

การประเมินวัฏจักรชีวิตความร่วมมือแก๊สซีพีเคชั่น
จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



นางสาวอรกมล เห็นชอบดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF IGCC (INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE)
FROM AGRICULTURAL RESIDUES



Miss Orngamol Henschobdee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตความร้อนร่วมแก๊สซิพีเคชั่นจากวัสดุ
เหลือทิ้งทางการเกษตร

โดย

นางสาวอรกมล เห็นชอบดี

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ

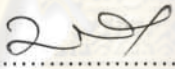
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

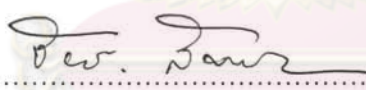
อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศฤทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด จงสมจิตร์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์)

อรกมล เห็นชอบดี : การประเมินวัฏจักรชีวิตความร้อนร่วมแก๊สซิฟิเคชันจากวัสดุเหลือ
ทิ้งทางการเกษตร. (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF IGCC (INTEGRATED
GASIFICATION COMBINED CYCLE) FROM AGRICULTURAL RESIDUES)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 85 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม
แก๊สซิฟิเคชันด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยพิจารณาสารป้อนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทาง
การเกษตร ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย และกะลาปาล์ม และในงานวิจัยนี้ได้ประเมินผล
กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี IMPACT 2002+ โดยแบ่งกลุ่มผลกระทบออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่
ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน และ
ผลกระทบต่ออัตราการลดลงของทรัพยากร จากผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพ
มนุษย์การใช้ฟางข้าวเป็นสารป้อนมีผลกระทบมากที่สุด ในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และ
ผลกระทบการลดลงทรัพยากรการใช้แกลบเป็นสารป้อนมีผลกระทบมากที่สุด ในกลุ่มการ
ผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนการใช้กะลาปาล์มเป็นสารป้อนมีผลกระทบมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา.2552.....

ลายมือชื่อผู้ผลิต อรกมล เห็นชอบดี.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ชัยฤทธิ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สุรเทพ เขียวหอม.....

5070510621 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIOMASS / IGCC / ENVIRONMENTAL IMPACT / GASIFIER

ORNGAMOL HENCHOBDEE : LIFE CYCLE ASSESSMENT OF IGCC
(INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE) FROM AGRICULTURAL
RESIDUES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT,
Dr.Ing., THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 85 pp.

In this work, The environmental Impacts of electric power production using an integrated gasification combined cycle (IGCC) is studied by a life cycle assessment. We consider feedstock of agriculture residues including rice husk, rice straw, sugar cane trash and coconut palm shell. In this work, IMPACT 2002+ is used as an indicator to assess environmental impacts comprising four categories including human health, ecosystem quality, global warming and non-renewable energy. The results show that rice straw feedstock has the highest environmental impacts in human health. Rice husk feedstock has the highest environment impacts both in ecosystem quality and non-renewable energy. Coconut palm shell feedstock has the highest environmental impacts in global warming.



Department : Chemical Engineering.....
Field of Study : Chemical Engineering.....
Academic Year : 2009.....

Student's Signature อรกมล คุ้มรอด
Advisor's Signature Chairit Satayaprasert
Co-Advisor's Signature Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด จงสมจิตร (กรรมการ) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพล เกียรติกิตติพงษ์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนายอรรมเดช ตริชวาและนางสาวปัทมา แนวกัญญา ร่วมถึงเพื่อนนิสิตปริญญาโทที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจในระหว่างการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และคุณยาย ที่ได้สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย รวมถึงร่วมถึงเข้าใจและให้กำลังใจเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แก๊สซิฟิเคชัน.....	7
2.2 สารประกอบชีวมวล.....	9
2.3 โรงงานผลิตไฟฟ้า.....	10
2.4 ขั้นตอนกระบวนการ IGCC.....	11
3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	24
3.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	24
3.2 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	25
3.3 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	25
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	25
3.5 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	26

บทที่	หน้า
4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์.....	38
4.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	39
5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
5.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง.....	41
5.2 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง.....	51
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	58
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	โครงการขยายระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนวน.....	2
1.2	แสดงถึงการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนวน ณ เดือนมิถุนายน 2551.....	3
2.1	ชีวมวลที่เป็นสารตั้งต้นผ่านกระบวนการไพโรไลซิสให้เป็นก๊าซ	9
2.2	เปรียบเทียบคุณสมบัติถึงปฏิกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน.....	12
2.3	ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ถูกปล่อยออกมา.....	13
2.4	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในแต่ละประเภทของแก๊สซิไฟด์.....	14
2.5	เปรียบเทียบอุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองต่างๆ.....	15
2.6	แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการกำจัดแก๊ส.....	16
2.7	คุณสมบัติของกังหันก๊าซ.....	18
3.1	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตที่นิยมในปัจจุบัน...	27
3.2	เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบ.....	29
3.3	หน่วยของผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐานและความสามารถในการก่อให้เกิดอันตราย.....	33
3.4	แสดงค่าการเทียบหน่วย โดยพิจารณารายการการเกิดอันตราย.....	35
3.5	แสดงถึงสภาวะของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล.....	36
5.1	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด.....	42
5.2	ปริมาณสารขาออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด.....	42

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงขั้นตอนการทำแก๊สซิฟิเคชัน.....	9
2.2	ขั้นตอนกระบวนการ IGCC	11
2.3	เป็นแผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยไอน้ำ.....	19
2.4	ประสิทธิภาพของพลังงานไฟฟ้าต่ออัตราการปล่อยสารตั้งต้น.....	21
2.5	ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าต่ออุณหภูมิในถังปฏิกรณ์.....	21
2.6	ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าต่ออัตราอากาศที่ป้อนในถังปฏิกรณ์.....	22
2.7	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด.....	23
3.1	ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานกับ LCA.....	24
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA.....	25
3.3	ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิเคราะห์บัญชีรายการ.....	26
3.4	กระบวนการ IBGCC + DeCO ₂	36
3.5	เปรียบเทียบภาวะเรือนกระจกของแต่ละกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	37
5.1	ปริมาณสารคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	44
5.2	ปริมาณแอมโมเนียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	45
5.3	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	45
5.4	ปริมาณคลอรีนที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	46
5.5	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	47
5.6	ผลกระทบต่อระบบนิเวศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	48
5.7	เปรียบเทียบการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	50
5.8	เปรียบเทียบการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า.....	50
5.9	เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 4 ด้านของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยยังเผชิญกับปัญหาการกระจายพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ห่างไกลซึ่งไม่ได้เชื่อมโยงกับระบบการผลิตไฟฟ้าหลักจึงมีความจำเป็นต้องจัดหาแหล่งพลังงานที่หลากหลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก (Very Small Power Producer) เช่น พลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ก๊าซชีวภาพและพลังงานน้ำขนาดเล็ก เป็นต้น ทั้งนี้จะเห็นว่าในปัจจุบันพลังงานบางประเภทมีศักยภาพและเทคโนโลยีที่สามารถรองรับการใช้งานได้จริงแต่ไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายนัก เช่น ชยะชุมชน พลังงานลม ในขณะที่พลังงานบางประเภทแม้ว่าจะมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงก็ตามแต่ยังขาดเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสม เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีอุปสรรคสำคัญคือต้นทุนการผลิตที่สูงมากและยังไม่สามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลายหรือสามารถแข่งขันในเชิงพาณิชย์ได้ เป็นต้น จากข้อมูลของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม [1] ดังตารางที่ 1.1 แสดงจะเห็นว่าต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีราคาต่ำที่สุดและต้นทุนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีราคาของลงมา ในขณะที่ต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ราคาที่สูงมาก

ตารางที่ 1.1 โครงการศึกษาการขยายระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนวน

ประเภทเชื้อเพลิง/เทคโนโลยี	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)
พลังงานแสงอาทิตย์	11.18
พลังงานลม	2.78
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	2.29
ก๊าซชีวภาพ ²	1.92
ขยะชุมชนขนาด 100 ตันต่อวัน ³	
<ul style="list-style-type: none"> ● ถังหมักขยะ 	12.97
<ul style="list-style-type: none"> ● เต้าเผาขยะ 	16.99
<ul style="list-style-type: none"> ● หลุมฝังกลบขยะ 	8.75
ทะเลสาบปาล์มเปล่า	2.2

อย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพนั้นความสามารถและกำลังการผลิตขึ้นกับปริมาณของเสียในแต่ละพื้นที่ซึ่งอาจแปรผันตั้งแต่ 0.4 ถึง 3 เมกะวัตต์ นอกจากนั้นการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพยังนิยมดำเนินการร่วมกับโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถาบันประกอบการ เช่น โรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ [1] เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถกระจายในชุมชนห่างไกลได้ อัตราการขยายตัวของการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งจึงมามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ซึ่งแสดงถึงการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนวน ณ เดือนมิถุนายน 2551 [2]

ตารางที่ 1.2 แสดงถึงการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ณ เดือนมิถุนายน 2551

ชนิดของเชื้อเพลิง	จำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว		
	จำนวน	กำลังการผลิต (MW)	
		ติดตั้ง	ขายเข้าระบบ
แสงอาทิตย์	37	1.72	1.69
● เซลล์แสงอาทิตย์	35	0.148	0.148
● ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์	2	1.57	1.54
● แผงรับแสงอาทิตย์	0	0	0
พลังงานลม	0	0	0
ก๊าซชีวภาพ	16	16.6	10.5
● มูลสัตว์	8	1.6	1.33
● น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	8	15	9.2
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	42	509.4	197
● แกลบ	9	49.3	41.1
● ชานอ้อย	24	423.3	135.3
● เศษไม้	0	0	0
● กะลาปาล์ม	4	23	12.9
● ฟางข้าว	3	1.64	1.46
● ชังข้าวโพด	1	0.16	0.135
● ขยะมะพร้าว	0	0	0
● วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ	1	12	6.2
ไบโอดีเซล	0	0	0
ขยะชุมชน	3	3.22	2.45
พลังงานน้ำ	1	0.04	0.03

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งจึงเป็นเรื่องที่เรียกความสนใจจากนักวิจัยต่างๆ เริ่มจาก Andrea Cortie [3] ได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของสิ่งแวดล้อมจากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ในขณะที่ Matteo Carpentieri [4] พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินต้องให้พลังงานความร้อนกับกระบวนการผลิตมากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล จากนั้น Sirivikorn Siriyothiphan [5] ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในประเทศไทยพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวให้ประสิทธิภาพในการผลิตมากที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าและเลือกกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง (สารตั้งต้น) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สุดโดยใช้ฐานข้อมูลของ Simapro วิธี IMPACT 2002+ ในการประเมิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ฟางข้าว กะลาปาล์ม แกลบ และชานอ้อย โดยกระบวนการ IGCC
2. เพื่อเสนอทางเลือกกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โครงการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ฟางข้าว กะลาปาล์ม แกลบและชานอ้อย โดยกระบวนการ IGCC และศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท
2. ศึกษาแบบจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Aspen plus

3. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งโดยใช้โปรแกรม SimarPro วิธี IMPACT 2002+

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แนวทางในการพิจารณาเลือกวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไฟฟ้าซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
2. ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นหาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้ง
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม SimaPro เพื่อเลือกวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง
3. จำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง
4. ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งที่ต่างกันไปและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าในสถานะที่ต่างกัน
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงานผลการวิเคราะห์

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

- บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ นอกจากนั้นยังกล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตตลอดจน วิธีการดำเนินงานวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง
- บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 4 อธิบายถึงงานวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยขั้นตอนการวิจัย และวิธีที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ผลการการคำนวณที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง รวมถึงอธิบายและสรุปผลที่เกิดจากกระบวนการผลิต

บทที่ 6 สรุปผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นการกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง รวมถึงข้อเสนอแนะซึ่งได้จากการทำวิจัยนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

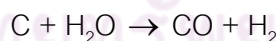
ทฤษฎี

2.1 แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

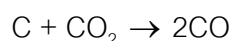
แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) หรือกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เป็นการแปรรูปเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ชีวมวล เป็นต้น ให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในรูปก๊าซ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) ก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้นั้นจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยปฏิกริยาในแก๊สซิฟิเคชันมีดังต่อไปนี้ [6]

1. ปฏิกริยาสตีมน้ำแก๊สซิฟิเคชัน (Steam gasification)
2. ปฏิกริยาคาร์บอกซีแก๊สซิฟิเคชัน (Carboxy gasification)
3. ปฏิกริยาชิฟต์ (Shift conversion)
4. ปฏิกริยามีเทนเนชัน (Methanation)

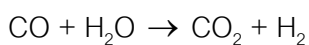
2.1.1 ปฏิกริยาสตีมน้ำแก๊สซิฟิเคชัน (Steam gasification) เป็นปฏิกริยาที่คาร์บอนทำปฏิกริยากับไอน้ำ เป็นปฏิกริยาดูดความร้อน ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน



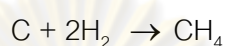
2.1.2 ปฏิกริยาคาร์บอกซีแก๊สซิฟิเคชัน (Carboxy gasification) เป็นปฏิกริยาที่คาร์บอนทำปฏิกริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นปฏิกริยาดูดความร้อน ก๊าซที่เกิดขึ้น ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์



2.1.3 ปฏิกริยาชิฟต์ (Shift conversion) เป็นปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไอน้ำ บางที่เรียกว่า Water Gas Shift Reaction



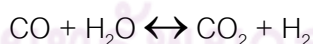
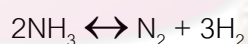
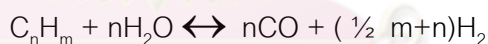
2.1.4 ปฏิกริยามีเทนเนชัน (Methanation) เป็นปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนได้ก๊าซมีเทน โดยปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมี นิเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกริยาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส และความดันอยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 บาร์



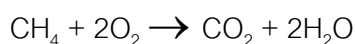
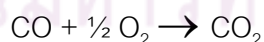
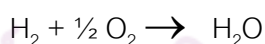
จากปฏิกริยาข้างต้นทำให้เกิดน้ำมันทาร์ปนออกมากับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ น้ำมันทาร์เป็นสารปลอมปนในขณะนี้จึงทำการแยกออกโดยกระบวนการรีฟอร์มมิง [7, 8]

กระบวนการรีฟอร์มมิง (Tar reforming)

น้ำมันทาร์ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อน ลักษณะเป็นของเหลวหนืด มีฤทธิ์กัดกร่อน มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ การกำจัดน้ำมันทาร์จะใช้กระบวนการทาร์รีฟอร์มมิง โดยนิเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกริยา [9] ในโมเดล NREL's [10] เกิดปฏิกริยาดังนี้



และมีปฏิกริยาข้างเคียงได้แก่



จากปฏิกริยาข้างต้นทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H₂) เป็นส่วนมากแต่ยังคงเหลือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ทำการดูดซับด้วยสารละลายแอมโมเนียผสมเพื่อกำจัด CO₂ ขั้นตอนการทำแก๊สซิฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการทำแก๊สซิฟิเคชัน

2.2 สารประกอบชีวมวล (Biomass)

สารประกอบชีวมวลคือ สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สารตั้งต้นที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสให้เป็นก๊าซแล้ว [11] ดังตารางที่ 2.1 มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าแทนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน

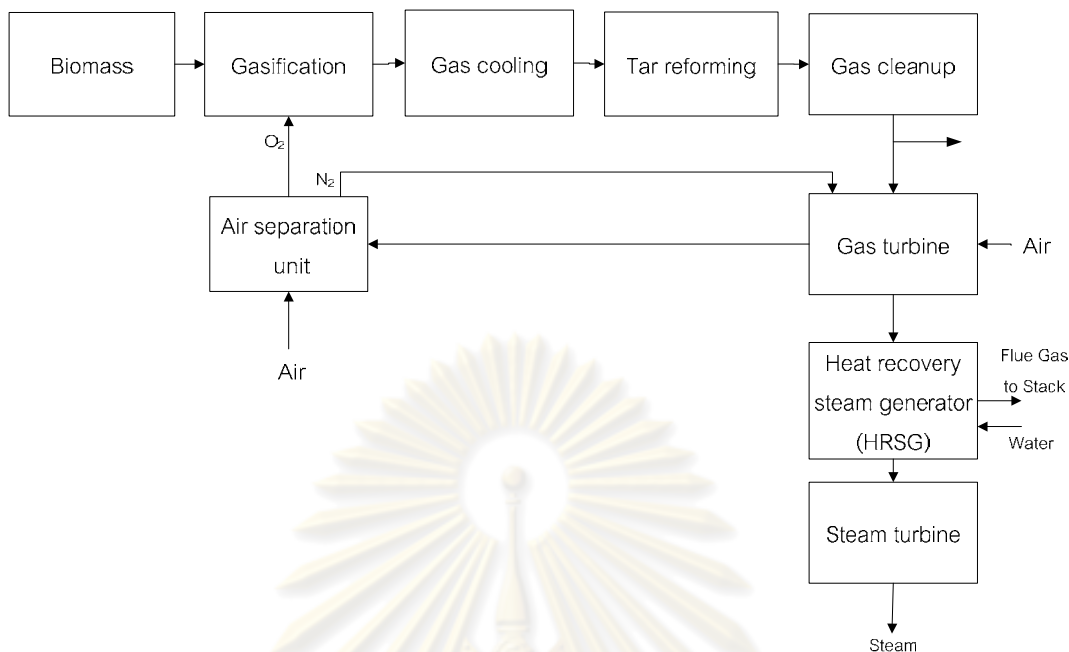
ตารางที่ 2.1 ชีวมวลที่เป็นสารตั้งต้นผ่านกระบวนการไพโรไลซิสให้เป็นก๊าซ

