การศึกษาเปรียบเทียบถ่านโค้กเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

นายสุดลพ รัตนเกื้อกังวาน

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 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative Study of Cokes for Electrical Power Generation in Thailand

Mr. Sudlop Ratanakuakangwan

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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบถ่านโค้กเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย
โดย	นายสุดลพ รัตนเกื้อกังวาน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อุริช อัชชโคสิต)

Chulalongkorn University

สุดลพ รัตนเกื้อกังวาน : การศึกษาเปรียบเทียบถ่านโค้กเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย (Comparative Study of Cokes for Electrical Power Generation in Thailand) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 154 หน้า.

สถานการณ์ทางพลังงานในปีพ.ศ. 2558 ของประเทศไทยกำลังเผชิญกับการพึ่งพาเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าเพียงเชื้อเพลิงเดียว กระทรวงพลังงานจึงออกแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 เพื่อลดสัดส่วนการใช้แก๊สธรรมชาติโดยการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินบิทูมินัส แต่ได้เกิดกระแสต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินอย่างรุนแรงด้วยเหตุผลด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้ถ่านหิน ส่งผลให้โครงการมีความล่าช้าและอาจนำไปสู่การยกเลิกโครงการ งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอการเลือกใช้เชื้อเพลิงถ่านหินที่ได้รับการพัฒนาคุณภาพทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมก่อนใช้งาน ได้แก่ การนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า และการนำถ่านหินลิกไนต์ผลิตลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ่านหินบิทูมินัสในการผลิตไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบโครงการ จากการสร้างแบบจำลองต้นทุนโดยการพิจารณาจากมุมมองด้าน พลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ ตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าฯ

ผลจากแบบจำลองต้นทุนของสามโครงการพบว่า โครงการที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำที่สุดคือ การใช้ถ่านหินบิทูมินัสในการผลิตไฟฟ้าที่ 1.768 บาทต่อหน่วย ตามด้วยโครงการถ่านหินลิกไนต์ฯที่ 1.964 บาทต่อหน่วย และโครงการถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กฯที่ 2.250 บาทต่อหน่วย แต่ผลการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกลับพบว่าโครงการถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กฯมีมลพิษต่ำที่สุด อีกทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างตลาดของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง พบว่าในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนต่อหน่วยของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง จะต่ำกว่าต้นทุนต่อหน่วยของการใช้ถ่านหินบิทูมินัส การใช้งานของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงฯนี้ นอกจากจะเป็นการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากเชื้อเพลิงถ่านหินแล้ว ยังเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศไทยอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กในการผลิตไฟฟ้าอาจเป็นทางออกที่ดีที่สุดกับสถานการณ์ทางพลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5970341721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: COKING COAL / METALLURGICAL COKE / LIGNITE COKE / COAL / POWER GENERTION / BITUMINOUS

SUDLOP RATANAKUAKANGWAN: Comparative Study of Cokes for Electrical Power Generation in Thailand. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, Ph.D., 154 pp.

Thai government has launched the Power Development Plan of Thailand 2015 to reduce the dependency of natural gas for power generation by introducing the Bituminous-coal-fired power plant project. However, there are many controversies about the coal's environmental issues that cause the project to be postponed and might lead to the cancellation. Hence, the government has to reconsider the use of natural gas which causes Thailand's energy to be more insecured. To reduce both the environmental problem and the insecurity, two alternatives that are considered will be the development of coal's quality in both environmental and energy aspects are proposed. The first project is to use the metallurgical coke and coke oven gas from coking coal for generating electricity. The second one is to use the lignite coke from lignite. This thesis aims to compare the cost per unit of bituminous, lignite coke and metallurgical coke projects by generating the cost model which considers three main point of view, which are energy, environment and economic.

Result from the cost models shows that bituminous project is the best option with its cost per unit at 1.768 Thai Baht per unit, while lignite coke's and metallurgical coke's are 1.964 and 2.250 respectively. However, the least polluted fuel is metallurgical coke. After the analysis of coking coal's market, it is possible that the metallurgical coke's cost will be less than bituminous in the near future. In conclusion, not only will the metallurgical coke choice reduce the environmental problem, but it also decrease the insecurity of Thailand energy due to the dependency of natural gas. The use of coking coal to producing the metallurgical coke and coke oven gas for the power generation might be the solution for Thailand's energy situation at this moment.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ที่ให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าอย่างยิ่งในการพัฒนาทั้งเนื้อหางานวิจัย และแนวคิดในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ ศ.ดร.ปาเมศ ชุติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.อุริช อัชชโคสิต กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนและผลักดันทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. การแบ่งประเภทของถ่านหิน 8

1.2.1. แบ่งตามส่วนประกอบของถ่านหิน 8

1.2.2. แบ่งตามการใช้งาน 10

1.3. ถ่านโค้กและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก 11

1.4. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 11

1.5. ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย 12

1.6. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 13

1.7. ผลที่ได้รับ 15

1.8. ประโยชน์ที่ได้รับ 16

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

2.1. ถ่านหินและอุตสาหกรรมถ่านหิน 17

2.1.1. ถ่านหิน 17

2.1.2. อุตสาหกรรมถ่านหิน 18

2.2. องค์ประกอบของถ่านหิน 19

2.3. โรงไฟฟ้า 20

2.4. กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน / ถ่านโค้ก 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.5. การผลิตและนำไปใช้ของถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินคุณภาพสูง 24
2.6. การผลิตและนำไปใช้ของลิกไนต์โค้กจากถ่านหินลิกไนต์ 26
2.7. ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) 28
2.8. ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตต่อปี 28
2.9. การแปลงพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไปยังพลังงานไฟฟ้า 29
2.10. ต้นทุนสินค้าผลิต 29
2.10.1. ต้นทุนสินค้าผลิต 29
2.10.1. ต้นทุนการลงทุน 30
2.10.2. ต้นทุนการดำเนินงาน 31
2.11. การประมาณต้นทุนแบบจากบนสู่ล่าง (Top-down) 31
2.12. ความเต็มใจที่จะจ่าย (Willingness to Pay: WTP) 32
2.13. ผลกระทบทางสุขภาพ 32
2.14. การหาผลกระทบต่อสุขภาพ (Health Impact) 33
2.15. ต้นทุนความเสียหาย 34
2.16. การปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ 35
2.17. มูลค่าเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา (Time Value of Money) 35
2.18. แผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาด (Structure-Conduct-Performance Paradigm: SCP) 36
2.19. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 40
3.1. สมมติฐานในการดำเนินงานวิจัย 40
3.2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 42
3.3. ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3.1. พื้นที่ศึกษา 45
3.3.2. ปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปี 47
3.3.3. การใช้ถ่านหินบิทูมินัสเพื่อผลิตไฟฟ้า 47
3.3.4. การใช้ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้า 49
3.3.5. การใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า 50
3.4. ต้นทุนวัตถุดิบ 52
3.4.1. การคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้า 52
3.4.2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ถ่านหินบิทูมินัสโดยตรง 52
3.4.3. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้า 54
3.4.4. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า 57
3.4.5. ราคาของเชื้อเพลิง 60
3.4.6. ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการ 61
3.5. ต้นทุนกระบวนการ 61
3.5.1. ต้นทุนการลงทุน 61
3.5.2. ต้นทุนการดำเนินงาน 64
3.5.3. ต้นทุนกระบวนการ 68
3.6. ต้นทุนการผลิต 68
3.7. ต้นทุนความเสียหาย 69
3.7.1. ปริมาณการใช้ถ่านหินต่อปี และปริมาณการปล่อยสารพิษต่อปีของพื้นที่ศึกษา 69
3.7.2. อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษของโครงการต่างๆ ต่อพื้นที่ศึกษา 70
3.7.3. จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษ 72
3.7.4. มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (Willingness To Pay) 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.7.5. การหาต้นทุนความเสียหาย 79
3.8. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 81
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ 82
4.1. โครงสร้างต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า 82
4.2. ปัจจัยที่มีผลต่อโครงการ 84
4.3. แบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า 85
4.4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 91
4.5. อนาคตของตลาดถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก 92
4.6. อนาคตโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า 97
4.7. การวิเคราะห์ความไวของขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า 99
4.8. การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง 102
4.9. การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก 104
4.10. การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก 107
4.10.1. การวิเคราะห์ความไว 107
4.10.2. เส้นแบ่งพื้นที่ 109
4.11. ปัจจัยที่ไม่ได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์ความไว 113
4.12. สรุปผลการวิเคราะห์ 114
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 115
5.1. สรุปผลการวิจัย 115
5.2. ข้อเสนอแนะ 119
5.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 119
5.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต 119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวค 120

รายการอ้างอิง 149

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 154

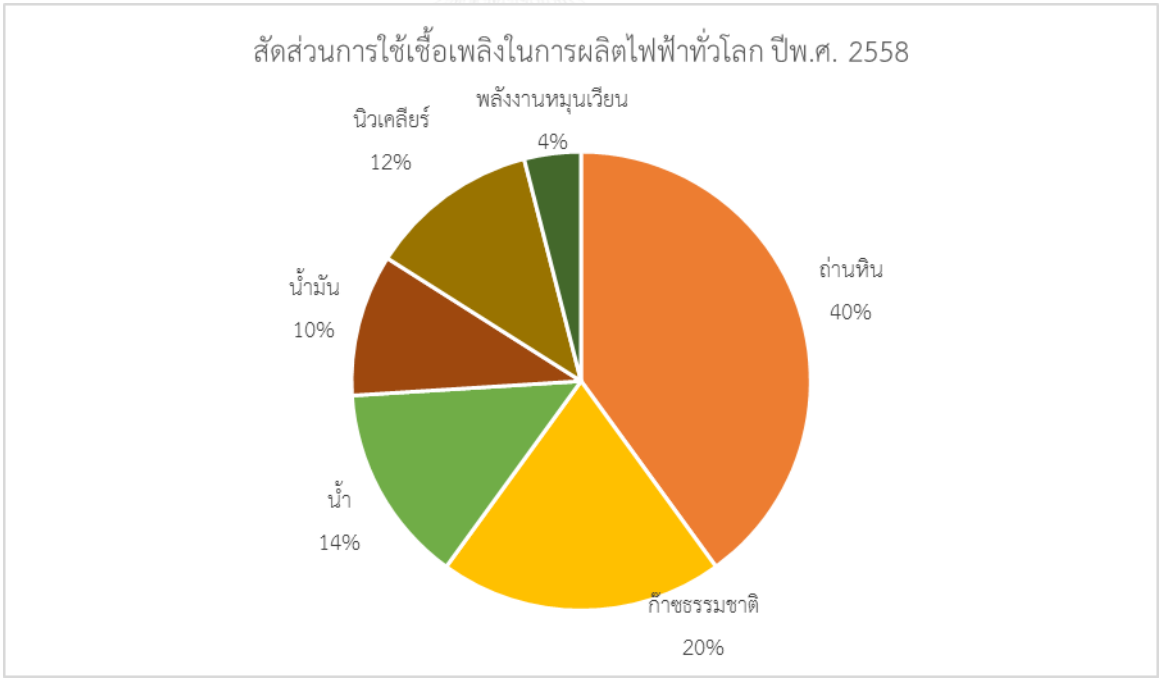
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

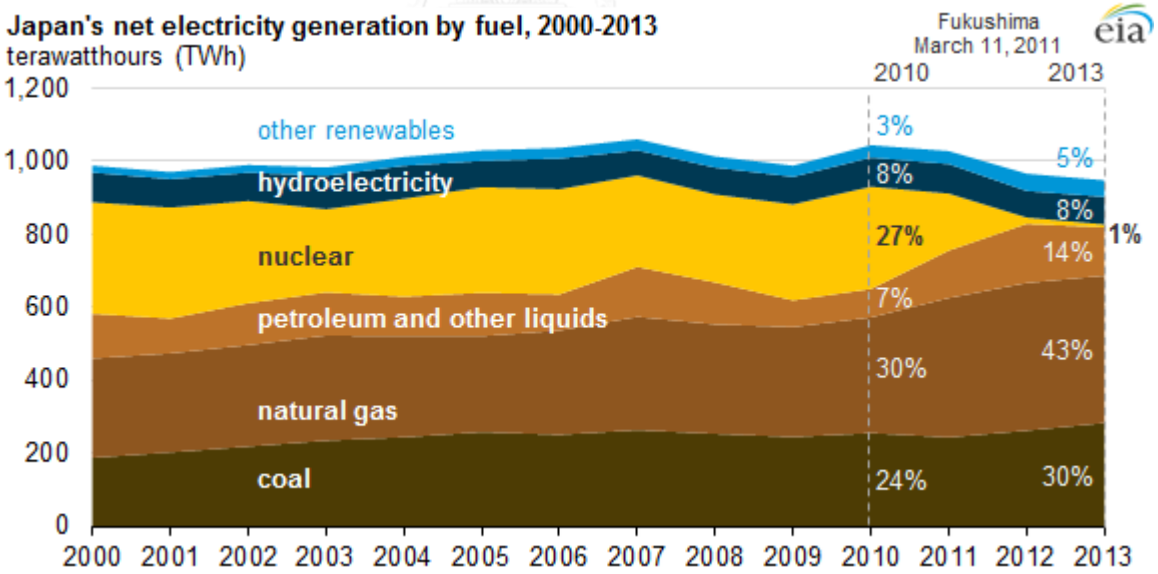
การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน มาจากเชื้อเพลิงที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานนิวเคลียร์ ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม เชื้อเพลิงชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และเชื้อเพลิงหมุนเวียนอื่นๆดังแสดงในรูปที่ 1-1

การเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ไม่เพียงแต่ต้องคำนึงถึงต้นทุนเท่านั้น ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เป็นอีกปัจจัยหลักที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการเลือกใช้เชื้อเพลิงในปัจจุบัน จึงขึ้นอยู่กับสองปัจจัยนี้เป็นหลัก โดยเชื้อเพลิงแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป เช่น เชื้อเพลิงถ่านหิน มีต้นทุนต่ำ แต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียน เชื่อว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ แต่มีต้นทุนสูง เป็นต้น [1]



รูปที่ 1-1 : สัดส่วนการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก ปีพ.ศ. 2558 [1]

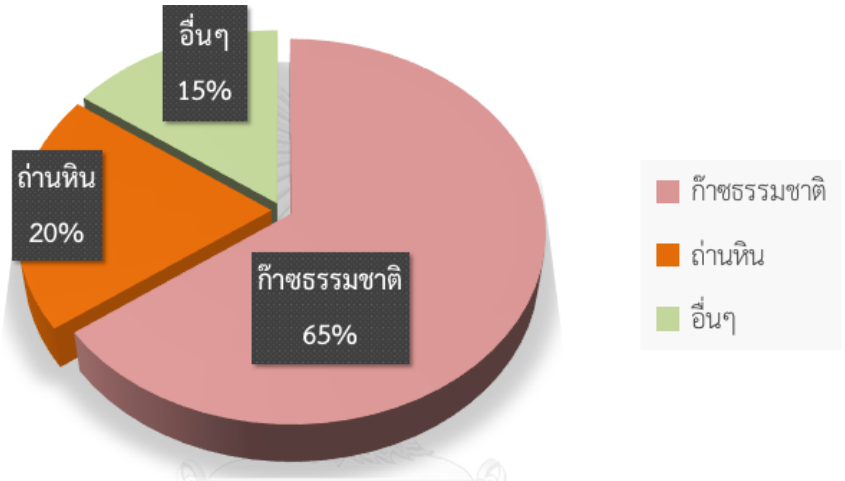
ในขณะที่เชื้อเพลิงพลังงานนิวเคลียร์ มีต้นทุนต่ำ และมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่ำ เป็นที่นิยมในประเทศที่พัฒนาแล้วเช่น ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา เป็นต้น [2] แต่การใช้งานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้น มีความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์หลอมละลาย (nuclear meltdown) ก่อให้เกิดการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสี ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศน์ ตัวอย่าง เหตุการณ์ภัยพิบัติโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ อันเนื่องมาจาก แผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิในโทโฮะกุ ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปีพ.ศ. 2554 ซึ่งถูกจัดให้เป็นเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติและนิวเคลียร์ที่ร้ายแรงที่สุด ถัดจากภัยพิบัติเชอร์โนบิลเมื่อปีพ.ศ. 2529 เป็นผลให้ประเทศญี่ปุ่นมีความจำเป็นต้องชะลอการใช้ พลังงานนิวเคลียร์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด จากสัดส่วนที่ร้อยละ 27 ในปีพ.ศ. 2553 เหลือเพียงร้อยละ 1 ในปีพ.ศ. 2556 ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ส่งผลให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ เพื่อตอบสนองความต้องการไฟฟ้าที่ขาดหายไป ได้แก่ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม จากเหตุการณ์นี้สามารถบ่งบอกได้ว่า แม้แต่ประเทศที่ให้ความสำคัญอย่างยิ่งในเรื่องของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ยังไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม [3][4]



รูปที่ 1-2 : สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศญี่ปุ่น ในปีพ.ศ. 2543 – 2556 [3]

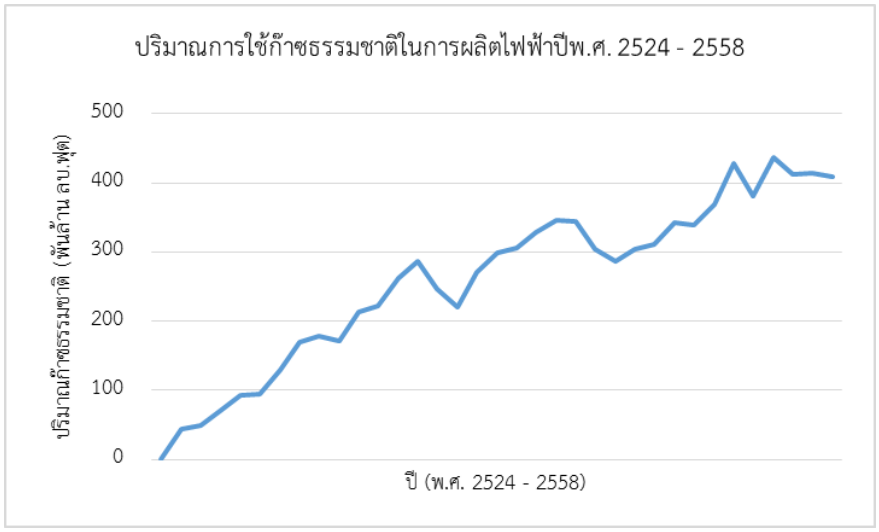
ขณะเดียวกันสถานการณ์ทางพลังงานในปีพ.ศ. 2558 ของประเทศไทย พบว่ามีสัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติสูงถึง ร้อยละ 65 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆปี ดังแสดงในรูปที่ 1-3 และรูปที่ 1-4 [5] ก่อให้เกิดปัญหาการผูกขาดทางเชื้อเพลิง อีกทั้งยังก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความเสถียรภาพทางพลังงาน กล่าวคือ ผลกระทบต่อก๊าซธรรมชาติใดๆ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น [1]

- การผันผวนของราคาก๊าซธรรมชาติ ส่งผลให้ต้นทุนไฟฟ้าผันผวนตาม
- ปริมาณสำรองของก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยจะหมดใน 6.5 ปี



รูปที่ 1-3 : สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ในปีพ.ศ.2558 [1]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-4 : ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าปีพ.ศ. 2524 - 2558 [5]

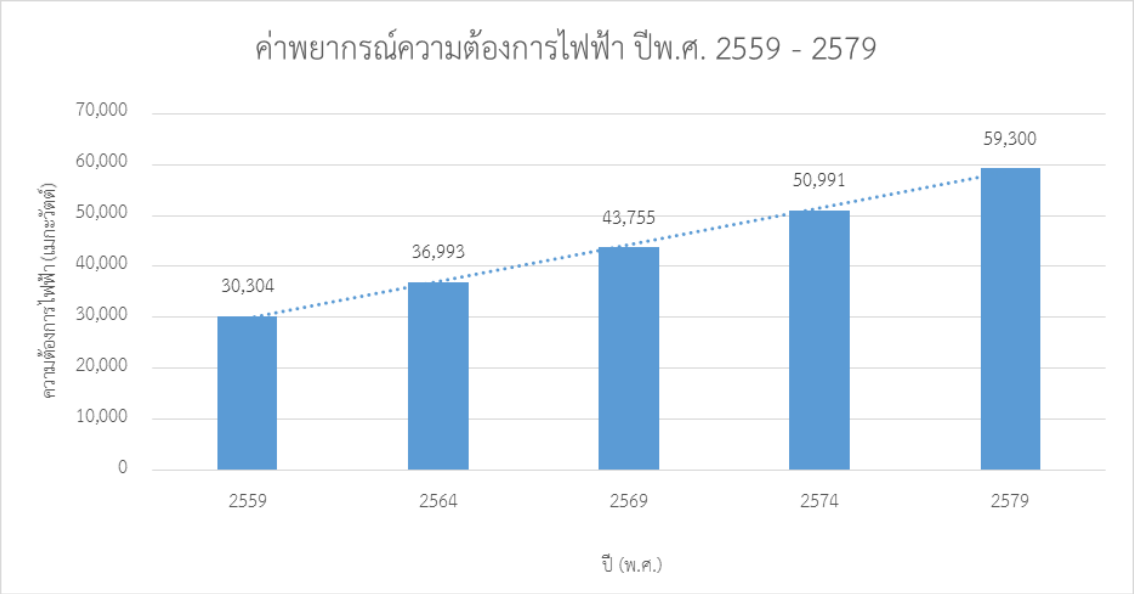
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตจึงมีความต้องการลดสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซธรรมชาติและแทนที่ด้วยเชื้อเพลิงทางเลือกอื่น เช่นโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด พลังงานหมุนเวียน และการซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงใดเชื้อเพลิงหนึ่งเพียงเชื้อเพลิงเดียว เพื่อสร้างสมดุลพลังงานของประเทศ

ในการเลือกเชื้อเพลิงทางเลือกในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงความมั่นคงและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงเป็นหลัก อ้างอิงจากสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้ออกแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 ตามนโยบายภาครัฐด้านความมั่นคงทางพลังงาน ดังนั้นเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ [1]

1. ความมั่นคงทางพลังงาน (Energy Security): เชื้อเพลิงจะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการใช้ผลิตไฟฟ้าที่รองรับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งเชื้อเพลิงต้องมีการเลือกใช้อย่างหลากหลายเพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป
2. ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Friendly): เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือจะต้องมีผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมต่ำ
3. ประสิทธิภาพการดำเนินงาน (Operation Efficiency): การดำเนินงานของโรงไฟฟ้าจะต้องได้รับการดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต้องมีความเหมาะสม

เชื้อเพลิงถ่านหิน จัดเป็นเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่ 2.91 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ 3.69 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น อีกทั้ง ถ่านหินยังมีปริมาณสำรองคาดการณ์ว่าสามารถใช้ได้ถึง 147 ปี[1]

และจากการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยกรณีปกติ (Business As Usual : BAU) อันเนื่องมาจากการประมาณการอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจระยะยาว (GDP) ปี พ.ศ. 2558 – 2579



รูปที่ 1-5 : ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในปีพ.ศ. 2559 – 2579 [1]

พบว่า มีอัตราความต้องการใช้ไฟฟ้า เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3.5 ต่อปีดังแสดงในรูปที่ 1-5 เพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ จึงมีความจำเป็นต้องก่อสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 มีโครงการก่อโรงไฟฟ้าถ่านหิน ทั้งหมด 6 โครงการ ดังแสดงในตารางที่ 1-1 [1]

ตารางที่ 1-1 : โครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน ปี พ.ศ. 2562 – 2578 [1]

ปี	โครงการ	กำลังผลิตไฟฟ้า (เมกะวัตต์)
2562	EGAT Clean Coal #1	800
2564	EGAT Clean Coal #2	1000
2567	EGAT Clean Coal #3	1000
2575	EGAT Clean Coal #4	1000
2577	EGAT Clean Coal #5	1000
2578	EGAT Clean Coal #6	1000

จากสถานการณ์ปัจจุบัน ณ ขณะเวลาที่จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้ (พ.ศ. 2559 – 2560) ได้เกิดกระแสต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน จังหวัดกระบี่ ขนาดโรงไฟฟ้า 800 เมกะวัตต์ หรือโครงการ EGAT Clean Coal #1แสดงในตารางที่ 1-1 อย่างรุนแรง ด้วยเหตุผลนานานับประการว่าด้วยเรื่องของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหินเป็นหลักโดยเฉพาะการปลดปล่อย ฝุ่น (PM10) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO2 [6] จากกระแสต่อต้านที่เกิดขึ้นนั้น ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องเริ่มต้นจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) และรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (Environmental and Health Impact Assessment: EHIA) สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าถ่านหินฉบับใหม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีระยะเวลาในการจัดทำยาว เป็นผลให้โครงการมีความล่าช้าลงเป็นอย่างมากไม่ทันตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าฯที่วางแผนไว้

ปริมาณความต้องการไฟฟ้าในภาคใต้ ณ ปีพ.ศ. 2559 อยู่ที่ 2,713 เมกะวัตต์ โดยถึงแม้โรงไฟฟ้าทั้งหมดในภาคใต้มีกำลังการผลิตรวมอยู่ที่ 3,089 เมกะวัตต์ แต่โรงไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตที่สามารถเดินเครื่องได้ตลอด 24 ชั่วโมงกลับมีอยู่เพียง 2,406 เมกะวัตต์ นั่นคือโรงไฟฟ้าขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช กำลังการผลิต 930 เมกะวัตต์ และโรงไฟฟ้าจะนะ จังหวัดสงขลา กำลังการผลิต 1,476 เมกะวัตต์ ในส่วนที่เหลือเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อนเป็นหลักซึ่งมีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำทำให้ไม่สามารถเดินเครื่องได้ตลอดเวลา ส่งผลให้ต้องมีการส่งไฟฟ้าจากภาคกลางลงมาภาคใต้ประมาณวันละ 200 – 600 เมกะวัตต์ ดังนั้นผลกระทบโดยตรงที่จะเกิดขึ้นจากการล่าช้าของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินคือ ปริมาณผลิตไฟฟ้าของภาคใต้ของประเทศไทยจะมีไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกๆปี อันเนื่องมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย โดยภาคใต้จัดเป็นภาคที่มีปริมาณการท่องเที่ยวมากที่สุดในประเทศ หากไม่มีมาตรการแก้ไขรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้น ปัญหาด้านการขาดแคลนไฟฟ้าซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการท่องเที่ยวจะเกิดขึ้นในไม่ช้านี้ [1] [7]

กระแสต่อต้านที่เกิดขึ้น มาจากสาเหตุหลักด้านสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากภาพลักษณ์ที่ไม่ดีของโรงไฟฟ้าถ่านหินจากมลพิษที่เคยเกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งเลือกใช้ถ่านหินลิกไนต์ โดยจัดเป็นถ่านหินคุณภาพต่ำที่สุด เนื่องจาก สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก[8] แต่ ณ เวลานั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด และมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูง

โครงการโรงไฟฟ้าถ่านหินในปัจจุบันที่จะเกิดขึ้นนั้น ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจึงหันมาเลือกใช้ถ่านหินที่มีคุณภาพสูงกว่าและส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอย่างถ่านหินบิทูมินัส ควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพสูงและได้รับการพัฒนาไปมากจากเดิม ไม่ว่าจะเป็นการใช้เทคโนโลยีเผาไหม้ถ่านหินผลิตไอน้ำแบบใหม่ที่ผลิต Ultra Super Critical Fluid เป็นกระบวนการผลิตไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิง ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยมลพิษลดลงเป็นอย่างมาก ควบคู่กับกระบบกำจัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ระบบดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และระบบดักจับสารปรอท แต่ก็ไม่สามารถลบภาพลักษณ์ด้านลบของโรงไฟฟ้าถ่านหินลงได้ จึงเป็นผลให้เกิดกระแสต่อต้านโรงไฟฟ้าถ่านหินทุกครั้ง ทั้งนี้เทคโนโลยีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น ถือเป็นเพียงการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ นั่นคือเป็นการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นระหว่างและหลังการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหิน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีแนวทางการพัฒนาคุณภาพถ่านหินประเภทที่ใช้ทำถ่านโค้ก (Coking Coal) ให้กลายเป็นถ่านโค้ก ซึ่งผลผลิตถ่านโค้กทีได้นั้นจะมีค่าความร้อนสูงกว่ามาก ส่งผลให้ปริมาณการใช้ของเชื้อเพลิงลดลง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในปัจจุบัน

ดังนั้นกระบวนการนำถ่านหินผ่านกระบวนการผลิตให้ได้ถ่านโค้กเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้า นอกจากจะเป็นการกำจัดมลพิษภายในถ่านหินตั้งแต่ต้นเหตุก่อนการเผาไหม้แล้ว สิ่งที่ถูกแยกออกมาจากกระบวนการ นั่นคือแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กยังสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย จึงจัดเป็นการแก้ไขปัญหาตั้งแต่ต้นเหตุ โดยการใช้เชื้อเพลิงให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การนำถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำและมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงที่ใช้อยู่ปัจจุบันในประเทศไทย อย่างถ่านหินลิกไนต์มาพัฒนาคุณภาพก่อนนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งถ่านโค้กที่ได้จากกระบวนการ นอกจากจะสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้แล้ว ยังสามารถรองรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก ที่มีโอกาสเติบโตได้ในภายภาคหน้าอีกด้วย

งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิงใหม่สองทางเลือกที่ไม่เคยมีหลักฐานการศึกษาการนำไปใช้ผลิตไฟฟ้ามาก่อนในประเทศไทย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติครบถ้วนทั้งสามด้าน ได้แก่ เป็นเชื้อเพลิงที่มีความมั่นคงและมีเสถียรภาพ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและชุมชน และมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม ได้แก่

1. โครงการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (coke oven gas) มาใช้ในการผลิตไฟฟ้า
2. โครงการการนำลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้จากกระบวนการผลิต มาใช้ในการผลิตไฟฟ้า

เพื่อเปรียบเทียบกับ

3. โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง ที่ถูกระบุในแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579

1.2. **การแบ่งประเภทของถ่านหิน**

การแบ่งประเภทของถ่านหินสามารถแบ่งได้ 2 เกณฑ์ คือแบ่งตามส่วนประกอบของถ่านหินและแบ่งตามการใช้งาน

1.2.1.แบ่งตามส่วนประกอบของถ่านหิน

การแบ่งประเภทของถ่านหินตามเกณฑ์ส่วนประกอบถ่านหินสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทได้แก่ แอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ [9][10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1-2 : ประเภทของถ่านหินตามเกณฑ์ส่วนประกอบถ่านหิน

ประเภทของถ่านหิน	ค่าความร้อน (KJ/Kg)	ความชื้น (Moisture)	ธาตุคาร์บอน (Fixed Carbon)	เถ้า (Ash)	ซัลเฟอร์ (Sulfur)
แอนทราไซต์	30,200 - 34,900	< 15%	85 - 98%	10 - 20%	0.6 - 0.8%
บิทูมินัส	25,600 - 34,900	2 - 15%	45 - 85%	3 - 12%	0.7 - 4.0%
ซับบิทูมินัส	19,800 - 30,200	10 - 45%	35 - 45%	≤ 10%	<2%
ลิกไนต์	9,300 - 19,300	30 - 60%	20 - 35%	10 - 50%	0.4 - 1.0%

ที่มา: [9][10]

การแบ่งประเภทของถ่านหินตามส่วนประกอบภายในถ่านหินพิจารณาจากสัดส่วนโดยมวลของธาตุคาร์บอนภายในถ่านหินเป็นหลัก ถ่านหินแอนทราไซต์จัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูงที่สุด กล่าวคือมีสัดส่วนธาตุคาร์บอนสูงที่สุดส่งผลให้เมื่อนำมาเผาไหม้แล้ว สามารถให้ความร้อนได้สูงที่สุดในปริมาณที่เท่ากัน โดยให้ความร้อนประมาณ 30,200 ถึง 34,900 กิโลจูล หรือเท่ากับ 7,200 ถึง 8,300 กิโลแคลอรี่ ต่อการเผาไหม้ถ่านหินแอนทราไซต์ปริมาณ 1 กิโลกรัม

รองลงมาคือถ่านหินบิทูมินัส โดยเป็นถ่านหินที่มีสัดส่วนธาตุคาร์บอนกว้างตั้งแต่ร้อยละ 45 ถึง 85 โดยให้ความร้อนประมาณ 25,600 ถึง 34,900 กิโลจูลหรือเท่ากับ 6,100 ถึง 8,300 กิโลแคลอรี่ ต่อการเผาไหม้ถ่านหินบิทูมินัสปริมาณ 1 กิโลกรัม ถัดมาคือถ่านหินซับบิทูมินัสโดยมีค่าความร้อนประมาณ 19,800 ถึง 30,200 กิโลจูล หรือเท่ากับ 4,700 ถึง 7,200 กิโลแคลอรี่ ต่อการเผาไหม้ถ่านหินซับบิทูมินัสปริมาณ 1 กิโลกรัม

ถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุดคือถ่านหินลิกไนต์ โดยเป็นถ่านหินมีที่มีสัดส่วนเถ้า ความชื้นสูง ส่งผลให้มีสัดส่วนธาตุคาร์บอนต่ำ ซึ่งทำให้มีค่าความร้อนที่ต่ำที่สุด โดยให้ความร้อนประมาณ 9,300 ถึง 19,300 กิโลจูลหรือเท่ากับ 2,200 ถึง 4,600 กิโลแคลอรี่ ต่อการเผาไหม้ถ่านหินซับบิทูมินัสปริมาณ 1 กิโลกรัม

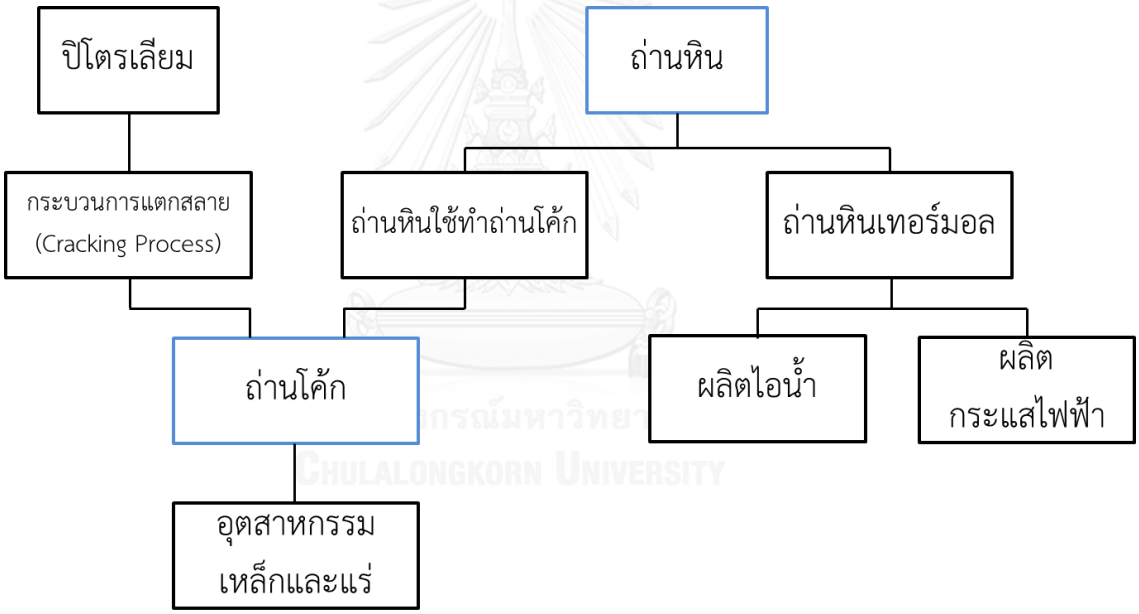
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2.2.แบ่งตามการใช้งาน

ในเกณฑ์ด้านการใช้งาน ถ่านหินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

- ถ่านหินเทอร์มอล (Thermal coal) นิยมนำมาใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำในโรงงงานอุตสาหกรรมและผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหิน เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย มีปริมาณสำรองสูง และมีราคาถูก
- ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (Coking coal) มีคุณสมบัติพิเศษต่างจากถ่านหินเทอร์มอล คือมีความสามารถในการก่อตัวเป็นถ่านโค้ก หลังจากการได้รับอุณหภูมิสูง ที่ 900 – 1200 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำไปแปลงสภาพให้เป็นถ่านโค้ก เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กหรือถลุงแร่ต่อไป [9]

สามารถสรุปการใช้งานของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินและถ่านโค้กได้ในรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-6 : การใช้งานของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน และโค้ก

1.3. **ถ่านโค้กและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก**

ถ่านโค้ก (Metallurgical coke) หรือถ่านโค้กแข็ง มีลักษณะแข็ง มีรูพรุน มีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนสูง มีค่าความร้อนสูง นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก เพื่อเป็นส่วนประกอบในการเปลี่ยนเหล็กออกไซด์ให้อยู่ในรูปเหล็กกล้า [11]

แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke Oven Gas: COG) เป็นผลผลิตพลอยได้จากการเปลี่ยน ถ่านหิน ให้กลายเป็นถ่านโค้ก นิยมนำกลับไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน เพื่ออุ่นเตาผลิตถ่านโค้ก ในปัจจุบันเริ่มมีการนำแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาใช้ในระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle) เพื่อผลิตไฟฟ้า [12]

รูปที่ 1-7: ถ่านโค้ก
ที่มา: http://www.e-reful.com/products/metcoke.html

1.4. **วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

ศึกษาการนำถ่านโค้กคู่กับแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินคุณภาพสูง และลิกไนต์โค้กจากถ่านหินลิกไนต์มาผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย เปรียบเทียบกับการนำถ่านหินบิทูมินัสมาผลิตไฟฟ้าโดยตรง โดยพิจารณาจากเกณฑ์ ด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐศาสตร์ ตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579

