ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

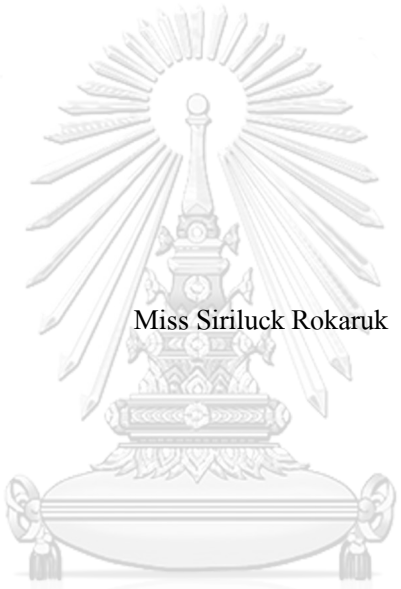
น.ส.สิริลักษณ์ โรคารักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ECO EFFICIENCY OF NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANT

Miss Siriluck Rokaruk



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management

Inter-Department of Energy Technology and Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ
โดย	น.ส.สิริลักษณ์ โรคารักษ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิริลักษณ์ โรคารักษ์ : ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ. (ECO EFFICIENCY OF NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติแห่งหนึ่ง ในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยใช้การศึกษาการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ควบคู่กับการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า พบว่า ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปมากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ในขณะที่การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ พบว่า มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ เท่ากับ 283,536 ล้านบาท และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการจะเท่ากับ 1.95 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ทั้งนี้ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติส่งผลต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 89 ของต้นทุนทั้งหมด เนื่องจากความผันผวนของราคาก๊าซธรรมชาติในตลาดโลก

ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี เมื่อเทียบกับผลการศึกษาอื่น และแนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ ควรให้ความสำคัญกับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ การลดอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ และการทำความสะอาดส่วนอัดอากาศ เป็นต้น

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6087588820 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Eco-Efficiency, Life Cycle Costing, Life cycle assessment, Power plant, Natural gas

Siriluck Rokaruk : ECO EFFICIENCY OF NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANT. Advisor: Prof. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D.

This study aimed to evaluate the Eco-efficiency of a natural gas combined-cycle power plant in Eastern Thailand. By integrating Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA). These tools help decision-makers in making environmentally and economically motivated choices. The result of LCA found that the majority impact from fuel combustion is non-renewable energy and global warming potential respectively. The results of LCC showed that the net present value of the project cost is 283,536 million baht. The total unit cost of electricity equal to 1.95 baht per kilowatt-hour. The costs of fuel accounted for 89 percent of the total cost affect the cost of electricity generation due to fluctuations in natural gas prices.

The result of the Eco-efficiency analysis of the entire life cycle of natural gas combined cycle power plant showed that the non-renewable energy and global warming potential is fairly good level compared to other studies. The guidelines for reducing environmental impacts and increased production efficiency, including reducing the cost of electricity production of natural gas combined-cycle power plants. We should focus on the combustion process such as increasing the efficiency of the gas turbine, air inlet temperature reduction for an air compressor and cleaning the compressed air, etc.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน โดยผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่มีความกรุณาให้คำปรึกษา แนะแนวทางในการศึกษา การแก้ไขปัญหา ที่มีคุณค่าอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินงานวิจัย จนทำให้งานวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผศ. ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และ รศ. ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช (กรรมการ) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ดร.ภานุวัตน์ อุส่าห์เพียร (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ดร.อุริช อัชชโคสิต ที่มีความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรจากโรงไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำและอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและคอยผลักดันรวมถึงโอกาสในการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิริลักษณ์ โรคารักษ์

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 5

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 7

2.1.1 คำนิยาม 7

2.1.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 7

2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 8

2.1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ..... 10

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)..... 10

2.2.1 คำนิยาม 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต 11
2.2.3 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต 13
2.2.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต 13
2.2.5 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต 19
2.3 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing) 22
2.3.1 คำนิยาม 22
2.3.2 การวิเคราะห์ต้นทุน 23
2.3.3 การหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ 25
2.3.4 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต 25
2.3.5 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 26
2.4 การเปรียบเทียบการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) 26
2.5 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant) 28
2.6 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) (PTT, 2014) 29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
2.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 30
2.7.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 30
2.7.3 การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 31
2.7.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ 32
2.7.5 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 40
3.1 การดำเนินงานวิจัย 40
3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ไฟฟ้า (Life Cycle Assessment of Electricity) 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1 การคัดเลือกโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา 42
3.2.2 การออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล.....44
3.2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า 46
3.2.4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation) 52
3.3 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (Life Cycle Costing of Electricity) ..52
3.3.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....52
3.3.2 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) 54
3.4 แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....54
3.4.1 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า.....55
3.4.2 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 55
3.4.3 การศึกษาแนวโน้มของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....55
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 56
4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....56
4.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา.....56
4.1.2 การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก.....56
4.1.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle Impact Assessment: LCIA).....62
4.1.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับงานวิจัยอื่น 73
4.2 การศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (Life Cycle Costing; LCC).....77
4.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา.....77
4.2.2 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า 78
4.2.3 ผลการวิเคราะห์หาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....83
4.2.4 ผลการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการ 83
4.2.5 ผลการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการ กรณีคิดรวมต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.6 การเปรียบเทียบต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้ากับงานวิจัยอื่น 91
4.2.7 การเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้ากับงานวิจัยอื่น.....91
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....93
4.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา.....93
4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า 93
4.4 แนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 103
5.1 สรุปผลการวิจัย.....103
5.1.1 ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ.....103
5.1.2 ผลการศึกษาการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing: LCC) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ 104
5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า 104
บรรณานุกรม 106
ภาคผนวก 115
ภาคผนวก ก 116
ภาคผนวก ข 121
ภาคผนวก ค 127
ภาคผนวก ง.....128
ประวัติผู้เขียน 134

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2560 1

ตารางที่ 1-2 สัดส่วนกำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์) ปี พ.ศ.2561 2

ตารางที่ 2-1 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (เรียบเลิศหิรัญ & แววบุญ แย้มแสงสังข , 2555) 12

ตารางที่ 2-2 แสดงรายละเอียดของวิธีการต่าง ๆในโปรแกรม SimaPro (ณนัทธ์ มณีขัติยะ, 2553)..19

ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบ LCC และ LCA ดัดแปลงจาก (G. A Norris, 2001) 27

ตารางที่ 2-4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....33

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดด้านเทคนิค ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ขนาด 763 เมกะวัตต์.....43

ตารางที่ 3-2 รูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า.....44

ตารางที่ 3-3 แหล่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษา.....47

ตารางที่ 3-4 หน่วยผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint unit) กลุ่มความเสียหาย (Damage unit) และการเทียบหน่วยในวิธี IMPACT 2002+ (Humbert, Schryver, Bengoa, Margni, & Jolliet, 2012).....50

ตารางที่ 3-5 ค่าแฟคเตอร์สำหรับการเปลี่ยนหน่วย (Jolliet et al., 2003).....51

ตารางที่ 3-6 ค่าแฟคเตอร์สำหรับการเทียบหน่วย (Normalization factors) (Humbert et al., 2012) .52

ตารางที่ 3-7 ข้อกำหนดในการศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์.....53

ตารางที่ 4-1 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และการขนส่งก๊าซธรรมชาติ (Phumpradab et al., 2009).....57

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า 58

ตารางที่4-3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ.....58

ตารางที่ 4-4 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง.....61

ตารางที่ 4-5 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกการก่อสร้างและการรื้อถอนที่นำมาใช้ในการศึกษา (Bauer, 2008).....62

ตารางที่ 4-6 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories).....63

ตารางที่ 4-7 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) 65

ตารางที่ 4-8 การศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์.....78

ตารางที่ 4-9 รายละเอียดต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษาในปี พ.ศ.2549-2552.....79

ตารางที่ 4-10 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของโครงการ (ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน).....84

ตารางที่ 4-11 ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมอายุโครงการ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน).....86

ตารางที่ 4-12 มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ .88

ตารางที่ 4-13 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 กำลังผลิตรวมทั้งระบบ....2

รูปที่ 1-2 ขอบเขตของการศึกษา....6

รูปที่ 2-1 ขั้นตอนทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Rüdenauer, Gensch, Grießhammer, & Bunke, 2008)....9

รูปที่ 2-2 ขอบเขตสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ปัทมาพร ตรีเนตร, 2559)....11

รูปที่ 2-3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต....13

รูปที่ 2-4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12 (ปัทมาพร ตรีเนตร, 2559)....22

รูปที่ 2-5 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant)....29

รูปที่ 3-1 ผังการไหลแผนการดำเนินงานวิจัย....41

รูปที่ 3-2 ผังกระบวนการผลิต โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษา....43

รูปที่ 3-3 แสดงขอบเขตของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า....47

รูปที่ 3-4 กราฟสำหรับนำเสนอประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Borén, 2008)....55

รูปที่ 4-1 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตกระแสไฟฟ้า....60

รูปที่ 4-2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลางตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า....63

รูปที่ 4-3 ผลการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า....66

รูปที่ 4-4 ผลการเทียบหน่วย (Normalization)....67

รูปที่ 4-5 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป....68

รูปที่ 4-6 ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า....69

รูปที่ 4-7 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน....69

รูปที่ 4-8 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง....70

รูปที่ 4-9 ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ.....71

รูปที่ 4-10 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ.....72

รูปที่ 4-11 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ.....72

รูปที่ 4-12 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 4 ผลกระทบสูงสุด.....73

รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า.....74

รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนกับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า.....75

รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)และปริมาณกระแสฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิกะวัตต์).....80

รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยรายปีที่ กฟผ.รับซื้อ(บาท/ล้านบีทียู).....82

รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (ล้านบีทียู/กิโลวัตต์ชั่วโมง) และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิกะวัตต์).....82

รูปที่ 4-18 ร้อยละของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ.....85

รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ จากทั้ง 2 กรณี ...90

รูปที่ 4-20 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....91

รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าจากงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยอื่น 92

รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัย (NETL, 2010).....93

รูปที่ 4-23 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป 95

รูปที่ 4-24 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 95

รูปที่ 4-25 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ กรณีคิดรวมต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....97

รูปที่ 4-26 กำลังการผลิตสุทธิ (Net Power Output) กรณีที่ไม่มีและมีการติดตั้งระบบพ่นละอองน้ำ (รัฐนนท์ นนท์ไพรวัลย์, 2560).....98

รูปที่ 4-27 หัวฉีดฝอยน้ำสเปรย์ (Fogging nozzle) (ณัฐกฤตา เตจาคำ, 2558) 99

รูปที่ 4-28 ระบบลดอุณหภูมิอากาศโดยการฉีดพ่นละอองน้ำ (ณัฐกฤตา เตจาคำ, 2558).....99

รูปที่ 4-29 การทำความสะอาดส่วนอัดอากาศ (Offline Compressor Washing) (Wilson Poon, 2010) 100

รูปที่ 4-30 ลักษณะการติดตั้งกรองอากาศ โดยเรียงจาก Coarser Filter, Pre Filter และ Final Filter ตามลำดับ (สกนธ์กำแหง, 2560) 100

รูปที่ 4-31 ความสกปรกของส่วนอัดอากาศในงานบำรุงรักษาตามวาระ (สกนธ์กำแหง, 2560).....100

รูปที่ 4-32 การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมควบคู่กับการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Alqahtani & Patiño-Echeverri, 2016) 101

รูปที่ 4-33 การติดตั้งเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ และเป็นปัจจัยพื้นฐานของการดำรงชีวิต สอดคล้องกับข้อมูลสถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทยปีพ.ศ. 2559 ได้ระบุว่าประเทศไทยมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 199,567 กิกะวัตต์ชั่วโมง ปรับเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.84 เทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ในขณะที่การใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 182,847 กิกะวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.58 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2560) ทั้งนี้สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปีพ.ศ.2560 รวมทั้งหมด 174,560.98 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560) ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2560

ประเภทเชื้อเพลิง	สะสมเดือนมกราคม-พฤศจิกายน 2560	
	จำนวน (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	111,091.50	63.64
ถ่านหิน(ลิกไนต์)	41,070.70	23.53
พลังงานหมุนเวียน(พลังน้ำ,อื่น ๆ)	20,109.58	11.52
น้ำมันเตา	216.76	0.12
น้ำมันดีเซล	184.34	0.11
อื่น ๆ (สปป.ลาว,มาเลเซีย,ลำตะคลองชลภาวัฒนา)	1,888.10	1.08
รวม	**174,560.98**	**100**

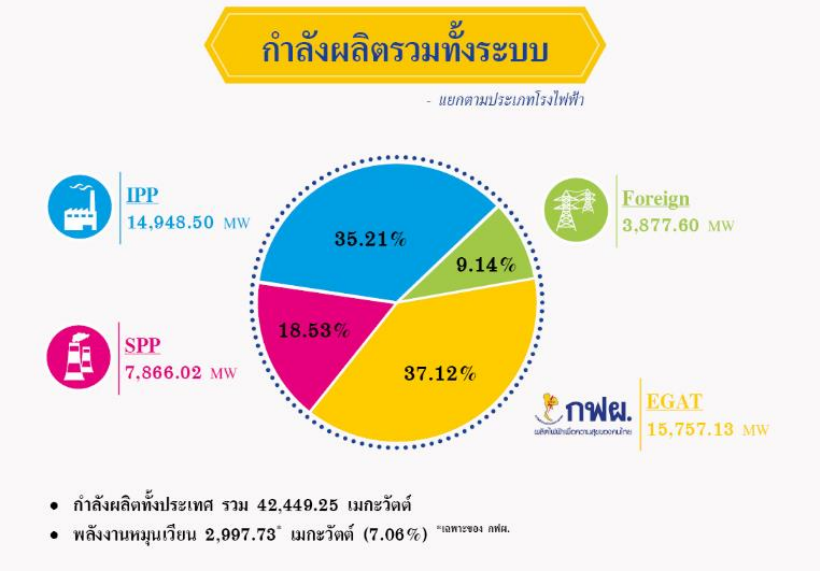
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. มีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.64 รองลงมาคือถ่านหิน (ลิกไนต์) คิดเป็นร้อยละ 23.53 และพลังงานหมุนเวียน (พลังน้ำ, อื่น ๆ) ร้อยละ11.52

ตารางที่ 1-2 สัดส่วนกำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์) ปี พ.ศ.2561

เทคโนโลยีการผลิต	กำลังผลิตในระบบไฟฟ้า	
	เมกกะวัตต์ (MW)	ร้อยละ
พลังความร้อนร่วม	8,582.00	54.47
พลังความร้อน	3,647.00	23.15
พลังงานหมุนเวียน	2,997.73	19.02
ดีเซล	30.40	0.19
อื่น ๆ	500	3.17
รวม	**15,757.13**	**100**

จากตารางที่ 1-2 พบว่า สัดส่วนกำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์) จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ใช้เทคโนโลยีพลังความร้อนร่วมมีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.47 รองลงมาคือ เทคโนโลยีพลังความร้อน คิดเป็นร้อยละ 23.1 และพลังงานหมุนเวียน คิดเป็นร้อยละ 19.02 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561a) เมื่อพิจารณากำลังผลิตรวมทั้งประเทศ ดังรูปที่ 1-1 พบว่า กำลังผลิตรวม 42,449.25 เมกะวัตต์ โดยโรงไฟฟ้าของกฟผ. มีกำลังผลิตมากที่สุดร้อยละ 37.12 รองลงมาเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (Independent Power Producer: IPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (Small Power Producer: SPP) และการรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน (Foreign) เท่ากับร้อยละ 35.21 18.53 และ 9.14 ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561b)



รูปที่ 1-1 กำลังผลิตรวมทั้งระบบ

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) ตามวิธีมาตรฐานของ ISO 14040 และ 14044 (ISO, 2006a, 2006b) จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทย พบว่า การผลิตไฟฟ้าโดยระบบพลังความร้อนร่วมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าระบบกังหันแก๊ส และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน (ฤทธิ์มณี, เตียรถ์สุวรรณ, & และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2551) ซึ่งผลกระทบหลักจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Usapein & Chavalparit, 2017) สัมพันธ์กับการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงเมื่อจำนวนชั่วโมงการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้นเช่นกัน (Martín-Gamboa, 2018) ผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัดสินใจกระบวนการผลิตว่า ทางเลือกไหนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือเพื่อบอกว่าในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น ขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอน มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร (Nicoletti, Notarnicola, & Tassielli, 2002)

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในด้านเศรษฐศาสตร์ จะมีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing; LCC) เพื่อให้ทราบต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ISO, 2008) เช่น การเปรียบเทียบต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำน้อยกว่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่คำนึงถึงต้นทุนการบำบัดก๊าซเรือนกระจก (ธนวรรณ ใจบุญมา, 2550) การเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี จะมีความเหมาะสมก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินมากกว่ากรณีการใช้น้ำมันเตา (สุรัก ปิยะรักสกุล, 2548) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้นทุนสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการลงทุนต่อไป (Gluch & Baumann, 2004) เช่นเดียวกับการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในประเทศที่มีการนำเชื้อเพลิงทางธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบภายนอกเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (วรรษมน นิ่มชื่น, 2551)

ดังนั้นแนวคิดที่นำไปสู่ความยั่งยืนขององค์กร ที่จะสามารถระบุโอกาสในการลดต้นทุนอันเป็นผลจากการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และผลลัพธ์สุดท้ายที่จะช่วยให้ลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และบริการ (Gregory A. Norris, 2001) ตามหลักการที่เรียกว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) คณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก

(World Business Council for Sustainable Development: WBCSD) ได้ให้คำนิยามของคำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจว่า “การแข่งขันในศักยภาพด้านการผลิตและการบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์และนำมาซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ในขณะที่การแข่งขันดังกล่าวจำเป็นต้องตระหนักถึงผลกระทบที่มีต่อระบบนิเวศและทรัพยากรธรรมชาติ ให้อยู่ในระดับที่ความสามารถของโลกใบนี้ที่จะรองรับผลกระทบที่เกิดจากการแข่งขันได้” (WBCSD, 2000) โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ

- พยายามลดการบริโภคทรัพยากร (Reducing the consumption of resources)
- พยายามลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (Reducing the impact on nature)
- เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และการบริการ (Increasing product or service value)

การบูรณาการร่วมนั้นช่วยให้มั่นใจได้ว่าการตัดสินใจขององค์กรขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปของต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสุขภาพของประชาชน ซึ่งเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบไปจนถึงการกำจัดของเสีย ที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบ และการผลิต (Krozer, 2008) เช่นเดียวกับ การศึกษาเปรียบเทียบการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization, FGD) ของโรงไฟฟ้าลิกไนต์ พบว่า สามารถลดปัญหาฝนกรดได้ประมาณร้อยละ 97 และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะให้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ เมื่อพิจารณาต้นทุนของระบบ FGD ในด้านการปกป้องสิ่งแวดล้อม (Sampattagul, Kato, Kiatsiriroat, & Widiyanto, 2004) ทั้งนี้ ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นมีความเหมาะสมกับองค์กรต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างสมดุลอย่างบูรณการระหว่างผลประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ (Maxime, Marcotte, & Arcand, 2006) สอดคล้องกับการบูรณาการการประเมินความยั่งยืนของวงจรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศตุรกีที่มีการพิจารณาทั้งด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Atilgan & Azapagic, 2016) โดยผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรของพลังงาน มลพิษ และต้นทุนของไฟฟ้าของประเทศสิงคโปร์ จะถูกพิจารณาในมุมมองของความมั่นคงด้านเชื้อเพลิง การปกป้องสิ่งแวดล้อม และต้นทุนประสิทธิผลของการผลิตไฟฟ้าในอนาคต (Kannan, Tso, Osman, & Ho, 2004) และการพิจารณาจากหลายๆ ด้านนั้นจะช่วยให้การตัดสินใจนำไปสู่เลือกที่ยั่งยืนที่สุด (Atilgan & Azapagic, 2016)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยใช้การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing; LCC) ตามมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ISO 15663-1 :2000 (ISO, 2000)

และ ISO 15686-5 :2008 (ISO, 2008) ควบคู่กับการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (Life cycle assessment; LCA) ตามมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ISO 14040:2006 (ISO, 2006a) และ ISO 14044:2006 (ISO, 2006b) โดยมีขอบเขตการประเมินครอบคลุม Cradle to grave ของกระบวนการได้มาของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยกำหนดหน่วยการทำงาน (functional Unit) คือ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง และผลที่ได้จากการศึกษาจะถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

2. เพื่อประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing: LCC) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

3. เพื่อประเมินเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) ของไฟฟ้าโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

4. เพื่อเสนอแนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของพลังความร้อนร่วม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงไฟฟ้ากรณีศึกษา คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติแห่งหนึ่ง ซึ่งตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA)

2.1 ขอบเขตการประเมินครอบคลุม Cradle to grave ของขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ ดังรูปที่ 1-2

2.2 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยทำงาน (Functional Unit) คือ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

2.3 ใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 วิธี IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

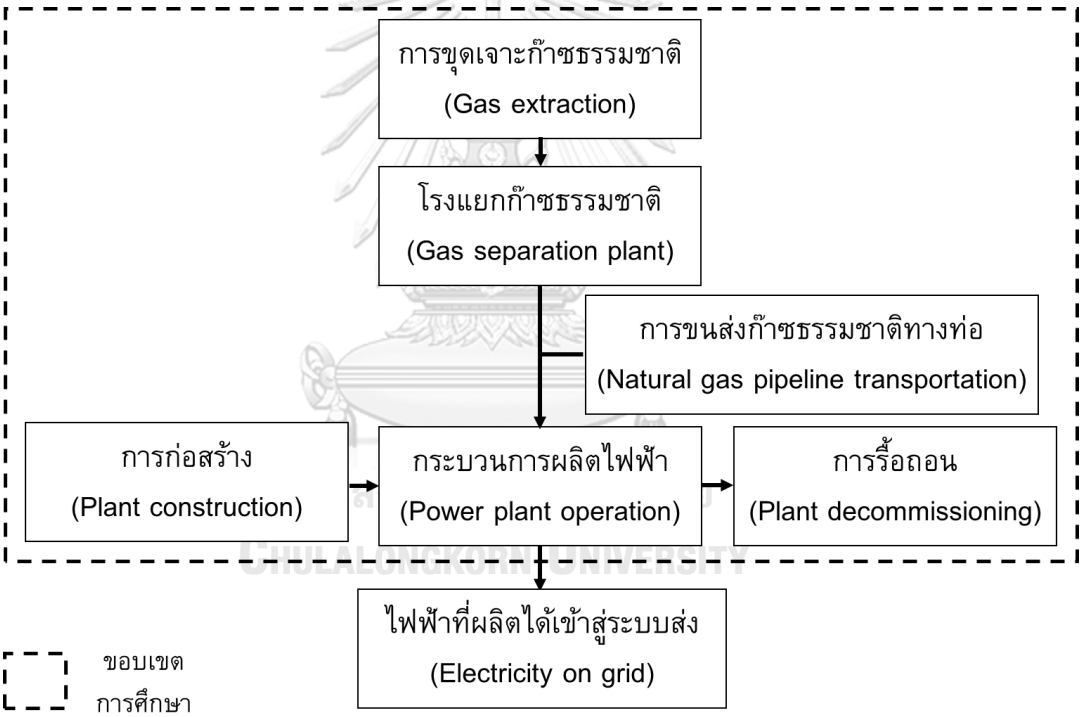
3. เครื่องมือที่ใช้ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing) และประเมินเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) อ้างอิงตาม ISO 14000 และรวมถึงข้อแนะนำต่าง ๆ ดังนี้คือ

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) อ้างอิงตาม ISO 14040-14044: 2006

3.2 การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing) อ้างอิงตาม ISO 15663-1;2000 และ ISO 15686-5:2008

3.3 การประเมินเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) อ้างอิงตาม ISO 14045: 2012

4. ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และทางเศรษฐกิจใช้ข้อมูลทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ



รูปที่ 1-2 ขอบเขตของการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีแนวทางในการตัดสินใจให้เกิดการเลือกใช้ทรัพยากรหรือวัตถุดิบที่ดีมีคุณภาพเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของการผลิตไฟฟ้า

2. ได้ข้อเสนอแนะแนวทาง/มาตรการลดการใช้พลังงานของการผลิตไฟฟ้า

3. เป็นฐานข้อมูลให้กับโรงไฟฟ้าอื่น ๆ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

2.1.1 คำนิยาม

คำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ มาจากการรวมกันของคำ 2 คำ ได้แก่ คำว่า Eco หมายถึง ระบบนิเวศ (Ecology) และเศรษฐกิจ (Economy) กับคำว่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก (World Business Council for Sustainable Development: WBCSD) ได้ให้คำนิยามของคำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจว่า “การแข่งขันในศักยภาพด้านการผลิตและการบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์และนำมาซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ในขณะที่การแข่งขันดังกล่าวจำเป็นต้องตระหนักถึงผลกระทบที่มีต่อระบบนิเวศและทรัพยากรธรรมชาติ ให้อยู่ในระดับที่ความสามารถของโลกใบนี้ที่จะรองรับผลกระทบที่เกิดจากการแข่งขันได้” (WBCSD, 2000) หรืออีกนัยหนึ่งคือ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของมูลค่าของตัวสินค้าและบริการไปพร้อมความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยผ่านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ (ESCAP, 2009)

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้ทรัพยากรซึ่งมีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมพร้อมไปกับการควบคุมและเพิ่มมูลค่าของการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (WBCSD, 2000)

1. พยายามลดการบริโภคทรัพยากร รวมถึงการพยายามลดการใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิต พลังงาน น้ำ และที่ดิน ส่งเสริมการใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ของผลิตภัณฑ์

2. พยายามลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดการปล่อยของเสีย ได้แก่ น้ำทิ้ง ขยะ และสารพิษ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

3. เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และการบริการ คือ ความพยายามที่จะให้ผู้บริโภคได้รับผลประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ สินค้า และการบริการสูงสุด โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติน้อยที่สุด

2.1.2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

WBCSD ได้กำหนดแนวทาง 7 ประการ ที่จะช่วยให้การดำเนินงานด้านธุรกิจประสบความสำเร็จในเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น (กิติกร จามรดุสิต, 2551) ประกอบด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ลดการใช้ทรัพยากร หรือวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตและบริการ

2. ลดการใช้พลังงานในการผลิต และบริการ

3. ลดการปล่อยสารพิษต่าง ๆ

4. เสริมสร้างศักยภาพการแปรใช้ใหม่ของวัสดุ

5. เพิ่มปริมาณการใช้ทรัพยากรที่หมุนเวียนได้

6. เพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

7. เพิ่มระดับการให้บริการแก่ผลิตภัณฑ์และเสริมสร้างธุรกิจบริการ

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจได้กลายเป็นแนวคิดการจัดการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในบริษัทขนาดใหญ่ทั่วโลก (Kicherer, Schaltegger, Tschochohei, & Ferreira Pozo, 2007) โดยหลักการประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจถือเป็นเครื่องมือการจัดการหนึ่งที่เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมแล้ว จะสามารถช่วยให้ธุรกิจนั้น ๆ เกิดผลกำไรที่เพิ่มมากขึ้น จากการพยายามลดการใช้ทรัพยากร หรือวัตถุดิบตั้งต้น และพลังงาน รวมถึงลดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมลง อันจะนำไปสู่การเพิ่มสูงขึ้นของคุณภาพชีวิตหลังจากที่สังคมนั้น ๆ มีความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง และมีอีกหลายสาเหตุที่บริษัทเลือกใช้ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่น สามารถติดตามและจัดทำเอกสารประสิทธิภาพสามารถระบุต้นทุนการออมและผลประโยชน์ อีกทั้งการรระบุและจัดลำดับความสำคัญของโอกาสในการปรับปรุง (Holliday, 2002) นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับใช้เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อม พลังงานและการใช้ทรัพยากรตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle to grave) (De Andraca, 1994)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

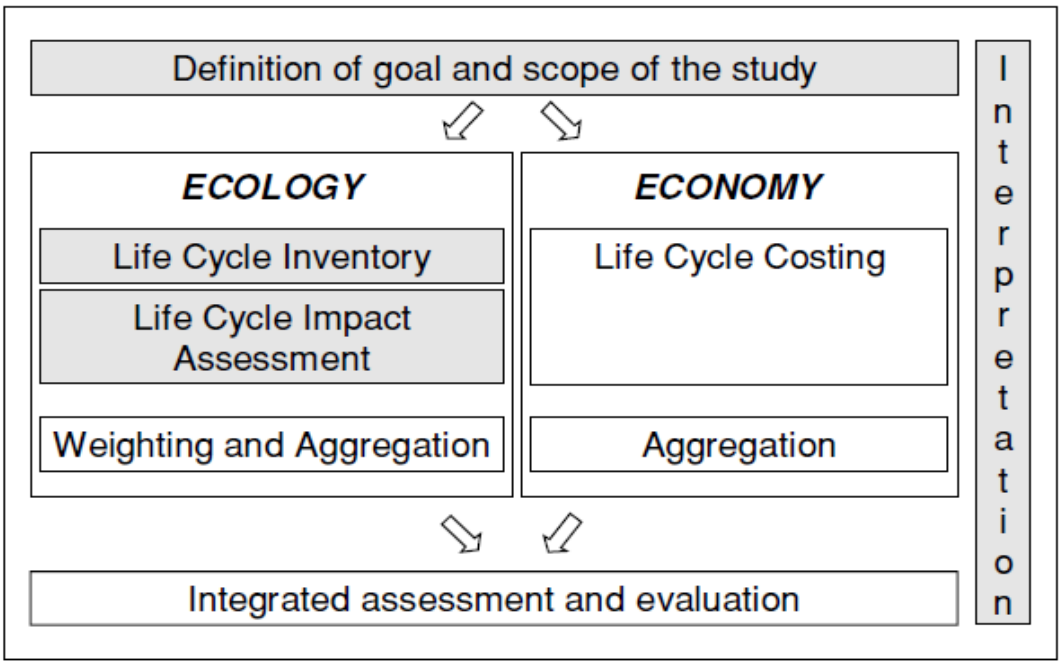
2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ตามแนวทางวิธีการประเมินที่กำหนดขึ้นโดย WBCSD สามารถประเมินค่าประสิทธิภาพเศรษฐกิจได้จาก การพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดย WBCSD ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ดังสมการที่ 2-1

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ} = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์หรือการบริการ}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม}} \qquad (2\text{-}1)$$

จาสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เมื่อพิจารณาตามรูปแบบของสมการแล้ว จะสังเกตได้ว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ประการ ได้แก่ ปัจจัยของมูลค่าผลิตภัณฑ์หรือบริการ (Product or Service Value) และปัจจัยของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Influence) โดยที่ปัจจัยทั้ง 2 จะอยู่ในรูปที่เป็นสัดส่วนกัน ทั้งนี้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ จะมีการประยุกต์เพื่อหาปริมาณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์สามารถศึกษาได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษานั้น แต่โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing) หรือต้นทุนทางบัญชีทั้งหมด (Total cost accounting) ในขณะที่การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจะทำการศึกษาด้วยเครื่องมือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) ดังสมการที่ 2-2 (Borén, 2008) และรายละเอียดของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ดังรูปที่ 2-1

$$\text{Eco-efficiency} = \frac{\text{Life cycle costing}}{\text{Life cycle assessment}} \qquad (2\text{-}2)$$



รูปที่ 2-1 ขั้นตอนทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

(Rüdenauer, Gensch, Grießhammer, & Bunke, 2008)

2.1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์องค์กรหรือภาคธุรกิจ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2552) มีดังนี้

1) ด้านธุรกิจ / การค้า / การตลาด

1.1) ช่วยประเมินให้เห็นถึงสภาพของผลิตภัณฑ์ องค์กร หรือภาคธุรกิจ ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่ผ่านมา สามารถใช้เทียบเคียงสมรรถนะด้านการจัดการกับองค์กรหรือภาคธุรกิจอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน (Benchmarking) อันจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตภายในองค์กรหรือภาคธุรกิจ

1.2) สามารถนำผลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) มาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของตนเองให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.3) ช่วยลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ ทั้งในส่วนของการใช้พลังงานและการใช้ทรัพยากร

1.4) สามารถใช้ในการกำหนดบทบาทเชิงนโยบายของกลยุทธ์ขององค์กรหรือภาคธุรกิจสำหรับการดำเนินงานในอนาคตได้

1.5) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือการเพิ่มศักยภาพด้านการแข่งขันของอุตสาหกรรม

1.6) ใช้เป็นกลยุทธ์ด้านการตลาดและส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัท ในการเป็นผู้นำด้านการพัฒนาและผลิตสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2) ด้านสิ่งแวดล้อม

2.1) ช่วยลดมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการใช้ทรัพยากร ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนมากขึ้น ลดการปล่อยมลภาวะ เป็นต้น

2.2) ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

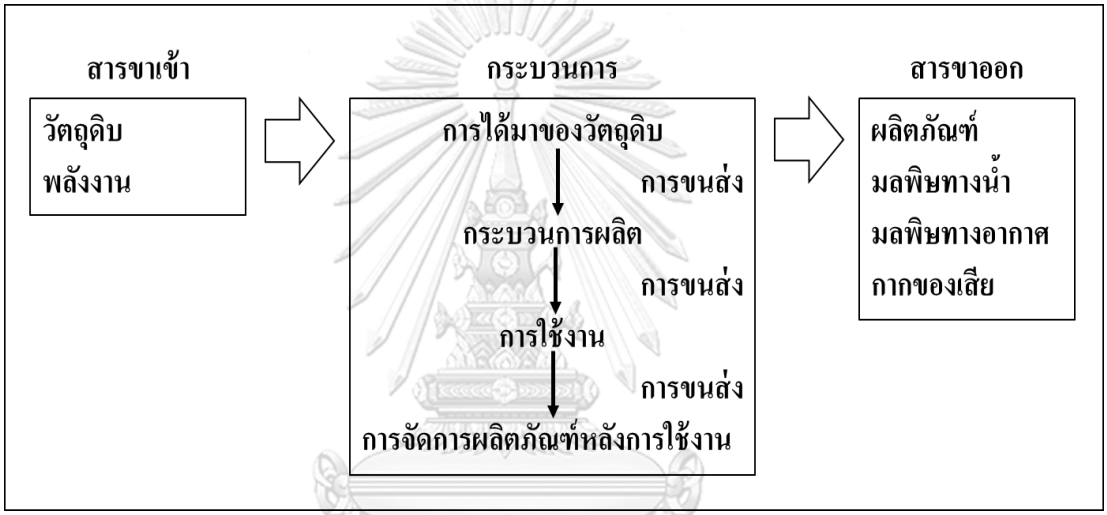
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)

2.2.1 คำนิยาม

องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินวัฏจักรชีวิต ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและประเมินค่าสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต”

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบและพลังงาน กระบวนการผลิต การขนส่ง การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้งาน และการจัดการของเสียหลังการใช้งาน กล่าวได้ว่า เป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุปริมาณสารขาเข้า (Input) ซึ่งก็คือทรัพยากร วัสดุ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ในทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต รวมถึงระบุปริมาณสารขาออก (Output) ซึ่งได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ ของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ขอบเขตสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ปัทมาพร ตรีเนตร, 2559)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือวิเคราะห์ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตมาประยุกต์ใช้นั้น มีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ ได้แก่

1) การปรับปรุงผลิตภัณฑ์

ผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถทำให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต ทำให้เห็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างตรงจุด สามารถตัดสินใจในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน

2) การมองผลกระทบโดยรวม

สามารถมองภาพรวมที่เกิดขึ้นจากการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ทั้งหมด และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของผลกระทบ ตลอดจนปัญหาได้อย่างชัดเจน

3) การศึกษาอย่างเป็นระบบ

เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถชี้ให้เห็นถึงเหตุที่เกิดจากผลที่สามารถพิสูจน์ได้ โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นรูปธรรมหรือในเชิงปริมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือในการนำมาวิเคราะห์ ไม่ได้เป็นเพียงการตัดสินใจของผู้ที่ทำการศึกษาเท่านั้น

ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัดสินใจกระบวนการผลิต ว่าทางเลือกไหนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หรือเพื่อบอกว่าในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้นขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมชนิดอื่น ๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง โดยข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต สรุปได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต
(เรียบเลิศหิรัญ & แววบุญ แย้มแสงสังข, 2555)