ชีวมวล	แกลบ (Rice husk)	ฟางข้าว (Rice straw)	ชานอ้อย (Sugar cane trash)	กะลาปาล์ม (Palm oil shell)
ค่าการวิเคราะห์ปริมาณของวัสดุเหลือทิ้ง				
ความชื้น, %	12.0	10.0	9.2	12
คาร์บอน, %	18.88	18.9	16.9	16.3
ซี้เถ้า, %	12.65	10.39	6.1	3.5
คาร์บอน, %	37.48	38.17	41.60	44.44
ไฮโดรเจน, %	4.41	5.02	5.08	5.01
ไนโตรเจน, %	0.17	0.58	0.40	0.28

ชีวมวล	แกลบ (Rice husk)	ฟางข้าว (Rice straw)	ชานอ้อย (Sugar cane trash)	กะลาปาล์ม (Palm oil shell)
คลอรีน, %	0.09	0.00	0.01	0.02
ซัลเฟอร์, %	0.04	0.09	0.17	0.02
ออกซิเจน, %	33.27	35.28	37.42	34.70
ความชื้น, %	12.0	10.00	9.20	12.00

2.3 โรงงานผลิตไฟฟ้า (IGCC Process)

โรงผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Integrated Gasification Combined Cycle: IGCC) เป็นเทคโนโลยี [12] ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกำมะถันได้ถึงร้อยละ 99 และปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในปริมาณต่ำ เมื่อเทียบกับโรงผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Pressurised Fluidised Bed Combustion: PFBC) IGCC เป็นการนำแก๊สซิเคชันมาใช้ร่วมกับโรงผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ เริ่มจากการนำสารตั้งต้นไปทำปฏิกิริยากับไอน้ำและออกซิเจน จะได้ก๊าซที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพื่อนำไปหมุนกังหันก๊าซ ดังรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ความร้อนที่ออกมาจากเครื่องกังหันสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับไอน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนกระบวนการ IGCC

2.4 ขั้นตอนกระบวนการ IGCC

กระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีนี้ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารตั้งต้น

โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าประกอบด้วย

- แก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier)
- การกำจัดแก๊ส (Gas clean up)
- แก๊สเทอร์ไบน์ (Gas Turbine)
- สตีมเทอร์ไบน์ (Stream Turbine)

2.4.1 แก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier)

เป็นส่วนของถังปฏิกรณ์ (Reactor) ในขั้นตอนกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน โดยลักษณะของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันนั้น ส่วนใหญ่สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1.ถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2.ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด 3.ถังปฏิกรณ์เอนเทรนเบด โดยประเภทที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิด

ไต้เบด เนื่องจาก ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายและและทนต่อความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์ได้ดี [5] โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติถังปฏิกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ชนิดถังปฏิกรณ์	เบดนิ่ง (Fix bed)	ฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)	เอนเทรนเบด (Entrained Flow)
ขนาดวัสดุ	< 51 มิลลิเมตร	< 6 มิลลิเมตร	< 0.15 มิลลิเมตร
ทนต่อความร้อน	จำกัด	ดี	ดีมาก
ความแข็งแรง	ดี	ดี	แย่
อุณหภูมิแก๊สที่ออกมา	450-650 องศา เซลเซียส	800-1000 องศา เซลเซียส	> 1260 องศาเซลเซียส
วัสดุที่ป้อน	ถ่านหิน	ถ่านหินและชีวมวล	โดยทั่วไปจะใช้ถ่านหิน ไม่เหมาะกับชีวมวล
อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์	1090 องศา เซลเซียส	800-1000 องศา เซลเซียส	>1990 องศาเซลเซียส
ถ่านที่ออกมา	แห้ง	แห้ง	ซีเถ้า

โดยถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์สามารถแบ่งเป็นสองชนิด คือ Bubbling Bed และ

Circulation Bed ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4 พบว่าการผลิตไฟฟ้าของแก๊สซิฟิเคชันชนิด Bubbling Bed

ทำให้เกิดปริมาณน้ำมันทาร์น้อยกว่าและค่าต้นทุนต่ำนิยมใช้สำหรับโรงงานผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ถูกปล่อยออกมา

	BFB	CFB	BCL/ FERCO ^a	MTCI ^b	Shell ^c
	Range	Range			
Feedstock	Various	Various	Wood	Pulp	Coal
H ₂	5-26	7-20	14.9	43.3	24
CO	13-27	9-22	46.5	9.22	67
CO ₂	12-40	11-16	14.6	28.1	4
H ₂ O	<18	10-14	dry	5.57	3
CH ₄	3-11	<9	17.8	4.73	0.02
C ₂ +	<3	<4	6.2	9.03	0
Tars	<0.11	<1	-	Scrubbed	0
H ₂ S	~0	~0	-	0.08	1
O ₂	<0.2	0	0	0	0
NH ₃	0	0	0	0	0.04
N ₂	13-56	46-52	0	0	1
H ₂ /CO Ratio	0.2-1.6	0.6-1.0	0.3	4.6	0.36
Heating Value (MJ/m ³)	4-13	4-7.5	18.0	16.7	9.51

^a Indirectly Heated CFB (Circulation Fluidized Bed)

^b Indirectly-Heated BFB (Bubbling Fluidized Bed)

^c Fluid Bed - Entrained Flow

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในแต่ละประเภทของแก๊สซิฟไต์

ชื่อเทคโนโลยี	ประเภท	ขนาด (tonne/day)	ราคา (\$ 10 ³ /tPD)	ราคา (\$/GJ/h Syngas)
BFB Range	BFB	170-960	13-45	21,600-54,900
BFB Average	BFB	615	25.0	29,500
BCL/FERCO ^a	CFB	740-910	24.5-28.4	33,000-48,000
MTCI ^b	BFB	44	25.2	-
Shell Coal Gasifier ^c	-	2,200	37.3	1,400

2.4.2 การกำจัดสิ่งเจือปน

สิ่งเจือปน คือฝุ่นละอองและก๊าซที่ไม่ต้องการจึงต้องนำมากำจัดดังนี้

การกำจัดฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particular matter) หมายถึงอนุภาคของแข็งและละอองของเหลว (ซีเถ้าและชาร์) อุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับมีหลายประเภท แต่ที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้คือชนิดไซโคลน เนื่องจากการกำจัดฝุ่นละอองของเครื่องไซโคลนสกรับเบอร์มีประสิทธิภาพตั้งแต่ 96 ถึง 99% [13,14] และสามารถใช้ได้กับละอองที่มีอนุภาคน้ำหนักสูงได้ เมื่อเทียบกับการดักจับฝุ่นละอองจากอุปกรณ์อื่นดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบอุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองต่างๆ

ชนิดของอุปกรณ์	ขนาดอนุภาค	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบไซโคลน (Cyclone Separator)	>10 ไมครอน	ราคาค่าติดตั้งไม่สูง ราคาค่าดำเนินการไม่สูงและสามารถใช้ได้กับฝุ่นที่มีอนุภาคสูง	ความดันลดสูงและใช้ไม่ได้กับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน
ถุงกรอง (Baghouse Filter)	0.1 ไมครอน	ประสิทธิภาพสูงในการดักฝุ่นขนาดเล็ก ฝุ่นที่ดักได้จะเป็นฝุ่นแห้ง	มักมีขนาดใหญ่ ต้องการการบำรุงรักษามาก มีข้อจำกัดกับฝุ่นที่มีอนุภาคสูงและหากฝุ่นมีความชื้นจะทำให้เกิดการอุดตัน
เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator)	< 1 ไมครอน	ประสิทธิภาพในการบำบัดฝุ่นสูง เกิดความดันลดต่ำ	เสียค่าไฟฟ้าสูง ไม่สามารถใช้กับฝุ่นที่มีสมบัติติดไฟหรือระเบิดง่าย และการใช้งานจะผลิตแก๊สไอโซนซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนออกมา
เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ (Wet Collector)	< 1 ไมครอน	สามารถกำจัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กได้	เรื่องการฟุ้งร้อนสูง และต้องการระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำดักฝุ่น

การกำจัดเป็นก๊าซ

ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งจะเกิดก๊าซ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และสารประกอบซัลเฟอร์ (COS) ก๊าซกลุ่มนี้สามารถบำบัดได้หลายวิธี [7] ดังตารางที่ 2.6 แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการกำจัดก๊าซ พบว่าการกำจัดก๊าซโดยกระบวนการดูดซับแอมโมเนียผสมเหมาะกับงานวิจัยนี้ [3] สามารถกำจัด CO_2 จาก 700-800 $kgCO_2/MW h$ เหลือ 70-130 $kgCO_2/MW h$ ซึ่งในสารละลายแอมโมเนียผสมที่ใช้ประกอบด้วย MDEA (Methyldiethanolamine), DEA (Diethanolamine) ใช้กำจัด H_2S กับ CO_2 และ DGA (Diglycolamine) ใช้กำจัด COS

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการกำจัดแก๊ส

การบวนการกำจัดแก๊ส	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxidation)	เป็นการกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบแห้งที่ อุณหภูมิสูงเกิดผลิตภัณฑ์เป็น ซิงค์ซัลไฟด์ (Zinc sulfide)	จะไม่สามารถผันกลับได้และ ซิงค์ออกไซด์จะไม่ทำปฏิกิริยา กับสารประกอบอินทรีย์ที่มี ซัลเฟอร์ผสมอยู่
กระบวนการครอส (Clause Process)	ประสิทธิภาพของกระบวนการ นี้จะขึ้นกับจำนวนของเครื่อง ปฏิกรณ์ที่ใช้ ยิ่งเครื่องปฏิกรณ์ มากประสิทธิภาพในการกำจัดก็จะ มากขึ้นด้วย	การกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีประสิทธิภาพสูงจะต้องใช้ จำนวนปฏิกรณ์ มากขึ้น ต้นทุน ก็จะสูงขึ้น

การบวนการกำจัดแก๊ส	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการดูดซึมเอมีน (Amine absorption unit)	กระบวนการที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อ กำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีความเข้มข้นสูง และมีฤทธิ์ เป็นกรดอ่อนๆ	แต่ต้องนำไปใช้เกี่ยวเนื่องใน กระบวนการอื่นด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันในของเหลว (Liquid Phase oxidation)	กระบวนการนี้ใช้สารละลาย เหล็กคิเลทแทนวานาเดียมซึ่งไม่ เป็นอันตราย โดยทั้ง 2 วิธีนี้จะ เปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ เป็นกำมะถันแข็ง	1. เกิดกำมะถันขึ้นในปฏิกรณ์ หมุนเวียนอัตโนมัติจึงจำเป็น ต้องกำจัดกำมะถันออกจากถัง ปฏิกรณ์ 2. เมื่อใช้ไปนานๆจะเกิดการ เสื่อมสภาพจึงต้องมีการรีเจนเนอ เรทตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.3 แก๊สเทอร์ไบน์ (Gas Turbine)

เทอร์ไบน์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านี้ได้ถูกพัฒนามาจากการใช้สารตั้งต้นจำพวกก๊าซธรรมชาติ ในปัจจุบันสามารถใช้ก๊าซสังเคราะห์ได้แล้ว โดยก๊าซสังเคราะห์ที่ใช้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไปยังห้องเผาของกังหันก๊าซ (Gas turbine combustor) ซึ่งมีคุณสมบัติของกังหันก๊าซ ดังตารางที่ 2.7

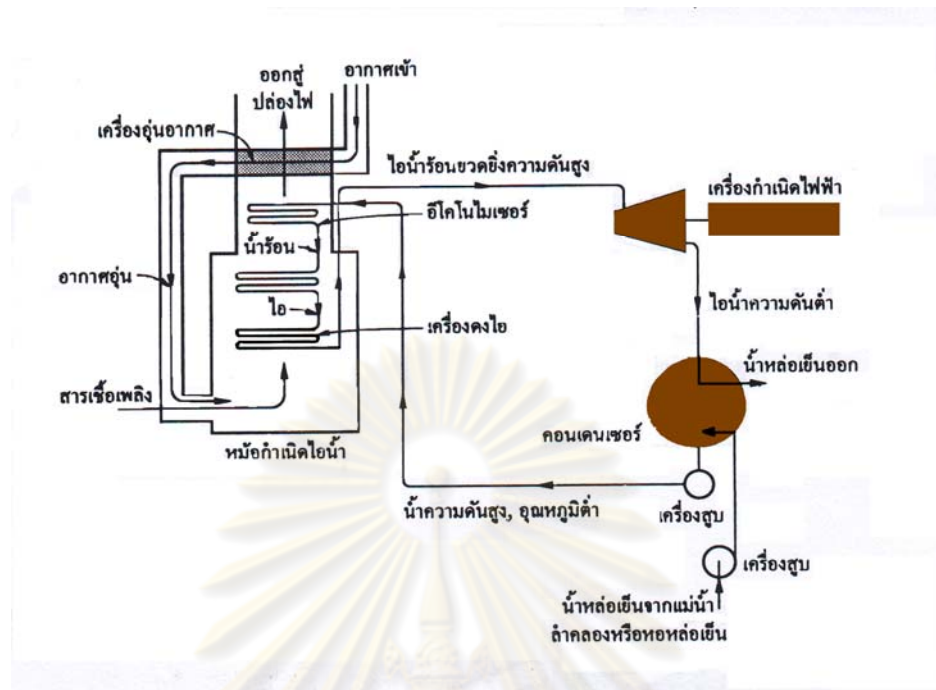
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของกังหันก๊าซ

	Specification
Gas turbine	GE MS-6101FA
Turbine PR	14.9
Air Flow (kg/s)	196 kg/s
Turbine firing temperature, °C (°F)	1,288 (2,350)
Steam cycle conditions, MPa/°C /°C	10/538/538

โดยเรากำหนดให้ขาเข้าเป็นอากาศที่สภาวะ 35 °C ความดัน 1 atm ขาออกของห้องเผาของกังหันก๊าซมีคอมเพรสเซอร์ (Compressor) 3 ตัวได้แก่ 35.85 psia, 89.82 psia, และ 219.03 psia ตามลำดับ [15] หลังจากนั้นความดันอากาศจะแบ่งออกเป็น 2 สายหรือมากกว่า สายแรกนำไปใช้เป็นคูลลิ่ง (Cooling) ในเทอร์ไบน์ (turbine) ส่วนอีกสายจะถูกส่งไปยังสตีมเทอร์ไบน์ (Stream turbine)

2.4.4 สตีมเทอร์ไบน์ (Stream turbine)

เทอร์ไบน์ที่ไอน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย หม้อกำเนิดไอน้ำ กังหัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องสูบน้ำ หลักการทำงานของสตีมเทอร์ไบน์แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เป็นแผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยไอน้ำ

เริ่มพิจารณาตั้งแต่ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันสูงที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำสู่ **กังหัน** มีพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้น ส่วนไอน้ำที่ออกจากกังหันเป็นไอน้ำความดันต่ำจะถูกส่งเข้าสู่ **เครื่องควบแน่น** จนกลายเป็นของเหลวจะถูกส่งต่อไปยัง **เครื่องสูบลม** เพื่อนำน้ำเข้าสู่ **หม้อกำเนิดไอน้ำ** ประกอบด้วยฮีตเตอร์ เครื่องคองไอ เครื่องอุ่นอากาศ

ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากสารที่ได้จากการเผาไหม้ (ก่อนออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ)

เครื่องคองไอ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเมื่อไอน้ำไหลผ่านเครื่องคองไออุณหภูมิของไอน้ำจะสูงกว่าอุณหภูมิอิมตัวของไอน้ำที่ความดันขณะนั้น

