ความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย ภายในปี 2564

THE MAXIMUM POSSIBLE PERCENTAGE OF RENEWABLE ENERGY USAGE IN THAILAND BY 2021

พิศมัย เจนใจ
PHITSAMAI CHENCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-260-EN-M-167-158

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

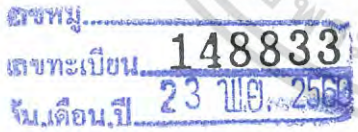
ความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย ภายในปี 2564

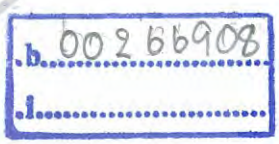
THE MAXIMUM POSSIBLE PERCENTAGE OF RENEWABLE ENERGY USAGE IN THAILAND BY 2021

พิศมัย เจนใจ

PHITSAMAI CHENCHAI

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง





วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-260-EN-M-167-158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE MAXIMUM POSSIBLE PERCENTAGE OF RENEWABLE ENERGY USAGE IN THAILAND BY 2021

PHITSAMAI CHENCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ENVIRONMENTAL AND ENERGY ENGINEERING FOR SUSTIANABILITY
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-167-158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยภายในปี 2564
Thesis Title The Maximum Possible Percentage of Renewable Energy Usage in Thailand by 2021
นักศึกษา นางสาวพิศมัย เจนใจ
รหัสประจำตัว 58601185
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-167-158

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
พ.ต.ดร.เสกสรร	หมอยาดี	
ผศ.ดร.ภาสกร	ขันทองทิพย์	
ดร.ชดชนก	อัฑฒพงศ์	
ผศ.ดร.วุฒิชัย	ชาติพัฒนานันท์	
ผศ.ดร.ชลิดา	อู่ตะเภา	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.30-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยภายในปี 2564
นักศึกษา	นางสาวพิศมัย เจนใจ
รหัสประจำตัว	58601185
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา

บทคัดย่อ

หัวข้อการวิจัยนี้เป็นการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์ (Optimization) เพื่อคัดเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของการเลือกใช้พลังงานชนิดต่างๆในประเทศไทยภายในปี2564 โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (Objectives) ได้แก่เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการผลิตจัดการพลังงาน และ หาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำที่สุด และเพื่อตรวจสอบแนวโน้มความเป็นไปได้ว่าประเทศไทยสามารถใช้พลังงานทดแทนได้ร้อยละ 25 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี 2564 ตามนโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (ปี 2555-2564) (AEDP2012-2021) พลังงานชนิดต่างๆที่จะถูกนำมาวิเคราะห์ได้แก่ พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนทั้งหมดที่ใช้อยู่แล้วในประเทศไทย โดยจะมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินค่าตามวัตถุประสงค์ (Optimization model) ข้อมูลและขอบเขตของปัญหาใช้ข้อมูลการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆในประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา การหาค่าต่ำที่สุดในการผลิตพลังงานโดยคำนึงเฉพาะค่าใช้จ่ายในการผลิตและเชื้อเพลิง (production cost) และค่าใช้จ่ายทั่วๆไป(External cost) ที่ไม่ใช่ค่าต้นทุนก่อสร้างและต้นทุนคงที่อื่นๆ (investment cost) และหาค่าต่ำที่สุดของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยจะนำมาพิจารณาทั้งแยกวัตถุประสงค์ (Single- objective optimization) และพิจารณาวัตถุประสงค์ร่วมกัน (Multi- objective optimization) ซึ่งการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ร่วมกันจะใช้วิธี weight method ส่วนโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ GAMS ซึ่งการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ร่วมกัน (Multi- objective optimization) ในปี 2564 จะให้ค่าคำตอบเป็นช่วงที่เหมาะสมคือช่วงที่มีค่าต้นทุนอยู่ในช่วง 8.63 ≤ 21.99 ล้านล้าน บาท มีค่าปริมาณการปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอยู่ในช่วง 0.8 ≤ 3.69 $kgCO_2e$ และมีโอกาสที่ประเทศไทยจะใช้พลังงานทดแทนได้ถึงร้อย 25 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี 2564 พลังงานทดแทนที่น่าสนใจคือพลังงานน้ำเพราะเป็นพลังงานลำดับแรกที่โปรแกรมแนะนำเสมอ ส่วนพลังงานที่น่าสนใจอันดับสองคือพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากมีศักยภาพมากที่สุดในประเทศและมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานทั้งหมดในประเทศไทย แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนค่าก่อสร้างและต้นทุนค่าคงที่ต่างๆที่เพิ่มขึ้นมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	THE MAXIMUM POSSIBLE PERCENTAGE OF RENEWABLE ENERGY USAGE IN THAILAND BY 2021
Student	Miss Phitsamai Chenchai
Student ID.	58601185
Degree	Master of Engineering
Program	Evironmetal and energy engineering for sustainability
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Chalida U-tapao

ABSTRACT

This study used operation research to energy management systems. Two objective functions, minimizing production costs and minimizing carbon dioxide equivalent (CO_2eq) emissions, were optimized that follow by Alternative Energy Policy Development Plan 2012-2021 (AEDP2012-2021). Alternative Energy Policy Development Plan Thai can get 25 % renewable Energy usage in Thailand by 2021. Types and quantity of energy sources were analyzed and make a decision on energy management systems such as fossil fuel (oil, natural gas and coal) and renewable energy (wind, solar biofuel energy from waste and hydro power) that have been using in Thailand. An optimization model for Thailand's energy management was considered as a case study. Moreover, a multi-objective optimization technique was also presented to make a tradeoff decision between minimum operational costs and CO_2eq emissions. There are many types of program for solve problem but this research use GAMS by weight method. The answer range of multi objective function by year 2021 is cost 8.63 ≤ 21.99 trillion Baht, CO_2e is 0.8 ≤ 3.69 $kgCO_2e$. Renewable energy usage can be 25% of primary energy demand of Thailand by 2021. The most interested renewable energy is hydropower energy because it is at the first choice of many results by GAMS and solar is the second interested renewable energy because it is the most potential renewable energy in Thailand and it is enough for primary energy demand in 2021 , however investment cost of increased ratio of renewable energy is important to considering too.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ดร.ภาสกร ขันทองทิพย์ , รศ.ดร.อุมา สีบุญเรือง และดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สกุล ห่อวโนทยาน ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการใช้ชีวิตและการศึกษาเสมอมา

ขอขอบพระคุณมารดาของข้าพเจ้า คุณสมพร เล็กสิงห์โต ที่คอยส่งเสริมสนับสนุน พร้อมทั้งเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าศึกษาหาความรู้เสมอมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยให้ความรู้และคอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการศึกษาและการทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ศนวท.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. ที่เปิดโอกาสให้จัดทำรายงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณนวนัยว์ ก่อเกิดบุญ คุณนันทนา แสนบรรดิษฐ์ คณะผู้บริหารและเพื่อนร่วมงานทุกท่านของบริษัทยงคอนกรีต จำกัด สาขาชลบุรี ที่อำนวยความสะดวกในการศึกษาและทำงานวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พิศมัย เจนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV-V

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII-VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 พลังงาน (Energy).....4

2.2 การจัดการพลังงาน (Energy Management).....5

2.3 การประเมินค่าทางคณิตศาสตร์ (optimization).....10

2.4 The General Algebraic Modeling System (GAMS).....17

2.5 สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนในประเทศอินเดียในด้านความเป็นไปได้และโอกาส.....19

2.6 แบบจำลองการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์เพื่อบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรณีศึกษาเมืองโบราณอู่ทอง.....20

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....21

3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....21

3.2 ทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการใช้ค่าต่างๆในปี พ.ศ.2558 (validate).....38

3.3 ศึกษาความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2564.....38

3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5 สรุปผลการทดลอง....38
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์....40
4.1 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1....40
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2....44
4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 3....48
4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4....50
4.5 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 5....55
4.6 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 6....57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....59

เอกสารอ้างอิง....63

ภาคผนวก....66

ประวัติผู้เขียน....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบข้อมูลผลการปล่อย CO_2 และ Profit.....20

3.1 ตัวแปรตัดสินใจพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....23

3.2 ตัวแปรตัดสินใจพลังงานทดแทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....23-24

3.3 ความหมายของพลังงานประเภทต่างๆ.....24

4.1 จุดช่วงการเปลี่ยนแปลงในการวิเคราะห์Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558.....47

4.2 ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558.....48

4.3 จุดช่วงการเปลี่ยนแปลงในการวิเคราะห์ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2564....56

4.4 ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558.....57

5.1 เปรียบเทียบราคาต้นทุนกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของการใช้จริงและที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564.....60

5.2 สรุปการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาสัดส่วนพลังงานของปี พ.ศ.2564.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงกระบวนการสันดาปเชิงเส้น....6

2.2 กระบวนการสันดาปวัฏจักร....6

2.3 Global potential of wind power....7

2.4 Global potential of water power....7

2.5 Global potential of solar and heat power....8

2.6 Global potential of geothermal power....8

2.7 World energy supply by source....9

2.8 Lifecycle of greenhouse gas emissions....9

2.9 กราฟ convex function กับ concave function....11

2.10 ช่วงคำตอบ multi objective optimization แบบ minimizing....15

2.11 ช่วงคำตอบ multi objective optimization แบบ maximizing....15

3.1 ตัวอย่างโปรแกรม GAMs....34

3.2 ตัวอย่างประกาศตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)....34

3.3 ตัวอย่างประกาศตัวแปรของวัตถุประสงค์ (Objective Function) และ พารามิเตอร์....35

3.4 ตัวอย่างประกาศสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมด....35

3.5 ตัวอย่างสมการวัตถุประสงค์ทั้งหมด....36

3.6 ตัวอย่างสมการเงื่อนไขทั้งหมด....36

3.7 ตัวอย่างการสร้างชื่อและคำสั่งเพื่อการวิเคราะห์โปรแกรม....37

3.8 ตัวอย่างหน้าคำตอบที่โปรแกรมวิเคราะห์....37

4.1 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 1....39

4.2 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1กับปี 2558....40

4.3 สัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1....41

4.4 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์ โปรแกรมครั้งที่ 1 กับ พ.ศ.2558....42

4.5 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 2....43

4.6 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2 กับปี 2558....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่2 กับ พ.ศ.2558....45
4.8 กราฟแสดงผล Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558....48
4.9 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 4 (พ.ศ.2564)....50
4.10 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4 คำนึงถึงต้นทุนเพียงอย่างเดียวในปี พ.ศ.2564 กับปี 2558....51
4.11 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่4 พ.ศ.2564 กับ พ.ศ.2558....53
4.12 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 5....54
4.13 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่2 กับ พ.ศ.2558....55
4.14 กราฟแสดงผล Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564....57
5.1 ค่าต้นทุน (Z1) และ ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Z2)....58-59
5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานทดแทนและพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลกับการใช้จริงและที่โปรแกรม แนะนำในปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564....59-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นความต้องการขั้นพื้นฐานของประชากรในแต่ละประเทศทั่วโลก เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตทั้งในภาคครัวเรือน เกษตร และ อุตสาหกรรม ดังนั้นรัฐบาลจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดหาพลังงานที่มีคุณภาพที่ดี มีราคาที่เหมาะสม และปริมาณที่เพียงพอ เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรในประเทศชาติ

สถิติการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆทั่วโลกปี พ.ศ.2558 ประมาณร้อยละ 86.30 เป็นการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงซากพืชซากสัตว์ (Fossil Fuel) ซึ่งได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และ ก๊าซธรรมชาติ อีกประมาณร้อยละ 4.40 มาจากพลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear) มีเพียงร้อยละ 9.30 เป็นการใช้พลังงานทดแทน (Renewable energy and Hydropower) [1] ส่วนในประเทศไทยสถิติเมื่อปี พ.ศ.2558 การใช้พลังงานทั้งหมดประมาณร้อยละ 82 เป็นการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงซากพืชซากสัตว์ (Fossil Fuel) และประมาณร้อยละ 18 เป็นการใช้พลังงานจากพลังงานทดแทน (Renewable Energy and Traditional renewable energy) [2]

ในประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนใน 3 รูปแบบหลักได้แก่ การใช้ในรูปแบบพลังงานความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และ การนำมาแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า [2] การคาดคะเนอัตราการผลิตหรือปริมาณร้อยละของพลังงานทดแทน เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆให้เหมาะสมกับความต้องการของประเทศไทยจึงเป็นแนวทางที่ผู้บริหารควรนำมาพิจารณา ทั้งนี้ปริมาณการผลิตพลังงานที่เหมาะสมนั้นควรจะต้องถูกพิจารณาตามวัตถุประสงค์โดยภาพรวม เช่น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตการจัดการพลังงานและยังคงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Optimization Model) เข้ามาช่วยในการพิจารณาหาสัดส่วนพลังงานที่เหมาะสมในประเทศไทยภายในปี 2564 ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานชนิดต่างๆต่ำที่สุด และเพื่อหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอันเกิดจากกระบวนการผลิตหรือแปรรูปของพลังงานนั้นๆต่ำที่สุดด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตพลังงานชนิดต่างๆภายใต้วัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิตและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำที่สุด

1.2.2 เพื่อสร้างตัวอย่างตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของพลังงานที่เหมาะสมภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายแต่ยังคงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

มีความเป็นไปได้ว่าในการใช้พลังงานทดแทนที่มีต้นทุนทางด้านวัตถุดิบไม่สูงแต่จะมีต้นทุนทางด้านการผลิตสูง อีกทั้งเป็นพลังงานที่มีปริมาณการผลิตไม่แน่นอน แต่เป็นพลังงานที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าออกสู่ชั้นบรรยากาศสุทธิน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์ โดยคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณการใช้งานพลังงานทดแทนประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณความต้องการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศไทยในปี 2564 ตามนโยบายของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ [3]

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การศึกษาวิจัยจะใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่างๆที่น่าเชื่อถือ เช่น กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เป็นต้น

1.4.2 การดำเนินการศึกษาวิจัยจะทำการศึกษาวิจัยที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4.3 การศึกษาวิจัยจะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายต่ำสุดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS

1.4.4 ชนิดของพลังงานที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นพลังงานที่มีใช้อยู่แล้วในประเทศไทย แบ่งเป็นพลังงานซากพืชซากสัตว์นำเข้า และพลังงานซากพืชซากสัตว์ที่มีในประเทศ พลังงานทดแทนนำเข้าและพลังงานทดแทนในประเทศ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.5.2 กำหนดขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำมาใช้เป็นขอบเขตของปัญหาตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

1.5.3 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่างๆ

1.5.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.5 ทดสอบการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทำงานวิจัย

1.5.7 จัดทำรายงานผลการศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Product)

1.6.1 ทราบกรอบสัดส่วนพลังงานทดแทนที่เหมาะสมในปี พ.ศ.2564 โดยมีต้นทุน (Cost) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่ำที่สุด

1.6.2 ทราบแนวทางการใช้พลังงานประเภทต่างๆที่เหมาะสม

1.6.3 ทราบการนำแนวทางการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม

1.6.4 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงาน (Energy)

โดยทั่วไปพลังงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ [4]

2.1.1 พลังงานสิ้นเปลืองหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล)

พลังงานสิ้นเปลืองหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปก็คือ พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือพลังงานซากพืชซากสัตว์ เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ รวมถึงน้ำมันสำเร็จรูป และคอนเดนเสทด้วย ซึ่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ไม่สะอาด หรือมีการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนสูง คุณสมบัติทั่วไปของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลจะมีดังนี้

2.1.1.1 น้ำมันดิบเป็นพลังงานซากพืชซากสัตว์ที่อยู่ใสรูปของของเหลว โดยปกติแล้วเป็นพลังงานขั้นปฐมภูมิ[1] หมายถึงพลังงานที่ยังไม่เปลี่ยนรูปซึ่งส่วนใหญ่จะนำน้ำมันดิบมาเปลี่ยนรูปโดยการกลั่นก่อนแล้วนำไปใช้(น้ำมันสำเร็จรูป) เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (liquefied petroleum gas) ใช้สำหรับหุงต้มในครัว และใช้กับรถบางคัน รวมทั้งในโรงงานบางชนิด, น้ำมันเบนซิน ใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์, น้ำมันก๊าด ใช้จุดตะเกียงให้แสงสว่าง และใช้ในโรงงาน, น้ำมันเครื่องบิน ใช้กับเครื่องบินใบพัด เครื่องบินไอพ่น, น้ำมันดีเซล (โซล่า) ใช้กับรถเมล์ รถไฟ รถบรรทุก รถกระบะ, น้ำมันเตา ใช้สำหรับเตาเผาหรือต้มน้ำในหม้ออัดไอน้ำ (บอยเลอร์) หรือเอามาปั่นไฟ หรือใช้กับเรือ, ยางมะตอย ส่วนใหญ่ใช้ทำถนน นอกนั้นใช้เคลือบท่อ เคลือบโลหะเพื่อกันสนิม[5]

2.1.1.2 ก๊าซธรรมชาติ โดยปกติแล้ว เมื่อเอาก๊าซธรรมชาติมาเผา จะเผาได้ค่อนข้างสมบูรณ์ไม่ค่อยมีก๊าซพิษออกมานัก ก๊าซธรรมชาติมีก๊าซหลายอย่างประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อจะเอามาใช้ต้องแยกก๊าซออกจากกันและกันเสียก่อน จึงจะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ดังนี้ ก๊าซมีเทน ใช้ผลิตไฟฟ้า และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งใช้กับรถยนต์, ก๊าซอีเทน รวมกับ โพรเพน ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานปิโตรเคมี, ก๊าซ โพรเพน รวมกับบิวเทน ใช้เป็นก๊าซหุงต้ม และใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานและรถยนต์ ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลอื่นๆ และเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวจะเรียกว่าคอนเดนเสท[6]

2.1.1.3 ถ่านหิน คือ หินตะกอนชนิดหนึ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ และมีส่วนประกอบ ที่เป็นสารประกอบ ของคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก หรือ ร้อยละ 70 โดยปริมาตร และยังมีสารประกอบ อื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นต้น โดยทั่วไปเราจะนำถ่านหินมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า [4]

2.1.2 พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป (พลังงานทดแทน)

พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไปซึงนำมาเป็นพลังงานทดแทนคือเป็นพลังงานที่เรานำมาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล [2] เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะชีวภาพ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่นมหาสมุทร (คลื่นน้ำ) ส่วนใหญ่พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่สะอาด ยกเว้น ขยะ ชีวมวล เป้าๆต้นในประเทศไทยจะใช้พลังงานทดแทนอยู่ 3 รูปแบบนั่นคือ พลังงานความร้อน, พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไบโอดีเซล,เอสทานอล)[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 พลังงานน้ำ (Hydro power)

ส่วนใหญ่เราจะนำพลังงานน้ำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเราจะเรียกว่าไฟฟ้าพลังน้ำ โดยส่วนใหญ่จะแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดจิ๋ว, ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่

1) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋ว คือมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่า 200 กิโลวัตต์

2) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก คือมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200 กิโลวัตต์ ถึง 30 เมกะวัตต์

3) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ คือมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 30 เมกะวัตต์

หลักการทำงานคือ เปลี่ยนพลังงานศักย์+จลน์ ของกระแสน้ำผ่านกังหันเกิดพลังงานกล กังหันหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า

2.1.2.2 พลังงานลม คือ การนำแรงจากลมหมุนกังหันทำให้กังหันหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนเกิดกระแสไฟฟ้า ประเภทลมในประเทศไทย เช่น ลมบก, ลมมรสุม, ลมภูเขา, ลมว่าว, ลมทะเล, ลมตะเภา ,ลมหุบเขา เป็นต้น

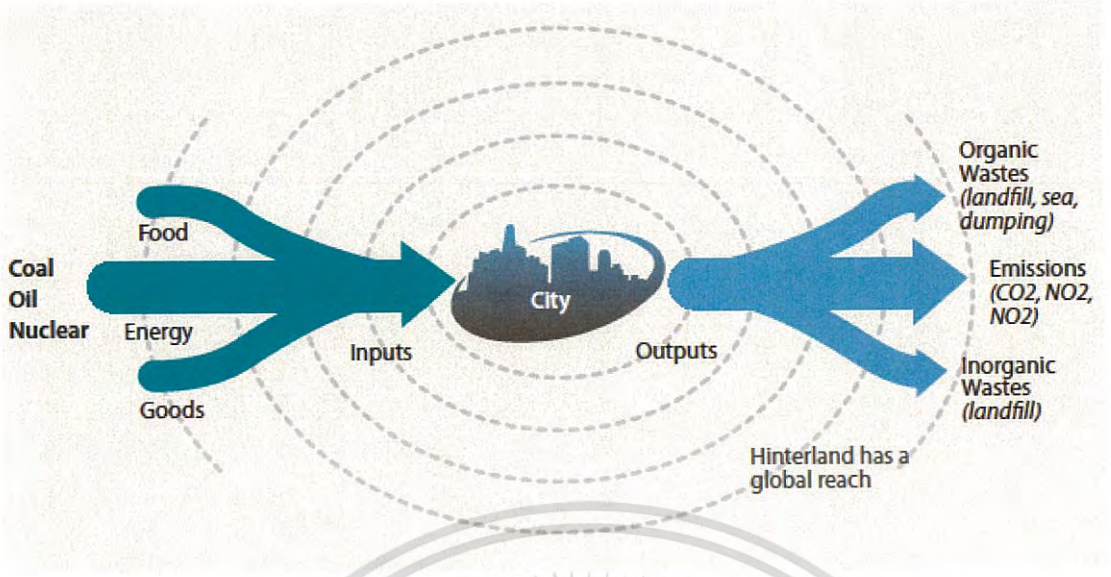
2.1.2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ เรานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ 2 รูปแบบ คือนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้(กระบวนการอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า) และการนำคลื่นแสงของดวงอาทิตย์มาใช้โดยตรง(โซล่าเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้า)

2.1.2.4 ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ คือ ขยะที่มาจากการเกษตรหรือผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงพืชน้ำมันเช่น ปาล์ม, ทานตะวัน เป็นต้น โดยปกติแล้วเราจะนำชีวมวลมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนด้านเชื้อเพลิง เช่น ไบโอดีเซล เอทานอล เป็นต้น [7]

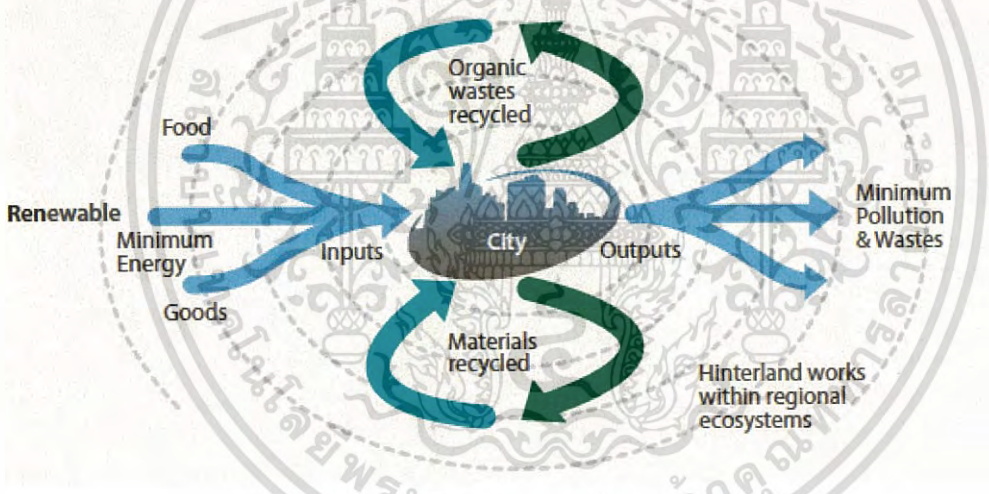
2.2 การจัดการพลังงาน (Energy Management)

หลายๆเมืองใหญ่ในโลกเริ่มมีการตื่นตัวเพื่อหามาตรการผลักดันนโยบายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนจากภาพรวมการใช้พลังงานภายในประเทศ โดยเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในบางประเทศโดยเฉพาะกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วมีมากถึง 100% หรือการที่ไม่ใช้ปริมาณพลังงานจากพลังงานซากพืชซากสัตว์หรือพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเลย เช่นการศึกษาของ Droege, P [8] ซึ่งเป็นผลการศึกษาในประเทศ เยอรมนี ผลการศึกษาของ Apergis and Payne [9] ของประเทศ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ออสเตรีย ฝรั่งเศส และ การศึกษาในทำนองเดียวกันในประเทศญี่ปุ่นของ Kojima and Meisen [10] เหตุผลสนับสนุนผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานทดแทนในอัตราส่วนร้อยละ 100 เช่น เหตุผลในการสนับสนุนเพื่อผลักดันนโยบายคือ ประโยชน์จากการใช้พลังงานทดแทนมีมากกว่าการใช้พลังงานซากพืชซากสัตว์ เช่น กระบวนการสันดาปเชิงเส้นของการใช้พลังงานซากพืชซากสัตว์ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งและมลพิษจำนวนมาก เมื่อเทียบกับกระบวนการสันดาปแบบวัฏจักรของการใช้พลังงานทดแทนซึ่งช่วยลดปริมาณของเหลือทิ้งและมลพิษ ตามรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 (มลพิษในที่นี้ได้แก่ Greenhouse gas รูปแบบต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