ข้อดี	ข้อจำกัด
- เป็นการวิเคราะห์ที่มองภาพรวมของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง - บ่งชี้ขั้นตอนหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบ - บ่งชี้ประเด็นที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดและทำให้ทราบแหล่งที่มาของผลกระทบ - สามารถคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ - ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบของผลิตภัณฑ์ และวิธีการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ - สามารถแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ - เป็นฐานข้อมูลที่นำไปใช้ออกแบบเชิงนิเวศได้	- ค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน - ขาดแคลนข้อมูลบัญชีรายการทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพราะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก - ความไม่แน่นอนของวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบ - ผลการประเมินอาจมีความแตกต่างกันเกิดเนื่องจากวิธีการประเมินแตกต่างกัน - การประเมินวัฏจักรชีวิตเรื่องเดียวกัน แต่มีช่วงระยะเวลาต่างกัน อาจให้ผลการประเมินไม่เหมือนกันหรือขัดแย้งกัน

2.2.3 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย ขั้นตอนหลักดังนี้

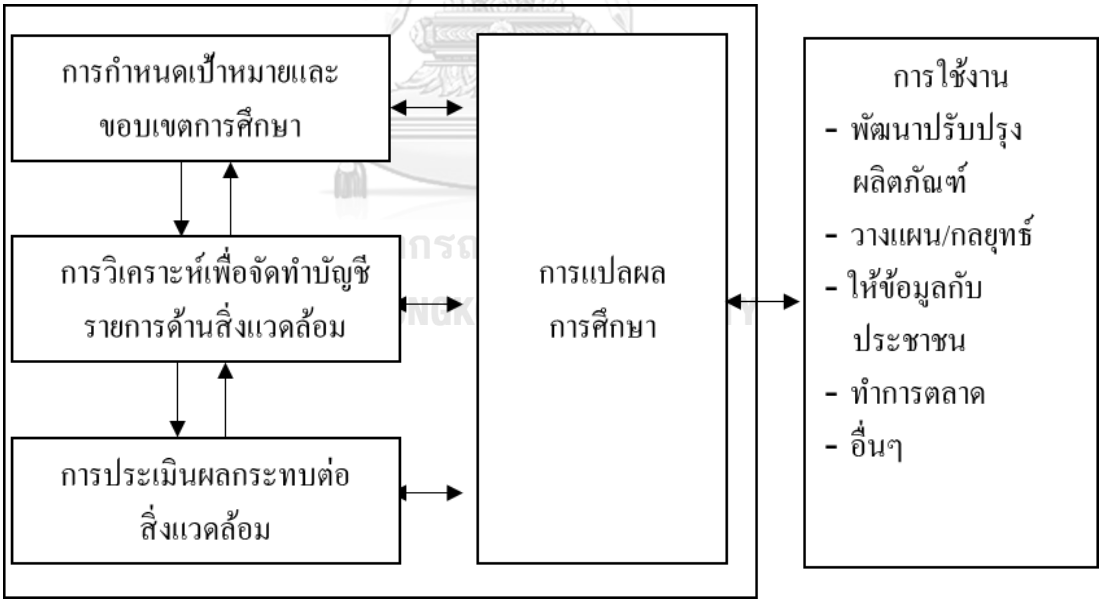
1) การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในทุก ๆ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องและเกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ การปล่อยของเสีย และการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2) การประเมินและการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment impact) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

3) การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

2.2.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีกรอบการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต สรุปไว้ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต

(International organization for standardization, 2006)

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพื่อทำให้วัตถุประสงค์การศึกษามีความชัดเจนและมีขอบเขตของระบบตรงตามต้องการ ซึ่งจะมีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา หากกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุม อาจทำให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตทำได้โดยยากและไม่ตรงประเด็นตามที่ต้องการ โดยมีประเด็นที่สำคัญ คือ

1.1) การกำหนดเป้าหมาย (Goal)

เป็นการกำหนดสิ่งที่จะทำการศึกษาว่าจะทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิต หรือการบริการใด ๆ ให้ชัดเจน และระบุจุดมุ่งหมายในการนำผลการศึกษาไปใช้งานต่อ เช่น เพื่อนำผลการประเมินที่ได้ไปปรับปรุงระบบการผลิต หรือเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการประเมินจากผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งการกำหนดเป้าหมายจะต้องมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ เพื่อให้ข้อมูลและการสรุปผลมีความน่าเชื่อถือ

1.2) การกำหนดขอบเขตการศึกษา (Scope)

เป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบ ซึ่งรวมถึงวิธีในการประเมิน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลให้ถูกต้องตามต้องการและตรงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยการกำหนดขอบเขตการศึกษาต้องครอบคลุมถึงการกำหนดหน่วยการทำงาน หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตของระบบที่พิจารณา ระบบผลิตภัณฑ์ เกณฑ์การตัดออก ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3) หน่วยการทำงาน (Functional unit)

เป็นการใช้ตัวอ้างอิงหรือพื้นฐานในการเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและขาออกจากระบบหน่วยหน้าที่ของระบบควรจะมีการระบุอย่างชัดเจนและสามารถวัดค่าได้ ซึ่งประโยชน์ของการกำหนดหน่วยหน้าที่ จะทำให้การพิจารณาอยู่ภายใต้หน่วยพื้นฐานเดียวกัน และสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบระหว่างกระบวนการต่าง ๆ หรือระหว่างผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นซึ่งมีหน้าที่อย่างเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

1.4) ขอบเขตของระบบ (System boundary)

โดยทั่วไปขอบเขตของระบบในขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยการผลิตวัตถุดิบ การขนส่ง การนำไปใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการของเสีย (Chemistry, 1991) โดยกำหนดกรอบการศึกษาโดยมีรูปแบบ ดังนี้

Gate to gate คือ การพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

Cradle to gate คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มาแต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซาก

Cradle to grave คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน ดังนั้นรูปแบบนี้จึงเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตเต็มรูปแบบ

Cradle to cradle คือ รูปแบบพิเศษของ Cradle to grave ในกรณีที่ขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เดิมออกมา

1.5) คุณภาพของข้อมูล (Data Quality)

การกำหนดคุณภาพของข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลและความถูกต้องของผลการศึกษา ซึ่งย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่สนใจ โดยคุณภาพของข้อมูลที่ควรระบุในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา เช่น ช่วงเวลาในการศึกษา ระยะเวลาการเก็บข้อมูล ระดับพื้นที่ของการศึกษา เทคโนโลยีของการศึกษา แหล่งที่มาของข้อมูล ความถูกต้อง วิธีการได้มาของข้อมูลและความสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory)

ขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนหรือกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยในขั้นตอนนี้มีการจัดทำบัญชีรายการ (Inventory list) ซึ่งก็คือ ข้อมูลบัญชีรายการที่แสดงปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) แล้วนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรมาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนถัดไป โดยข้อมูลดังกล่าวอาจได้มาจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ คือข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ และจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง และข้อมูลทุติยภูมิได้จากการรวบรวมงานวิจัย รายงาน เอกสารที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ในการประเมินจะเน้นข้อมูลในประเทศเป็นหลัก เพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

2.1) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)

การวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือกข้อมูลและการจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ของการใช้วัตถุดิบ และสารมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมดของวัฏจักรชีวิต

2.2) การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining system boundaries)

ขอบเขตของระบบจะถูกกลั่นกรอง หลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรก ตัวอย่างของผลในการกลั่นกรองข้อมูล เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือตัดกระบวนการใดออก การตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไป การเพิ่มหน่วยการผลิตซึ่งแสดงว่ามีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล

2.3) วิธีการคำนวน (Calculation procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งอาจอยู่ในรูป Excel, Spss, Sima-Pro หรือโปรแกรมสำเร็จรูปอื่น ๆ การเลือกโปรแกรมให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล

2.4) การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation of data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวม หรือคัดเลือกข้อมูล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่น ๆ

2.5) การวิเคราะห์ข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการ การทำบัญชีรายการจำเป็นต้องมีการปรับสารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการ โดยที่สารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการจะถูกแปรออกมาเป็นมวลสารเข้าและออกด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปรออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.6) การปันส่วน (Allocation)

ในกรณีที่ต้องการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน เช่น กระบวนการผลิตเกิดผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป และมีเพียง 1 ผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น ดังนั้น สามารถที่จะแก้ปัญหานี้ได้ 2 วิธี คือ การเพิ่มขอบเขตของระบบและการปันส่วน ซึ่งการปันส่วนเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบและเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา

ที่เกิดขึ้นจริง โดยจะต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และปริมาณมลพิษที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย

3) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นขั้นตอนที่มีเป้าหมายเพื่อประเมินระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าผลกระทบด้านใดที่มีความสำคัญในระบบผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา โดยการคำนวณข้อมูลบัญชีรายการที่เก็บรวบรวม ผลการคำนวณจะถูกนำมาใช้แปลผลกระทบในขั้นตอนสุดท้าย ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

3.1.1 การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories)

เป็นการจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง และเกิดขึ้นในกระบวนการใดบ้าง

3.1.2 การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มผลกระทบ (Classification)

เป็นการนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก ทั้งวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ ตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษามาจัดกลุ่มตามกลุ่มผลกระทบ โดยพิจารณาจากศักยภาพที่สารเหล่านั้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.1.3 การกำหนดบทบาท (Characterization)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการจำแนกแล้วว่าจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านใด มาแปลงหน่วยของข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าเทียบเท่าความสามารถที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านนั้น โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization factor) ซึ่งเป็นค่าแสดงศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบของแต่ละข้อมูลมาคูณกับข้อมูลบัญชีรายการเพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ โดยผลกระทบที่ได้จะมีความแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของผลกระทบ

3.2) ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่

ขั้นตอนทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมซึ่งไม่ใช่ขั้นตอนบังคับ เนื่องจากในขั้นตอนนี้จะมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับผู้คำนวณ วิธีการคำนวณ สภาพภูมิประเทศ และการให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละกลุ่มผลกระทบของแต่ละประเทศ โดยจะมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วยเป็นการแสดงขนาดผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เพื่อแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด

3.2.2 การจัดกลุ่ม (Grouping)

เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมแยกออกเป็นหมวดหมู่ตามประเภท ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร

3.2.3 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เป็นการกำหนดความสำคัญให้แก่กลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่ม เนื่องจากค่าที่ได้จากการเทียบหน่วย (Normalization) จะช่วยให้ผลกระทบสามารถเปรียบเทียบกันได้ในเชิงปริมาณ แต่ไม่ได้คำนึงถึงความสำคัญหรือความรุนแรงของผลกระทบแต่ละกลุ่ม โดยน้ำหนักของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นกับผู้ประเมินและปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ ประเภท และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เป็นต้น

4) การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

ISO ได้ให้นิยามสำหรับการแปลผลไว้สองความหมาย คือ 1) เพื่อวิเคราะห์ผลให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ โดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ 2) เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้สมบูรณ์ ถูกต้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญ (Identification of significant issues)

เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลและผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อนำมาคัดเลือกประเด็นสำคัญ ที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้

4.2) การประเมินค่าความไม่แน่นอน (Estimating uncertainty)

เป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลว่ามีความถูกต้อง ตรงประเด็น และมีความสอดคล้อง คือ สมมติฐาน วิธีการ และข้อมูลมีความสอดคล้องกับเป้าหมายหรือไม่ โดยทั่วไปจะอธิบายค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและข้อจำกัด (Conclusions, recommendations and limitations)

เป็นขั้นตอนการสรุปผลการประเมินและแสดงข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม แล้วทำรายงานสรุปผลให้สามารถเข้าใจง่าย ตัวอย่างข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนชนิดวัตถุดิบ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ การปรับปรุงกระบวนการผลิต การขนส่ง การจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เป็นต้น

ผลลัพธ์ของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้จะช่วยให้เราทราบได้ว่าจุดใดของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ถือว่าสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด ตามประเด็นสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจ เช่น การลดลงของโอโซน การเกิดฝนกรด เป็นต้น สุดท้ายเมื่อเราทราบคำตอบว่าเป็นช่วงใดที่สร้างปัญหามากที่สุดแล้ว เราจะนำผลลัพธ์ที่ได้นั้นไปใช้ในการทำการแก้ไขผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต่อไปด้วยแนวทางด้านการออกแบบปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ที่เรียกว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Product Design for Environment) หรือ การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) (Seusat, 2009)

2.2.5 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro คือ โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยโปรแกรม SimaPro สามารถวิเคราะห์ผลกระทบตามมาตรฐาน ISO เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชนิดได้ แสดงผลที่เข้าใจง่าย ในรูปของตารางหรือแผนภาพ และยังเหมาะสมสำหรับการใช้งานของวิศวกรสิ่งแวดล้อมและวิศวกรออกแบบ มีฐานข้อมูลให้เลือกนำมาประยุกต์ใช้ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ และการปรับปรุงฐานข้อมูล รวมทั้งการเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยรายละเอียดของ Method ต่าง ๆ ใน SimaPro แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงรายละเอียดของวิธีการต่าง ๆในโปรแกรม SimaPro (ณนัทธ์ มณีขัติยะ, 2553)

Method	รายละเอียด
CML 2 baseline 2000	เป็นฐานข้อมูลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมซึ่งเอาข้อมูลจากโปรแกรม Eco-invent 2.0 และเพิ่มข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ที่ไม่มีในโปรแกรมนี้ลงไป โดยตั้งชื่อใหม่เป็น CML 2 baseline 2000 โดย Method นี้จะประเมินผลกระทบสำคัญที่มีการแนะนำใน Handbook on life cycle assessment เท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย

Method	รายละเอียด
CML 2 baseline 2000 (ต่อ)	- Ozone layer depletion steady state - Human toxicity infinite - Fresh water aquatic ecotoxicity infinite - Terrestrial ecotoxicity infinite - Photochemical oxidation - Global warming 100a - Acidification - Abiotic depletion - Eutrophication
CML 2001 (All impact categories)	เช่นเดียวกับวิธี CML 2 baseline 2000 แต่ต่างกันตรงที่ CML 2 baseline 2000 คัดมาเพียงตัวสำคัญเท่านั้น แต่ CML 2001 นั้น เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด
Eco-indicator 99(E)	เป็น method ที่ให้น้ำหนักผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดย E มาจาก Egalitarian perspective โดยจะทำการให้น้ำหนักผลกระทบต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อทรัพยากร เช่นเชื้อเพลิงเป็นต้น
Eco-indicator 99(H)	เช่นเดียวกับ Eco-indicator 99(E) โดย H มาจาก Hierarchist perspective ซึ่งมองในคนละมุมกับ Eco-indicator 99(E)
Eco-indicator 99(I)	เช่นเดียวกับ Eco-indicator 99(E) โดย Individualist perspective มาจาก Hierarchist perspective ซึ่งมองในคนละมุมกับ Eco-indicator 99(E)
EDIP 2003	เป็น method สำหรับ LCA ดัดแปลงมาจาก EDP2007 เพื่อเหมาะแก่การใช้งานในโปรแกรม SimaPro มากขึ้น โดย method นี้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 18 ประเภทด้วยกัน
Ecological Scarcity 2006	เป็น method ที่นำฐานข้อมูลที่จัดหาโดยบริษัท ESU-services ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้าน LCA โดยเฉพาะ โดยพิจารณาผลกระทบ 7 ประเภทด้วยกัน ประกอบด้วย - Emission into air - Emission into surface water - Emission into ground water

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Method	รายละเอียด
	- Emission into top soil - Energy resource - Natural resource - Deposited waste โดยใช้หน่วยกัน คือ UBP
EDP 2007 (draft version)	เป็นต้นฉบับของ EDIP 2003 โดย EDP 2007 นั้นเคยใช้สำหรับสร้าง Environmental product declaration ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่สร้างจากมาตรฐาน ISO 14040 โดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 6 ประเภท
EPS 2000	Method นี้ เป็นมาตรฐานที่ Environmental Priority Strategies หรือนักวางแผนทางด้านสิ่งแวดล้อมนิยมใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
Impact 2002+	เป็นการรวมกันระหว่าง Impact 2002, Eco-indicator 99, CML และ IPCC เข้าด้วยกัน โดยเน้นไปที่สารก่อมะเร็ง ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และความเป็นพิษต่อดิน โดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 15 ประเภทด้วยกัน

1) การประเมินค่าผลกระทบด้วยวิธี Impact 2002+

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร โดยลักษณะกลุ่มผลกระทบเป็นไปตามแผนผังดังแสดงรูปที่ 2-4 ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories) อีกทั้งวิธี IMPACT 2002+ เป็นวิธีการประเมินที่ได้รับความนิยมใช้ในระดับสากล ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี 2555 โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติสวิส ณ เมืองโลซานน์ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Swiss federal institute of technology in lausanne; EPFL)

รูปที่ 2-4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IMPACT 2002+ version 2.12

(ปัทมาพร ตรีเนตร, 2559)

2.3 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing)

2.3.1 คำนิยาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC) คือ การประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตหรืออายุการใช้งานของระบบที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา รวมถึงค่าใช้จ่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยสารพิษหรือมลพิษของกระบวนการต่าง ๆ ในระบบตลอดช่วงชีวิตของระบบนั้น

แนวคิดนี้จึงถือว่า สินค้าที่ผลิตได้นั้นจะประกอบไปด้วยต้นทุนที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้ ต้นทุนก่อนการผลิต (Upstream Costs) เป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาและต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสินค้า ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Costs) เป็นต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายในการผลิต และต้นทุนหลังการผลิต (Downstream Costs) เป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการตลาดและการจัดจำหน่ายสินค้า และต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการลูกค้า (Simões, Pinto, Simoes, & Bernardo, 2013)

2.3.2 การวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อนำไปสู่การพิจารณาทางเลือก ทางเลือกใดที่มีต้นทุนต่ำสุดหรือมีประสิทธิภาพทางต้นทุนดีกว่าทางเลือกอื่น ทางเลือกนั้นควรได้รับเลือก โดยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนจึงต้องอิงอยู่กับหลักค่าเสียโอกาสของทรัพยากร นั่นคือ ระบบเศรษฐกิจจะต้องเสียสละทรัพยากรให้กับทางเลือกใดทางเลือกหนึ่ง แทนที่จะนำไปใช้กับอีกทางเลือกหนึ่งก็ตาม ผลประโยชน์ที่เสียสละไปนี้เรียกเป็นการทั่วไปว่า ค่าเสียโอกาส สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนนั้นจะประกอบไปด้วย

1) ต้นทุนตรง (Direct Costs)

หมายถึง มูลค่าการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตเพื่อการลงทุน เพื่อดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จัดเป็นค่าใช้จ่ายโดยตรงของโครงการ ซึ่งประกอบด้วย

1.1) ต้นทุนในการลงทุน หมายถึง มูลค่าของการใช้ทรัพยากรไปเพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกถือเป็นฐานการผลิต ต้นทุนประเภทนี้โดยทั่วไปประกอบด้วย ดังนี้

1.1.1 ที่ดินและสิ่งก่อสร้าง ซึ่งรวมถึงค่าซื้อที่ดินและกรรมสิทธิ์ที่ดิน ค่าพัฒนาที่ดิน และค่าทำถนน

1.1.2 ค่าอาคารและงานโยธา เช่น อาคารโรงไฟฟ้า อาคารสำนักงาน ระบบน้ำหล่อเย็น ค่าติดตั้งไฟฟ้า น้ำประปา โทรศัพท์

1.1.3 ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ เช่นเครื่องจักร เครื่องมือการผลิต อุปกรณ์บำรุงรักษา อุปกรณ์อื่น ๆ อะไหล่

1.1.4 ค่าวิชาชีพวิศวกรและที่ปรึกษาทางด้านการบริหารและการวางแผน

1.1.5 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานเช่น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนับตั้งแต่การเริ่มโครงการโรงไฟฟ้าจนถึงวันที่เริ่มดำเนินการให้ผลประโยชน์ ซึ่งได้แก่ ค่าที่ปรึกษา ค่าฝึกอบรม ค่าการจัดการ

1.2) ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา หมายถึง ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ ทั้งนี้เพื่อให้โครงการสามารถดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการได้ตามปกติ ต้นทุนประเภทนี้โดยทั่วไปประกอบด้วย ดังนี้

1.2.1 ต้นทุนในการผลิต ประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดต่าง ๆ

1.2.2 ต้นทุนในการบริหารและดำเนินงาน เช่น ค่าจ้างผู้อำนวยการ ค่าจ้างผู้จัดการ เงินเดือนเจ้าหน้าที่และพนักงานทั่วไป ค่าเช่าสำนักงาน ค่าโฆษณาและประชาสัมพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2.3 ต้นทุนอื่น ๆ เช่น ค่าภาษี ค่าประกัน ค่าเสื่อมราคา และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

2) ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs)

ต้นทุนทางอ้อมเกิดขึ้นเมื่อโครงการมีผลกระทบในทางลบต่อสภาพแวดล้อม อาจประกอบด้วย ต้นทุนทั้งในส่วนที่เกี่ยวกับการป้องกันแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และต้นทุนทางเศรษฐกิจที่ทำให้ทรัพยากรเกิดการสูญเสีย เช่น โรงไฟฟ้าปล่อยมลพิษทางอากาศ โรงไฟฟ้าปล่อยน้ำเสียลงในแม่น้ำ ผลกระทบภายนอกทางเทคนิคนี้ เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะต้องมีการระบุให้ชัดเจนและตีค่าออกมาเป็นตัวเงิน เพื่อนำไปรวมไว้เป็นค่าใช้จ่ายของโรงไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ จึงอาจจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนที่เกี่ยวกับการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่ายทางเศรษฐกิจที่ทำให้ทรัพยากรเกิดการสูญเสีย

ต้นทุนที่ไม่ถือว่าเป็นต้นทุนในการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ได้แก่ รายการดังต่อไปนี้

2.1) ค่าภาษี (Tax) การวิเคราะห์โครงการไปสู่รัฐบาล มิได้มีส่วนต่อการใช้ทรัพยากรจริง ๆ ของโครงการแต่ประการใด ดังนั้นกรณีที่ค่าภาษีได้มีการรวมไว้ในค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการแล้ว ก็ต้องมีการหักรายการภาษีออก

2.2) ค่าชำระหนี้ (Debt Service) สำหรับการวิเคราะห์โครงการ โดยส่วนรวมทางเศรษฐกิจแล้ว รายการเงินกู้และการชำระหนี้จะเป็นเพียงรายการโอนกันในรูปกระแสการเงิน หรือในทางบัญชีการเงินเท่านั้น มิได้เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรจริง ๆ ไปเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการแต่ประการใด และจะต้องหักออกจากค่าใช้จ่ายหากมีรายการนี้

2.3) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ เมื่อมีการซื้อสินค้าประเภททุนหรือทรัพย์สินถาวรมาใช้กับโครงการในปีใด ก็ได้มีการพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายในปีนั้นไปแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการหักค่าเสื่อมราคาของการใช้ในปีต่อ ๆ มาอีก

2.4) ต้นทุนจม (Sunk Cost) คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นก่อนที่จะประเมินโครงการและไม่อาจจะหลีกเลี่ยงได้ แม้ว่าโครงการจะเกิดหรือไม่เกิดก็ตาม ควรตัดออกจากต้นทุนของโครงการซึ่งเราจะรวมเฉพาะ ต้นทุนที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เมื่อไม่มีโครงการเกิดขึ้นเท่านั้น

2.5) เงินสำรองจ่าย (Contingencies) “ในทางเศรษฐศาสตร์” จะคิดเฉพาะเงินสำรองจ่ายที่กันไว้เฉพาะรายการและราคาที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ไม่รวมถึงเงินสำรองจ่ายสำหรับเงินเฟ้อ

2.3.3 การหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ

ในการประเมินมูลค่าโครงการเพื่อดูความคุ้มทุนนั้น ทั้งกระแสต้นทุนและกระแสผลประโยชน์ของโครงการจะถูกปรับค่าไว้ที่เวลาเดียวกันก่อนจะนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ วิธีการปรับค่านี้รู้จักกันโดยทั่วไปว่า “การคิดลด” (Discounting) กล่าวคือ ต้นทุนของโครงการในอนาคตจะถูกแปลงค่าให้กลายเป็นมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ ดังสมการที่ 2-3

การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{F_i}{(1+i)^n} \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ NPV = มูลค่ารวมที่ปรับเวลาเป็นปีปัจจุบัน (บาท)

F_i = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท)

i = ค่าอัตราดอกเบี้ย

n = อายุสิ้นสุดโครงการ (ปี)

การหามูลค่าปัจจุบัน (Present Value) ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. อายุโครงการ (Project Cost) กล่าวคือ อายุของโครงการจะเริ่มขึ้น เมื่อโครงการเริ่มการก่อสร้างและสิ้นสุดลง เมื่อโครงการไม่สามารถที่จะให้ผลประโยชน์ได้อีกต่อไป อายุโครงการ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการก่อสร้างและระยะการดำเนินงาน โครงการจะให้ผลประโยชน์รายปี นับตั้งแต่ปีแรกของการดำเนินโครงการจนถึงปีสุดท้ายของระยะเวลาโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. อัตราคิดลด (Discount Rate) กล่าวคือ เงินหนึ่งบาทที่จะได้รับในอนาคต (Future Value) จะมีค่าน้อยกว่าเงิน 1 บาทที่อยู่ในมือในปัจจุบัน ดังนั้น จำนวนรวมในอนาคตจึงมีค่าน้อยกว่าปัจจุบันของเงินตราจำนวนเดียวกัน

2.3.4 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

สำหรับการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นวิธีการที่ผสมผสานกันระหว่างความรู้เชิงเศรษฐศาสตร์และความรู้เชิงวิศวกรรม โดยจะพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงอายุการใช้งานของระบบหนึ่งๆ ได้แก่ เงินลงทุนในการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ (Capital Cost) ค่าแรงในการติดตั้งระบบ (Labor and Installation Costs) ค่าบำรุงรักษาระบบ

(Maintenance Costs) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (Running Costs) และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบ (Replacement Costs) การประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน สามารถเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปของสมการ ดังสมการที่ 2-4

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F - S \qquad (2\text{-}4)$$

เมื่อ C_C = ต้นทุนคงที่ (บาท)

C_O = ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)

C_M = ต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษา (บาท)

C_F = ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)

S = มูลค่าซาก (บาท)

2.3.5 การประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

ในบรรดาตัวบ่งชี้สำหรับการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตที่สามารถนำมาพิจารณาต้นทุนด้านพลังงาน คือ ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีที่มีความแตกต่างกันของขนาด กำลังผลิต และอายุของโรงไฟฟ้า ฯลฯ (Darling, You, Veselka, & Velosa, 2011)

ในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า จะนำมูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการ หารด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ จะทำให้ทราบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Rubin et al., 2013) ดังสมการที่ 2-5

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\text{ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย} = \frac{\textit{มูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนโครงการทั้งหมด (บาท)}}{\textit{ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิโลวัตต์ชั่วโมง)}} \qquad (2\text{-}5)$$

2.4 การเปรียบเทียบการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

LCC และ LCA ถูกใช้ในการพิจารณาผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวงจรชีวิต การสนับสนุนการตัดสินใจ และใช้ในกระบวนการปรับปรุง เพื่อให้ได้สิ่งที่ดีขึ้น แม้ LCC และ LCA จะมีความคล้ายคลึงกัน แต่ในความจริงแล้วแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงในเชิงวัตถุประสงค์และวิธีการ (Langdon, 2007) ดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบ LCC และ LCA ดัดแปลงจาก (G. A Norris, 2001)

	LCC	**LCA**
วัตถุประสงค์	มุ่งประสิทธิผลด้านต้นทุนของทางเลือกการลงทุนและการตัดสินใจทางธุรกิจ จากมุมมองของผู้ตัดสินใจ เช่น ผู้ผลิต และผู้บริโภค	เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ จากมุมมองผู้ใช้งานและมุมมองทางสังคม
กิจกรรมที่ต้องพิจารณาในวัฏจักรชีวิต	กิจกรรมที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับต้นทุนหรือผลประโยชน์ ที่จะมีผลต่อผู้ตัดสินใจตลอดอายุทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน ซึ่งเป็นผลจากการลงทุน	ทุกกระบวนการมีผลเชื่อมโยงต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ก่อนการใช้งาน การใช้งานและถึงจุดสิ้นสุดของชีวิต
สิ่งที่พิจารณา	ต้นทุนและผลประโยชน์ ที่มีผลโดยตรงต่อผู้ตัดสินใจ	ทรัพยากร พลังงาน วัตถุดิบ และมลภาวะ
หน่วย	หน่วยของเงิน เช่น ดอลลาร์ ยูโร	มวล พลังงาน และหน่วยทางกายภาพอื่น ๆ
เวลาและขอบเขต	เวลาเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะมูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของต้นทุนและผลประโยชน์	การประเมินผลกระทบอาจระบุเวลาที่แน่นอนของผลกระทบ (เช่น ระยะเวลา 100 ปี สำหรับการประเมินศักยภาพภาวะโลกร้อน) แต่ผลกระทบในอนาคตโดยทั่วไปจะไม่ถูกคิดลด
การใช้งาน	สนับสนุนกระบวนการตัดสินใจ	สนับสนุนกระบวนการตัดสินใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ข้อสรุปที่คล้ายคลึงกัน

1.1) LCC และ LCA มีวิธีใช้ข้อมูลและแบบจำลองที่คล้ายกัน ดังนี้

- ปริมาณและข้อกำหนดของวัสดุ
- อายุการใช้งานของวัสดุ
- การบำรุงรักษาและการใช้งาน (ข้อสมมติในการใช้งาน)
- การสิ้นสุดอายุการใช้งาน ที่สัมพันธ์กับการรีไซเคิล มูลค่าการขายและการกำจัด

1.2) LCC และ LCA มีระดับการวิเคราะห์ที่คล้ายกัน ดังนี้

- การประเมินผลกระทบระยะยาว
- วิเคราะห์ด้วยข้อมูลนำเข้า (Input) ที่หลากหลาย
- การใช้ข้อมูลนำเข้า (Input) ที่คล้ายกัน
- พิจารณาข้อมูลการดำเนินงานและการบำรุงรักษา
- มีการพิจารณาถึงจุดสิ้นสุดของผลิตภัณฑ์
- การตัดสินใจขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ที่ดำเนินการ

2) ข้อสรุปที่แตกต่างกัน

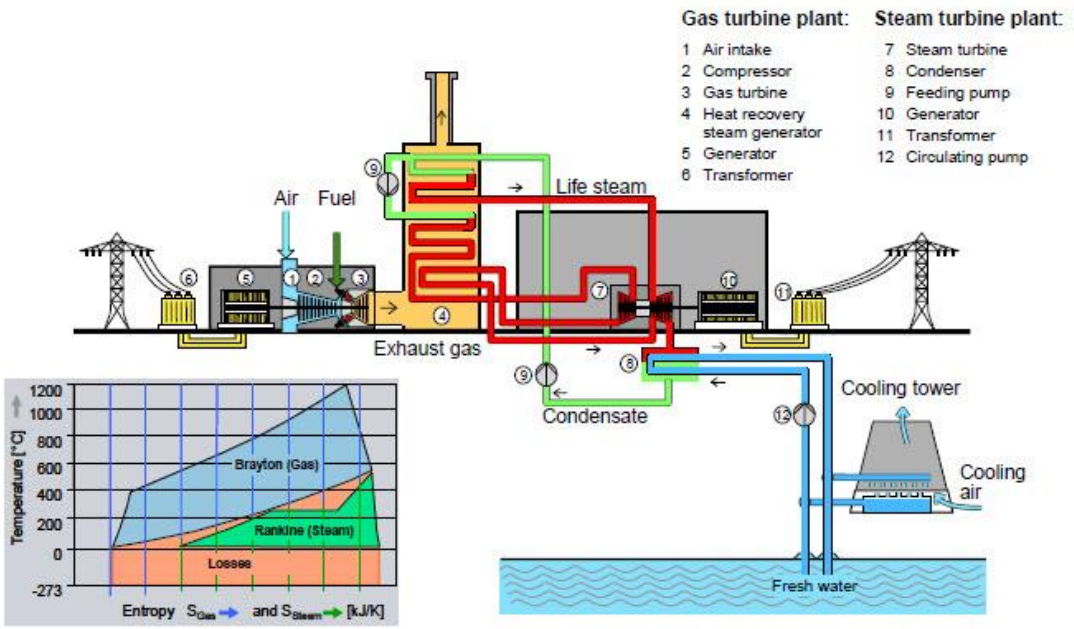
2.1) LCC มุ่งเน้นไปที่ราคาของตลาดเป็นส่วนใหญ่ และผลลัพธ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและถูกใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการลงทุน

2.2) LCA การตัดสินใจขึ้นอยู่กับศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาถึงความหลากหลายของกลุ่มผลกระทบ (Impact categories)

2.5 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant)

โรงไฟฟ้านี้มีลักษณะการทำงาน 2 ระบบร่วมกัน คือ ระบบโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine) ทำงานร่วมกับระบบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยนำเชื้อเพลิงมาจุดระเบิดเพื่อให้เกิดพลังงานความร้อนไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซ ที่มีเพลาต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Power Generator) ทำให้ได้กระแสไฟฟ้าออกมาใช้งาน จากนั้นไอเสียที่เกิดจากการจุดระเบิดจะไปผ่านหม้อน้ำ (Heat Recovery Steam Generator : HRSG) เพื่อต้มน้ำให้กลายเป็นไอ เมื่อไอน้ำที่ได้มีความดัน และอุณหภูมิสูงพอจะถูกส่งไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้ง นับว่าเป็นการใช้ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงได้อย่างคุ้มค่า ดังรูปที่ 2-5 (Willnow, 2013)

การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วมนี้จะทำการผลิตร่วมกัน หากเกิดเหตุขัดข้องที่โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำยังคงเดินเครื่องกังหันก๊าซได้ตามปกติ โดยการเปิดให้ไอเสียออกสู่อากาศโดยตรง แต่หากเกิดเหตุขัดข้องกับเครื่องกังหันก๊าซเครื่องใดเครื่องหนึ่ง กำลังผลิตที่ได้ก็จะลดลงตามส่วน และถ้าเครื่องกังหันก๊าซทุกตัวหยุดเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้ร่วมกันก็จะต้องหยุดเดินเครื่องด้วย



รูปที่ 2-5 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant)

2.6 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) (PTT, 2014)

ก๊าซธรรมชาติ คือ ปิโตรเลียมชนิดหนึ่ง เกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันภายใต้ความร้อนหลายร้อยล้านปี และแรงกดดันมหาศาลจนแปรสภาพเป็นปิโตรเลียม ทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็ง คือ ถ่านหิน ของเหลว คือ น้ำมันดิบ และก๊าซ ซึ่งก็คือก๊าซธรรมชาติ

องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนหลากชนิด อาทิ มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน ฯลฯ แต่โดยทั่วไปจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ คือ ร้อยละ 70 ขึ้นไป ก๊าซพวกนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนทั้งสิ้น เมื่อจะนำมาใช้ ต้องแยกก๊าซออกจากกันเสียก่อน จึงจะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ นอกจากสารไฮโดรคาร์บอนแล้ว ก๊าซธรรมชาติยังอาจประกอบด้วยก๊าซอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน อาทิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจน และน้ำ

สารประกอบเหล่านี้สามารถแยกออกจากกันได้ โดยนำมาผ่านกระบวนการแยกที่โรงแยกก๊าซธรรมชาติ ก๊าซที่ได้แต่ละตัวนำไปใช้ประโยชน์ต่อเนื่องได้อีกมากมาย ได้แก่ Methane (CH_4), Ethane (C_2H_6), Propane (C_3H_8), Butane (C_4H_{10}), Pentane (C_5H_{12}), Hexane (C_6H_{14}) และ Non-Hydrocarbon อื่น เช่น CO_2, N_2, H_2O, H_2S เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ

1) เผาไหม้สมบูรณ์ ไม่มีเขม่า ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปราศจากสารพิษ เบากว่าอากาศ (ความถ่วงจำเพาะ 0.5-0.8)

2) มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณภูมิและความดันบรรยากาศ ติดไฟ ช่วงการติดไฟที่ 5-15% ของปริมาตรในอากาศ

3) เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดหนึ่งเกิดจากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิตนับล้านปี

4) ก๊าซธรรมชาติเผาไหม้ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และไม่มีกากของเชื้อเพลิงหลังจากการเผาไหม้

5) ก๊าซธรรมชาติไม่มีฝุ่นออกไซด์ของกำมะถันและไนโตรเจนซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

มีการนำประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาใช้ในการศึกษาไฮโดรเจนจากพลังงานหมุนเวียน พบว่า มีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากกว่าไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Valente, Iribarren, Gálvez-Martos, & Dufour, 2019) โรงไฟฟ้า 24 แห่ง ในประเทศยุโรป (Korhonen & Luptacik, 2004) การปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมพลังงานไฟฟ้าในประเทศอิหร่าน (Arabi, Munisamy, Emrouznejad, Toloo, & Ghazizadeh, 2016) และการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ 20 แห่ง ในประเทศสเปน ซึ่งในที่สุดจะได้เกณฑ์มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นที่จะถูกนำเสนอเป็นผลลัพธ์เพิ่มเติม เพื่อสนับสนุนผู้มีอำนาจตัดสินใจสู่แนวทางประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ (Martín-Gamboa, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การใช้เทคนิค LCA และ LCC ร่วมกันในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการชนิดเดียวกันสามารถทำได้โดยมองว่าเทคนิค LCA และ LCC เป็นการวิเคราะห์ปัญหาเดียวกันแต่มองคนละแง่มุมเท่านั้น (Carlsson Reich, 2005) จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น ใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง พบว่าใช้พลังงาน 24.03 เมกกะจูล ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยขั้นตอนที่เกิด

ผลกระทบมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ราคาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 5.17 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อพิจารณารวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมเข้าไป ราคาต้นทุนจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.38 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง (ชนาภา วรรณศรี, 2552) นอกจากนี้ มีการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน (ระยะที่1) ที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์ พบว่า ช่วงการจัดหาวัตถุดิบและประกอบชิ้นส่วน มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ 4,014.89 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 88.77 ส่วนต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต มีค่า 2,556,849.11 บาท หรือ 381,045.92 บาทต่อปี และคิดเป็นต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 84.25 บาทต่อ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ประพิธาร์ ธนารักษ์, 2556) และการศึกษาวัฏจักรชีวิตของพลังงาน มลพิษ และต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในประเทศสิงค์โปร์นั้น พบว่า โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เท่ากับ 7.79 เมกกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน เท่ากับ 473 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และมีต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต เท่ากับ 8.05 เซ็นต์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (Kannan, Leong, Osman, & Ho, 2007)

2.7.3 การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การใช้เทคนิค LCC จะทำให้ทราบต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น การวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี: กรณีเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง พบว่า การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี จะมีความเหมาะสมก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินมากกว่ากรณีการใช้น้ำมันเตา (สุรัก ปิยะรักสกุล, 2548) ซึ่งแตกต่างจากกรณีเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนจากการดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยคำนึงถึงต้นทุนการบำบัดก๊าซเรือนกระจกกับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ พบว่า ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำน้อยกว่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (ธนวรรณ ใจบุญมา, 2550) ทั้งนี้ การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนระบบผลิตพลังงานร่วม (Combined cycle) ซึ่งมีการพิจารณาจากราคาเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติที่ใช้ผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ และประสิทธิภาพของหน่วยผลิต พบว่า แบบจำลองสามารถช่วยกำหนดการใช้เชื้อเพลิงและจัดสรรการผลิตแต่ละหน่วยผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากปกติคิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดสูงสุด (อภิรัตน์ นาควิจิตร, 2554) และการนำ LCC ยังเป็นเครื่องมือให้กับอุตสาหกรรมสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีการนำเชื้อเพลิงทางธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบภายนอกเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (วรรษมน นิ่มชื่น, 2551)

2.7.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์

การใช้เทคนิค LCA จะทำให้สามารถเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีต่างกันระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนกับระบบที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ เนื่องจากค่าภาระทางสิ่งแวดล้อมจะถูกประเมินออกมาในเชิงปริมาณหรือเป็นตัวเลขที่ชัดเจน เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิตโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 5 ประเภท ได้แก่ 1. The concrete Hydro Power Plant 2. The Hydro Power Plant 3. The thermal Power Plant 4. The combine Cycle Power Plant 5. The Coal Fired Power Plant โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro 5.0 พบว่าโรงไฟฟ้า แต่ละประเภทนั้น มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.000365, 0.000104, 0.509, 0.293, 0.257 Pt ตามลำดับ แสดงว่าโรงไฟฟ้าประเภท The Hydro Power Plant เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Chomkumsri, 2002) และการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทย พบว่า การผลิตไฟฟ้าโดยระบบพลังความร้อนร่วมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าระบบกังหันแก๊ส (ฤทธิ์มณี et al., 2551) เช่นเดียวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย พบว่า โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Phumpradab, Gheewala, & Sagisaka, 2009) และผลกระทบหลักจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Usapein & Chavalparit, 2017) โดยก่อให้เกิดผลกระทบเรื่องการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel Depletion) มากที่สุด รองมาคือการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resource Depletion) (ฤทธิ์มณี, เตียรถ์สุวรรณ, & ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2558) สัมพันธ์กับการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เมื่อจำนวนชั่วโมงการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้นเช่นกัน (Martín-Gamboa, 2018) ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA) สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัดสินใจกระบวนการผลิตว่าทางเลือกไหนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หรือเพื่อบอกว่าในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น ขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร (Nicoletti et al., 2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.5 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ			
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของไฮโดรเจนจากแก๊สชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น ซึ่งเป็นทางเลือกจากเชื้อเพลิงฟอสซิล: การศึกษาวัฏจักรชีวิตที่ไม่คิดและคิดรวมค่าใช้จ่ายภายนอก	(Valente et al., 2019)	LCA และ LCC	ไฮโดรเจนจากพลังงานหมุนเวียนมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากกว่าไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้า: วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบ Data Envelopment Analysis (DEA)	(Korhonen & Luptacik, 2004)	Ecological efficiency และDEA	มีการนำ 2 วิธีการใช้ในการศึกษาปัญหาของการวัดประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า 24 แห่งในประเทศยุโรป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (ต่อ)			
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในประเด็นความต่างของโรงไฟฟ้า	(Arabi et al., 2016)	DEA	การปรับปรุงโครงสร้างของโรงไฟฟ้าก่อให้เกิดผลการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ประสิทธิภาพด้านต้นทุนและประสิทธิภาพการปันส่วนของโรงไฟฟ้า ถึงแม้ว่าโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ แต่ในขณะเดียวกันโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมกลับมีประสิทธิภาพการปันส่วนของโรงไฟฟ้ามากกว่าเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้ในประเทศอิหร่าน
การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์			
การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น โดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง	(ชนาภา วรรณศรี, 2552)	1. SimaPro วิธีEDIP/UMI P 97 2. ต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้า	LCA: ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีค่า เท่ากับ $1.66x10^{-4}$ Pt ต่อไฟฟ้าปริมาณ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่ผลิตขึ้น โดยขั้นตอนที่เกิดผลกระทบมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 70.5 ของผลกระทบทั้งหมด LCC: ราคาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 5.17 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อพิจารณารวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมเข้าไป ราคาต้นทุนจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.38 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (ต่อ)			
การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน(ระยะที่1) ด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) ที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าขนาด 10 kW	(ประพิธาร์ ธนารักษ์, 2556)	1. LCA: NETS 2. LCC	LCA: ช่วงการจัดหาวัตถุดิบและประกอบชิ้นส่วนมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ 4,014.89 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็นร้อยละ 88.77 โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสิ้น 4,522.6793 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ 0.0571 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง LCC: ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต มีค่า 2,556,849.11 บาท หรือ 381,045.92 บาทต่อปีและคิดเป็นต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 84.25 บาทต่อกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
วัฏจักรชีวิตของพลังงาน มลพิษ และต้นทุนของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในประเทศสิงค์โปร์	(Kannan et al., 2007)	1. LCA 2. LCC	กลยุทธ์ของการเลือกเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในอนาคตของประเทศสิงค์โปร์ ต้องมีการพิจารณาทั้งความมั่นคงด้านพลังงาน การปกป้องสิ่งแวดล้อม และประสิทธิผลด้านต้นทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing: LCC)			
การวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี: กรณีเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง	(สุรัก ปิยะรักสกุล, 2548)	ต้นทุนประสิทธิผลทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน	การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี จะมีความเหมาะสมก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินมากกว่ากรณีการใช้น้ำมันเตา แต่ทั้งนี้ในการเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีการจัดการที่ดี เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่จะตามมาอย่างรอบคอบ
การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนจากการดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมโดยคำนึงถึงต้นทุนการบำบัดก๊าซเรือนกระจกกับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	(ธนวรรณ ใจบุญมา, 2550)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการและต้นทุนสัมฤทธิผลของโครงการ	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำน้อยกว่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
การศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนระบบผลิตพลังงานร่วม	(อภิรัตน์ นาควิจิตร, 2554)	ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ และประสิทธิภาพของหน่วยผลิต	แบบจำลองสามารถช่วยกำหนดการใช้เชื้อเพลิงและจัดสรรการผลิตแต่ละหน่วยผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าลดลงจากปกติ คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing: LCC) (ต่อ)			
การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	(วรรษมน นิ่มชื่น, 2551)	ศึกษาต้นทุนและผลประโยชน์ทางด้านการเงินและด้านเศรษฐศาสตร์	โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเป็นแนวทางให้กับอุตสาหกรรมสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA)			
การศึกษาเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	(ฤทธิ์มณี et al., 2551)	LCA-NETS	การผลิตไฟฟ้าโดยระบบพลังความร้อนร่วมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าระบบกังหันแก๊ส โดยประเภทผลกระทบที่มีค่ามากที่สุดของระบบการผลิตไฟฟ้า คือ การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล สภาวะโลกร้อน และมลภาวะทางอากาศตามลำดับ
การประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม	(ฤทธิ์มณี et al., 2558)	NETS และ SimaPro	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมทั้งสองวิธี ให้ผลออกมาในทางเดียวกัน คือ ผลกระทบเรื่อง Fossil Fuel Depletion มากที่สุด รองมาคือ Natural Resource Depletion

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) (ต่อ)			
การประเมินวัฏจักรชีวิตโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 5 ประเภท	(Chomkumsri, 2002)	SimaPro 5.0	1. The concrete Hydro Power Plant 2. The Hydro Power Plant 3. The thermal Power Plant 4. The combine Cycle Power Plant 5. The Coal Fired Power Plant พบว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.000365, 0.000104, 0.509, 0.293, 0.257 Pt ตามลำดับ สำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ แสดงว่าโรงงานไฟฟ้าประเภท The Hydro Power Plant เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด
การประเมินวงจรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าในเม็กซิโก	(Santoyo-Castelazo, 2011)	GaBi	การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 129 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่อปี ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากถึง 87%
การศึกษาประสิทธิภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติโดยใช้การประเมินวงจรชีวิตและการวิเคราะห์แบบ data envelopment analysis	(Martín-Gamboa, 2018)	SimaPro 8 และ DEA	- ประสิทธิภาพของสิ่งแวดล้อมที่ดีควบคู่กับระดับคะแนนของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจสูงถึง 60%. - การเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงเมื่อจำนวนชั่วโมงการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิจัย	ผู้ทำวิจัย	การวิเคราะห์ข้อมูล	ผลการศึกษา
การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) (ต่อ)			
การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย	(Phumpradab et al., 2009)	LCA	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพในการทำให้เป็นกรด และศักยภาพการก่อตัวของโอโซน
การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทย: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ	(Usapein & Chavalparit, 2017)	LCA	ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสูงสุด มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ตามมาด้วยการสกัดก๊าซธรรมชาติและสารเคมี เพื่อการปรับปรุงสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม ควรมุ่งเน้นไปที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงตัวอย่างเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันก๊าซและการใช้ก๊าซธรรมชาติกำมะถันต่ำ
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาคไฟฟ้าในประเทศไต้หวัน โดยการใช้วิธี Input-Output และการประเมินวัฏจักรชีวิต : บทบาทของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	(Chia, Liu, Lin, & Lewis, 2012)	input-output analysis และ SimaPro 7 วิธี IMPACT 2002+	ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสูงสุดในภาคไฟฟ้าของประเทศไต้หวัน มาจากผลกระทบความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ ในปี ค.ศ.2001, 2004 และ 2006 ตามมาด้วยผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และด้านคุณภาพระบบนิเวศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

1) ขอบเขตการประเมินครอบคลุม Cradle to grave ของขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอน โดยหน่วยทำงาน (Functional unit) คือ ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA)

3) ศึกษากระบวนการได้มาของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

4) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละขั้นตอนย่อยของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

5) จัดทำบัญชีรายการ (Inventory List) ของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

6) กำหนดประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สนใจแล้วทำการศึกษารายละเอียด

7) วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.2 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing; LCC)

2) วิเคราะห์หาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

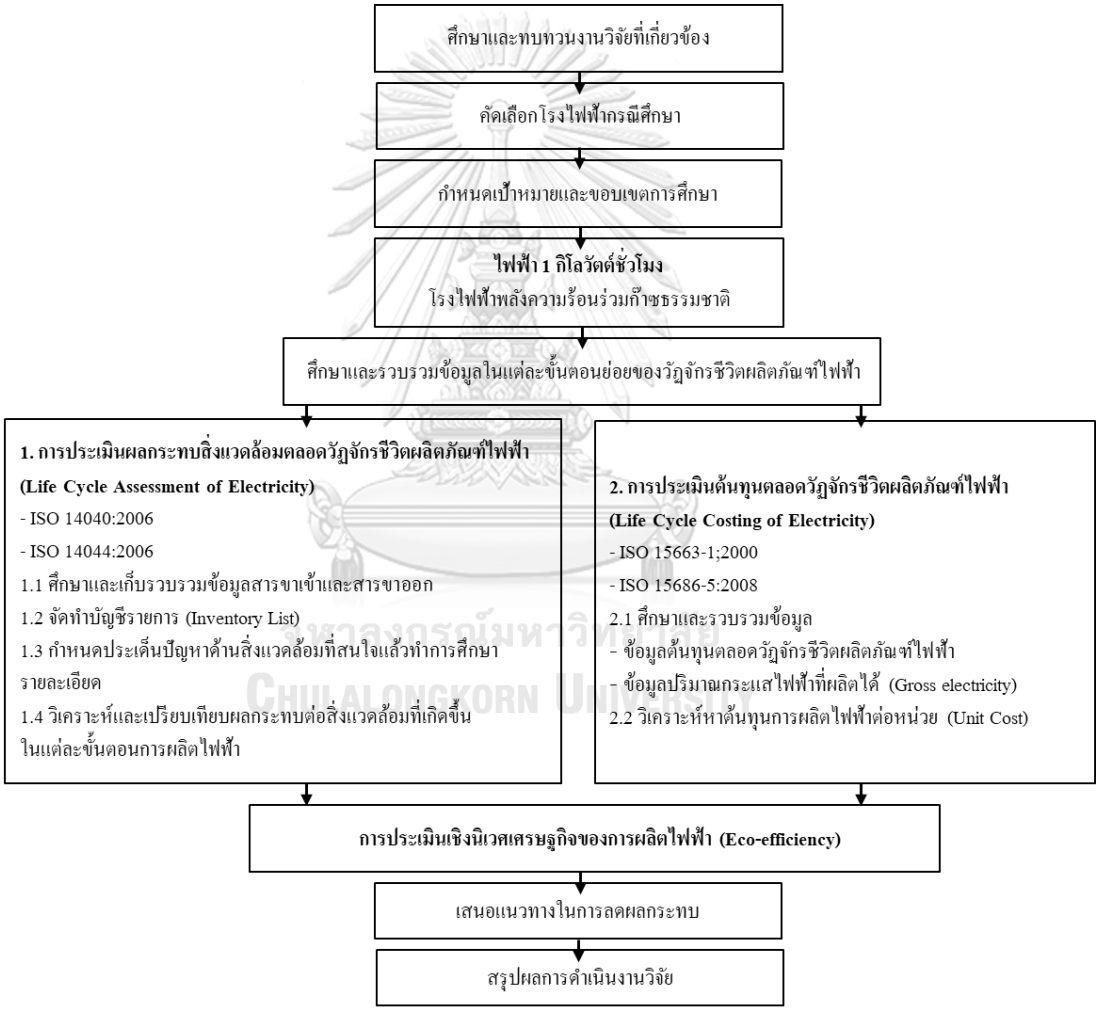
3) วิเคราะห์หาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ ดังสมการที่ 3-1

$$\text{ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (บาท)}}{\text{ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)}} \qquad (3\text{-}1)$$

3.1.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของการผลิตไฟฟ้า

3.1.4 เสนอแนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า เพื่อนำไปสู่การผลิตไฟฟ้าอย่างยั่งยืน

แผนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ผังการไหลแผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ไฟฟ้า (Life Cycle Assessment of Electricity)

3.2.1 การคัดเลือกโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่ง ที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า ครอบคลุมการศึกษาตลอดอายุของโรงไฟฟ้าที่ 30 ปี (NETL, 2010) โดยพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามาจากการเก็บข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้าซึ่งเป็นข้อมูลปฐมภูมิ ในขณะที่ขั้นตอนการก่อสร้าง การรื้อถอนโรงไฟฟ้า ขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ และการขนส่งก๊าซธรรมชาติมีการนำผลการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิมาใช้ในการศึกษา

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษา

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษาตั้งอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางทิศตะวันออกประมาณ 80 กิโลเมตร และตั้งอยู่ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 763 เมกกะวัตต์ ประกอบด้วยเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ 2 เครื่อง กำลังผลิตเครื่องละ 247 เมกกะวัตต์ และเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ 1 เครื่อง กำลังผลิตเครื่องละ 269 เมกกะวัตต์ แสดงดังรูปที่ 3-2 และตารางที่ 3-1 ซึ่งแหล่งเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าจะใช้ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยขนส่งทางท่อส่งก๊าซในโครงการท่อเส้นที่ 3 ทะเล-บนบก ของบริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน) ผ่านสถานีปรับความดันก๊าซของบริษัทฯ ควบคุมความดันที่ 300-350 PSI และลดลงอีกครั้งภายในโรงไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับโรงไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่สำคัญของโรงไฟฟ้า ดังนี้

1. Gas Turbine หน้าที่นำผลจากการเผาไหม้มาใช้ในรูปพลังงานกล โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และกังหัน

2. Gas Turbine Generator มีหน้าที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

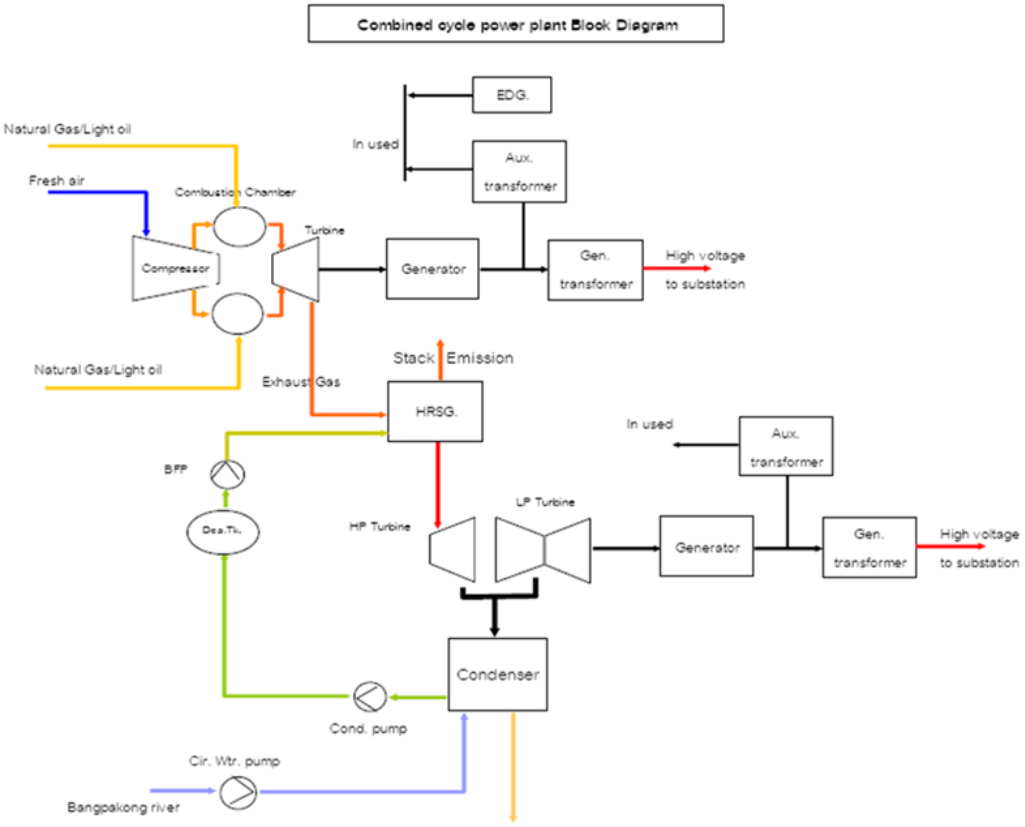
3. Heat Recovery Steam Generator (HRSG) หน้าที่ ผลิตไอน้ำที่หลายระดับแรงดัน โดยใช้ความร้อนของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องจักรกังหันก๊าซ ไปแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน HRSG ให้กลายเป็นไอน้ำ

4. Steam Turbine หน้าที่ เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล

5. Condenser หน้าที่ ช่วยให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำที่ออกจากกังหันความดันต่ำ โดยดึงความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอออกมา

6. Steam Turbine Generator มีหน้าที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

ผังกระบวนการผลิตโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม



รูปที่ 3-2 ผังกระบวนการผลิต โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดด้านเทคนิค ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ขนาด 763 เมกะวัตต์

Description	Unit	Natural Gas Firing
Number of Block	Block	1
Gross Capacity	MW	763
CT Gross Output	MW	2 x 247
ST Gross Output	MW	269

Description	Unit	Natural Gas Firing
Auxiliary Power	MW	20.4
	%	2.67
Net Capacity	MW	742.9
Average Net Plant Heat Rate (HHV) (1)	kJ/kWh	7,074.65
Average Net Efficiency (2)	%	52.80
Max. Gas Consumption per Block	MMSCFD	120
Heating Value of Gas (HHV, Sat) (3)	Btu/scf	981.66
Capacity Factor (4)	%	82.42

ที่มา : โรงไฟฟ้าที่การศึกษา โดย (1), (2), (4) มาจากค่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2553-2560 และ (3) มาจากค่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2558-2560

3.2.2 การออกแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดทำตารางเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า โดยกำหนดหน่วยทำงาน คือ ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ทราบว่า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ของไฟฟ้าที่ผลิตจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าใด

2. ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้า และจากการรวบรวมข้อมูลในรายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2560 ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3-2

Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-2 รูปแบบตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

ชื่อโรงงาน		
ผลิตภัณฑ์		
กำลังการผลิต		
รายการ	**หน่วย**	**หน่วยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง**
1. ผลิตภัณฑ์ (Products)		
- Electricity (Gross Actual Generation)	kWh	
2. สารขาเข้า (Input)		

รายการ	หน่วย	หน่วยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
เชื้อเพลิง		
- Natural Gas-Gulf of Thailand	m^3	
สารเคมี		
- NaOCl 10%	kg	
- Bisulfite	kg	
- HCl 35%	kg	
- NaOH 50%	kg	
พลังงาน		
- Electricity (Station Service)	kWh	
- Electricity (ปั๊มน้ำ)	kWh	
น้ำ		
- Demineralized water	kg	
- Water use in process	kg	
3. สารขาออก (Output)		
มลพิษทางน้ำ		
- Waste water	m^3	
- TDS from Raw water	kg	
- SS	kg	
- BOD	kg	
- COD	kg	
มลพิษทางอากาศ		
- NO_x	kg	
- Particulate matter	kg	
- CO_2 from natural gas combustion	ton	
กากของเสีย		
- Non-hazardous waste	kg	
- Hazardous waste	kg	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

การประเมินวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง จะดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

1.1) เป้าหมายของงานวิจัย

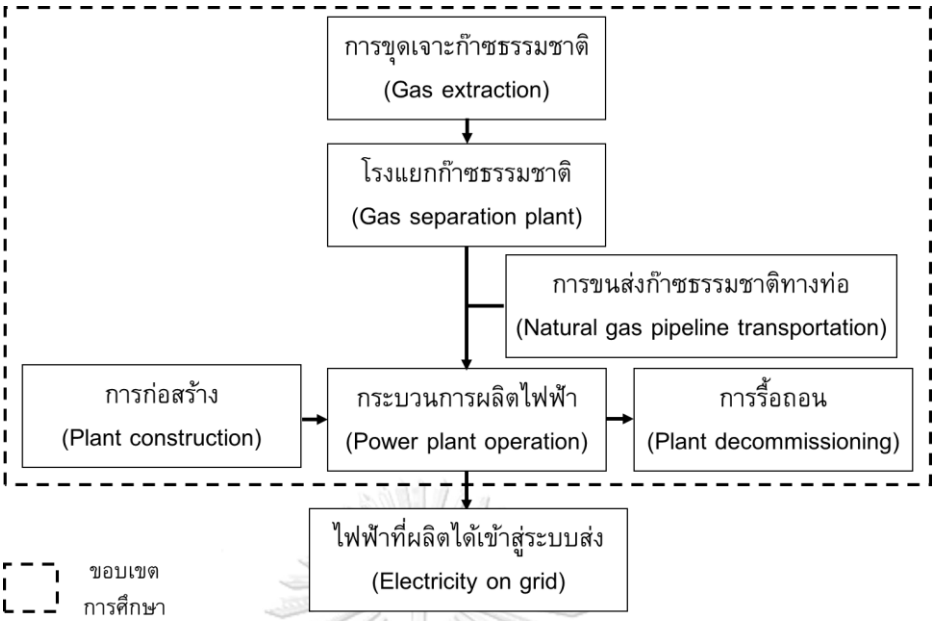
เป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) เพื่อหาว่าผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าตลอดวัฏจักรชีวิต มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดสูง และมาจากขั้นตอนใด รวมถึงสามารถนำผลการประเมินที่ได้ไปใช้เสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบ

1.2) ขอบเขตของการศึกษา

ครอบคลุม Cradle to grave คือ พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้า เช่นเดียวกับงานวิจัย (Santoyo-Castelazo, 2011) ดังรูปที่ 3-3 และข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษา ดังตารางที่ 3-3

กำหนดหน้าที่การทำงาน (functional Unit) คือ ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ กำลังผลิตติดตั้ง 763 เมกะวัตต์ และมีอายุของโรงไฟฟ้า (Economic Life) 30 ปี (NEA/IEA/OECD, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-3 แสดงขอบเขตของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

ตารางที่ 3-3 แหล่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษา

ขั้นตอนที่พิจารณา	**พื้นที่ศึกษา**	**แหล่งของข้อมูลที่นำมาศึกษา**
ขั้นตอนที่ 1: การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural gas extraction)	แหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย	(Phumpradab et al., 2009)
ขั้นตอนที่ 2: โรงแยกก๊าซธรรมชาติ (Natural gas separation)	โรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 1 ที่ตั้ง จ.ระยอง	(Phumpradab et al., 2009)
ขั้นตอนที่ 3: การขนส่งก๊าซธรรมชาติ (Natural gas transmission)	จากแหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยถึงโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา รวมระยะทางทั้งหมด 690 กิโลเมตร	(Phumpradab et al., 2009)
ขั้นตอนที่ 4: การผลิตกระแสไฟฟ้า (Natural gas power production)	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ 763 เมกกะวัตต์ ที่ตั้งภาคตะวันออก ประเทศไทย	ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้า
ขั้นตอนที่ 5 : การก่อสร้างและรื้อถอนโรงไฟฟ้า (Construction and decommissioning)	การก่อสร้างและรื้อถอนโรงไฟฟ้าเป็นข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ กำลังผลิต 400 เมกกะวัตต์	(Bauer, 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis)

การจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการต่าง ๆ ในระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ตามที่ได้กำหนดในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนที่ใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยขั้นตอนการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้านำข้อมูลมาจากงานวิจัย เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวมวล (Bauer, 2008) ในขณะที่ขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ และการขนส่งก๊าซธรรมชาตินำข้อมูลจากงานวิจัย เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย (Phumpradab et al., 2009) มาใช้ในการศึกษา

ในส่วนของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ดำเนินการเก็บรวมรวมข้อมูลปฐมภูมิจากการลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่และวิศวกรในกระบวนการต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาโดยตรง และรวบรวมข้อมูลในรายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษา เพื่อนำมาจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้วจะต้องนำข้อมูลที่ได้มาทำสมดุลมวลสาร (Mass Balance) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเชื่อมโยงกับหน่วยการผลิตและการทำงาน เพื่อนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อไป

1.4) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องมาคำนวณ เพื่ออธิบายผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยใช้ SimaPro version 8.2 วิธี IMPACT 2002+ version 2.12 (Jolliet et al., 2003) ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติสวิส ณ เมืองโลซานน์ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne; EPFL)

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเริ่มจากการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่ม (Impact categories) แล้วนำข้อมูลบัญชีรายการที่เก็บรวบรวมไว้มาจำแนกประเภทออกเป็นกลุ่มผลกระทบ (Classification) จากนั้นทำการกำหนดบทบาท (Characterization) ด้วยการคำนวณค่าผลกระทบสำหรับนำไปใช้แปลผลต่อไป โดยลักษณะกลุ่มผลกระทบ ประกอบด้วย

การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories)

การประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) ประกอบด้วย 15 ผลกระทบ คือ

- การเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)
- การเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens)
- การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)
- การปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation)
- การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion)
- การเกิดสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory organics)
- การเกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Aquatic ecotoxicity)
- การเกิดความเป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity)
- การเกิดความเป็นกรด/การเพิ่มสารอาหารในดิน (Terrestrial acidification/ nutrification)
- การใช้ที่ดิน (Land occupation)
- การเกิดความเป็นกรดในแหล่งน้ำ (Aquatic acidification)
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic eutrophication)
- การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)
- การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)
- การสกัดแร่ธาตุ (Mineral extraction)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) เป็นการแปลงค่าผลกระทบขั้นกลางด้านต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

- ความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดปีสุขภาวะที่สูญเสียไปจากโรคและการบาดเจ็บของประชากร (Disability-adjusted life year: DALY)
- ด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) ซึ่งจะบ่งชี้ศักยภาพการสูญหายของสายพันธุ์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (PDF*m^2*yr)
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ซึ่งจะแสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2eq.)

- ด้านการใช้ทรัพยากร (Resource) เป็นเครื่องมือที่แสดงถึงปริมาณพลังงานหรือทรัพยากรที่ถูกสกัด เพื่อนำมาใช้งาน และแสดงผลในรูปของพลังงานขั้นต้น หน่วยเมกะจูล (Megajoule; MJ)

โดยมีการแสดงความสัมพันธ์ของการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) และการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories) และการเทียบหน่วย ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 หน่วยผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint unit) กลุ่มความเสียหาย (Damage unit) และการเทียบหน่วยในวิธี IMPACT 2002+ (Humbert, Schryver, Bengoa, Margni, & Jolliet, 2012)

Midpoint category	**Unit**	**Damage category**	**Damage unit**	**Normalized damage unit**
Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq	Human health	DALY	point
Non-carcinogens	kg C_2H_3Cl eq			
Respiratory inorganics	kg $PM_{2.5}$ eq			
Ionizing radiation	Bq C-14 eq			
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq			
Respiratory organics	kg C_2H_4 eq			
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	point
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil			
Terrestrial acid/nutrification	kg SO_2 eq			
Land occupation	m^2org.arable			
Aquatic acidification	kg SO_2 eq			
Aquatic eutrophication	kg PO_4 P-lim			
Global warming	kg CO_2 eq	Climate change	kg CO_2 eq	point
Non-renewable energy	MJ primary	Resources	MJ primary	point
Mineral extraction	MJ surplus			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของการแปลงค่าผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) ให้อยู่ในรูปแบบของการประเมินความเสียหาย (Damage categories) จะใช้ค่าแฟคเตอร์ (Damage factor) ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ค่าแฟคเตอร์สำหรับการเปลี่ยนหน่วย (Jolliet et al., 2003)

Midpoint category	Damage factor	Unit
Carcinogens	$1.45x10^{-6}$	DALY/kg C_2H_3Cl eq
Non-carcinogens	$1.45x10^{-6}$	DALY/kg C_2H_3Cl eq
Respiratory inorganics	$7.00x10^{-4}$	DALY/kg $PM_{2.5}$ eq
Ionizing radiation	$2.10x10^{-10}$	DALY/Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	$1.05x10^{-3}$	DALY/kg CFC-11 eq
Respiratory organics	$2.13x10^{-6}$	DALY/kg C_2H_4 eq
Aquatic ecotoxicity	$8.86x10^{-5}$	PDF*m^2*yr /kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	$8.86x10^{-5}$	PDF*m^2*yr /kg TEG soil
Terrestrial acid/nutrification	1.04	PDF*m^2*yr /kg SO_2 eq
Land occupation	1.09	PDF*m^2*yr /m^2org.arable
Aquatic acidification	-	PDF*m^2*yr /kg SO_2 eq
Aquatic eutrophication	-	PDF*m^2*yr /kg PO_4 P-lim
Global warming	1	kg CO_2 eq /kg CO_2 eq
Non-renewable energy	45.6	MJ/MJ primary
Mineral extraction	$5.10x10^{-2}$	MJ/MJ surplus

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการเทียบหน่วย (Normalization) เพื่อแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3-2 และค่าแฟคเตอร์สำหรับการเทียบหน่วย ดังตารางที่ 3-6

$$\text{Normalization impact score} = \frac{\text{Emission}}{\text{Normalization factor}} \qquad (3\text{-}2)$$

Normalization impact score คือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นสัดส่วนจากการกระทำของคน 1 คน ในแต่ละประเภทของผลกระทบ

Emission คือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Normalization factor คือ ค่าแฟคเตอร์ปริมาณผลกระทบที่เกิดจากการกระทำของคน 1 คน

ตารางที่ 3-6 ค่าแฟคเตอร์สำหรับการเทียบหน่วย (Normalization factors) (Humbert et al., 2012)

Damage categories	**Normalization factors for damage categories (Version 2.1)**	**Unit**
Human Health	0.0071	DALY/point
Ecosystem Quality	13,700	$PDF.m^2.y$/point
Climate Change	9,950	kg CO_2 into air/point
Resources	152,000	MJ/point

3.2.4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

ขั้นตอนนี้จะนำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมาเชื่อมโยงเพื่อสรุปผลให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่ระบุไว้ ซึ่งทำให้ทราบว่าช่วงใดในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

3.3 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (Life Cycle Costing of Electricity)

3.3.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

การวิเคราะห์หาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า จะใช้ขอบเขตเดียวกับที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการพิจารณาไปที่ตัวเงิน (Rebitzer, 2002) (Klöpffer, 2002) โดยมีรายละเอียดของการศึกษา ดังต่อไปนี้

1) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ จำนวน 1 โรง ขนาดกำลังการผลิต 763 เมกะวัตต์ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการเดินเครื่องเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (Capacity factor) เท่ากับร้อยละ 82.42 ของกำลังการผลิตทั้งหมด

2) กำหนดให้ระยะเวลาของโครงการ 30 ปี (NETL, 2010) เช่นเดียวกับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า โดยพิจารณาตลอดอายุโครงการ ตั้งแต่ปีแรกของการเดินเครื่องเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (ปี พ.ศ.2552 เป็นปีแรกของการเดินเครื่อง และปีพ.ศ.2582 เป็นปีสุดท้ายของการเดินเครื่อง) โดยข้อมูลต้นทุนค่าก่อสร้างที่เกิดขึ้นก่อนปีแรก จะถูกรวบรวมไว้ที่ปีที่ 1 ของการเดินเครื่อง และกำหนดให้ ปีพ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน

3) การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และมูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money) อ้างอิงจากอัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับร้อยละ 5.69 ซึ่งอ้างอิงจากอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน (Return on Invested Capital; ROIC) เป็นผลตอบแทนการลงทุนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและต้นทุนการซื้อไฟฟ้า กำหนดโดยคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) (RYT9, 2560) ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ข้อกำหนดในการศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ข้อกำหนด	มูลค่า
อายุโครงการ (ปี)	30
ปีฐาน (Base year) (ปี)	พ.ศ.2561
ปีที่เริ่มเดือนเครื่อง (ปี)	พ.ศ.2552
Capacity Factor (%)	82.42
อัตราคิดลด (Discount Rate) (%) (RYT9, 2560)	5.69
อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (บาทต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ) (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2560)	31.37
อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน รูปี(ปากีสถาน) ต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ (Converter, 2562)	139.86

4) การวิเคราะห์ต้นทุนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ประยุกต์จากงานวิจัย (ประพิธาริ์ ธนารักษ์, 2556) ดังสมการที่ 3-3

$$LCC_{total} = CAPEX_{pp} + O\&M_{pp} + Fuel_{NG} - S \qquad (3\text{-}3)$$

โดยที่ LCC_{total} คือ ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (บาท)

$CAPEX_{pp}$ คือ ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า (บาท)

$O\&M_{pp}$ คือ ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษา (บาท)

$Fuel_{NG}$ คือ ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)

S คือ มูลค่าซาก (บาท)

3.3.2 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost)

1) นำต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการ มาคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และมูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money) อ้างอิงจากอัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับร้อยละ 5.69 ตลอดอายุโครงการ 30 ปี

1.1) มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ: ช่วงปี พ.ศ.2552-2560 ดังสมการที่ 3-4

สูตรการคำนวณ $$P_o = F_t(1+r)^t \quad (3\text{-}4)$$

กำหนดให้ P_0 = มูลค่าปัจจุบัน ณ ปี พ.ศ. 2561

F_t = ต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ก่อนปีที่ 2561

r = อัตราคิดลด

t = ปีที่พิจารณา

1.2) มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ: ช่วงปี พ.ศ.2562-2582 ดังสมการที่ 3-5

สูตรการคำนวณ $$P_o = F_t/(1+r)^t \quad (3\text{-}5)$$

กำหนดให้ P_0 = มูลค่าปัจจุบัน ณ ปี พ.ศ. 2561

F_t = ต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี หลังปีที่ 2561

r = อัตราคิดลด

t = ปีที่พิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) รวมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ตั้งแต่ปีแรกจนถึงปีสุดท้ายของโครงการ

3) นำมูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการ หารด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ จะทำให้ทราบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Rubin et al., 2013) ดังสมการที่ 3-6

$$\text{ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย} = \frac{\textit{มูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนโครงการทั้งหมด (บาท)}}{\textit{ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิโลวัตต์ชั่วโมง)}} \quad (3\text{-}6)$$

3.4 แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่คำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 วิธี IMPACT 2002+ version 2.12 แล้วจะนำค่าที่ได้มาแปลผลข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

3.4.1 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า

นำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้ามาทำการเปรียบเทียบผลกระทบของแต่ละขั้นตอนว่าเกิดจากผลกระทบประเภทใดมากที่สุด และเกิดจากสาเหตุใด หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของแต่ละขั้นตอนว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากขั้นตอนใดมากที่สุด ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้อาจนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

3.4.2 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

นำผลที่ได้จากการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมาทำการเปรียบเทียบว่าต้นทุนใดที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด และนอกจากนี้อาจนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

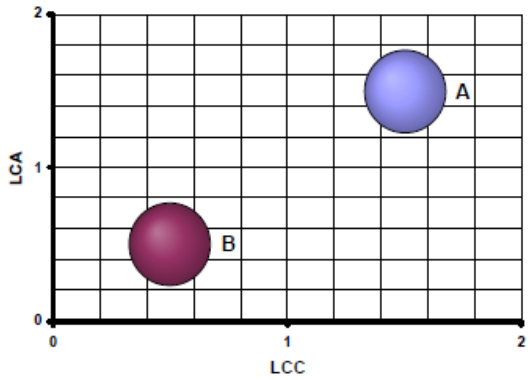
3.4.3 การศึกษาแนวโน้มของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม (Development, 1995) โดยนำต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCC) และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCA) มาคำนวนหาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Borén, 2008) ดังสมการที่ 3-7

$$\text{Eco-efficiency} = \frac{\text{Life cycle costing}}{\text{Life cycle assessment}} \qquad (3\text{-}7)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของการนำเสนอประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจสามารถแสดงโดยใช้กราฟ แกนหนึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม ในขณะที่อีกแกนบ่งบอกประสิทธิภาพด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 กราฟสำหรับนำเสนอประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Borén, 2008)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

4.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาครอบคลุม Cradle to grave คือ พิจารณาตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการก่อสร้างและการรื้อถอน โดยหน้าที่การทำงาน (functional Unit) คือ ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ กำลังผลิตติดตั้ง 763 เมกะวัตต์ และมีอายุของโรงไฟฟ้า (Economic Life) 30 ปี

4.1.2 การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก

ขั้นตอนที่ 1: การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural gas extraction)

(Phumpradab et al., 2009) ได้มีการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติในทะเลอ่าวไทย (แหล่งก๊าซธรรมชาติบงกช) ภายใต้การดำเนินงานของบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อม พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เท่ากับ 27.50 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อีกทั้งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ ดังตารางที่ 4-1 ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงนำผลการศึกษามาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 2: โรงแยกก๊าซธรรมชาติ (Natural gas separation plant)

(Phumpradab et al., 2009) ได้มีการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 1 จ. ระยอง ภายใต้การดำเนินงานของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โดยมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เท่ากับ 21.71 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-1 ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงนำผลการศึกษามาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนของโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 3: การขนส่งก๊าซธรรมชาติ (Natural gas transportation)

(Phumpradab et al., 2009) ได้มีการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อ โดยเริ่มต้นจากแหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย (Gulf of Thailand) ผ่านท่อส่งก๊าซธรรมชาติทางทะเล (Submarine transmission) มายังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ จ. ระยอง

จากนั้นเข้าสู่ท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบก (Inland transmission) จนมาถึงโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา ระยะทาง รวมทั้งหมด 690 กิโลเมตร และข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษามาจากข้อมูลทุติยภูมิจาก Global Emission Model for Intergraded Systems (GEMIS) version 4.3 method (GEMIS, 2007) ที่นำมาใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการขนส่งก๊าซธรรมชาติ และได้ผลการศึกษาเท่ากับ 0.16 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และการขนส่งก๊าซธรรมชาติ (Phumpradab et al., 2009)

สาร	การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	การแยกก๊าซธรรมชาติ (กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	การขนส่งก๊าซธรรมชาติ (กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	27.50	21.71	-
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.07	$2.96x10^{-6}$	-
มีเทน (CH_4)	0.01	-	0.16
ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)	-	$5.41x10^{-6}$	-
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	$1.72x10^{-3}$	-	-
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	-	$1.00x10^{-7}$	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 4: การผลิตกระแสไฟฟ้า

เก็บรวมรวมข้อมูลปฐมภูมิจากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ.2552-2560 ประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

สารขาเข้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

1) ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา มีองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ดังตารางที่ 4-3 ทั้งนี้การเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซธรรมชาติจะนำข้อมูลจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) มาใช้ในการพิจารณา ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ (ข้อมูลออนไลน์จากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี) และใบเรียกเก็บเงินรายเดือน ซึ่งปริมาณก๊าซธรรมชาติที่โรงไฟฟ้าใช้ในแต่ละเดือน (scf/month) จะคำนวนมาจากสมการที่ 4-1

$$\text{ปริมาณก๊าซธรรมชาติ (scf/month)} = \frac{\text{Volume}_{(NG)}}{\text{HHV}_{(sat)}} \quad (4\text{-}1)$$

โดย $\text{Volume}_{(NG)}$ คือ ปริมาณก๊าซธรรมชาติ หน่วย ล้านบีทียูต่อเดือน

$\text{HHV}_{(sat)}$ คือ ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value: c) ในภาวะ Saturated หน่วย ล้านบีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ	**ร้อยละของปริมาณ**
มีเทน (CH_4)	86.03
อีเทน (C_2H_6)	6.76
โพรเพน (C_3H_8)	2.82
นอร์มัลบิวเทน ($n\text{-}C_4H_{10}$)	0.73
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	5.24
ไนโตรเจน (N_2)	1.68

ตารางที่4-3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

ปี	**ค่าความร้อน (HHV, Sat) (บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน)**
ปี 2558	982.08
ปี 2559	978.71
ปี 2560	984.19
เฉลี่ย	981.66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำภายในโรงไฟฟ้า เพื่อผลิตน้ำประปาสำหรับใช้ในสำนักงาน และผลิตน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized water) สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า จะมีการใช้สารเคมีที่เป็นส่วนเกี่ยวข้องหลักๆ ดังนี้ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทั้งนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละเดือน

3) พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้า (Station Service) ซึ่งมีการนำไฟฟ้ามาใช้ภายในโรงไฟฟ้า คิดเป็น 3 % จากไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Gross Actual Generation) ทั้งนี้ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดในแต่ละเดือน และ (2) ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับปั๊มน้ำจากคลองบางพระ เพื่อนำน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการจดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้ารายเดือน

4) น้ำดิบ

น้ำใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา สำหรับใช้ในสำนักงาน และผลิตน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized water) สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า มาจากอ่างเก็บบางพระ จังหวัดชลบุรี และขนส่งมาทางท่อเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ของโรงไฟฟ้า ทั้งนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานปริมาณน้ำดิบที่ใช้ในแต่ละเดือน

สารขาออกจากระบวนการผลิตไฟฟ้า

1) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า และน้ำใช้จากอาคารสำนักงาน

รวบรวมปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ภายน้ำโรงไฟฟ้า ซึ่งจะมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ดังนี้ น้ำเสียจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาและน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ จะเข้าสู่บ่อปรับเสถียร (Neutralization pond) น้ำเสียจากเครื่องผลิตไอน้ำจะเข้าสู่บ่อพักน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วข้างต้น และน้ำทิ้งจากอาคารสำนักงาน จะถูกส่งไปบำบัดยังบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ก่อนส่งไปบำบัดยังบึงประดิษฐ์ (Wetland) และส่งไปพักไว้ที่บ่อพักน้ำทิ้ง (Holding Pond) ก่อนจะนำไปรดน้ำต้นไม้ โดยที่ไม่มีการระบายออกนอกโรงไฟฟ้า ทั้งนี้จะมีการนำค่าของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids) ค่าของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ที่ดำเนินการตรวจวัดเดือนละ 1 ครั้ง มาพิจารณา

2) มลพิษทางอากาศ

พิจารณามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยนำค่าผลตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบายอากาศ ที่มีการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน(Nitrogen dioxide: NO_2) และความเข้มข้นของฝุ่นละออง (Particulate matter: PM) ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO_2)

จากกระบวนการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติจะคำนวนจากองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ ตามวิธีการที่แนะนำของสถาบันปิโตรเลียมอเมริกัน (American Petroleum Institute, 2009) ดังสมการที่ 4-2

$$Eco_2 = FC \times \frac{1}{\text{molar volume conversion}} \times MW_{mixture} \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \qquad (4\text{-}2)$$

Eco_2 คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ปอนด์หรือกิโลกรัม)

FC คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน หรือลูกบาศก์เมตร)

Molar volume conversion คือ ค่าคงที่การแปลงจากปริมาตรโมลเป็นมวล

(379.3 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน/ปอนด์โมล หรือ 23.685 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมโมล)

$MW_{mixture}$ คือ น้ำหนักโมเลกุลของส่วนผสม

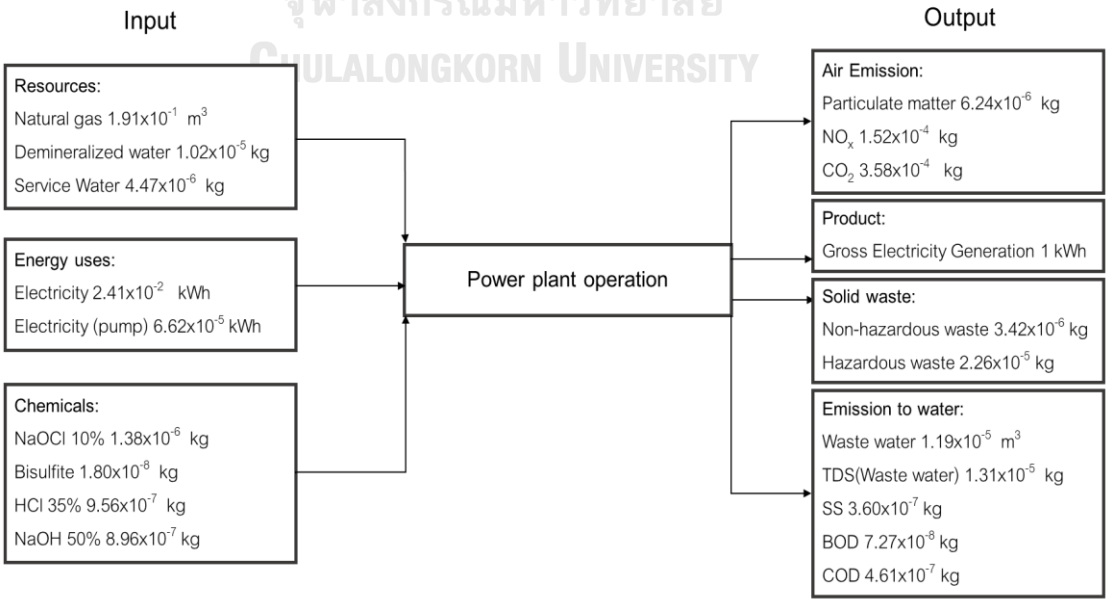
44/12 คือ stoichiometric conversion ของคาร์บอน(C) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

3) กากของเสีย

เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียจากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้า ได้แก่ (1) ของเสียไม่อันตราย ประกอบด้วย เศษเหล็ก ไส้กรองอากาศ ใยแก้ว และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และของเสียอันตราย และ (2) ของเสียอันตราย ประกอบด้วย น้ำมันใช้แล้ว หลอดไฟฟ้า น้ำด่าง ภาชนะปนเปื้อน และวัสดุขัดผิว

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้า-ขาออกในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาตลอดอายุโครงการ 30 ปี ผลการศึกษาที่ได้ ดังตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-1 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4-4 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

รายการ	หน่วย	หน่วยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
1. ผลิตภัณฑ์ (Products)		
Electricity (Gross Actual Generation)	kWh	1.00
2. สารขาเข้า (Input)		
เชื้อเพลิง		
Natural gas-Gulf of Thailand	m^3	$1.91x10^{-1}$
สารเคมี		
NaOCl 10%	kg	$1.38x10^{-6}$
Bisulfite	kg	$1.80x10^{-8}$
HCl 35%	kg	$9.56x10^{-7}$
NaOH 50%	kg	$8.96x10^{-7}$
พลังงาน		
Electricity (Station Service)	kWh	$2.41x10^{-2}$
Electricity (ปั๊มน้ำจากคลองบางพระ)	kWh	$6.62x10^{-5}$
น้ำ		
Demineralized water	kg	$1.02x10^{-5}$
Water use in process	kg	$4.47x10^{-6}$
3. สารขาออก (Output)		
มลพิษทางน้ำ		
Waste water	m^3	$1.19x10^{-5}$
TDS	kg	$1.31x10^{-5}$
SS	kg	$3.60x10^{-7}$
BOD	kg	$7.27x10^{-8}$
COD	kg	$4.61x10^{-7}$
มลพิษทางอากาศ		
NO_x	kg	$1.52x10^{-4}$
Particulate matter	kg	$6.24x10^{-6}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการ	หน่วย	หน่วยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
CO_2 from natural gas combustion	ton	$3.58x10^{-4}$
กากของเสีย		
Non-hazardous waste	kg	$3.42x10^{-6}$
Hazardous waste	kg	$2.26x10^{-5}$

ขั้นตอนที่ 5 การก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้า

ขั้นตอนการก่อสร้างและรื้อถอนโรงไฟฟ้า นำข้อมูลจากงานวิจัย เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวมวล (Bauer, 2008) ที่ได้ทำศึกษาการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ กำลังผลิต 400 เมกกะวัตต์ มาใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ ข้อมูลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกการก่อสร้างและการรื้อถอนที่นำมาใช้ในการศึกษา (Bauer, 2008)

สาร	ผลลัพธ์ (กิโลกรัมกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	$1.70x10^{-3}$
ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)	$8.43x10^{-6}$
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	$1.69x10^{-6}$
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	$7.50x10^{-6}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรม SimaPro version 8.2 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบ และได้ผลการศึกษาดังนี้

1) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint categories)

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-2 พบว่า ผลกระทบสูงสุดทั้ง 15 ด้าน เกิดจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4-2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลางตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

2) ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories)

จากผลการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลางตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า สามารถนำมาคำนวณโดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Damage factor) อ้างอิงตามวิธีการ IMPACT 2002+ version 2.12 เพื่อให้เป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories) ดังตารางที่ 4-6 และการวิเคราะห์ความเสียหาย (Damage assessment) ดังตารางที่ 4-7 พบว่า ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุดทั้ง 4 ด้านเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-6 ผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories)

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การก่อสร้างและการรื้อถอน	การขุดเจาะ	โรงแยกก๊าซ	การขนส่ง	กระบวนการผลิตไฟฟ้า	รวม
Carcinogens	DALY	-	-	-	-	1.65×10^{-7}	1.65×10^{-7}
Non-carcinogens	DALY	-	-	-	-	1.81×10^{-8}	1.81×10^{-8}

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การก่อสร้างและการรื้อถอน	การขุดเจาะ	โรงแยกก๊าซ	การขนส่ง	กระบวนการผลิตไฟฟ้า	รวม
Respiratory inorganics	DALY	2.34 $x10^{-9}$	-	4.87 $x10^{-13}$	-	1.19 $x10^{-7}$	1.21 $x10^{-7}$
Ionizing radiation	DALY	-	-	-	-	3.53 $x10^{-11}$	3.53 $x10^{-11}$
Ozone layer depletion	DALY	-	-	-	-	3.15 $x10^{-11}$	3.15 $x10^{-11}$
Respiratory organics	DALY	-	1.92 $x10^{-13}$	-	2.09 $x10^{-12}$	3.05 $x10^{-10}$	3.07 $x10^{-10}$
Aquatic ecotoxicity	PDF*m^2*yr	-	-	-	-	1.21 $x10^{-3}$	1.21 $x10^{-3}$
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m^2*yr	-	-	-	-	9.17 $x10^{-3}$	9.17 $x10^{-3}$
Terrestrial acidification/ nutrification	PDF*m^2*yr	5.59 $x10^{-5}$	-	3.10 $x10^{-8}$	-	3.34 $x10^{-3}$	3.40 $x10^{-3}$
Land occupation	PDF*m^2*yr	-	-	-	-	5.52 $x10^{-4}$	5.52 $x10^{-4}$
Aquatic acidification	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-	-	-	-
Global warming	kg CO_2 eq	1.70 $x10^{-3}$	2.77 $x10^{-2}$	2.17 $x10^{-2}$	1.24 $x10^{-3}$	4.39 $x10^{-1}$	4.91 $x10^{-1}$
Non-renewable energy	MJ primary	-	-	-	-	8.60 $x10^{0}$	8.60 $x10^{0}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การก่อสร้างและการรื้อถอน	การขุดเจาะ	โรงแยกก๊าซ	การขนส่ง	กระบวนการผลิตไฟฟ้า	รวม
Mineral extraction	MJ primary	-	-	-	-	1.65 $x10^{-3}$	1.65 $x10^{-3}$

ตารางที่ 4-7 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories)

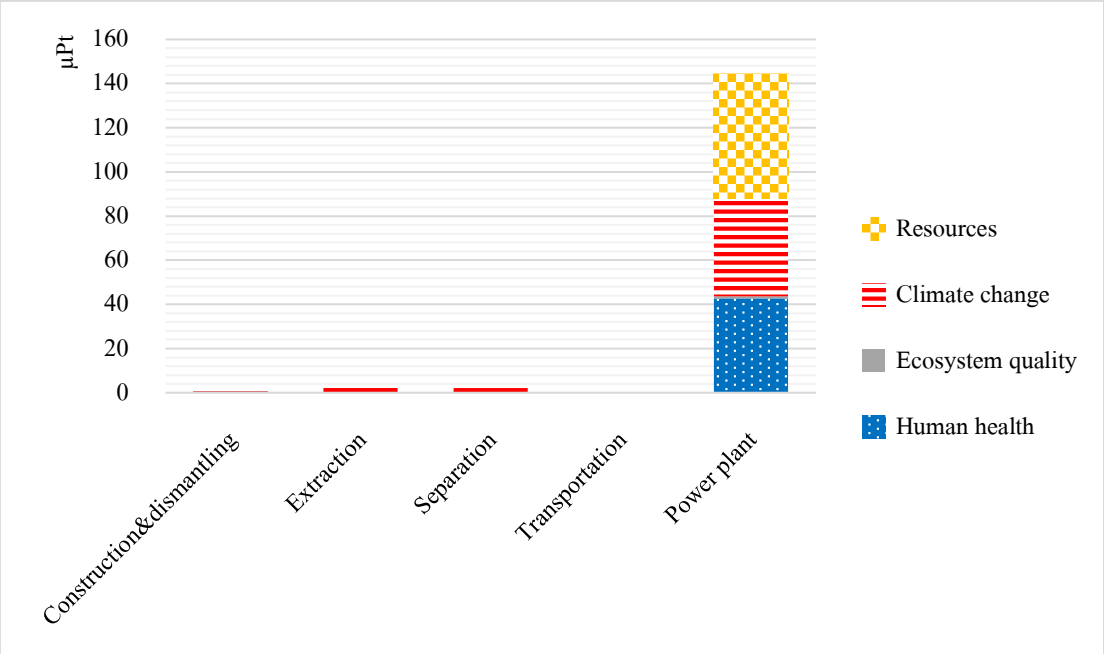
กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	การก่อสร้างและการรื้อถอน	การขุดเจาะ	โรงแยกก๊าซ	การขนส่ง	กระบวนการผลิตไฟฟ้า	รวม
Human health	DALY	2.34 $x10^{-9}$	1.92 $x10^{-13}$	4.87 $x10^{-13}$	2.09 $x10^{-12}$	3.02 $x10^{-7}$	3.05 $x10^{-7}$
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	5.59 $x10^{-5}$	-	3.1 $x10^{-8}$	-	1.43 $x10^{-2}$	1.43 $x10^{-2}$
Climate change	kg CO_2 eq	1.70 $x10^{-3}$	2.77 $x10^{-2}$	2.17 $x10^{-2}$	1.24 $x10^{-3}$	4.39 $x10^{-1}$	4.91 $x10^{-1}$
Resources	MJ primary	-	-	-	-	8.60 $x10^{0}$	8.60 $x10^{0}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) ผลการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เป็นการกำหนดความสำคัญให้แก่กลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่ม โดยคิดเป็นคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) ซึ่งผลกระทบทุกประเภทจะถูกนำมาประเมินให้อยู่ในหน่วยเดียวกันคือ หน่วย “Point” หรือ “Pt” จากการศึกษา พบว่า ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า มีค่าผลกระทบสูงสุดในทุก ๆ ด้าน เมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ โดยก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร (Resource) สูงถึง 56.57 μPt รองลงมา คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เท่ากับ 44.33 μPt และความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health)

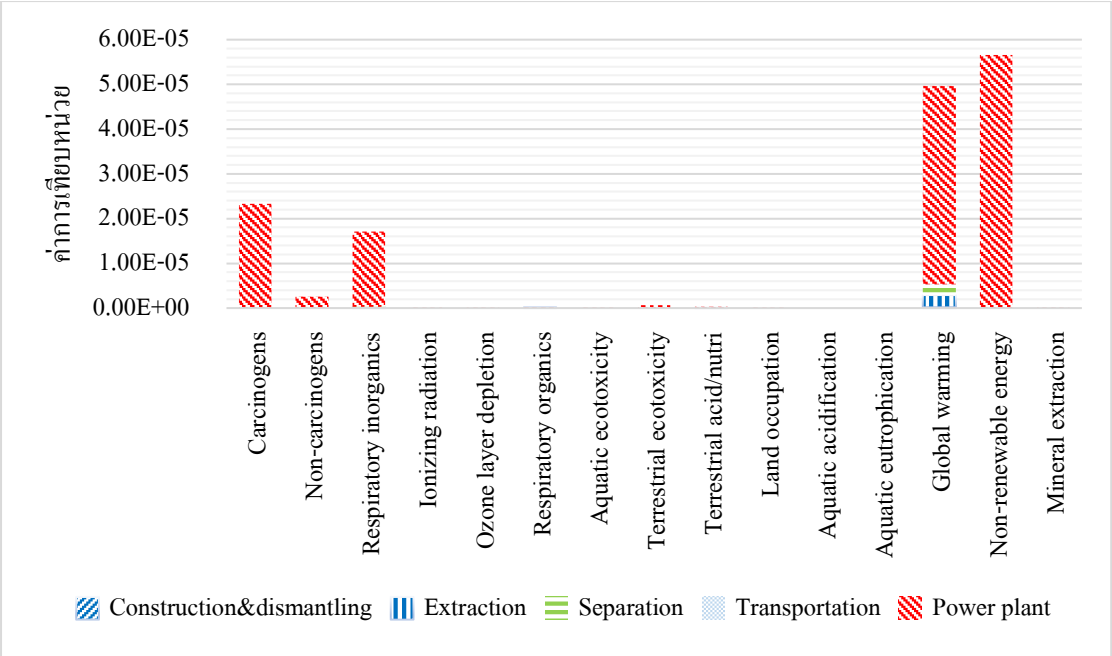
เท่ากับ 42.60 µPt ในขณะที่ผลกระทบด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 1.04 µPt ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 ผลการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

4) ผลการเทียบหน่วย (Normalization)

การเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบ ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ จากผลการศึกษา พบว่า มีค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) สูงสุด รองลงมาคือผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) และด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ดังรูปที่ 4-4



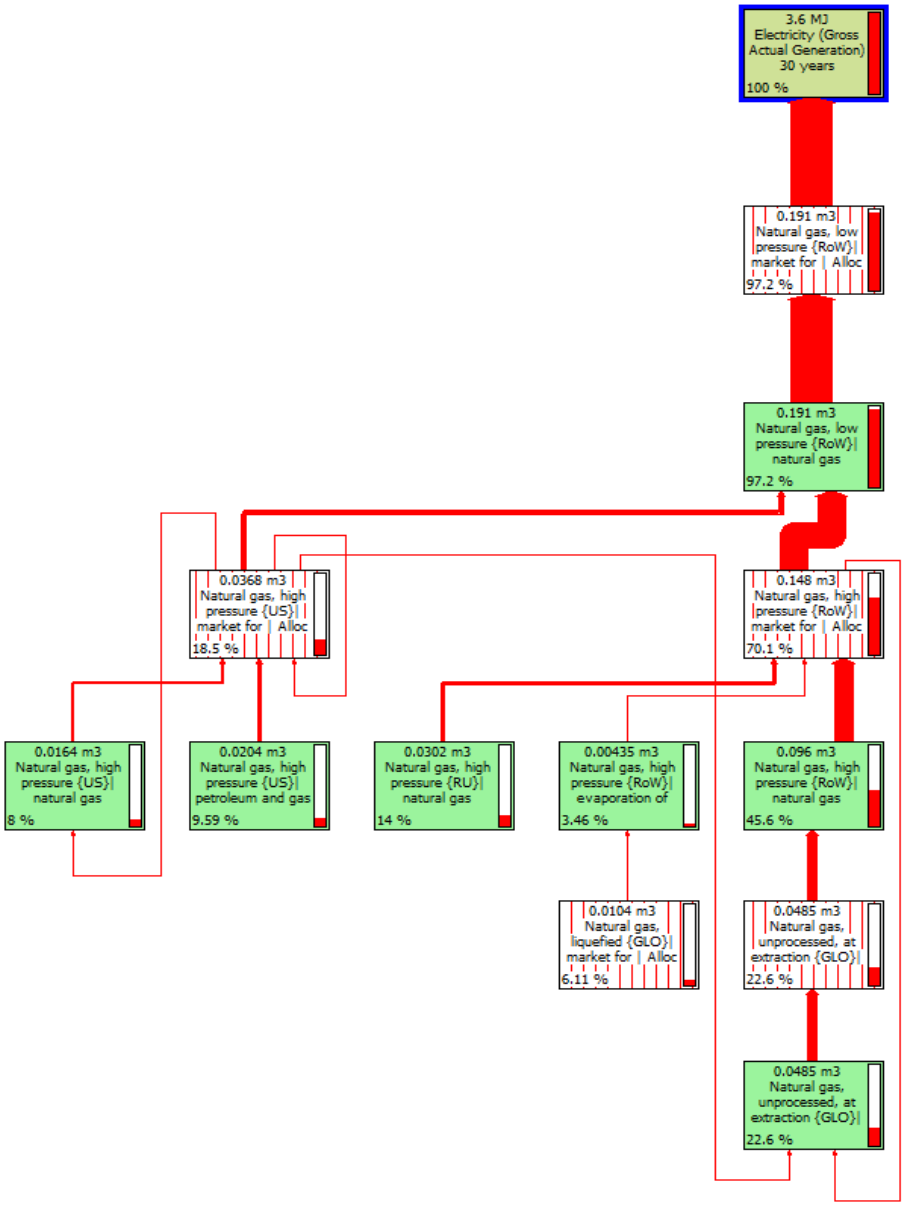
รูปที่ 4-4 ผลการเทียบหน่วย (Normalization)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำผลกระทบ 4 ด้านที่มีอันดับสูงสุด ได้แก่ ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) รองลงมาคือผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) และด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ตามลำดับ มาทำการคำนวณสัดส่วนผลกระทบของแต่ละกระบวนการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)

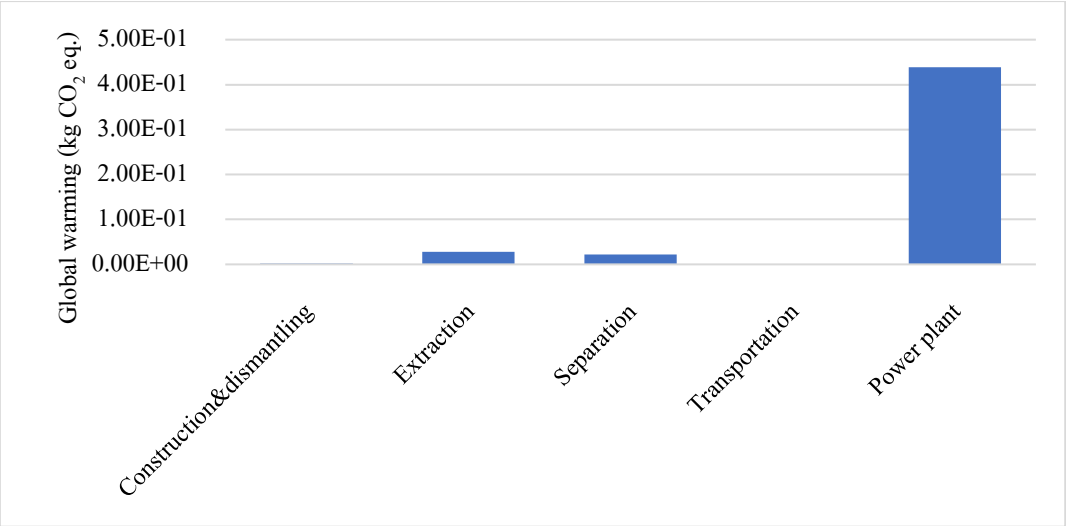
ผลกระทบจากการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเป็นผลกระทบจากการเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งจะพิจารณาหน่วยพลังงานในรูปเมกะจูล (Megajoule; MJ) จากการคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Gross calorific value) ที่นำมาใช้โดยตรง จากผลการศึกษาพบว่า ค่าผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปจากงานวิจัยที่ศึกษา เท่ากับ 8.59 เมกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 97.24 ซึ่งสอดคล้องกับผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปด้วยขอบเขตแบบ Cradle to grave ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป

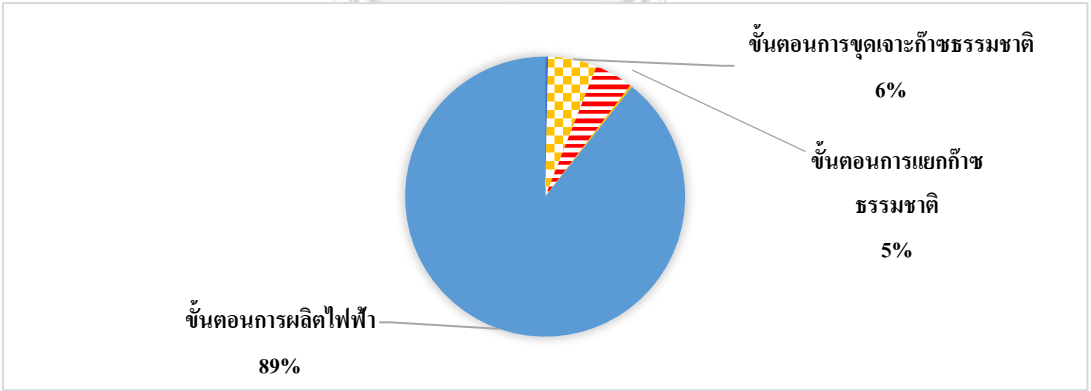
(2) ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)

การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) เกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลก ถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจก ทำให้กันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลกไม่ให้สะท้อนกลับขึ้นสู่อวกาศ โดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq.) ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

จากแผนภาพข้างต้น แสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนแยกตามขั้นตอนต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า พบว่า กระบวนการที่มีผลกระทบมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า มีค่าผลกระทบ 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง รองลงมาคือขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.028 และ 0.022 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ โดยสัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 4-7

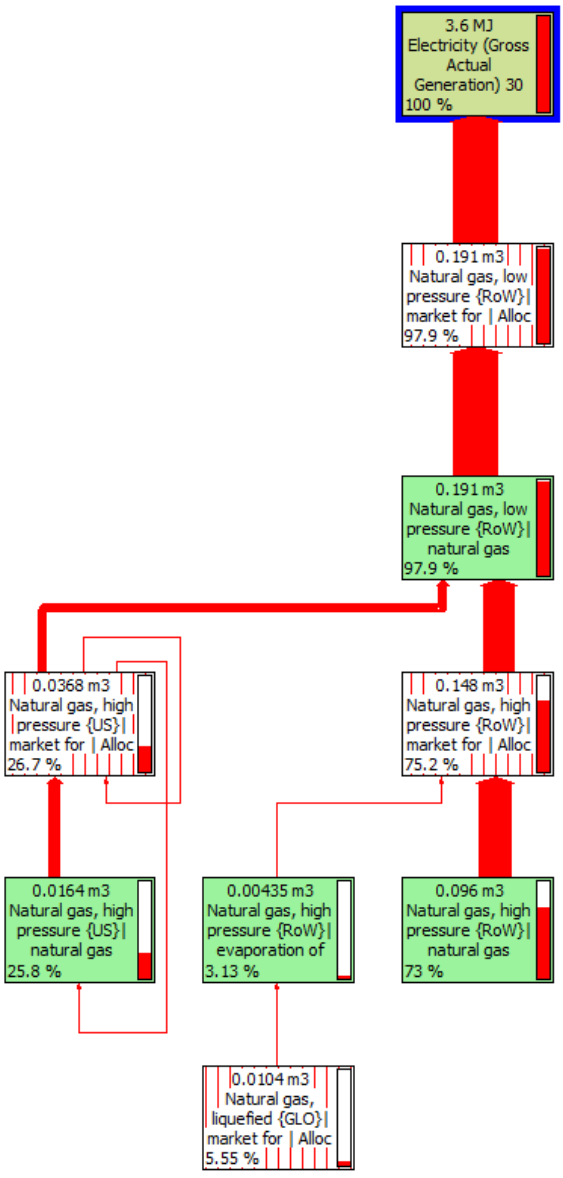


รูปที่ 4-7 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน
ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า แยกเป็นขั้นตอน

จากสัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ขั้นตอนที่ส่งผลมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 89 รองลงมาคือ การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และการแยกก๊าซธรรมชาติ ร้อยละ 6 และ 5 ตามลำดับ

(3) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)

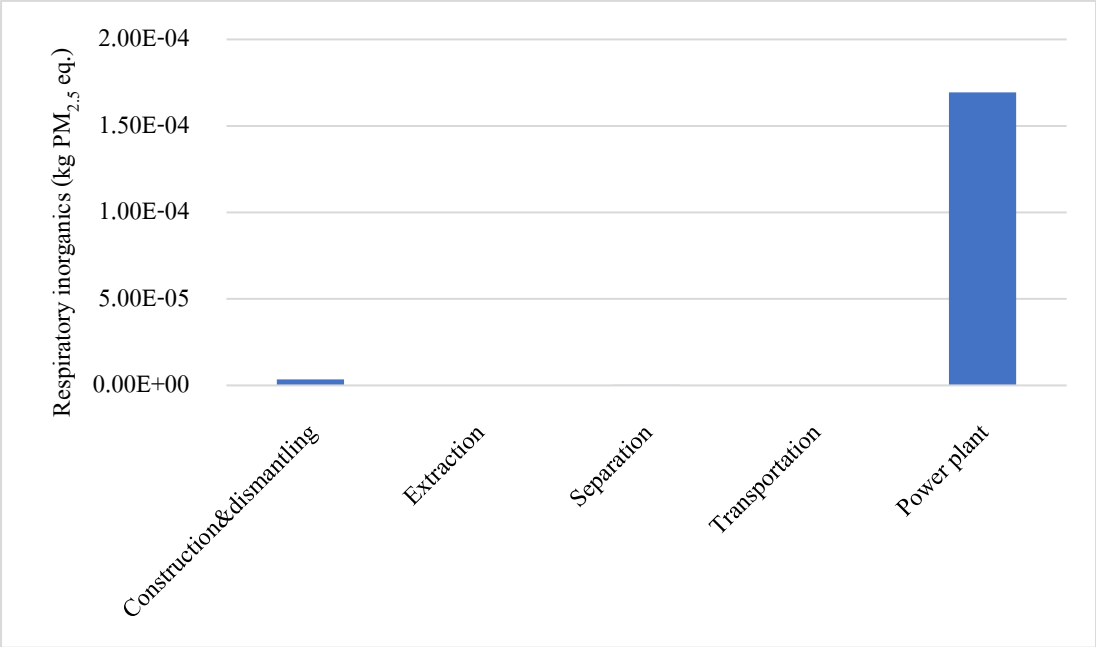
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่า (kg C_2H_3Cl eq.) จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง เท่ากับ 0.059 กิโลกรัมคลอโรเอทิลีนเทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 97.90 สอดคล้องกับผังการไหลของผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปด้วยขอบเขตแบบ Cradle to grave ดังรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง

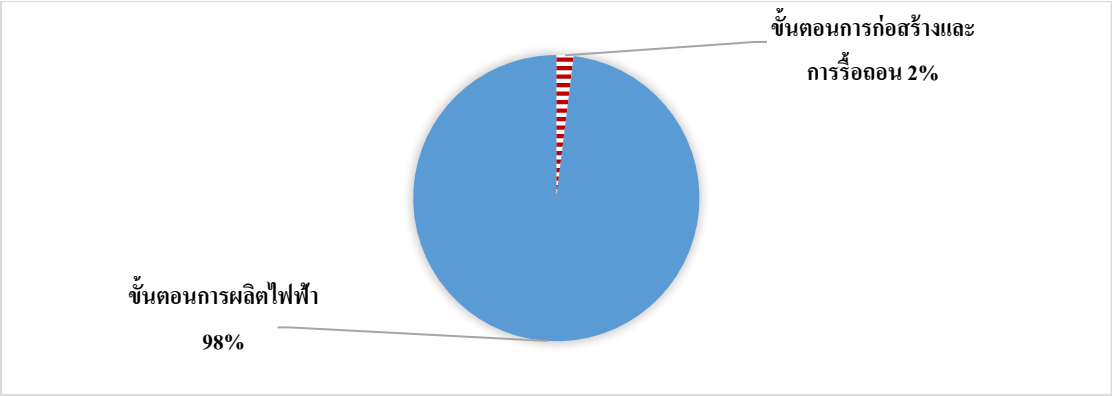
(4) ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) ดังรูปที่ 4-9 โดยแยกตามกระบวนการต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงผลในหน่วยกิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเทียบเท่า (kg $PM_{2.5}$ eq.)



