การวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินภายในประเทศไทย

นางสาวมาณวิกา พรมแบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Scenario Analysis of Coal Transportation in Thailand

Miss Marnwika Promban

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินภายในประเทศไทย
โดย	นางสาวมาณวิกา พรมแบน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.นันท์ บุญยฉัตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาณวิกา พรมแบน : การวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินภายในประเทศไทย (Scenario Analysis of Coal Transportation in Thailand) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย, 131 หน้า.

เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น กระทรวงพลังงานผ่านการจัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 หรือ PDP2015 กำหนดให้เพิ่มโรงไฟฟ้าจากถ่านหิน หากเป็นตามแผนในปี พ.ศ. 2578 โรงผลิตไฟฟ้ารวมต้องการถ่านหินเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมากถึงปีละ 20 ล้านตัน ปริมาณถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัสดังกล่าวสะท้อนความท้าทายในการกำหนดกลยุทธ์การขนส่งถ่านหิน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าถ่านหินด้วยค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ที่สามารถแข่งขันได้ในขณะเดียวกันต้องสร้างภาระกับระบบขนส่งสาธารณะและกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด นอกจากความท้าทายด้านโลจิสติกส์แล้วแผนดังกล่าวถูกกระทบด้วยการตรวจสอบของชุมชนและแรงกดดันทางการเมืองทำให้อาจเกิดการเลื่อนหรือการยกเลิกการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพื่อนำเสนอถึงความไม่แน่นอนนี้ แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงเส้นแบบผสมเชิงคงทนจึงถูกประยุกต์เพื่อเลือกรูปแบบการขนส่งและตำแหน่งจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่เหมาะสม นอกจากนี้แบบจำลองยังช่วยนำเสนอพารามิเตอร์หลักที่ส่งผลกับแผนการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน อาทิเช่น ความต้องการถ่านหิน และตำแหน่งจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5770275821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: COAL LOGISTIC / NETWORK OPTIMIZATION / MIXED-LINEAR PROGRAMMING / UNCERTAINTY DEMAND

MARNWIKA PROMBAN: Scenario Analysis of Coal Transportation in Thailand. ADVISOR: ASST. PROF. ORAN KITTITHREERAPRONCHAI, Ph.D., 131 pp.

To response for the increases of electricity demands in Thailand, Ministry of Energy through Power Development Plan 2015 mandates the commissioning of additional coal-fired electricity generation plants. According to the plan, the full-scale operation in 2035 requires additional twenty million tons per annum. This unprecedented quantity of sub-bituminous and bituminous coals reflects a strategic challenge as coals must be imported and transported to the plants at a competitive logistics cost while minimizing disruption of public transportation and environmental impacts. In addition to this logistics challenge, the plan also faces with local community scrutiny and politics pressures that may delay or even cancel some coal-fired power plants. To elaborate these uncertainties, a mixed-linear programming is formulated to analyze and assess their impacts by determining suitable modes of transportation and locations of transshipment. The model also highlights key parameters, specifically demand of power plants and locations of transshipment nodes.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดทำเรียบร้อยสมบูรณ์และผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย ที่รับข้าพเจ้าเป็นนิสิตภายใต้ความดูแลและมอบโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาที่ดีมากทั้งในเรื่องแนวทางการดำเนินวิจัย คอยให้ความรู้และอบรมบ่มวิชาที่ข้าพเจ้าไม่ถนัด ชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งเรื่องการดำรงชีวิตในการเติบโตเป็นผู้ใหญ่และการเข้าสังคมกับผู้บริหาร รวมถึงเป็นกำลังใจและแรงกระตุ้นให้การทำงานวิจัยครั้งนี้ออกมาดีและเป็นที่ยอมรับแก่ผู้อื่น ลำดับต่อไป ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งรองศาสตรจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.นันท์ บุญยฉัตร กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่รับหน้าที่เป็นประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนสละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำทั้งแนวทางแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้งานวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้มอบพื้นฐานความรู้ ให้ข้าพเจ้านำไปผสมผสานใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่เกี่ยวข้องในการประสานงานในระบบวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์ ผู้ช่วยวิจัย และคณะนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ห้อง Operation research center และ Center for Health System Analysis ที่สนับสนุนสถานที่ทำงานและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และขอขอบคุณหัวหน้าโครงการศึกษาความเหมาะสมการจัดตั้งคลังและศูนย์กระจายถ่านหิน (Coal Centre)ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รองศาสตรจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และสมาชิกห้อง Industrial Management and Technology center ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าเรียนรู้และเก็บข้อมูลสถานที่จริง อีกทั้งเอื้อเฟื้อข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ และเป็นแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาในวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 3

1.2 วัตถุประสงค์ 9

1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย 9

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 10

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน 10

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.1 รูปแบบการขนส่งภายในประเทศ 12

2.2 การวางแผนการขนส่ง 16

2.3 ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ 17

2.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ 17

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 พลังงานไฟฟ้า และถ่านหิน 24

3.1 แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย 24

3.2 แผนการสร้างโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3 ประเภทถ่านหิน 26
3.4 ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน 29
3.5 ยานพาหนะขนส่งถ่านหิน 33
3.6 อุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงถ่านหิน 37
3.7 กระบวนการขนถ่ายถ่านหินนำเข้า 41
3.8 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยถ่านหินชนิดบิทูมินัส 44
3.9 การประเมินผลสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากการขนส่งถ่านหิน 47
บทที่ 4 การรวบรวมข้อมูล 49
4.1 ศูนย์กระจายถ่านหิน 49
4.2 กลุ่มลูกค้าถ่านหิน 51
4.3 ข้อมูลความต้องการถ่านหิน 52
4.4 ข้อมูลจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง 55
4.5 ข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายโลจิสติกส์ 56
4.6 ปัญหาการขนส่งถ่านหินของแผน PDP 2015 59
บทที่ 5 สถานการณ์การขนส่งถ่านหิน 62
5.1 สถานการณ์การขนส่งถ่านหิน 62
5.1 กรณีมีเฉพาะความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้า 64
5.2 กรณีมีความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าร่วมกับโรงงานอุตสาหกรรม 67
บทที่ 6 แบบจำลองคณิตศาสตร์ 69
6.1 สมมติฐานและข้อกำหนด (Assumptions) 69
6.2 กำหนดเซตและดัชนี (Indices) 71
6.3 กำหนดค่าตัวแปร (Parameters) 71
6.4 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) 72

หน้า

6.5 เงื่อนไขและข้อจำกัด (Constraint) 73
บทที่ 7 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 77
7.1 การขนส่งถ่านหินกรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม 77
7.2 การขนส่งถ่านหินกรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม 80
7.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์เมื่อเกิดแต่ละสถานการณ์ 84
7.4 ค่าใช้จ่ายจากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม 86
7.5 ค่าใช้จ่ายจากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม 87
7.6 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร 89
บทที่ 8 นโยบายการจัดเก็บและการกระจายถ่านหิน 95
8.1 นโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง 95
8.2 การจัดเก็บถ่านหินตามมาตรฐาน 101
8.3 นโยบายการกระจายถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน 102
8.4 การขนส่งถ่านหินตามมาตรฐาน 110
บทที่ 9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 112
9.1 สรุปผลคำตอบจากแบบจำลองเชิงคงทน 112
9.2 สรุปนโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง 115
9.3 สรุปนโยบายการกระจายถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน 115
9.4 ข้อเสนอแนะ 116
รายการอ้างอิง 119
ภาคผนวก 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 131

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 ค่าจริงความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยและแผน PDP2015 1
รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีชนิดต่างๆ 3
รูปที่ 1.3 แนวโน้มการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของตลาดโลก 5
รูปที่ 1.4 บริเวณความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นตามแผน PDP2015 8
รูปที่ 2.1 กระบวนการทำสารละลายข้นโดยทั่วไป 15
รูปที่ 2.2 สรุปกระบวนการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ 18
รูปที่ 2.3 ขอบเขตการทำงานการตัดสินใจเชิงทนทาน 20
รูปที่ 3.1 ปีที่สร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผนและปริมาณถ่านหินล้านตันที่ใช้ 25
รูปที่ 3.2 ลักษณะถ่านหินแอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ ตามลำดับ 27
รูปที่ 3.3 ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน (Coal Value Chain) 30
รูปที่ 3.4 รถบรรทุกถ่านหิน 34
รูปที่ 3.5 เรือบรรทุกถ่านหิน 34
รูปที่ 3.6 รถโบกี้ตู้ใหญ่และรถบรรทุกเกลือตามลำดับ 36
รูปที่ 3.7 รถโบกี้เทข้าง (Bogie Hopper Wagon) 36
รูปที่ 3.8 การขนส่งถ่านหินทางท่อ 37
รูปที่ 3.9 การขนถ่ายถ่านหินสู่รถบรรทุก 38
รูปที่ 3.10 Stacker-Reclaimer 39
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนถ่ายจากเรือบรรทุกถ่านหินแบบสกรูดูดถ่านหิน 39
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนถ่ายจากเรือบรรทุกถ่านหินแบบโซ่กระพ้อตักถ่านหิน 40
รูปที่ 3.13 สายพานลำเลียงถ่านหิน 41
รูปที่ 3.14 แสดงกระบวนการขนถ่ายถ่านหินนำเข้าของประเทศไทย ปี 2553 43
รูปที่ 3.15 ระดับความอันตรายถ่านหินบิทูมินัสตามระบบ NFPA 45

รูปที่ 4.1 พื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 50
รูปที่ 4.2 พื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี 50
รูปที่ 4.3 กลุ่มลูกค้าถ่านหิน 51
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งความต้องการถ่านหินและศูนย์กระจายถ่านหิน 54
รูปที่ 4.5 โครงข่ายโลจิสติกส์ถ่านหิน 60
รูปที่ 4.6 การขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม 61
รูปที่ 5.1 ความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้า EGAT แต่ละสถานการณ์ 65
รูปที่ 5.2 ความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้า EGAT รวมกับโรงงานอุตสาหกรรม 67
รูปที่ 7.1 ปริมาณการขนส่งถ่านหินด้วยรูปแบบต่างๆ กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน 77
รูปที่ 7.2 ปริมาณการขนส่งถ่านหินด้วยรูปแบบต่างๆ กรณีมีความต้องการของโรงงาน 80
รูปที่ 7.3 สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน 84
รูปที่ 7.4 สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีมีความต้องการของโรงงาน 85
รูปที่ 7.5 ส่วนประกอบค่าใช้จ่าย (10^9 บาท) กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน 86
รูปที่ 7.6 ส่วนประกอบค่าใช้จ่าย (10^9 บาท) กรณีมีความต้องการของโรงงาน 88
รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ค่าขนส่งถ่านหินกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร 91
รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ค่ารักษาสินค้าคงคลังกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร 92
รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ค่าสิ่งอำนวยความสะดวกกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร 92
รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ค่าบริหารจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร 93
รูปที่ 8.1 รูปทรงกองถ่านหินขนาดต่างๆ 95
รูปที่ 8.2 ลักษณะทรงกองถ่านหินที่ท่าเรือนครหลวง 97
รูปที่ 8.3 แผนภาพการทำงานที่ท่าเรือนครหลวง 98
รูปที่ 8.4 แผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินที่มาบตาพุด 103
รูปที่ 8.5 แผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินที่ปัตตานี 108
รูปที่ 8.6 แนวการปลูกต้นไม้และอุปกรณ์ชะลอความเร็วลม 111

รูปที่ 8.7 การสเปรย์สารเคมีร่วมกับน้ำสำหรับรถขนส่งถ่านหิน 111

รูปที่ 9.1 กระบวนการรับเข้าและกระจายออกของถ่านหิน 115

รูปที่ 9.2 โครงข่ายการขนส่งจากศูนย์กระจายปัตตานี 116

รูปที่ 9.3 โครงข่ายการขนส่งจากศูนย์กระจายมาบตาพุด 116

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานผลิตไฟฟ้าระหว่างไทยกับประเทศอาเซียน (ร้อยละ) 2

ตารางที่ 1.2 กำหนดคาปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน..... 4

ตารางที่ 1.3 แผนการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตาม PDP 2015..... 8

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งในโหมดต่างๆ 12

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งในโหมดต่างๆ 13

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านหินแต่ละประเภท..... 28

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของถ่านหินนำเข้า..... 29

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียการขนส่งใน 4 โหมดหลัก 32

ตารางที่ 3.4 ข้อกำหนดของเรือบรรทุกทั่วไป (Dry Bulk Carrier Specification)..... 35

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลออกแบบสายพานสำหรับขนถ่ายถ่านหิน 40

ตารางที่ 4.1 ความต้องการถ่านหิน..... 53

ตารางที่ 4.2 จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง 55

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดพาหนะขนส่งถ่านหิน..... 57

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนมาตรฐาน..... 58

ตารางที่ 5.1 สถานการณ์ที่น่าสนใจ กรณีไม่มีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรม 64

ตารางที่ 5.2 สถานการณ์ที่น่าสนใจ กรณีมีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรม 67

ตารางที่ 7.1 การสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน 78

ตารางที่ 7.2 การสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง กรณีมีความต้องการของโรงงาน 81

ตารางที่ 7.3 ส่วนประกอบของผลคำตอบ (หน่วย 10^9 บาท) กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน.... 86

ตารางที่ 7.4 ส่วนประกอบของผลคำตอบ (หน่วย 10^9 บาท) กรณีมีความต้องการของโรงงาน 87

ตารางที่ 7.5 ระดับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวตัวแปร 89

ตารางที่ 7.6 การวิเคราะห์ความไวของผลการทดลอง..... 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.7 ความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายกับการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 91

ตารางที่ 8.1 สมมติฐานและข้อกำหนด 96

ตารางที่ 8.2 สรุปปริมาตรกองและพื้นที่สำหรับกองถ่านหินที่ท่าเรือนครหลวง 97

ตารางที่ 8.3 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่ท่าเรือนครหลวง 99

ตารางที่ 8.4 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่ท่าเรือกรุงเทพ 99

ตารางที่ 8.5 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่สถานีรถไฟปัตตานี 100

ตารางที่ 8.6 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่สถานีรถไฟห้วยยอด 101

ตารางที่ 8.7 ถ่านหินคงคลังและพื้นที่กันชนศูนย์กระจายมาบตาพุด 102

ตารางที่ 8.8 ข้อมูลจำเพาะเครื่องจักรศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุด 104

ตารางที่ 8.9 การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ 105

ตารางที่ 8.10 การกระจายถ่านหินออกจากศูนย์สู่จุดเปลี่ยนถ่ายโซนกลาง 105

ตารางที่ 8.11 ถ่านหินคงคลังและพื้นที่กันชนศูนย์กระจายปัตตานี 106

ตารางที่ 8.12 การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าโซนใต้ 109

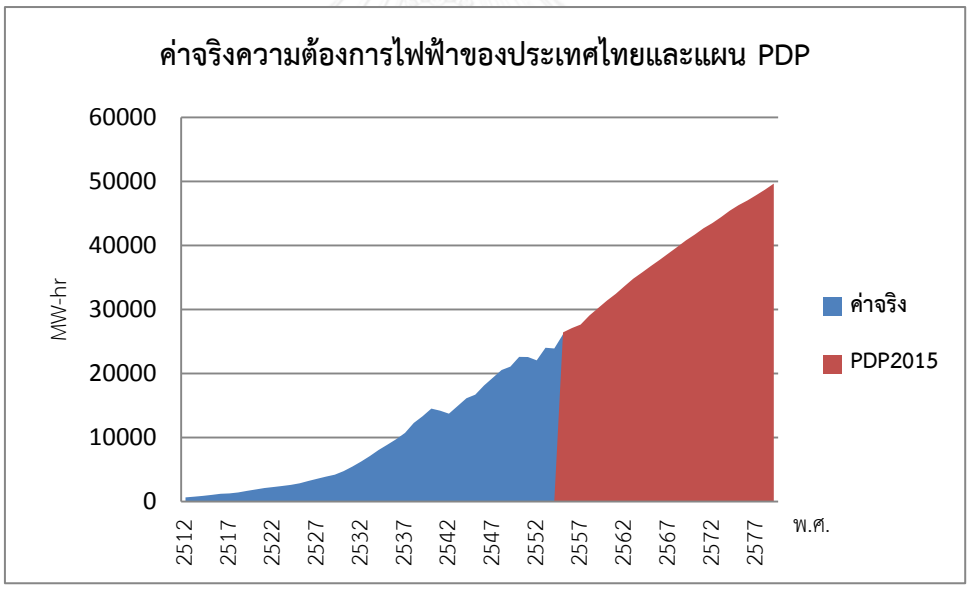
ตารางที่ 9.1 ค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนแต่ละสถานการณ์ 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

สำหรับเนื้อหาในบทนำนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตงานการทำงานวิจัย ผลลัพธ์และประโยชน์ที่ได้รับจากงาน รวมถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้

ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ภาครัฐจึงมีแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) ซึ่งเป็นแผนจัดหาไฟฟ้าในระยะเวลาหลายปีข้างหน้า เพื่อให้เพียงพอต่อการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านและสังคมและเศรษฐกิจ [1] รวมไปถึงนโยบายการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชนิดอื่น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ค่าจริงความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยและแผน PDP2015

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [2]

จากรูปที่ 1.1 แสดงแนวโน้มค่าจริงของความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยจากอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 ที่ 638.10 MW-hr ซึ่งแนวโน้มต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเรื่อยๆ ในแต่ละปี จนถึงปี พ.ศ. 2556 ต้องการใช้ไฟฟ้าถึง 26,942.10 MW-hr จากแนวโน้มนี้จึงเกิดแผนจัดหาไฟฟ้าในระยะยาวให้เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆนี้ โดยเริ่มจากปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2579 หรือ PDP2015 และข้อมูลสถานการณ์การใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าปัจจุบันของประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงแถบเพื่อนบ้านซึ่งสอดคล้องตามแผน PDP2015 ปรากฏในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าระหว่างไทยกับประเทศอาเซียน (ร้อยละ)

ประเภทเชื้อเพลิง	ณ ก.ย.	Malaysia	Indonesia	Philippines	PDP2015
	2557	2558	2558	2558	2579
ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	7	8	6	10	15-20
ถ่านหินสะอาด/ลิกไนต์	**20**	**42**	**59**	**47**	**20-25**
พลังงานหมุนเวียน	8	1	8	12	15-20
ก๊าซธรรมชาติ	**64**	48	18	25	**30-40**
นิวเคลียร์	-	-	-	-	0-5
ดีเซล/น้ำมันเตา	1	1	9	5	-
รวม	100	100	100	100	100

ที่มา : Asian Development Bank-Energy Outlook for Asia and the Pacific (October 2013), MOE [3]

ตารางที่ 1.1 แสดงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงเพื่อมาผลิตไฟฟ้าตามแผน PDP2015 ซึ่งจะลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติลงเหลือร้อยละ 30-40 และเพิ่มสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียนและการซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศมากขึ้นรวมถึงเชื้อเพลิงถ่านหินด้วย และจากการเปรียบเทียบสัดส่วนเชื้อเพลิงการผลิตไฟฟ้าระหว่างประเทศไทยกับประเทศอาเซียนบางประเทศพบว่าประเทศไทยยังคงพึ่งพาถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าประเทศเพื่อนบ้าน สาเหตุของการพึ่งพาถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศต่างๆทั่วโลก คือมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและสามารถจัดการปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมได้โดยใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด จึงได้รับการพิจารณาให้เพิ่มบทบาทในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งแผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าฉบับปัจจุบัน ได้กำหนดให้ลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติซึ่งมีสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 65 และเพิ่มสัดส่วนแหล่งพลังงานหมุนเวียนหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ โดยได้กำหนดให้สร้างโรงไฟฟ้าลิกไนต์แม่เมาะทดแทนเครื่องเก่ากำลังการผลิตไฟฟ้า 1,565 MW-hr และโรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาดรวม 6 โรง กำลังการผลิตไฟฟ้า 5,800 MW-hr ได้กำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 7,365 MW-hr ภายในระยะเวลา 20 ปี

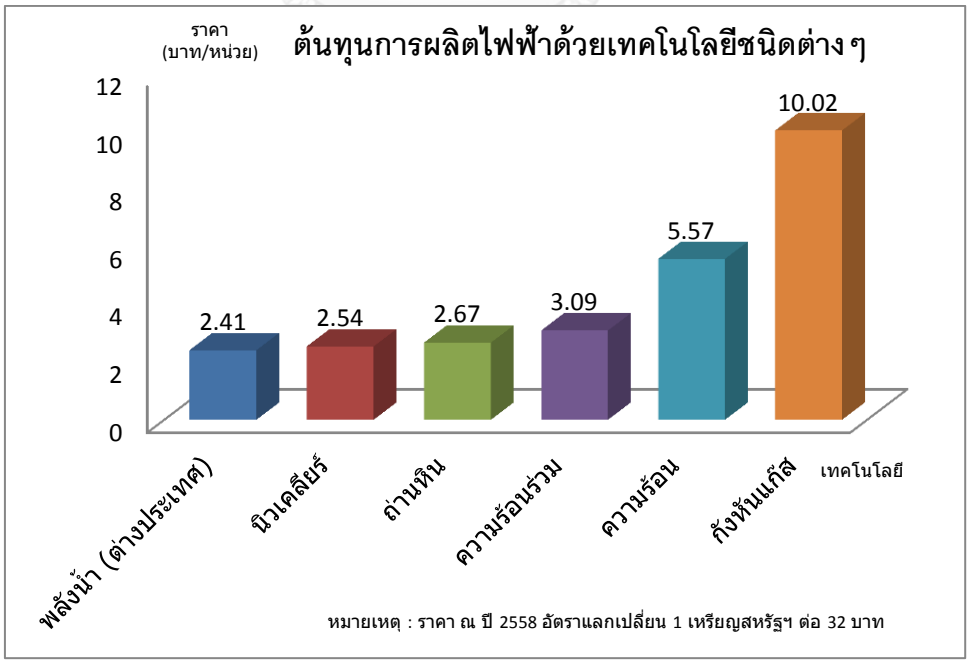
เพื่อตอบสนองต่อแผนดังกล่าวการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งจะต้องจัดหาและใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเฉลี่ยปีละ 20 ล้านตัน หรือ 600 ล้านตันตลอดอายุของโรงไฟฟ้าถ่านหิน 30 ปี ซึ่งปริมาณความต้องการถ่านหินปีละ 20 ล้านตันนั้น ใกล้เคียงกับปริมาณนำเข้าถ่านหินทั้งหมดในแต่ละปีของประเทศเพื่อใช้ในภาคผลิตไฟฟ้าและภาคอุตสาหกรรมของไทยในปัจจุบัน โดยการจัดหาถ่าน

หินจะต้องเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมดเนื่องจากปริมาณถ่านหินในประเทศมีจำกัดและไม่เหมาะสมกับการใช้งานเชิงพาณิชย์เนื่องจากคุณภาพต่ำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แผน PDP2015 พิจารณาให้มีการกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม ซึ่งการเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจะต้องพิจารณาถึงศักยภาพของแหล่งเชื้อเพลิง ความมั่นคงในการจัดหาราคาของเชื้อเพลิง และปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิง รวมถึงประเภทของโรงไฟฟ้าที่ต้องการในระบบเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยชนิดของเชื้อเพลิงที่ กฟผ. ได้พิจารณาเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ พลังน้ำ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซ-ธรรมชาติเหลว (Liquid Natural Gas: LNG) ลิกไนต์/ถ่านหิน นิวเคลียร์ และการซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน นอกจากนี้ยังมีพลังงานทดแทน ซึ่งได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวภาพ เป็นต้น

โรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดซึ่งบรรจุอยู่ในแผน PDP2015 เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานและทดแทนโรงไฟฟ้าเก่าที่ถูกปลดระวาง ซึ่งถ่านหินมีคุณสมบัติเหมาะสมตามเกณฑ์การเลือกเชื้อเพลิงมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ทั้งด้านราคาและการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีต่างๆ ดังรูปที่ 1.2



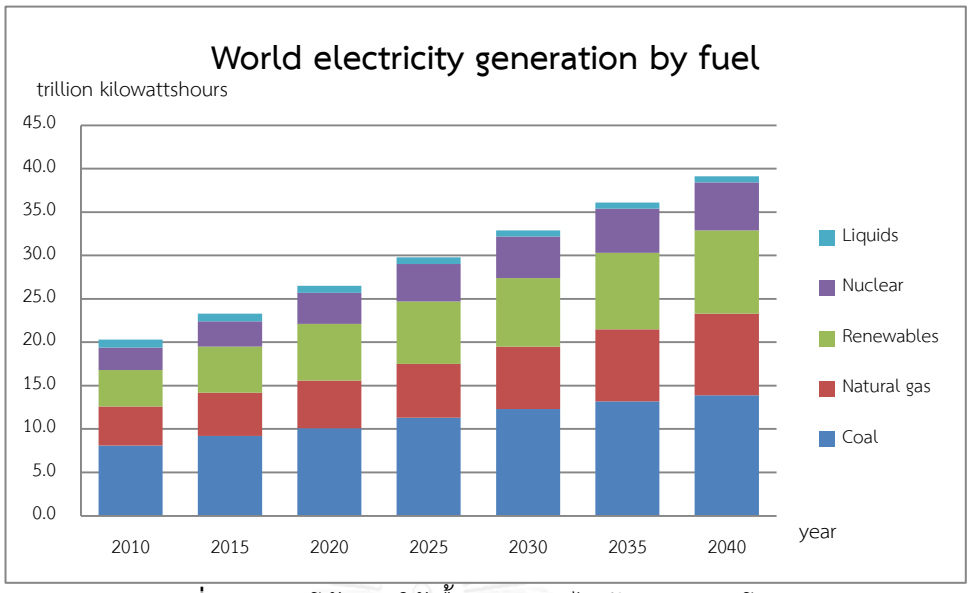
รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีชนิดต่างๆ
ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน [2]

จากรูปที่ 1.2 เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีชนิดต่างๆในปัจจุบัน ณ ปี พ.ศ.2558 จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหินค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแบบอื่น เนื่องจากถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสำรองมากกว่าเชื้อเพลิงอื่นและกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก แตกต่างกับแหล่งสำรองน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่มากในบางบริเวณของโลกเท่านั้น เช่น แถบตะวันออกกลาง หากมีการใช้ถ่านหินเท่ากับปริมาณที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติม โลกเราสามารถใช้ถ่านหินต่อไปได้อีกถึงประมาณ 200 ปี ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติมีเหลือใช้ได้ 64 ปี ส่วนน้ำมันนั้นมีเหลือใช้อีกเพียง 42 ปี เท่านั้น จึงทำให้ถ่านหินราคาค่อนข้างต่ำและมีเสถียรภาพ และแม้ว่าถ่านหินเองจะมีความสะอาดน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นก็ตาม แต่ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความก้าวหน้าและทันสมัย โดยพิสูจน์ได้ว่าสามารถลดมวลสารจากการเผาไหม้ถ่านหินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมให้ค่า Emission อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ดังนั้นในโลกนี้จึงมีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 1.2 [4] และดังรูปที่ 1.3

ตารางที่ 1.2 กำหนดคาปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน

สารเจือปนในอากาศ	ประเภท	ขนาด	ค่าปริมาณ
SO_2 (ppm)	โรงไฟฟ้าเก่า	ทุกขนาด	700
	โรงไฟฟ้าใหม่	<300 MW	640
		300-500 MW	450
		>500 MW	320
No_x (ppm)	โรงไฟฟ้าเก่า	ทุกขนาด	400
	โรงไฟฟ้าใหม่	ทุกขนาด	350
Dust (mg/m^3)	โรงไฟฟ้าเก่า	ทุกขนาด	320
	โรงไฟฟ้าใหม่	ทุกขนาด	120
CO (ppm)	-		690
Hg (mg/m^3)	-		2.4

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.3 แนวโน้มการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของตลาดโลก

ที่มา : EIA [5]

จากรูปที่1.3 แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนมีแนวโน้มการเติบโตเร็วที่สุด เนื่องจากพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มเหลือใช้น้อยลงและยังปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน ส่งผลให้มีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น แต่สำหรับประเทศไทยพลังงานทดแทนเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากพลังงานทดแทนดังกล่าวมีลักษณะกระจายอยู่ตามธรรมชาติ สามารถใช้งานได้บางพื้นที่เท่านั้นและไม่มีความสม่ำเสมอของผลผลิต ทำให้การลงทุนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าจึงสูงกว่าการใช้น้ำมันและถ่านหิน ดังนั้นเชื้อเพลิงถ่านหินก็ยังคงเป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนใช้ผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในปี 2040 ของโลกเช่นเดิม

ประเภทของโรงไฟฟ้า

นอกจากการพิจารณาชนิดของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าแล้ว จะต้องพิจารณาประเภทของโรงไฟฟ้าประกอบด้วย เพราะโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทมีความเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทมีการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันด้วย โดย กฟผ. มีการเลือกใช้ประเภทโรงไฟฟ้าและชนิดของเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงเวลา [6] ดังนี้

- **โรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าตามความต้องการพื้นฐาน (Base Load Plant)**

  เป็นโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงราคาถูกเป็นลำดับ

แรกได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermal) ซึ่งใช้น้ำมันเตาหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle) ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

- **โรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าปานกลาง (Intermediate Plant)** จะใช้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle) ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และหากก๊าซธรรมชาติไม่มีหรือขัดข้องในการส่งจ่ายก๊าซ จะต้องใช้น้ำมันดีเซลแทน ทำให้เกิดต้นทุนเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น
- **โรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peaking Plant)** มีลักษณะของการเดินเครื่องเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเท่านั้น ได้แก่ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังน้ำและโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท จะมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประเภทของโรงไฟฟ้า ที่จะเดินเครื่องให้มีความสอดคล้องกับความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ในปัจจุบันลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบ แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ระหว่าง 9:00-22:00น. และช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด (Off Peak) ระหว่าง 22:00-9:00น. โดยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ธุรกิจขนาดเล็ก และธุรกิจเฉพาะอย่าง เช่น โรงแรม จะใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงหัวค่ำ อุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนธุรกิจขนาดใหญ่จะใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงบ่าย ดังนั้น ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด กฟผ. ก็จำเป็นต้องเดินเครื่องโรงไฟฟ้าตามความต้องการทั้ง 3 แบบ ไปพร้อมกัน

โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินจึงมีความสำคัญอย่างสูงต่อการพัฒนาประเทศสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากเหตุผลข้างต้น และการที่ประเทศไทยจะสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินมาใช้เพิ่มในระบบ จึงต้องมีการวางแผนการนำเข้าถ่านหินคุณภาพดีจากต่างประเทศ การจัดการระบบจัดเก็บถ่านหินและการกระจายถ่านหินไปสู่โรงไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องวางแผนและควบคุมให้มีความเสถียรและเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า

ศูนย์กระจายถ่านหิน

ศูนย์กระจายถ่านหินที่จัดตั้งขึ้นต้องสามารถรองรับปริมาณความต้องการของโรงไฟฟ้าถ่านหิน รวมทั้งอุตสาหกรรมลูกค้าที่ต้องใช้ถ่านหินอีกด้วย โดยต้องคำนึงถึงสาธารณูปโภคพื้นฐานที่มีอยู่และการขนส่งถ่านหินไปยังลูกค้ากลุ่มเป้าหมายให้มีระดับความพอใจสูงเป็นที่ยอมรับได้

เพื่อให้การดำเนินงานของศูนย์กระจายถ่านหินเป็นไปตามมาตรฐานการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (EHIA) จึงควรมีระบบจัดการที่ดี ด้วยการทำงานในระบบปิด ใช้อุปกรณ์

ขนถ่ายระบบปิด เช่น สกรูดูดถ่านหิน ซึ่งดูดถ่านหินจากเรือเข้าสายพานโดยตรง และใช้สายพานลำเลียงที่มีแผ่นกำบังลมปิดกั้นและยังมีการติดตั้งอุปกรณ์สเปรย์น้ำที่จุดขนถ่ายเพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย โดยน้ำจากการสเปรย์จะถูกรวบรวมลงถังพักและสูบกลับเพื่อนำมาบำบัดด้วยสารเคมี ลานกองถ่านหินควรใช้พลาสติกกันซึมคุณภาพดี (High Density Polyethylene: HDPE) ปูพื้นด้านล่างเพื่อป้องกันปัญหาน้ำซึมลงสู่ใต้ดิน ทำการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นก่อนนำเข้าโกดังกองเก็บ นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดฝุ่นละอองทุกๆ 3 เดือน และสร้างกำแพงต้นไม้กันลมปะทะกับลานกองถ่านหินโดยตรง ซึ่งยังลดเสียงดังจากการทำงานลงได้อีกด้วย ไซโลปิดขนาดใหญ่ที่จะเก็บถ่านหินควรเก็บไว้ได้นานสูงสุดเพียงหนึ่งเดือนเท่านั้นเพื่อป้องกันการประทุของถ่านหินอันจะก่อให้เกิดไฟไหม้ได้ และควรมีตัววัดอุณหภูมิไว้หลายจุด หากอุณหภูมิตรงจุดใดมีความร้อนเกิน 90 องศาเซลเซียส ก็จะมีน้ำพ่นลงมาอัตโนมัติทันที [7]

ด้านการขนส่งควรใช้ระบบปิดทั้งหมด การขนส่งถ่านหินด้วยเรือจะใช้เรือบรรทุกระบบปิด รถไฟจะใช้ตู้คอนเทรนเนอร์แบบปิด ส่วนรถบรรทุกจะกำหนดให้ทุกคันต้องคลุมผ้าใบมิดชิด และทำความสะอาดล้อรถด้วยบ่อล้างล้อแล้วพ่นสเปรย์น้ำรอบคันก่อนออกจากศูนย์กระจายถ่านหินทุกครั้ง เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย

ด้วยเหตุผลต่างๆตามที่ได้กล่าวอธิบายข้างต้น กฟผ. จึงมีแนวคิดที่จะจัดตั้งคลังหรือศูนย์กระจายถ่านหิน (Coal Terminal) ขึ้น เพื่อรวบรวม คัดสรร และปรับแต่งถ่านหินให้ได้คุณสมบัติที่เป็นมาตรฐาน เหมาะที่จะใช้ในโรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาด และเพื่อเป็นคลังสำรองไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน โดยกำหนดให้คลังหรือศูนย์กระจายถ่านหินนี้จะต้องสามารถส่งถ่านหินป้อนให้แก่โรงไฟฟ้าถ่านหินของ กฟผ. และของเอกชนที่จะสร้างใหม่ หรือที่มีอยู่เดิม และเนื่องด้วยปริมาณการจัดหาเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าการจัดซื้อจัดหาในปริมาณที่น้อย กฟผ. ก็อาจจะสามารถขายถ่านหินที่มีอยู่ให้แก่ภาคอุตสาหกรรมได้อีกทางหนึ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสทางธุรกิจ โดยต้องคำนึงถึงการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในราคาต้นทุนที่เหมาะสมยอมรับได้ เนื่องจากต้นทุนค่าขนส่งถ่านมีผลอย่างมากถึงร้อยละ 50 ของต้นทุนโลจิสติกส์

นอกจากปัญหาด้านแนวทางเลือกการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน เพื่อกระจายไปยังโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดที่จะสร้างขึ้นตามแผนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยภายในระยะเวลา 20 ปี สรุปดังตาราง 1.3 และเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจแสดงดังรูปที่ 1.4 ประเด็นที่น่าสนใจเพิ่มเติมคือโอกาสที่จะสร้างศูนย์กระจายถ่านหินให้เกิดขึ้น รวมถึงความไม่แน่นอนของโรงไฟฟ้าถ่านหินที่จะสร้างให้แล้วเสร็จและจ่ายไฟเข้าระบบได้ตามแผน PDP2015 อีกทั้งมีลำดับปีในการสร้างไม่พร้อมกัน หรือเกิดปัญหาทำให้ต้องเลื่อนการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินออกไปไม่เป็นไปตามแผน จึงต้องมีการวิเคราะห์แนวทางเลือกการขนส่งถ่านหินที่จะรองรับความไม่แน่นอนเหล่านี้ไว้ด้วย

ตารางที่ 1.3 แผนการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตาม PDP 2015

โรงไฟฟ้า	จังหวัด	ปี	ประเภท	กำลังผลิต(MW)	ความต้องการเฉลี่ย(ตัน/วัน)
โรงไฟฟ้าแม่เมาะทดแทน เครื่องที่4-7	ลำปาง	2561	ลิกไนต์	600	8,504
โรงไฟฟ้าถ่านหินกระบี่	กระบี่	2562	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	800	8,256
โรงไฟฟ้าถ่านหินเทพา 1	สงขลา	2564	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	1,000	10,320
โรงไฟฟ้าแม่เมาะทดแทน เครื่องที่8-9	ลำปาง	2565	ลิกไนต์	450	6,378
โรงไฟฟ้าถ่านหินเทพา 2	สงขลา	2567	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	1,000	10,320
โรงไฟฟ้าแม่เมาะทดแทน เครื่องที่10-11	ลำปาง	2568	ลิกไนต์	515	7,299
โรงไฟฟ้าถ่านหิน เครื่อง 4	ภาคกลาง	2576	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	1,000	10,320
โรงไฟฟ้าถ่านหิน เครื่อง 5	ภาคใต้	2577	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	1,000	10,320
โรงไฟฟ้าถ่านหิน เครื่อง 6	ภาคกลาง	2578	บิทูมินัส/ซับบิทูมินัส	1,000	10,320

จากตารางจะเห็นว่าความต้องการถ่านหินมีทั้งภาคเหนือและภาคใต้ 6 หน่วยโรงไฟฟ้าซึ่งเป็นโครงการที่มีภาระผูกพันและเพื่อความมั่นคงของระบบ และอีก 3 หน่วยโรงไฟฟ้าที่ภาคกลางและภาคใต้ยังไม่ระบุแน่นอน จึงต้องมีการวางแผนการขนส่งกระจายถ่านหินที่จะเปลี่ยนไปตามการสร้างโรงไฟฟ้าในปีนั้นๆด้วย

รูปที่ 1.4 บริเวณความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นตามแผน PDP2015

จากรูปที่ 1.4 จะพิจารณาการกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าที่จะสร้างตามแผนสีฟ้า ซึ่งขนาดวงกลมแสดงถึงปริมาณถ่านหินที่ต้องการใช้ จะเห็นว่าความต้องการส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้คือกระบี่และสงขลารวม 2,800 MW-hr และภาคเหนือที่ลำปางอีก 1,565 MW-hr และความต้องการอีก 3,000MW-hr ในเส้นประสีเขียวยังไม่ระบุสถานที่แน่นอน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเน้นพิจารณาการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาดใหม่ที่จะสร้างขึ้น ซึ่งใช้เชื้อเพลิงถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัส เป็นจำนวน 6 หน่วยโรงไฟฟ้าบริเวณภาคกลางและบริเวณภาคใต้ กำลังการผลิตรวม 5,800 MW-hr

1.2 วัตถุประสงค์

ออกแบบโครงข่ายกระจายถ่านหินและนโยบายกองเก็บก่อนบรรทุกขึ้นพาหนะจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานผลิตไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1. พิจารณาการขนส่งกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน ที่ขนถ่ายมายังยานพาหนะแล้วไปยังโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าถ่านหินที่จะสร้างตามแผนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในยี่สิบปี
2. ออกแบบการขนส่งถ่านหินตามมาตรฐานความปลอดภัยสากล จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยสารเคมีชนิดถ่านหินบิทูมินัส ตามข้อกำหนดของ U.S. OSHA และด้วยมาตรฐานสิ่งแวดล้อมสากล เรื่องการประเมินผลสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งถ่านหิน ของ U.S. EPA
3. ออกแบบและวิเคราะห์การขนส่ง ด้วยมาตรการป้องกันฝุ่นและกลิ่นที่มีประสิทธิภาพ, มีระบบสเปรย์น้ำและจัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสีย, ใช้มาตรการป้องกันถ่านลุกไหม้ และบริเวณกองเก็บให้ใช้ผ้าใบปิดปกคลุมให้มิดชิด
4. วิเคราะห์ครอบคลุมถึงการขนส่งถ่านหินไปในรูปแบบทางบกและทางน้ำถึงโรงไฟฟ้าถ่านหิน หรืออุตสาหกรรมลูกค้าที่ใช้ถ่านหิน และนโยบายการจัดเก็บถ่านหินคงคลังที่จุดเปลี่ยนโหมดการขนส่ง
5. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ประกอบด้วย ด้านธุรการ ด้านการขนส่ง และด้านการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ซึ่งรวมถึงการลงทุนด้านสิ่งอำนวยความสะดวก

6. การวิเคราะห์ไม่ครอบคลุมถึงกิจกรรมภายในศูนย์กระจายถ่านหิน ระบบขนถ่ายถ่านหินและระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใช้ภายในศูนย์กระจายถ่านหิน
7. การวิเคราะห์ไม่ครอบคลุมถึงการจัดการถ่านหินคงคลังนอกเหนือจากจุดเปลี่ยนโหมดการขนส่ง
8. ความต้องการของถ่านหินในโรงงานผลิตไฟฟ้าเป็นไปตามแผน PDP2015 ฉบับ 2015-06-30

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. รูปแบบโครงข่ายการขนส่งถ่านหินในโหมดต่างๆ ที่มีค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์คือ ด้านการบริหารจัดการ ด้านการขนส่ง และด้านการเก็บรักษาถ่านหินคงคลังต่ำที่สุด
2. นโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งและการกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน เพื่อรองรับความต้องการของโรงไฟฟ้าและอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหิน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

นโยบายการจัดเก็บ การกระจายถ่านหินและรูปแบบโครงข่ายการขนส่งกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ถ่านหินต่ำ ราคาขายที่ศูนย์กระจายถ่านหินนี้จึงสามารถจัดตั้งในราคาที่ต่ำหรือถูกลง ใช้เป็นข้อได้เปรียบในเชิงแข่งขันทางธุรกิจได้ อีกทั้งยังมีปริมาณถ่านหินสำรองเพียงพอกับความต้องการของลูกค้าและประชาชนจะได้รับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยลง เมื่อการออกแบบขนส่งถ่านหินคำนึงกฎหมายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาแผนและความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย

ศึกษาแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (ฉบับปัจจุบัน PDP2015) และความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของประชาชนประเทศไทย และระบุปัญหา เป้าหมายของงานวิจัย

2. ศึกษาการใช้ถ่านหินผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาคุณสมบัติของถ่านหิน ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน กระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงถ่านหินและเทคโนโลยีสมัยใหม่ถ่านหินสะอาด ขั้นตอนการนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศและการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจาย ถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าและอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหิน

3. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านการขนส่งถ่านหิน ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัดและพารามิเตอร์ที่นำมาใช้สร้างแบบจำลอง ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและวิเคราะห์เทคนิคที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อนเป็นแนวทางในการทำวิจัย

4. วิเคราะห์โหมดการขนส่งและปริมาณการจัดเก็บถ่านหิน

ออกแบบเส้นทางการขนส่งถ่านหินนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเริ่มจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังลูกค้า และจัดทำนโยบายการจัดเก็บถ่านหินคงคลังที่จุดเปลี่ยนโหมดขนส่งเพื่อรองรับความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 20 ปี รวมถึงอุตสาหกรรมลูกค้าที่ใช้ถ่านหิน

5. สร้างแบบจำลองวิเคราะห์รูปแบบการขนส่งถ่านหินและค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้น

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ (ค่าขนส่ง ค่าเก็บถ่านหินคงคลัง ค่าธุรการ) ที่เกิดขึ้นจากรูปแบบเส้นทางการขนส่งถ่านหินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

6. สรุปผลการดำเนินวิจัยการขนส่งถ่านหินในรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสม

สรุปนโยบายการจัดเก็บกองถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งก่อนขนถ่ายขึ้นยานพาหนะและโครงข่ายการขนส่งถ่านหินที่เหมาะสมสำหรับลูกค้าที่มีความต้องการใช้ถ่านหิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยรูปแบบการขนส่งภายในประเทศ การวางแผนการขนส่ง ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ และแบบจำลองคณิตศาสตร์ นอกจากนั้นยังกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ห่วงโซ่อุปทานถ่านหิน แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทน และข้อกำหนดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของถ่านหิน