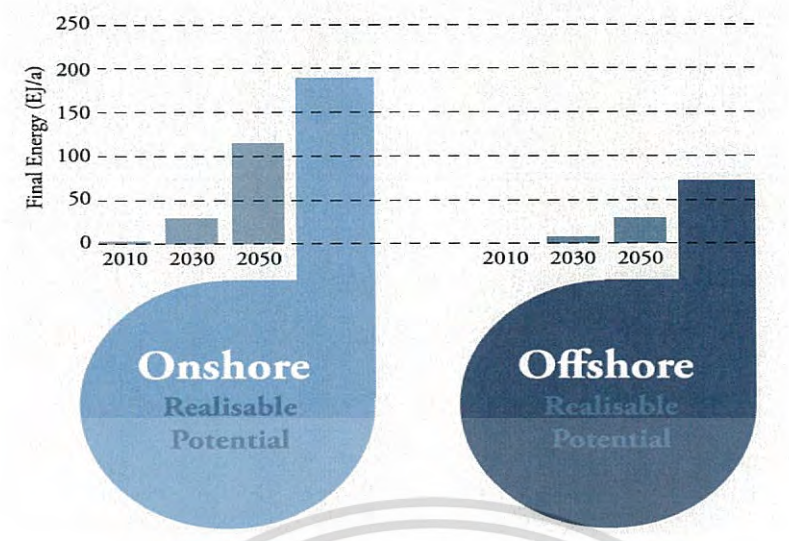
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการสันดาปเชิงเส้น [6]



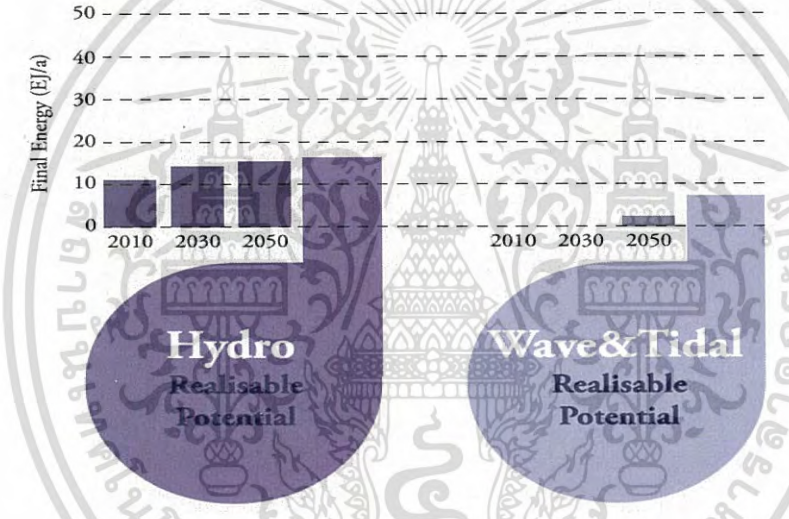
รูปที่ 2.2 กระบวนการสันดาปวัฏจักร[6]

ศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนชนิดต่างๆ ของพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกเป็นอีกเหตุผลหนึ่งในการสนับสนุนการผลิตและใช้งานพลังงานทดแทน[11] ดังแสดงในรูปที่ 2.3 – 2.7 พลังงานลมประมาณ 250 EJ/a (Exajoule/acre) พลังงานจากน้ำประมาณ 25 EJ/a พลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1,920 EJ/a และพลังงานความร้อนใต้พิภพ 64 EJ/a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

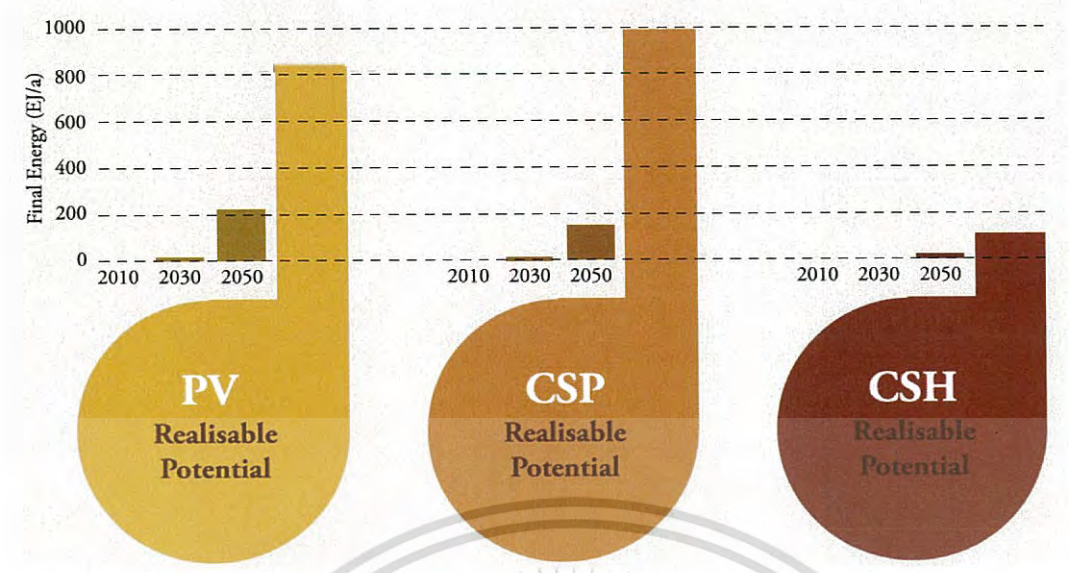


รูปที่ 2.3 Global potential of wind power [9]



รูปที่ 2.4 Global potential of water power [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

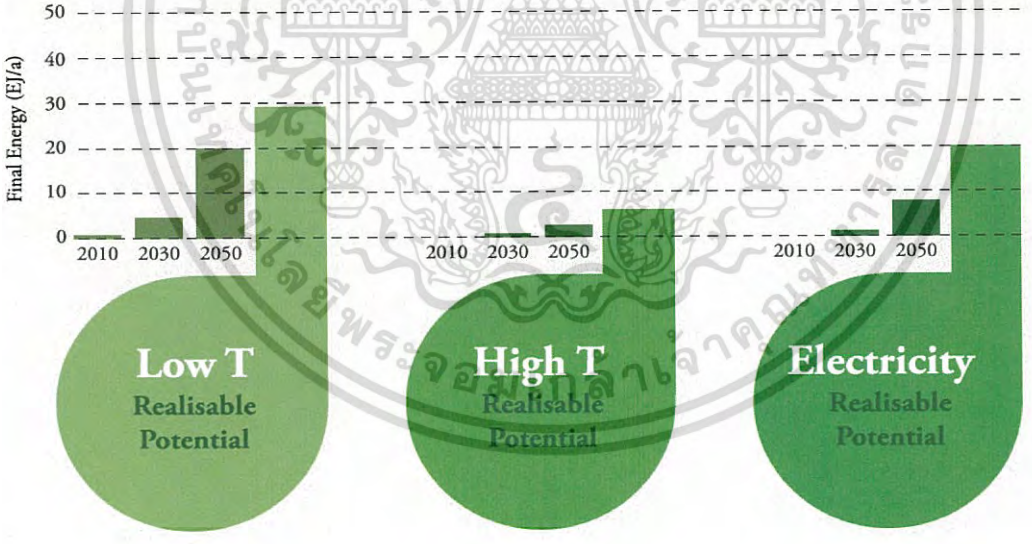


รูปที่ 2.5 Global potential of solar and heat power [9

PV: Solar power from photovoltaics

CSP: Concentrating solar power

CSH: Concentrating solar high-temperature heat for industry

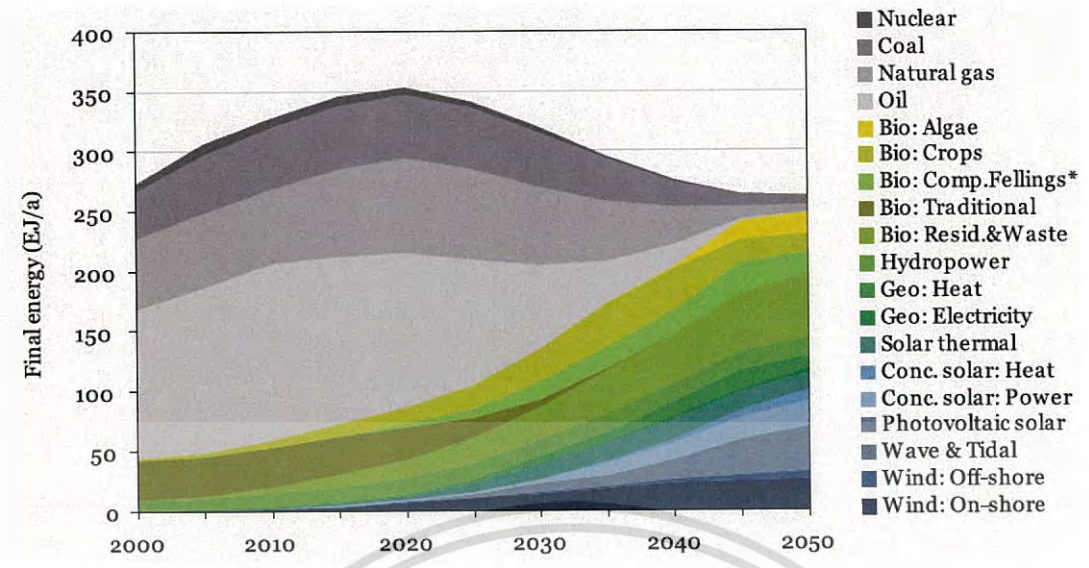


รูปที่ 2.6 Global potential of geothermal power [9]

Low T: Low temperature heat

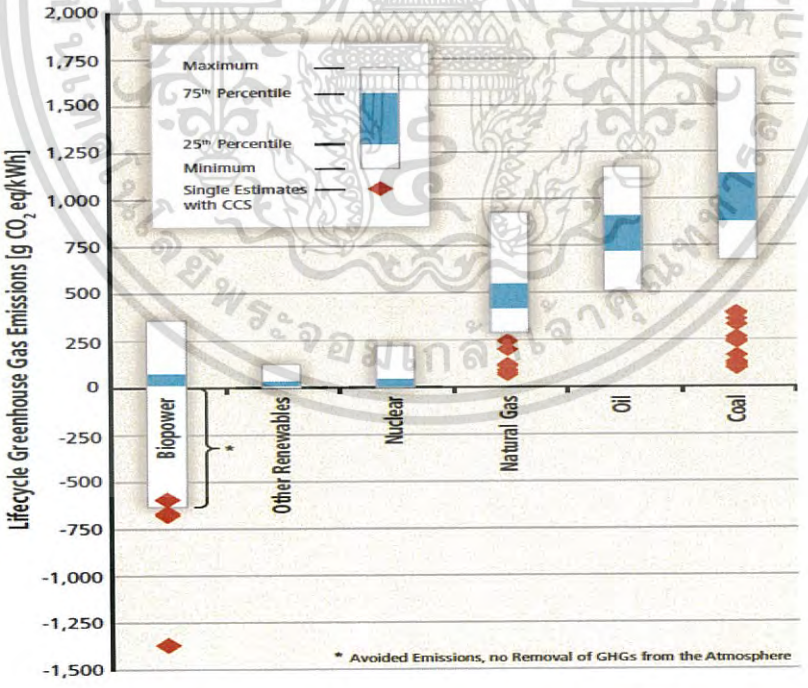
High T: High temperature heat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 World energy supply by source [9]

นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากการใช้พลังงานทดแทนยังเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนแนวคิดในการเพิ่มปริมาณการผลิตและใช้พลังงานทดแทนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยวัดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของการใช้พลังงานต่างๆ [12] แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Lifecycle of greenhouse gas emissions [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเป้าหมายการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความเป็นเมืองที่มีประมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ รัฐบาลไทยจึงมีแนวความคิดในการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์และเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน 25% ภายใต้สมมติฐานคือการใช้พลังงานจากพลังงานทางเลือกจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณต่ำกว่าการใช้ปริมาณจากซากพืชซากสัตว์ ในปี 2564 นอกจากปัจจัยเรื่องคาร์บอนไดออกไซด์และค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานแล้ว แล้วการใช้พลังงานทดแทนยังต้องมีความสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจ ดังการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศกลุ่มที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐ อังกฤษ ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส เป็นต้น [8] การบริหารจัดการเพื่อเพิ่มและลดการใช้พลังงานตามชนิดของวัตถุดิบจึงเป็นประเด็นสำคัญในการวางแผนเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.3 การประเมินค่าทางคณิตศาสตร์ (optimization)

การประเมินค่าทางคณิตศาสตร์ (optimization) คือการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาโดยการนำสมการทางคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหา ทฤษฎีนี้เกิดขึ้นมาตั้งปี ค.ศ.1940 และพัฒนามาเรื่อยๆสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลายสาขาวิชา เช่น วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ เศรษฐศาสตร์ ผลจากการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์เป็นขบวนการที่จะทำให้ได้รับผลในเชิงปริมาณ (quantity) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวนหรือค่าของตัวเลขของปัญหาที่กำหนด ดังนั้นปัญหาที่นำมาเลือกใช้ในการทำ optimization จะอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(mathematical model) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาตร์นั้นมีหลายประเภทสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม [13],[14]

1.แบบจำลองเฉพาะ (Specific Model)

2.แบบจำลองทางสถิติ (Statistical Model)

3.แบบจำลองเพื่อหาทางเลือกหรือการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Model)

4.แบบจำลองด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Model)

5.แบบจำลองแบบผสมผสาน (Mixed Model)

ซึ่งตามที่ได้กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นไปตามลักษณะของ แบบจำลองเพื่อหาทางเลือกหรือการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Model) โดยใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithm) คือ กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

โดยทั่วไปจุดประสงค์ของการทำ optimization จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อหาค่าสูงสุด (maximum) หรือค่าต่ำสุด (minimum) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนด (objective function) และการหาค่าของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่เรียกว่า ข้อจำกัด (constraints) นอกจากนี้การทำ optimization สามารถทำการประเมินแต่ละ objective function แยกจากกัน เรียกว่า single-objective optimization หรือ ทำการประเมินหลายๆ objective ในเวลาเดียวกันเรียกว่า multi-objective optimization [13]

2.3.1 ส่วนประกอบของการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์

2.3.1.1 ตัวแปรออกแบบ (decision variable) หมายถึง ตัวแปรที่เป็นคำตอบของการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งตัวแปรออกแบบจะถูกกำหนดเพื่อใช้อธิบายลักษณะของระบบอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) คือ ฟังก์ชันที่เราต้องการหาค่าต่ำสุดหรือสูงสุดโดยเราจะต้องทำการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ติดอยู่ในรูปของตัวแปรออกแบบ เพื่อที่จะทำการหาค่าของตัวแปรที่เป็นจุด maximum หรือ minimum ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้น

2.3.1.3) Constraints เป็นเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของ objective function

2.3.1.4) Sign restriction เป็นข้อกำหนดค่าความเป็นได้ของตัวแปรออกแบบหรือมิติของปัญหา [13]

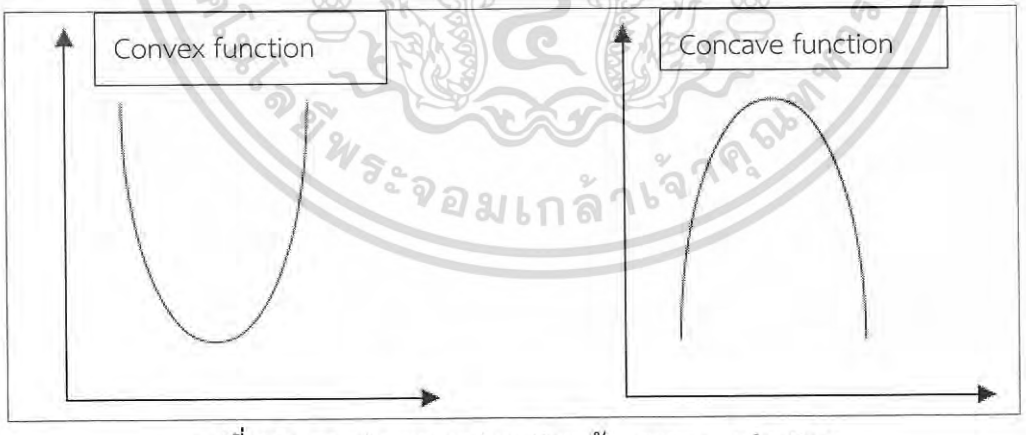
ฟังชันก์วัตุประสงค์ของปัญหามีหลายรูปแบบเช่น Convex programming, ปัญหาโปรแกรมเชิงกำลังสอง (Quadratic programming) , Geometric programming, โปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear programming) และ กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming (LP))

2.3.2 Convex programming

วัตถุประสงค์เป็น covex หรือมี เงื่อนไข เป็น convex นิยามของ convex function คือ ฟังก์ชันที่สอดคล้องกับสมการ [14]

$$f(\theta X_1 + (1-\theta X_2) \leq \theta f(X_1) + (1-\theta) f(X_2) \qquad (2.1)$$

โดย X1 และ X2 เป็นจุดใดๆที่เป็นสมาชิกของจำนวนจริงและ θ มีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq \theta \leq 1$ เราอาจจะพิจารณา convex function โดยดูจาก hessian matrix ได้โดย ฟังก์ชัน f (x) จะเป็น convex function ได้ ต่อเมื่อhessian matrix ของ f (x) เป็น positive definite หรือ positive semi-definite แต่ถ้า hessian matrix ของ f (x) เป็น negative definite หรือ negative semi-definite จะเรียกฟังก์ชั่นนั้นว่า concave function ลักษณะกราฟ convex function กับ concave funtion แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟ convex function กับ concave funtion

2.3.3 ปัญหาการโปรแกรมเชิงกำลังสอง (Quadratic programming)

คือฟังก์ชันที่สอดคล้องกับสมการเป็นปัญหาของการหาค่าที่ดีที่สุด (ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด) ของฟังก์ชันเป้าหมาย ซึ่งเป็นฟังก์ชันกำลังสอง โดยมีข้อจำกัดของปัญหา เป็นสมการหรืออสมการเชิงเส้น เขียนตัวแบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ดีที่สุด $$Z = \sum^{n} j1 = 1c_j x_j - 0.5\sum^{n}{}_{j} = 1\sum^{n}{}_{k} = 1q_{jk} x_j k_j \quad (2.2)$$

โดยมีข้อจำกัด $$\sum^{n} j = 1a_{ij} x_{ij} \{\Im, =^{3}\} b_{ii} = 1,2,..., m \quad (2.3)$$

$$x_j{}^{3} 0 j = 1,2..., n \quad (2.4)$$

เมื่อ c_j, b_l ,$a_{i\,j}$ และ q_{jk} เป็นค่าคงที่ $q_{jk} = q_{jk}$[14]

2.3.4 Geometric programming

Geometric programming นั้นเป็นวิธีสำหรับปัญหาที่มี objective function และ constraint ในรูปของผลบวกของโพลิโนเมียล ตัวเลขยกกำลังจะเป็นจำนวนเต็มและเป็นบวกหรือลบหรือไม่ก็ได้ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดง objective function ที่ไม่มีเงื่อนไข (unconstrained objective function) ซึ่งสามารถที่จะแก้ปัญหาโดยใช้ geometric programming [14]

2.3.5 โปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear programming)

เป็นโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้หาคำตอบ กรณีที่ตัวแปรตัดสินใจมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง จะมีฟังก์ชัน

ค่าที่ดีที่สุด $$z = f(x_1, x_2 ... x_n) \quad (2.5)$$

โดยมีข้อจำกัด $$g_I(x_1, x_2, ... x_n)\{\Im, =^{3}\} b_{ii} = 1,2,..., m \quad (2.6)$$

อย่างน้อยที่สุด 1 ฟังก์ชันไม่เป็นเส้นตรง ปัญหาประเภทนี้มักจะประยุกต์ใช้กับปัญหาทางด้านการพยากรณ์ การกำหนดการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลัง เป็นต้น[15]

2.3.6 กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming (LP))

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการแก้ปัญหา Linear programming (LP) เป็นเทคนิคที่สำคัญและใช้กันแพร่หลายมากในปัจจุบัน LP ใช้กับปัญหาซึ่งความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทุกตัวเป็นแบบเชิงเส้น นั่นก็คือการเปลี่ยนแปลงแต่ละหน่วยของตัวแปรตัวใดตัวหนึ่ง จะมีผลทำให้ปริมาณของตัวแปรอื่นๆ ที่สัมพันธ์กันเปลี่ยนแปลงไปด้วยในอัตราส่วนที่คงที่ Linear programming (LP) model จะประกอบไปด้วย 2 ฟังก์ชันด้วยกัน คือ objective function และ constraints โดยที่การพิจารณาปัญหาของระบบจะมีอยู่ทั้ง หมด 2 แบบด้วยกัน คือ การพิจารณาปัญหาในการหาค่าสูงสุด (maximization problem) และการพิจารณาปัญหาในการหาค่าน้อยสุด (minimization problem) โดยมีรูปแบบสมการของปัญหาทั้ง 2 แบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.1 Maximization problem

Objective function $C^t X = C_1 X_1 + C_2 X_2 + ... + C_n X_n$

ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข

$$\left.\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n &\le b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n &\le b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n &\le b_n \end{aligned}\right\} (A_x \le b) \qquad (2.7)$$

$$xi \ge 0, i = 1,2,..., n$$

2.3.6.2 Minimization problem

Objective function $y^T b = y_1 n_1 + y_2 y_2 + ... + y_n b_n$

ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข

$$\left.\begin{aligned} y_1 a_{11} + y_1 a_{21} + ... + y_m a_{m1} &\le c_1 \\ y_1 a_{21} + y_2 a_{22} + ... + y_m a_{m2} &\le c_2 \\ \vdots \\ y_1 a_{1n} + y_2 a_{n2} + ... + y_m a_{mn} &\le c_n \end{aligned}\right\} (y^T A \le c^T) \qquad (2.8)$$

$$yi \ge 0, i = 1,2,..., n \qquad (2.9)$$

วิธีการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear programming (LP)) มีหลายวิธียกตัวอย่างแล้วแต่เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหานั้นๆ เช่น การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกราฟ (Graphical method), Pibot operation, Simplex method, weighting method และ constraint method กรณี multi objective optimization ใช้ weighting method หรือ constraint method

1) วิธีกราฟ (Graphical method)

Graphical method คือการหาค่า maximum หรือ minimum จากกราฟที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของ constraints ทั้งหมด และพื้นที่ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของ constraints นั้นจะเรียกว่า feasible region และคำตอบที่ได้ของobjective function จะอยู่บนจุดตัดต่างๆ ของ convex area โดยขั้นตอนการทำ optimization ด้วยวิธี graphical method มีดังนี้

1.1) ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสองตัวแปรในระบบที่ต้องการหาค่า optimal

1.2) เปลี่ยนจากอสมการใน constraint ให้เป็นสมการเชิงเส้น แล้ววาดเส้นตรงที่ได้ลงในกราฟ

1.3) พิจารณาพื้นที่ที่เราสนใจในแต่ละอสมการใน constraint แล้วนำพื้นที่ที่ได้มาซ้อนทับ (intersection) กันซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่ปิด (convex area)

1.4) หาจุดตัดที่เกิดขึ้นทั้งหมดใน convex area ที่ได้

1.5) หาค่าของ objective function จากจุดตัดทั้งหมด เพื่อหาค่าที่จะ optimal ปัญหานี้ การทำ optimization ด้วยวิธี graphical method มีข้อจำกัดอยู่ว่า ตัวแปรของ objective

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

function ควรมีเพียง 2 ตัวแปรเท่านั้น เพื่อให้สามารถมองเห็นขอบเขตของบริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible region)

2) วิธีPivot Operation

Pivot Operation คือการหาค่า maximum หรือ minimum โดย จะเริ่มจากการเขียนสมการต่างๆให้อยู่ในรูปของ matrix โดยให้ตัวแปรอยู่ด้านซ้าย และค่าคงที่ของสมการอยู่ด้านขวาดังสมการ [14]

$$\begin{aligned} y_1 a_{11} + y_1 a_{i1} + \ldots + y_m a_{m1} &= s_1 \\ y_1 a_{1j} + y_i a_{ij} + \ldots + y_m a_{mj} &= s_j \\ y_1 a_{1n} + y_2 a_{in} + \ldots + y_m a_{mn} &= s_n \end{aligned} \qquad (2.10)$$

หลังจากนั้นเมื่อเราทำการ pivot ที่ entry a_{ij} สมการเมทริกซ์จะมีหน้าตาเปลี่ยนแปลงไปเป็น

$$\begin{aligned} y_1 \hat{a}_{11} + s_j \hat{a}_{i1} + \ldots + y_m \hat{a}_{m1} &= s_1 \\ y_1 \hat{a}_{1j} + s_j \hat{a}_{ij} + \ldots + y_m \hat{a}_{mj} &= y_i \\ y_1 a_{1n} + y_2 a_{in} + \ldots + y_m a_{mn} &= s_n \end{aligned} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

$$\hat{a}_{ij} = 1/\hat{a}_{ij} \qquad (2.12)$$

$$\hat{a}_{hj} = \hat{a}_{hj} / \hat{a}_{ij} \; for \; h \neq i \qquad (2.13)$$

$$\hat{a}_{ik} = \hat{a}_{ij} / \hat{a}_{ij} \; for \; k \neq j \qquad (2.14)$$

$$\hat{a}_{hk} = \hat{a}_{hk} - (\hat{a}_{ij} * \hat{a}_{hj} / \hat{a}_{ij}) \; for \; k \neq j \; and \; h \neq i \qquad (2.15)$$

3) Simplex method

Simplex method เป็นวิธี optimization ที่ใช้กันแพร่หลายและมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง โดยคิดค้นจาก George Dantzig ในปี ค.ศ.1947 โดยหลักการคือ การย้าย objective function จากคำตอบที่เป็นไปได้ ตัวหนึ่งไปยังคำตอบอีกตัวหนึ่งที่เป็นคำตอบที่ดีกว่า โดยอาศัยทฤษฎี ของ เมทริกซ์ การทำ Simolex method มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ การใช้ Slack varible และการใช้ Pivot operation โดยการใช้ Pivot operation จะซับซ้อนน้อยกว่าเพราะเป็นการเขียนลดรูปสมการ[14]