เครื่องอุ่นอากาศ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งทำหน้าที่อุ่นอากาศก่อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในหม้อกำเนิดไอน้ำ

โดยการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้ (Net Power Output) [5] ที่ได้รับจากการผลิตไฟฟ้าที่เกิดจากแก๊สเทอร์ไบน์และสตีมเทอร์ไบน์ หน่วย MW ได้ดังสมการ

$$\text{NET Power} = \text{GT Power} + \text{ST Power} - \text{Auxiliary power} \quad (*)$$

โดย GT Power = พลังงานที่ออกมาจากระบบแก๊สเทอร์ไบน์

$$= ('WGT-C1' + 'WGT-C1' + 'WGT-C1') - ('WGT-T1' + 'WGT-T1' + 'WGT-T1') \quad (**)$$

ST Power = พลังงานที่ออกมาจากสตีมเทอร์ไบน์

$$= - ('WT350' + 'WT115' + 'WT1') \text{ (MW)} \quad (***)$$

Auxiliary Power = พลังงานที่เกิดจากระบบการผลิตไอน้ำ (พลังงานที่เกิดจาก Pump)

$$= \text{WP1785}$$

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{\text{Net Power (MW)}}{\text{HHV (kJ / kg)} \times \text{Feed flowrate (tons / s)}} \times 100\%$$

โดย HHV หมายถึง การนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด

จากนั้นนำมาหาค่าความร้อนต่อกิโลกรัม มีหน่วยเป็น kJ/kg

Net Power หมายถึง พลังงานไฟฟ้าสุทธิ มีหน่วยเป็น MW

Feed flowrate หมายถึง อัตราการป้อนสารตั้งต้น มีหน่วยเป็น ton/s

จากงานวิจัยของสิริวิกร [5] ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต

ไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ อิทธิพลของอัตราการป้อนวัสดุเหลือทิ้ง อิทธิพลของ

อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์และอิทธิพลของอัตราอากาศที่ป้อนในถังปฏิกรณ์ โดยทำการประเมิน

ของอัตราการป้อนวัสดุเหลือทิ้งที่ 1000-2000 ตันต่อวัน ดังรูปที่ 2.4



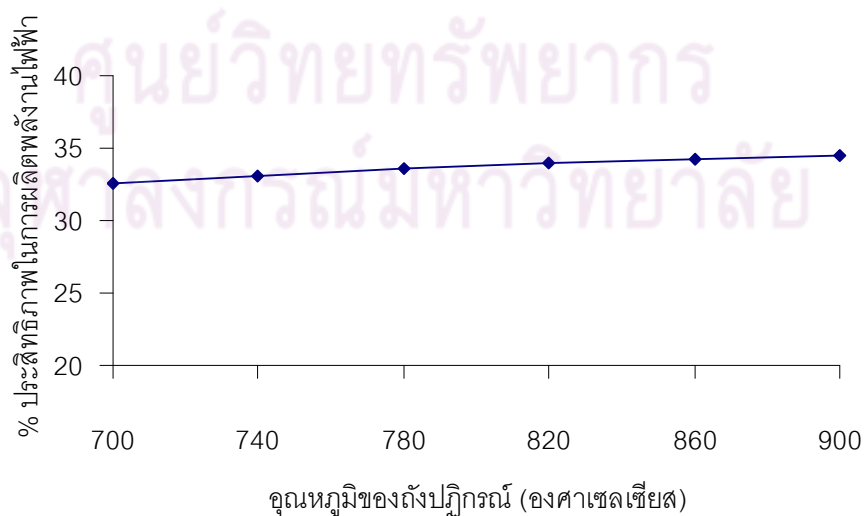
รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพของพลังงานไฟฟ้าต่ออัตราการป้อนสารตั้งต้น

พบว่าอัตราการป้อนสารตั้งต้นไม่มีส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยนี้ [5]

เสนอว่าอัตราการป้อนสารตั้งต้นที่ 1000 ตันต่อวันเหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นทำการประเมิน

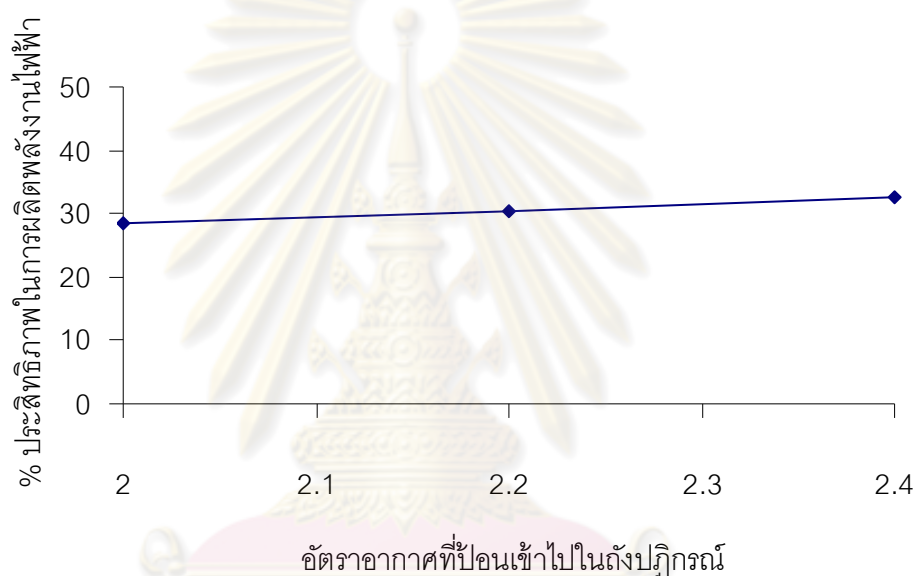
อิทธิพลของอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่

อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.5 พบว่าอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์แปรผันตาม



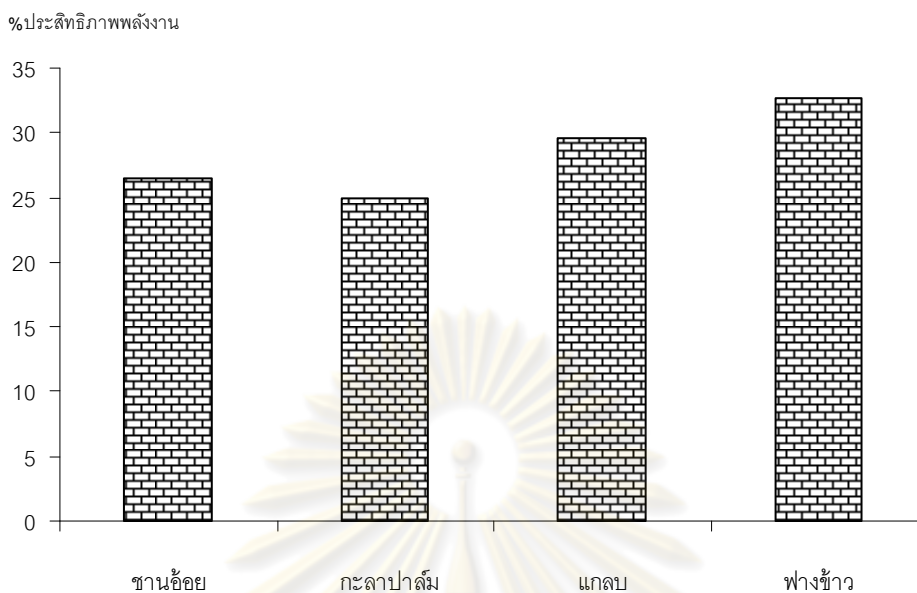
รูปที่ 2.5 ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าต่ออุณหภูมิในถังปฏิกรณ์

ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้างาน จากงานวิจัย [5] จึงสรุปว่าอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็น อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ดีที่สุด สุดท้ายทำการประเมินอิทธิพลของอัตราอากาศที่ป้อนในถัง ปฏิกรณ์ที่อัตราอากาศต่ออัตราการป้อนสารตั้งต้น 2-2.4 ดังรูปที่ 2.6 พบว่าอัตราอากาศที่ป้อนเข้า ในถังปฏิกรณ์มีอิทธิพลกับประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าเมื่ออัตราอากาศที่ป้อนในถังปฏิกรณ์ มากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ขึ้น ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นลดลง



รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าต่ออัตราอากาศที่ป้อนในถังปฏิกรณ์

ดังนั้นงานวิจัย [5] จึงเสนอว่าอัตราอากาศที่ป้อนเข้าในถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อนสารตั้งต้น 2.4 เหมาะสมที่สุด รวมเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่อัตราการป้อนสารตั้งต้น 1000 ตันต่อวัน อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ 900 องศาเซลเซียส อัตราอากาศที่ป้อนเข้าในถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน 2.4 โดยพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าว ให้ประสิทธิภาพการผลิตมากที่สุด ดังรูปที่ 2.7 รองลงมาคือการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ การผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย และการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์ม ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งจะใช้สภาวะที่อัตราการป้อน 1000 ตันต่อวัน อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ 900 องศาเซลเซียส อัตราอากาศที่ป้อนเข้าในถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน 2.4

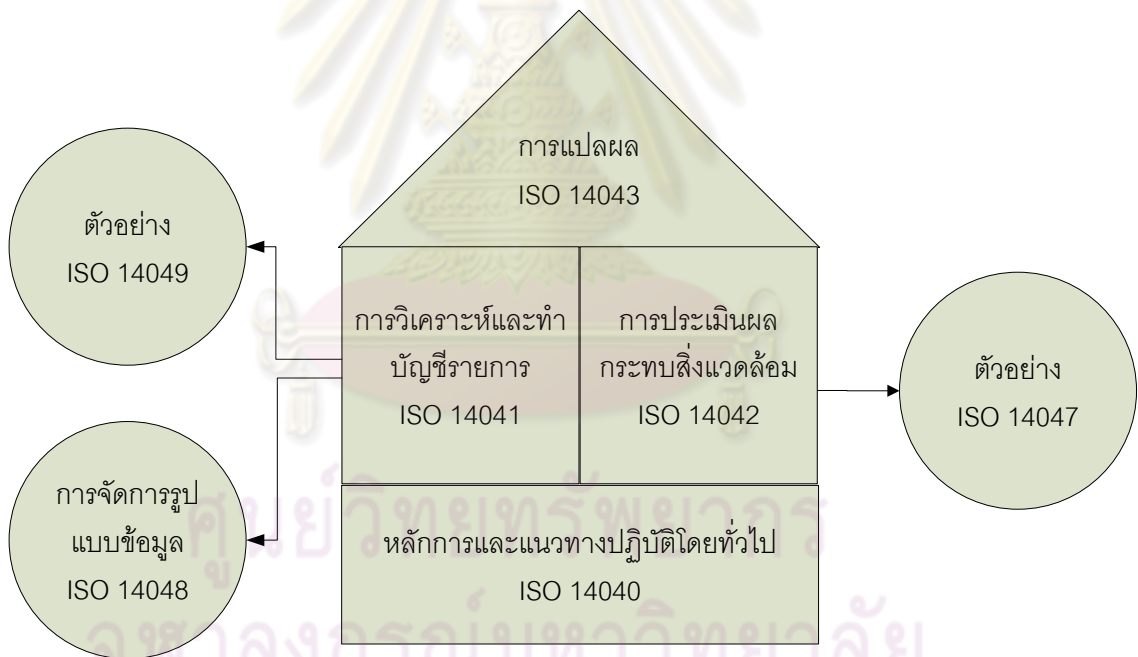
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment)

3.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อเป็นทางเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 มีทั้งหมด 7 ฉบับดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดย LCA จะประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานกับ LCA [16]

3.2 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

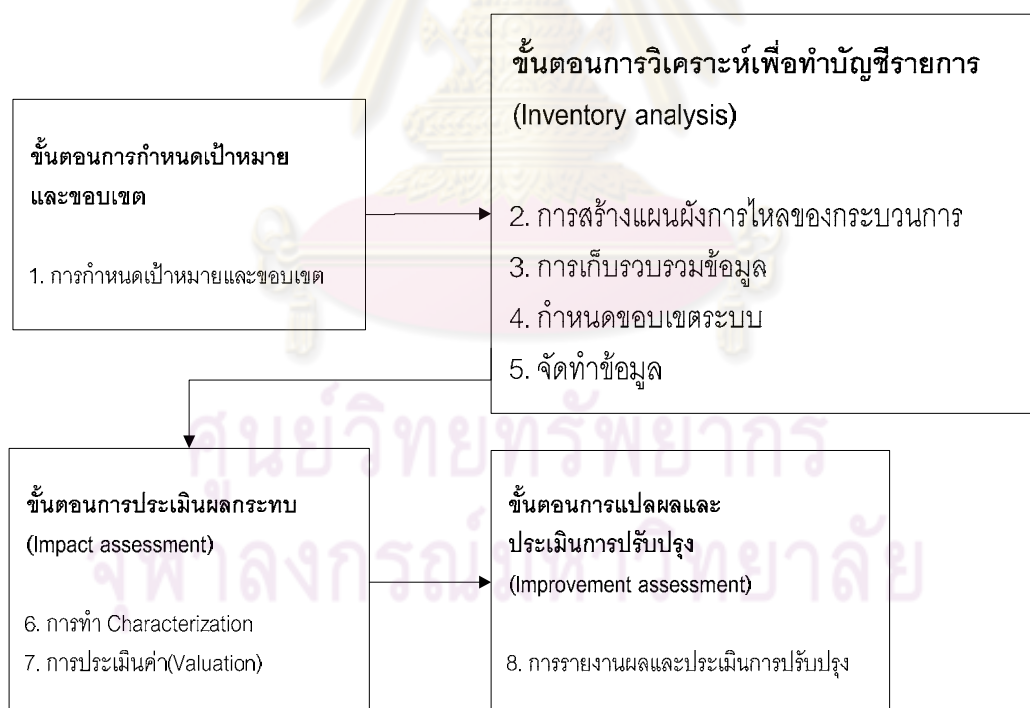
LCA มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลจากข้อมูล
 สารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

3.3 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

เพื่อเลือกการใช้สารตั้งต้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและนำไปสู่
 การใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณภาพ

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต

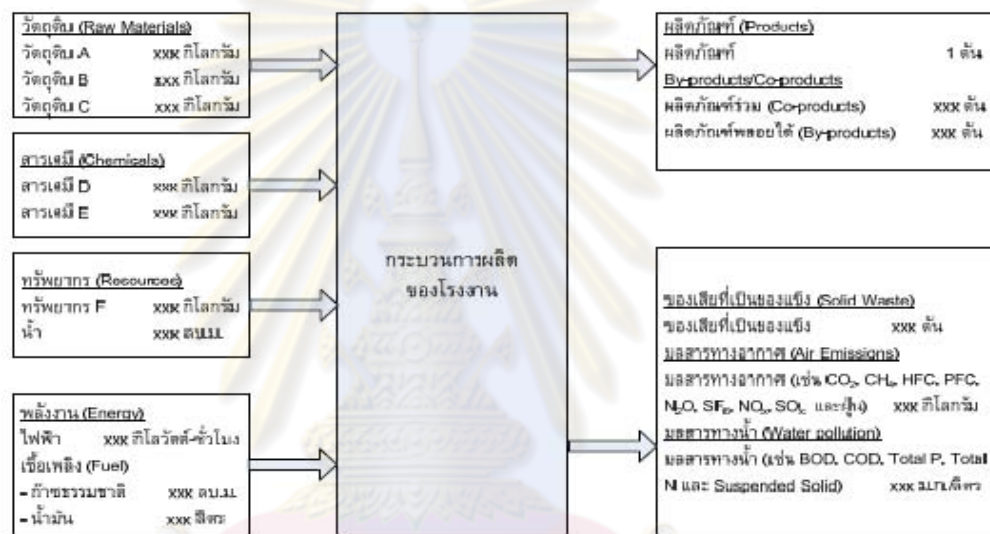
ในการศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA [16]

- ขั้นที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประเมิน หน้าที่
 ของผลิตภัณฑ์ที่จะนำ ไปใช้งาน

- ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาซึ่งรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการ การเก็บข้อมูล การกำหนดขอบเขตระบบ และการระบุชนิดและปริมาณของการใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงาน และการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิเคราะห์ปัญหาซึ่งรายการ [16]

- ขั้นที่ 3 การประเมินผลกระทบ เป็นการแปลงค่าข้อมูลจากขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งรายการ เพื่อใช้ในการแปลผลกระทบประกอบด้วย การจำแนกกลุ่มของการจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification) และการทำค่านวณผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐาน (Characterization)
- ขั้นที่ 4 การแปลผล คือการวิเคราะห์ผลลัพธ์ เพื่อนำมาสรุปและอธิบายผลลัพธ์จากนั้น ทำรายงานการศึกษาให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขต

3.5 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษา LCA ใช้ข้อมูลที่ละเอียดและตัวเลขจำนวนมาก จึงมีการนำโปรแกรมเข้าช่วยวิเคราะห์ผล โดยโปรแกรมที่นำมาใช้สะดวกสบาย รวดเร็วและมีคุณภาพ เดิมใช้โปรแกรม

Microsoft Excel ในการคำนวณ แต่ในปัจจุบันมีโปรแกรมเฉพาะสำหรับ LCA ที่ไปใช้กับกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนหลายขั้นตอนได้ให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตที่นิยมในปัจจุบัน

โปรแกรม	Gabi	SimaPro	Umberto	Gabi
ประเทศผลิต	เยอรมัน	เนเธอร์แลนด์	ฝรั่งเศส	เยอรมัน
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้	>150	>300	>100	>150
ราคา(\$)	12200	4800	50000	7900
วิธีในการประเมินผลกระทบ	Eco Indicator	EI95, EI99, CML, EDIP, EPS, IMAPCT 2002+	CML, EPA, IPCC	Eco Indicator, Swiss eco point

3.5.1 โปรแกรม SimaPro (System for Intergated Environmental Assessment of Product) [17]

บริษัท Pre Consultants ก่อตั้งเมื่อปี 1990 โดย Mr. Mark Goedkoop มุ่งเน้นการจัดเกี่ยวกับ LCA และการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์และการบริการด้วยโปรแกรมที่เป็นที่รู้จักกันดี ในชื่อของ SimaPro

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล
2. การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
3. การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินผลกระทบหลายแบบ ประกอบด้วย CML 1992, Eco-indicator, EDIP, EPS 2000, IMACT 2002+

ในส่วนของขั้นตอนการประเมินผลกระทบ การเลือกวิธีการประเมินผลกระทบมีความสำคัญมาก เพื่อให้การสรุปผลมีความถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย

ปัจจัยแรก ประเภทของผลกระทบ (Impact Category) ให้มีความสอดคล้องกับขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา

ปัจจัยที่สอง การประเมินผลกระทบต้องมีความสัมพันธ์กับการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมกับสารฐาน เนื่องจากวิธีการประเมินผลกระทบแต่ละประเภทมีสารฐานที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน

ถ้ามีการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้สารเคมีและกิจกรรมต่างๆนั้นจะไม่ถูกแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่รายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม จึงทำให้สุดท้ายมีความผิดพลาด แสดงดังตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบ

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบ

วิธีการประเมินค่าผลกระทบ	ประเภทผลกระทบ	ลักษณะที่เน้นในการวิเคราะห์
CML	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์	ภาพรวม
EDIP	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์	การทำลายโอโซน (Ozone depletion)
EPS	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์ ความหลากหลายทางชีวภาพ	ความสูญเสียทางชีวภาพ (อัตราการเจริญเติบโตของพืช)
Eco-indicator	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์ และทรัพยากร	เน้นสุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์ มีการวิเคราะห์ทาง ด้านทรัพยากรด้วย
IMPACT 2002+	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์ การเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ และทรัพยากร	มีการวิเคราะห์ พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ ใหม่และผลกระทบ ของการสกัดดินแร่

จากปัจจัยการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบและตารางที่ 3.5 จะเห็นว่าวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+ มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้เนื่องจากมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมทั้งมีความครอบคลุมระหว่างการใช้ทรัพยากร

และการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+

3.5.2 การประเมินค่าผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+

การประเมินค่าผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+ เป็นการวิเคราะห์ที่พัฒนาจาก Eco-indicator 99 และ CML 2002 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกการจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification) และการคำนวณผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐาน (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score)

3.5.2.1 การประเมินค่าผลกระทบด้วยวิธี IMPACT 2002+ มีทั้งหมด 14 ผลกระทบ

สุขภาพมนุษย์ (Human health) ประกอบด้วย

- ผลกระทบที่เกิดกับมนุษย์จากสารก่อมะเร็ง (Human toxicity)
- ผลกระทบที่ต่อทางเดินหายใจ (Respiratory effects)
- สารแผ่รังสี (Ionizing radiation)
- โฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ (Photochemical oxidation)

ผลกระทบต่อนิเวศวิทยา (Ecosystem quality)

- สารแผ่รังสี (Ionizing radiation)
- ความเป็นพิษในน้ำ (Aquatic ecotoxicity)
- ความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity)
- แหล่งน้ำเป็นกรด (Aquatic acidification)
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Aquatic eutrophication)

- ทรัพยากรดินเป็นกรด (Terrestrial acid/nutri)
- การใช้ที่ดินในการฝังกลบ (Land occupation)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change)

- ภาวะโลกร้อน (Global warming)

ทรัพยากรที่ลดลง (Resources)

- พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Non-renewable energy)
- ผลกระทบที่เกิดจากการสกัดสินแร่ (Mineral extraction)

ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1. การคำนวณผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐาน (Characterization)

เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ปล่อยออกมา กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยทำการแปลงค่าสารแต่ละกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงสารพื้นฐาน

แสดงหน่วยดังตารางที่ 3.3 มีหลักการคำนวณดังนี้

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij}) \quad (i)$$

เมื่อ EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

สำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทาง

สิ่งแวดล้อม j

2. ความสามารถในการก่อให้เกิดอันตราย (Damage)

ความสามารถในการก่อให้เกิดอันตรายดังแสดงหน่วยในตารางที่ 3.3 แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนักของกับจำนวนปีที่เจ็บป่วยจะแสดงในหน่วยเป็น DALYs

ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเสียหายกับการสูญหายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อม แสดงในหน่วยเป็น $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ (PDF: Potentially Disappeared Fraction)

ผลของการลดลงของทรัพยากร คือ การสร้างความสัมพันธ์ของการลดลงของทรัพยากร เช่นพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แสดงเป็นหน่วยเป็น MJ มีหลักการคำนวณดังนี้

$$S_D = \sum (Q_i \times DF_{dm}) \quad (\text{ii})$$

เมื่อ S_D (Damage score) คือ ความสามารถในการก่อให้เกิดอันตราย สำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา

DF_{dm} (Equivalency factor) คือ ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดอันตรายของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j

ตารางที่ 3.3 หน่วยของผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐานและหน่วยของความสามารถในการก่อให้เกิดอันตราย

Midpoint category	Midpoint reference substance	Damage category	Damage unit	Normalized unit
Human toxicity (carcinogens + non-carcinogens)	kg _{eq} chloroethylene into air	Human health	DALY	Point
Respiratory (inorganics)	kg _{eq} PM2.5 into air	Human health		
Ionizing radiations	Bq _{eq} carbon-14 into air	Human health		
Ozone layer depletion	kg _{eq} CFC-11 into air	Human health		
Aquatic ecotoxicity	kg _{eq} triethylene glycol into water	Ecosystem quality	PDF·m ² ·yr	
Terrestrial ecotoxicity	kg _{eq} triethylene glycol into soil	Ecosystem quality		
Terrestrial acidification/nutrication	kg _{eq} SO ₂ into air	Ecosystem quality		
Aquatic acidification	kg _{eq} SO ₂ into air	Ecosystem quality	n/a	n/a
Aquatic eutrophication	kg _{eq} PO ₄ ³⁻ into water	Ecosystem quality	n/a	n/a

Midpoint category	Midpoint reference substance	Damage category	Damage unit	Normalized unit
Land occupation	m ² _{eq} organic arable land·year	Ecosystem quality	PDF·m ² ·yr	point
Global warming	kg _{eq} CO2 into air	Climate change (life support system)	kg _{eq} CO2 into air	Point
Non-renewable energy	MJ Total primary non-renewable or kg _{eq} crude oil	Resources	MJ	
Mineral extraction	MJ additional energy or kg _{eq} iron (in ore)	Resources		

3. การเทียบหน่วย (Normalization)

เป็นขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมในภาพรวม ขั้นตอนนี้จะทำการเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาที่กำหนด แสดงดังตารางที่ 3.4 มีหลักการคำนวณดังนี้

$$NP_{j(\text{product})} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (\text{iii})$$

เมื่อ $NP_{j(\text{product})}$ (Normalized Environmental Impact Potential) คือ ค่ามาตรฐานของ ศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์

T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ที่เกิด จากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

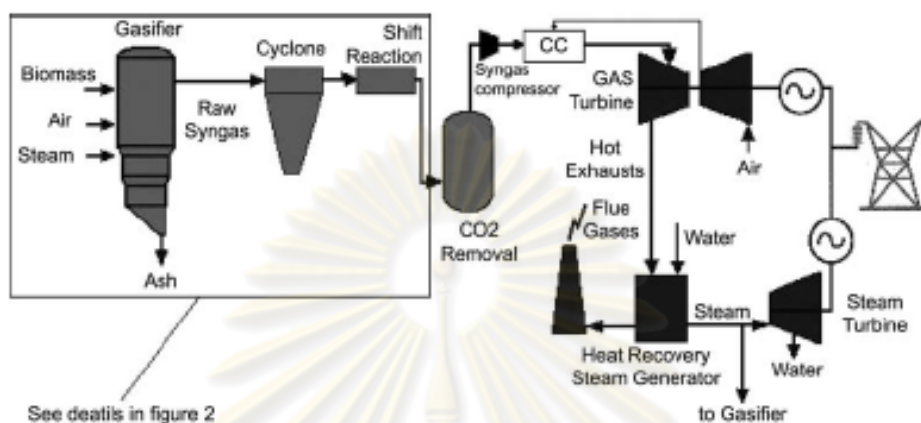
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าการเทียบหน่วย โดยพิจารณารายการการเกิดอันตราย (damage/points)

Damage categories	Normalized Environmental Impact Potential ($NP_{j(\text{product})}$)	Unit
Human Health	0.0071	DALY/point
Ecosystem Quality	13,700	PDF.m2.yr/point
Climate Change	9,950	kg CO ₂ into air/point
Resources	152,000	MJ/point

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Andrea Corti, Lidia Lombardi [3] ได้วิเคราะห์การประเมิน LCA ของกระบวนการการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน (IGCC) เทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล (IBGCC) พบว่า IGCC ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิต 700-800 kg CO₂/เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง ในขณะที่ IBGCC ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิต 167 kg CO₂/เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง โดยแผนผังของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ประกอบด้วย 2 กระบวนการผลิต คือ Shift reaction section (IBGCC) และ CO₂ chemical

absorption process (DeCO₂ unit) ดังรูปที่ 3.4 และจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

โดยโปรแกรม Aspen Plus ถูกกำหนดให้อยู่ในสภาวะดังตารางที่ 3.5



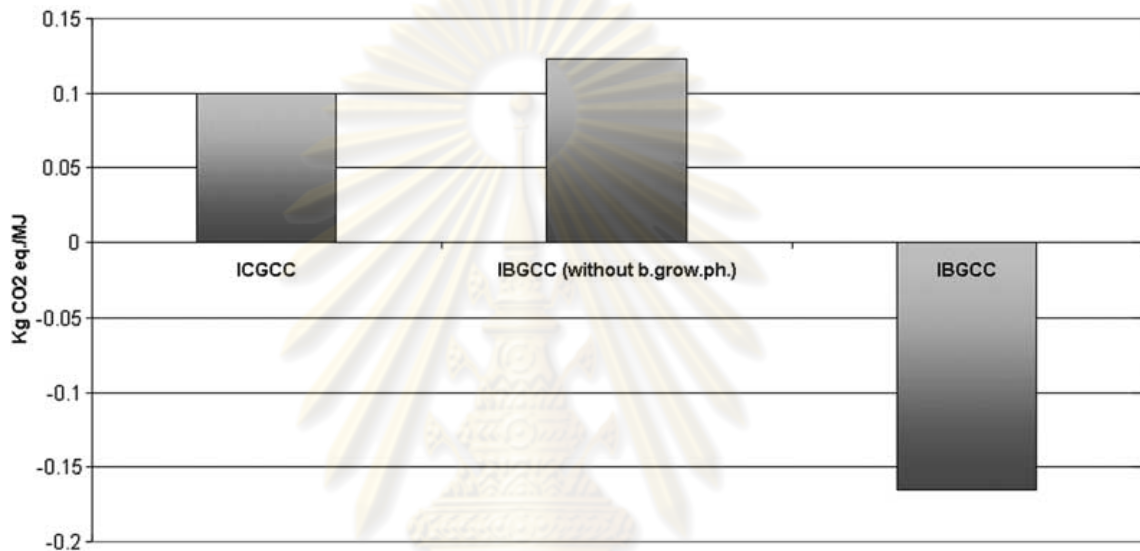
รูปที่ 3.4 กระบวนการ IBGCC + DeCO₂

ตารางที่ 3.5 แสดงถึงสภาวะของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

Feeding biomass mass flow rate [ton/day]	1000
Biomass LHV [kJ/kg]	18000
Gasification pressure [atm]	1
Cyclone efficiency [%]	95
Reaction temperature [°C]	900
Shift section Air/flow rate ratio	2.4
THE1 [°C]	288
TGAS [°C]	870

จากงานวิจัยของ Matteo Carpentieri [4] ได้ทำการประเมิน LCA ของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่ปราศจากการกำจัด CO₂ และกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีการกำจัด CO₂ โดยอ้างอิงสภาวะกระบวนการผลิตจาก Andrea [3] ดังรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของการคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าและ

ส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก จากเห็นว่า กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีการกำจัด CO₂ ของ Brayton/Hirn มีผลกระทบที่ทำให้เกิดภาวะโดลกร้อนน้อยที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินและกระบวนการผลิตชีวมวลโดยปราศจากการกำจัด CO₂ ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบภาวะเรือนกระจกของแต่ละกระบวนการผลิตไฟฟ้า

ขั้นตอนวิจัยในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลพบว่า สภาพอากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเป็นดังนี้ อัตราการปล่อยสารตั้งต้น 1000 ตันต่อวัน อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ 900 องศาเซลเซียส อัตราอากาศที่ป้อนเข้าในถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน 2.4 ซึ่งสอดคล้องกับ [5] ที่ว่าสภาพข้างต้นนี้จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดด้วย

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์

4.1.1 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and Scope Definition)

4.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

- เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์และพลังงานไฟฟ้าที่ได้ของแต่ละกระบวนการ โดยแต่ละกระบวนการจะใช้สารตั้งต้นต่างกัน
- ขอบเขตงานวิจัยครอบคลุมตั้งแต่นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการไพโรไลซิสแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้าและประเมินผลกระทบ

4.1.1.2 หน่วยหน้าที่ (Functional unit)

หน่วยหน้าที่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้คือ ปริมาณการผลิตไฟฟ้า 1 MW

4.1.1.3 ข้อสมมติฐานและข้อจำกัด (Limitation and Assumption)

เนื่องจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งยังไม่ได้อยู่ในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความจากเอกสารวิชาการระดับนานาชาติ และวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย และใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรม SimaPro

4.1.2 การทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory: LCI)

ในขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการใช้วัตถุดิบ พลังงาน รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง โดยทำสมดุลมวลสารและพลังงานซึ่งงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ และใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

4.1.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ใช้วิธีการประเมินแบบ Impact 2002+ เป็นวิธีในการแยกประเภทและหาค่าผลกระทบ คือ การทำคำนวณผลกระทบจากสารเทียบกับสารฐาน (Characterization) เพื่อทราบถึงปริมาณหรือค่าน้ำหนักผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ การเทียบหน่วย (Normalization) และการทำให้น้ำหนักผลกระทบมีคะแนนเดียว (Single score) ซึ่งค่าแฟกเตอร์ (Factor) สำหรับนำมาคูณกับข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Impact 2002+

4.1.4 แปลผลการวิเคราะห์ (Life Cycle Interpretation)

ในขั้นตอนการแปลผลกระทบ เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง ทำให้สามารถชี้ได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้คุณภาพทางสิ่งแวดล้อมดีขึ้น

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

4.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

Hardware AMD (Athlon) 2200+

1.8 GHz, 256 GB of RAM

4.2.2 โปรแกรม Window XP®

4.2.3 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®

4.2.4 โปรแกรม Microsoft Office XP®

4.2.5 โปรแกรม Aspen plus



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง

งานวิจัยนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งได้แก่ ฟางข้าว กะลาปาล์ม แกลบ และ ชานอ้อย โดยประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดของการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งซึ่งมีผลกระทบ 4 ด้าน ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อนิเวศวิทยา (Ecosystem quality) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) และทรัพยากรที่ลดลง (Resources) โดยทำการเปรียบเทียบผลกระทบแต่ละด้านกับการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด โดยสภาวะที่ใช้ในการประเมินคือ อัตราการปล่อยสารตั้งต้น 1000 ตันต่อวัน อุณหภูมิถึงปฏิกรณ์ 900 องศาเซลเซียสและอัตราการปล่อยอากาศต่อสารตั้งต้นในถึงปฏิกรณ์ 2.4 [3,5]

