจสอบกับแบบจำลองที่เคยสร้างมาแล้ว

4.2.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยแบ่งการพิจารณาเป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

Base Case –กรณีพื้นฐานที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกรณีอื่นๆ Test Case –กรณีที่ต้องการทดสอบ What-If test cases-กระณีการทดสอบที่เป็น กรณีที่ไม่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาด้านข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการใช้รถไฟที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษาจำนวนผู้โดยสารในหัวข้อนี้ จะพิจารณาข้อมูลทางสถิติจากการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยจะมุ่งเน้นผู้โดยสารภาพรวมทั้งหมดของประเทศ และผู้โดยสารที่ใช้รถไฟจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากตารางข้อมูลของการรถไฟแห่งประเทศไทย มีประเด็นที่น่าสนใจโดยสรุปดังนี้

- การศึกษาข้อมูลในอดีตของผู้เข้ารับบริการรถไฟ จากการรถไฟแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม จากข้อมูลของการรถไฟแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม ที่รวบรวมสถิติผู้เข้ารับบริการรถไฟระหว่างปี พ.ศ. 2552-2560 จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่าสถิติในภาพรวมนั้น จะเห็นได้ว่าสถิติผู้เข้ารับบริการรถไฟมียอดลดลงเกือบทุกปี โดยปริมาณผู้เข้ารับบริการรถไฟทั่วราชอาณาจักรมีผู้โดยสารเฉลี่ยประมาณ 37,000,000 คนต่อปี หรือประมาณ 100,000 ต่อวัน โดยจะเห็นได้ว่าประมาณร้อยละ 60 เป็นผู้เข้ารับบริการที่เดินทางเส้นทางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประชาชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังให้ความสำคัญกับการเดินทางโดยรถไฟ
- ปริมาณผู้เข้ารับบริการรถไฟชั้นสามของภาคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2560 นั้นมีค่าเท่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 66.9 ของปริมาณผู้เข้ารับบริการรถไฟทั่วราชอาณาจักร นอกจากนี้ยังนิยมการเดินทางแบบเที่ยวเดียวมากกว่าแบบไปกลับ สัดส่วนต่างกันเกือบร้อยละ 90
- หากเทียบอัตราส่วนของลักษณะการโดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเอง จะเห็นได้ว่าปริมาณผู้โดยสารที่เดินทางด้วยรถไฟชั้น 3 นั้นมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับจำนวนผู้โดยสารทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 จำนวนผู้โดยสารของทั้งประเทศและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552 – 2560

			จำนวนผู้โดยสาร (คน)									
ภาค	ปี	รวม	ชั้นหนึ่ง			ชั้นสอง			ชั้นสาม			
		ผู้โดยสาร	รวม	ไปอย่างเดียว	ไปกลับ	รวม	ไปอย่างเดียว	ไปกลับ	รวม	ไปอย่างเดียว	ไปกลับ	รายเดือน
ทั่วราชอาณาจักร	**2552**	47,486,132	121,155	120,054	1,101	3,788,265	3,769,354	18,911	43,576,712	38,676,403	4,880,897	19,412
	2553	45,122,021	117,456	116,629	827	3,625,861	3,606,034	19,827	41,378,704	36,610,438	4,754,301	13,965
	2554	45,832,863	117,444	116,873	571	3,445,938	3,430,884	15,054	42,269,481	37,247,350	4,997,958	24,173
	2555	40,808,592	109,477	106,921	2,556	3,290,457	3,278,522	11,935	37,408,658	32,784,473	4,611,431	12,754
	2556	38,291,314	116,653	115,703	950	3,506,503	3,468,403	38,100	34,668,158	30,382,526	4,275,295	10,337
	2557	36,413,282	100,082	98,889	1,193	3,181,385	3,164,997	16,388	33,131,815	29,229,808	3,892,147	9,860
	2558	35,483,322	101,401	99,725	1,676	3,094,287	3,079,995	14,292	32,287,634	28,562,633	3,710,238	14,763
	2559	33,570,851	104,937	102,483	2,454	3,240,963	3,224,468	16,495	30,224,951	28,723,937	1,483,068	17,946
	2560	34,946,574	130,025	128,138	1,887	3,770,349	3,743,129	27,220	31,046,200	30,811,249	214,027	20,924
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	**2552**	32,896,340	58,648	58,584	64	2,178,020	2,177,236	784	30,659,672	27,176,212	3,478,812	4,648
	2553	31,101,592	52,524	52,488	36	2,262,628	2,261,792	836	28,786,440	25,490,508	3,291,176	4,756
	2554	29,368,248	53,116	52,488	4	2,061,648	2,061,176	472	27,253,484	23,796,616	3,448,648	8,220
	2555	27,042,604	53,908	53,892	16	1,885,148	1,884,824	324	25,103,548	21,545,460	3,553,612	4,476
	2556	23,704,196	56,332	56,312	20	1,852,336	1,852,076	260	21,795,528	18,758,332	3,034,580	2,616
	2557	22,940,760	48,436	48,436	-	1,774,020	1,773,928	92	21,118,304	17,823,184	3,294,544	576
	2558	23,860,072	49,268	49,268	-	1,706,956	1,706,884	72	22,103,848	18,632,180	3,471,092	576
	2559	23,228,164	48,876	48,876	-	1,767,780	1,767,660	120	21,411,508	20,200,480	1,207,716	3,312
	2560	22,279,816	67,744	67,712	32	2,077,248	2,077,160	88	20,134,824	20,104,456	24,892	5,476

ที่มา : การรถไฟแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม

4.4 ลการสำรวจพื้นฐาน (Filed Survey)

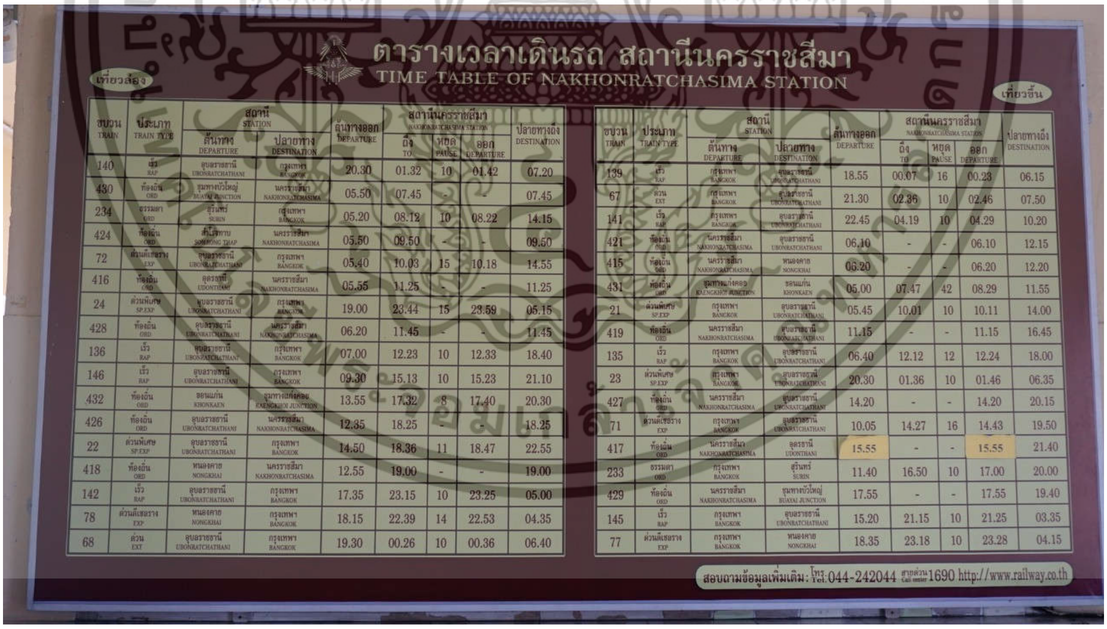
เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางสถานีจอดรถไฟความเร็วสู งสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการช่วยวิเคราะห์ผลการวิจัยต่อไป โดยการศึกษาจะมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลตารางการเดินรถประกอบกับลักษณะสำคัญของผู้โดยสาร เพื่อนำมาวิเคราะห์ รูปที่ 4.2-4.15 แสดงภาพตัวอย่างสถานีรถไฟที่ได้ลงพื้นที่สำรวจ

รูปที่ 4.2 สถานีรถไฟสระบุรี

รูปที่ 4.3 ตารางเวลาเดินรถสถานีรถไฟสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 สถานีรถไฟนครราชสีมา



รูปที่ 4.5 ตารางเวลาเดินรถสถานีนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 สถานีชุมทางบัวใหญ่

รูปที่ 4.7 ตารางเวลาเดินรถสถานีชุมทางบัวใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 สถานีบ้านไผ่

รูปที่ 4.9 ตารางเวลาเดินรถสถานีบ้านไผ่

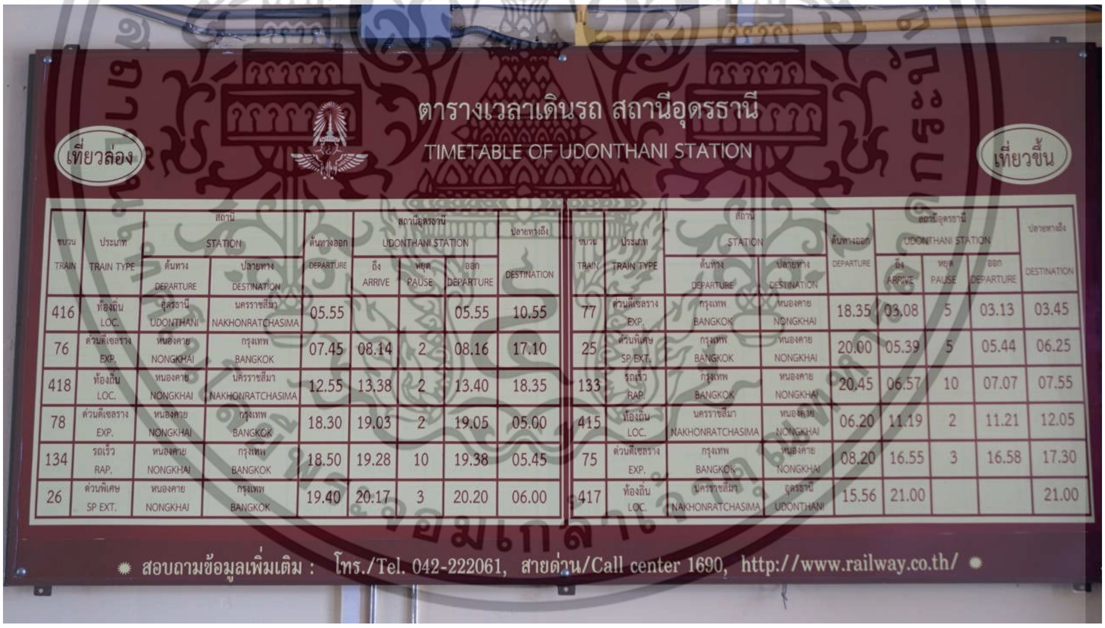
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 สถานีรถไฟขอนแก่น

รูปที่ 4.11 ชานชลาสถานีรถไฟขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

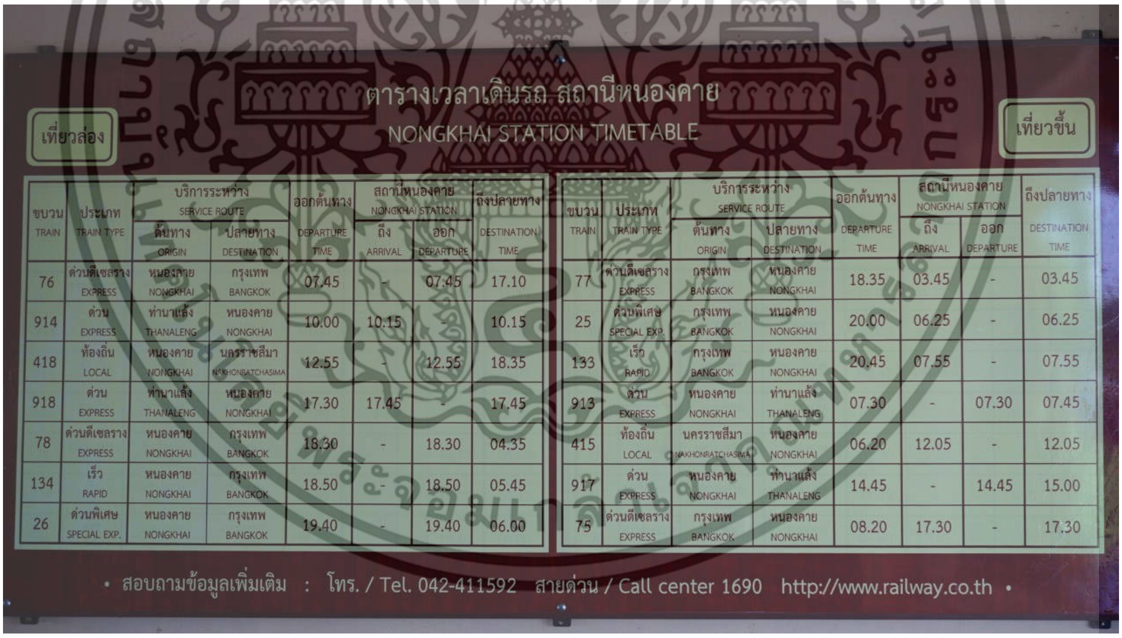
รูปที่ 4.12 สถานีรถไฟอุดรธานี



รูปที่ 4.13 ตารางเวลาเดินรถสถานีรถไฟอุดรธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 สถานีรถไฟหนองคาย



รูปที่ 4.15 ตารางเวลาเดินรถสถานีหนองคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แนวความคิดในการออกแบบระบบในการคำนวณและสร้างตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง

ในโลกยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว องค์กรทั่วโลกต่างกำลังดิ้นรนเพื่อให้ทันกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี มีการลงทุนเพิ่มอย่างมีนัยยะ ในการเปลี่ยนแปลงระบบดิจิตอลไปสู่แนวคิดของการทำให้ทุกอย่างเป็นอัตโนมัติเหมือนในอุตสาหกรรม 4.0 ตามนโยบายที่รัฐบาลได้กำหนดนโยบายเชิงรุกออกมา เช่น การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์หรือ Artificial Intelligence (AI) ในการบริหารจัดการระบบ Supply Chain ในประเทศที่มีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้ามากๆ แต่สำหรับในประเทศไทยแล้ว ภาครัฐและประชาชนพึ่งจะเริ่มมาให้ความสำคัญ ในการพัฒนาด้านดังกล่าว ดังนั้นการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ด้าน IT อย่างชาญฉลาดประกอบกับการความฉลาดของมนุษย์ (Human Intelligence) ในการควบคุมและใช้งาน ถือได้ว่าเป็นการดำเนินการยกระดับองค์ความรู้ที่มีอยู่เพิ่มพัฒนาไปสู่ระบบที่ทุกอย่างเป็นอัตโนมัติ ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญในการต่อยอดด้านการพัฒนาองค์ความรู้ เพื่อที่จะพัฒนางานด้านระบบ IT มาประยุกต์ใช้ต่อยอดในการพัฒนาระบบการดำเนินการรถไฟความเร็วสูงที่กำลังดำเนินการสร้างอยู่ในประเทศไทย จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรม Timetable Optimizer ขึ้นมา

Timetable Optimizer (TO) เป็นระบบเฉพาะทางด้านการวางแผนตารางการเดินรถที่ออกแบบมาช่วยแก้ปัญหาในการกำหนดจำนวนขบวนรถที่มีความเหมาะสม และการจัดตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมตามจำนวนขบวนรถที่กำหนด โดยระบบ TO จะบูรณาการรับข้อมูลผู้ใช้งานจากการเดินทางรอบล่าสุด หรือข้อมูลในอดีต หลังจากนั้นจะมีการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงจากข้อมูลในอดีต เพื่อจะนำมาใช้หาจำนวนขบวนรถที่มีความเหมาะสม โดยวิธีการ Optimization และเมื่อได้จำนวนขบวนรถแล้ว ระบบ TO สามารถส่งจำนวนขบวนรถไปคำนวณตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมเพื่อให้รอบการวางแผนมีความสมบูรณ์