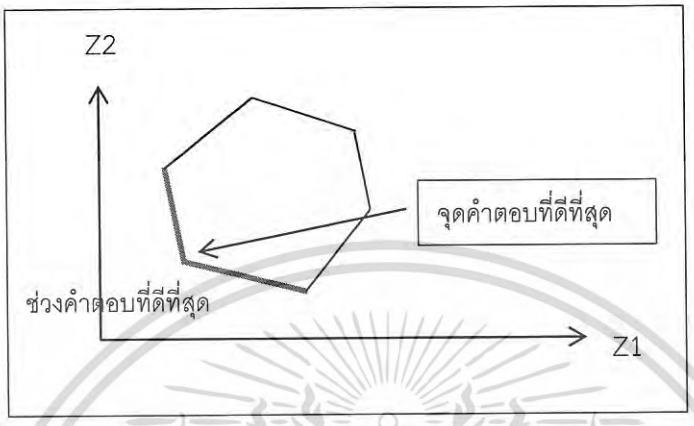
4) Weighting method

Weighting method หรือ the Pareto Optimal Set-Weighting Method เป็นวิธีใช้แก้ปัญหาสำหรับ multi objective optimization ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ คำตอบของปัญหาสำหรับ multi objective optimization จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีนั่นคือ[13]

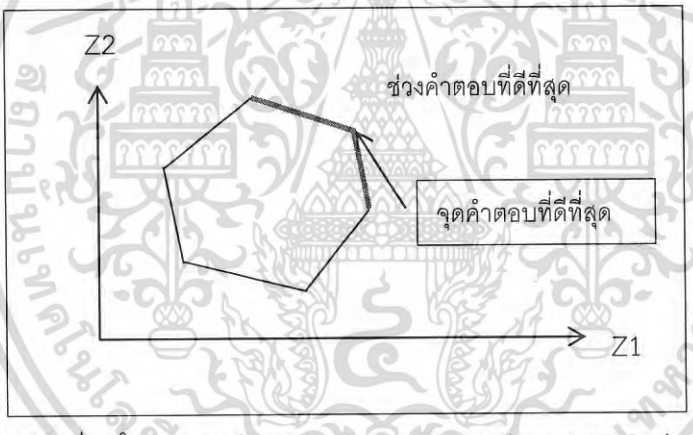
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ Objective function เป็น minimizing ทั้ง 2 objective functions (Z1,Z2) จะได้ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

กรณีที่ Objective function เป็น maximizing ทั้ง 2 objective functions (Z1,Z2) จะได้ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ช่วงคำตอบ multi objective optimization แบบ minimizing



รูปที่ 2.11 ช่วงคำตอบ multi objective optimization แบบ maximizing

รูปแบบสมการแก้ไขปัญหาของ weighting method แสดงดังนี้

$$Min\ (or\ Max)\ \ z = \sum_i R_i f_i(x) \tag{2.16}$$

เมื่อ $$s.t. x \in S \tag{2.17}$$

$$R_i . \geq 0\ \ for\ all\ i\ \ and\ \ \sum_i R = 1 \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคือหา ค่าคำตอบของobjective function ตามค่า R_i ที่กำหนด จากนั้นนำคำตอบที่ได้ของ objectivefunction 1 (Z1) กับ 2 (2) มาสร้างกราฟเพื่อหาช่วงคำตอบที่ดีที่สุดโดยเทียบกราฟมาตรฐานของช่วงคำตอบที่ดีที่สุด

ข้อกำหนดหรือข้อจำกัดต่างๆสำหรับวิธี weighting method คือ

3.1) การใส่ค่าตัว R เพื่อหาน้ำหนักของคำตอบแต่ละครั้ง การหาคำตอบที่ดีที่สุดต้องใส่ค่า R ให้ครบทุกค่า

3.2) หากเลือกค่า R เพียงบางจุด อาจจะพลาดค่าคำตอบที่ถูกต้อง

3.3) ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดอาจหาข้อสรุปที่อธิบายได้ยากหากหน่วยของวัตถุประสงค์ไม่ตรงกัน [13]

4) Constraint Method

Constraint Method หรือ Approximating the Pareto Optimal Set-Constraint Method เป็นวิธีใช้แก้ปัญหาสำหรับ multi objective optimization อีกหนึ่งวิธีมีสมการแก้ไขปัญหาแสดงดังนี้

$$Min\ (or\ Max)\ z = f_l(x) \tag{2.19}$$

เมื่อ $$s.t.x \in S \tag{2.20}$$

$$f_j(x). \leq e_j \ \ for\ all\ j \neq l \tag{2.21}$$

นอกจากวิธีต่างๆมากมายที่นำมาใช้ในการ optimization แล้วยังมีเครื่องมือหรือโปรแกรมสำเร็จรูปอีกหลายโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ เช่น GAMS, GLPK, Octave, MATLAB และ Maple เป็นต้น[14]

งานวิจัยนี้ออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นภายใต้ขอบเขตของปัญหาด้านปริมาณการผลิตและการใช้งานพลังงานในรูปต่างๆมาเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในประเทศไทย ตัวอย่างพลังงานที่นำมาพิจารณา เช่น พลังงานจากซากพืชซากสัตว์ ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ พลังงานจากแหล่งน้ำ และขยะ ซึ่งขีดจำกัดน้อยที่สุดกำหนดให้พลังงานรวมที่ใช้ ณ ปีปัจจุบัน 2558 ขีดจำกัดบนเป็นปริมาณพลังงานรวมคาดคะเนในปี 2564 (Alternative energy development plan) การประมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมการผลิตและใช้งานพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด ทั้งนี้การใช้พลังงานทดแทนถูกสนับสนุนโดยกระทรวงพลังงาน การศึกษาวิจัยจะใช้วิธีการเก็บข้อมูลทุติยภูมิจากผลการศึกษาของหน่วยราชการและแหล่งความรู้ต่างๆ ที่น่าเชื่อถือ เพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (optimization model) แบบ multi-objective optimization โดยใช้วิธี weighting method และเครื่องมือประเมินค่าแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป The General Algebraic Modeling System (GAMS) [16] พร้อมกับนำเสนอการทดสอบความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity analysis) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของข้อมูลและฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพื่อเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจ หน่วยราชการ และผู้ที่มีต้องการนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการใช้พลังงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 The General Algebraic Modeling System (GAMS)

GAMs เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา optimization ต่างๆ จัดตั้งโดย Copyright © GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA. โครงสร้างหลักในการเขียนโปรแกรม GAMs จะแยกออกเป็นทั้งหมด 5 ส่วน[17]

2.4.1 การสร้างเซต (Set)

เป็นการสร้างเซตให้เหมาะสมกับปัญหาที่เราสนใจอยู่โดยเพื่อง่ายในการตรวจสอบรูปแบบ ซึ่งถ้าหากปัญหาไม่ได้มีจำนวนเซตเยอะ สามารถข้ามขั้นตอนนี้ได้

SET sname ["text"][/ele ["text"]{, ele ["text"]} /]

{ sname ["text"][/ele ["text"]{, ele ["text"] /]} ;

ภายใต้ [..] เครื่องหมายนี้จะเป็นข้อความที่ใส่ก็ได้หรือไม่ใส่ก็ได้
ภายใต้ {..} เครื่องหมายนี้จะหมายถึงข้อความนั้นปรากฏซ้ำกันได้ตั้งแต่ 0 ครั้งขึ้นไป
sname ชื่อของเซตซึ่งต้องไม่เกิน 10 ตัวอักษร
"Text" คำอธิบายของเซตซึ่งสูงสุด 80 ตัวอักษร
ele เป็นชื่อของสมาชิกของเซตซึ่งไม่เกิน 10 ตัวอักษร

2.4.2 การนิยามตัวแปร (Variable)

ในการนิยามตัวแปรหรือการกำหนดชื่อตัวแปรจำเป็นต้อง กำหนดให้สอดคล้องกับข้อมูลหรือปัญหาที่เราศึกษา เพื่อง่ายต่อความเข้าใจและแก้ไข ตัวอย่างการสร้างตัวแปร
[var-type] variable[s] vname ["text"] {, vname["text"]};
โดยรูปแบบของการสร้างตัวแปรแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ Free คือ ตัวแปรสามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกหรือค่าลบ , Positive ตัวแปรจะมีค่าเป็นบวกอย่างเดียว และ Binary ตัวแปรจะมีค่า 1 หรือ 0 เท่านั้น สำหรับชื่อของตัวแปรต้องไม่เกิน 10 ตัวอักษร และคำอธิบายต้องไม่เกิน 80 ตัวอักษร

2.4.3 การกำหนดข้อมูลจากปัญหา (Parameter)

แบ่งออกเป็น 3 คำสั่งคือ Scarlar[s] และ Prameter[s] และ Table ตัวอย่างการสร้างข้อมูล
การนิยามแบบ Scarlar เป็นการนิยามข้อมูลที่ไม่มีมิติ โดยการสร้างข้อมูลอธิบายดังนี้

Scarlar[s] scalar_name["text"] [/signed_num/]

{,scarlar_name["text"] [/signed_num/]};

การใส่ชื่อ ตัวอักษรต้องไม่เกิน 10 ตัว และคำอธิบายตัวอักษรต้องไม่เกิน 80 ตัว ภายในสมาชิกของเซตสามารถมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้
การนิยามแบบ Parameter เป็นการนิยามข้อมูลที่มีมิติ หรือ ไม่มีมิติก็ได้ โดยการสร้างข้อมูลอธิบายดังนี้

Parameter[s] p_name["text"][/e[=] snum{,e[=] snum}/]

{,p_name["text"][/e[=] snum{,e[=] snum}/]};

การใส่ชื่อ ตัวอักษรต้องไม่เกิน 10 ตัว และคำอธิบายตัวอักษรต้องไม่เกิน 80 ตัว ภายในสมาชิกของเซตสามารถมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148833

การนิยามแบบ Table เป็นการนิยามข้อมูลที่มีมิติ หรือ ไม่มีมิติก็ได้ โดยการสร้างข้อมูลอธิบายดังนี้

Table tablename [“text”] EOL

Element {element}

Element singed_num {singed_num} EOL

{Element singed_num {singed_num} EOL};

2.4.4 การเขียนสมการ (Equation)

ในการเขียนสมการจะประกอบไปด้วย นิพจน์ซ้ายและขวา และจะมีเครื่องหมายในสมการทั้งหมด 3 ประเภท คือมากกว่าเท่ากับ (=g=) น้อยกว่าเท่ากับ (=l=) และเท่ากับ(=e=) โดยรูปแบบการเขียนสมการ อธิบายได้ดังนี้

Equation[s] eqn_name[“text”] {,eqn_name[“text”]} ;

Eqn_name หมายถึงชื่อของสมการโดยต้องมีตัวอักษรไม่เกิน 10 ตัวอักษร
Text หมายถึงคำอธิบายของสมการ ซึ่งต้องไม่เกิน 80 ตัวอักษร
ในส่วนที่สองของการเขียนสมการ คือการกำหนดสมการหลังจากได้ตั้งชื่อมาแล้วโดยมาลักษณะดังนี้
Eqn_name(domain_list).. expression epn_type expression;
Eqn_name หมายถึงชื่อสมการที่เราได้นิยามไว้ก่อนหน้า
Expression แทนสูตรคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรและข้อมูลโดยเครื่องหมายการเปรียบเทียบของสมการจะประกอบด้วย =, = และ =

2.4.5 การใช้คำสั่งใน GAMs (Solve)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยรูปแบบการใช้คำสั่งในการแก้ปัญหาอธิบายได้ดังนี้

MODEL[s] m_name[“text”] [/all | eqn_name {, epn_name}/]

{, m_name[“text”[/all | eqn_name{, epn_name} /]} ;

m_name เป็นชื่อของโมเดลโดยการตั้งชื่อต้องไม่เกิน 10 ตัวอักษร
text เป็นคำอธิบายโมเดลซึ่งต้องไม่เกิน 80 ตัวอักษร
eqn_name เป็นชื่อของสมการที่จะรวบรวมไว้ในโมเดลซึ่งปกจะใช้คำสั่ง All เพื่อให้ใช้ทุกสมการ
รายละเอียดตัวอย่างต่างๆจะอธิบายไว้ในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนในประเทศอินเดียในด้านความเป็นไปได้และโอกาส (Renewable energy scenario in India: Opportunities and challenges) [18]

Souvik Sen a, Sourav Ganguly b, Ayanangshu Das b, Joyjeet Sen b และSourav Dey ได้ศึกษาสถานการณ์โอกาสและความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานทดแทนของประเทศอินเดียในเชิงนโยบาย โดยการศึกษาศักยภาพพลังงานในประเทศที่มีอยู่,ศึกษาสถิติการพัฒนาศักยภาพพลังงานและแผนนโยบายต่างๆของพลังงานในประเทศ โดยการศึกษาจะเน้นศึกษาจากแหล่งทุติยภูมิที่น่าเชื่อถืออย่างเช่นจากองค์กรรัฐบาล โดยจะแยกการศึกษาพลังงานทดแทนออกเป็น 6 ประเภท นั่นคือ

2.5.1. พลังงานลม

2.5.2 พลังงานแสงอาทิตย์

2.5.3 พลังงานน้ำ(ขนาดเล็ก)

2.5.4 พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง หรือ พลังงานคลื่นน้ำ

2.5.5 พลังงานความร้อนใต้ภิภพ

2.5.6 พลังงานชีวมวล

โดยวิธีการศึกษาจะทางผู้วิจัยจะศึกษาสถานการณ์ที่ผ่านมาภายในประเทศจานโยบายของรัฐบายที่ผ่านมาประสบความสำเร็จกี่เปอร์เซ็น และศึกษาแผนนโยบายต่างๆของรัฐบาลในอนคตพร้อมทั้งความร่วมมือของเอกชนและวิวัฒนาการด้านต่างๆภายในประเทศ แล้ววิเคราะห์สัดส่วนความเป็นไปได้เชิงนโยบาย ได้ข้อสรุปว่า เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันปิโตรเลียมโดยเฉพาะหลังจากวิกฤตการณ์น้ำมันในปี 1973 และสงครามอ่าวในปี 1991 ปริมาณปิโตรเลียมได้ลดลงและการจัดเก็บภาษีของรัฐเข้มงวดมากขึ้นในการปล่อยก๊าซไอเสีย นักวิจัยจึงได้ศึกษาพลังงานทดแทนให้เป็นพลังงานทางเลือกใหม่ เมื่อราคาน้ำมันสูงพลังงานทดแทนเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานทดแทนอื่นๆ กลายเป็นพลังงานทางเลือกที่ดีในการผลิตน้ำมันและก๊าซ อย่างไรก็ตาม 85% ของการใช้พลังงานขั้นต้นในปัจจุบันมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล และการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิลประมาณ 56.6% ปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งหมด (ร็อกเนอร์ et al., 2007) เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน และเพื่อการรักษาระบบภูมิอากาศทั่วโลกเราจึงควรหันมาใช้พลังงานทดแทน ผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ที่มีส่วนเกียวข้อง ได้ดำเนินการวิจัยการพัฒนาและใช้พลังงานทดแทนอย่างกระตือรือร้นในอินเดียเพื่อการค้นหาวิธีการแก้ปัญหาของการขาดแคลนพลังงานในสามทศวรรษที่ผ่านมา อินเดียเห็นว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนสำหรับการเปลี่ยนแปลงจากระบบพลังงานปิโตรเลียมมาเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งอินเดียได้มีการประยุกต์ใช้ความหลากหลายของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนสำหรับการใช้งานในภาคที่แตกต่างกัน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความพยายามในการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานทดแทนช่วยให้มั่นใจว่าอินเดียมีขนาดฐานทรัพยากรสะอาดขนาดใหญ่ทีจะใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่ทำได้ในอนาคตอันใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แบบจำลองการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์เพื่อบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรณีศึกษา เมืองโบราณอู่ทอง (A Mathematical Model for Solid Waste Management: Case Study for U-Thong Ancient city). [17]

กรกริช กิตติพงษ์ชัยกิจ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหา optimization เพื่อมาบริหารจัดการขยะมูลฝอย เมืองโบราณอู่ทองเพื่อแนะวิธีการการจัดการที่เหมาะสมที่สุด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โปรแกรมสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยนำมาใช้คือ GAMs โดยผู้วิจัยจะศึกษาข้อมูลต้นทุนและการหากำไรจากเก็บการบริหารจัดการขยะทั้งหมด 9 องค์ประกอบ ประกอบด้วย เศษอาหารและอินทรีย์สาร กระดาษ กระดาษ แก้ว โลหะ ไม้ ยาง/หนัง ผ้า อื่นๆ โดยที่งานวิจัยกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้ในรูปแบบ Multi-Objective optimization เพื่อ Minimize CO_2 และ Maximize profit เมื่อได้ค่าตัวแปรต่างๆแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลเขียนลงในโปรแกรม GAMs เทียบ วิธี 4 วิธี คือ

1) ส่งกำจัด 2) การกำจัดโดย Landfill 3) ผ่านกระบวนการรีไซเคิล 4) กำจัดโดยกระบวนการ RDF
5) กำจัดโดยกระบวนการ Incineration

ได้ผลจากโปรแกรมว่ามีเงินลงทุนเพิ่มมากขึ้นโมเดลจะทำการเลือก การจัดการขยะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลให้ผลกำไรสูงขึ้นตามไปด้วย แต่จะผลกำไรจะคงที่ เนื่องจาก ข้อจำกัด ของปริมาณขยะที่ นำเข้านั่นหมายความของสมการเงื่อนไขเงินลงทุน เงินลงทุนสำคัญมาก ถึงแม้บางระบบจะให้ผลตอบแทนที่สูง แต่เมื่อไม่มีเงินลงทุน ก็ไม่สามารถเลือกได้ และเปรียบเทียบข้อมูลการปล่อย CO_2 กับต้นทุนกำจัดโดยกระบวนการ Incineration และ การผ่านกระบวนการรีไซเคิลเป็นช่วงคำตอบของการบริหารจัดการที่ดีที่สุด ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อมูลผลการปล่อย CO_2 และ Profit

Variable	ลำดับการปล่อย Min CO_2	ลำดับการปล่อย Max Profit
ส่งกำจัด	5	4
การกำจัดโดย Landfill	4	3
ผ่านกระบวนการรีไซเคิล	3*	1*
กำจัดโดยกระบวนการ RDF	2	5
กำจัดโดยกระบวนการ Incineration	1*	2*

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ทำให้ได้รูปแบบหรือแนวทางการศึกษาสัดส่วนพลังงานทดแทนต่างๆและได้วิธีการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ไขปัญหา optimization ที่เราสนใจ เพื่อนำมาปรับใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ นั่นคือ แก้ปัญหา multi objective optimization เพื่อหาสัดส่วนพลังงานที่เหมาะสมภายในปี พ.ศ.2564 โดยคำนึงถึงต้นทุนต่ำสุด และ การปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาตร์ของงานวิจัยจะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ในปี 2558 ก่อน ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนหลังที่มีอยู่แล้วเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสต์และจะวิเคราะห์ในปี 2564 เพื่อคาดคะเนความเป็นไปได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ตอน คือ

1) แยกวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของแบบจำลองทีละวัตถุประสงค์ (single objective function)

2) วิเคราะห์วัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมกันทั้ง 2 วัตถุประสงค์ (multi objective function)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีรูปแบบดังนี้

$$Minimize Z1 = \sum CiXi \quad \text{(objective1)}$$

$$Minimize Z2 = \sum KiXi \quad \text{(objective2)}$$

$$s.t. \quad energydemand\ 2015 (or\ 2021) \le energydemand_{total} \quad \text{(constraint1)}$$

$$energydemand_{total} = total\ primary energydemand in Thailand \quad \text{(constraint2)}$$

$$Xi = renewable enegyin Thailand + renewable energyimport \quad \text{(constraint3)}$$
$$+ fosil\ fuels\ in\ Thailand + fosil\ fuelsimport$$

$$renewable enegyin Thailand_{total} \le \quad \text{(constraint3)}$$
$$potential renewable energyin Thailand$$

$$fosil\ fuelsin Thailand_{total} \le \quad \text{(constraint4)}$$
$$potential fosil\ fuels\ energyin Thailand$$

$$Xi \ge 0 \quad \text{(sign restriction)}$$

3.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Objectives)

3.1.1.1 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้พลังงานชนิดต่างๆในประเทศไทยโดยให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำที่สุด

$$Minimize Z1 = \sum CiXi \quad (3.1)$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ci คือ ต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย บาทต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (บาท/ktoe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้พลังงานชนิดต่างๆในประเทศไทยโดยให้ค่าคาร์บอนด์ไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกมามีค่าต่ำที่สุด

$$Minimize Z2 = \sum KiXi \tag{3.2}$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ki คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออนไซด์เทียบเท่าของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [15] ($KgCO_2e$/ktoe)

หน่วยกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือ kilotonne of oil equivalent เป็นหน่วยวัดปริมาณพลังงาน ซึ่งบอกปริมาณพลังงานโดยเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานที่ได้จากการเผาน้ำมัน ดิบจำนวน 1 ตัน โดยเฉลี่ยน้ำมันดิบ 1 ตัน เมื่อนำไปเผาจะสลายตัวให้พลังงานประมาณ 41.868 กิกะจูล GJ) หรือ 11.630 เมกกะวัตต์ชั่วโมง (MWh) [19]

หน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ เป็นหน่วยของการประเมิณค่าของคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร(Carbon Footprint for Organization; CFO) ซึ่งจะจำกัดขอบเขตของการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆขององค์กร เช่นการเผาไหม้เชื้อเพลิง การใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนไม่เท่ากัน จึงได้กำหนดค่าการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของแต่ละสารให้เทียบกับศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (GWP) โดย IPCC เท่ากับ 1 เช่น มีเทน 1 หน่วยจะมีศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนเป็น 21 หน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า[20]

ต้นทุนของพลังงานที่พิจารณาในการเปลี่ยนรูปพลังงานคือ [21],[22]

1) Production Cost = ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและต้นทุนในขั้นตอนการผลิต

2) External Cost = ต้นทุนทางสังคม และการจัดการผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ส่วน Investment Cost หรือ ต้นทุนพัฒนาโครงการ ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนทางการเงิน และต้นทุนคงที่อื่นๆ ไม่ได้นำมาพิจารณาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 กำหนดตัวแปร (Dicision Variables)

การกำหนดตัวแปรหรือ Xi คือพลังงานประเภทต่างๆจะพิจารณาเฉพาะพลังงานที่มีหรือใช้ในประเทศไทยอยู่แล้ว โดยแบ่งพลังงานจากประเภทและแหล่งที่มาได้ 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

3.1.2.1 พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลนำเข้า
3.1.2.2 พลังงานทดแทนนำเข้า
3 1.2.3 พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย
3.1.2.4 พลังงานทดแทนในประเทศไทย

ได้ข้อมูลตัวแปรต่างๆดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 และความหมายของพลังงานแต่ละชนิดดูตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรตัดสินใจพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลนำเข้า		**พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศ**	
ประเภท	**ตัวแปร**	**ประเภท**	**ตัวแปร**
ถ่านหิน Coal + Lignite (Coal Lignite)	(X1)	ถ่านหิน (Lignite)	(X7)
ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)	(X2)	ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)	(X8)
น้ำมันดิบ (Crude oil)	(X3)	น้ำมันดิบ (Crude oil)	(X9)
คอนเดนเสท (Condensate)	(X4)	คอนเดนเสท (Condensate)	(X10)
น้ำมันสำเร็จรูป (Petroleum Product)	(X5)	พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (Traditional Renewable Energy)	(X11)

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตัดสินใจพลังงานทดแทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พลังงานทดแทนนำเข้า		**พลังงานทดแทนในประเทศ**	
ประเภท	**ตัวแปร**	**ประเภท**	**ตัวแปร**
พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (Traditional Renewable Energy)	(X6)	พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)	(X12)
		พลังงานลม (Wind Energy)	(X13)
		พลังงานน้ำ (Hydropower)	(X14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตัดสินใจพลังงานทดแทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ **(ต่อ)**

พลังงานทดแทนนำเข้า		พลังงานทดแทนในประเทศ	
ประเภท	ตัวแปร	ประเภท	ตัวแปร
		ชีวมวล (Bio mass)	(X15)
		ก๊าซชีวภาพ (Bio Gas)	(X16)
		ขยะ (Municipal solid waste)	(X17)

ตารางที่ 3.3 ความหมายของพลังงานประเภทต่างๆ [2]

ประเภทพลังงาน	ความหมาย
พลังงานทดแทน	พลังงานที่ประกอบด้วย พลังงานหมุนเวียน เชื้อเพลิงชีวภาพ
	และพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่ใช้ทดแทนปิโตรเลียม
พลังงานหมุนเวียน	พลังงานที่ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม
	ไฟฟ้าพลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ พลังงานความร้อนใต้พิภพ
	พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง และพลังงานคลื่น
ชีวมวล	พลังงานที่ประกอบด้วย ฟืน แกลบ กากอ้อย และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม	พลังงานที่ประกอบด้วย ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้
	ทางการเกษตร ที่ใช้ในบ้านอยู่อาศัย และอุตสาหกรรมในครัวเรือน
เชื้อเพลิงชีวภาพ	พลังงานที่ประกอบด้วย เอทานอล (ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน)
	และไบโอดีเซล (ใช้ผสมในน้ำมันดีเซล)
	และพลังงานทดแทนอื่นๆ
พลังงานฟอสซิล	คือพลังงานที่ประกอบด้วย ถ่านหิน/ลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ
	น้ำมันดิบ คอนเดนเสท และน้ำมันสำเร็จรูป
คอนเดนเสท	ก๊าซธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นของเหลว
ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ มูลสัตว์+น้ำเสียจากอุตสาหกรรม
ขยะ	ขยะเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (Parameter)

3.1.3.1 ค่าต้นทุนของการผลิตหรือแปรรูปพลังงาน Ci (บาท/กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) หรือ (Baht/ktoe) ประเภทของพลังงานนำเข้าจะมีในส่วนของราคานำเข้าเพิ่มขึ้นมาด้วยแสดงตามรายการต่างๆดังนี้

1) ถ่านหินนำเข้า (X1)

ต้นทุน (C1) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 3,250,036.11 Baht/ktoe[2] + 2.94 Baht/kwh [21],[22] + 2.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $3,250,036.11 + (2.94 \times 10^{9}/85.21) + (2.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 3,250,036.00 + 34,502,992.61 + 34,620,349.72 (Baht/ktoe)

= 72,373,378.33 Baht/ktoe

2) ก๊าซธรรมชาตินำเข้า (X2)

ต้นทุน (C2) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 11,647,510 Baht/ktoe[2] + 2.375 Baht/kwh [21],[22] + 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $11,647,510 + (2.375 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 11,647,510 + 27,872,315.46 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 50,668,751.64 Baht/ktoe

3) น้ำมันดิบนำเข้า (X3)

ต้นทุน (C3) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 13,618,680 Baht/ktoe[2] + 3.96 Baht/kwh [21],[22] + 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $13,618,680 + (3.96 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 13,618,680 + 46,473,418 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 71,241,024.79 Baht/ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) คอนเดนเสทนำเข้า (X4)

ต้นทุน (C4) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 15,109,890 Baht/ktoe[2] + 2.375 Baht/kwh [21],[22] + 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $15,109,890 + (2.375 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 15,109,890 + 27,872,315.46 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 54,131,131.64 Baht/ktoe

5) น้ำมันสำเร็จรูปนำเข้า (X5)

ต้นทุน (C5) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 16,093,950 Baht/ktoe[2] + 3.96 Baht/kwh [21],[22] + 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $16,093,950 + (3.96 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 16,093,950 + 46,473,418 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 73,716,294.18 Baht/ktoe

6) พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมนำเข้า (X6)

ต้นทุน (C6) = ราคานำเข้า+ Production Cost + External Cost

= 11,494,250 Baht/ktoe[2] + 3.250 Baht/kwh [21],[22]+ 1.30 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $11,494,250 + (3.250 \times 10^{9}/85.21) + (1.30 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 11,494,250 + 38,141,063.26 + 15,256,425.30 (Baht/ktoe)

= 64,891,738.56 Baht/ktoe

7) ถ่านหินในประเทศ (X7)

ต้นทุน (C7) = Production Cost + External Cost

= 2.94 Baht/kwh [20],[21]+ 2.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(2.94 \times 10^{9}/85.21) + (2.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 34,502,992.61 + 34,620,349.72 (Baht/ktoe)

= 69,123,342.33 Baht/ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ก๊าซธรรมชาติในประเทศ (X8)

ต้นทุน (C8) = Production Cost + External Cost

= 2.375 Baht/kwh [21],[22]+ 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(2.375 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 27,872,315.46 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 39,021,241.64 Baht/ktoe

9) น้ำมันดิบในประเทศ (X9)

ต้นทุน (C9) = Production Cost + External Cost

= 3.96 Baht/kwh [21],[22]+ 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(3.96 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 46,473,418 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 57,622,344.18 Baht/ktoe

10) คอนเดนเสทในประเทศ (X10)

ต้นทุน (C10) = Production Cost + External Cost t

= 2.375 Baht/kwh [21],[22]+ 0.95 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(2.375 \times 10^{9}/85.21) + (0.95 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 27,872,315.46 + 11,148,926.18 (Baht/ktoe)

= 39,021241.64 Baht/ktoe

11) พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมในประเทศ (X11)

ต้นทุน (C11) = Production Cost + External Cost

= 3.250 Baht/kwh [21],[22] + 1.30 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(3.250 \times 10^{9}/85.21) + (1.30 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 38,141,063.26 + 15,256,425.30 (Baht/ktoe)

= 53,397,488.56 Baht/ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ (X12)

ต้นทุน (C12) = Production Cost + External Cost

= 12.50 Baht/kwh [21],[22] + 0.12 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(12.50 \times 10^{9}/85.21) + (0.12 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 146,696,397.10 + 2,464,499.47 (Baht/ktoe)

= 149,160,896.60 Baht/ktoe

13) พลังงานลมในประเทศ (X13)

ต้นทุน (C13) = Production Cost + External Cost

= 5.2 Baht/kwh [21],[22] + 0.08 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(5.20 \times 10^{9}/85.21) + (0.08 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 61,025,701.21 + 938,856.94 (Baht/ktoe)

= 61,964,558.15 Baht/ktoe

14) พลังงานน้ำในประเทศ (X14)

ต้นทุน (C14) = Production Cost + External Cost

= 2.375 Baht/kwh [21],[22] + 0.65 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(2.375 \times 10^{9}/85.21) + (0.65 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 27,872,315.46 + 7,628,212.65 (Baht/ktoe)

= 35,500,528.11 Baht/ktoe

15) ชีวมวลในประเทศ (X15)

ต้นทุน (C15) = Production Cost + External Cost

= 3.250 Baht/kwh [21],[22] + 1.30 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(3.250 \times 10^{9}/85.21) + (1.30 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 38,141,063.26 + 15,256,425.30 (Baht/ktoe)

= 53,397,488 Baht/ktoe

16) ก๊าซชีวภาพในประเทศ (X16)

ต้นทุน (C16) = Production Cost + External Cost

= 3.250 Baht/kwh [21],[22] + 1.30 Baht/kwh [22]

(1 kwh = 85.21×10^{-9} ktoe [2])

= $(3.250 \times 10^{9}/85.21) + (1.30 \times 10^{9}/85.21)$ (Baht/ktoe)

= 53,397,488 Baht/ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17) ขยะในประเทศ (X17)

ต้นทุน (C17) = Production Cost + External Cost
= 4.0 Baht/kwh [21],[22]+ 1.30 Baht/kwh [22]
= $(4.0 \times 10^9/85.21) + (1.30 \times 10^9/85.21)$ (Baht/ktoe)
= 46,942,847.08 + 15,256,425.30 (Baht/ktoe)
= 62,199,272.38 Baht/ktoe

3.1.3.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ki (กิโลตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) หรือ ($kgCO_2e$/ktoe) แสดงตามรายการต่างๆดังนี้

1) ถ่านหินนำเข้า (X1)

ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K1) = 96.43 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = 40×10^3 MMBTU) [2]
= $96.43 \times 40 \times 10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 3,857,200 ($kgCO_2e$/ktoe)

2) ก๊าซธรรมชาตินำเข้า (X2)

ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K2) = 53.06 $kgCO_2e$/MMBTU[23]
(1 ktoe = 40×10^3 MMBTU) [2]
= $53.06 \times 40 \times 10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 2,122,400 ($kgCO_2e$/ktoe)

3) น้ำมันดิบนำเข้า (X3)

ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K3) = 74.54 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = 40×10^3 MMBTU) [2]
= $74.54 \times 40 \times 10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 2,981,600 ($kgCO_2e$/ktoe)

4) คอนเดนเสทนำเข้า (X4)

ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K4) = **53.06** $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = 40×10^3 MMBTU) [2]
= **53.06**$\times 40 \times 10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 2,122,400 ($kgCO_2e$/ktoe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) น้ำมันสำเร็จรูปนำเข้า (X5)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K5) = 70.88 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $70.88x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 2,835,200 ($kgCO_2e/ktoe$)

6) พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมนำเข้า (X6)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K6) = 93.87 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $93.87x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 3,754,800 ($kgCO_2e/ktoe$)

7) ถ่านหินในประเทศ (X7)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K7) = 96.43 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $96.43x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 3,857,200 ($kgCO_2e/ktoe$)

8) ก๊าซธรรมชาติในประเทศ (X8)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K8) = 53.06 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $53.06x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 2,122,400 ($kgCO_2e/ktoe$)

9) น้ำมันดิบในประเทศ (X9)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K9) = 74.54 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $74.54x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 2,981,600 ($kgCO_2e/ktoe$)

10) คอนเดนเสทในประเทศ (X10)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K10) = 53.06 $kgCO_2e/MMBTU$ [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $53.06x40x10^3$ ($kgCO_2e/ktoe$)
= 2,122,400 ($kgCO_2e/ktoe$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมในประเทศ (X11)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K11) = 93.87 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $93.87x40x10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 3,754,800 ($kgCO_2e$/ktoe)

12) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ (X12)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K12) = 0 $kgCO_2e$/ ktoe

13) พลังงานลมในประเทศ (X13)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K13) = 0 $kgCO_2e$/ktoe

14) พลังงานน้ำในประเทศ (X14)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K14) = 0 $kgCO_2e$/ktoe

15) ชีวมวลในประเทศ (X15)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K15) = 93.87 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $93.87x40x10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 3,754,800 ($kgCO_2e$/ktoe)

16) ก๊าซชีวภาพในประเทศ (X16)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K16) = 52.07 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $52.07x40x10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 2,082,800 ($kgCO_2e$/ktoe)

17) ขยะในประเทศ (X17)
ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (K17) = 93.87 $kgCO_2e$/MMBTU [23]
(1 ktoe = $40x10^3$ MMBTU) [2]
= $93.87x40x10^3$ ($kgCO_2e$/ktoe)
= 3,754,800 ($kgCO_2e$/ktoe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 กำหนดขอบเขตของปัญหา (Constraints)

ขอบเขตของปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อสำหรับการวิเคราะห์นั่นคือ วิเคราะห์ในปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564

3.1.4.1 ขอบเขตของปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ในปี พ.ศ.2558

1) ปริมาณพลังงานทั้งหมดต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความต้องการปริมาณพลังงานทั้งหมดของประเทศไทย ปี พ.ศ.2558 [2] จะได้ Constraint1 คือ

$$\sum \mathrm{Xi} \geq 135{,}496\mathrm{ktoe} \tag{3.3}$$

2) ศักยภาพพลังงานต่างๆที่สามารถจัดหาได้ในประเทศไทย แสดงดังต่อไปนี้

2.1) ถ่านหินในประเทศ (X7) มีศักยภาพ = 3858 ktoe [2] จะได้ Constraint2 คือ

$$\mathrm{X7} \leq 3858\mathrm{ktoe} \tag{3.4}$$

2.2) ก๊าซธรรมชาติในประเทศ (X8) มีศักยภาพ = 34,020 ktoe [2] จะได้ Constraint3 คือ

$$\mathrm{X8} \leq 34{,}020\mathrm{ktoe} \tag{3.5}$$

2.3) น้ำมันดิบในประเทศ (X9) มีศักยภาพ = 7,604 ktoe [2] จะได้ Constraint4 คือ

$$\mathrm{X9} \leq 7{,}604\mathrm{ktoe} \tag{3.6}$$

2.4) คอนเดนเสทในประเทศ (X10) มีศักยภาพ = 4,384 ktoe [2] จะได้ Constraint5 คือ

$$\mathrm{X10} \leq 4{,}384\mathrm{ktoe} \tag{3.7}$$

2.5) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ (X12) มีศักยภาพ = 521,109.72 ktoe [2] จะได้ Constraint6 คือ

$$\mathrm{X12} \leq 521{,}109.72\mathrm{ktoe} \tag{3.8}$$

2.6) พลังงานลมในประเทศ (X13) มีศักยภาพ = 403.35 ktoe [2] จะได้ Constraint7 คือ

$$\mathrm{X13} \leq 403.35\mathrm{ktoe} \tag{3.9}$$

2.7) พลังงานน้ำในประเทศ (X14) มีศักยภาพ = 6,320.30 ktoe [2] จะได้ Constraint8

$$\mathrm{X14} \leq 6{,}320{,}30\mathrm{ktoe} \tag{3.10}$$

2.8) ชีวมวล+พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมในประเทศ (X11 + X15) มีศักยภาพ = 38,191.53 ktoe [2] จะได้ Constraint9 คือ

$$\mathrm{X11+X15} \leq 38{,}191{,}53\mathrm{ktoe} \tag{3.11}$$

2.9) ก๊าซชีวภาพในประเทศ (X16) มีศักยภาพ = 762.61 ktoe [2] จะได้ Constraint10 คือ

$$\mathrm{X16} \leq 762.61\mathrm{ktoe} \tag{3.12}$$

2.10) ขยะในประเทศ (X17) มีศักยภาพ = 6,496.66 ktoe [2] จะได้ Constraint11 คือ

$$\mathrm{X17} \leq 6{,}496.66\mathrm{ktoe} \tag{3.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2 ขอบเขตของปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ในปี พ.ศ.2564

1) ปริมาณพลังงานทั้งหมดต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความต้องการปริมาณพลังงานทั้งหมดของประเทศไทย ปี พ.ศ.2564 [24] Constraint1 คือ

$$\sum \mathrm{Xi} \geq 180{,}834\mathrm{ktoe} \tag{3.3}$$

2) ศักยภาพพลังงานต่างๆที่สามารถจัดหาได้ในประเทศไทย แสดงดังต่อไปนี้

2.1) ถ่านหินในประเทศ (X7) มีศักยภาพ = 3858 ktoe [2] จะได้ Constraint2 คือ

$$\mathrm{X7} \leq 3858\mathrm{ktoe} \tag{3.4}$$

2.2) ก๊าซธรรมชาติในประเทศ (X8) มีศักยภาพ = 34,020 ktoe [2] จะได้ Constraint3 คือ

$$\mathrm{X8} \leq 34{,}020\mathrm{ktoe} \tag{3.5}$$

2.3) น้ำมันดิบในประเทศ (X9) มีศักยภาพ = 7,604 ktoe [2] จะได้ Constraint4 คือ

$$\mathrm{X9} \leq 7{,}604\mathrm{ktoe} \tag{3.6}$$

2.4) คอนเดนเสทในประเทศ (X10) มีศักยภาพ = 4,384 ktoe [2] จะได้ Constraint5 คือ

$$\mathrm{X10} \leq 4{,}384\mathrm{ktoe} \tag{3.7}$$

2.5) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ (X12) มีศักยภาพ = 521,109.72 ktoe [2] จะได้ Constraint6 คือ

$$\mathrm{X12} \leq 521{,}109.72\mathrm{ktoe} \tag{3.8}$$

2.6) พลังงานลมในประเทศ (X13) มีศักยภาพ = 403.35 ktoe [2] จะได้ Constraint7 คือ

$$\mathrm{X13} \leq 403.35\mathrm{ktoe} \tag{3.9}$$

2.7) พลังงานน้ำในประเทศ (X14) มีศักยภาพ = 6,320.30 ktoe [2] จะได้ Constraint8

$$\mathrm{X14} \leq 6{,}320{,}30\mathrm{ktoe} \tag{3.10}$$

2.8) ชีวมวล+พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมในประเทศ (X11 + X15) มีศักยภาพ = 38,191.53 ktoe [2] จะได้ Constraint9 คือ

$$\mathrm{X11+X15} \leq 38{,}191{,}53\mathrm{ktoe} \tag{3.11}$$

2.9) ก๊าซชีวภาพในประเทศ (X16) มีศักยภาพ = 762.61 ktoe [2] จะได้ Constraint10 คือ

$$\mathrm{X16} \leq 762.61\mathrm{ktoe}$$

(3.12)

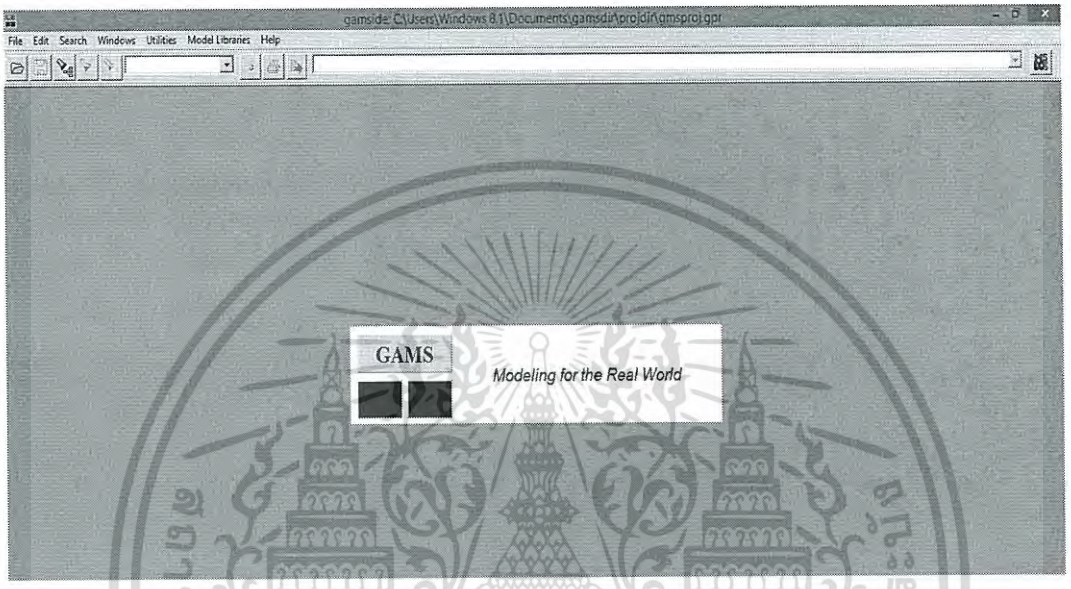
2.10) ขยะในประเทศ (X17) มีศักยภาพ = 6,496.66 ktoe [2] จะได้ Constraint11 คือ

$$\mathrm{X17} \leq 6{,}496.66\mathrm{ktoe} \tag{3.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 นำข้อมูลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดเขียนลงในโปรแกรม The Ceneral Algebraic Modeling System (GAMS)

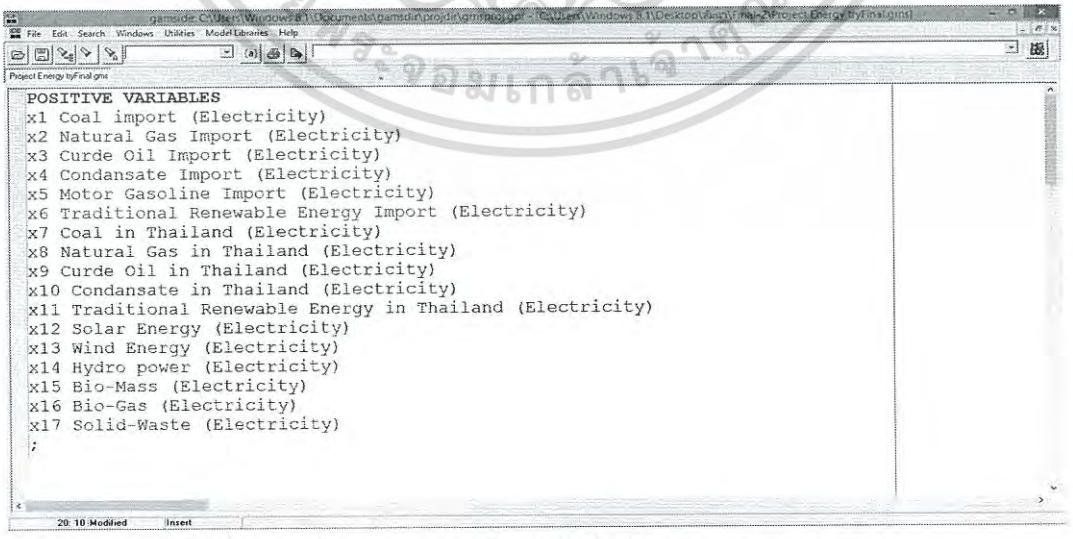
GAMS Free version GAMSIDE build5387 / 54322. GAMS Release 24.5.3 r54322 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows. Release Date Released October 1, 2015 [16] ตัวอย่างโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยการวิเคราะห์โปรแกรมตามวิธี weight method จะทำการเปลี่ยนค่า R1 ตั้งแต่ 0.01-0.99 และค่า R2 ตั้งแต่ 0.01-0.99 รวมทั้งหมด 99 ครั้ง



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างโปรแกรม GAMS

3.1.5.1 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม GAMS

1) ประกาศตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) พร้อมกำหนดค่าตัวแปรมิติออกแบบของปัญหา Sign restriction ตามรูปที่ 3.2



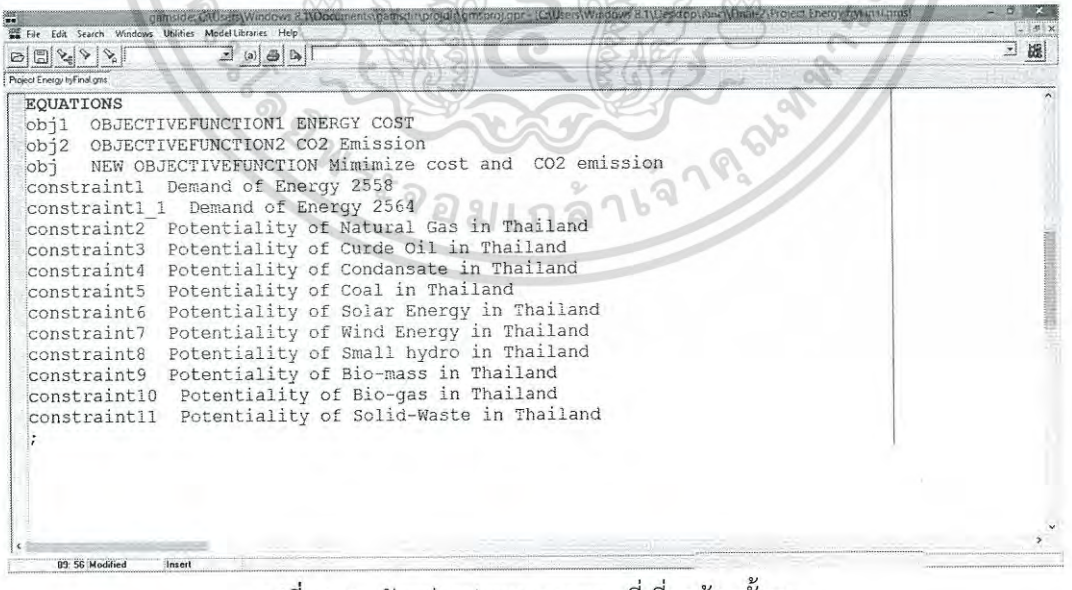
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างประกาศตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ประกาศตัวแปรของวัตถุประสงค์ (Objective Function) และพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาภายใต้วัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization) โดยวิธี Weight method [4] ตามรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างประกาศตัวแปรของวัตถุประสงค์ (Objective Function) และพารามิเตอร์

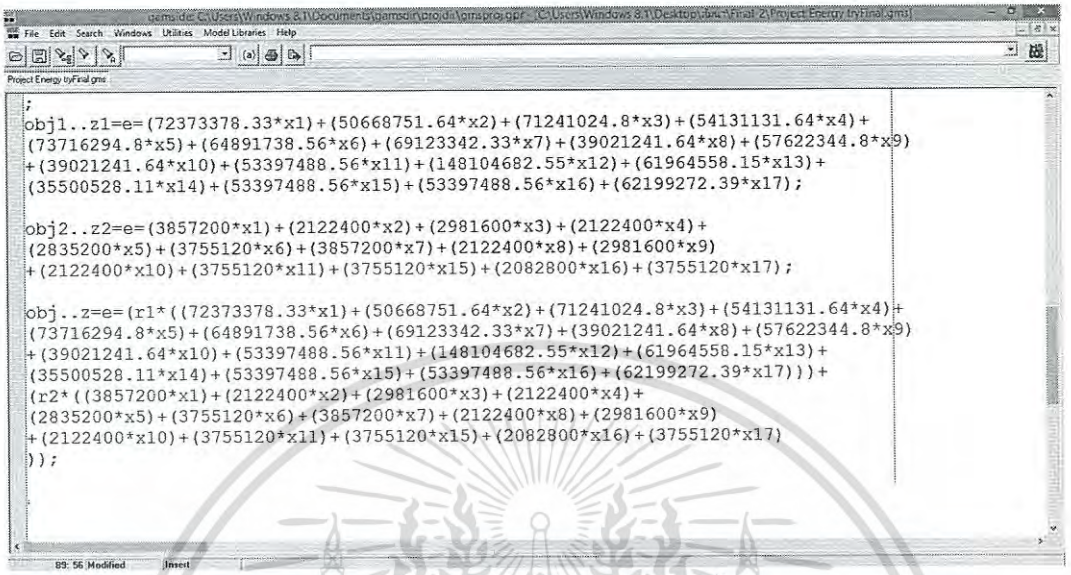
3) ประกาศสมการทั้งหมด ทั้งสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) และ สมการเงื่อนไข (Constraint) ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างประกาศสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

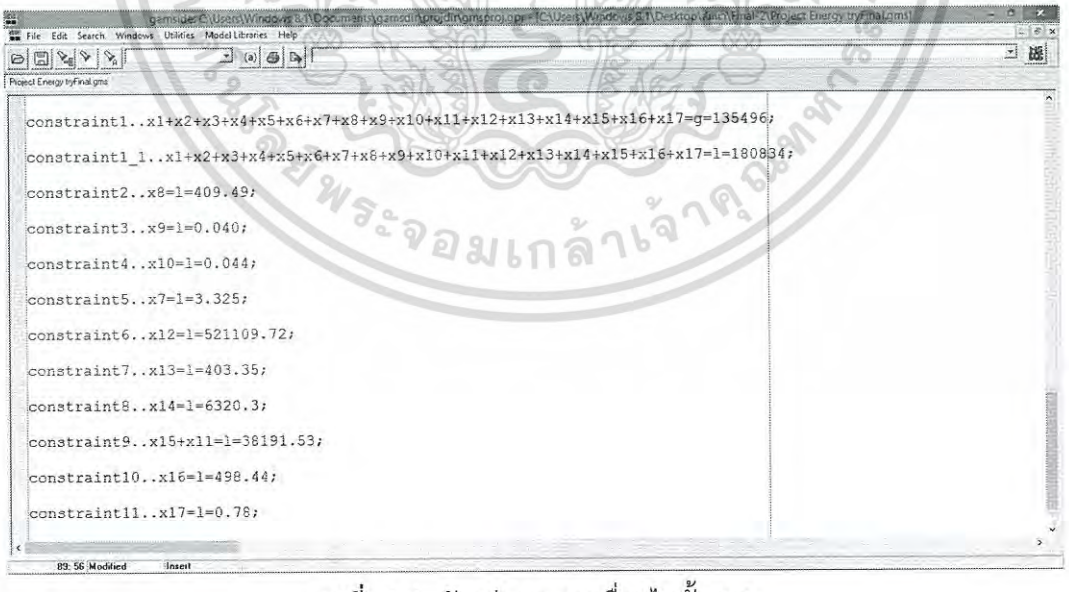
4) แทนค่าสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) ทั้งหมดที่กำหนดตามวิธี Weight Method [4] ตามรูปที่ 3.5



```
;
obj1..z1=e=(72373378.33*x1)+(50668751.64*x2)+(71241024.8*x3)+(54131131.64*x4)+
(73716294.8*x5)+(64891738.56*x6)+(69123342.33*x7)+(39021241.64*x8)+(57622344.8*x9)
+(39021241.64*x10)+(53397488.56*x11)+(148104682.55*x12)+(61964558.15*x13)+
(35500528.11*x14)+(53397488.56*x15)+(53397488.56*x16)+(62199272.39*x17);

obj2..z2=e=(3857200*x1)+(2122400*x2)+(2981600*x3)+(2122400*x4)+
(2835200*x5)+(3755120*x6)+(3857200*x7)+(2122400*x8)+(2981600*x9)
+(2122400*x10)+(3755120*x11)+(3755120*x15)+(2082800*x16)+(3755120*x17);

obj..z=e=(r1*((72373378.33*x1)+(50668751.64*x2)+(71241024.8*x3)+(54131131.64*x4)+
(73716294.8*x5)+(64891738.56*x6)+(69123342.33*x7)+(39021241.64*x8)+(57622344.8*x9)
+(39021241.64*x10)+(53397488.56*x11)+(148104682.55*x12)+(61964558.15*x13)+
(35500528.11*x14)+(53397488.56*x15)+(53397488.56*x16)+(62199272.39*x17)))+
(r2*((3857200*x1)+(2122400*x2)+(2981600*x3)+(2122400*x4)+
(2835200*x5)+(3755120*x6)+(3857200*x7)+(2122400*x8)+(2981600*x9)
+(2122400*x10)+(3755120*x11)+(3755120*x15)+(2082800*x16)+(3755120*x17)
));
```

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างสมการวัตถุประสงค์ทั้งหมด

5) แทนค่าสมการเงื่อนไข (Constraint) ตามรูปที่ 3.6

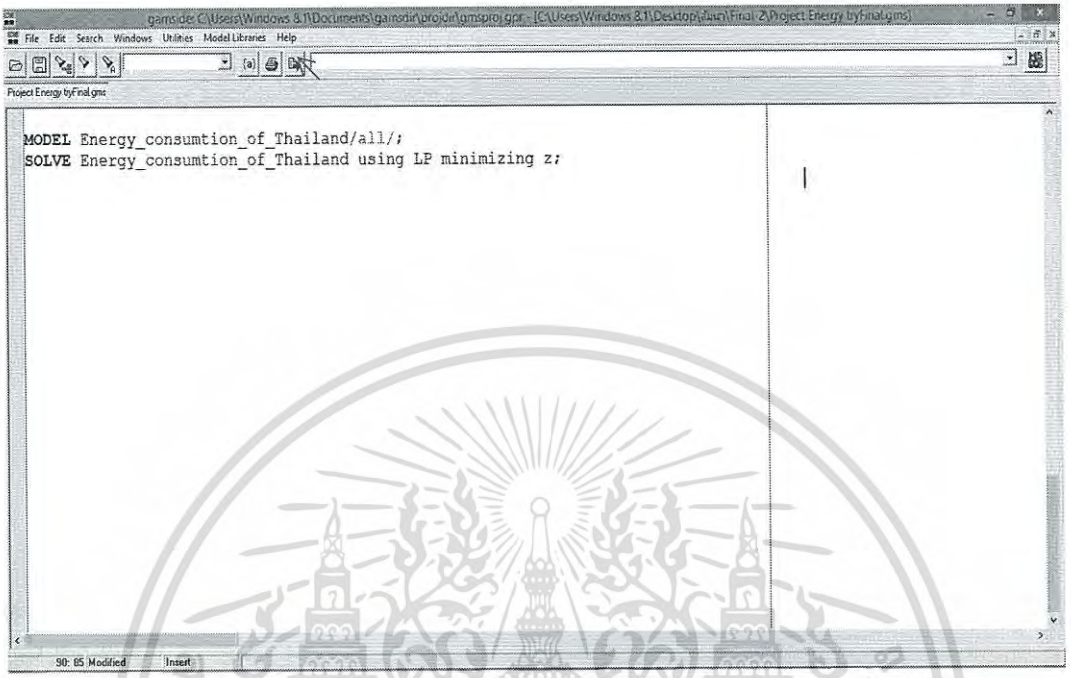


```
constraint1..x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17=g=135496;

constraint1_1..x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17=l=180834;

constraint2..x8=l=409.49;

constraint3..x9=l=0.040;

constraint4..x10=l=0.044;

constraint5..x7=l=3.325;

constraint6..x12=l=521109.72;

constraint7..x13=l=403.35;

constraint8..x14=l=6320.3;

constraint9..x15+x11=l=38191.53;

constraint10..x16=l=498.44;

constraint11..x17=l=0.78;
```

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสมการเงื่อนไขทั้งหมด

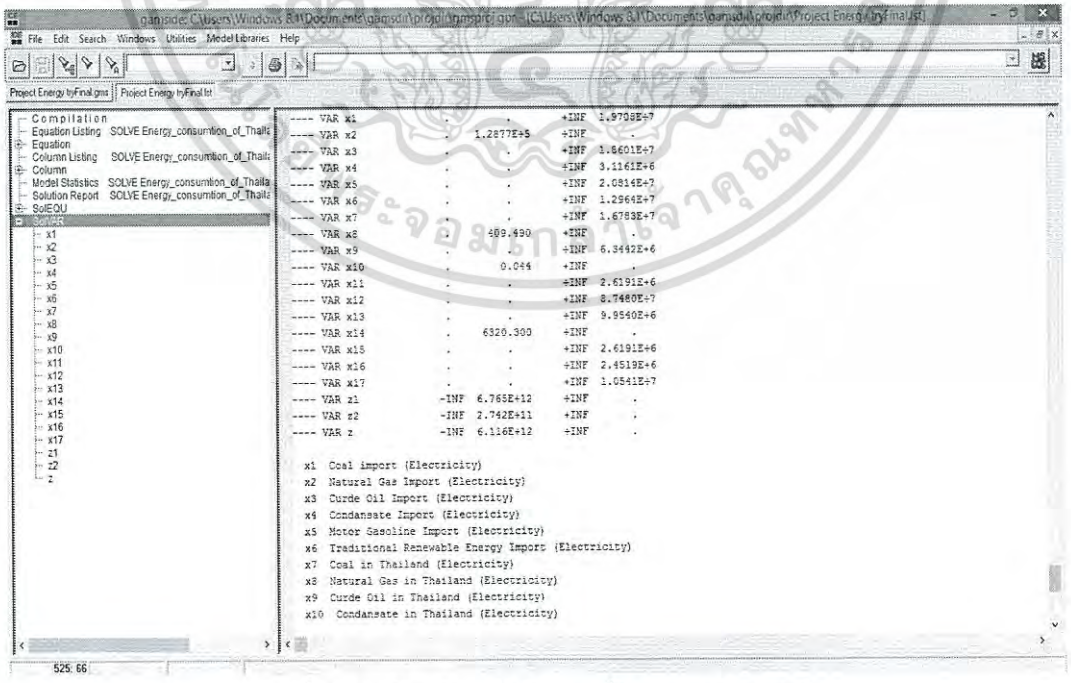
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) สร้างชื่อให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมสั่งให้โปรแกรมหาค่าของคำตอบของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่กำหนด ตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการสร้างชื่อและคำสั่งเพื่อการวิเคราะห์โปรแกรม

8) ตัวอย่างหน้าคำตอบที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้ ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างหน้าคำตอบที่โปรแกรมวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการใช้ค่าต่างๆในปี พ.ศ.2558 (validate)

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสนับสนุนว่าแบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพโดยข้อมูลและเงื่อนไขใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในปี พ.ศ.2558 จากนั้นจะวิเคราะห์ข้อมูลแบบแยกทีละวัตถุประสงค์ (Single objective function) และแบบรวมวัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์ (Multi objective function) โดยพลังงานรวมที่ได้ออกมาทั้งหมดต้องมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการพลังงานทั้งหมดในประเทศไทยในปี พ.ศ.2558

3.3 ศึกษาความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2564

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากปี พ.ศ.2558 แล้ว จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้มากที่สุดของสัดส่วนการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2564 โดยการวิเคราะห์โปรแกรมจะทำขั้นตอนเหมือนปี พ.ศ.2558 แต่จะเปลี่ยนเงื่อนไขพลังงานรวมที่ได้ออกมาทั้งหมดต้องมากกว่าหรือเท่ากับ ความต้องการพลังงานทั้งหมดในประเทศไทยในปี พ.ศ.2564 แทน

3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1

การวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 เป็นการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในปี พ.ศ.2558และกำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์จุดประสงค์ต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว (single cost objective) นั่นคือ

$$Minimize Z1 = \sum CiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ci คือ ต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย บาทต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (บาท/ktoe)

ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์และแนะนำให้ประเทศไทยใช้พลังงานเรียงลำดับก่อนหลังดังนี้

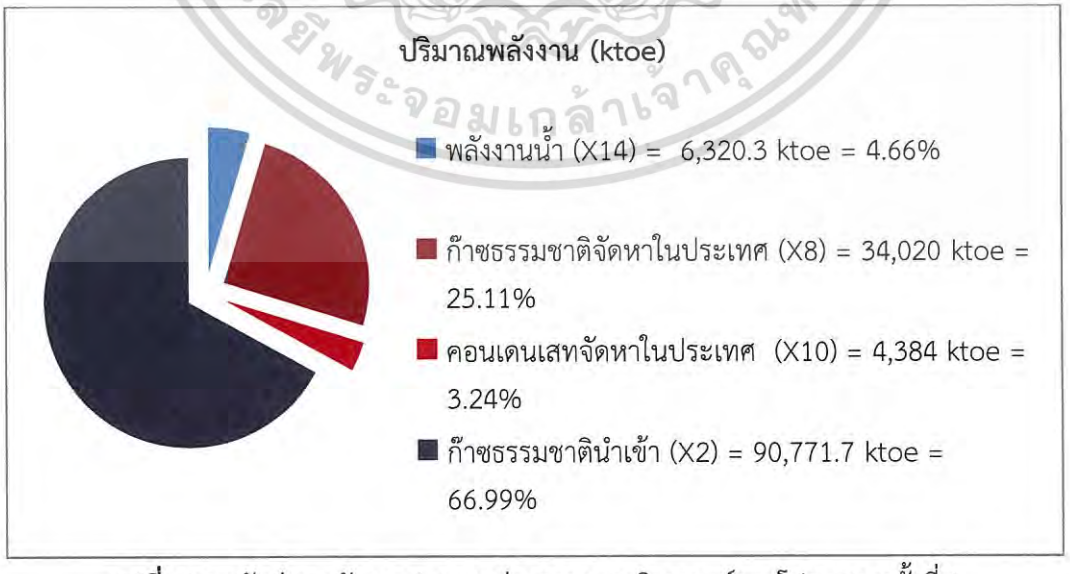
4.1.1 พลังงานน้ำ X14 ปริมาณ 6320.3 ktoe

4.1.2 ก๊าซธรรมชาติจัดหาในประเทศ X8 ปริมาณ 34020 ktoe

4.1.3 คอนเดนเสทจัดหาในประเทศ X10 ปริมาณ 4384 ktoe

4.1.4 ก๊าซธรรมชาตินำเข้า X2 ปริมาณ 90771.7 ktoe

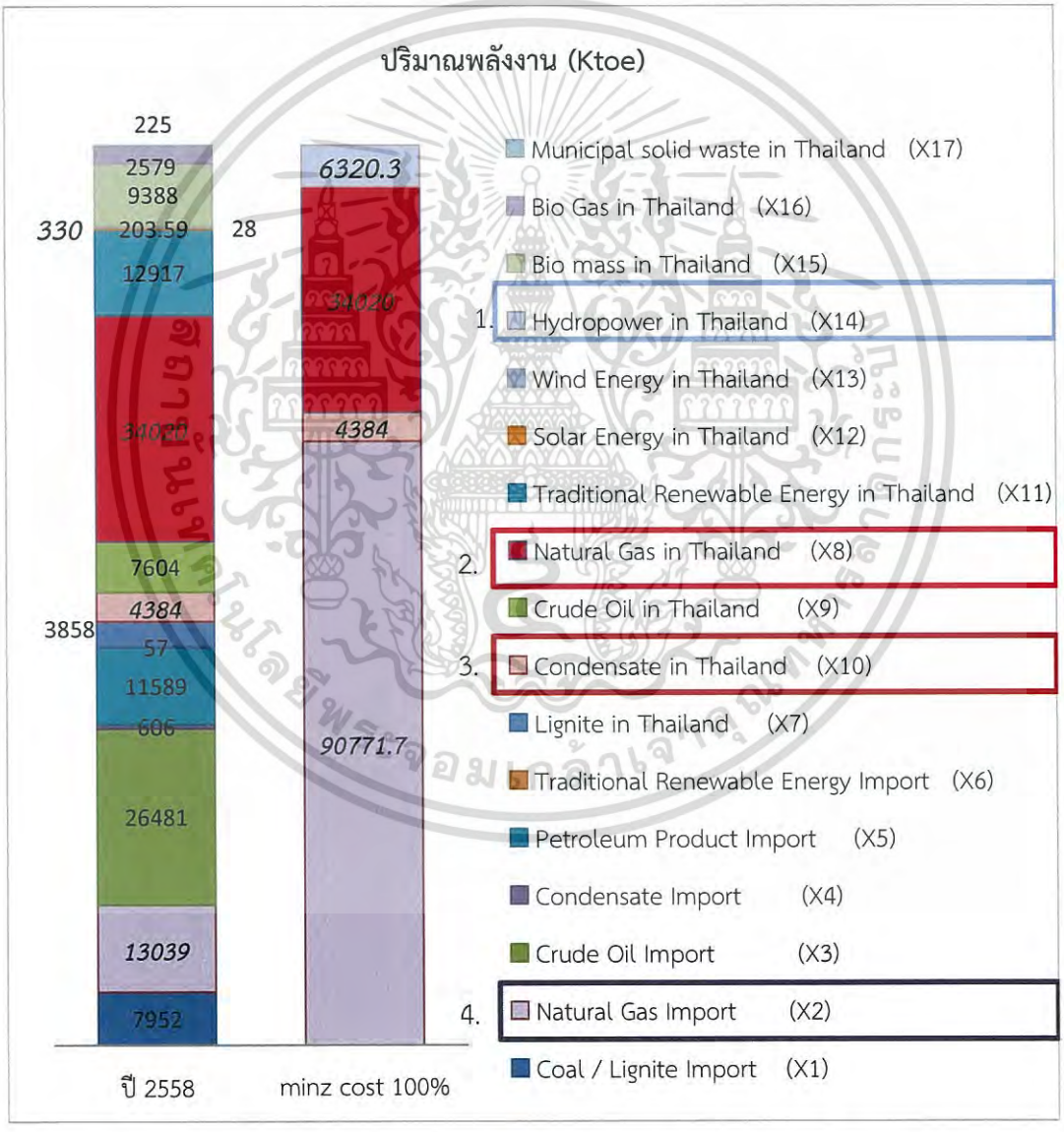
ได้พลังงานรวมทั้งหมด 135,496 ktoe มีต้นทุนการลงทุนการผลิตและบริหารจัดการทั้งหมด 6.322 ล้าน ล้านบาท และมีค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า = 2.742×10^{11} $kgCO_2e$ สัดส่วนพลังงานต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าหากเรียงลำดับพลังงานตามที่โปรแกรมแนะนำแล้ว พลังงานน้ำจะมีปริมาณ 6320.3 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 4.66 ของพลังงานรวมทั้งหมด ,ก๊าซธรรมชาติในประเทศมีปริมาณ 34,020 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 25.11 ของพลังงานรวมทั้งหมด,คอนเดนเสทในประเทศมีปริมาณ 4,384 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 3.25 ของพลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งปริมาณของทั้ง 3 พลังงานนี้เป็นพลังงานที่มีอยู่ในประเทศคิและเต็มศักยภาพที่มีในประเทศ ส่วนอีกร้อยละ 66.99 ของพลังงานรวมทั้งหมดเป็นก๊าซธรรมนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 100 ของพลังงานนำเข้า ซึ่งผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่ได้คือ 135,496 ktoe ปริมาณนี้เท่ากับปริมาณความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 ตรงกับเงื่อนไขหรือข้อกำหนดแรก นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งที่ 1 มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานต่างๆในความเป็นจริงของปี พ.ศ. 2558 จะได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1กับปี 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2558 มีความหลากหลายมากกว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมครั้งที่ 1 ซึ่งปี พ.ศ.2558 แบ่งประเภทหรือชนิดของพลังงานหลักๆถึง 17 ประเภท แต่ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมแนะนำให้ใช้เพียง 4 ประเภทเท่านั้น และเมื่อเทียบเทียบดูสัดส่วนของพลังงานแต่ละประเภทที่โปรแกรมแนะนำกับการใช้พลังงานประเภทนั้นๆในปี พ.ศ.2558 ซึ่งมีผลรวมของพลังงานทั้งหมดเท่ากันแล้วอธิบายได้ว่า

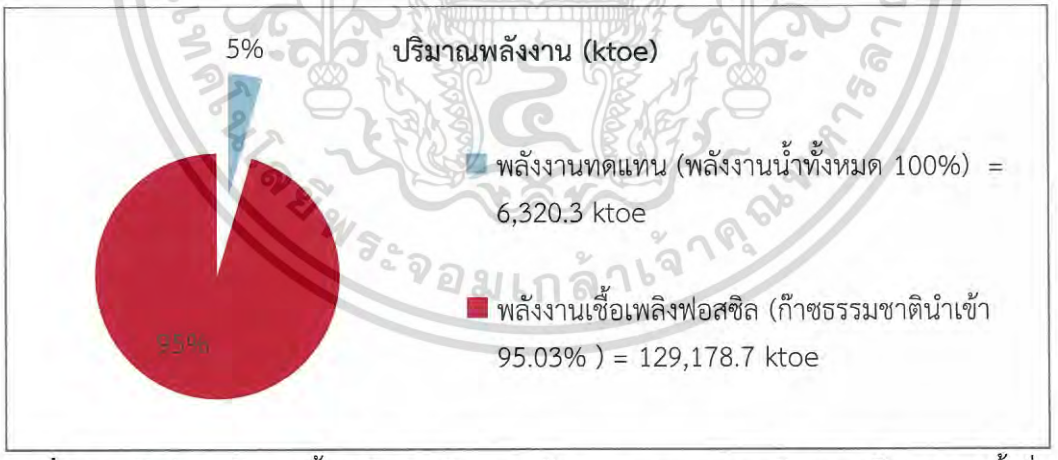
1) พลังงานน้ำที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 นั้นคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.26 ของพลังงานรวมทั้งหมด และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.22 ของศักยภาพพลังงานน้ำที่มีในประเทศ สัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานน้ำที่โปรแกรมแนะนำการใช้พลังงานน้ำในปี พ.ศ.2558 จะน้อยกว่าถึงร้อยละ 4.4 ของพลังงานรวมทั้งหมดคิดเป็นปริมาณคือ 5,990.30 ktoe

2) ก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 25.11 ของพลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งตรงกับปริมาณที่โปรแกรมแนะนำให้ใช้และเต็มศักยภาพที่มีในประเทศ

3) คอนเดนเสทที่มีอยู่ในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3.24 ของพลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งตรงกับปริมาณที่โปรแกรมแนะนำให้ใช้และเต็มศักยภาพที่มีในประเทศ

4) ก๊าซธรรมชาตินำเข้าที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9.62 ของพลังงานรวมทั้งหมด และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 21.75 ของพลังงานนำเข้าทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 เมื่อเทียบกับก๊าซธรรมชาตินำเข้าที่โปรแกรมแนะนำ จะน้อยกว่าร้อยละ 57.38 ของพลังงานรวมทั้งหมด คิดเป็นปริมาณเท่ากับ 77,732.70 ktoe

เมื่อเทียบข้อมูลสัดส่วนพลังงานแต่ละชนิดแล้วจึงนำผลการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.3

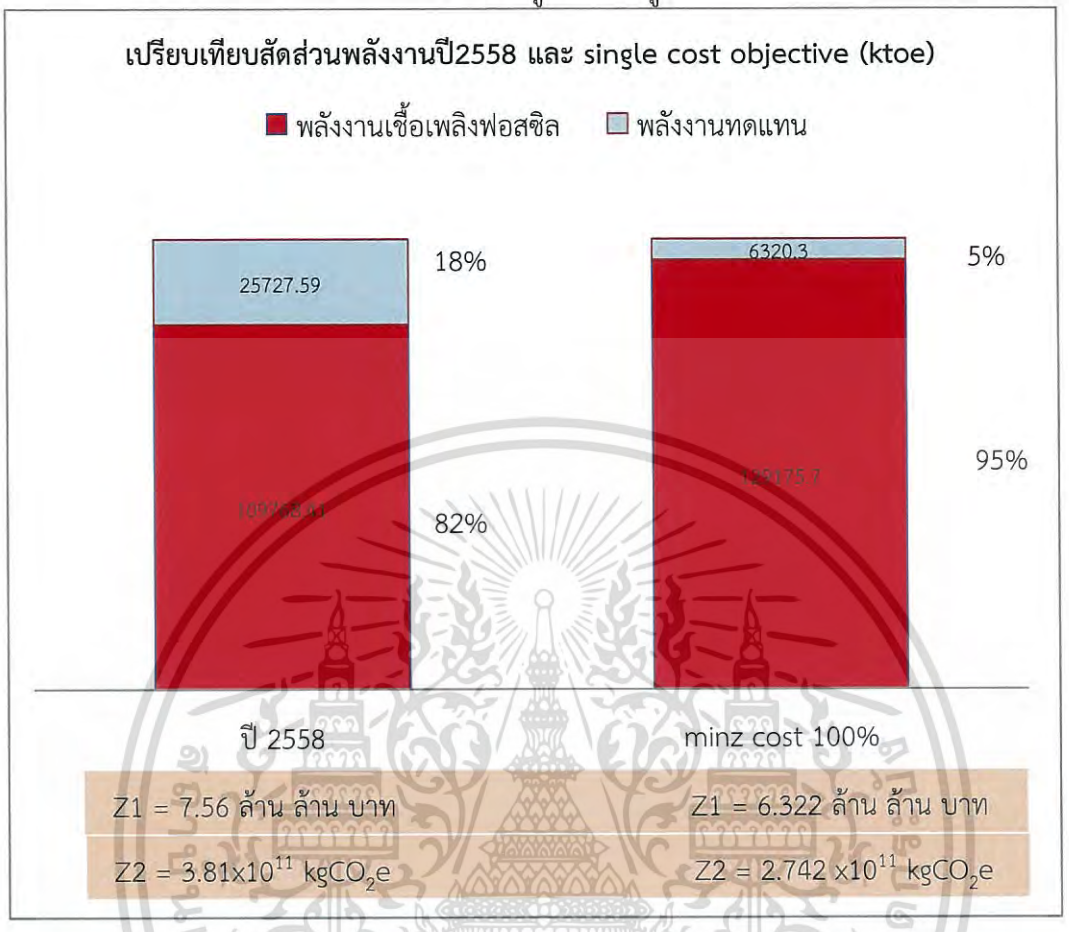


รูปที่ 4.3 สัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของพลังงานที่โปรแกรมแนะนำโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนเพียงอย่างเดียวนั้นส่วนใหญ่ร้อยละ 95 ของพลังงานรวมทั้งหมดหรือปริมาณ 129178.7 ktoe โปรแกรมแนะนำเป็นพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล มีเพียงร้อยละ 5 ของพลังงานรวมทั้งหมดหรือปริมาณ 6,320.3 ktoe ที่เป็นพลังงานทดแทนซึ่งในที่นี้คือพลังงานน้ำร้อยละ 100 ของพลังงานทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด จากนั้นจึงเปรียบเทียบสัดส่วนของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนของการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 กับปี พ.ศ.2558 ได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 กับ พ.ศ.2558

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 มีปริมาณ 109,768.41 ktoe คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 82 ของความต้องการพลังงานรวมทั้งหมด และมีปริมาณพลังงานทดแทนรวม 25,727.59 ktoe คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 18 ของความต้องการพลังงานทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับที่โปรแกรมแนะนำโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียวนั้นพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้จริงจะน้อยกว่าประมาณ ร้อยละ 13 ของพลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าพลังงานทดแทนที่ใช้จริงเมื่อเทียบกับที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2558 จะมีปริมาณมากกว่าคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 13 ของพลังงานรวมทั้งหมดเช่นกัน ผลรวมต้นทุนในปี พ.ศ. 2588 (Z1) คือ 7.56 ล้าน ล้าน บาท มากกว่า ผลรวมต้นทุนพลังงานที่โปรแกรมแนะนำ 7.56 – 6.322 = 1.238 ล้าน ล้าน บาท และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม ของการใช้พลังงานปี พ.ศ. 2558 (Z2) คือ 3.81×10^{11} $kgCO_2e$ มากกว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม ของการใช้พลังงานที่โปรแกรมแนะนำ $3.81 - 2.742 = 1.068\ 10^{11}$ $kgCO_2e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2

จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 ที่วิเคราะห์วัตถุประสงให้ค่าต้นทุนต่อที่สุดเพียงวัตถุประสงค์เดียวเพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมหรือตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว จึงเพิ่มการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับปี พ.ศ.2558 อีกครั้ง โดยครั้งที่ 2 นี้ วัตถุประสงค์จะต้องคำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำที่สุดเพียงอย่างเดียว (Single CO_2e obctive) นั่นคือ

$$Minimize Z1 = \sum KiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ki คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออนไซด์เทียบเท่าของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ($KgCO_2e$/ktoe) [15]

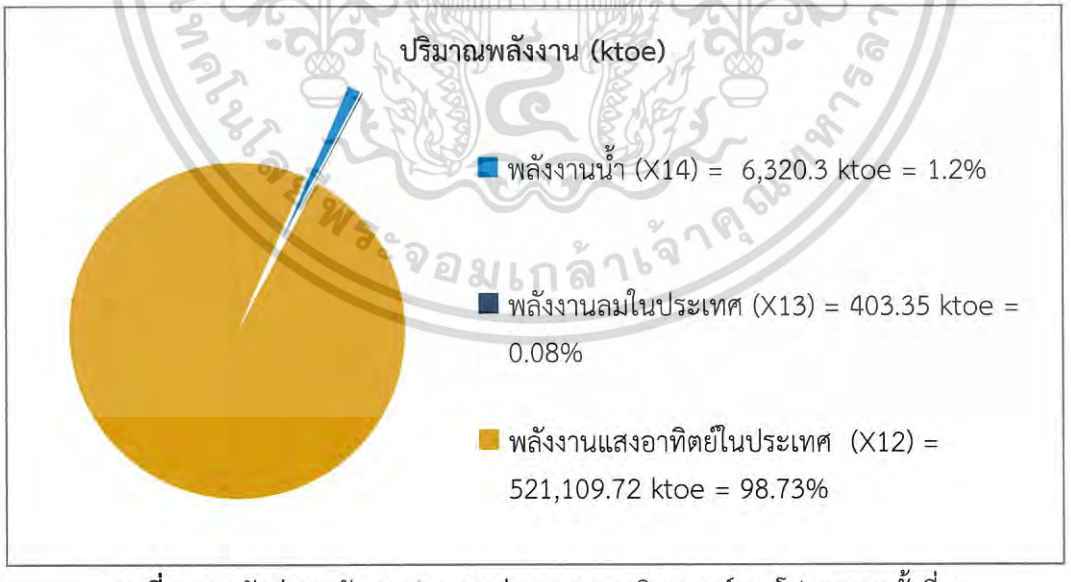
ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์และแนะนำให้ประเทศไทยใช้พลังงานเรียงลำดับก่อนหลังดังนี้

4.1.1 พลังงานน้ำในประเทศ X14 ปริมาณ 6320.3 ktoe

4.1.2 พลังงานลมในประเทศ X13 ปริมาณ 403.35 ktoe

4.1.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ X12 ปริมาณ 521109.72 ktoe

ได้พลังงานรวมทั้งหมด 527,833.37 ktoe มีต้นทุนการลงทุนการผลิตและบริหารจัดการทั้งหมด 77.98 ล้าน ล้านบาท และมีการปล่อย CO_2 = 0 $kgCO_2e$ สัดส่วนพลังงานต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.5

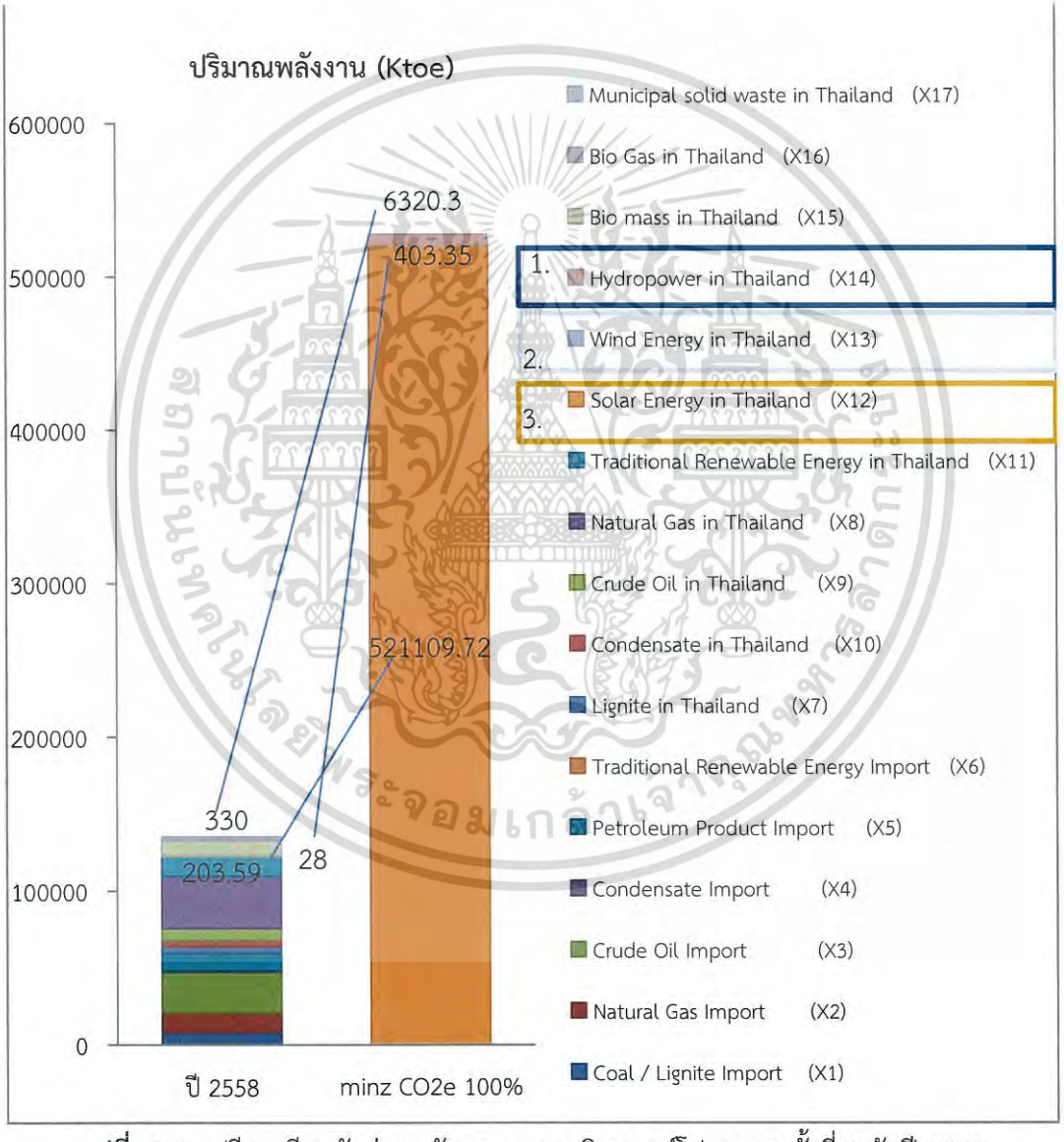


รูปที่ 4.5 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าพลังงานรวมที่โปรแกรมแนะนำคือ 527,833.37 ktoe มากกว่าความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 (135,496 ktoe) ถึง 392,337.37 ktoe หรือประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 เท่าของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 หากเรียงลำดับพลังงานตามที่โปรแกรมแนะนำแล้ว พลังงานน้ำในประเทศจะมีปริมาณ 6320.3 ktoe ซึ่งเต็มศักยภาพที่ไทยมีคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 1.2 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ ,พลังงานลมในประเทศมีปริมาณ 403.35 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 0.08 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ และพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศมีปริมาณ 521,109.72 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 98.73 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ ซึ่งปริมาณของทั้ง 3 พลังงานนี้เป็นปริมาณที่เต็มศักยภาพที่มีในประเทศทั้งหมด นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งที่ 2 มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานต่างๆ ของปี พ.ศ. 2558 จะได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2 กับปี 2558

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2558 มีความหลากหลายมากกว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมครั้งที่ 2 ซึ่งปี พ.ศ.2558 ซึ่งผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมแนะนำให้ใช้เพียง 3

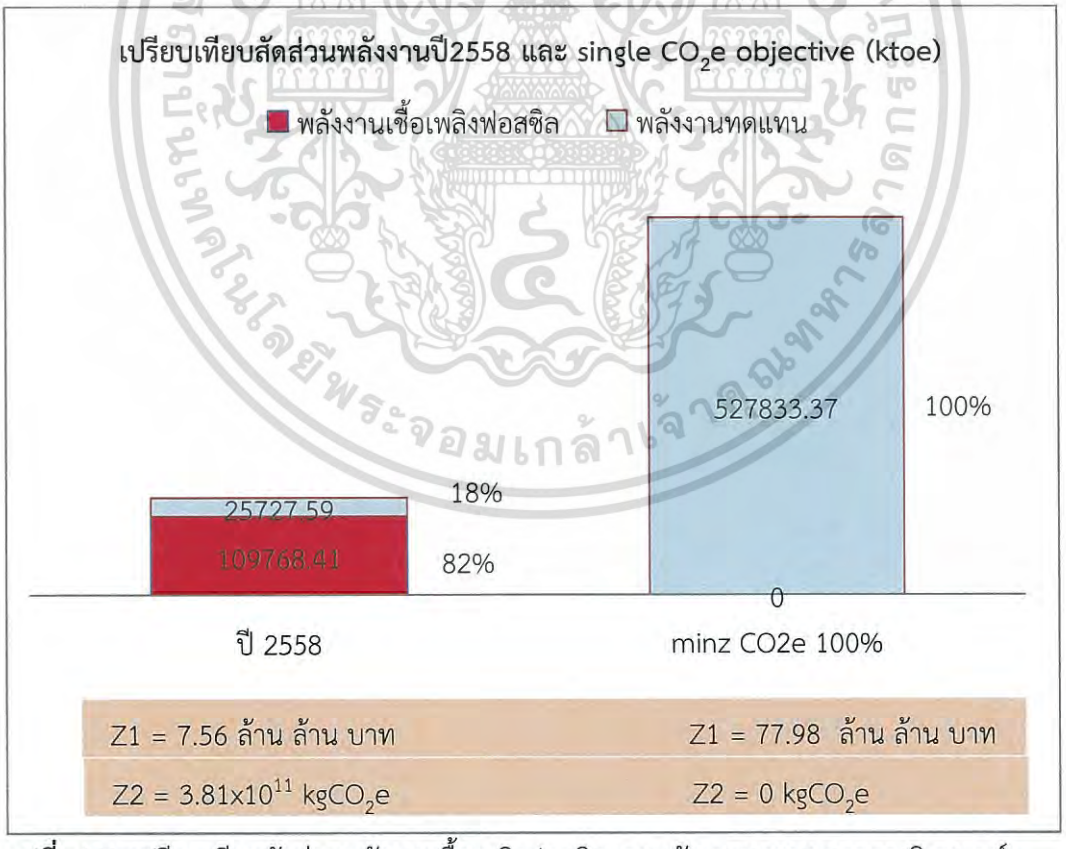
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทเท่านั้น และเมื่อเทียบเทียบดูสัดส่วนของพลังงานแต่ละประเภทที่โปรแกรมแนะนำกับการใช้พลังงานประเภทนั้นๆในปี พ.ศ.2558 แล้วอธิบายได้ว่า

1) พลังงานน้ำที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 นั้นคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.26 ของพลังงานรวมทั้งหมดในปี 2558 และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.22 ของศักยภาพพลังงานน้ำที่มีในประเทศ สัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานน้ำที่โปรแกรมแนะนำ การใช้พลังงานน้ำในปี พ.ศ.2558 จะน้อยกว่าถึงร้อยละ 4.4 ของพลังงานรวมทั้งหมดปี พ.ศ.2558 คิดเป็นปริมาณคือ 5,990.30 ktoe

2) พลังงานลมในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.02 ของพลังงานรวมทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 สัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานลมที่โปรแกรมแนะนำ การใช้พลังงานลมในปี พ.ศ.2558 จะน้อยกว่าถึงประมาณร้อยละ 0.30 ของพลังงานรวมทั้งหมดปี พ.ศ. 2558 คิดเป็นปริมาณคือ 375.35 ktoe

3) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.15 ของพลังงานรวมทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 สัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่โปรแกรมแนะนำ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ.2558 จะน้อยกว่าถึง2560 เท่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นปริมาณคือ 520,906.13 ktoe เมื่อเทียบข้อมูลสัดส่วนพลังงานแต่ละชนิดแล้วจึงนำผลการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2 กับ พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่โปรแกรมแนะนำโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุดเพียงอย่างเดียวนั้นจะมีค่าเป็น 0 หมายความว่าโปรแกรมแนะพลังงานที่ควรใช้เป็นพลังงานทดแทน 100% ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(Z2) มีค่าเป็น 0 เช่นกัน ส่วนราคาต้นทุนรวมทั้งหมด (Z1) 77.98 ล้านล้าน บาท เมื่อคิดเป็นต่อหน่วย 1 ktoe แล้วราคาต้นทุนรวมที่โปรแกรมแนะนำจะอยู่ที่ 77.98×10^{12} / 527,833.37 = 147.74 ล้านบาท/ktoe เทียบกับผลรวมต้นทุนต่อหน่วย 1 ktoe ของพลังงานที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คือ 7.56×10^{12} / 135,496 = 55.80 ล้านบาท/ktoe ฉะนั้น ต้นทุนต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 ต่ำกว่าที่โปรแกรมแนะนำ(คำนึงถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเพียงอย่างเดียว) ถึง 91.94 ล้านบาท/ktoe ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ได้จากการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2558 สูงกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่โปรแกรมแนะนำถึง 3.81×10^{11} $kgCO_2e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 3

เนื่องจากได้มีการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปแล้ว 2 ครั้ง โดยแยกวัตถุประสงค์ให้โปรแกรมวิเคราะห์ทีละวัตถุประสงค์ในปี พ.ศ.2558 ครั้งที่ 3 จึงเป็นการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิเคราะห์วัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์พร้อมกัน (Multi objective optimization) นั่นคือ

$$Minimize Z1 = \sum CiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ci คือ ต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย บาทต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (บาท/ktoe)

และ

$$Minimize Z2 = \sum KiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ki คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออนไซด์เทียบเท่าของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ($kgCO_2e$/ktoe)

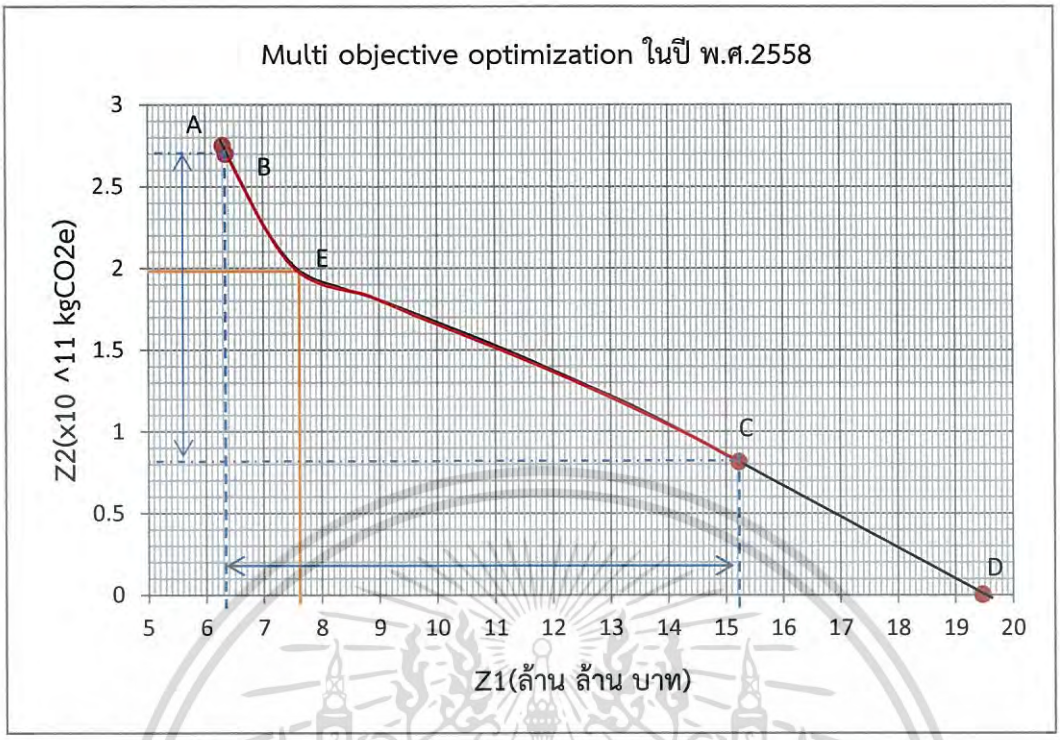
ซึ่งการวิเคราะห์ตั้งแต่ R1 = 0.01 – 0.99 กับ R2=0.01-0.99 ได้ว่ามีจุดR1,R2 บางค่าที่ทำให้ Z1,Z2 และพลังงานต่างๆ แตกต่างกันอยู่ 4 ค่าด้วยกัน นั่นคือ เมื่อ (R1=0.01,R2=0.99), (R1=0.02,R2=0.98), (R1=0.03,R2=0.97), (R1=0.16,R2=0.84) กำหนดให้ค่า R แต่ละชุดเป็นจุด A-D แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 จุดช่วงการเปลี่ยนแปลงในการวิเคราะห์ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558

จุด	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
	($x10^{12}$บาท)	($x10^{11}kgCO_2e$)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
A	6.32	2.74	6320.3		0	4384	34020	90771.7
B	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
C	15.2	0.81	6320.3	403.35	90368.35	4384	34020	0
D	19.5	0	6320.3	403.35	128772.4	0	0	0

ปริมาณพลังงานรวมตั้งแต่จุด A – D มีค่าเรียงลำดับดังนี้ 135,496, 135,496, 135,496, 135,496.05 ktoe นำจุด A – D ไปพล็อทกราฟเพื่อวิเคราะห์หาช่วงสัดส่วนของพลังงานที่เหมาะสมในปี 2 พ.ศ.2558 แสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผล Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าช่วงคำตอบที่ดีที่สุดหากคำนึงถึงต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่านั้นคือช่วงระหว่างจุด B – C คือมีค่าต้นทุน (Z1) อยู่ระหว่าง 6.33 – 15.2 (ล้านล้าน บาท) มีค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Z2) อยู่ระหว่าง 0.81-2.73 ($x10^{11}$ kgCO_2e) หากคำนึงถึงต้นทุนต่ำสุดมากกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าช่วงคำตอบที่ดีที่สุดจะอยู่ใกล้จุด B แต่หากคำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุดมากกว่าต้นทุนช่วงคำตอบที่ดีที่สุดจะอยู่ใกล้จุด C และทางผู้วิจัยลองสมมติเส้นกราฟลากผ่านจุดคำตอบที่ได้จะได้จุด (0,0) มากที่สุด ซึ่งเป็นจุดคำตอบของ Multi objective optimization วิธี Weight method แบบ minimize objectives ทั้งหมด จะได้ค่าคำตอบที่ประมาณไว้ที่จุด E ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนชนิดของพลังงานต่างๆไม่สามารถสรุปค่าได้แน่ชัดสำหรับวิธี weight method แต่มีความเป็นไปได้ว่าจะใกล้เคียงกับจุด B หรือ จุด C

ตารางที่ 4.2 ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558

จุด	Z1 ($x10^{12}$ บาท)	Z2 ($x10^{11}$ kgCO_2e)	พลังงานทดแทน (%)	พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (%)
C	15.2	0.81	71.66	28.34
E	6.33≤15.2	0.81≤2.73	varies	Varies
B	6.33	2.73	4.96	95.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4

การวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4 เป็นการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในปี พ.ศ.2564 โดยครั้งแรกจะกำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์จุดประสงค์ต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว (single cost objective) นั่นคือ

$$Minimize Z1 = \sum CiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ci คือ ต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย บาทต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (บาท/ktoe)

โดยพลังงานรวมที่ได้ออกมาจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ. 2564 ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์และแนะนำให้ประเทศไทยใช้พลังงานเรียงลำดับก่อนหลังดังนี้

4.4.1 พลังงานน้ำ X14 ปริมาณ 6320.3 ktoe

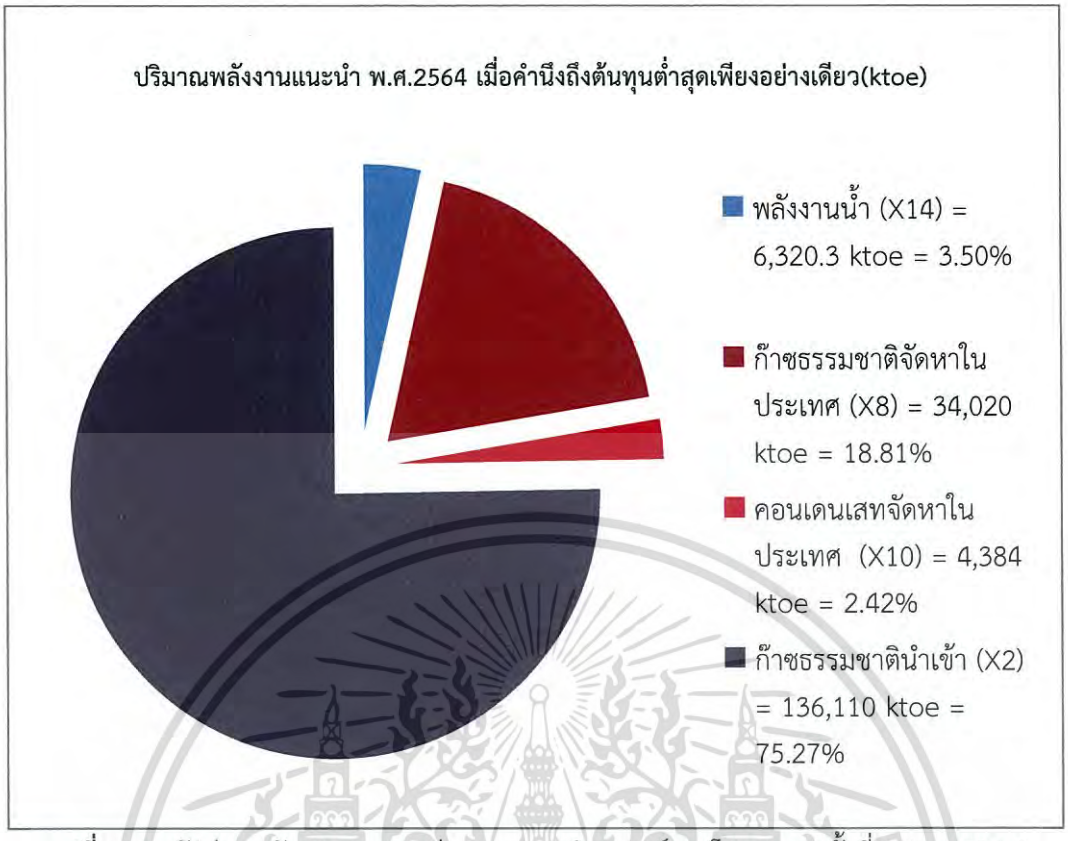
4.4.2 ก๊าซธรรมชาติจัดหาในประเทศ X8 ปริมาณ 34020 ktoe

4.4.3 คอนเดนเสทจัดหาในประเทศ X10 ปริมาณ 4384 ktoe

4.4.4 ก๊าซธรรมชาตินำเข้า X2 ปริมาณ 136,110 ktoe

ได้พลังงานรวมทั้งหมด 180,834.3 ktoe มีต้นทุนการลงทุนการผลิตและบริหารจัดการทั้งหมด 8.62 ล้าน ล้านบาท และมีค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า = 3.704×10^{11} $kgCO_2e$ สัดส่วนพลังงานต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.9

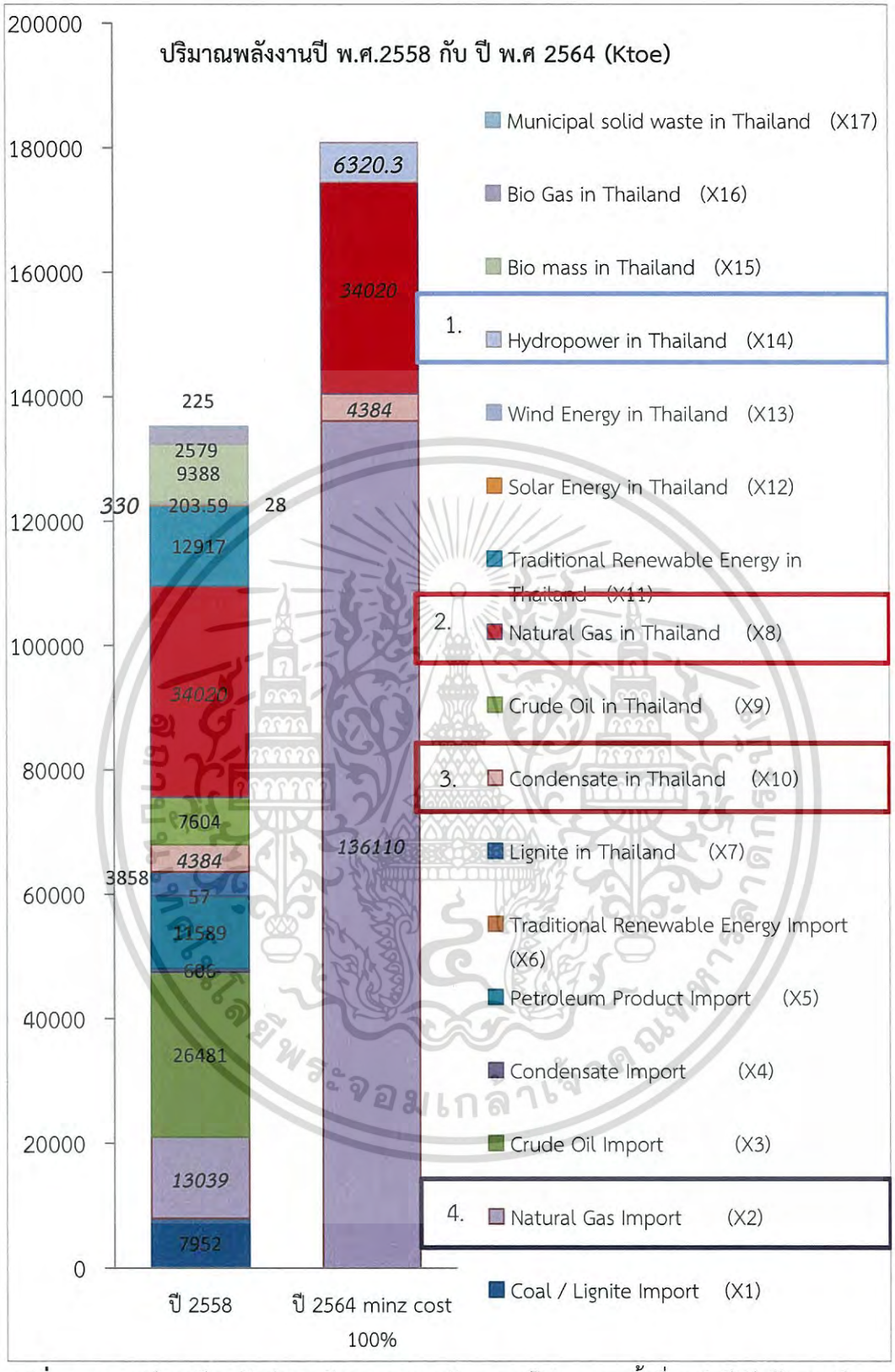
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 4 (พ.ศ.2564)

จากรูปที่ 4.9 หากพิจารณาถึงต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว โปรแกรมจะแนะนำพลังงานน้ำมีปริมาณ 6320.3 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 3.50 ของพลังงานรวมทั้งหมด ,ก๊าซธรรมชาติในประเทศมีปริมาณ 34,020 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 18.81 ของพลังงานรวมทั้งหมด,คอนเดนเสทในประเทศมีปริมาณ 4,384 ktoeสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 2.42 ของพลังงานรวมทั้งหมด ซึ่งปริมาณของทั้ง 3 พลังงานนี้เป็นพลังงานที่มีอยู่ในประเทศคิดรวมเป็นสัดส่วนร้อยละ 24.73 ของพลังงานรวมทั้งหมดพร้อมกับปริมาณที่โปรแกรมแนะนำเป็นปริมาณที่เต็มศักยภาพของพลังงานนั้นๆที่มีในประเทศ ส่วนอีกร้อยละ 75.27 ของพลังงานรวมทั้งหมดเป็นก๊าซธรรมนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 100 ของพลังงานนำเข้า ซึ่งผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่ได้คือ 180,834.30 ktoe ปริมาณนี้เท่ากับหรือมากกว่าปริมาณความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2564 ตรงกับเงื่อนไขหรือข้อกำหนดแรก นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งที่ 4 ในปี พ.ศ.2564 มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานต่างๆของปี พ.ศ. 2558 จะได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4 คำนึงถึงต้นทุนเพียงอย่างเดียวในปี พ.ศ.2564 กับปี 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2558 มีความหลากหลายมากกว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมครั้งที่ 4 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์พลังงานในปี พ.ศ.2564 โดยคำนึงถึงต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมแนะนำให้ใช้เพียง 4 ประเภทเท่านั้น และเมื่อดูสัดส่วนเรียงลำดับพลังงานก่อนหลังจากที่โปรแกรมแนะนำอธิบายได้ว่า

1) พลังงานน้ำที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.18 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2564 และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.22 ของศักยภาพพลังงานน้ำที่มีในประเทศ สัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานน้ำที่โปรแกรมแนะนำ การใช้พลังงานน้ำในปี พ.ศ.2558 จะน้อยกว่าถึงร้อยละ 3.34 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2564 คิดเป็นปริมาณคือ 5,990.30 ktoe

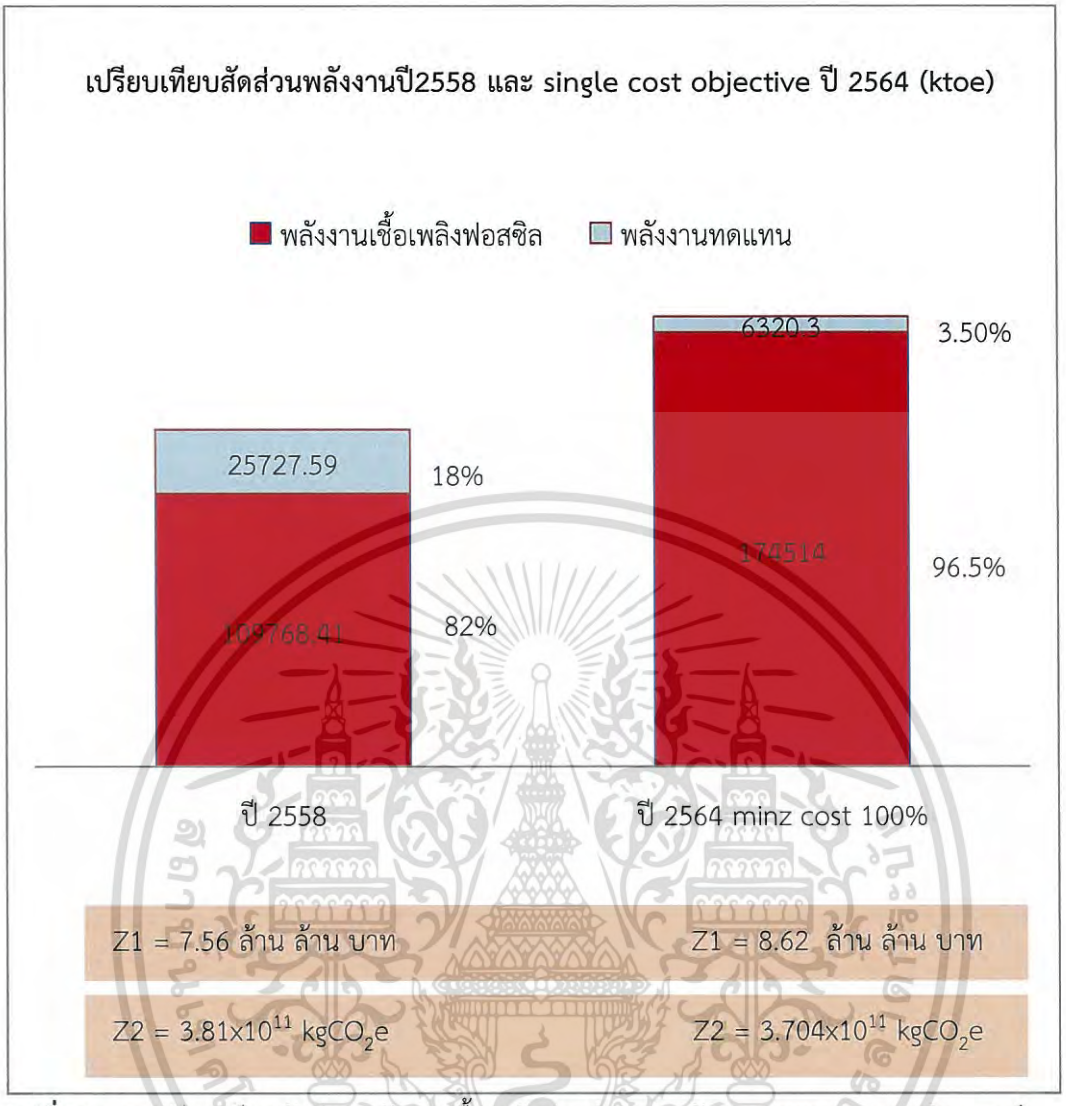
2) ก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 18.81 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2564 ตรงกับปริมาณที่โปรแกรมแนะนำและเต็มศักยภาพที่มีในประเทศ

3) คอนเดนเสทที่มีอยู่ในประเทศที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2.67 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2564 ตรงกับปริมาณที่โปรแกรมแนะนำและเต็มศักยภาพที่มีในประเทศ

4) ก๊าซธรรมชาตินำเข้าที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 7.21 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2564 เมื่อเทียบกับก๊าซธรรมชาตินำเข้าที่โปรแกรมแนะนำ จะน้อยกว่าร้อยละ 75.27-7.21 = 68.08 ของพลังงานรวมทั้งหมด คิดเป็นปริมาณเท่ากับ 123,071 ktoe

เมื่อเทียบข้อมูลสัดส่วนพลังงานแต่ละชนิดแล้วจึงนำผลการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4 พ.ศ.2564 กับ พ.ศ.2558

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่โปรแกรมแนะนำโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียวนั้นจะมีค่าถึงร้อยละ 96.5 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2564 และสัดส่วนพลังงานทดแทนมีค่าร้อยละ 3.5 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2564 ส่วนราคาต้นทุนรวมทั้งหมด (Z1) 8.62 ล้าน ล้าน บาท เมื่อคิดเป็นต่อหน่วย 1 ktoe แล้ว ราคาต้นทุนรวมที่โปรแกรมแนะนำจะอยู่ที่ $8.62 \times 10^{12} / 180,834.30 = 47.67$ ล้านบาท/ktoe เทียบกับผลรวมต้นทุนต่อหน่วย 1 ktoe ของพลังงานที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 คือ $7.56 \times 10^{12} / 135,496 = 55.80$ ล้านบาท/ktoe ฉะนั้น ต้นทุนต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ในปี พ.ศ.2558 สูงกว่าที่โปรแกรมแนะนำถึง 8.13 ล้านบาท/ktoe ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ได้จากการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2558 สูงกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่โปรแกรมแนะนำถึง 0.106×10^{11} $kgCO_2e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 5

จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 4 ที่วิเคราะห์วัตถุประสงให้ค่าต้นทุนต่ำที่สุดเพียงวัตถุประสงค์เดียวในปี พ.ศ.2564 ครั้งนี้จึงเพิ่มการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวัตถุประสงค์จะต้องคำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำที่สุดเพียงอย่างเดียว (Single CO_2e obctive) นั่นคือ

$$MinimizeZ2 = \sum KiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ki คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออนไซด์เทียบเท่าของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ($kgCO_2e$/ktoe) [15]

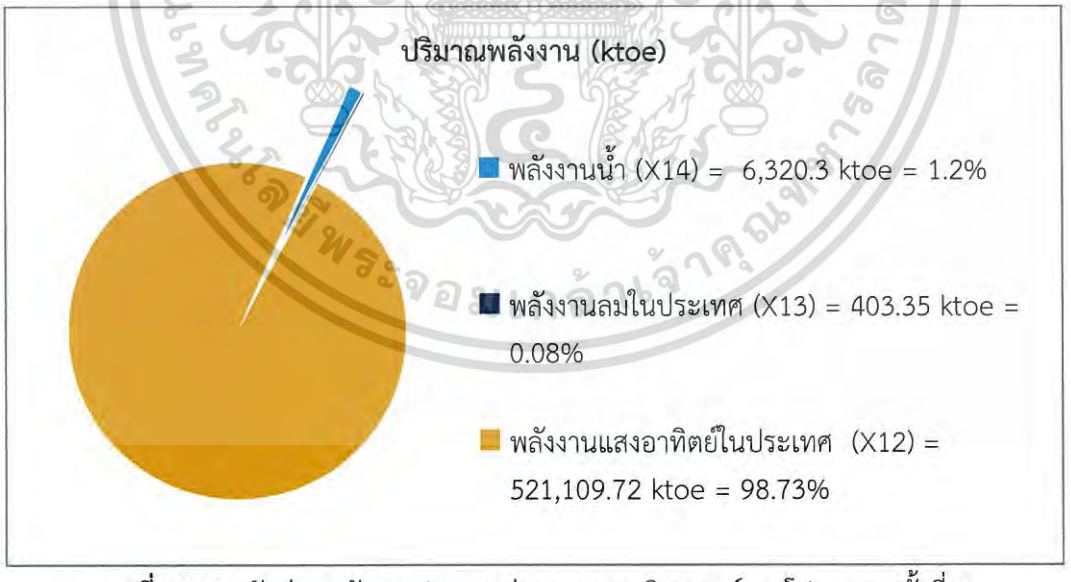
ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์และแนะนำให้ประเทศไทยใช้พลังงานเรียงลำดับก่อนหลังดังนี้

4.5.1 พลังงานน้ำในประเทศ X14 ปริมาณ 6320.3 ktoe

4.5.2 พลังงานลมในประเทศ X13 ปริมาณ 403.35 ktoe

4.5.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ X12 ปริมาณ 521109.72 ktoe

ได้พลังงานรวมทั้งหมด 527,833.37 ktoe มีต้นทุนการลงทุนการผลิตและบริหารจัดการทั้งหมด 77.98 ล้าน ล้านบาท และมีการปล่อย CO_2 = 0 $kgCO_2e$ สัดส่วนพลังงานต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.12



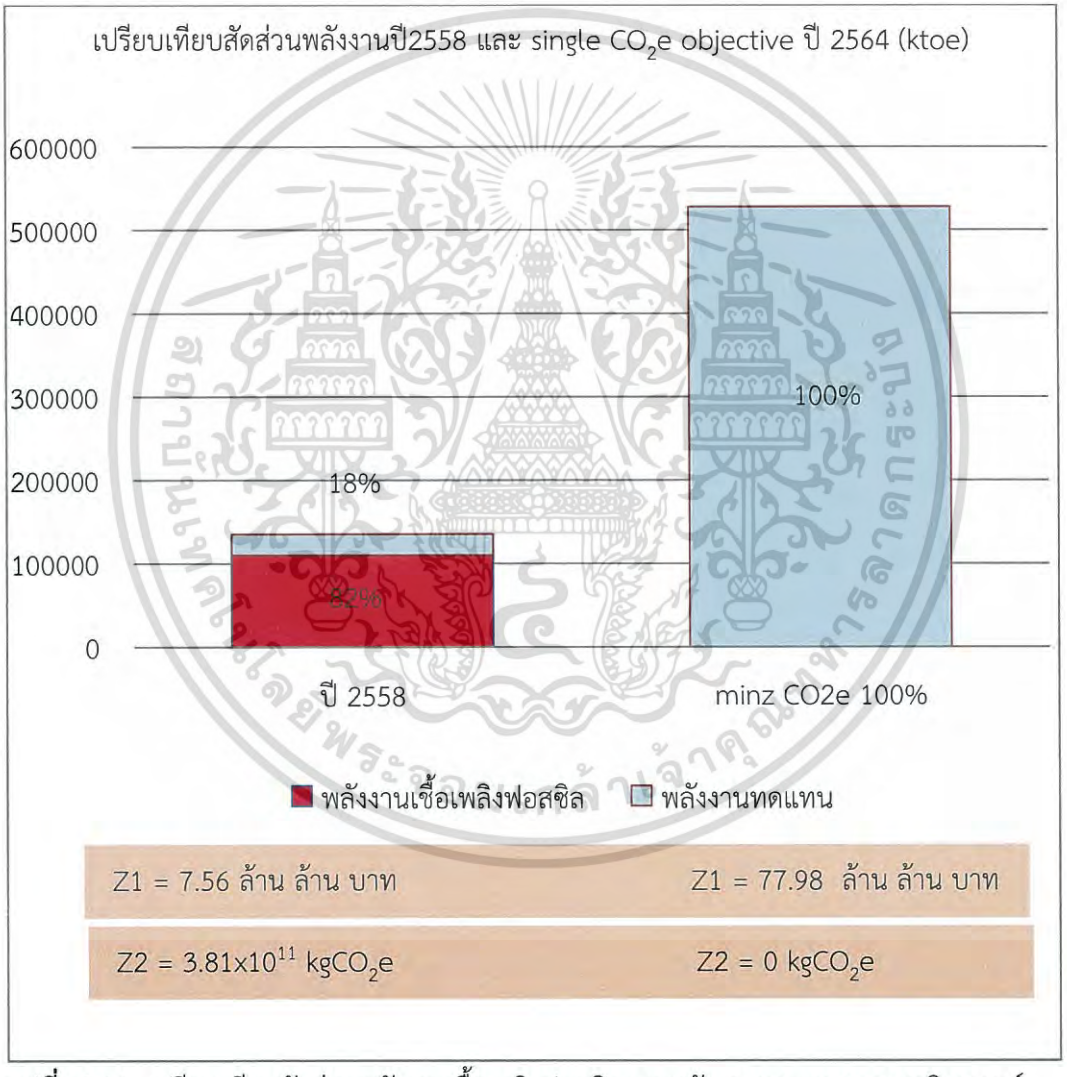
รูปที่ 4.12 สัดส่วนพลังงานประเภทต่างๆจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมครั้งที่ 5

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าพลังงานรวมที่โปรแกรมแนะนำคือ 527,833.37 ktoe มากกว่าความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 (135,496 ktoe) ถึง 392,337.37 ktoe หรือประมาณ 4 เท่าของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 หากเรียงลำดับพลังงานตามที่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนะนำแล้ว พลังงานน้ำในประเทศจะมีปริมาณ 6320.3 ktoe ซึ่งเต็มศักยภาพที่ไทยมีคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 1.2 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ ,พลังงานลมในประเทศมีปริมาณ 403.35 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 0.08 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ และพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศมีปริมาณ 521,109.72 ktoe คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 98.73 ของพลังงานรวมทั้งหมดที่โปรแกรมแนะนำ ซึ่งปริมาณของทั้ง 3 พลังงานนี้เป็นปริมาณที่เต็มศักยภาพที่มีในประเทศทั้งหมด การวิเคราะห์ผลของโปรแกรมครั้งนี้ให้เหมือนการวิเคราะห์ผลของโปรแกรมครั้งที่ 2 นั่นคือวิเคราะห์วัตถุประสงค์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดเพียงอย่างเดียวในปี พ.ศ.2564 ซึ่งผลการเทียบข้อมูลต่างๆก็จะเหมือนข้อมูลในหัวข้อ 4.2

ข้อมูลสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานทดแทนจากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 2 กับ พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองและวิจารณ์จากการวิเคราะห์โปรแกรมครั้งที่ 6

เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปแล้ว 2 ครั้ง โดยแยกวัตถุประสงค์ให้โปรแกรมวิเคราะห์ทีละวัตถุประสงค์ในปี พ.ศ.2564 ครั้งที่ 3 จึงเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิเคราะห์วัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์พร้อมกัน (Multi objective optimization) นั่นคือ

$$Minimize Z1 = \sum CiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ci คือ ต้นทุนของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย บาทต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (บาท/ktoe)

และ

$$Minimize Z2 = \sum KiXi$$

เมื่อ Xi คือ ประเภทหรือพลังงานชนิดต่างๆ หน่วย กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
Ki คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออนไซด์เทียบเท่าของพลังงานประเภทนั้นๆ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ($kgCO_2e$/ktoe)

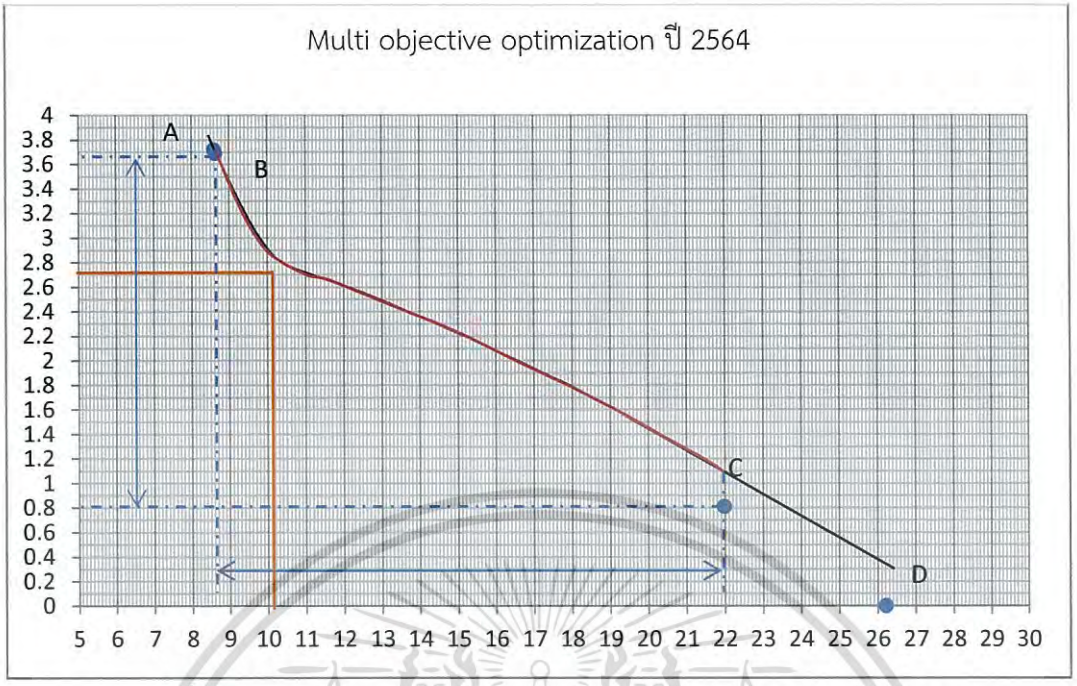
ซึ่งการวิเคราะห์ตั้งแต่ R1 = 0.01 – 0.99 กับ R2=0.01-0.99 ได้ว่ามีจุดR1,R2 บางค่าที่ทำให้ Z1,Z2 และพลังงานต่างๆ แตกต่างกันอยู่ 4 ค่าด้วยกัน นั่นคือ เมื่อ (R1=0.01,R2=0.99), (R1= 0.02,R2=0.98), (R1=0.03,R2=0.97), (R1=0.16,R2=0.84) กำหนดให้ค่า R แต่ละชุดเป็นจุด A-D แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 จุดช่วงการเปลี่ยนแปลงในการวิเคราะห์ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2564

จุด	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
	($x10^{12}$บาท)	($x10^{11}kgCO_2e$)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
A	8.60	3.72	6320.3	0	0	4384	34020	136110
B	8.63	3.69	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
C	21.99	0.81	6320.3	403.35	135710	4384	34020	0
D	26.22	0	6320.3	403.35	174110.35	0	0	0

ปริมาณพลังงานรวมในจุด A – D มีปริมาณเรียงลำดับดังนี้ 180,834.3, 180,837.65, 180,837.65 180,834 ktoe นำจุด A – D ไปพล็อทกราฟเพื่อวิเคราะห์หาช่วงสัดส่วนของพลังงานที่เหมาะสมในปี 2 พ.ศ.2558 แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผล Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าช่วงคำตอบที่ดีที่สุดหากคำนึงถึงต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่านั้นคือช่วงระหว่างจุด B – C คือมีค่าต้นทุน (Z1) อยู่ระหว่าง 8.63 – 21.99 (ล้านล้าน บาท) มีค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Z2) อยู่ระหว่าง 0.81-3.69 ($x10^{11}$ $kgCO_2e$) หากคำนึงถึงต้นทุนต่ำสุดมากกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าช่วงคำตอบที่ดีที่สุดจะอยู่ใกล้จุด B แต่หากคำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุดมากกว่าต้นทุนช่วงคำตอบที่ดีที่สุดจะอยู่ใกล้จุด C และทางผู้วิจัยลองสมมติเส้นกราฟลากผ่านจุดคำตอบที่ได้จะได้จุด (0,0) มากที่สุด ซึ่งเป็นจุดคำตอบของ Multi objective optimization วิธี Weight method แบบ minimize objectives ทั้งหมด จะได้ค่าคำตอบที่ประมาณไว้ที่จุด E ดังที่แสดงในตารางที่ 4.5 ส่วนชนิดของพลังงานต่างๆไม่สามารถสรุปค่าได้แน่ชัดสำหรับวิธี weight method แต่มีความเป็นไปได้ว่าจะใกล้เคียงกับจุด B หรือ จุด C

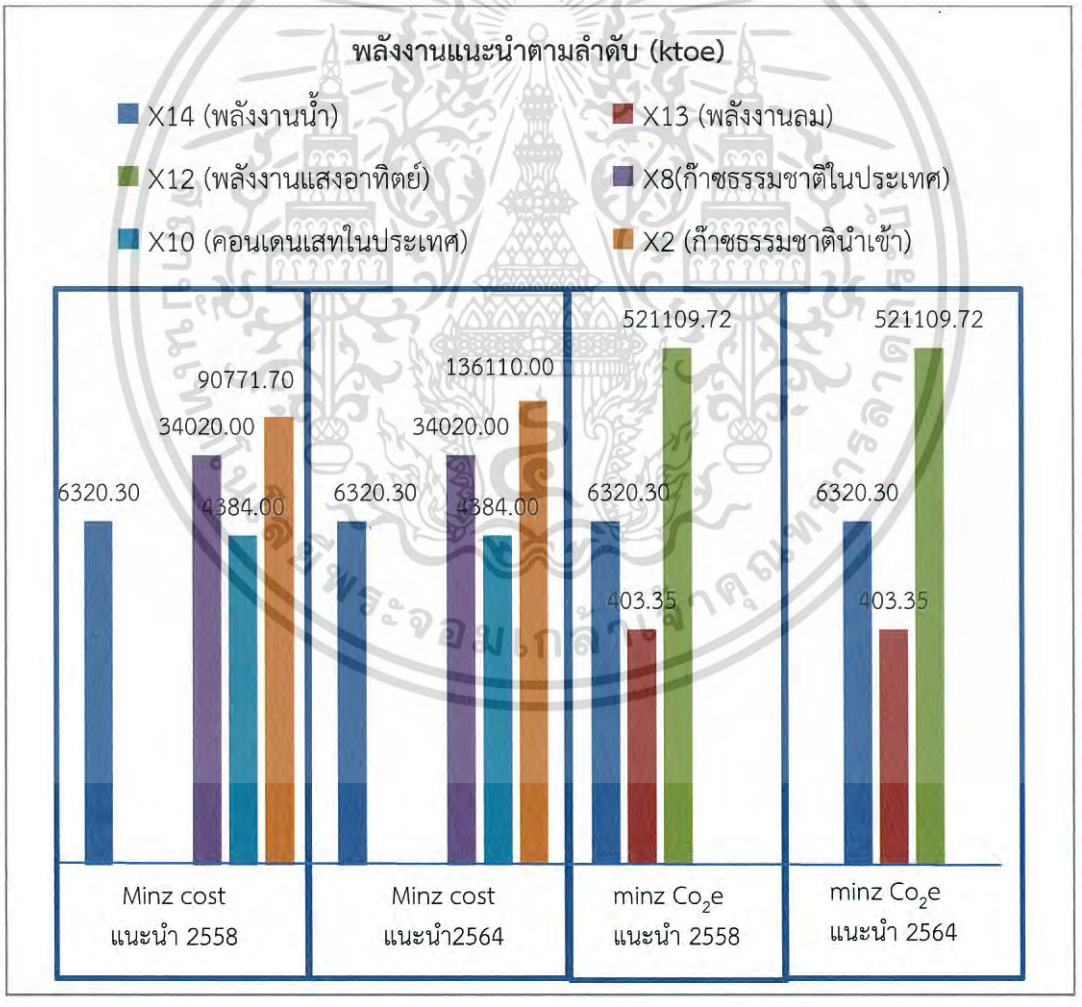
ตารางที่ 4.4 ช่วงคำตอบที่ดีที่สุดของ Multi objective optimization ในปี พ.ศ. 2558

จุด	Z1	Z2	พลังงานทดแทน (%)	พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล(%)
	($x10^{12}$ บาท)	($x10^{11}$ $kgCO_2e$)		
C	21.99	0.81	78.76	21.23
E	8.63≤21.99	0.81≤3.69	varies	Varies
B	8.63	3.69	3.72	96.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

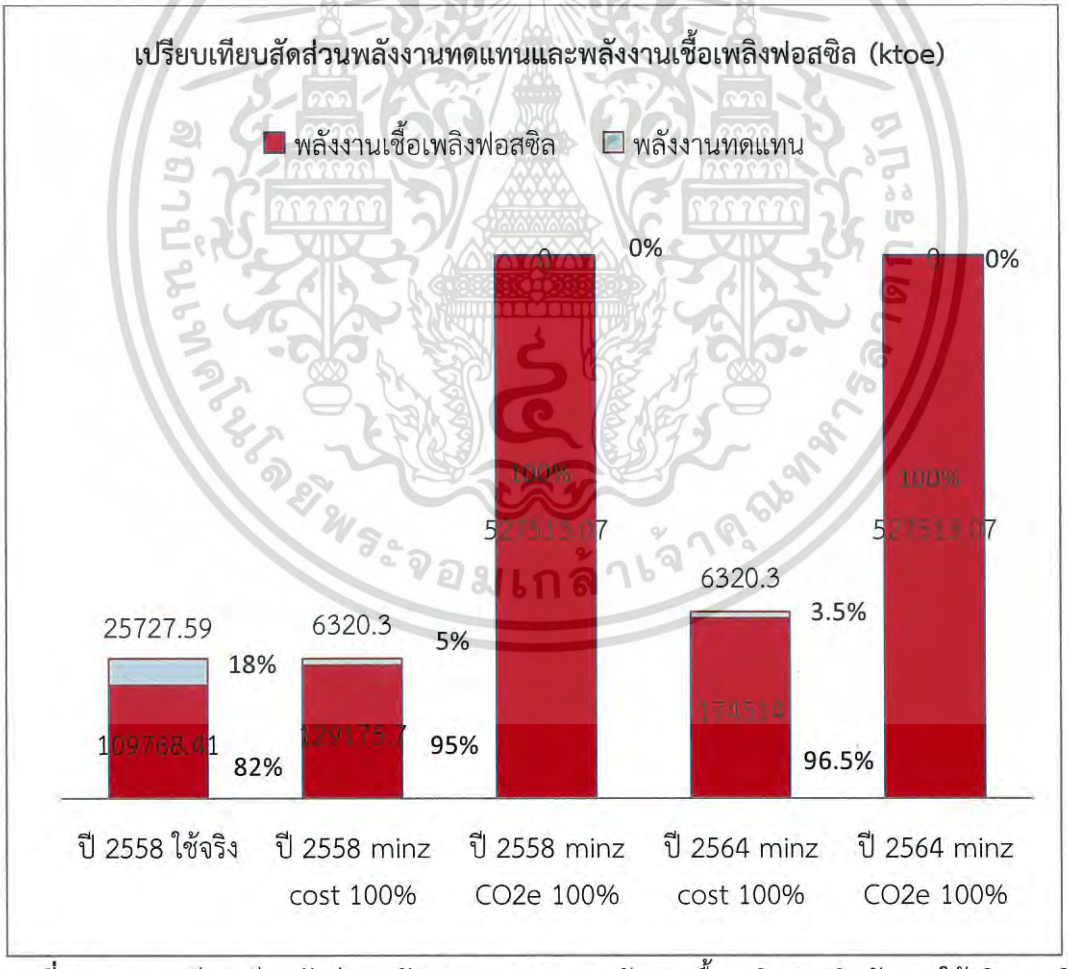
จากผลการทดลองในการวิเคราะห์โปรแกรมในปี พ.ศ.2558 ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2558 ซึ่งผลที่ออกมาของพลังงานรวมที่โปรแกรมแนะนำมีปริมาณที่เท่ากับความต้องการพลังงานรวมปี พ.ศ.2558 ซึ่งตรงไปตามเงื่อนไข นอกจากนี้การวิเคราะห์โปรแกรมแบบ multi objective optimization โปรแกรมยังสามารถวิเคราะห์ช่วงคำตอบที่สามารถให้ค่าคำตอบที่ถูกต้องตามหลัก weight method ได้ ผู้วิจัยเลยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มาวิเคราะห์แนวโน้มหรือคาดคะเนสัดส่วนพลังงานที่เหมาะสมในปี พ.ศ.2564 โดยแยกวิเคราะห์ทั้ง single objective และ multi objective optimization และนำผลการทดลองแบบ single objective มาเปรียบเทียบเรียงลำดับตามปี พ.ศ.2558 และ พ.ศ.2564 แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าต้นทุน (Z1) และ ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Z2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 สรุปได้ว่าการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ให้ค่าต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว หรือ วัตถุประสงค์ให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุดเพียงอย่างเดียวนั้น จะได้คำตอบปริมาณสัดส่วนและประเภทของพลังงานที่แนะได้ชัดเจน จะเห็นได้ว่าการเรียงลำดับของพลังงานที่โปรแกรมแนะนำนั้น เป็นพลังงานน้ำแบบเต็มศักยภาพที่ประเทศไทยมีอยู่ก่อนเสมอ ดังนั้นหากประเทศไทยจะเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนพลังงานน้ำจึงเป็นพลังงานอันดับแรกที่น่าสนใจ แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงต้นทุนการก่อสร้างและต้นทุนคงที่ต่างๆด้วย นอกจากนี้พลังงานอีกพลังงานที่น่าสนใจคือพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากว่าศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นมีมากพอสำหรับความต้องการพลังงานทั้งหมดของประเทศไทยถ้าหากเราสามารถควบคุมความคงที่ของพลังงานได้ พลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นพลังงานทดแทนอีกพลังงานหนึ่งที่น่าสนใจแต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงต้นทุนการก่อสร้างและต้นทุนคงที่ต่างๆด้วยเช่นกัน การเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานทดแทนและพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลกับต้นทุนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ของการใช้พลังงานจริงในปี พ.ศ.2558 และที่โปรแกรมแนะนำแบบ single objective ของปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564 แสดงดังรูปที่ 5.2 และตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานทดแทนและพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลกับการใช้จริงและที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบราคาต้นทุนกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของการใช้จริงและที่โปรแกรมแนะนำในปี พ.ศ.2558 และปี พ.ศ.2564

	Z1 (minz cost) (ล้านบาท)	Z2 (minz cost) (x10^6 kgCO2e)	Z1 (minz CO_2e) (ล้านบาท)	Z2 (minz CO_2e) (x10^6kgCO2e)
ใช้จริง 2558	7.56	3.81	7.56	3.81
แนะนำ 2558	6.322	2.742	77.98	0
แนะนำ 2564	8.62	3.704	77.98	0

จากรูปที่ 5.2 และตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าความต้องการปริมาณพลังงานเพิ่มขึ้นราคาต้นทุนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อจิจารณาเฉพาะต้นทุนเพียงอย่างเดียวของการใช้พลังงานจริงในปี พ.ศ. 2558 กับที่โปรแกรมแนะนำจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้พลังงานทดแทนมากกว่าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นทำให้ราคาต้นทุนเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้นทุนพลังงานทดแทนต่อหน่วยบางชนิดมีค่าสูงมาก และการที่เลือกใช้พลังงานงานทดแทนมากก็ไม่ได้หมายความว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจะลดลง เนื่องจากว่าพลังงานทดแทนบางชนิดเช่น พลังงานชีวมวล ยังมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยมากกว่าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลบางชนิดอยู่ นอกจากนี้หากเราพิจารณาวัตถุประสงค์ให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำที่สุดเพียงอย่างเดียว เราสามารถใช้พลังงานทดแทนเต็มศักยภาพที่มีอยู่ในประเทศไทย 100 เปอร์เซ็นนั่นคือ พลังงานน้ำ, พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานทดแทนที่มีทั้งหมดในประเทศไทยเพียงพอต่อความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี พ.ศ.2564 แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงการควบคุมการจ่ายพลังงานที่คงที่ได้ด้วย

จากการทดสอบแบบจำลองแบบ Multi objective optimization ตามวิธี weight method เพื่อหาสัดส่วนพลังงานที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำสุดและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดนำมาเปรียบเทียบกับ single objective optimization จะได้ข้อมูลสรุปดังแสดงในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 สรุปการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาสัดส่วนพลังงานของปี พ.ศ.2564

Obj.	Cost	CO_2 e	พลังงานทดแทน			พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล			รวม
	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2	$*10^3$
	($x10^{12}$ บาท)	($x10^{11}$ kg CO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
Single cost	8.62	3.704	6320.30	0.00	0.00	4384	34020	136,110	180,834.30
			3.5%			96.5%			
Single CO_2e	77.98	0	6320.30	403.35	521,109.72	0	0	0	527,513.07
			100%			0%			
Multi จุดB	8.63	3.69	6320.3	403.35	0	4384	34020	135,710	180,837.65
			3.72%			96.28%			
Multi จุดC	21.99	0.81	6320.3	403.35	135,710	4384	34020	0	180,837.65
			78.76%			21.23%			
Multi จุดE	8.63 ≤ 21.99	0.8 ≤ 3.69	varies			varies			≥180,834

จากตารางที่ 5.2 สรุปได้ว่า

1) การเลือกใช้พลังงานในปี พ.ศ.2564 ค่าที่เหมาะสมที่สุดหากคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว โปรแกรมจะแนะนำโดยเรียงลำดับประเภทพลังงานก่อนหลังดังนี้

1.1) พลังน้ำ(X14) = 6320.30 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ.2558

1.2) ก๊าซธรรมชาติในประเทศ(X8) = 4384 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ.2558

1.3) คอนเดนเสทในประเทศ(X10) = 4384 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ.2558

1.4) ก๊าซธรรมชาตินำเข้า(X2) = 136,110 ktoe

คิดสัดส่วนพลังงานทดแทนได้ร้อยละ 3.5 ของปริมาณพลังงานรวมทั้งหมด พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลร้อยละ 76.5 ของปริมาณพลังงานรวมทั้งหมด ได้ต้นทุนรวม 8.62 ล้านล้าน บาท และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม 3.704 $kgCO_2e$ ได้พลังงานรวมที่แนะนำ 180,834.30 ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเลือกใช้พลังงานในปี พ.ศ.2564 ค่าที่เหมาะสมที่สุดหากคำนึงถึงวัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่ำสุดเพียงอย่างเดียว โปรแกรมจะแนะนำโดยเรียงลำดับประเภทพลังงานก่อนหลังดังนี้

2.1) พลังน้ำ(X14) = 6320.30 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ.2558

2.2) พลังงานลมในประเทศ(X13) = 403.35 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ.2558

2.3) พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ(X12) = 521,109.72 ktoe เต็มศักยภาพ ณ ปี พ.ศ. 2558

ได้ต้นทุนรวม 77.98 ล้านล้าน บาท และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวม 0 $kgCO_2e$ ได้พลังงานรวมที่แนะนำ 527,513.07 ktoe

ส่วนคำตอบที่ถูกต้องของสัดส่วนพลังงานที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำสุดและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดพร้อมกัน (Multi objective optimization) จะได้เป็นช่วง จากตารางที่ 5.2 ช่วงคำตอบจะอยู่ระหว่างจุด B และ จุด C นั่นคือ มีค่าต้นทุนอยู่ในช่วง 8.63 ≤ 21.99 ล้านล้าน บาท มีค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอยู่ในช่วง 0.8 ≤ 3.69 $kgCO_2e$ (จุด E) ส่วนชนิดพลังงานต่างๆไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดแต่มีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะเป็นพลังงานที่อยู่ในจุด B และจุด C ซึ่งตามสมมติฐาจว่าในปี พ.ศ.2564 ประเทศไทยของเรานั้นจะใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 25 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดนั้นมีโอกาศเป็นไปได้ โดยถ้าคำนึงถึงสัดส่วนต้นทุนต่ำสุดมากกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด คำตอบก็จะวิ่งเข้าใกล้ จุด B แต่ถ้าคำนึงถึงสัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดมากกว่าต้นทุนต่ำสุด คำตอบก็จะวิ่งเข้าใกล้จุด C เป็นต้น สามารถดูกราฟเพิ่มเติมได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Allen Brooks. 2015. **"Musings From the Oil Patch."** [Online]. Available : http://energy-musings.com/node/382 Energy Investment Banging. Houston, Texas USA : PPHB Press.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **"รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย."** [Online]. Available : http://www.dede.go.th กระทรวงพลังงาน.

[3] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.).2552. **"แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564)** (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012 - 2021)." [Online]. Available : http://www2.eppo.go.th/nepc/kpc/kpc-139.htm กระทรวงพลังงาน.

[4] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2542. **"พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย."** [Online]. Available :http://www2.eppo.go.th/doc/doc-AlterFuel.html กระทรวงพลังงาน.

[5] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **"พลังงานเพื่อความเข้าใจ ใช้อย่างรู้คุณค่า พัฒนาสู่ความยั่งยืน."** [Online]. Available :http://www2.eppo.go.th/doc/doce/doc-energy.html กระทรวงพลังงาน.

[6] ปตท.สผ. 2548. **"การประกอบธุรกิจของ ปตท.สผ. และบริษัทย่อย แบบ56."** http://capital.sec.or.th/webapp/corp_fin/datafile/56/20050355T06.DOC. ปตท.สผ.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **"สารานุกรมพลังงานทดแทน"** [Online]. Available :http://webkc.dede.go.th/testmax/node/1326 กระทรวงพลังงาน.

[8] Droege P. 2012. **"100% Renewable Energy - and Beyond - for Cities."** Hafen City University Hamburg World Future Council Foundation Hamburg Germany. [Online]. Available : http://www.worldfuturecouncil.org/fileadmin/user_upload/PDF/100__renewable_energy_for_citys-for_web.pdf

[9] Apergis, N. and Payne J, E. 2010. **"Renewable energy consumption economic growth Evidence from a panel of OECD countrie."** Energy Policy. Vol.38 (1). Pp. 656-660.

[10] Kojima, T. and Meisen, P. 2012. **"How is 100% renewable energy possible in Japan by 2020."**Global Energy Network Institute Japan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Yvonne Deng, Stijn Carnelissen, and Sebestian Klaus. 2010. "**The Ecofys Energy Scenario.**" [Online]. Available : http://www.ourplanet.com/the-energy- report/010-Ecofys-Energy-Scenario.pdf

[12] Moomaw W, F. Yamba, M. Kamimoto, L. Maurice, J. Nyboer, K. Urama, T. Weir, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer. and C.von Stechow (eds). 2011. "**Introduction In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.**" Cambridge United Kingdom and New York USA : Cambridge University Press.

[13] ผศ. ดร. อู่ตะเภา.//2558.//Optimization.// [Slide]. //คณะวิศวกรรมศาตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน : //สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[14] Asst. Prof. Dr. Benjamas Panomruttanarug. //2558.//EE 603 Advanced Mathematics for Electrical Engineering// [Slide]. //ณะวิศวกรรมศาตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า //มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

[15] IPASS. 2009. "**ปัญหาโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์.**" [Online]. Available : https://ipass.wordpress.com/2009/06/25/ปัญหาโปรแกรมเชิงคณิตศา/

[16] GAMS. 2017. "Download GAMS Distribution 24.8.5," [Online]. Available : https://www.gams.com/download/ GAMS : Washington, DC.

[17] จักรกริช กิตติพงษ์ชัยกิจ. 2559. "**แบบจำลองการประเมินค่าทางคณิตศาสตร์เพื่อบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรณีศึกษา เมืองโบราณอู่ทอง** (A Mathematical Model for Solid Waste Management: Case Study for U-Thong Ancient city)." คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[18] Souvik Sen a, Sourav Ganguly b, Ayanangshu Das b, Joyjeet Sen b, Sourav Dey. 2015. "**Renewable energy scenario in India: Opportunities and challenges.**" Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, West Bengal, India

[19] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. "**คำศัพท์พลังงานน่ารู้.**" [Online]. Available : http://www.eppo.go.th/Energy_Dict/T.htm. กระทรวงพลังงาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] หทัยรัตน์ ปาลาศ. 2558 . "**การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า ในสานักงาน คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม** (The Carbon Dioxide Emissions Assessment from Electricity Consumption in the Office of Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment)" คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[21] กระทรวงพลังงาน.2555. **"ข้อมูลการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ราคาเชื้อเพลิงและต้นทุนการผลิตไฟฟ้า."** [Online]. Available : http://www.touchtechdesign.com/eppo/ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับ/ข้อมูลการก่อสร้างโรงไฟ/ กระทรวงพลังงาน.

[22] Electricity Generating. 2008. **"เลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า."** [Online]. Available : file:///C:/User /windows%208.1/Desktop/EGCO.html

[23] Gina McCarthy. 2008. **"General Reporting Protocol ; The Climate Registry."** Version. 1.1 [Online]. Available : http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/General_Reporting_Protocol.pdf Accurate, transparent and consistent measurement of greenhouse gases across By North America.

[24] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2554.**"เรื่องการใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย."** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลการวิเคราะห์โปรแกรม
multi objective optimization

ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมตั้งแต่ R1,R2 = 0.01 – 0.99 ปี2558 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} Kg CO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.01	0.99	19.5	0	6320.3	403.35	128772.4	0	0	0
0.02	0.98	15.2	8.15	6320.3	403.35	90368.35	4384	34020	0
0.03	0.97	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.04	0.96	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.05	0.95	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.06	0.94	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.07	0.93	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.08	0.92	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.09	0.91	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.1	0.9	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.11	0.89	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.12	0.88	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.13	0.87	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.14	0.86	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.15	0.85	6.33	2.73	6320.3	403.35	0	4384	34020	90368.35
0.16	0.84	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.17	0.83	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.18	0.82	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.19	0.81	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.2	0.8	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.21	0.79	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} Kg CO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.22	0.78	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.23	0.77	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.24	0.76	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.25	0.75	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.26	0.74	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.27	0.73	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.28	0.72	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.29	0.71	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.3	0.7	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.31	0.69	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.32	0.68	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.33	0.67	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.34	0.66	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.35	0.65	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.36	0.64	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.37	0.63	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.38	0.62	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.39	0.61	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.4	0.6	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.41	0.59	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.42	0.58	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.43	0.57	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.44	0.56	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.45	0.55	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.46	0.54	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.47	0.53	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.48	0.52	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.49	0.51	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.5	0.5	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} Kg CO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.51	0.49	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.52	0.48	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.53	0.47	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.54	0.46	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.55	0.45	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.56	0.44	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.57	0.43	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.58	0.42	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.59	0.41	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.6	0.4	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.61	0.39	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.62	0.38	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.63	0.37	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.64	0.36	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.65	0.35	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.66	0.34	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.67	0.33	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.68	0.32	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.69	0.31	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.7	0.3	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.71	0.29	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.72	0.28	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.73	0.27	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.74	0.26	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.75	0.25	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.76	0.24	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.77	0.23	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.78	0.22	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.79	0.21	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2558 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		($X\ 10^{12}$ บาท)	($X\ 10^{11}$ Kg CO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.8	0.2	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.81	0.19	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.82	0.18	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.83	0.17	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.84	0.16	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.85	0.15	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.86	0.14	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.87	0.13	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.88	0.12	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.89	0.11	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.9	0.1	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.91	0.09	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.92	0.08	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.93	0.07	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.94	0.06	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.95	0.05	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.96	0.04	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.97	0.03	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.98	0.02	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.99	0.01	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.96	0.04	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.97	0.03	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.98	0.02	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7
0.99	0.01	6.32	2.74	6320.3	0	0	4384	34020	90771.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม R1,R2 = 0.01 – 0.99 ปี พ.ศ.2564 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} kgCO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.01	0.99	26.22	0	6320.3	403.35	174110.35	0	0	0
0.02	0.98	21.99	0.81	6320.3	403.35	135710	4384	34020	0
0.03	0.97	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.04	0.96	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.05	0.95	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.06	0.94	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.07	0.93	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.08	0.92	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.09	0.91	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.1	0.9	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.11	0.89	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.12	0.88	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.13	0.87	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.14	0.86	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.15	0.85	8.624	3.695	6320.3	403.35	0	4384	34020	135710
0.16	0.84	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.17	0.83	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.18	0.82	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.19	0.81	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.2	0.8	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.21	0.79	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.22	0.78	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.23	0.77	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.24	0.76	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.25	0.75	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.26	0.74	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.27	0.73	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} kgCO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.28	0.72	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.29	0.71	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.3	0.7	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.31	0.69	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.32	0.68	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.33	0.67	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.34	0.66	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.35	0.65	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.35	0.65	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.35	0.65	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.36	0.64	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.37	0.63	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.38	0.62	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.39	0.61	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.4	0.6	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.41	0.59	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.42	0.58	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.43	0.57	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.44	0.56	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.45	0.55	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.46	0.54	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.47	0.53	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.48	0.52	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.49	0.51	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.5	0.5	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.51	0.49	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.52	0.48	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.53	0.47	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.54	0.46	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.55	0.45	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} kgCO_2e)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.56	0.44	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.57	0.43	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.58	0.42	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.59	0.41	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.6	0.4	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.61	0.39	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.62	0.38	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.63	0.37	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.64	0.36	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.65	0.35	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.66	0.34	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.67	0.33	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.68	0.32	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.69	0.31	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.69	0.31	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.69	0.31	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.7	0.3	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.71	0.29	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.72	0.28	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.73	0.27	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.74	0.26	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.75	0.25	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.76	0.24	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.77	0.23	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.78	0.22	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.79	0.21	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.8	0.2	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.81	0.19	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.82	0.18	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.83	0.17	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ Multi objective optimization ปี พ.ศ.2564 (ต่อ)

R1	R2	Z1	Z2	X14	X13	X12	X10	X8	X2
		(X 10^{12} บาท)	(X 10^{11} $kgCO_2e$)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)	(ktoe)
0.84	0.16	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.85	0.15	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.86	0.14	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.87	0.13	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.88	0.12	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.89	0.11	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.9	0.1	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.91	0.09	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.92	0.08	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.93	0.07	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.94	0.06	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.95	0.05	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.96	0.04	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.97	0.03	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.98	0.02	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.99	0.01	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.96	0.04	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.97	0.03	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.98	0.02	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110
0.99	0.01	8.619	3.704	6320.3	0	0	4384	34020	136110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพิศมัย เจนใจ
วัน เดือน ปีเกิด	13 กันยายน 2532 ที่จ.พะเยา
ที่อยู่	31/183 หมู่บ้านสุขกมลคันทรีโฮม ถ.สุขประยูร
	ต.หนองกะขะ อ.พานทอง จ.ชลบุรี 20160
ประวัติการศึกษา	2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบงาน Pre-cast concrete
	2.) เขียนแบบ 2D AutoCAD, 3D Google Sketchup
	3.) ระบบงานโปรแกรม Microsoft AX Dynamic
	4.) ภาษานอร์เวย์ (Level B1)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2554-2555	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบ บริษัทยงสวัสดอนสตรัคชั่น จำกัด จ.ชลบุรี
พ.ศ.2555-2557	Work and Study at Norway (ประเทศนอร์เวย์)
	รับงานพิเศษ เขียนแบบให้กับ Lika AS (Eikanger Norway)
พ.ศ.2558-2559	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบ บริษัทยงสวัสดอนสตรัคชั่น จำกัด จ.ชลบุรี
พ.ศ.2559-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรวางแผนผลิต บริษัทยงคอนกรีต จำกัด สาขา 4 จ.ชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้