5.1.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory)

การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องมีการเก็บข้อมูลของสารขาเข้า พลังงาน และสารขาออก กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากโปรแกรม Aspen plus ดังตารางที่ 5.1

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด

สลายเข้า(kg/hr)	แกลบ (Rice husk)	ฟางข้าว (Rice straw)	ชานอ้อย (Sugar cane trash)	กะลาปาล์ม (Palm oil shell)
C	428.0108	428.5388	443.1189	460.6613
S	0.448531	0.457352	1.810822	0.207318
O ₂	395.6044	380.4025	398.594	359.6973
CL ₂	1.009195	1.029042	0.106519	0.207318
H ₂ O	4.34E+05	4.34E+05	4.34E+05	4.34E+05
H ₂	56.29065	50.42305	54.11163	51.93324
N ₂	6.5037	1.943746	4.260758	2.902457
การใช้พลังงานความร้อน (Cal/sec)				
Heat exchanger	922.998	922.998	922.998	922.998

ตารางที่ 5.2 ปริมาณสารขาออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิด

สลายออก (kg/hr)	แกลบ (Rice husk)	ฟางข้าว (Rice straw)	ชานอ้อย (Sugar cane trash)	กะลาปาล์ม (Palm oil shell)
CL ₂	38	0	4	8
H ₂ O	11193	11046	9233	7835
H ₂	776	967	1144	1408
CO ₂	39427	39029	40001	39049
CO	4611	5748	8396	11651

สายขาออก	แกลบ (Rice husk)	ฟางข้าว (Rice straw)	ชานอ้อย (Sugar cane trash)	กะลาปาล์ม (Palm oil shell)
N ₂	77036	77184	77066	76930
NH ₃	0	6	10	19
H ₂ S	18	40	75	9
พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากระบบ (Cal/sec)				
Heat exchanger	922.998	922.998	922.998	922.998
พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น(MW)				
NET Power	53.34	54.43	54.80	56.04

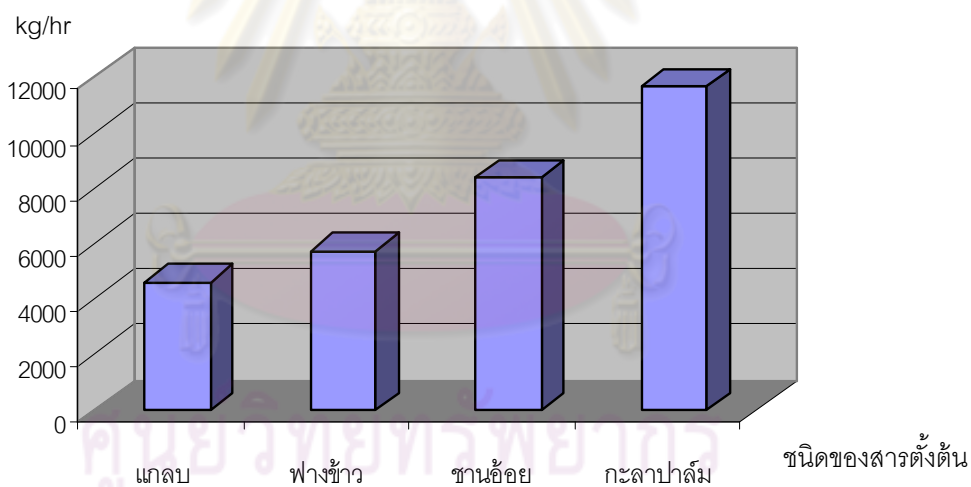
5.1.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบในวิธี IMPACT 2002+ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ด้านโดยผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าแต่ละวัสดุเหลือทิ้ง แต่ละด้านสามารถอธิบายแยกย่อยเป็น 14 ประเภทได้ดังต่อไปนี้

5.1.2.1 ผลกระทบที่มีผลกับสุขภาพมนุษย์ (Human health)

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิดได้ปล่อยสารที่มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แอมโมเนีย (NH₃) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และคลอรีน (Cl₂) ซึ่งคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้น มีผลทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจ เนื่องจากได้รับปริมาณไขมันในหลอดเลือดสลายตัวได้ ในขณะที่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อระบบการหายใจ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ สามารถก่อให้เกิดอาการระคายเคืองได้ สารนี้เข้าไปทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ การเดินทาง ไต ท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ เมื่อหายใจเข้าไปทำให้เวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้า

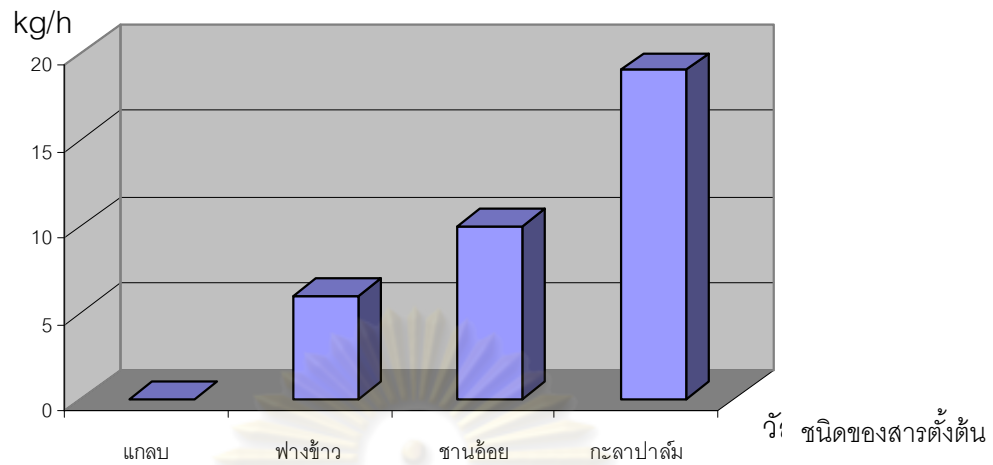
ได้รับสารปริมาณมากจะทำให้หมดสติ กรณีก๊าซคลอรีนเมื่อสัมผัสกับความชื้นตามเยื่อผิวหนังจะทำให้กรด Hydrochloride มีฤทธิ์ระคายเคืองต่อผิวหนัง เยื่อตา ช่องปาก และระบบทางเดินหายใจ ทำให้มีอาการแสบผิวหนังและตา ใจ แน่นหน้าอก หอบเหนื่อย ในรายที่รุนแรงสามารถทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมปอดได้ ดังนั้นเราจึงเปรียบเทียบปริมาณสารคาร์บอนมอนนอกไซด์ ปริมาณสารแอมโมเนียและปริมาณสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตไฟฟ้า จากรูปที่ 5.1 พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจ มากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ



รูปที่ 5.1 ปริมาณสารคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

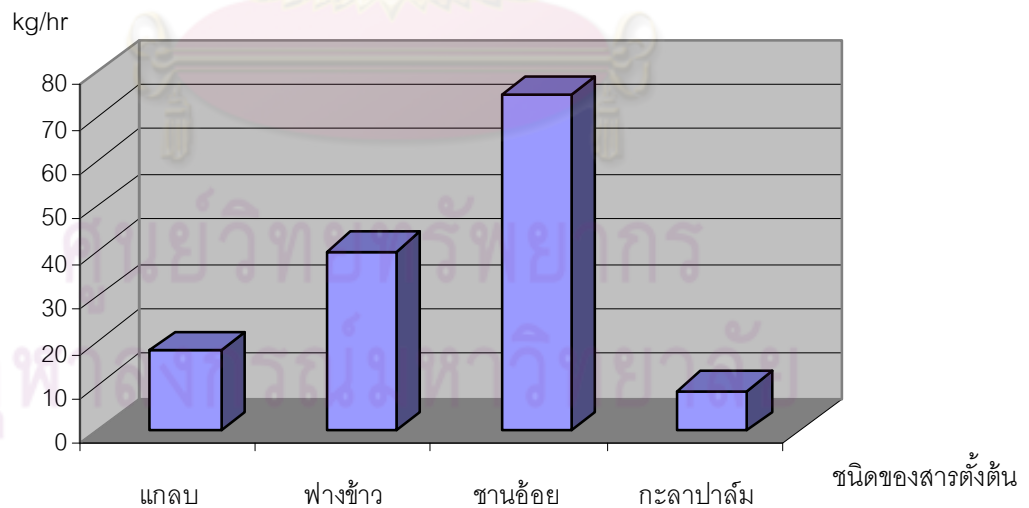
จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่

5.2 ทำให้เราทราบว่าแอมโมเนียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มผลกระทบต่อระบบการหายใจมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ



รูปที่ 5.2 ปริมาณแอมโมเนียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

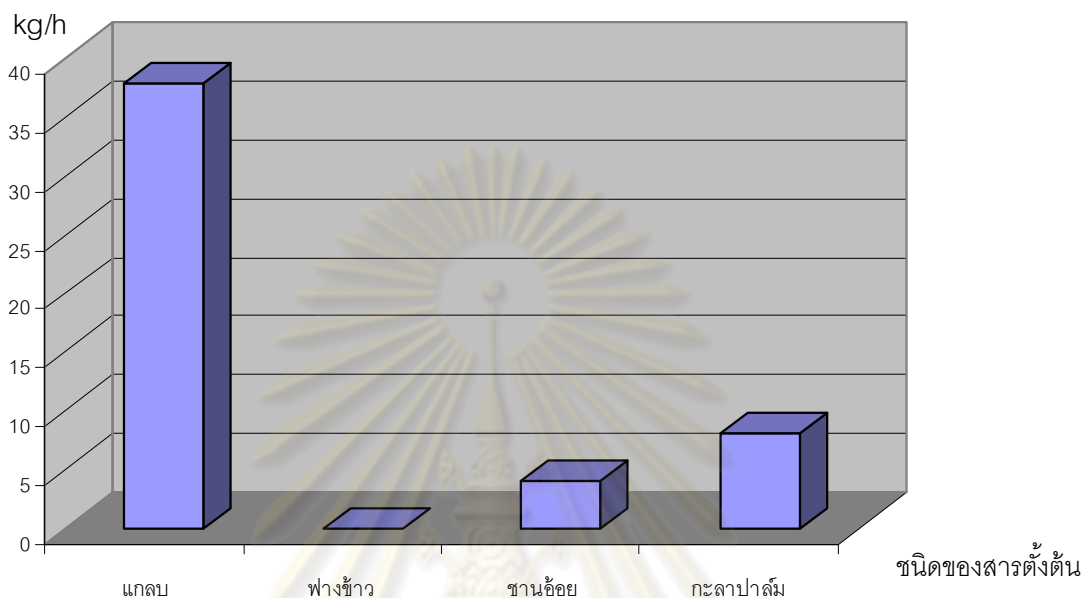
หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 5.3 ทำให้เราทราบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าว กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์ม



รูปที่ 5.3 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

สุดท้ายทำการเปรียบเทียบปริมาณคลอรีนที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 5.4 ทำให้เราทราบว่าคลอรีนในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อผิวหนัง เยื่อตา

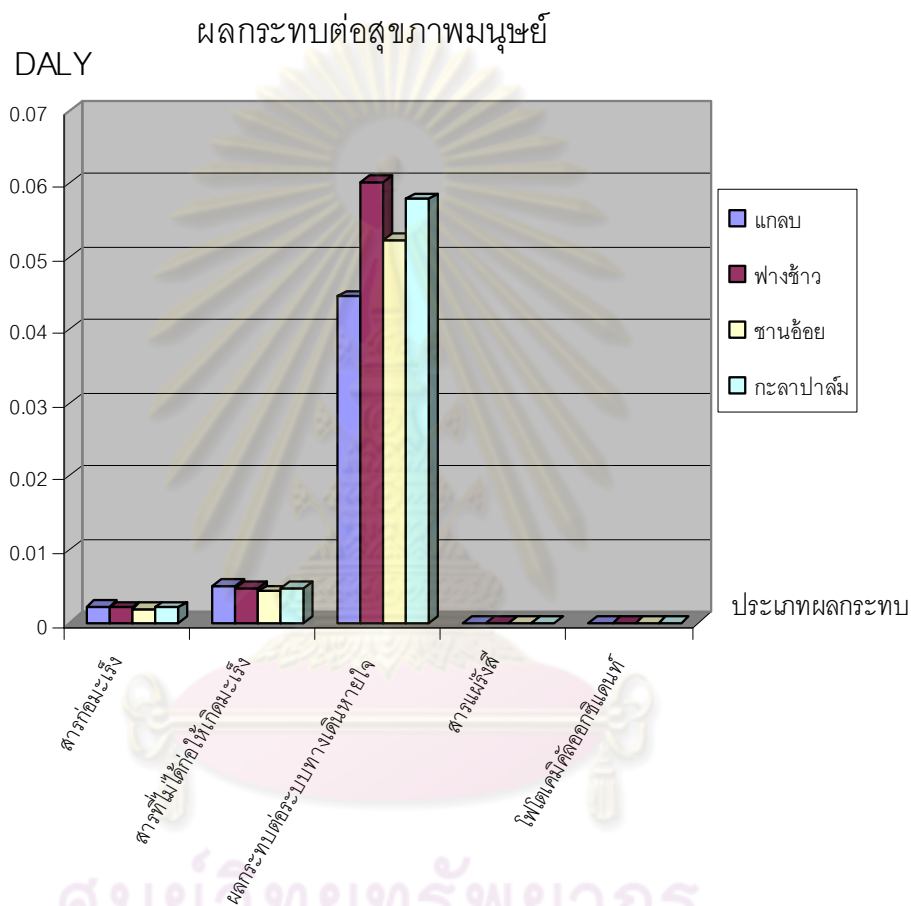
ช่องปาก และระบบทางเดินหายใจได้มากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลา
ปาล์ม กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ



รูปที่ 5.4 ปริมาณคลอรีนที่ออกมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ในภาพรวม จากโปรแกรม Simapro
วิธี IMPACT 2002+ ประกอบด้วย อัตราการเกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) อัตราการเกิดสารที่
ไม่ได้ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ผลกระทบที่ต่อทางเดินหายใจ (Respiratory effects) สารแผ่
รังสี (Ionizing radiation) และโฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ (Photochemical oxidation) ดังรูปที่ 5.4
แสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้านี้จะไม่
มีผลกระทบด้านการแผ่รังสีและโฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ ในขณะที่มีผลกระทบด้านระบบทางเดิน
หายใจมากที่สุดโดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าฟางข้าว 0.067 DALY อันเกิดจากแอมโมเนีย จะแสดง
ค่าศักยภาพในภาคผนวก ข รองลงมาคือกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์ม 0.061 DALY
กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย 0.0524 DALY และกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ
0.0446 DALY ตามลำดับ อัตราการเกิดสารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็ง (สารจำพวกนี้ทำให้

สุขภาพเสื่อมลง) พบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินมีอัตราการเกิดสารก่อมะเร็งมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มและฟางข้าว และกระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก ชานอ้อย ซึ่งปริมาณไม่ต่างกันมากนัก

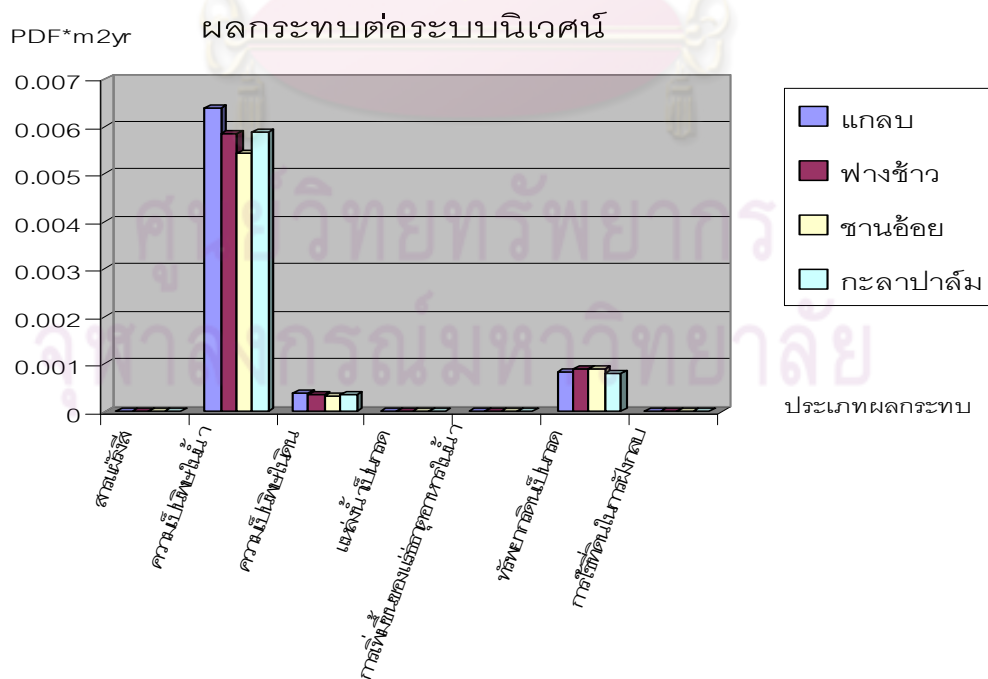


รูปที่ 5.5 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

5.2.2 ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem quality)