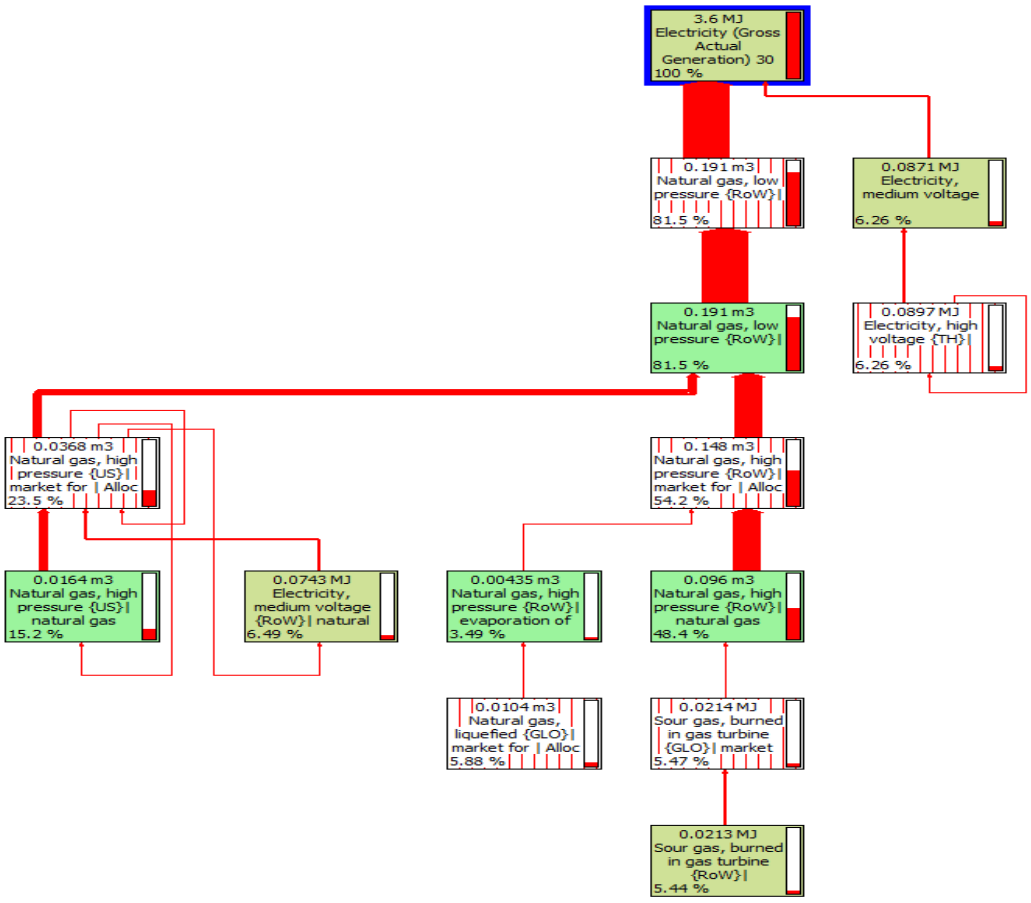
รูปที่ 4-9 ผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ
ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

จากแผนภาพข้างต้น พบว่า ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า มีค่าผลกระทบสูงสุด เท่ากับ $1.69x10^{-4}$ กิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง รองลงมาคือ ขั้นตอนการก่อสร้างและการรื้อถอน เท่ากับ $3.35x10^{-6}$ กิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และขั้นตอนของการแยกก๊าซธรรมชาติ เท่ากับ $6.96x10^{-10}$ กิโลกรัมฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และสัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจของแต่ละกรณีศึกษา ดังรูปที่ 4-10 พบว่าขั้นตอนที่ส่งผลมากที่สุด คือ มาจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 98 ซึ่งเมื่อพิจารณาลึกลงไปถึงผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า เป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 82.49 รองลงมาคือ ขั้นตอนการก่อสร้างและการรื้อถอน ร้อยละ 2



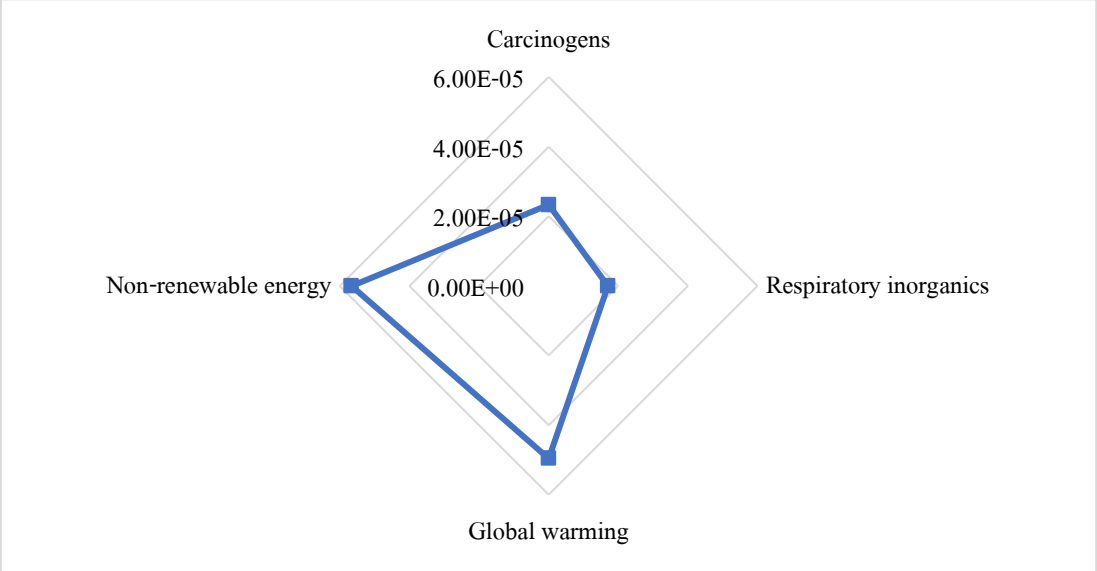
รูปที่ 4-10 สัดส่วนของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า แยกเป็นขั้นตอน

เมื่อพิจารณาผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ ด้วยขอบเขตแบบ Cradle to grave ดังรูปที่ 4-11 พบว่า ผลกระทบด้านนี้ส่วนใหญ่มาจากการขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า คือ การใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 81.5 และมาจากไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อการเดินเครื่องโรงไฟฟ้า (Station Service) ร้อยละ 6.26



รูปที่ 4-11 ผังการไหลของผลกระทบด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ

เมื่อได้วิเคราะห์หาขั้นตอนที่มีผลกระทบสูงสุดของทั้ง 4 ด้านแล้ว จึงได้นำค่าผลกระทบจากการเทียบหน่วย (Normalization) มาจัดทำกราฟใยแมงมุม (Radar chart) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กันของทั้ง 4 ผลกระทบ ดังรูปที่ 4-12 พบว่า ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปสูงที่สุด รองลงมาคือผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ และด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง ตามลำดับ



รูปที่ 4-12 กราฟใยแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ของ 4 ผลกระทบสูงสุด

4.1.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับงานวิจัยอื่น

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint categories) ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) และขั้นตอนการเทียบหน่วย (Normalization) สามารถนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ ดังนี้

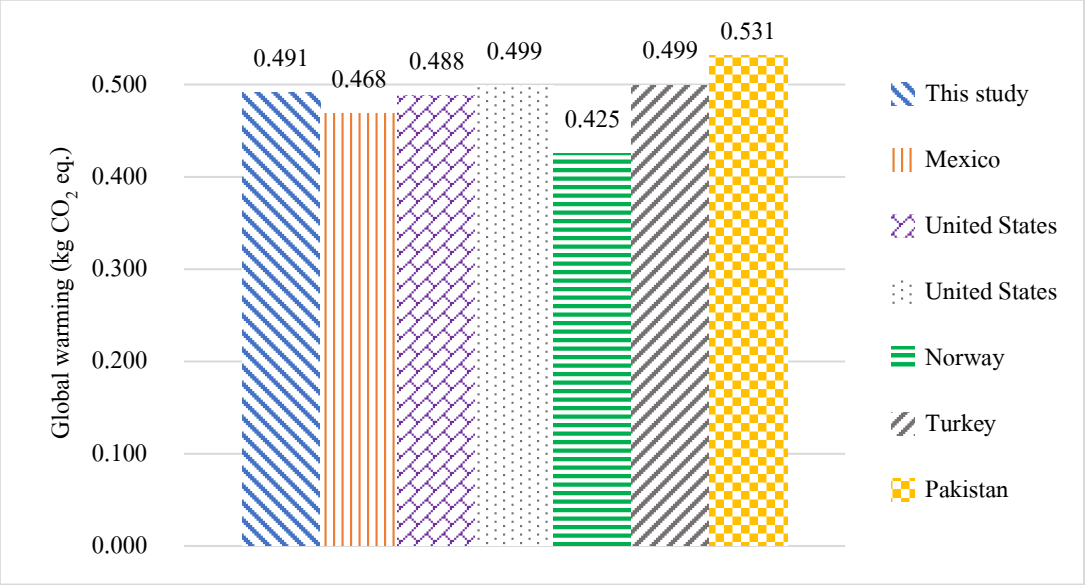
1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy)

จากการศึกษาผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา พบว่า มีผลกระทบ เท่ากับ 8.59 เมกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเป็นผลกระทบจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในโรงไฟฟ้า เท่ากับ 981.66 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน ในขณะที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ 367.5 เมกกะวัตต์ ของประเทศ

สิงคโปร์ (Kannan et al., 2007) ได้ผลการศึกษา เท่ากับ 7.79 เมกกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และผลการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติในประเทศตุรกี (Atilgan & Azapagic, 2016) พบว่า ผลกระทบหลักด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป มาจากการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ เช่นเดียวกับผลการศึกษาในประเทศปากีสถาน (Akber, Thaheem, & Arshad, 2017)

2) ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)

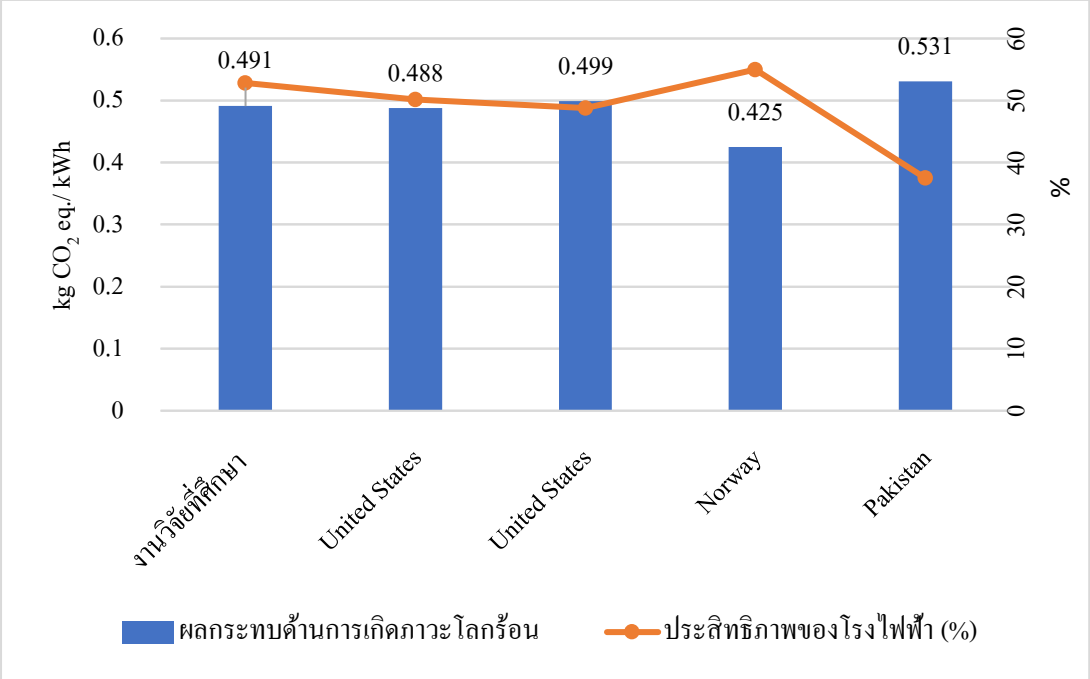
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าจากงานวิจัยที่ศึกษา เท่ากับ 0.491 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อนในประเทศเม็กซิโก (Santoyo-Castelazo, 2011) สหรัฐอเมริกา ที่มาจากงานวิจัยของ (NETL, 2013) และ (L Spath & K Mann, 2000) นอร์เวย์ (Singh, Strømman, & Hertwich, 2011) ตุรกี (Atilgan & Azapagic, 2016) และประเทศปากีสถาน (Akber et al., 2017) มีค่าเท่ากับ 0.468, 0.488, 0.499, 0.425, 0.499 และ 0.531 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าจากงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยอื่น

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) กับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า พบว่า ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาเท่ากับ 52.8% ใกล้เคียงกับงานวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกาจากงานวิจัย (NETL, 2013) และ

(L Spath & K Mann, 2000) เท่ากับ 50.2% และ 48.8% ตามลำดับ และค่าผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ในขณะที่ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนในประเทศปากีสถาน (Akber et al., 2017) สูงถึง 0.531 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เนื่องมาจากประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 37.5% แตกต่างจากงานวิจัยในประเทศนอร์เวย์ (Singh et al., 2011) ที่พบว่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 55% จึงทำให้มีค่าผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนเพียง 0.425 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ดังรูปที่ 4-14



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนกับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

ผลกระทบหลักด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา พบว่า มาจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 89 จากขั้นตอนทั้งหมด สอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศนอร์เวย์ (Singh et al., 2011) ที่พบว่ามากกว่าร้อยละ 86 มาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง และการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ 350 เมกกะวัตต์ในประเทศอินเดีย (Agrawal, Jain, Jain, & Dahiya, 2014) พบว่า ร้อยละ 80.6 มาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงสรุปได้ว่าผลกระทบหลักด้านการเกิดภาวะโลกร้อนมาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่นเดียวกับผลการศึกษาในประเทศตุรกี (Atilgan & Azapagic, 2016)

ในส่วนของขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ และการขนส่งก๊าซธรรมชาติของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา คิดรวมเป็นร้อยละ 11 ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวใกล้เคียงกับผลการศึกษาในประเทศนอร์เวย์ (Singh et al., 2011) ที่พบว่า ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 11 มาจากการผลิตก๊าซธรรมชาติ และร้อยละ 3 มาจากการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน

ในขณะที่ขั้นตอนการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 0.35 ของการเกิดภาวะโลกร้อนทั้งหมด สอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา (L Spath & K Mann, 2000) และประเทศไทย (Chomkumsri, 2002) ที่ได้ผลคิดเป็นร้อยละ 0.40 และ 0.13 ตามลำดับ

3) ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens)

จากผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา พบว่า มีค่าเท่ากับ $1.65x10^{-7}$ DALY ซึ่งเกิดจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ในขณะที่งานวิจัยในประเทศอินเดีย (Agrawal et al., 2014) พบว่า ผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง จากการได้มาของก๊าซธรรมชาติ (คิดรวมขั้นตอนการขุดเจาะ โรงแยกก๊าซ และขนส่งก๊าซธรรมชาติ) เท่ากับ $2.73x10^{-9}$ DALY หรือคิดเป็นร้อยละ 81 จากผลกระทบด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งทั้งหมด ซึ่งคาดว่าในระหว่างขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และโรงแยกก๊าซธรรมชาติมีสารพิษอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs), PAHs, NMVOCs, เบนซิน, อีเธน, ฟอร์มาลดีไฮด์, บิวเทน, เบนโซ(α) ไพรีน และสารหนูจะถูกปล่อยออกมาในบรรยากาศและในน้ำเสีย

4) ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics)

จากผลการคำนวณผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint categories) ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา พบว่า มีค่าเท่ากับ $1.19x10^{-7}$ DALY ซึ่งมาจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 98 เช่นเดียวกับงานวิจัยในประเทศอินเดีย (Agrawal et al., 2014) พบว่า การเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจจะมีค่าสูง ในขั้นตอน

การเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมาจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

4.2 การศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (Life Cycle Costing; LCC)

4.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาครอบคลุม Cradle to grave เช่นเดียวกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า คือ พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1: การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural gas extraction)

ในขั้นตอนการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ จะไม่มีการพิจารณาโครงสร้างของต้นทุน เนื่องจากก๊าซธรรมชาติยังไม่ได้ถูกนำมาใช้จนกว่าจะเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (L Spath & K Mann, 2000)

ขั้นตอนที่ 2: โรงแยกก๊าซธรรมชาติ (Natural gas separation plant)

เช่นเดียวกับที่ระบุในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3: การขนส่งก๊าซธรรมชาติ (Natural gas transportation)

เช่นเดียวกับที่ระบุในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 4: การผลิตกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ประยุกต์จากงานวิจัย (ประพิธาร์ ธนารักษ์, 2556) ดังสมการที่ 4-3

$$LCC_{total} = CAPEX_{pp} + O\&M_{pp} + Fuel_{NG} - S \qquad (4\text{-}3)$$

โดยที่ LCC_{total} คือ ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (บาท)

$CAPEX_{pp}$ คือ ต้นทุนการลงทุนของโรงไฟฟ้า (บาท)

$O\&M_{pp}$ คือ ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษา (บาท)

$Fuel_{NG}$ คือ ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)

S คือ มูลค่าซาก (บาท)

ขั้นตอนที่ 5 การก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้า

พิจารณาโดยรวมอยู่ในขั้นตอนที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.2 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

ผลการศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาต้นทุนค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่าเชื้อเพลิง และมูลค่าซาก รายละเอียดดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 การศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ต้นทุน	ค่าใช้จ่าย	แหล่งข้อมูล/วิธีคำนวณ
ค่าก่อสร้าง ($CAPEX_{pp}$)	11,270 ล้านบาท	จากโรงไฟฟ้าที่ศึกษา
ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา ($O\&M_{pp}$) $O\&M_{pp} = (Y_{O\&M})(X) + (A_1)(X) + (A_2)(X) + (A_3)(X)$	$Y_{O\&M}$: ค่าผลิตและบำรุงรักษา (บาท)	จากสมการ $Y_{O\&M} = [(-3*10^{-10})(X) + 0.1893]$
	A_1: ค่าวัสดุและอะไหล่ (บาท)	ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2552-2561
	A_2: ค่าขายและบริหาร (บาท)	ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2552-2561
	A_3: ค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต (บาท)	ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2552-2561
ค่าเชื้อเพลิง ($Fuel_{NG}$) $Fuel_{NG} = (Y_{NG})(X)(Y_p)$	Y_{NG}: ปริมาณของเชื้อพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (บีทียู/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	จากสมการ $Y_{NG} = [(-2*10^{-12})(X) + 0.0074]$
	Y_p: ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละปีที่ กฟผ.รับซื้อ (บาท/ล้านบีทียู)	จากสมการ $Y_p = [(3.9077*Y_n) + 294.61]$
มูลค่าซาก (S)	1,127 ล้านบาท	คิดที่ 10% ของค่าก่อสร้าง*

หมายเหตุ X คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)

Y_n คือ ปีที่ทำการศึกษา (ปี)

* อ้างอิงจากงานวิจัย (ประพิธาร์ ธนารักษ์, 2556)

(1) ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ 2 เครื่อง และเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ 1 เครื่อง สำหรับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายในส่วนของเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ระบบไฟฟ้าและระบบควบคุม (Electrical and Control System) ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Water System) ระบบเชื้อเพลิง (Fuel System)

ระบบน้ำดิบ (Raw Water Supply System) อาคารโรงไฟฟ้า (Power House) และระบบบำบัดน้ำ (Water Treatment System)

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติได้เริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2549 แล้วเสร็จจนสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปี พ.ศ. 2552 มีค่าก่อสร้าง เท่ากับ 11,270 ล้านบาท แสดงดังตารางที่ 4-9 ทั้งนี้ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้า พบว่า มีการบันทึกข้อมูลทางบัญชีของค่าก่อสร้างไว้เป็นข้อมูลปีแรกที่เริ่มเดินเครื่องเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าก่อสร้างของโรงไฟฟ้าเป็นปีแรกที่เริ่มเดินเครื่องเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4-9 รายละเอียดต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการศึกษาในปี พ.ศ.2549-2552

รายละเอียด	**รวม (ล้านบาท)**
โครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้า เช่น ระบบควบคุม ท่อ ปั๊ม ระบบบำบัดน้ำ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบเชื้อเพลิง และลานไกไฟฟ้า	2,156
โครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของกังหันก๊าซ ชุดที่ 1	1,590
โครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของกังหันก๊าซ ชุดที่ 2	1,519
โครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของกังหันไอน้ำ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันไอน้ำ ระบบควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ	6,005
รวมต้นทุนค่าก่อสร้างทั้งหมด	11,270

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(2) ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษา

ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษา จะมีการพิจารณาข้อมูลค่าผลิตและบำรุงรักษา ค่าวัสดุและอะไหล่ ค่าขายและบริหาร และค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต ดังสมการที่ 4-4

$$O\&M_{pp} = (Y_{O\&M})(X) + (A_1)(X) + (A_2)(X) + (A_3)(X) \qquad (4\text{-}4)$$

โดยที่ $O\&M_{pp}$ คือ ต้นทุนการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า (บาท)

X คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)

$Y_{O\&M}$ คือ ค่าผลิตและบำรุงรักษา (บาท)

A_1 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าวัสดุและอะไหล่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 (บาท)

A_2 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าขายและบริหาร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 (บาท)

A_3 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 (บาท)

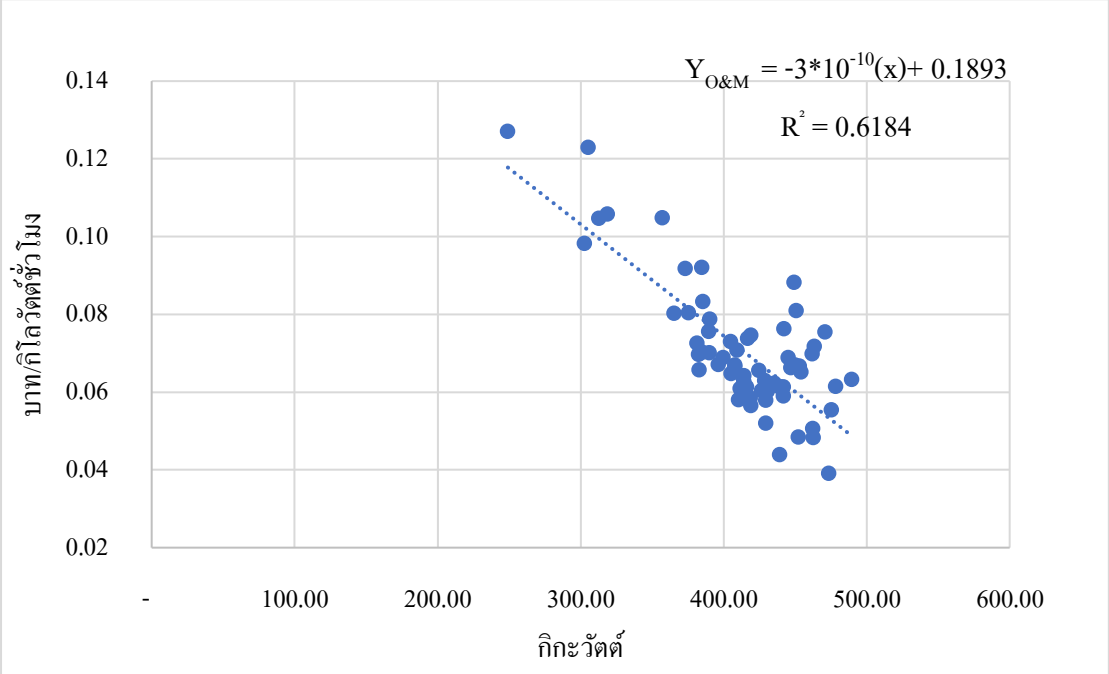
(2.1) ค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา

ค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา ประกอบด้วย เงินเดือนพนักงาน ค่าล่วงเวลา ค่าจ้างเหมา ค่าน้ำมันขนส่ง ค่าเดินทาง ค่ารับโอน และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ทั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 และทำการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Gross electricity generation) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอย ดังรูปที่ 4-15 เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2562-2582 ได้ค่าความสัมพันธ์ (R-Square) เท่ากับ 61.84% แสดงดังสมการที่ 4-5

$$Y_{O\&M} = (-3*10^{-10})(X) + 0.1893 \qquad (4\text{-}5)$$

โดยที่ $Y_{O\&M}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา (บาท/ปี)

X คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)



รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษา (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)และปริมาณกระแสฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิกะวัตต์)

(2.2) ค่าวัสดุและอะไหล่

ค่าวัสดุและอะไหล่ ประกอบด้วยวัสดุและอุปกรณ์ทั่วไป และค่าอะไหล่และอุปกรณ์โรงไฟฟ้า โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 และใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปฐมภูมิในการคาดการณ์ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2562-2582

(2.3) ค่าขายและบริหาร

ค่าขายและบริหาร ประกอบด้วย โบนัสพนักงาน และค่าใช้จ่ายในการบริหาร โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 และใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปฐมภูมิในการคาดการณ์ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2562-2582

(2.4) ค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต

ค่าวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2561 และใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปฐมภูมิในการคาดการณ์ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2562-2582

(3) ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง

สำหรับต้นทุนค่าเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมคำนวณจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกับราคาเชื้อเพลิง โดยพิจารณาค่าความร้อนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า รายละเอียดในการคำนวนดังสมการที่ 4-6

$$Fuel_{NG} = (Y_{NG})(X)(Y_p) \qquad (4\text{-}6)$$

โดยที่ $Fuel_{NG}$ คือ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (บาท)

Y_{NG} คือ ปริมาณของเชื้อพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (บีทียู/กิโลวัตต์ชั่วโมง)

Y_p คือ ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละปีที่ กฟผ.รับซื้อ (บาท/ล้านบีทียู)

X คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2561 จากเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้า และคำนวนหาต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2562-2582 โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละปีที่ กฟผ.รับซื้อ (บาท/ล้านบีทียู) แสดงดังรูปที่ 4-16 ได้ค่าความสัมพันธ์ (R-Square) เท่ากับ 84.33% และได้สมการที่ 4-7 ในขณะที่การวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (Heat rate) และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Gross electricity generation) แสดงดังรูปที่ 4-17 ได้ค่าความสัมพันธ์ (R-Square) เท่ากับ 56.57% สูตรการคำนวณ แสดงดังสมการที่ 4-8

$$Y_p = (3.9077 * Y_n) + 294.61 \qquad (4\text{-}7)$$

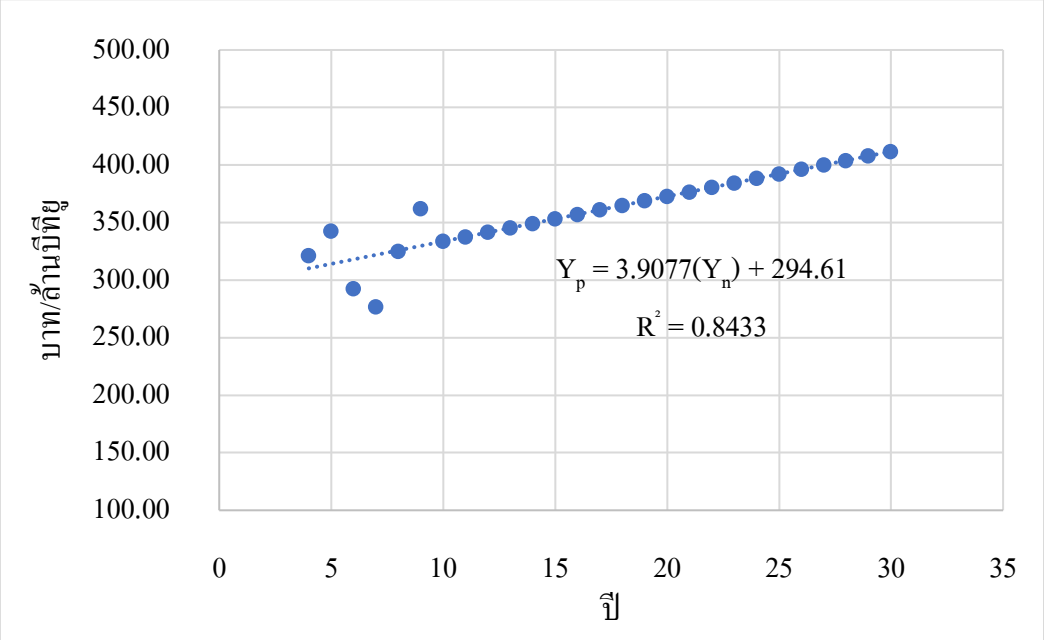
โดยที่ Y_p คือ ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละปีที่ กฟผ.รับซื้อ (บาท/ล้านบีทียู)

Y_n คือ ปีที่ทำการศึกษา (ปี)

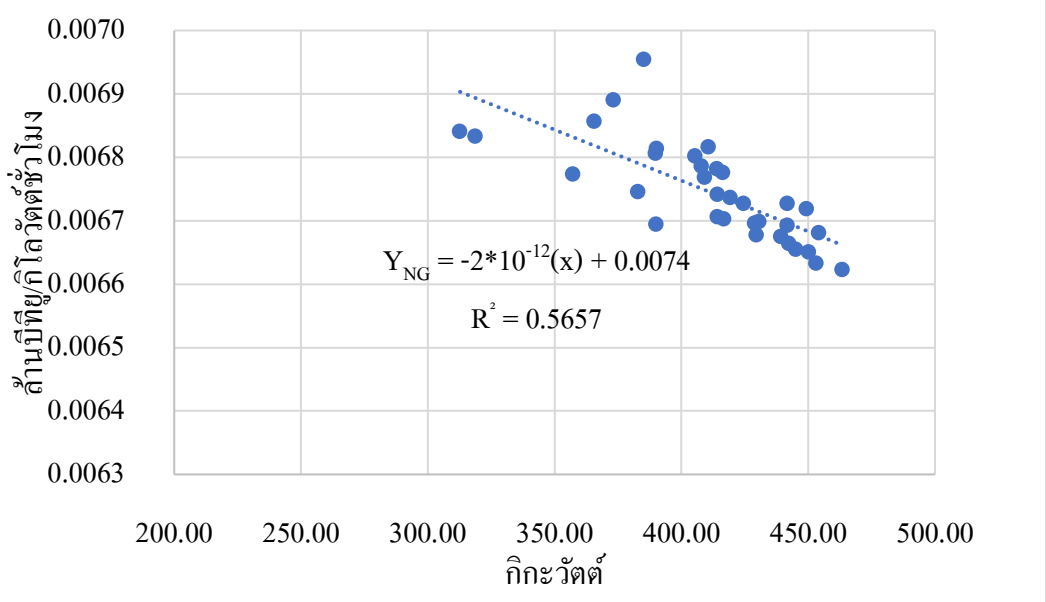
$$Y_{NG} = (-2*10^{-12})(X)+0.0074 \qquad (4\text{-}8)$$

โดยที่ Y_{NG} คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (บีทียู/กิโลวัตต์ชั่วโมง)

X คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี (กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี)



รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยรายปีที่ กฟผ.รับซื้อ(บาท/ล้านบีทียู)



รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (ล้านบีทียู/กิโลวัตต์ชั่วโมง) และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (กิกะวัตต์)

(4) มูลค่าซาก

คิดมูลค่าซากที่ 10% ของค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า

4.2.3 ผลการวิเคราะห์หาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

ในการดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมขนาดกำลังการผลิต 763 เมกะวัตต์ โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง จะประกอบด้วยต้นทุนหลัก คือ ต้นทุนในการก่อสร้าง ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษา ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง และมูลค่าซาก ผลการศึกษา พบว่า ต้นทุนการก่อสร้างเท่ากับ 11,270 ล้านบาท ต้นทุนการดำเนินงานและบำรุงรักษาเท่ากับ 15,789 ล้านบาท ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเท่ากับ 333,189 ล้านบาท และมูลค่าซากเท่ากับ 1,127 ล้านบาท รวมมีต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการทั้งหมดเท่ากับ 359,122 ล้านบาท ดังตารางที่ 4-10

4.2.4 ผลการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการ

เมื่อนำต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการทั้งหมดมาหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ และมูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money) โดยกำหนดให้ปี พ.ศ.2561 เป็นปีฐาน และอ้างอิงจากอัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับร้อยละ 5.69 เท่ากับอัตราผลตอบแทนการลงทุนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและต้นทุนการซื้อไฟฟ้า กำหนดโดยคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) (RYT9, 2560) พบว่า โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติอายุโครงการ 30 ปี มีมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการเท่ากับ 283,536 ล้านบาท

ในการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการจะทำโดยนำมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการซึ่งเท่ากับ 283,536 ล้านบาท หารด้วยกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมผลิตได้ทั้งหมด 30 ปี ซึ่งเท่ากับ 145,283 กิกะวัตต์ ดังนั้น ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการจะเท่ากับ 1.95 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-10 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของโครงการ (ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน)

ปี พ.ศ.	ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า (a)	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา (b)	ค่าเชื้อเพลิง (c)	มูลค่าซาก (d)	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ
	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
2549-2552	11,270	220	3,213		14,704	24,195
2553		467	6,929		7,397	11,516
2554		882	8,440		9,323	13,733
2555		415	9,708		10,124	14,111
2556		425	11,072		11,498	15,163
2557		784	11,258		12,043	15,026
2558		1,017	9,651		10,669	12,595
2559		522	9,153		9,675	10,807
2560		480	10,243		10,723	11,333
2561		948	10,298		11,246	11,246
2562		465	10,644		11,109	10,510
2563		465	10,768		11,234	10,056
2564		465	10,893		11,358	9,620
2565		465	11,017		11,483	9,202
2566		465	11,142		11,608	8,801
2567		465	11,267		11,732	8,417
2568		465	11,391		11,857	8,048
2569		465	11,516		11,981	7,695
2570		465	11,641		12,106	7,356
2571		465	11,765		12,231	7,032
2572		465	11,890		12,355	6,721
2573		465	12,015		12,480	6,424

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปี พ.ศ.	ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า (a) (ล้านบาท)	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา (b) (ล้านบาท)	ค่าเชื้อเพลิง (c) (ล้านบาท)	มูลค่าซาก (d) (ล้านบาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (ล้านบาท)
2574		465	12,139		12,605	6,138
2575		465	12,264		12,729	5,865
2576		465	12,388		12,854	5,604
2577		465	12,513		12,979	5,354
2578		465	12,638		13,103	5,114
2579		465	12,762		13,228	4,885
2580		465	12,887		13,353	4,665
2581		465	13,012		13,477	4,455
2582		314	6,673	(1,127)	5,860	1,833
รวม	11,270	15,789	333,189	(1,127)	359,122	283,536

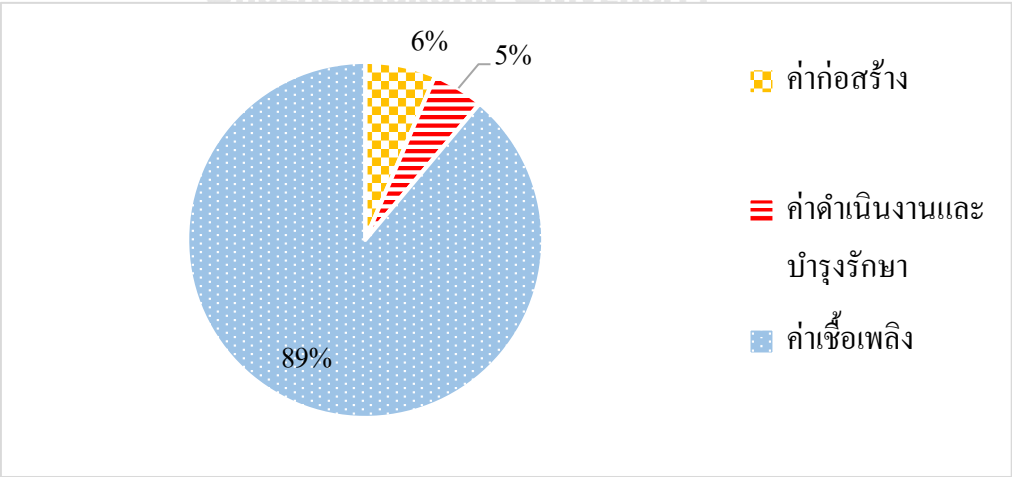
หมายเหตุ (a) ข้อมูลปฐมภูมิ

(b) ปี 2552-2561 ข้อมูลปฐมภูมิ, ปี 2562-2582 จากสมการที่ 4-4

(c) ปี 2552-2561 ข้อมูลปฐมภูมิ, ปี 2562-2582 จากสมการที่ 4-6

(d) โดยคิดมูลค่าซากที่ 10% (ประพิธาร์ ธนารักษ์, 2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-18 ร้อยละของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ

จากรูปที่ 4-18 แสดงข้อมูลต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 763 เมกกะวัตต์ ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีสัดส่วนสูงที่สุด เท่ากับ 1.73 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ของต้นทุนทั้งหมด ในขณะที่ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า เท่ากับ 0.13 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง และต้นทุนค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา และ 0.09 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

4.2.5 ผลการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการ กรณีคิดรวมต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(1) ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 30 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน

การกำหนดให้ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 30 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน เพื่อสะท้อนนโยบายสำหรับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และภาษีที่อาจเป็นไปสำหรับการผลิตไฟฟ้า (NEA/IEA/OECD, 2015) ดังนั้น ในการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมขนาดกำลังการผลิต 763 เมกะวัตต์ จึงมีการพิจารณาโดยคิดต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม อายุการดำเนินโครงการ 30 ปี มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 51,979,061 ตัน ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4-11 และพบว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 322,457 ล้านบาท ดังตารางที่ 4-12

ในการหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำโดยนำมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการซึ่งเท่ากับ 322,457 ล้านบาท หารด้วยกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมผลิตได้ทั้งหมด 30 ปี ซึ่งเท่ากับ 145,283 กิกะวัตต์ ดังนั้น ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการเท่ากับ 2.22 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-11 ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม อายุโครงการ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน)

ปี	ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		
	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	ล้านตัน	ล้านบาท	ล้านบาท
2552	0.32	303	498
2553	1.81	1,705	2,655

ปี	ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		
	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	ล้านตัน	ล้านบาท	ล้านบาท
2554	1.80	1,690	2,490
2555	1.82	1,715	2,391
2556	1.92	1,804	2,379
2557	1.81	1,703	2,125
2558	1.79	1,681	1,984
2559	1.61	1,511	1,688
2560	1.76	1,659	1,753
2561	1.53	1,437	1,437
2562	1.73	1,629	1,542
2563	1.73	1,629	1,459
2564	1.73	1,629	1,380
2565	1.73	1,629	1,306
2566	1.73	1,629	1,235
2567	1.73	1,629	1,169
2568	1.73	1,629	1,106
2569	1.73	1,629	1,046
2570	1.73	1,629	990
2571	1.73	1,629	937
2572	1.73	1,629	886
2573	1.73	1,629	839
2574	1.73	1,629	794
2575	1.73	1,629	751
2576	1.73	1,629	710
2577	1.73	1,629	672
2578	1.73	1,629	636
2579	1.73	1,629	602

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปี	ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		
	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	ล้านตัน	ล้านบาท	ล้านบาท
2580	1.73	1,629	569
2581	1.73	1,629	539
2582	1.20	1,132	354
รวม	**51.98**	**48,925**	**38,921**

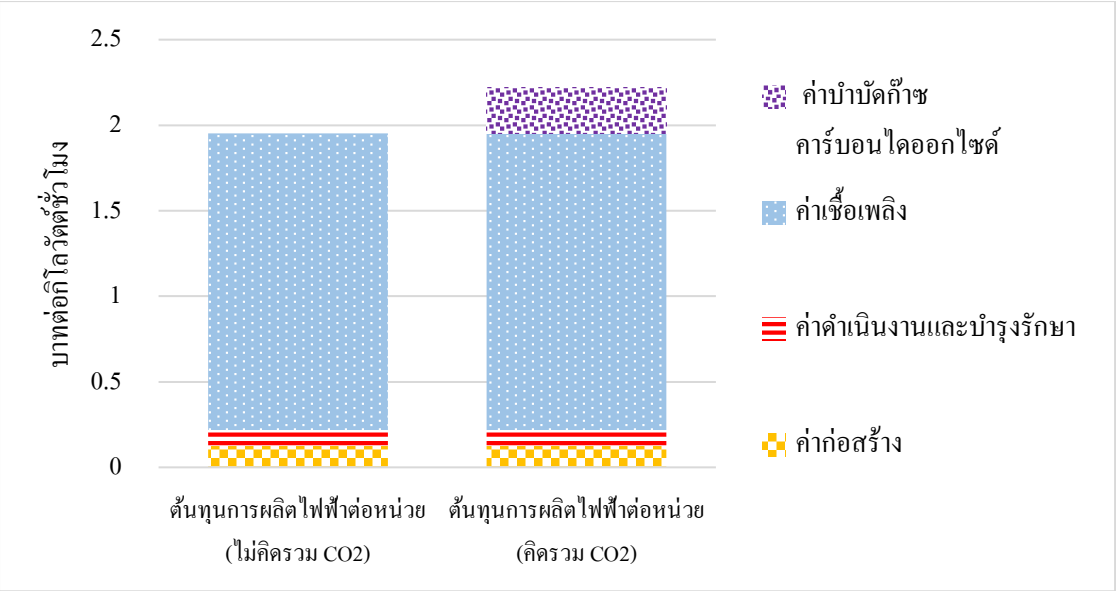
ตารางที่ 4-12 มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปี	ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		
	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่ไม่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	ล้านบาท	ล้านบาท	ล้านบาท
2552	24,196	498	24,694
2553	11,516	2,655	14,171
2554	13,733	2,490	16,223
2555	14,111	2,391	16,502
2556	15,163	2,379	17,542
2557	15,027	2,125	17,151
2558	12,595	1,984	14,580
2559	10,808	1,688	12,495
2560	11,334	1,753	13,087
2561	11,246	1,437	12,683
2562	10,511	1,542	12,053
2563	10,057	1,459	11,515
2564	9,621	1,380	11,001
2565	9,203	1,306	10,509

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปี	ต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		
	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่ไม่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการที่รวมต้นทุนการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	ล้านบาท	ล้านบาท	ล้านบาท
2566	8,802	1,235	10,037
2567	8,417	1,169	9,586
2568	8,049	1,106	9,155
2569	7,696	1,046	8,742
2570	7,357	990	8,347
2571	7,033	937	7,969
2572	6,722	886	7,608
2573	6,424	839	7,263
2574	6,139	794	6,932
2575	5,866	751	6,617
2576	5,604	710	6,315
2577	5,354	672	6,026
2578	5,114	636	5,750
2579	4,885	602	5,487
2580	4,666	569	5,235
2581	4,456	539	4,994
2582	1,833	354	2,187
รวม	**283,536**	**38,921**	**322,457**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

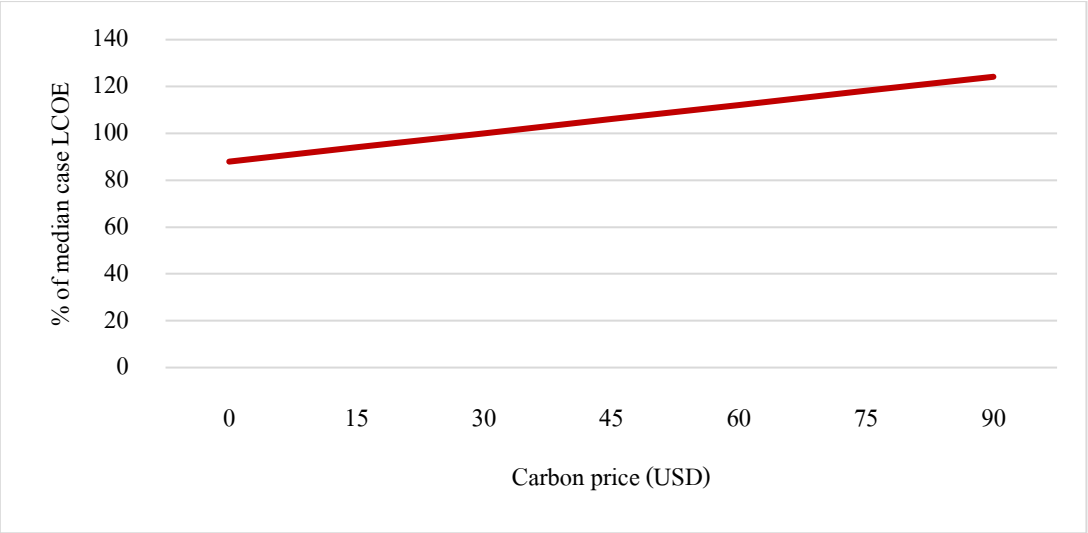


รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ จากทั้ง 2 กรณี

จากรูปที่ 4-19 ข้อมูลต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ กรณีคิดรวมต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.27 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการสูงขึ้น เท่ากับ 2.22 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 12 จากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการกรณีไม่คิดรวมต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(2) ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0-90 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0-90 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน (NEA/IEA/OECD, 2015) โดยกำหนดให้กรณีพื้นฐานของราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 30 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน จากข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4-20 พบว่าต้นทุนราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงสุดเปรียบเทียบกับกับกรณีพื้นฐานเพิ่มขึ้นร้อยละ 24



รูปที่ 4-20 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.2.6 การเปรียบเทียบต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้ากับงานวิจัยอื่น

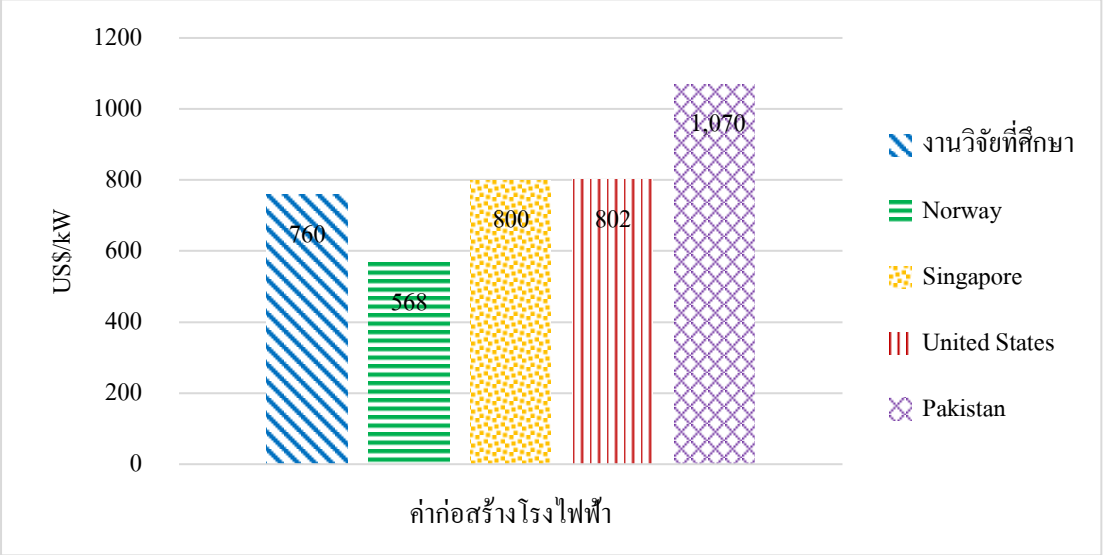
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา มีมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการเท่ากับ 283,536.21 ล้านบาท ในขณะที่มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมราชบุรี เท่ากับ 475,689.115 ล้านบาท (ธนวรรณ ใจบุญมา, 2550) ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวฯ ได้อ้างอิงราคาก๊าซธรรมชาติจากวิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี (สุรัก ปิยะรักสกุล, 2548) สำหรับในปี พ.ศ.2571-2580 จะกำหนดให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.72 ต่อปี ซึ่งเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของราคาก๊าซธรรมชาติในปี พ.ศ. 2556-2570

4.2.7 การเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้ากับงานวิจัยอื่น

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติของงานวิจัยที่ศึกษาเท่ากับ 1.95 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ 0.062 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยอยู่ระหว่าง 0.039 – 0.108 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (IEA/NEA, 2010) และข้อมูล (NEA/IEA/OECD, 2015) พบว่า เมื่อคิดอัตราคิดลดที่ 3% ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำสุดเท่ากับ 0.061 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในประเทศสหรัฐอเมริกา และสูงสุดเท่ากับ 0.133 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในประเทศญี่ปุ่น และเมื่อคิดอัตราคิดลดที่ 7% พบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำสุดเท่ากับ 0.066 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในประเทศสหรัฐอเมริกา และสูงสุดเท่ากับ 0.138 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงในประเทศญี่ปุ่น

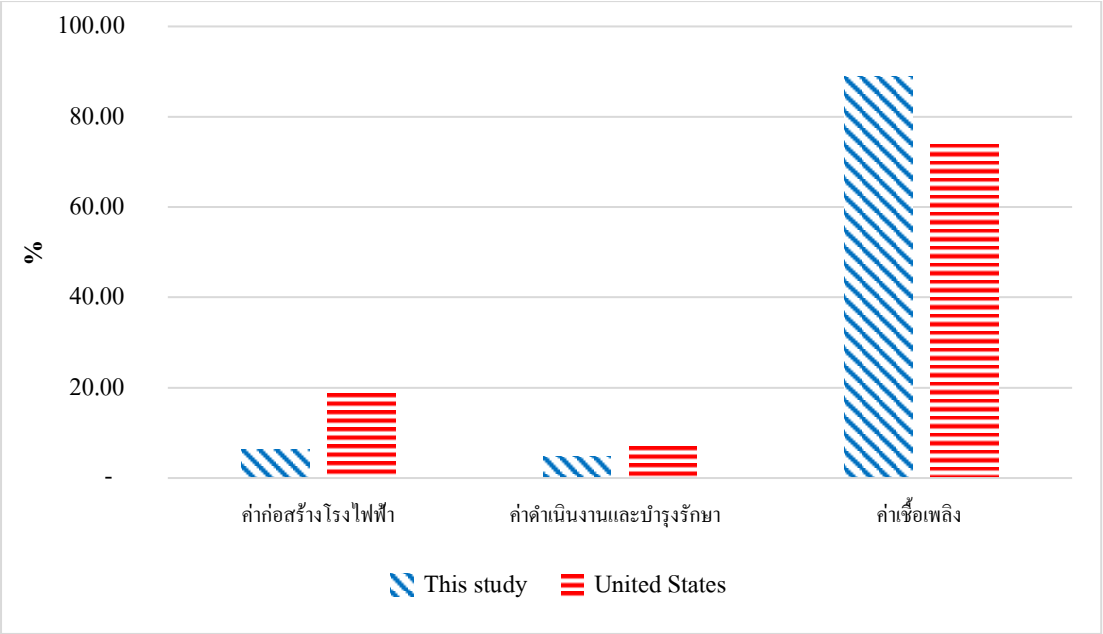
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา เท่ากับ 760 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ ซึ่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 520 ถึง 1,678 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ (IEA/NEA, 2010) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในประเทศนอร์เวย์ (Singh et al., 2011) ประเทศสิงคโปร์ (Kannan et al., 2007) ประเทศสหรัฐอเมริกา (NETL, 2013) และประเทศปากีสถาน (Akber et al., 2017) พบว่า มีต้นทุนเท่ากับ 568, 800, 802 และ 1,070 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าจากงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัยอื่น

ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติที่ทำการศึกษา พบว่า ส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด ร้อยละ 89 ของต้นทุนทั้งหมด สอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา (NETL, 2010) พบว่า ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากความไม่แน่นอนของราคาก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 74 ของต้นทุนทั้งหมด และร้อยละ 19 มาจากต้นทุนค่าก่อสร้าง (คิดรวมค่าลานไกไฟฟ้าและการรื้อถอน) ดังรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้า
จากงานวิจัยที่ศึกษากับงานวิจัย (NETL, 2010)

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

4.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCC) และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCA) มาคำนวนหาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และใช้ขอบเขตเดียวกับที่ได้ทำการศึกษาการหาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและด้านการเกิดภาวะโลกร้อนจากงานวิจัยที่ศึกษา เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

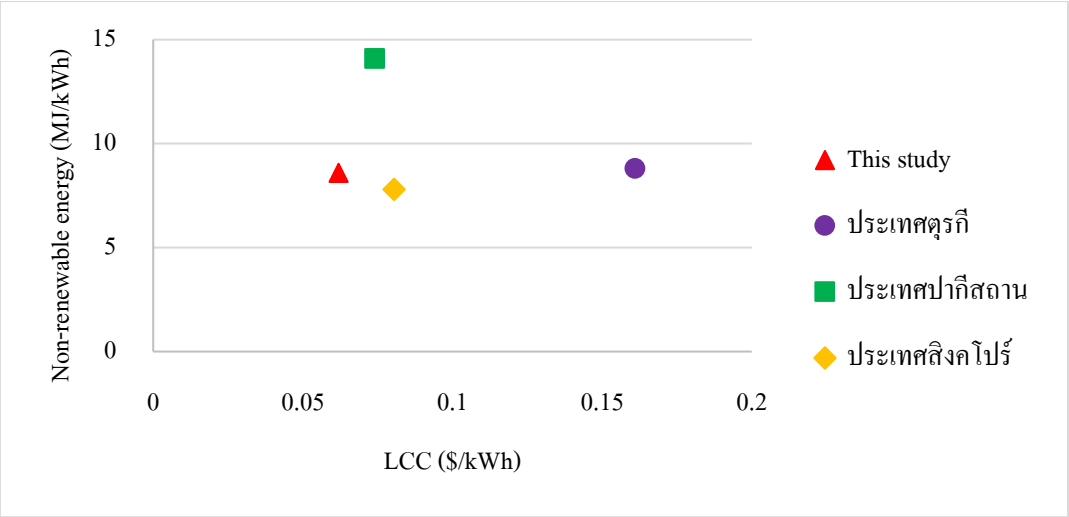
ประเภทที่ศึกษา	งานที่ศึกษา	ประเทศตุรกี (1)	ประเทศปากีสถาน (2)	ประเทศสิงคโปร์ (3)
ต้นทุนต่อหน่วยของโครงการ (ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.062	0.161	0.074	0.081
การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป				
เมกกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	8.59	8.80	14.09	7.79
LCC/LCA	0.0072	0.0182	0.0052	0.010
ภาวะโลกร้อน				
กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	0.491	0.499	0.531	0.473
LCC/LCA	0.126	0.322	0.139	0.170

หมายเหตุ (1) (Atilgan & Azapagic, 2016), (2) (Akber et al., 2017), (3) (Kannan et al., 2007)

(1) ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป

ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปจากงานวิจัยที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 0.0072 ดอลลาร์สหรัฐต่อเมกะจูล เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-23 พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากงานวิจัยที่ศึกษา และผลการศึกษาในประเทศสิงคโปร์ มีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ดี เมื่อพิจารณาจากมุมมองทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้ หากพิจารณาในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์เพียงด้านเดียว พบว่า ต้นทุนค่าไฟฟ้าในประเทศตุรกีมีต้นทุนสูงถึง 0.161 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เนื่องมาจากราคาค่าเชื้อเพลิงในประเทศ เท่ากับ 750 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน และหากพิจารณามุมมองด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในประเทศปากีสถานสูงถึง 14.09 เมกกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

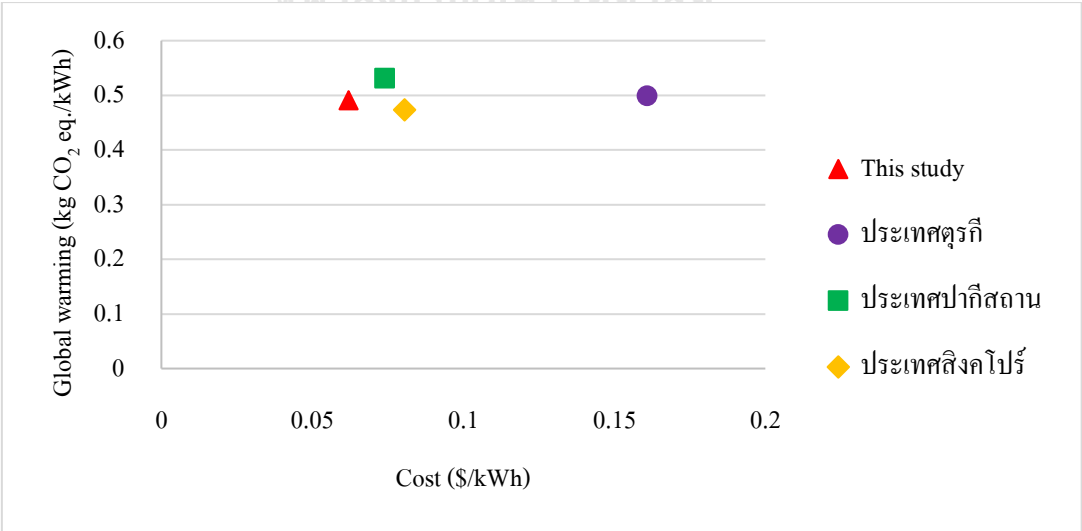
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-23 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป
เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

(2) ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการเกิดภาวะโลกร้อน

ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการเกิดภาวะโลกร้อนจากงานวิจัยที่ศึกษา มีค่าเท่ากับ 0.126 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-24 พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากงานวิจัยที่ศึกษาอยู่ในระดับที่ดี ใกล้เคียงกับผลการศึกษาในประเทศสิงคโปร์ ในขณะที่ผลการศึกษาในประเทศตุรกี พบว่า ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นผลมาจากต้นทุนค่าไฟฟ้าในประเทศตุรกีที่สูงกว่าประเทศอื่น ๆ



รูปที่ 4-24 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
ด้านการเกิดภาวะโลกร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

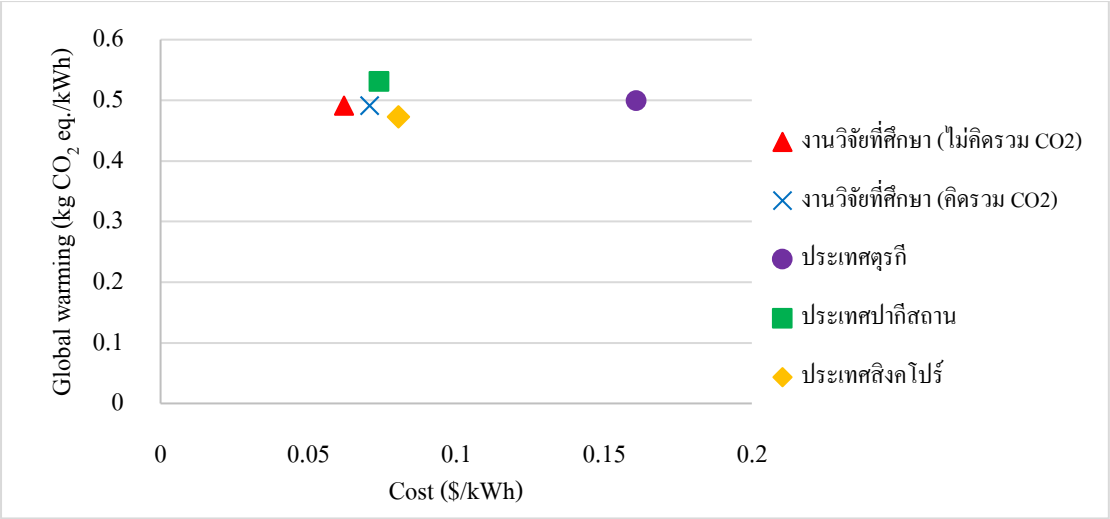
(3) ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการเกิดภาวะโลกร้อนเปรียบเทียบกับประเทศสิงคโปร์

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในประเทศสิงคโปร์ ด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและด้านการเกิดภาวะโลกร้อน ที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ศึกษา โดยประเทศสิงคโปร์มีการนำเข้าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจากประเทศมาเลเซีย และประมาณ 80% ที่มีการนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย (Kannan et al., 2007) และจากข้อมูลการขนส่งก๊าซธรรมชาติในประเทศอินโดนีเซียนั้น พบว่า มีการส่งออกก๊าซธรรมชาติประมาณหนึ่งในสี่ไปยังประเทศสิงคโปร์และมาเลเซีย ผ่านท่อทั้ง 2 เส้นทาง โดยเส้นแรกจะเป็นการขนส่งผ่านท่อทางทะเลตะวันตก Natuna และอีกเส้นหนึ่งจากโรงแยกก๊าซ Grissik ในเกาะสุมาตราใต้ (EIA, 2015) ดังนั้นหากพิจารณาที่ระยะทางการขนส่งก๊าซธรรมชาติจากงานวิจัยในประเทศสิงคโปร์จะมีระยะทางที่ใกล้กว่างานวิจัยที่ศึกษา จึงส่งผลให้การพิจารณาในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสิงคโปร์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ศึกษา และหากพิจารณาในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ราคาค่าเชื้อเพลิงในประเทศสิงค์โปร์ เท่ากับ 8.70 ดอลลาร์สหรัฐต่อล้านบีทียู (Kannan et al., 2007) ในขณะที่งานวิจัยที่ศึกษานั้นเท่ากับ 10.20 ดอลลาร์สหรัฐต่อล้านบีทียู แต่ทั้งนี้ หากพิจารณาต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าของประเทศสิงค์โปร์จะสูงกว่าประเทศไทยคิดเป็น 5% จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการในประเทศสิงคโปร์สูงกว่าประเทศไทยเพียงเล็กน้อย

(4) ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการเกิดภาวะโลกร้อน กรณีคิดรวมต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการเกิดภาวะโลกร้อน กรณีคิดรวมต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12 จากกรณีที่ไม่มีการคิดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องมาจากจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการฯ กรณีที่ไม่มีการคิดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.062 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง แต่ในกรณีคิดรวมต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการฯ เพิ่มขึ้นเป็น 0.071 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
กรณีคิดรวมต้นทุนค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

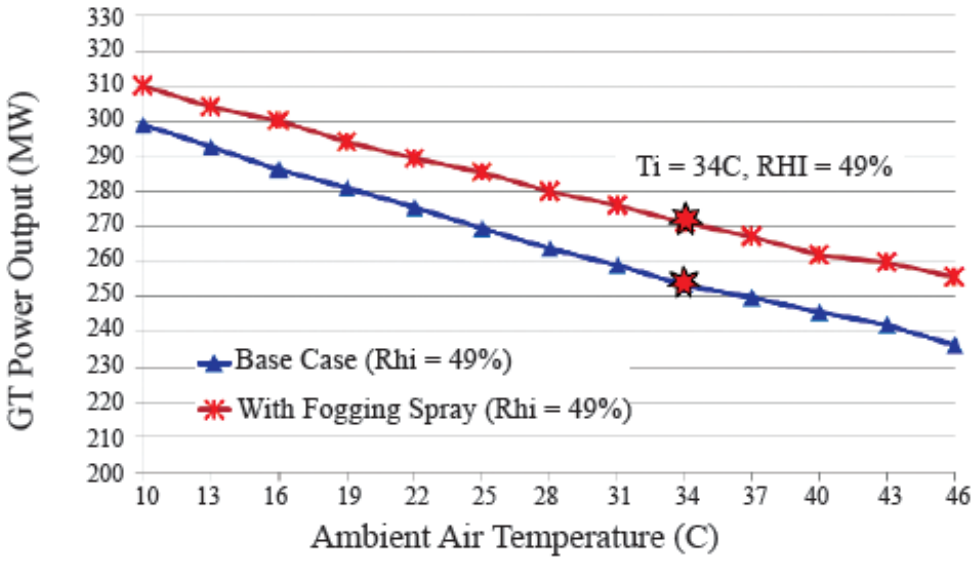
4.4 แนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ พบว่าก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) สูงสุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) และด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) และจากการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ พบว่า ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติส่งผลต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 89 ของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งผลกระทบดังกล่าวมาจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้น แนวทางในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมทั้งลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ควรให้ความสำคัญกับการขั้นตอนดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม ควรให้ความสำคัญกับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ (Gas turbine) (Usapein & Chavalparit, 2017)

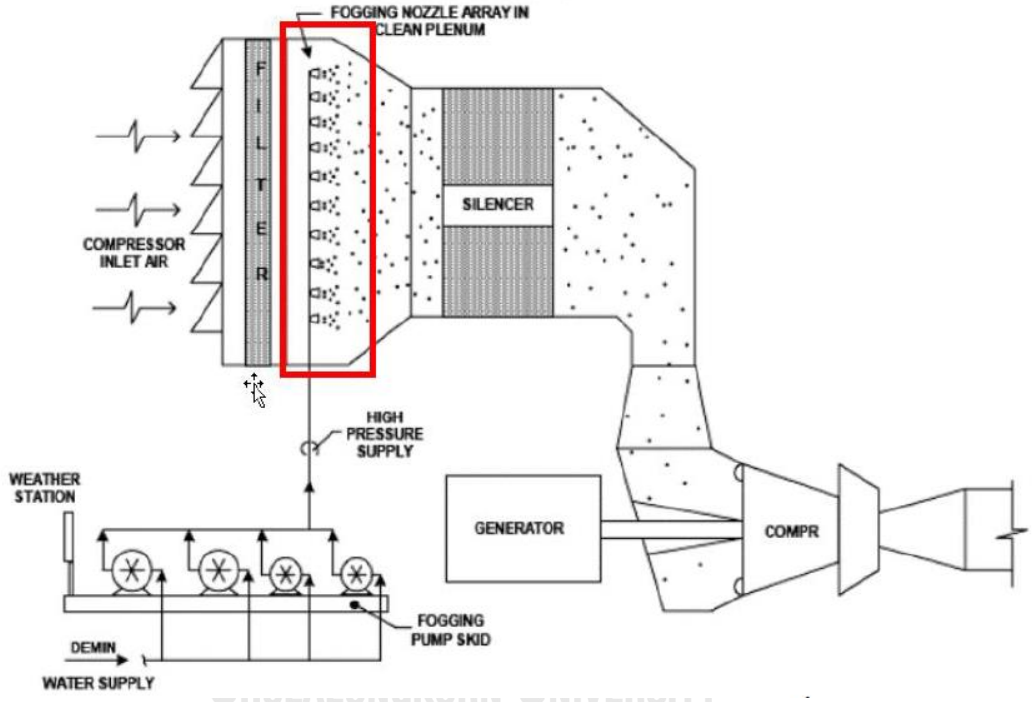
2. การใช้เทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ที่ได้ทำการศึกษากับโรงไฟฟ้ากำลังผลิต 768.70 เมกกะวัตต์ ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยวิธีฉีดพ่นละอองน้ำ (Fogging system) พบว่า สามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 7.3 องศาเซลเซียส และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตโดยคิดเป็น 4.7% ของกำลังการผลิตก่อนใช้

เทคโนโลยี (ณัฐกฤตา เตจาคำ, 2558) สอดคล้องกับรูปที่ 4-26 ซึ่งเป็นผลการศึกษาความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่มีการเปรียบเทียบกำลังผลิตไฟฟ้าสุทธิของเครื่องผลิตไฟฟ้าฟ้ากังหันก๊าซ ระหว่างกรณีไม่ติดตั้ง (Base case) และการติดตั้งระบบการพ่นละอองน้ำ ซึ่งกรณีการติดตั้งระบบการพ่นละอองน้ำ จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าได้สูง คิดเป็น 7.02% (รัฐนนท์ นนท์ไพรวัลย์, 2560) และจากผลการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศอิหร่าน พบว่า วิธีดังกล่าวฯ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า รวมถึงยังสามารถช่วยลดมลพิษที่ออกมาจากการผลิตด้วย (Aliehyaei, Tahani, Ahmadi, & Esfandiari, 2015) และการสเปรย์ฝอยน้ำขนาดระหว่าง 10-20 ไมครอน ที่อากาศทางเข้าเครื่องอัดอากาศจะช่วยลดงานของเครื่องอัดอากาศลง เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากกังหันก๊าซเพิ่มขึ้น (Cyrus B. Meher-Homji, 2000) โดยวิธีฉีดพ่นละอองน้ำ (Fogging system) เป็นการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการฉีดพ่นละอองน้ำด้วยความดันสูงเข้าไปผสมกับอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิ ข้อดีของระบบดังกล่าวฯ คือ มีความดันตกคร่อมต่ำ ศักยภาพในการลดอุณหภูมิสูง และระยะเวลาในการหยุดเดินเครื่องเพื่อติดตั้งน้อย (พรเลิศ วนาภัทรพันธุ์, 2546) สำหรับลักษณะหัวฉีดพ่นละอองน้ำ และตำแหน่งการติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 4-27 และ 4-28



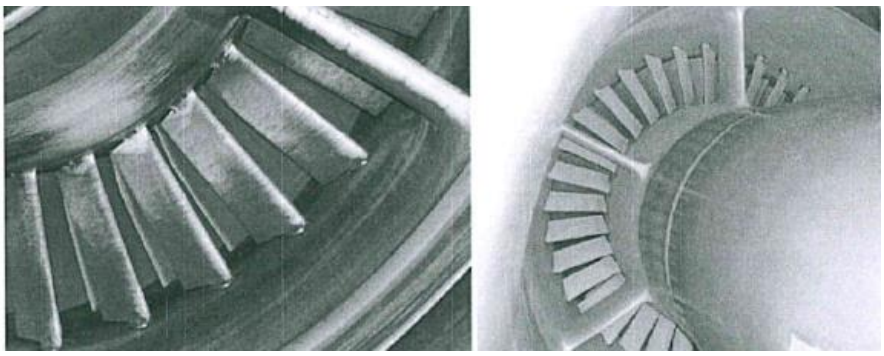
รูปที่ 4-26 กำลังการผลิตสุทธิ (Net Power Output) กรณีที่ไม่มีและมีการติดตั้งระบบพ่นละอองน้ำ (รัฐนนท์ นนท์ไพรวัลย์, 2560)

รูปที่ 4-27 หัวฉีดฝอยน้ำสเปรย์ (Fogging nozzle) (ณัฐกฤตา เตจาคำ, 2558)



รูปที่ 4-28 ระบบลดอุณหภูมิอากาศโดยการฉีดพ่นละอองน้ำ (ณัฐกฤตา เตจาคำ, 2558)

3. การทำความสะอาดส่วนอัดอากาศโดยใช้น้ำและน้ำยา ดังแสดงในรูปที่ 4-29 หรือใช้กรองอากาศที่มีประสิทธิภาพการกรองที่สูงขึ้น (Badamasi Maiwada, 2016) ดังแสดงในรูปที่ 4-30 เพื่อให้ได้อากาศที่บริสุทธิ์ และมีปริมาณอากาศที่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากความสะอาดของอากาศนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการอัดอากาศ และยังกรองวัสดุที่จะทำอันตรายต่อส่วนอัดอากาศอีกด้วย ทั้งนี้ การเสื่อมสภาพของเครื่องกังหันก๊าซในส่วนอัดอากาศที่เกิดจากฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ เกาะที่ใบพัดและช่องลม แสดงดังรูปที่ 4-31 มีผลทำให้กำลังการผลิตลดลงตามทฤษฎีวัฏจักรการทำงานของเครื่องกังหันก๊าซ (บุญยัง แก่นโกมมล, 2554)

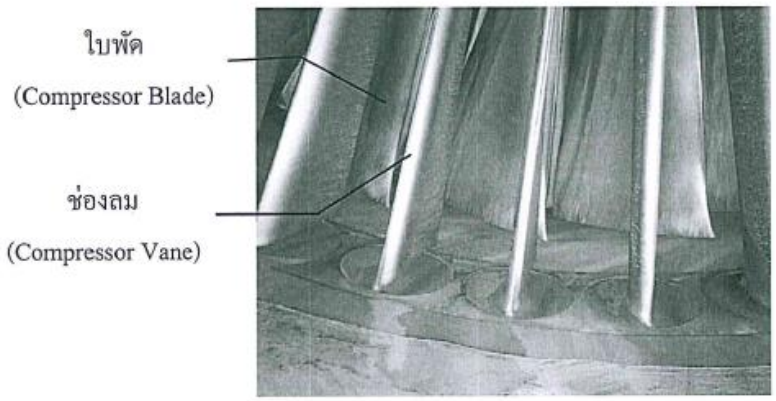


รูปที่ 4-29 การทำความสะอาดส่วนอัดอากาศ (Offline Compressor Washing) (Wilson Poon, 2010)

ภาพที่ 3-2 ลักษณะการติดตั้งกรองอากาศของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา โดยเรียงจาก Coaescer Filter, Pre Filter และ Final Filter ตามลำดับ

รูปที่ 4-30 ลักษณะการติดตั้งกรองอากาศ โดยเรียงจาก Coarser Filter, Pre Filter และ Final Filter ตามลำดับ (สกนธ์กำแหง, 2560)

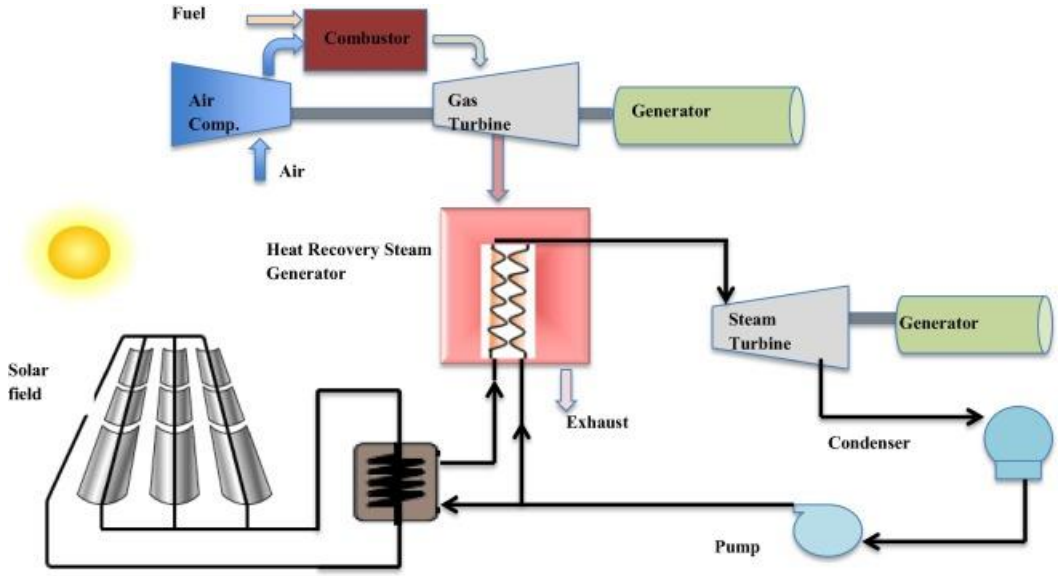
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1-3 ความสกปรกของส่วนอัดอากาศในงานบำรุงรักษาตามวาระ

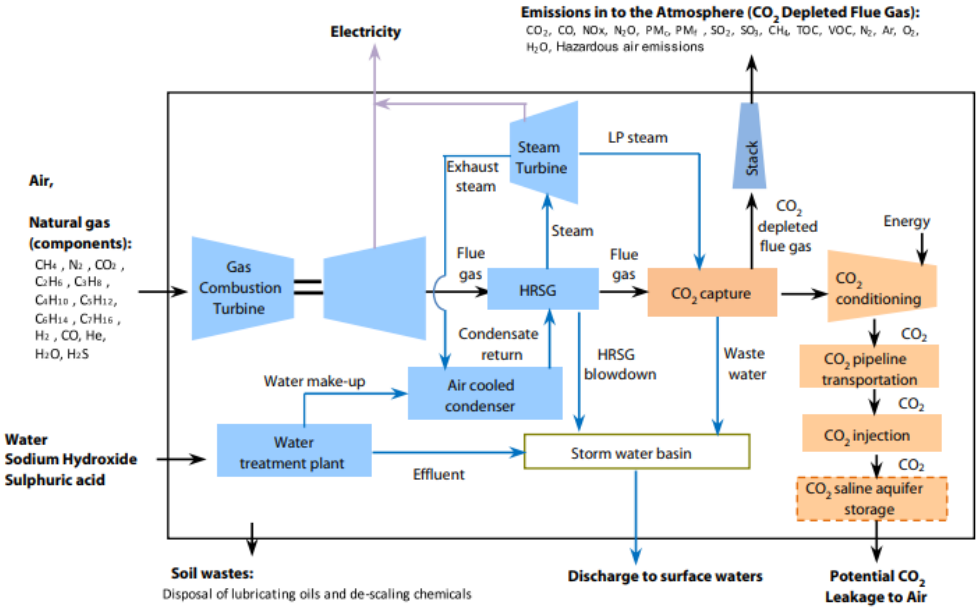
รูปที่ 4-31 ความสกปรกของส่วนอัดอากาศในงานบำรุงรักษาตามวาระ (สกนธ์กำแหง, 2560)

4. การลดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมควบคู่กับการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4-32 พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ประมาณ 2.25% - 3.29% อีกทั้งลดการใช้ก๊าซธรรมชาติลงได้ประมาณ 6.25% - 9.45% ซึ่งการลดลงของการใช้เชื้อเพลิงมีนัยสำคัญที่สามารถประหยัดได้ถึง 4 ล้านยูโร/ปี และมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถลดการปลดปล่อยมลภาวะลงได้ประมาณ 26,167 ตัน/ปี (Colmenar-Santos, Gómez-Camazón, Rosales-Asensio, & Blanes-Peiró, 2018)



รูปที่ 4-32 การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมควบคู่กับการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Alqahtani & Patiño-Echeverri, 2016)

5. การลดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน จากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการติดตั้งเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage: CCS) ดังแสดงในรูปที่ 4-33 ซึ่งสามารถลดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตได้ 74%-85% (Anna Korre, 2012) ทั้งนี้ เมื่อทำการพิจารณาองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา พบว่า มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 5.24 และตามทฤษฎีของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะก่อให้เกิด CO_2 และ H_2O ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน และในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อ ควรทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบ Pipe line ทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อยู่ในสภาพปกติที่พร้อมใช้งาน เพื่อประหยัดพลังงานที่ใช้ และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์, 2554)



รูปที่ 4-33 การติดตั้งเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

6. การดำเนินการตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 (PDP2018) ที่มีสาระสำคัญด้านสิ่งแวดล้อม (Ecology) ที่ระบุว่าต้องลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า (Efficiency) ทั้งด้านการผลิตไฟฟ้าและด้านการใช้ไฟฟ้า (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, เมษายน 2562) จึงสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางทั่วไปสำหรับการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีบทบาทที่สำคัญในการสนับสนุนการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้โดยการใช้ก๊าซจากพลังงานหมุนเวียนผ่านโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ของระบบก๊าซธรรมชาติ (Mac Kinnon, Brouwer, & Samuelsen, 2018)

7. การอนุรักษ์พลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ที่มีการระบุในกลยุทธ์ภาคส่งเสริมสำหรับการสร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, เมษายน 2562) สามารถนำมาใช้สร้างนโยบายและกระตุ้นเตือนให้ประชาชนรู้จักวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุดอย่างถูกต้อง เพราะถ้าหากประชาชนใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงแล้ว โรงไฟฟ้าก็ย่อมที่จะต้องผลิตไฟฟ้าให้ลดลงเพื่อสอดคล้องกับความต้องการของประชาชน (ยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์, 2554) ซึ่งจะยังผลให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่ลดลง อันเนื่องมาจากการเผาไหม้และการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่มุ่งเน้นการประเมินผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาคุณภาพเชิงปริมาณ นอกจากนี้ยังสามารถระบุสิ่งที่ควรปรับปรุง อันเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในการลดการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ รวมถึงลดการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม และจากการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยใช้ฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro วิธีการประเมินแบบ IMPACT 2002+ ได้ผลดังนี้

1) ผลกระทบจากการเทียบหน่วย (Normalization) พบว่า ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) สูงสุด รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ด้านการเกิดสารพิษที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogens) ด้านการเกิดสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ (Respiratory inorganics) และด้านการเกิดสารพิษที่ไม่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (Non-carcinogens) ตามลำดับ

2) ผลจากการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) พบว่า ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าผลกระทบสูงสุดในทุก ๆ ด้าน เมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ โดยก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร (Resource) สูงถึง 56.57 μPt รองลงมา คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เท่ากับ 44.33 μPt และความเสียหายด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) เท่ากับ 42.60 μPt ในขณะที่ผลกระทบด้านคุณภาพระบบนิเวศ (Ecosystem quality) มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 1.04 μPt

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ พบข้อสรุปว่าก่อให้เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปมากที่สุด อันเนื่องมาจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไปและไม่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และในขณะเดียวกันกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าได้ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน

5.1.2 ผลการศึกษาการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle costing: LCC) ของไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing; LCC) เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ทราบต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปสู่การตัดสินใจของผู้บริหารต่อไป

จากการศึกษาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติตลอดอายุ 30 ปี พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ เท่ากับ 283,536.21 ล้านบาท และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของโครงการจะเท่ากับ 1.95 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการ พบว่า ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติส่งผลต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 89 ของต้นทุนทั้งหมด ทั้งนี้ เนื่องจากความผันผวนของราคาก๊าซธรรมชาติในตลาดโลก และในกรณีที่มีการคิดต้นทุนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit Cost) ของโครงการสูงขึ้น เท่ากับ 2.22 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCC) และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า (LCA) มาคำนวนหาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี เมื่อเทียบกับผลการศึกษาอื่น ซึ่งผลจากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจสามารถนำไปสู่การตัดสินใจของผู้บริหาร ที่จะต้องพิจารณาทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐกิจ ถึงความเหมาะสมในการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยเริ่มมีการนำเข้าเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) มากขึ้น

2. ควรประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ของการผลิตไฟฟ้า เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ควรประเมินการประเมินวัฏจักรชีวิต และต้นทุนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์กับโรงไฟฟ้าพลังงานทางเลือกอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางเลือกในการพิจารณา

4. ควรประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ตั้งแต่การได้มาของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งการก่อสร้างและการรื้อถอนโรงไฟฟ้า ที่เป็นฐานข้อมูลในประเทศไทย เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการนำผลการศึกษาจากงานวิจัยของต่างประเทศมาทำการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Agrawal, K. K., Jain, S., Jain, A. K., & Dahiya, S. (2014). A life cycle environmental impact assessment of natural gas combined cycle thermal power plant in Andhra Pradesh, India. *Environmental Development,* 11, 162-174. doi:https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.04.002

Akber, M., Thaheem, M. J., & Arshad, H. (2017). *Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix* (Vol. 111).

Aliehyaei, M., Tahani, M., Ahmadi, P., & Esfandiari, M. (2015). *Optimization of fog inlet air cooling system for combined cycle power plants using genetic algorithm* (Vol. 76).

Alqahtani, B. J., & Patiño-Echeverri, D. (2016). Integrated Solar Combined Cycle Power Plants: Paving the way for thermal solar. *Applied Energy,* 169, 927-936. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.083

American Petroleum Institute, A. (2009). *Compendium of greenhouse gas emissions methodologies for the oil and natural gas industry*.

Anna Korre, Z. N., Sevket Durucan. (2012). Life Cycle Assessment of the natural gas supply chain and power generation options with CO2 capture and storage: Assessment of Qatar natural gas production, LNG transport and power generation in the UK. *Sustainable Technologies*.

Arabi, B., Munisamy, S., Emrouznejad, A., Toloo, M., & Ghazizadeh, M. S. (2016). Eco-efficiency considering the issue of heterogeneity among power plants. *Energy,* 111, 722-735. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.004

Atilgan, B., & Azapagic, A. (2016). An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey. *Energy Policy,* 93, 168-186. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.055

Badamasi Maiwada, N. I. M. a., Sadiq Ibrahim, Suleiman Muhammad Musa. (2016). Impacts of Compressor Fouling On the Performance of Gas Turbine. *International journal of engineering science and computing,* 6.

Bauer, C. (2008). *Life Cycle Assessment of Fossil and Biomass Power Generation Chains*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Borén, T. (2008). *Methods for aggregation and communication of life cycle inventory data within the framework of eco-efficiency analysis - A case study at Akzo Nobel*. Retrieved from http://studentarbeten.chalmers.se/publication/68707-methods-for-aggregation-and-communication-of-life-cycle-inventory-data-within-the-framework-of-eco-e

Carlsson Reich, M. (2005). *Economic assessment of municipal waste management systems - Case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC)* (Vol. 13).

Chemistry, S. o. E. T. (1991). *A Tecnical Framework for Life-Cycle Assessments*.

Chia, H., Liu, Lin, S., & Lewis, C. (2012). *Environmental Impacts of Electricity Sector in Taiwan by Using Input-Output Life Cycle Assessment: The Role of Carbon Dioxide Emissions* (Vol. 12).

Chomkumsri, K. (2002). *Life Cycle Assessment of Electricity Generating (Thermal and Hydro Power Plant) of Thailand Using SimaPro*5.0. (Master. Engineering (Chemical Engineering)). Kasetsart University. Bangkok. (Thailand).

Colmenar-Santos, A., Gómez-Camazón, D., Rosales-Asensio, E., & Blanes-Peiró, J.-J. (2018). Technological improvements in energetic efficiency and sustainability in existing combined-cycle gas turbine (CCGT) power plants. *Applied Energy,* 223, 30-51. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.191

Converter, C. (2562). USD to PKR. Retrieved from https://transferwise.com/gb/currency-converter/usd-to-pkr-rate. Retrieved 13 มีนาคม 2562 https://transferwise.com/gb/currency-converter/usd-to-pkr-rate

Cyrus B. Meher-Homji, T. R. M. I. (2000). Inlet Fogging of gas Turbine Engines Part A and B *Proceedings of ASME Turbo Expo* 2000.

Darling, S. B., You, F., Veselka, T., & Velosa, A. (2011). Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics. *Energy & Environmental Science,* 4(9), 3133-3139. doi:10.1039/C0EE00698J

De Andraca, R. M., K. (1994). *Internalizing environmental costs to promote eco-efficiency*. Geneva: The Business Council For Sustainable Development.

Development, W. B. C. f. S. (1995). *Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance* (W. B. C. f. S. Development Ed.). Geneva, Switzerland.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

EIA. (2015). *International energy data and analysis*. Retrieved from https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/Indonesia/indonesia.pdf

ESCAP. (2009). *Eco-efficiency Indicators: Measuring Resources-use Efficiency and Impact of Economic Activities on the Environment*: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.

GEMIS. (2007). *Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS)* 4.3 *database (*2007). (G. Öko-Institut Darmstadt Ed.).

Gluch, P., & Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment,* 39(5), 571-580. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.10.008

Holliday, C., Schmidheiny, S. & Watts, P. (2002). *Walking the talk: The Business Case for Sustainable Development, :* Greenleaf Publishing Limited, Sheffield.

Humbert, S., Schryver, A. D., Bengoa, X., Margni, M., & Jolliet, O. (2012). *IMPACT* 2002+:*User Guide for version Q*2.21 (Vol. November 1, 2012).

IEA/NEA. (2010). *Projected costs of generating electricity*. Retrieved from France: http://www.iea.org/

ISO. (2000). *ISO* 15663-1:2000*, Petroleum and natural gas industries -- Life cycle costing -- Part* 1: *Methodology* (I. O. f. Standardization Ed.).

ISO. (2006a). *ISO* 14040:2006*, Environmental management and life cycle assessment principles and framework* (I. O. f. Standardization Ed.).

ISO. (2006b). *ISO* 14044:2006*, Environmental management and life cycle assessment requirements and guidelines* (I. O. f. Standardization Ed.).

ISO. (2008). *ISO* 15686-5:2008*, Buildings and constructed assets, Service-life planning, Part* 5: *Life-cycle costing* (I. O. f. Standardization Ed.).

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 8(6), 324. doi:10.1007/bf02978505

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kannan, R., Leong, K. C., Osman, R., & Ho, H. K. (2007). Life cycle energy, emissions and cost inventory of power generation technologies in Singapore. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 11(4), 702-715. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.05.004

Kannan, R., Tso, C. P., Osman, R., & Ho, H. K. (2004). LCA–LCCA of oil fired steam turbine power plant in Singapore. *Energy Conversion and Management,* 45(18), 3093-3107. doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.01.005

Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H., & Ferreira Pozo, B. (2007). *Eco-efficiency. Combining Life Cycle Assessment and Life Cycle Costs via Normalization* (Vol. 12).

Klöpffer, W. (2002). *Life-Cycle Based Methods for Sustainable Product Development* (Vol. 8).

Korhonen, P. J., & Luptacik, M. (2004). Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research,* 154(2), 437-446. doi:https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00180-2

Krozer, Y. (2008). Life cycle costing for innovations in product chains. *Journal of Cleaner Production,* 16(3), 310-321. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.040

L Spath, P., & K Mann, M. (2000). *Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System*. Retrieved from https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/27715.pdf

Langdon, D. (2007). *Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction*. Retrieved from

Mac Kinnon, M. A., Brouwer, J., & Samuelsen, S. (2018). The role of natural gas and its infrastructure in mitigating greenhouse gas emissions, improving regional air quality, and renewable resource integration. *Progress in Energy and Combustion Science,* 64, 62-92. doi:https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.10.002

Martín-Gamboa, M., Iribarren, D. and Dufour, J. (2018). Environmental impact efficiency of natural gas combined cycle power plants: A combined life cycle assessment and dynamic data envelopment analysis approach. *Science of The Total Environment,* 615, 29-37.

Maxime, D., Marcotte, M., & Arcand, Y. (2006). Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry. *Journal of Cleaner Production,* 14(6), 636-648. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.07.015

NEA/IEA/OECD. (2015). *Projected Costs of Generating Electricity* 2015.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

NETL. (2010). *Life Cycle Analysis: Natural Gas Combined Cycle (NGCC) Power Plant*. Retrieved from

NETL. (2013). *Power Generation Technology Comparison from a Life Cycle Perspective*. Retrieved from

Nicoletti, G. M., Notarnicola, B., & Tassielli, G. (2002). Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production,* 10(3), 283-296. doi:https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00028-2

Norris, G. A. (2001). Integrating life cycle cost analysis and LCA. 6, 118-120. doi:10.1007/BF02977849

Norris, G. A. (2001). The requirement for congruence in normalization. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 6(2), 85. doi:10.1007/bf02977843

Phumpradab, K., Gheewala, S., & Sagisaka, M. (2009). *Life cycle assessment of natural gas power plants in Thailand* (Vol. 14).

PTT, P. P. C. L. (2014). ก๊าซธรรมชาติ พลังงานในมือเรา.

Rebitzer, G. (2002, 2002//). *Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains.* Paper presented at the Cost Management in Supply Chains, Heidelberg.

Rubin, E., Booras, G., Davison, J., Ekstrom, C., Matuszewski, M., McCoy, S., & Short, C. (2013). *Toward a Common Method of Cost Estimation for CO2 Capture and Storage At Fossil Fuel Power Plants*.

Rüdenauer, I., Gensch, C. O., Grießhammer, R., & Bunke, D. (2008). Integrated Environmental and Economic Assessment of Products and Processes A Method for Eco-efficiency Analysis. *Industrial Ecology,* 9. Retrieved from https://doi.org/10.1162/108819805775248061

RYT9. (2560). ทริสเรทติ้งจัดอันดับเครดิตองค์กร กฟผ. ที่AAAด้วยแนวโน้ม Stable/หุ้นและการเงิน. Retrieved from https://www.ryt9.com/s/trsn/2672509. Retrieved 20 กันยายน 2561 https://www.ryt9.com/s/trsn/2672509

Sampattagul, S., Kato, S., Kiatsiriroat, T., & Widiyanto, A. (2004). Life cycle considerations of the flue gas desulphurization system at a lignite-fired power plant in Thailand. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 9(6), 387-393. doi:10.1007/bf02979082

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Santoyo-Castelazo, E. (2011). *Sustainability Assessment of Electricity Options for Mexico:Current Situation and Future Scenarios.* (Doctor of Philosophy). The University of Manchester, Manchester, UK. Retrieved from https://www.escholar.manchester.ac.uk/uk-ac-man-scw:154908

Seusat, J. (2009). *Environmental impact assessment of a microwave oven based on ecodesign.* (Master Degree). Thammasat University,

Simões, C., Pinto, L., Simoes, R., & Bernardo, C. A. (2013). *Integrating environmental and economic life cycle analysis in product development: A material selection case study* (Vol. 18).

Singh, B., Strømman, A. H., & Hertwich, E. (2011). Life cycle assessment of natural gas combined cycle power plant with post-combustion carbon capture, transport and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control,* 5(3), 457-466. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2010.03.006

Usapein, P., & Chavalparit, O. (2017). *Life Cycle Assessment of Producing Electricity in Thailand: A Case Study of Natural Gas Power Plant* (Vol. 103).

Valente, A., Iribarren, D., Gálvez-Martos, J.-L., & Dufour, J. (2019). Robust eco-efficiency assessment of hydrogen from biomass gasification as an alternative to conventional hydrogen: A life-cycle study with and without external costs. *Science of The Total Environment,* 650, 1465-1475. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.089

WBCSD. (2000). *Measuring Eco-Efficiency: a Guide to Reporting Company Performance* (W. B. C. f. S. Development Ed.).

Willnow, D. K. (2013). *Energy efficiency technologies ANNEX III Technical Report*.

Wilson Poon, M. G., Steven Medvetz. (2010). Dramatic Reduction Of Gas Turbine Fouling With Hepa Composite Membrane Air Intake Filters.

เรียบเลิศหิรัญ, ศ., & แววบุญ แย้มแสงสังข. (2555). รายงานผลการเข้าอบรม หลักสูตร การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA). Retrieved from

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2560). สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2560. Retrieved from https://www.egat.co.th. Retrieved 13 มีนาคม 2561 https://www.egat.co.th

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561a). กำลังผลิตในระบบไฟฟ้า. Retrieved from https://www.egat.co.th. Retrieved 13 มีนาคม 2561 https://www.egat.co.th

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561b). กำลังผลิตรวมทั้งระบบ. Retrieved from https://www.egat.co.th. Retrieved 5 พฤษภาคม 2561 https://www.egat.co.th

กิติกร จามรดุสิต. (2551). การพัฒนาดุลยภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของวิสาหกิจในเขตพื้นที่จังหวัดระยอง.

ชนาภา วรรณศรี. (2552). การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่นของไม้โตเร็ว. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, Retrieved from http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/27023

ณนัทธ์ มณีขัติยะ. (2553). การคำนวณประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของกระบวนการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, Retrieved from http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0430/01title-illustrations.pdf

ณัฐกฤตา เตจาคำ. (2558). การศึกษาเชิงเปรียบเทียบทางเลือกสำหรับเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ระหว่างระบบทำความเย็นและระบบฉีดพ่นละอองน้ำ : กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ธนวรรณ ใจบุญมา. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนจากการดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมโดยคำนึงถึงต้นทุนการบำบัดก๊าซเรือนกระจกกับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ. (เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักหอสมุด. Retrieved from http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=169388

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2560). อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ. Retrieved from https://www.bot.or.th/thai/_layouts/application/exchangerate/exchangerate.aspx. Retrieved 8 กุมภาพันธ์ 2562 https://www.bot.or.th/thai/_layouts/application/exchangerate/exchangerate.aspx

บุญยัง แก่นโกมมล. (2554). การศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกสำหรับการลงทุนติดตั้งเทคโนโลยีการปรับลดอุณหภูมิอากาศเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าชุดเครื่องกังหันก๊าซ กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมขนาดเล็ก. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประพิธาริ์ ธนารักษ์. (2556). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน (ระยะที่ 1). มหาวิทยาลัยนเรศวร,

ปัทมาพร ตรีเนตร. (2559). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

พรเลิศ วนาภัทรพันธุ์. (2546). การเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรพลังงานความร้อนร่วมโดยการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

ยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์. (2554). การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน. (ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

รัฐนนท์ นนท์ไพรวัลย์, แ. ป. (2560). การศึกษาความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศด้านขาเข้าเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27.

ฤทธิ์มณี, ธ., เตียรถ์สุวรรณ, จ., & และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). การเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทย โดยใช้เทคนิค LCA-NETS. *Engng.J.CMU.,* 15(3). Retrieved from http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/10013855.pdf

ฤทธิ์มณี, ธ., เตียรถ์สุวรรณ, จ., & ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2558). การประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม. Retrieved from http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/10013855.pdf

วรรษมน นิ่มชื่น. (2551). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (*Flue Gas Desulfurization : FGD)* ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2552). ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. Retrieved from http://www2.mtec.or.th/website/article_list.aspx?id=116&cate=28. Retrieved 6 December 2018 http://www2.mtec.or.th/website/article_list.aspx?id=116&cate=28

ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน. (2560). สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ปีพ.ศ. 2559.

สกนธ์กำแหง, ด. (2560). การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการปรับปรุงกรองอากาศสำหรับเครื่องกังหันก๊าซโรงไฟฟ้าพลังความร้อน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (เมษายน 2562). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 - 2580 (*PDP*2018).

สุรัก ปิยะรักสกุล. (2548). การวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี : กรณีเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

อภิรัตน์ นาควิจิตร. (2554). การพัฒนาแบบจำลองต้นทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint categories) โดยใช้วิธี IMPACT 2002+

Results:	Impact assessment
Product:	1 kWh Electricity
Method:	IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	Yes
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

ตารางที่ ก-1 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint categories)

Impact category	Unit	Total	Construction & dismantling	Extraction	Separation	Transportation	Power plant
Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq	5.90E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.90E-02
Non-carcinogens	kg C_2H_3Cl eq	6.47E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.47E-03
Respiratory inorganics	kg $PM_{2.5}$ eq	1.73E-04	3.35E-06	0.00E+00	6.96E-10	0.00E+00	1.69E-04
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1.68E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-01
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	3.00E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.00E-08
Respiratory organics	kg C_2H_4 eq	1.44E-04	0.00E+00	9.01E-08	0.00E+00	9.80E-07	1.43E-04
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	2.41E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.41E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1.16E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.16E+00
Terrestrial acid/ nutrification	kg SO_2 eq	3.27E-03	5.38E-05	0.00E+00	2.98E-08	0.00E+00	3.22E-03
Land occupation	m^2org.arable	5.07E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.07E-04
Aquatic acidification	kg SO_2 eq	1.68E-03	1.34E-05	0.00E+00	3.89E-09	0.00E+00	1.67E-03
Aquatic eutrophication	kg PO_4 P-lim	7.86E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.86E-06
Global warming	kg CO_2 eq	4.91E-01	1.70E-03	2.77E-02	2.17E-02	1.24E-03	4.39E-01
Non-renewable energy	MJ primary	8.60E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.60E+00
Mineral extraction	MJ surplus	1.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories) โดยใช้วิธี IMPACT 2002+

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 kWh Electricity
Method:	IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+
Indicator:	Damage assessment
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	Yes
Per impact category:	Yes
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

ตารางที่ ก-2 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint categories)

	Unit	Total	Construction& dismantling	Extraction	Separation	Transportation	Power plant
Carcinogens	DALY	1.65E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E-07
Non-carcinogens	DALY	1.81E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.81E-08
Respiratory inorganics	DALY	1.21E-07	2.34E-09	0.00E+00	4.87E-13	0.00E+00	1.19E-07
Ionizing radiation	DALY	3.53E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.53E-11
Ozone layer depletion	DALY	3.15E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.15E-11
Respiratory organics	DALY	3.07E-10	0.00E+00	1.92E-13	0.00E+00	2.09E-12	3.05E-10
Aquatic ecotoxicity	PDF*m^2*yr	1.21E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-03
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m^2*yr	9.17E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.17E-03
Terrestrial acid/ nutrification	PDF*m^2*yr	3.40E-03	5.59E-05	0.00E+00	3.10E-08	0.00E+00	3.34E-03
Land occupation	PDF*m^2*yr	5.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.52E-04
Aquatic acidification	?	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Aquatic eutrophication	?	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Global warming	kg CO_2 eq	4.91E-01	1.70E-03	2.77E-02	2.17E-02	1.24E-03	4.39E-01
Non-renewable energy	MJ primary	8.60E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.60E+00
Mineral extraction	MJ primary	1.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories) โดยใช้วิธี IMPACT 2002+ version 2.12

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 kWh Electricity
Method:	IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+
Indicator:	Damage assessment
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	Yes
Per impact category:	No
Sorted on item:	Damage category
Sort order:	Ascending

ตารางที่ ก-3 ผลการจัดกลุ่มความเสียหาย (Damage categories)

Damage category	Unit	Total	Construction &dismantling	Extraction	Separation	Transportation	Power plant
Human health	DALY	3.05E-07	2.34E-09	1.92E-13	4.87E-13	2.09E-12	3.02E-07
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	1.43E-02	5.59E-05	0.00E+00	3.10E-08	0.00E+00	1.43E-02
Climate change	kg CO_2 eq	4.91E-01	1.70E-03	2.77E-02	2.17E-02	1.24E-03	4.39E-01
Resources	MJ primary	8.60E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.60E+00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการเทียบหน่วย (Normalization) โดยใช้วิธี IMPACT 2002+ version 2.12

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 kWh Electricity
Method:	IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+
Indicator:	Normalization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	Yes
Per impact category:	No
Sorted on item:	Damage category
Sort order:	Ascending

ตารางที่ ก-4 ผลการเทียบหน่วย (Normalization)

Damage category	Unit	Total	Construction & dismantling	Extraction	Separation	Transportation	Power plant
Human health		4.29E-05	3.30E-07	2.71E-11	6.87E-11	2.94E-10	4.26E-05
Ecosystem quality		1.05E-06	4.08E-09	0.00E+00	2.26E-12	0.00E+00	1.04E-06
Climate change		4.96E-05	1.72E-07	2.80E-06	2.19E-06	1.25E-07	4.43E-05
Resources		5.66E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.66E-05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) โดยใช้วิธี IMPACT 2002+ version 2.12

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 kWh Electricity
Method:	IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+
Indicator:	Weighting
Skip categories:	Never
Default units:	No
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	Yes
Per impact category:	No
Sorted on item:	Damage category
Sort order:	Ascending

ตารางที่ ก-5 ผลการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

Damage category	**Unit**	**Total**	**Construction & dismantling**	**Extraction**	**Separation**	**Transportation**	**Power plant**
Human health	µPt	42.94	0.33	0.00	0.00	0.00	42.61
Ecosystem quality	µPt	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
Climate change	µPt	49.63	0.17	2.80	2.19	0.13	44.34
Resources	µPt	56.57	0.00	0.00	0.00	0.00	56.57

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

(1) สารเคมี

ตารางที่ ข-1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	สารเคมี			
	NaOCl	Bisulfite	Hydrochloric Acid 35%	Sodium Hydroxide 50%
	kg	kg	kg	kg
2552	2,243	30	1,566	1,078
2553	6,707	99	3,200	2,600
2554	6,035	102	3,400	3,450
2555	6,850	108	3,640	3,540
2556	7,509	106	3,120	3,400
2557	7,065	110	3,500	3,180
2558	7,000	112	5,837	6,369
2559	8,595	26	7,844	8,103
2560	4,595	46	7,051	4,969
2561	5,908	77	4,087	3,830
2562	6,697	87	4,633	4,341
2563	6,697	87	4,633	4,341
2564	6,697	87	4,633	4,341
2565	6,697	87	4,633	4,341
2566	6,697	87	4,633	4,341
2567	6,697	87	4,633	4,341
2568	6,697	87	4,633	4,341
2569	6,697	87	4,633	4,341
2570	6,697	87	4,633	4,341
2571	6,697	87	4,633	4,341
2572	6,697	87	4,633	4,341
2573	6,697	87	4,633	4,341
2574	6,697	87	4,633	4,341
2575	6,697	87	4,633	4,341
2576	6,697	87	4,633	4,341
2577	6,697	87	4,633	4,341
2578	6,697	87	4,633	4,341
2579	6,697	87	4,633	4,341
2580	6,697	87	4,633	4,341
2581	6,697	87	4,633	4,341
2582	4,402	57	3,046	2,854
รวม	200,855	2,621	138,961	130,199

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(2) พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ ข-2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	พลังงานไฟฟ้า	
	Electricity (pump)	**Electricity (Station Service)**
	kWh	**kWh**
2552	116,889	30,000,000
2553	328,000	32,997,482
2554	360,000	102,153,012
2555	378,500	118,064,736
2556	390,000	136,688,152
2557	389,000	98,802,862
2558	343,603	109,136,363
2559	333,435	142,622,826
2560	282,800	118,985,199
2561	276,193	194,000,000
2562	313,096	117,050,070
2563	313,096	117,050,070
2564	313,096	117,050,070
2565	313,096	117,050,070
2566	313,096	117,050,070
2567	313,096	117,050,070
2568	313,096	117,050,070
2569	313,096	117,050,070
2570	313,096	117,050,070
2571	313,096	117,050,070
2572	313,096	117,050,070
2573	313,096	117,050,070
2574	313,096	117,050,070
2575	313,096	117,050,070
2576	313,096	117,050,070
2577	313,096	117,050,070
2578	313,096	117,050,070
2579	313,096	117,050,070
2580	313,096	117,050,070
2581	313,096	117,050,070
2582	153,417	82,645,315
รวม	9,613,752	3,507,097,350

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(3) น้ำดิบ

ตารางที่ ข-3 ปริมาณน้ำดิบที่ใช้ตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	น้ำดิบ	
	Water use in process	**Demineralized water**
	kg	**kg**
2552	10,996	16,817
2553	21,500	48,973
2554	22,000	51,000
2555	22,600	52,000
2556	21,800	54,000
2557	20,400	50,200
2558	22,353	50,791
2559	34,245	70,534
2560	8,289	26,109
2561	19,225	43,884
2562	21,794	49,747
2563	21,794	49,747
2564	21,794	49,747
2565	21,794	49,747
2566	21,794	49,747
2567	21,794	49,747
2568	21,794	49,747
2569	21,794	49,747
2570	21,794	49,747
2571	21,794	49,747
2572	21,794	49,747
2573	21,794	49,747
2574	21,794	49,747
2575	21,794	49,747
2576	21,794	49,747
2577	21,794	49,747
2578	21,794	49,747
2579	21,794	49,747
2580	21,794	49,747
2581	21,794	49,747
2582	10,679	24,376
รวม	649,963	1,483,631

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(4) น้ำเสีย

ตารางที่ ข-4 มลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	มลพิษทางน้ำ (Emission to water)				
	Waste water	TDS	SS	BOD	COD
	m^3	kg	kg	kg	kg
2552	19,678	21,493	589	119.04	755
2553	57,000	62,000	1,700	340	2,206
2554	60,150	65,000	1,750	360	2,240
2555	58,000	66,000	1,800	380	2,348
2556	59,000	68,900	1,880	360	2,350
2557	60,000	65,400	1,820	370	2,331
2558	63,137	67,036	2,100	346	2,400
2559	57,146	91,000	1,490	350	2,100
2560	57,832	30,506	1,600	351	2,140
2561	51,349	56,087	1,537	311	1,970
2562	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2563	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2564	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2565	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2566	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2567	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2568	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2569	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2570	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2571	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2572	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2573	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2574	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2575	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2576	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2577	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2578	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2579	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2580	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2581	58,210	63,581	1,743	352	2,233
2582	28,523	41,793	1,146	231	1,468
รวม	1,736,008	1,906,835	52,269	10,561	66,962

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(5) มลพิษทางอากาศ

ตารางที่ ข-5 มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	มลพิษทางอากาศ (Emission to air)		
	Particulate Matter	NO_x	CO_2 from natural gas combustion
	kg	kg	ton
2552	10,213	249,402	321,513
2553	29,800	708,000	1,811,632
2554	31,500	744,000	1,795,843
2555	30,100	765,000	1,822,145
2556	32,800	805,000	1,916,345
2557	31,000	770,060	1,808,911
2558	32,000	760,350	1,785,626
2559	27,900	705,000	1,605,000
2560	30,000	728,234	1,762,219
2561	26,649	650,813	1,526,998
2562	30,210	737,771	1,731,025
2563	30,210	737,771	1,731,025
2564	30,210	737,771	1,731,025
2565	30,210	737,771	1,731,025
2566	30,210	737,771	1,731,025
2567	30,210	737,771	1,731,025
2568	30,210	737,771	1,731,025
2569	30,210	737,771	1,731,025
2570	30,210	737,771	1,731,025
2571	30,210	737,771	1,731,025
2572	30,210	737,771	1,731,025
2573	30,210	737,771	1,731,025
2574	30,210	737,771	1,731,025
2575	30,210	737,771	1,731,025
2576	30,210	737,771	1,731,025
2577	30,210	737,771	1,731,025
2578	30,210	737,771	1,731,025
2579	30,210	737,771	1,731,025
2580	30,210	737,771	1,731,025
2581	30,210	737,771	1,731,025
2582	19,858	484,948	1,202,330
รวม	906,024	22,126,222	51,979,061

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(6) กากของเสีย

ตารางที่ ข-6 ปริมาณกากของเสียที่เกิดขึ้นตลอดอายุโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมก๊าซธรรมชาติ

ปี	กากของเสีย (Waste)	
	Non-hazardous waste	Hazardous waste
	kg	kg
2552	5,596	36,979
2553	15,375	108,323
2554	17,181	113,000
2555	17,800	116,317
2556	17,334	110,278
2557	17,306	113,479
2558	9,634	61,605
2559	20,700	94,500
2560	18,964	170,000
2561	14,602	96,497
2562	16,553	109,391
2563	16,553	109,391
2564	16,553	109,391
2565	16,553	109,391
2566	16,553	109,391
2567	16,553	109,391
2568	16,553	109,391
2569	16,553	109,391
2570	16,553	109,391
2571	16,553	109,391
2572	16,553	109,391
2573	16,553	109,391
2574	16,553	109,391
2575	16,553	109,391
2576	16,553	109,391
2577	16,553	109,391
2578	16,553	109,391
2579	16,553	109,391
2580	16,553	109,391
2581	16,553	109,391
2582	10,880	71,904
รวม	496,428	3,280,694

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0-90 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน

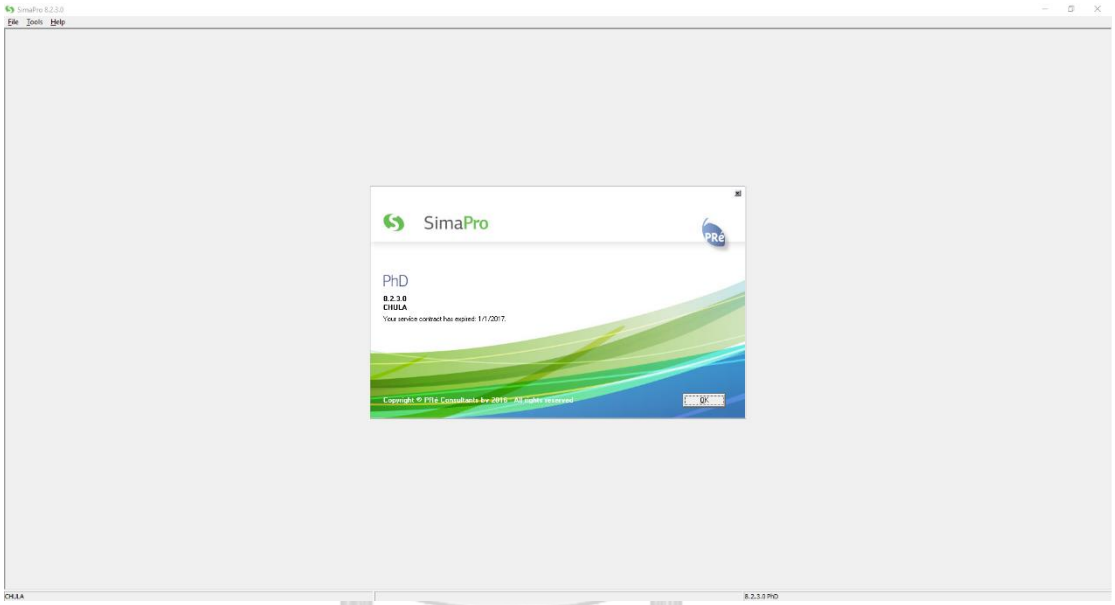
ปี	carbon price USD 0/ton	carbon price USD 15/ton	carbon price USD 30/ton	carbon price USD 45/ton	carbon price USD 60/ton	carbon price USD 75/ton	carbon price USD 90/ton
	US dollar	US dollar	US dollar	US dollar	US dollar	US dollar	US dollar
2552	771,185,640	779,121,527	787,057,413	794,993,299	802,929,186	810,865,072	818,800,959
2553	367,048,816	409,357,792	451,666,767	493,975,742	536,284,717	578,593,692	620,902,667
2554	437,710,901	477,393,216	517,075,530	556,757,845	596,440,160	636,122,474	675,804,789
2555	449,757,246	487,853,081	525,948,915	564,044,750	602,140,585	640,236,420	678,332,254
2556	83,295,128	521,203,441	559,111,754	597,020,066	634,928,379	672,836,691	710,745,004
2557	478,933,310	512,789,974	546,646,639	580,503,303	614,359,968	648,216,632	682,073,296
2558	401,444,916	433,066,482	464,688,047	496,309,613	527,931,179	559,552,745	591,174,311
2559	344,464,260	371,356,941	398,249,621	425,142,301	452,034,982	478,927,662	505,820,343
2560	361,231,114	389,168,447	417,105,780	445,043,112	472,980,445	500,917,778	528,855,111
2561	358,439,957	381,344,927	404,249,896	427,154,865	450,059,835	472,964,804	495,869,773
2562	335,009,325	359,576,809	384,144,293	408,711,777	433,279,260	457,846,744	482,414,228
2563	320,529,889	343,774,741	367,019,593	390,264,444	413,509,296	436,754,148	459,999,000
2564	306,638,516	328,631,941	350,625,367	372,618,793	394,612,219	416,605,645	438,599,071
2565	293,313,853	314,123,225	334,932,598	355,741,970	376,551,343	397,360,716	418,170,088
2566	280,535,144	300,224,209	319,913,273	339,602,338	359,291,403	378,980,468	398,669,532
2567	268,282,224	286,911,294	305,540,365	324,169,436	342,798,506	361,427,577	380,056,648
2568	256,535,517	274,161,660	291,787,803	309,413,946	327,040,089	344,666,233	362,292,376
2569	245,276,032	261,953,242	278,630,451	295,307,661	311,984,871	328,662,081	345,339,291
2570	234,485,353	250,264,717	266,044,081	281,823,445	297,602,809	313,382,174	329,161,538
2571	224,145,638	239,075,494	254,005,349	268,935,204	283,865,059	298,794,915	313,724,770
2572	214,239,606	228,365,687	242,491,768	256,617,849	270,743,931	284,870,012	298,996,093
2573	204,750,528	218,116,107	231,481,687	244,847,267	258,212,847	271,578,427	284,944,006
2574	195,662,221	208,308,242	220,954,263	233,600,285	246,246,306	258,892,327	271,538,348
2575	186,959,036	198,924,238	210,889,439	222,854,640	234,819,841	246,785,042	258,750,244
2576	178,625,848	189,946,882	201,267,916	212,588,951	223,909,985	235,231,019	246,552,054
2577	170,648,042	181,359,589	192,071,136	202,782,684	213,494,231	224,205,778	234,917,325
2578	163,011,506	173,146,379	183,281,252	193,416,125	203,550,998	213,685,871	223,820,744
2579	155,702,617	165,291,862	174,881,107	184,470,352	194,059,597	203,648,842	213,238,087
2580	148,708,230	157,781,222	166,854,213	175,927,205	185,000,197	194,073,189	203,146,181
2581	142,015,666	150,600,198	159,184,729	167,769,261	176,353,793	184,938,325	193,522,857
2582	58,424,469	64,066,081	69,707,693	75,349,305	80,990,917	86,632,529	92,274,141
รวม	**9,037,010,548**	**9,657,259,644**	**10,277,508,741**	**10,897,757,837**	**11,518,006,934**	**12,138,256,030**	**12,758,505,127**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

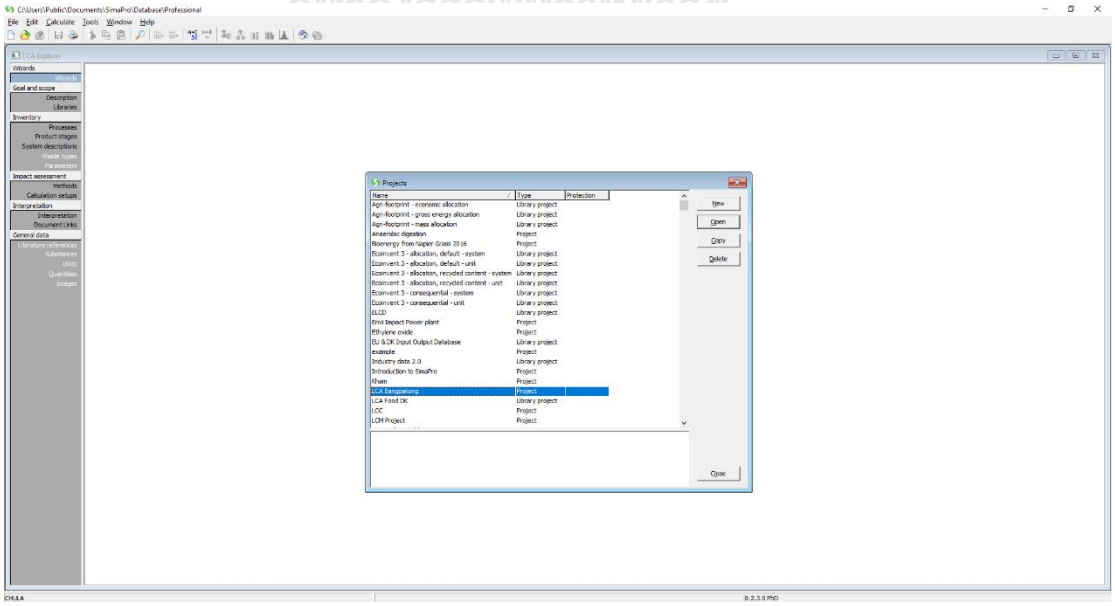
ภาคผนวก ง

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 8.2

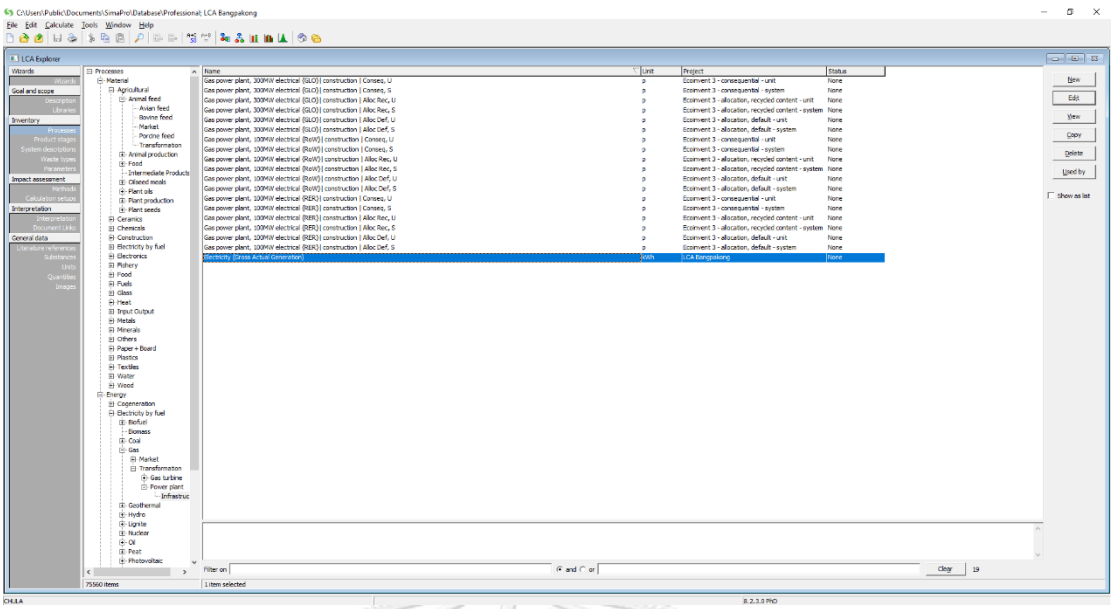
โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 8.2 คือ โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเลือกใช้วิธี IMPACT 2002+ version 2.12 ในการประเมินผลกระทบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ครอบคลุมการประเมินผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ ระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ทรัพยากร โดยมีรายละเอียด ดังนี้



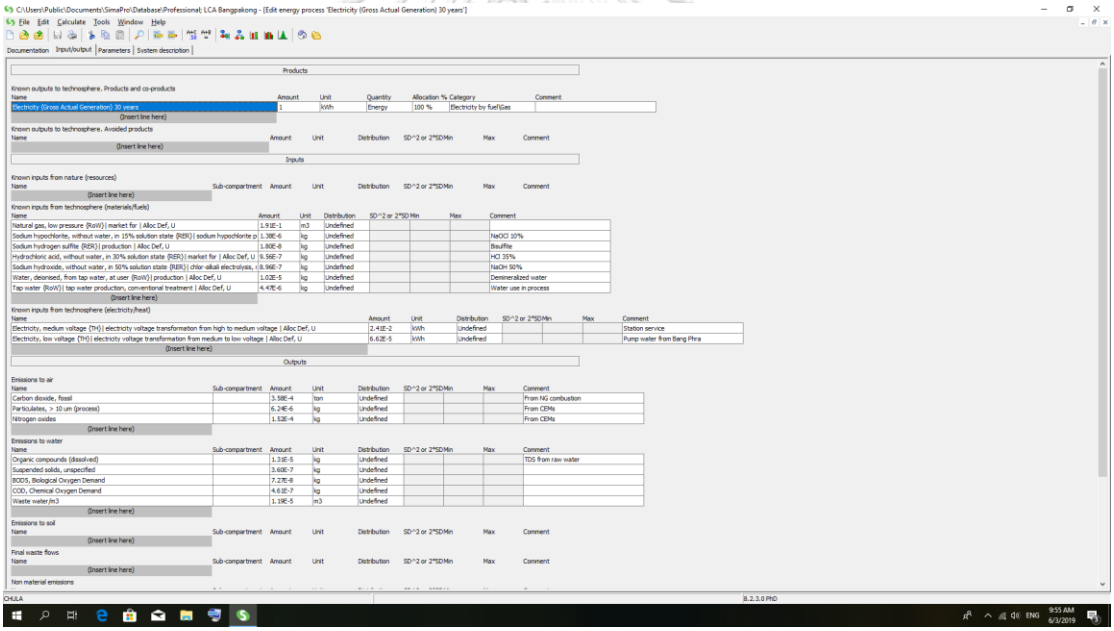
รูปที่ ง-1 การเปิดใช้งานโปรแกรม SimaPro version 8.2



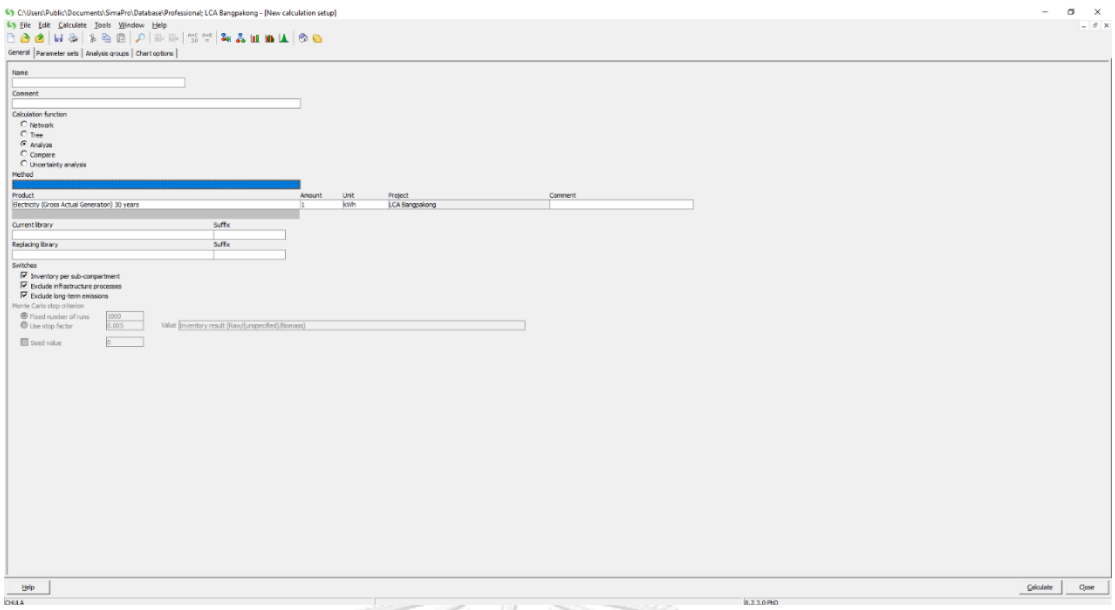
รูปที่ ง-2 การเริ่มต้นใช้โปรแกรม โดยต้องเปิด Project เลือก New



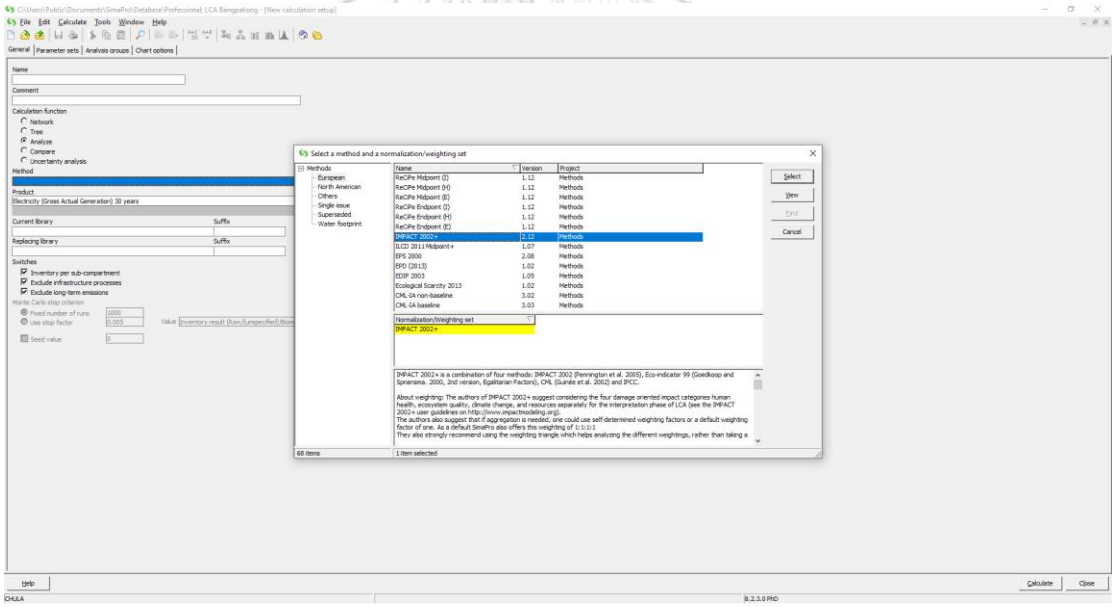
รูปที่ ง-3 การสร้าง Process ที่ต้องการเพื่อใส่ข้อมูลดิบ เลือก New



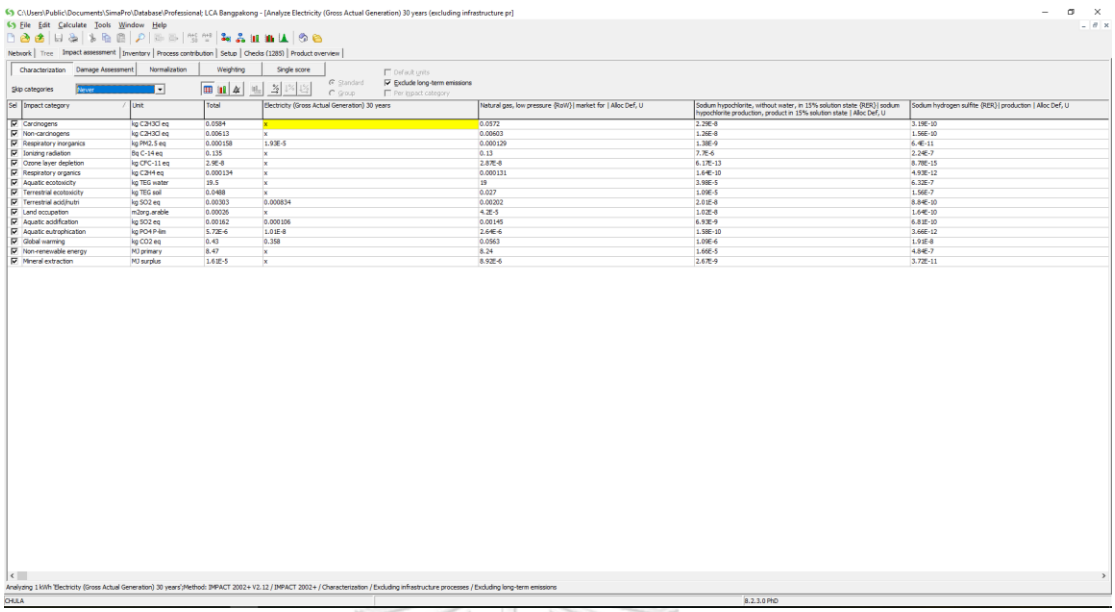
รูปที่ ง-4 ป้อนข้อมูลบัญชีรายการให้ครบถ้วน จากนั้นเลือก Save



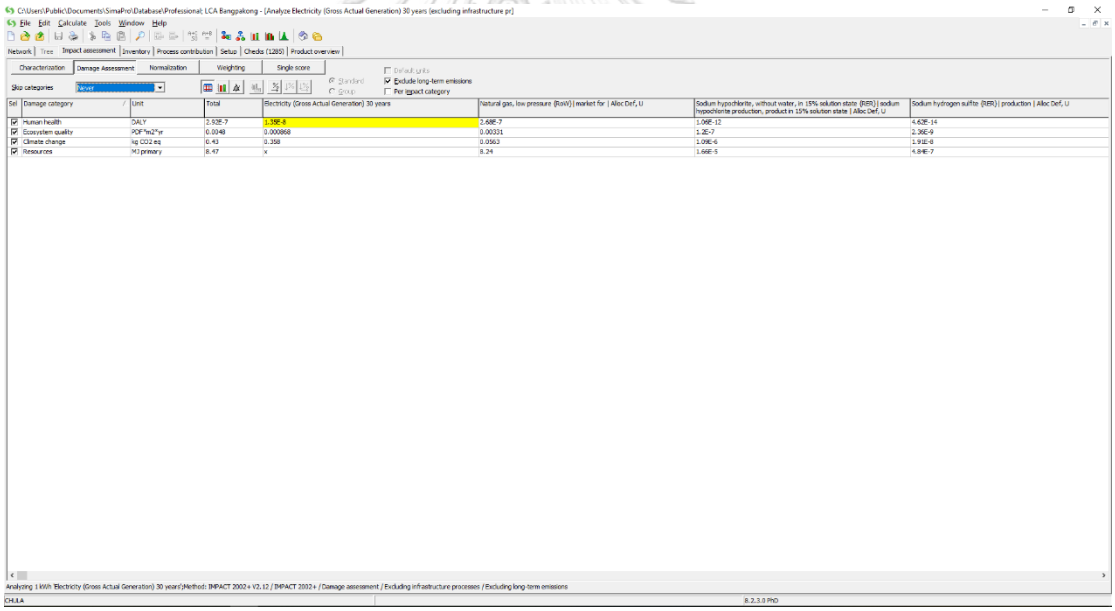
รูปที่ ง-5 ทำการประเมินโดยการเลือก Analyze แล้วใส่หน่วยการทำงานที่ต้องการประเมิน ในงานวิจัยนี้ใช้หน่วยการทำงาน 1 kWh



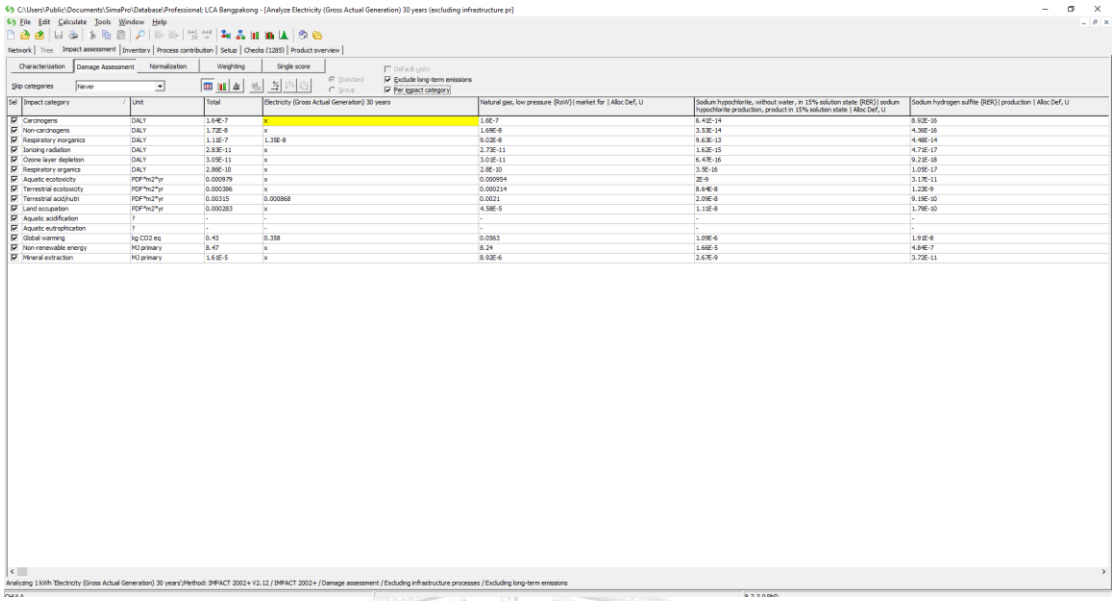
รูปที่ ง-6 เลือก Method ที่ต้องการศึกษา โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ IMPACT 2002+ version 2.12



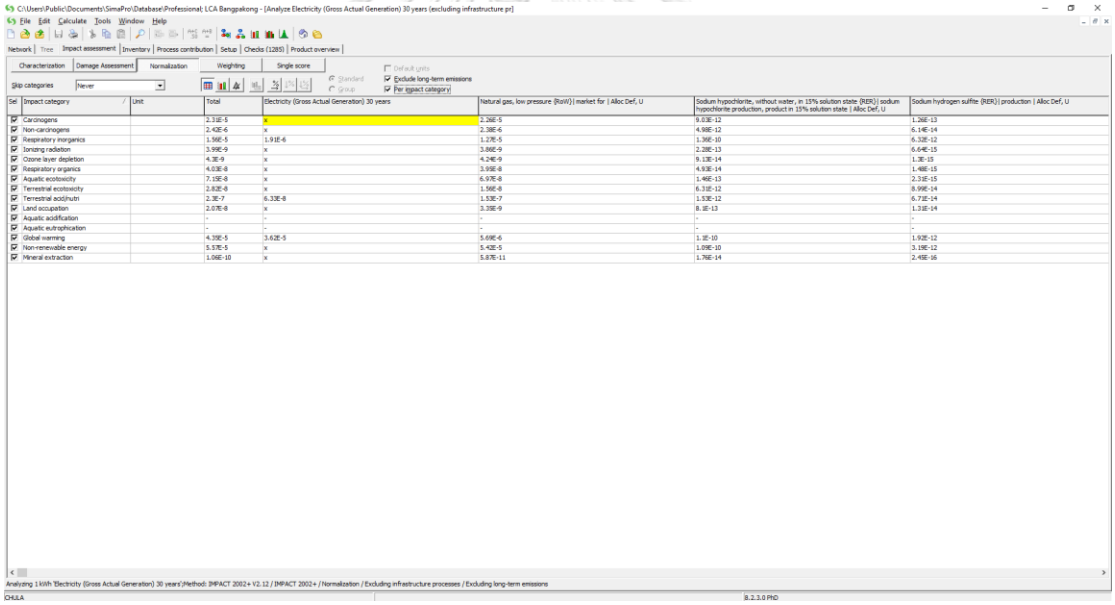
รูปที่ ง-7 ผลการประเมิน Midpoint categories



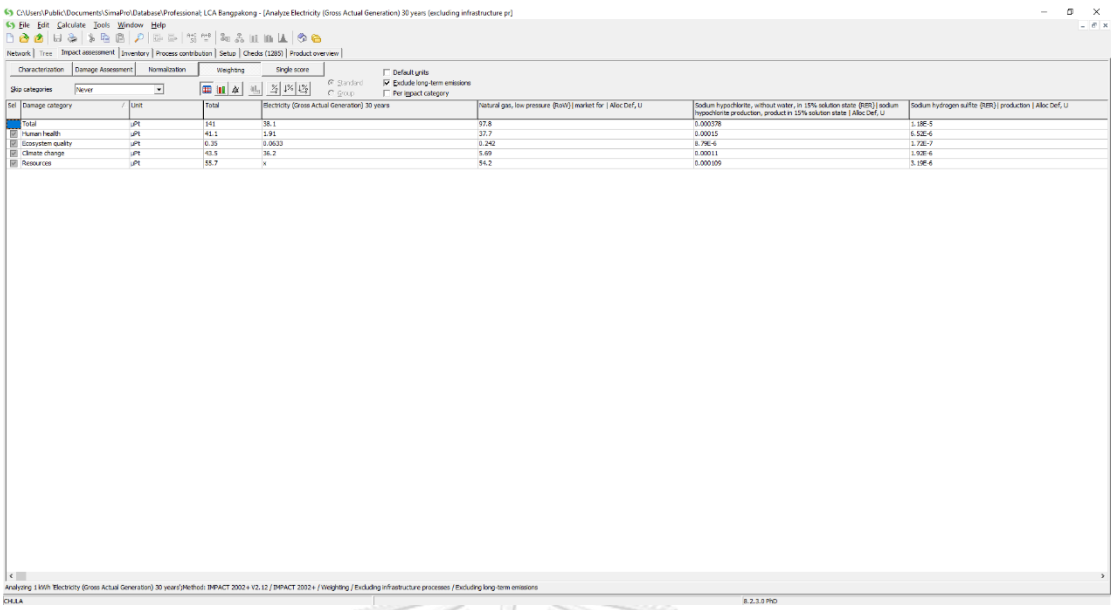
รูปที่ ง-8 ผลการประเมิน Damage assessment



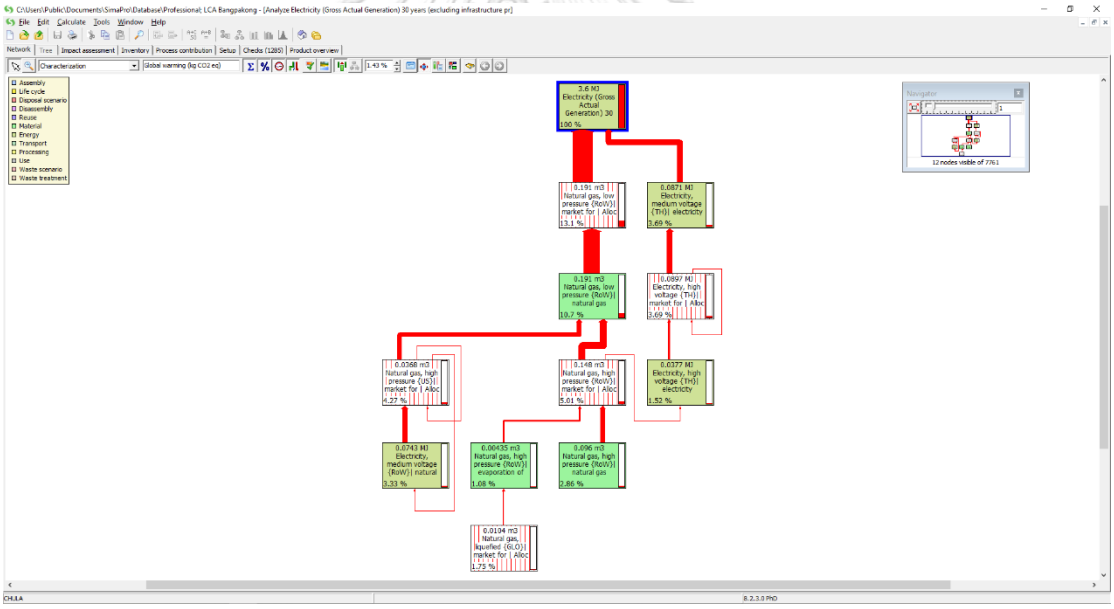
รูปที่ ง-9 ผลการประเมิน Endpoint categories



รูปที่ ง-10 ผลการประเมิน Normalization



รูปที่ ง-11 ผลการประเมิน Weighting



รูปที่ ง-12 ทำการประเมิน Tree diagram(สัญลักษณ์รูปผังการไหล)
แล้วเลือกขั้นตอนและกลุ่มผลกระทบที่ต้องการ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สิริลักษณ์ โรคารักษ์
วัน เดือน ปี เกิด	28 พฤศจิกายน 2534
สถานที่เกิด	จ.ชลบุรี
วุฒิการศึกษา	หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University