ระบบ TO มีความยืดหยุ่นในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูง และช่วยประหยัดเวลาในการวางแผน และเป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการวางแผนปฏิบัติการ (Operations Planning) ซึ่งทำให้ฝ่ายปฏิบัติการเข้าใจข้อจำกัดต่างๆ ในการสร้างความสมดุลย์ระหว่างอุปสงค์และอุปทานและทำให้การทำงานมีความราบรื่นขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

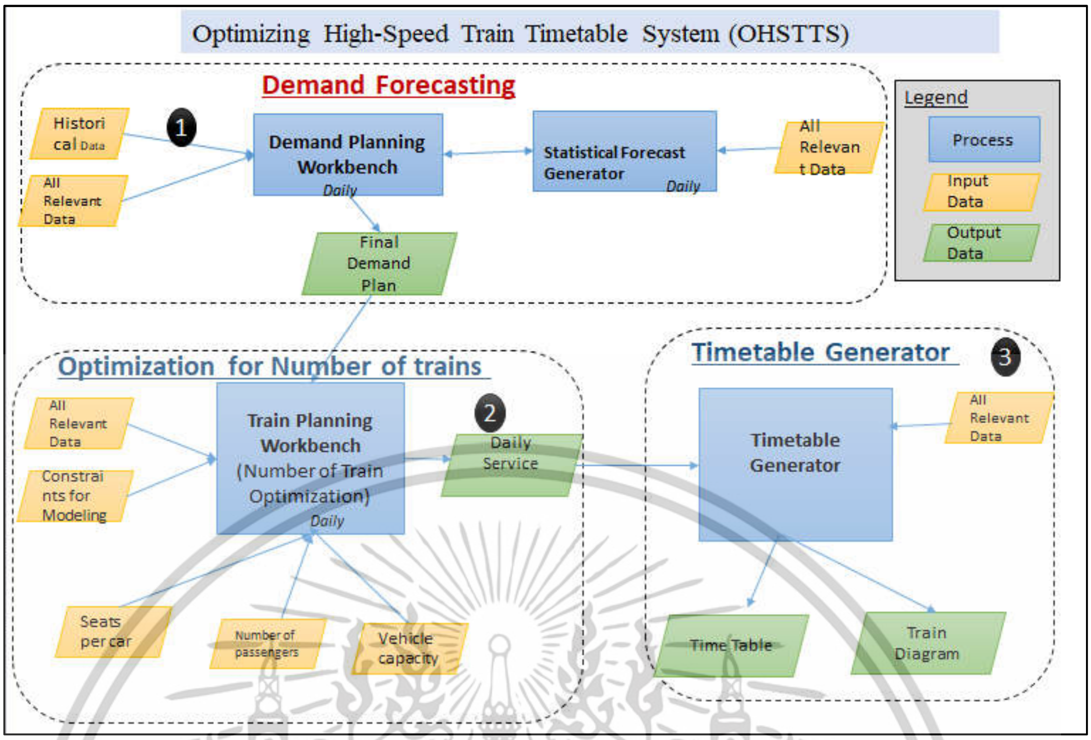
4.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบ Timetable Optimizer

ระบบ TO ได้ถูกออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม (Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย ในขั้นตอนเริ่มต้นการศึกษานั้น ได้มีการศึกษาความเหมาะสมของตารางการเดินรถที่เหมาะสมของระบบรถไฟความเร็วสูงภายใต้การพิจารณาความเหมาะสมทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม ปริมาณความต้องการของผู้ใช้ และปัจจัยความหนาแน่นของประชากร นอกจากนี้เปรียบเทียบตารางการเดินรถที่ต่างประเทศใช้กันมาเป็นแนวทางในการพัฒนาตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมของระบบรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทย เพื่อกำหนดแนวทางการวางแผนเชิงนโยบาย ในการประยุกต์ใช้ตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมให้เกิดประโยชน์กับระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงของประเทศไทย โดยมีความสอดคล้องกับปริมาณความต้องการ
ใช้งานของภาครัฐและเอกชนในทุกภาคส่วน โดยระบบ TO ได้ถูกออกแบบโดยการใช้เทคโนโลยีด้าน IT ประกอบกับการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- T1- Demand Forecasting Module
- T2- Train Optimization Module
- T3- Timetable Generator Module

การทำงานของระบบ TO นั้นจะเริ่มจากการคำนวณ ปริมาณผู้ใช้งานใน T1- Demand Forecasting Module โดยจะใช้ข้อมูลปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงในอดีต (Historical Data) เป็นข้อมูลนำเข้า หลังจากนั้นจะทำการพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารออกมาเป็นผลลัพธ์เพื่อส่งไปยัง T2- Train Optimization Module โดยแบบจำลอง T2 จะดำเนินการใช้การพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารเป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) เพื่อจะนำมาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการหาสภาวะที่ดีที่สุด (Optimization) จนได้จำนวนขบวนรถที่น้อยที่สุดและเพียงพอต่อปริมาณความต้องการใช้รถไฟความเร็วสูงในเที่ยวนั้นๆ หลังจากนั้นจะนำจำนวนเที่ยวทั้งหมด มาหาตารางการเดินรถใน T3- Timetable Generator Module รูปที่ 4.16 แสดงการออกแบบระบบ System Architecture และการส่งต่อข้อมูล Data Flow ของระบบ TO

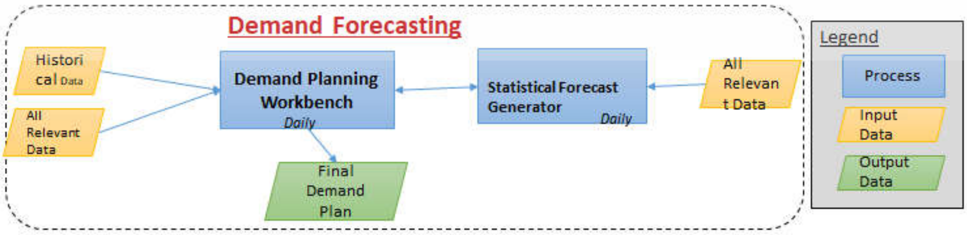
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ส่วนประกอบของระบบ Timetable Optimize

4.7 หลักการทำงานของ Demand Forecasting Module

T1- Demand Forecasting Module คือแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณความต้องการ
ในอนาคต มีแนวคิดในการออกแบบโดยการใช้ Statistical Model โดยจะใช้ข้อมูลปริมาณผู้ใช้งานรถไฟ
ความเร็วสูงในอดีต (Historical Data) เป็นข้อมูลนำเข้า หลังจากนั้นจะทำการพยากรณ์จำนวนผู้โดยสาร
ออกมาเป็นผลลัพธ์เพื่อส่งไปยัง T2- Train Optimization Module โดยจะมีหลักการในการออกแบบระบบดังที่แสดงในรูปที่ 4.17

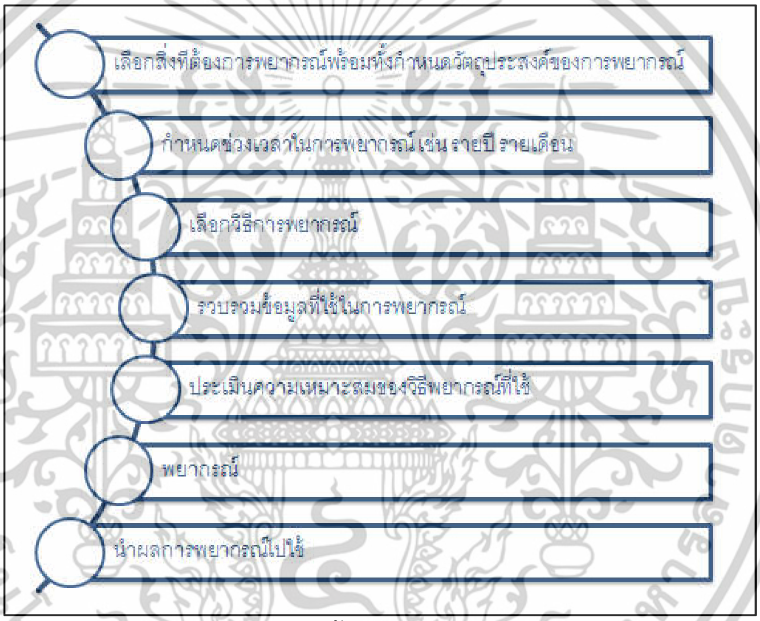


รูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของ Demand Forecasting Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการทำงานของ T2 คือการเลือก Statistical Model ที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่มี แต่ในกรณีรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทยนั้นยังไม่มีข้อมูลเพราะยังไม่ได้เปิดให้บริการ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ใช้ข้อมูลการเดินทางโดยรถไฟปกติโดยจะเป็นจำนวนผู้โดยสาร รายภาค จังหวัด และอำเภอ ปีงบประมาณ 2552 – 2560 จากการรถไฟแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม มาทำการทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์

เทคนิคการพยากรณ์สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ การพยากรณ์เชิงปริมาณ และการพยากรณ์เชิงคุณภาพ ซึ่งจะมีความหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบแบบที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานจะเป็นผู้ตัดสินใจในการเลือกแบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูล หรือสถานการณ์ที่กำลังเผชิญหน้าอยู่ แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนที่สำคัญในการพยากรณ์มีดังที่แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ขั้นตอนการพยากรณ์

วิธีการพยากรณ์มีสาเหตุมาจากการพยายามพยากรณ์ค่าในอนาคตของตัวแปร (เรียกว่าตัวแปรตาม) โดยใช้ข้อมูลที่ผ่านมาเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือมากกว่า ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศรายเดือนในอนาคต โดยใช้ข้อมูลที่ผ่านมาเพื่อพิจารณาว่ายอดขายเครื่องปรับอากาศเป็นอย่างไร เกี่ยวข้องกับตัวแปรอิสระเช่นราคา การโฆษณาและเดือนของปี ในการคำนวณปริมาณผู้ใช้รถไฟความเร็วสูงที่จะใช้ในงายวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลในอดีตจากการรถไฟแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม โดยจะใช้เฉพาะผู้โดยสารภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจะมีข้อมูลจำนวนผู้โดยสารรายปีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 จำนวนผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2552 – 2560

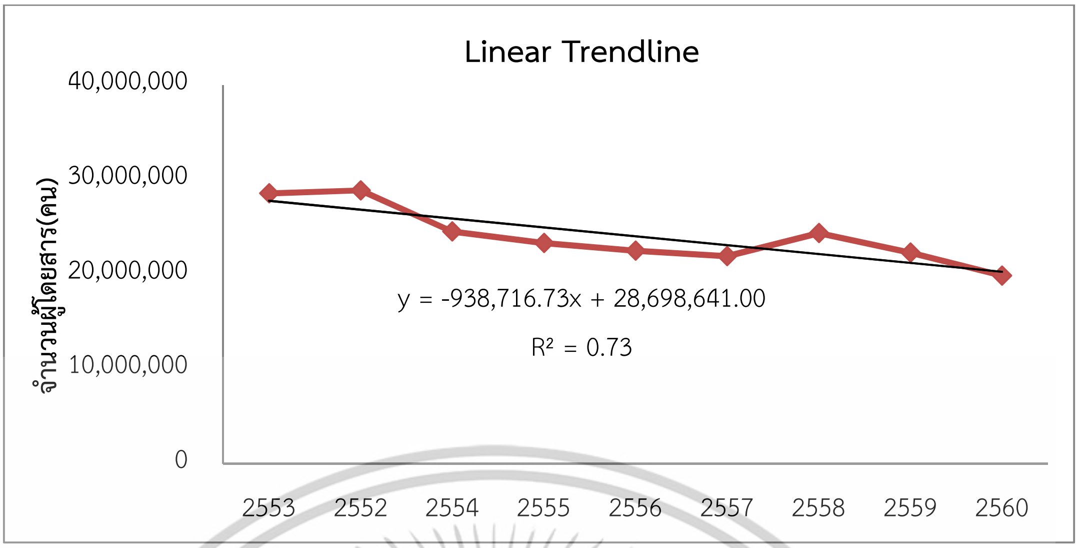
ปี พ.ศ.	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
2552	32,896,340
2553	31,101,592
2554	29,368,248
2555	27,042,604
2556	23,704,196
2557	22,940,760
2558	23,860,072
2559	23,228,164
2560	22,279,816

ข้อมูลนำเข้าที่เราต้องการนั้น คือการพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารในห้วงเวลาที่กำลังจะมาถึง โดยใช้ข้อมูลในอดีตที่มีอยู่ ดังนั้นจึงต้องการทดสอบเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลจำนวน 6 แบบดังนี้

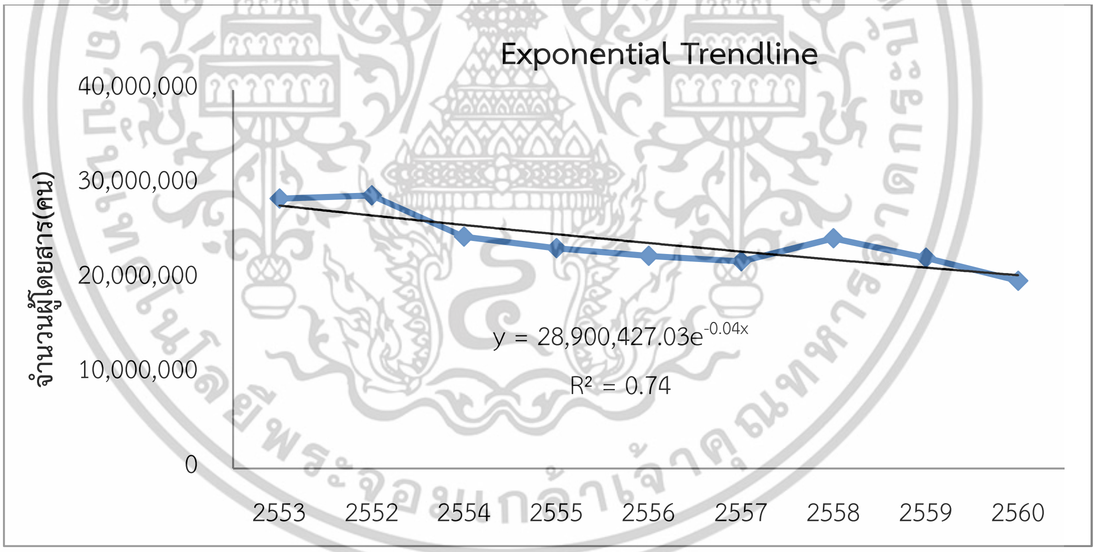
- Linear Trendline
- Exponential Trendline
- Logarithmic Trendline
- Power Trendline
- Polynomial Trendline: Second order
- Polynomial Trendline: Forth order

การทดสอบเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลจำนวน 6 แบบได้ใช้ Microsoft Excel ในการสร้างกราฟและแบบจำลอง พร้อมทั้งการหาค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