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ประกอบด้วยหลายประเภท ซึ่งจากการประเมินผลกระทบโดยใช้โปรแกรม Simapro พบว่าสารที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีปริมาณดังรูปที่ 5.3 สารชนิดนี้ก่อให้เกิดมลพิษทางดิน (Land Pollution) เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายในน้ำจะทำให้ดินเปรี้ยวจัดและยับยั้งการทำงาน

ของรากต้นไม้ ทำให้มีผลกระทบทางด้านดินเป็นกรดและความเป็นพิษในดินแล้วเมื่อดินถูกพัดไป
 ยังแหล่งน้ำไฮโดรเจนซัลไฟด์จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชน้ำจืดให้เกิดมลพิษทางน้ำ
 (Water pollution) เมื่อแหล่งน้ำขาดออกซิเจนสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้นจะตายรวมถึงไฮโดรเจนซัล
 ฟाइด์ยังก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือก๊าซไข่เน่า จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมาก
 ที่สุดคือความเป็นพิษในน้ำ โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน กระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก
 กะลาปาล์ม กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย จากมาก
 ไปหาน้อยตามลำดับ ผลกระทบที่รองลงมาคือผลกระทบทางด้านทรัพยากรดินเป็นกรด โดย
 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวและชานอ้อยให้ผลกระทบมากที่สุด กระบวนการผลิตไฟฟ้า
 จากกะลาปาล์มและถ่านหินให้ผลกระทบเท่ากัน ส่วนผลกระทบสุดท้ายที่เกิดขึ้นคือความเป็นพิษใน
 ดิน ซึ่งกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเกิดขึ้นมากที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตไฟฟ้ากระบวนการ
 อื่นมีความเป็นพิษในดินเท่ากัน

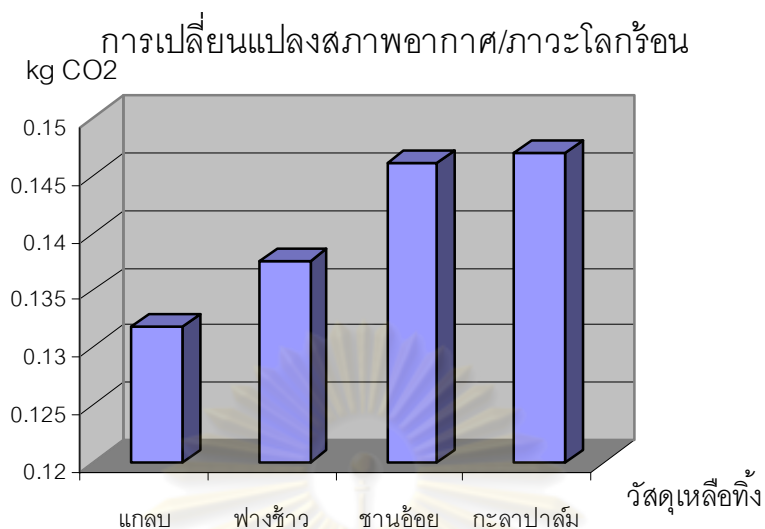


รูปที่ 5.6 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) หรือภาวะโลกร้อน (Global warming) คือ การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นจากก๊าซเรือนกระจกหรือที่เราคุ้นกันดีในชื่อ Greenhouse effect โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งได้มีสารที่ออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าแล้วส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และคลอรีน (Cl_2) โดยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศมากขึ้น ทำให้ชั้นบรรยากาศเพิ่มการกักเก็บความร้อนไว้ในโลกของเรามากขึ้นเรื่อยๆจนเกิดเป็น ภาวะโลกร้อน การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จะลอยขึ้นไปทำปฏิกิริยากับโอโซนบนชั้นโอโซน $\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g})$ ซึ่งผลิตภัณฑ์หลังเกิดปฏิกิริยา คือ $\text{O}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ สะสมอยู่ในบรรยากาศ ส่วนก๊าซคลอรีนนั้นไปทำลายชั้นโอโซน โดยไปทำปฏิกิริยาเคมีกับโมเลกุลของแก๊สโอโซน เกิดเป็น ClO และ ClO_2 จากกรณีผลกระทบบภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตไฟฟ้านี้แสดงดังรูปที่ 5.7 พบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มเกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด รองลงมาคือกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบตามลำดับ

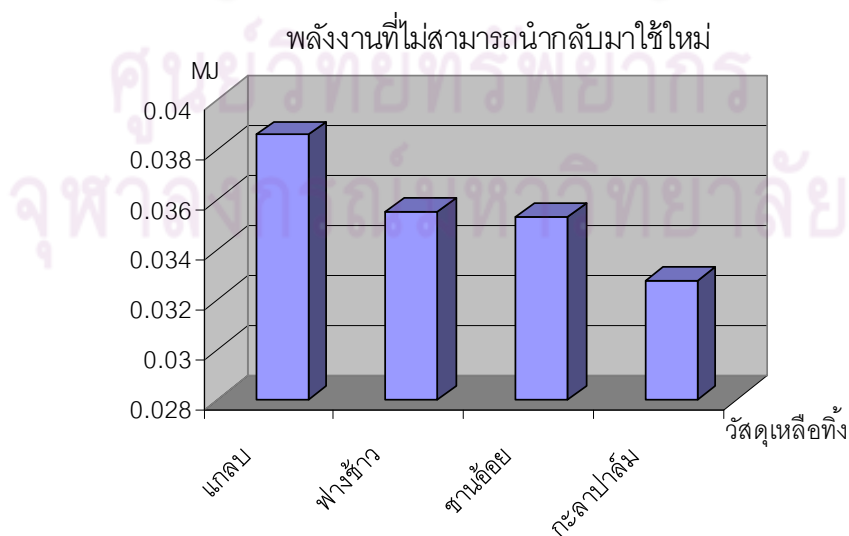
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

5.2.4 ทรัพยากรที่ลดลง (Resources)

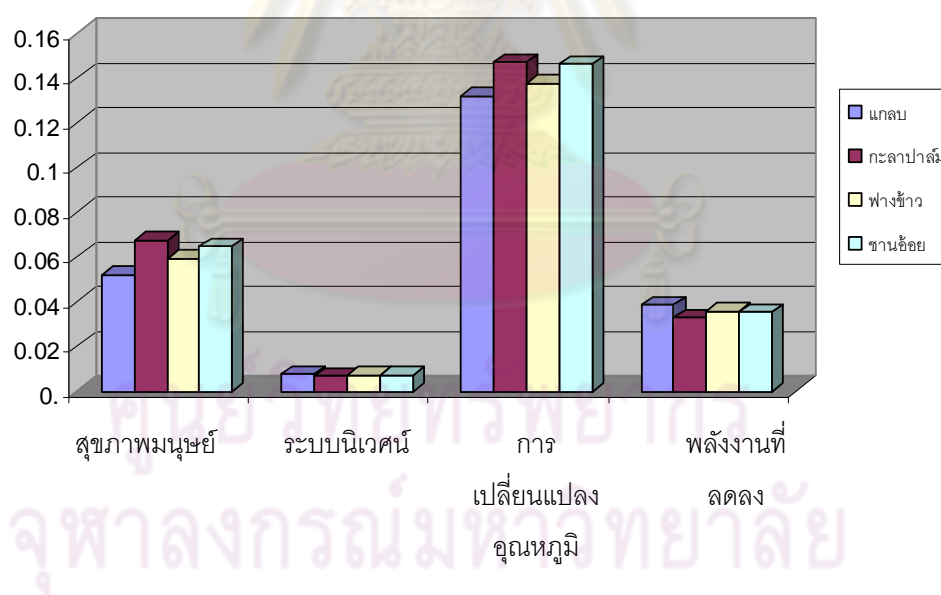
ทรัพยากรที่ลดลง (Resources) หมายถึง พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแสดงดังรูปที่ 5.8 พบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบไม่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุด รองลงมาคือกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าว กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์ม



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบการลดลงของทรัพยากรจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

5.2 เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง

การเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งเนื่องจากผลกระทบที่เกิดกระบวนการผลิตมีหลายประเภท แบ่งเป็น 4 ด้านได้แก่สุขภาพมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem quality) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) และทรัพยากรที่ลดลง (Resources) โดยเราดูจากปริมาณผลกระทบทั้ง 4 ด้านของกระบวนการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละประเภทดังรูปที่ 5.9 พบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทุกชนิดบ่งชี้ให้เห็นว่าผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และทรัพยากรที่ลดลง ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 4 ด้านของ

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง

จากนั้นทำการเลือกกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิดโดยเลือกกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยที่สุด ถือเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 5.9 พบว่า

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มมีผลกระทบมากที่สุด ในขณะที่กระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก
ชานอ้อยและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวมีผลรองลงมาตามลำดับ และกระบวนการผลิต
จากแกลบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีที่มุ่งเน้นการประเมินผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคูณภาพเชิงปริมาณ นอกจากนี้ยังสามารถระบุสิ่งที่ควรปรับปรุง อันเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในการลดทรัพยากรต่างๆ รวมถึงของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง เนื่องจากปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบด้านต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมรวมถึง วิเคราะห์และเลือกสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สุด

จากการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้ฐานข้อมูลของโปรแกรม Simapro วิธีการประเมินแบบ IMPACT 2002+

1. กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรก่อให้เกิดผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ ได้แก่อัตราการเกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) อัตราการเกิดสารที่ไม่ได้ก่อมะเร็ง (Non-carcinogens) ผลกระทบที่ต่อทางเดินหายใจ (Respiratory effects) โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบมีผลกระทบที่ต่อทางเดินหายใจน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบกลับก่อให้เกิดอัตราการเกิดสารที่ไม่ได้ก่อมะเร็งมากที่สุด ส่วนอัตราการเกิดสารก่อมะเร็งกระบวนการผลิตไฟฟ้าส่งผลในปริมาณที่ใกล้เคียงกันมาก

2. กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ โดยผลกระทบจากความเป็นพิษทางน้ำเกิดขึ้นมากที่สุดในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบ ในขณะที่กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยมีผลกระทบจากความเป็นพิษทางน้ำเกิดขึ้นน้อยที่สุด
3. กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มเกิดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือภาวะโลกร้อนมากที่สุด ในขณะที่กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบมีผลกระทบน้อยที่สุด
4. การประเมินผลทางด้านพลังงานพบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบไม่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุดและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากกะลาปาล์มสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุด
5. เมื่อประเมินผลกระทบแต่ละประเภทเทียบกันพบว่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดขึ้นมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบจากผลกระทบที่มากที่สุดพบว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแกลบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรขยายขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางแบบ Cradle-to-Grave
2. ในส่วนของการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้ง ควรพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบกับการผลิตไฟฟ้าแบบอื่นด้วย

รายการอ้างอิง

- [1] มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. โครงการศึกษาการขยายระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (ม.ป.ท.), 2552.
- [2] มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. มาตรการด้านพลังงานที่ควรดำเนินการใน 99 วันแรก พ.ศ. 2551 (ม.ท.ป.), 2551.
- [3] Andrea, C., et al. Biomass integrated gasification combined cycle with reduced CO₂ Emissions. Energy 29 (2004) : 2109-2124.
- [4] Matteo, C. Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO₂ removal. Energy Conversion and Management 46 (2005) : 1790–1808.
- [5] Sirivikorn, S. Study of biomass-based integrated gasification combined cycle (IGCC) from agricultural residues in Thailand. Master's thesis, Department of Chemical engineering Chulalongkorn university, 2007.
- [6] ปาริชาติ พรหมดวง และพงษ์ชล อภิวัฒนานนท์. การไฟโรไลซิส/การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลในหน่วยผลิตไอดีแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [7] Osvalda, S. Kinetics of pyrolysis, combustion and gasification of three biomass fuels. Fuel Processing Technology 88 (2007) : 87–97.

- [8] Hans, L., et al. HTHP syngas cleaning concept of two stage biomass gasification for FT synthesis. Power Technology 180 (2008) : 265–270.
- [9] Mook, T.L., and A. Zainal. Bubbling fluidized bed biomass gasification performance process findings and energy analysis. Renewable Energy 33 (2008) : 2339–2343.
- [10] Tsai, W.T., et al. Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor, Journal of Analysis and Apply Pyrolysis 76 (2006) : 230–237.
- [11] Magín, L., et al. Gasification and co-gasification of biomass wastes Effect of the biomass origin and the gasifier operating conditions. FUEL PROCESSING TECHNOLOGY (2008) : 828–837.
- [12] Pickett, M. Modeling the Performance and Emissions of British Gas/Lurgi-Based Integrated Gasification Combined Cycle Systems. Master's thesis, Department of Civil Engineering North Carolina State University, 2000.
- [13] วิศิษฐ์ สี่ลาผาดิกุล. การศึกษานผลของอากาศทุติยภูมิต่อประสิทธิภาพการดักฝุ่นในไซโคลนหลายชั้น วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2550.
- [14] มานะ อมรกิจบำรุง และสามารท พรเจริญ. การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ประสิทธิภาพสูง. ประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 (2548) : 1-6.

- [15] Akunuri, N. Modeling the performance, emissions, and cost of Texaco gasifier-based Integrated Gasification Combined Cycle system. Master's Thesis, Department of Civil Engineering North Carolina State University, 1999.
- [16] Angelantonio, R., et al. Life Cycle Assessment of electricity production from poplar energy crops compared with conventional fossil fuels. Energy Conversion & Management 40 (1999) : 1477-1493.
- [17] Lidia, L. Life cycle assessment comparison of technical solutions for CO₂ emissions reduction in power generation. Energy Conversion and Management 44 (2003) : 93-108.
- [18] Aspen Technology. Aspen plus [online]. (n.d.). Available from : <http://www.aspentech.com> [2006].
- [19] Xie, C. Modeling the Performance and Emissions of Integrated Gasification Combined Cycle Based Lurgi Ammonia Synthesis System. Master's thesis, Department of Civil Engineering North Carolina State University, 2001.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