2.1 รูปแบบการขนส่งภายในประเทศ

โดยปกติที่ตั้งทางเลือกที่น่าสนใจมีความเป็นไปได้หลากหลาย มีทั้งขยายจากที่ตั้งเดิมหรือสร้างเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งที่หรือมากกว่านั้น โดยที่ค่าขนส่งภายในประเทศเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของที่ตั้งสถานีทางเลือกแต่ละที่ ซึ่งจะพิจารณาที่ที่ถูกที่สุดจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านการพัฒนาที่ตั้งรวมกับสิ่งอำนวยความสะดวกการขนส่งภายในประเทศ ภายใต้เงื่อนไขที่สมเหตุสมผลและเพียงพอต่อความต้องการ ดังตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการขนส่งสินค้าภายในประเทศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน [8]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งในโหมดต่างๆ

รูปแบบ	รถบรรทุก	รถไฟ	เรือ	ท่อ	สายพาน
ความหยืดหยุ่นเส้นทาง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ความยืดหยุ่นสถานี	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
ความเร็ว	ปานกลาง-สูง	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ช่วงปฏิบัติงาน (ไมล์)	สูง	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
การขยายตัว	สูง	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความเป็นอิสระ	ปานกลาง	ต่ำ	-	สูง	ปานกลาง
ไม่ขึ้นกับฤดูกาล	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูงมาก	สูงมาก
ความยืดหยุ่น	สูง	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง
ความจุ	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-สูง	ต่ำ-สูง	-	-
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง

จากการเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งในโหมดต่างๆ จะเห็นว่าแต่ละโหมดมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบแตกต่างกัน การที่จะเลือกใช้โหมดใดในการขนส่งจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย

ร่วมกัน รวมถึงความเหมาะสมของสินค้าที่จะส่งและความเหมาะสมของโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศด้วย และหากพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งในโหมดต่างๆ เปรียบเทียบได้ดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งในโหมดต่างๆ

รูปแบบ	องค์ประกอบต้นทุน		
	สิทธิผ่านทาง	**ต้นทุนพาหนะ**	**ต้นทุนดำเนินการ**
รถบรรทุก	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
รถไฟ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง
เรือทะเล	ต่ำ	สูง	ต่ำ
เรือ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง-สูง
ท่อ	สูง	-	ต่ำ
สายพาน	สูง	-	ต่ำ

รถบรรทุก

การขนส่งด้วยรถบรรทุกมีความหยืดหยุ่นสูงด้วยถนนทางหลวงที่มีอยู่เดิม การลงทุนทำเพียงซื้อรถบรรทุกเพิ่มเข้ามาในระบบ การขยายระบบทำได้ง่ายและถูกกว่าการขนส่งแบบอื่นๆ และเหมาะสมกับรูปแบบที่แหล่งผลิตหรือแหล่งส่งสินค้ามีหลายๆที่

การขนส่งด้วยรถบรรทุกจะแพงที่สุดถ้าทำงานเฉพาะวันทำงานปกติ (1 หรือ 2 กะ, 5 หรือ 6 วันต่อสัปดาห์) และการจัดตารางการเดินรถทำได้ยาก เนื่องจากความแปรปรวนของเวลาที่รถบรรทุกมาถึงมีสูงกว่าระบบอื่น ด้วยปัจจัยทั้งสองทำให้ระบบนี้ต้องมีการเก็บสินค้าคงคลังมากขึ้น จึงต้องมีการลงทุนพื้นฐานระบบขนถ่ายสินค้าขึ้น-ลง และถ้ามีการกักตุนสินค้าไว้เพียงพอที่ท่าเรือก็ไม่จำเป็นต้องลงทุนรถบรรทุกเพิ่มในช่วงที่มีความต้องการสินค้าสูง ส่วนค่าขนส่งทางถนนนี้ประเมินได้ยากขึ้นกับรูปแบบและคุณภาพถนน (ถนนขรุขระทำให้เปลืองน้ำมัน ต้องเปลี่ยนยางและซ่อมแซมสูงขึ้น) การก่อสร้างถนนก็ขึ้นกับภูมิประเทศ ภูมิอากาศ สภาพดิน และค่าจ้างแรงงาน

รถไฟ

การขนส่งด้วยรถไฟจะมีบทบาทและราคาถูกมากที่สุด เมื่อระยะทางที่ส่งมากกว่า 20-30 ไมล์ หรือจำนวนที่ส่งมากกว่า 500,000 ตันต่อปี ดังนั้นการเชื่อมต่อรถไฟ และสิ่งอำนวยความสะดวกในการขนย้ายมักรวมเข้าไว้ในสถานีปลายทาง โดยสามารถขนส่งได้โดยตรงจากเรือลงรถไฟหรือขนส่ง

ทางอ้อมโดยเก็บเป็นลานเทกองแล้วขนส่งต่อ ซึ่งจะบริการขนส่ง รวบรวมและเคลื่อนย้ายรถไฟ และโดยปกติรถไฟที่ใช้กับสถานีเทกองจะพ่วง 50-100 โบกี้ โดยข้อพิจารณาที่สำคัญมากที่สุดในการออกแบบโครงข่ายรถไฟในสถานีเทกองคือ ความมีประสิทธิภาพในการขนส่งและขนถ่าย เมื่อขนถ่ายแล้วสามารถกลับไปที่ลานวางเรียงตู้สินค้าได้ทันที โดยทำงานอย่างมีประสิทธิผลทั้งการสับเปลี่ยนการเข้าออกของรถไฟ ไม่ให้กระทบกิจกรรมที่สถานีปลายทาง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาการใช้รถไฟในสถานีคือ

- จำเป็นต้องสร้างทางเชื่อมรถไฟเพิ่ม
- ระยะทางขนส่ง ความหลากหลายของการจราจรและขนาดขนส่ง
- ความง่ายในการเข้าถึงทางเชื่อมรถไฟสายหลัก
- สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่แล้วพร้อมใช้งานที่ท่า

ซึ่งค่าใช้จ่ายการลงทุนรางรถไฟขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ สภาพดิน ค่าจ้างแรงงาน วัสดุ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

เรือ

การขนส่งทางเรือถูกที่สุดในหลายๆภูมิภาคของโลก โดยที่ระบบขึ้นกับความสามารถในการบรรทุกของเรือท้องแบน 1,500-3,000 ตันต่อลำ ซึ่งสามารถพ่วงต่อกันเป็นลำยาวจำกัดที่ 4 ลำในยุโรปและมากถึง 40 ลำในอเมริกา ขบวนเรือพ่วงเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้เรือลาก (Tow Boat) และอีกส่วนใช้เรือโยง (Tug Boat) ซึ่งการขนส่งทางเรือจะค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเมื่อส่งจากผู้ส่งเจ้าเดียวไปยังผู้รับเจ้าเดียวที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำ

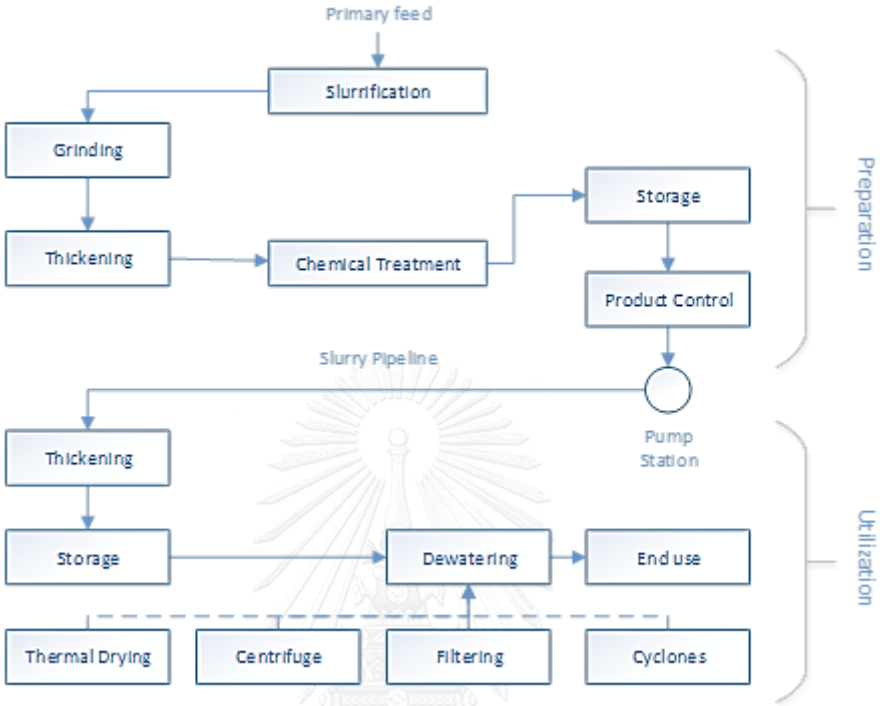
เรือท้องแบนสามารถผสมผสานการขนส่งสินค้าขึ้นลงกับเรือใหญ่เดินทะเลได้ง่าย ที่ผ่านมาสามารถขนถ่ายกับเรือใหญ่ด้วยการทอดสมอทำให้ลดสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการใช้ที่ท่าขนส่งลงได้ ทำให้เป็นประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งทางน้ำในประเทศลดลง เนื่องจากลดการจัดการสินค้าสองต่อลงได้ (ส่งออกจากเรือเดินทะเลมาที่สถานีชายฝั่งแล้วขนส่งสินค้าต่อ) และด้วยเหตุนี้ทำให้ต้องมีการจัดเก็บสินค้าไว้ที่ชายฝั่งด้วย

เรือขนส่งทางทะเล

ใช้ขนส่งสินค้าทางทะเลระหว่างประเทศซึ่งเรือมีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศและสภาพทางทะเล โดยการขนส่งสินค้าเทกองแบบลำเล็กจะลดระยะเวลากิจกรรมที่ใช้ที่ท่าเรือได้มากกว่าลำใหญ่ บางครั้งจึงขนสินค้ามาด้วยเรือทะเลขนาดใหญ่ (มากกว่า 100,000 ตัน) ตามทางเดินเรือทะเลหลัก แล้วระบายออกไปกับเรือทะเลขนาดเล็กลงมา แต่ต้องตระหนักว่าขนาดของเรือเล็กต้องไม่ต่ำกว่า 7,000 ตัน เพราะค่าขนส่งต่อหน่วยของสินค้าจะสูงขึ้น

ท่อ

การขนส่งด้วยท่อเหมาะกับวัสดุที่เป็นผงแล้วเคลื่อนที่ด้วยกระแสน้ำหรือเป็นสารละลายข้นนั่นเอง กระบวนการทำสารละลายข้นดังภาพที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการทำสารละลายข้นโดยทั่วไป

ที่มา : World Bank staff [8]

จากรูปจะต้องมีการเตรียมวัสดุให้เหมาะสมกับการขนส่งทางท่อโดยการบดวัสดุให้ละเอียดผสมน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมหรืออาจมีการปรับสภาพด้วยสารเคมี เก็บไว้ในถังพักและตรวจสอบคุณภาพก่อนส่งไปด้วยปั๊ม และก่อนจะนำวัสดุนั้นไปใช้ต้องทำการเอาน้ำออกด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การใช้ความร้อน การใช้แรงเหวี่ยง เป็นต้น (ขนส่งถ่านหินทางท่อทำได้โดย นำถ่านหินมาบดให้ละเอียดเล็กที่สุดแล้วผสมด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพื่อปรับค่าความหนืดเมื่อผสมกับน้ำแล้วปั๊มส่งไปทางท่อ)

ในบริเวณพื้นที่ขรุขระภูมิประเทศไม่เอื้ออำนวย ทางขนส่งหลักไม่สามารถเข้าถึง การขนส่งทางท่ออาจเป็นวิธีเดียวที่จะรองรับความต้องการรับส่งวัสดุนั้นได้ โดยค่าขนส่งหลักจะอยู่ที่การนำน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งการขนส่งถ่านหินด้วยวิธีนี้ จะทำให้ค่าความร้อนต่ำลงเล็กน้อยจากปกติเพราะมีน้ำส่วนเกิน แต่ก็เป็นประโยชน์ในการขนส่งด้วยวิธีนี้คือในกระบวนการเตรียมถ่านหินสามารถรวมเข้ากับกระบวนการล้างซึ่งจะทำความสะอาดถ่านหิน ทำให้ค่าเถ้าถ่านลดลงจากร้อยละ 70 เหลือร้อยละ15 ได้ และยังสามารถเอาน้ำออกได้ง่ายด้วยการเทบนตะแกรงแล้วส่งต่อทางเรือได้เลย ซึ่งระหว่างขนส่ง

ทางเรือน้ำก็ระเหยออกจากถ่านหินไปด้วยอีกทาง ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถเผาไปกับถ่านหินได้อีกด้วย

สายพาน

สายพานเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขนสินค้าแบบเทกอง อุปกรณ์ขนถ่ายต้องการทั้งสำหรับนำสินค้าลงและออกจากสายพาน วิธีนี้ทั้งง่ายในการจัดการและลงทุนต่ำ ซึ่งระยะทางขนส่งน้อยกว่า 5 ไมลล์จะถูกที่สุดสำหรับการขนส่งสินค้าเทกอง แต่มีข้อควรระวังคือการเสียของระบบสายพานเป็นสาเหตุให้การทำงานทั้งระบบต้องหยุดตามไปด้วย ต่างกับรถบรรทุกและรถไฟเวลาเสียไม่ส่งผลกระทบกับการทำงานทั้งระบบ ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ระบบสายพานขนส่งในระยะสั้น

กระเช้าลอยฟ้า

ระบบนี้ประกอบไปด้วยสายเคเบิ้ลที่ติดตั้งกับหอสูงประมาณ 500 เมตร และตู้ที่แขวนกับสายเคเบิ้ลเคลื่อนด้วยมอเตอร์วนเป็นวงแหวน แต่ละตู้สามารถขนสินค้าได้ถึง 150 ตัน ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการขนส่งด้วยวิธีอื่น การลงทุนก่อสร้างด้วยวิธีนี้จะต่ำเมื่อขนสินค้าปริมาณน้อยและเป็นตู้เดี่ยว และด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันระบบนี้สามารถทนทานต่อแผ่นดินไหวได้ดี

2.2 การวางแผนการขนส่ง

การวางแผนการขนส่ง จะพิจารณาในหัวข้อ ที่เกี่ยวโยงกับความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและระบบขนส่ง ลักษณะการใช้พื้นที่ เศรษฐกิจ และทางเลือกในการดำเนินการขนส่ง ความต้องการขนส่งในอนาคต และผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากระบบขนส่ง [9] โดยระดับของการวางแผนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ตามระยะเวลาที่วางแผน ได้แก่ ระดับปฏิบัติการ ระดับยุทธวิธี และระดับยุทธศาสตร์ [10] ซึ่งการวางแผนในทุกระดับต้องคำนึงถึงจุดสมดุลระหว่างระดับบริการในการตอบสนองลูกค้าและต้นทุนการดำเนินงานอีกด้วย

- ระดับปฏิบัติการ

เป็นการวางแผนที่กำหนดจุดมุ่งหมายระยะสั้น ควบคุมให้การผลิตเป็นไปตามมาตรฐาน กฎเกณฑ์และของรายงานประจำวัน ประจำสัปดาห์และประจำเดือน

- ระดับยุทธวิธี

เป็นการวางแผนระยะสั้นถึงปานกลาง ช่วงเวลา 1-3 ปี เกิดจากการทำงานร่วมกันของผู้บริการขั้นสูงและผู้บริหารขั้นกลาง ให้เป็นไปตามเป้าหมายยุทธวิธีและไปในแนวทางเดียวกับแผนกลยุทธ์

- ระดับยุทธศาสตร์

เป็นการวางแผนระยะยาวช่วง 5-10 ปี ซึ่งจะสอดคล้องกับแผนระดับนโยบายที่ถูกจัดทำขึ้นโดยผู้บริหารระดับสูง

2.3 ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์

โครงสร้างระหว่างต้นทุนกับกิจกรรมโลจิสติกส์ [11] ประกอบไปด้วย

- **ต้นทุนการขายสินค้า**

  เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบริหารสำนักงาน กิจกรรมการขายสินค้าและการกระจายสินค้า

- **ต้นทุนกระบวนการสั่งซื้อและข้อมูลการสั่งซื้อ**

  เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากกิจกรรมการสั่งซื้อ รวมไปถึงการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในอนาคต

- **ต้นทุนสินค้าตามปริมาณที่สั่งซื้อ**

  เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความถี่และปริมาณที่สั่งผลิต โดยการสั่งซื้อคราวละปริมาณมาก หรือผลิตคราวละมากๆ จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

- **ต้นทุนการจัดการคลังสินค้า**

  เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากกิจกรรมบริหารคลังสินค้า การเลือกสถานที่ตั้งในการจัดเก็บสินค้า

- **ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง**

  เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการควบคุมสินค้าคงคลัง ให้มีปริมาณที่สามารถรองรับต่อความไม่แน่นอนของความต้องการตลาด และรวมถึงการซ่อมแซมและทำลายสินค้าที่ชำรุด

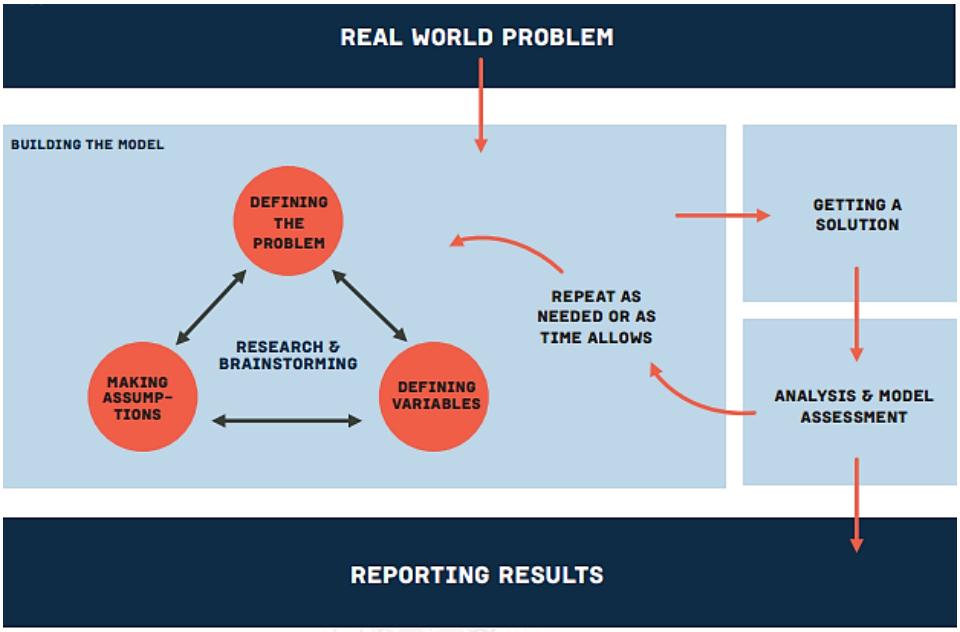
- **ต้นทุนการขนส่ง**

  เป็นค่าใช้จ่ายหลักในการบริหารโลจิกติกส์ที่มีความจำเป็นและควรตระหนักเป็นพิเศษ เช่น การวางแผนรูปแบบการขนส่ง เป็นต้น

2.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สามารถเป็นตัวแทนของระบบหรือทางเลือกที่มีประโยชน์ในการทำความเข้าใจกับปัญหาของโลกความเป็นจริงทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งสามารถทำนายพฤติกรรมในอนาคตของระบบได้อีกด้วย ทำให้แบบจำลองมีใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาวิชาต่างๆ อีกทั้งผู้นำองค์กรสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจกิจกรรม

หรือกลยุทธ์ทางธุรกิจได้อีกด้วย ซึ่งสามารถทำความเข้าใจส่วนประกอบของการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังแผนภาพรูปที่ 2.2 แต่จากแผนภาพไม่จำเป็นต้องทำตามขั้นตอนเป็นลำดับ เนื่องจากบางครั้งต้องมีการปรับปรุงแก้ไขและทำซ้ำบางขั้นตอน



รูปที่ 2.2 สรุปกระบวนการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

ที่มา : Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) [12]

กระบวนการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์กับปัญหาจริง ประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนหลักๆ

1. **การกำหนดปัญหา** ด้วยปัญหาในชีวิตจริงที่ยุ่งยากซับซ้อน ขั้นตอนนี้จึงสำคัญมากเพราะจะนำไปซึ่งคำตอบของปัญหา และหากไม่ทำให้กำหนดปัญหาได้อย่างกระจ่างและถูกต้อง เป็นสาเหตุให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาตามต้องการ
2. **การตั้งสมมุติฐาน** เนื่องจากปัญหาที่ใหญ่ ซับซ้อน และเป็นไปได้ในหลายรูปแบบ การตั้งสมมุติฐานช่วยให้ปัญหาชัดเจนขึ้นและสามารถลดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์นั้นลงได้
3. **กำหนดตัวแปร** ปัจจัยหลักใดที่ส่งผลต่อปัญหาและใช้เป็นสิ่งตัดสินใจ โดยต้องจำแนกตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในแบบจำลอง เพราะทุกค่าล้วนมีผลต่อแบบจำลองที่สร้างและคำตอบที่จะได้ออกมา
4. **ผลลัพธ์ที่ได้** จากการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองอาจเกิดคำตอบได้หลายค่าหรือไม่พบคำตอบเลย จึงต้องพิจารณาว่าคำตอบที่ได้แก้ปัญหาที่ตั้งไว้หรือไม่ และจะมีประโยชน์มากหากใช้เทคโนโลยีอื่นร่วมในการตัดสินใจคำตอบ

5. **วิเคราะห์แบบจำลอง** เป็นการวิเคราะห์ย้อนกลับเพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับแบบจำลอง หาจุดอ่อนจุดแข็งและความอ่อนไหวของแบบจำลองเพื่อปรับปรุงต่อไป
6. **การรายงานผล** การสร้างแบบจำลองจะไม่มีประโยชน์เลยหากไม่มีการรายงานผลและบอกวิธีการประยุกต์กับปัญหา ซึ่งแต่ละรูปแบบจำลองจะเหมาะสมกับบริบทที่ต่างกัน

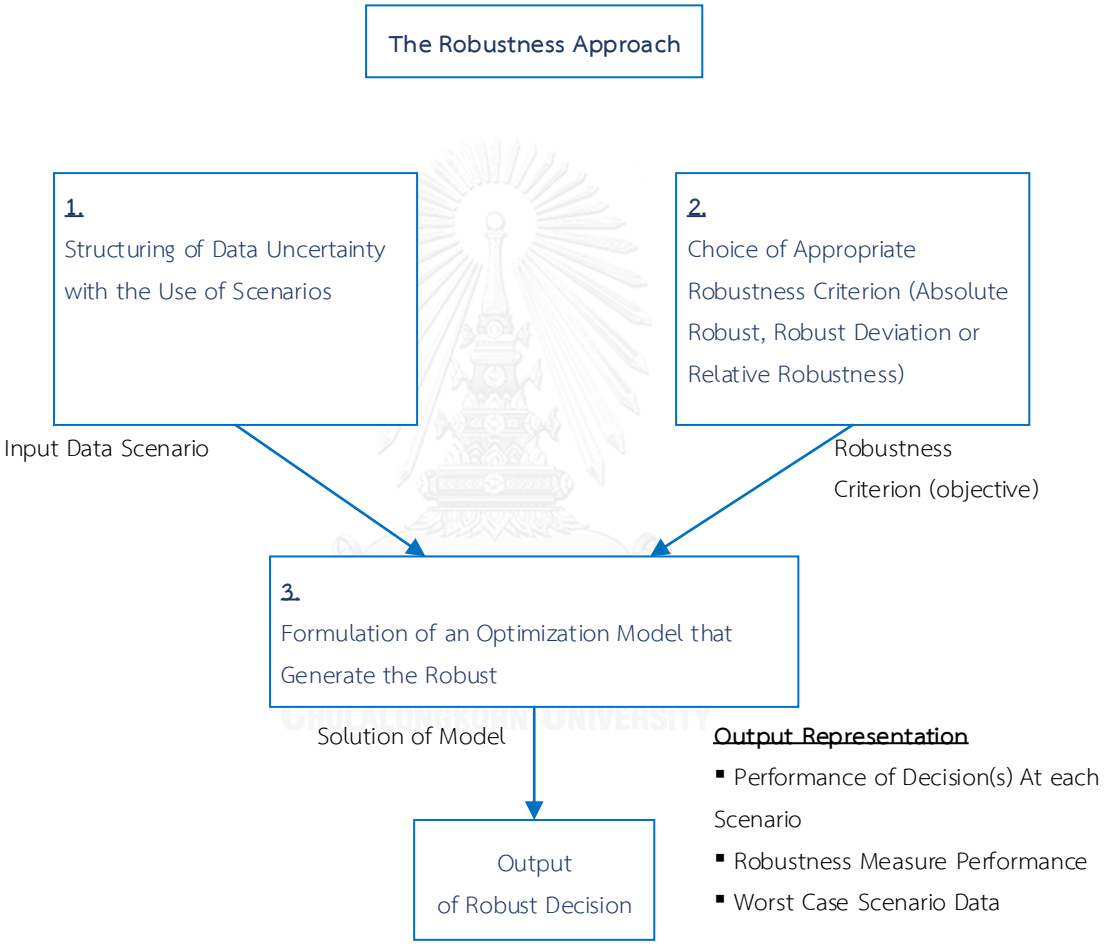
ประเภทของแบบจำลองคณิตศาสตร์

สามารถจำแนกประเภทแบบจำลองคณิตศาสตร์ ได้เป็น 3 ลักษณะคือ [13]

1. ตามกาลเวลา สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ
   1.1 แบบจำลองสถิติ (Static model) เป็นการตัดสินใจตามช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลา
   1.2 แบบจำลองพลวัต (Dynamic model) คำตอบของแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับเวลา การตัดสินใจช่วงแรกจะส่งผลต่อช่วงถัดไป
2. ตามตามความต่อเนื่อง สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ
   2.1 แบบจำลองต่อเนื่อง (Continuous model) เป็นแบบจำลองที่มีการนำข้อมูลเข้าต่อเนื่องตลอดเวลา
   2.2 แบบจำลองไม่ต่อเนื่อง (Discrete model) เป็นแบบจำลองที่การนำข้อมูลเข้าไม่ต่อเนื่องกัน
3. ตามความแน่นอน สามารถแบ่งเป็น 3 แบบ
   3.1 แบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic model) เป็นแบบจำลองที่มีข้อมูลนำเข้าที่แน่นอน โดยอาจนำเอาค่าเฉลี่ยทางสถิติของข้อมูลมาใช้ คำตอบของแบบจำลองจึงมีผลที่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือตัวแปรได้มาก
   3.2 แบบจำลองเชิงสถิติ (Stochastic model) เป็นแบบจำลองที่มีข้อมูลนำเข้าอย่างน้อย 1 ตัว อยู่ในรูปแบบตัวแปรสุ่ม ซึ่งคำตอบที่ได้จะเป็นในเชิงคาดคะเน สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่อยู่ในช่วงการพิจารณาได้ แต่ต้องอาศัยเวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างนาน
   3.3 แบบจำลองเชิงคงทน (Robust model) เป็นแบบจำลองที่นำสถานการณ์ที่น่าสนใจมาพิจารณาว่าถ้าเกิดเหตุการณ์ขึ้นจะส่งผลอย่างไร ข้อมูลที่นำเข้าบางค่าจึงแปรผันไปตาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สถานการณ์นั้นๆ ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีความคงทนต่อความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ดี และเนื่องจากสถานการณ์ที่นำมาพิจารณานั้นจะมีผลต่อคำตอบ การเลือกสถานการณ์จึงต้องพิจารณาด้วยว่ามีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคตอีกหรือไม่ ดังรูปที่ 2.4 Kouvelis and Yu (1977) ได้สร้างกรอบการทำงานของการตัดสินใจเชิงคงทนและการประยุกต์ใช้การเข้าสู่ผลเฉลยเชิงสภาพคงทนนั้น



รูปที่ 2.3 ขอบเขตการทำงานการตัดสินใจเชิงทนทาน

ที่มา : Kouvelis and Yu [14]

จากรูปแสดงขอบเขตการทำงานการตัดสินใจเชิงทนทานเป็นส่วนหลักๆ 3 ส่วนคือ การสร้างข้อมูลที่ไม่แน่นอนด้วยสถานการณ์ต่างๆ การเลือกเกณฑ์การตัดสินผลเฉลยเชิงสภาพทนทานที่เหมาะ

สม และการสร้างรูปแบบการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อการตัดสินใจเชิงทนทาน ซึ่งจุดเด่นของวิธีนี้คือ ผลคำตอบจะเปลี่ยนไปตามการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมสถานการณ์เข้าสู่เซตของความไม่แน่นอน ทำให้การสร้างสถานการณ์ที่ครอบคลุมความจริงทั้งระบบแล้ว คำตอบก็จะครอบคลุมด้วยเช่นกัน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนามาจากพื้นฐานความรู้งานวิจัย 3 ส่วน คือห่วงโซ่อุปทานถ่านหินซึ่งรวมถึงการขนส่งถ่านหิน ข้อกำหนดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของถ่านหิน และแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทน

ห่วงโซ่อุปทานถ่านหิน

ตั้งแต่ปีค.ศ. 1990 วารสารวิชาการเกี่ยวกับการหาค่าที่ดีที่สุดของการขนส่งถือเป็นหลักในงานวิจัยเกี่ยวกับการบริหารห่วงโซ่อุปทาน วิธีการที่แตกต่างได้ถูกพัฒนาขึ้น เช่น สมการเชิงเส้นตรง สมการที่ไม่ใช่เส้นตรง และการจำลองสถานการณ์ เป็นต้น Joskow (1985) [15] ได้ศึกษาทฤษฎีและวิเคราะห์โครงสร้างทางตรงการดำเนินการอุปทานถ่านหินระหว่างโรงไฟฟ้าและเหมืองผู้ผลิต ผลลัพธ์ในเชิงปฏิบัติมีแนวโน้มไปกับทฤษฎีการทำนายค่าดำเนินการของกิจกรรมถ่านหิน ต่อมา Gang และคณะ (2005)[16] จัดทำตารางเส้นทางขนส่งถ่านหินสำหรับโรงไฟฟ้าบนแม่น้ำ Yangtze เพื่อจะทำให้ค่าขนส่งทั้งหมดต่ำที่สุดซึ่งผสมผสานระหว่างความต้องการของโรงไฟฟ้าในเมืองเซี่ยงไฮ้กับแบบจำลองการขนส่งดั้งเดิม หลังจากนั้น Govel (2010)[17] เสนอแบบจำลองที่ผสมการขนส่งสินค้าและเส้นทางตัวเลือกภายใต้การขนส่งต่อเนื่องหลายแบบ ซึ่งใช้เทคนิคจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเทคโนโลยีความสามารถในการติดตามที่มองเห็นได้สามารถปรับปรุงการขนส่งให้ตรงต่อเวลาได้ ต่อมาDebin และคณะ (2011)[18] วางแผนจัดสรรขนส่งถ่านหินจากท่า 3 แห่งให้กับโรงไฟฟ้า 3 ที่ เพื่อให้ค่าขนส่งและค่าจัดเก็บต่ำที่สุดและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้มีส่วนร่วมคือโรงไฟฟ้า บริษัทขนส่งถ่านหินและศูนย์กระจายถ่านหิน และผลวิเคราะห์ความอ่อนไหวยังใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงองค์กรได้ต่อไป แต่งานวิจัยนี้ยังไม่รองรับสถานการณ์ที่ไม่แน่นอนได้ เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้เป็นค่าที่แน่นอนทำให้มีแผนการปรับปรุงแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงในอนาคต ต่อมาYuceka (2013)[19] พัฒนาแบบจำลองสมการเชิงเส้นตรงเพื่อหาสัดส่วนผู้ผลิตประเภทถ่านหินและเส้นทางขนส่งเพื่อให้ค่าจัดซื้อและค่าขนส่งเชื้อเพลิงถ่านหินสำหรับโรงไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุดและเพียงพอต่อความต้องการภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ ซึ่งวิจัยกรณีศึกษาห่วงโซ่อุปทานถ่านหินที่

ภาคตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา และแบบจำลองนี้สามารถช่วยโรงไฟฟ้าตัดสินใจทำสัญญาซื้อกับผู้ผลิตและลดระยะเวลาคำนวณสำหรับการผลิตในแต่ละวัน ต่อมานักวิจัยผู้นี้ (2013)[20] ได้พัฒนาแบบจำลองสมการเชิงเส้นตรงเดิมและกรณีศึกษาเดิม โดยเพิ่มการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเข้าไปในแบบจำลองและใช้เทคนิค AHP ช่วยในการตัดสินใจอีกครั้ง ทำให้เลือกผู้ผลิตและรูปแบบการขนส่งที่ดีที่สุด ต่อมา Xiushan Jiang และคณะ (2015)[21] วิเคราะห์การขนส่งถ่านหินในระบบโลจิสติกส์และกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าเพื่อสร้างแบบจำลองราคาซึ่งมีทั้งค่าใช้จ่ายภายในและค่าใช้จ่ายภายนอก สรุปว่าการขนส่งทางทะเลกับรถไฟค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดและการขนส่งระยะไกลสัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

ข้อกำหนดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของถ่านหิน

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่หันมาใส่ใจชีวิตความเป็นอยู่และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของถ่านหินมาให้ศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้น Speed(2003)[22] ได้ศึกษาข้อกำหนดเกี่ยวกับถ่านหินกรณีศึกษาที่ประเทศจีน พบว่าโครงสร้างสถาบันที่ดูแลถ่านหินมีความยุ่งยากและซับซ้อนไม่เหมาะสมกับเหมืองถ่านหินที่มีขนาดเล็ก การจัดตั้งสถาบันเฉพาะเพื่อดูแลโดยตรงในเขตทั้งกฎหมาย ข้อกำหนด งานบริหารและบริการรวมอยู่ที่จุดเดียวจะดีกว่า ต่อมา Johnson (2006)[23] ศึกษาผลกระทบกรณีศึกษาศูนย์กระจายถ่านหินที่ประเทศแคนนาดา โดยฝุ่นผงถ่านหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2.36 มิลลิเมตรจะกระจายอยู่ใกล้ศูนย์กระจายถ่านหิน ส่วนนาดเล็กลงมาจะกระจายไปได้ไกลกว่า ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและพืชท้องถิ่นบริเวณใกล้เคียง 0-100 เมตรจากศูนย์กระจายถ่านหิน หลังจากนั้น Busse (2007)[24] วิจัยการใช้ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กรณีศึกษาที่ Powder River Basin ซึ่งส่งผลต่อตลาดการค้าถ่านหินที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ต่ำไม่เพียงแค่จำนวนแต่ส่งผลถึงราคาจำหน่ายด้วย และส่งผลต่อการขนส่งหลักทางรถไฟด้วยปัจจัย 2 อย่างคือ ความแตกต่างของความต้องการสินค้าภายใต้สองข้อกำหนดการควบคุมการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และความสามารถในการควบคุมการขนส่งถ่านหินให้เพียงพอต่อตลาดพลังงาน

แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทน

ข้อเสียหลักของแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิมคือ ค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นค่าคงที่กำหนดแน่นอนซึ่งอาจไม่รองรับต่อธรรมชาติของข้อมูลซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ นักวิจัยหลายท่านจึงประยุกต์ใช้คอนเซ็ปท์การหาค่าที่ดีที่สุดแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic Programming) และสร้าง

ค่าพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอน เป็นรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทน [25] โดยนักวิจัยหลายท่านได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้กับปัญหาวางแผนการขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของความต้องการสินค้า และหรือราคาของเชื้อเพลิงที่ไม่แน่นอน [26-28] ยกตัวอย่างเช่น Nabila และคณะ (2012)[29] ใช้กับปัญหาความไม่แน่นอนของปริมาณเรือที่จะเส้นทางขนส่ง ซึ่งผู้ขนส่งพยายามคาดการณ์ปริมาณเรือล่วงหน้าซึ่งมีการจัดสรรเลนเดินเรือ การคาดการณ์ทั้งน้อยกว่าหรือมากกว่าความเป็นจริงล้วนส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ขนส่ง และผู้อ่านสามารถศึกษาโครงสร้างทฤษฎี การยกตัวอย่างอธิบาย และการสำรวจประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทนเพิ่มเติมได้จาก Dimitri และคณะ (2011) [28]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
พลังงานไฟฟ้า และถ่านหิน

ส่วนนี้จะอธิบายแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย เพื่อให้ทราบถึงแผนปัจจุบันที่นำมาใช้อ้างอิงการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินในการทำวิจัย ประเภทเชื้อเพลิงถ่านหิน ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน และรายละเอียดเกี่ยวกับเอกสารข้อมูลความปลอดภัยถ่านหินและการประเมินผลสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งถ่านหิน

3.1 แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

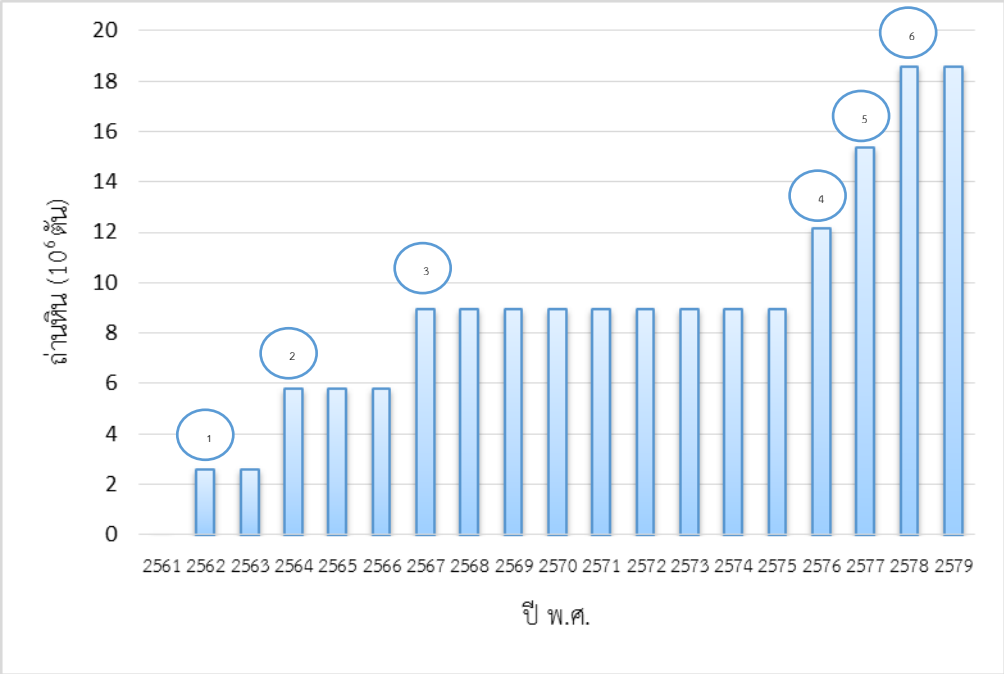
รัฐบาลได้รวมกับรัฐวิสาหกิจที่รับผิดชอบในการจัดหาไฟฟ้า ตั้งแต่ พ.ศ. 2512 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงจัดตั้งขึ้นตามความต้องการไฟฟ้าของประเทศที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และได้เร่งพัฒนาแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน ถ่านหิน แก๊ส น้ำมัน แกลบ และพลังงานน้ำ หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2515 คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติ โครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าลิกไนต์แม่เมาะ พร้อมกับงานขยายเหมืองแม่เมาะเพื่อเพิ่มกำลังผลิต อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเหมืองลิกไนต์ในประเทศไทยใกล้หมดลง และมีคุณภาพต่ำควบคุมมลพิษยากกว่าแบบคุณภาพสูงซึ่งกระทบต่อสุขภาพ นำไปสู่การจัดหาเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีคุณภาพสูงขึ้นในการผลิตไฟฟ้า คือถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัส ซึ่งเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด

แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทยพัฒนามาจากความร่วมมือระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยแผนฉบับแรกสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2550 เพื่อวางแผนขอบข่ายการทำงาน และให้มีความมั่นคง น่าเชื่อถือของระบบจ่ายไฟฟ้าของประเทศ การกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งแผนนี้จะทำการปรับปรุงแก้ไขในทุกๆ 1-2 ปี เพื่อให้ข้อมูลอัพเดทและใกล้เคียงต่อความจริงมากที่สุด และในปัจจุบันแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทยใช้ฉบับ PDP2015

3.2 แผนการสร้างโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด

แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทยล่าสุดฉบับ PDP2015 ได้บรรจุโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัสจำนวน 6 หน่วยโรงไฟฟ้ากำลังการผลิตรวม 5,800 MW-hr โดยการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินจะทยอยสร้างในปีที่แตกต่างกันไปดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งหากโรงไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นและดำเนินการผลิตไฟฟ้าเข้าระบบได้ตามแผน

จะต้องมีการจัดหานำเข้าถ่านหินคุณภาพดีจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นประมาณปีละกว่า 20 ล้านตัน ซึ่งรวมถึงปริมาณถ่านหินสำรองที่พึงมีแต่ละโรงไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 3.1 ปีที่สร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผนและปริมาณถ่านหินล้านตันที่ใช้

จากรูปที่ 3.1 โรงไฟฟ้าถ่านหินหน่วยแรกดำเนินการในปี พ.ศ. 2562 ที่จังหวัดกระบี่ กำลังการผลิต 800 MW-hr ต่อมาในปี พ.ศ. 2564 และ 2567 โรงไฟฟ้าถ่านหินหน่วยที่ 2 และ 3 ดำเนินการตามลำดับที่จังหวัดสงขลา กำลังการผลิตหน่วยละ 1,000 MW-hr และในท้ายแผนพ.ศ. 2576 และ2578 โรงไฟฟ้าถ่านหินหน่วยที่ 4และ6 ดำเนินการตามลำดับที่ภาคกลาง อีกทั้งดำเนินการที่ภาคใต้ในหน่วยที่ 5 พ.ศ. 2577 รวมกำลังการผลิตท้ายแผน 3,000 MW-hr

โรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด

ถ่านหินประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 4ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน รวมถึงยังมีซัลเฟอร์หรือสารอื่นเจือปนอีกเล็กน้อย ถ้าโรงไฟฟ้าถ่านหินเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้ว จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (ก๊าซเรือนกระจก) แต่หากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และขณะเผาถ่านหินซัลเฟอร์ซึ่งเป็นองค์ประกอบในนั้นจะรวมตัวกับออกซิเจนในระบบ เกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดและสามารถไปทำลายระบบนิเวศน์ และไนโตรเจนรวมตัวกับ

ออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซออกไซด์ไนโตรเจน (NO_x) ส่วนขี้เถ้าที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ (Dust) ยังสร้างความรำคาญให้แก่ชุมชนหากไม่ควบคุมดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด คือกระบวนการดูแลและป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมทุกขั้นตอนของการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถกำจัดปัญหามลภาวะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ [30]

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. ก่อนการเผาไหม้

   เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากถ่านหิน เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนของถ่านหินในการเผาไหม้

2. ระหว่างการเผาไหม้

   เป็นการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการปรับปรุงระบบเตาเผาและหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลง

3. หลังการเผาไหม้

   เป็นการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ ได้แก่ ฝุ่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพกว่าร้อยละ 90 จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 ประเภทถ่านหิน

ถ่านหิน (Coal)

ถ่านหินคือหินตะกอนชนิดหนึ่งสามารถติดไฟได้ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ สารประกอบของคาร์บอน ซึ่งจะมีอยู่ไม่น้อยกว่าประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งการเกิดถ่านหินมีความหลากหลายทั้งจากปัจจัยของแหล่งกำเนิด ระยะเวลาและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ทำให้ถ่านหินจากแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน มีองค์ประกอบและคุณสมบัติต่างกัน จึงได้มีการแบ่งประเภทของถ่านหินไว้เป็นระดับตามความสมบูรณ์ทางธรณีวิทยาที่กลายเป็นถ่านหิน (Coalification Process) โดยสามารถแยกประเภทตามลำดับชั้นได้เป็น 4 ประเภท ดังรูปที่ 3.2 คือ

รูปที่ 3.2 ลักษณะถ่านหินแอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ ตามลำดับ
ที่มา : Western Oregon University [31]

1. **แอนทราไซต์ (Anthracite)** เป็นถ่านหินที่ใช้เวลาในการเกิดนานที่สุด นานกว่าบิทูมินัส, ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ มีลักษณะดำเป็นเงา มันวาวมาก มีรอยแตกเว้าแบบก้นหอย มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 90-98 ความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 2-5 มีค่าความร้อนสูงแต่ติดไฟยาก เมื่อติดไฟจะให้เปลวไฟสี น้ำเงิน ไม่มีควัน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่างๆ
2. **บิทูมินัส (Bituminous)** เป็นถ่านหินที่ใช้เวลาในการเกิดนานกว่าซับบิทูมินัสและลิกไนต์ เนื้อแน่น แข็ง มีสีน้ำตาลถึงสีดำสนิท ประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำมันวาว ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการถลุงโลหะและเป็นวัตถุดิบเพื่อเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงอื่นๆ
3. **ซับบิทูมินัส (Subbituminous)** เป็นถ่านหินที่ใช้เวลาในการเกิดนานกว่าลิกไนต์ มีสีน้ำตาลถึงสีดำ ผิวมีทั้งด้านและเป็นมัน มีทั้งเนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง มีความชื้นประมาณร้อยละ 25-30 มีคาร์บอนสูงกว่าลิกไนต์ เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าและงานอุตสาหกรรม
4. **ลิกไนต์ (Lignite)** เป็นถ่านหินที่มีสีน้ำตาลผิวด้าน มีซากพืชหลงเหลืออยู่เล็กน้อย มีคาร์บอนร้อยละ 60-75 มีออกซิเจนค่อนข้างสูง มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 เมื่อติดไฟมีควันและเถ้าถ่านมาก เป็นถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า บ่มใบยาสูบ

จากการแบ่งประเภทถ่านหินตามความสมบูรณ์ทางธรณีวิทยา เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี จะพบว่ามีค่าความร้อน ความชื้น ปริมาณขี้เถ้าและปริมาณกำมะถันแตกต่างกันไปดังตารางที่ 3.1

Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านหินแต่ละประเภท

ประเภทถ่านหิน	ค่าความร้อน	ค่าความชื้น	ปริมาณขี้เถ้า	ปริมาณกำมะถัน
1. แอนทราไซต์	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
2. บิทูมินัส	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
3. ซับบิทูมินัส	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
4. ลิกไนต์	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	สูง	ต่ำ-สูง

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากตารางที่ 3.1 พบว่าถ่านหินประเภทแอนทราไซต์มีคุณสมบัติดีที่สุดคือ ให้ค่าความร้อนสูง ค่าความชื้นต่ำทำให้เผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้นจึงเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง ปริมาณขี้เถ้าและปริมาณกำมะถันต่ำ ทำให้ควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือราคาแพงและมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับถ่านหินชนิดอื่นๆ ดังนั้นถ่านหินชนิดบิทูมินัสและซับบิทูมินัสจึงน่าสนใจทั้งในเรื่องความมั่นคงในการจัดหา ราคา และมลพิษที่มีเทคโนโลยีอันทันสมัยสามารถควบคุมได้ง่าย

ปริมาณความต้องการถ่านหินคุณภาพสูงชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัสที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งโรงไฟฟ้าถ่านหินใช้เป็นเชื้อเพลิงคือถ่านหินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติหลักเป็นไปตามเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบโครงการ ดังตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของถ่านหินนำเข้า

องค์ประกอบ	ค่าที่กำหนด	หน่วย
ค่าความร้อนของถ่านหิน (Heating Value)	4,000-6,000	kcal/kg, gar[1]
ปริมาณความชื้น (Moisture Content)	≤ 30%	ar[2]
ปริมาณเถ้าถ่านหิน (Ash Content)	≤ 17%	ar
ซัลเฟอร์ทั้งหมด (Total Sulfur)	≤ 1%	ar
คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)	≤ 57%	ad[3]
สารระเหย (Volatile Matter)	≥ 25%	ad
ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในเถ้าถ่านหิน (Calcium Oxide in Ash)	≤ 25%	db[4]
คลอรีน (Chlorine)	≤ 0.1%	ad

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พ.ศ.2558

3.4 ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน

ห่วงโซ่คุณค่าของถ่านหิน

ปัจจัยที่สำคัญในการเลือก เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า คือ ต้นทุนที่ต่ำ โดยต้นทุนจะประกอบด้วย ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า ต้นทุนในการดำเนินงาน และต้นทุนเชื้อเพลิง

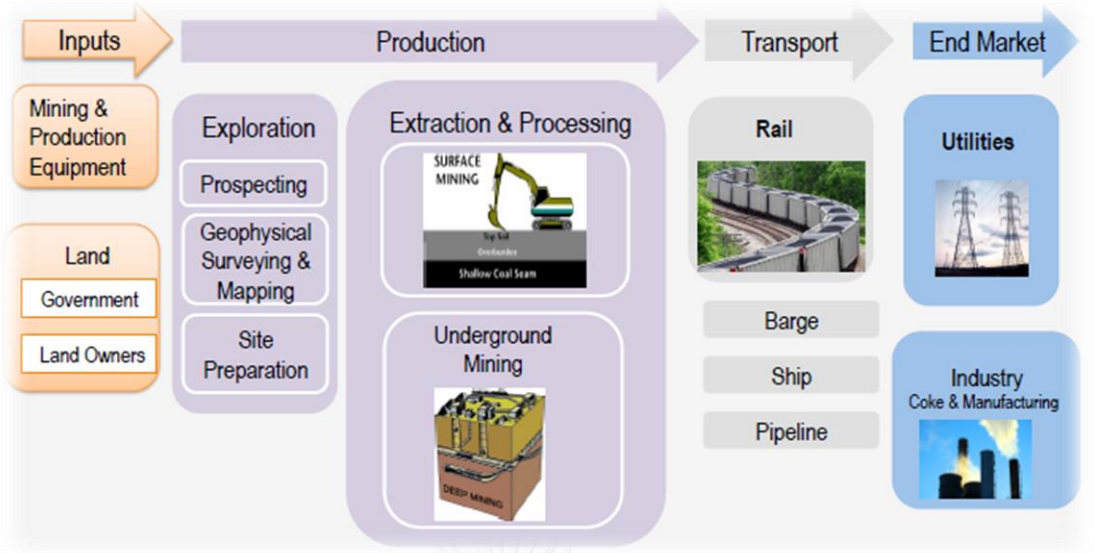
ถ้าหากมองลึกลงไปถึงค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายด้านจัดซื้อ ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง ค่าใช้จ่ายด้านสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายด้านการจัดการ เป็นต้น ซึ่งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเหล่านั้น ควรทำความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน (Coal Value Chain) ซึ่งให้ความสำคัญกับคุณค่าในสายตาของผู้บริโภคเป็นหลัก รวมถึงการจัดการในมุมมองของห่วงโซ่คุณค่า จะมองที่ผู้บริโภคก่อนแล้วถึงจะมองย้อนกลับมายังกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน เพื่อค่อยๆปรับเปลี่ยนประสิทธิภาพการผลิตในขั้นตอนต่างๆจนกลายเป็นสินค้าที่มีคุณค่าตามที่ผู้บริโภคต้องการ ตัวอย่างห่วงโซ่คุณค่าถ่านหินดังรูปที่ 3.3

[1] Gross As Received basis

[2] As Received

[3] Air Dried

[4] Dry Basis



รูปที่ 3.3 ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน (Coal Value Chain)

ที่มา : CGGC [32]

จากรูปที่ 3.3 ห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน (Coal Value Chain) ขององค์กร คือพิจารณาว่าผู้บริโภคใช้ถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอะไรบ้าง แล้วปรับเปลี่ยนองค์กรให้สามารถแข่งขันและอยู่รอดในตลาดธุรกิจนี้ได้ซึ่งเป้าหมายของผู้บริโภคคือต้องการให้ทั้งห่วงโซ่จัดการถ่านหินมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนน้อยที่สุดโดยการวิเคราะห์ต้องคิดทั้งแบบการมองว่าในห่วงโซ่คุณค่าถ่านหิน นั้นส่งผลกระทบต่อรอบข้างอย่างไร และแบบการมองปัจจัยภายนอกหรือผู้เกี่ยวข้องว่ามีผลกระทบต่อองค์กรอย่างไร จากรูปเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีคุณค่าในสายตาผู้บริโภคจึงควรใส่ใจตั้งแต่กระบวนการผลิตที่เหมืองให้มีมาตรฐานและเกิดมลพิษน้อยที่สุดไม่ว่าจะเป็นการทำเหมืองแบบเปิดหรือเหมืองแบบใต้ดิน รวมไปถึงการขนส่งในโหมดต่างๆ ไม่ให้เกิดสารระเหยและการฟุ้งกระจายของถ่านหินมากเกินไป จนกระทั่งส่งถึงโรงไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหิน

แต่ละองค์กรหรือบริษัทจะมีห่วงโซ่คุณค่าเป็นของตัวเอง ประกอบเป็นห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบที่เชื่อมโยงกัน โดยในห่วงโซ่จะมีการไหล 3 แบบคือ

1. **การไหลของวัตถุ**

จะเริ่มจากผู้ผลิตวัตถุดิบและเปลี่ยนสภาพไปเรื่อยๆ จนกลายเป็นสินค้าสำเร็จรูปและส่งต่อไปยังลูกค้า

2. **การไหลของเงินหรือผลตอบแทนจากการขายสินค้า**

จะเคลื่อนที่จากผู้ซื้อหรือผู้บริโภคขั้นสุดท้ายผ่านมาเรื่อยๆจนถึงผู้ผลิตวัตถุดิบขั้นแรก

3. การไหลของข้อมูล

ไหลแบบทั้งไปและกลับ เช่น ข้อมูลของสินค้า ข้อมูลความต้องการของผู้บริโภค ตลอดห่วงโซ่อุปทาน เนื่องจากต้องมีการสื่อสารและตอบสนองกันตลอด เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าและเงินตามที่ตกลงกันไว้

การผลิตถ่านหิน

ปัจจุบันการผลิตถ่านหินทำได้ 2 แบบคือ การทำเหมืองเปิดและการทำเหมืองใต้ดิน ซึ่งจะพิจารณาถึงลักษณะทางธรณีวิทยาของแต่ละแหล่งถ่านหินและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

1. การทำเหมืองแบบเหมืองเปิด

ลักษณะทางธรณีวิทยาจะเหมาะสมกับแหล่งถ่านหินที่อยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก โดยทั่วไปจะมีระดับตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับความลึกประมาณ 500 เมตร ซึ่งรูปแบบในการทำเหมืองประเภทนี้มีการดำเนินการอยู่ 3 แบบ คือ เหมืองเปิดแบบบ่อ เหมืองเปิดแบบเปิดหน้าดินเฉพาะส่วน และเหมืองเปิดตามแบบเครื่องเจาะ

2. การทำเหมืองแบบเหมืองใต้ดิน

การทำเหมืองใต้ดินค่อนข้างอันตราย เนื่องจากในชั้นของถ่านหินจะมีการสะสมตัวของก๊าซมีเทนที่ไวต่อการติดไฟ และเกิดปัญหาของฝุ่นผงฟุ้งกระจายในการขนย้ายถ่านหินออกมาจากแหล่งขุด แต่ด้วยข้อจำกัดทางธรณีวิทยาและทางเศรษศาสตร์ที่ไม่คุ้มจะทำเหมืองแบบเปิด จึงทำเหมืองแบบปิดได้ 2 แบบ คือ เหมืองใต้ดินแบบตามความยาวของผนังเหมือง และเหมืองใต้ดินแบบแบ่งเป็นห้อง

การขนส่งถ่านหิน

สำหรับประเทศไทยสามารถแบ่งโหมดการขนส่งถ่านหินที่มีสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศรองรับ และขึ้นกับระยะทางในการขนส่ง ได้ 6 แบบ คือ การขนส่งทางถนน การขนส่งระบบราง การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางทะเล การขนส่งด้วยสายพาน และการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายวิธี (ตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไป) โดยที่แต่ละโหมดจะมีความเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ไม่เหมือนกัน สามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียบางรูปแบบการขนส่งได้ดังตารางที่ 3.2 [33]

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียการขนส่งใน 4 โหมดหลัก

เกณฑ์	รูปแบบขนส่ง			
	ถนน	**ราง**	**น้ำ**	**ทะเล**
	รถบรรทุก	**รถไฟ**	**เรือท้องแบน**	**เรือเดินสมุทร**
ความรวดเร็ว	เร็ว	ปานกลาง	ช้า	ช้า
ระยะทาง	ใกล้	ไกล	ไกล	ไกล
ความยืดหยุ่น	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ความน่าเชื่อถือ	ดี	ดี	จำกัด	จำกัด
ราคา (ตัน/กม.)	ปานกลาง	ต่ำ/ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ/ต่ำมาก
สินค้า	ทุกชนิด	หนัก/จำนวนมาก	หนัก/จำนวนมาก	ทุกชนิด
คาร์บอนไดออกไซด์	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
ข้อดี	ส่งถึงหน้าโรงงาน ง่ายต่อการดูแล โซนส่งสินค้า	ปลอดภัย ราคาถูก ใช้ได้ผลดีกับการขนส่งต่อเนื่องหลายแบบ	สินค้าเวลานำส่งนาน การจราจรติดขัดน้อย	ขนส่งระหว่างประเทศ ราคาถูก
ข้อเสีย	ใช้รถจำนวนมาก ต้นทุนขึ้นกับราคาน้ำมัน การจารจรติดขัด	ไม่สามารถหยุดส่งระหว่างทาง	ขนถ่ายสินค้าขึ้นลงเรือใช้เวลานาน ข้อจำกัดท่าเรือ	ช้า เสี่ยงต่อการถูกโจรสลัดปล้น

การเปรียบเทียบความแตกต่างเพื่อพิจารณาข้อดี-ข้อเสียการขนส่งใน 4 โหมดหลัก จากตารางที่ 3.2 สามารถนำมาประยุกต์ในการเลือกรูปแบบในการขนส่งถ่านหิน โดยการนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศทางทะเลด้วยเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ สามารถส่งถึงโรงงานได้เลยหากมีโรงงานติดทะเลและมีท่าเรือของตัวเองรองรับ แต่หากต้องมีการขนส่งมาที่ศูนย์กระจายถ่านหินก่อน จำเป็นต้องมีการขนถ่ายและลำเลียงไปจัดเก็บที่ศูนย์กระจายถ่านหินต่อไป การขนส่งถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินส่วนใหญ่จะเป็นแบบต่อเนื่องหลายวิธีคือ เช่น การขนส่งถ่านหินไปทางน้ำด้วยเรือ

ท้องแบนแล้วขนถ่ายสู่รถบรรทุกไปทางถนนเพื่อลำเลียงไปยังโรงงาน หรือการขนส่งถ่านหินมาทางสายพานต่อด้วยรถไฟแล้วขนถ่ายสู่รถบรรทุกเพื่อส่งถึงหน้าโรงงาน เป็นต้น การจะเลือกใช้โหมดใดในการขนส่งจะต้องดูปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ ราคาเชื้อเพลิง โครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานที่รองรับ รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากการขนส่งด้วย เพื่อป้องกันปัญหาด้านสินค้าคงคลังที่อาจจะเกิดขึ้นและเพื่อให้ต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด

การใช้ประโยชน์ถ่านหิน

ถ่านหินที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้เป็นอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าร้อยละ 75-80 รองลงมาคืออุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 16-17 และบางส่วนประมาณร้อยละ 5 นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เล็กลงมา เช่น อาหาร กระดาษ โลหะ เป็นต้น

อุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน

1. อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า

   สามารถแบ่งผู้ผลิตออกเป็น 3 กลุ่ม คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กลุ่มบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน และกลุ่มบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย โดยมีปริมาณการใช้สม่ำเสมอตลอดปี

2. อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์

   ต้นทุนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 50-60 มาจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต ซึ่งต่อมามีการออกแบบดัดแปลงเตาเผาให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดร่วมกัน เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

3. อุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำ

   อุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำขนาดใหญ่ เป็นลักษณะการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ ปิโตรเคมี เป็นต้น ส่วนอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำขนาดเล็ก จะเป็นประเภทอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

3.5 ยานพาหนะขนส่งถ่านหิน

เนื่องจากลักษณะธรรมชาติของถ่านหินมีน้ำหนักมาก และมีอากาศอยู่ระหว่างรูพรุนของวัสดุ การวัดคำนวณน้ำหนักจึงใช้ Bulk density ซึ่งคือความหนาแน่นของวัสดุรวมรูพรุน และระหว่างการขนส่งถ่านหินอาจเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นผงจึงควรใช้พาหนะในการขนส่งระบบปิด และมีขนาดใหญ่เพื่อสามารถขนได้ครั้งละปริมาณมาก เพื่อความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งยกตัวอย่างได้ดังนี้

- **รถบรรทุก**

รูปที่ 3.4 รถบรรทุกถ่านหิน

รถบรรทุกที่ใช้ขนส่งถ่านหินแบ่งเป็น 2 แบบ คือรถบรรทุกตอนเดียว จะชั่งน้ำหนักบรรจุถ่านหินรวมน้ำหนักรถประมาณ 25 ตัน ส่วนรถบรรทุกพ่วง 2 ตอน จะชั่งน้ำหนักบรรจุถ่านหินรวมน้ำหนักรถไม่เกิน 50.5 ตัน เมื่อน้ำหนักได้ตามกำหนดก่อนออกจากศูนย์กระจายถ่านหินต้องคลุมผ้าใบให้มิดชิดและล้างล้อทุกครั้ง

- **เรือ**

รูปที่ 3.5 เรือบรรทุกถ่านหิน

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เรือบรรทุกถ่านหินนิยมใช้ระบบปิดแบบมีเครื่องยนต์ในตัว ปริมาณการขนส่งถ่านหินและการกินน้ำลึกของเรือขึ้นอยู่กับขนาดเรือที่เลือกใช้ โดยถ่านหินถูกจัดเป็นการส่งสินค้าแบบ Dry bulk ซึ่งขนาดของเรือบรรทุกสินค้าประเภท Dry bulk Carrier สามารถแบ่งตามปริมาณบรรทุกน้ำหนัก deadweight ton ซึ่งสรุปไว้ดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.4 ข้อกำหนดของเรือบรรทุกทั่วไป (Dry Bulk Carrier Specification)

Bulk Vessel Category	Capacity (DWT)	LOA (m)	Breath (m)	Draft (m)	Speed (kt)
Handysize	10,000 - 39,999	169	25	9	13
Handymax	40,000 - 59,999	190	31	11	14
Supramax	50,000 - 59,999	190	32	12.5	14
Panamax	60,000 - 99,999	225	32.2	13	13
Capesize	>= 100,000	292	46	17	14

ที่มา: Danish Ship Finance [34]

โดยเรือบรรทุกถ่านหินที่นิยมใช้ขนส่งถ่านหินระหว่างประเทศคือ เรือขนาด Handymax, Panamax และ Capesize เนื่องจากคุ้มค่าทางเศรษศาสตร์ในการขนส่งมากกว่าแบบอื่น และด้วยเรือขนาดใหญ่ทำให้มีเสถียรภาพในการขับเคลื่อนมากกว่า ลดปัญหาการเกิดเรือล่มได้

- **รถไฟ**

การรถไฟแห่งประเทศไทยมีบริการตู้รถไฟสำหรับบรรทุกสินค้าหลากหลายแบบเพื่อความเหมาะสมต่อคุณลักษณะสินค้าและสภาพการขนส่ง โดยแบ่งประเภทรถไฟขนส่งได้เป็น 3 ชนิดคือ รถปิด, รถเปิด และรถเฉพาะกิจ

  - **รถปิด** ใช้บรรทุกสินค้าที่อาจเสียหายได้ง่ายเมื่อสัมผัสแดด ลมหรือฝน และสินค้าต้องการความมิดชิด ป้องกันอันตรายจากวัตถุมีเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเอง
  - **รถเปิด** ใช้บรรทุกสินค้าประเภทวัตถุดิบหรือสิ่งของที่ไม่ชำรุดเสียหายเมื่อสัมผัสแสงแดดหรือน้ำฝน
  - **รถเฉพาะกิจ** เป็นรถที่ออกแบบมาใช้บรรทุกสินค้าเฉพาะอย่างแต่ละชนิด หรือใช้เฉพาะงานอย่างใดอย่างหนึ่ง

ซึ่งตู้รถที่เหมาะสมสำหรับขนส่งถ่านหินแสดงดังรูปที่ 3.6 และ 3.7

Technical Details

- Manufacturer: Korea
- Models: 25001-25158
- Dimensions: 2400 x 13200 x 3380 mm (WxLxH)
- Wheels: 8
- Weight: 16.15 tons (empty), 42.85 tons (full)
- Goods weight: Max 25,000-36,000 kg
- Used since: 1983

Technical Details

- Manufacturer: Belgium
- Models: 15001-15100
- Dimensions: 2300 x 6900 x 3310 mm (WxLxH)
- Wheels: 4
- Weight: 9.00 tons (empty), 24.00 tons (full)
- Goods weight: Max 13,500-15,000 kg
- Used since: 1965

รูปที่ 3.6 รถโบกี้ตู้ใหญ่และรถบรรทุกเกลือตามลำดับ

ที่มา :Thailand's Railway Industry – Overview and Opportunities for Foreign Businesses

รูปที่ 3.6 คือตู้รถไฟที่บรรทุกสินค้าแบบปิด ด้านซ้ายรถโบกี้ตู้ใหญ่ ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 25 – 36 ตัน ส่วนด้านขวาคือ รถบรรทุกเกลือ

Technical Details

- Manufacturer: Japan
- Model: 42101-42120
- Dimensions: 2000 x 12500 x 2850 mm (WxLxH)
- Wheels: 8
- Weight: 18.30 tons (empty), 60.00 tons (full)
- Used since: 1998

รูปที่ 3.7 รถโบกี้เทข้าง (Bogie Hopper Wagon)

ที่มา :Thailand's Railway Industry – Overview and Opportunities for Foreign Businesses

รูปที่ 3.7 คือตู้รถไฟที่บรรทุกสินค้าแบบเปิด ใช้บรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักไม่เกิน 25 – 40 ตัน ซึ่งหากมีการจัดหาตู้รถเฉพาะกิจและหัวเครื่องจักรสำหรับขนส่งถ่านหินโดยเฉพาะซึ่งเรียกว่า Coal wagon ซึ่งมีทั้งแบบเปิดและแบบปิด มาใช้ที่ประเทศไทยในระยะยาวจะมีความเหมาะสมกว่า เช่น รถไฟขนส่งถ่านหินที่รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถบรรทุกได้ 115 ตันต่อคัน ซึ่งพ่วง 23 คันต่อขบวน ทำให้ขนส่งได้ครั้งละประมาณ 2,645 ตันต่อเที่ยว

- **ท่อ**

รูปที่ 3.8 การขนส่งถ่านหินทางท่อ
ที่มา: FavorSea Industrial Channel Limited

การขนส่งถ่านหินทางท่อยังไม่เคยปรากฏในประเทศไทยมาก่อน ซึ่งรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการขนส่งระยะไกลและการขนส่งทางน้ำหรือทางรางเข้าไม่ถึง ซึ่งต้องแปรรูปถ่านหินให้เหมาะสมก่อนขนส่ง เช่น ผสมน้ำ (Slurry) หรือตัดเป็นท่อนๆ (Log) ประเทศที่ขนส่งวิธีนี้เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย และจีน

3.6 อุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงถ่านหิน

การขนส่งที่มีประสิทธิภาพต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงที่เหมาะสมกับสินค้าและบริบทที่เกี่ยวข้อง หัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ขนถ่ายลำเลียงถ่านหิน ประกอบด้วยเครื่องจักรที่สำคัญ คือ อุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหินที่ท่าเทียบเรือ สายพานลำเลียง และเครื่องจักรในอาคารเก็บถ่านหิน

Loader

เมื่อถ่านหินมีคุณสมบัติพร้อมส่งออกจากศูนย์กระจายถ่านหิน เครื่องตัก (backhoe) จะตักถ่านหินจากนั้นลำเลียงผ่านทางสายพานไปยังเครื่องจักรสำหรับขนถ่ายถ่านหินลงพาหนะ เช่น

รถบรรทุก เรือ หรือรถไฟเพื่อขนส่งไปให้ลูกค้า โดยจะใช้รูปแบบใดในการขนส่งขึ้นอยู่กับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และคำนึงถึงความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย ตัวอย่างการขนถ่ายถ่านหินสู่รถบรรทุกดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 การขนถ่ายถ่านหินสู่รถบรรทุก
ที่มา: SCG coal hub

รูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างรถบรรทุกมารับถ่านหินจากสายพานระบบปิด ก่อนคลุมผ้าใบและบรรทุกไปยังจังหวัดสระบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Stacker-Reclaimer

เมื่อถ่านหินถูกขนส่งมายังจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง หรือโรงงานของลูกค้า ต้องมีกระบวนการโปรย (Stacker) เพื่อกองถ่านหินให้อยู่ในรูปของกอง โดยนิยมกองเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู รวมถึงการคละคุณภาพของถ่านหินด้วย ส่วนการตัก (Reclaimer) เป็นการตักเพื่อขนย้ายถ่านหินไปยังพาหนะเพื่อลำเลียงสู่ปลายทางต่อไปสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง ซึ่งเครื่องจักรในปัจจุบันถูกออกมาให้สามารถทำได้ทั้ง 2 หน้าที่ภายในเครื่องจักรเดียว ตัวอย่างการทำงานดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 Stacker-Reclaimer

ที่มา: http://www.shi.co.jp/shi-mh/english/product/transport.html

รูปที่ 3.10 เป็นตัวอย่างของ Stacker-Reclaimer ที่ใช้กับวัสดุถ่านหิน โดยมีอัตราการทำงานในการโปรย 3,300 ตันต่อชั่วโมง และการตัก 2,600 ตันต่อชั่วโมง ในเครื่องเดียว

Unloader

เมื่อถ่านหินขนส่งมาถึงจุดหมาย กระบวนการต่อไปคือลำเลียงถ่านหินจากพาหนะด้วยอุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหิน (Unloader) ยกตัวอย่างการลำเลียงถ่านหินออกจากเรือ เป็นชนิดทำงานแบบต่อเนื่องเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของถ่านและป้องกันถ่านตกลงน้ำ ใช้ระบบไฟฟ้าและติดตั้งอยู่บนระบบราง มีโครงสร้างปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการตกหล่นของถ่านหิน ตัวอย่างของอุปกรณ์ขนถ่ายจากเรือบรรทุกถ่านหินแบบต่อเนื่อง เช่นแบบสกรู หรือแบบโซ่กระพ้อ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.11-3.12

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนถ่ายจากเรือบรรทุกถ่านหินแบบสกรูดูดถ่านหิน

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนถ่ายจากเรือบรรทุกถ่านหินแบบโซ่กระพ้อตักถ่านหิน
ที่มา: http://www.shi.co.jp/shi-mh/english/product/unloader.html

รูปที่ 3.11 เป็นตัวอย่างของสกรูดูดถ่านหิน (Vertical Screw Conveyer Type) อัตราการทำงาน 400 ตันต่อชั่วโมง และรูปที่ 3.12 เป็นตัวอย่างของโซ่กระพ้อตักถ่านหิน (Bucket Elevator Type) อัตราการทำงาน 1,500 ตันต่อชั่วโมง

Conveyor

ระบบสายพานใช้ลำเลียงถ่านหินที่รับมาจากท่าเรือเพื่อนำขึ้นไซโลไปเก็บหรือลำเลียงถ่านหินสู่พาหนะเพื่อขนส่งต่อไป ตัวอย่างข้อมูลการออกแบบสำหรับระบบสายพานลำเลียงถ่านหิน สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 115 MW-hr [35] ดังตารางที่ 3.4 และรูปที่ 13.3

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลออกแบบสายพานสำหรับขนถ่ายถ่านหิน

Title	Information	unit	Note
Material	Coal		
Bulk density	0.8	t/m^3	
Capacity	800	t/hr	
Belt width	900	mm	conveying belt
Belt width	1050	mm	feeder belt-reversible
Drive Power	45	km	conveying belt
Drive Power	11	km	feeder belt-reversible
Belt Speed	3.2	m/sec	

รูปที่ 3.13 สายพานลำเลียงถ่านหิน
ที่มา: บริษัทสายพานไทยจำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.13 คือระบบสายพานที่ใช้ลำเลียงถ่านหินจากท่าเรือ โดยสายพานตั้งอยู่ในตำแหน่งสูง 45 เมตร ความยาว 115 เมตร โดยโครงสร้างของสายพานตั้งอยู่บนโครงเหล็กถักและเป็นระบบปิด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร และภายในติดตั้งระบบระบายอากาศ ระบบดับเพลิง ระบบกรองฝุ่น สำหรับความปลอดภัย โดยสายพานลำเลียงถ่านหินมาจ่ายลง Shuttle Conveyor ซึ่งสามารถเคลื่อนสายพานไป-กลับได้สองทาง

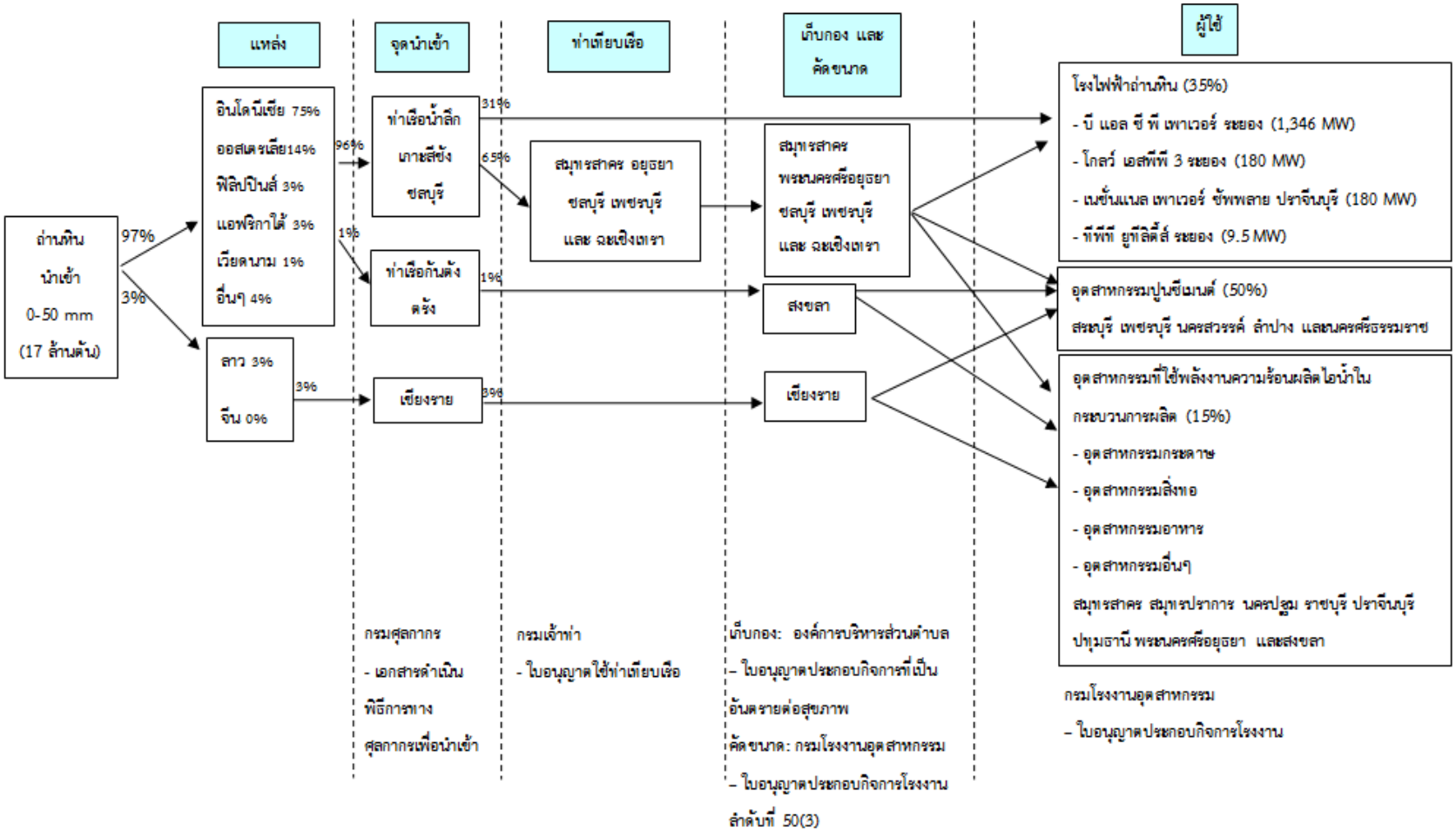
3.7 กระบวนการขนถ่ายถ่านหินนำเข้า

การนำถ่านหินเข้าของประเทศไทยโดยประมาณร้อยละ 75 นำเข้ามาจากประเทศอื่น คือ ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งหากมีการขนส่งถ่านหินมากปริมาณจะใช้เรือขนสินค้าขนาดใหญ่ (Vessel) ทำให้สามารถบรรทุกได้ประมาณ 10,000 – 100,000 ตันต่อลำต่อเที่ยว สำหรับการขนส่งในปริมาณ

น้อยลงจะใช้เรือลำเลียงขนาดเล็กลงมา(Barge) ซึ่งสามารถบรรทุกสินค้าได้ระหว่าง 8,000 – 10,000 ตันต่อลำต่อเที่ยว โดยส่วนใหญ่จะไปขนถ่ายถ่านหินลงยังเรือลำเลียงขนาดเล็กที่ท่าเรือน้ำลึกเกาะสีชัง อยู่ที่จังหวัดชลบุรี ในการกองเก็บและโรงคัดขนาดจะส่งต่อไปที่คลังเก็บถ่านหิน จังหวัดสมุทรสาคร อยุธยา ชลบุรี เพชรบุรี และจังหวัดฉะเชิงเทรา แต่จะมีบางส่วนที่ขนส่งจากเกาะสีชังไปโดยตรงด้วยเรือสู่ท่าเรือของผู้ใช้โดยตรง เช่น ท่าเรือของโรงไฟฟ้า BLCP บริเวณจังหวัดระยอง นอกเหนือจากที่กล่าวไป ไทยยังมีการนำเข้าถ่านหินสู่ท่าเรือกันตัง ของจังหวัดตรัง สำหรับใช้ในพื้นที่บริเวณตอนใต้ของไทย และยังนำเข้าถ่านหินได้อีกทางจากประเทศลาว พม่า และจีน โดยขนส่งเข้ามาทางตอนเหนือคือจังหวัดเชียงราย

ถ่านหินนำเข้าที่จุดกองเก็บและโรงคัดขนาดซึ่งส่วนใหญ่อยู่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร อยุธยา ชลบุรี เพชรบุรี และฉะเชิงเทรา จะถูกจำหน่ายไปให้แก่ผู้ใช้ถ่านหินเผาให้ความร้อนในบริเวณใกล้เคียง ได้แก่ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์บริเวณจังหวัดสระบุรี เพชรบุรี นครสวรรค์ ลำปาง และนครศรีธรรมราช อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าบริเวณปราจีนบุรีและจังหวัดระยอง รวมทั้งอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานความร้อนผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งตั้งอยู่กระจายอยู่หลายๆจังหวัดในบริเวณตอนกลางของประเทศไทย ดังรูปที่ 3.8 แสดงกระบวนการขนถ่ายถ่านหินนำเข้าในประเทศไทย ปี 2553 [36]

แต่ในปัจจุบันการขนถ่ายถ่านหินลงเรือพ่วงท้องแบนลำเลียงขนาดเล็กที่ท่าเรือน้ำลึกเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี แล้วจะขนส่งต่อไปสู่โรงคัดขนาดหรือลานกองเก็บของบริเวณอำเภอนครหลวง จังหวัดอยุธยาเท่านั้น เนื่องจากศาลปกครองสูงสุด มีคำสั่งเป็นไปตามที่ตามศาลปกครองชั้นต้นตัดสิน โดยคุ้มครองชั่วคราวการขนส่งถ่านหินมหาชัย จังหวัดสมุทรสาคร สั่งให้ระงับการประกอบกิจการถ่านหินทุกกรณี ทั้งลำเลียง เก็บกอง ขนถ่ายและขนส่ง ตามที่ประชาชนเกิดผลกระทบโดยรับความเสียหายและเดือดร้อน เมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2555 ดังนั้นการขนส่งเชื้อเพลิงถ่านหินมายังโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญที่ต้องคำนึงอยู่เสมอ เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม เช่น ฝุ่นละอองจากการขนส่ง ก๊าซไอเสียจากระบบการขนส่งทั้งทางบกหรือทางน้ำ ตลอดจนผลกระทบทางเสียงต่อชุมชนใกล้เคียง ทำให้เกิดการฟ้องร้องบริษัทขึ้น ซึ่งอาจส่งผลเสียรุนแรงถึงขั้นต้องปิดกิจการได้ ดังนั้นการลำเลียง ขนถ่าย ขนส่งถ่านหินจึงเป็นเรื่องที่ต้องดูแลเป็นพิเศษด้วย



รูปที่ 3.14 แสดงกระบวนการขนถ่ายถ่านหินนำเข้าของประเทศไทย ปี 2553

ที่มา:สำนักเศรษฐกิจและความร่วมมือระหว่างประเทศ. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. กระทรวงอุตสาหกรรม

3.8 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยถ่านหินชนิดบิทูมินัส

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี Material Safety Data Sheet (MSDS) คือ เอกสารที่แสดงข้อมูลความปลอดภัยเฉพาะของสารเคมีนั้นๆ เกี่ยวกับลักษณะความเป็นอันตรายของสารเคมี วิธีใช้ การเก็บและการจัดการอื่นๆ ซึ่งจะต้องมีประจำไว้ในห้องปฏิบัติการหรือบริเวณหน้างานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีนั้นๆ เพื่อความสะดวกและความปลอดภัยในการใช้สารเคมี โดยข้อมูลที่แสดงในเอกสารต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ซึ่งในที่นี้จะแสดงข้อมูลของถ่านหินชนิดบิทูมินัสที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าถ่านหินที่จะสร้างขึ้นตามแผนในอนาคต

ข้อมูลที่อยู่ใน MSDS ประกอบด้วย 16 หัวข้อ ดังนี้

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิต

   ถ่านหินบิทูมินัสจะไม่มี CAS number เหมือนสารเคมีทั่วไป เนื่องจากเป็นแร่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยแสดงชื่อ ที่อยู่ และเบอร์โทรศัพท์สำหรับให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย
2. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายของสารเคมี

   ฝุ่นละอองจากถ่านหินทำให้ระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง และระบบหายใจ โดยหากสัมผัสเป็นระยะเวลายาวนานทำให้เกิดปัญหาเรื่องปอด และบิทูมินัสสามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 260 อาศาฟาเรนไฮน์
3. องค์ประกอบและข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของสารเคมี

   บิทูมินัสประกอบด้วย Fixed Carbon และขี้เถ้า ที่ทำให้เกิดการระคายเคือง ส่วนความชื้นที่เป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบไม่ก่อให้เกิดอันตราย
4. มาตรการปฐมพยาบาล

   สัมผัสตา : ล้างตาให้น้ำไหลผ่านอย่างน้อย 15 นาที และไปพบแพทย์หากยังระคายเคืองอยู่

   สัมผัสผิวหนัง : ล้างให้สะอาดหลังจากสัมผัส และไปพบแพทย์หากยังระคายเคืองอยู่ เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนและซักก่อนนำมาใช้ใหม่

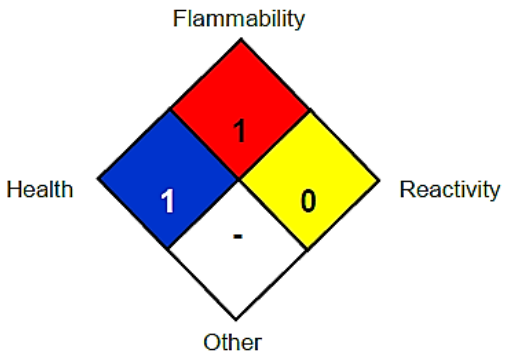
   ระบบหายใจ : หากหายใจติดขัดให้เคลื่อนย้ายไปยังจุดที่มีอากาศถ่ายเท ถ้าจำเป็นให้ใช้เครื่องช่วยหายใจและไปพบแพทย์หากยังหายใจติดขัดต่อเนื่อง

การกิน : หากกลืนถ่านหินเข้าไปให้โทรหาหมอหรือศูนย์ควบคุมพิษเพื่อให้ข้อมูลอาการปัจจุบันมากที่สุด และอย่าพยายามทำให้อาเจียนหรือเจือจางแก่ผู้ที่ไม่ได้สติ ไปพบแพทย์โดยนำข้อมูล MSDS ไปด้วย

5. มาตรการผจญเพลิง

วัสดุดับเพลิงใช้น้ำฉีดเป็นละอองฝอย (อย่าฉีดเป็นสาย), โฟม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และต้องเฝ้าดูอย่างใกล้ชิดจนแน่ใจว่าไม่มีการคุกรุ่นของเชื้อเพลิงหลงเหลือ โดยขีดจำกัดความไวไฟไม่ได้ระบุไว้ แต่จากการทดสอบหมอกฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงและมีพลังงานเติมเข้าไปทำให้เกิดการติดไฟที่อุณภูมิมากกว่า 1200 องศาฟาเรนไฮน์ และติดไฟที่ชั้นผิวอุณหภูมิมากกว่า 350 องศาฟาเรนไฮน์

นักดับเพลิงควรปฏิบัติตามขั้นตอนการดับไฟและมีสติตลอดเวลา รวมทั้งต้องสวมใส่ชุดและอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยให้ครบ เช่น แว่นตา เครื่องช่วยหายใจ ชุดกันไฟ เป็นต้น และได้จัดระดับความอันตรายถ่านหินบิทูมินัสตามระบบ NFPA (The National Fire Protection Association) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.15 ระดับความอันตรายถ่านหินบิทูมินัสตามระบบ NFPA
ที่มา : Crown Black® Bituminous Coal [37]

ระบบ NFPA ตามรูป สีแดงแสดงอันตรายจากไฟ หมายเลข 1 คือก่อให้เกิดอันตรายน้อย สีน้ำเงินแสดงอันตรายต่อสุขภาพ หมายเลข 1 คือก่อให้เกิดอันตรายน้อย สีเหลืองแสดงความไวต่อปฏิกิริยาของสาร หมายเลข 0 คือไม่ก่อให้เกิดอันตราย สีขาวแสดงคุณสมบัติพิเศษของสาร ซึ่งไม่ได้ระบุไว้

6. มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหล

ควรมีการฝึกอบรมวิธีปฏิบัติกรณีเกิดเหตุรั่วไหล ในกรณีนี้จะเป็นฝุ่นของถ่านหินซึ่งทำให้ลดลงด้วยระบบสูญญากาศหรือฉีดพรมด้วยละอองน้ำ และกวาดไปใส่ภาชนะเพื่อจัดการต่อไปตามกระบวนการ

7. ข้อปฏิบัติการใช้และการเก็บรักษา

การใช้ถ่านหินระวังการเกิดฝุ่นและทำความสะอาดผิวหนังที่สัมผัสทันที ควรซักเสื้อผ้าทำงานทุกวันและระมัดระวังการหายใจเอาฝุ่นถ่านหินเข้าไป โดยปฏิบัติงานในสถานที่ระบายอากาศได้ดี ส่วนการเก็บรักษาถ่านหินเก็บแบบปกติทั่วไป

8. การควบคุมการสัมผัสสาร-การป้องกันส่วนบุคคล

ปัจจุบันขอบเขตการสัมผัสถ่านหินบิทูมินัสยังไม่กำหนดแน่ชัดเป็นหลักสากล จึงควรตรวจสอบกับของประเทศนั้นอีกครั้งแล้วควบคุมให้อยู่ในกำหนด ควรมีอ่างน้ำสำหรับล้างตาและสถานีล้างตัวอยู่ใกล้ๆ สถานที่ทำงานกับถ่านหิน สวมใส่หน้ากากป้องกันฝุ่น แว่นนิรภัยป้องกันตาและถุงมือหากต้องสัมผัสกับถ่านหินโดยตรง

9. สัมบัติทางกายภาพและเคมี

ถ่านหินบิทูมินัสมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมมุมฉากหนาหรือเป็นส่วนเล็กๆหนาแน่นสีค่อนข้างดำเทา ไม่ละลายน้ำ ความถ่วงจำเพาะที่ 20 องศาเซสเซียสเท่ากับ 1.32

10. ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา

ถ่านหินมีความเสถียรและปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ซัลเฟอร์มอนออกไซด์ (SO), และมีเทน (CH_4) และไม่ควรผสมกับสสารที่เป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง โดยระมัดระวังสภาวะที่มีอากาศร้อนหรือใกล้เปลวไฟ

11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

ถ่านหินมีส่วนประกอบของคริสตันไลน์ซิลิก้าเล็กน้อย ซึ่งสถาบัน IARC และ NTP ระบุว่าเป็นสารที่เป็นต้นตอมะเร็ง แต่สถาบัน OSHA ไม่ได้ระบุไว้

12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ไม่มีข้อมูลระบุ

13. มาตรการกำจัด

สิ่งปฏิกูลถ่านหินที่จะกำจัดต้องทำให้สอดคล้องกับกฎหมายหรือข้อกำหนดของประเทศนั้นๆ

14. ข้อมูลการขนส่ง

ถ่านหินไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มวัตถุอันตรายจากสถาบันขนส่งของประเทศสหรัฐอเมริกา, แคนนาดา, IATA, IMO และยุโรป จึงไม่มีการควบคุมพิเศษด้านการขนส่งถ่านหิน

15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดและพระราชบัญญัติ

สหรัฐอเมริกา : ถ่านหินมีผลต่อสุขภาพอย่างเฉียบพลัน และ U.S. SARA ระบุว่าระดับเริ่มต้นที่ต้องเติมคือ 4,540 กิโลกรัม แต่ไม่ได้ระบุจำนวนไว้

แคนนาดา : ระบุข้อมูลสินค้าคงคลังนี้ไว้ใน DSL และจาก WHMIS แบ่งหมวดหมู่ถ่านหินชนิดนี้เป็นสินค้าที่ไม่ต้องควบคุม

ออสเตรีย : ไม่ระบุเป็นพิเศษ

ญี่ปุ่น : ไม่ระบุเป็นพิเศษ

16. ข้อมูลอื่นๆ

ปัจจุบันถึงแม้จะระบุถ่านหินบิทูมินัสไม่ใช่สารอันตราย แต่ควรระมัดระวังในการใช้และขนส่งเนื่องจากการก่อให้เกิดฝุ่น จะสร้างความระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง และระบบหายใจได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.9 การประเมินผลสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากการขนส่งถ่านหิน

การประเมินผลสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งถ่านหินมาตรฐานสากลจาก United States Environmental Protection Agency (EPA) [38] แบ่งออกเป็นผลกระทบจากกิจกรรมการเตรียมถ่านหิน ผลกระทบจากขนส่งถ่านหินทางท่อ ทางรถไฟ ทางเรือ ทางสายพานและทางรถบรรทุก ดังนี้

ผลกระทบจากกิจกรรมการเตรียมถ่านหิน

การเตรียมถ่านหินเป็นขั้นตอนก่อนการขนส่ง ซึ่งประกอบไปด้วย การทำความสะอาดถ่านหินแบบสมบูรณ์หรือบางส่วน ซึ่งน้ำเสียหลังจากทำความสะอาดถ่านหินประกอบไปด้วย กรดซัลฟิวริก ซัลเฟต แมงกานีส เหล็ก และโลหะหนักบางชนิด กระทบต่อองค์ประกอบของดินและแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง ส่วนการบดถ่านหินเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง

ผลกระทบจากการขนส่งถ่านหินทางท่อ

การขนส่งทางท่อต้องใช้น้ำเพื่อผสมผงถ่านหินให้ปั๊มมีแรงขนส่งถ่านหินไปตามท่อจนถึงจุดหมายปลายทาง ซึ่งน้ำที่นำมาใช้เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณนั้น การใช้น้ำปริมาณมากกระทบต่อผู้ใช้น้ำร่วม นอกจากนั้นอาจเกิดเหตุการณ์ท่อแตกหัก ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายบริเวณนั้น

ผลกระทบจากการขนส่งถ่านหินทางรถไฟ

การขนส่งทางรถไฟปล่อยมลพิษทางอากาศ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และฝุ่นจากการขนถ่านหินขึ้น-ลง มลพิษทางเสียงจากอุปกรณ์ขนถ่ายและการเดินทางของรถไฟ และอาจก่อให้เกิดไฟไหม้ได้จากประกายไฟ

ผลกระทบจากการขนส่งถ่านหินทางเรือ

การขนส่งทางเรือโดยปกติต้องใช้เรือดันเรือลากจูงและเรือรับเชือกร่วมด้วย ซึ่งต่างใช้เชื้อเพลิงดีเซลก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและทางเสียงเช่นเดียวกับทางรถไฟแต่ปริมาณน้อยกว่า

ผลกระทบจากการขนส่งถ่านหินทางสายพาน

การขนส่งทางสายพานก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการหกกระเด็นถ่านหิน และมีฝุ่นผงถ่านหินฟุ้งกระจายบริเวณจุดเติม จุดขนส่ง และจุดปล่อยถ่านหิน ในการขนส่งระยะไกลด้วยวิธีนี้ถ้าไม่มีแผ่นกำบังระบบปิด จะทำให้ฝุ่นถ่านหินฟุ้งไปไกลโดยเฉพาะบริเวณลมแรง

ผลกระทบจากการขนส่งถ่านหินทางรถบรรทุก

การขนส่งทางรถบรรทุกก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น และมลพิษทางเสียงจาการทำงานของเครื่องยนต์ อีกทั้งยังทำให้ถนนผุพังจากน้ำหนักที่โหลดมากและต้องขนส่งหลายเที่ยวเพื่อให้ได้ปริมาณถ่านหินเท่ากับที่ขนด้วยเรือหรือรถไฟ

ข้อมูลการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการขนส่งเชื้อเพลิงถ่านหิน มีรายละเอียดดังนี้

ผลกระทบจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นพาหนะในการขนส่ง

การขนส่งปล่อยมลพิษไอเสีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนออกไซด์ ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพในเรื่องของโรคระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะในเด็กและผู้สูงอายุ และทำให้ผู้ที่เป็นโรคปอดและโรคหัวใจมีอาการแย่ลง

ผลกระทบจากฝุ่นละอองระหว่างการขนส่ง

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก คือส่วนผสมของอนุภาคที่มีขนาดเล็กร่วมกับละอองของเหลว ฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด, เป็นสารเคมีอินทรีย์, เป็นโลหะ, เป็นดินหรือฝุ่นผงก็ได้ ขนาดของฝุ่นละอองขนาดน้อยจะสัมพันธ์กับฤทธิ์ที่จะทำให้เกิดโรค โดยขนาดที่มีความสำคัญได้แก่ ขนาด 10 ไมครอนหรือเล็กกว่า โดยจะสามารถปลิวผ่านเล็ดลอดเข้าคอหรือจมูกไปถึงหลอดลมและปอด โดยเมื่อสูดอนุภาคเหล่านั้นเข้าไปจะมีผลต่อหัวใจและปอดและส่งผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพ

บทที่ 4
การรวบรวมข้อมูล

จากแผนพลังงานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถ่านหินที่ได้กล่าวในบทที่ 3 บทนี้จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งถ่านหิน และนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าและใช้เป็นแนวทางในการออกแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทนต่อไป

4.1 ศูนย์กระจายถ่านหิน

ศูนย์กระจายถ่านหิน (Coal Center) ซึ่งมีแผนสร้างขึ้นในอนาคตเพื่อรองรับโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด กำหนดให้สร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ตอนกลาง 1 แห่ง เพื่อรองรับโรงไฟฟ้าบริเวณตอนกลาง สถานที่แห่งนี้มีความเหมาะสมก่อสร้างเป็นศูนย์กระจายถ่านหินเนื่องจากอยู่ในเขตอุตสาหกรรมที่มีความพร้อมทางด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับกองเก็บถ่านหิน มีแหล่งน้ำจืดและใกล้แนวสายไฟฟ้าแรงสูง ด้านการขนส่งใกล้กับระบบรางและระบบถนน 4 เลน สามารถกระจายไปยังโรงงานอุตสาหกรรมภาคกลางและภาคเหนือได้ และชุมชนบริเวณโดยรอบมีความคุ้นเคยกับกิจกรรมเกี่ยวเนื่องกับถ่านหิน ซึ่งมีโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาดใหญ่ของเอกชนดำเนินการอยู่แล้วบริเวณใกล้เคียง อัตรากัดเซาะชายฝั่งต่ำและมีโครงสร้างท่าเรือและระดับความลึกร่องน้ำทะเล 12.5 เมตร สามารถรองรับเรือขนาดใหญ่ (Panamax) ได้

ศูนย์กระจายถ่านหินอีก 1 แห่ง กำหนดให้สร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ภาคใต้เพื่อรองรับโรงฟ้าบริเวณตอนใต้ ซึ่งถือว่าเป็นลูกค้าส่วนใหญ่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานที่แห่งนี้มีความเหมาะสมก่อสร้างเป็นศูนย์กระจายถ่านหินเนื่องจากอยู่ในเขตอุตสาหกรรมและมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับกองเก็บถ่านหิน มีโครงสร้างท่าเรือเก่าที่ใช้งานได้และสามารถพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป คลื่นลมสงบและสามารถทำงานได้เกือบตลอดทั้งปี อัตรากัดเซาะชายฝั่งต่ำและภูมิประเทศช่วยกำบังคลื่นลมทางธรรมชาติ อีกทั้งศูนย์แห่งนี้อยู่ใกล้พื้นที่โรงไฟฟ้ากระบี่ (371กิโลเมตร) โรงไฟฟ้าเทพา (42กิโลเมตร) และโรงไฟฟ้าปานาเระ (43กิโลเมตร)

พื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณปากแม่น้ำปัตตานี ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

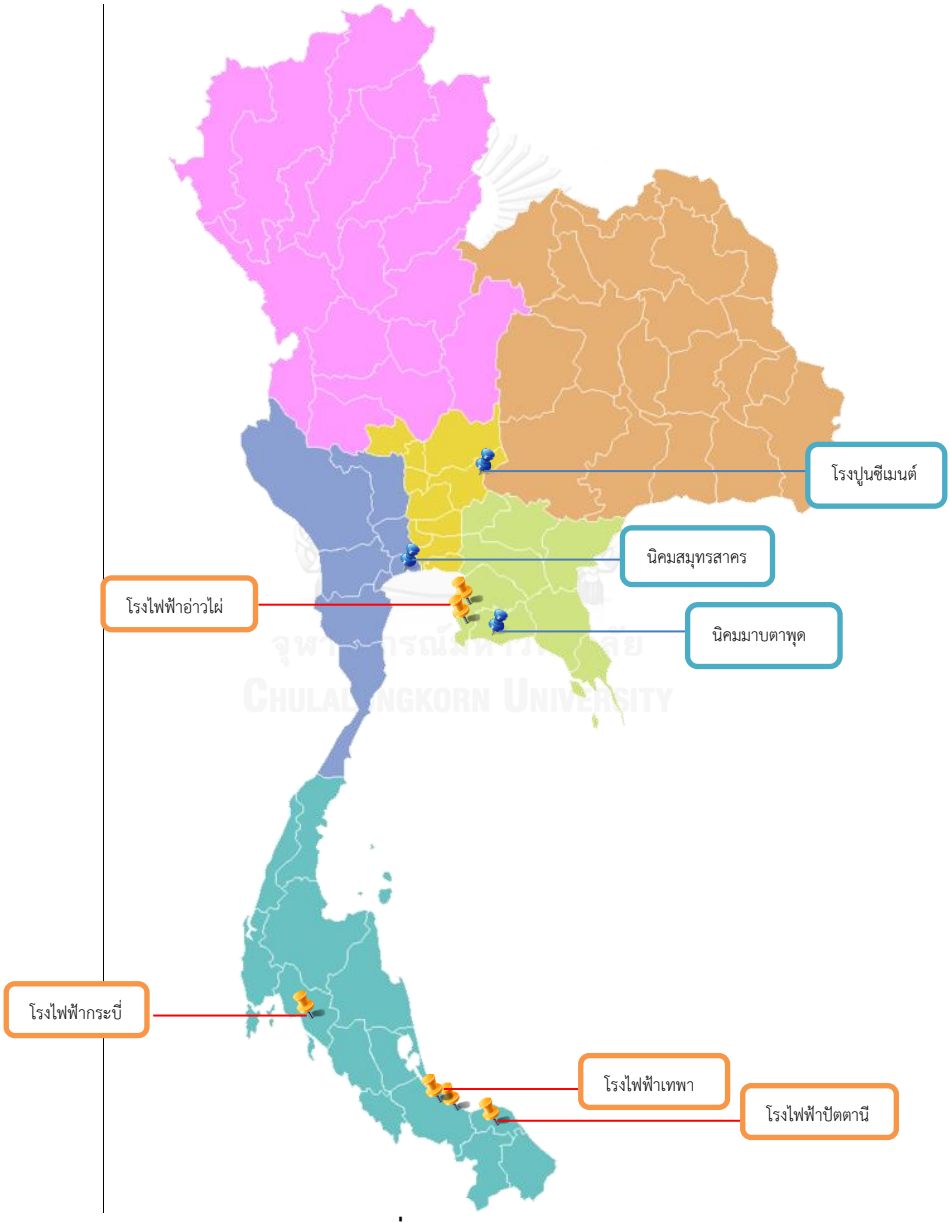
รูปที่ 4.1 พื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

รูปที่ 4.2 พื้นที่ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี

ศูนย์กระจายถ่านหินพื้นที่ภาคกลางดังรูปที่ 4.1 ตั้งอยู่บนพื้นที่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เมืองระยอง จังหวัดระยอง มีพื้นที่กองเก็บ 350 ไร่ และรูปที่ 4.2 ศูนย์กระจายถ่านหินพื้นที่ภาคใต้ บริเวณปากแม่น้ำปัตตานี เมืองปัตตานี จังหวัดปัตตานี มีพื้นที่กองเก็บ 490 ไร่

4.2 กลุ่มลูกค้าถ่านหิน

กลุ่มลูกค้าถ่านหินจะแบ่งเป็น 2 โซน คือโซนกลาง (ภาคกลางและภาคตะวันออก) และโซนล่าง (ภาคใต้) อีกทั้งยังแบ่งลูกค้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มแรก เป็นลูกค้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินที่จะดำเนินการสร้างโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยตามแผน PDP 2015 ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT และกลุ่มที่สอง คือลูกค้าโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ดำเนินการอยู่แล้วโดยเอกชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ถ่านหิน ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.3 กลุ่มลูกค้าถ่านหิน

ที่มา: http://www.wikiwand.com/th/เขตการปกครองของประเทศไทย

จากรูปที่ 4.3 บริเวณสีน้ำเงิน สีส้มและสีเขียวคือลูกค้าโซนกลาง และบริเวณสีฟ้าคือลูกค้าโซนล่าง โดยหมุดสีส้มแสดงตำแหน่งของลูกค้ากลุ่มโรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT โซนบนประกอบด้วยโรงไฟฟ้าถ่านหินอ่าวไผ่ จังหวัดชลบุรี 2 หน่วย และโซนล่างประกอบด้วยโรงไฟฟ้าถ่านหินกระบี่ จังหวัดกระบี่ 1 หน่วย, โรงไฟฟ้าถ่านหินเทพา จังหวัดสงขลา 2 หน่วย และโรงไฟฟ้าปัตตานี 1 หน่วย รวมทั้งสิ้นเป็น 6 หน่วยโรงไฟฟ้า และหมุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งของลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรมคือ บริเวณโรงงานปูนซีเมนต์ จังหวัดสระบุรี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร และบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

4.3 ข้อมูลความต้องการถ่านหิน

ค่าความร้อนของถ่านหิน ซึ่งโรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT ต้องการอยู่ในช่วง 4,000-6,000 kcal/kg ดังนั้นในการคำนวณความต้องการถ่านหินในที่นี้จะใช้ค่าความร้อน 5,000 kcal/kg ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของโรงไฟฟ้าเทพา กำลังการผลิต 1,000 MW-hr

วิธีคำนวณ

ถ่านหิน 1 kg	ให้ค่าความร้อน	5,000	kcal/kg เท่ากับ 20,930 kJ/kg
ถ่านหิน 1 kg	ได้กำลังผลิต	5.81	kwh (efficiency 100%)
Efficiency 40%	ได้กำลังผลิต	2.33	kwh (Supercritical boiler)
ดังนั้นโรงไฟฟ้า	กำลังผลิต	1,000	Mwh
	ใช้ถ่านหิน	430	t/h หรือ 10,320 t/d
	หรือใช้ถ่านหิน	3,199,200	ตันต่อปี

สามารถสรุปความต้องการใช้ถ่านหินของโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมได้ดังตารางที่ 4.1

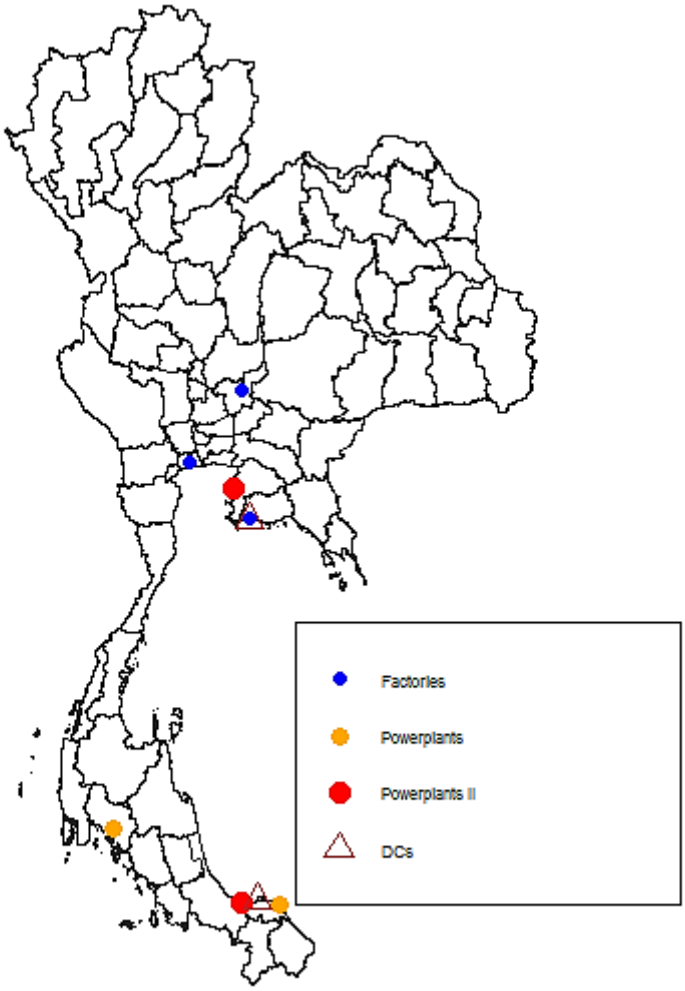
ตารางที่ 4.1 ความต้องการถ่านหิน

ชื่อ	ปี	MW-hr	ใช้ (ตัน/วัน)	ใช้(ตัน/ปี)	โซน	รวม(ตัน/ปี)
โรงไฟฟ้ากระบี่	2562	800	8256	2559360	ใต้	โซนใต้ 12,156,960
โรงไฟฟ้าเทพา 1	2564	1000	10320	3199200	ใต้	
โรงไฟฟ้าเทพา 2	2567	1000	10320	3199200	ใต้	โซนกลาง 6,398,400
โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ 1	2576	1000	10320	3199200	กลาง	
โรงไฟฟ้าปัตตานี	2577	1000	10320	3199200	ใต้	ทุกโรง 18,555,360
โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ 2	2578	1000	10320	3199200	กลาง	
โรงงานปูนซีเมนต์	ดำเนินการ	0	1500	495000	กลาง	3,520,440
นิคมสมุทรสาคร	ดำเนินการ	0	1500	495000	กลาง	
นิคมมาบตาพุด	ดำเนินการ	745	7688	2530440	กลาง	

ตารางที่ 4.1 สรุปความต้องการถ่านหินของลูกค้าโรงไฟฟ้า EGAT โซนกลางได้เท่ากับ 6.4 ล้านตันต่อปี โซนล่างได้เท่ากับ 12.2 ล้านตันต่อปี และความต้องการของลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรมโซนกลางได้เท่ากับ 3.5 ล้านตันต่อปี คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 18.97 ของความต้องการของโรงไฟฟ้า EGAT ทั้งหมด หรือร้อยละ 15.95 ของความต้องการถ่านหินรวม

จากตารางความต้องการถ่านหินแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.4 โดยแสดงตำแหน่งของศูนย์กระจายถ่านหิน 2 แห่ง เป็นรูปสามเหลี่ยมที่โซนกลางและโซนใต้อย่างละที่, ตำแหน่งและความหนาแน่นของโรงไฟฟ้า EGAT 6 แห่ง แสดงดังวงกลมสีส้มหมายถึงหนึ่งหน่วยโรงไฟฟ้า และสีแดงหมายถึงมี 2 หน่วยโรงไฟฟ้าในบริเวณเดียวกัน และโรงงานอุตสาหกรรมอีก 3 แห่ง แสดงดังวงกลมสีน้ำเงิน โดยที่ขนาดของวงกลมหมายถึงความหนาแน่นของความต้องการถ่านหินต่อปี ซึ่งพบว่าความต้องการส่วนมากอยู่โซนล่างของประเทศ เพราะภาคใต้ขาดแคลนไฟฟ้าและไกลจากสายส่ง จึงต้องสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเพิ่มอีก 4 หน่วยโรงไฟฟ้าในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งความต้องการถ่านหินและศูนย์กระจายถ่านหิน

จากรูปที่ 4.4 ทำให้เกิดการแบ่งโซนในการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินดังนี้ สำหรับโซนกลางของประเทศ จะขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินโซนกลางคือจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ไปยังลูกค้าอุตสาหกรรมในจังหวัดสระบุรี นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร และนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดซึ่งอยู่บริเวณนั้น รวมถึงโรงไฟฟ้า EGAT (อ่าวไผ่) 2 หน่วยโรงไฟฟ้าที่จะสร้างในท้ายแผน สำหรับโซนใต้จะขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินโซนใต้คือจากปากแม่น้ำปัตตานี ไปยังโรงไฟฟ้า EGAT (กระบี่, เทพา 2 หน่วย, ปานาเระ) ทั้ง 4 หน่วยโรงไฟฟ้า

4.4 ข้อมูลจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง

จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งประกอบด้วยท่าเรือจำนวน 2 ท่าและสถานีรถไฟจำนวน 8 สถานี รวมเป็น 10 จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง รายละเอียดปรากฏดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง

ชื่อ	จังหวัด	ผู้รับผิดชอบ	โซน
ท่าเรือกรุงเทพ	กรุงเทพฯ	รัฐบาล	กลาง
ท่าเรือนครหลวง	อยุธยา	เอกชน	กลาง
สถานีรถไฟควนเนียง	สงขลา	รัฐบาล	ใต้
สถานีรถไฟเทพา	สงขลา	รัฐบาล	ใต้
สถานีรถไฟปัตตานี	ปัตตานี	รัฐบาล	ใต้
สถานีรถไฟห้วยยอด	ตรัง	รัฐบาล	ใต้
สถานีรถไฟแหลมฉบัง	ชลบุรี	รัฐบาล	กลาง
สถานีรถไฟมาบตาพุด	ระยอง	รัฐบาล	กลาง
สถานีรถไฟสระบุรี	สระบุรี	รัฐบาล	กลาง
สถานีรถไฟมหาชัย	สมุทรสาคร	รัฐบาล	กลาง

โรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT ที่จะสร้างตามแผน PDP2015 มีโครงการสร้างท่าเรือเพื่อรองรับเรือขนส่งถ่านหินและขนถ่ายตรงมายังโรงไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้ากระบี่และโรงไฟฟ้าเทพา ดังนั้นอีก 3 หน่วยโรงไฟฟ้าจึงอยู่บนสมมติฐานที่มีท่าเรือของโรงไฟฟ้ารับเรือขนส่งถ่านหินที่กระจายมาจากศูนย์กระจายถ่านหินได้โดยตรง ท่าเรือที่ใช้เป็นจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งจึงพิจารณาท่าเรือที่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม คือ ท่าเรือกรุงเทพซึ่งใกล้กับนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร 50 กิโลเมตร และท่าเรือนครหลวงใกล้กับโรงงานปูนซีเมนต์ 72 กิโลเมตร

สถานีรถไฟโซนใต้จะเริ่มจากสถานีรถไฟปัตตานีซึ่งใกล้กับศูนย์กระจายถ่านหินโซนใต้ที่สุด 30 กิโลเมตร และกระจายถ่านหินไปตามระบบรางที่สถานีรถไฟเทพาซึ่งใกล้กับโรงไฟฟ้าเทพา และสถานีรถไฟควนเนียงซึ่งเป็นต้นทาง-ปลายทางของขบวนรถปูนซีเมนต์ของทีพีไอ และสุดท้ายที่สถานีรถไฟห้วยยอดซึ่งอยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้ากระบี่ 102 กิโลเมตร

สถานีรถไฟโซนกลางจะเริ่มจากสถานีรถไฟมาบตาพุดซึ่งใกล้กับศูนย์กระจายถ่านหินโซนกลางที่สุด 8 กิโลเมตร และกระจายถ่านหินไปตามระบบรางที่สถานีรถไฟแหลมฉบังซึ่งอยู่ใกล้กับ

โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ และสถานีรถไฟสระบุรีใกล้กับโรงงานปูนซีเมนต์ และสถานีรถไฟมหาชัยใกล้กับนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

4.5 ข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายโลจิสติกส์

โครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และต้นทุนการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์

ค่าขนส่งสินค้า

การขนส่งถ่านหินในประเทศสามารถขนส่งได้หลายรูปแบบ เช่น ขนส่งทางบกด้วยรถบรรทุก ขนส่งทางน้ำด้วยเรือ ขนส่งทางรางด้วยรถไฟ หรือการขนส่งต่อเนื่องหลายวิธีซึ่งใช้วิธีดังกล่าวร่วมกัน โดยการจะเลือกใช้วิธีขนส่งแบบไหนขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายรวมจากการขนส่งที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายในการขนส่งแต่ละรูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้

ค่าขนส่งด้วยรถบรรทุกพ่วง

ประกอบด้วยต้นทุนแปรผันอันได้แก่ ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนน้ำมันหล่อลื่น ต้นทุนการเปลี่ยนยางรถ ต้นทุนการประกันสินค้าเสียหาย ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษารถ และต้นทุนคงที่อันได้แก่ ต้นทุนพนักงานประจำรถ ต้นทุนการประกันตัวรถและค่าธรรมเนียมต่างๆ และต้นทุนค่าเสื่อมราคารถ ซึ่งคำนวณเป็นค่าขนส่งเฉลี่ย 2.12 บาทต่อตัน-กิโลเมตร

ค่าขนส่งด้วยรถไฟ

ประกอบด้วยต้นทุนแปรผันอันได้แก่ ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนน้ำมันหล่อลื่น ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงงานประจำรถ ค่ายกขนสินค้า ต้นทุนการซ่อมบำรุง และต้นทุนคงที่อันได้แก่ ค่าเสื่อมราคาหัวรถจักร ค่าเสื่อมราคารถสินค้า เงินเดือนพนักงงานประจำรถ ค่าใช้จ่ายประจำย่านและสถานี และค่าค่าใช้จ่ายประจำสำนักงาน ซึ่งคำนวณเป็นค่าขนส่งเฉลี่ย 0.95 บาทต่อตัน-กิโลเมตร

ค่าขนส่งด้วยเรือ

ประกอบด้วยต้นทุนแปรผันอันได้แก่ ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษา ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายในการขนขึ้นและลง และต้นทุนคงที่อันได้แก่ค่าเช่าเรือ ต้นทุนพนักงานประจำเรือ ต้นทุนการประกันเรือและค่าธรรมเนียมต่างๆ และต้นทุนค่าระวางพิเศษ ซึ่งคำนวณเป็นค่าขนส่งเฉลี่ย 0.65 บาทต่อตัน-กิโลเมตร

รายละเอียดพาหนะการขนส่งแต่ละรูปแบบดังตารางที่ 4.3 ประกอบด้วยรถบรรทุก เรือ และรถไฟ ซึ่งมีความสามารถในการบรรจุแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดพาหนะขนส่งถ่านหิน

รูปแบบ	ประเภท	ความจุ (ตัน)	จำนวนพ่วงสูงสุด	ความจุสูงสุด (ตัน)	ความเร็ว (km/hr)
รถบรรทุก	Trailer	30	1	30	50
เรือ	Mini-bulkers	<10,000	1	10000	
	Handysize	10000-35000	1	35000	25
	Supramax	45000-59000	1	59000	
	Panamax	60000-80000	1	80000	40
	Capesize	100000-200000	1	200000	
	VLC	>200000	1	>200000	
	pontoon boat	2400	3	7200	25
		1500	3	4500	
รถไฟ	Bogie Hopper Wagon	40	30	1200	100

ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเป็นองค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดของโครงสร้างโลจิสติกส์ ซึ่งหากดำเนินการให้ต้นทุนในส่วนนี้ลดลงหรือต่ำที่สุด จะส่งผลให้ผู้ประกอบการได้รับกำไรเพิ่มมากขึ้น

ค่าเก็บรักษาสินค้าคงคลัง

ต้นทุนค่าเก็บรักษาถ่านหินคงคลังเกิดจากการควบคุมถ่านหินคงคลัง ให้มีเพียงพอต่อการใช้งานของลูกค้าโดยไม่เกิดภาวะถ่านหินขาดส่ง และปริมาณถ่านหินคงคลังต้องไม่มากเกินความจำเป็นจนก่อให้เกิดต้นทุนในการเก็บรักษามากเกินไป ซึ่งในส่วนของต้นทุนสินค้าคงคลังประเภทสินค้าเทกองจะแบ่งตามบริเวณที่กองเก็บคือ ณ ท่าเรือจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดขนส่งถ่านหิน 1.89 บาทต่อตัน-วัน หรือ 689.85 บาทต่อตัน-ปี และจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดขนส่งถ่านหิน ณ ย่านตู้รถไฟ 1.71 บาทต่อตัน-วัน หรือ 625.46 บาทต่อตัน-ปี

ค่าก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง

ต้นทุนค่าก่อสร้างเกิดจากค่าใช้จ่ายด้านการเตรียมพื้นที่เทกอง อาคารสำนักงานสำหรับพนักงาน ระบบไฟส่องสว่างในพื้นที่และการติดตั้งระบบอุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหินเพื่อใช้ในการขนส่ง โดยแต่ละจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งมีต้นทุนที่แตกต่างกันขึ้นกับขนาดพื้นที่และอุปกรณ์ โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างสำหรับใช้ขนส่งถ่านหิน และจะมีค่าเท่ากันทุกสถานการณ์ โดยค่าต้นทุนมาตรฐานในการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนมาตรฐาน

รายการ	**หน่วย**	**บาท/หน่วย**
พื้นที่		
- เตรียมพื้นที่	ตร.ม.	825
- อาคารสำนักงาน	ตร.ม.	14,500
- ลานพื้นคอนกรีต	ตร.ม.	800
- พลาสติก HDPE	ตร.ม.	140
อุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหิน		
- Stacker-Reclaimer	หน่วย	70,000,000
- Backhoe 14m	หน่วย	700,000
- Backhoe 18m	หน่วย	1,065,000
- Hopper	หน่วย	30,000
- conveyor	เมตร	99,500
พลังงานไฟฟ้า		
- ไฟส่องสว่าง (พื้นที่คลัง)	ตร.ม.	12
- ไฟส่องสว่าง (พื้นที่ขนถ่ายขึ้น-ลง)	ตร.ม.	12
- ไฟส่องสว่าง (พื้นที่ถนน)	ตร.ม.	12
- ระบบจ่ายไฟ	กิโลวัตต์/ชม.	4
ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาและบริหาร		
- ค่าบริหารจัดการ	%	10
- ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร	%	3
ค่าอื่นๆ		
- ค่าเช่าพื้นที่ท่าเรือ	ตร.ม.-เดือน	250
- ค่าเช่าพื้นที่ย่านสถานีรถไฟ	ตร.ม.-เดือน	230
ค่าดำเนินการ		
- ค่าแรง -พนักงานสำนักงาน	หน่วย-เดือน	20,000
- ค่าแรง -คนขับ Stacker-Reclaimer	หน่วย-เดือน	15,000

- ค่าแรง -คนขับ Backhoe	หน่วย-เดือน	15,000
- ค่าแรง -ช่างซ่อมบำรุง	หน่วย-เดือน	18,000
- ค่าแรง -แม่บ้าน	หน่วย-เดือน	18,000
- ค่าแรง -พนักงานรักษาความปลอดภัย	หน่วย-เดือน	18,000

ค่าบำรุงรักษา

ต้นทุนค่าบำรุงรักษาที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง คำนวณจากร้อยละ 5 ของราคาอุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหินที่ใช้ทั้งหมดรวมกัน โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างและใช้งานจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนั้น ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกสถานการณ์

ค่าบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์

ต้นทุนค่าการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์เกิดจากกิจกรรมการวางแผนการบริหารคลังถ่านหิน การวางแผนการขนส่งทั้งเรื่องการกำหนดเส้นทาง และการกำหนดรูปแบบการขนส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และให้ความสำคัญกับความปลอดภัยในการขนส่ง ซึ่งค่าดำเนินการในที่นี้ประมาณร้อยละ 10 ของผลรวมต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการเก็บรักษาถ่านหิน ค่าใช้จ่ายประกอบไปด้วยพนักงานบริหารจัดการ พนักงานดำเนินการ คนงานขับรถและควบคุมเครื่องจักร ช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักร จึงคำนวณค่าใช้จ่ายแบบเหมารวม 4,225,000 บาทต่อปีสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่ท่าเรือ และ 3,575,000 บาทต่อปีสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่สถานีรถไฟ ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกสถานการณ์

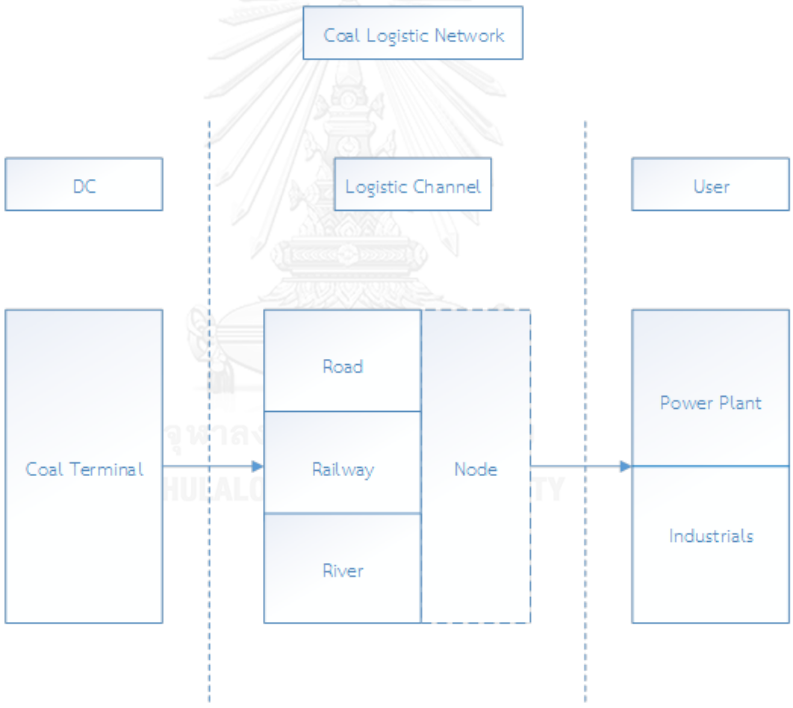
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 ปัญหาการขนส่งถ่านหินของแผน PDP 2015

ตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) ถ้าโรงไฟฟ้า EGAT จะสร้างและดำเนินการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินนำเข้ามาผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อเดินเครื่องตามเวลาและครบจำนวนโรงไฟฟ้าที่จะสร้างทั้งหมด ตามแผนต้องจัดหาเชื้อเพลิงถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัสเป็นปริมาณมากถึงกว่า 20 ล้านตันต่อปี ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณนำเข้าถ่านหินเพื่อใช้ในภาคผลิตไฟฟ้าและภาคอุตสาหกรรมของไทยในปัจจุบัน และด้วยปริมาณถ่านหินนำเข้าที่มากขนาดนี้ การบริหารจัดการเชื้อเพลิงถ่านหินเพื่อรองรับความต้องการในอนาคต จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา แผนดังกล่าวจึงจำเป็นต้องสร้างศูนย์กระจายถ่านหินเพื่อให้มีความมั่นคงทางด้านพลังงาน (security) โดยสามารถรองรับถ่านหินจากต่างประเทศคราวละปริมาณมากและมีเวลานำนานได้ เพื่อให้มีเสถียรภาพทางด้านพลังงาน (stability) มีปริมาณถ่านหินสำรองเพียงพอสำหรับการผลิตของ

ทุกโรงไฟฟ้าในแผน อีกทั้งมีปริมาณเพียงพอสำหรับกรณีฉุกเฉินด้วย และเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการกระจายถ่านหินทั้งในด้านปริมาณและเวลาการส่งมอบ

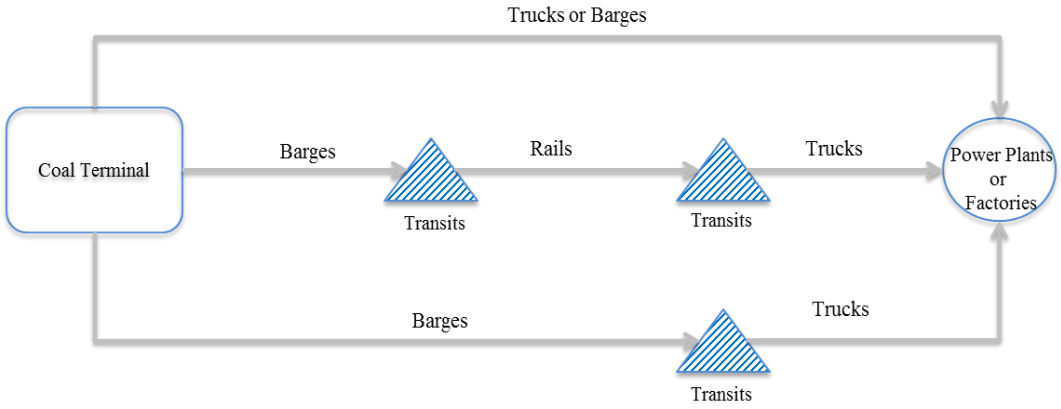
นอกจากความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าแล้ว ยังมีความต้องการถ่านหินจากภาคอุตสาหกรรมบริเวณโซนกลางของประเทศ เช่น โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานอาหาร โรงกระดาษ และโรงไฟฟ้ารายเล็กของผู้ประกอบการเอกชนเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมีการนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศของผู้ค้าถ่านหินหรือบริษัทย่อยที่ทำสัญญาซื้อขายกับเหมืองมาใช้ผลิตอยู่แล้ว ทำให้ยากที่จะได้รับส่วนแบ่งทางการตลาดจากคู่ค้าปัจจุบัน จากการวิเคราะห์ความต้องการถ่านหินทั้งหมด ส่วนใหญ่เกิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผน PDP21015 งานวิจัยนี้จึงสมมติให้ศูนย์กระจายถ่านหินตั้งอยู่บริเวณที่มีศักยภาพและใกล้กับโรงไฟฟ้าถ่านหินในอนาคตเพื่อให้ค่าขนส่งต่ำที่สุดระหว่างจุดความต้องการหลัก โดยโครงข่ายโลจิสติกส์ถ่านหินแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงข่ายโลจิสติกส์ถ่านหิน

รูปแบบการขนส่ง

เนื่องจากศูนย์กระจายถ่านหินต้องรับถ่านหินนำเข้าจากต่างประเทศด้วยเรือขนาดใหญ่ เช่น Panamax หรือ Crape-Size จึงจำเป็นต้องตั้งบริเวณท่าเรือน้ำลึก โดยการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจาย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ทางเลือก ตามรูปแบบการขนส่งและจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง ดังแสดงรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม

รูปที่ 4.6 อธิบายรูปแบบการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องด้วยข้อจำกัดของพื้นที่โรงไฟฟ้าหรือโรงงาน หากไม่ติดแม่น้ำหรือทะเล การขนส่งสุดท้ายจึงจำเป็นต้องใช้รถบรรทุกเพื่อให้เข้าถึงพื้นที่ โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

รูปแบบที่ 1 แสดงถึงศูนย์กระจายถ่านหินอยู่ใกล้กับลูกค้า ดังนั้นจึงขนส่งด้วยรถบรรทุกเพียงอย่างเดียว และหากลูกค้าอยู่บริเวณท่าเรือ การขนส่งด้วยเรือเพียงอย่างเดียวจะสะดวกและคุ้มค่ากว่า

รูปแบบที่ 2 ต้องใช้จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง 2 ที่ คือใช้เรือหรือรถบรรทุกขนถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินมาที่จุดแรก จากนั้นเปลี่ยนมาขนต่อด้วยรถไฟจนถึงจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่สอง จากนั้นเปลี่ยนมาขนส่งด้วยรถบรรทุกจนถึงลูกค้า

รูปแบบที่ 3 ต้องใช้จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งเพียง 1 ที่ โดยขนถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินด้วยเรือ จากนั้นเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งเป็นรถบรรทุกจนถึงลูกค้า

การขนส่งถ่านหินบางรูปแบบ เช่น เรือ หรือรถบรรทุก อาจมีความเสี่ยงต่อการดำเนินการ เนื่องจากจะกระทบต่อความแออัดของช่องทางจราจรและทำให้โครงสร้างพื้นฐานเสื่อมลง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลความไม่แน่นอนของการขนส่งถ่านหิน จึงออกแบบสถานการณ์อนาคตที่เป็นไปได้ในการขนส่งต่อไป

บทที่ 5
สถานการณ์การขนส่งถ่านหิน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในบทที่ 4 บทนี้จะเป็นการวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินที่เป็นไปได้ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทนในบทต่อไป

5.1 สถานการณ์การขนส่งถ่านหิน

ในส่วนของการวางแผนการขนส่งถ่านหินระยะยาวนั้นมีผลต่อเนื่องมาจากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าฉบับ PDP2015 เป็นหลัก ซึ่งหลังจากแผนฉบับนี้ประกาศใช้ ทำให้ต้องเผชิญกับการตรวจสอบอย่างละเอียดจากประชาชนในพื้นที่ที่จะมีการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน และยังได้รับแรงกดดันทางการเมือง ซึ่งส่งผลให้เกิดการล่าช้าในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าตามแผนหรือแม้กระทั่งทำให้ต้องยุติการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินบางแห่งไปเลย เพื่ออธิบายความไม่แน่นอนเหล่านี้เพิ่มเติม การออกแบบสถานการณ์จะอยู่บนพื้นฐานของเรื่องที่ได้รับความสนใจทางสังคม 2 เรื่องคือ

- การตรวจสอบอย่างละเอียดจากประชาชนในพื้นที่

  ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องหลักเนื่องจากการสร้างศูนย์กระจายถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าถ่านหินนั้นถือเป็นโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานระดับใหญ่ จึงจำเป็นต้องมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง และถึงแม้ว่าจะมีการต่อต้านจากคนท้องถิ่น รวมถึงกระบวนการและระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นในการได้รับอนุญาติเริ่มก่อสร้าง คาดว่าโรงไฟฟ้ากระบี่และโรงไฟฟ้าเทพาจะสามารถดำเนินการได้ภายในระยะเวลา 5 ปี

- ทัศนคติของประชาชนต่อโรงไฟฟ้าถ่านหิน

  เป็นอีกหนึ่งเรื่องหลักที่ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินใหม่ได้ยุ่งยากขึ้น ตั้งแต่เกิดเหตุการณ์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง กรณีที่มีฝุ่นละอองของถ่านหินและมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้ามากเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้ ส่งผลทำลายสุขภาพประชาชนบริเวณใกล้เคียงอย่างมาก และนำไปสู่ความหวาดกลัวและทัศนคติในทางลบของประชาชนทั่วไปต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ผลลัพท์นี้อาจทำให้การก่อสร้างล่าช้าไปอีก 10 ปี หรือแม้กระทั่งทำให้ต้องยกเลิกโครงการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทั้งหมด

สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าล่าช้า 5 ปี

สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้าส่งเข้าระบบล่าช้า 5 ปี เนื่องมาจากปัจจุบันปี พ.ศ. 2559 ยังอยู่ระหว่างการศึกษาจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (EHIA) โดยต้องรับฟังความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและประชาชนที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 2 ปีในการศึกษาและจัดทำรายงาน ก่อนการพิจารณาและอนุมัติให้สร้างโรงไฟฟ้า อีกทั้งยังไม่ได้รับการอนุมัติจากรัฐบาลไทยให้เริ่มดำเนินการก่อสร้างหากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติไม่พิจารณาให้ผ่าน หรือพิจารณาให้กลับไปดำเนินการปรับปรุงแก้ไข EHIA ที่ยื่นเสนอซึ่งต้องใช้เวลาเพิ่มอีกประมาณ 1-2 ปี ซึ่งหมายความว่าโรงไฟฟ้าโรงแรก หรือโรงไฟฟ้ากระบี่ที่มีกำหนดจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบในปี พ.ศ.2562 จะล่าช้ากว่ากำหนด 4 ปีและเผื่อเวลาความไม่แน่นอนในการอนุมัติแก้ไข EHIA อีก 1 ปี เนื่องจากอาจต้องยื่นมากกว่า 3 ครั้ง ถึงจะผ่านการอนุมัติรวมเป็นเวลาล่าช้า 5 ปีในการออกแบบสถานการณ์การขนส่งถ่านหิน

สถานการณ์โรงไฟฟ้าถูกยกเลิก

สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผน PDP2015 ถูกยกเลิก สามารถเกิดขึ้นได้หากมีการต่อต้านอย่างรุนแรงของชุมชนในท้องถิ่นที่จะสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน และการต่อต้านอย่างรุนแรงจากทัศนคติทางลบของโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาดใหญ่ของประชาชนทั้งประเทศไทย ด้วยเหตุดังกล่าวจึงถูกนำมาพิจารณาในการสร้างสถานการณ์ความไม่แน่นอนในการขนส่งถ่านหินในอนาคต แต่เป็นสถานการณ์ที่ควรหลีกเลี่ยงมากที่สุด เนื่องจากกระทบต่อปริมาณไฟฟ้าในระบบของประเทศ

สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของสถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินที่นำไปสู่ปัญหาการขนส่ง จากหัวข้อที่กล่าวข้างต้น นำไปสู่การสร้างสถานการณ์ที่เกี่ยวเนื่องกัน โดยแบ่งแผน PDP2015 ออกเป็น 2 ช่วงเวลา เนื่องจากเมื่อพิจารณาความต้องการถ่านหินของทั้งแผนตลอดระยะเวลา 20 ปี พบว่าช่วงแรก หรือ10 ปีแรกของแผนมีการสร้างโรงไฟฟ้า 3 แห่งตั้งแต่ต้นแผน จากนั้นความต้องการถ่านหินจะมีเฉพาะ 3 โรงไฟฟ้าแรกและคงที่ในช่วงเวลา 9 ปี ส่วนแผนช่วงหลัง หรือ10 ปีหลังของแผนมีการสร้างโรงไฟฟ้าอีก 3 แห่งในปลายแผน จึงวิเคราะห์แบ่งช่วงกลางแผนที่มีความต้องการถ่านหินคงที่ ออกเป็น 2 ช่วงเวลา โดยแสดงรายละเอียดของสถานการณ์ดังต่อไปนี้

- 10 ปีแรกของแผน PDP2015

  คือช่วงปี พ.ศ. 2560-2569 ซึ่งโดยปกติช่วงนี้สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ อีกทั้งช่วง 10 ปีแรก โรงไฟฟ้าที่จะสร้างมีผลภาระผูกพันธ์ทางระบบแล้ว จึงประกอบไปด้วย 3 สถานการณ์ที่

เป็นไปได้คือ (A0) การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกอย่างเป็นไปตามแผน, (A1) การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเริ่มต้นล่าช้าไป 5 ปี, และ (A3) ยกเลิกการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกโรงในแผน

- 10 ปีหลังของแผน PDP2015

  คือช่วงปี พ.ศ. 2570-2579 ซึ่งช่วง 10 ปีหลังของแผนมีความไม่แน่นอนสูงและขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ช่วง 10 ปีแรก จึงประกอบไปด้วย 2 สถานการณ์ที่เป็นไปได้คือ (N0) การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกอย่างเป็นไปตามแผน, และ (N1) ยกเลิกการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกโรงในแผน

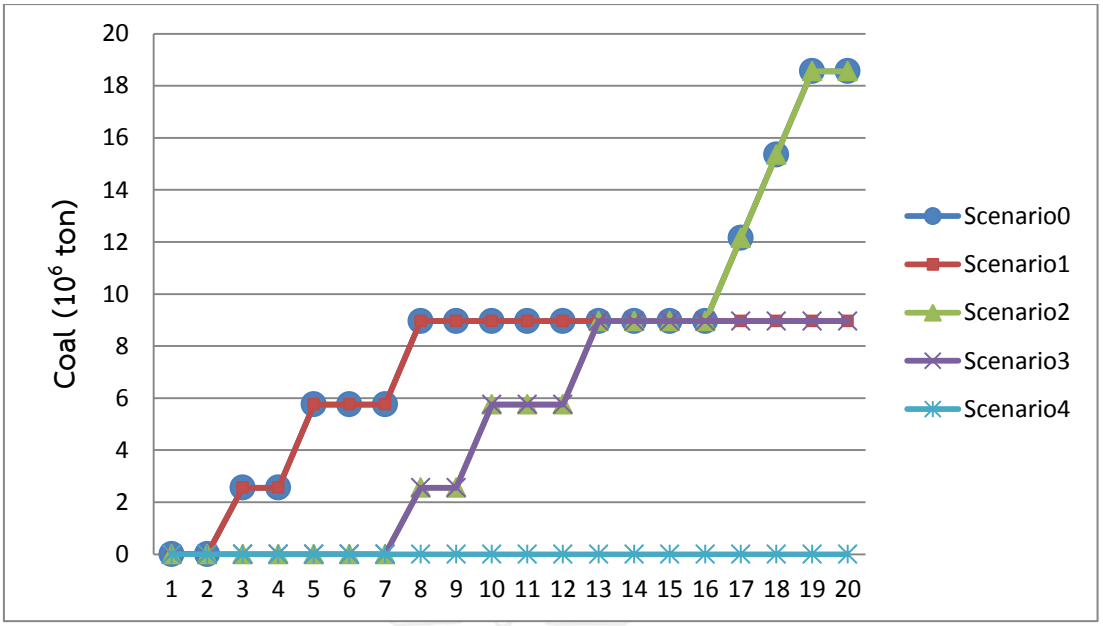
และได้แบ่งปัญหาออกเป็น 2 แบบคือ วิเคราะห์การขนส่งจากความต้องการของโรงไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และวิเคราะห์กรณีที่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมร่วมด้วยตามสถานการณ์ต่างๆ จากความเกี่ยวเนื่องตาม 2 ช่วงเวลาของแผน

5.1 กรณีมีเฉพาะความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้า

การวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินกรณีมีเฉพาะความต้องการจากโรงไฟฟ้าจึงสนใจแบ่งเป็น 5 สถานการณ์ที่แตกต่างกัน สรุปดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สถานการณ์ที่น่าสนใจ กรณีไม่มีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรม

สถานการณ์	10 ปีแรก	10 ปีหลัง
w0	A0: ตามแผน PDP2015	N0: ตามแผน PDP2015
w1	A0: ตามแผน PDP2015	N1: ยกเลิกทุกโรงไฟฟ้า
w2	A1: การสร้างล่าช้า 5 ปี	N0: ตามแผน PDP2015
w3	A1: การสร้างล่าช้า 5 ปี	N1: ยกเลิกทุกโรงไฟฟ้า
w4	A2: ยกเลิกทุกโรงไฟฟ้า	N1: ยกเลิกทุกโรงไฟฟ้า



รูปที่ 5.1 ความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้า EGAT แต่ละสถานการณ์

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าความต้องการถ่านหินแปรผันตามจำนวนโรงไฟฟ้าถ่านหินที่สร้างและปีที่สร้างโรงไฟฟ้าให้จ่ายไฟเข้าระบบตามแผนและตามสถานการณ์ที่ออกแบบ ซึ่งแต่ละสถานการณ์จะสัมพันธ์กับความต้องการใช้ถ่านหินในแต่ละปี

โดยสามารถสรุปข้อมูลแต่ละสถานการณ์ที่ออกแบบได้ดังนี้

สถานการณ์ w0

โรงไฟฟ้าสามารถสร้างได้ตามแผน PDP2015 ทั้งหมด 6 โรงไฟฟ้า โดยเรียงลำดับการสร้างได้ดังนี้

ช่วง 10 ปีแรกของแผน

ลำดับที่ 1 โรงไฟฟ้ากระบี่ สร้างช่วงปีที่ 3 หรือปี พ.ศ. 2562

ลำดับที่ 2 โรงไฟฟ้าเทพา1 สร้างช่วงปีที่ 5 หรือปี พ.ศ. 2564

ลำดับที่ 3 โรงไฟฟ้าเทพา2 สร้างช่วงปีที่ 8 หรือปี พ.ศ. 2567

ช่วง 10 ปีหลังของแผน

ลำดับที่ 4 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 สร้างช่วงปีที่ 17 หรือปี พ.ศ. 2576

ลำดับที่ 5 โรงไฟฟ้าปานาเระ สร้างช่วงปีที่ 18 หรือปี พ.ศ. 2577

ลำดับที่ 6 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2 สร้างช่วงปีที่ 19 หรือปี พ.ศ. 2578

รวมความต้องการใช้ถ่านหินของทั้ง 6 โรงไฟฟ้า 167.6 ล้านตันตลอดช่วงเวลา 20 ปี

สถานการณ์ w1

โรงไฟฟ้าสามารถสร้างได้ตามแผน PDP2015 เฉพาะ 10 ปีแรกของแผนซึ่งมี 3 โรงไฟฟ้า โดยเรียงลำดับการสร้างได้ดังนี้

ช่วง 10 ปีแรกของแผน

ลำดับที่ 1 โรงไฟฟ้ากระบี่ สร้างช่วงปีที่ 3 หรือปี พ.ศ. 2562

ลำดับที่ 2 โรงไฟฟ้าเทพา1 สร้างช่วงปีที่ 5 หรือปี พ.ศ. 2564

ลำดับที่ 3 โรงไฟฟ้าเทพา2 สร้างช่วงปีที่ 8 หรือปี พ.ศ. 2567

รวมความต้องการใช้ถ่านหินของทั้ง 3 โรงไฟฟ้า 138.8 ล้านตันตลอดช่วงเวลา 20 ปี

สถานการณ์ w2

โรงไฟฟ้าสามารถสร้างได้ทั้งหมด 6 โรงไฟฟ้า แต่เกิดการล่าช้าในการสร้างโรงไฟฟ้าเริ่มต้น 5 ปี ของโรงไฟฟ้าช่วง 10 ปีแรก โดยเรียงลำดับการสร้างได้ดังนี้

ช่วง 10 ปีแรกของแผน

ลำดับที่ 1 โรงไฟฟ้ากระบี่ สร้างช่วงปีที่ 8 หรือปี พ.ศ. 2567

ลำดับที่ 2 โรงไฟฟ้าเทพา1 สร้างช่วงปีที่ 10 หรือปี พ.ศ. 2569

ลำดับที่ 3 โรงไฟฟ้าเทพา2 สร้างช่วงปีที่ 13 หรือปี พ.ศ. 2572

ช่วง 10 ปีหลังของแผน

ลำดับที่ 4 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 สร้างช่วงปีที่ 17 หรือปี พ.ศ. 2576

ลำดับที่ 5 โรงไฟฟ้าปานาเระ สร้างช่วงปีที่ 18 หรือปี พ.ศ. 2577

ลำดับที่ 6 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2 สร้างช่วงปีที่ 19 หรือปี พ.ศ. 2578

รวมความต้องการใช้ถ่านหินของทั้ง 6 โรงไฟฟ้า 122.8 ล้านตันตลอดช่วงเวลา 20 ปี

สถานการณ์ w3

โรงไฟฟ้าสามารถสร้างได้ตามแผน PDP2015 เฉพาะ 10 ปีแรกของแผน ซึ่งมี 3 โรงไฟฟ้า และเกิดการล่าช้าในการสร้างโรงไฟฟ้าเริ่มต้น 5 ปี โดยเรียงลำดับการสร้างได้ดังนี้

ช่วง 10 ปีแรกของแผน

ลำดับที่ 1 โรงไฟฟ้ากระบี่ สร้างช่วงปีที่ 8 หรือปี พ.ศ. 2567

ลำดับที่ 2 โรงไฟฟ้าเทพา1 สร้างช่วงปีที่ 10 หรือปี พ.ศ. 2569

ลำดับที่ 3 โรงไฟฟ้าเทพา2 สร้างช่วงปีที่ 13 หรือปี พ.ศ. 2572

รวมความต้องการใช้ถ่านหินของทั้ง 3 โรงไฟฟ้า 94.1 ล้านตันตลอดช่วงเวลา 20 ปี

สถานการณ์ w4

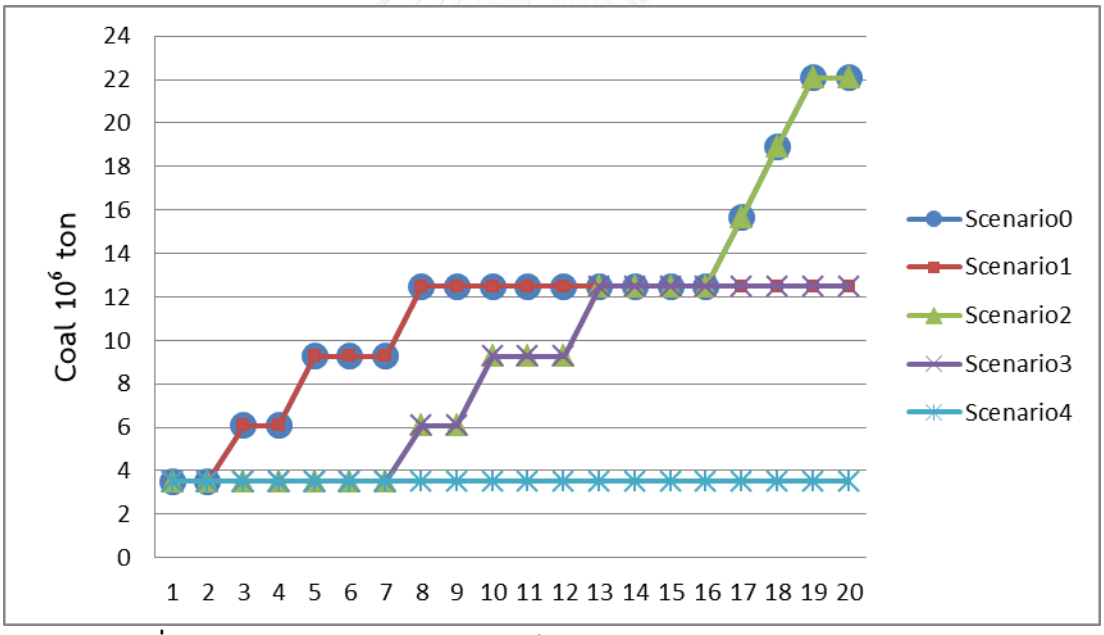
โรงไฟฟ้าไม่สามารถสร้างได้ตามแผน PDP2015 จากการถูกยกเลิกโรงไฟฟ้าถ่านหินทั้งหมดชองแผน ในช่วงเวลา 20 ปี จึงไม่มีการขนส่งถ่านหินเกิดขึ้น

5.2 กรณีมีความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าร่วมกับโรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินกรณีมีความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าร่วมกับโรงงานอุตสาหกรรม สนใจแบ่งเป็น 5 สถานการณ์ที่แตกต่างกัน สรุปดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สถานการณ์ที่น่าสนใจ กรณีมีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรม

สถานการณ์	10 ปีแรก	10 ปีหลัง
w0	A0: ตามแผน PDP2015 + โรงงาน	N0: ตามแผน PDP2015 + โรงงาน
w1	A0: ตามแผน PDP2015 + โรงงาน	N1: โรงงาน
w2	A1: การสร้างล่าช้า 5 ปี + โรงงาน	N0: ตามแผน PDP2015 + โรงงาน
w3	A1: การสร้างล่าช้า 5 ปี + โรงงาน	N1: โรงงาน
w4	A2: โรงงาน	N1: โรงงาน



รูปที่ 5.2 ความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้า EGAT รวมกับโรงงานอุตสาหกรรม

รูปที่ 5.2 จะเพิ่มปริมาณที่ต้องขนส่งถ่านหินให้กับภาคอุตสาหกรรมรวมเข้ากับปริมาณถ่านหินที่ต้องส่งให้กับโรงไฟฟ้าในแต่ละสถานการณ์ โดยที่ไม่ว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินจะสร้างหรือไม่สร้างตามแผน PDP2015 อย่างไรก็ตามจะมีความต้องการถ่านหินจำนวนหนึ่งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ดำเนินการอยู่แล้ว ซึ่งแต่ละสถานการณ์จะสัมพันธ์กับความต้องการใช้ถ่านหินในแต่ละปี

เนื่องจากปริมาณความต้องการถ่านหินของโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าคงที่ 70.4 ล้านตันต่อ 20 ปีในทุกสถานการณ์ โดยไม่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนในการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินในแผนสถานการณ์ความไม่แน่นอนของโรงไฟฟ้าในกรณีนี้จึงออกแบบเป็น 5 สถานการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่มีความต้องการถ่านหินเฉพาะโรงไฟฟ้า โดยเพิ่มเติมถ่านหินที่ต้องส่งให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและการออกแบบสถานการณ์ที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ ต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
แบบจำลองคณิตศาสตร์

จากปัญหาการขนส่งถ่านหินของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อให้รองรับตามแผน PDP2015 และแนวคิดในการวางแผนและวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินในประเทศไทยที่ได้กล่าวในบทที่ 5 บทนี้จะนำเสนอการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถรองรับต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น โดยแบบจำลองนี้มีการกำหนดสมมติฐานและข้อกำหนด รวมถึงเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ เพื่อประมวลผลคำตอบ และจากนั้นจะนำคำตอบที่ได้จากแบบจำลองมาวิเคราะห์และสรุปข้อเสนอแนะ

จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งวางแผนการขนส่งถ่านหินในช่วงเวลา 20 ปีนี้ จะได้รูปแบบการขนส่งและเส้นทางการขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปสู่โรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละสถานการณ์ รวมถึงค่าขนส่งที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ และวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องในลำดับต่อไป

6.1 สมมติฐานและข้อกำหนด (Assumptions)

1. ศูนย์กระจายถ่านหิน (Coal center) มี 2 แห่งเท่านั้นตามที่ระบุในการรวบรวมข้อมูล โดยเป็นจุดส่งถ่านหินและมีถ่านหินพร้อมส่งตลอดเวลา มีเวลาทำงาน 14 ชั่วโมงต่อวัน และทำงาน 360 วันต่อปี
2. ตำแหน่งและความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT เป็นไปตามแผน PDP2015 ดังที่ระบุไว้ในการรวบรวมข้อมูล
3. ตำแหน่งและความต้องการถ่านหินของโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าคงที่ และเป็นไปตามที่ระบุในการรวบรวมข้อมูล
4. ค่าขนส่งแปรผันของถ่านหิน ขึ้นกับโหมดการขนส่งและมีค่าคงที่เท่ากันในทุกช่วงเวลาและทุกสถานการณ์
5. ค่ารักษาถ่านหินคงคลัง พิจารณาจากอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 3 ของราคาถ่านหิน 60$/ton และจุดเก็บดังที่ระบุในการรวบรวมข้อมูล โดยมีค่าเท่ากันทุกช่วงเวลาและทุกสถานการณ์
6. ค่าก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง พิจารณาจากค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี แปลงเป็นค่าใช้จ่ายรวมต่อ 20 ปี โดยมีค่าเท่ากันในทุกสถานการณ์ ซึ่งจะเกิดค่าใช้จ่ายส่วนนี้เมื่อมีการสร้างเพื่อใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7. ค่าบำรุงรักษาพิจารณาจากอัตราร้อยละ 5 ของราคาอุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหินเริ่มต้นที่ใช้ทั้งหมด โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนั้น ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกช่วงเวลาและทุกสถานการณ์
8. ค่าบริหารจัดการ เกิดจากค่าใช้จ่ายรวมของพนักงานที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งซึ่งมีค่าเท่ากันในทุกช่วงเวลาและทุกสถานการณ์
9. พิกัดบรรทุกถ่านหินพิจารณาจากน้ำหนักและข้อจำกัดของพาหนะแต่ละรูปแบบดังที่ระบุไว้ในการรวบรวมข้อมูล
10. จุดที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งและข้อจำกัดของพื้นที่ระบุในการรวบรวมข้อมูล แต่จะใช้หรือไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรตัดสินใจ
11. จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง เป็นทั้งจุดรับถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน และจุดส่งถ่านหินไปยังลูกค้า
12. ลูกค้าเป็นจุดรับถ่านหินโดยตรงจากศูนย์กระจายถ่านหิน หรือจากจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่ตัวแปรตัดสินใจเลือกใช้
13. พิจารณาถ่านหินผสมแล้ว มีค่าความร้อนประมาณ 5,000 กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้ได้ทั้งโรงไฟฟ้า EGAT และโรงงานอุตสาหกรรม
14. ความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าคำนวณที่วันทำงาน 310 วัน/ปี
15. ความต้องการถ่านหินของโรงงานอุตสาหกรรมคำนวณที่วันทำงาน 330 วัน/ปี
16. ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาโครงข่ายการขนส่งถ่านหินทั้งหมด 20 ปี (2560-2579)
17. เวลาที่ใช้ในการขนส่งจะถูกพิจารณาเป็นจำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละช่วงเวลา (ปี) ซึ่งจะรวมเวลาในการลำเลียงถ่านหินขึ้นและลงแล้ว
18. ถ่านหินถูกขนส่งโดย EGAT เป็นผู้ประกอบการขนส่งเอง ซึ่งจะคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบ โดยต้องพิจารณาน้ำหนักและระยะทางร่วมด้วย
19. ไม่นำค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสั่งซื้อ (Ordering Cost) มาพิจารณาในแบบจำลองเนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ที่ศูนย์กระจายถ่านหินสั่งซื้อถ่านหินจากต่างประเทศ ซึ่งโครงข่ายการกระจายถ่านหินจะขนส่งถ่านหินจากศูนย์กระจายที่ซื้อถ่านหินไว้แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 กำหนดเซตและดัชนี (Indices)

$\mathbb{O}$ เซตของศูนย์กระจายถ่านหิน

$\mathbb{P}$ เซตของโรงไฟฟ้าถ่านหิน EGAT

$\mathbb{F}$ เซตของโรงงานอุตสาหกรรม

$\mathbb{L}$ เซตของจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง

$\mathbb{A}$ เซตของเส้นทางการขนส่ง, $\mathbb{A} = \{\mathbb{O} \times \mathbb{L} \cup \mathbb{L} \times \mathbb{P} \cup \mathbb{L} \times \mathbb{F} \cup \mathbb{L} \times \mathbb{L}\}$

$\mathbb{V}$ เซตของพาหนะการขนส่ง

$\mathbb{T}$ เซตของช่วงเวลา (ปี)

$\mathbb{T}'$ เซตของช่วงเวลาถัดไป (ปี), $\mathbb{T}' = \mathbb{T} \cup \{|\,\mathbb{T}+1\,|\}$

Ω เซตของสถานการณ์

6.3 กำหนดค่าตัวแปร (Parameters)

d_{ijv} แทนระยะทางระหว่างจุด i และจุด j ที่ใช้พาหนะ v (กิโลเมตร), $(i, j) \in \mathbb{A}$

$A_{ot\omega}$ รัศมีการให้บริการของศูนย์กระจายถ่านหิน o ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

c_v^{trans} แทนอัตราค่าขนส่งสินค้าด้วยพาหนะ v (บาท/ตัน-กิโลเมตร)

c_l^{inv} แทนอัตราค่ารักษาสินค้าคงคลังที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l (บาท/ตัน-ปี)

$c_l^{ma\,\mathrm{int}}$ แทนอัตราค่าบำรุงรักษาที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l (บาท/ปี)

c_{lt}^{const} แทนอัตราค่าก่อสร้างที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l (บาท/ปี) ณ ช่วงเวลา t

c_l^{oper} แทนอัตราค่าใช้จ่ายด้านบริหารจัดการโลจิสติกส์ที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l

$c_{pt\omega}^{purch}$ แทนอัตราค่าซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติทดแทนโรงไฟฟ้า p ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω (บาท/ปี)

$e_{pt\omega}^{lost}$ แทนปริมาณไฟฟ้าที่สูญเสียของโรงไฟฟ้า p ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$D_{pt\omega}$ แทนปริมาณความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้า p ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω (ตัน/ปี)

$D_{ft\omega}$ แทนปริมาณความต้องการถ่านหินของโรงงานอุตสาหกรรม f ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω (ตัน/ปี)

r_{ijv} แทนจำนวนรอบระหว่างจุด i และจุด j ด้วยพาหนะ v

$inv_{l\omega}$ แทนค่าเฉลี่ยอัตราการหมุนเวียนของถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l ด้วยสถานการณ์ ω

$inv_{p\omega}$ แทนค่าเฉลี่ยอัตราการหมุนเวียนของถ่านหินที่โรงไฟฟ้า p ด้วยสถานการณ์ ω

$inv_{f\omega}$ แทนค่าเฉลี่ยอัตราการหมุนเวียนของถ่านหินที่โรงงานอุตสาหกรรม f ด้วยสถานการณ์ ω

$\underline{C}_l$ ปริมาณต่ำสุดในการกองเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l

$\overline{C}_l$ ปริมาณสูงสุดในการกองเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l

$\underline{C}_p$ ปริมาณต่ำสุดในการกองเก็บถ่านหินที่โรงไฟฟ้า p

$\overline{C}_p$ ปริมาณสูงสุดในการกองเก็บถ่านหินที่โรงไฟฟ้า p

$\underline{C}_f$ ปริมาณต่ำสุดในการกองเก็บถ่านหินที่โรงงานอุตสาหกรรม f

$\overline{C}_f$ ปริมาณสูงสุดในการกองเก็บถ่านหินที่โรงงานอุตสาหกรรม f

6.4 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$w_{ijvt\omega}^{trans}$ น้ำหนักถ่านหินที่ขนส่งระหว่างจุด i และจุด j โดยใช้พาหนะ v ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{lt\omega}^{end}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l ณ สิ้นสุดช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{lt\omega}^{avg}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือเฉลี่ยที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง l ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{pt\omega}^{end}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือที่โรงไฟฟ้า p ณ สิ้นสุดช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{pt\omega}^{avg}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือเฉลี่ยที่โรงไฟฟ้า p ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{ft\omega}^{end}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือที่โรงงานอุตสาหกรรม f ณ สิ้นสุดช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$w_{ft\omega}^{avg}$ น้ำหนักถ่านหินคงเหลือเฉลี่ยที่โรงงานอุตสาหกรรม f ณ ช่วงเวลา t และสถานการณ์ ω

$x_{ijvt\omega}^{trans}$ $\begin{cases} 1, & \text{เมื่อขนส่งถ่านหินผ่านจุด } i \text{ และ } j \text{ ด้วยพาหนะ } v \text{ ณ ช่วงเวลา } t \text{ และสถานการณ์ } \omega \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$z_{lt\omega}^{const}$ $\begin{cases} 1, & \text{เมื่อจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง } l \text{ สร้างขึ้น ณ ช่วงเวลา } t \text{ และสถานการณ์ } \omega \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$z_{lt\omega}^{avail}$ $\begin{cases} 1, & \text{เมื่อจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง } l \text{ พร้อมใช้งาน ณ ช่วงเวลา } t \text{ และสถานการณ์ } \omega \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$z_{pt\omega}^{avail}$ $\begin{cases} 1, & \text{เมื่อโรงไฟฟ้า } p \text{ พร้อมใช้งาน ณ ช่วงเวลา } t \text{ และสถานการณ์ } \omega \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$z_{ojv\omega}^{oper}$ $\begin{cases} 1, & \text{เมื่อศูนย์กระจายถ่านหิน } o \text{ ขนส่งถ่านหินไป } j \text{ ด้วยพาหนะ } v \text{ และสถานการณ์ } \omega \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

6.5 เงื่อนไขและข้อจำกัด (Constraint)

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินในประเทศไทย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ต่ำที่สุด และสามารถรองรับสถานการณ์ต่างๆได้ โดยจะพิจารณาสถานการณ์ที่มีความน่าสนใจทั้งหมด 5 สถานการณ์ โดยนำความไม่แน่นอนของการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผน PDP 2015 ซึ่งกระทบต่อความต้องการถ่านหินในแต่ละบริเวณและแต่ละช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนั้นยังกระทบต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งเข้าระบบ โดยได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งสมการวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้แสดงดังเงื่อนไขที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$\min Total\cos t \tag{1}$$

$$Total\cos t \geq TC_w^{trans} + TC_w^{inv} + TC_w^{faci} + TC_w^{admin} + TC_\omega^{purch}, \qquad \forall\omega \in \Omega \tag{2}$$

โดยเงื่อนไขที่ 2 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการกระจายถ่านหิน ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งถ่านหิน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาถ่านหินคงคลัง ค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างพื้นฐานและการบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายด้านบริหารจัดการโลจิสติกส์ นอกจากนั้นยังรวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการต้องซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเข้ามาทดแทน เพื่อรักษาพลังงานไฟฟ้าในระบบให้มีเพียงพอต่อค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตของประเทศ ในส่วนต่อไปจะเป็นรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่างๆ

$$TC_w^{trans} = \sum_t \sum_v \sum_{(i,j)} c_v^{trans} d_{ijv} w_{ijvt\omega}^{trans}, \qquad \forall\omega \in \Omega \tag{3}$$

$$TC_w^{inv} = \sum_t \sum_l c_l^{inv} w_{lt\omega}^{avg} + \sum_t \sum_p c_p^{inv} w_{pt\omega}^{avg} + \sum_t \sum_f c_f^{inv} w_{ft\omega}^{avg}, \qquad \forall\omega \in \Omega \tag{4}$$

$$TC_w^{faci} = \sum_l \sum_t \left(c_l^{ma\,int} z_{lt\omega}^{avail} + \sum_t c_{lt}^{const} z_{lt\omega}^{constr} \right), \qquad \forall\omega \in \Omega. \tag{5}$$

$$TC_w^{ad\,min} = \sum_t \sum_l c_l^{oper} z_{lt\omega}^{avail}, \qquad \forall\omega \in \Omega. \tag{6}$$

$$TC_w^{purch} = \sum_p \sum_t c_{pt\omega}^{purch} e_{pt\omega}^{lost}, \qquad \forall\omega \in \Omega. \tag{7}$$

ค่าใช้จ่ายแต่ละอย่างแสดงรายละเอียดดังเงื่อนไขที่ 3-7 ตามลำดับโดยค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับแต่ละสถานการณ์ที่สนใจวิเคราะห์ ในส่วนต่อไปจะแสดงเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ของโครงข่ายการขนส่งถ่านหิน ดังนี้

$$\underline{C}_l z^{avail}_{lt\omega} \leq w^{end}_{lt\omega} \leq \bar{C}_l z^{avail}_{lt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{8}$$

$$\underline{C}_l z^{avail}_{lt\omega} \leq w^{avg}_{lt\omega} \leq \bar{C}_l z^{avail}_{lt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{9}$$

$$\underline{C}_p z^{avail}_{pt\omega} \leq w^{end}_{pt\omega} \leq \bar{C}_p z^{avail}_{pt\omega}, \qquad \forall p \in \mathbb{P}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{10}$$

$$\underline{C}_p z^{avail}_{pt\omega} \leq w^{avg}_{pt\omega} \leq \bar{C}_p z^{avail}_{pt\omega}, \qquad \forall p \in \mathbb{P}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{11}$$

$$\underline{C}_f \leq w^{end}_{ft\omega} \leq \bar{C}_f, \qquad \forall f \in \mathbb{F}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{12}$$

$$\underline{C}_f \leq w^{avg}_{ft\omega} \leq \bar{C}_f, \qquad \forall f \in \mathbb{F}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{13}$$

เงื่อนไขที่ 8-13 เป็นการควบคุมว่าปริมาณถ่านหินคงเหลือเฉลี่ย หรือถ่านหินคงเหลือ ณ สิ้นสุดช่วงเวลาใดๆ ของทุกจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง ทุกโรงไฟฟ้า และทุกโรงงานอุตสาหกรรม ต้องไม่เกินความสามารถของแต่ละที่ที่จะกองเก็บได้

$$w^{avg}_{lt\omega} = \frac{1}{inv_{l\omega}}\left(\sum_i \sum_v w^{trans}_{ilvt\omega} - w^{end}_{lt\omega} + w^{end}_{l(t+1)\omega}\right), \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{14}$$

$$w^{avg}_{pt\omega} = \frac{1}{inv_{p\omega}} D_{pt\omega} - w^{end}_{pt\omega} + w^{end}_{p(t+1)\omega}, \qquad \forall p \in \mathbb{P}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{15}$$

$$w^{avg}_{ft\omega} = \frac{1}{inv_{f\omega}} D_{ft\omega} - w^{end}_{ft\omega} + w^{end}_{f(t+1)\omega}, \qquad \forall f \in \mathbb{F}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{16}$$

เงื่อนไขที่ 14-16 หาค่าปริมาณถ่านหินคงเหลือเฉลี่ย ที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อการจัดการถ่านหิน ทั้งเรื่องถ่านหินคงเหลือที่ใช้ได้และปริมาณถ่านหินที่ขนส่ง ให้สอดคล้องกับนโยบายการหมุนเวียนถ่านหินคงคลัง

$$\sum_v x_{ijvt\omega} \leq 1, \qquad \forall (i,j) \in \mathbb{A}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{17}$$

$$w^{trans}_{ijvtw} \leq M x^{trans}_{ijvtw}, \qquad \forall (i,j) \in \mathbb{A}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{18}$$

เงื่อนไขที่ 17-18 กำหนดการเลือกใช้พาหนะขนส่งถ่านหินได้เพียง 1 รูปแบบในระหว่างทุกคู่การขนส่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งของทุกช่วงเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$w^{end}_{lt\omega} + \sum_i \sum_v w^{trans}_{ilvt\omega} = w^{end}_{l(t+1)\omega} + \sum_j \sum_v w^{trans}_{ljvt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{19}$$

$$w^{end}_{pt\omega} + \sum_i \sum_v w^{trans}_{ipvt\omega} = w^{end}_{p(t+1)\omega} + D_{pt\omega}, \qquad \forall p \in \mathbb{P}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{20}$$

$$w^{end}_{ft\omega} + \sum_i \sum_v w^{trans}_{ifvt\omega} = w^{end}_{f(t+1)\omega} + D_{ft\omega}, \qquad \forall f \in \mathbb{F}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{21}$$

เงื่อนไขที่ 19-21 เป็นการควบคุมเพื่อให้ปริมาณถ่านหินมีความสมดุลที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง โดยที่น้ำหนักการขนส่งถ่านหินนำเข้ารวมกับถ่านหินคงเหลือ ณ สิ้นสุดช่วงเวลาใดๆ ต้องเท่ากับน้ำหนักการขนส่งถ่านหินออกรวมกับถ่านหินคงเหลือ ณ สิ้นสุดช่วงเวลาถัดไป ส่วนโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณถ่านหินคงเหลือจะสะท้อนถึงปริมาณความต้องการถ่านหินและปริมาณการขนส่งถ่านหินเช่นกัน

$$\sum_{t=1}^{\hat{t}} z^{avail}_{lt\omega} \leq \hat{t} \sum_{t=1}^{\hat{t}} z^{const}_{lt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall \hat{t} \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{22}$$

$$\sum_t z^{const}_{lt\omega} \leq 1, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{23}$$

$$z^{avail}_{lt\omega} \leq z^{avail}_{l(t+1)\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{24}$$

$$\sum_i \sum_v w^{trans}_{ilvt\omega} \leq M\, z^{avail}_{lt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{25}$$

$$\sum_j \sum_v w^{trans}_{ljvt\omega} \leq M\, z^{avail}_{lt\omega}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{26}$$

เงื่อนไขที่ 22-26 เป็นการควบคุมการขนส่งถ่านหินผ่านจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง โดยในหนึ่งสถานการณ์จะสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งครั้งแรกครั้งเดียว จุดนั้นจะสามารถพร้อมใช้งานหลังก่อสร้างและพร้อมใช้ไปจนถึงสิ้นสุดช่วงเวลา

$$w^{trans}_{ijvt\omega} \leq C^{wt}_{v} r_{ijv}, \qquad \forall (i,j) \in \mathbb{A}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{27}$$

เงื่อนไขที่ 27 เป็นการควบคุมปริมาณขนส่งถ่านหินและข้อจำกัดของพาหนะให้มีความสัมพันธ์กัน

$$d_{ojv} z^{oper}_{ojv} \leq A_{ovt\omega}, \qquad \forall (o,j) \in \mathbb{A}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{28}$$

$$w^{trans}_{ojvt\omega} \leq M z^{oper}_{ojv}, \qquad \forall (o,j) \in \mathbb{A}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega. \tag{29}$$

เงื่อนไขที่ 28 เป็นการเลือกศูนย์กระจายถ่านหินที่กระจายไปยังโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมภายในรัศมีการให้บริการขนส่ง คือถ่านหินจะถูกขนส่งให้โรงไฟฟ้าภายในโซนเท่านั้น แต่หากไม่อยู่ในรัศมี ศูนย์กระจายถ่านหินอื่นที่ครอบคลุมจะส่งแทน และเงื่อนไขที่ 29 เป็นการควบคุมปริมาณขนส่งถ่านหินให้มีความสัมพันธ์กับการเลือกศูนย์กระจายถ่านหิน

$$w^{end}_{lt\omega}, w^{avg}_{lt\omega} \geq 0, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall t \in \mathbb{T}', \forall \omega \in \Omega. \tag{30}$$

$$w^{end}_{pt\omega}, w^{avg}_{pt\omega} \geq 0, \qquad \forall p \in \mathbb{P}, \forall t \in \mathbb{T}', \forall \omega \in \Omega. \tag{31}$$

$$w^{end}_{ft\omega}, w^{avg}_{ft\omega} \geq 0, \qquad \forall f \in \mathbb{F}, \forall t \in \mathbb{T}', \forall \omega \in \Omega. \tag{32}$$

$$w^{trans}_{ijvt\omega} \geq 0, \qquad \forall (i,j) \in \mathbb{A}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{33}$$

$$z^{avail}_{lt\omega}, z^{const}_{lt\omega} \in \{0,1\}, \qquad \forall l \in \mathbb{L}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall \omega \in \Omega \tag{34}$$

$$x^{trans}_{ijvt\omega} \in \{0,1\}, \qquad \forall (i,j) \in \mathbb{A}, \forall v \in \mathbb{V}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall \omega \in \Omega \tag{35}$$

เงื่อนไขที่ 30-35 แสดงถึงเงื่อนไขในการหาคำตอบของสมการ โดยเงื่อนไขที่ 30-33 เป็นตัวแปรปริมาณถ่านหินที่ขนส่งหรือถ่านคงเหลือ ซึ่งค่าคำตอบของตัวแปรเหล่านี้ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ หรือเป็นสมาชิกของจำนวนจริงบวก และเงื่อนไขที่ 34-35 เป็นตัวแปรฐานสองซึ่งอาจเป็นค่าใดค่าหนึ่งระหว่างหนึ่งและศูนย์เท่านั้นของตัวแปรตัดสินใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

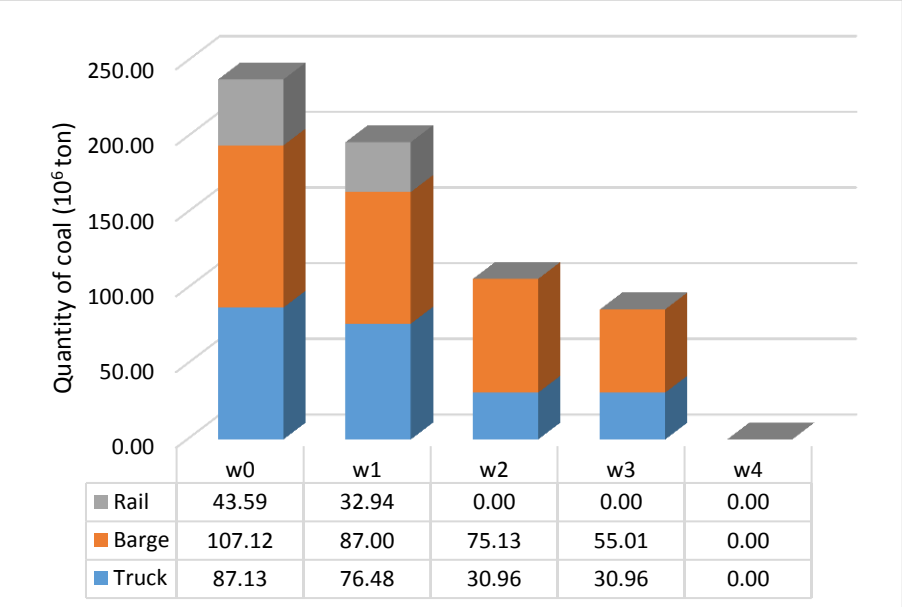
บทที่ 7
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลและวิเคราะห์ผลคำตอบที่ได้รับจากแบบจำลองเชิงคงทน โดยจะเริ่มจากลักษณะการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งถ่านหิน จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่เลือกใช้ เส้นทางการขนส่งถ่านหิน และแสดงผลค่าใช้จ่ายรวมของการกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินในแต่ละสถานการณ์

แบบจำลองที่สร้างขึ้นนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม IBM ILOG CPLEX 12.4 เชื่อมด้วย IBM OPL 6.3 โดยคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Intel(R) Core™ i7-4210U ระดับความจำ 16 GB ซึ่งผลคำตอบเชิงคงทนมาจากค่าใช้จ่ายรวมในสถานการณ์ที่ 5 (w4) หรือสถานการณ์ที่ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผนทุกกรณี รายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

7.1 การขนส่งถ่านหินกรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม ทั้ง 5 สถานการณ์แสดงดังรูปที่ 7.1



	w0	w1	w2	w3	w4
Rail	43.59	32.94	0.00	0.00	0.00
Barge	107.12	87.00	75.13	55.01	0.00
Truck	87.13	76.48	30.96	30.96	0.00

รูปที่ 7.1 ปริมาณการขนส่งถ่านหินด้วยรูปแบบต่างๆ กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งถ่านหินไปให้โรงไฟฟ้า ส่วนใหญ่เป็นลักษณะของการขนส่งแบบโดยตรงทางน้ำด้วยเรือ Ocen Barge ขนาด 13,000 DWT เนื่องจาก

โรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดในแผนมีโครงสร้างท่าเรือของโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับการขนส่งถ่านหินได้โดยตรง ซึ่งเหมือนกันทุกสถานการณ์ยกเว้นสถานการณ์ w4 ซึ่งไม่มีการสร้างโรงไฟฟ้าตามแผน

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะรองลงมาคือรถบรรทุก ในสถานการณ์ w0 หรือการสร้างโรงไฟฟ้าทุกอย่างเป็นไปตามแผน มีการใช้รถบรรทุกเพื่อขนถ่านหินไปยังสถานีรถไฟต้นทางและจากสถานีรถไฟปลายทางไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่ ส่วนสถานการณ์ w1 ใช้รถบรรทุกเพื่อขนถ่านหินไปยังสถานีรถไฟต้นทางและจากสถานีรถไฟปลายทางไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่เช่นกัน แต่บางช่วงเวลาจะใช้รถบรรทุกขนส่งถ่านหินโดยตรงไปยังโรงไฟฟ้า และในสถานการณ์ w2-3 มีความล่าช้าของการสร้างโรงไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเป็นการใช้รถบรรทุกเพื่อขนถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่โดยตรง

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะน้อยที่สุดคือรถไฟ ในสถานการณ์ w0 และ w1 เพื่อขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่ เนื่องจากมีการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อขนส่งทางรางในสถานการณ์นั้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสร้างขึ้นทั้งหมด 2 จุด ซึ่งเป็นสถานีรถไฟของภาคใต้ โดยจะสร้างจุดเปลี่ยนโหมดการขนส่งในสถานการณ์ w0 และ w1 หรือสถานการณ์ที่โรงไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นตามแผนได้ครบตามเวลาที่ระบุและสถานการณ์สร้างตามแผนช่วง10 ปีแรกแล้วยกเลิกสร้างโรงไฟฟ้าช่วง 10 ปีหลัง โดยสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่ช่วงเวลาแรก t0 เหมือนกันและใช้ไปตลอดทั้ง 20 ปี ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 การสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน

สถานีรถไฟ	สถานการณ์ (w)	ปี (t)
สถานีรถไฟปัตตานี	0	0
สถานีรถไฟห้วยยอด	0	0
สถานีรถไฟปัตตานี	1	0
สถานีรถไฟห้วยยอด	1	0

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานี ถูกเลือกให้เปิดดำเนินการเนื่องจากเป็นสถานีรถไฟที่อยู่ใกล้กับศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี และสถานีรถไฟห้วยยอดซึ่งอยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้ากระบี่ โดยมีความเหมาะสมที่จะสร้างใน 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าทุกอย่างเป็นไปตามแผนและสถานการณ์สร้างตามแผนช่วง10 ปีแรกแล้วยกยกสร้างโรงไฟฟ้าช่วง 10 ปีหลัง เพราะมีความต้องการถ่านหินมากและช่วง 10 ปีแรกส่งผลต่อการตัดสินใจสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งมากกว่าช่วงเวลา 10 ปีหลัง และสร้างตั้งแต่ช่วงปีแรก t0 ของสถานการณ์เพราะในช่วงปี

ถัดไปเริ่มมีการขนส่งถ่านหินไปเตรียมที่โรงไฟฟ้ากระบี่และเริ่มดำเนินการผลิตไฟฟ้าส่งเข้าระบบในช่วงปีที่ 2

การขนส่งถ่านหินทั้ง 5สถานการณ์สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

สถานการณ์ w0 มีโรงไฟฟ้า 6 โรง ตามแผน PDP2015ทั้งหมด

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปเปลี่ยนถ่ายสู่รถไฟที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีถึงสถานีรถไฟห้วยยอด แล้วขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าด้วยรถบรรทุกทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 และโรงไฟฟ้าปานาเระ

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 และโรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w1 มีโรงไฟฟ้า 3 โรงแรก

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปเปลี่ยนถ่ายสู่รถไฟที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีถึงสถานีรถไฟห้วยยอด แล้วขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าด้วยรถบรรทุกในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของสถานการณ์ โดยมีช่วงเวลาปีที่ 6และ 11 ที่ขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่ด้วยรถบรรทุกโดยตรง

โรงไฟฟ้าเทพา1 และโรงไฟฟ้าเทพา2

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w2 มีโรงไฟฟ้า 6 โรง ซึ่งโรงไฟฟ้าเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปยังโรงไฟฟ้า ทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 และโรงไฟฟ้าปานาเระ

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 และโรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2

Chulalongkorn University

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

สถานการณ์ w3 มีโรงไฟฟ้า 3 โรงแรก ซึ่งเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปยังโรงไฟฟ้า ทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 และโรงไฟฟ้าปานาเระ

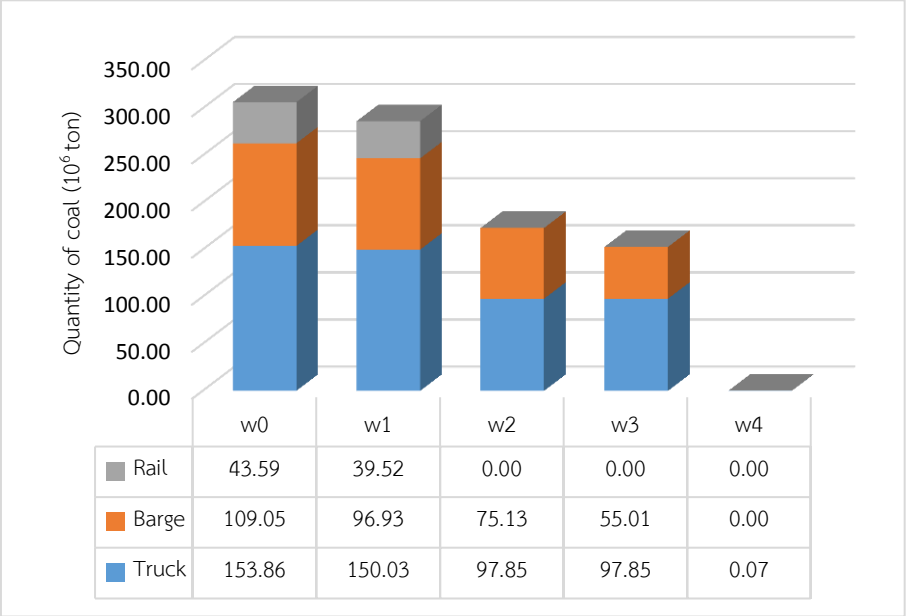
ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

สถานการณ์ w4 ไม่มีโรงไฟฟ้า

ไม่เกิดโครงข่ายการขนส่งและค่าใช้จ่ายต่างๆ

7.2 การขนส่งถ่านหินกรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม ทั้ง 5 สถานการณ์แสดงดังรูปที่ 7.2



	w0	w1	w2	w3	w4
Rail	43.59	39.52	0.00	0.00	0.00
Barge	109.05	96.93	75.13	55.01	0.00
Truck	153.86	150.03	97.85	97.85	0.07

รูปที่ 7.2 ปริมาณการขนส่งถ่านหินด้วยรูปแบบต่างๆ กรณีมีความต้องการของโรงงาน

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งถ่านหินไปให้โรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม กรณีนี้ส่วนใหญ่เป็นลักษณะของการขนส่งแบบรถบรรทุกเนื่องจากเป็นการขนส่งแบบถึง

หน้าโรงงานโดยตรง หรือขนส่งถ่านหินไปยังจุดเปลี่ยนถ่านโหมดการขนส่งเป็นรูปแบบรถไฟหรือเรือ และสุดท้ายต้องเปลี่ยนมาใช้รถบรรทุกเพื่อขนส่งถึงหน้าโรงงานอีกครั้ง และในสถานการณ์ที่มีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรมเพียงอย่างเดียว จะเลือกขนส่งโดยรถบรรทุกเท่านั้น

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะรองลงมาคือเรือด้วยเหตุผลโรงไฟฟ้าตั้งอยู่ใกล้ทะเลและมีท่าเรือรองรับ และยังมีสัดส่วนขนส่งทางน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มเข้ามาจากสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกท่าเรือเพิ่มขึ้น

ลักษณะการเลือกใช้พาหนะน้อยที่สุดคือรถไฟ ในสถานการณ์ w0 และ w1 เพื่อขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่ เนื่องจากมีการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อขนส่งทางรางในสถานการณ์นั้น

จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสร้างขึ้นทั้งหมด 4 จุด ซึ่งเป็นสถานีรถไฟของโซนใต้ 2 จุด และท่าเรือโซนกลาง 2จุด โดยจะสร้างจุดเปลี่ยนโหมดการขนส่งเฉพาะสถานการณ์ w0 และ w1 หรือสถานการณ์ที่โรงไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นตามแผนได้ครบตามเวลาที่ระบุ และสถานการณ์ที่โรงไฟฟ้าถูกยกเลิกในท้ายแผน แต่สถานการณ์w1 จะสร้างเพียง 3 จุด โดยสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่ช่วงเวลาแรก (t=0) เหมือนกันและใช้ไปตลอดทั้ง 20 ปี ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 การสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง กรณีมีความต้องการของโรงงาน

สถานีรถไฟ	สถานการณ์ (w)	ปี (t)
สถานีรถไฟปัตตานี	0	0
	1	0
สถานีรถไฟห้วยยอด	0	0
	1	0
ท่าเรือกรุงเทพ	0	0
	1	0
ท่าเรือนครหลวง	0	0

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีและสถานีรถไฟห้วยยอด ถูกเลือกให้เปิดดำเนินการดังเหตุผลในหัวข้อ 7.1 และจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งท่าเรือกรุงเทพ ตัดสินใจเปิดดำเนินการเนื่องจากอยู่ใกล้บริเวณนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครและเป็นท่าเรือขนาดใหญ่สามารถขนส่งด้วยเรือ

Barge ลำใหญ่ได้ ส่วนจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งท่าเรือนครหลวงอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และจะสร้างใช้ในสถานการณ์w0 เท่านั้น

สถานการณ์ w0 มีโรงไฟฟ้า 6 โรง และมีความต้องการจากโรงงาน

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปเปลี่ยนถ่ายสู่รถไฟที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีถึงสถานีรถไฟห้วยยอด แล้วขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าด้วยรถบรรทุกทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 และโรงไฟฟ้าปานาเระ

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 และโรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงงานปูนซีเมนต์

ขนส่งโดยใช้เรือพ่วงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงท่าเรือนครหลวงแล้วเปลี่ยนถ่ายสู่รถบรรทุกขนถ่านหินต่อไปยังโรงงานปูนซีเมนต์

โรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge จากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงท่าเรือกรุงเทพแล้วเปลี่ยนถ่ายสู่รถบรรทุกขนถ่านหินต่อไปยังโรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร

โรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุด

ขนส่งทางตรงโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุดทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w1 มีโรงไฟฟ้า 3 โรงแรก และมีความต้องการจากโรงงาน

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปเปลี่ยนถ่ายสู่รถไฟที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีถึงสถานีรถไฟห้วยยอด แล้วขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าด้วยรถบรรทุกในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของสถานการณ์ โดยมีช่วงเวลาปีที่ 6และ 11 ที่ขนส่งถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้ากระบี่ด้วยรถบรรทุกโดยตรง

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

โรงงานปูนซีเมนต์

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge จากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงท่าเรือกรุงเทพแล้วเปลี่ยนถ่ายสู่รถบรรทุกขนถ่านหินต่อไปยังโรงงานปูนซีเมนต์ และขนส่งโดยใช้รถบรรทุกโดยตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดไปยังโรงงานปูนซีเมนต์ในช่วงเวลาที่ 0และ5

โรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge จากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงท่าเรือกรุงเทพแล้วเปลี่ยนถ่ายสู่รถบรรทุกขนถ่านหินต่อไปยังโรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร และขนส่งโดยใช้รถบรรทุกโดยตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดไปยังโรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาครในช่วงเวลาที่ 3 9 และ 15

โรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุด

ขนส่งทางตรงโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุดทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w2 มีโรงไฟฟ้า 6 โรง ซึ่งโรงไฟฟ้าเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี และมีความต้องการจากโรงงาน

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปยังโรงไฟฟ้า ทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 โรงไฟฟ้าปานาเระ

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่1 และโรงไฟฟ้าอ่าวไผ่2

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร และโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุด

ขนส่งทางตรงโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุดทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w3 มีโรงไฟฟ้า 3 โรงแรก ซึ่งเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี และมีความต้องการจากโรงงาน

โรงไฟฟ้ากระบี่

ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีไปยังโรงไฟฟ้า ทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์

โรงไฟฟ้าเทพา1 โรงไฟฟ้าเทพา2 โรงไฟฟ้าปานาเระ

ขนส่งโดยใช้เรือ Barge ตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานีถึงโรงไฟฟ้าทุกช่วงเวลาที่เริ่มสร้างโรงไฟฟ้าของสถานการณ์
โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมนิคมสมุทรสาคร และโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุด

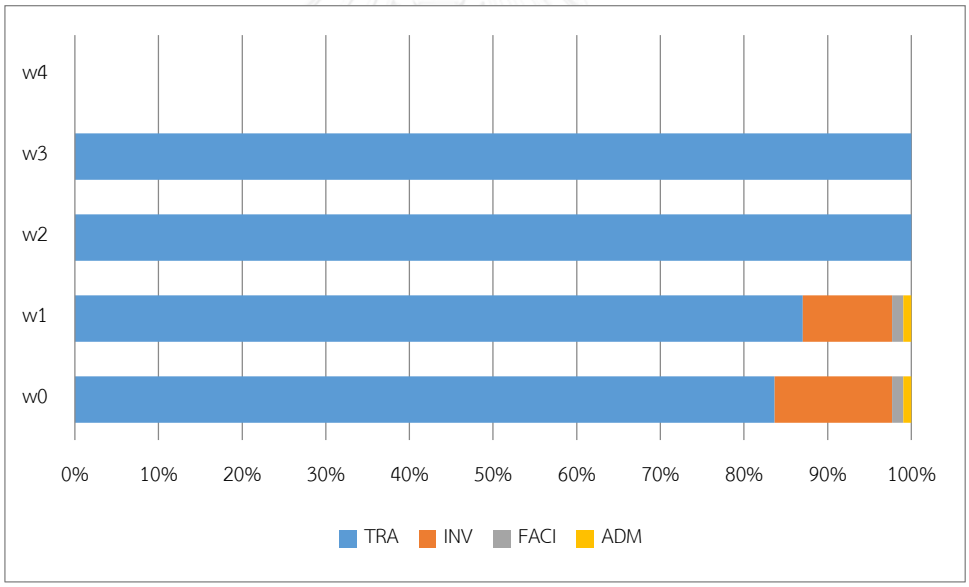
ขนส่งทางตรงโดยใช้รถบรรทุกออกจากศูนย์กระจายถ่านหินมาบตาพุดถึงโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุดทุกช่วงเวลาของสถานการณ์

สถานการณ์ w4 ไม่มีโรงไฟฟ้า แต่มีความต้องการจากโรงงาน

เกิดการขนส่งถ่านหินด้วยรถบรรทุกรูปแบบเดียวไปยังโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 3 บริเวณ ในทุกช่วงเวลาของการพิจารณาการขนส่ง

7.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์เมื่อเกิดแต่ละสถานการณ์

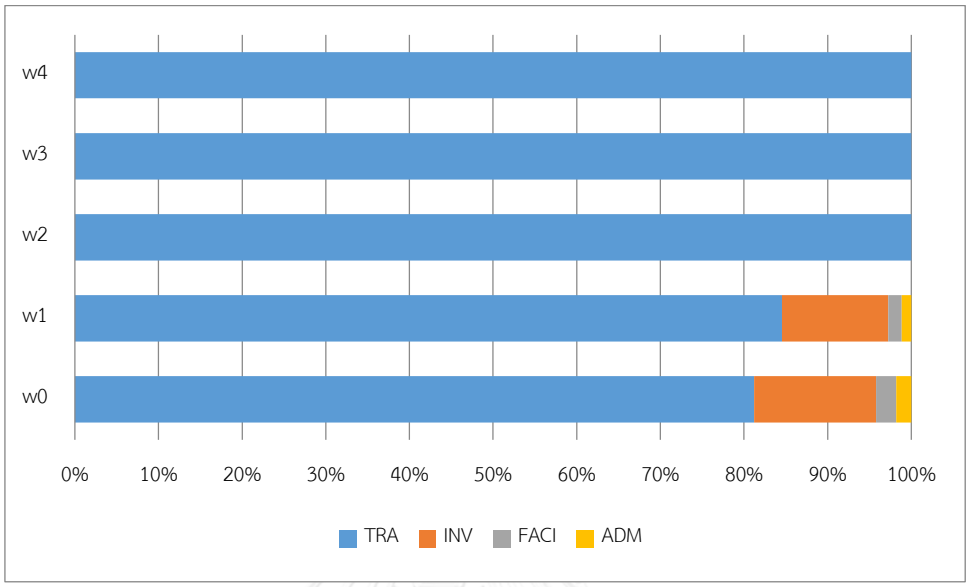
การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์จากผลคำตอบที่ได้จากแบบจำลองจากกรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน และกรณีมีความต้องการของโรงงาน สรุปได้ดังรูปที่ 7.5 และ 7.6



รูปที่ 7.3 สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน

จากรูปที่ 7.3 ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมสถานการณ์ w2-w3 ประกอบด้วยค่าขนส่งเพียงอย่างเดียวเนื่องจากส่วนใหญ่ขนส่งแบบโดยตรงจากศูนย์กระจายถ่านหินถึงโรงไฟฟ้า และสถานการณ์ w4 ไม่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นจากกรณีโรงไฟฟ้าถ่านหินถูกยกเลิกทั้งหมด ส่วนสถานการณ์ w0 และ w1 ประกอบด้วยค่าขนส่งร้อยละ 83.68 และ 87.05 ค่า

รักษาสินค้าคงคลังร้อยละ 14.02 และ 10.65 และค่าดำเนินการรวมกับค่าสิ่งอำนวยความสะดวกร้อยละ 2.30 เท่ากันตามลำดับ



รูปที่ 7.4 สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีมีความต้องการของโรงงาน

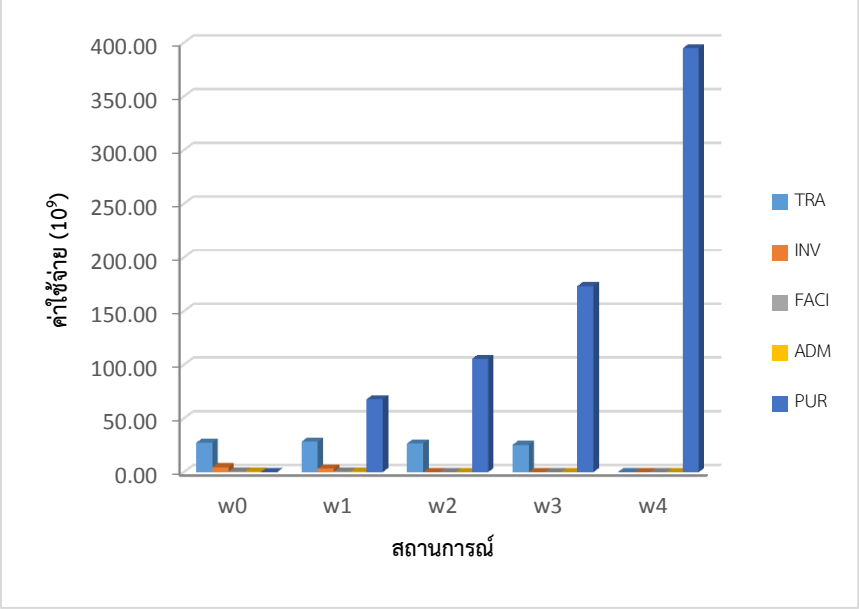
ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์กรณีมีความต้องการของโรงงาน สถานการณ์ w2-w4 ประกอบด้วยค่าขนส่งเพียงอย่างเดียวและสถานการณ์ w0 ประกอบด้วยค่าขนส่ง ค่ารักษาสินค้าคงคลังและค่าดำเนินการรวมกับค่าสิ่งอำนวยความสะดวกร้อยละ 81.22, 14.56 และ4.22 ตามลำดับ และสถานการณ์ w1 ประกอบด้วยร้อยละ 84.56, 12.68 และ 2.76 ตามลำดับ สถานการณ์ w0 มีสัดส่วนค่ารักษาสินค้าคงคลังและค่าดำเนินการรวมกับค่าสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่า สถานการณ์ w1 เนื่องจากมีปริมาณถ่านหินและจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งในการจัดการที่มากกว่า

7.4 ค่าใช้จ่ายจากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ผลคำตอบที่ได้จากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีไม่มีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม สรุปได้ดังตารางที่ 7.3 และรูปที่ 7.5

ตารางที่ 7.3 ส่วนประกอบของผลคำตอบ (หน่วย 10^9 บาท) กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน

ค่าใช้จ่าย	สถานการณ์				
	0	1	2	3	4
ค่าขนส่ง	27.27	28.37	26.71	25.37	0.00
ค่ารักษาสินค้าคงคลัง	4.57	3.47	0.00	0.00	0.00
ค่าสิ่งอำนวยความสะดวก	0.44	0.44	0.00	0.00	0.00
ค่าบริหารจัดการ	0.31	0.31	0.00	0.00	0.00
ค่าส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทน	0.00	67.80	105.47	173.27	394.76
รวม	**32.58**	**100.38**	**132.18**	**198.64**	**394.76**



รูปที่ 7.5 ส่วนประกอบค่าใช้จ่าย (10^9 บาท) กรณีไม่มีความต้องการของโรงงาน

ค่าขนส่งถ่านหินสถานการณ์ w0 เท่ากับ 27.27 พันล้านบาท, สถานการณ์ w1 เท่ากับ 28.37 พันล้านบาท, w2 เท่ากับ 26.71 พันล้านบาท, สถานการณ์ w3 เท่ากับ 25.37 พันล้านบาท

จากตารางที่ 7.3 และรูปที่ 7.5 สรุปผลคำตอบเชิงคงทนมาจากค่าใช้จ่ายรวมในสถานการณ์ที่ 5 (w4) หรือสถานการณ์ที่ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผนทุกกรณี โดยค่าใช้จ่ายที่กระทบต่อผล

คำตอบมากที่สุดคือ ส่วนต่างค่าใช้จ่ายที่เกิดจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงหลักก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนต่างนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินและผลิตไฟเข้าระบบได้ตามแผน จำเป็นต้องซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงหลักปัจจุบันเพื่อเติมเต็มระบบไฟฟ้าแทน และสถานการณ์นี้จะไม่มีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ถ่านหิน

ค่าใช้จ่ายด้านค่าขนส่งสถานการณ์ w2-3 เกิดจากการขนส่งโดยตรงทางรถบรรทุกและทางเรือ ซึ่งมีค่าลดลงตามปริมาณการขนส่งที่ลดลงในแต่ละสถานการณ์ ส่วนค่าขนส่งจากสถานการณ์ w0 ที่น้อยกว่า w1 เนื่องจากถึงแม้ปริมาณการขนส่งถ่านหินจะมากกว่า แต่มีการเลือกใช้รถไฟในการขนส่งมากกว่าทำให้ค่าขนส่งต่ำกว่า และเมื่อประมวลผลแล้ว w1 ใช้วิธีโดยส่งทางตรงโดยรถบรรทุกบางช่วงเวลาซึ่งค่าขนส่งแพงกว่าแต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมแล้วยังต่ำอยู่

ค่าใช้จ่ายด้านค่ารักษาสินค้าคงคลัง ค่าสิ่งอำนวยความสะดวก ค่าบริหารจัดการ เกิดขึ้นเฉพาะสถานการณ์ w0 และ w1 เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสิ่งอำนวยความสะดวกจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดในการขนส่งที่เกิดจากสถานีรถไฟที่สร้างขึ้น 2 สถานี

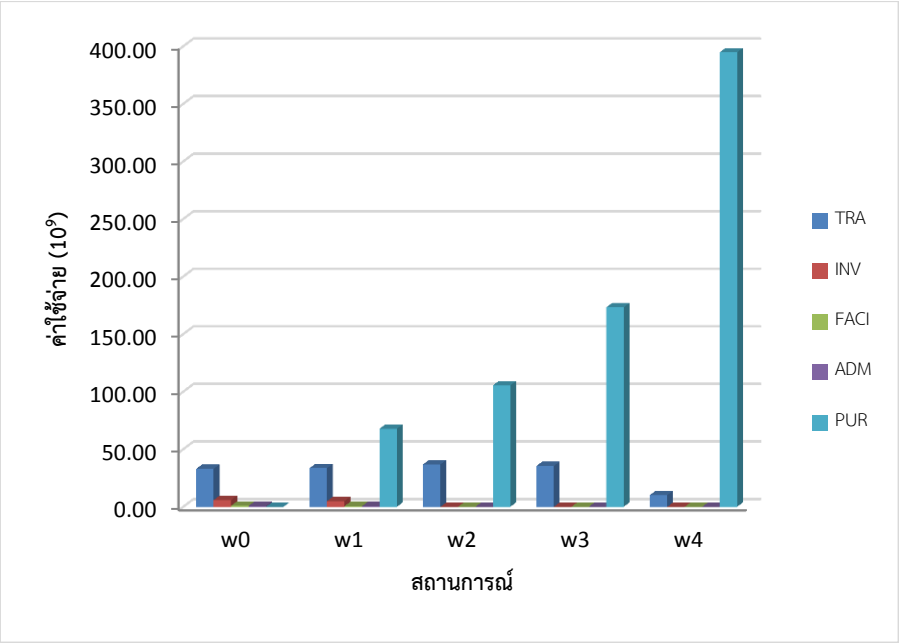
7.5 ค่าใช้จ่ายจากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ผลคำตอบที่ได้จากแบบจำลองเชิงคงทนกรณีมีความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกับความต้องการของโรงไฟฟ้าในแผน สรุปได้ดังตารางที่ 7.4 และรูปที่ 7.6

ตารางที่ 7.4 ส่วนประกอบของผลคำตอบ (หน่วย 10^9 บาท) กรณีมีความต้องการของโรงงาน

ค่าใช้จ่าย	สถานการณ์				
	0	1	2	3	4
ค่าขนส่ง	33.04	33.67	36.88	35.54	10.17
ค่ารักษาสินค้าคงคลัง	5.92	5.05	0.00	0.00	0.00
ค่าสิ่งอำนวยความสะดวก	0.98	0.65	0.00	0.00	0.00
ค่าบริหารจัดการ	0.73	0.45	0.00	0.00	0.00
ค่าส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทน	0.00	67.80	105.47	173.27	394.76
รวม	**40.67**	**107.62**	**142.35**	**208.81**	**404.93**

ค่าขนส่งถ่านหินสถานการณ์ w0 เท่ากับ 33.04 พันล้านบาท, สถานการณ์ w1 เท่ากับ 33.67 พันล้านบาท, w2 เท่ากับ 36.88 พันล้านบาท, สถานการณ์ w3 เท่ากับ 35.54 พันล้านบาท



รูปที่ 7.6 ส่วนประกอบค่าใช้จ่าย (10^9 บาท) กรณีมีความต้องการของโรงงาน

จากตารางที่ 7.4 และรูปที่ 7.6 สรุปผลคำตอบเชิงคงทนมาจากค่าใช้จ่ายรวมในสถานการณ์ที่ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผนทุกกรณี โดยค่าใช้จ่ายที่กระทบต่อผลคำตอบมากที่สุดคือ ส่วนต่างค่าใช้จ่ายที่เกิดจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงหลักก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงถ่านหิน เช่นเดียวกับกรณีแรก และสถานการณ์นี้จะมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ถ่านหินเฉพาะกับโรงงานอุตสหกรรมเท่านั้น

ค่าใช้จ่ายด้านค่าขนส่งจากสถานการณ์ w0 ที่น้อยกว่า w1 เนื่องจากถึงแม้ปริมาณการขนส่งถ่านหินจะมากกว่า แต่มีการเลือกใช้ท่าเรือนครหลวงในการขนส่งทำให้ค่าขนส่งต่ำกว่า และเมื่อประมวลผลแล้ว w1 ไม่ใช้ท่าเรือนครหลวงค่าใช้จ่ายโดยรวมแล้วต่ำกว่ากรณีใช้เพราะมีค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษาและค่าดำเนินงานเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนสถานการณ์ w2 และw3 ค่าขนส่งสูงกว่า 2 สถานการณ์แรก เพราะขนส่งโดยตรงทางรถบรรทุกและเรือ ซึ่งมีค่าลดลงตามปริมาณการขนส่งที่ลดลงในแต่ละสถานการณ์ และสถานการณ์ w4 ค่าขนส่งต่ำสุดเนื่องจากขนส่งปริมาณน้อย

ค่าใช้จ่ายด้านค่ารักษาสินค้าคงคลัง ค่าสิ่งอำนวยความสะดวก ค่าบริหารจัดการ เกิดขึ้นในสถานการณ์ w0 และ w1 เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสิ่งอำนวยความสะดวกจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดในการขนส่งที่เกิดจากสถานีรถไฟและท่าเรือที่สร้างขึ้น โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้ w0 มีค่ามากกว่า w1 เนื่องจากปริมาณถ่านหินที่ต้องจัดการมากกว่าและใช้จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งมากว่า 1 แห่ง

7.6 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

การวิเคราะห์ผลคำตอบของส่วนนี้จะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมในแต่ละสถานการณ์ของแบบจำลองที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากตัวแปรนำเข้าที่สนใจ จากสถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าเป็นไปตามแผน ล่าช้าและยกเลิกการสร้างตามแผน ในกรณีมีความต้องการจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นจากกรณีทุกอย่างเป็นตามแผน ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ประกอบไปด้วย ค่าส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทน ค่าขนส่งแปรผัน ค่ารักษาสินค้าคงคลังแปรผัน และความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม การปรับค่าของตัวแปรที่สนใจวิเคราะห์ใน 3 ระดับ คือ ลดลงร้อยละ 20 ค่าปกติและเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 โดยที่ระดับและผลคำตอบแสดงดังตารางที่ 7.5-7.7 และสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7.5 ระดับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวตัวแปร

กรณี	ค่าหน่วยซื้อไฟฟ้าทดแทน	ค่าขนส่งแปรผัน	ค่ารักษาสินค้าคงคลังแปรผัน	ความต้องการโรงงาน
	(เปอร์เซ็นต์)			
1	100	100	100	100
2	80	100	100	100
3	120	100	100	100
4	100	80	100	100
5	100	120	100	100
6	100	100	80	100
7	100	100	120	100
8	100	100	100	80
9	100	100	100	120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.6 การวิเคราะห์ความไวของผลการทดลอง

กรณี	w0	w1	w2	w3	w4
	ค่าใช้จ่ายรวม (พันล้านบาท)				
1	40.67	107.62	142.35	208.81	404.93
2	40.67	94.07	121.26	174.16	325.98
3	40.67	121.19	163.44	243.47	483.89
4	38.09	104.85	135.04	201.77	402.92
5	47.26	115.06	149.66	215.86	406.95
6	56.12	123.67	161.59	224.23	415.08
7	47.94	115.65	149.66	215.86	406.95
8	46.32	114.12	147.22	213.42	404.51
9	60.64	128.44	163.43	229.23	419.95

จากตารางที่ 7.6 พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อสถานการณ์ที่แย่ที่สุดคือค่าซื้อไฟฟ้าทดแทน หากมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดจะแปรผันตรงตามเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น และตัวแปรที่ส่งผลต่อสถานการณ์ปกติมากที่สุด คือตัวแปรความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม โดยค่าใช้จ่ายรวมจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.10 เพิ่มค่าความต้องการขึ้นร้อยละ 20

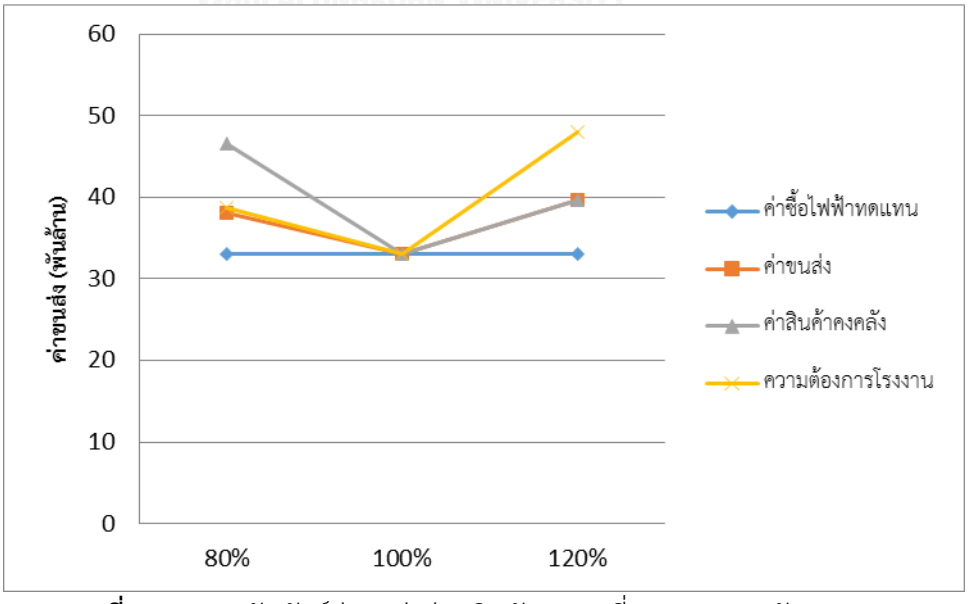
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.7 ความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายกับการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

กรณี	ค่าขนส่ง	ค่าสินค้าคงคลัง	ค่าสิ่งอำนวยความสะดวก (พันล้านบาท)	ค่าบริหารจัดการ	ค่าซื้อไฟฟ้าทดแทน
1	33.04	5.92	0.98	0.73	0.00
2	33.04	5.92	0.98	0.73	0.00
3	33.04	5.92	0.98	0.73	0.00
4	38.09	0.00	0.00	0.00	0.00
5	39.62	5.92	0.98	0.73	0.00
6	46.59	6.17	1.90	1.45	0.00
7	39.63	6.81	0.82	0.60	0.00
8	38.74	6.48	0.65	0.45	0.00
9	48.07	9.21	1.91	1.45	0.00

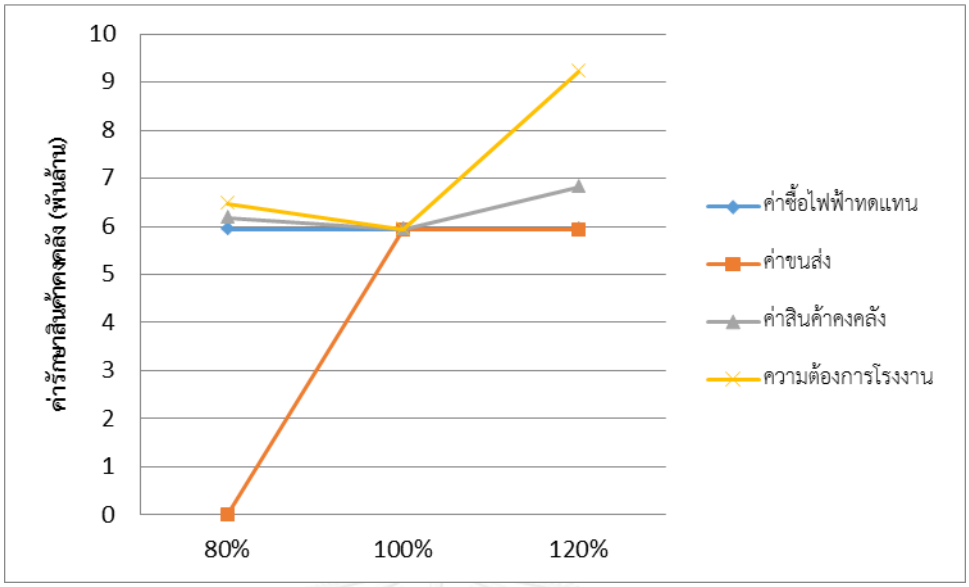
7.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนส่งกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

ความสัมพันธ์ของค่าขนส่งถ่านหินกับค่าตัวแปรต่างๆมีความเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน การเพิ่มหรือลดค่าของตัวแปรเหล่านั้น จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรค่าซื้อไฟฟ้าทดแทน ไม่ส่งผลต่อคำตอบในสถานการณ์ปกติ แสดงดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ค่าขนส่งถ่านหินกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

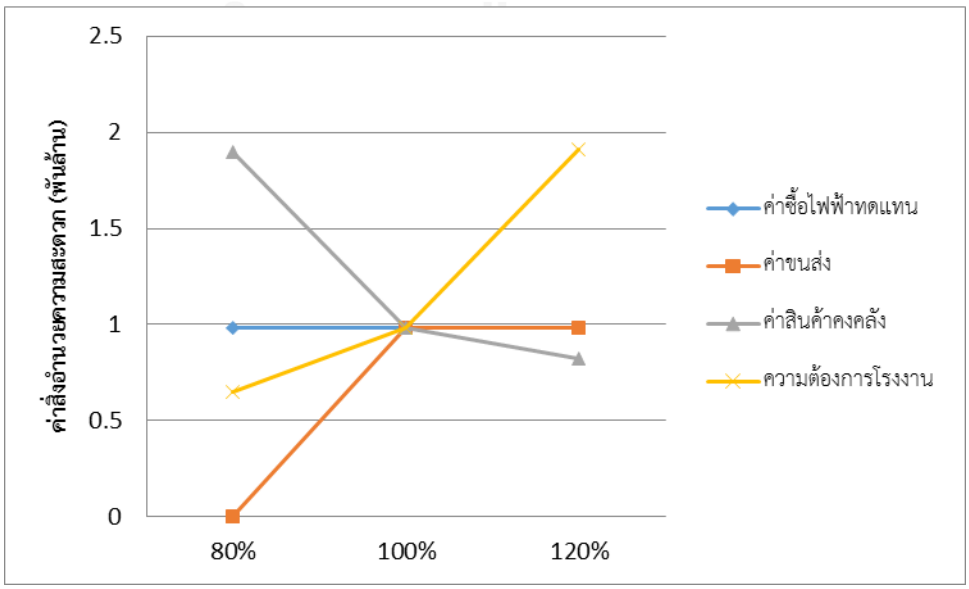
7.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารักษาสินค้าคงคลังกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร



รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ค่ารักษาสินค้าคงคลังกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

จากรูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ของค่ารักษาสินค้าคงคลังกับค่าตัวแปรค่าซื้อไฟฟ้าทดแทนไม่มีความเกี่ยวข้องกัน และตัวแปรที่มีผลมากที่สุดคือค่าขนส่ง หากค่าขนส่งแปรผันลดลงร้อยละ 20 ค่ารักษาสินค้าคงคลังจะเท่ากับ 0 หรือลดลงร้อยละ 100 แต่หากเพิ่มค่าตัวแปรจะไม่ส่งผล ส่วนค่าสินค้าคงคลังและค่าความต้องการของโรงงานมีการเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกันคือ หากลดหรือเพิ่มค่าของตัวแปรจะทำให้ค่าสินค้าคงคลังเพิ่มขึ้น

7.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสิ่งอำนวยความสะดวกกับความสัมพันธ์ของตัวแปร

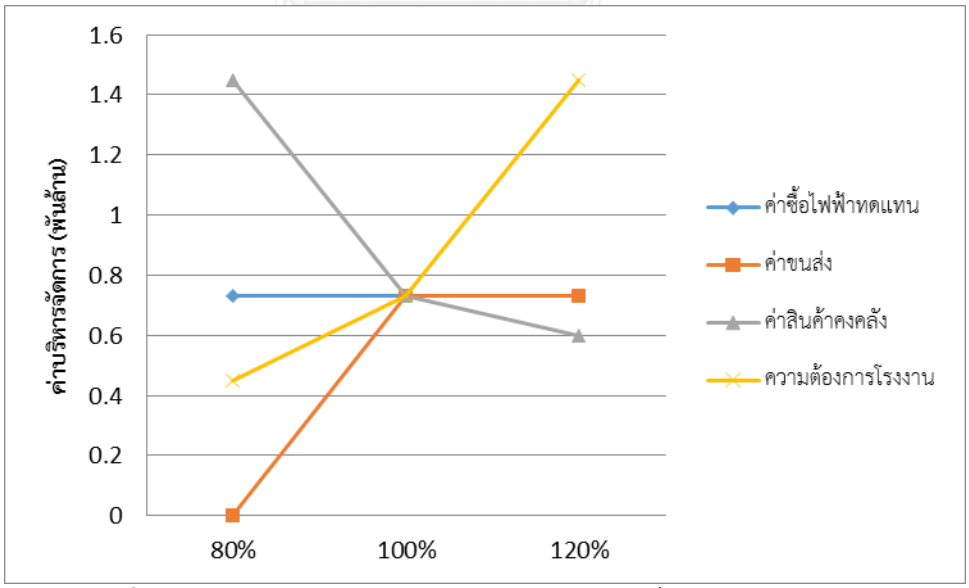


รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ค่าสิ่งอำนวยความสะดวกกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

ความสัมพันธ์ของค่าสิ่งอำนวยความสะดวกกับค่าตัวแปรค่าซื้อไฟฟ้าทดแทน ในรูปที่ 7.9 ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน และหากค่าขนส่งแปรผันลดลงร้อยละ 20 ค่ารักษาสิ่งอำนวยความสะดวกจะเท่ากับ 0 หรือลดลงร้อยละ 100 แต่หากเพิ่มค่าตัวแปรจะไม่ส่งผล และค่าสิ่งอำนวยความสะดวกจะมีผลกระทบสูงขึ้นมากหากค่ารักษาสินค้าคงคลังลดลงร้อยละ 20 แต่จะส่งผลให้ลดลงเล็กน้อยหากเพิ่มค่าตัวแปรขึ้นร้อยละ 20 โดยที่ความต้องการถ่านหินของโรงงานแปรผันตรงกับค่าสิ่งอำนวยความสะดวก ถ้าค่าตัวแปรลดลงค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะลดลง แต่หากค่าตัวแปรเพิ่มมากขึ้นค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จะสูงกว่าการลดค่าตัวแปร

7.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบริหารจัดการกับความสัมพันธ์ของตัวแปร

จากรูปที่ 7.10 ค่าบริหารจัดการกับความสัมพันธ์ของตัวแปรมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับค่าสิ่งอำนวยความสะดวกข้างต้น เนื่องจากต้องมีการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกก่อนถึงจะมีการบริหารจัดการเกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งจึงเกิดขึ้น และหากค่าขนส่งแปรผันลดลงร้อยละ 20 ค่ารักษาสิ่งอำนวยความสะดวกจะลดลงร้อยละ 100 แต่หากเพิ่มค่าตัวแปรจะไม่ส่งผล และค่าบริหารจัดการจะมีค่าสูงขึ้นมากหากค่ารักษาสินค้าคงคลังลดลงร้อยละ 20 แต่จะส่งผลให้ลดลงเล็กน้อยหากเพิ่มค่าตัวแปรขึ้นร้อยละ 20 โดยที่ความต้องการถ่านหินของโรงงานแปรผันตรงกับค่าบริหารจัดการ ถ้าค่าตัวแปรลดลงค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะลดลง แต่หากค่าตัวแปรเพิ่มมากขึ้นค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จะสูงกว่าการลดค่าตัวแปร



รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ค่าบริหารจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

7.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซื้อไฟฟ้าทดแทนกับความสัมพันธ์ของตัวแปร

ตัวแปรที่สนใจไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับค่าซื้อไฟฟ้าทดแทน เนื่องจากในสถานการณ์นี้สร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผน ทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ การเปลี่ยนแปลงตัวแปรจึงให้ค่าเป็น 0 เช่นเดิม

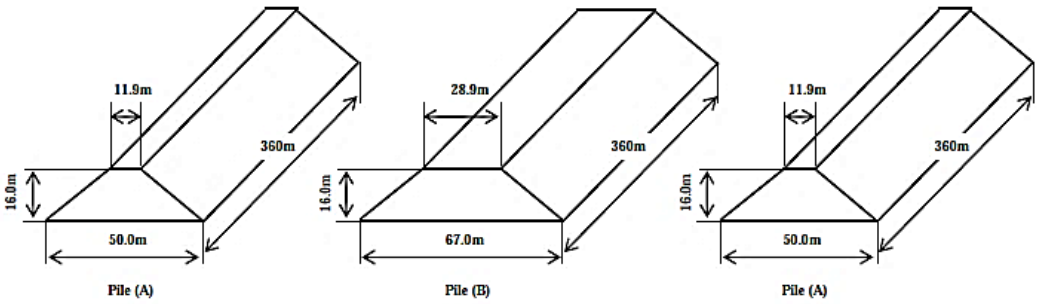
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8
นโยบายการจัดเก็บและการกระจายถ่านหิน

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบนโยบายการจัดเก็บและการกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน เนื่องจากถ่านหินเป็นวัสดุที่ติดไฟได้เอง การจัดเก็บถ่านหินจึงมีความสำคัญในเรื่องการจัดการ อีกทั้งการจัดการที่ดีนำไปสู่การใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า และการดำเนินการที่รวดเร็วในการเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งถ่านหินซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการขนส่งต่อไป เช่นเดียวกับการออกแบบการกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหิน ทำให้ถ่านหินส่งถึงลูกค้าได้ครบทั้งด้านคุณภาพ ปริมาณ และเวลา

8.1 นโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง

การจัดเก็บถ่านหินนิยมกองเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูปที่ 8.1 เพื่อให้สามารถบดอัดกองถ่านหินให้หลงเหลืออากาศน้อยที่สุด สามารถลดการลุกไหม้ของกองถ่านหินเพราะองค์ประกอบ 3 อย่างของการเผาไหม้ประกอบด้วย การมีเชื้อเพลิงคือถ่านหิน ปริมาณอากาศที่เพียงพอ และความร้อนจากสภาวะแวดล้อม ซึ่งการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งเป็นเพียงปริมาณถ่านหินคงคลังระหว่างทางเท่านั้น (In-Transit Inventories) การจัดเก็บจึงเป็นเพียงกองถ่านหินที่ไม่ใหญ่มากและมีปริมาณการกองน้อย ซึ่งแตกต่างจากการเก็บที่ศูนย์กระจายถ่านหิน



รูปที่ 8.1 รูปทรงกองถ่านหินขนาดต่างๆ
ที่มา: Japan International Cooperation Agency (JICA)

การคำนวณปริมาณจัดเก็บถ่านหินและรูปทรงกองที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง แสดงตัวอย่างการคำนวณจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่ท่าเรือนครหลวง จังหวัดอยุธยา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการดำเนินงานเกี่ยวกับการกองและกระจายถ่านหินในปัจจุบัน และผลคำตอบจากแบบจำลองกรณีมีความต้องการถ่านหินของโรงไฟฟ้าเป็นไปตามแผนทุกอย่างรวมกับโรงงานอุตสาหกรรม ตัดสินใจสร้าง

ใช้งานที่ช่วงเวลาเริ่มต้นของสถานการณ์เพื่อรับถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและจากจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งท่าเรือกรุงเทพ ซึ่งดำเนินงานภายใต้เงื่อนไขและอุปกรณ์ขนถ่ายถ่านหินรายละเอียดดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 สมมติฐานและข้อกำหนด

OPERATION CONDITION			
Equipment	**Capacity**		**Number**
Operation day	360	days	
Unloading rate	800	t/h	2
Stacking / Reclaimer rate	1600 / 800	t/h	2
Conveyor rate	800	t/h	2
Occupancy rate	40	%	1 Berth
Working Hours	14	hrs/d	
VESSEL TYPE			
Type	**Capacity**		**Number**
Pontoon boat I	1500	DWT	3
Pontoon boat II	2400	DWT	3
COAL			
Bulk density	800	kg/m^3	
Angle of repose	40	degree	
STOCK YARD			
Base	47	m	
Height	16	m	
Top	6	m	
Length of a stockpile	180	m	
Yard operational efficiency	80	%	

จากปริมาณความต้องการถ่านหินของโรงงานปูนซีเมนต์ จังหวัดสระบุรี ที่ต้องเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่บริเวณนี้ ต้องการถ่านหิน 495,000 ตันต่อปี หรือมีความต้องการใช้ถ่านหินตลอดสถานการณ์ w0 เท่ากับ 9.9 ล้านตัน และกองเก็บถ่านหินคงคลังเฉลี่ย 40,000 ตันต่อปี โดยรับถ่านหินจากเรือพ่วงขนาด 2,400 DWT 3 ลำต่อเที่ยว ได้ผลดังตารางที่ 8.2 และรูปที่ 8.2-8.3

วิธีคำนวณ ปริมาตรถ่านหิน (V) $= \frac{M}{D} = \frac{(50,000)(1,000)}{800} = 62,500$

พื้นที่หน้าตัด (A) $= \frac{1}{2}(Base + Top)(Height)$

$= \frac{1}{2}(47+6)(16) = 424$

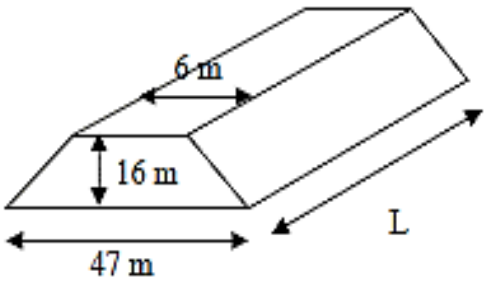
ความยาวกอง (L) $= \frac{V}{A} = \frac{62,500}{424} = 147.41$

ดังนั้นใช้พื้นที่ทั้งหมด $= \frac{(Base)(L)}{Efficeincy} = \frac{(47)(147.71)}{80\%} = 8,660 m^2$

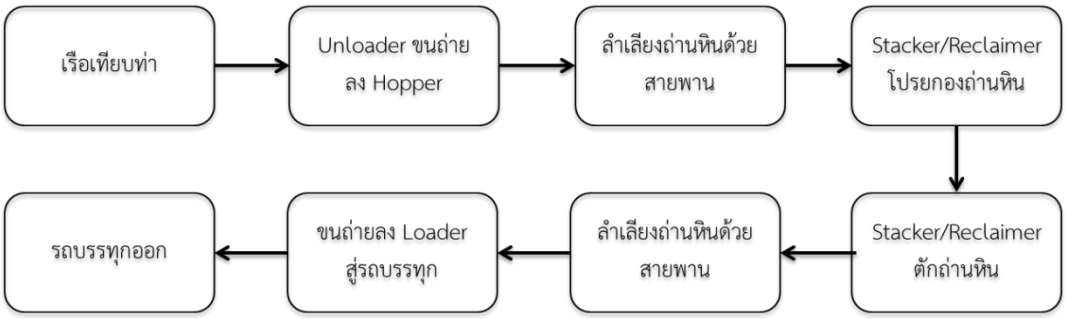
$= \frac{8,660}{1,600} = 6$ ไร่

ตารางที่ 8.2 สรุปปริมาตรกองและพื้นที่สำหรับกองถ่านหินที่ท่าเรือนครหลวง

STOCKYARD		
Stock volumn (V)	62,500	cu.m.
Sectional area (A)	424	sq.m.
L	147.41	m
No. of stockpiles	1	piles
Total area	8,660	sq.m.
	6	rai



รูปที่ 8.2 ลักษณะทรงกองถ่านหินที่ท่าเรือนครหลวง



รูปที่ 8.3 แผนภาพการทำงานที่ท่าเรือนครหลวง

กระบวนการทำงานของจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งที่ท่าเรือนครหลวง เริ่มจากเรือพ่วงร่องแม่น้ำป่าสักเข้ามาเทียบท่าและขนถ่ายขึ้นจากเรือด้วย Unloader ลงสู่ Hopper และลำเลียงถ่านหินด้วยสายพานไปยังพื้นที่กองเก็บ เครื่อง Stacker/Reclaimer ทำงานโปรยถ่านหินให้เป็นกอง เมื่อถึงกระบวนการกระจายถ่านหินออก เครื่อง Stacker/Reclaimer จะทำหน้าที่ตักถ่านหินและลำเลียงถ่านหินด้วยสายพานไปยัง Loader ลงสู่รถบรรทุกและเคลื่อนที่ไปยังโรงงานปูนซีเมนต์

สรุปการกองถ่านหินที่ท่าเรือนครหลวงคือ รูปทรงกองเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู 1 กอง ฐาน 47 เมตร สูง 16 ด้านบน 6 เมตร ทำมุม 40 องศา ความยาว 148 เมตร ได้ปริมาตรการกอง 62,500 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งใช้พื้นที่การกอง 8,660 ตารางเมตร หรือ 6 ไร่ และเมื่อคำนวณพื้นที่กันชนโดยรอบ 50 เมตรทั้งสี่ด้านพื้นที่สี่เหลี่ยม จะต้องมีเนื้อที่ทั้งหมดสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนี้ 24 ไร่

จากการคำนวณจะใช้ท่าเรือ 1 berth เพื่อรับถ่านหินจากเรือโป๊ะพ่วง 3 ลำ น้ำหนักรวมเที่ยวละ 7,200 DTW ด้วยเวลาทำงานและอุปกรณ์ขนย้ายประสิทธิภาพร้อยละ 80 ดังกล่าวข้างต้น ในหนึ่งปีต้องใช้เรือ 70 เที่ยว โดยแต่ละเที่ยวจะใช้เวลาในการทำงาน 0.8 วัน ดังนั้นระยะเวลาห่างของเรือแต่ละเที่ยวคือ 5.14 วัน

การจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งขึ้นอยู่กับปริมาณถ่านหินที่ผ่านเข้า-ออก ณ จุดนั้น และอุปกรณ์ขนถ่ายที่ใช้ในพื้นที่ซึ่งต้องมีการปรับการดำเนินงานให้เหมาะสม การวิเคราะห์ผลสรุปการกองแต่ละพื้นที่ของจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งที่เลือกสร้างและดำเนินงานในสถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าเป็นไปตามแผนทุกอย่างและมีความต้องการถ่านหินจากโรงงานอุตสาหกรรมร่วมด้วยดังตารางที่ 8.3-8.6

ตารางที่ 8.3 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่ท่าเรือนครหลวง

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง	ช่วงเวลา	ความถี่เข้า (เที่ยว/วัน)	ความถี่ออก (เที่ยว/วัน)	ถ่านหินคงคลังเฉลี่ย (ตัน)	พื้นที่กองเฉลี่ย (m^2)	จำนวนกอง
ท่าเรือนครหลวง	0	0.19	45	40,000	6,928	1
(เรือเข้า-ออกรถบรรทุก)	1	0.17	46	40,000	6,928	1
	2	0.19	46	40,000	6,928	1
	3	0.20	48	40,000	6,928	1
	4	0.19	46	40,000	6,928	1
	5	0.18	44	40,000	6,928	1
	6	0.19	46	40,000	6,928	1
	7	0.19	46	40,000	6,928	1
	8	0.19	46	40,000	6,928	1
	9	0.18	44	40,000	6,928	1
	10	0.20	48	40,000	6,928	1
	11	0.18	44	40,000	6,928	1
	12	0.19	46	40,000	6,928	1
	13	0.19	46	40,000	6,928	1
	14	0.19	46	40,000	6,928	1
	15	0.19	46	40,000	6,928	1
	16	0.19	46	40,000	6,928	1
	17	0.19	46	40,000	6,928	1
	18	0.08	46	40,000	6,928	1

ตารางที่ 8.4 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่ท่าเรือกรุงเทพ

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง	ช่วงเวลา	ความถี่เข้า (เที่ยว/วัน)	ความถี่ออก (เที่ยว/วัน)	ถ่านหินคงคลังเฉลี่ย (ตัน)	พื้นที่กองเฉลี่ย (m^2)	จำนวนกอง
ท่าเรือกรุงเทพ	0	0.20	46	40,000	6,928	1
(เรือเข้า-ออกรถบรรทุก)	1	0.11	46	40,000	6,928	1
(เรือเข้า-ออกเรือ)	2	0.11	46	40,000	6,928	1
	3	0.11	46	40,000	6,928	1
	4	0.11	46	40,000	6,928	1
	5	0.10	44	40,000	6,928	1
	6	0.11	48	40,000	6,928	1
	7	0.10	44	40,000	6,928	1
	8	0.11	48	40,000	6,928	1
	9	0.11	46	40,000	6,928	1
	10	0.11	46	40,000	6,928	1
	11	0.10	44	40,000	6,928	1
	12	0.11	46	40,000	6,928	1
	13	0.11	46	40,000	6,928	1
	14	0.11	48	40,000	6,928	1
	15	0.10	44	40,000	6,928	1
	16	0.11	48	40,000	6,928	1
	17	0.10	44	40,000	6,928	1
	18	0.17	46	40,000	6,928	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 8.4 การขนส่งออกถ่านหินจากท่าเรือกรุงเทพไปยังท่าเรือนครหลวงเกิดขึ้นเฉพาะช่วงเวลาt0 ประมาณ 6 วันต่อเที่ยว และt18 ประมาณ 9 วันต่อเที่ยว โดยบริเวณนี้จะใช้พื้นที่ในการกองเฉลี่ย 6,928 ตารางเมตร หรือ 5 ไร่ และเมื่อคำนวณพื้นที่กันชนโดยรอบ 50 เมตรทั้งสี่ด้านพื้นที่สี่เหลี่ยม จะต้องมีเนื้อที่ทั้งหมดสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนี้ 21 ไร่

ตารางที่ 8.5 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่สถานีรถไฟปัตตานี

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง	ช่วงเวลา	ความถี่เข้า (เที่ยว/วัน)	ความถี่ออก (เที่ยว/วัน)	ถ่านหินคงคลังเฉลี่ย (ตัน)	พื้นที่กองเฉลี่ย (m^2)	จำนวนกอง
สถานีรถไฟปัตตานี	1	42	1.04	85,000	14,722	2
(รถบรรทุกเข้า-ออกรถไฟ)	2	218	5.46	196,420	34,020	4
	3	225	5.63	108,643	18,817	2
	4	229	5.72	85,000	14,722	2
	5	238	5.94	300,000	51,960	5
	6	263	6.58	300,000	51,960	5
	7	200	5.00	85,000	14,722	2
	8	247	6.18	299,510	51,876	5
	9	240	6.01	85,000	14,722	2
	10	237	5.92	213,280	36,940	4
	11	226	5.65	237,980	41,219	4
	12	240	6.00	300,000	51,960	5
	13	226	5.65	85,000	14,722	2
	14	256	6.39	230,140	39,861	4
	15	237	5.92	213,280	36,940	4
	16	227	5.68	300,000	51,960	5
	17	247	6.17	126,560	21,920	3
	18	218	5.46	196,420	34,020	4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกองถ่านหินที่ย่านสถานีรถไฟปัตตานีมีความหลากหลายในแต่ละช่วงเวลาของสถานการณ์ หากพิจารณาปริมาณถ่านหินที่ต้องกองเก็บเฉลี่ยสูงสุด 300,000 ตัน ต้องใช้พื้นที่ในการกองเฉลี่ย 51,960 ตารางเมตร หรือ 33 ไร่ และเมื่อคำนวณพื้นที่กันชนโดยรอบ 50 เมตรทั้งสี่ด้านพื้นที่สี่เหลี่ยม จะต้องมีเนื้อที่ทั้งหมดสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนี้ 68 ไร่

ตารางที่ 8.6 สรุปพื้นที่การกองและปริมาณถ่านหินคงคลังเฉลี่ยที่สถานีรถไฟห้วยยอด

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง	ช่วงเวลา	ความถี่เข้า (เที่ยว/วัน)	ความถี่ออก (เที่ยว/วัน)	ถ่านหินคงคลังเฉลี่ย (ตัน)	พื้นที่กองเฉลี่ย (m^2)	จำนวนกอง
สถานีรถไฟห้วยยอด	1	1.04	42	85,000	14,722	2
(รถไฟเข้า-ออกรถบรรทุก)	2	5.46	219	196,420	34,020	4
	3	5.63	237	176,560	30,580	3
	4	5.72	237	250,000	43,300	5
	5	5.94	237	126,090	21,839	3
	6	6.58	256	250,000	43,300	5
	7	5.00	219	85,000	14,722	2
	8	6.18	237	250,000	43,300	5
	9	6.01	256	193,420	33,501	4
	10	5.92	237	213,280	36,940	4
	11	5.65	219	250,000	43,300	5
	12	6.00	237	159,700	27,660	3
	13	5.65	237	213,280	36,940	4
	14	6.39	256	230,140	39,861	4
	15	5.92	237	213,280	36,940	4
	16	5.68	219	196,420	34,020	4
	17	6.17	256	230,140	39,861	4
	18	5.46	219	196,420	34,020	4

การกองถ่านหินที่ย่านสถานีรถไฟปัตตานีมีความหลากหลายในแต่ละช่วงเวลาของสถานการณ์ หากพิจารณาปริมาณถ่านหินที่ต้องกองเก็บเฉลี่ยสูงสุด 250,000 ตัน ต้องใช้พื้นที่ในการกองเฉลี่ย 43,300 ตารางเมตร หรือ 28 ไร่ และเมื่อคำนวณพื้นที่กันชนโดยรอบ 50 เมตรทั้งสี่ด้านพื้นที่สี่เหลี่ยม จะต้องมีเนื้อที่ทั้งหมดสำหรับจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งนี้ 60 ไร่

8.2 การจัดเก็บถ่านหินตามมาตรฐาน

การจัดเก็บถ่านหินตามมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป จะใช้สายพานลำเลียงถ่านหินเป็นแบบระบบปิด และมีหัวฉีดพ่นน้ำบริเวณสายพานโปรยถ่านหินลงสู่ลานกองถ่านหินและบริเวณข้อต่อของสายพานเพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย และบดอัดกองถ่านหินให้มีความหนาแน่นเหมาะสมประมาณ 1-2 ton/m^3 มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและระบบดับเพลิงอัตโนมัติหัวจ่ายน้ำดับเพลิงและท่อสเปรย์น้ำและถังดับเพลิงชนิดเอ โดยทำการตรวจสอบความพร้อมในการใช้งานตลอดเวลา เตรียมรถตักเพื่อตักแยกถ่านหินบริเวณที่เกิดลุกไหม้ ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะอากาศร้อนและมีอากาศเพียงพอสำหรับการลุกไหม้ด้วยตัวเองของเชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งการตักแยกถ่านหินเพื่อดับเพลิงจะสอดคล้องตามมาตรฐานสากลในการจัดการกองถ่านหิน มีกำหนดพื้นที่กองเก็บถ่านหินให้เป็นพื้นที่ห้ามสูบก่อให้เกิดประกายไฟ และรณรงค์ให้ปลูกไม้ยืนต้นชนิดที่ไม่ผลัดใบบริเวณรอบอาคารเก็บถ่านหินเพื่อชะลอลมไม่ให้ปะทะกับกองถ่านหินโดยตรง รวมถึงมีระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ บริเวณกองเก็บถ่านหิน เพื่อไม่ใช้น้ำเสียเล็ดไปกระทบบริเวณใกล้เคียง

8.3 นโยบายการกระจายถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน

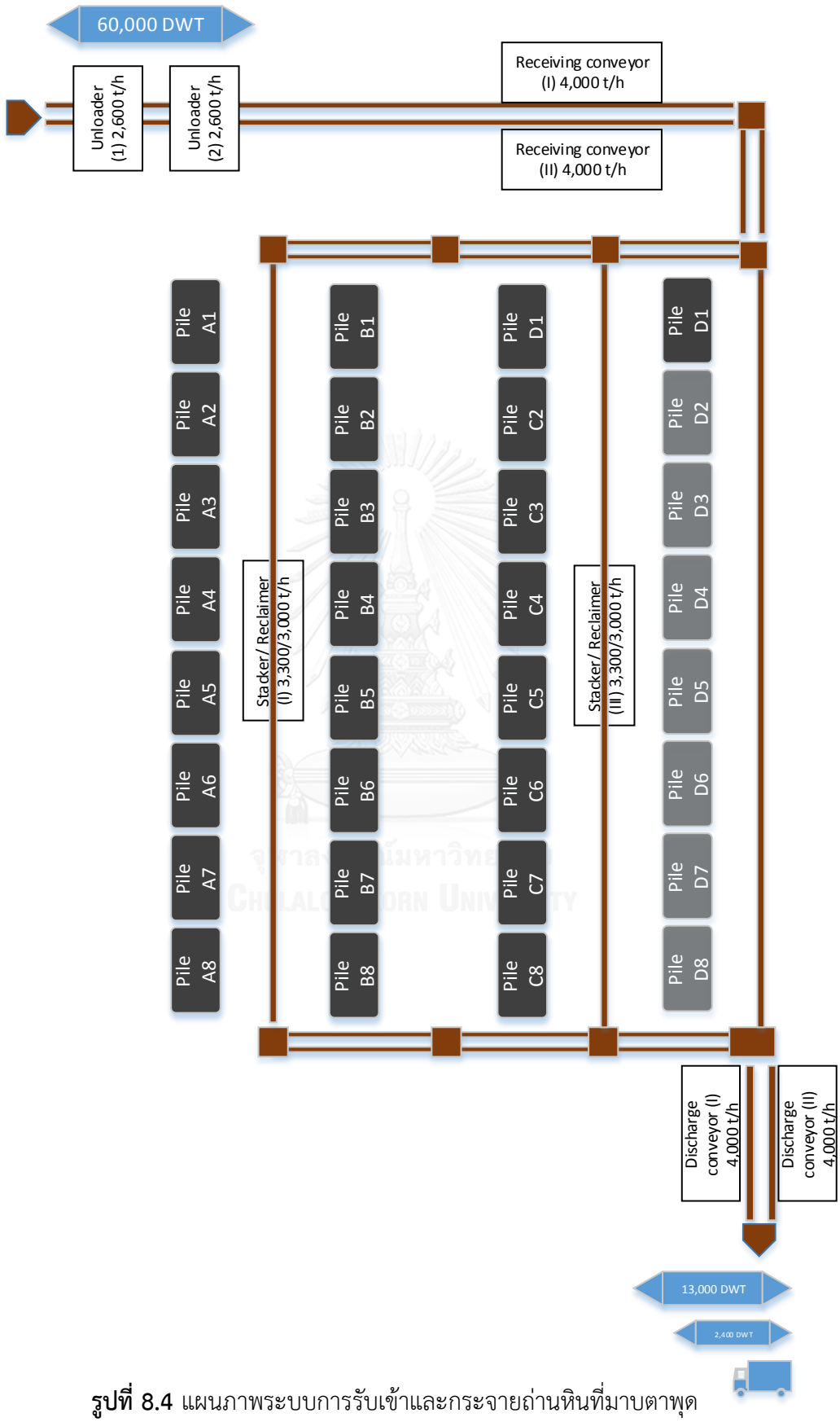
ศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุด

ศูนย์กระจายถ่านหินที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง บริเวณโซนกลางของประเทศ สร้างขึ้นเพื่อบริหารจัดการถ่านหินคุณภาพดีชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัส ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยอาณาเขตบริเวณลูกค้าที่ศูนย์แห่งนี้รองรับคือโซนกลางของประเทศ อันได้แก่ โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ 2 หน่วยโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรมบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร รวมถึงโรงงานปูนซีเมนต์ที่จังหวัดสระบุรีด้วย

ศูนย์กระจายถ่านหินแห่งนี้พัฒนาหน้าท่าความยาว 0.3 กิโลเมตร และน้ำลึก 12.5 เมตร เพื่อรองรับเรือขนส่งถ่านหินขนาด Panamax (60,000 DWT) สำหรับรับเข้า 1 Berth มีพื้นที่ประมาณ 350 ไร่ ในการกองเก็บและบริหารจัดการถ่านหิน และท่าเรือโป๊ะ 2 Berth รองรับเรือขนาด 13,000 DWT หรือเรือพ่วงท้องแบนขนาดต่ำกว่าสำหรับส่งออก โดยแต่ละ Berth มีความยาวหน้าท่าประมาณ 0.12 กิโลเมตร รายละเอียดการกองเก็บถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน และแผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ดังตารางที่ 8.7 และรูปที่ 8.4

ตารางที่ 8.7 ถ่านหินคงคลังและพื้นที่กันชนศูนย์กระจายมาบตาพุด

Detail	Measure	Unit
Stock	45	days
Coal stock mass	1.5	Mtpa
Coal stockyard Width	383	m
Coal stockyard Length	900	m
Coal stockyard Area	344700	m^2
Buffer Area	138300	m^2
Stock&Buffer Area	483000	m2
	301.88	rai
Stockpile Volume	76320	m^3/pile
No. of Pile	25	piles
No. of Pile/Row	8	piles
No. of Row	4	rows



รูปที่ 8.4 แผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินที่มาบตาพุด

นโยบายการจัดเก็บถ่านหินศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุด

จากข้อจำกัดทางด้านร่องน้ำลึกและสิ่งอำนวยความสะดวกที่ศูนย์กระจายแห่งนี้ การนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศจึงเป็นเรือเดินทะเลระบบปิดขนาด Panamax การกองถ่านหินจึงกองมีขนาดประมาณ 60,000 DWT เพื่อให้สามารถสืบกลับได้หากถ่านหิน lot นั้นเกิดมีปัญหาในการใช้งาน ซึ่งรูปร่างกองถ่านหินจะเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูมีฐาน 47 เมตร ขนานด้านบน 6 เมตร สูง16 เมตรและมีความยาวกอง 180 เมตรต่อ 1 กอง เมื่อรวมปริมาณที่ต้องการของโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมจะเก็บถ่านหินที่ศูนย์แห่งนี้ 1.5 ล้านตัน ต้องเก็บเป็น 25 กอง ซึ่งสามารถใช้งานได้ 45 วัน โดยใช้พื้นที่ในการกองและพื้นที่กันชนโดยรอบ 302 ไร่

การกระจายถ่านหินศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุด

การกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายที่นิคมมาบตาพุดมีเป้าหมายกระจายไปยังโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมโซนกลางของประเทศ โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกระจายถ่านหินคือความสามารถในการกองเก็บถ่านหินและความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรที่ติดตั้งและใช้งานบริเวณศูนย์กระจายถ่านหิน แสดงข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 8.8

ตารางที่ 8.8 ข้อมูลจำเพาะเครื่องจักรศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุด

อุปกรณ์	**อัตรา**	**หน่วย**
Unloader	1600	t/hr
Conveyor I (Stack)	4000	t/hr
Conveyor II (Load)	3200	t/hr
Stacker/Reclaimer	3300/3000	t/hr
Gravity hopper	2000	t/hr
Shovel	360	t/hr
Loader	2000	t/hr

การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้า

การวิเคราะห์การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าโดยพิจารณาสถานการณ์ w0 เนื่องจากโรงไฟฟ้าสามารถขึ้นได้ตามแผน จึงต้องเตรียมระบบกระจายถ่านหินเพื่อไม่ให้กระทบต่อการผลิตและจ่ายไฟของ EGAT ซึ่งศูนย์กระจายถ่านหินแห่งนี้จะรับภาระการกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าในช่วงปลายแผนของสถานการณ์ตั้งแต่ช่วงเวลา ปีพ.ศ. 2576 ถึงสิ้นสุดแผนปีพ.ศ. 2579 สรุปข้อมูลได้ดังตาราง 8.9

ตารางที่ 8.9 การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่

ปี	จำนวนเรือออก (เที่ยว/วัน)	ใช้เวลาโหลด (hr)	เวลาเดินทาง (hr)
2576	1	12.19	6
2577	1	12.19	6
2578	2	12.19	6
2579	2	12.19	6

จากตารางที่ 8.9 สรุปว่าปี พ.ศ.2576 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่หน่วยแรกเริ่มดำเนินการ โดยต้องการถ่านหินวันละ 10,320 ตัน ดังนั้นต้องรับถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุดด้วยเรือบรรทุกขนาด 13,000 ตัน จำนวน 1 เที่ยวต่อวัน ซึ่งเรือหนึ่งลำนี้ใช้เวลาในการขนถ่ายขึ้นเรือ 12.19 ชั่วโมง และเดินทางเลียบทะเลไปถึงโรงไฟฟ้าอ่าวไผ่ช่วง 100-150 กิโลเมตร ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง รวมระยะเวลาจากศูนย์กระจายถึงโรงไฟฟ้าใช้เวลา 18.19 ชั่วโมง และเมื่อถึงปี พ.ศ.2578 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่หน่วยที่สองเริ่มดำเนินการ ทำให้ต้องขนส่งถ่านหินแบบเดิมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า คือใช้เรือวันละ 2 เที่ยว โดยที่ใช้ระยะเวลาเท่าเดิมเนื่องจากที่ศูนย์กระจายมี Berth สำหรับกระจายถ่านหินออก 2 Berth ทำให้สามารถทำงานได้พร้อมกันทั้งสองลำ

การกระจายถ่านหินสู่โรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์การกระจายถ่านหินสู่โรงงานอุตสาหกรรมจะประกอบไปด้วยโรงงานอุตสาหกรรมนิคมมาบตาพุด โรงงานอุตสหกรรมนิคมสมุทรสาครและโรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่งจะพิจารณาสถานการณ์ w0 เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้องการของโรงไฟฟ้าที่เป็นไปตามแผนทำให้มีปริมาณถ่านหินที่ต้องกระจายออกจากศูนย์แห่งนี้มากที่สุด และเมื่อพิจารณารูปแบบการขนส่งจะกระจายถ่านหินออกโดยเรือขนาด 13,000 ตัน สู่ท่าเรือกรุงเทพ และเรือพ่วงขนาด 7,200 ตัน สู่ท่าเรือนครหลวง จากนั้นจะขนส่งด้วยรถบรรทุกถึงหน้าโรงงานสรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.10 การกระจายถ่านหินออกจากศูนย์สู่จุดเปลี่ยนถ่ายโซนกลาง

ปี	เรือ 13,000 DWT	เวลาโหลด	เรือ 7,200 DWT	เวลาโหลด
	(วัน/เที่ยว)	(ชั่วโมง)	(วัน/เที่ยว)	(ชั่วโมง)
ทุกปี	9.2	12.19	5.2	6.75

การกระจายถ่านหินทางน้ำจะเป็นการขนส่งเพื่อไปเปลี่ยนถ่ายเป็นรถบรรทุกไปหาโรงงานบริเวณนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครและโรงงานปูนซีเมนต์ โดยมีเวลานำในการการส่งนานหลายวัน เนื่องจากความต้องการมีน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการของโรงไฟฟ้า

การกระจายถ่านหินทางบกด้วยรถบรรทุกจะเป็นการขนส่งไปที่โรงงานอุตสาหกรรมบริเวณนิคมมาบตาพุดโดยตรงรัศมี 50 กิโลเมตรซึ่งใช้เวลาเดินทางประมาณ 1 ชั่วโมง ด้วยระยะเวลาเดินทางที่ใกล้ทำให้รถบรรทุก 1 คันสามารถวิ่งได้สูงสุด 6 เที่ยวจากการทำงาน 14 ชั่วโมงต่อวัน จึงสามารถใช้รถเพียง 43 คันในการรองรับลูกค้าบริเวณนี้

ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี

ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี จังหวัดปัตตานี บริเวณโซนล่างของประเทศสร้างขึ้นเพื่อบริหารจัดการถ่านหินคุณภาพดีชนิดซับบิทูมินัสและบิทูมินัส ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยอาณาเขตบริเวณลูกค้าที่ศูนย์แห่งนี้รองรับคือโซนล่างของประเทศ อันได้แก่ โรงไฟฟ้ากระบี่ โรงไฟฟ้าเทพา 2 หน่วยโรงไฟฟ้า และโรงไฟฟ้าปานาเระ

ศูนย์กระจายถ่านหินแห่งนี้สร้าง Jetty ยื่นไปในทะเล 16 กิโลเมตร ความยาวหน้าท่า 0.4 กิโลเมตรและน้ำลึก 17 เมตร เพื่อรองรับเรือขนส่งถ่านหินขนาด Crapesize (120,000 DWT) สำหรับรับเข้า 1 Berth มีพื้นที่ประมาณ 490 ไร่ ในการกองเก็บและบริหารจัดการถ่านหิน และท่าเรือโป๊ะ 2 Berth รองรับเรือขนาด 13,000 DWT หรือเรือพ่วงท้องแบนขนาดต่ำกว่าสำหรับส่งออก โดยแต่ละ Berth มีความยาวหน้าท่าประมาณ 0.12 กิโลเมตร รายละเอียดการกองเก็บถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี และแผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินดังตารางที่ 8.10 และรูปที่ 8.5

ตารางที่ 8.11 ถ่านหินคงคลังและพื้นที่กันชนศูนย์กระจายปัตตานี

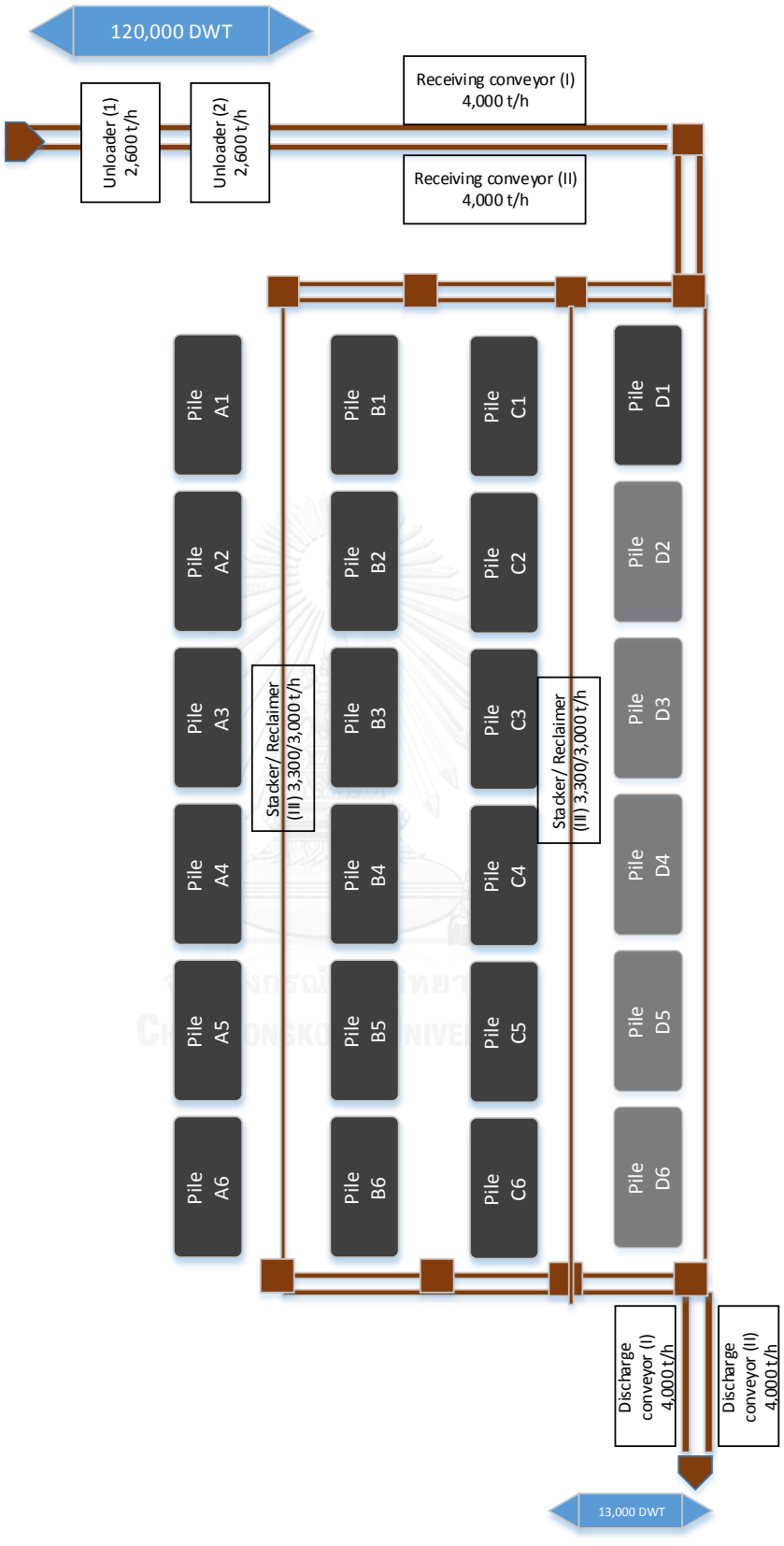
Detail	Measure	Unit
Stock	50	days
Coal stock mass	2.2	Mtpa
Coal stockyard Width	461	m
Coal stockyard Length	1312.5	m
Coal stockyard Area	605063	m^2
Buffer Area	187350	m^2

Stock&Buffer Area	792413	m^2
	495.26	rai
Stockpile Volume	148400	m^3/pile
No. of Pile	19	piles
No. of Pile/Row	6	piles
No. of Row	4	rows

นโยบายการจัดเก็บถ่านหินศูนย์กระจายถ่านหินปัตตานี

ศูนย์กระจายแห่งนี้เป็นศูนย์ใหญ่รองรับโรงไฟฟ้าโซนใต้ส่วนใหญ่ 4 หน่วยโรงไฟฟ้า การนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศจึงเป็นเรือเดินทะเลใหญ่ขนาด Cape-Size การกองถ่านหินจึงกองมีขนาดประมาณ 120,000 DWT เพื่อให้สามารถสืบกลับได้หากถ่านหิน lot นั้นเกิดมีปัญหาในการใช้งานกับโรงไฟฟ้า ซึ่งรูปร่างกองถ่านหินจะเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูมีฐาน 47 เมตร ขนานด้านบน 6 เมตร สูง16 เมตรและมีความยาวกอง 350 เมตรต่อ 1 กอง เมื่อรวมปริมาณที่ต้องการของโรงไฟฟ้าทั้งหมดจะเก็บถ่านหินที่ศูนย์แห่งนี้ 2.2 ล้านตัน โดยเก็บเป็น19 กอง ซึ่งสามารถใช้งานได้ 50 วัน โดยใช้พื้นที่ในการกองและพื้นที่กันชนโดยรอบ 496 ไร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 8.5 แผนภาพระบบการรับเข้าและกระจายถ่านหินที่ปัตตานี

การกระจายถ่านหินศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี

การกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินที่ปากแม่น้ำปัตตานีมีเป้าหมายกระจายไปยังโรงไฟฟ้าโซนใต้ของประเทศ โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกระจายถ่านหินคือ ความสามารถในการกองเก็บถ่านหินซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าศูนย์กระจายถ่านหินโซนกลางเนื่องจากความต้องการถ่านหินหลักอยู่บริเวณนี้ และการทำงานของเครื่องจักรที่ติดตั้งและใช้งานบริเวณศูนย์กระจายถ่านหินแห่งนี้มีเช่นเดียวกัน แต่จะใช้เครื่องจักร Unloader ที่มีความสามารถสูงขึ้นเพราะต้องใช้งานกับเรือขนาดใหญ่กว่าที่เข้ามาส่งจากต่างประเทศ เพื่อให้สามารขนถ่ายทันต่อการใช้งาน โดยที่ศูนย์กระจายแห่งนี้จะส่งให้เฉพาะโรงไฟฟ้าของ EGAT เพียงอย่างเดียว ไม่มีการส่งให้โรงงานอุตสาหกรรม

การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้า

การวิเคราะห์การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าโดยพิจารณาสถานการณ์ w0 เนื่องจากโรงไฟฟ้าสามารถขึ้นได้ตามแผนทั้งหมด จึงต้องเตรียมระบบกระจายถ่านหินเพื่อไม่ให้กระทบต่อการผลิตและจ่ายไฟของ EGAT ซึ่งศูนย์กระจายถ่านหินแห่งนี้จะรับภาระการกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าของสถานการณ์นี้ตั้งแต่ช่วงเวลา ปีพ.ศ. 2562 ถึงสิ้นสุดแผนปีพ.ศ. 2579 สรุปข้อมูลได้ดังตาราง 8.11

ตารางที่ 8.12 การกระจายถ่านหินสู่โรงไฟฟ้าโซนใต้

ปี	จำนวนเรือ (เที่ยว/วัน)	เวลาโหลด (ชั่วโมง)	จำนวนรถบรรทุก (เที่ยว/วัน)	เวลาโหลด (นาที)
2562	0	0	276	1.125
2563	0	0	276	1.125
2564	1	12.19	276	1.125
2565	1	12.19	276	1.125
2566	1	12.19	276	1.125
2567	2	12.19	276	1.125
2568	2	12.19	276	1.125
2569	2	12.19	276	1.125
2570	2	12.19	276	1.125
2571	2	12.19	276	1.125
2572	2	12.19	276	1.125

2573	2	12.19	276	1.125
2574	2	12.19	276	1.125
2575	2	12.19	276	1.125
2576	2	12.19	276	1.125
2577	3	24.38	276	1.125
2578	3	24.38	276	1.125
2579	3	24.38	276	1.125

การขนส่งถ่านหินจะเป็นการขนส่งทางน้ำถึงท่าเรือของโรงไฟฟ้าโดยตรงด้วยเรือ Barge 13,000 ตันเป็นส่วนใหญ่ถึงโรงไฟฟ้าเทพาหน่วยที่ 1 ไฟฟ้าเทพาหน่วยที่ 2 และโรงไฟฟ้าปานาเระ โดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนการขนส่งทางบกด้วยรถบรรทุกจะเป็นการขนส่งไปที่ศูนย์กระจายถ่านหินบริเวณย่านสถานีรถไฟปัตตานีเพื่อขนต่อไปทางรถไฟ โดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 1 ชั่วโมง ด้วยระยะเวลาเดินทางที่ใกล้ทำให้รถบรรทุก 1 คันสามารถวิ่งได้สูงสุด 6 เที่ยวจากการทำงาน 14 ชั่วโมงต่อวัน จึงสามารถใช้รถเพียง 46 คัน

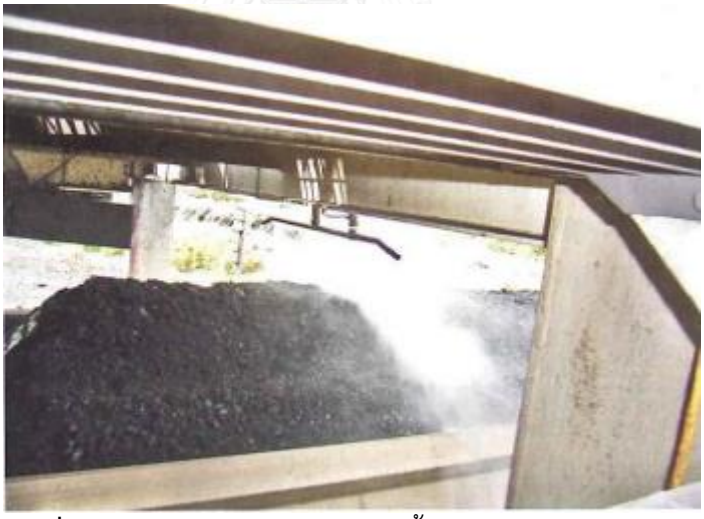
8.4 การขนส่งถ่านหินตามมาตรฐาน

หากพิจารณามลพิษที่เกิดจากการขนส่งถ่านหินจะเกิดจาก ฝุ่นถ่านหินจากการขนถ่าย ก๊าซไอเสียจากระบบขนส่ง ทางบก ทางน้ำและทางราง เสียงดังจากพาหนะขนส่งและระบบขนถ่าย ซึ่งมาตรการจัดการที่ต้องควบคุมมีดังนี้

- ติดตั้งเครื่องกรองฝุ่นบริเวณสายพานลำเลียง
- ปลูกต้นไม้สูงรอบบริเวณและจัดทำที่ตั้งบริเวณจุดขนถ่ายถ่านหินหรือมีผ้าใบหรือหลังคา เพื่อลดแรงลมปะทะโดยตรง ป้องกันการฟุ้งกระจายของถ่านหิน
- ในขณะที่มีการขนถ่ายทางเรือขึ้นมากองเก็บจะต้องใช้ผ้าคลุมระหว่างกาบเรือกับท่าเทียบเรือเพื่อป้องกันการตกหล่นของถ่านหินลงสู่แหล่งน้ำ
- การขนส่งทางรถบรรทุกต้องมีผ้าใบปกคลุมกระบะให้มิดชิด
- จำกัดความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งไม่เกิน 50กิโลเมตร/ชั่วโมง
- ล้างล้อรถบรรทุกก่อนออกจากศูนย์กระจายถ่านหินทุกครั้ง

- ติดตั้งเครื่องสเปรย์น้ำเป็นละอองหมอก และบำรุงรักษาระบบหัวฉีดพ่นน้ำอย่างสม่ำเสมอ
- การพ่นละอองน้ำขณะตักวัตถุดิบ และฉีดพ่นน้ำที่บริเวณรถบรรทุก หรือขณะลำเลียงถ่านหินทางสายพานเพื่อช่วยลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง
- จัดให้มีรถสำหรับฉีดน้ำเพื่อล้างถนน
- การใช้สารเคมีหรือสารลดแรงตึงเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละออง

รูปที่ 8.6 แนวการปลูกต้นไม้และอุปกรณ์ชะลอความเร็วลม



รูปที่ 8.7 การสเปรย์สารเคมีร่วมกับน้ำสำหรับรถขนส่งถ่านหิน

ที่มา: โครงการเสริมสร้างความเข้าใจและการมีส่วนร่วมของประชาชน ชุมชน และผู้มีส่วนได้เสียจากอุตสาหกรรมที่มีการใช้ถ่านหิน

บทที่ 9
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ส่วนนี้จะเป็นการสรุปผลคำตอบจากแบบจำลองเชิงคงในสถานการณ์ต่างๆ ของงานวิจัย และสรุปนโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งและการกระจายถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน และข้อเสนอแนะที่มีต่องานวิจัยนี้

9.1 สรุปผลคำตอบจากแบบจำลองเชิงคงทน

งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินภายในประเทศไทย จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโครงข่ายกระจายถ่านหินจากศูนย์กระจายถ่านหินไปยังโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานผลิตไฟฟ้า ให้ได้รูปแบบโครงข่ายการขนส่งถ่านหินในโหมดต่างๆ ที่มีค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์คือ ด้านการบริหารจัดการ ด้านการขนส่ง และด้านการเก็บรักษาถ่านหินคงคลังต่ำที่สุด การวิเคราะห์นี้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงคงทนในการหาคำตอบ เพราะแผนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้มีความไม่แน่นอนของการสร้างโรงไฟฟ้าเกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อความไม่แน่นอนของความต้องการถ่านหินในแต่ละสถานการณ์ การใช้แบบจำลองนี้สามารถแก้ปัญหาความไม่แน่นอนได้จากการนำสถานการณ์ความไม่แน่นอนที่เป็นไปได้มาวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้พิจารณาสถานการณ์ที่มีผลเกี่ยวเนื่องกัน โดยแบ่งแผนออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วง 10 ปีแรกซึ่งมีความแน่นอนของแผนมากกว่า และช่วง 10 ปีหลังซึ่งมีความไม่แน่นอนสูงกว่า ประกอบด้วย 5 สถานการณ์คือ การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกอย่างเป็นไปตามแผนทั้งสองช่วงเวลา สถานการณ์สร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินช่วงแรกเป็นไปตามแผนและยกเลิกการสร้างช่วงหลัง สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเริ่มต้นล่าช้าไป 5 ปีและช่วงหลังเป็นไปตามแผน สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเริ่มต้นล่าช้าไป 5 ปีและช่วงหลังยกเลิก และสถานการณ์ยกเลิกการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกโรงในแผน นอกจากนั้นยังนำทั้ง 5 สถานการณ์มาวิเคราะห์ 2 กรณีคือ กรณีมีความต้องการจากภาคโรงงานอุตสาหกรรมและกรณีไม่มี

แบบจำลองนี้ประมวลผลด้วยโปรแกรม IBM ILOG CPLEX 12.4 โดยคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Intel(R) Core™ i7-4210U ระดับความจำ 16 GB ให้คำตอบกรณีมีความต้องการของโรงไฟฟ้าเท่านั้นคือ ค่าใช้จ่ายรวมสูงที่สุดจากสถานการณ์ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผนมีค่าเท่ากับ 394.76 พันล้านบาท ในขณะที่สถานการณ์การสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผนมีค่าเท่ากับ 32.58 พันล้านบาท ซึ่งเกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสูงถึง 12.12 เท่า และกรณีมีความต้องการของโรงงาน

อุตสาหกรรม สถานการณ์ที่แย่ที่สุดมีค่าเท่ากับ 404.93 พันล้านบาท และสถานการณ์ปกติมีค่าเท่ากับ 40.67 พันล้านบาท เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 9.96 เท่า

สิ่งที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองเชิงคงทนการวางแผนขนส่งถ่านหินสรุปได้ดังต่อไปนี้

กรณี 1 มีเฉพาะความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้า

w0 สถานการณ์ 10 ปีแรกตามแผน 10 ปีหลังตามแผน มีปริมาณความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าครบ 6 หน่วย มีการสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีและสถานีรถไฟห้วยยอดตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มต้นของแผนเพื่อใช้ส่งถ่านหินไปเก็บคงคลังที่โรงไฟฟ้ากระบี่และจุดเปลี่ยนถ่านขนส่งในช่วงเวลาที่ 1 ซึ่งโรงไฟฟ้ากระบี่จะใช้ถ่านหินปกติช่วงเวลาที่ 2

w1 สถานการณ์ 10 ปีแรกตามแผน 10 ปีหลังยกเลิก มีปริมาณความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้า 3 หน่วยแรก และลดลงในช่วงปลายแผนจากปกติร้อยละ 17.18 มีการสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีและสถานีรถไฟห้วยยอดตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มต้นของแผน และความไม่แน่นอนการสร้างโรงไฟฟ้าปลายแผนทำให้ใช้รถบรรทุกในบางช่วงเวลาแทนการขนส่งทางราง แต่จะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนในช่วงปีหลังเป็นเงิน 67.80 พันล้านบาท

w2 สถานการณ์ 10 ปีแรกเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี 10 ปีหลังตามแผน มีปริมาณความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าครบ 6 หน่วยแต่ล่าช้าโรงไฟฟ้าเริ่มต้น โดยลดลงในช่วงเริ่มแผนจากปกติร้อยละ 26.72 ควรใช้รถบรรทุกและเรือในการขนส่งโดยตรง และต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนในช่วงปีแรกเป็นเงิน 105.47 พันล้านบาท

w3 สถานการณ์ 10 ปีแรกเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี 10 ปียกเลิก มีปริมาณความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้า 3 หน่วย ลดลงในช่วงต้นแผนและปลายแผนจากปกติร้อยละ 43.89 ควรใช้รถบรรทุกและเรือในการขนส่งโดยตรง และต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนเป็นเงิน 105.47 พันล้านบาท

w4 สถานการณ์ยกเลิกสร้างโรงไฟฟ้าทุกโรงในแผน ไม่มีการขนส่งถ่านหินเกิดขึ้นแต่จะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนสะสมเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่ยกเลิกการสร้างโรงไฟฟ้า รวมเป็นเงิน 394.76 พันล้าน

กรณี 2 กรณีมีความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าร่วมกับโรงงานอุตสาหกรรม

w0 สถานการณ์ 10 ปีแรกตามแผน 10 ปีหลังตามแผน มีปริมาณความต้องการถ่านหินจากโรงไฟฟ้าครบ 6 หน่วยและโรงงานอุตสหกรรม 3 หน่วยซึ่งเพิ่มขึ้นมาร้อยละ 18.97 มีการสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง 4 แห่งได้แก่ สถานีรถไฟปัตตานี สถานีรถไฟห้วยยอด ท่าเรือกรุงเทพ และท่าเรือนครหลวงตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มต้นของแผนเพราะมีความต้องการใช้ถ่านตั้งแต่เริ่มต้นแผนจากโรงงานอุตสาหกรรม การสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายขนส่งมีค่าใช้จ่ายด้านค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษาและค่าดำเนินงาน แต่ทำให้ค่าขนส่งต่ำ และโดยรวมคุ้มค่าในการสร้างเพื่อใช้ระยะยาว

w1 สถานการณ์ 10 ปีแรกตามแผน 10 ปีหลังยกเลิก มีการสร้างจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟปัตตานีและสถานีรถไฟห้วยยอดตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มต้นของแผนเพื่อใช้ส่งถ่านหินไปโรงไฟฟ้ากระบี่ และท่าเรือกรุงเทพไปยังโรงงานนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตัดสินใจไม่สร้างเพิ่มเนื่องจากแผนเริ่มมีความไม่แน่นอน ไม่คุ้มต่อการสร้างแล้วไม่ได้ใช้หรือใช้น้อย และจะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนเช่นเดียวกับกรณีแรก

w2 สถานการณ์ 10 ปีแรกเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี 10 ปีหลังตามแผน ควรใช้รถบรรทุกและเรือในการขนส่งโดยตรง และจะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนเช่นเดียวกับกรณีแรก

w3 สถานการณ์ 10 ปีแรกเริ่มต้นล่าช้า 5 ปี 10 ปียกเลิก ควรใช้รถบรรทุกและเรือในการขนส่งโดยตรง และจะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนเช่นเดียวกับกรณีแรก

w4 สถานการณ์ยกเลิกสร้างโรงไฟฟ้าทุกโรงในแผน มีการขนส่งถ่านหินทางตรงด้วยรถบรรทุกเท่านั้นและจะต้องซื้อไฟฟ้าทดแทนเช่นเดียวกับกรณีแรก

ด้านเศรษฐศาสตร์

การเลือกใช้โหมดการขนส่งมีผลอย่างมากต่อค่าใช้จ่ายรวม ดังนั้นการขนส่งทางไกลด้วยปริมาณมากนั้นควรเลือกใช้เรือซึ่งมีค่าใช้จ่ายถูกที่สุด และหากสามารถขนส่งทางเรือแบบ Door-to Door ยิ่งเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพราะไม่ต้องขนถ่ายซ้ำซ้อน

กรณีที่ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าได้ตามแผน จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการจัดหาไฟฟ้าเข้ามาทดแทนระบบเกิดขึ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการจัดหาเชื้อเพลิงถ่านหินมาผลิตไฟฟ้า โดยรัฐบาลไทยต้องสูญเสียงบประมาณส่วนนี้เพิ่มขึ้นใน 20 ปีของแผน มูลค่าสูงถึงกว่า 40 หมื่นล้านบาท

ด้านความมั่นคงทางพลังงาน

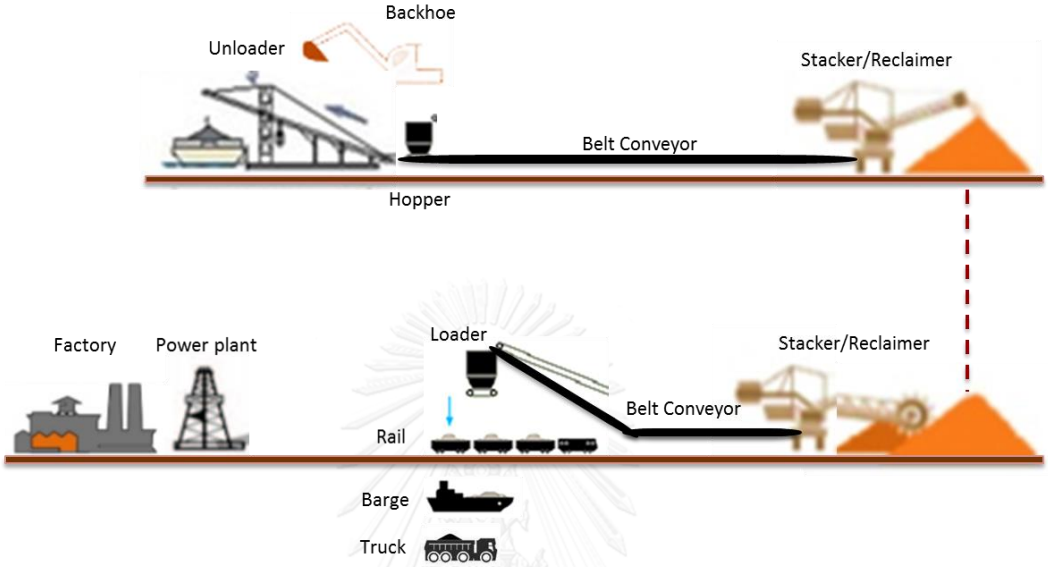
เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติซึ่งใช้เป็นหลักในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีปริมาณสำรองใช้ได้อีก 60 กว่าปี ทำให้การจัดหาเชื้อยากและมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นการจัดหาเชื้อเพลิงถ่านหินซึ่งมีปริมาณสำรองใช้ได้อีก 200 ปี ซึ่งมีกระจายอยู่ในหลายบริเวณและราคาถูกกว่า การผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหินจึงทำให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานมากขึ้น

ด้านแผน PDP2105

ช่วงต้นแผน 10 ปีแรก เป็นช่วงนี้สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ใกล้เคียง และโรงไฟฟ้าที่จะสร้างช่วงเวลานี้มีผลภาระผูกพันธ์ทางระบบแล้ว ซึ่งหากเกิดความไม่แน่นอนของการสร้างโรงไฟฟ้าในช่วงนี้จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมมากกว่าการเกิดความไม่แน่นอนในช่วง 10 หลัง เนื่องจากเริ่มสร้างตั้งแต่ต้นแผน จึงเกิดการความสูญเสียสะสมเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ทั้งด้านการจัดหาพลังงานและการวางแผนขนส่งถ่านหิน

9.2 สรุปนโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง

นโยบายการจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งประกอบด้วย 4 แห่ง มีย่านสถานีรถไฟ 2 แห่งคือ สถานีรถไฟปัตตานีและสถานีรถไฟห้วยยอด และอีก 2 แห่งคือ ท่าเรือกรุงเทพและท่าเรือนครหลวง และสรุปเป็นแผนภาพการรับถ่านหินมากองเก็บและกระจายออกได้ดังนี้



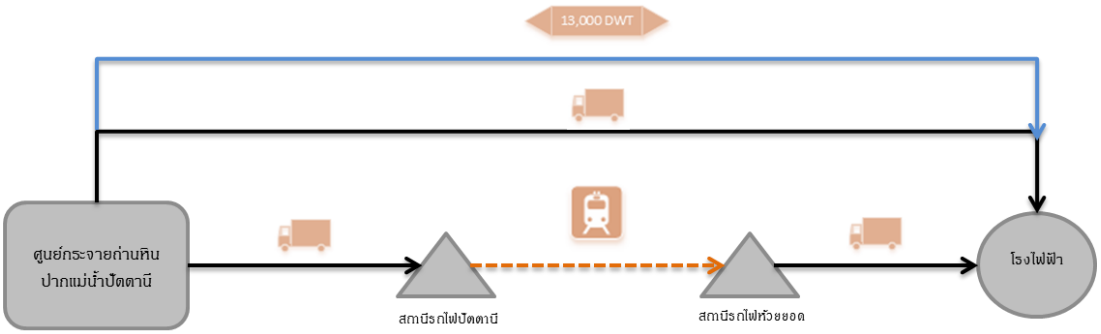
รูปที่ 9.1 กระบวนการรับเข้าและกระจายออกของถ่านหิน

จุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่งจะรับเข้าถ่านหินมาทางเรือหรือรถบรรทุกแล้วใช้ Unloader ในการตักถ่ายเทขึ้นมาสู่ Hopper และลำเลียงถ่านหินไปทางสายพานระบบปิดและทำการโปรยถ่านหินเป็นกองด้วย Stacker/Reclaimer หลังจากมีคำสั่งให้ส่งถ่านหินออก Stacker/Reclaimer ทำการตักถ่านหินที่กองเก็บแล้วลำเลียงถ่านหินมาตามสายพานเพื่อโหลดลง Loader ไปยังพาหนะเรือ รถบรรทุกและรถไฟเพื่อขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรม

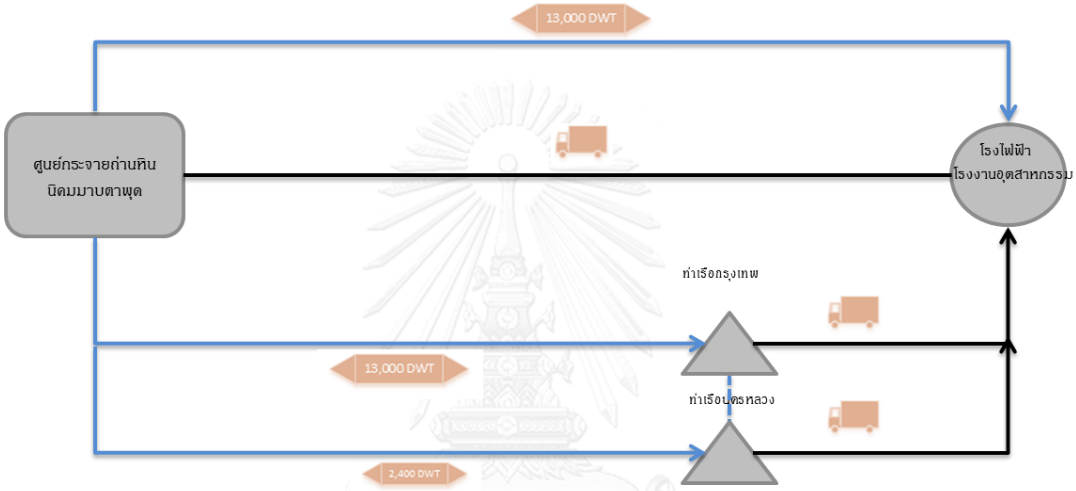
การจัดเก็บถ่านหินที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งเป็นปริมาณถ่านหินคงคลังระหว่างทางเท่านั้น มีการหมุนสินค้า 12 รอบหรือ 30 วัน และการจัดเก็บเป็นกองจะมีขนาดไม่เกิน 60,000 ตัน หรือรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูมีฐาน 47 เมตร ขนานด้านบน 6 เมตร สูง16 เมตรและมีความยาวกอง 180 เมตร สรุปว่าบริเวณสถานีรถไฟปัตตานี เก็บกองถ่านหินสูงสุด 5 กอง ใช้พื้นที่ 68 ไร่ สถานีรถไฟห้วยยอดเก็บกองถ่านหิน 5 กอง ใช้พื้นที่ 60 ไร่ ท่าเรือกรุงเทพเก็บกองถ่านหิน 1 กอง ใช้พื้นที่ 21 ไร่ และท่าเรือนครหลวงเก็บกองถ่านหิน 1 กอง ใช้พื้นที่ 24 ไร่

9.3 สรุปนโยบายการกระจายถ่านหินที่ศูนย์กระจายถ่านหิน

การกระจายถ่านหินออกจากศูนย์กระจายถ่านหินนิคมมาบตาพุดและศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานีสรุปเป็นแผนภาพโครงข่ายการขนส่งถ่านหินได้ดังนี้



รูปที่ 9.2 โครงข่ายการขนส่งจากศูนย์กระจายปัตตานี



รูปที่ 9.3 โครงข่ายการขนส่งจากศูนย์กระจายมาบตาพุด

นโยบายการกระจายถ่านหินจะแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ระดับที่1 จะเลือกโหมดการขนส่งโดยตรงทางน้ำให้มากที่สุด จากนั้นถึงเลือกใช้รถบรรทุกขนส่งทางตรงในระยะไม่เกิน 250 กิโลเมตร หากระยะเกินกว่านี้จะพิจารณาเลือกใช้โหมดการขนส่งโดยรถไฟซึ่งต้องเลือกที่ตั้งจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งสถานีรถไฟเริ่มต้นไม่เกินระยะ 50 กิโลเมตร และสถานีปลายทางที่ใกล้กับโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรม ระดับที่ 2 จากเส้นทางและจำนวนจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งในระดับแรกนำมาประมวลผลด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อตัดสินใจเปิดจุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง พาหนะที่ใช้ในเส้นทาง ปริมาณการขนส่ง และปริมาณถ่านหินคงคลังเพื่อให้ค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ต่ำที่สุด

9.4 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยวิเคราะห์สถานการณ์การขนส่งถ่านหินในประเทศไทย เป็นการวางแผนระยะยาว 20 ปี ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งด้านข้อมูลเฉพาะสำหรับการขนส่งถ่านหินและที่ตั้งศูนย์กระจายถ่านหิน รวมถึงความไม่แน่นอนจากสถานการณ์อื่นๆที่กระทบต่อความต้องการถ่านหินในอนาคต ซึ่งการ

วางแผนโครงข่ายกระจายถ่านหินจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อใช้งานจริงในอนาคต หากขยายประเด็นงายวิจัยต่อ สามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ดังนี้

สถานการณ์ที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย 5 สถานการณ์ที่น่าสนใจ แต่ยังมีสถานการณ์อื่นๆ ที่สามารถประทบต่อการบริหารจัดการถ่านหิน ได้แก่ ความไม่แน่นอนของที่ตั้งการสร้างศูนย์กระจายถ่านหิน ที่ตั้งที่แน่นอนของโรงไฟฟ้า 3 หน่วยในปลายแผน การไม่แน่นอนของการสร้างโรงไฟฟ้าจากการต่อต้านของสังคม การล่าช้าของการสร้างโรงไฟฟ้า และความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

ด้านข้อมูลนำเข้าในส่วนของพื้นที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่งและศูนย์กระจายถ่านหิน เป็นการร่างพื้นที่จากโปรแกรม Google Earth อาจเกิดการคลาดเคลื่อนในลักษณะของกรรมสิทธิ์รูปร่างที่ดินที่สามารถพัฒนาใช้งานได้

ด้านข้อมูลการนำเข้าในส่วนของค่าใช้จ่ายต่างๆ เป็นการศึกษาข้อมูลระดับทุติยภูมิ ไม่สามารถลงไปเก็บค่าจริงจากหน้างาน ด้วยข้อจำกัดทางธุรกิจที่ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลได้ ซึ่งควรพิจารณารายละเอียดของค่าใช้จ่ายต่างๆ กับสินค้าที่เป็นหมวดคล้ายกันหากไม่มีข้อมูลสินค้าที่ศึกษาอยู่ โดยส่งผลต่อคำตอบให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อ

ค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนแต่ละสถานการณ์

ค่าก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่จุดเปลี่ยนถ่ายโหมดการขนส่ง

สามารถคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปีจากเงินลงทุนสิ่งอำนวยความสะดวกตลอดช่วงเวลาของสถานการณ์ 20 ปี หรือต้นทุนตลอดอายุ (Life Cycle Costing) โดยประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องมือและสถานที่ รวมถึงเงินลงทุนด้วย ซึ่งต้องมีการปรับโครงสร้างค่าใช้จ่ายของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของค่าใช้จ่ายสิ่งอำนวยความสะดวกตามความเหมาะสมของค่าใช้จ่ายนี้

ค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนแต่ละสถานการณ์

การวิเคราะห์ส่วนต่างค่าใช้จ่ายการซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันเพื่อมาเต็มเติมไฟฟ้าในระบบให้มีปริมาณไฟฟ้าเท่ากับในแผน PDP2015 ซึ่งพยากรณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องมีในระบบ เกิดขึ้นจากการไม่สามารถก่อสร้างโรงไฟฟ้านั้นๆ ได้ตามแผน โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดหาไฟฟ้าเข้ามาทดแทนระบบเกิดขึ้น การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนแต่ละสถานการณ์สรุปได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 ค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	ไฟฟ้าสูญหายสะสม (MW)	ค่าส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทน (10^9) บาท
w0	0	0.00
w1	78840000	67.80
w2	122640000	105.47
w3	201480000	173.27
w4	459024000	394.76

จากตารางที่ 9.1 พบว่าการยกเลิกหรือล่าช้าในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายส่วนต่างซื้อไฟฟ้าทดแทนที่สูง และความไม่แน่นอนของการสร้างโรงไฟฟ้าในช่วง 10 ปีแรก มีผลมากกว่าช่วง 10 ปีหลัง เนื่องจากมีการสูญเสียไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงต้นๆของสถานการณ์และสะสมต่อเนื่องไป ส่วนช่วง10 ปีหลังจะมีผลในช่วงท้ายของแผน โดยค่าส่วนต่างนี้วิเคราะห์มาจากราคาค่าไฟฐาน 3.78 บาทต่อ kW-hr ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงหลายชนิด โดยมาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติร้อยละ 65 ราคา 3.79 บาทต่อ kW-hr และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงถ่านหินร้อยละ 20 ราคา 2.93 บาทต่อ kW-hr ซึ่งในสถานการณ์ที่ควรหลีกเลี่ยงมากที่สุดคือ การที่โรงไฟฟ้าถ่านหินถูกยกเลิกทั้งหมด ไม่สามารถสร้างได้ตามแผน PDP2015 เพราะประเทศต้องสูญเงินส่วนต่างเพื่อจัดหาไฟฟ้าเข้ามาในระบบถึง 394.76 พันล้านบาท

การขยายงานวิจัยในอนาคตจากประเด็นที่น่าสนใจ มีดังนี้

1. การลงรายระเอียดแผนงานจากการวางแผนเชิงกลยุทธ์ มาเป็นการวางแผนยุทธวิธีหรือการวางแผนปฏิบัติการ
2. การหาข้อมูลศูนย์กระจายถ่านหินเพิ่มเติม ทำให้สามารถกำหนดนโยบายการจัดเก็บกองถ่านหินและนโยบายการกระจายถ่านหินไปสู่งโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในอนาคต
3. การพิจารณาในกรณีที่โรงไฟฟ้าไม่สามารถสร้างท่าเรือเพื่อรับถ่านหินได้โดยตรง เป็นที่น่าสนใจทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงกระทบต่อความแออัดทางการจราจร ส่งผลต่อชุมชนสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ
4. ตัวแปรของปัญหามีลักษณะ 2 แบบคือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ต่างๆและตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้อง การแยกปัญหาจะทำให้หาผลคำตอบได้เร็วขึ้น

รายการอ้างอิง

1. พลังงาน, กระทรวง. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สรุปแผนพัฒนากาลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2573 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่3), 2558.
2. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ความต้องการไฟฟ้าของระบบ. [ออนไลน์]. 2557. แหล่งที่มา:https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.egat.co.th//images/information/statistics/data-peak-annual-2557.pdf [30 มิถุนายน 2558]
3. พลังงาน, กระทรวง. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.ร่างแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015), 2558.
4. อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. มาตรฐานการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอุตสาหกรรม, 2558.
5. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2013. 2013.
6. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. วารสารนโยบายพลังงาน, (เมษายน-มิถุนายน 2543) : 48.
7. Thaireform. การจัดเก็บถ่านหินระบบปิดแห่งแรกของไทย. สำนักข่าวอิศรา (01 กันยายน 2558).
8. Frankel, E. G. ,and others. Bulk Shipping and Terminal Logistics. The World Bank, (1984) : 97-124.
9. สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. การวางแผนการขนส่ง. มหาวิทยาลัยบูรพา, (2553) : 37-76.
10. Zinn, P.F. ,and Wa, W. Strategic logistics decision making. International Jounal of Physical Distribution & Logistic Management 34 (2004) : 466-478.
11. สุวรรณ หวังเจริญเดช. การบริหารต้นทุนโลจิสติกส์กับผลกำไรของธุรกิจ SMEs. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี18 (2558) : 97-102.
12. Bliss, K. M. Fowler, K.R. ,and Galluzzo, B. J. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM). United States of America (2014) : 6-7.
13. นาคะบุตร, ธ., ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์. 2546, สถาบันราชภัฏนครปฐม. p. 4.
14. Birge, J.R. ,and Louveaux, F., Introduction to Stochastic Programming. Maple-Vail Book Manufacturing Group, 1997.

15. Joskow, P. Vertical Integration and Long-term Contracts: The Case of Coal-burning Electric Generating Plants. Journal of Law, Economics, & Organization (1985) : 33-80.
16. Gang, Z. ,and Bin, Q. Pan on Shanghai power coal transportation system on Yangtze River[J]. Systems Engineering-Theory&Practice 1 (2005) :140-142.
17. Govel, A. The Value of In-Transit Visibility for Supply Chains with Multiple Modes of Transport. International Journal of Logistic Reserch and Applications 13 (2010) : 475-492.
18. Debin, F. Ming, Z. ,and Xianjia, W. Power Coal Transportation and Storage: A Programming Analysis of Road and Rail Option. Wuhan University Journal of Natural Science 16 (2011) : 469-474.
19. Yucekaya, A. Cost Minimization Coal Logistic for Power Plants Considering Transportation Constraints. Journal of Traffic and Logistics Engineering 1 (2013) : 122-127.
20. Yucekaya, A. Managing Fuel Coal Supply Chains with Multiple Objectives and Multimode Transportation. Engineering Management Journal 25 (2013) : 58-70.
21. Jiang, X.L. Yang, W. G. ,and Yu, M. Mode Choice of Power Generation Coal Transportation and its Application in China. Proceedings of 4th International Conference on Logistics, Informatics and Sevice Science 4 (2015) :1361-1366.
22. Andrews, P.Y., Shen, M. L. ,and Cao, S. The regulation of China's township and village coal mines: a study of complexity and ineffectiveness. Journal of Cleaner Production 11 (2013) : 185-196.
23. Johnson, R. ,and Bustin, R.M. Coal dust dispersal around a marine coal terminal (1977–1999), British Columbia: The fate of coal dust in the marine environment. International Journal of Coal Geology 68 (2006) : 57-69
24. Buss, M.R. ,and Keohane, N.O. Market effects of environmental regulation: coal, railroads, and the 1990 Clean Air Act. The RAND Journal of Economics 38 (2007) : 1159-1179.
25. Opher, B. Joseph, M. ,and Hussein,N. Facility Location: A Robust Optimization Approach. Production and Operations Manage-ment Society 20 (2011) : 772-785.

26. Yao,T. Madala,S.R. ,and Chung,B. D. Evacuation Transportation Planning Under Uncertainty: A Robust Optimization Approach. Networks and Spatial Economics 9 (2009) : 171–189.
27. Byung, D. C. Tao, Y. Chi, X. ,and Andreas, T. Robust optimization model for a Dynamic network design problem under demand uncertainty. Networks and Spatial Economics 11 (2010) : 371-389.
28. Dimitris, B. David, B.B. ,and Constantine, C. Theory and Applications of Robust Optimization. Society for Industrial and Applied Mathematics 53 (2011) : 464-501.
29. Nabila,R. ,and Monia, R. A Robust Winner Determination Problem for Combinatorial Transportation Auctions under Uncertain Shipment Volumes. Interuniversity Research Center on Enter-prise Network, Logistics and Transportation (2012).
30. พลังงาน, กระทรวง. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. ถ่านหินเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า, 2558
31. Western Oregon University. Coal. [Online]. 2015. Available from http://www.wou.edu/las/physci/GS361/Fossil%20fuels/Coal.htm [2015, July21]
32. CGGC. The Coal Industry Value Chain and Competitiveness. [Online]. 2012. Available from http://www.cggc.duke.edu/pdfs/2012_06_28_DukeCGGC_Coal Briefing.pdf [2015, June30]
33. Fritz Institute. Mode of Transport. [Online]. 2015. Available from http://log. logcluster.org/mobile/response/transport/index.html [2015, August 25]
34. Danish Ship Finance. Dry Bulk Carrier Specification. 2016.
35. บริษัทสายพานไทย. ระบบลำเลียงถ่านหิน. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา: http://www. thaiconveyorbelt.com/ [25 สิงหาคม 2558]
36. ต่างประเทศ, กระทรวง. สำนักเศรษฐกิจและความร่วมมือระหว่างประเทศ. สถานการณ์ถ่านหินนำเข้าปี 2553 และแนวโน้มปี 2554, 2554.
37. Hiller, C.L. Safety Data Sheet. Crown Black® Bituminous Coal. (2012) : 1-2.
38. Szabo, M.F. Environmental Assessment of Coal Transportation. (1978) : 0-142.

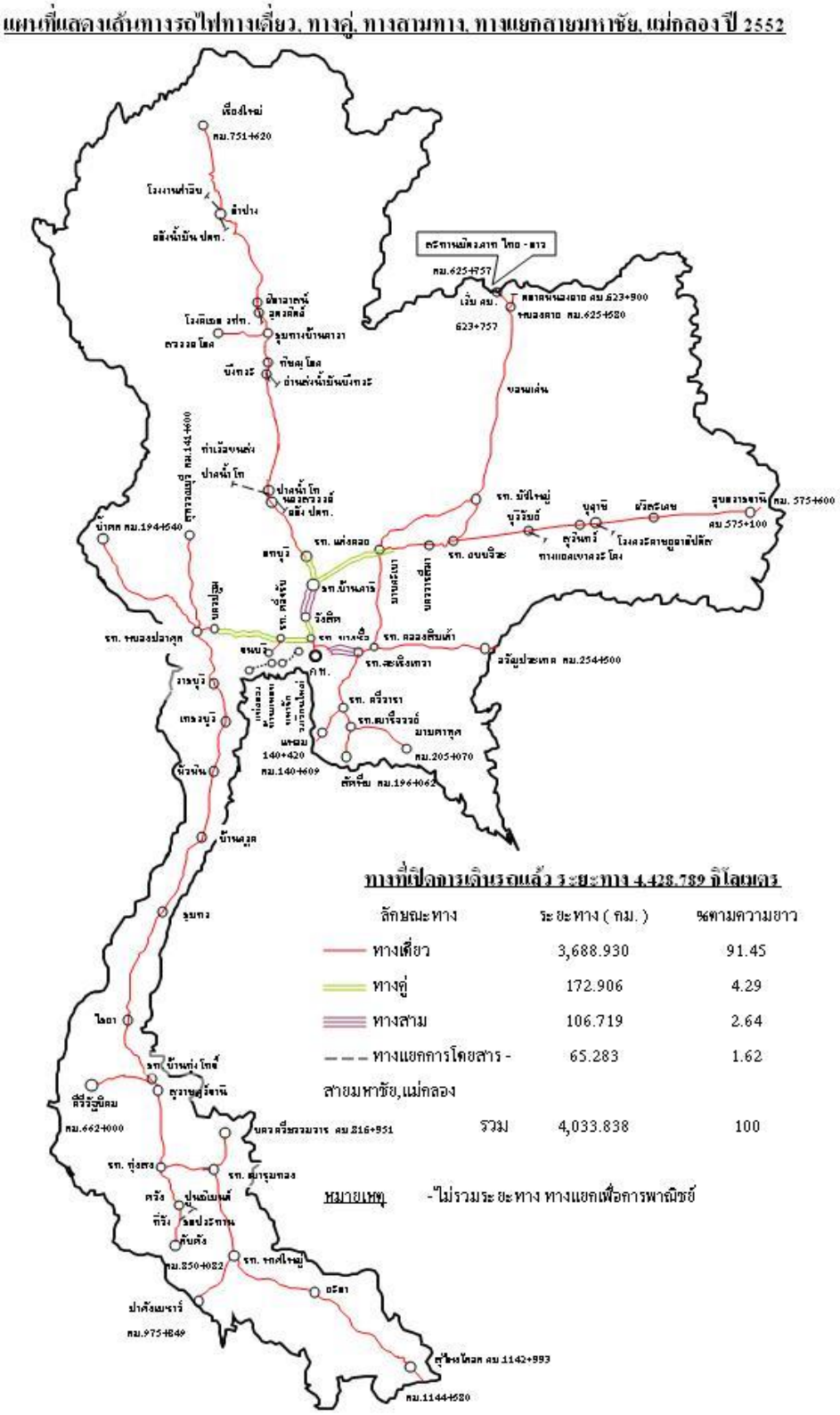
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
แผนที่โครงข่ายคมนาคมแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ ก.1 แผนที่โครงข่ายทางหลวงแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน



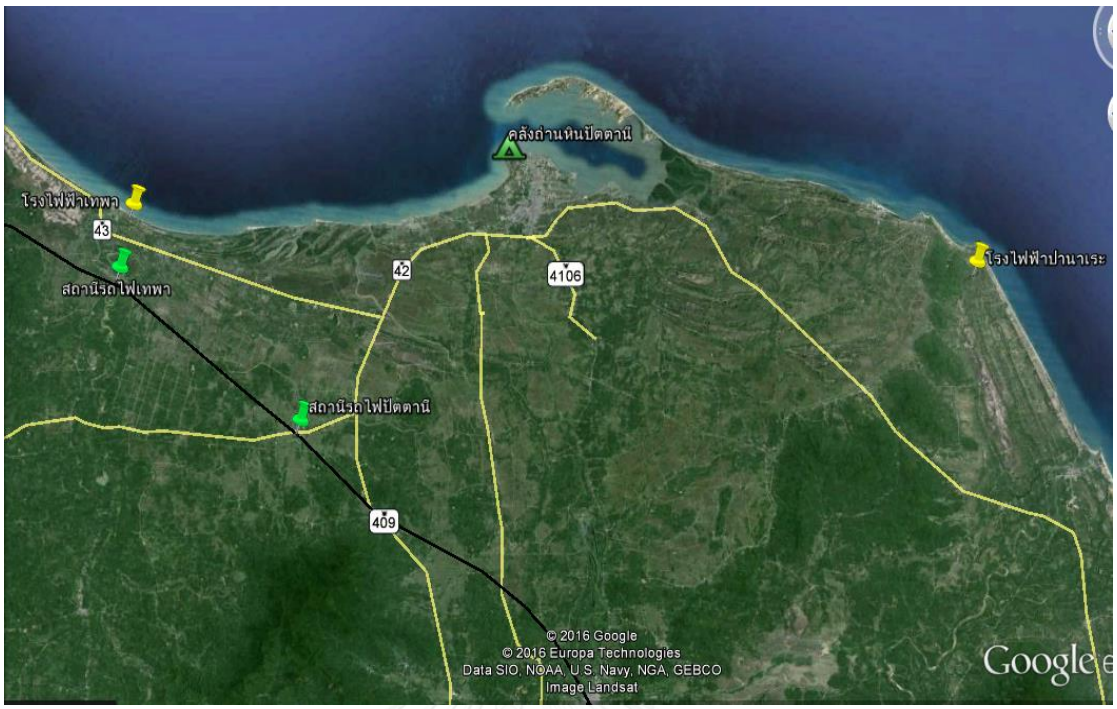
รูปที่ ก.2 แผนที่โครงข่ายรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน

รูปที่ ก.3 แผนที่โครงข่ายทางน้ำแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน

ภาคผนวก ข

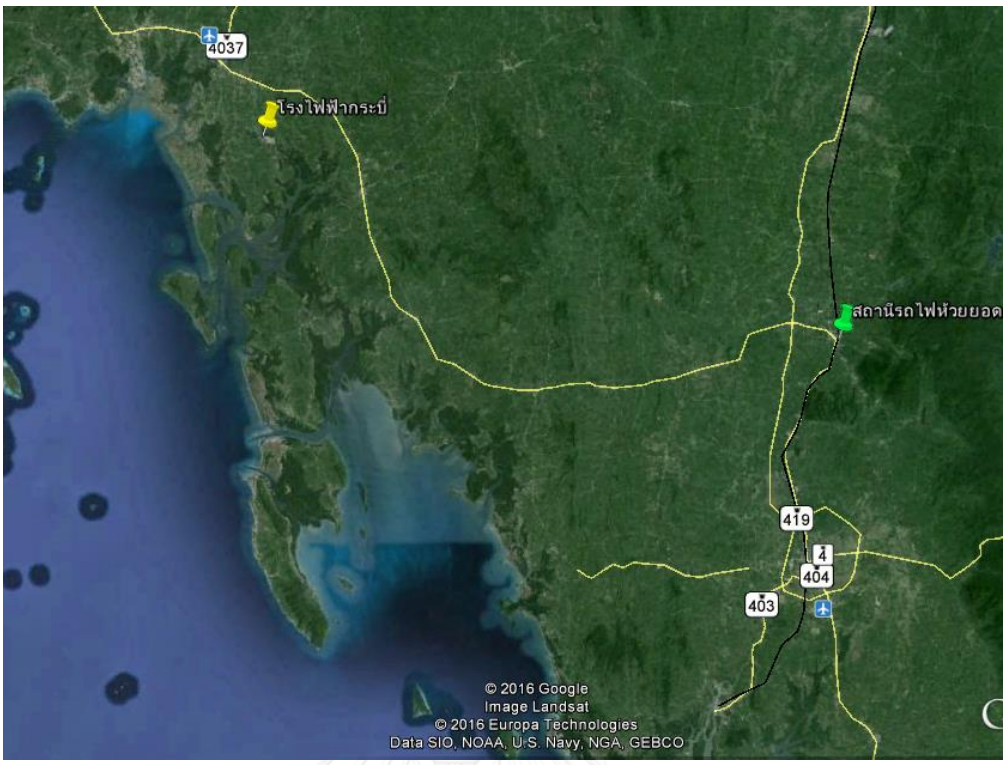
รูปโครงข่ายคมนาคมบริเวณใกล้เคียงของลูกค้าถ่านหินและศูนย์กระจายถ่านหิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

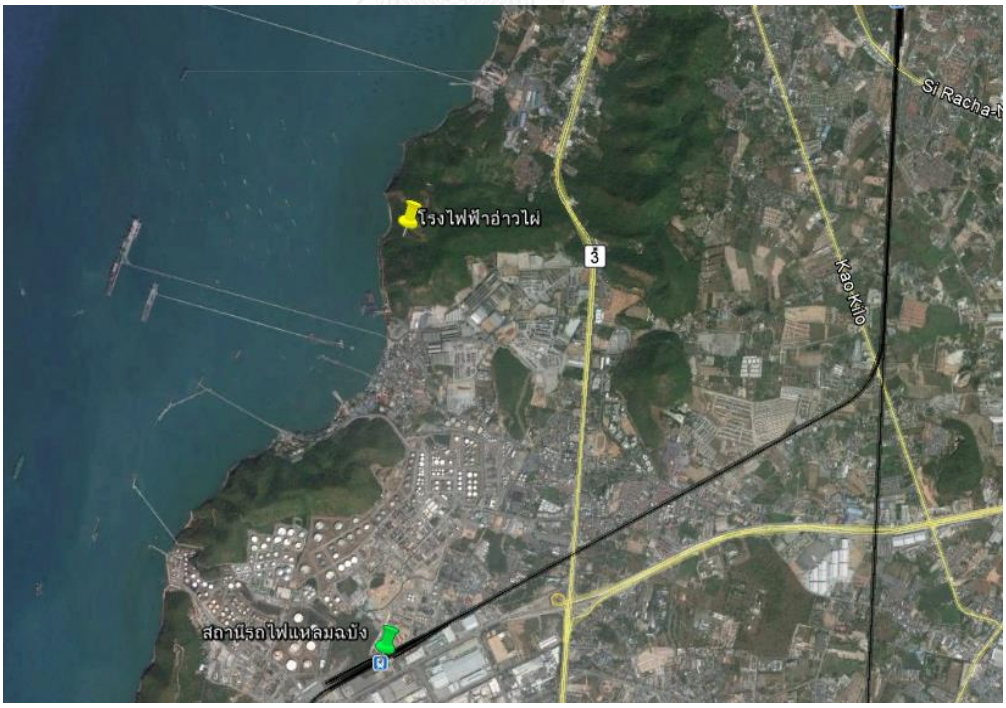


รูปที่ ข.1 ศูนย์กระจายถ่านหินปากแม่น้ำปัตตานี โรงไฟฟ้าเทพาและโรงไฟฟ้าปานาเระ

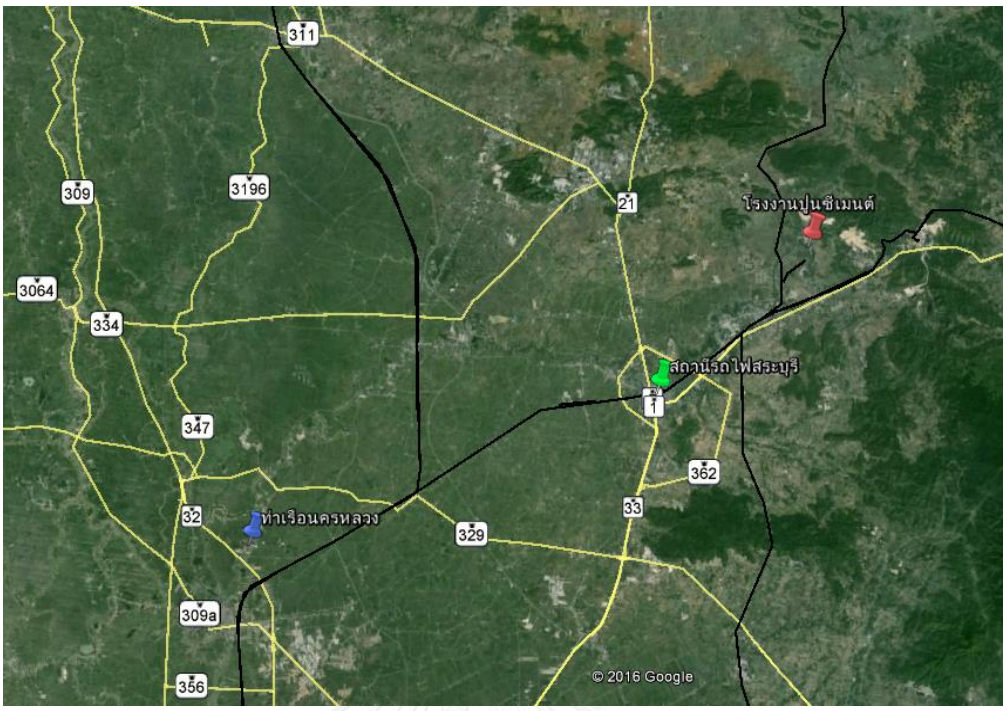
รูปที่ ข.2 ศูนย์กระจายถ่านหิน NFC และลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรมมาบตาพุด



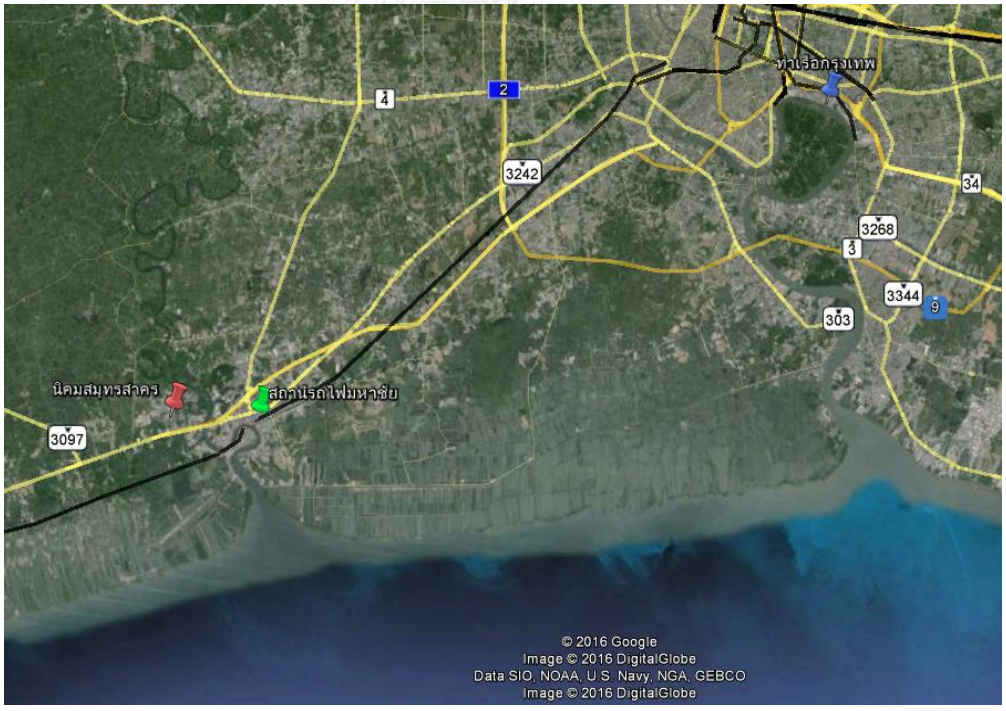
รูปที่ ข.3 โรงไฟฟ้ากระบี่



รูปที่ ข.4 โรงไฟฟ้าอ่าวไผ่



รูปที่ ข.5 โรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



รูปที่ ข.6 โรงงานอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมาณวิกา พรมแบน เป็นบุตรีของ นายสนั่น พรมแบน และนางรุ่งรัชนีย์ พรมแบน มีพี่น้องรวมตนเอง 3 คน เป็นบุตรคนที่สาม เกิดเมื่อวันที่ 09 ตุลาคม พ.ศ. 2530 ได้สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านสันโค้ง(เชียงรายจรูญราษฎร์) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสามัคคีวิทยาคม หลังจากนั้นได้สำเร็จการศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และได้เข้าทำงานตำแหน่ง DCS Operator ของโรงไฟฟ้า บริษัทเนชั่นแนล เพาเวอร์แพลนท์5 จำกัด เป็นเวลาประมาณ 4 ปี จากนั้นได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2557

ขณะศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทความของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ถูกตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมวิชาการ ดังนี้

Marnwika Promban, Oran Kittithreerapronchai, ROBUST OPTIMIZATION FOR COAL TRANSPORTATION PLANNING. 3rd International Conference on Business, Science and Technology (iCBST 2016) Ho Chi Minh, Vietnam.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University