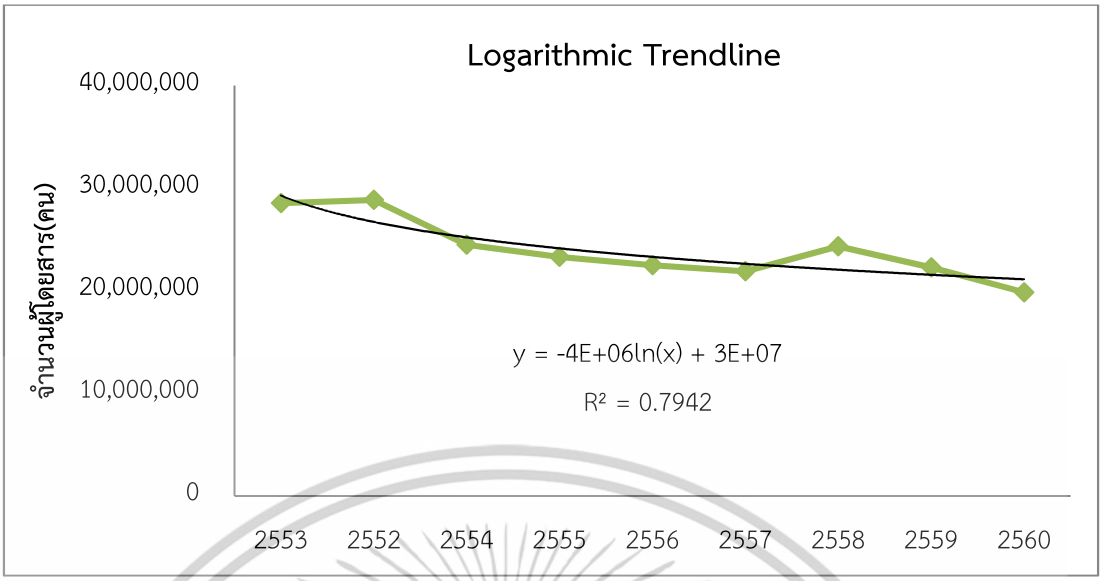


รูปที่ 4.19 การใช้แบบจำลองเส้นตรงในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

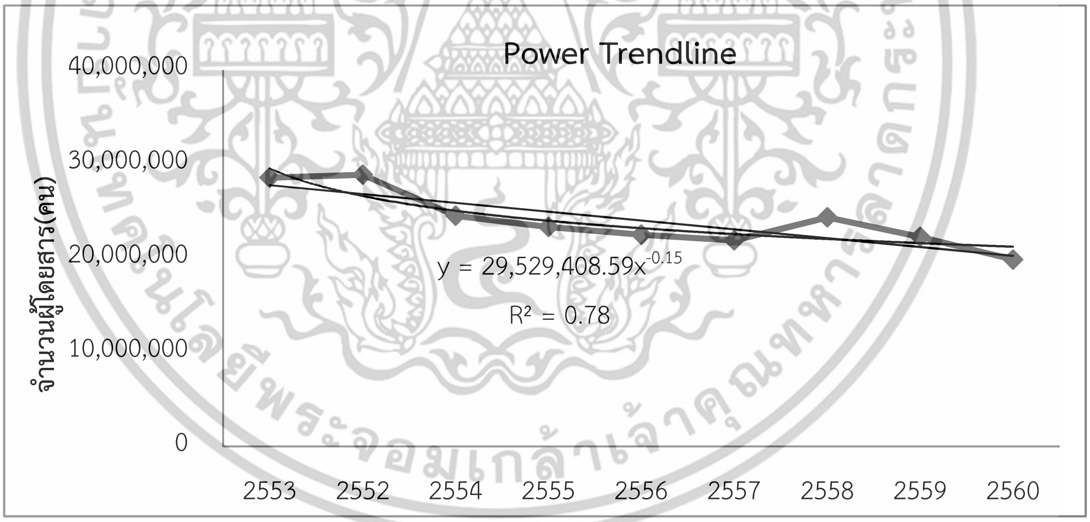


รูปที่ 4.20 การใช้แบบจำลองแบบเลขยกกำลังในการจำลองปริมาณผู้โดยสารภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

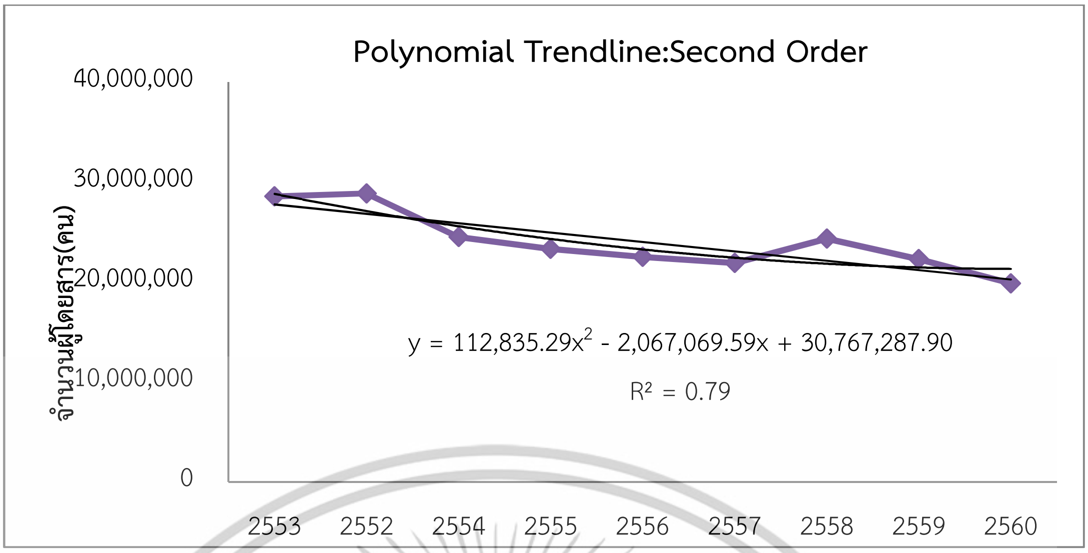


รูปที่ 4.21 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Logarithmic trendline ในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

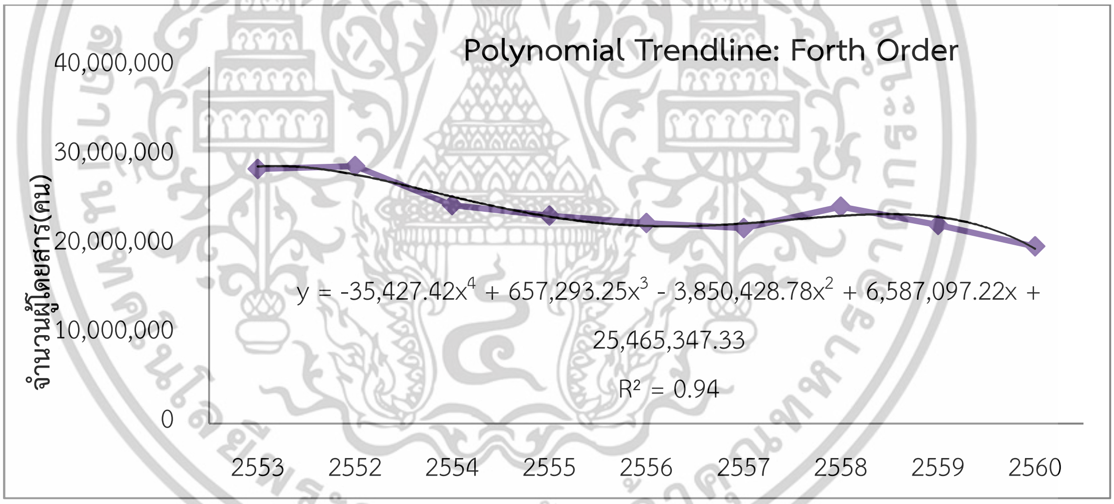


รูปที่ 4.22 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Power trendline ในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Polynomia Trendline 2 Second Order ในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4.24 ผลการใช้แบบจำลองในการใช้แบบจำลอง Polynomial Trendline ในการจำลองปริมาณผู้โดยสารของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ผลการเปรียบเทียบโมเดลทางสถิติ

จากการเปรียบเทียบโมเดลทางสถิติ (Statistical Mode) ทั้ง 6 แบบ แสดงในรูปที่ 4.19-4.23 พบว่า แบบจำลองชนิด Polynomial Trendline: Forth Order มีความใกล้เคียงกับชุดข้อมูลปริมาณผู้โดยสารรถไฟของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในอดีตตั้งแต่ปี 2553-2560 โดยมีค่า R^2 =0.94 ดังนั้น Polynomial Trendline: Forth Order ได้ถูกเลือกใช้ในการพยากรณ์ค่าปริมาณผู้โดยสารรถไฟของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หลังจากที่ได้เลือกโมเดลทางสถิติที่ใช้พยากรณ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานเรียบร้อยแล้ว ก็ได้ดำเนินการสร้างแบบจำลอง Optimization ที่ต้องการ หาค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโมเดล โดยแบบจำลอง Optimization สามารถเขียนในรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ดัชนี:

i หมายถึง ปี พ.ศ. หรือ ห้วงเวลาที่กำหนด

พารามิเตอร์:

$Observed_i$ หมายถึง จำนวนผู้มารับบริการรถไฟความเร็วสูง (ข้อมูลในอดีต) ในปี พ.ศ. i

ตัวแปรตัดสินใจ:

$Predict_i$ หมายถึง จำนวนผู้มารับบริการรถไฟความเร็วสูง (พยากรณ์) ในปี พ.ศ. i

$Coff_4$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์หน้าตัวแปรเลขยกกำลัง 4 ที่ใช้ในการพยากรณ์ ในปี พ.ศ. i

$Coff_3$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์หน้าตัวแปรเลขยกกำลัง 3 ที่ใช้ในการพยากรณ์ ในปี พ.ศ. i

$Coff_2$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์หน้าตัวแปรเลขยกกำลัง 2 ที่ใช้ในการพยากรณ์ ในปี พ.ศ. i

$Coff_1$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์หน้าตัวแปรเลขยกกำลัง 1 ที่ใช้ในการพยากรณ์ ในปี พ.ศ. i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Coff$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธ์ที่ใช้ในการพยากรณ์ ในปี พ.ศ. i

$Error_i$ หมายถึง ค่าผลต่างระหว่างค่า $Predict_i - Observed_i$ ในปีพ.ศ. i

สมการเป้าหมาย:

$$Minimize\ z = \sum_i (Error_i)^2 \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด:

$$Error_i = Predict_i - Observed_i, \forall i \quad (2)$$

$$Predict_i = Coff_4(i)^4 + Coff_3(i)^3 + Coff_2(i)^2 Coff_1(i) + Coff_+, \forall i \quad (3)$$

$$Error_i, Predict_i, Observed_i \in R^n, \forall i \quad (4)$$

สมการ **(1)** เป็นสมการเป้าหมายที่ต้องการหาค่า Error^2 ที่น้อยที่สุด
สมการที่ **(2)** เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดการคำนวณค่า **Error**
สมการที่ **(3)** เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดค่า **Predict** ที่มาจากการพยากกรณ์
สมการที่ **(4)** เป็นสมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปรการตัดสินใจในแต่ละตัว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวถูกเขียนโปรแกรมลงในโปรแกรม LINGO (Free Version) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 เพื่อที่จะหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และส่งต่อไปยังแบบจำลอง **T-2** ต่อไป

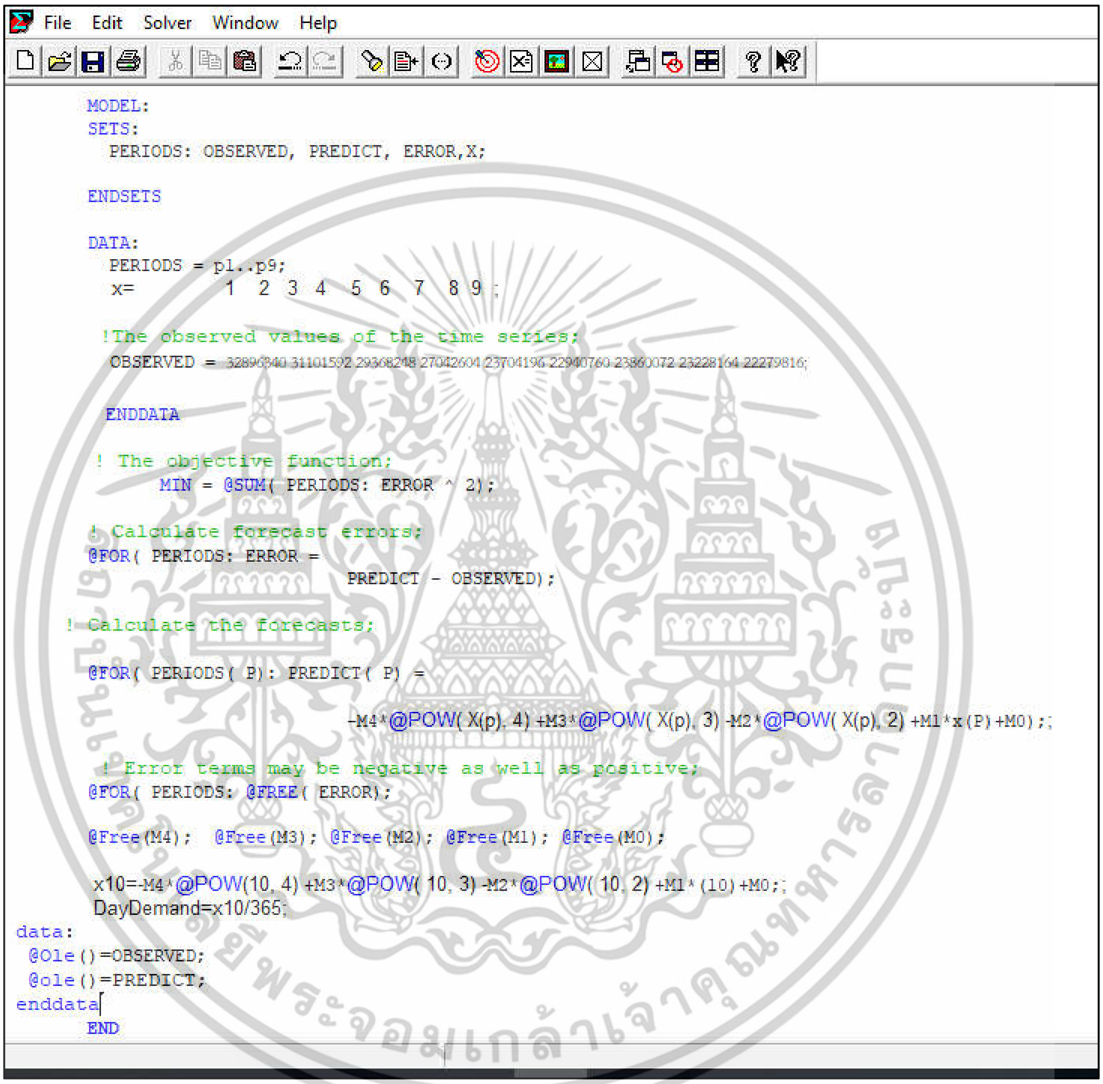
4.7.2 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาปริมาณผู้โดยสารรถไฟความเร็วสูง

การคำนวณหาปริมาณผู้โดยสารรถไฟความเร็วสูงโดยใช้ Optimization Model นั้นโดยใช้แบบจำลองพยากรณ์แบบ Polynomial นั้นสามารถพยากรณ์ปริมาณผู้โดยสารรถไฟความเร็วสูง ได้ใกล้เคียงกับชุดข้อมูที่มี ดังเช่นแสดงในรูปที่ 4.25 มีค่าผลรวมของ Error^2 เท่ากับ 0.1846161×10^{13} และ รูปที่ 4.26 ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO และค่าที่เกิดขึ้นจริงในอดีต

เมื่อนำแบบจำลองดังกล่าวมาพยากรณ์ค่าของปริมาณผู้โดยสารรถไฟในห้วงเวลาถัดไปจะมีค่าเท่ากับ 18,288,293.9 คนต่อปี หรือเมื่อคิดเป็นจำนวนผู้โดยสารต่อวันเท่ากับ 50,104.91 **คนโดยจำนวนนี้**มีค่ามากกว่าการคาดการณ์เมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าปริมาณผู้ใช้งานที่สำนักงานแผนขนส่งและจราจรกรมการขนส่งได้ประมาณการณ์ไว้ เท่ากับ 35,000 คน ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 70 ของจำนวนการคาดการณ์จากข้อมูลในอดีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามหากในอนาคตมีการเปิดใช้งานระบบจริงๆ แบบจำลองนี้จะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อจัดการกับข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงและสร้างการพยากรณ์ หรือการคาดการณ์จำนวนผู้โดยสารขึ้นมาได้ เมื่อคำนวณได้ค่าการพยากรณ์ของปริมาณผู้โดยสารรถไฟความเร็วสูงแล้ว จะส่งข้อมูลดังกล่าวไปยัง โมเดล T-2 เพื่อทำการคำนวณจำนวนขบวนรถที่มีความเหมาะสมต่อไป



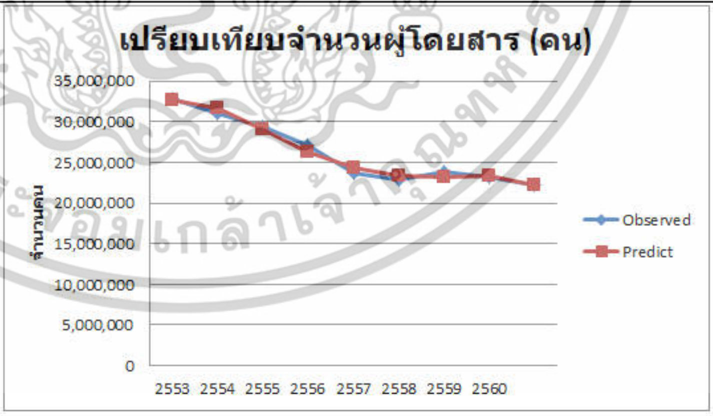
รูปที่ 4.25 Optimization Model ในโปรแกรม LINGO ที่ใช้ในการหาค่าปริมาณความต้องการใชบริการต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Variable	Value
M4	22565.39
M3	463938.7
M2	3013498.
M1	5119814.
M0	0.3015514E+08
X10	0.1828829E+08
DAYDEMAND	50104.91
OBSERVED(P1)	0.3289634E+08
OBSERVED(P2)	0.3110159E+08
OBSERVED(P3)	0.2936825E+08
OBSERVED(P4)	0.2704260E+08
OBSERVED(P5)	0.2370420E+08
OBSERVED(P6)	0.2294076E+08
OBSERVED(P7)	0.2386007E+08
OBSERVED(P8)	0.2322816E+08
OBSERVED(P9)	0.2227982E+08
PREDICT(P1)	0.3270283E+08
PREDICT(P2)	0.3169124E+08
PREDICT(P3)	0.2909165E+08
PREDICT(P4)	0.2633377E+08
PREDICT(P5)	0.2430573E+08
PREDICT(P6)	0.2335412E+08
PREDICT(P7)	0.2328392E+08
PREDICT(P8)	0.2335857E+08
PREDICT(P9)	0.2229993E+08
ERROR(P1)	-193513.9
ERROR(P2)	589645.7
ERROR(P3)	-276599.4
ERROR(P4)	-708836.4
ERROR(P5)	601537.9
ERROR(P6)	413357.5
ERROR(P7)	-576153.3
ERROR(P8)	130404.9
ERROR(P9)	20113.79

รูปที่ 4.26 ผลลัพธ์จาก Optimization Model ในโปรแกรม LINGO

Observed	Predict
32,896,340.00	32,702,826.11
31,101,592.00	31,691,237.66
29,368,248.00	29,091,648.63
27,042,604.00	26,333,767.64
23,704,196.00	24,305,733.95
22,940,760.00	23,354,117.46
23,860,072.00	23,283,918.71
23,228,164.00	23,358,568.88
22,279,816.00	22,299,929.79

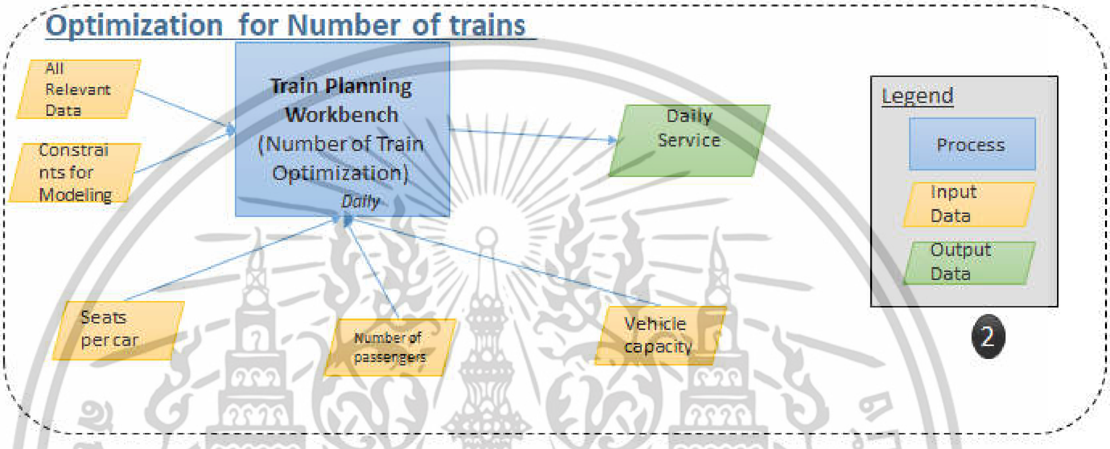


รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO และค่าที่เกิดขึ้นจริงในอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 หลักการทำงานของ Optimization Moddule

ในการคำนวณส่วนที่ 2 ของงานวิจัยนี้จะเป็นการคำนวณเพื่อหาจำนวนขบวนรถไฟที่น้อยที่สุด (Optimal number of trains) ที่สามารถให้บริการกับจำนวนผู้มารับการบริการที่มีการคาดการณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลาการให้บริการ (Forecasting Demand) โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 แสดงการทำงานของ Optimization Module

โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยจะประกอบด้วยดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจสามารถแสดงได้ดังนี้

4.8.1 ดัชนี:

i หมายถึง ช่วงเวลาที่การให้บริการ i ที่จะถูกกำหนดจากปริมาณของผู้มารับบริการ

4.8.2 พารามิเตอร์:

D หมายถึง จำนวนผู้มารับบริการรถไฟความเร็วสูง(คน/วัน/เส้นทาง)

S หมายถึง จำนวนที่นั่งต่อตู้ (ที่นั่ง/ตู้โดยสาร)

A หมายถึง พื้นที่ว่างในตู้รถไฟที่สามารถใช้ยืนได้ (ตารางเมตร/ตู้โดยสาร)

N หมายถึง จำนวนตู้โดยสารต่อขบวนรถไฟหนึ่งขบวน (ตู้โดยสาร/ขบวน)

W หมายถึง จำนวนผู้โดยสารที่สามารถยืนได้ในหนึ่งตารางเมตร (คน/ตารางเมตร/ตู้โดยสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C หมายถึง จำนวนผู้โดยสารสูงสุด(ปริมาณผู้โดยสารรวมทั้งยืนและนั่ง)ต่อขบวนการเดินรถ(คน/ตารางเมตร/ตู้โดยสาร) (Vehicle capacity)

TS หมายถึง เวลาเริ่มต้นในการให้บริการ

TF หมายถึง เวลาเสิ้นสุดในการให้บริการ

H หมายถึง จำนวนชั่วโมงในการให้บริการ

$\overline{HW}$ หมายถึง Headway ระยะขั้นต่ำ (สูงสุด) ระหว่างขบวนรถ 2 ขบวนที่วิ่งตามกันได้อย่างปลอดภัย

$\underline{HW}$ หมายถึง Headway ระยะขั้นต่ำ (ต่ำสุด) ระหว่างขบวนรถ 2 ขบวนที่วิ่งตามกันได้อย่างปลอดภัย

F หมายถึง อัตราส่วนการขนส่งผู้โดยสาร

Inv_i หมายถึง ช่วงเวลาระยะห่างของรถแต่ละขบวน

$\overline{Inv_i}$ หมายถึง ช่วงเวลาระยะห่างสูงสุดของรถแต่ละขบวน

M หมายถึง จำนวนนาทีในหนึ่งชั่วโมง (M=60)

4.8.3 ตัวแปรตัดสินใจ:

T_i หมายถึง จำนวนผู้มารับบริการรถไฟความเร็วสูง(คน/วัน/เส้นทาง)

4.8.4 การคำนวณค่าข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

จำนวนผู้โดยสารสูงสุดต่อขบวนการเดินรถ

$$C = (S * N) + (A * N * W) \quad (5)$$

จำนวนผู้โดยสารสูงสุดต่อขบวนการเดินรถเท่ากับ จำนวนที่นั่งต่อตู้โดยสารXจำนวนตู้โดยสารต่อหนึ่งขบวนบวกกับพื้นที่ว่างในตู้รถไฟXจำนวนตู้โดยสารต่อหนึ่งขบวนXจำนวนผู้โดยสารที่สามารถยืนได้ในหนึ่งตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนชั่วโมงในการให้บริการ

$$H = (TS - TF) * 24 \quad (6)$$

จำนวนชั่วโมงในการให้บริการเท่ากับ เวลาเริ่มต้นในการให้บริการลบเวลาเสิ้นสุดในการให้บริการx24 ชั่วโมง

4.8.5 สมการเป้าหมาย:

$$Minimize\ z = \sum_i T_i \quad (7)$$

4.8.6 สมการข้อจำกัด:

$$\sum_i T_i * C * F \geq D \quad (8)$$

$$\sum_i T_i * C \geq d_I \quad ,\forall i \quad (9)$$

$$Inv_i * T_i \leq \overline{Inv_I} \quad ,\forall i \quad (10)$$

$$M * H_i * T_i \leq \overline{HW} \quad ,\forall i \quad (11)$$

$$(M * H_i)/T_i \leq \underline{HW} \quad ,\forall i \quad (12)$$

$$T_i \in Z^n \quad (13)$$

สมการ (7) หาค่าจำนวนขบวนรถที่น้อยที่สุดที่เป็นจำนวนเต็มเพราะกำหนดให้ $\boldsymbol{T_i \in Z^n}$

สมการที่ (8) เป็นสมการเงื่อนไขที่การันตีว่าจำนวนขบวนรถที่หาจากคำตอบของระบบสมการเมื่อคูณกับจำนวนผู้โดยสารสูงสุด (Vehicle capacity) จะต้องมากมากว่าหรือเท่ากับจำนวนผู้โดยสารพยากรณ์มาจาก T1-Demand Forecasting Model

สมการที่ (9) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้จำนวนขบวนรถที่น้อยที่สุดนั้นจะต้องเพียงพอในแต่ละรอบ ให้บริการ

สมการที่ (10) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้ผลคูณของช่วงเวลาระยะห่างของรถแต่ละขบวนกับจำนวนขบวนรถจะต้องน้อยกว่าเวลาระยะห่างมากที่สุดที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (11) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้ผลคูณของช่วงเวลาระยะห่างของรถแต่ละขบวนกับจำนวนขบวนรถจะต้องน้อยกว่าระยะขั้นต่ำ (สูงสุด) ระหว่างขบวนรถ 2 ขบวนที่วิ่งตามกันได้อย่างปลอดภัยที่กำหนดไว้

สมการที่ (12) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้ผลคูณของช่วงเวลาระยะห่างของรถแต่ละขบวนกับจำนวนขบวนรถจะต้องน้อยกว่าระยะขั้นต่ำ (ต่ำสุด) ระหว่างขบวนรถ 2 ขบวนที่วิ่งตามกันได้อย่างปลอดภัยที่กำหนดไว้

4.8.5 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาปริมาณขบวนรถที่เหมาะสม

ในการคำนวณครั้งแรกได้มีการกำหนดให้ค่าจำนวนผู้โดยสารในการเดินทางในทิศทางเดียว (One Direction) เท่ากับ 35,000 คนต่อวัน และการบริการรถไฟความเร็วสูงนั้นเริ่มจากเวลา 06.00-24.00 นาฬิกา ซึ่งรวมระยะเวลาที่ให้บริการเท่ากับ 18 ชั่วโมงในหนึ่งวัน เมื่อได้ค่าเริ่มต้นแล้วจะต้องมีการกำหนดห้วงเวลา และสัดส่วนปริมาณผู้ใช้ให้มีความสอดคล้องกัน โดยจะต้องมีการปรับค่าจำนวนผู้โดยสาร 35,000 คนต่อวันให้เป็นจำนวนผู้โดยสารในแต่ละห้วงเวลาตามความเหมาะสม เช่น ในห้วงก่อนเวลาทำงานและหลังเลิกงาน (Peak Hours) จะมีปริมาณผู้มาใช้บริการรถไฟความเร็วสูงต่อชั่วโมงมากที่สุด (3,850 คน) ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.3** ตัวอย่างตารางเวลาที่ใช้ในการเดินรถ

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างตารางเวลาที่ใช้ในการเดินรถ

ประเภทของระยะการเดินทาง	ร้อยละ	เวลาเริ่ม	เวลาสิ้นสุด	จำนวนผู้โดยสาร (คนต่อวัน)	จำนวนผู้โดยสาร (คนต่อชั่วโมง)	จำนวนชั่วโมง
ประเภทที่ 1	4%	6:00	7:00	1,400	1,400	1
ประเภทที่ 2	11%	7:00	9:00	7,700	3,850	2
ประเภทที่ 3	4%	9:00	17:00	11,200	1,400	8
ประเภทที่ 4	11%	17:00	19:00	7,700	3,850	2
ประเภทที่ 5	7%	19:00	21:00	4,900	2,450	2
ประเภทที่ 6	2%	21:00	24:00	2,100	700	3

การคำนวณปริมาณความจุ (Train Capacity) ก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการคำนวณส่วนนี้จะประกอบไปด้วยผลรวมจากจำนวนผู้โดยสารที่นั่งรวมกับจำนวนผู้โดยสารที่ยืนโดยคำนวณจากพื้นที่ใช้สำหรับยืนคูณกับพื้นที่จำนวนผู้โดยสารต่อตารางเมตรที่ยืนได้ค่าที่เราคำนวณออกมาได้คือ 1,068 ต่อขบวนรถ ค่าพารามิเตอร์ อื่นๆที่มีความสำคัญคือ ค่า Headway Minimum คือ เวลาระหว่างรถไฟ 2 ขบวน วิ่งตามหลังกันที่มีความปลอดภัย ขึ้นอยู่กับระบบอาณัติสัญญาณ และระบบ Rolling Stock ของตัวรถ แต่ละประเภทจะไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีเกิดเหตุขัดข้อง รถที่ตามหลังมาสามารถหยุดได้อย่างปลอดภัย ในส่วนของ Headway Max เป็นการกำหนดเพดานเวลาห่างระหว่าง 2 ขบวนรถ ขึ้นอยู่กับการให้บริการ ถ้าเวลา Headway มาก การรอรถของผู้โดยสารที่สถานีก็จะนานเกินไป ในโมเดลนี้ใช้เป็นข้อจำกัดกำหนดเพื่อไม่ให้เวลาระหว่างขบวนมากกว่าที่กำหนด ในการคำนวณครั้งนี้กำหนดให้ Headway Max เท่ากับ 300 นาที ส่วน Headway Minimum เท่ากับ 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลนำเข้าที่ที่ใช้ในการคำนวณ

รายการข้อมูล	ค่าที่ใช้	หน่วย
จำนวนผู้โดยสาร	35,000	คน/วัน/ทิศทางการเดินทาง
จำนวนที่นั่งของผู้โดยสารในหนึ่งตู้โดยสาร	16	ที่นั่ง/ตู้โดยสาร
ที่ว่างสำหรับการยืน	18.25	เมตร^2/ตู้โดยสาร
จำนวนตู้โดยสาร/ขบวนรถ	12	ตู้โดยสาร/ขบวนรถ
จำนวนความจุของผู้โดยสารในพื้นที่ 1 ตารางเมตร	4	คน/m^2/ตู้โดยสาร
จำนวนความจุผู้โดยสารที่ขบวนรถสามารถรองรับได้ (ยืนและนั่ง)	1,068	คน/ขบวนรถ
เวลาเริ่มต้นในการให้บริการ:	6:00:00	
เวลาสิ้นสุดในการให้บริการ:	24:00:00	
จำนวนชั่วโมงของการให้บริการ	18	ชั่วโมง
headway (minimum)	300	นาที
headway (maximum)	90	นาที
ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการขนส่งผู้โดยสาร	85	ร้อยละ

ในการคำนวณหาปริมาณขบวนรถที่มีความเหมาะสม คณะผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม LINGO version 18 ซึ่งเป็น Free Version ภาพที่ 4.28 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนขบวนรถที่เหมาะสม ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกเขียนใน LINGO แสดงในรูปที่ 4.29 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lingo 18.0 - [Lingo Model - Updated Timetable]

File Edit Solver Window Help

```
Endsets
Data:
i= A B C D E F;
P=1068 1068 1068  1068 1068 1068;
D=1400 7700 11200 7700 4900 2100;
Max_interval=60 120 480 120 120 180;
passenger_fac=0.85;
NumberHr=1 2 8 2 2 3;
Minute=60;
Max_headway=300;
Min_headway=90;
Enddata
!Objective Function;
Min = @sum(i(k):train(k));

!Interval Term;
@for(i(k):
          interval(k)=(NumberHr(k)*Minute)/train(k));

!Demand Constraints;
@for(i(k):
          train(k)*p(k)>=D(k));

!Demand Constraints;
@for(i(k):
          train(k)*Interval(k)<= Max_interval(k));

!Headway Constraints 1;
@for(i(k):
          Minute*NumberHr(k)*train(k)>= Max_headway);

!Headway Constraints 2;
@for(i(k):
          Minute*NumberHr(k)/(train(k))<= Min_headway);

!Headway Constraints 2;
@for(i(k):
          @GIN(train(k)));
```

รูปที่ 4.29 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนขบวนรถที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lingo 18.0 - [Solution Report - Updated Timetable]

File Edit Solver Window Help

```
Global optimal solution found.
Objective value:                              36.00000
Objective bound:                              36.00000
Infeasibilities:                              0.000000
Extended solver steps:                               1
Total solver iterations:                            86
Elapsed runtime seconds:                          0.10

Model Class:                                     MINLP

Total variables:                     12
Nonlinear variables:                 12
Integer variables:                    6

Total constraints:                   31
Nonlinear constraints:               24

Total nonzeros:                      48
Nonlinear nonzeros:                  30
```

Variable	Value
PASSENGER_FAC	0.8500000
MINUTE	60.00000
MAX_HEADWAY	300.0000
MIN_HEADWAY	10.00000
TRAIN(A)	2.000000
TRAIN(B)	8.000000
TRAIN(C)	11.00000
TRAIN(D)	8.000000
TRAIN(E)	5.000000
TRAIN(F)	2.000000
P(A)	1068.000
P(B)	1068.000
P(C)	1068.000
P(D)	1068.000
P(E)	1068.000
P(F)	1068.000
D(A)	1400.000
D(B)	7700.000
D(C)	11200.00
D(D)	7700.000
D(E)	4900.000
D(F)	2100.000
INTERVAL(A)	30.00000
INTERVAL(B)	15.00000
INTERVAL(C)	43.63636
INTERVAL(D)	15.00000
INTERVAL(E)	24.00000
INTERVAL(F)	90.00000

รูปที่ 4.30 ผลลัพธ์โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนขบวนรถที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการจำลองตัวแบบที่สร้างขึ้นแล้วพบว่า จากข้อมูล Input Parameter ที่กำหนด ผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีสุดคือต้องการรถไฟความเร็วสูงทั้งหมด 36 ขบวน โดยมีรายละเอียดตามตาราง ที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO

ประเภทของระยะการเดินทาง	**จำนวนขบวนรถไฟความเร็วสูง**	**Time Interval ระยะห่างของเวลา (นาที)**
ประภทที่ 1	2	30
ประภทที่ 2	8	15
ประภทที่ 3	11	43.6
ประภทที่ 4	8	15
ประภทที่ 5	5	24
ประภทที่ 6	2	90

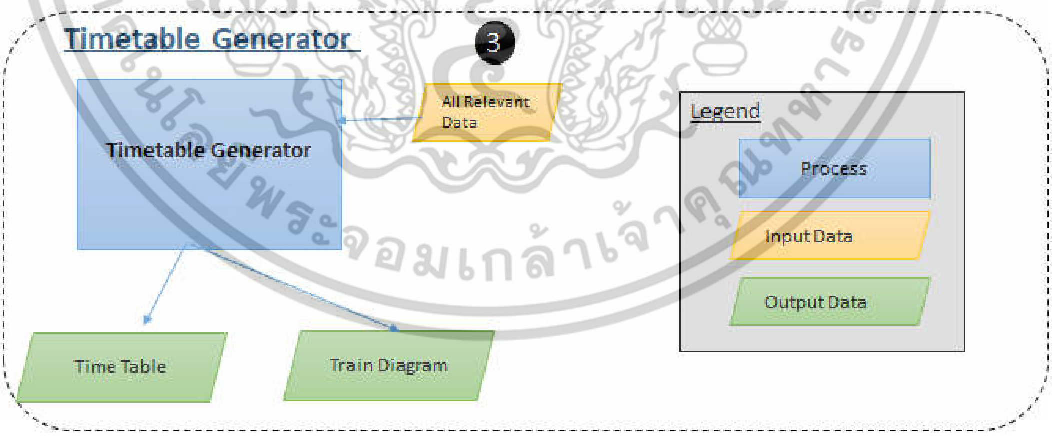
จะเห็นได้ว่าเมื่อนำจำนวนขบวนทั้งหมดมาคูณกับจำนวนความจุของผู้โดยสารเท่ากับ 36x1,068 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 38,448 ซึ่งมากกว่า ปริมาณความต้องการ หากเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการใช้บริการเป็นวันแล้ว ค่า Optimal Solution เกินมา 3 คัน ทั้งนี้มีเหตุผลเพราะว่า ข้อจำกัดข้อหนึ่งคือสมการที่ (7) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้จำนวนขบวนรถที่น้อยที่สุดนั้นจะต้องเพียงพอในแต่ละรอบการให้บริการ ซึ่งหมายความว่าเราต้องจัดรถไฟอย่างน้อยให้เท่ากับปริมาณความต้องการ แต่ในบางกรณีก็จะมีความจุเหลือเพราะ มีค่าความต้องการเกินจากที่กำหนดเพียงเล็กน้อยในบางช่วงเวลาจึงทำให้ต้องเปิดขบวนใหม่เพื่อรองรับจำนวนผู้โดยสารที่เกินมา แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อันนี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดได้ หลังจากนั้นจะนำจำนวนรถที่คำนวณได้มาหาตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสม (Optimal Timetable) ใน T-3 Timetable Generator Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 หลักการทำงานของ Timetable Generator Module

แนวความคิดในการพัฒนาต้นแบบโปรแกรมในการคำนวณ ตารางการเดินรถ Train Timetable ดังที่แสดงในรูปที่ 4.30 มาจากแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผนภูมิการปฏิบัติงาน (Train Operation Curve) โดยจะมีข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องเป็นส่วนประกอบหลักจำนวน 3 ส่วนคือ

1) ห้วงเวลาในการให้บริการ
   a. เวลาเริ่มให้บริการ
   b. เวลาสิ้นสุดการให้บริการ
2) คุณลักษณะเฉพาะของรถไฟความเร็วสูง
   a. อัตราเร่ง หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที Acceleration (m/s2)
   b. อัตรการชะลอความเร็ว หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที Deceleration (m/s2)
   c. ความเร็วของรถไฟ หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
3) ข้อมูลเกี่ยวกับสถานี
   a. ระยะทางระหว่างสถานี (Distance (km))
   b. เวลาจอดในแต่ละสถานี (Dwell Time –min)
   c. ชนิดของการเดินรถไฟความเร็วสูง (Local vs Express)



รูปที่ 4.31 แสดงการทำงานของ Timetable Generator Module

T-3 Timetable Generator ถูกเขียนอยู่ใน Excel VBA โดยจะรับข้อมูลส่วนประกอบหลักจำนวน 3 ส่วนที่กล่าวมาด้านบนเข้ามายังโปรแกรมการคำนวณและทำการสร้าง Timetable และ Train Diagram ออกมาเป็นผลลัพธ์

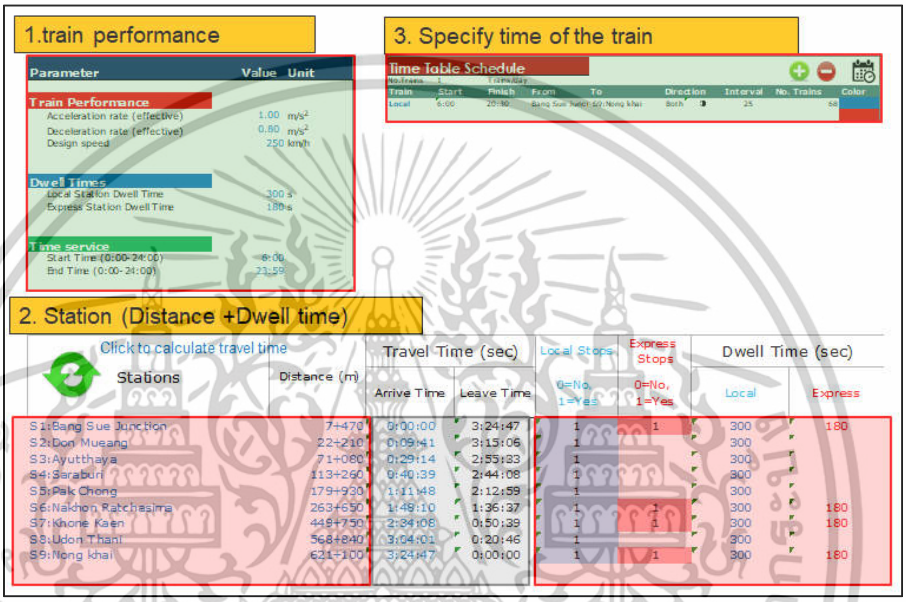
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.1 อธิบายการใช้งานและส่วนประกอบหลักของ Timetable Generator

Timetable Generator จะมีหน้าจอหลักเป็นส่วนประกอบอยู่ 2 หน้าจอคือ 1) หน้าจอแสดงข้อมูลนำเข้า 2) หน้าจอแสดงผลการคำนวณ Timetable และ Operating Curve

1) หน้าจอแสดงข้อมูลนำเข้า

หน้าจอแสดงข้อมูลการนำเข้าดังแสดงในรูปที่ 4.31 นั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูลหลัก 3 ส่วน คือ 1) Train Performance 2) Station Information 3) Train Information



รูปที่ 4.32 แสดง Display สำหรับ ข้อมูลนำเข้า

- Station ใส่ข้อมูล ชื่อสถานี ระยะทาง (m)
  - Stations-ป้อนข้อมูลสถานี
  - Distance-ระยะทางเป็นเมตรระหว่างสถานี
  - Travel Time- เวลาที่ใช้ในการเดินทาง
  - Local Stops- การจอดแต่ละสถานี สำหรับรถชนิด Local (1=จอด, 0=ไม่จอด)
  - Express Stops- การจอดแต่ละสถานี สำหรับรถชนิด Express (1=จอด, 0=ไม่จอด)
  - Dwell Time-เวลาในการจอดสำหรับรถแต่ละประเภทเป็นวินาที
- Train Performance
  - Acceleration (m/s2)- ป้อนข้อมูลอัตราเร่ง หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Deceleration (m/s2)-ป้อนข้อมูลอัตรการชลอความเร็ว หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
- Design Speed –ป้อนข้อมูลความเร็วของรถไฟ หน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง
- Local Station Dwell Time-ป้อนข้อมูลเวลาในการจอดเป็นวินาทีสำหรับรถชนิด Local
- Express Station Dwell Time-ป้อนข้อมูลเวลาเป็นวินาทีในการจอดสำหรับรถชนิด Express
- Start Time –ป้อนข้อมูลเวลาเริ่มให้บริการ (0:00-24:00)
- End Time –ป้อนข้อมูลเวลาสิ้นสุดการให้บริการ (0:00-24:00)

- Train Information
  - Train- ชนิดของรถไฟความเร็วสูง (Express vs Local)
  - Start/Finish-เวลาเริ่ม/เวลาสิ้นสุดการให้บริการ
  - From/To-สถานีเริ่มต้น/สถานีปลายทาง
  - Direction-ทิศทางการเดินรถ
  - Interval- Headway
  - Number of Train – จำนวนขบวนรถ

หลังจากที่กรอกข้อมูลไปแล้ว โปรแกรมจะทำการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณสร้างพารามิเตอร์ใหม่ หรือดำเนินการคำนวณตัวแปรที่มีความสำคัญเพื่อที่จะใช้ในการสร้างตารางเวลาการเดินรถ Timetable และ Operating Curve ตารางที่แสดงตัวอย่างของการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณหลังจากที่ผู้ใช้ได้กรอกข้อมูลที่หน้าจอเรียบร้อยแล้ว

เมื่อผู้ใช้ดำเนินการกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะแสดงผลการคำนวณเบื้องต้นจากข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกเข้าไป ดังมีรายละอัยดตาม ตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ

From	To	Distance between station		time	vmax	vmax	time
		kilometers	meters	Seconds	m/s	kph	Seconds
S1:Bang Sue	S2:Don Mueang	14.74	14740	580.762	69.4	26	212.4
S2:Don Mueang	S3:Ayutthaya	48.87	48870	1172.78	69.4	42	703.8
S3:Ayutthaya	S4:Saraburi	42.18	42180	685.517	69.4	62	607.2
S4:Saraburi	S5:Pak Chong	66.67	66670	1868.711	69.4	36	960
S5:Pak Chong	S6:Nakhon Ratchasima	83.72	83720	2182.278	69.4	39	1249.2
S6:Nakhon Ratchasima	S7:Khone Kaen	186.1	186100	2757.965	69.4	68	2679.6
S7:Khone Kaen	S8:Udon Thani	119.09	119090	1793.021	69.4	67	1714.8
S8:Udon Thani	S9:Nong khai	52.26	52260	1246.004	69.4	42	787.2

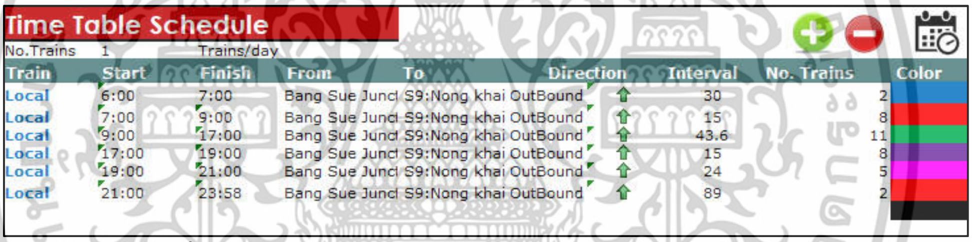
4.9.2 การกรอกข้อมูลเพื่อคำนวณหาตารางการเดินรถจาก Timetable Generator

ในการคำนวณหาตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมจาก นอกเหนือจากข้มูลพื้นฐานเกี่ยวข้องกับ สถานนีและคุณลักษณะของรถในข้อ 4.8.1 ที่กล่าวมาแล้ว Timetable Generator จะต้องรับค่าข้อมูลจำนวนขบวนรถและระยะห่างของเวลาที่หาคำตอบมาจากการทำ Optimization จาก T-2 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์จากการทำ Optimization ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงทำการกรอกลงในโปรแกรม Timetable Generator ดังที่แสดงในรูปที่ 4.32 การกรอกข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์จากการทำ Optimization ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable

ประเภทของระยะการเดินทาง	**ร้อยละ**	**เวลาเริ่ม**	**เวลาสิ้นสุด**	**จำนวนขบวนรถไฟความเร็วสูง**	**Time Interval ระยะห่างของเวลา (นาที)**
ประเภทที่ 1	4	6:00	7:00	2	30
ประเภทที่ 2	11	7:00	9:00	8	15
ประเภทที่ 3	4	9:00	17:00	11	43.6
ประเภทที่ 4	11	17:00	19:00	8	15
ประเภทที่ 5	7	19:00	21:00	5	24
ประเภทที่ 6	2	21:00	24:00:00	2	90



รูปที่ 4.33 การกรอกข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง Timetable

ในการสร้างตารางเวลาการเดินรถนั้น สามารถเลือกที่จะสร้าง Timetable ออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1) ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-หนองคาย

2) ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-กรุงเทพมหานคร

3) ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) และขาขึ้น (Outbound)

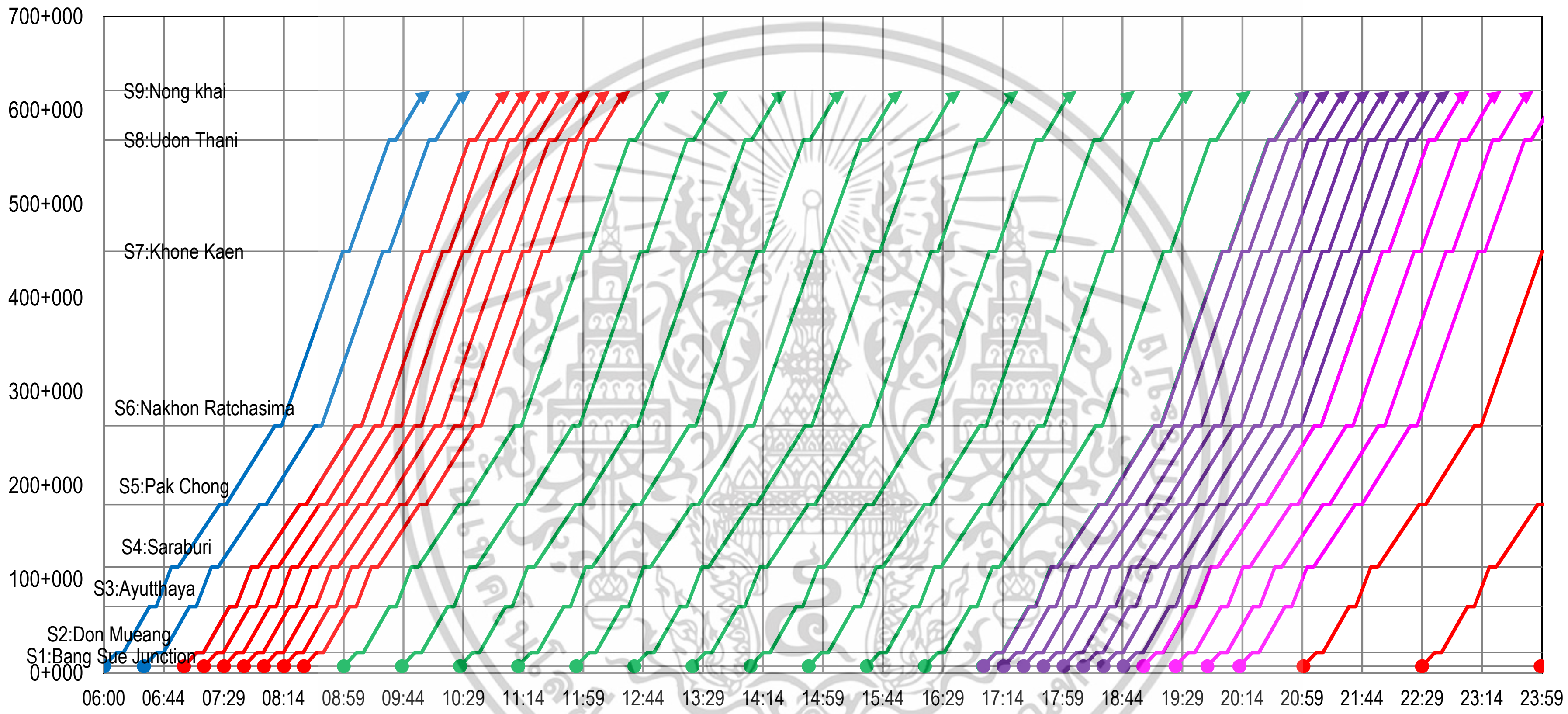
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 ผลลัพธ์ของการคำนวณหาตารางการเดินรถจาก Timetable Generator

4.9.3.1 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-หนองคาย

ตารางที่ 4.8 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-หนองคาย (10 ขบวนแรกจาก 36 ขบวน)

	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**
	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	หนองคาย	**หนองคาย**	**หนองคาย**
	ขบวนที่ 1	ขบวนที่ 2	ขบวนที่ 3	ขบวนที่ 4	ขบวนที่ 5	ขบวนที่ 6	ขบวนที่ 7	ขบวนที่ 8	**ขบวนที่ 9**	**ขบวนที่ 10**
ออกจากสถานีบางซื่อ	6:00:00	6:30:00	7:00:00	7:00:00	7:15:00	7:30:00	7:45:00	8:00:00	8:15:00	8:30:00
ถึงสถานีดอนเมือง	6:09:41	6:39:41	7:09:41	7:09:41	7:24:41	7:39:41	7:54:41	8:09:41	8:24:41	8:39:41
ออกจากสถานีดอนเมือง	6:14:41	6:44:41	7:14:41	7:14:41	7:29:41	7:44:41	7:59:41	8:14:41	8:29:41	8:44:41
ถึงสถานีอยุธยา	6:34:14	7:04:14	7:34:14	7:34:14	7:49:14	8:04:14	8:19:14	8:34:14	8:49:14	9:04:14
ออกจากสถานีอยุธยา	6:39:14	7:09:14	7:39:14	7:39:14	7:54:14	8:09:14	8:24:14	8:39:14	8:54:14	9:09:14
ถึงสถานีสระบุรี	6:50:39	7:20:39	7:50:39	7:50:39	8:05:39	8:20:39	8:35:39	8:50:39	9:05:39	9:20:39
ออกจากสถานีสระบุรี	6:55:39	7:25:39	7:55:39	7:55:39	8:10:39	8:25:39	8:40:39	8:55:39	9:10:39	9:25:39
ถึงสถานีปากช่อง	7:26:48	7:56:48	8:26:48	8:26:48	8:41:48	8:56:48	9:11:48	9:26:48	9:41:48	9:56:48
ออกจากสถานีปากช่อง	7:31:48	8:01:48	8:31:48	8:31:48	8:46:48	9:01:48	9:16:48	9:31:48	9:46:48	10:01:48
ถึงสถานีนครราชสีมา	8:08:10	8:38:10	9:08:10	9:08:10	9:23:10	9:38:10	9:53:10	10:08:10	10:23:10	10:38:10
ออกจากสถานีนครราชสีมา	8:13:10	8:43:10	9:13:10	9:13:10	9:28:10	9:43:10	9:58:10	10:13:10	10:28:10	10:43:10
ถึงสถานีขอนแก่น	8:59:08	9:29:08	9:59:08	9:59:08	10:14:08	10:29:08	10:44:08	10:59:08	11:14:08	11:29:08
ออกจากสถานีขอนแก่น	9:04:08	9:34:08	10:04:08	10:04:08	10:19:08	10:34:08	10:49:08	11:04:08	11:19:08	11:34:08
ถึงสถานีอุดรธานี	9:34:01	10:04:01	10:34:01	10:34:01	10:49:01	11:04:01	11:19:01	11:34:01	11:49:01	12:04:01
ออกจากสถานีอุดรธานี	9:39:01	10:09:01	10:39:01	10:39:01	10:54:01	11:09:01	11:24:01	11:39:01	11:54:01	12:09:01
ถึงสถานีหนองคาย	9:59:47	10:29:47	10:59:47	10:59:47	11:14:47	11:29:47	11:44:47	11:59:47	12:14:47	12:29:47

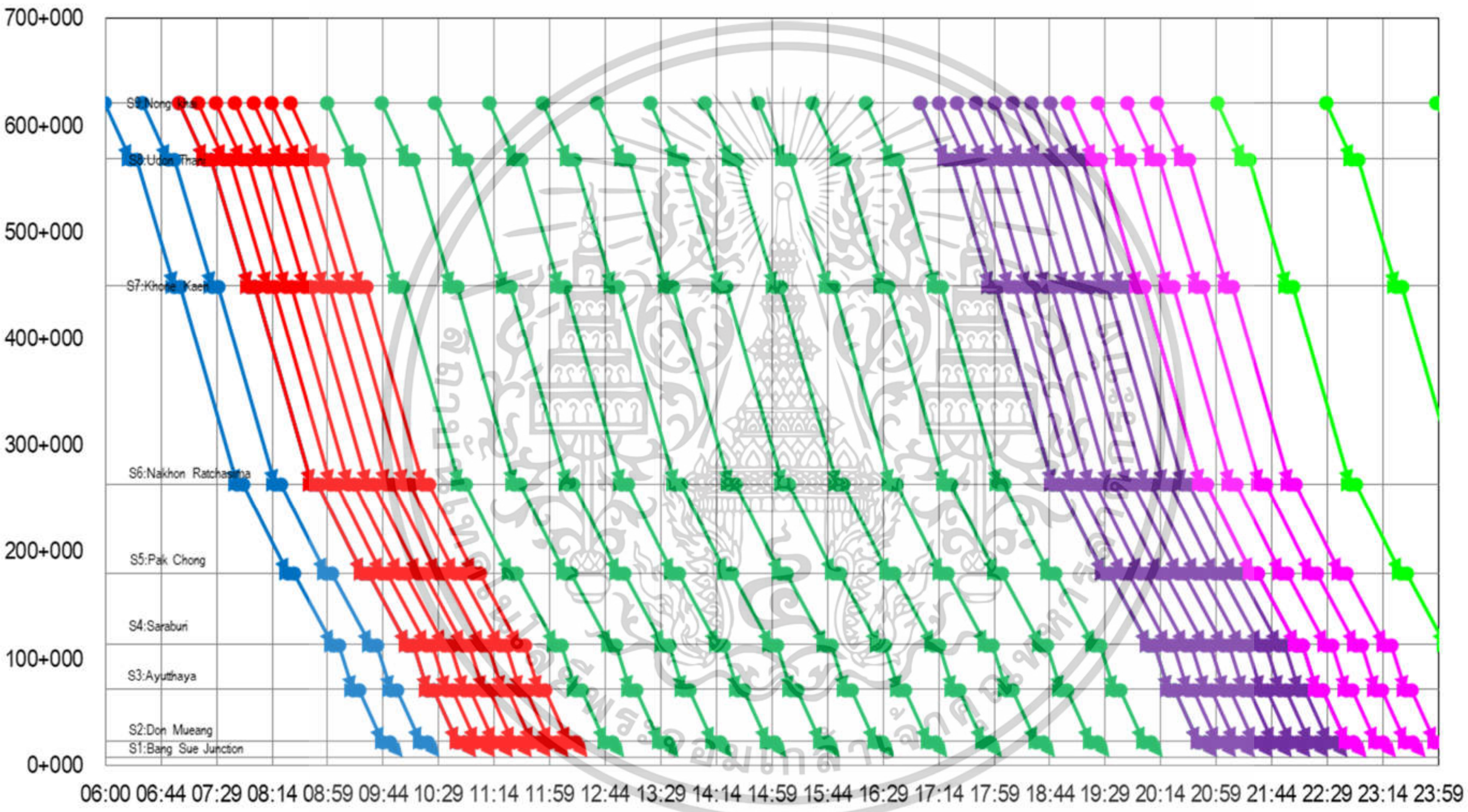


รูปที่ 4.34 Train Diagram การเดินรถสำหรับเที่ยวขาขึ้น (Outbound) กรุงเทพมหานคร-หนองคาย

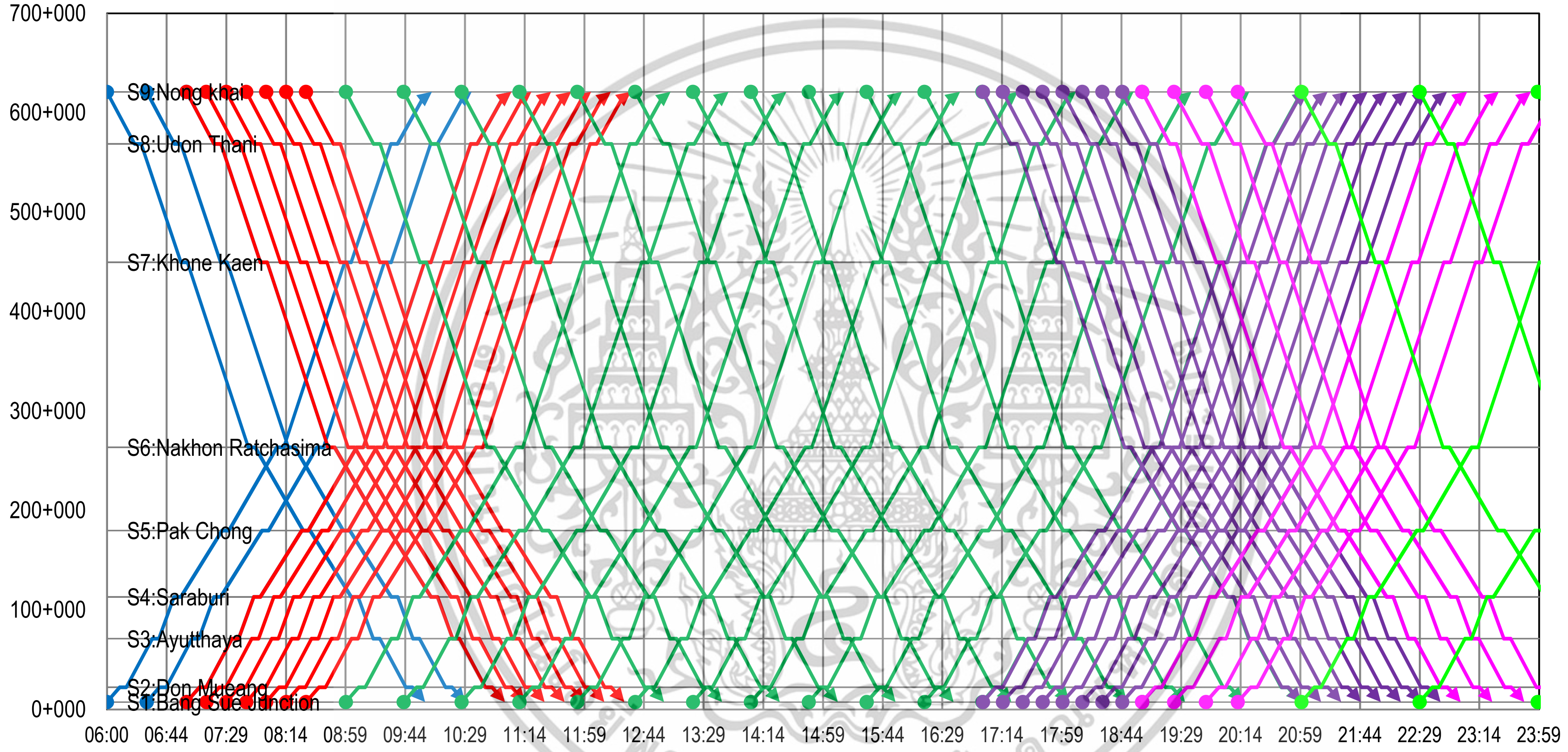
4.9.3.2 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4.9 ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-กรุงเทพมหานคร (10 ขบวนแรกจาก 36 ขบวน)

	หนองคาย	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**	**หนองคาย**
	กรุงเทพฯ	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**	**กรุงเทพฯ**
	ขบวนที่ 1	**ขบวนที่ 2**	**ขบวนที่ 3**	**ขบวนที่ 4**	**ขบวนที่ 5**	**ขบวนที่ 6**	**ขบวนที่ 7**	**ขบวนที่ 8**	**ขบวนที่ 9**	**ขบวนที่ 10**
ออกจากสถานีหนองคาย	6:00:00	6:30:00	7:00:00	7:15:00	7:30:00	7:45:00	8:00:00	8:15:00	8:30:00	9:00:00
ถึงสถานีอุดรธานี	6:20:46	6:50:46	7:20:46	7:35:46	7:50:46	8:05:46	8:20:46	8:35:46	8:50:46	9:20:46
ออกจากสถานีอุดรธานี	6:25:46	6:55:46	7:25:46	7:40:46	7:55:46	8:10:46	8:25:46	8:40:46	8:55:46	9:25:46
ถึงสถานีขอนแก่น	6:55:39	7:25:39	7:55:39	8:10:39	8:25:39	8:40:39	8:55:39	9:10:39	9:25:39	9:55:39
ออกจากสถานีขอนแก่น	7:00:39	7:30:39	8:00:39	8:15:39	8:30:39	8:45:39	9:00:39	9:15:39	9:30:39	10:00:39
ถึงสถานีนครราชสีมา	7:46:37	8:16:37	8:46:37	9:01:37	9:16:37	9:31:37	9:46:37	10:01:37	10:16:37	10:46:37
ออกจากสถานีนครราชสีมา	7:51:37	8:21:37	8:51:37	9:06:37	9:21:37	9:36:37	9:51:37	10:06:37	10:21:37	10:51:37
ถึงสถานีปากช่อง	8:27:59	8:57:59	9:27:59	9:42:59	9:57:59	10:12:59	10:27:59	10:42:59	10:57:59	11:27:59
ออกจากสถานีปากช่อง	8:32:59	9:02:59	9:32:59	9:47:59	10:02:59	10:17:59	10:32:59	10:47:59	11:02:59	11:32:59
ถึงสถานีสระบุรี	9:04:08	9:34:08	10:04:08	10:19:08	10:34:08	10:49:08	11:04:08	11:19:08	11:34:08	12:04:08
ออกจากสถานีสระบุรี	9:09:08	9:39:08	10:09:08	10:24:08	10:39:08	10:54:08	11:09:08	11:24:08	11:39:08	12:09:08
ถึงสถานีอยุธยา	9:20:33	9:50:33	10:20:33	10:35:33	10:50:33	11:05:33	11:20:33	11:35:33	11:50:33	12:20:33
ออกจากสถานีอยุธยา	9:25:33	9:55:33	10:25:33	10:40:33	10:55:33	11:10:33	11:25:33	11:40:33	11:55:33	12:25:33
ถึงสถานีดอนเมือง	9:45:06	10:15:06	10:45:06	11:00:06	11:15:06	11:30:06	11:45:06	12:00:06	12:15:06	12:45:06
ออกจากสถานีดอนเมือง	9:50:06	10:20:06	10:50:06	11:05:06	11:20:06	11:35:06	11:50:06	12:05:06	12:20:06	12:50:06
ถึงจากสถานีบางซื่อ	9:59:47	10:29:47	10:59:47	10:59:47	11:14:47	11:29:47	11:44:47	11:59:47	12:14:47	12:29:47



รูปที่ 4.35 Train Diagram ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) หนองคาย-กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 4.36 Train Diagram ตารางการเดินรถสำหรับเที่ยวขาล่อง (Inbound) และขาขึ้น (Outbound)

4.10 สรุปผลการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการสร้างระบบในการหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม(Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย โดยระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ โดยระบบที่ออกแบบประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- T1- Demand Forecasting Module-มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูง
- T2- Train Optimization Module-มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนขบวนรถที่ความเหมาะโดยใช้ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงที่ส่งมาจาก T-1 และส่งผลลัพธ์ไปยัง T3
- T3- Timetable Generator Module-มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมออกมา โดยอาศัยผลลัพธ์จาก T-2

การศึกษาผลลัพธ์ของการทำงานของทั้งสามส่วนพบว่า Model T-1 สามารถคำนวณการพยากรณ์ ปริมาณผู้ใช้ออกมาได้ โดยในงานวิจัยในครั้งนี้ใช้ข้อมูลของจำนวนผู้โดยสารในอดีตจากปี 2552 ถึงปี 2560 แบบจำลองที่ได้ที่ใช้จะมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Squared) เท่ากับร้อยละ 94 ซึ่งถือได้ว่ามีสมรูปกับข้อมูลนำเข้าที่ใช้ และได้ใช้โมเดลดังกล่าวมาทำดำเนินการ Optimization เพื่อที่จะพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารที่จะเกิดขึ้นในห้วงเวลาต่อไป หลังจากนั้นจะส่งจำนวนผู้โดยสารที่พยากรณ์ได้ไปยังโมเดล T-2

ในการดำเนินการขั้นต่อมา T2 จะคำนวณหาตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสม โดยใช้ Integer Programming ซึ่งมีผลลัพธ์ที่เป็นค่า Global Optimal โดยมีข้อสังเกตุข้อหนึ่งคือ ในบางครั้งผลลัพ์จะดูเหมือนจำนวนรถไฟความเร็วสูงที่คำนวณออกมามีปริมาณมากเกินความจริง แต่สิ่งที่สำคัญคือเงื่อนไขข้อหนึ่งของข้อจำกัดคือจะต้องจัดรถไฟความเร็วสูงให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการ ในบางห้วงเวลามีจำนวนผู้โดยสารที่เกินกว่าจำนวนขบวนเล็กน้อยแต่แบบจำลองก็กำหนดให้มีการเปิดตู้โดยสารใหม่เพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ

ในขั้นตอนต่อมา T3 ก็จะดำเนินการสร้างตารางการเดินรถที่มีความเหมาะต่อไป โดยใช้จำนวนรถที่ได้จากการคำนวณในT2 และปัจจัยทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องด้านอื่นๆ โดยตารางการเดินรถจะมีช่วงเข้มข้นของการใช้บริการในช่วงเช้า (สีแดง) กับช่วงเย็น (สีม่วงเข้ม) สังเกตได้จากการที่มีขบวนรถเส้นติดๆ กันมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการให้บริการรถไฟความเร็วสูงจริง ข้อมูลในอดีตที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้รถไฟความเร็วสูง จะเป็นข้อมูลจากการใช้บริการรถไฟปกติซึ่งอาจจะมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เพราะเป้าหมายของผู้ใช้บริการอาจจะแตกต่างกัน (Group Target) เพราะราคาค่าบัตรโดยสาร

2. การกำหนดตารางการเดินรถนั้นมีความสำคัญอย่างมาก เพราะกระทบกับผู้โดยสารโดยตรง จากการที่ คณะผู้วิจัยลงพื้นเพื่อเก็บข้อมูล พบว่า ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้น รถไฟสายสั้นมีความจำเป็นสำหรับประชาชนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครราชสีมา เพราะประชาชนที่อยู่ต่างอำเภอจะเดินทางไป-กลับ ตัวเมือง เพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น นักเรียน นักศึกษา เดินทางจากต่างอำเภอเพื่อไปเพื่อศึกษาในจังหวัดนครราชสีมา หรือเดินทางเพื่อไปทำงาน โดยจะเดินทางเข้าเมืองในตอนเช้าและจะกลับในตอนเย็น

3. การพยากรณ์ปริมาณความต้องการที่มีความแม่นยำ มีประโยชน์อย่างมากในด้านการบริหารจัดการ และช่วยลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นออกได้ การประยุกต์หรือต่อยอดงานวิจัยต่อไป สิ่งที่น่าสนใจคือการเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย

4. กำหนดแนวทางการวางแผนเชิงนโยบายในการประยุกต์ใช้ตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมให้เกิดประโยชน์กับระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงของประเทศไทยโดยมีความสอดคล้องกับปริมาณความต้องการใช้งานของภาครัฐและเอกชนในทุกภาคส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลเป็นประเด็นได้ดังนี้

1. แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่าของตลาดไบโอดีเซลในประเทศไทย

2. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง

3. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและพลังงาน กรณีศึกษาประเทศไทยซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1.1 แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่าของตลาดไบโอดีเซลในประเทศไทย

แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่า เมื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจที่จะขายสินค้าหรือบริหารจัดการสินค้าเกษตร อันถือได้ว่าเป็นทรัพยากรที่มีค่าของประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งถือได้ว่าสินค้าเกษตรเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ รวมไปถึงการบริโภคภายในประเทศที่ต้องมีการจัดสรรค์อย่างเหมาะสม นอกจากนี้วิกฤตการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นกับทุกประเทศทั่วโลก เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่กระทบกับการตัดสินใจในการนำสินค้าที่มีศักยภาพ ในการนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนได้ในกลุ่มน้ำมันดีเซลหรือที่ถูกเรียกว่าน้ำมันไบโอดีเซล การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเป็นสื่อกลางในการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ หรือแม้แต่เจ้าของทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้ สามารถตัดสินใจในการซื้อหรือขายทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งในที่นี้คือสินค้าเกษตรกรรม อย่างเหมาะสม สัมพันธ์กับอุปสงค์และอุปทานของตลาดจึงเป็นคำตอบแรกที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ กล่าวคือตลาดพลังงานไบโอดีเซลที่มีผู้เล่นเป็นผู้ผลิตผลผลิตทางการเกษตรจำนวนสามราย ได้แก่ ผู้ผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง เข้าแข่งขันกันในเพื่อตัดสินใจที่จะซื้อขายผลิตภัณฑ์ของตนเอง จึงทำให้การตัดสินใจของผู้เล่นแต่ละคน จะเป็นผู้กำหนดราคาน้ำมันในตลาด ดังนั้นโครงสร้างตลาดจึงถือเป็นการแข่งขันที่สมบูรณ์แบบ ปัญหาความสมดุลนี้เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาเงื่อนไขของ Karush-Kuhn-Tucker (KKT) สำหรับปัญหาการปรับให้เหมาะสม (การเพิ่มผลกำไรสูงสุดให้กับผู้ผลิตพลังงาน) ที่ผู้เข้าร่วมตลาดพลังงานต้องเผชิญพร้อมกับข้อจำกัดเงื่อนไขในการเคลียร์ตลาด (Market Clearing Condition) ผลการศึกษาพบว่าราคาน้ำมันไบโอดีเซลจะลดลงถึงราคา 17.262 บาทต่อลิตร แต่สินค้าที่มีผลต่อราคาจะเป็นน้ำมันปาล์มทั้งหมดในท้องตลาด ที่ผลิตได้ปีละ 5.17 ล้านลิตร อย่างไรก็ตาม หากลดปริมาณน้ำมันปาล์มเข้าสู้ตลาดพลังงานไบโอดีเซลลง ราคาน้ำมันไบโอดีเซลจะมีราคาที่สูงขึ้น แม้จะมีผลิตภัณฑ์อื่น เช่น น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันถั่วเหลืองเข้ามาสู้ตลาดพลังงาน ก็จะไม่ทำให้ราคาน้ำมันกลับมาสู่ราคาต่ำสุดนี้ได้ ซึ่งในความเป็นจริงประเทศไทยไม่สามารถนำน้ำมันปาล์มทั้ง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสู่ตลาดพลังงานได้ ทางเลือกที่อาจจะเป็นได้ที่ผู้วิจัยเสนอแนะให้ทำ สืบเนื่องจากผลการศึกษา ได้แก่

1. ใช้สินค้าเกษตรประเภทอื่นมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว และ/หรือน้ำมันถั่วเหลือง แต่ราคาจะต่ำลงกว่าไม่มีการใช้น้ำมันจากสินค้าเกษตรใดใดเลย แต่จะไม่เท่าการใช้น้ำมันปาล์ม

2. สนับสนุนให้มีการเพิ่มขึ้นของการผลิตปาล์มน้ำมันอาจจะปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น หรือมีการนำเข้าปาล์มน้ำมันจากต่างประเทศ แล้วนำมาใช้ทั้งในตลาดพลังงานและเพื่อการบริโภค เห็นได้อย่างชัดเจนว่าผู้ที่มีส่วนในการตัดสินใจต้องตัดสินใจภายใต้การแข่งขันแบบสมบูรณ์ สามารถวางแผนให้เกษตรกรหรือเจ้าของทรัพยากร ใช้ทรัพยากรของตัวเองอย่างคุ้มค่ามากที่สุด

3. การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ การใช้สมการสมดุลแบบเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้และสรุปผลได้เป็นอย่างดี

5.1.2 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง

การสร้างระบบในการหาตารางการเดินรถที่มีความหมาะสม(Optimal Train Timetable) กับระบบรถไฟความเร็วสูงเส้นทางกรุงเทพ-หนองคาย โดยระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ โดยระบบที่ออกแบบประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้ T1- Demand Forecasting Module มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูง T2- Train Optimization Module มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนขบวนรถที่ความเหมาะโดยใช้ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงที่ส่งมาจาก T-1 และส่งผลลัพธ์ไปยัง T3 และ T3- Timetable Generator Module มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมออกมา โดยอาศัยผลลัพธ์จาก T-2 การสร้างระบบนี้จะสามารถคาดการณ์ตารางการเดินรถที่สอดคล้องตามความต้องการของประชาชนได้อย่างเหมาะสม นับเป็นการบริหารจัดการทรัพยากร เพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชนได้อย่างตรงจุด หากแต่ต้องมีการปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่จะใช้งานด้วย

5.1.3 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรในประเทศไทย

งานวิจัยนี้ ได้นำแบบจำลองการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสม เพื่อนำมาใช้ช่วยในการตัดสินใจในการบริหารจัดการทรัพยากร คือ การจัดการการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตการเกษตรซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด และการจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง ทรัพยากรในที่นี้คือผลผลิตทางการเกษตรและพลังงาน ซึ่งมีผลกระทบกับประเทศไทยทางเศรษฐศาสตร์และสังคม จึงถือว่าเป็นการวางแผนล่วงหน้าจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญในการบริหารจัดการอย่างถูกวิธีและยั่งยืน แต่ในขณะเดียวกัน การวิเคราะห์ตัดสินใจในปัญหาเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ไม่สามารถกระทำได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ธรรมดา เพราะ ปัญหาเหล่านี้ มีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาในคราวเดียวกัน และพารามิเตอร์บางตัวมีความแปรผัน ในปัจจุบัน การวิเคราะห์ใช้เพียงข้อมูลที่ได้รับ ประสบการณ์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ตัดสินใจ และ ความรู้สึก รวมทั้งการลองผิดลองถูก และ ปรับแก้ตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งอาจทำให้เกิดความสูญเสียเงินในการดำเนินการและการบริหารจัดการมหาศาล หากทำผิดแนวทาง สูญเสียโอกาสในการได้รับผลตอบแทนหรือราคาที่เหมาะสม เป็นการเสียโอกาสอย่างยิ่งยวด

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 3 และ 4 ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาตลาดสมดุลของการผลิตไบโอดีเซลประเทศไทย ปัญหาการจัดตารางการเดินรถไฟฟ้าความเร็วสูง โดยคำนึงปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาได้อย่างครอบคลุม ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ที่มี เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ และ สังคมในเวลาเดียวกัน

ผลของการวิจัยได้เปิดมิติใหม่ของการจัดการทรัพยากร และ พลังงานของประเทศไทย ในการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การหาค่าเหมาะสม มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แทนการวิเคราะห์และตัดสินใจในรูปแบบเดิม ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการตัดสินใจผิดพลาด และจากการเสียโอกาสจากการได้รับผลพลอยได้จากการตัดสินใจในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างถูกวิธี ซึ่งผลของการวิเคราะห์ในบทที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับหาค่าเหมาะสมที่นำเสนอนี้ ให้ผลของการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมาก และใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ประสิทธิผลของการวิเคราะห์ของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับ การตั้งสมการวัตถุประสงค์ สมการข้อจำกัด และการจัดหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งต้องอาศัยการศึกษาค้นคว้า ทางทฤษฎี และ งานวิจัยอย่างมาก แต่หากมีการเก็บข้อมูลและการศึกษาแบบต่อเนื่อง ก็จะทำให้ผู้ใช้งานแบบจำลองได้ข้อมูลที่มากขึ้นและดีขึ้น ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้ก็มีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วยเช่นกัน จึงเห็นควรให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเริ่มนำแบบจำลองคณิตศาสตร์การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมมาใช้งานอย่างจริงจัง เพื่อช่วยแก้ปัญหาพลังงานและบริหารจัดการทรัพยากรของประเทศอย่างยั่งยืน

นอกจากนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการหาค่าเหมาะสมทั้ง 2 รูปแบบ ที่มีหลักการในการวิเคราะห์ที่ไม่เหมือนกัน มาใช้ในการช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจ ซึ่งแต่ละแบบจำลอง มีหลักการที่แตกต่างกันดังนี้

A. <u>แบบจำลองสมดุลแบบเน้นคุณค่าของตลาดไบโอดีเซลในประเทศไทย</u>

มีหลักการวิเคราะห์ของแบบจำลองดังนี้

1. แบบจำลองนี้ ข้อมูลที่นำเข้าในการวิเคราะห์ ใช้การวิเคราะห์แบบ Scenario Analysis เพื่อทำการแปรผันปริมาณวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 3 ชนิด คือปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และถั่วเหลือง เพื่อให้แบบจำลองทำการค้นหาค่าสัดส่วนของการตัดสินใจซื้อขาย ที่ราคาไบโอดีเซลดีที่สุด
2. แบบจำลองนี้ มีการกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพียง 1 ฟังก์ชั่น คือ Maximize Profit
3. มีการใช้หลักการของตลาดแข่งขันสมบูรณ์
4. มีการใช้เงื่อนไข ของ Karush-Kuhn-Tucker (KKT)

B. <u>แบบจำลองในการบริหารจัดการตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีหลักการวิเคราะห์ T1 ของแบบจำลองดังนี้

1. แบบจำลองนี้ ข้อมูลที่นำเข้าในการวิเคราะห์ ระบบจะบูรณาการรับข้อมูลผู้ใช้งานจากการเดินทางรอบล่าสุด หรือข้อมูลในอดีต หลังจากนั้นจะมีการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงจากข้อมูลในอดีต เพื่อจะนำมาใช้หาจำนวนขบวนรถที่มีความเหมาะสม โดยวิธีการ Optimization

2. จำนวนขบวนรถจะถูกไปคำนวณตารางการเดินรถที่มีความเหมาะสมด้วยระบบ Timetable Optimizer ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้งานรถไฟความเร็วสูงและช่วยประหยัดเวลาในการวางแผน และเป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการวางแผนปฏิบัติการ (Operations Planning) ซึ่งทำให้ฝ่ายปฏิบัติการเข้าใจข้อจำกัดต่างๆ ในการสร้างความสมดุลย์ระหว่างอุปสงค์และอุปทาน

3. แบบจำลองนี้ มีการกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพียง 2 ฟังก์ชั่น คือ Minimize time และ Minimize Error

4. รูปแบบสมการของ T1 สำหรับการเลือกสมการในการพยากรณ์ปริมาณผู้ใช้บริการ หากรูปแบบปริมาณผู้ใช้บริการมีลักษะณะขึ้นๆ ลงๆ สมการที่เหมาะสมควรจะเป็นลักษณะของโพลีโนเมียลกำลังสี่ ทั้งนี้สามารถพิจารณาที่ R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการในรูปแบบอื่นๆ สำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้กำหนดมาใช้นี้มีความจำเพาะในการจัดขบวนรถไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปประยุกต์ในการจัดขบวนรถไฟได้ในอีกหลายๆ เส้นทาง

5.2 แนวทางการวิจัยในอนาคต

ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก กำลังให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาการบริหารจัดการทรัพยากร เนื่องจากทุกประเทศกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากร ซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกๆ ปี ประเทศไทยก็เช่นกันเราเป็นประเทศที่เป็นประเทศเกษตรกรรม เราเป็นสังคมเกษตรกรรม มีการผลิตสินค้าเกษตรใช้ภายในประเทศและส่งออกขายยังต่างประเทศ แต่เราไม่สามารถบริหารจัดการสินค้าเกษตรเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อเกษตรกรผู้ผลิตได้อย่างเต็มเม็ดเต็มหน่วย นอกจากนี้เราเป็นประเทศที่ใช้พลังงานสูงแต่ไม่สามารถผลิตพลังงานเองได้นอกจากพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงงานทดแทน ในรูปพลังงานชีวมวล ดังนั้น ประเทศไทยควรส่งเสริมการทำเกษตรกรผลิตและขายสินค้าที่มีคุณภาพในตลาดที่มีการแข่งขันอย่างเป็นธรรมเพื่อให้ได้รับสินค้าตามมูลค่าสินค้าที่ควรเป็น จะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการพลังงานและทรัพยากรอย่างยั่งยืน

นอกจากนี้การบริหารจัดการทรัพยากรเพื่อให้เกิดผลที่สังคมโดยรวมสามารถใช้ทรัพยากรต่างๆได้อย่างคุ้มค่าและทั่วถึงเป็นอีกแง่มุมหนึ่งที่ งานทางวิศวกรรมควรจะพิจารณา ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อจัดตารางการเดินรถไฟความเร็วสูง ซึ่งจะเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนไทยในอนาคต หากแต่ข้อมูลที่ใช้จำเป็นต้องมีการอัพเดทให้สอดคล้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการของประชาชนมากที่สุด จะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการพลังงานและทรัพยากรอย่างยั่งยืน

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อีกในอนาคตหากมีสถานการณ์ที่สามารถลงรูปแบบเดียวกันได้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจด้านการจัดการทางด้านพลังงานหรือทางด้านวิศวกรรม มีงานวิจัยที่คล้ายกันในการนำเสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ในปัญหาทางด้านการศึกษากลยุทธ์การกำหนดราคารถไฟความเร็วสูงในประเทศไทยตามแบบจำลองการกำหนดราคาที่เหมาะสมที่สุดแบบไดนามิก (Khwanpruk, et al, 2021) รวมถึงการนำไปใช้ในระบบการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารที่ใช้ระบบการขนส่งร่วมกัน (Ishii et al., 2025) มีการนำไปใช้ในด้านการจัดการพลังงาน เช่นการวางแผนระบบพลังงานของเยอรมนีที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและความต้องการการใช้พลังงาน โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นซึ่งมีการพยากรณ์ล่วงหน้าเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด (Peterssen et al, 2024) การนำไปใช้กับการวางแผนลงทุนและดำเนินงานระบบพลังงาน และพลังงานหมุนเวียน เพื่อลดต้นทุนและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Lauinger et al, 2016; Dagal et al 2025) การนำไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานหมุนเวียน (Saini et al, 2025) รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นในโรงงานผลิตนิกเกิลและกระดาษ (Wang and Guo, 2025; Rasool et al, 2025)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Acuna-Agost, R. (2010). *Mathematical modeling and methods for rescheduling trains under disrupted operations* [Doctoral dissertation, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse].

Acuna-Agost, R., Michelon, P., Feillet, D., & Guaye, S. (2009). Constraint programming and mixed integer linear programming for rescheduling trains under disrupted operations. In **Lecture Notes in Computer Science.** (Vol. 5547, pp. 312-313). Springer.

Adenso-Díaz, B., González, M. O., & González-Torre, P. (1999). On-line timetable re-scheduling in regional train services. **Transportation Research Part B**. *33*(6), 387-398.

Assad, A. A. (1980). Models for rail transportation. *Transportation Research Part A*, *14*(3), 205-220.

Bank of, T. (2012). *Ethanol yearly report 2012*. http://www.bot.or.th/Thai/EconomicConditions/Thai/Northeast/commodities/Doclib_CommodityYearly/Ethanol%20Report_2555%20-last.pdf

BIODIESEL,THAILAND INDUSTRY OUTLOOK 2017. https://www.krungsri.com/bank/getmedia/2a1ede06-1b73-4282-99d93ef7c787714a/IO_Biodiesel_201705_EN.aspx

Brännlund, U., Lindberg, P. O., Nõu, A., & Nilsson, J. E. (1998). Railway timetabling using Lagrangian relaxation. **Transportation Science**. *32*(4), 358-369.

Cacchiani, V., & Toth, P. (2012). Nominal and robust train timetabling problems. **European Journal of Operational Research**. *219*(3), 727-737.

D'Ariano, A., Pacciarelli, D., & Pranzo, M. (2007). Assessment of flexible timetables in real-time traffic management of a railway bottleneck. **Transportation Research Part C**, *16*(2), 232-245.

Economic, & Social Development, D. (1997). Proceedings of the Fiji/FAO Asia Pacific Sugar Conference.

FAO. (2017). *Agriculture Statistic(online)*. Retrieved 20 September from http://www.fao.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flier, H., Nunkesser, M., Schachtebeck, M., & Schobel, A. (2008). *Integrating rolling stock circulation into the delay management problem*.

Food, & Agriculture, O. (2012). FAOStat: Food and Agricultural Organization statistics. http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor

Food, & Agriculture, O. (2017). Agriculture statistic. http://www.fao.org

Freyss, M., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2013). Continuous approximation for skip-stop operation in rail transit. **Transportation Research Part C.** *36*, 419-433.

Gabriel, S. A., Conejo, A. J., Fuller, J. D., Hobbs, B. F., & Ruiz, C. (2010). *Complementarity modeling in energy markets*. Springer.

Gabriel, S. A., Kiet, S., & Zhuang, J. (2005). A mixed complementarity-based equilibrium model of natural gas markets. **Operations Research.** *53*, 799-818.

Hansen, I. A. (2009). Railway network timetabling and dynamic traffic management. **International Journal of Civil Engineering.** *8*(1), 19-32.

Krungsri, R. (2017). Biodiesel: Thailand industry outlook 2017. https://www.krungsri.com/bank/getmedia/2a1ede06-1b73-4282-99d9-3ef7c787714a/IO_Biodiesel_201705_EN.aspx

Laokhongthavorn, L., U-tapao, C., & Dejtisakdi, W. (2014). Proceedings of the Seventh Annual International Business Heath and Engineering Conference. Las Vegas, Nevada, USA.

Lee, Y., & Chen, C. Y. (2009). A heuristic for the train pathing and timetabling problem. **Transportation Research Part B: Methodological.** *43*(8), 837-851.

Leung, D. Y. C., & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. ***Fuel Processing Technology.*** *87*(10), 883-890.

Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. ***Industrial & Engineering Chemistry Research.*** *44*(14), 5353-5363. https://doi.org/10.1021/ie049157g

Ministry of Energy, D., & Efficiency. (2013). *Annual report (2012)*.

Patumsawad, S. (2011). 2nd generation biofuels: Technical challenge and R&D opportunity in Thailand. ***Journal of Sustainable Energy & Environment (JSEE), Special Issue***. 47-50.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rashid, U., & Anwar, F. (2008). Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel*, *87*(3), 265-273. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.003

Sahin, I. (1999). Railway traffic control and train scheduling based on inter-train conflict management. **Transportation Research Part B**. *33*(7), 511-534. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.06.003

Saifuddin, N. M. (2004). Production of Ethyl Ester (Biodiesel) From Used Frying Oil: Optimization of Transesterification Process using Microwave Irradiation. **Malaysian Journal of Chemistry**. *6*, 77-82.

Schöbel, A. (2001). A Model for the Delay Management Problem based on Mixed-Integer-Programming. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science**. *50*(1), 1-10. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1571-0661(04)00160-4

Khwanpruk, S., U-tapao, C., Khwanpruk, K., Laokhongthavorn, L. and Moryadee, S. (2021). A Study on High-Speed Rail Pricing Strategy for Thailand Based on Dynamic Optimal Pricing Model, **International Journal of Intelligent Engineering & Systems.** 97-108

Silalertruksa, T., & Gheewala, S. H. (2012). Environmental sustainability assessment of palm biodiesel production in Thailand. ***Energy***. *43*(1), 306-314.https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.025

Silalertruksa, T., & Gheewala, S. H. (2012). Environmental sustainability assessment of palm biodiesel production in Thailand. **Energy.** *43*, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.055

Statista. Average prices for coconut oil worldwide from 2014 to 2025. https://www.statista.com/ statistics/675808/average-prices-coconut-oil-worldwide/

Wyatt, V. T., Hess, M. A., Dunn, R. O., Foglia, T. A., Haas, M. J., & Marmer, W. N. (2005). Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** *82*(8), 585-591. https://doi.org/10.1007/s11746-005-1113-2

R. Ramakumar, P. S. Shetty and K. Ashenayi, "A Linear Programming Approach to the Design of Integrated Renewable Energy Systems for Developing Countries," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. EC-1, no. 4, pp. 18-24, Dec. 1986, doi: 10.1109/TEC.1986.4765768.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Saini, K., Saini, M., Kumar, A. *et al.* Performance analysis and optimization in renewable energy systems: a bibliometric review. *Discov Appl Sci* **7**, 178 (2025). https://doi.org/10.1007/s42452-025-06585-2

Dagal, I., Harrison, A., Mbasso, W.F. *et al.* Logarithmic mean optimization a metaheuristic algorithm for global and case specific energy optimization. *Sci Rep* **15**, 18155 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-00594-2

Florian Peterssen, Marlon Schlemminger, Clemens Lohr, Raphael Niepelt, Richard Hanke-Rauschenbach, Rolf Brendel, Impact of forecasting on energy system optimization,Advances in Applied Energy,Volume 15,2024,100181,ISSN 2666-7924,https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100181.

Ishii, Yuki, Kawase, Riki, Seo, Toru – 2025 Multi-Objective Optimization of Integrated Freight and Passenger Transportation in Shared Autonomous Vehicle Systems, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research

Wang, M., Guo, Y. Multi-objective optimization of global nickel industry chain trade system for embodied carbon emissions reduction. *Environ Dev Sustain* (2025). https://doi.org/10.1007/s10668-025-06272-7

Rasool, S., Saini, M. & Kumar, A. Mathematical modeling and availability optimization of bleaching system in paper industry. *Life Cycle Reliab Saf Eng* (2025). https://doi.org/10.1007/s41872-024-00290-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
วัน เดือน ปีเกิด	12 สิงหาคม 2512	
ประวัติการศึกษา:	2536	วศ.บ. (วิศวกรรมการก่อสร้าง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	2541	M. Eng (Soil Engineering) Asian Institute of Technology
ใบอนุญาตวิชาชีพ / ทะเบียน :		- สมาชิกสภาวิศวกร สามัญสมาชิก เลขที่ 29761 - สภาวิศวกร วิศวกรรมโยธา สามัญวิศวกร สย.7141 - สภาวิศวกร วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาคีวิศวกร ภส. 1834 - ว.ส.ท. วุฒิสมาชิกตลอดชีพ เลขที่ 1/ 022622 - สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย สมาชิกตลอดชีพ เลขที่ ส. 786 -Life Membership of ACECOMม AIT, Member ID: D53-1420-0207 - Life Membership of Southeast Asian Geotechnical Society (SEAGS). Life Membership Number is 2007TH69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้