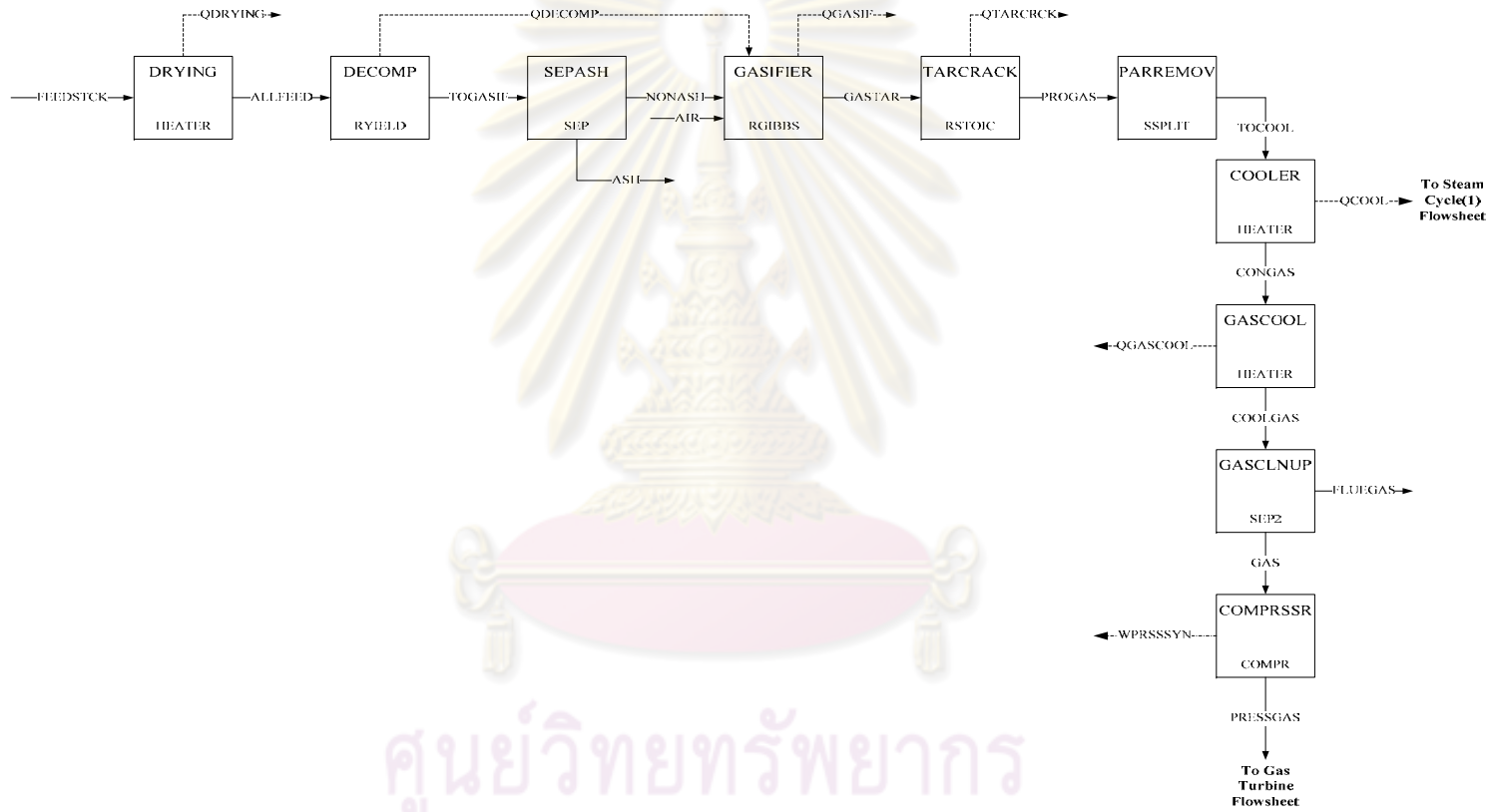
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
รูปที่ ก1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาและกระบวนการรีฟอร์มมิ่งน้ำมันทาร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

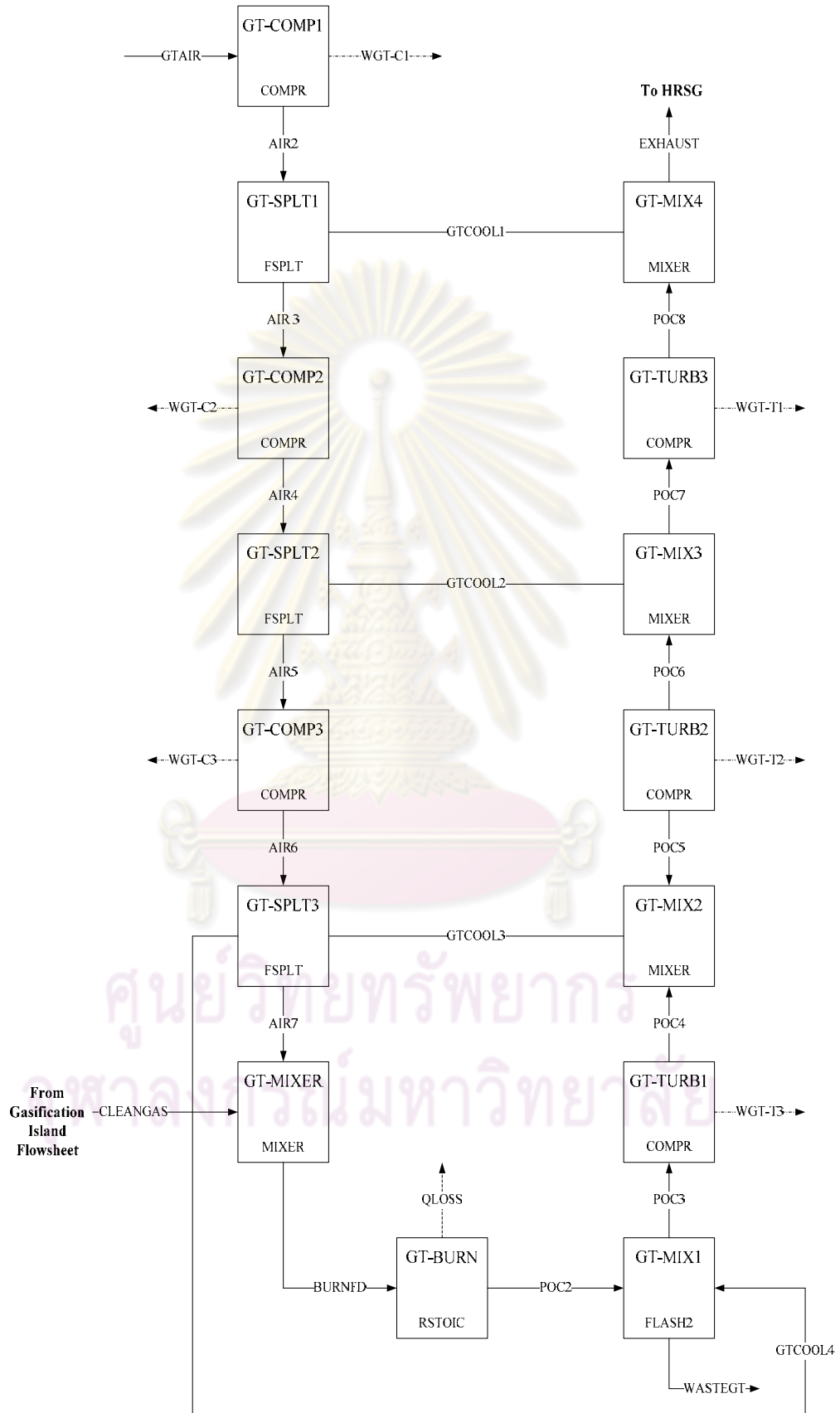
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงรายละเอียดของกระบวนการแกซีฟิเคชัน

ลำดับ	กระบวนการ ต่างๆ (Aspen Plus)	สภาวะต่างๆ	อธิบาย
1	DRYING (HEATER)	TEMP=70 °C PRES = 14.7 psia	เพื่อกำจัดความชื้น
2	DECOMP (RYIELD)		นำค่า Yield จากสมการ ของ Nadège Richard และHenrik Thunman [26] ใส่ในถังปฏิกรณ์ Yield
3	SEPASH (SEP)	FRAC STREAM=ASH SUBSTREAM=NC COMP=ASH FRAC=1	เป็นการแยกซีเถ้าออก จากก๊าซสังเคราะห์
4	GASIFIER (RGIBBS)	PROD H ₂ O / H ₂ / CO ₂ / CO / CH ₄ / C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆ / C ₁₀ H ₈ / H ₂ S / N ₂ / NH ₃ / HCL / NO / NO ₂ / COS	ถังปฏิกรณ์ gasification แบบ Gibbs free energy.
5	TARCRACK (RSTOIC)	TEMP = 870 °C PRES =1 atm STOIC 1 MIXED CH ₄ -1. / H ₂ O -1. / CO 1. / H ₂ 3. STOIC 2 MIXED C ₂ H ₄ -1. / H ₂ O -2. / CO 2. / H ₂ 4. STOIC 3 MIXED C ₂ H ₆ -1. / H ₂ O -2. / CO 2. / H ₂ 5.	ถังปฏิกรณ์ทาร์รีฟอร์มมิ่ง โดยถังปฏิกรณ์แบบ stoichiometric

	STOIC 4 MIXED $C_{10}H_8$ - 1. / H_2O -10. / CO 10. / H_2 14. STOIC 5 MIXED NH_3 -1. / N_2 0.5 / H_2 1.5 CONV 1 MIXED CH_4 0.8 CONV 2 MIXED C_2H_4 0.9 CONV 3 MIXED C_2H_6 0.99 CONV 4 MIXED $C_{10}H_8$ 0.999 CONV 5 MIXED NH_3 0.9	
--	--	--

ตารางที่ ก1 ลักษณะกังหันก๊าซ MS6001FA

	Specification
Gas turbine	GE MS-6101FA
Turbine PR	14.9
Air Flow (kg/s)	196 kg/s
Turbine firing temperature, °C (°F)	1,288 (2,350)
Steam cycle conditions, MPa/°C /°C (psia/°F/°F)	10/538/538 (1,465/1,000/ 1,000)



รูปที่ n2 Gas Turbine Flowsheet

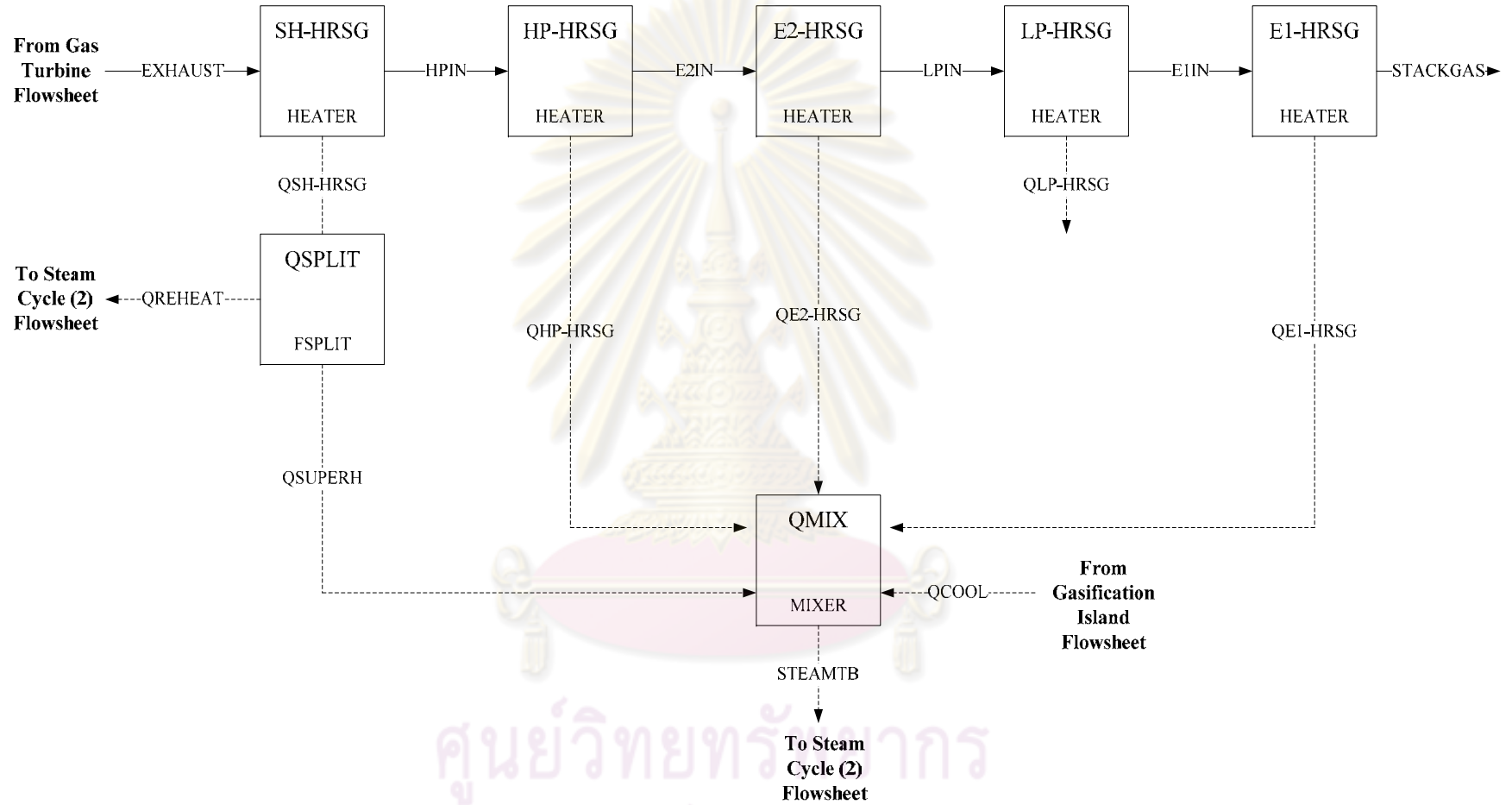
ตารางที่ ก2 Gas Turbine Section Unit Operation Description

ลำดับ	กระบวนการ ต่างๆ (Aspen Plus)	สภาวะต่างๆ	อธิบาย
1	GT-COMP1 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=35.85 psia SEFF=0.81	คอมเพรสเซอร์ (Compressed)น้ำ อากาศเข้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine)
2	GT-COMP2 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=89.82 psia SEFF=0.81	คล้ายกับ GT-COMP1
3	GT-COMP3 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=219.03 psia SEFF=0.81	คล้ายกับ GT-COMP1
4	GT-SPLT1 (FSPLIT)	FRAC GTCOOL1 0.1	อากาศแตกออกจาก This GT-COMP1 และสาย stream สาย หนึ่งตรงไปให้ความ เย็นกับผลิตภัณฑ์ของ เตาเผาแก๊สเทอร์ไบน์ (Combustion of the Gas Turbine)
5	GT-SPLT2 (FSPLIT)	FRAC GTCOOL2 0.1	คล้ายกับ GT-SPLT1 แต่สัมพันธ์กับ 1 st stage Rotor และ 2nd stage Vane Cooling.
6	GT-SPLT3 (FSPLIT)	FRAC GTCOOL3 0.1 / GTCOOL4 0.1	คล้ายกับ GT-SPLT1.

7	GT-MIXER (MIXER)		เป็นยูนิตที่ผสม ระหว่างอากาศกับก๊าซ เชื้อเพลิง(Fule gas)
8	GT-BURN (RSTOIC)	TEMP=1288 °C PRES=219.03 psia STOIC 1 MIXED CO -2. / O2 -1. / CO2 2. STOIC 2 MIXED H2 -2. / O2 -1. / H2O 2. STOIC 3 MIXED CH4 -1. / O2 -1.5 / CO 1. / H2O 2. CONV 1 MIXED CO 1. CONV 2 MIXED H2 1. CONV 3 MIXED CH4 1.	เป็นถังปฏิกรณ์แบบ stoichiometric reactions เกิดขึ้นใน เตาเผาของกังหันก๊าซ (Gas Turbine combustor)
9	GT-MIX1 (MIXER)		ถังที่ผสมระหว่าง อากาศเย็นกับ ผลิตภัณฑ์ร้อน (เกิดขึ้นในเตาเผาของ กังหันก๊าซ)
10	GT-MIX2 (MIXER)		ถังที่ผสมระหว่าง อากาศเย็นกับ ผลิตภัณฑ์ร้อน (เกิดขึ้นในเตาเผาของ กังหันก๊าซ)
11	GT-MIX3 (MIXER)		ถังที่ผสมระหว่าง อากาศเย็นกับ ผลิตภัณฑ์ร้อน (เกิดขึ้นในเตาเผาของ กังหันก๊าซ)