1.5. **ขอบเขตและข้อจำกัดของงานวิจัย**

- ข้อมูลทั้งหมดในงานวิจัย เป็นข้อมูลเชิงทุติยภูมิที่เผยแพร่โดยหน่วยงานราชการ วารสาร สถานศึกษา หรือมีที่มาที่สามารถอ้างอิงและเชื่อถือได้
- ในการประเมินทางเลือกทั้งสาม จะอ้างอิงจากหลัก 3 ประการของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 ได้แก่
  - ด้านพลังงาน : พิจารณาจากต้นทุนทางพลังงานที่เกิดขึ้น โดยกรณีศึกษาคือ โครงการโรงไฟฟ้ากำลังการผลิต 1,000 เมกะวัตต์ที่จะเกิดขึ้น อ้างอิงจากแผนโครงการสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินในอนาคต
  - ด้านสิ่งแวดล้อม : พิจารณาจากต้นทุนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยใช้ที่ตั้งที่คล้ายคลึงโรงไฟฟ้าถ่านหินบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นพื้นที่ศึกษา
  - ด้านเศรษฐศาสตร์ : จะเป็นเกณฑ์ตัดสินสุดท้ายของโครงการ โดยพิจารณาจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการ และการวิเคราะห์องค์การอุตสาหกรรม (Industrial Organization)
- อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ 1 ดอลลาร์สหรัฐ มีมูลค่าเท่ากับ 35 บาท
- ต้นทุนการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าในงานวิจัย พิจารณาจากต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบคงที่และต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบแปรผันของโรงไฟฟ้า
- ต้นทุนการลงทุนของโรงไฟฟ้าในงานวิจัยพิจารณาจากมูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้า
- ต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบในงานวิจัยกำหนดให้มาจากแหล่งที่มาเดียวกัน และมีต้นทุนเท่ากัน จึงไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อการเปรียบเทียบ

1.6. **ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   1.1. ถ่านหิน ถ่านโค้ก และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก
   1.2. การใช้ถ่านหิน ถ่านโค้ก และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก ในการผลิตไฟฟ้า
   1.3. ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า
   1.4. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน
   1.5. ต้นทุนความเสียหาย
   1.6. องค์การอุตสาหกรรม (Industrial Organization)
2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำการศึกษา
   2.1. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
   2.2. ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตถ่านโค้ก
   2.3. ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตไฟฟ้า
   2.4. ตลาดของเชื้อเพลิง
3. เปรียบเทียบโครงการที่นำเสนอทั้งสาม (บิทูมินัส, ถ่านโค้กคุณภาพสูง, ลิกไนต์โค้ก)
   3.1. ต้นทุนวัตถุดิบ
   3.2. ต้นทุนกระบวนการ
   3.3. ต้นทุนผลกระทบ
   3.4. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า
   3.5. คุณสมบัติหลักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. สรุปผลการเปรียบเทียบโครงการ
5. วิเคราะห์ข้อมูล
    5.1. หาปัจจัยที่มีผลต่อโครงการ
    5.2. โครงสร้างตลาดของเชื้อเพลิง
    5.3. การวิเคราะห์ความไวเปรียบเทียบโครงการ
6. นำผลงานไปเสนอต่างประเทศ
    6.1. นำเสนอผลงานทางวิชาการ ณ ฮ่องกง ประเทศจีน
    6.2. นำเสนอผลงานทางวิชาการ ณ โกเบ ประเทศญี่ปุ่น
7. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ
8. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 1-3 : ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2559						พ.ศ. 2560				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■	■								
2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำการศึกษา			■	■	■						
3. เปรียบเทียบโครงการ					■	■	■				
4. สรุปผลการเปรียบเทียบโครงการ							■	■			
5. วิเคราะห์ข้อมูล							■	■	■		
6. นำเสนอผลงานต่างประเทศ						■		■			
7. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ									■	■	
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										■	■

1.7. **ผลที่ได้รับ**

- แบบจำลองหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการ
- แบบจำลองในการตัดสินใจเลือกโครงการ
- องค์การอุตสาหกรรม (Industrial Organizaion) ของอุตสาหกรรมถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก
- ผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ปัจจัยของแต่ละทางเลือก
- กราฟการวิเคราะห์ความไวต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8. **ประโยชน์ที่ได้รับ**

เนื่องจากในประเทศไทย ยังไม่เคยมีการศึกษาการนำถ่านโค้กไปใช้ในการผลิตไฟฟ้ามาก่อน ดังนั้นประโยชน์ที่ได้รับของงานวิจัยนี้คือ

- ผลของงานวิจัยสามารถนำไปใช้ช่วยในการตัดสินใจเชิงลึก ในการเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ในประเทศไทย
- ผลของงานวิจัยสามารถเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ในการวิเคราะห์หาต้นทุนทางพลังงานของโครงการที่มีการนำเชื้อเพลิงมาใช้ในโรงไฟฟ้า ในประเทศไทย
- ผลของงานวิจัยสามารถเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ในการวิเคราะห์หาต้นทุนผลกระทบที่เกิดขึ้น จากโครงการที่มีการนำเชื้อเพลิงมาใช้ในโรงไฟฟ้า ในประเทศไทย
- ผลของงานวิจัยสามารถเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ในการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าทางเศรษศาสตร์จากโครงการที่มีการนำเชื้อเพลิงมาใช้ในโรงไฟฟ้าในประเทศไทย จากเกณฑ์ด้าน ความมั่นคงทางพลังงาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพการดำเนินงาน อ้างอิงตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579
- กราฟและสมการการวิเคราะห์ความไวต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงจากข้อมูลสถานการณ์ในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกโครงการ ภายใต้สมมติฐานเดิม โดยไม่ต้องทำการวิจัยหาต้นทุนทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้น
- งานวิจัยสามารถเป็นแนวทางให้กับอุตสาหกรรมที่มีการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเพื่อผลิตถ่านโค้กอย่างอุตสาหกรรมเหล็กและแร่ นำผลผลิตพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการนั่นคือแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กในการนำไปไปผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองภายในโรงงาน หรือขายไฟฟ้าต่อไป
- ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นทางออกให้กับสถานการณ์ทางพลังงานของภาคใต้ ประเทศไทย ในปัจจุบัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ถ่านหินและอุตสาหกรรมถ่านหิน

2.1.1.ถ่านหิน

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกสูงที่สุด โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด อันเนื่องมาจากเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสำรองสูง แหล่งถ่านหินมีอยู่กระจายทั่วโลก และมีต้นทุนต่ำ ปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงถ่านหินมีมากเป็นอันดับสองรองจากน้ำมัน คาดการณ์ว่าในปัจจุบันมีแหล่งปริมาณถ่านหินอยู่ทั้งหมด 869 ล้านตัน จากอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงในปัจจุบันจะพบว่าสามารถใช้ถ่านหินได้อีก 115 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยาวนานกว่าเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันและก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งปริมาณสำรองถ่านหินจากการสำรวจจริงมักจะมีจำนวนมากกว่าการคาดการณ์กว่า 4 ถึง 5 เท่า ทำให้ปริมาณสำรองถ่านหินทั่วโลกจึงมีโอกาสมีมากกว่าที่คาดการณ์ไว้สูง [13]

รูปที่ 2-1: ถ่านหิน

ที่มา: https://www.worldcoal.com

2.1.2.อุตสาหกรรมถ่านหิน

ในด้านผู้ผลิต ประเทศที่ผลิตถ่านหินรายใหญ่ที่สุดในโลกคือประเทศจีนตามด้วยสหรัฐอเมริกา อินเดีย และออสเตรเลีย ในส่วนของผู้บริโภค 3 ใน 4 ส่วนของปริมาณถ่านหินทั่วโลกถูกนำมาใช้ใน 5 ประเทศได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา อินเดีย รัสเซียและญี่ปุ่น แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ถ่านหินทั่วโลกทั้งมุมมองด้านปริมาณและสัดส่วนต่อเชื้อเพลิงชนิดอื่น นั้นสูงที่สุดในเชื้อเพลิงทั้งหมด รวมถึงพลังงานหมุนเวียนอีกด้วย

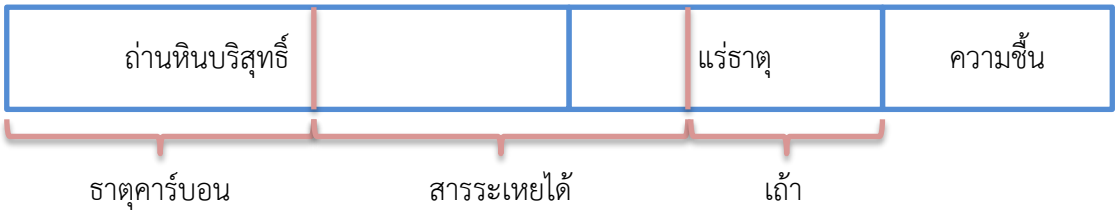
การขนส่งถ่านหินอาศัยการขนส่งโดยเรือและระบบรางรถไฟเป็นหลัก จากสถิติกว่า 20 ปีที่ผ่านมา พบว่าตลาดการขนส่งทางเรือของถ่านหินเทอร์มอลมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 7 ต่อปี และตลาดการขนส่งทางเรือของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 1.6 ต่อปี ต้นทุนการขนส่งถ่านหินนั้นมีสัดส่วนต่อต้นทุนรวมของถ่านหินสูง ดังนั้นการขนส่งถ่านหินทั่วโลกจึงแบ่งได้เป็น 2 ภูมิภาค ได้แก่

1. ตลาดแอตแลนติก: สำหรับประเทศแถบยุโรปตะวันตก เช่น อังกฤษ เยอรมัน สเปน เป็นต้น
2. ตลาดแปซิฟิก: สำหรับประเทศกำลังพัฒนาและประเทศกลุ่มองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Co-operation and Development :OECD) ในแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน เป็นต้น โดยตลาดนี้มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 57 ของตลาดทั้งหมด

ประเทศที่ส่งออกถ่านหินเทอร์มอลสูงที่สุดในโลกคือประเทศอินโดนีเซีย ส่วนประเทศที่ส่งออกถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสูงที่สุดคือประเทศออสเตรเลียโดยมีสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของการส่งออกถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กทั่วโลกทั้งหมด [13]

2.2. **องค์ประกอบของถ่านหิน**

ถ่านหินประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ธาตุคาร์บอน เถ้า สารระเหยได้ และความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 2-2 โดยปริมาณสัดส่วนธาตุคาร์บอน เป็นตัวกำหนดค่าความร้อนของถ่านหิน กล่าวคือ ยิ่งมีสัดส่วนธาตุคาร์บอนมาก ถ่านหินนั้นๆมักมีค่าความร้อนสูง [9]



รูปที่ 2-2 : องค์ประกอบของถ่านหิน [9]

ในปัจจุบัน แหล่งถ่านหินสำหรับใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้น มาจากทั้งในและต่างประเทศ โดยภายในประเทศจัดเป็นถ่านหินชนิดลิกไนต์เป็นหลัก มาจากแหล่งหลักๆ ในภาคเหนือ ในจังหวัด ลำปาง ลำพูน และเชียงใหม่ ในส่วนของแหล่งต่างประเทศนั้น ส่วนใหญ่มาจากประเทศอินโดนีเซีย และออสเตรเลีย โดยถ่านหินที่นำเข้าส่วนใหญ่จะเป็นประเภท บิทูมินัส และแอนทราไซต์ ซึ่งมีคุณภาพ และราคาที่สูงกว่าแบบลิกไนต์ โดยการจัดหา/จัดซื้อถ่านหินจากต่างประเทศมี 2 รูปแบบได้แก่ [14]

1. การทำสัญญาซื้อ-ขาย กับเหมืองผู้ผลิตโดยตรง ส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาซื้อขายระยะยาว มีระยะเวลา 3-5 ปี หรือ 10 ปีขึ้นไป
2. การทำสัญญาซื้อ-ขาย กับบริษัทนายหน้า หรือผู้ค้าในตลาด ซึ่งผู้ค้าเหล่านี้จะไม่มีแหล่งถ่านหินของตัวเอง แต่จะมีข้อมูลถ่านหินต่างๆ เช่น คุณภาพ ปริมาณสำรอง กำลังการผลิต ของแหล่งถ่านหินมาเสนอกับลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3. **โรงไฟฟ้า**

โรงไฟฟ้า คือสิ่งก่อสร้างที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนรูปจากพลังงานหนึ่ง เช่น พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง พลังงานลม พลังงานจากน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น สู่พลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้าในสังกัดการไฟฟ้าฝ่ายผลิตประเทศไทยประกอบด้วย 2 ประเภทดังนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน: คือโรงไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีเสถียรภาพคือสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตลอดเวลา เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้แก่
   1.1. น้ำมัน: ตัวอย่างโรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย คือ โรงไฟฟ้ากระบี่ จังหวัดกระบี่ เริ่มใช้งานตั้งแต่ปีพ.ศ. 2547 ที่ขนาดกำลังการผลิต 315 เมกะวัตต์ รองรับการใช้ไฟฟ้าในภาคใต้ โดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ยประมาณวันละ 1.3 ล้านลิตร

รูปที่ 2-3: โรงไฟฟ้ากระบี่

ที่มา: [15]

1.2. ถ่านหิน: โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

1.2.1.ถ่านหินลิกไนต์: ตัวอย่างโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์ในประเทศไทยคือ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เริ่มใช้งานตั้งแต่ปีพ.ศ. 2518 โดยมีการก่อสร้างเพิ่มเติมปรับปรุงเรื่อยมา กำลังการผลิตในปัจจุบันเท่ากับ 2,180 เมกะวัตต์ รองรับการใช้ไฟฟ้าในภาคเหนือตอนบนและตอนล่าง ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รูปที่ 2-4: โรงไฟฟ้าแม่เมาะ
ที่มา: [15]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2.2.ถ่านหินบิทูมินัส: ตัวอย่างโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินบิทูมินัสในประเทศไทยคือ โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จังหวัดระยอง เป็นโรงไฟฟ้าเอกชนที่ขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ที่กำลังการผลิตสูงสุดรวม 1,434 เมกะวัตต์

1.3. ก๊าซธรรมชาติ: ตัวอย่างโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติคือ โรงไฟฟ้าบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นโรงไฟฟ้าแห่งแรกที่ใช้ก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทย แรกเริ่มใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตา เริ่มใช้งานตั้งแต่ปีพ.ศ. 2527 กำลังการผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,490 เมกะวัตต์

รูปที่ 2-5: โรงไฟฟ้าบางปะกง

ที่มา: [15]

2. โรงไฟฟ้าพลังงานจากน้ำ: คือโรงไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของน้ำ ตามแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นพลังงานไฟฟ้า แหล่งน้ำธรรมชาติไม่มีความคงที่ขึ้นกับฤดูกาลและปีลานีญา – ปีเอลนีโญ ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทนี้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ตลอดเวลา ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานจากน้ำในประเทศไทยคือ เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ที่กำลังการผลิต 560 เมกะวัตต์ [15]

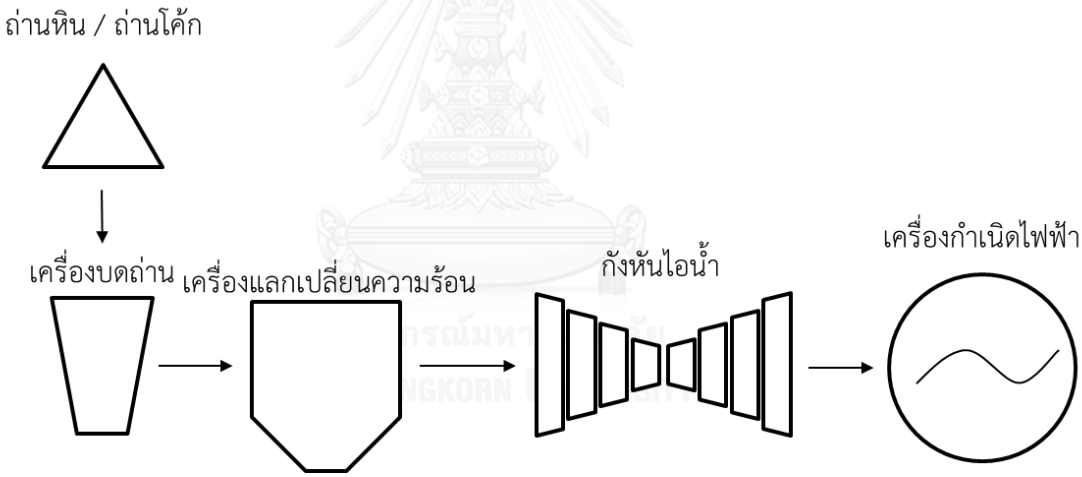
รูปที่ 2-6: เขื่อนภูมิพล

ที่มา: [15]

2.4. **กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน / ถ่านโค้ก**

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน เริ่มต้นจากการนำถ่านหินเข้าสู่กระบวนการบดให้กลายเป็นก้อนถ่านขนาดเล็ก หลังจากนั้นจึงส่งเข้าสู่กระบวนการเผาเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหินจะถูกนำไปต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำที่มีแรงดัน เพื่อนำไปหมุนกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

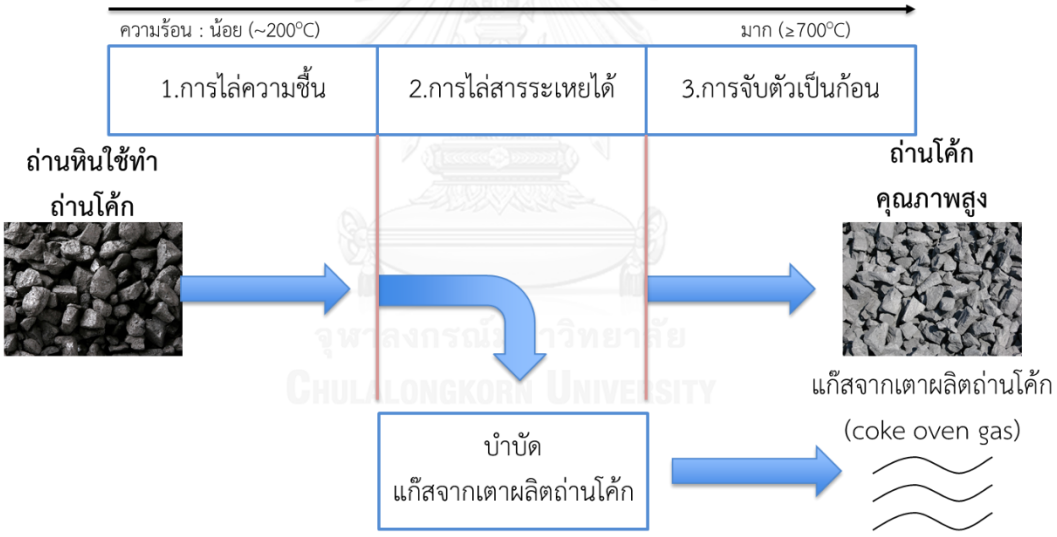
ในปัจจุบันมีระบบจัดการกับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้ามากมาย เช่น ระบบกำจัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ระบบดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และระบบดักจับสารปรอท ส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอดีต อันเนื่องมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีการเผาไหม้ ผังแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินแสดงในรูปที่ 2-7 [16]



รูปที่ 2-7 : กระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก*จากถ่านหิน / ถ่านโค้ก*

2.5. การผลิตและนำไปใช้ของถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินคุณภาพสูง

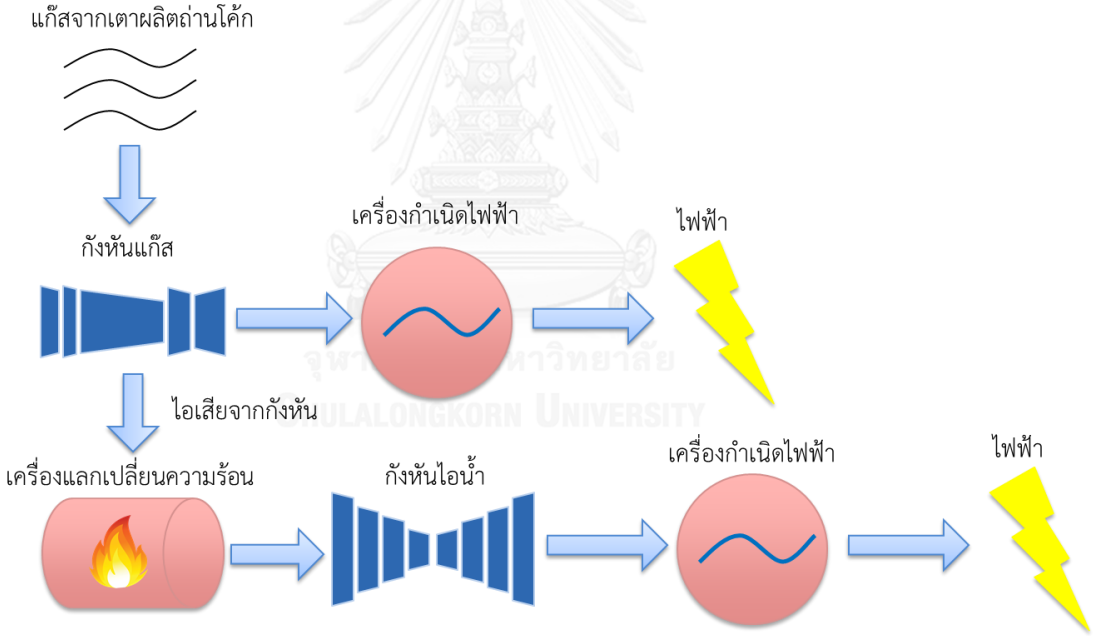
กระบวนการเปลี่ยนถ่านหินคุณภาพสูงให้เป็นถ่านโค้ก หากให้ส่วนประกอบเป็นเกณฑ์จะนิยมใช้ถ่านหินที่อยู่ระหว่างประเภทบิทูมินัสและแอนทราไซต์ กระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงเริ่มต้นจากการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กผ่านการบด หลังจากนั้นจึงส่งเข้าเตาผลิตถ่านโค้กโดยจะปิดไม่ให้ออกซิเจนเพื่อไม่ได้เกิดการเผาไหม้ ที่อุณหภูมิประมาณ 900 – 1200 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นและสารระเหยภายในถ่านหินระเหยออก หลังจากนั้นถ่านหินที่ได้รับความร้อนสูงจะจับตัวกันเป็นก้อนได้มาซึ่งผลผลิตของกระบวนการ นั่นคือถ่านโค้กคุณภาพสูง สารระเหยที่ระเหยออกจากกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงนี้ หลังจากถูกส่งเข้าสู่กระบวนการบำบัด จะได้ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เรียกว่าแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke Oven Gas) ผังกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงแสดงในรูปที่ 2-8 [9]



รูปที่ 2-8 : กระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก

แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ในอดีตนิยมนำกลับมาใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตถ่านโค้กต่อไป ปัจจุบันการใช้งานของแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กนั้นสามารถเลือกนำไปผ่านกระบวนการแยกแก๊สเพื่อให้ได้มาซึ่ง ไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน ซินแก๊ส (Syngas) หรือนำไปผลิตไฟฟ้าในระบบพลังงานความร้อนร่วม

กระบวนการนำแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กไปผลิตไฟฟ้าเริ่มต้นจากการนำแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กหมุนกังหันแก๊สเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไอเสียจากกังหันถูกนำมาเผาไหม้เพื่อต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำเพื่อนำไปปั่นกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทาง กระบวนการนี้จึงนับเป็นการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าและผลิตความร้อนไปพร้อมๆกัน เรียกระบบนี้ว่าระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle) ผังการนำแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กไปผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2-9 [12]



รูปที่ 2-9 : กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก

โดยประมาณการ จะต้องใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทั้งหมดประมาณ 711 กิโลแคลอรี่ต่อปริมาณถ่านโค้กที่ได้ 1 กิโลกรัม [17] ทั้งนี้สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากถ่านหินคุณภาพสูงเป็นดังนี้ [12]

ตารางที่ 2-1 : ผลผลิตจากถ่านหินคุณภาพสูง

ถ่านหิน (ตัน)	ถ่านโค้ก (ตัน)	แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (ลูกบาศก์เมตร)
1	0.7	354.2

ที่มา: [12]

คุณสมบัติของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการคือถ่านโค้กที่มีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่บริสุทธิยิ่งขึ้น สัดส่วนองค์ประกอบของถ่านหินคุณภาพสูง และถ่านโค้กที่ได้มีดังนี้ [11][18][19][20]

ตารางที่ 2-2 : องค์ประกอบของถ่านหิน และถ่านโค้ก

ส่วนประกอบ (%โดยมวล)	ถ่านหินคุณภาพสูง[1] (วัตถุดิบ)	ถ่านโค้กคุณภาพสูง[2] (ผลผลิต)
ธาตุคาร์บอน (fixed carbon)	55.35	87.65
เถ้า (ash content)	8.99	8.85
สารระเหยได้ (volatile matter)	27.83	0.75
ความชื้น (moisture)	7.83	2.75

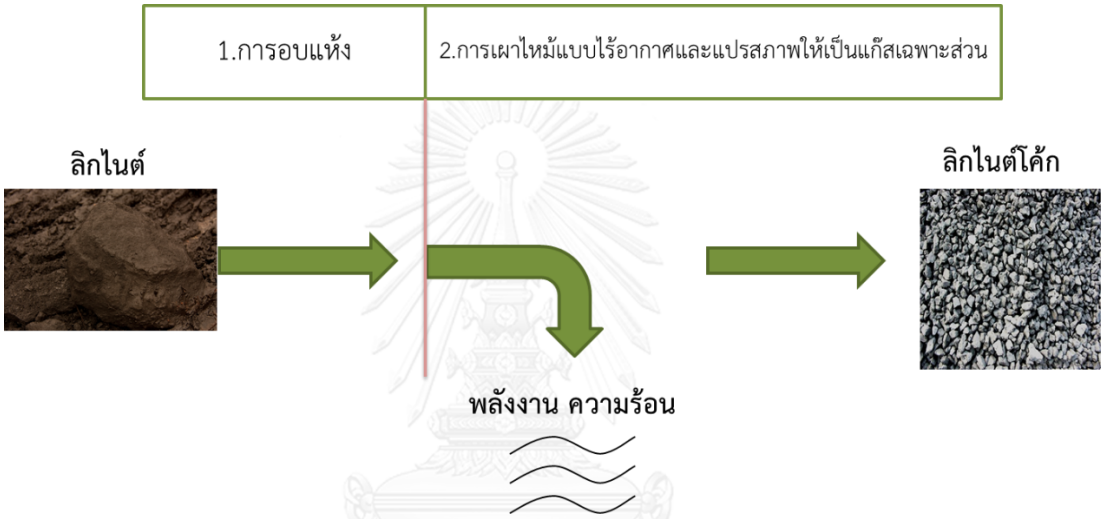
[1] ข้อมูลเฉลี่ยจาก [11] และ [18]

[2] ข้อมูลเฉลี่ยจาก [19] และ [20]

2.6. **การผลิตและนำไปใช้ของลิกไนต์โค้กจากถ่านหินลิกไนต์**

นอกจากถ่านหินคุณภาพสูงแล้ว ถ่านหินลิกไนต์ยังสามารถนำไปผลิตเป็นถ่านโค้กได้อีกด้วย นิยมเรียกว่า ลิกไนต์โค้ก ถ่านหินลิกไนต์ ตามองค์ประกอบของถ่านหินจัดเป็นถ่านหินที่อยู่ในระดับล่างสุด กล่าวคือมีสัดส่วนธาตุคาร์บอนต่ำที่สุด ส่งผลให้มีค่าความร้อนต่ำสุด สามารถหาได้ง่าย ส่งผลให้มีราคาถูกที่สุด

กระบวนการผลิตลิกไนต์โค้ก เริ่มจากการนำถ่านหินลิกไนต์ไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นภายในถ่านหินออก หลังจากนั้นจึงนำเข้ากระบวนการเผาไหม้แบบไร้อากาศ (Pyrolysis) เพื่อไล่สารระเหยได้ภายในถ่านหินออก โดยสารระเหยได้นี้มีค่าความร้อนสูง สามารถนำกลับมาใช้ได้ หลังจากนั้นส่วนที่เหลืออยู่จะจับตัวเป็นก้อน กลายเป็นถ่านลิกไนต์โค้กต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2-10 จากการศึกษาพบว่าในการผลิตถ่านลิกไนต์โค้ก 1 กิโลกรัม มีความต้องการใช้พลังงาน 1,016 กิโลแคลอรี่ [17] และสัดส่วนวัตถุดิบถ่านหินลิกไนต์ ต่อผลผลิตลิกไนต์โค้ก คือ 4 : 1 และเกิดพลังงานความร้อน 6,000 กิโลแคลอรี่ต่อผลผลิตลิกไนต์โค้ก 1 กิโลกรัม



รูปที่ 2-10 : กระบวนการผลิตถ่านโค้กลิกไนต์

สัดส่วนองค์ประกอบของวัตถุดิบถ่านหินลิกไนต์และผลผลิตลิกไนต์โค้กที่ได้มีดังนี้ [10]

ตารางที่ 2-3 : องค์ประกอบของถ่านหินลิกไนต์ และลิกไนต์โค้ก

ส่วนประกอบ (%โดยมวล)	ถ่านหินลิกไนต์ (วัตถุดิบ)	ลิกไนต์โค้ก (ผลผลิต)
ธาตุคาร์บอน (fixed carbon)	20 – 22	74.2
เถ้า (ash content)	7 – 8	8.2
สารระเหยได้ (volatile matter)	45 - 48	10
ความชื้น (moisture)	33	7.6

ที่มา: [10]

2.7. **ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)**

ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value หรือ Gross Calorific Value) คือค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยเริ่มต้นและสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [21] มีหน่วยเป็นบีทียูต่อปอนด์ (Btu/lb.), กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg), กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (kcal/kg) สำหรับเชื้อเพลิงในรูปของแข็ง

ค่าความร้อนสูงของถ่านหินสามารถประมาณการได้จาก สูตรการคำนวณค่าความร้อนสูงของถ่านหินดังสมการที่ 2.1 [22]

$$HHV\ [MJ/kg] = 37.777 - 0.647M - 0.387A - 0.089VM \qquad (2.1)$$

โดยที่; M คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของความชื้น ในถ่านหิน

A คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของเถ้า ในถ่านหิน

VM คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของสารระเหยได้ ในถ่านหิน

โดยความร้อน 1 กิโลแคลอรี่ มีค่าเท่ากับ 4.184 กิโลจูล ดังนั้น ค่าความร้อน 1 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 4.184 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

2.8. **ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตต่อปี**

ปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี) ที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 [23]

$$Yp = Pc \times 24 \times 365 \times 10^{-3} \times Pf \qquad (2.2)$$

โดยที่; Yp คือ ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี)

Pc คือ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์)

Pf คือ สัดส่วนของพลังงานที่ผลิตได้จริงต่อพลังงานที่คาดว่าจะผลิตได้เต็มศักยภาพในช่วงเวลาทั้งหมด (Plant Factor)

2.9. **การแปลงพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไปยังพลังงานไฟฟ้า**

สำหรับโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หลักการคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 [23]

$$\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (กิโลแคลอรี่)}}{\text{ประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้า (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)}}$$

$$Yp = \frac{Kg \times Hv \times 365 \times 24}{Hr \times 1{,}000{,}000} \qquad (2.3)$$

โดยที่; Yp คือ ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี)

Kg คือ ปริมาณเชื้อเพลิง (ถ่านหิน) ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

Hv คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value) ประเภทนั้นๆ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)

Hr คือ อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) คือประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทนั้นๆ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

2.10. **ต้นทุนสินค้าผลิต**

การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบโครงการในเกณฑ์ด้านปริมาณ เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงโครงสร้างของต้นทุนในการผลิตของแต่ละโครงการ นำไปสู่การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

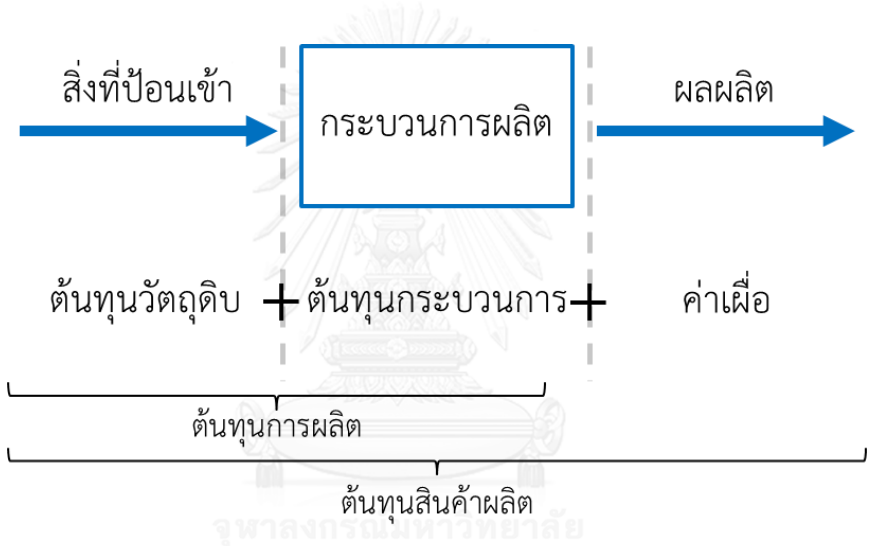
2.10.1. ต้นทุนสินค้าผลิต

โครงสร้างต้นทุนสินค้าผลิต ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Direct Material Cost) ต้นทุนกระบวนการ (Process Cost) และค่าเผื่อในการผลิต (Beta)

1) ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Direct Material Cost): เกิดจากผลคูณของ ปริมาณวัตถุดิบทางตรง และราคาวัตถุดิบทางตรง
2) ต้นทุนกระบวนการ (Process Cost): คือผลรวมของต้นทุนแรงงานทางตรง (Direct Labor) และค่าใช้จ่ายในการผลิต (Factory Overhead) โดยประกอบด้วยต้นทุนเงินลงทุน และต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา

3) ค่าเผื่อในการผลิต (Beta): เป็นค่าเผื่อในการผลิตต่างๆ เช่น ในกรณีของของโรงไฟฟ้า ค่าเผื่อในการผลิตคือ ต้นทุนความเสียหายจากการผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า

โครงสร้างต้นทุนในการผลิตมีความสัมพันธ์กับกระบวนการในการผลิตซึ่งประกอบด้วย สิ่งที่ป้อนเข้า (Input) กระบวนการผลิต (Process) และผลผลิต (Output) โดยสิ่งที่ป้อนเข้านั่นคือต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ระหว่างกระบวนการผลิตจะเกิดต้นทุนกระบวนการ และผลผลิตที่ได้เมื่อรวมกับค่าเผื่อ จะได้เท่ากับต้นทุนสินค้าผลิต ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างต้นทุนและกระบวนการผลิตแสดงในรูปที่ 2-11 [24]



รูปที่ 2-11: ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างต้นทุนและกระบวนการผลิต

2.10.1. ต้นทุนการลงทุน

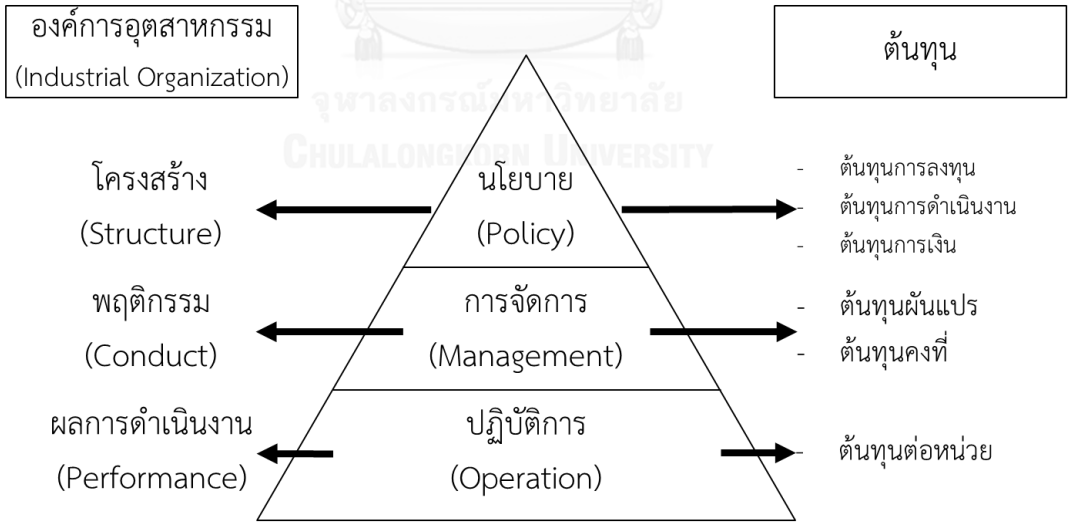
ต้นทุนการลงทุน คือต้นทุนเพื่อการลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ โดยเป็นต้นทุนสำหรับปัจจัยการผลิตคงที่ โดยเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการผลิต เช่น ค่าที่ดิน อาคารและสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้า โทรศัพท์ ระบบความปลอดภัย ค่าที่ปรึกษาและฝึกอบรม ค่าจัดการ ภาษีและค่าธรรมเนียม เป็นต้น

2.10.2. ต้นทุนการดำเนินงาน

ต้นทุนการดำเนินงาน คือต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงานโครงการ ประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบ เงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน ค่าเสื่อมราคาอาคาร ค่าประกันภัย ค่าอะไหล่เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ค่าเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เป็นต้น เนื่องจากกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ ต้นทุนวัตถุดิบเป็นปัจจัยหลักในการศึกษา จึงพิจารณาต้นทุนวัตถุดิบแยกออกจากต้นทุนการดำเนินงาน

2.11. การประมาณต้นทุนแบบจากบนสู่ล่าง (Top-down)

การประมาณต้นทุนแบบจากบนลงล่าง (Top-down) คือการประมาณต้นทุนในลำดับชั้นโครงสร้างต้นทุนแสดงในรูปที่ 2-12 จากระดับบนลงไปยังระดับล่าง เริ่มต้นจากระดับบนคือระดับนโยบาย (Policy) เป็นการหาต้นทุนการลงทุนของโครงการ จากนั้นจึงลงไปประเมินในระดับการจัดการ (Management) เพื่อหาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรของโครงการ ซึ่งจะนำไปสู่ระดับล่าง นั่นคือระดับปฏิบัติการ (Operation) คือต้นทุนต่อหน่วยของโครงการ ซึ่งถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบโครงการ [24]



รูปที่ 2-12: ลำดับชั้นโครงสร้างต้นทุนเปรียบเทียบกับต้นทุนและองค์การอุตสาหกรรม

2.12. ความเต็มใจที่จะจ่าย (Willingness to Pay: WTP)

ความเต็มใจที่จะจ่าย คือจำนวนเงินหรือทรัพย์สินสูงสุดที่ยอมรับได้ ที่จะยินยอมจ่ายเพื่อได้มาซึ่ง สินค้าหรือบริการนั้นมา [6] ความเต็มใจที่จะจ่ายในมุมมองของผู้ทำโครงการต่อชุมชนที่ได้รับผลกระทบรอบโครงการนั้น หมายถึงจำนวนเงินหรือทรัพย์สินสูงสุดที่จะยอมรับได้ ที่จะยินยอมชดเชยให้แก่ชุมชนโดยรอบที่ได้รับผลกระทบต่อโครงการ ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม, สังคมและสุขภาพ เช่น ในการก่อสร้างและดำเนินงานของโครงการโรงไฟฟ้าถ่านหิน เป็นต้น

2.13. ผลกระทบทางสุขภาพ

การดำเนินการของโรงไฟฟ้าถ่านหินนั้น ก่อให้เกิดมลพิษหลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และการควมคุมมลพิษ จากการวิจัย พบว่ากิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหิน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนี้

1. ฝุ่นละออง (Particulate Matter) : ฝุ่นละอองเกิดจากกิจกรรมต่างๆ จากการผลิตไฟฟ้า เช่น การลำเลียงถ่านหิน การเผาไหม้ของถ่านหิน เป็นต้น ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของถ่านหิน กระบวนการผลิต เป็นต้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน หรือที่เรียกว่า PM_{10} สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดความเดือดร้อน และรำคาญ
2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) : ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีลักษณะคือ ไม่มีสี และมีกลิ่นฉุน แสบจมูก และทำอันตรายอวัยวะทุกระบบที่มีก๊าซเดินทางผ่าน ส่งผลให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพ เช่น การระคายเคืองของจมูก หลอดลมอักเสบ การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนบน เป็นต้น
3. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) : ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อรวมตัวกับไอน้ำ จะก่อให้เกิดกรดไนตริก ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เกิดโรคหลอดลมอักเสบเป็นต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปริมาณการปลดปล่อยของออกไซด์ของไนโตรเจนจากการดำเนินการของโรงไฟฟ้าถ่านหินมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงเลือกพิจารณา ฝุ่นละออง (PM_{10}) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) [6]

2.14. การหาผลกระทบต่อสุขภาพ (Health Impact)

การดำเนินการของโรงไฟฟ้าถ่านหินนั่นคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้า ก่อให้เกิดสารมลพิษเพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมลพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพต่อชุมชนที่อยู่ในบริเวณฟุ้งกระจายของมลพิษนี้

งานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศและผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดขึ้น (Exposure Respond Function) จากการรวบรวมจากงานวิจัย ทั้งในและต่างประเทศ มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$D_{ij} = f_{ij} \times \Delta P_j \times POP \qquad (2.4)$$

โดยที่; Dij คือ จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบ i จากมลพิษ j (กรณี ต่อปี)

fij คือ ค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient) เป็นค่าคงที่ของผลกระทบ i จากมลพิษ j มาจากการรวบรวมของงานวิจัยต่างๆ (กรณี/คน/มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) แสดงในตารางที่ 2-4

ΔPj คือ ปริมาณของมลพิษ j ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศต่อปี (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

POP คือ จำนวนประชากรที่ได้รับมลพิษ (คน) [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-4: ค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient)

ผลกระทบทางสุขภาพ	ฝุ่น (PM_{10})	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)
ตายก่อนวัยอันควร (1995)	2.40×10^{-6}	1.99×10^{-6}
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (1998)	1.68×10^{-3}	2.10×10^{-3}
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ (1998)	0.168	ไม่มีผลกระทบ
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ เฉียบพลัน (1998)	0.3	
สูญเสียวันทำงาน (1998)	0.058	
เกิดโรคหอบหืด (1998)	0.058	
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (1998)	6.12×10^{-5}	
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน (1998)	2.37×10^{-4}	
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ (1998)	5.06×10^{-6}	

ที่มา: [6]

2.15. ต้นทุนความเสียหาย

ต้นทุนความเสียหายต่อบุคคล (Damage Cost) คือมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบต่างๆ ต้นทุนความเสียหายสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ต้นทุนค่าเสียโอกาส คือรายได้หรือผลผลิตที่ควรจะเกิด แต่ไม่ได้เกิด อันเนื่องมาจากผลกระทบต่อบุคคลแรงงาน ไม่ว่าจะเป็นความตาย ก่อให้เกิดการสูญเสียปริมาณแรงงาน ความพิการ ก่อให้เกิดการลดประสิทธิภาพแรงงาน
2. ต้นทุนค่ารักษาพยาบาล คือต้นทุนที่เกิดจากการจ่ายค่ารักษาพยาบาลจากการเจ็บป่วย
3. ต้นทุนทางจิตใจ คือต้นทุนที่เกิดจากความกังวลใจ ไม่สบายใจ จากผลกระทบ ซึ่งต้นทุนประเภทนี้ยากจะประเมินเป็นตัวเงินได้ จึงไม่นำต้นทุนประเภทนี้มารวมด้วย

ต้นทุนความเสียหายสามารถคำนวณได้จากผลคูณของจำนวนผู้ได้รับผลกระทบต่างๆ และมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบนั้นๆ ต่อคน [6]

2.16. การปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ

มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในแต่ละท้องที่มีมูลค่าไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากค่าครองชีพที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายในท้องที่ที่ประเมินให้เทียบเท่ากับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของที่ได้ไปศึกษามา โดยใช้ผลิตภัณฑ์มวลรวมต่อจำนวนประชากรที่มีการปรับกำลังซื้อ (Gross Domestic Product per capita: power purchase parity) ของทั้งสองประเทศในการนำมาปรับค่า สูตรการปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายมีดังนี้ [6]

$$\text{Damage cost B} = \text{Damage cost A} \times \left(\frac{\text{GDP B}\left(\text{PPP}\right)}{\text{GDP A}\left(\text{PPP}\right)} \right)$$

Damage cost A คือ มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบในประเทศ A
Damage cost B คือ มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบในประเทศ B
GDP A (PPP) คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ A ต่อจำนวนประชากร ที่มีการปรับกำลังซื้อ เป็นดัชนีชี้วัดเศรษฐกิจในประเทศ (Gross Domestic Product per capita: power purchase parity)
GDP B (PPP) คือ คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ B ต่อจำนวนประชากร ที่มีการปรับกำลังซื้อ (Gross Domestic Product per capita: power purchase parity)

2.17. มูลค่าเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา (Time Value of Money)

มูลค่าของเงินมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากสองปัจจัย ได้แก่อัตราดอกเบี้ยและเวลา ส่งผลให้จำนวนเงินที่เท่ากันแต่อยู่ต่างเวลา มีมูลค่าไม่เท่ากัน โดยมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 ดังนี้ [25]

$$FV_t = PV\,(1+i)^t \qquad (2.5)$$

โดยที่; FV_t คือ มูลค่าเงินในอนาคต ณ ปีที่ t
PV คือ มูลค่าเงินในปัจจุบัน
i คือ อัตราดอกเบี้ย ต่อปี
t คือ จำนวนปี

2.18. แผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาด (Structure-Conduct-Performance Paradigm: SCP)

แผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาด (Structure-Conduct-Performance Paradigm: SCP) เป็นส่วนหนึ่งขององค์การอุตสาหกรรม (Industrial Organization) ว่าด้วยเรื่องของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กันระหว่างโครงสร้างตลาด พฤติกรรมตลาด และผลการดำเนินงานของตลาด แผนภาพประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังนี้

1) โครงสร้าง (Structure): ศึกษาโครงสร้างตลาด จากการพิจารณาขนาดและจำนวนของผู้ผลิตและผู้บริโภค ความแตกต่างระหว่างสินค้าที่ขายในตลาด
2) พฤติกรรม (Conduct): ศึกษายุทธวิธีที่ใช้ในการแข่งขันจากโครงสร้างตลาดที่เป็นอยู่ เช่น การแข่งขันด้านราคา การแข่งขันด้านการผลิต การแข่งขันด้านการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น
3) ผลการดำเนินของตลาด (Performance): ศึกษาผลลัพธ์จากพฤติกรรมของบริษัท เช่น รายได้ของบริษัท ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีของบริษัท เป็นต้น [26]

ตัวอย่างแผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาดแสดงในรูปที่ 2-13

รูปที่ 2-13: ตัวอย่างแผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงาน

2.19. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรัทย์ ศรีพิพัฒนกุล [6] ได้ทำการศึกษาการประเมินต้นทุนทางสังคมของโรงไฟฟ้าถ่านหินจากการคิดมูลค่าผลกระทบด้านสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ได้รับสารพิษทางอากาศ ได้แก่ SO_2 , NO_x และ PM_{10} จากกิจกรรมของโรงไฟฟ้า โดยการใช้แนวทาง Impact Pathway Approach (IPA) และใช้แบบจำลอง HYSPLIT ในการประเมินความเข้มข้นของสารพิษที่เพิ่มขึ้นในอากาศ ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปใช้ร่วมกับหลักการ Exposure-Response Function เพื่อนำมาประเมินมูลค่าต้นทุนทางสังคมของโรงไฟฟ้าให้อยู่ในรูปที่สามารถวัดได้ บนพื้นฐานของหลักการประเมินมูลค่าชีวิตเชิงสถิติ (Value of Statistical Life: VSL) นั่นคือมูลค่าในรูปตัวเงิน จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่าเกิดต้นทุนสังคมที่เกิดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2553 เป็นจำนวนเงินในช่วงของ 179,136 บาท ถึง 311,456 บาท ซึ่งเมื่อเทียบกับจำนวนเงินที่จ่ายเข้ากองทุนเพื่อสนับสนุนด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมในปี พ.ศ. 2553 พบว่าน้อยกว่าถึง 49 เท่าของจำนวนเงินที่จ่ายเข้ากองทุนฯ จึงสามารถสรุปได้ว่าการจ่ายเงินเข้ากองทุนฯนั้น ครอบคลุมต้นทุนทางสังคมที่เกิดขึ้น

V. P. Vorob'ev, P. P. Orlov, S. R. Islamov, S. G. Stepanov [10] งานวิจัยนี้ วิจัยการนำถ่านหินลิกไนต์ผ่านกระบวนการผลิตให้ได้ถ่านโค้กลิกไนต์สำหรับอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก และการนำไปใช้ในอุตสากรรมถลุงเหล็กของถ่านลิกไนต์โค้ก ลิกไนต์เป็นถ่านหินที่จัดอยู่ในประเภทที่ต่ำที่สุด อันเนื่องมาจากมีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนต่ำ และมีสัดส่วนของสารระเหยได้ เถ้า และความชื้นสูง กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการนำถ่านหินลิกไนต์ไปบดให้มีขนาดเล็ก หลังจากนั้นจึงส่งเข้าเตาอบแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed) เพื่อผ่านกระบวนการอบถ่านหินให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นออก การกระบวนการเผาไหม้ แบบไร้อากาศ และการแปรสภาพเป็นแก๊สเฉพาะส่วน (Partial Gasification) เพื่อไล่สารระเหยได้ออก สารระเหยได้ที่ออกมานั้นมีค่าความร้อนสูง จึงนำกลับไปใช้ในการเผาไหม้เพื่อคงอุณหภูมิเตาอบ เพื่อลดต้นทุนในการให้ความร้อนแก่เตาอบ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือถ่านโค้กลิกไนต์ที่มีสัดส่วนธาตุคาร์บอนสูงขึ้น ในทางกลับกัน สัดส่วนสารระเหยได้และความชื้นลดลง เมื่อนำถ่านโค้กลิกไนต์ไปแทนการใช้งานถ่านโค้กปกติในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก ที่ร้อยละ 15 – 40 พบว่าผลผลิตที่ได้มีผลดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.5 – 3 อีกทั้ง ในส่วนของสัดส่วนธาตุซัลเฟอร์ ซึ่งเมื่อนำมาเผาไหม้จะเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยแก๊ส SO_2 สู่บรรยากาศ ของถ่านโค้กลิกไนต์นั้นอยู่ที่ร้อยละ 0.3 ซึ่งน้อยกว่าถ่านโค้กทั่วไปถึง 2 – 3 เท่า ส่งผลให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

H. S. Valia [11]งานวิจัยนี้อธิบายถึงหลักการผลิตถ่านโค้กจากถ่านหิน โดยการให้ความร้อนแก่ถ่านหินในที่ปิดไม่มีอากาศ จนถึง 1100 องศาเซลเซียส กระบวนการผลิตถ่านโค้กนั้นสามารถ แบ่งได้เป็นสองแบบ ได้แก่แบบมีผลผลิตพลอยได้ และแบบไม่มีผลผลิตพลอยได้ กระบวนการผลิตถ่านโค้กแบบมีผลผลิตพลอยได้ เริ่มจากการนำถ่านหินมาบดและผสมกัน หลังจากนั้นจึงถูกนำเข้าเตาอบอุณภูมิสูงเพื่อไล่สารระเหยภายในถ่านหินออก สารที่ระเหยออกมาจะถูกเก็บ และนำไปบำบัดเพื่อใช้งานต่อไป โดยภายในเตาอบจะได้ถ่านโค้กเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตถ่านโค้กแบบไม่มีผลผลิตพลอยได้จะต่างออกไปในส่วนของสารระเหยที่ออกจากถ่านหิน จะได้รับการบำบัด และปล่อยสู่อากาศ งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ คือถ่านโค้กที่มีสัดส่วนคาร์บอนบริสุทธิ์มากขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของสารระเหยได้, ความชื้น และเถ้าลดลง

R. Razzaq, C. Li, S. Zhang [12] งานวิจัยนี้พูดถึงการนำ แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke Oven Gas: COG) ซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศจีน เพื่อลดการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศ จากการวิจัยพบว่า ถ่านหินจำนวน 1 ตัน สามารถให้ผลผลิตได้แก่ถ่านโค้กประมาณ 0.7 ตัน และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กประมาณ 360 ลูกบาศก์เมตร ส่วนประกอบหลักภายในแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ กระบวนการผลิตแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเริ่มต้นจากการนำถ่านหินเข้าเตาอบอุณหภูมิสูง เพื่อไล่สารระเหยภายในถ่านหินออก สารระเหยที่ได้จะถูกนำไปบำบัดเพื่อนำแก๊ส H_2S แอมโมเนีย และน้ำมันเตา ออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไป เนื่องจากแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมีค่าความร้อนสูง (ประมาณ 19,900 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร) จึงสามารถนำไปใช้โดยตรงในการผลิตไฟฟ้าผ่านระบบพลังงานความร้อนร่วม นอกจากนี้ แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กสามารถนำไปใช้ได้หลายทางได้แก่ การนำไปแยกแก๊สไฮโดรเจน การนำไปผลิตแก๊สไฮโดรเจนคู่กับซินแก๊ส (Syn gas) การนำไปสังเคราะห์เมทานอล เป็นต้น จากงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่า แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมีคุณประโยชน์นานาประการ การนำแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กไปใช้ไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง แต่ยังช่วยลดปริมาณมลพิษจากการปล่อยสิ่งเหล่านี้เข้าสู่ชั้นบรรยากาศอีกด้วย

J. Chen, X. Lu [16] งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการใช้งานของ หม้อน้ำแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed, CFB) สำหรับการใช้ปิโตรเลียมโค้กในการผลิตไฟฟ้า ปิโตรเลียมโค้ก เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ การนำมาใช้งานของปิโตรเลียม มีข้อดีคือให้ค่าความร้อนสูง เพียงแต่ว่ามีข้อเสียหลักคือ มีอัตราการปล่อยสารพิษสูง ได้แก่ SO_2 NO_x และ PM_{10} งานวิจัยนี้พบว่า อัตราส่วนการใช้งานระหว่างถ่านหิน ต่อปิโตรเลียมโค้กนั้นจะเหมาะสมที่สุดที่ 3 : 1 โดยปูนขาวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ การใช้ปูนขาวนอกจากลดการปล่อยแก๊ส SO_2 และ NO_x แล้ว ยังช่วยลดการเกิดการกัดกร่อนต่ออุปกรณ์เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านฝุ่นต่ำ จากข้อมูลข้างต้นทั้งหมด งานวิจัยจึงนี้สรุปว่า หม้อต้มแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน จะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมโค้ก ในอนาคต

S. Mesroghli, E. Jorjani, S. C. Chelgani [22] งานวิจัยที่ว่าด้วยเรื่องของการประมาณจากสูตรการคำนวณหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value: HHV หรือ Gross Calorific Value: GCV) ของถ่านหินจากส่วนประกอบภายในถ่านหิน งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลตัวอย่าง 4540 รายการ โดยเก็บจาก 25 รัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบภายในถ่านหินกับค่าความร้อนสูงของถ่านหินนั้นๆ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) จากการวิจัยพบว่า สูตรในการคำนวณค่าความร้อนสูงของถ่านหิน จากส่วนประกอบของถ่านหินคือ HHV (MJ/kg) = 37.777 – 0.647M – 0.387A – 0.089VM โดยที่ M A และ VM คือร้อยละสัดส่วนโดยมวลของความชื้น เถ้า และสารระเหยได้ภายในถ่านหิน ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ถดถอย พบว่าผลต่างของค่าความร้อนสูงระหว่างจากการคำนวณด้วยสมการ และการวัดจริงมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.97 และจากโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าผลต่างเฉลี่ยของค่าความร้อนสูงระหว่างจากการคำนวณด้วยสมการ และการวัดจริง มีค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของส่วนที่เหลือ ($MSE_{residual}$) เท่ากับ 0.028 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากสองวิธีนี้สามารถสรุปได้ว่า สมการในการคำนวณหาค่าความร้อนสูงของถ่านหิน ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าจริงมาก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. **สมมติฐานในการดำเนินงานวิจัย**

สมมติฐานที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. ขนาดโรงไฟฟ้าที่ใช้ในการเปรียบเทียบถูกกำหนดที่ขนาด 1,000 เมกะวัตต์ อ้างอิงตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579
2. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างดอลลาร์สหรัฐกับบาทไทยในงานวิจัยฉบับนี้อยู่ที่ 35 บาท ต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ

คิดจากอัตราแลกเปลี่ยนเฉลี่ยระหว่างปีพ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2559 มีค่าเท่ากับ 35.28 บาท/ดอลลาร์สหรัฐดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1: อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างดอลลาร์สหรัฐกับบาทไทย ในปีพ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2559

ปี	อัตราแลกเปลี่ยน (บาท/ดอลลาร์สหรัฐ)	ปี	อัตราแลกเปลี่ยน (บาท/ดอลลาร์สหรัฐ)	ปี	อัตราแลกเปลี่ยน (บาท/ดอลลาร์สหรัฐ)
2538	24.89	2546	41.34	2554	30.25
2539	25.32	2547	40.08	2555	30.84
2540	31.32	2548	40.08	2556	30.49
2541	41.31	2549	37.74	2557	32.25
2542	37.79	2550	34.35	2558	34.00
2543	40.11	2551	33.14	2559	35.04
2544	44.43	2552	34.10	**เฉลี่ย**	**35.28**
2545	42.81	2553	31.49		

ที่มา: อัตราแลกเปลี่ยนเฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์ในกรุงเทพมหานคร, ธนาคารแห่งประเทศไทย

3. ต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบถูกกำหนดให้มาจากแหล่งที่มาเดียวกันและมีต้นทุนเท่ากัน จึงไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อการเปรียบเทียบ

4. โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินได้แก่ ถ่านหินบิทูมินัส ลิกไนต์โค้ก และถ่านโค้กคุณภาพสูง ถูกกำหนดให้เป็นโรงไฟฟ้าประเภทเดียวกัน มีคุณสมบัติเหมือนกัน
5. ต้นทุนกระบวนการ ประกอบด้วยต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงาน
6. ต้นทุนการลงทุน ประกอบด้วยมูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้า และมูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้ก สำหรับโครงการที่มีกระบวนการผลิตถ่านโค้ก
7. ต้นทุนการดำเนินงาน ประกอบด้วยต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า และต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงผลิตถ่านโค้ก สำหรับโครงการที่มีกระบวนการผลิตถ่านโค้ก
8. โรงผลิตถ่านโค้กในโครงการลิกไนต์โค้กและโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงถูกกำหนดให้เป็นโรงผลิตถ่านโค้กประเภทเดียวกัน แตกต่างที่วัตถุดิบของแต่ละโครงการ
9. มูลค่าต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานมีค่าคงที่ไม่ผันแปรตามอัตราเงินเฟ้อ

เนื่องจาก อัตราเงินเฟ้อสะสมของประเทศไทยจากปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2559 เท่ากับเพียงร้อยละ 10.4 และอัตราเงินเฟ้อสะสมของประเทศไทยจากปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2559 เท่ากับเพียงร้อยละ 3.2 โดยอัตราเงินเฟ้อในแต่ละปีมีอัตราที่ต่ำมากแสดงในตารางที่ 3-2 จึงไม่นำอัตราเงินเฟ้อมาคิด

ตารางที่ 3-2: อัตราเงินเฟ้อของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2559

ปี (พ.ศ.)	อัตราการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเงิน (%)	ปี (พ.ศ.)	อัตราการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเงิน (%)
2554	3.81	2557	1.89
2555	3.02	2558	-0.9
2556	2.18	2559	0.02

ที่มา: เครื่องชี้เศรษฐกิจมหภาคของไทย, ธนาคารแห่งประเทศไทย

3.2. **ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

การเปรียบเทียบโครงการในงานวิจัยฉบับนี้ ใช้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกโครงการ ในการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมของสามโครงการประกอบด้วยสมการกว่า 20 สมการ สามารถสรุปตัวแปรและขั้นตอนที่ใช้ในการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมได้ดังนี้

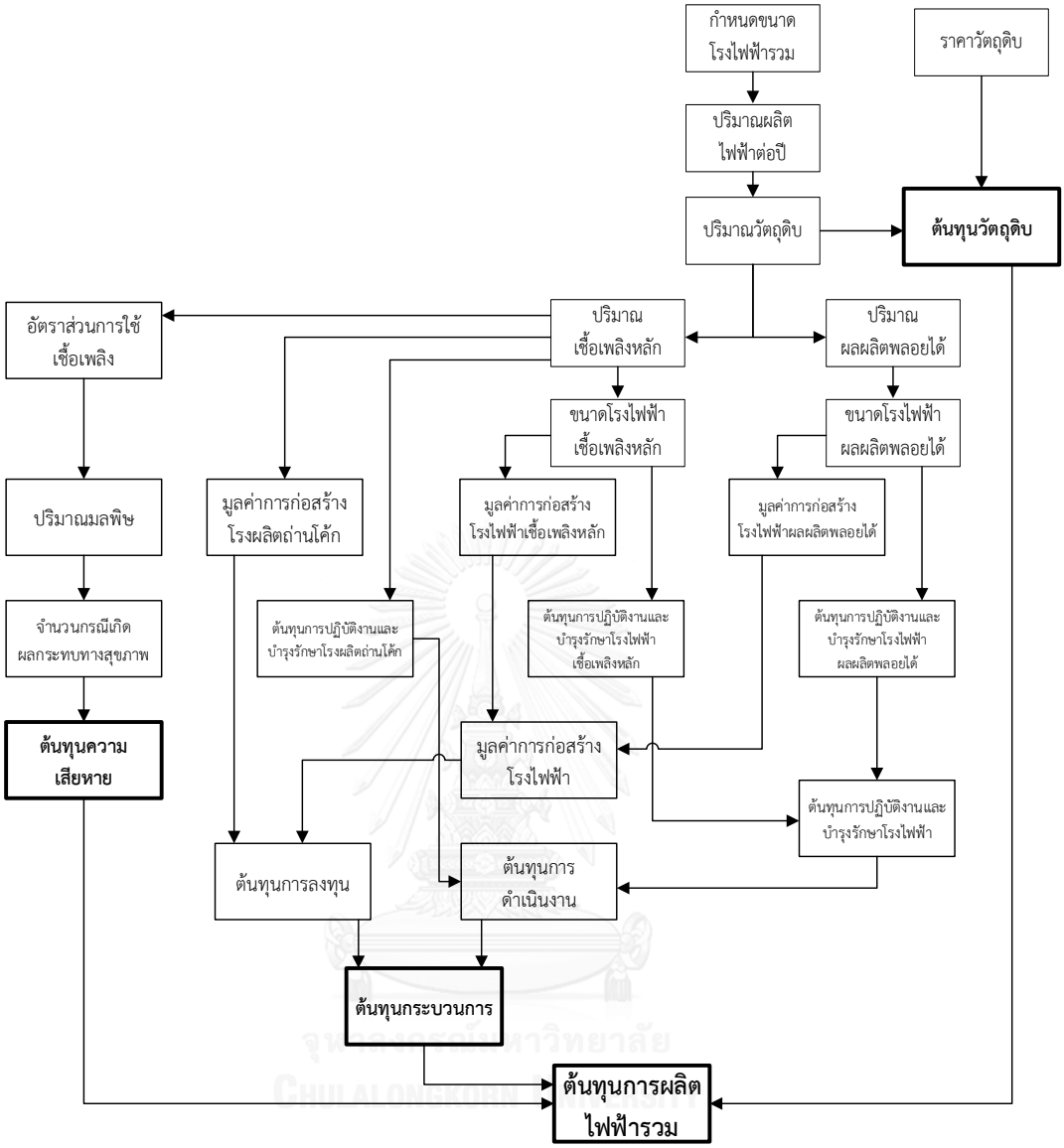
1. ปริมาณผลิตไฟฟ้าต่อปีของทั้งโครงการ จากการกำหนดขนาดโรงไฟฟ้ารวม ที่ 1,000 เมกะวัตต์
2. ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในโครงการ จากปริมาณผลิตไฟฟ้าต่อปีในข้อ 1
3. **ต้นทุนวัตถุดิบของโครงการ** คือผลคูณของราคาวัตถุดิบจากราคาตลาด และปริมาณวัตถุดิบที่คำนวณได้ในข้อ 2
4. ปริมาณเชื้อเพลิงหลักและปริมาณผลผลิตพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก จากปริมาณวัตถุดิบในข้อ 2
5. ขนาดโรงไฟฟ้า
   5.1. ขนาดโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก จากปริมาณเชื้อเพลิงหลักในข้อ 4
   5.2. ขนาดโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ จากปริมาณผลผลิตพลอยได้ในข้อ 4
6. ต้นทุนการลงทุน คือผลรวมของมูลค่าการก่อสร้างทั้งสามประเภทได้แก่
   6.1. มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก จากขนาดโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักในข้อ 5.1
   6.2. มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ จากขนาดโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ในข้อ 5.2
   6.3. มูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้ก จากปริมาณเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในข้อ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7. ต้นทุนการดำเนินงาน คือผลรวมของต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาทั้งสามประเภทได้แก่
   7.1. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก จากขนาดโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักในข้อ 5.1
   7.2. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ จากขนาดโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ในข้อ 5.2
   7.3. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงผลิตถ่านโค้ก จากปริมาณเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในข้อ 4
8. **ต้นทุนกระบวนการ** คือผลรวมของต้นทุนการลงทุนในข้อ 6 และต้นทุนการดำเนินงานในข้อ 7
9. อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง จากปริมาณเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในข้อ 4
10. ปริมาณมลพิษที่ปล่อยแต่ละโครงการ คือผลคูณของอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงในข้อ 9 และปริมาณมลพิษที่ปล่อยจริงจากพื้นที่ศึกษา
11. จำนวนกรณีเกิดผลกระทบทางสุขภาพ จากปริมาณมลพิษที่ปล่อยในแต่ละโครงการในข้อ 10
12. **ต้นทุนความเสียหาย** คือผลคูณของจำนวนกรณีเกิดผลกระทบทางสุขภาพในข้อ 11 และมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของผลกระทบทางสุขภาพจากงานวิจัย
13. **ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม** คือผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบในข้อ 3 ต้นทุนกระบวนการในข้อ 8 และต้นทุนความเสียหายในข้อ 12

แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมแสดงในรูปที่ 3-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-1: ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม

3.3. **ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา**

3.3.1.พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือพื้นที่บริเวณภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยตั้งอยู่ในพื้นที่ท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดระยะที่ 1 โดยมีเนื้อที่ประมาณ 360 ไร่ **ซึ่งเป็นพื้นที่ของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) แสดงในรูปที่ 3-2 โดย**ในรัศมีรอบโครงการ 5 กิโลเมตร พบว่ามีชุมชนอยู่อาศัยอยู่โดยรอบทั้งหมด 4 ชุมชนดังแสดงในตารางที่ 3-3

รูปที่ 3-2: แผนที่พื้นที่โครงการ
(ที่มา : http://www.google.co.th/maps)

ตารางที่ 3-3: จำนวนประชากรในชุมชนรอบพื้นที่โครงการ

ชุมชน	ประชากร (คน)
ตากวน-อ่าวประดู่	2,669
ซอยร่วมพัฒนา	2,674
วัดโสภณ	1,290
หนองแฟบ	1,246
รวม	7,879

ที่มา: เทศบาลเมืองมาบตาพุด

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับพื้นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ณ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแห่งนี้คือถ่านหินประเภทบิทูมินัส

รูปที่ 3-3 :โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี
(ที่มา : http://www.maptaphutport.com)

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ตั้งอยู่ภายในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ดังรูปที่ 3-3 พื้นที่โครงการมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายื่นออกไปบนทะเลอ่าวไทยแสดงในรูปที่ 3-2 มีกำลังการผลิตสูงสุดรวม 1,434 เมกะวัตต์ การขนย้ายถ่านหินดำเนินการจากเรือบรรทุกถ่านหิน ณ ท่าเทียบเรือยื่นออกไปกลางทะเล (Jetty) ด้วยอุปกรณ์สายพานลำเลียง ปริมาณถ่านหินที่ใช้ในโครงการเฉลี่ย 5 ล้านตันต่อปี

ภายในโครงการมีระบบจัดการทางสิ่งแวดล้อมที่ได้มาตรฐานไม่ว่าจะเป็นฝุ่นผงถ่านหิน โดยมีรั้วกำแพงกันฝุ่นรอบโครงการ หัวฉีดน้ำทั่วบริเวณโครงการ และสายพานลำเลียงถ่านหินมีแผ่นกำบังลมปิดกั้นตลอดสายพาน เพื่อกันฝุ่นผงถ่านหินฟุ้งกระจายออกนอกโครงการ และมีระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า

3.3.2.ปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปี

ปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปี (ล้านกิโลวัตต์**ชั่วโมง ต่อปี) ที่ผลิตได้**จากโรงไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ดังนี้ [23]

$$Yp = Pc \times 24 \times 365 \times 10^{-3} \times Pf \quad (3.1)$$

โดยที่; Yp คือ ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี)

Pc คือ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์)

Pf คือ สัดส่วนของพลังงานที่ผลิตได้จริง ต่อพลังงานที่คาดว่าจะผลิตได้เต็มศักยภาพในช่วงเวลาทั้งหมด (Plant Factor) โดยทั่วไปของโรงไฟฟ้าถ่านหินอยู่ที่ประมาณ 80%
อ้างอิงจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 ว่าด้วยแผนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน ที่กำลังการผลิต 1,000 เมกะวัตต์ ปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีที่ต้องผลิตได้มีค่าเท่ากับ

$Yp = 1{,}000 \times 24 \times 365 \times 10^{-3} \times 0.8 = 7{,}008$ ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี

ดังนั้นที่โรงไฟฟ้าถ่านหินขนาด 1,000 เมกะวัตต์ **คาดว่าจะต้องผลิตไฟฟ้าได้ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี**

3.3.3.การใช้ถ่านหินบิทูมินัสเพื่อผลิตไฟฟ้า

ถ่านหินบิทูมินัส เป็นถ่านหินคุณภาพสูงรองจากถ่านหินประเภทแอนทราไซต์ มีคุณสมบัติคือมีค่าความร้อนสูง มีสัดส่วนโดยมวลของซัลเฟอร์ และเถ้าภายในต่ำ ส่งผลให้เมื่อนำมาเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า จะส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม นั่นคือการปลดปล่อยของ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่น ต่ำกว่าถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำกว่าอย่างถ่านหินลิกไนต์ สัดส่วนโดยมวลขององค์ประกอบภายในถ่านหินบิทูมินัสแสดงในตารางที่ 3-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3-4: องค์ประกอบภายในถ่านหินบิทูมินัส

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยมวล (%)
ธาตุคาร์บอน	39 - 51
สารระเหยได้	25 - 35
เถ้า	6 - 15
ความชื้น	10 - 22
ซัลเฟอร์	0.39

ที่มา: [27]

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 ดังนี้ [22]

$$HV = 37.777 - 0.647M - 0.387A - 0.089VM \quad (3.2)$$

โดยที่; HHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม)

M คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของความชื้น ในถ่านหิน

A คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของเถ้า ในถ่านหิน

VM คือ สัดส่วนร้อยละ (%) โดยมวล ของสารระเหยได้ ในถ่านหิน

จากสัดส่วนเฉลี่ยโดยมวลองค์ประกอบของถ่านบิทูมินัสในตารางที่ 3-4 จะได้ว่าถ่านหินบิทูมินัสมีค่าความร้อนเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

HHV = 37.777 – 0.647 (15.36) – 0.387 (10.12) – 0.089 (29.92) = 21.260 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

โดยความร้อน 1 กิโลแคลอรี่ มีค่าเท่ากับ 4.184 กิโลจูล ดังนั้นค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านหินบิทูมินัสเท่ากับ 21.260 x 1,000 / 4.184 = 5,081 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านบิทูมินัสเท่ากับ 5,081 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินบิทูมินัสนั้นมาจากการนำถ่านบิทูมินัสไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยตรงผ่านโรงไฟฟ้าถ่านหิน และจากปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ดังนั้นในโครงการนี้ โรงไฟฟ้าถ่านหินจากบิทูมินัส จะต้องผลิตไฟฟ้าได้ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี โดยโรงไฟฟ้าถ่านหินมีค่าอัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) เท่ากับ 2,219 กิโลแคลอรี่ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

3.3.4.การใช้ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้า

ถ่านหินลิกไนต์ จัดเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุด มีคุณสมบัติคือ มีค่าความร้อนต่ำ มีสัดส่วนโดยมวลของซัลเฟอร์ และเถ้าภายในสูง ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เมื่อนำไปเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า การนำถ่านหินลิกไนต์ผ่านกระบวนการปฏิกิริยาการเกิดถ่านโค้ก (carbonization) ผลผลิตที่ได้คือลิกไนต์โค้ก และผลผลิตพลอยได้คือพลังงานความร้อน กระบวนการนี้ส่งผลให้ผลผลิตลิกไนต์โค้กที่ได้ มีสัดส่วนโดยมวลของ สารระเหยได้ และความชื้นลดลง ส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น แต่ต้องแลกมาด้วยสัดส่วนของซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ เกิดการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากขึ้น เมื่อนำไปเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า สัดส่วนองค์ประกอบวัตถุดิบถ่านหินลิกไนต์ และผลผลิตลิกไนต์โค้กแสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5: องค์ประกอบภายในถ่านหินลิกไนต์ และลิกไนต์โค้ก

องค์ประกอบสัดส่วนโดยมวล (%)	ถ่านหินลิกไนต์ (วัตถุดิบ)	ลิกไนต์โค้ก (ผลผลิต)
ธาตุคาร์บอน	20 - 22	74.2
สารระเหยได้	45 - 48	10
เถ้า	7 - 8	8.2
ความชื้น	33	7.6
ซัลเฟอร์[1]	0.4 – 1.0	1.6 – 4.0

[1]สัดส่วนของซัลเฟอร์จะกระจายอยู่ในสัดส่วนของสารระเหยได้และเถ้า

และจากสมการที่ 3.2 ลิกไนต์โค้กมีค่าความร้อนเฉลี่ย

HHV = 37.777 – 0.647 (7.6) – 0.387 (10) – 0.089 (8.2) = 28.796 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

หรือเท่ากับ 28.796 x 1,000 / 4.184 = 6,883 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ค่าความร้อนเฉลี่ยของลิกไนต์โค้กเท่ากับ 6,883 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ในการผลิตลิกไนต์โค้ก พบว่าได้ผลผลิตพลอยได้เป็นพลังงานความร้อนซึ่งสามารถนำไปใช้ในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สได้ และจากปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ดังนั้นในโครงการนี้ จะแบ่งได้เป็นโรงไฟฟ้าสองประเภท ได้แก่ โรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยใช้ลิกไนต์โค้กเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส โดยโรงไฟฟ้าทั้งสองรวมกัน จะต้องผลิตไฟฟ้าได้ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี โดยโรงไฟฟ้าถ่านหินมีค่าอัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) อยู่ที่ 2,219 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สมีค่าอยู่ที่ 2,421 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

3.3.5.การใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า

ในการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง วัตถุดิบที่ใช้คือถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจัดเป็นถ่านหินคุณภาพสูง โดยมีคุณสมบัติอยู่ในช่วงระหว่างถ่านหินบิทูมินัส และถ่านหินแอนทราไซต์ เมื่อนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กผ่านกระบวนการเปลี่ยนให้เป็นถ่านโค้กคุณถาพสูง ผลผลิตที่ได้คือถ่านโค้ก และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเป็นผลผลิตพลอยได้ โดยผลผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงที่ได้ จะมีสัดส่วนโดยมวลของ สารระเหยได้ และความชื้นลดลง ส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และถ่านโค้กคุณภาพสูงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6: องค์ประกอบภายในถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และถ่านโค้กคุณภาพสูง

องค์ประกอบสัดส่วนโดยมวล (%)	ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (วัตถุดิบ)	ถ่านโค้กคุณภาพสูง (ผลผลิต)
ธาตุคาร์บอน	55.35	87.65
สารระเหยได้	27.83	0.75
เถ้า	8.99	8.85
ความชื้น	7.83	2.75
ซัลเฟอร์	0.550	0.675

และจากสมการที่ 3.2 ถ่านโค้กคุณภาพสูงมีค่าความร้อนเฉลี่ย

HHV = 37.777 – 0.647 (2.75) – 0.387 (0.75) – 0.089 (8.85)
= 32.506 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม
หรือเท่ากับ 32.506 x 1,000 / 4.184 = 7,769 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านโค้กคุณภาพสูงเท่ากับ 7,769 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ในกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง ได้ผลผลิตพลอยได้คือแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก โดยแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเป็นแก๊ซที่มีค่าความร้อนประมาณ 4,756 **กิโลแคลอรี่**ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมได้ และจากปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ดังนั้นในโครงการนี้ จะแบ่งได้เป็นโรงไฟฟ้าสองประเภท ได้แก่ โรงไฟฟ้าถ่านหินโดยใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยใช้แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าทั้งสองรวมกัน จะต้องผลิตไฟฟ้าได้ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี โดยโรงไฟฟ้าถ่านหินมีค่า**อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า** (Heat Rate) อยู่ที่ 2,219 **กิโลแคลอรี่**ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีค่าอยู่ที่ 1,601 **กิโลแคลอรี่**ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

3.4. **ต้นทุนวัตถุดิบ**

3.4.1.การคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้า

สามารถคำนวณได้จากปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีกับอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ไปต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า เขียนได้ดังสมการที่ 3.3 ดังนี้ [23]

$$\text{Yp} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (กิโลแคลอรี่)}}{\text{ประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้า (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)}}$$

$$\text{Yp} = \frac{\text{Kg x Hv x365 x24}}{\text{Hr x1,000,000}} \qquad (3.3)$$

โดยที่; Kg คือ ปริมาณเชื้อเพลิง(ถ่านหิน) ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

Hv คือ Heating Value คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงประเภทนั้นๆ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)

Hr คือ (Heat Rate) อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า คือ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทนั้นๆ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

3.4.2.ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ถ่านหินบิทูมินัสโดยตรง

ในการนำถ่านหินมาใช้โดยตรงอย่างถ่านหินบิทูมินัสนั้น ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าปริมาณ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี

และจากสมการที่ 3.3 ; $\text{Yp} = \frac{\text{Kg x Hv x365 x24}}{\text{Hr x1,000,000}}$ จะพัฒนาได้เป็นสมการที่ 3.4 ดังนี้

$$\text{Kg} = \frac{\text{Yp x Hr x1,000,000}}{\text{Hv x365 x24}} \qquad (3.4)$$

โดยที่ค่าอัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) ของโรงไฟฟ้าถ่านหินมีค่าเท่ากับ 2,219 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และค่าความร้อนของถ่านหินบิทูมินัสอยู่ที่ 5,081 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ดังนั้นจะต้องการใช้ถ่านหินบิทูมินัสทั้งหมดเท่ากับ

$$Kg_{Bituminous} = \frac{7{,}008 \text{ x } 2{,}219 \text{ x} 1{,}000{,}000}{5{,}081 \text{ x} 365 \text{ x} 24} = \textbf{349,373 กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

ใน 1 ปี จะต้องการใช้ถ่านหินบิทูมินัสทั้งหมดเท่ากับ = 349,373 x 24 x 365 x 10^{-9}

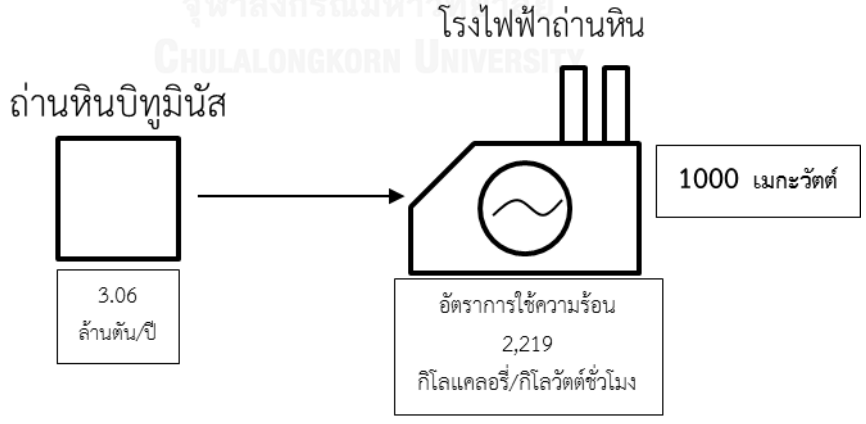
= 3.06 ล้านตันต่อปี

และจากสมการที่ 3.1; $Yp = Pc \times 24 \times 365 \times 10^{-3} \times Pf$ จะสามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.5 ดังนี้

$$Pc = \frac{Yp \times 1{,}000}{Pf \times 365 \times 24} \qquad (3.5)$$

ที่ Plant Factor เท่ากับ 80% และปริมาณผลิตไฟฟ้าที่ต้องการที่ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี จะได้ว่า โรงไฟฟ้าถ่านหินบิทูมินัสมีกำลังการผลิตเท่ากับ $Pc = \frac{7{,}008 \text{ x} 1{,}000}{0.8 \text{ x} 365 \text{ x} 24}$ = **1,000 เมกะวัตต์**

สามารถสรุปได้ว่า ในการผลิตไฟฟ้ารวมเป็นปริมาณ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี จะต้องใช้ถ่านหินบิทูมินัสปริมาณ 3.06 ล้านตันต่อปีเพื่อผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินที่มีกำลังการผลิตเท่ากับ 1,000 เมกะวัตต์ ผังโครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยตรงแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4: แผนผังการนำถ่านหินบิทูมินัสมาผลิตไฟฟ้า

3.4.3.ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้า

ในการได้มาซึ่งลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อนผลพลอยได้ ต้องนำถ่านหินลิกไนต์ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชั่น(carbonization) ก่อน สัดส่วนผลผลิต และผลผลิตพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการนี้มีดังนี้ [10]

$$Lc = Pl \times Kg_{lignite} \tag{3.6}$$

$$Ey = He \times Kg_{lignite} \tag{3.7}$$

โดยที่; Lc คือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ลิกไนต์โค้ก) จากกระบวนการ (กิโลกรัม)

Pl คือ สัดส่วนผลผลิตถ่านโค้กที่ได้ ต่อวัตถุดิบถ่านหินที่ใส่เข้าไปในกระบวนการ (กิโลกรัมลิกไนต์โค้ก ต่อกิโลกรัมถ่านหินลิกไนต์) โดยในกระบวนการเปลี่ยนถ่านลิกไนต์เป็นลิกไนต์โค้ก มีสัดส่วนเท่ากับ 0.25 กิโลกรัมลิกไนต์โค้ก ต่อกิโลกรัมถ่านหินลิกไนต์ [10]

Ey คือ พลังงานความร้อนผลพลอยได้ทั้งหมด ที่ได้จากกระบวนการ (กิโลแคลอรี่)

He คือ สัดส่วนพลังงานความร้อนผลพลอยได้ ที่ได้จากกระบวนการ (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ)

โดยในกระบวนการเปลี่ยนถ่านลิกไนต์เป็นลิกไนต์โค้ก มีพลังงานเกิดขึ้น 1,500 กิโลแคลอรี่ต่อถ่านหินลิกไนต์ 1 กิโลกรัม [10]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมการที่ 3.3 ถูกนำมาพัฒนาต่อเพื่อคำนวณหาปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีที่ผลิตได้จากการใช้ลิกไนต์โค้กผ่านโรงไฟฟ้าถ่านหิน และปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีที่ผลิตได้จากพลังงานความร้อนผ่านโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ได้จากสมการที่ 3.8 และ 3.9 ดังนี้

$$Yp_{Lignite\ coke} = \frac{Pl \times Kg_{lignite} \times Hv_{lignite\ coke} \times 365 \times 24}{Hr_{coal\ power\ plant} \times 1{,}000{,}000} \tag{3.8}$$

$$Yp_{Heat\ energy} = \frac{Kg_{lignite} \times (He - Er) \times 365 \times 24}{Hr_{Combustion\ turbine} \times 1{,}000{,}000} \tag{3.9}$$

โดยที่; Er คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนถ่านหินเป็นถ่านโค้ก (กิโลแคลอรี่ต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใส่เข้าไป 1 กิโลกรัม) โดยในการเปลี่ยน ถ่านหินลิกไนต์ เป็นลิกไนต์โค้กนั้น ต้องการพลังงาน 254 กิโลแคลอรี่ต่อถ่านหินลิกไนต์ที่ใส่เข้าไป 1 กิโลกรัม [17]

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตรวมกันของโรงไฟฟ้าทั้งสองประเภท สามารถคำนวณได้จากการรวมสมการที่ 3.8 และ 3.9 **สามารถเขียนได้เป็นสมการที่** 3.10 **ดังนี้**

$$Yp_{Overall} = \frac{Pl \times Kg_{lignite} \times Hv_{lignite\ coke} \times 365 \times 24}{Hr_{coal\ power\ plant} \times 1{,}000{,}000} + \frac{Kg_{lignite} \times (He - Er) \times 365 \times 24}{Hr_{Combustion\ turbine} \times 1{,}000{,}000} \quad (3.10)$$

ดังนั้นสมการคำนวณปริมาณถ่านหินลิกไนต์วัตถุดิบที่ต้องการในการผลิตไฟฟ้า **จะสามารถพัฒนาได้เป็นสมการที่** 3.11 **ดังนี้**

$$Kg_{lignite} = \frac{Yp \times Hr_{coal\ power\ plant} \times Hr_{Combustion\ turbine} \times 1{,}000{,}000}{365 \times 24 \times \left[\{Pl \times Hv_{lignite\ coke} \times Hr_{Combustion\ turbine}\} + \{Hr_{coal\ power\ plant} \times (He - Er)\}\right]} \quad (3.11)$$

จากความต้องการผลิตไฟฟ้าต่อปีรวมทั้งสิ้น 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ดังนั้นปริมาณถ่านหินลิกไนต์ที่ต้องการในการนำไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนให้กลายเป็นลิกไนต์โค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า มีปริมาณเท่ากับ

$$Kg_{lignite} = \frac{7{,}008 \times 2{,}219 \times 2{,}421 \times 1{,}000{,}000}{365 \times 24 \times \left[\{0.25 \times 6{,}883 \times 2{,}421\} + \{2{,}219 \times (1{,}500 - 254)\}\right]}$$

$Kg_{lignite}$ = **620,101 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง**

ใน 1 ปี จะต้องการใช้ถ่านหินลิกไนต์ทั้งหมดเท่ากับ = 620,101 x 24 x 365 x 10^{-9} = 5.43 ล้านตัน ต่อปี

ดังนั้น $Yp_{Lignite\ coke} = \frac{0.25 \times 620{,}101 \times 6{,}883 \times 365 \times 24}{2{,}219 \times 1{,}000{,}000}$ = 4,212 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

$Yp_{Heat\ energy} = \frac{620{,}101 \times (1{,}500 - 254) \times 365 \times 24}{2{,}421 \times 1{,}000{,}000}$ = 2,796 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

โรงไฟฟ้าทั้งสองจะสามารถผลิตไฟฟ้ารวมได้เท่ากับ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามความต้องการใช้ไฟฟ้า

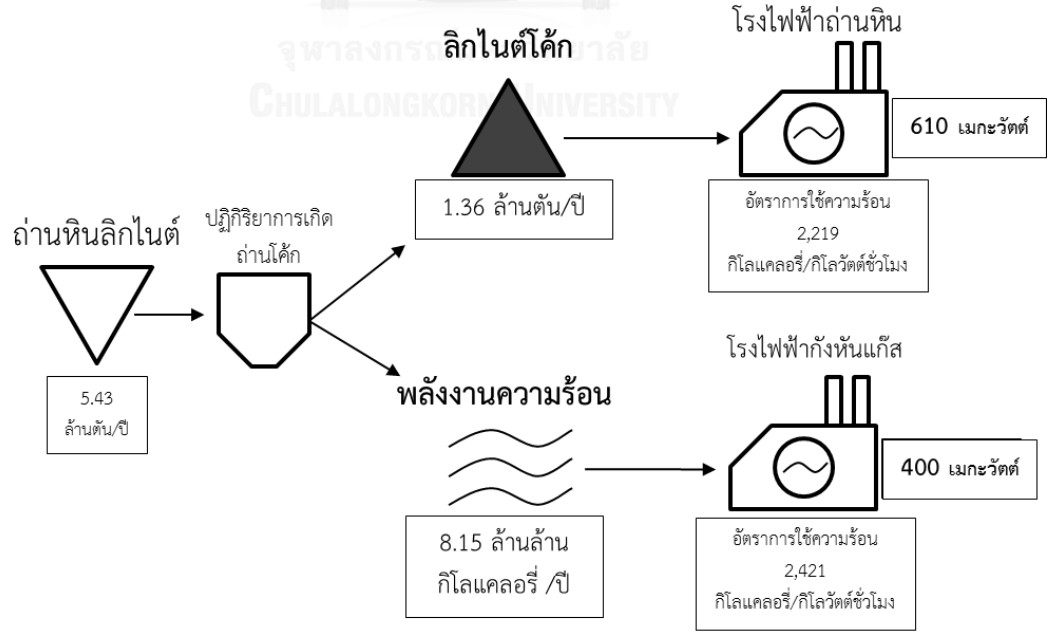
จากสมการที่ 3.5; $Pc = \frac{Yp \times 1{,}000}{Pf \times 365 \times 24}$ ที่ Plant Factor เท่ากับ 80% จะได้ว่า

โรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้ลิกไนต์โค้กเป็นเชื้อเพลิง มีกำลังการผลิตเท่ากับ $\frac{4{,}212 \times 1{,}000}{0.8 \times 365 \times 24}$

= 601.02 เมกะวัตต์ โดยปรับให้เท่ากับ **610 เมกะวัตต์**

โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สมีกำลังการผลิตเท่ากับ $\frac{2{,}796 \times 1{,}000}{0.8 \times 365 \times 24}$ = **400 เมกะวัตต์**

สามารถสรุปได้ว่า ในการผลิตไฟฟ้ารวมเป็นปริมาณ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี จะต้องนำถ่านหินลิกไนต์จำนวน 5.43 ล้านตันต่อปี ในการนำมาผ่านกระบวนการผลิตถ่านโค้กให้ได้ลิกไนต์โค้กจำนวน 1.36 ล้านตันต่อปี เพื่อนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาด 610 เมกะวัตต์ ผลผลิตพลอยได้จากการผลิตลิกไนต์โค้กคือพลังงานความร้อนจำนวน 8.15 ล้านล้านกิโลแคลอรี่ต่อปี ถูกนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สขนาด 400 เมกะวัตต์ แผนโครงการการใช้ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5: แผนผังการนำลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อนไปผลิตไฟฟ้า

3.4.4.ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของโรงไฟฟ้าจากการใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า

ในกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กนั้น วัตถุดิบหลักคือถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก สัดส่วนผลผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กที่ได้นั้นมีดังนี้ [12]

$$Cc = Pc \times Kg_{Coking\ Coal} \tag{3.12}$$

$$Cg = Pg \times Kg_{Coking\ Coal} \tag{3.13}$$

โดยที่; Cc คือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ถ่านค็กคุณภาพสูง) จากกระบวนการ (กิโลกรัม)

Pc คือ สัดส่วนผลผลิตถ่านโค้กที่ได้ ต่อวัตถุดิบถ่านหินที่ใส่เข้าไปในกระบวนการ (กิโลกรัมถ่านโค้กคุณภาพสูง ต่อกิโลกรัมถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก) โดยในกระบวนการเปลี่ยนถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก เป็นถ่านโค้กคุณภาพสูง มีสัดส่วนเท่ากับ 0.7 [12]

Cg คือ ปริมาณผลผลิตพลอยได้ (แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก) จากกระบวนการ (ลูกบาศก์เมตร)

Pg คือ สัดส่วนแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กที่ได้ ต่อวัตถุดิบถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ใส่เข้าไปในกระบวนการ (ลูกบาศก์เมตรของแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก ต่อกิโลกรัมถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก) โดยสัดส่วนแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กที่ได้ของกระบวนการนี้มีค่าเท่ากับ 0.3542 ลูกบาศก์เมตร ต่อกิโลกรัม [12]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการที่ 3.3 สามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อคำนวณหาปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีที่ผลิตได้จากการใช้ถ่านหินคุณภาพสูงผ่านโรงไฟฟ้าถ่านหิน และปริมาณหน่วยไฟฟ้าต่อปีที่ผลิตได้จากการใช้แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กผ่านโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ได้จากสมการที่ 3.14 และ 3.15 ดังนี้

$$Yp_{Met\ coke} = \frac{Pc \times Kg_{Coking\ Coal} \times ((Hv_{met\ coke} \times 365 \times 24) - Er)}{Hr_{coal\ power\ plant} \times 1,000,000} \tag{3.14}$$

$$Yp_{COG} = \frac{Pg \times Kg_{coking\ coal} \times Hv_{COG} \times 365 \times 24}{Hr_{Gas\ turbine} \times 1,000,000} \tag{3.15}$$

โดยที่; Er คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนถ่านหินเป็นถ่านโค้ก (กิโลแคลอรี่ต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใส่เข้าไป 1 กิโลกรัม) โดยในการเปลี่ยนถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก เป็นถ่านโค้กคุณภาพสูงนั้น ต้องการพลังงาน 711 กิโลแคลอรี่ต่อถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ใส่เข้าไป 1 กิโลกรัม [17]

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากการรวมกันของโรงไฟฟ้าทั้งสองประเภท สามารถคำนวณได้จากการรวมสมการที่ 3.14 และ 3.15 สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.16 ดังนี้

$$Yp_{overall} = \frac{Pc \times Kg_{Coking\ Coal} \times ((Hv_{met\ coke} \times 365 \times 24) - Er)}{Hr_{coal\ power\ plant} \times 1,000,000} + \frac{Pg \times Kg_{coking\ coal} \times Hv_{COG} \times 365 \times 24}{Hr_{Gas\ turbine} \times 1,000,000} \quad (3.16)$$

ดังนั้นสมการคำนวณปริมาณถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กวัตถุดิบที่ต้องการในการผลิตไฟฟ้าสามารถพัฒนาได้เป็นสมการที่ 3.17 ดังนี้

$$Kg_{coking\ coal} = \frac{Yp \times Hr_{coal\ power\ plant} \times Hr_{Gas\ turbine} \times 1,000,000}{\{Pc \times Hr_{Gas\ turbine} \times ((Hv_{met\ coke} \times 365 \times 24) - Er)\} + \left\{Hr_{coal\ power\ plant} \times Pg \times Hv_{COG} \times 365 \times 24\right\}} \quad (3.17)$$

จากความต้องการผลิตไฟฟ้าต่อปีรวมทั้งสิ้น 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ดังนั้นปริมาณถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กทั้งหมดที่ต้องการในการนำไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนให้กลายเป็นถ่านโค้กคุณภาพสูงเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า มีปริมาณเท่ากับ

$$Kg_{coking\ coal} = \frac{7,008 \times 2,219 \times 1,601 \times 1,000,000}{\left\{0.7 \times 1,601 \times \left(\left(365 \times 24 \times 7,769\right) - 711\right)\right\} + \left\{2,219 \times 0.3542 \times 4,756 \times 365 \times 24\right\}}$$

$Kg_{coking\ coal}$ = **228,386 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง**

ใน 1 ปี จะต้องการใช้ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กทั้งหมดเท่ากับ = $228,386 \times 24 \times 365 \times 10^{-9}$
= 2.00 ล้านตัน ต่อปี

$$Yp_{Met\ coke} = \frac{0.7 \times 228,386 \times ((7,769 \times 365 \times 24) - 711)}{2,219 \times 1,000,000}$$

ดังนั้น = 4,903 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

$$Yp_{COG} = \frac{0.3542 \times 228,386 \times 4,756 \times 365 \times 24}{1,601 \times 1,000,000}$$

= 2,105 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

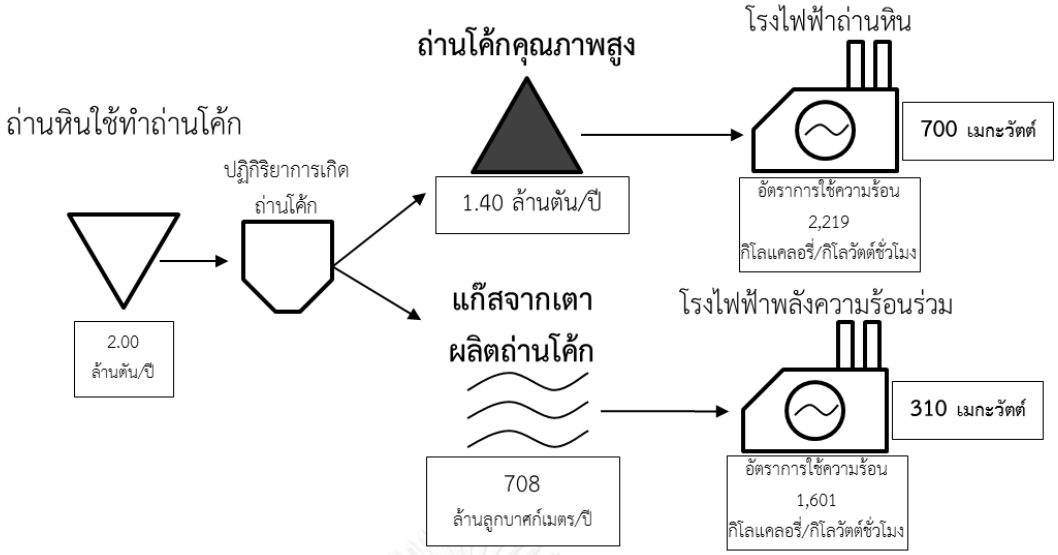
โรงไฟฟ้าทั้งสองจะสามารถผลิตไฟฟ้ารวมได้เท่ากับ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามความต้องการใช้ไฟฟ้า

จากสมการที่ (3.5); $Pc = \frac{Yp \times 1,000}{Pf \times 365 \times 24}$ ที่ Plant Factor เท่ากับ 80% จะได้ว่า โรงไฟฟ้าถ่านหิน ที่ใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงเป็นเชื้อเพลิง มีกำลังการผลิตเท่ากับ $\frac{4,903 \times 1,000}{0.8 \times 365 \times 24}$

= 700 เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง มีกำลังการผลิตเท่ากับ $\frac{2,105 \times 1,000}{0.8 \times 365 \times 24}$ = 300.37 เมกะวัตต์ โดยปรับให้เท่ากับ **310 เมกะวัตต์**

สามารถสรุปได้ว่า ในการผลิตไฟฟ้ารวมเป็นปริมาณ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี จะต้องนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจำนวน 2.00 ล้านตันต่อปี ในการนำมาผ่านกระบวนการผลิตถ่านโค้กให้ได้ถ่านโค้กคุณภาพสูงจำนวน 1.40 ล้านตันต่อปี เพื่อนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาด 700 เมกะวัตต์ ผลผลิตพลอยได้จากการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงคือแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กปริมาตร 708 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ถูกนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สขนาด 310 เมกะวัตต์ **แผนผังโครงการการใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปที่** 3-6



รูปที่ 3-6: แผนผังการใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก มาผลิตไฟฟ้า

3.4.5.ราคาของเชื้อเพลิง

ราคาตลาดโลกของถ่านหินทั้งสามประเภท ได้แก่ ถ่านหินบิทูมินัส ถ่านหินลิกไนต์ และถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก แสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7: ราคาตลาดโลกของถ่านหินทั้งสามประเภท

ประเภทถ่านหิน	ราคาตลาดโลก (ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตัน)
ถ่านหินบิทูมินัส[1]	55.99
ถ่านหินลิกไนต์[1]	19.44
ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก[2]	79.10

[1]ที่มา: [28]

[2]ที่มา: [29]

3.4.6.ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการ

ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการสามารถหาได้จาก ผลคูณของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และราคาของเชื้อเพลิง จากข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ของสามโครงการ และราคาของเชื้อเพลิงในตาราง ที่ 3-7 ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8: ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการ

โครงการ	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ล้านตัน/ปี)	ราคาตลาดโลก (ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน)	ราคาตลาดโลก (บาท/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	3.06	55.99	1,959.7	5,997,529,194
ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	5.43	19.44	680.4	3,695,958,414
ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	2.00	79.10	2,768.5	5,538,830,239

3.5. ต้นทุนกระบวนการ

ต้นทุนกระบวนการประกอบด้วยต้นทุนการลงทุน และต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.1.ต้นทุนการลงทุน

กำหนดให้แต่ละโครงการ มีอายุเท่ากันที่ 30 ปี ดังนั้นต้นทุนการลงทุนต่อปีของแต่ละโครงการเท่ากับต้นทุนการลงทุนทั้งหมดหารด้วยจำนวนปีเท่ากับ 30 ปี ต้นทุนการลงทุนประกอบด้วย

1. มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้า: เป็นต้นทุนการลงทุนของการก่อสร้างโรงไฟฟ้า โดยในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า การคิดต้นทุนจะใช้วิธีคิดแบบเฉลี่ยต่อขนาดโรงไฟฟ้า โดยมีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ยเท่ากับ 2 ปี
2. มูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้ก (Coking Plant): เป็นต้นทุนการลงทุนของอุปกรณ์เครื่องมือ เตาผลิตถ่านโค้ก ในการเปลี่ยนถ่านหิน ให้กลายเป็นถ่านโค้ก การคิดต้นทุนตามราคาประเมิน โดยโรงผลิตถ่านโค้กหนึ่งโรง มีความสามารถในการผลิตถ่านโค้กปริมาณ 830,000 ตันต่อปี มูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้กประกอบด้วย ต้นทุนเตาอบถ่านโค้ก ต้นทุนโรงไฟฟ้าสำหรับกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ต้นทุนที่จัดเก็บเชื้อเพลิง

และระบบแจกจ่ายเชื้อเพลิง ต้นทุนที่จัดเก็บผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการและมูลค่าการก่อสร้าง รายละเอียดของมูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้กแสดงใน**ตารางที่** 3-9 [30]

ตารางที่ 3-9: รายละเอียดมูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้ก

สิ่งก่อสร้าง	มูลค่าการก่อสร้าง (ล้านดอลลาร์ สหรัฐ)	มูลค่าการก่อสร้าง (ล้านบาท)
เตาอบถ่านโค้ก	125	4,375
โรงไฟฟ้า	59	2,065
ที่จัดเก็บเชื้อเพลิงและระบบแจกจ่าย	0.6	21
ที่จัดเก็บผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการ	5.5	193
การก่อสร้าง	72	2,520
รวม	262.1	9,173.5

ที่มา: [30]

จากสมการที่ 3.6; $Lc = Pl \times Kg_{lignite}$

ปริมาณลิกไนต์โค้กที่ได้จากกระบวนการเท่ากับ $Lc = 0.25 \times 5.43 = 1.36$ ล้านตันต่อปี

และจากสมการที่ 3.12; $Cc = Pc \times Kg_{Coking\ Coal}$

ปริมาณถ่านโค้กคุณภาพสูงที่ได้จากกระบวนการเท่ากับ $Cc = 0.7 \times 2.00 = 1.40$ ล้านตันต่อปี

เนื่องจากปริมาณลิกไนต์โค้ก และถ่านโค้กคุณภาพสูง ที่ผลิตได้เป็นปริมาณเท่ากับ 1.36 และ 1.40 ล้านตันต่อปี แต่โรงผลิตถ่านโค้ก มีกำลังการผลิตที่ 0.83 ล้านตันต่อปี ต่อโรง จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเตาผลิตถ่านโค้กสองเตา เป็นราคาเท่ากับ 9,173,500,000 x 2 = 18,347,000,000 บาท

รายการต้นทุนการลงทุนจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและโรงผลิตถ่านโค้กของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10: รายการต้นทุนการลงทุนของแต่ละโครงการ

โครงการ	โรงไฟฟ้า	ขนาดโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์)	มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้า[1] (ล้านบาท)	มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้ารวม (ล้านบาท)	มูลค่าการก่อสร้างเตาผลิตถ่านโค้ก (ล้านบาท/เตา)	ต้นทุนการลงทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนการลงทุนต่อปี (ล้านบาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	1,000	113,610	113,610	0	113,610	3,787
ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	600	69,302	84,380	18,347	102,727	3,424
	โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	400	15,078				
ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	700	79,527	89,900	18,347	108,247	3,608
	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	300	10,373				

[1]ที่มา: [31] และ [32]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.2.ต้นทุนการดำเนินงาน

ต้นทุนในการดำเนินงานของแต่ละโครงการสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า: แบ่งได้เป็นสองประเภท ได้แก่
   1.1. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา คงที่: เป็นต้นทุนคงที่ ที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ การคิดต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบคงที่ คิดโดยใช้วิธีแบบเฉลี่ยต่อขนาดของโรงไฟฟ้า ต่อปีที่มีการดำเนินการ ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบคงที่ของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11: ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบคงที่ของแต่ละโครงการ

โครงการ	โรงไฟฟ้า	ขนาดโรงไฟฟ้า (เมกะวัตต์)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบคงที่[1] (บาท/เมกะวัตต์/ปี)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบคงที่ (บาท/ปี)	รวม (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	1,000	1,323,000	1,323,000,000	1,323,000,000
ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	600	1,323,000	807,030,000	1,046,710,000
	โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	400	599,200	239,680,000	
ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	700	1,323,000	926,100,000	1,042,846,000
	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	300	376,600	116,746,000	

[1]ที่มา: [31]และ[32]

1.2. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา ผันแปร: เป็นต้นทุนผันแปร ที่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ การคิดต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบผันแปร คิดโดยใช้วิธีแบบเฉลี่ยต่อปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบผันแปรของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-12: ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาแบบผันแปรของแต่ละโครงการ

โครงการ	โรงไฟฟ้า	ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบผันแปร[1] (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบผันแปร (บาท/ปี)	รวม (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	7,008	0.15645	1,096,401,600	1,096,401,600
ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	4,212	0.15645	658,959,042	993,646,637
	โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	2,796	0.1197	334,687,595	
ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	4,903	0.15645	767,094,154	1,019,047,502
	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	2,105	0.1197	251,953,348	

[1]ที่มา: [31]และ[32]

2. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงผลิตถ่านโค้ก: ประกอบด้วย ต้นทุนเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ต้นทุนการเก็บรักษา และต้นทุนอื่นๆ รายละเอียดต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงผลิตถ่านโค้กแสดงในตารางที่ 3-13 [30]

ตารางที่ 3-13: รายละเอียดต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงผลิตถ่านโค้ก

รายการ	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา (ล้านดอลลาร์สหรัฐ/ปี)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา (ล้านบาท/ปี)
เชื้อเพลิง	46	1,610
แรงงาน	10	350
บำรุงรักษาและซ่อมแซม	1	35
ต้นทุนเก็บรักษา	4	140
อื่นๆ	3	105
รวม	64	2,240

ที่มา: [30]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากความจำเป็นในการสร้างเตาผลิตถ่านโค้กสองเตาของทั้งสองโครงการ ดังนั้นต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาต่อปีของทั้งสองโครงการเท่ากับ 2,240,000,000 x 2 = 4,480,000,000 บาทต่อปี

รายการต้นทุนการดำเนินงานรวมทั้งหมดของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14: ต้นทุนการดำเนินงานรวมทั้งหมดของแต่ละโครงการ

โครงการ	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบคงที่ (บาท/ปี)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแบบผันแปร (บาท/ปี)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงผลิตถ่านโค้ก (บาท/ปี)	ต้นทุนการดำเนินงานรวม (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	1,323,000,000	1,096,401,600	0	2,419,401,600
ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	1,046,710,000	993,646,637	4,480,000,000	6,520,356,637
ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	1,042,846,000	1,019,047,502	4,480,000,000	6,541,893,502

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.3.ต้นทุนกระบวนการ

จากต้นทุนการลงทุนในตารางที่ 3-10 และต้นทุนการดำเนินงานในตารางที่ 3-14 ดังนั้น ต้นทุนกระบวนการของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-15

ตารางที่ 3-15: ต้นทุนกระบวนการต่อปีของแต่ละโครงการ

โครงการ	ต้นทุนการลงทุน (บาท/ปี)	ต้นทุนการดำเนินงาน (บาท/ปี)	ต้นทุนกระบวนการ (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	3,787,000,000	2,419,401,600	6,206,401,600
ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	3,424,236,667	6,520,356,637	9,944,593,303
ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	3,608,220,000	6,541,893,502	10,150,113,502

3.6. **ต้นทุนการผลิต**

ต้นทุนการผลิต ประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ต้นทุนแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยต้นทุนแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในการผลิตนั้น รวมกันคือ ต้นทุนกระบวนการ จากข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการในตารางที่ 3-8 และต้นทุนกระบวนการของแต่ละโครงการในตารางที่ 3-15 ต้นทุนการผลิตของแต่ละโครงการแสดงในตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-16: ต้นทุนการผลิตของแต่ละโครงการ

โครงการ	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/ปี)	ต้นทุนกระบวนการ (บาท/ปี)	ต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)
ถ่านหินบิทูมินัส	5,997,529,194	6,206,401,600	12,203,930,794
ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	3,695,958,414	9,944,593,303	13,640,551,717
ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	5,538,830,239	10,150,113,502	15,688,943,741

3.7. **ต้นทุนความเสียหาย**

3.7.1.ปริมาณการใช้ถ่านหินต่อปี และปริมาณการปล่อยสารพิษต่อปีของพื้นที่ศึกษา จากข้อมูลปริมาณผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี พบว่ามีการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 895 ล้านหน่วยต่อเดือน คิดเป็น 10,739 ล้านหน่วยต่อปี [33][34][35] ที่ค่าความร้อนของถ่านหินบิทูมินัสเท่ากับ 5,081 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม **อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า** (Heat Rate) ของโรงไฟฟ้าถ่านหินบีแอลซีพีเท่ากับ 2,421 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และจากสมการที่ 3.4 ปริมาณถ่านหินบิทูมินัสที่ใช้เท่ากับ

$$Kg_{\text{Bituminous blcp}} = \frac{10{,}739 \times 2{,}421 \times 1{,}000{,}000}{5{,}081 \times 365 \times 24} = \textbf{584,030 กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

ใน 1 ปี จะต้องการใช้ถ่านหินบิทูมินัสทั้งหมดเท่ากับ = 584,030 x 24 x 365 x 10^{-6}
= 5,116 ล้านกิโลกรัม ต่อปี

ข้อมูลสถิติด้านสิ่งแวดล้อม พบว่ากิจกรรมจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของฝุ่น (PM_{10}) และ SO_2 ในปริมาณเฉลี่ยต่อปี [27] ดังแสดงในตารางที่ 3-17

ตารางที่ 3-17: ปริมาณมลพิษที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย จากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

ผลกระทบ	ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อปี)
PM_{10}	35.96
SO_2	7.07

ที่มา: [27]

3.7.2.อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษของโครงการต่างๆ ต่อพื้นที่ศึกษา

ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหินของทั้งสามทางเลือก สามารถประเมินได้จากอัตราส่วนการใช้ และสัดส่วนประกอบของถ่านหิน ระหว่างพื้นที่กรณีศึกษา และโครงการทั้งสามโครงการ อัตราสัดส่วนการใช้ของเชื้อเพลิงของทั้งสามโครงการ ต่อการใช้ถ่านหินจริงของพื้นที่ศึกษา แสดงในตารางที่ 3-18

ตารางที่ 3-18: อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงของแต่ละโครงการ

โครงการ	โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (พื้นที่ศึกษา)	บิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก	ถ่านโค้กคุณภาพสูง
ปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตต่อปี (ล้านหน่วย ต่อปี)	10,739[1]	7,008	4,212	4,903
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	5,081	5,081	6,883	7,769
ปริมาณถ่านหินที่ใช้ (ล้านกิโลกรัม ต่อปี)	5,116	3,061	1,358	1,400
อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงของโครงการ	1	0.598	0.265	0.274

[1]ที่มา: [27]

เนื่องจากส่วนประกอบภายในถ่านหิน มีผลโดยตรงกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการนำถ่านหินไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยสัดส่วนของเถ้า ส่งผลโดยตรงต่อการปล่อยของฝุ่น (PM10) และสัดส่วนของซัลเฟอร์ มีผลโดยตรงต่อการปล่อยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) ดังนั้นสัดส่วนส่วนประกอบภายในถ่านหิน ลิกไนต์โค้ก และถ่านโค้ก สามารถคำนวณได้ และแสดงในตารางที่ 3-19

ตารางที่ 3-19: อัตราส่วนการปล่อยมลพิษของแต่ละโครงการ

โครงการ	โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (พื้นที่ศึกษา)	บิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก	ถ่านโค้กคุณภาพสูง
สัดส่วนของเถ้า (%)	10.12	10.12	8.20	8.85
อัตราส่วนการปล่อย PM_{10}	1	1	0.81	0.87
สัดส่วนของซัลเฟอร์ (%)	0.39	0.39	2.80	0.68
อัตราส่วนการปล่อย SO_2	1	1	7.18	1.73

จากตารางที่ 3-18 และตารางที่ 3-19 สามารถสรุปได้ว่า ที่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และส่วนประกอบไม่เท่ากันของแต่ละโครงการ ส่งผลให้ ปริมาณการปล่อยมลพิษของแต่ละโครงการไม่เท่ากัน ดังนั้นปริมาณของมลพิษที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหิน ของทั้งสามโครงการสามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.18 ดังนี้

$$\Delta P_{jk} = \Delta P_j \times Uf_k \times Cf_{jk} \qquad (3.18)$$

โดยที่; ΔP_{jk} คือปริมาณมลพิษ j ที่เพิ่มขึ้น ของโครงการ k

ΔP_j คือ ปริมาณมลพิษ j ที่เพิ่มขึ้น จากพื้นที่ศึกษา

Uf_k คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงของโครงการ k

Cf_{jk} คือ อัตราส่วนการปล่อยมลพิษ j ของโครงการ k

จากตารางที่ 3-18 และตารางที่ 3-19 ปริมาณมลพิษที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหินของทั้งสามโครงการ สามารถสรุปได้ในตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20: ปริมาณมลพิษที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหินของทั้งสามโครงการ

โครงการ	บิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก	ถ่านโค้กคุณภาพสูง
ปริมาณ PM_{10} ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	21.51	7.74	8.61
ปริมาณ SO_2 ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	4.23	13.47	3.35

3.7.3.จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษ

การหาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากปริมาณมลพิษที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ จากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหิน สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.19 ดังนี้

$$D_{ij} = f_{ij} \times \Delta P_j \times POP \qquad (3.19)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่; D_{ij} คือ จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบ i จากมลพิษ j (กรณี ต่อปี)

f_{ij} คือ ค่า exposure response coefficient เป็นค่าคงที่ของผลกระทบ i จากมลพิษ j มาจากการรวบรวมของงานวิจัยต่างๆ (กรณี/คน/มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

ΔP_j คือ ปริมาณของมลพิษ j ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศต่อปี (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

POP คือ จำนวนประชากรที่ได้รับมลพิษ (คน)

ณ พื้นที่ศึกษา โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่า ที่รัศมี 5 กิโลเมตร มีประชากรอยู่อาศัยทั้งหมด 7,879 คน และจากงานวิจัยที่ผ่านมา ค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient) แสดงในตารางที่ 3-21

ตารางที่ 3-21: ค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient)

ผลกระทบทางสุขภาพ (กรณี/คน/มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ฝุ่น (PM_{10})	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)
ตายก่อนวัยอันควร (1995)	2.40×10^{-6}	1.99×10^{-6}
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (1998)	1.68×10^{-3}	2.10×10^{-3}
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ (1998)	0.168	ไม่มีผลกระทบ
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ เฉียบพลัน (1998)	0.3	
สูญเสียวันทำงาน (1998)	0.058	
เกิดโรคหอบหืด (1998)	0.058	
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (1998)	6.12×10^{-5}	
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน (1998)	2.37×10^{-4}	
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ (1998)	5.06×10^{-6}	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากข้อมูลปริมาณมลพิษที่เพิ่มขึ้น และค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient) ในตารางที่ 3-20 และตารางที่ 3-21 จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษ จากกิจกรรมของโรงไฟฟ้าถ่านหิน ของทั้งสามโครงการ แสดงในตารางที่ 3-22

ตารางที่ 3-22: จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษของแต่ละโครงการ

จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษ	มลพิษ	บิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก	ถ่านโค้กคุณภาพสูง
ตายก่อนวัยอันควร	PM_{10}	0.41	0.15	0.16
	SO_2	0.07	0.21	0.05
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ	PM_{10}	284.78	102.39	113.96
	SO_2	69.94	222.81	55.39
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	PM_{10}	28,477.77	10,238.78	11,395.84
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจเฉียบพลัน	PM_{10}	50,853.17	18,283.54	20,349.72
สูญเสียวันทำงาน	PM_{10}	9,831.61	3,534.82	3,934.28
เกิดโรคหอบหืด	PM_{10}	9,831.61	3,534.82	3,934.28
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง	PM_{10}	10.37	3.73	4.15
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	PM_{10}	40.17	14.44	16.08
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ	PM_{10}	0.86	0.31	0.34

3.7.4.มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (Willingness To Pay)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัย ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปีพ.ศ. 2538 และปีพ.ศ. 2541 มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบนั้นๆ แสดงในตารางที่ 3-23

ตารางที่ 3-23: มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบต่างๆ ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา

ผลกระทบทางสุขภาพ	ค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (ดอลลาร์ สหรัฐ)
ตายก่อนวัยอันควร (2538)	4,735,000
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (2541)	14,000
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ (2541)	12
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ เฉียบพลัน (2541)	9
สูญเสียวันทำงาน (2541)	62
เกิดโรคหอบหืด (2541)	37
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (2541)	220,000
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน (2541)	520
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ (2541)	15,000

ที่มา: [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการประเมินมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายนั้นอ้างอิงจากค่าครองชีพของประเทศนั้นๆ ดังนั้นประเทศสองประเทศที่มีค่าครองชีพไม่เท่ากัน มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของแต่ละประเทศย่อมไม่เท่ากัน เนื่องจากมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายในตารางที่ 3-21 เป็นผลวิจัยที่จัดทำในประเทศสหรัฐอเมริกา ณ ปี พ.ศ. 2538 และปีพ.ศ. 2541 ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนการปรับแปลง**มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ** ให้เทียบเท่ากับประเทศไทย โดยวิธีการปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (Benefit Transfer) และเทียบเท่ากับ ณ ปีพ.ศ. 2559 โดยการปรับค่าเงินเฟ้อ

การปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (Benefit Transfer) สามารถแปลงมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ ของสองประเทศให้มีความเท่าเทียมกันได้สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.20 ดังนี้

$$\text{Damage cost B} = \text{Damage cost A} \times \left(\frac{\text{GDP B}(\text{PPP})}{\text{GDP A}(\text{PPP})} \right) \quad (3.20)$$

โดยที่; Damage cost A คือ มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบในประเทศ A

Damage cost B คือ มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบในประเทศ B

GDP A (PPP) คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ A ต่อจำนวนประชากร ที่มีการปรับกำลังซื้อเป็นดัชนีชี้วัดเศรษฐกิจในประเทศ (Gross Domestic Product per capita : power purchase parity)

GDP B (PPP) คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ B ต่อจำนวนประชากร ที่มีการปรับกำลังซื้อ (Gross Domestic Product per capita : power purchase parity)

ตารางที่ 3-24: ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ สหรัฐอเมริกา และประเทศไทย ณ ปี พ.ศ. 2559

ประเทศสหรัฐอเมริกา (ดอลลาร์ สหรัฐ)	ประเทศไทย (ดอลลาร์ สหรัฐ)
58,624.59	16,706.32

ที่มา: กองทุนการเงินระหว่างประเทศ (IMF)

จากสมการที่ 3.20 และตารางที่ 3-24 จะได้ว่า

$$\text{Damage cost}_{\text{ประเทศไทย}} = \text{Damage cost}_{\text{ประเทศสหรัฐอเมริกา}} \times \left(\frac{16,706.32}{58,634.59} \right)$$

$$\text{Damage cost}_{\text{ประเทศไทย}} = 0.285 \times \text{Damage cost}_{\text{ประเทศสหรัฐอเมริกา}}$$

ดังนั้น **มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ** หลังจากขการปรับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (Benefit Transfer) แล้ว แสดงใน**ตารางที่ 3-25**

ตารางที่ 3-25: มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบต่างๆ ณ ประเทศไทย

ผลกระทบทางสุขภาพ	ค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (ดอลลาร์ สหรัฐ)
ตายก่อนวัยอันควร (2538)	1,349,339.04
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (2541)	3,989.60
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ (2541)	3.42
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ เฉียบพลัน (2541)	2.68
สูญเสียวันทำงาน (2541)	17.67
เกิดโรคหอบหืด (2541)	10.54
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (2541)	62,693.68
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน (2541)	148.19
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ (2541)	4,274.57

มูลค่าของเงินในแต่ละปีมีค่าไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากหลายปัจจัยเป็นไปตามกลไกของเศรษฐกิจ ดังนั้นมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย ณ เวลาที่ได้ทำการสำรวจในงานวิจัย ย่อมไม่เท่ากับมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายที่นำมาประเมินในปัจจุบัน การปรับมูลค่าทั้งสองให้เทียบเท่ากันทำโดยการปรับอัตราเงินเฟ้อใช้หลักการของมูลค่าเงินตามกาลเวลา สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 3.21 ดังนี้

$$FV_t = PV\,(1+i)^t \qquad (3.21)$$

โดยที่; FV_t คือ มูลค่าเงินในอนาคต ณ ปีที่ t

PV คือ มูลค่าเงินในปัจจุบัน

i คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเงิน ต่อปี

t คือ จำนวนปี

จากข้อมูลอัตราเงินเฟ้อของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึงปีพ.ศ. 2559 แสดงใน**ตารางที่ 3-26** และสมการที่ 3.21 จะสามารถคำนวณได้ว่า

- มูลค่าเงิน ณ ปีพ.ศ. 2538 มีมูลค่าเป็น**ร้อยละ 185.94** ของมูลค่าเงิน ณ ปีพ.ศ. 2559
- มูลค่าเงิน ณ ปีพ.ศ. 2541 มีมูลค่าเป็น**ร้อยละ 157.20** ของมูลค่าเงิน ณ ปีพ.ศ. 2559

ตารางที่ 3-26: อัตราการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเงินของประเทศไทยปีพ.ศ. 2538 ถึงพ.ศ. 2559

ปี (พ.ศ.)	อัตราการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเงิน (%)	ปี (พ.ศ.)	อัตราการเปลี่ยนแปลงมูลค่าเงิน (%)
2538	5.79	2549	4.7
2539	5.9	2550	2.3
2540	5.6	2551	5.5
2541	8.07	2552	-0.9
2542	0.31	2553	3.3
2543	1.6	2554	3.81
2544	1.6	2555	3.02
2545	0.7	2556	2.18
2546	1.8	2557	1.89
2547	2.7	2558	-0.9
2548	4.5	2559	0.02

ที่มา: อัตราแลกเปลี่ยนเฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์ในกรุงเทพมหานคร, ธนาคารแห่งประเทศไทย

ดังนั้น มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ ในประเทศไทย ณ ปี พ.ศ. 2559 สามารถคำนวณได้ และแสดงในตารางที่ 3-27

ตารางที่ 3-27: มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบต่างๆ ในประเทศไทย ณ ปี พ.ศ.2559

ผลกระทบทางสุขภาพ	ค่าความเต็มใจที่จะจ่าย (ดอลลาร์ สหรัฐ)
ตายก่อนวัยอันควร	2,508,960.45
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ	6,270.43
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	5.37
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ เฉียบพลัน	4.21
สูญเสียวันทำงาน	27.77
เกิดโรคหอบหืด	16.57
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง	98,535.34
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	232.90
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ	6,718.32

3.7.5.การหาต้นทุนความเสียหาย

การประเมินต้นทุนความเสียหาย จากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น สามารถหาได้จากผลคูณของ จำนวนกรณีที่เกิดขึ้นจากมลพิษ และมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย(WTP) ของค่าความเสียหายจากผลกระทบนั้นๆ

จากข้อมูลจำนวนกรณีที่เกิดขึ้นจากมลพิษ ของทั้งสามโครงการในตารางที่ 3-22 และมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบนั้นๆ หลังจากการแปลงให้เทียบเท่ากับประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559 ในตารางที่ 3-27 ต้นทุนความเสียหายที่เกิดขึ้น จากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรม ของทั้งสามโครงการแสดงในตารางที่ 3-28

ตารางที่ 3-28: ต้นทุนความเสียหายของแต่ละโครงการ

ผลกระทบทางสุขภาพ	บิทูมินัส (ดอลลาร์ สหรัฐ)	ลิกไนต์โค้ก (ดอลลาร์ สหรัฐ)	ถ่านโค้กคุณภาพสูง (ดอลลาร์ สหรัฐ)
ตายก่อนวัยอันควร	1,186,783.73	896,043.52	539,982.08
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ	2,224,230.03	2,039,099.25	1,061,894.21
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	153,058.21	55,029.92	61,248.73
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจเฉียบพลัน	214,099.28	76,976.38	85,675.31
สูญเสียวันทำงาน	273,014.55	98,158.53	109,251.21
เกิดโรคหอบหืด	162,928.04	58,578.48	65,198.30
เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง	1,022,210.19	367,521.26	409,054.03
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	9,356.59	3,364.03	3,744.19
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกับหัวใจ	5,762.46	2,071.81	2,305.94
รวม	5,251,443.08	3,596,843.18	2,338,354.01
รวม (บาท/ปี)	**183,800,508**	**125,889,511**	**81,842,390**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.8. **ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า**

ต้นทุนสินค้าผลิตหรือในที่นี้คือต้นทุนการผลิตไฟฟ้า เท่ากับผลรวมของต้นทุนการผลิตและค่าเผื่อ ในที่นี้ค่าเผื่อประกอบด้วยเพียงต้นทุนความเสียหาย ดังนั้นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเท่ากับผลรวมของต้นทุนการผลิตและต้นทุนความเสียหาย และจากปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวมต่อปี 7,008 ล้านหน่วยต่อปี ต้นทุนการผลิตรวมของแต่ละโครงการแสดงใน**ตารางที่ 3-29**

ตารางที่ 3-29: ต้นทุนการผลิตรวมของแต่ละโครงการ

โครงการ	ต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)	ต้นทุนความเสียหาย (บาท/ปี)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (บาท/ปี)	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
ถ่านหินบิทูมินัส	12,203,930,794	183,800,508	12,387,731,302	1.768
ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	13,640,551,717	125,889,511	13,766,441,228	1.964
ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	15,688,943,741	81,842,390	15,770,786,131	2.250

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จาก**ตารางที่ 3-29** สามารถสรุปได้ว่า ที่ปริมาณการผลิตไฟฟ้าเท่ากันที่ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี หรือเทียบเท่ากับกำลังการผลิตไฟฟ้า 1,000 เมกะวัตต์ โครงการการใช้ถ่านหินบิทูมินัสโดยตรงมีต้นทุนรวมต่อหน่วยต่ำที่สุดที่ 1.77 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า ถัดมาคือโครงการการนำลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนมาผลิตไฟฟ้าโดยมีต้นทุนต่อหน่วยที่ 1.96 บาทต่อหน่วย และโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้ามีต้นทุนต่อหน่วยสูงที่สุดที่ 2.25 บาทต่อหน่วย

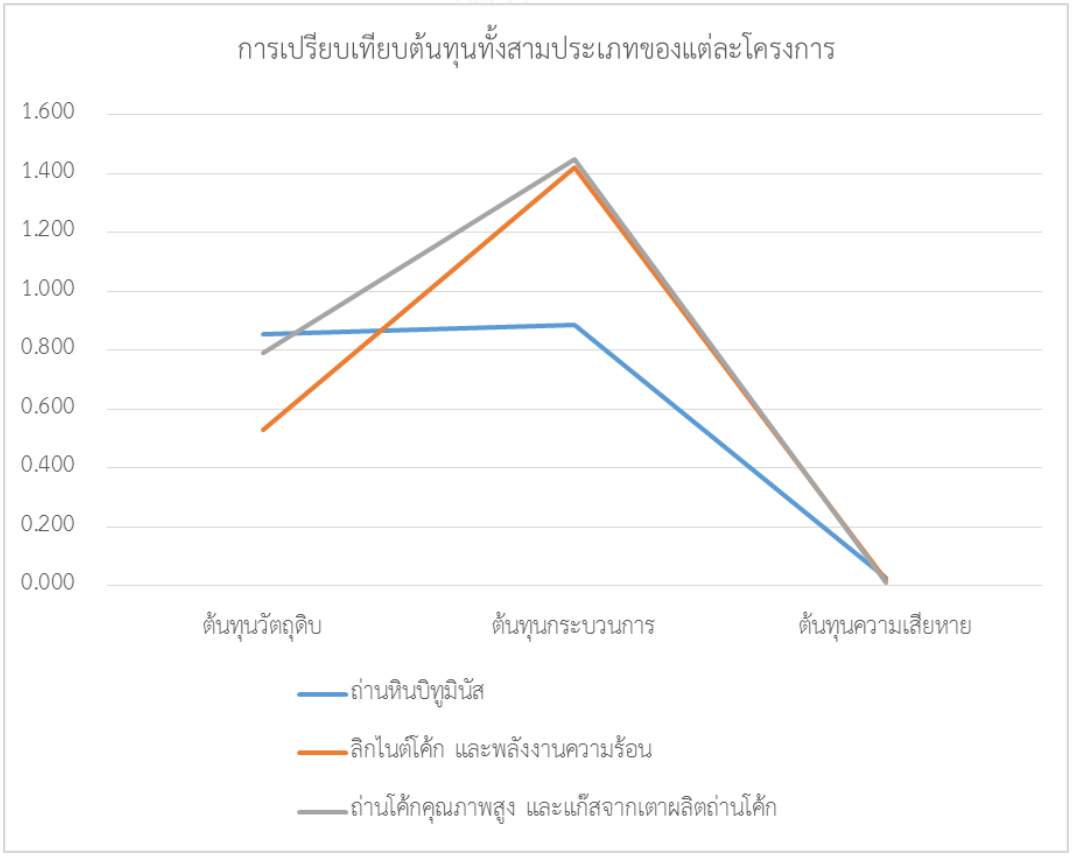
ในมุมมองของต้นทุน สรุปได้ว่าโครงการการใช้ถ่านหินบิทูมินัสโดยตรงนั้นเป็นโครงการที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าตาม**แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579** ที่ความต้องการขนาดโรงไฟฟ้า 1,000 เมกะวัตต์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1. โครงสร้างต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบในตารางที่ 3-8 ต้นทุนกระบวนการในตารางที่ 3-15 และต้นทุนความเสียหายในตารางที่ 3-28 เมื่อนำมาคิดต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิต 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง รูปที่ 4-1แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนทั้งสามประเภทของโครงการทั้งสามดังนี้



รูปที่ 4-1: การเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนกระบวนการและต้นทุนความเสียหายของแต่ละโครงการ

ข้อมูลต้นทุนทั้งสามประเภทสามารถนำมาแสดงในรูปของโครงสร้างต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของโครงการทั้งสามแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1: โครงสร้างต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการ

โครงการ	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ต้นทุนวัตถุดิบ		ต้นทุนกระบวนการ		ต้นทุนความเสียหาย	
		(บาท/หน่วย)	สัดส่วน (%)	(บาท/หน่วย)	สัดส่วน (%)	(บาท/หน่วย)	สัดส่วน (%)
ถ่านหินบิทูมินัส	1.768	0.856	48.42%	0.886	50.10%	0.026	1.48%
ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	1.964	0.527	26.85%	1.419	72.24%	0.018	0.91%
ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	2.250	0.790	35.12%	1.448	64.36%	0.012	0.52%

โครงสร้างต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของต้นทุนแต่ละประเภท ต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนกระบวนการจะเป็นสัดส่วนหลัก โดยแต่ละโครงการมีสัดส่วนที่ไม่เท่ากันดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรง: สัดส่วนของต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนกระบวนการใกล้เคียงกัน โดยเป็นโครงการที่มีต้นทุนวัตถุดิบที่สูงที่สุดที่ 0.856 บาทต่อหน่วย แต่เป็นโครงการที่มีต้นทุนกระบวนการที่ต่ำที่สุดที่ 0.886 บาทต่อหน่วย เนื่องจากวัตถุดิบของโครงการอย่างถ่านหินบิทูมินัสถูกนำไปเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยตรง ไม่ได้ผ่านกระบวนการผลิตถ่านโค้กเหมือนอีกสองโครงการ และยังเป็นโครงการที่มีต้นทุนความเสียหายจากผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมสูงสุด

โครงการการนำลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนมาผลิตไฟฟ้า: ต้นทุนกระบวนการมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 อันเนื่องมาจากต้นทุนกระบวนการของโรงผลิตถ่านโค้ก อีกทั้งยังมีต้นทุนวัตถุดิบที่ต่ำที่สุดในสามโครงการที่ 0.527 บาทต่อหน่วย อันเนื่องมาจากราคาที่ต่ำที่สุดของวัตถุดิบอย่างถ่านหินลิกไนต์

โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า: เป็นโครงการที่มีสัดส่วนต้นทุนกระบวนการสูงถึงร้อยละ 64.36 อันเนื่องมาจากต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานของโรงผลิตถ่านโค้ก และเป็นโครงการที่มีต้นทุนความเสียหายจากผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดในสามโครงการที่ 0.012 บาทต่อหน่วย

4.2. **ปัจจัยที่มีผลต่อโครงการ**

จากการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ารวมของแต่ละโครงการ ผ่านแบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ารวมของแต่ละโครงการ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อโครงการแบ่งได้เป็น 5 ด้านหลักๆ ดังนี้

1. ปริมาณผลิตไฟฟ้าต่อปี (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)
2. ราคาวัตถุดิบ (ถ่านหินบิทูมินัส, ถ่านหินลิกไนต์, ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก) (บาท/ตัน)
3. เชื้อเพลิงหลัก (ถ่านหินบิทูมินัส, ถ่านลิกไนต์โค้ก, ถ่านโค้กคุณภาพสูง)
    3.1. ค่าความร้อนเชื้อเพลิงหลัก (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม)
    3.2. สัดส่วนร้อยละโดยมวลภายในถ่านหิน
        3.2.1.ความชื้น (%)
        3.2.2.เถ้า (%)
        3.2.3.สารระเหยได้ (%)
    3.3. สัดส่วนผลผลิตถ่านโค้กที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (วัตถุดิบ/ผลผลิตหลัก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ต้นทุนการดำเนินงาน
    4.1. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าถ่านหินแบบผันแปร (บาท/ปี)
    4.2. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าถ่านหินแบบคงที่ (บาท/ปี)
    4.3. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าของผลผลิตพลอยได้แบบผันแปร (บาท/ปี)
    4.4. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าของผลผลิตพลอยได้แบบคงที่ (บาท/ปี)
    4.5. ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงผลิตถ่านโค้ก(บาท/ปี)
5. ต้นทุนการลงทุน
    5.1. ต้นทุนการลงทุนโรงไฟฟ้าถ่านหิน (บาท)
    5.2. ต้นทุนการลงทุนโรงไฟฟ้าของผลผลิตพลอยได้ (บาท)
    5.3. ต้นทุนการลงทุนโรงผลิตถ่านโค้ก (บาท)

4.3. **แบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า**

ขั้นตอนคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในบทที่ 3 สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของโครงการทั้งสามโครงการจากสมการและตารางที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 แบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4-2, รูปที่ 4-3, รูปที่ 4-4, รูปที่ 4-5 และรูปที่ 4-6

จากรูปแสดงแบบจำลองหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า ตัวแปรในแบบจำลองหาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ตัวแปรที่มีการขีดเส้นใต้: ข้อมูลในตัวแปรนี้เป็นข้อมูลที่มาจากแหล่งทุติยภูมิ จากสมการหรือตารางในบทที่ 3 เช่น ขนาดโรงไฟฟ้ารวม, ราคาวัตถุดิบ, ต้นทุนการลงทุนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย เป็นต้น
- ตัวแปรปกติ: ข้อมูลในตัวแปรนี้มาจากการคำนวณจากสมการหรือตารางในบทที่ 3 เช่น ปริมาณผลิตไฟฟ้า, ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ถ่านหินบิทูมินัส	ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	อ้างอิงจาก [ที่มา] (สมการ) ตาราง
ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา				
ขนาดโรงไฟฟ้ารวม (เมกะวัตต์)	1,000	1,000	1,000	[1]
ปริมาณผลิตไฟฟ้า (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	7,008	7,008	7,008	(3.1)
วัตถุดิบ	ถ่านหินบิทูมินัส	ถ่านหินลิกไนต์	ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก	
เชื้อเพลิงหลัก		ลิกไนต์โค้ก	ถ่านโค้กคุณภาพสูง	
สัดส่วนธาตุคาร์บอน (%)	39 - 51	74.20	87.65	3-4/3-5/3-6
สัดส่วนสารระเหยได้ (%)	6 - 15	8.20	8.85	
สัดส่วนความชื้น (%)	10 - 22	7.60	2.75	
สัดส่วนเถ้า (%)	25 - 35	10.00	0.75	
สัดส่วนซัลเฟอร์ (%)	0.39	1.6 - 4.0	0.68	
ค่าความร้อนเชื้อเพลิงหลัก (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม)	5,081	6,883	7,769	(3.2)
ประเภทโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	
อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate) โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (กิโลแคลอรี่/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	2,219	2,219	2,219	[31]
ผลผลิตพลอยได้		พลังงานความร้อน	แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	
พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมวัตถุดิบ)		254	711	[17]
ค่าความร้อนผลผลิตพลอยได้ (กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม)	-	1,500	4,756	[12]/[10]
ประเภทโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้		โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	
อัตราการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (กิโลแคลอรี่/กิโลวัตต์ชั่วโมง)		2,421	1,601	[32]

รูปที่ 4-2: แบบจำลองต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (1)

โครงการ	ถ่านหินบิทูมินัส	ลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อน	ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	อ้างอิงจาก [ที่มา] (สมการ) ตาราง
ต้นทุนวัตถุดิบ				
ปริมาณวัตถุดิบ (ล้านตัน/ปี)	3.06	5.43	2.00	(3.4/3.11/3.17)
เชื้อเพลิงหลัก				
สัดส่วนผลผลิตเชื้อเพลิงหลักที่ได้ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงหลัก/กิโลกรัมวัตถุดิบ)	-	0.25	0.70	[12]/[10]
ปริมาณเชื้อเพลิงหลักที่ผลิตได้ (ล้านตัน/ปี)	3.06	1.36	1.40	(-/3.6/3.12)
ปริมาณผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	7,008	4,212	4,903	(3.3/3.8/3.14)
ขนาดโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (เมกะวัตต์)	1,000	610	700	(3.5)
ผลผลิตพลอยได้				
สัดส่วนผลผลิตพลอยได้ที่ได้		1500 กิโลแคลอรี่ / 1 กิโลกรัม ถ่านหินลิกไนต์	0.354 ลูกบาศก์เมตร/ 1 กิโลกรัม ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก	[12]/[10]
ปริมาณผลผลิตพลอยได้ที่ผลิตได้ต่อปี	-	8.15 ล้านล้านกิโลแคลอรี่	708 ล้านลูกบาศก์เมตร	(-/3.7/3.13)
ปริมาณผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)		2,796	2,105	(-/3.9/3.15)
ขนาดโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (เมกะวัตต์)		400	310	(3.5)
ราคาวัตถุดิบ (บาท/ตัน)	1,870	680	2,769	3-7
ต้นทุนวัถุดิบ (ล้านบาท/ปี)	5,998	3,696	5,539	3-8
ต้นทุนวัถุดิบ (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	**0.856**	**0.527**	**0.790**	**4-1**

รูปที่ 4-3: แบบจำลองต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (2)

โครงการ	ถ่านหินบิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	ถ่านโค้ก คุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	อ้างอิงจาก [ที่มา] (สมการ) ตาราง
ต้นทุนกระบวนการ				
ต้นทุนการลงทุน				
มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์)	3,246	3,246	3,246	[31]
มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (ล้านบาท)	113,610	69,302	79,527	3-10
มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้เฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์)	-	1,077	956	[32]
มูลค่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (ล้านบาท)		15,078	10,373	3-10
กำลังการผลิตของโรงผลิตถ่านโค้ก (ตัน/ปี)		830,000	830,000	[30]
จำนวนโรงผลิตถ่านโค้กที่ต้องใช้ (โรง)		2	2	
มูลค่าการก่อสร้างโรงผลิตถ่านโค้ก (ล้านบาท/โรง)		18,347	18,347	3-9
อายุโครงการ (ปี)	30	30	30	
ต้นทุนการลงทุน (ล้านบาท/ปี)	3,787	3,424	3,608	3-10
ต้นทุนการดำเนินงาน				
ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าแบบคงที่				
โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์/ปี)	37.80	37.80	37.80	[31]
โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (ล้านบาท/ปี)	1,323	807	926	3-11
โรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้เฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์/ปี)	-	17.12	10.76	[32]
โรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (ล้านบาท/ปี)		240	117	3-11
ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าแบบผันแปร				
โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/เมกะวัตต์ชั่วโมง)	4.47	4.47	4.47	[31]
โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก (ล้านบาท/ปี)	1,096	659	767	3-12
โรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้เฉลี่ย (ดอลลาร์สหรัฐ/เมกะวัตต์ชั่วโมง)	-	3.42	3.42	[32]
โรงไฟฟ้าผลผลิตพลอยได้ (ล้านบาท/ปี)		335	252	3-12
ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโรงผลิตถ่านโค้ก (ล้านบาท/ปี/โรง)		2,240	2,240	[30] , 3-13
ต้นทุนการดำเนินงาน (ล้านบาท/ปี)	2,419	6,520	6,542	3-14
ต้นทุนกระบวนการ (ล้านบาท/ปี)	6,206	9,945	10,150	3-15
ต้นทุนกระบวนการ (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	**0.886**	**1.419**	**1.448**	**4-1**

รูปที่ 4-4: แบบจำลองต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (3)

โครงการ	ถ่านหินบิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	อ้างอิงจาก [ที่มา] (สมการ) ตาราง
ต้นทุนความเสียหาย				
กรณีศึกษา	โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จังหวัดระยอง			
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ล้านกิโลกรัม/ปี)	5,116			(3.4)
ปริมาณ PM10 ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ (ไมโครเมตร/ลูกบาศก์เมตร/ปี)	35.96			[27]
ปริมาณ SO2 ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ (ไมโครเมตร/ลูกบาศก์เมตร/ปี)	7.07			
ข้อมูลโครงการ				
อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัมเชื้อเพลิงหลัก/กิโลกรัมเชื้อเพลิงในกรณีศึกษา)	0.60	0.27	0.27	3-18
อัตราส่วนสัดส่วนของเถ้า (สัดส่วนเถ้าของเชื้อเพลิงหลัก/สัดส่วนเถ้าของเชื้อเพลิงในกรณีศึกษา)	1.00	0.81	0.87	3-19
อัตราส่วนสัดส่วนของซัลเฟอร์ (สัดส่วนเถ้าของเชื้อเพลิงหลัก/สัดส่วนเถ้าของเชื้อเพลิงในกรณีศึกษา)	1.00	7.18	1.73	
ปริมาณ PM10 ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ปี)	21.51	7.74	8.61	(3.18)
ปริมาณ SO2 ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร/ปี)	4.23	13.47	3.35	

รูปที่ 4-5: แบบจำลองต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ถ่านหินบิทูมินัส	ลิกไนต์โค้ก และพลังงานความร้อน	ถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก	อ้างอิงจาก [ที่มา] (สมการ) ตาราง
ต้นทุนความเสียหาย (ต่อ)				
จำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบ (คน)	7,879			3-3
ค่าคงที่ของผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษ (exposure response coefficient)	ตารางที่ 3-21			[6]
จำนวนกรณีที่เกิดผลกระทบจากมลพิษของแต่ละโครงการ (กรณี/ปี)	ตารางที่ 3-22			(3.19)
มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ	ตารางที่ 3-23			[6]
การปรับมูลค่าให้เทียบเท่ากันสองประเทศ				
ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศไทยต่อจำนวนประชากรที่มีการปรับกำลังซื้อ (ดอลลาร์สหรัฐ)	16,706			3-24
ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศสหรัฐอเมริกาต่อจำนวนประชากรที่มีการปรับกำลังซื้อ (ดอลลาร์สหรัฐ)	58,625			
มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ หลังการปรับมูลค่า	ตารางที่ 3-25			(3.20)
การปรับมูลค่าให้เทียบเท่ากัน ณ เวลาปัจจุบัน				
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าเงิน	ตารางที่ 3-26			
มูลค่าความเต็มที่จะจ่ายของค่าความเสียหายจากผลกระทบ หลังการปรับมูลค่า	ตารางที่ 3-27			(3.21)
ต้นทุนความเสียหาย (ล้านบาท/ปี)	184	126	82	3-28
ต้นทุนความเสียหาย (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.026	0.018	0.012	4-1
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	**1.768**	**1.964**	**2.250**	**4-1**

รูปที่ 4-6: แบบจำลองต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (5)

4.4. **การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า**

คุณสมบัติหลักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าอ้างอิงจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2558 – 2579 ทั้งสามข้อได้แก่ ความมั่นคงทางพลังงาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยความมั่นคงทางพลังงานจัดเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญที่สุด และจากผลการวิเคราะห์แบบจำลองต้นทุน พบว่าแต่ละโครงการมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไป ไม่มีโครงการใดที่สามารถตอบโจทย์คุณสมบัติทั้งสามข้อได้อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ

1. การนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง: เป็นโครงการที่มีความมั่นคงทางพลังงาน กล่าวคือ ตลาดถ่านหินบิทูมินัสมีปริมาณที่เพียงพอ สามารถรองรับการใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ และมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยเป็นโครงการที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมต่ำที่สุดที่ 1.768 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า แต่พบว่าเป็นโครงการที่มีผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด
2. โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า: เป็นโครงการที่มีความมั่นคงทางพลังงาน คือตลาดถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสามารถรองรับการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ และมีปริมาณสำรองที่เพียงพอ อีกทั้งยังเป็นโครงการที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด นั่นคือมีผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด แต่เป็นโครงการที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุด โดยสูงกว่าการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าถึง 48 สตางค์ต่อหน่วย เทียบเท่ากับจะมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 3,377 ล้านบาทต่อปี
3. โครงการการนำลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนมาผลิตไฟฟ้า: ผลการเปรียบเทียบต้นทุนในด้านต่างๆ พบว่าอยู่กึ่งกลางระหว่างสองโครงการข้างต้น นั่นคือในด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิตไฟฟ้า แต่ในมุมมองด้านความมั่นคงทางพลังงานพบว่า ยังไม่มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ่านหินลิกไนต์ในประเทศไทยมาผ่านกระบวนการผลิตลิกไนต์โค้กจริง ส่งผลให้โครงการนี้ยังต้องพึ่งพาการนำเข้าถ่านหินลิกไนต์จากต่างประเทศ อีกทั้งถ่านหินลิกไนต์ประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตลิกไนต์โค้กมีปริมาณและแหล่งที่มาจำกัด ทำให้โครงการนี้ขาดความมั่นคงทางพลังงานซึ่งจัดเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสถานการณ์ต่อต้านโรงไฟฟ้าถ่านหินส่งผลให้โครงการโรงไฟฟ้ากระบี่ไม่สามารถดำเนินการต่อได้ ทำให้คุณสมบัติด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกลายเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญรองจากความมั่นคงทางพลังงาน การเลือกโครงการที่มีคุณสมบัติด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดอย่างโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้านอกจากจะเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศไทยแล้วยังสามารถเป็นส่วนช่วยลดแรงเสียดทานทางสังคมลงจากปัจจุบันได้

เนื่องจากโครงการนี้มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุด งานวิจัยฉบับนี้จึงเลือกวิเคราะห์สถานการณ์ที่ทำให้โครงการนี้มีคุณสมบัติทั้งสามด้านครบถ้วน กล่าวคือสถานการณ์ที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าในปัจจุบัน

4.5. **อนาคตของตลาดถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก**

ข้อมูลรายไตรมาสระหว่างปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559 แสดงในตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2: ข้อมูลรายไตรมาสระหว่างปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559 (1)

ไตรมาส ปี	ปริมาณส่งออก ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ล้านตัน)	ราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน)
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2553	9.076	76.25
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2553	10.061	69.31
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2553	10.153	68.36
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2553	9.447	80.51
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2554	10.314	85.65
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2554	12.730	92.95
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2554	13.516	94.83
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2554	14.518	95.47
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2555	14.389	97.48

ที่มา: [36]

ตารางที่ 4-3: ข้อมูลรายไตรมาสระหว่างปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง *ปีพ.ศ. 2559 (2)*

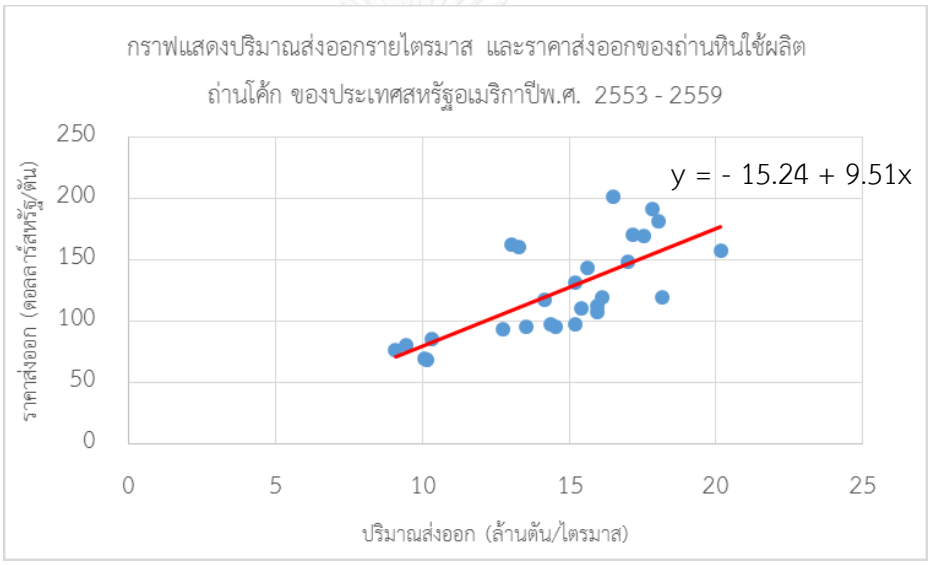
ไตรมาส ปี	ปริมาณส่งออก ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ล้านตัน)	ราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน)
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2555	15.200	97.26
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2555	15.963	107.06
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2555	15.421	110.67
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2556	15.938	111.92
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2556	16.142	119.23
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2556	18.178	119.40
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2556	15.199	131.09
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2557	16.983	148.01
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2557	20.168	157.16
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2557	17.526	168.96
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2557	18.036	181.41
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2558	16.483	201.59
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2558	17.848	191.24
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2558	17.165	170.36
ไตรมาสที่ 4 ปีพ.ศ. 2558	13.277	160.63
ไตรมาสที่ 1 ปีพ.ศ. 2559	13.046	162.54
ไตรมาสที่ 2 ปีพ.ศ. 2559	15.612	143.73
ไตรมาสที่ 3 ปีพ.ศ. 2559	14.178	117.36

ที่มา: [36]

จากข้อมูลรายไตรมาสระหว่างปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559 ในตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis) พบว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงมีสมการดังนี้

ราคาส่งออกถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก = - 15.24 + 9.51 (ปริมาณส่งออกถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก)

ข้อมูลปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสามารถเขียนได้ในรูปกราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 4-7

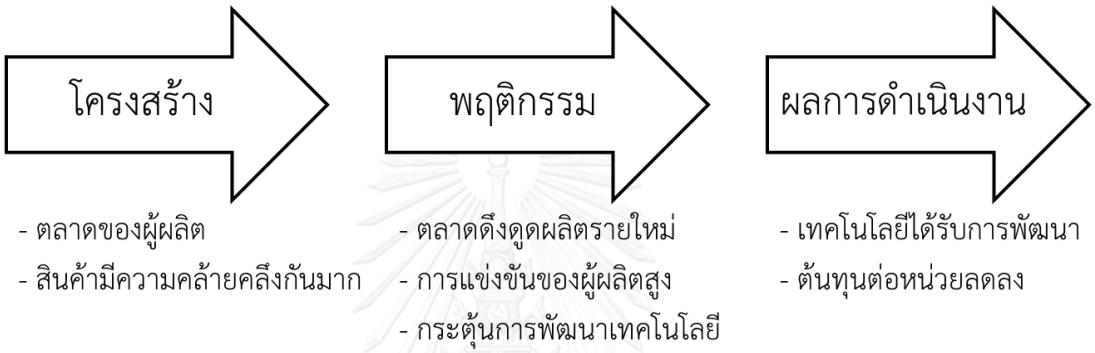


รูปที่ 4-7: กราฟแสดงปริมาณส่งออกรายไตรมาสและราคาส่งออกของถ่านหินที่ใช้ผลิตถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกา [36]

กราฟแสดงข้อมูลรายไตรมาสระหว่างปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559 ในรูปที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่าปริมาณส่งออกรายไตรมาสของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กมีแนวโน้มตามราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก กล่าวคือเมื่อปริมาณส่งออกรายไตรมาสมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ราคาของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสูงขึ้นด้วย

ภายใต้สมมติฐานที่ว่าประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นตัวแทนพฤติกรรมของผู้ผลิตและผู้บริโภคทั่วโลก และจากแนวโน้มความสัมพันธ์ของราคาส่งออกและปริมาณส่งออกของประเทศสหรัฐอเมริกาใน **รูปที่ 4-7** จึงสามารถอนุมานได้ว่า ตลาดโลกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กนั้นเป็นตลาดของผู้ผลิต

แนวโน้มตลาดโลกของผู้ผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กสามารถอธิบายในรูปของแผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาด (Structure-Conduct-Performance Paradigm: SCP) แสดงใน**รูปที่ 4-8**



รูปที่ 4-8: แผนภาพโครงสร้าง-พฤติกรรม-ผลการดำเนินงานของตลาดของผู้ผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

โครงสร้าง (Structure): **โครงสร้างตลาดโลกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเป็นแบบตลาดของผู้ผลิต นั่นคือผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดกลไกตลาด โดยสินค้าในตลาดนั่นคือถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจากผู้ผลิตแต่ละรายนั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเพียงส่วนประกอบภายในถ่านหิน ส่งผลให้เกิดการแบ่งเป็นถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กประเภทต่างๆ เช่น ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแบบแข็ง ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่มีสัดส่วนสารระเหยได้ต่ำ เป็นต้น**

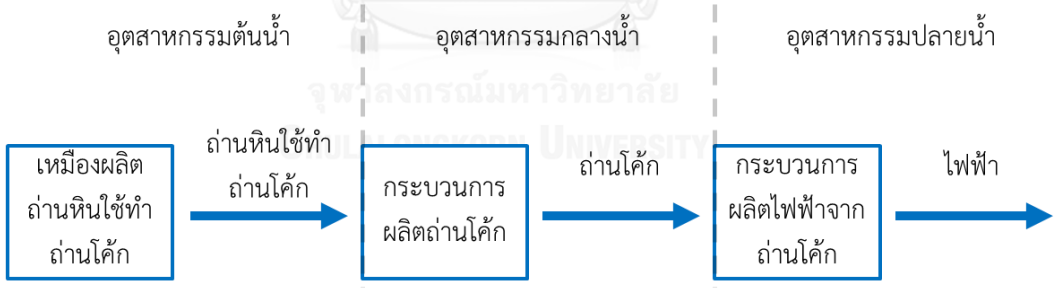
พฤติกรรม (Conduct): จากโครงสร้างแบบตลาดของผู้ผลิต ทำให้เกิดความดึงดูดต่อผู้ผลิตรายใหม่เข้าสู่ตลาดจึงทำให้พฤติกรรมของผู้ผลิตในตลาดมีการแข่งขันระหว่างกันสูง ในตลาดที่มีการแข่งขันสูงก่อให้เกิดการกระตุ้นการพัฒนาเทคโนโลยีตลอดเวลาเพื่อให้ทัดเทียมหรือเหนือกว่าคู่แข่งในตลาด

ผลการดำเนินงาน (Performance): จากพฤติกรรมของผู้ผลิตในตลาดที่ดึงดูดผู้ผลิตรายใหม่ มีการแข่งขันสูง และมีการกระตุ้นการพัฒนาเทคโนโลยี ส่งผลให้เทคโนโลยีการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กได้รับการพัฒนา เป็นผลให้ต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กย่อมลดลงตามไปด้วย

เนื่องจากถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเป็นวัตุดิบเริ่มต้นของกระบวนการหลายๆกระบวนการ อุตสาหกรรมการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจึงจัดเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำของอุตสาหกรรมอื่นๆ มากมาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านโค้ก เช่น อุตสาหกรรมถลุงเหล็ก อุตสาหกรรมการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น อุตสาหกรรมของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กในงานวิจัยฉบับนี้มีดังนี้

1. อุตสาหกรรมต้นน้ำ: เป็นอุตสาหกรรมการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก จากเหมืองผลิตถ่านโค้ก
2. อุตสาหกรรมกลางน้ำ: เป็นอุตสาหกรรมการผลิตถ่านโค้ก โดยนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ได้จากอุตสาหกรรมต้นน้ำผ่านกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ได้มาซึ่งผลผลิตคือถ่านโค้ก
3. อุตสาหกรรมปลายน้ำ: เป็นอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า โดยการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงที่ได้จากอุตสาหกรรมกลางน้ำผ่านกระบวนการผลิตไฟฟ้า ผลผลิตสุดท้ายที่ได้คือไฟฟ้า

แผนผังอุตสาหกรรมถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแสดงในรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9: กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านโค้ก

ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการลดลงของต้นทุนต่อหน่วยของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กก่อให้เกิดผลกระทบต่ออุตสาหกรรมปลายน้ำอย่างโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ตามแนวความคิด คุณภาพ, ต้นทุน, การส่งมอบ (Quality, Cost, Delivery: QCD) ดังนี้

1. คุณภาพ (Quality): การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก จัดเป็นการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำอย่างถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการดำเนินงานของอุตสาหกรรมปลายน้ำอย่างอุตสาหกรรมการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงลดลง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านโค้กย่อมลดลงตามไปด้วย

2. ต้นทุน (Cost): การลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ทำให้อุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเป็นวัตถุดิบอย่าง โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงมาผลิตไฟฟ้ามีต้นทุนที่ลดลงตามไปด้วย

3. การส่งมอบ (Delivery): จากพฤติกรรมตลาดที่มีการดึงดูดผู้ผลิตรายใหม่ และมีการแข่งขันกันระหว่างผู้ผลิตสูง ก่อให้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรม และเมื่อเกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ความสามารถในการส่งมอบวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมปลายน้ำอย่างโครงการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงมาผลิตไฟฟ้าทั้งในด้านปริมาณและเวลาตามกำหนดย่อมได้รับการพัฒนามากขึ้น และพบว่าการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าจากถ่านโค้กไม่ได้ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6. **อนาคตโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า**

ในประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยนั้น เกณฑ์หลักที่ใช้ในการเลือกโครงการเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้านั้นคือต้นทุนในการผลิต ซึ่งจากข้อมูลต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยในปัจจุบันของแต่ละโครงการในตารางที่ 3-29 พบว่า โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้ายังมีต้นทุนต่อหน่วยที่สูงกว่าโครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงอยู่ที่ 48 สตางค์ต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า

เพียงแต่เมื่อพิจารณาจากสถานการณ์ในปัจจุบัน จะพบว่าถึงแม้โครงการที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดและมีความเหมาะสมที่สุดในเรื่องของการลดสัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินจังหวัดกระบี่ กลับได้รับกระแสต่อต้านเป็นอย่างมากจนทำให้โครงการต้องล่าช้าออกไปหรืออาจไม่ได้รับการอนุมัติ อันเนื่องมาจากเหตุผลด้านเดียว นั่นคือด้านสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาในมุมมองด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละโครงการในตารางที่ 3-20 จะพบว่าโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าเป็นโครงการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ต่ำที่สุด

ดังนั้นภายใต้สถานการณ์ที่ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าลดลงเท่ากับหรือน้อยกว่าโครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง จะทำให้โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าสามารถแทนที่โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้อย่างสมบูรณ์

อ้างอิงจากผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากแนวโน้มตลาดวัตถุดิบของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊ส จากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าที่ได้กล่าวไปข้างต้น สถานการณ์นั้นได้แก่

1. การเพิ่มขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก
2. การลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง อันเนื่องมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก
3. การลดลงของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

สถานการณ์ทั้งสามถูกนำมาวิเคราะห์ความไว เพื่อหาจุดที่สามารถทำให้โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าสามารถแทนที่โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้อย่างสมบูรณ์ แสดงในหัวข้อถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7. การวิเคราะห์ความไวของขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า

การเพิ่มขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า นั่นคือการเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านั้นๆต่อปี เนื่องจากปริมาณการผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรในสมการต้นๆ ของแบบจำลองต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลิตไฟฟ้าส่งผลให้ตัวแปรอื่นๆ ในสมการต่อมาเปลี่ยนแปลง อันเป็นผลให้ต้นทุนต่อหน่วยเปลี่ยนไป

การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ จากการเปลี่ยนแปลงของขนาดโรงไฟฟ้า อันเป็นผลสุดท้ายให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเปลี่ยนแปลงแสดงในตารางที่ 4-4

และความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนแปลงของขนาดโรงไฟฟ้าและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสามารถนำมาเขียนในรูปของกราฟความสัมพันธ์สองตัวแปร โดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย และแกนนอนเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4-10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-4 : การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ต่อการเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้า

ร้อยละการเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้า (%)	**-75%**	**-50%**	**-25%**	**0%**	**100%**	**200%**	**300%**	**400%**	**500%**	**600%**	**700%**	**800%**	**900%**	**1000%**
ขนาดโรงไฟฟ้ารวมที่ต้องการ (เมกะวัตต์)	250	500	750	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000
ปริมาณผลิตไฟฟ้า (ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	1,752	3,504	5,256	7,008	14,016	21,024	28,032	35,040	42,048	49,056	56,064	63,072	70,080	77,088
ปริมาณถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ล้านตัน/ปี)	0.500	1.000	1.500	2.001	4.001	6.002	8.003	10.003	12.004	14.005	16.005	18.006	20.007	22.007
ต้นทุนวัถุดิบ (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790	0.790
ต้นทุนการดำเนินงานโรงผลิตถ่านโค้ก (พันล้านบาท/ปี)	2.240	2.240	4.480	4.480	8.960	13.440	15.680	20.160	24.640	26.880	31.360	35.840	38.080	42.560
ต้นทุนเงินลงทุนของโรงโรงผลิตถ่านโค้ก (พันล้านบาท/ปี)	0.306	0.306	0.612	0.612	1.223	1.835	2.140	2.752	3.364	3.669	4.281	4.893	5.198	5.810
ปริมาณถ่านโค้กที่ผลิตได้ (ล้านตัน/ปี)	0.350	0.700	1.050	1.400	2.801	4.201	5.602	7.002	8.403	9.803	11.204	12.604	14.005	15.405
ปริมาณผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน(ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	1,226	2,452	3,677	4,903	9,806	14,709	19,613	24,516	29,419	34,322	39,225	44,128	49,031	53,934
ขนาดโรงไฟฟ้าถ่านหิน(เมกะวัตต์)	180	350	530	700	1,400	2,100	2,800	3,500	4,200	4,900	5,600	6,300	7,000	7,700
ต้นทุนการดำเนินงานโรงไฟฟ้าถ่านหิน (พันล้านบาท/ปี)	0.430	0.847	1.277	1.693	3.386	5.080	6.773	8.466	10.159	11.852	13.546	15.239	16.932	18.625
ต้นทุนเงินลงทุนของโรงไฟฟ้าถ่านหิน (พันล้านบาท/ปี)	0.682	1.325	2.007	2.651	5.302	7.953	10.604	13.255	15.905	18.556	21.207	23.858	26.509	29.160
ปริมาณCOGที่ผลิตได้ (ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)	0.177	0.354	0.531	0.709	1.417	2.126	2.835	3.543	4.252	4.960	5.669	6.378	7.086	7.795
ปริมาณผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม(ล้าน กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)	526	1,052	1,579	2,105	4,210	6,315	8,419	10,524	12,629	14,734	16,839	18,944	21,049	23,154
ขนาดโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม(เมกะวัตต์)	80	160	230	310	610	910	1,210	1,510	1,810	2,110	2,410	2,710	3,010	3,310
ต้นทุนการดำเนินงานโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (พันล้านบาท/ปี)	0.093	0.186	0.276	0.369	0.734	1.099	1.463	1.828	2.193	2.558	2.923	3.288	3.653	4.018
ต้นทุนเงินลงทุนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (พันล้านบาท/ปี)	0.089	0.178	0.257	0.346	0.680	1.015	1.350	1.684	2.019	2.353	2.688	3.023	3.357	3.692
ต้นทุนกระบวนการผลิตไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	2.192	1.450	1.695	1.448	1.447	1.447	1.356	1.374	1.386	1.343	1.356	1.366	1.337	1.347
ต้นทุนความเสียหาย(บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	**2.994**	**2.253**	**2.497**	**2.250**	**2.249**	**2.249**	**2.158**	**2.176**	**2.188**	**2.145**	**2.158**	**2.168**	**2.139**	**2.149**

รูปที่ 4-10: การวิเคราะห์ความไวของขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ความไวของขนาดโรงไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 4-10 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย พบว่าการลดลงของขนาดโรงไฟฟ้าส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสูงขึ้น เช่น เมื่อลดขนาดโรงไฟฟ้าลงร้อยละ 75 หรือเท่ากับโรงไฟฟ้าขนาด 250 เมกะวัตต์ จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 2.99 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้ากลับไม่ได้ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยลดลงได้มาก โดยพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากการเพิ่มขึ้นของขนาดของโรงไฟฟ้าเกินร้อยละ 250 มีแนวโน้มคงที่โดยจะไม่ต่ำกว่า 2.13 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า โดยในช่วงของการเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้าไม่เกินร้อยละ 1000 พบว่า ที่การเพิ่มขึ้นร้อยละ 900 หรือโรงไฟฟ้าขนาด 10,000 เมกะวัตต์ จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมีค่าต่ำที่สุดที่ 2.14 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดโรงไฟฟ้าสำหรับโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า ไม่สามารถทำให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.8. **การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง**

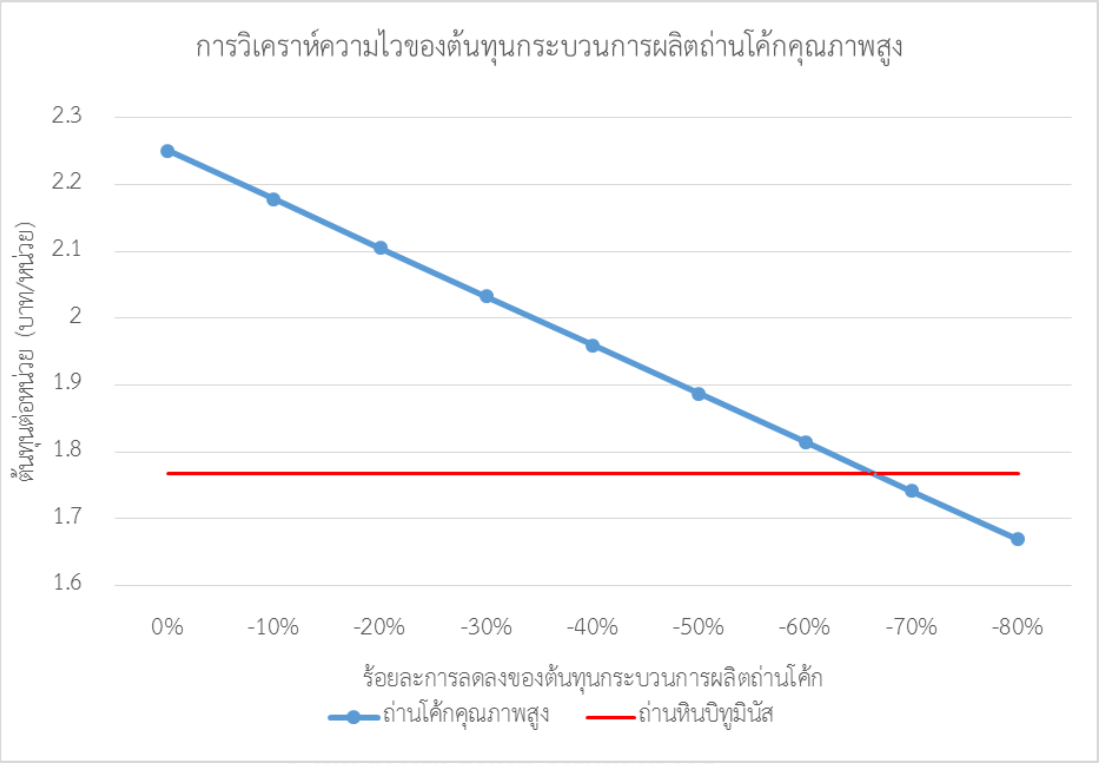
การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงทำโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจากการเปลี่ยนแปลงต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก โดยต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงนั้นอยู่ภายในต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง การลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงย่อมส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการลดลง แต่ในทางกลับกัน การเพิ่มขึ้นของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการเพิ่มยิ่งขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ความไวต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง จึงเลือกวิเคราะห์เฉพาะด้านการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง ผลการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5: ผลการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง

ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (%)	ต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (บาท/หน่วย)	ต้นทุนกระบวนการ (บาท/หน่วย)	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
0%	0.727	1.448	2.250
-10%	0.654	1.376	2.178
-20%	0.581	1.303	2.105
-30%	0.509	1.230	2.032
-40%	0.436	1.158	1.960
-50%	0.363	1.085	1.887
-60%	0.291	1.012	1.814
-70%	0.218	0.940	1.742
-80%	0.145	0.867	1.669

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า สามารถนำมาเขียนในรูปของกราฟความสัมพันธ์สองตัวแปร โดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย และแกนนอนเป็นร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก แสดงในรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11: การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูง

จากการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงในรูปที่ 4-11 เมื่อนำร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis) พบว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงโดยมีสมการดังนี้

ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย = 2.250 - 0.7265 (ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก)

ภายใต้สถานการณ์ที่ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินบิทูมินัสโดยตรงคงที่ ที่ 1.768 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า พบว่าต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กจะต้องลดต่ำลงไม่น้อยกว่าเท่ากับร้อยละ

= (1.768 – 2.250)/ (-0.7265) = 66.39

ดังนั้นราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กต้องลดลงจากปัจจุบันร้อยละ 66.39 เป็นต้นไป โครงการการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าจึงจะสามารถแทนที่การนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้ ซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ต่ำที่ต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กจะลดลงในปริมาณนี้ ในอนาคตอันใกล้

4.9. **การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก**

การวิเคราะห์ความไวของของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กทำโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจากการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก โดยต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กนั้นอยู่ภายในต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง การลดลงของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กย่อมส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการลดลง แต่ในทางกลับกัน การเพิ่มขึ้นของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการเพิ่มยิ่งขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก จึงเลือกวิเคราะห์เฉพาะด้านการลดลงของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ผลการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแสดงในตารางที่ 4-6

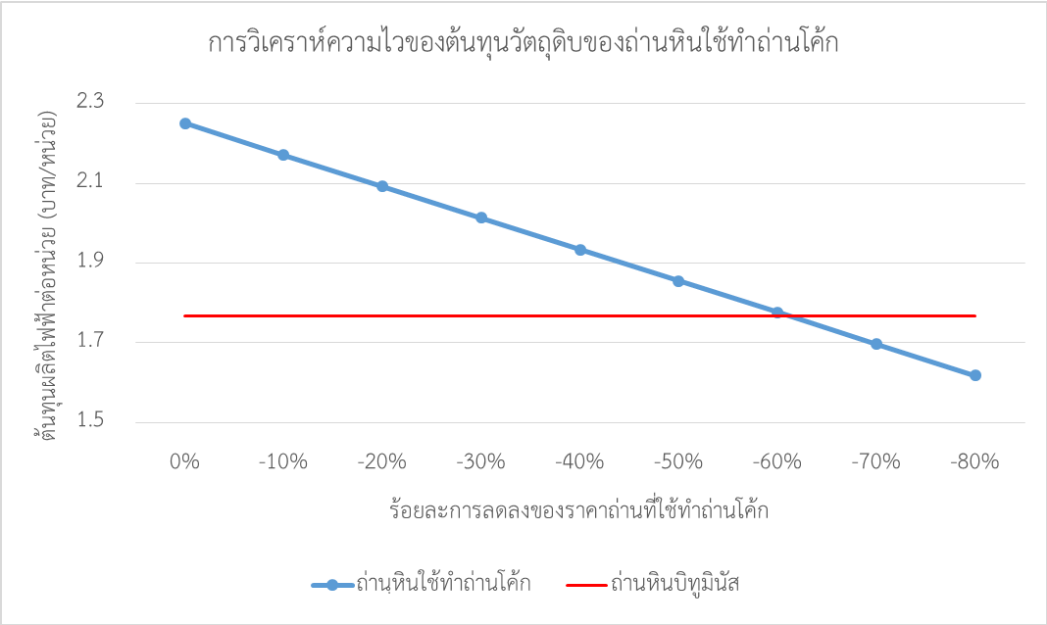
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-6: ผลการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (%)	ราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (ดอลลาร์สหรัฐ/ตัน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/หน่วย)	ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
0%	79.1	0.790	2.250
-10%	71.19	0.711	2.171
-20%	63.28	0.632	2.092
-30%	55.37	0.553	2.013
-40%	47.46	0.474	1.934
-50%	39.55	0.395	1.855
-60%	31.64	0.316	1.776
-70%	23.73	0.237	1.697
-80%	15.82	0.158	1.618

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าสามารถนำมาเขียนในรูปของกราฟความสัมพันธ์สองตัวแปร โดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย และแกนนอนเป็นร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแสดงในรูปที่ 4-12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-12: การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

จากการวิเคราะห์ความไวของการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กในรูปที่ 4-12 เมื่อนำร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis) พบว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงโดยมีสมการดังนี้

ต้นทุนผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย = 2.250 - 0.790 (ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก)

ภายใต้สถานการณ์ที่ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินบิทูมินัสโดยตรงคงที่ ที่ 1.768 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า จากการทำการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนวัตถุดิบของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแสดงในรูปที่ 4-12 พบว่าราคาของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กจะต้องลดลงไม่ต่ำกว่าร้อยละ

= (1.768 – 2.250) / (-0.790) = 61.03

หรือเท่ากับ = (1 – 61.03/100) x 79.10 = 30.83 ดอลลาร์สหรัฐ

ดังนั้นราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กต้องลดลงจากปัจจุบันร้อยละ 61.03 เป็นต้นไป หรือราคาไม่เกิน 30.83 ดอลลาร์สหรัฐ จากราคาในปัจจุบันที่ 79.10 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน จึงจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรง

จากข้อมูลสถิติราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปี พ.ศ. 2559 พบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ต่ำที่สุดคือร้อยละ 45.16 และราคาที่ต่ำที่สุดที่เคยมีมาคือ 68.36 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน ดังนั้นการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ร้อยละ 61.03 หรือเท่ากับ 30.83 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน จึงมีความเป็นไปได้ต่ำที่จะเกิดขึ้น

4.10. การวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

4.10.1. การวิเคราะห์ความไว

จากการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแบบแยกอิสระต่อกัน พบว่าทั้งสองกรณียังมีโอกาสความเป็นไปได้ต่ำ อีกทั้งโครงสร้างตลาดถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กพร้อมๆกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กพร้อมกัน

ภายใต้สมมติฐานเดิมที่ว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรงคงที่ที่ 1.768 บาทต่อหน่วย ผลการวิเคราะห์ความไวของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กควบคู่กับราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ที่ทำให้โครงการการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าจึงจะสามารถแทนที่การนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้ในตารางที่ 4-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-7: ผลการวิเคราะห์ความไวของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

ต้นทุนการผลิต (บาท/หน่วย)		ร้อยละการลดลงต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก														
		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก	0%	2.250	2.214	2.178	2.141	2.105	2.069	2.032	1.996	1.960	1.923	1.887	1.851	1.814	1.778	1.742
	5%	2.211	2.175	2.138	2.102	2.066	2.029	1.993	1.957	1.920	1.884	1.848	1.811	1.775	1.739	1.702
	10%	2.171	2.135	2.099	2.062	2.026	1.990	1.953	1.917	1.881	1.844	1.808	1.772	1.735	1.699	1.663
	15%	2.132	2.096	2.059	2.023	1.987	1.950	1.914	1.878	1.841	1.805	1.769	1.732	1.696	1.660	1.623
	20%	2.092	2.056	2.020	1.983	1.947	1.911	1.874	1.838	1.802	1.765	1.729	1.693	1.656	1.620	1.584
	25%	2.053	2.016	1.980	1.944	1.907	1.871	1.835	1.799	1.762	1.726	1.690	1.653	1.617	1.581	1.544
	30%	2.013	1.977	1.941	1.904	1.868	1.832	1.795	1.759	1.723	1.686	1.650	1.614	1.577	1.541	1.505
	35%	1.974	1.937	1.901	1.865	1.828	1.792	1.756	1.719	1.683	1.647	1.611	1.574	1.538	1.502	1.465
	40%	1.934	1.898	1.862	1.825	1.789	1.753	1.716	1.680	1.644	1.607	1.571	1.535	1.498	1.462	1.426
	45%	1.895	1.858	1.822	1.786	1.749	1.713	1.677	1.640	1.604	1.568	1.531	1.495	1.459	1.422	1.386
	50%	1.855	1.819	1.783	1.746	1.710	1.674	1.637	1.601	1.565	1.528	1.492	1.456	1.419	1.383	1.347
	55%	1.816	1.779	1.743	1.707	1.670	1.634	1.598	1.561	1.525	1.489	1.452	1.416	1.380	1.343	1.307
	60%	1.776	1.740	1.704	1.667	1.631	1.595	1.558	1.522	1.486	1.449	1.413	1.377	1.340	1.304	1.268
	65%	1.737	1.700	1.664	1.628	1.591	1.555	1.519	1.482	1.446	1.410	1.373	1.337	1.301	1.264	1.228
	70%	1.697	1.661	1.624	1.588	1.552	1.516	1.479	1.443	1.407	1.370	1.334	1.298	1.261	1.225	1.189

จากตารางที่ 4-7 พื้นที่สีแดงมีความหมายว่า ที่การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กใดๆ (แกนนอน,แกนตั้ง) บนพื้นที่สีแดง ส่งผลให้ราคาต้นทุนต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าของโครงการฯยังคงมีค่าสูงกว่า 1.768 บาทต่อหน่วย หรือสามารถกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสองปัจจัยภายในพื้นที่สีแดงยังไม่เพียงพอที่จะทำให้โครงการสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ เช่น ณ ตำแหน่ง (-20%,-30%) มีความหมายว่า ที่ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กเท่ากับ 20 และร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินที่ใช้ทำถ่านโค้กเท่ากับ 30 จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการมีค่าเท่ากับ 1.868 บาทต่อหน่วย ซึ่งยังมีค่ามากกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรง

แต่ในทางกลับกัน พื้นที่สีเขียวมีความหมายว่า ที่การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กใดๆบนพื้นที่สีเขียว จะทำให้ราคาราคาต้นทุนต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าของโครงการฯมีค่าต่ำกว่า 1.768 บาทต่อหน่วย เช่น ณ ตำแหน่ง (-50%,-40%) มีความหมายว่าที่ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กเท่ากับ 50 และร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินที่ใช้ทำถ่านโค้กเท่ากับ 40 จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการมีค่าเท่ากับ 1.571 บาทต่อหน่วยซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรง

4.10.2. เส้นแบ่งพื้นที่

ในการหาสมการระบุพื้นที่สีเขียว จะต้องหาเส้นแบ่งพื้นที่ นั่นคือเส้นตัดของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (แกนนอน) และร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ผลิตถ่านโค้ก (แกนตั้ง) ที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า เท่ากับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรงที่ 1.768 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า กำหนดให้ร้อยละการลดลงต้นทุนกระบวนการคงที่ จะได้ว่าสมการเส้นตรงระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการฯเท่ากับ 1.768 บาทคือ

ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก

= a (ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก) + b

โดยที่ a และ b เป็นสัมประสิทธิ์ ของสมการเส้นตรง

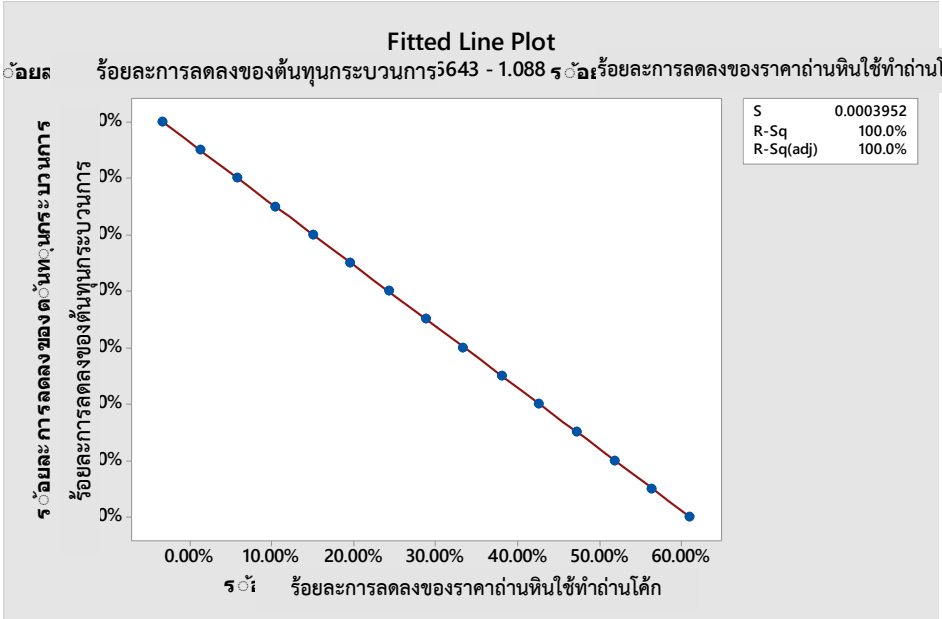
ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ที่ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการฯ เท่ากับ 1.768 บาท ณ ที่ร้อยละการลดลงต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 70 แสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8: ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

ร้อยละการลดลงของ ต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก	ร้อยละการลดลงของ ราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก
0%	61.03%
5%	56.47%
10%	51.92%
15%	47.24%
20%	42.68%
25%	38.13%
30%	33.44%
35%	28.89%
40%	24.34%
45%	19.65%
50%	15.10%
55%	10.54%
60%	5.86%
65%	1.31%
70%	-3.25%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis) สองตัวแปร โดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและแกนนอนร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กแสดงในรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13: ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กในรูปที่ 4-13 เส้นตัดของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (แกนนอน) และราคาถ่านหินใช้ผลิตถ่านโค้ก (แกนตั้ง) ที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า เท่ากับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของการนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรงที่ 1.768 บาทต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า

สามารถเขียนได้ในรูปสมการที่ 3.22 ดังนี้

$$y = -1.088x - 0.6643 \quad (3.22)$$

โดยที่; y คือ ร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

x คือ ร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก

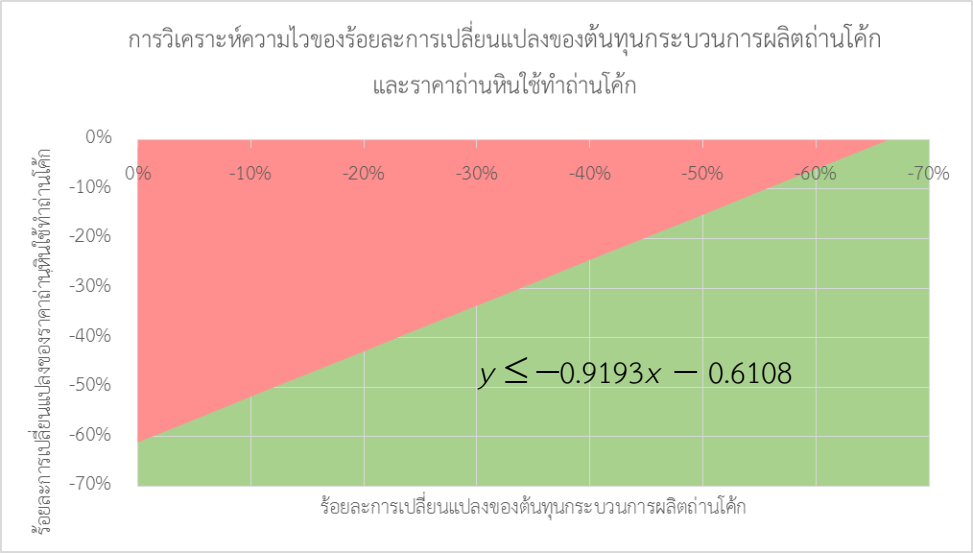
โดยที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ บนเส้นตรงนี้ จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.768 บาทต่อหน่วยเทียบเท่าการนำบิทูมินัสไปผลิตไฟฟ้าโดยตรง

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าในทุกๆค่าของ x และ y ที่เป็นอิสระจากกัน ที่สอดคล้องกับอสมการที่ 3.23 ดังนี้;

$$y \leq -0.9193x - 0.6108 \quad (3.23)$$

จะทำให้โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าแทนที่โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้อย่างสมบูรณ์

สามารถเขียนพื้นที่การวิเคราะห์ความไวของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และสมการเส้นแบ่งพื้นที่ได้ในรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14: การวิเคราะห์ความไวของร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก

อ้างอิงตามอัตราการลดลงของราคาถ่านหินที่ใช้ทำถ่านโค้กที่มากที่สุดเท่ากับประมาณร้อยละ 45 ดังนั้นอัตราการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กขั้นต่ำที่จะทำให้โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าแทนที่โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้อย่างสมบูรณ์

สามารถคำนวณได้จากอสมการที่ 3.23 ;

$y \leq -0.9193x - 0.6108$

$-0.4500 \leq -0.9193x - 0.6108$

$x \leq -0.1749$; อัตราการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กขั้นต่ำเท่ากับร้อยละ 17.49

สรุปได้ว่าที่อัตราการลดลงของของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเท่ากับร้อยละ 45 อัตราการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กตั้งแต่ 17.49 เป็นต้นไป จะทำให้โครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้าสามารถแทนที่โครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงได้อย่างสมบูรณ์ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านต้นทุน

4.11. ปัจจัยที่ไม่ได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์ความไว

จากปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกโครงการ พบว่ามีปัจจัยที่ไม่ได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์ความไวอันเนื่องมากจากเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ได้แก่

1. ปัจจัยด้านเชื้อเพลิงหลัก: มีความสัมพันธ์กับราคาวัตถุดิบ กล่าวคือคุณภาพของเชื้อเพลิง สัมพันธ์กับราคาโดยตรง ยิ่งเชื้อเพลิงมีคุณภาพสูง ราคาย่อมสูงตามไปด้วย
2. ปัจจัยด้านต้นทุนการดำเนินงาน และปัจจัยด้านต้นทุนการลงทุน: มีความสัมพันธ์ต่อการเปรียบเทียบโดยตรง กล่าวคือปัจจัยทั้งสองต่างเป็นตัวแปรอยู่ภายในสมการของทั้งสามโครงการ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสองปัจจัยนี้ ส่งผลต่อทั้งสามโครงการเท่ากัน

4.12. สรุปผลการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบโครงการเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งสามได้แก่ โครงการถ่านหินบิทูมินัส โครงการลิกไนต์โค้ก และโครงการถ่านหินคุณภาพสูง พบว่าแต่ละโครงการต่างมีคุณสมบัติหลักสำหรับการเลือกใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์โครงการลิกไนต์โค้กพบว่าเป็นโครงการที่ขาดคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดนั่นคือความมั่นคงทางพลังงาน และจากสถานการณ์การต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน ณ ขณะที่จัดทำงานวิจัยฉบับนี้ ทำให้โครงการถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงที่ขาดคุณสมบัติด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้เลือกวิเคราะห์โครงการที่มีคุณสมบัติครบถ้วนทั้งสองด้าน แต่ต้องแลกมาด้วยข้อด้อยของคุณสมบัติด้านต้นทุนที่สูงที่สุดในสามโครงการอย่างโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างตลาดถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ใช้ในการผลิตถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก พบว่าตลาดมีแนวโน้มเติบโตและมีการพัฒนาเทคโนโลยี ทำให้ต้นทุนการผลิตถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กและต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กมีแนวโน้มลดลง งานวิจัยนี้จึงเลือกวิเคราะห์ความไวของปัจจัยด้านขนาดของโรงไฟฟ้า ต้นทุนวัตถุดิบถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ผลจากการวิเคราะห์ความไวปัจจัยทั้งสามทีละปัจจัยพบว่า มีความเป็นไปได้ยากที่จะทำให้โครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าโครงการถ่านหินบิทูมินัส

ผลจากการวิเคราะห์ความไวของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและต้นทุนวัตถุดิบถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กควบคู่กัน สามารถสร้างสมการและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการและร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กที่ทำให้โครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าโครงการบิทูมินัส ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงจะต่ำกว่าต้นทุนของโครงการถ่านหินบิทูมินัสทำให้โครงการถ่านโค้กคุณภาพสูงจะเป็นโครงการที่มีคุณสมบัติครบถ้วนทั้งสามด้าน

ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความไวข้างต้นอย่างสมการที่ 3.23 และกราฟในรูปที่ 4-14 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลในสถานการณ์ปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกโครงการ ภายใต้สมมติฐานเดิมโดยไม่ต้องทำการวิจัยหาต้นทุนทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้สร้างแบบจำลองต้นทุนการผลิตไฟฟ้า เพื่อหาทางออกในการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินที่มีคุณสมบัติหลักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าครบถ้วนทั้งสามข้อได้แก่ ความมั่นคงทางพลังงาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินประเภทต่างๆ แบ่งได้เป็นสามโครงการได้แก่ 1. การนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง 2. การนำถ่านหินลิกไนต์ไปผลิตลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า และ 3. การนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า ตลอดจนหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกโครงการทั้งสาม และวิเคราะห์ความไวของปัจจัยระหว่างโครงการการนำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรงและโครงการการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า

เริ่มต้นจากสถานการณ์ทางพลังงาน ณ ขณะที่ทำงานวิจัย พบว่าสัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามีมากกว่าร้อยละ 65 ส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคงทางพลังงาน ดังนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจึงวางแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน แต่กลับเกิดปัญหาการต่อต้านอย่างรุนแรงจากชุมชนรอบโครงการอันเนื่องมาจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้ถ่านหินในการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินที่เป็นการบำบัดมลพิษตั้งแต่ต้นอย่างการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กมาผลิตเพื่อให้ได้ถ่านโค้กและผลิตผลพลอยได้เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าต่อไป และทางเลือกอีกทางคือการนำถ่านหินลิกไนต์มาผลิตถ่านลิกไนต์โค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า โดยทำการเปรียบเทียบจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเป็นเกณฑ์หลัก ผ่านการพิจารณาทั้งสามด้านได้แก่ พลังงาน ในรูปของต้นทุนทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม ในรูปของต้นทุนความเสียหายจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ ในรูปของต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

งานวิจัยฉบับนี้กำหนดพื้นที่ศึกษาคือพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจังหวัดระยอง ที่ขนาดโรงไฟฟ้า 1,000 เมกะวัตต์ กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโครงการแรกนั้นคือการนำถ่านหินบิทูมินัสมาผลิตไฟฟ้าโดยตรง แตกต่างกับโครงการที่สองและสามตรงที่ วัตถุดิบหลักของโครงการที่สองคือถ่านหินลิกไนต์ โดยถ่านหินลิกไนต์จะถูกนำมาผ่านกระบวนการผลิตให้กลายเป็นลิกไนต์โค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหิน และได้ผลผลิตพลอยจากกระบวนการผลิตลิกไนต์โค้กที่ได้คือพลังงานความ

ร้อนซึ่งจะถูกนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สควบคู่กัน ขณะที่โครงการที่สามเลือกใช้ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กผ่านกระบวนการผลิตถ่านโค้กได้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สที่ได้จากถ่านโค้ก เพื่อนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมตามลำดับ สามารถสรุปแต่ละโครงการได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1: สรุปกระบวนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละโครงการ

โครงการ	วัตถุดิบ	กระบวนการผลิตถ่านโค้กมาใช้ผลิตไฟฟ้า	
		ผลผลิตหลัก - ประเภทโรงไฟฟ้าที่ใช้	ผลผลิตพลอยได้ - ประเภทโรงไฟฟ้าที่ใช้
1. การนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้โดยตรง	ถ่านหินบิทูมินัส	นำถ่านหินบิทูมินัสมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง - โรงไฟฟ้าถ่านหิน	
2. การนำถ่านหินลิกไนต์ไปผลิตลิกไนต์โค้กและพลังงานความร้อนเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า	ถ่านหินลิกไนต์	ลิกไนต์โค้ก (Lignite Coke) - โรงไฟฟ้าถ่านหิน	พลังงานความร้อน - โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส
3. การนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า	ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก (Coking Coal)	ถ่านโค้กคุณภาพสูง - โรงไฟฟ้าถ่านหิน	แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke Oven Gas) - โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ในการสร้างแบบจำลองต้นทุนการผลิตไฟฟ้านั้นประกอบด้วยแบบจำลองต้นทุนในด้านต่างๆ ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนกระบวนการ และค่าเผื่อต้นทุนในการผลิต ซึ่งในที่นี้คือต้นทุนความเสียหายจากผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อม หลักการคิดต้นทุนของแต่ละโครงการนั้นมีความแตกต่างกันเนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่เหมือนกัน ต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละโครงการคิดจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการนำมาผ่านกระบวนการและผลิตไฟฟ้าให้ได้กำลังการผลิตไฟฟ้า 1,000 เมกะวัตต์ หรือมีปริมาณเทียบเท่ากับ 7,008 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ต้นทุนกระบวนการในงานวิจัยฉบับนี้แบ่งได้เป็นสองส่วนคือต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงาน ต้นทุนการลงทุนคือต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทและกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ภายใต้สมมติฐานว่าโรงงานมีอายุการใช้งานเท่ากันที่ 30 ปี ต้นทุนการดำเนินงานคือต้นทุนการปฏิบัติการและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทและกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ต้นทุนส่วนสุดท้ายที่นำมาเปรียบเทียบคือต้นทุนความเสียหายจากผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยจะแปร ผันตามอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าของแต่ละโครงการ

ผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการทั้งสามพบว่า ในการผลิตไฟฟ้าปริมาณ 7,008 ล้านหน่วยต่อปี จะต้องใช้ถ่านหินบิทูมินัสในโครงการแรกเท่ากับ 3.06 ล้านตันต่อปี ในขณะที่โครงการที่สองต้องการถ่านหินลิกไนต์เป็นปริมาณ 5.43 ล้านตันต่อปี และจะต้องใช้ถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กเป็นวัตถุดิบให้กับโครงการที่สามเป็นปริมาณ 2.00 ล้านตันต่อปี จากราคาตลาดถ่านหินในปัจจุบันจะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบของโครงการแรกเท่ากับ 0.856 บาทต่อหน่วย โครงการที่สองและสามเท่ากับ 0.527 และ 0.790 บาทต่อหน่วยตามลำดับ ผลการคิดต้นทุนกระบวนการจากต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานของโครงการพบว่า โครงการที่สามมีต้นทุนกระบวนการที่สูงที่สุดที่ 1.488 บาทต่อหน่วย ซึ่งใกล้เคียงกับโครงการที่สองที่ 1.419 บาทต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับของโครงการแรกเพียง 0.886 บาทต่อหน่วย อันเนื่องมาจากโครงการที่สองและสามมีต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กเพิ่มเติม ในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมพบว่าโครงการที่สามเป็นโครงการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด ส่งผลให้มีต้นทุนความเสียหายน้อยที่สุดที่ 0.012 บาทต่อหน่วย ตามมาด้วยโครงการที่สองที่ 0.018 บาทต่อหน่วย และโครงการแรกที่ 0.026 บาทต่อหน่วย

ผลรวมจากต้นทุนทั้งสามพบว่าโครงการแรกมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่ 1.77 บาทต่อหน่วย ตามด้วยโครงการที่สองที่ 1.96 บาทต่อหน่วย และโครงการที่สามเป็นโครงการที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดที่ 2.25 บาทต่อหน่วย แต่ในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อความเป็นไปได้ของการก่อสร้างโรงไฟฟ้า กลับพบว่าการดำเนินงานของโครงการที่สามกลับมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ต่ำที่สุด ตามด้วยโครงการที่สอง และโครงการแรก

แบบจำลองต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการแสดงให้เห็นว่าถึงแม้โครงการที่สามจะมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าโครงการแรกถึง 48 สตางค์ต่อหน่วย แต่เมื่อพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อมกลับพบว่าโครงการที่สามเป็นโครงการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดแรงเสียดทานทางสังคมได้เป็นอย่างมากในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าในอนาคต การเลือกใช้ถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กในการผลิตไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่มีความใกล้เคียงกับการเลือกใช้พลังงานหมุนเวียน กล่าวคือมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสูง แต่ต้องแลกมาด้วยต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ตลาดของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของโครงการที่สามเพื่อหาความเป็นไปได้ที่โครงการที่สามจะมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ หรือต่ำกว่าโครงการแรก

ผลการวิเคราะห์ตลาดของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กพบว่าเป็นตลาดที่มีแนวโน้มเติมโตและมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต เป็นผลให้ราคาถ่านหินใช้ทำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กมีแนวโน้มลดลงและต้นทุนการดำเนินงานของกระบวนการผลิตถ่านโค้กมีแนวโน้มลดลง ผลจากการวิเคราะห์ความไวของการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กและต้นทุนการดำเนินงานของกระบวนการผลิตถ่านโค้กพบว่ามีความเป็นไปได้ที่โครงการที่สามจะสามารถแทนที่โครงการแรกได้ ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิต ทั้งนี้สมการและกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงจากข้อมูลสถานการณ์ในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกโครงการ ภายใต้สมมติฐานเดิม โดยไม่ต้องทำการวิจัยหาต้นทุนทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระแสการต่อต้านโรงไฟฟ้าถ่านหิน ณ ขณะที่จัดทำงานวิจัยฉบับนี้ ส่งผลให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตมีความจำเป็นต้องกลับมาทบทวนและนำเสนอโครงการทางเลือกอื่น ซึ่งจะเป็นอื่นไปไม่ได้นอกจากการเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้อยู่แล้วมากกว่าร้อยละ 65 ทำให้ต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติและเกิดความไม่มั่นคงทางพลังงานอย่างรุนแรงในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ดังนั้นการเลือกโครงการถ่านโค้กคุณภาพสูง ไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้ลดแรงเสียดทานทางสังคมจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหิน ยังจัดเป็นการช่วยเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานให้กับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย อันเนื่องมาจากการทดแทนการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงอีกด้วย

5.2. **ข้อเสนอแนะ**

5.2.1.ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากผลการศึกษาและวิจัยการเปรียบเทียบถ่านโค้กเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในครั้งนี้มี ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในครั้งต่อไปดังนี้

1. ทำการศึกษาคุณสมบัติและประเภทของถ่านหินลิกไนต์ที่เหมาะสมและสามารถนำมาผลิตลิกไนต์โค้กได้ รวมถึงแหล่งที่มาของวัตถุดิบเพิ่มเติม
2. ทำการศึกษาคุณสมบัติของพลังงานความร้อนที่ได้จากกระบวนการผลิตลิกไนต์โค้กเพิ่มเติม สำหรับการนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรรม
3. ทำการศึกษาต้นทุนด้านขนส่ง โดยพิจารณาจากปริมาณ ระยะทาง และแหล่งที่มาของการขนส่งวัตถุดิบ
4. ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกโครงการจากแบบจำลองต้นทุนเพิ่มเติม เช่น พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เป็นต้น

5.2.2.ข้อเสนอแนะสำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

จากสถานการณ์ต่อต้านโรงไฟฟ้าถ่านหิน จังหวัดกระบี่ ณ ขณะเวลาที่จัดทำงานวิจัยฉบับนี้ การเลือกโครงการการนำถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กไปผลิตถ่านโค้กและแก๊สที่ได้จากเตาผลิตถ่านโค้กเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า แทนที่การนำถ่านหินบิทูมินัสไปใช้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง อาจจะมีส่วนช่วยในการลดแรงเสียดทานทางสังคมจากเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลงได้ เป็นผลให้โครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินสามารถดำเนินการต่อได้ โดยการพิจารณาเพิ่มส่วนเพิ่ม (adder) ทดแทนในต้นทุนส่วนที่เพิ่มขึ้นมา 48 สตางค์ สามารถเป็นทางออกที่ดีที่สุดกับสถานการณ์ทางพลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน

ภาคผนวค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวค ก

ต้นทุนการลงทุน และต้นทุนการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ประเภทโรงไฟฟ้า	ต้นทุนการลงทุน (ดอลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาผันแปร (ดอลลาร์สหรัฐ/เมกะวัตต์ชั่วโมง)	ต้นทุนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาคงที่ (ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลวัตต์/ปี)	Heat Rate (กิโลแคลอรี่/กิโลวัตต์ชั่วโมง)
โรงไฟฟ้าถ่านหิน[1]	3,246	4.47	37.80	2,219
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม[2]	956	3.42	10.76	1,601
โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส[2]	1,077	3.42	17.12	2,421

[1] ที่มา: [31]

[2] ที่มา: [32]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ปีพ.ศ. 2559

เดือน/ปี	ปริมาณผลิตไฟฟ้า (ล้านหน่วย)
กันยายน 2558	953.97
ตุลาคม 2558	886.03
พฤษจิกายน 2558	946.53
ธันวาคม 2558	945.15
มกราคม 2559	929.92
กุมภาพันธ์ 2559	922.05
มีนาคม 2559	981.25
เมษายน 2559	950.4
พฤษภาคม 2559	994.89
มิถุนายน 2559	885.56
กรกฎาคม 2559	584.42
สิงหาคม 2559	758.52
เฉลี่ยต่อเดือน	894.89
เฉลี่ยต่อปี	*10,739*

ที่มา: [33][34][35]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

คุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าถ่านหินบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

แบ่งเป็น 4 สถานีวัดดังนี้

สถานี A: บ้านตากวน	PM_{10} (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	SO_2 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ตุลาคม 2549	0.029 - 0.042	0.0022 - 0.0073
เมษายน 2550	0.015 - 0.029	0.0008 - 0.0066
ตุลาคม 2550	0.013 - 0.031	0.0005 - 0.0016
เมษายน 2551	0.027 - 0.039	0.0009 - 0.0118
ตุลาคม 2551	0.032 - 0.049	0.0004 - 0.005
เมษายน 2552	0.027 - 0.041	0.0077 - 0.0246
ตุลาคม 2552	0.059 - 0.063	0.0023 - 0.005
เมษายน 2553	0.017 - 0.043	0.0011 - 0.0047
ตุลาคม 2553	0.01 - 0.015	0.0009 - 0.0114
เมษายน 2554	0.015 - 0.044	0.0015 - 0.0045
ตุลาคม 2554	0.043 - 0.073	0.0008 - 0.0183
เมษายน 2555	0.012 - 0.025	0.0006 - 0.0208
ตุลาคม 2555	0.03 - 0.078	0.0014 - 0.0162
เมษายน 2556	0.015 - 0.052	0.0036 - 0.0122

ที่มา: [27]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พื้นที่ B: ซอบเทอดไทยมุสลิม	PM_{10} (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	SO_2 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ตุลาคม 2549	0.036 - 0.054	0.0033 - 0.0081
เมษายน 2550	0.023 - 0.033	0.0039 - 0.0144
ตุลาคม 2550	0.021 - 0.025	0.0036 - 0.0177
เมษายน 2551	0.031 - 0.04	0.0016 - 0.0072
ตุลาคม 2551	0.036 - 0.068	0.0038 - 0.0227
เมษายน 2552	0.034 - 0.046	0.0037 - 0.038
ตุลาคม 2552	0.062 - 0.071	0.0004 - 0.0104
เมษายน 2553	0.028 - 0.039	0.0012 - 0.0127
ตุลาคม 2553	0.017 - 0.021	0.0008 - 0.029
เมษายน 2554	0.033 - 0.052	0.0133 - 0.0398
ตุลาคม 2554	0.026 - 0.034	0.0005 - 0.0124
เมษายน 2555	0.022 - 0.037	0.0011 - 0.0205
ตุลาคม 2555	0.04 - 0.066	0.0015 - 0.0432
เมษายน 2556	0.022 - 0.05	0.0043 - 0.0444

ที่มา: [27]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พื้นที่ C: บ้านพักพนักงาน ปตท.	PM_{10} (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	SO_2 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ตุลาคม 2549	0.035 - 0.049	0.0017 - 0.007
เมษายน 2550	0.027 - 0.038	0.0007 - 0.0031
ตุลาคม 2550	0.016 - 0.023	0.0004 - 0.0006
เมษายน 2551	0.037 - 0.039	0.0011 - 0.0015
ตุลาคม 2551	0.034 - 0.066	0.0014 - 0.0059
เมษายน 2552	0.034 - 0.051	0.005 - 0.0079
ตุลาคม 2552	0.047 - 0.061	0.0024 - 0.0057
เมษายน 2553	0.028 - 0.034	0.0035 - 0.0139
ตุลาคม 2553	0.013 - 0.032	0.0012 - 0.0054
เมษายน 2554	0.013 - 0.04	0.0025 - 0.0043
ตุลาคม 2554	0.03 - 0.044	0.0014 - 0.0046
เมษายน 2555	0.03 - 0.052	0.0007 - 0.004
ตุลาคม 2555	0.034 - 0.048	0.0012 - 0.0036
เมษายน 2556	0.033 - 0.058	0.0058 - 0.0176

ที่มา: [27]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พื้นที่ D: วัดมาบชลูด	PM_{10} (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	SO_2 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ตุลาคม 2549	0.037 - 0.056	0.001 - 0.0068
เมษายน 2550	0.025 - 0.033	0.0004 - 0.0068
ตุลาคม 2550	0.006 - 0.012	0.0004 - 0.0024
เมษายน 2551	0.03 - 0.037	0.0012 - 0.0014
ตุลาคม 2551	0.039 - 0.063	0.0024 - 0.0129
เมษายน 2552	0.03 - 0.046	0.0034 - 0.0059
ตุลาคม 2552	0.05 - 0.067	0.0015 - 0.015
เมษายน 2553	0.022 - 0.038	0.003 - 0.0128
ตุลาคม 2553	0.028 - 0.05	0.0018 - 0.0081
เมษายน 2554	0.014 - 0.035	0.0023 - 0.0041
ตุลาคม 2554	0.022 - 0.035	0.0007 - 0.0029
เมษายน 2555	0.015 - 0.032	0.001 - 0.0198
ตุลาคม 2555	0.025 - 0.042	0.0005 - 0.0094
เมษายน 2556	0.015 - 0.043	0.0025 - 0.0087

ที่มา: [27]

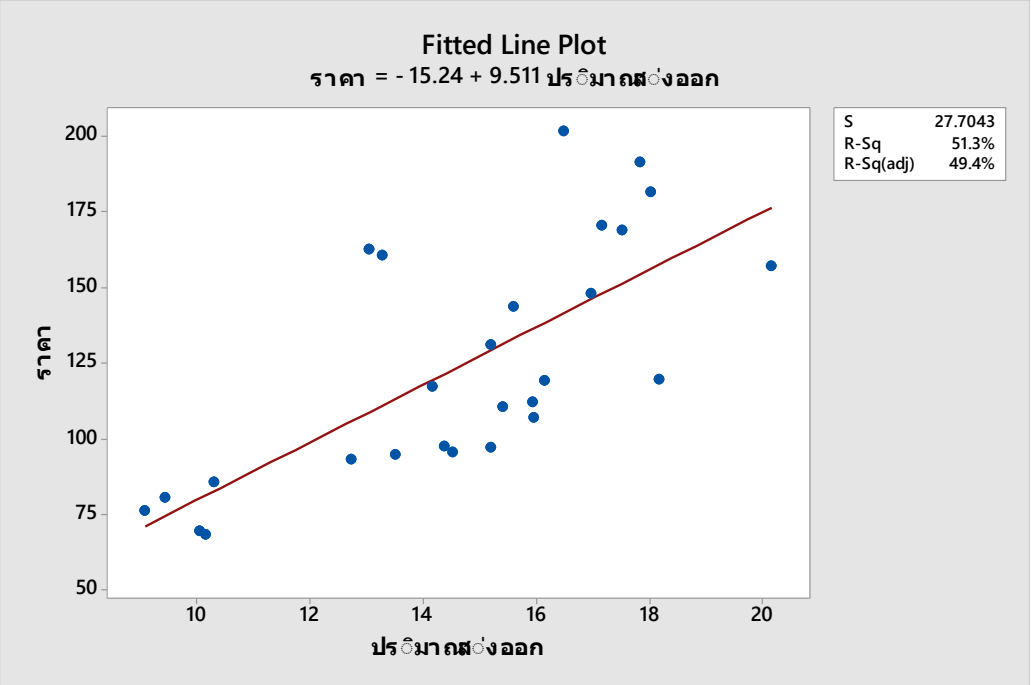
จากข้อมูลคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าถ่านหินบีแอลซีพี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ทั้ง 4 สถานี จะได้ว่าคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าถ่านหินบีแอลซีพีเฉลี่ยเท่ากับ

PM_{10} (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	SO_2 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
0.03596	0.0070

ภาคผนวค ง

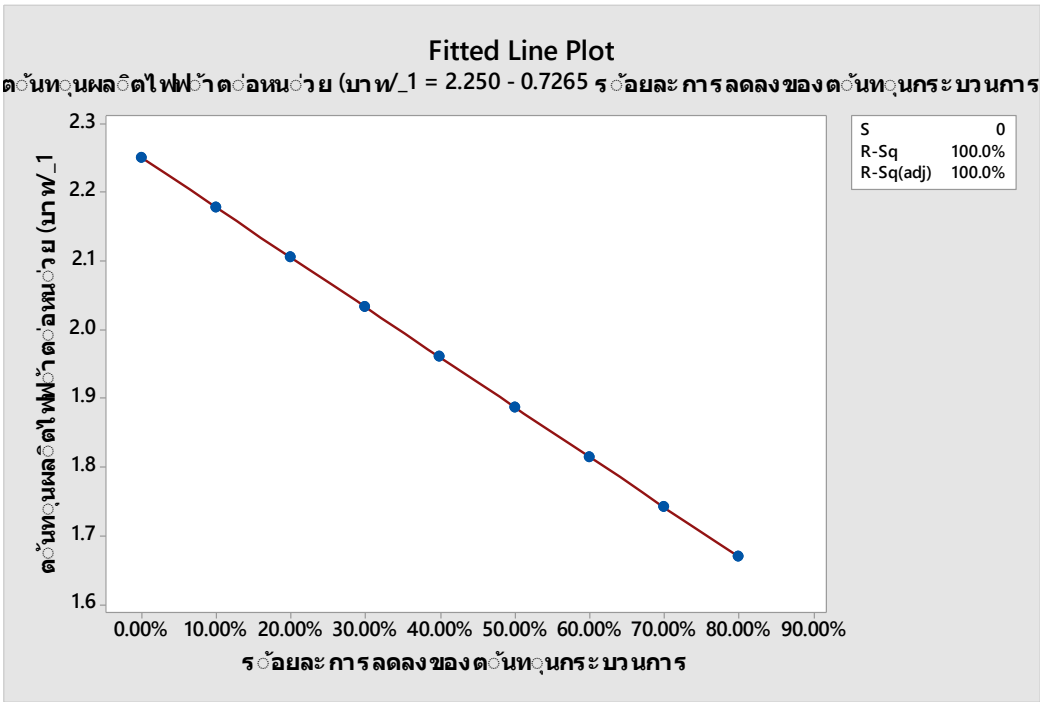
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก ของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis) ของปริมาณการส่งออกและราคาส่งออกของถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 ถึง ปีพ.ศ. 2559



ภาคผนวก จ
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

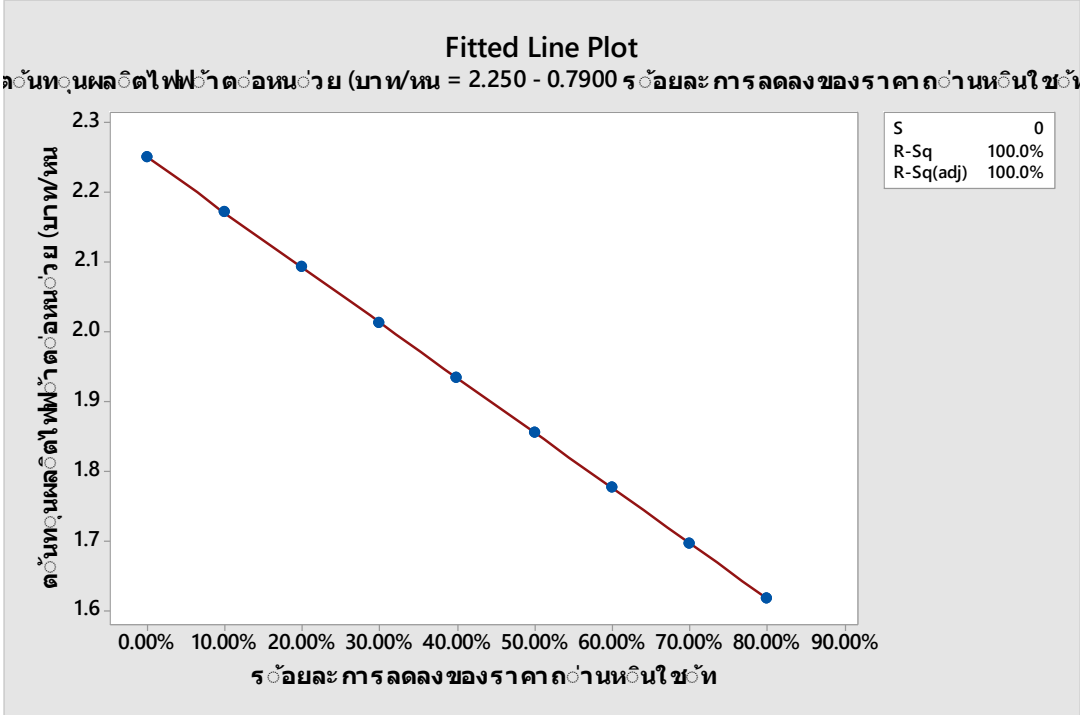
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis)



ภาคผนวค ฉ

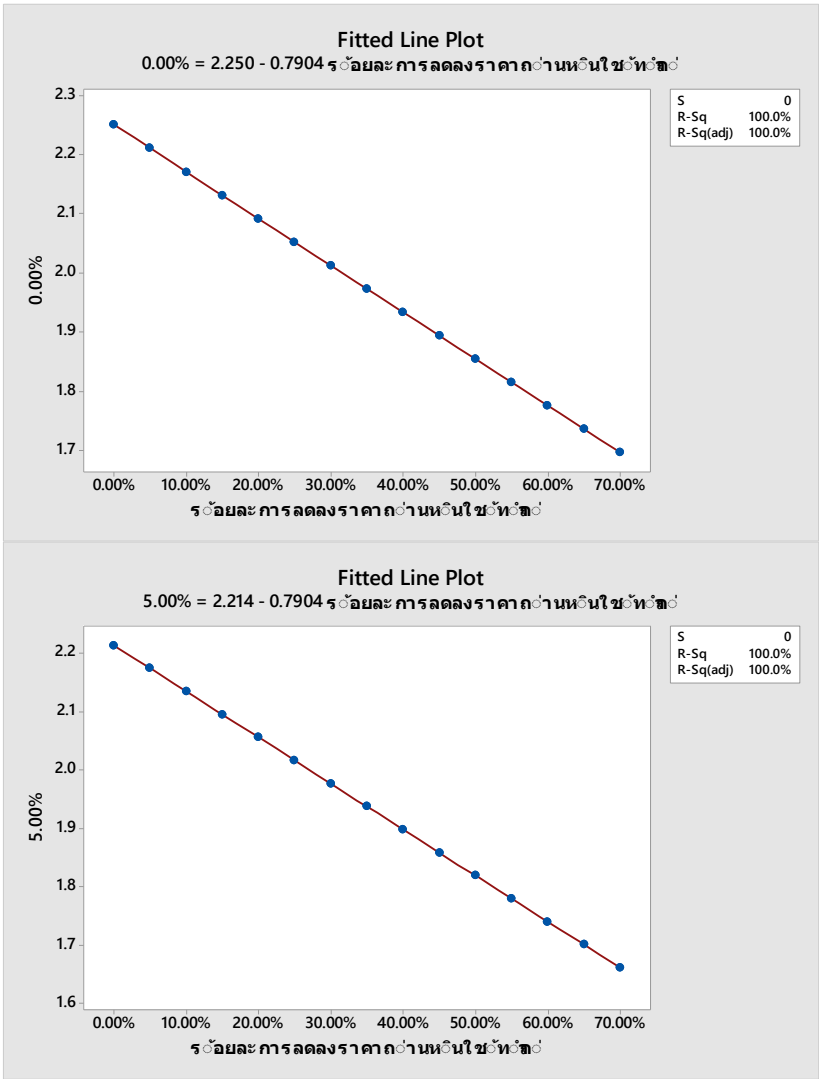
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูง และแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า

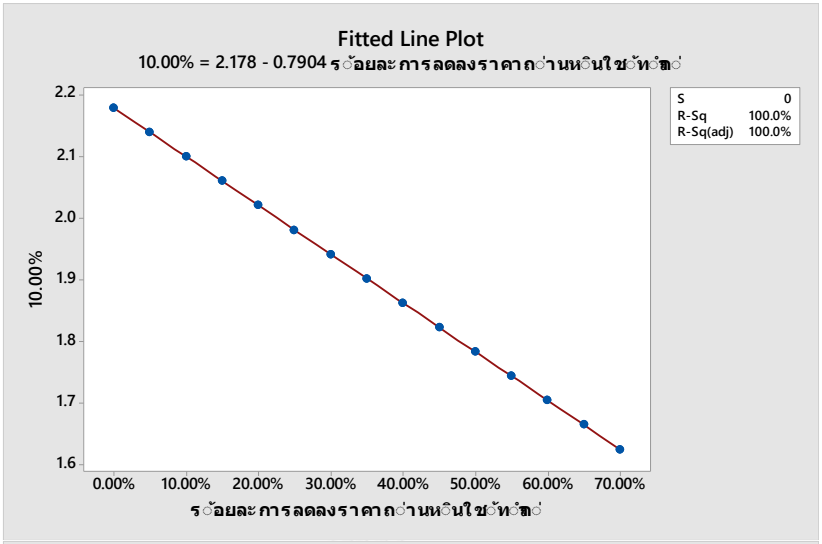
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้กและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการการนำถ่านโค้กคุณภาพสูงและแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กมาผลิตไฟฟ้า ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis)

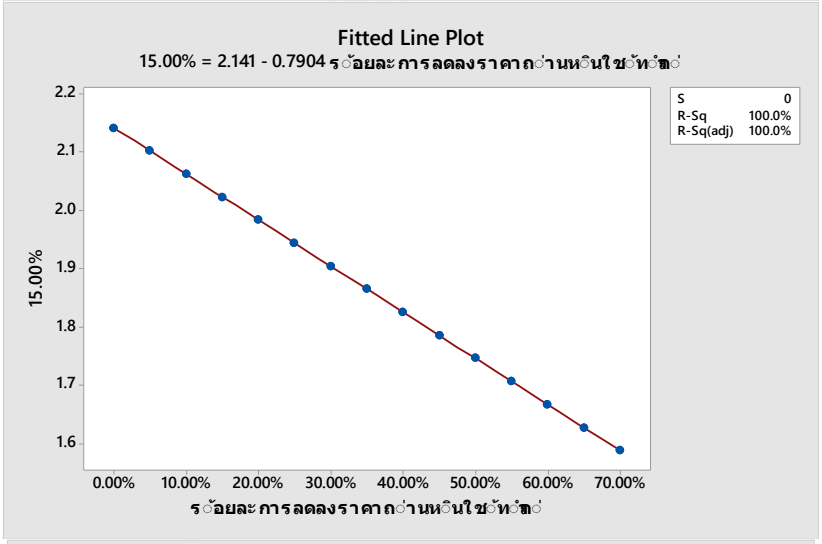


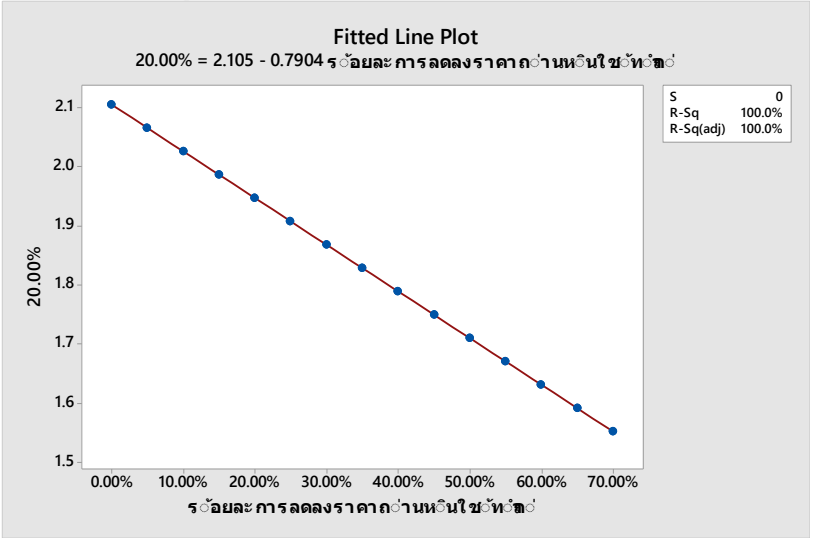
ภาคผนวค ช
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และร้อยละการลดลงต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้ก

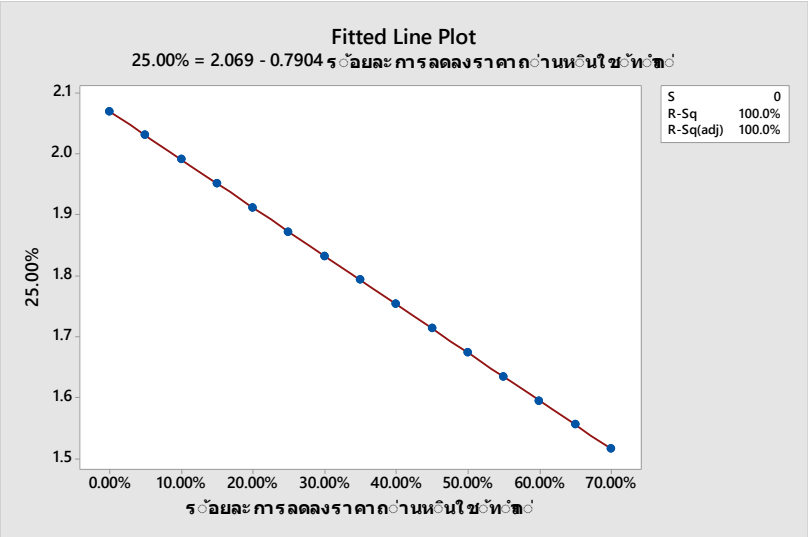
การหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของราคาถ่านหินใช้ทำถ่านโค้ก และร้อยละการลดลงต้นทุนกระบวนการผลิตถ่านโค้กต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 70 ที่ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโครงการฯ เท่ากับ 1.768 บาท ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis)

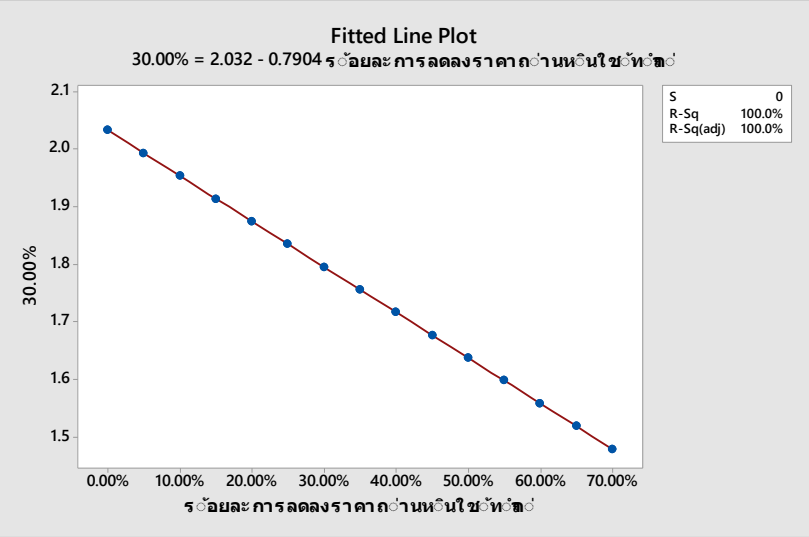


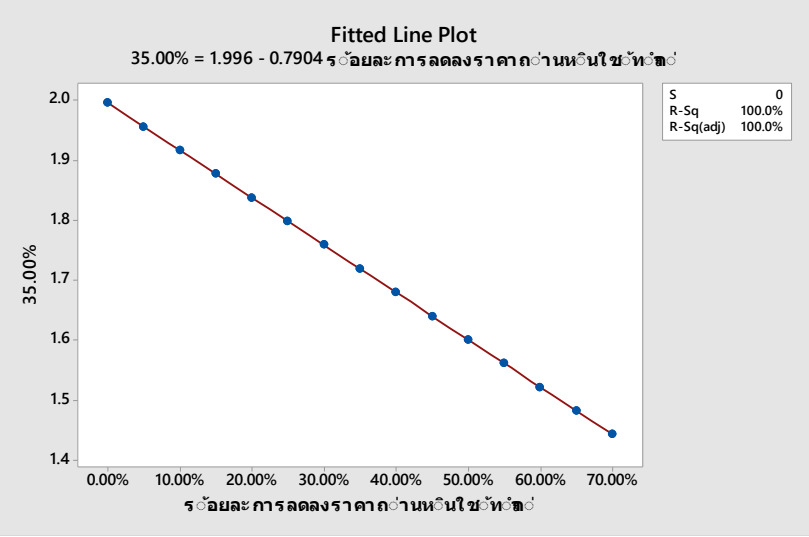

Fitted Line Plot
10.00% = 2.178 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
10.00%
2.2
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่

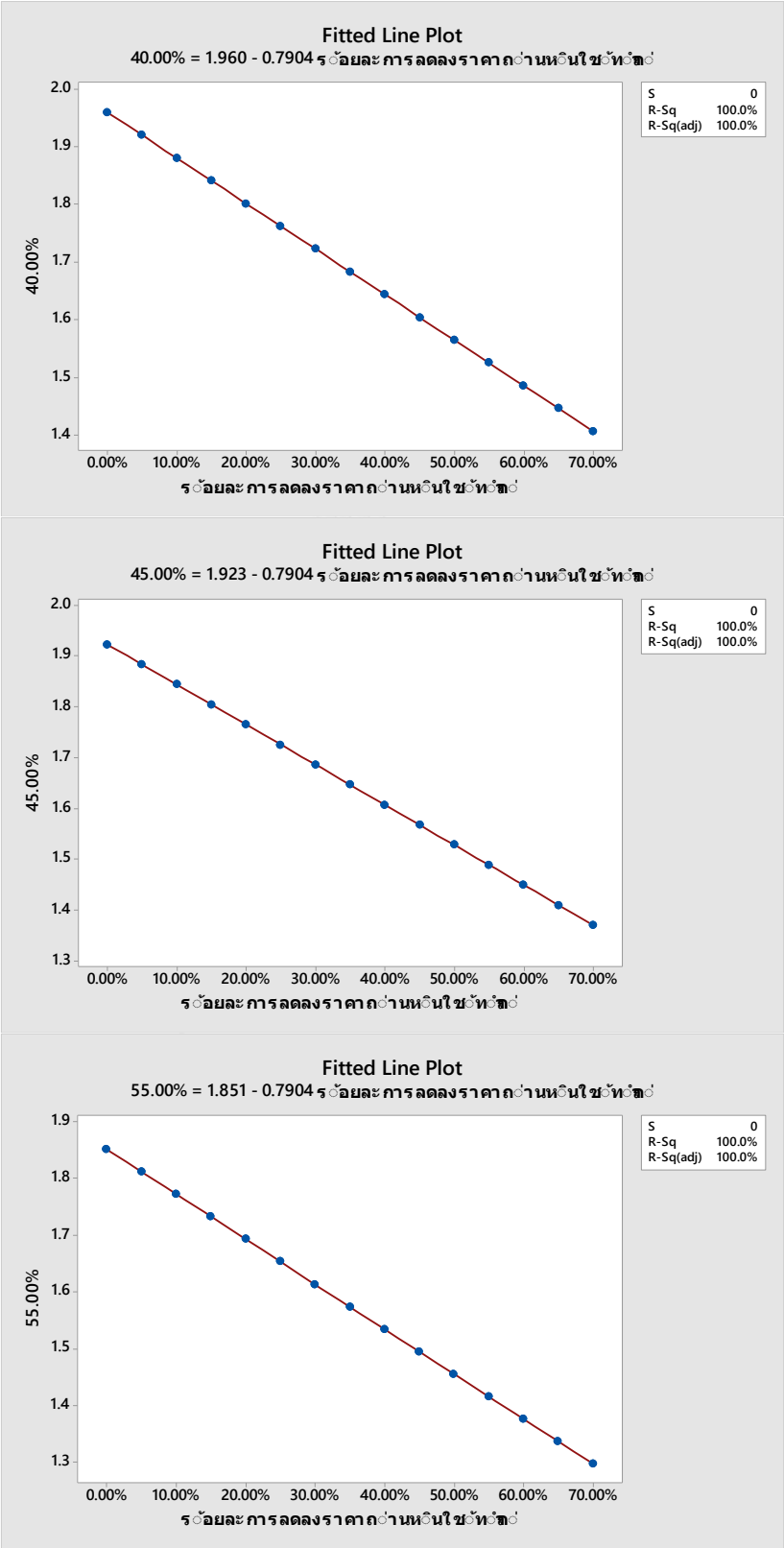

Fitted Line Plot
15.00% = 2.141 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
15.00%
2.2
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่

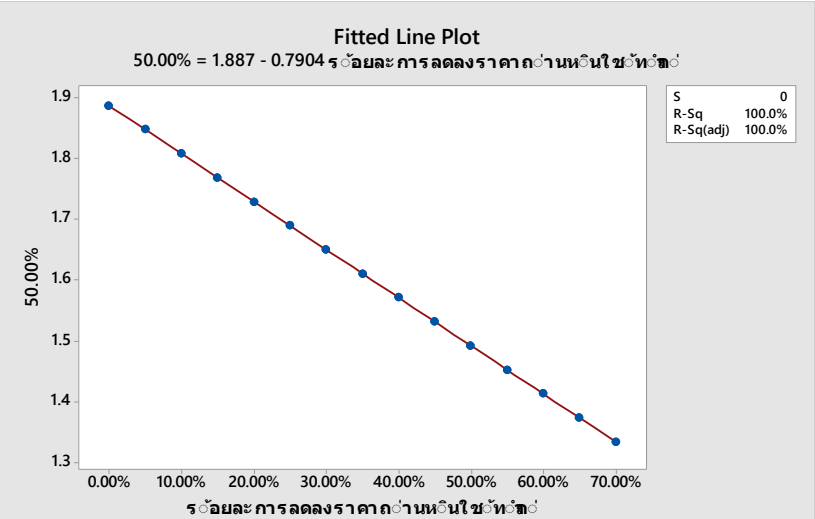

Fitted Line Plot
20.00% = 2.105 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
20.00%
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาถ่านหินใช้ทำซ่

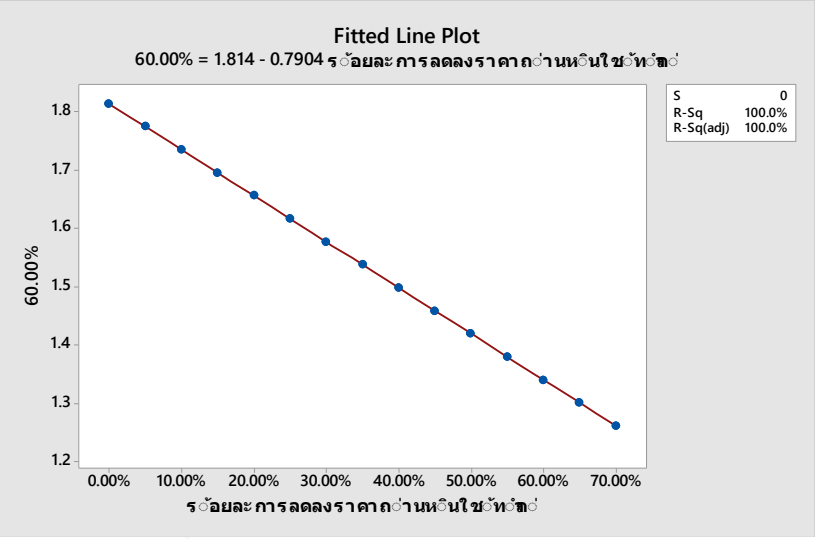

Fitted Line Plot
25.00% = 2.069 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
25.00%
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ


Fitted Line Plot
30.00% = 2.032 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
30.00%
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ

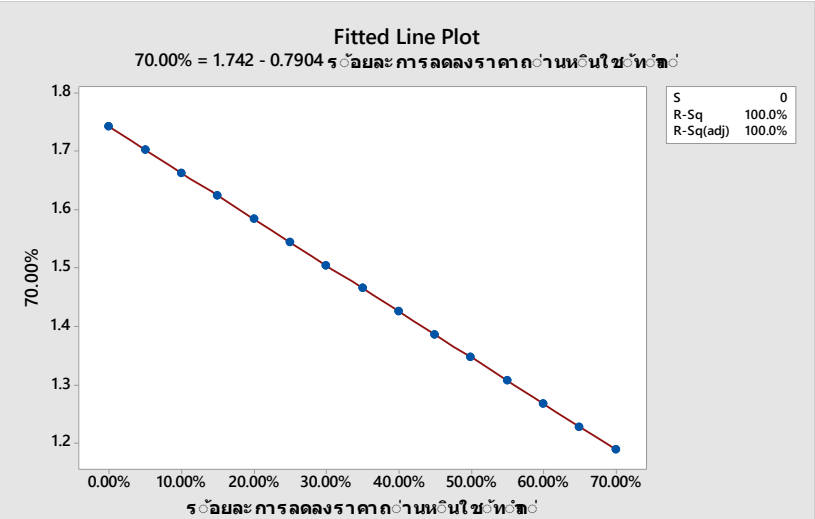

Fitted Line Plot
35.00% = 1.996 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
35.00%
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ

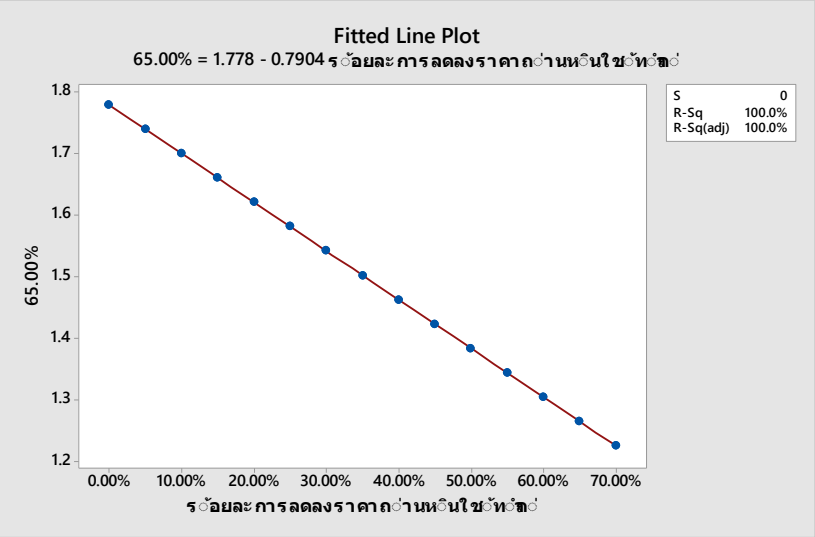

Fitted Line Plot
40.00% = 1.960 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
40.00%
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
Fitted Line Plot
45.00% = 1.923 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
45.00%
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
Fitted Line Plot
55.00% = 1.851 - 0.7904 ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ
S 0
R-Sq 100.0%
R-Sq(adj) 100.0%
55.00%
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
0.00% 10.00% 20.00% 30.00% 40.00% 50.00% 60.00% 70.00%
ร้อยละการลดลงราคาก่านหินใช้ท่อ





Chulalongkorn University





Chulalongkorn University

ภาคผนวค ซ

แบบจำลองการหาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโครงการจากโปรแกรม Microsoft excel

	Propoties	Lignite to Coke	Coking Coal to Coke
Input	Coal	Long flame Lignite	Coking Coal
	HHV (kJ/kg)	9385	26,755
		Energy	
	kJ/kg-coke	1062.5	2975
Process		pulvanize	pulvanize
		drying	drying
		pyrolysis	pyrolysis
		partial gasification	COG treatment
Output		COKE	
	Fuel : Coke	0.25	0.7
	Coke HHV(kJ/kg)	28796	32,506
		COG	
	Coal(kg) : COG(m3)	0	0.3542
	COG HHV(kJ/m3)		19900
		Energy	
	kJ/kg-coke	6276	
Net	Net Energy (kJ/kg coal)	3027.5	73.04951667
Environment		Coal	
	%Fixed Carbon	20 - 22	
	%Ash content	7 - 8	
	%Volatile matter	45 - 48	
	%Moisture	33	
	%S	0.4 - 1.0 ~ 0.7	
		Coke	
	%Fixed Carbon	74.2	
	%Ash content	8.2	
	%Volatile matter	10	
	%Moisture	7.6	
	%S	<1.6 - 4.0 ~ 2.8	0.675
	HHV	28796.4	

Coal To H2 Ratio By PSA		01 Coke oven gas- Availability, properties, purification, and utiliz			BTU/lb	KJ/Kg
Coal [ton]	Coke [ton]	COG [m3]	H2 [kg]		11,340	26,377
1	0.7				kcal/kg	KJ/Kg
	1	506			2,419	10,121
		1	0.043			
1	0.7	354.2	15.23			

Planned Produce
M kWh /yr
7,008

Fuel	Amount		Heating Value	Energy required	Fuel Amount requir	Heat rate	Plant Factor
	kg/hr	Mton / yr	Kcal/Kg	Kcal	kg, m3	kcal/kWh	%
Bituminuous [kg]	349,373	3.061	5,081			2,219	80%
Coking Coal [kg]	228,386	2.001		113,674,241			
Met coke [kg]	159,870	1.400	7,769		14,632	2,219	80%
COG [m3]	80,894	0.71	4,756		23,900	1,601	80%
Lignite [kg]	620,095	5.432		157,469,061			
Lignite Coke [kg]	155,024	1.358	6,883		22,880	2,219	80%
heat energy [kcal]	930,141,954					2,421	80%

Fuel	Real produce	Real Cap	Round real Cap
	M kWh /yr	MW	MW
Bituminuous [kg]	7,008	1000	1000
Coking Coal [kg]	7,008		
Met coke [kg]	4,903	699.6470578	700
COG [m3]	2,105	300.3529422	310
Lignite [kg]	7,008		
Lignite Coke [kg]	4,212	601.0197742	610
heat energy [kcal]	2,796	398.9802258	400

Fuel Price	Amount Used	Price	Fuel Cost	**Fuel Cost**	**Fuel Cost**	อัตราแลกเปลี่ยน USD>THB
	Mton / yr	$/ton	m$/ yr	**ล้านบาท/ปี**	**บาท/kwh**	35
Bituminuous [kg]	3.061	55.99	171.3577046	**5997.519663**	**0.855810454**	
Coking Coal [kg]	2.001	79.10	158.2520411	**5538.821437**	**0.79035694**	
Lignite [kg]	5.432	19.44	105.598644	**3695.95254**	**0.527390488**	

Operating Cost	Total		**Coke Oven O&M**	Variable O&M	Fixed O&M	O&M	O&M
บาท / ปี	บาท /ปี		$/yr	$/yr	$/yr	$/yr	**บาท/ปี**
Bituminuous [kg]	**8,600,721,479**		**0**	**31,325,760**	**37,800,000**	**69,125,760**	**2,419,401,600**
Coking Coal [kg]	**12,162,557,199**		**128,000,000**	**29,115,643**	**29,795,600**	**58,911,243**	**6,541,893,502**
			4.48	21,916,976	26,460,000	767,094,154	926,100,000
				7,198,667	3,335,600	251,953,348	116,746,000
Lignite [kg]	**10,342,198,488**		**128,000,000**	**28,389,904**	**29,906,000**	**58,295,904**	**6,520,356,637**
				18,827,401	23,058,000	658,959,042	807,030,000
				9,562,503	6,848,000	334,687,595	239,680,000

	Total Cost	Total Cost	Coke Oven used	Coke Oven Cost	Total Cost	Damage Cost	Damage Cost
	$/kw	$		$	บาท	**บาท**	**บาท/ kWh**
Bituminuous [kg]	**3,246**	**3,246,000,000**			**113,610,000,000**	**183,800,216**	**0.026**
Coking Coal [kg]		**2,568,560,000**	**2**	**524,200,000**	**108,246,600,000**	**81,842,260**	**0.012**
	3,246	2,272,200,000				2.6509	
	956	296,360,000				0.345753333	
Lignite [kg]		**2,410,860,000**	**2**	**524,200,000**	**102,727,100,000**	**125,889,311**	**0.018**
	3,246	1,980,060,000					
	1,077	430,800,000					

Fuel	Amount		Heating Value	Heat rate	Planned Produce
	kg/hr	Mton / yr	KJ/Kg	kJ/kWh	M kWh /yr
Bituminuous	584,030	5.116	5,081	2,421	10,739

ปริมาณการใช้ถ่านหินในการผลิต					
กำลังการผลิต (MW)	1,400		Lignite Coke	Coke	Bituminuous
พลังงานไฟฟ้ารายปี	10,738,690,000	kWh	4,211,946,578	4,903,126,581	7,008,000,000
ใช้ถ่านหิน	5,116,107,155	kg/yr	1,358,007,253	1,400,460,540	3,060,505,530
HV	21,260	kJ/kg	6,883	7,769	5,081
Input	108,767,210,246,130	kJ/yr	11,850,237,034	13,794,859,721	19,716,883,774
Eff	35.543142	%	35.543142	35.543142	35.543142
Fuel Usage Conversion Factor			0.26543761	0.273735576	0.598209818

			Lignite Coke	Coke	Bituminuous
Ash	10.12%	%	8.20%	8.85%	10.12%
PM10 Conversion Factor			0.81027668	0.874505929	1
Sulfur	0.39%	%	2.80%	0.68%	0.39%
SO2 Conversion Factor			7.179487179	1.730769231	100.00%

Gross Conversion Factor	Lignite Coke	Coke	Bituminuous
PM10	0.215077905	0.239383384	0.598209818
SO2	1.905705915	0.473773113	0.598209818

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Blcp's Bituminuc	Jan 2013	May 2013	Average
Total Moisture	9.60%	21.11%	**15.36%**
Ash Content	14.47%	5.77%	**10.12%**
Volatile Matter	24.94%	34.89%	**29.92%**
Fixed Carbon	50.99%	38.23%	**44.61%**
Sulfur	0.39%	0.39%	**0.39%**
GCV (Kcal/kg)	6,193	5,320	**5,757**
GCV (kJ/kg)	25,912	22,259	**21,260**

ปริมาณผลิตไฟฟ้า blcp ต่อเดือน (2559)			
929.92	994.89	953.97	
922.05	885.56	886.03	
981.25	584.42	946.53	
950.4	758.52	945.15	
http://www3.egat	http://www3.egat	http://www3.egat	894.8908333

	Exposure		Case/(กรณี /คน/μ
	ตายก่อนวัยอันควร	PM10	2.40E-06
		SO2	1.99E-06
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคห		PM10	1.68E-03
		SO2	2.10E-03
	มีอาการผิดปกติของระบบ	PM10	0.168
	มีอาการผิดปกติของระบบ	PM10	0.3
	สูญเสียวันทำงาน	PM10	0.058
	หอบหืด	PM10	0.058
	หลอดลมอักเสบเรื้อรัง	PM10	6.12E-05
	เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	PM10	2.37E-04
	พักรักษาตัวในโรงพยาบา	PM10	5.06E-06

ปริมาณสารพิษเฉลี่ย			Lignite Coke		Coke		Bituminuous	
อำเภอ	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2
ตากวน-อ่าวประดู่	35.96428571	7.066071429	7.735123225	13.46585411	8.609252432	3.347714656	21.51418881	4.226993304
ชอยร่วมพัฒนา	35.96428571	7.066071429	7.735123225	13.46585411	8.609252432	3.347714656	21.51418881	4.226993304
วัดโสภณ	35.96428571	7.066071429	7.735123225	13.46585411	8.609252432	3.347714656	21.51418881	4.226993304
หนองแฟบ	35.96428571	7.066071429	7.735123225	13.46585411	8.609252432	3.347714656	21.51418881	4.226993304

Lignite Coke		ตายก่อนวัยอันควร		รักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหา		มีอาการผิดปกติของ	มีอาการผิดปกติของ	สูญเสียวันทำงาน	หอบหืด	หลอดลมอักเสบเรื้อ	เข้ารับบริการที่ห้องฉ	พักรักษาตัวในโรงพย
		PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
อำเภอ	ประชากร	2.40E-06	1.99E-06	1.68E-03	2.10E-03	0.168	0.3	0.058	0.058	6.12E-05	2.37E-04	5.06E-06
ตากวน-อ่าวประดู่	2,669	4.95E-02	7.14E-02	3.47E+01	7.55E+01	3.47E+03	6.19E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.26E+00	4.89E+00	1.04E-01
ชอยร่วมพัฒนา	2,674	4.96E-02	7.16E-02	3.47E+01	7.56E+01	3.47E+03	6.21E+03	1.20E+03	1.20E+03	1.27E+00	4.90E+00	1.05E-01
วัดโสภณ	1,290	2.39E-02	3.45E-02	1.68E+01	3.65E+01	1.68E+03	2.99E+03	5.79E+02	5.79E+02	6.11E-01	2.36E+00	5.05E-02
หนองแฟบ	1,246	2.31E-02	3.33E-02	1.62E+01	3.52E+01	1.62E+03	2.89E+03	5.59E+02	5.59E+02	5.90E-01	2.28E+00	4.88E-02
รวม	7,879	1.E-01	2.E-01	1.E+02	2.E+02	1.E+04	2.E+04	4.E+03	4.E+03	4.E+00	1.E+01	3.E-01

Coke		ตายก่อนวัยอันควร		รักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหา		มีอาการผิดปกติของ	มีอาการผิดปกติของ	สูญเสียวันทำงาน	หอบหืด	หลอดลมอักเสบเรื้อ	เข้ารับบริการที่ห้องฉ	พักรักษาตัวในโรงพย
		PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
อำเภอ	ประชากร	2.40E-06	1.99E-06	1.68E-03	2.10E-03	0.168	0.3	0.058	0.058	6.12E-05	2.37E-04	5.06E-06
ตากวน-อ่าวประดู่	2,669	5.51E-02	1.78E-02	3.86E+01	1.88E+01	3.86E+03	6.89E+03	1.33E+03	1.33E+03	1.41E+00	5.45E+00	1.16E-01
ชอยร่วมพัฒนา	2,674	5.53E-02	1.78E-02	3.87E+01	1.88E+01	3.87E+03	6.91E+03	1.34E+03	1.34E+03	1.41E+00	5.46E+00	1.16E-01
วัดโสภณ	1,290	2.67E-02	8.58E-03	1.87E+01	9.07E+00	1.87E+03	3.33E+03	6.44E+02	6.44E+02	6.80E-01	2.63E+00	5.62E-02
หนองแฟบ	1,246	2.57E-02	8.29E-03	1.80E+01	8.76E+00	1.80E+03	3.22E+03	6.22E+02	6.22E+02	6.57E-01	2.54E+00	5.43E-02
รวม	7,879	2.E-01	5.E-02	1.E+02	6.E+01	1.E+04	2.E+04	4.E+03	4.E+03	4.E+00	2.E+01	3.E-01

Bituminuous		ตายก่อนวัยอันควร		รักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหา		มีอาการผิดปกติของ	มีอาการผิดปกติของ	สูญเสียวันทำงาน	หอบหืด	หลอดลมอักเสบเรื้อ	เข้ารับบริการที่ห้องฉ	พักรักษาตัวในโรงพย
		PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
อำเภอ	ประชากร	2.40E-06	1.99E-06	1.68E-03	2.10E-03	0.168	0.3	0.058	0.058	6.12E-05	2.37E-04	5.06E-06
ตากวน-อ่าวประดู่	2,669	1.38E-01	2.24E-02	9.65E+01	2.37E+01	9.65E+03	1.72E+04	3.33E+03	3.33E+03	3.51E+00	1.36E+01	2.91E-01
ชอยร่วมพัฒนา	2,674	1.38E-01	2.25E-02	9.66E+01	2.37E+01	9.66E+03	1.73E+04	3.34E+03	3.34E+03	3.52E+00	1.36E+01	2.91E-01
วัดโสภณ	1,290	6.66E-02	1.08E-02	4.66E+01	1.15E+01	4.66E+03	8.33E+03	1.61E+03	1.61E+03	1.70E+00	6.58E+00	1.40E-01
หนองแฟบ	1,246	6.43E-02	1.05E-02	4.50E+01	1.11E+01	4.50E+03	8.04E+03	1.55E+03	1.55E+03	1.64E+00	6.35E+00	1.36E-01
รวม	7,879	4.E-01	7.E-02	3.E+02	7.E+01	3.E+04	5.E+04	1.E+04	1.E+04	1.E+01	4.E+01	9.E-01

		Benefit Transfer	Inflation Conversion
WTP	WTP USA'93	WTP TH"93	WTP TH"16
ตายก่อนวัยอันควร	4,735,000	1,349,339.04	2,508,960.45
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคห	14,000	3,989.60	6,270.43
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	12	3.42	5.37
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	9	2.68	4.21
สูญเสียวันทำงาน	62	17.67	27.77
หอบหืด	37	10.54	16.57
หลอดลมอักเสบเรื้อรัง	220,000	62,693.68	98,535.34
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	520	148.19	232.90
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเ	15,000	4,274.57	6,718.32

GDP Transfer (201	unit		
US GDP (PPP)	58,624.59		
Thai GDP (PPP)	16,706.32		
อัตราเงินเฟ้อ			
	ปี (ค.ศ.)	ร้อยละ การเปลี่ยนแ	PV
1.859399581	1995	5.79	1.000
	1996	5.9	1.058
	1997	5.6	1.120
	1998	8.07	1.000
	1999	0.31	1.081
	2000	1.6	1.084
	2001	1.6	1.101
	2002	0.7	1.119
	2003	1.8	1.127
	2004	2.7	1.147
	2005	4.5	1.178
	2006	4.7	1.231
	2007	2.3	1.289
	2008	5.5	1.319
	2009	-0.9	1.391
	2010	3.3	1.379
	2011	3.81	1.424
	2012	3.02	1.478
	2013	2.18	1.523
	2014	1.89	1.556
	2015	-0.9	1.586
	2016	0.02	1.571
			1.572

อัตราการเกิดผลกระทบ รวม				
Exposure		Lignite Coke	Coke	Bituminuous
ตายก่อนวัยอันควร	PM10	0.146268	0.162798	0.406825
	SO2	0.210869	0.052424	0.066193
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดิ	PM10	102.387660	113.958264	284.777293
	SO2	222.804676	55.390952	69.939409
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	PM10	10,238.766029	11,395.826385	28,477.729337
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจเฉียบ	PM10	18,283.510766	20,349.689974	50,853.088102
สูญเสียวันทำงาน	PM10	3,534.812081	3,934.273395	9,831.597033
หอบหืด	PM10	3,534.812081	3,934.273395	9,831.597033
หลอดลมอักเสบเรื้อรัง	PM10	3.729836	4.151337	10.374030
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	PM10	14.443974	16.076255	40.173940
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกั	PM10	0.308382	0.343231	0.857722

ต้นทุนสังคม				
ผลกระทบ	WTP	Lignite Coke	Coke	Bituminuous
ตายก่อนวัยอันควร	2.51E+06	896,042.10	539,981.23	1,186,781.85
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดิ	6.27E+03	2,039,096.01	1,061,892.52	2,224,226.50
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ	5.37E+00	55,029.83	61,248.63	153,057.97
มีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจเฉียบ	4.21E+00	76,976.26	85,675.17	214,098.94
สูญเสียวันทำงาน	2.78E+01	98,158.37	109,251.04	273,014.11
หอบหืด	1.66E+01	58,578.38	65,198.20	162,927.78
หลอดลมอักเสบเรื้อรัง	9.85E+04	367,520.68	409,053.38	1,022,208.57
เข้ารับบริการที่ห้องฉุกเฉิน	2.33E+02	3,364.03	3,744.19	9,356.58
พักรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคเกี่ยวกั	6.72E+03	2,071.81	2,305.94	5,762.45
	รวม	3,596,837.46	2,338,350.29	5,251,434.74
	รวม (บาท)	**125,889,311**	**81,842,260**	**183,800,216**

	Process Cost	Process Costs per kWh
	บาท	บาท/หน่วย
Bituminuous	6,206,401,600	0.89
Met Coke + COG	10,150,113,502	1.45
Lignite Coke	9,944,593,303	1.42

	Total Cost	DM		Process Cost		Beta	
Bituminuous	**1.768**	0.856	48.42%	0.886	50.10%	0.026	1.48%
Met Coke + COG	**2.250**	0.790	35.12%	1.448	64.36%	0.012	0.52%
Lignite Coke	**1.964**	0.527	26.85%	1.419	72.24%	0.018	0.91%

	Total Cost per year	Cost per kWh
	บาท/ปี	
Bituminuous	12,387,721,479	1.77
Met Coke + COG	15,770,777,199	2.25
Lignite Coke	13,766,435,155	1.96

ภาคผนวค ฌ

หลักฐานการไปนำเสนอผลงานต่างประเทศ ครั้งที่ 1

ชื่องาน: 2016 2nd International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES 2016)

สถานที่จัดงาน: เมืองฮ่องกง, ประเทศจีน

วันที่จัดงาน: 4 – 6 ธันวาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อที่นำเสนอ: Comparison of metallurgical coke and lignite coke for power generation in Thailand

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2016 2nd International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES 2016)

Certificate of Oral Presentation

Presented to

Sudlop Ratanakuakangwan

Chulalongkorn University, Thailand

Paper ID: MS0034

Paper Title: *Comparison of metallurgical coke and lignite coke for power generation in Thailand*

For successfully presenting his/her paper at ICMES 2016, during December 4-6, 2016, in Hong Kong.

Session Chair (Signature) Hideo Kuguchi

Conference Committee (Seal) ICMES

ภาคผนวค ญ

หลักฐานการไปนำเสนอผลงานต่างประเทศ ครั้งที่ 2

ชื่องาน: International Conference on Economics, Management and Social Study (ICEMSS)

สถานที่จัดงาน: เมืองโกเบ, ประเทศญี่ปุ่น

วันที่จัดงาน: 6 – 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560

หัวข้อที่นำเสนอ: A study of coal and coke for power generation in Thailand

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENGINEERING RESEARCH AND DEVELOPMENT

Certificate of Excellence

This is to certify that

Sudlop Ratanakuakangwan

has been awarded with

ISERD Excellent Paper Award for the paper entitled "A study of Coal and Coke for Power Generation in Thailand" for the category Best Presentation / Best Content at the 68th ISERD International Conference held in Kobe, Japan on 6th-7th February 2017. Best wishes from ISERD.

ISERD

Authorised By
Chairman / Director

Paper ID: ISD-EMSSKOBE-06027-3330

ISERD

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENGINEERING RESEARCH AND DEVELOPMENT

International Conference on

Economics, Management and Social Study

Certificate

This is to certify that Sudlop Ratanakuakangwan has presented a paper entitled "A Study of Coal and Coke For Power Generation in Thailand" at the International Conference on Economics, Management and Social Study (ICEMSS) held in Kobe, Japan on 6th-7th February 2017.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENGINEERING RESEARCH & DEVELOPMENT • ISERD •

Chairman
International Society for Engineering Research and Development

รายการอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579, 2558

[2] Nuclear Energy Institute. Top 10 Nuclear Generating Countries. [Online]. 2015. Available from: http://www.nei.org/knowledge-center/nuclear-statistics/world-statistics/top-10-nuclear-generating-countries [2016, June 20]

[3] U.S. Energy Information Administration. Japan plans to restart some nuclear plants in 2015 after Fukushima shutdown. [Online]. 2015. Available from: http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=19951 [2016, August 15]

[4] World Nuclear Association. Fukushima Accident. [Online]. 2016. Available from: http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx [2016, November 1]

[5] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=84&Itemid=200 [1 พฤษจิกายน 2559]

[6] วรัทย์ ศรีพิพัฒนกุล. การศึกษาต้นทุนสังคมของโรงไฟฟ้า กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าถ่านหิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555

[7] สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. รายงานภาวะเศรษฐกิจท่องเที่ยว, 1, 2558

[8] U.S. Environmental Protection Agency. Emission Factor Documentation for AP-42 Section 1.7; Lignite Combustion, 1993

[9] B. H. Bowen. M. W. Irwin: Coal Characteristics. CCTR Basic Facts File, 2008

[10]V. P. Vorob'ev, P. P. Orlov, S.R. Lslamov, S. G. Stepanov. Lignite-Coke Briquets in Ferroalloy Production. Steel in Translation. 45. pp.207, 2015

[11]H. S. Valia. Coke Production for Blast Furnace Ironmaking. Blast Furnace Ironmaking. 2. pp.10.1, 1994

[12]R. Razzaq, C. Li, S. Zhang. Coke oven gas: Availability, properties, purification, and utilization in China. Fuel. 113. pp.287, 2013

[13]World Energy Council. World Energy Resources: Coal. pp.1.2, 2013

[14]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. การผลิตและการจัดหาถ่านหิน. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www2.egat.co.th/fuel/index.php?option=com_content&view=article&id=89:2011-02-08-08-20-22&catid=52:2011-02-08-08-14-19 [1 พฤษจิกายน 2559]

[15]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ข้อมูลโรงไฟฟ้าและเขื่อน. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=117 [10 มกราคม 2560]

[16]J. Chen, X. Lu. Progress of petroleum coke combusting in circulating fluidized bed boilers – A review and future perspectives. Resources, Conservation and Recycling. 49. pp.203, 2007

[17]International Energy Agency. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions, 2007

[18]M.A. Díez, R. Alvarez, C. Barriocanal. Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for coke making, International Journal of Coal Geology. 50. pp.389, 2002

[19]Coal producing companies and product specification. [Online]. 2013. Available from: http://www.resourcesandenergy.nsw.gov.au/investo rs/investment-opportunities/coal/nsw-coalproducing- companies-and-productspecifications#_ anglo-_american-__2013-_australia [2016, June 20]

[20]SUEK AG. Coal specification. [Online]. 2015. Available from: http://www.suekag.com/coalspecification/?specificati on=3> [2016, June 20]

[21]U.S. Department of Energy. Lower and Higher Heating Values of Fuels. [Online]. 2015. Available from: http://hydrogen.pnl.gov/tools/lower-and-higher-heating-values-fuels [2016, June 20]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[22]S. Mesroghli, E. Jorjani, S. C. Chelgani. Estimation of gross calorific value based on coal analysis using regressing and artificial networks. International Journal of Coal Geology. 79. pp.49, 2009

[23]Bright Hub Engineering. Basic Calculations for a Power Plant- Calculating the Coal Quantity. [Online]. 2009. Available from: http://www.brighthubengineering.com/power-plants/52544-basic-calculations-for-a-power-plant-calculating-the-coal-quantity/ [2016, August 10]

[24]วันชัย ริจิรวนิช, สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและงบประมาณ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[25]S. Senju, T. Fushimi, S. Fujita, J. E. Knight. Profitability Analysis Japanese Approach. Asian Productivity Organization Tokyo, 1989.

[26]N. Boccard, Industrial Organization; a Contrast Based Approach, 2010.

[27]บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็ดจีเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด. รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ระยะดำเนินการ โครงการโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี, 2556

[28]U.S. Energy Information Administration. Coal Prices and Outlook – Basics. [Online]. 2016. Available from: https://www.eia.gov/energyexplained/print.cfm?page=coal_prices [2016, October 1]

[29]S&P Global Platss. Steel Raw Material Outlook. [Online]. 2015. Available from: http://www.platts.com/newsfeature/2015/metals/steelrawmaterialspricinganalysis/cokingcoalprices1 [2016, July 8]

[30]P. S. Towsey, I. Cameron, Y. Gordon. Comparison of Byproduct and Heat-Recovery Cokemaking Technologies. Iron & Steel Technology. pp.45, 2011

[31]U.S. Energy Information Administration. Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants. U.S. Department of Energy, 2013

[32]U.S. Energy Information Administration. Cost and Performance Characteristics of New Generating Technologies. Annual Energy Outlook 2016, 2016

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[33]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ประมาณการค่าซื้อไฟฟ้าของ กฟผ. เดือนกันยายน 2558 – ธันวาคม 2558. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www3.egat.co.th/ft/Web/Purchase%20jan59_apr59.htm [15 ธันวาคม 2559]

[34]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ประมาณการค่าซื้อไฟฟ้าของ กฟผ. เดือนมกราคม 2559 - เมษายน 2559. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www3.egat.co.th/ft/Web/Purchase%20may59_aug59.htm [15 ธันวาคม 2559]

[35]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ประมาณการค่าซื้อไฟฟ้าของ กฟผ. เดือนพฤษภาคม 2559 - สิงหาคม 2559. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: http://www3.egat.co.th/ft/Web/Purchase%20sep59_dec59.htm [15 ธันวาคม 2559]

[36]U.S. Energy Information Administration. Average price of U.S. steam and metallurgical coal export 2010 – 2016. Quarterly Coal Report July – September 2016, 2016

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย สุดลพ รัตนเกื้อกังวาน เกิดเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีพ.ศ. 2559 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีพ.ศ. 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University