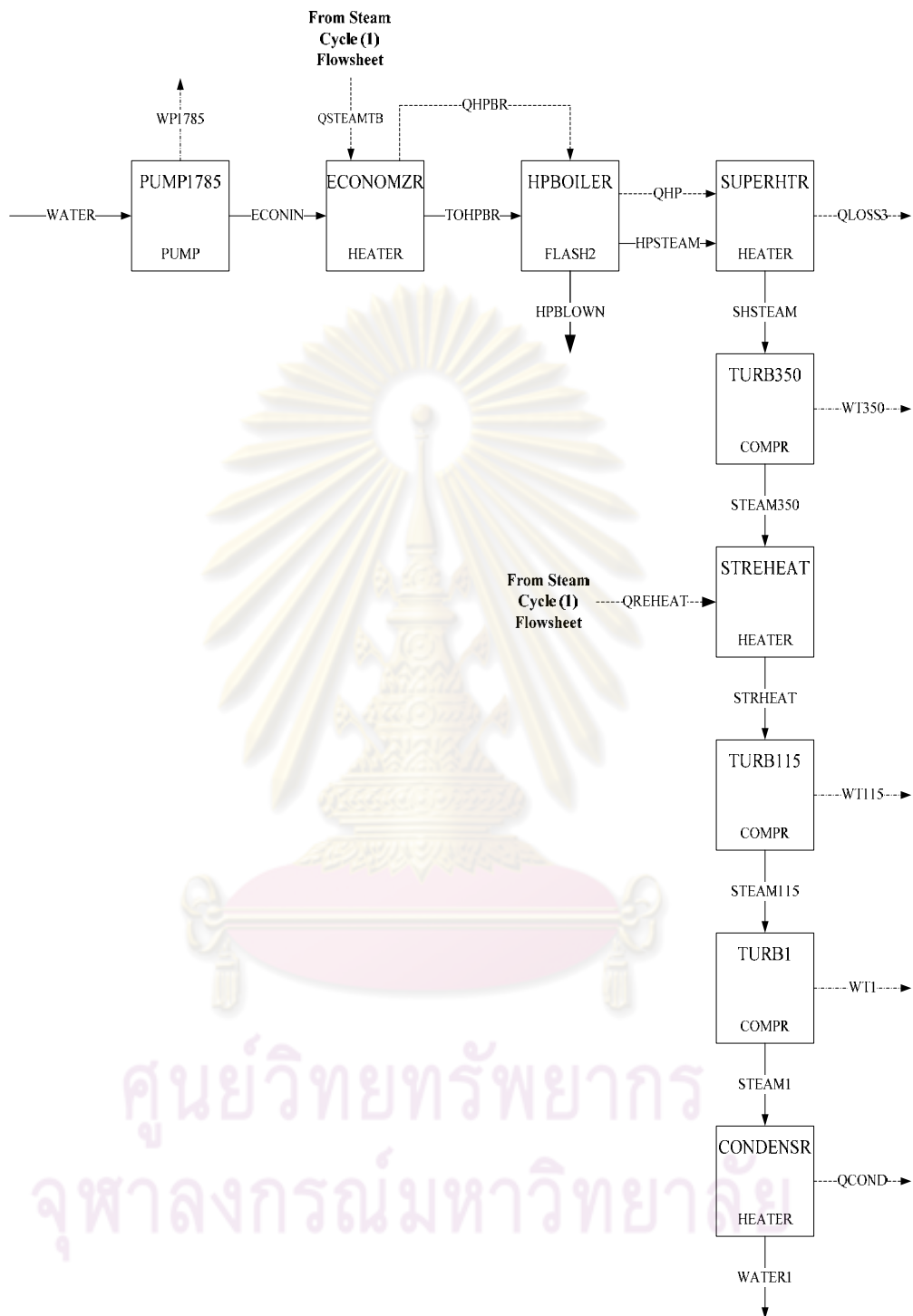
12	GT-MIX4 (MIXER)		ถังที่ผสมระหว่าง อากาศเย็นกับ ผลิตภัณฑ์ร้อน (เกิดขึ้นในเตาเผาของ กังหันก๊าซ)
13	GT-TURB1 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=89.82 psia SEFF=0.81	ปรับความดันอากาศ ของผลิตภัณฑ์กับ อากาศเย็น
14	GT-TURB2 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=35.85 psia SEFF=0.81	ปรับความดันอากาศ ของผลิตภัณฑ์กับ อากาศเย็น
15	GT-TURB3 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=15.2 psia SEFF=0.81	ปรับความดันอากาศ ของผลิตภัณฑ์กับ อากาศเย็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๓3 Steam Cycle (1) Flowsheet



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ n4 Steam Cycle (2) Flowsheet

ตารางที่ ก3 Steam Cycle Section Unit Operation Flowsheet

ลำดับ	กระบวนการ ต่างๆ (Aspen plus)	สภาวะต่างๆ	อธิบาย
1	SH-HRSG (HEATER)	PARAM TEMP=395 °C DPPARM=0.	ระบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนช่วยปรับ ผลิตภัณท์ให้เย็นลง
2	HP-HRSG (HEATER)	PARAM TEMP=338 °C DPPARM=0.	ระบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนช่วยปรับ ผลิตภัณท์ให้เย็นลง
3	E2-HRSG (HEATER)	PARAM TEMP=205 °C DPPARM=0.	ระบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนช่วยปรับ ผลิตภัณท์ให้เย็นลง
4	LP-HRSG (HEATER)	PARAM TEMP=186 °C DPPARM=0.	ระบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนช่วยปรับ ผลิตภัณท์ให้เย็นลง
5	E1-HRSG (HEATER)	PARAM TEMP=133 °C DPPARM=0.	ระบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนช่วยปรับ ผลิตภัณท์ให้เย็นลง
6	QSPLIT (FSPLIT)	FRAC QREHEAT 0.0388	ความร้อนจาก HRSG จะ ถูกส่งไปยัง QREHEAT
7	QMIX (MIXER)		สายความร้อนจะผสมกัน ใน HRSG และจะคำนวณ อัตราการใช้ของความร้อน ออกมา
8	PUMP1785 (PUMP)	PARAM PRES=1785 psia	เครื่องสูบน้ำจะส่งต่อไปยัง economizer

9	ECONOMZR (HEATER)	PARAM TEMP=290 °C PRES=1625. psia	economizers และ HRSG.
10	HPBOILER (FLASH2)	PARAM PRES=1545 psia VFRAC=0.97	ความดันของไอน้ำเดือดสูง ในยูนิต HRSG
11	SUPERHTR (HEATER)	PARAM TEMP=536 °C PRES=1465 psia	ความดันของไอน้ำเดือดสูง ในยูนิต HRSG
12	TURB350 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=350 psia , SEFF=0.847	ไอน้ำความดันสูงในยูนิต เทอร์ไบน์ (turbine)
13	STREHEAT (HEATER)	PARAM DPPARM=0.	สายไอน้ำผสมกันที่ความ ดัน 350 psia และ 565 psia.
14	TURB115 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=115 psia, SEFF=0.901	ปรับความดันในเทอร์ไบน์ (Turbine)
15	TURB1 (COMPR)	TYPE=ISENTROPIC PRES=1 psia, SEFF=0.849	ปรับความดันในเทอร์ไบน์ (Turbine) เหลือ 1 psia
16	CONDENSR (HEATER)	PARAM PRES=1. VFRAC=0.	



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗1 ค่า Normalised factor ของประเภทผลกระทบทางอัตราการเกิดสารก่อมะเร็ง
(Carcinogens) และไม่ก่อสารเกิดมะเร็ง (Non- carcinogens)

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non-carcinogenic effects [DALYs/kg]
Aldrin	kg	6.15E-05	3.12E-05
Allyl alcohol	kg	0.00E+00	3.97E-08
Allyl isovalerate	kg	2.33E-09	0.00E+00
Aluminum	kg	0.00E+00	1.36E-06
Ametryne	kg	0.00E+00	2.28E-05
Amitrole	kg	2.16E-04	0.00E+00
Ammonia	kg	0.00E+00	1.43E-07
Anilazine	kg	0.00E+00	1.75E-09
Aniline	kg	1.93E-06	2.43E-06
Aniline chloride	kg	1.58E-05	0.00E+00
Antimony	kg	0.00E+00	4.54E-04
Aramite	kg	4.50E-05	0.00E+00
Azobenzene	kg	1.40E-05	0.00E+00

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non- carcinogenic effects [DALYs/kg]
Azoxymethane	kg	6.22E-02	0.00E+00
Barium	kg	0.00E+00	2.12E-05
Benefin	kg	0.00E+00	3.71E-08
Benomyl	kg	0.00E+00	1.10E-06
Bentazone	kg	0.00E+00	1.34E-05
Benzene	kg	1.08E-10	2.08E-05
Benzene, ethyl-	kg	6.65E-11	5.62E-10
Bifenthrin	kg	0.00E+00	3.17E-04
Biphenyl	kg	0.00E+00	6.07E-09
Biphenyl amine	kg	0.00E+00	1.72E-06
Butylene oxide, 1,2-	kg	4.05E-07	4.05E-07
Captafol	kg	1.38E-04	8.84E-05
Carbaryl	kg	4.24E-04	9.18E-06

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non- carcinogenic effects [DALYs/kg]
Carbazole, 9H-	kg	2.13E-06	0.00E+00
Carbofuran	kg	0.00E+00	1.93E-05
Carbon disulfide	kg	0.00E+00	1.15E-07
Carboxin	kg	0.00E+00	1.42E-06
Catechol	kg	1.12E-05	0.00E+00
Chloral hydrate	kg	3.06E-05	3.95E-06
Chlordane	kg	1.03E-02	0.00E+00
Chlorendic acid	kg	7.96E-06	0.00E+00
Chlorimuron-ethyl	kg	0.00E+00	2.25E-08
Chlorothalonil	kg	1.47E-07	8.93E-07
Chlorozotocin	kg	1.61E-04	0.00E+00
Chlorpropham	kg	0.00E+00	1.58E-06
Chlorpyrifos	kg	0.00E+00	1.26E-04
Chlorsulfuron	kg	0.00E+00	1.35E-05
Chromium	kg	3.41E-04	5.04E-05

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non- carcinogenic effects [DALYs/kg]
Chromium VI	kg	3.44E-04	5.58E-06
Chrysazin	kg	7.49E-07	0.00E+00
Chrysene	kg	0.00E+00	2.49E-03
Ciprofibrate	kg	8.81E-04	0.00E+00
Citrinin	kg	1.44E-06	0.00E+00
Clofentezine	kg	0.00E+00	1.26E-05
Cresidine, meta-	kg	8.70E-08	0.00E+00
Cresidine, p-	kg	4.13E-07	0.00E+00
Cresol, m-	kg	0.00E+00	2.86E-08
Cypermethrin	kg	0.00E+00	8.98E-05
Cyromazine	kg	0.00E+00	1.63E-05
Dalapon	kg	0.00E+00	2.36E-05
Daminozide	kg	0.00E+00	1.23E-06
Dimethipin	kg	0.00E+00	4.32E-06
Dimethoate	kg	0.00E+00	1.13E-03

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non- carcinogenic effects [DALYs/kg]
Dimethoxane	kg	7.68E-08	0.00E+00
Dimethylamine	kg	0.00E+00	5.41E-09
Dimethylaniline, N,N-	kg	1.68E-07	5.38E-07
Dinex	kg	0.00E+00	1.08E-04
Dinoseb	kg	0.00E+00	6.67E-04
Dioxane, 1,4-	kg	4.27E-08	0.00E+00
Furan	kg	2.11E-08	6.36E-10
Glycidol	kg	2.99E-04	0.00E+00
Glycidylaldehyde	kg	0.00E+00	2.27E-06
Glyphosate	kg	0.00E+00	1.77E-08
Hematoxylin	kg	5.25E-09	0.00E+00
Heptachlor	kg	4.36E-04	4.62E-05
Heptachlor epoxide	kg	6.09E-03	5.60E-03
Hexachloroprene	kg	0.00E+00	3.08E-03
Hexamethylmelamine	kg	1.64E-06	0.00E+00

Substances	Unit	Carcinogenic effects [DALYs/kg]	Non- carcinogenic effects [DALYs/kg]
Hexanamide	kg	2.63E-07	0.00E+00
Hexane	kg	0.00E+00	8.30E-09
Hexene, 3-nitro-3-	kg	3.08E-06	0.00E+00
Hydrazine	kg	7.37E-06	0.00E+00
Hydrocyanic acid	kg	0.00E+00	1.25E-07
Hydrogen peroxide	kg	1.37E-07	0.00E+00
Hydrogen sulfide	kg	0.00E+00	8.54E-07
Hydroquinone	kg	1.24E-05	0.00E+00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข2 ค่า Normalised factor ของประเภทผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

(Respiratory effect)

Substances	Unit	Normalised damage factor [pers*yr/kg]
Ammonia	kg	1.20E-02
Carbon monoxide	kg	1.03E-04
Nitrogen monoxide	kg	1.93E-02
Nitrogen dioxide	kg	1.25E-02
Nitrogen oxides	kg	1.25E-02
Nitrogen oxides	kg	1.25E-02
Sulfur oxides	kg	7.69E-03
Sulfur oxides	kg	7.69E-03
Sulfur dioxide	kg	7.69E-03
Sulfur trioxide	kg	6.15E-03
Particulates, total	kg	1.55E-02

ตารางที่ ๑๓ ค่า Normalised factor ของประเภทผลกระทบของความเป็นพิษในดิน

(Aquatic Ecotoxicity) และความเป็นพิษในน้ำ (Terrestrial Ecotoxicity)

Substances	Unit	Aquatic Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]	Terrestrial Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]
Acephate	kg	2.79E-07	1.02E-05
Acetaldehyde	kg	1.64E-09	4.36E-08
Acetic acid	kg	1.42E-08	1.11E-05
Acetochlor	kg	2.46E-06	2.99E-05
Acetone	kg	2.76E-10	7.98E-09
Acetophenone	kg	1.77E-08	1.76E-07
Acrolein	kg	3.30E-06	5.11E-05
Aldicarb	kg	1.53E-05	4.13E-03
Aldrin	kg	2.24E-05	2.24E-05
Allethrin	kg	5.75E-05	1.35E-05
Aluminum	kg	1.81E-03	7.30E-02
Ametryne	kg	1.04E-05	4.01E-05

Substances	Unit	Aquatic Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]	Terrestrial Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]
Ammonia	kg	1.43E-08	5.66E-06
Ancymidol	kg	4.14E-07	2.71E-05
Anilazine	kg	4.87E-07	8.91E-07
Anthracene	kg	1.37E-05	5.59E-06
Antimony	kg	1.09E-03	1.16E-02
Antimycin A	kg	1.14E-03	8.17E-04
Arsenic	kg	2.01E-04	2.42E-01
Asulam	kg	1.14E-12	1.56E-09
Atrazine	kg	1.12E-04	5.50E-05
Azoxystrobin	kg	1.19E-06	3.76E-05
Barium	kg	4.16E-05	2.90E-04
Cadmium	kg	1.57E-03	5.26E-01
Captafol	kg	1.55E-04	2.49E-04
Captan	kg	5.30E-07	6.09E-04

Substances	Unit	Aquatic Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]	Terrestrial Ecotoxicity [pers*yr/kg substance]
Carbendazim	kg	8.50E-06	5.37E-04
Carbetamide	kg	3.51E-07	6.33E-05
Carbofuran	kg	5.17E-06	6.12E-04
Carboxin	kg	1.37E-07	6.05E-06
Chlordane	kg	1.59E-04	4.27E-06
Chloridazon	kg	7.40E-06	1.76E-04
Chloroform	kg	9.27E-09	3.99E-07
Chlorothalonil	kg	1.38E-05	1.92E-04
Chlorsulfuron	kg	6.86E-07	2.06E-05
Chromium	kg	2.46E-04	2.20E-01
Chrysene	kg	7.14E-04	9.88E-05
Clomazone	kg	1.07E-06	2.96E-05
Cobalt	kg	1.98E-03	1.22E-01
Copper	kg	1.08E-02	6.83E-01

Substances	Unit	Aquatic Ecotoxicity	Terrestrial Ecotoxicity
Crotoxyphos	kg	4.51E-08	4.14E-05
Cyanazine	kg	1.54E-06	2.66E-04
Grotan	kg	9.32E-07	1.62E-05
Halofenoxide	kg	7.79E-06	9.86E-06
Halosulfuron	kg	4.74E-04	2.46E-04
Heptachlor	kg	3.11E-14	1.21E-06
Heptane	kg	4.69E-07	7.71E-13
Hexane	kg	4.82E-09	9.17E-12
Hydrazine	kg	1.04E-06	9.94E-05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗4 ค่า Normalised factor ของประเภทผลกระทบจากภาวะโลกร้อน (Global warming)

Substances	Unit	Normalised midpoint [pers*yr/kg]
Butane, octafluorocyclo-	kg	1.46E+00
Butane, perfluoro-	kg	1.25E+00
Carbon dioxide	kg	1.01E-04
Carbon monoxide	kg	1.58E-04
Chloroform	kg	9.05E-04
Dinitrogen monoxide	kg	1.57E-02
Ethanol, 2,2,2-trifluoro-	kg	1.81E-03
Methane, iodotrifluoro-	kg	1.01E-04
Methyl ether	kg	1.01E-04
Methyl fluoride, HFC-41	kg	3.02E-03
Pentane, dodecafluoro-	kg	1.33E+00

ตารางที่ ๑5 ค่า Normalised factor ของประเภทผลกระทบจากพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้

ใหม่ (Non-renewable)

Non-renewable fuel	Unit	Normalised mid-point characterization factor [pers*yr/kg]	Energy Content of Fossil fuels [MJ / unit]
Coal, hard	kg	1.25E-04	19.1
Oil, crude (860 kg/m ³)	kg	3.00E-04	45.8
Peat	kg	6.49E-05	9.9
Coal, brawn (lignite)	kg	6.49E-05	9.9
Gas, natural (0,8 kg/m ³)	m ³	2.64E-04	40.3
Uranium, in ground	kg	3.67E+00	560000.0
Wood (16.9 MJ/kg)	kg	0.00E+00	0.0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอรกมล เห็นชอบดี เกิดเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย บูรพาในปีการศึกษา 2550 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปี 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย