

การจำลองและการวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์  
โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

นางสาวพัชรินทร์ ศุภวิมล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

SIMULATION AND ANALYSIS OF COMBINED CYCLE POWER PLANT FROM  
SYNTHESIS GAS BY BIOMASS GASIFICATION

Miss Patcharin Supawimon

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำลองและการวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังงาน  
ความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการ  
แก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

โดย

นางสาวพัชรินทร์ ศุภวิมล

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรชัย อภรณ์วิชานพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อภรณ์วิชานพ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ญาณิพร พัชรวรโชติ)

พัชรินทร์ ศุภวิมล : การจำลองและการวิเคราะห์โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล. (SIMULATION AND ANALYSIS OF COMBINED CYCLE POWER PLANT FROM SYNTHESIS GAS BY BIOMASS GASIFICATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.อมรชัย อภรณ์วิชานพ, 118 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล โดยใช้แก๊สซิฟิเคชันแบบพลูอิดไดซ์เบด ที่สภาวะความดันบรรยากาศ ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการจำลองกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้พิจารณาถึงชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยซึ่งมีปริมาณและศักยภาพในการใช้ผลิตไฟฟ้าได้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมรรถนะของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสูงสุด พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด ตัวแปรดำเนินการที่ศึกษา คือ อุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชัน ความดันแก๊สซิฟิเคชัน อัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) อัตราส่วนของอากาศต่อไอน้ำ (A/S) สัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมและผลของชนิดชีวมวล ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาวะตัวแปรดำเนินการมีผลกระทบต่อสมรรถนะของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน องค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ รวมถึงปริมาณไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ เมื่อใช้ไบอ้อยเป็นวัตถุดิบป้อนจะให้ปริมาณไฟฟ้าสุทธิมากที่สุด และเมื่อใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบป้อนจะให้ประสิทธิภาพของระบบสูงที่สุด โดยทางเลือกที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การเลือกไบอ้อยเป็นวัตถุดิบป้อนปฏิบัติการในช่วงอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชัน 600-900 องศาเซลเซียส อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) เท่ากับ 0.75 และที่อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) น้อยที่สุด

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2556.....

# # 5271555221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIOMASS / GASIFICATION / SYNTHESIS GAS / ANALYSIS / COMBINED  
CYCLE / THERMAL EFFICIENCY

PATCHARIN SUPAWIMON : SIMULATION AND ANALYSIS OF COMBINED CYCLE  
POWER PLANT FROM SYNTHESIS GAS BY BIOMASS GASIFICATION. ADVISOR:  
ASST. PROF. AMORNCHAI ARPORNWICHANOP, D. ENG, 118 pp.

In this work, the production of electricity from biomass-based integrated gasification combined cycle (BIGCC) with atmospheric pressure fluidized bed gasifier is investigated using commercial software to perform a simulation. Potential biomass from agricultural residue in Thailand is considered for produce electricity. We studied proper operating conditions to achieve high gasification performance, high electricity production and efficiency. The operating variables considered included gasifier temperature, gasifier pressure, steam to biomass ratio (S/B), air to biomass ratio (A/S), feedstock ratio and type of feedstock. The results were found that changing of operating condition of BIGCC affect to gasification performance, syngas composition, heating value, mass flow including net power and electricity efficiency. The highest net power can be obtained from Bagasse leaf. Rice straw has highest efficiency. Further, the most promising option is Bagasse leaf feedstock with 600-900 °C gasifier temperature, 0.75 steam to biomass ratio (S/B) and less air to steam ratio (A/S).

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

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

Academic Year : 2013.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อภรณ์วิชานพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้เสียสละเวลาและกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ให้การสนับสนุน และดูแลเอาใจใส่ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม และ ดร. ญาณิพร พัชรวรโชติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำให้กำลังใจ สนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณหัวหน้างาน เพื่อนๆ พี่ๆ ผู้ร่วมงานทุกคน สำหรับมิตรภาพและกำลังใจที่ดี และคอยช่วยเหลือให้คำแนะนำในเรื่องการเรียนและการทำงานด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่สอนตั้งแต่ประถมศึกษา มัธยมศึกษา อุดมศึกษาทุกท่านที่ให้ความรู้ อบรมและสั่งสอนจนเป็นอย่างในวันนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดู เป็นแรงใจ ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ซึ่งคอยช่วยเหลือและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ศักยภาพของชีวมวลและการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย.....	7
2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันด้วยชีวมวลโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด.....	9
2.3 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน.....	12
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	14
3.1 ชีวมวลและการแปลงผัน.....	14
3.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน.....	23
3.3 วงจรรวม (Combined cycle).....	28
3.4 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน (Integrated gasification Combined Cycle (IGCC)).....	30
3.5 การเลือกชีวมวลสำหรับงานวิจัยนี้.....	32
บทที่ 4 การจำลองกระบวนการ.....	33
4.1 สมมติฐานของงานวิจัย.....	33
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวล.....	34

	หน้า
4.3 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล.....	35
4.4 การทดสอบแบบจำลองกระบวนการ.....	46
บทที่ 5 ผลการจำลองกระบวนการและการวิเคราะห์ผล.....	49
5.1 ผลกระทบของตัวแปรต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์.....	49
5.1.1 ผลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชัน.....	49
5.1.2 ผลของความดันแก๊สซิฟิเคชัน.....	53
5.1.3 ผลของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio).....	56
5.1.4 ผลของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S ratio).....	60
5.1.5 ผลของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสม.....	63
5.2 ผลกระทบของตัวแปรต่อประสิทธิภาพและไฟฟ้าสุทธิของระบบ.....	65
5.2.1 ผลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชัน.....	65
5.2.2 ผลของความดันแก๊สซิฟิเคชัน.....	68
5.2.3 ผลของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio).....	72
5.2.4 ผลของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S ratio).....	75
5.2.5 ผลของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสม.....	79
5.2.6 ผลของชนิดชีวมวล.....	80
5.3 การประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน.....	82
บทที่ 6 สรุปผลการจำลองกระบวนการและข้อเสนอแนะ.....	84
6.1 สรุปผลการจำลองกระบวนการ.....	84
6.1.1 ผลกระทบของตัวแปรต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์.....	84
6.1.2 ผลกระทบของตัวแปรต่อประสิทธิภาพและไฟฟ้าสุทธิของระบบ.....	85
6.1.3 การประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน.....	85
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก ตารางสรุปผลกระทบของสภาวะดำเนินการสำหรับชีวมวลแต่ละชนิด.....	94



ภาคผนวก ข ตารางแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม 110 MW .....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	118

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี 2555 .....	3
ตารางที่ 2.1 ศักยภาพและแนวโน้มชีวมวลในประเทศ .....	8
ตารางที่ 3.1 ลักษณะและองค์ประกอบของชีวมวล .....	16
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะสำคัญของแก๊สซิไฟเออร์ระดับอุตสาหกรรม .....	27
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล .....	34
ตารางที่ 4.2 สภาวะกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน .....	36
ตารางที่ 4.3 หน่วยปฏิบัติการในระบบแก๊สซิฟิเคชัน .....	38
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของกังหันแก๊ส .....	39
ตารางที่ 4.5 หน่วยปฏิบัติการในระบบผลิตไฟฟ้า .....	41
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ..	47
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสภาวะดำเนินการจริงและผลการจำลองกระบวนการ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม .....	48
ตารางที่ 5.1 ผลตอบแทนการลงทุนโรงไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล .....	83

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 การแปลงผันสำหรับชีวมวล (แก๊ส)	22
รูปที่ 3.2 ฟลูอิดไดซ์เบด 2 แบบ (ก) Bubbling (ข) Circulating	26
รูปที่ 3.3 การรวมของกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำ (COGAS)	30
รูปที่ 3.4 ค่าความร้อนต่ำ ความชื้น และปริมาณของชีวมวลชนิดต่างๆ	32
รูปที่ 4.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล	37
รูปที่ 4.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์	42
รูปที่ 4.3 ค่าความร้อนและอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลต่างๆ	44
รูปที่ 4.4 ค่าความร้อนและอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล คงที่ที่ 0.75	45
รูปที่ 5.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลบ	50
รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับแกลบ	50
รูปที่ 5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว	51
รูปที่ 5.4 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับฟางข้าว	51
รูปที่ 5.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับใบอ้อย	52
รูปที่ 5.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับใบอ้อย	52
รูปที่ 5.7 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลบ	53
รูปที่ 5.8 ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับแกลบ	54
รูปที่ 5.9 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว	54
รูปที่ 5.10 ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับฟางข้าว	55
รูปที่ 5.11 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับใบอ้อย	55

รูปที่ 5.12	ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับไบอ้อย.....	56
รูปที่ 5.13	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับเกลบ.....	57
รูปที่ 5.14	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับเกลบ.....	57
รูปที่ 5.15	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับฟางข้าว.....	58
รูปที่ 5.16	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับฟางข้าว.....	58
รูปที่ 5.17	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับไบอ้อย.....	59
รูปที่ 5.18	ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับไบอ้อย.....	59
รูปที่ 5.19	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับเกลบ.....	60
รูปที่ 5.20	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับเกลบ.....	61
รูปที่ 5.21	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับฟางข้าว.....	61
รูปที่ 5.22	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับฟางข้าว.....	62
รูปที่ 5.23	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับไบอ้อย.....	62
รูปที่ 5.24	ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับไบอ้อย.....	63
รูปที่ 5.25	ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ สำหรับชีวมวลผสมฟางข้าวและไบอ้อย.....	64

รูปที่ 5.26 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อค่าความร้อนและอัตราการไหล เชิงมวลสำหรับชีวมวลผสมฟางข้าวและใบอ้อย .....	64
รูปที่ 5.27 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแกลบ .....	65
รูปที่ 5.28 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแกลบ .....	66
รูปที่ 5.29 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว .....	66
รูปที่ 5.30 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับฟางข้าว .....	67
รูปที่ 5.31 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับใบอ้อย .....	67
รูปที่ 5.32 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับใบอ้อย .....	68
รูปที่ 5.33 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแกลบ .....	69
รูปที่ 5.34 ผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแกลบ .....	69
รูปที่ 5.35 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว .....	70
รูปที่ 5.36 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแกลบ .....	70
รูปที่ 5.37 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับใบอ้อย .....	71
รูปที่ 5.38 ผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับใบอ้อย .....	71
รูปที่ 5.39 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับแกลบ .....	72
รูปที่ 5.40 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับแกลบ .....	73
รูปที่ 5.41 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับฟางข้าว .....	73
รูปที่ 5.42 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับฟางข้าว .....	74
รูปที่ 5.43 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับใบอ้อย .....	74
รูปที่ 5.44 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับใบอ้อย .....	75
รูปที่ 5.45 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับแกลบ .....	76

	หน้า
รูปที่ 5.46 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับแกลป.....	76
รูปที่ 5.47 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับฟางข้าว.....	77
รูปที่ 5.48 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับฟางข้าว.....	77
รูปที่ 5.49 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ สำหรับไบอ้อย.....	78
รูปที่ 5.50 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบ สำหรับไบอ้อย.....	78
รูปที่ 5.51 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิของชีวมวล ผสมฟางข้าวและไบอ้อย (B = ไบอ้อย S = ฟางข้าว).....	79
รูปที่ 5.52 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อประสิทธิภาพของระบบของ ชีวมวลผสมฟางข้าวและไบอ้อย (B = ไบอ้อย S = ฟางข้าว).....	80
รูปที่ 5.53 ผลกระทบของชนิดชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ.....	81
รูปที่ 5.54 ผลกระทบของชนิดชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบ.....	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรและอุตสาหกรรมของโลกอย่างต่อเนื่อง ทำให้การใช้พลังงานของโลกเพิ่มขึ้น รวมถึงราคาปิโตรเลียมที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้จากฟอสซิลที่มีวันหมด การเพิ่มขึ้นของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เกี่ยวข้องโดยตรงกับการปล่อยแก๊สเรือนกระจก รวมถึงความปลอดภัยและชีวอนามัย ทำให้เกิดแรงผลักดันให้หาแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาดและทางเลือกเพื่อผลิตไฟฟ้าทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Nelles et al., 2011; Ramzan et al., 2011) ดังนั้นการค้นคว้าหาแหล่งพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้กำลังเป็นที่สนใจมากยิ่งขึ้น แหล่งพลังงานสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คือ ชีวมวล (Biomass) เป็นแหล่งพลังงานสะอาดประเภทหนึ่ง ชีวมวลสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และลดผลกระทบของภาวะเรือนกระจกระหว่างการใช้ในอุตสาหกรรม ปัจจุบันนี้การพัฒนาและการใช้ชีวมวลได้รับความสนใจทั่วโลก (Zhang et al., 2009; Samsudin et al., 2011) การแปลงผันทางพลังงานของชีวมวลได้รับความสนใจอย่างมาก ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใบ ทะลาย ปาล์ม และไม้ยางพารา เป็นต้น ปริมาณชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ตารางที่ 1.1 แสดงรายละเอียดผลผลิตและปริมาณชีวมวลในปี 2555 (<http://www.dede.go.th>)

พลังงานจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่จะสามารถทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ในอนาคต เนื่องจากมีปริมาณมาก สะอาด และเกิดสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ชีวมวลสามารถเผาไหม้ได้โดยตรงเพื่อผลิตความร้อน และไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของกระบวนการยังต่ำทำให้ประสิทธิภาพสุทธิสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้ชีวมวลอยู่ในช่วง 20% ถึง 25%

(Wang et al., 2008; Puig-Arnabat et al., 2010; Barz et al., 2011) ชีวมวลสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยกระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermo-chemical) และกระบวนการทางชีวเคมี (Bio-chemical) เป็นเชื้อเพลิงในรูปของแข็ง (ถ่าน) ของเหลว (น้ำมันชีวภาพ เมทานอล เอทานอล) และแก๊ส (มีเทนและไฮโดรเจน) ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถใช้ผลิตความร้อนและไฟฟ้าทดแทนการนำเข้พลังงานจากต่างประเทศ กระบวนการทางเคมีความร้อน ได้แก่ การเผาไหม้ (Combustion) การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) การเปลี่ยนทางเคมีความร้อนผ่านแก๊สซิฟิเคชันสามารถเปลี่ยนของแข็งในรูปของชีวมวลไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ ภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิช่วงประมาณ 700-1,200 องศาเซลเซียส องค์ประกอบหลักของแก๊สประกอบด้วย ไฮโดรเจน ( $H_2$ ) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน ( $CH_4$ ) แก๊สอื่นๆ เล็กน้อยและสารประกอบทาร์ ฉะนั้นกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจึงเป็นที่รู้จักในทางที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ แก๊สผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ใช้ผลิตความร้อน และไฟฟ้าจากเครื่องยนต์แก๊ส และกังหันแก๊ส แก๊สเชื้อเพลิงสำหรับกังหันของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน (IGCC) และเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำไปผลิตเป็นน้ำมัน เมทานอล เอทานอล และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมีใช้ในอุตสาหกรรม (Narendar et al., 2006; Gomez-Barea et al., 2010; Barz et al., 2011)

แก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดได้รับการพัฒนาโดยนักวิจัยหลายท่าน (Li et al., 2004; Lv et al., 2004; Campoy et al., 2008; Campoy et al., 2009; Lahijani and Zainal, 2011; Loha et al., 2011) นักวิจัยหลายท่านพัฒนากระบวนการบดการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองในบทความวิจัย ในการจำลองกระบวนการทั้งหมดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถูกจำลองที่สภาวะคงที่สมดุล การลดลงของพลังงานอิสระกิบส์ และโมเดลทางด้านจลนศาสตร์ (Mehrdokht et al., 2008; Doherty et al., 2009; Doherty et al., 2010; Ramzan et al., 2011) สมมติฐานของกระบวนการคือไม่มีทาร์ ทาร์จากแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลจะควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างและทำให้เกิดการกีดขวางและอุดตันอุปกรณ์ในท่อ ตัวกรอง เครื่องยนต์และกังหันแก๊ส ยิ่งกว่านั้นถ้ามีทาร์ในระบบมากจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้ชีวมวลลดลง จากงานวิจัยปริมาณทาร์ในแก๊สสังเคราะห์จากระบบแก๊สซิฟิเคชันโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนและใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์พบว่าปริมาณทาร์ 10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับแก๊สซิฟิเคชันประเภทอื่น มี



ปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 0.5 – 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามแก๊สสังเคราะห์ที่จะนำไปใช้ต้องมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้นการลดคาร์บอนในแก๊สสังเคราะห์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะใช้แก๊สสังเคราะห์ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป (Jun Han and Heejoon Kim, 2008)

ตารางที่ 1.1 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี 2555

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต	ปริมาณชีวมวลเหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน	
						(TJ)	(ktoe)
ข้าว	26,950,327	แกลบ	21.00%	5,659,569	13.52	76,500	1,827
		ฟางข้าว	49.00%	13,205,660	12.33	162,826	3,889
อ้อย	98,400,465	ชานอ้อย	28.00%	27,552,130	7.37	203,004	4,849
		ยอดและใบ	17.00%	16,728,079	15.48	258,934	6,185
ข้าวโพด	4,964,631	ชัง	24.00%	1,191,511	9.62	11,456	274
		ลำต้น	82.00%	4,070,997	9.83	40,018	956
ปาล์มน้ำมัน	11,326,660	ทะลายเปล่า	32.00%	3,624,531	7.24	26,242	627
		ใย	19.00%	2,152,065	11.40	24,534	586
		กะลา	4.00%	453,066	16.90	7,657	183
		ทาง	141.00%	15,970,591	1.76	28,108	671
มันสำปะหลัง	26,601,090	กาก	37.00%	9,842,403	18.42	181,297	4,330
		เหง้า	20.00%	5,320,218	5.49	29,229	698
		เปลือก	0.06%	15,961	4.92	79	2
รวม	168,243,173			105,786,783		1,049,884	25,076

นอกจากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แล้ว ยังมีการศึกษาผลของตัวแปรกระบวนการและชีวมวลหลายชนิดต่อสมรรถนะของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เช่น ประสิทธิภาพและคุณภาพของแก๊ส ตัวแปรกระบวนการที่ศึกษาโดยทั่วไปและลักษณะของชีวมวลชนิดต่างๆ ได้แก่ คุณหมุมิ ความดัน อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล อัตราส่วนอากาศต่อชีวมวล อัตราการป้อนชีวมวล คุณหมุมิของอากาศ ขนาดของชีวมวล และปริมาณความชื้นของชีวมวล (Inayat et al., 2010) การสร้างแบบจำลองแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลคือเครื่องมือสำคัญสำหรับทำนายพฤติกรรมกระบวนการภายใต้สภาวะหรือการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิง ตัวออกซิไดเซอร์ และสภาวะการดำเนินการ

แก๊สสังเคราะห์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลเหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าเนื่องจากมีอุณหภูมิสูง กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลสำหรับการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะต่อรวมกับกังหันแก๊สเป็นวงจรรวม (Emun et.al., 2010) โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Integrated Gasification Combined Cycle: IGCC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตไฟฟ้าที่ได้ประสิทธิภาพสูงโดยการใช้กังหันแก๊สระบบนี้จะเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สสังเคราะห์และหลังจากนั้นจะกำจัดอนุภาคออก ก่อนที่จะถูกเผาไหม้และนำไอร้อนไปขับกังหันได้พลังงานไฟฟ้า ไอเสียที่ได้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และปรอทต่ำ ความร้อนที่เหลือจากการเผาไหม้จะนำไปผ่านวงจรไอน้ำซึ่งคล้ายกับวงจรรวมกังหันแก๊ส ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าแบบดั้งเดิม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทยและเลือกชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล เพื่อให้ได้สมรรถนะสูงสุดและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด
3. ประเมินต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาชีวมวลที่เหมาะสมในประเทศไทยเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล
2. จำลองกระบวนการโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดในระบบแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งใช้โปรแกรม ASPEN PLUS

3. วิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่อสมรรถนะของระบบแก๊สซิฟิเคชันและประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า

- คุณหมุมิของแก๊สซิฟิเคชัน
- ความดันของแก๊สซิฟิเคชัน
- อัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวล (S/B)
- อัตราส่วนของอากาศต่อไอน้ำ (A/S)
- อัตราส่วนการป้อนชีวมวลผสม
- ผลของชนิดชีวมวล

4. ประเมินต้นทุนของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองที่สามารถอธิบายกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลเพื่อผลิตแก๊สสังเคราะห์ เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า

2. สามารถบอกผลกระทบของตัวแปรต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และแนวโน้มของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ

3. ได้สภาวะที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลโดยใช้โปรแกรม ASPEN PLUS

4. ทราบต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

### 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม และตัวแปรที่มีผลกระทบต่อระบบ องค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ (Syngas) และไฟฟ้าที่ได้
2. ค้นคว้าและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบ จำลองการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลโดยโปรแกรม ASPEN PLUS
4. ศึกษาต้นทุนและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล
5. วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองกระบวนการ และต้นทุนของระบบ
6. รวบรวมข้อมูลจัดทำวิทยานิพนธ์และเสนอผลงาน

## บทที่ 2

### บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์ โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล ประกอบด้วยหัวข้อแรกจะกล่าวถึงศักยภาพของชีวมวล และการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันด้วยชีวมวลโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด และหัวข้อท้ายสุดจะกล่าวถึงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน

#### 2.1 ศักยภาพของชีวมวลและการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมส่วนใหญ่ จึงมีแหล่งพลังงานชีวมวลเป็นจำนวนมาก ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ เทคโนโลยีการใช้พลังชีวมวลได้ถูกพัฒนาในหลายประเทศทั่วโลก ดังนั้นชีวมวลจึงเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดซึ่งมีศักยภาพสูงเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการพลังงานและทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Sajakulnukit et al., 2005) Sajakulnukit et al. (2005) ได้ศึกษาชีวมวลเหลือทิ้งจากเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีศักยภาพทางพลังงาน พบว่าเศษวัสดุทางการเกษตรทั้งหมดจำนวน 61 ล้านตัน ในปี 2540 เพิ่มขึ้นเป็น 72 ล้านตัน ในปี 2549 (Energy for Environment Foundation, 2006) และมีปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งที่ยังไม่ได้ใช้เท่ากับ 41 ล้านตันเทียบเท่าพลังงานทั้งหมด  $426 \times 10^9$  เมกะจูลล์ (S. Prasertsan and B. Sajakulnukit, 2006)

การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นจากการที่รัฐบาลให้ส่วนเพิ่มจากราคาปกติ โดยให้ขนาดกำลังติดตั้งการผลิตไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ 0.50 บาทต่อหน่วย ขนาดมากกว่า 1 เมกะวัตต์ 0.30 บาทต่อหน่วย โดยในปี พ.ศ. 2554 ได้ตั้งเป้าหมายชีวมวลไว้ที่ 2,800 เมกะวัตต์ จากปี พ.ศ. 2550 ซึ่งมีกำลังผลิต 1,977 เมกะวัตต์ พบว่ากำลังการผลิตยังไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้เนื่องจากเอกชนขาดแรงจูงใจเพราะส่วนเพิ่มจากราคาปกติที่รัฐให้ยังน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนประเภทอื่น แต่ข้อดีของชีวมวลคือต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลค่อนข้างต่ำ

ได้มีหลายคนประเมินถึงศักยภาพพลังงานชีวมวลที่นำไปใช้ได้เพื่อการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยไว้ ยกตัวอย่างเช่นการประเมินของกระทรวงพลังงานเมื่อปี พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 พบว่า ชานอ้อยมีศักยภาพในการผลิตสูงสุด รองลงมาคือแกลบ ซึ่งชีวมวลทั้งสองชนิดเป็นผลพลอยได้จากโรงงานแต่ก็มีในปริมาณที่จำกัดโดยส่วนใหญ่มีมากเฉพาะภูมิภาค และแนวโน้มราคาของชีวมวลทั้งสองชนิดสูงขึ้นมาก ส่วนชีวมวลตัวอื่นๆ ที่มีการประเมินศักยภาพ เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย และยอดอ้อยรวมกันมีศักยภาพสูงมากแต่มีปัญหาในการรวบรวมชีวมวลและการขนส่ง จึงยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ดังนั้นจึงมีการสนับสนุนให้จัดตั้งโรงไฟฟ้าชุมชนซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 1 เมกะวัตต์พร้อมทั้งมีการส่งเสริมการปลูกพืชโตเร็วเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงไฟฟ้าชุมชนอีกด้วย (สุริยา พันธุ์โกศล, 2554)

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพและแนวโน้มชีวมวลในประเทศ

ประเภทของชีวมวล	กำลังไฟฟ้า (MW)
แกลบ	700
ฟางข้าว	650
ชานอ้อย	900
ยอดและใบอ้อย	570
เส้นใย กะลา และทลายปาล์มเปล่า	70
เศษไม้	40
เห้งามันสำปะหลัง	70
ชังข้าวโพด	70

ธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ทั้งนี้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนก็ยังมีข้อจำกัด ทั้งทางด้านเทคโนโลยีที่ยังค่อนข้างมีต้นทุนสูงและด้านทรัพยากรชีวมวลที่ใช้ผลิตพลังงานทดแทนก็มีข้อจำกัด อีกทั้งทิศทางธุรกิจของพลังงานทดแทนในอนาคตยังต้องขึ้นอยู่กับนโยบายการสนับสนุนจากภาครัฐ และควรมีการพิจารณาการให้ส่วนเพิ่มจากราคาปกติ (Adder) กับพลังงานจากชีวมวลซึ่งในปัจจุบันถือว่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ เพื่อเพิ่มแรงจูงใจให้บริษัทเอกชนหันมาลงทุนมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลเพื่อใช้ประโยชน์ชีวมวลเหลือทิ้งผลิตแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมและใช้ในงานด้านอื่นต่อไป

## 2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด

ในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ทุกชนิด (Fixed bed, fluidized bed และ entrained flow) เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นหนึ่งในเครื่องปฏิกรณ์หลายๆ ชนิดที่นิยมใช้กัน ซึ่งมีการศึกษาค้นคว้าอย่างแพร่หลายในงานวิจัยดังต่อไปนี้

T.R. McLendon และคณะ (2004) ได้ศึกษาแก๊สซิฟิเคชันแบบ โดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล และใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อให้ได้ข้อมูลแบบจำลองเชิงตัวเลขในสภาวะคงตัว ดำเนินการที่ความดัน 3.03 MPa และผสมสารป้อนในช่วงถึง 35% โดยน้ำหนักชีวมวล ผลจากการทดสอบแก๊สซิฟิเคชันจากถ่านหินซับบิทูมินัสผสมกับชีลี้อยู่ ให้ผลที่แตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบผลกับการทดสอบด้วยถ่านหินซับบิทูมินัสเพียงอย่างเดียว สำหรับถ่านหินบิทูมินัสผสมจะให้ความแตกต่างที่ชัดเจน สำหรับคุณสมบัติทางการขนถ่ายของถ่านหินผสมชีวมวลดีขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับถ่านหินอย่างเดียว

Lv และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาลักษณะของแก๊สซิฟิเคชันที่มีอากาศและไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์ ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ อัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) อัตราส่วนอากาศเทียบเท่า (ER) และขนาดอนุภาคชีวมวลที่มีต่อองค์ประกอบของแก๊ส ผลผลิตแก๊สที่ได้ ค่าการสลายตัวของไอน้ำ ค่าความร้อนต่ำและประสิทธิภาพการแปลงผันของคาร์บอน ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะให้การผลิตไฮโดรเจนที่มากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปจะไปลดค่าความร้อนของแก๊ส ค่าความร้อนต่ำของแก๊สจะลดลงตามอัตราส่วนอากาศเทียบเท่า (ER) เมื่อเปรียบเทียบแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลด้วยอากาศ การเพิ่มไอน้ำเข้าไปจะปรับปรุงคุณภาพของแก๊ส อย่างไรก็ตามปริมาณไอน้ำที่มากเกินไปจะไปลดอุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชันและลดคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงอีกด้วย และผลแสดงให้เห็นว่าอนุภาคขนาดเล็กจะให้ค่าความร้อนต่ำสูงขึ้นและได้ผลผลิตแก๊สมากขึ้น

Li และคณะ (2004) ได้รายงานกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลต้นแบบ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบด ผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับการทำนายจากโมเดล โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ อัตราส่วนของอากาศ ความหนาแน่น การฉีดไอน้ำ และการฉีดไอน้ำ ต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์แก๊ส การจำลองโมเดลแบบ non-stoichiometric equilibrium ขึ้นกับการลดลงของพลังงานอิสระกิบส์ (Gibbs free energy minimization) โดยตรง ถูกพัฒนาเพื่อทำนายประสิทธิภาพการทำงานของแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากการเบี่ยงเบนของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจริงจากสมดุลเคมี การจำลองกระบวนการจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับเปลี่ยนสมดุลสำหรับทำนายองค์ประกอบของแก๊ส ค่าความร้อนและ Cold gas efficiency

Mehrdokht และคณะ (2008) ได้จำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลในฟลูอิดไธด์เบดบรรยากาศ โดยใช้ ASPEN PLUS จำลองเครื่องปฏิกรณ์ 4 หน่วยและ FORTRAN subroutines สำหรับไฮโดรไดนามิกส์และจลนศาสตร์ใน ASPEN PLUS เพื่อจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะผลิตไฮโดรเจนได้มากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงผันของคาร์บอน อัตราส่วนเทียบเท่า (Equivalence ratio) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และประสิทธิภาพการแปลงผันของคาร์บอน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล จะเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่จะลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และลดค่าการแปลงผันของคาร์บอน ขนาดอนุภาคของชีวมวลเฉลี่ยในช่วง 0.25-0.75 มม. ไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์

Shen และคณะ (2008) ได้เสนอกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลในฟลูอิดไธด์เบดแบบเชื่อมต่อกัน ซึ่งแยกส่วนของการเผาไหม้และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันออกจากกัน โดยจำลองกระบวนการรวมทั้งปฏิกิริยาเคมี สมดุลมวลและความร้อนใน ASPEN PLUS และได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชันและอัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวลที่มีต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง ผลได้ของไฮโดรเจน การแปลงผันชีวมวล การนำกลับของอนุภาค ฯลฯ ผลการทดลองพบว่าผลได้ของไฮโดรเจนและปริมาณของไฮโดรเจนสูงจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลในฟลูอิดไธด์เบดแบบเชื่อมต่อกัน

Campoy และคณะ (2009) ได้ศึกษาอัตราการไหลของชีวมวล อัตราการไหลของไอน้ำ และอัตราการไหลของออกซิเจนและผลกระทบของความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศที่มีต่อคุณภาพและองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ (Syngas) โดยใช้ bubbling ฟลูอิดไธด์เบดภายใต้เงื่อนไขอะเดียแบติก (Adiabatic) และออโตเทอร์มอล (Autothermal) ความเข้มข้นของออกซิเจน



ถูกเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 21% -40% โดยปริมาตร ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพจาก 54% ไปเป็น 68% และค่าความร้อนเป็น 9.3 MJ/Nm<sup>3</sup> ในขณะที่ค่าการแปลงผันของคาร์บอนสูงสุดที่ 97% นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าอัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวลที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 0.25-0.35

Doherty และคณะ (2009) ได้ศึกษาการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของฟลูอิดไดซ์เบดแก๊สซิฟิเคชันแบบหมุนวนโดย ASPEN PLUS ผลจากการจำลองการวิเคราะห์กระบวนการได้ผลสอดคล้องกับผลการทดลอง สภาวะที่เหมาะสมคือ ER ในช่วง 0.34-0.35 อุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชันที่ 837-874 องศาเซลเซียส และค่า Cold Gas Efficiency สูงสุดที่ 66.1% ที่ ER เท่ากับ 0.34 โดยไม่มีการทำอากาศร้อน เมื่อทำอากาศให้ร้อนขึ้นจะทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ เช่น ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความร้อนและค่า Cold Gas Efficiency เพิ่มขึ้นด้วย ยิ่งไปกว่านั้นการทำอากาศร้อนจะมีประสิทธิภาพดีที่ ER ต่ำ จึงไม่ควรใช้ค่า ER สูงเกินกว่า 0.35 และเมื่อปริมาณความชื้นในชีวมวลเพิ่มจะไปลดประสิทธิภาพของแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นชีวมวลต้องมีความชื้นต่ำ ถ้าต้องการปริมาณไฮโดรเจนมากควรเพิ่มปริมาณการฉีดไอน้ำในระบบ

Inyanat และคณะ (2010) ศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลด้วยไอน้ำโดยแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เบดและมีระบบดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อผลิตไฮโดรเจน ผลการศึกษาได้รายงานผลกระทบของอุณหภูมิ ผลของอัตราไอน้ำต่อชีวมวล และอัตราสารดูดซับต่อชีวมวล ต่อประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนโดยจำลองกระบวนการใน MATLAB ชีวมวลถูกจำลองเป็นถ่านชาร์และมีระบบดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สซิฟิเคชันเดี่ยว ผลการจำลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและอัตราไอน้ำต่อชีวมวลจะเพิ่มผลผลิตปริมาณไฮโดรเจน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกลดลง ที่อุณหภูมิ 950 เคลวิน อัตราไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 3.0 และที่อัตราสารดูดซับต่อชีวมวลเท่ากับ 1.0 จะได้ปริมาณไฮโดรเจนสูงสุดที่ 0.81 โมล มากไปกว่านั้นเมื่อมีระบบดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จะได้ปริมาณไฮโดรเจนที่ 0.98 โมล และได้ประสิทธิภาพสูงสุดของไฮโดรเจนที่ 87% ที่สภาวะอุณหภูมิ 800 เคลวิน อัตราไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 2.0

## 2.3 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการใช้แก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลสูงสุด การรวมระบบแก๊สซิฟิเคชันกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (BIGCC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มการใช้ชีวมวลเนื่องจากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชันมีข้อได้เปรียบทางประสิทธิภาพและราคาทำให้ประสบความสำเร็จในระดับอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชันถูกคาดหวังให้เป็นตัวแทนการลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีการศึกษาจากนักวิจัยหลายท่าน ศึกษาเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบ และเพื่อใช้ของเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมให้เป็นประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยลดภาวะโลกร้อนด้วย

Matthew และคณะ (2009) เสนอระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน (BIGCC) เพื่อผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตเอทานอล โดยใช้ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลและชีวมวลเป็นสารป้อน การจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดคู่เลียนแบบ SilvaGas เพื่อผลิตแก๊สสังเคราะห์ ผลการจำลองกระบวนการสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 30.4 MW จากโรงงานผลิตเอทานอล 190 ล้านลิตรต่อปี อีกทั้งยังสามารถลดค่าเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงาน และให้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลและสามารถขายให้ท้องถิ่นได้

P. Klimantos และคณะ (2009) ได้ประเมินทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ประเมินประสิทธิภาพของกังหันแก๊สโดยเปลี่ยนขนาดของกังหันแก๊สจาก 10 – 70 MW และศึกษากระบวนการในกรณีที่ต้องกังหันแก๊สขนานกับวงจรไอน้ำในโรงไฟฟ้าถ่านหิน ผลจากการจำลองกระบวนการพบว่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน (10-40 MW) จากกังหันแก๊สถึง 40% สภาวะของแก๊สร้อนทำให้ประสิทธิภาพของกังหันแก๊สเพิ่มขึ้น 3-4% และประสิทธิภาพรวมของระบบดีขึ้น นอกจากนี้การต่อขนานของกังหันแก๊สรวมกับวงจรไอน้ำของโรงไฟฟ้าถ่านหินมีประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปรับเปลี่ยนวงจรไอน้ำเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสัดส่วนตัวแปรการใช้ชีวมวลให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการเผาไหม้โดยตรง

F. Emun และคณะ (2010) ศึกษาข้อมูลของโรงงานแก๊สซิฟิเคชัน Texaco และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเป็นกรณีฐาน และจำลองกระบวนการโดยใช้ ASPEN PLUS ผลของการวิเคราะห์ตัวแปรและการรวมความร้อนทำให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงถึง 45% ในขณะที่การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์ลดลง ระดับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์สูงถึง 698 kg/MWh และ 0.15 kg/MWh ตามลำดับ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงานและลดค่าดำเนินการได้

Kumar และคณะ (2010) ศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนขี้ข้าวโพดและ Dried distillers grains with solubles (DDGS) เป็นพลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิงและสารเคมี กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมถูกจำลองใน ASPEN PLUS (CHP; gas turbine, steam turbine, air compressor, combustor, boiler and condensor) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางพลังงานสูงสุด โดยเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของระบบแก๊สซิฟิเคชันและอัตราการไหลของอากาศและไอน้ำ มากไปกว่านั้นยังประเมินค่าการผลิตของแก๊สและระบบพลังงานความร้อนร่วม ผลการศึกษาพบว่าได้สภาวะที่เหมาะสมของประสิทธิภาพพลังงานสุทธิทั้งหมดของแก๊สและระบบพลังงานความร้อนร่วม อย่างไรก็ตามความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับราคาเชื้อเพลิง

## บทที่ 3

### ทฤษฎี

บทที่ 3 ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น ความหมายของชีวมวล และเส้นทางการแปลงผันของชีวมวล กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ประเภทของแก๊สซิไฟเออร์ เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมและการเลือกชีวมวลสำหรับงานวิจัย ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในลำดับต่อไป

#### 3.1 ชีวมวลและการแปลงผัน

##### 3.1.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น ผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เช่น แกลบ ฟาง กากอ้อย ต้นอ้อย กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว เศษไม้ เศษหญ้า นอกจากนี้ยังรวมถึงมูลสัตว์ที่ใช้ในการเกษตร เช่น โคและสุกร และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรด จากโรงงานสับปะรดกระป๋อง หรือน้ำเสียจากโรงงานเป็นต้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- พืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และอื่นๆ ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชผลที่ให้พลังงานสามารถใช้เป็นน้ำมันพืช จนกระทั่งเป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้
- เศษพืชผลทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวจากพื้นที่ปลูกข้าว เหง้ามันสำปะหลังจากพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดจากพื้นที่ปลูกข้าวโพด ฯลฯ
- ไม้และเศษไม้ เช่น ต้นไม้โตเร็ว เศษไม้จากโรงไม้ ของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษ ฯลฯ

- ของเหลือทิ้ง เช่น แกลบจากโรงสี โมลาสและชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ของเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ของแข็งเหลือทิ้งจากชุมชน ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร หรือน้ำเสีย ฯลฯ

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มุลินีพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2545)

โดยทั่วไปลักษณะของชีวมวลจะแสดงในรูปขององค์ประกอบธาตุ (Elemental composition) และองค์ประกอบโดยประมาณ (Proximal composition) รวมถึงความหนาแน่นรวมและค่าความร้อน องค์ประกอบธาตุของชีวมวลและสถานะของกระบวนการจะมีผลกระทบกับองค์ประกอบทางเคมีของแก๊สสังเคราะห์ ลักษณะและองค์ประกอบของชีวมวลแสดงดังตารางที่ 3.1 (P. Seksan et al.)

### **แกลบ**

**ลักษณะทั่วไป** มีขนาดเล็ก ยาวไม่เกิน 5 มม. และหนาไม่เกิน 2 มม. สีเหลือง แกลบได้มาจากการสีข้าวเปลือก ซึ่งต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% ก่อนสี

**แหล่ง** ส่วนใหญ่มาจากโรงสีข้าว

**การนำไปใช้งาน** แกลบสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น เป็นเชื้อเพลิง ผสมลงในดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก และใช้โปรยใต้โรงเลี้ยงไก่เพื่อรองรับมูลไก่ เป็นต้น

**จุดเด่น** มีความชื้นต่ำและขนาดเล็ก เหมาะเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ขี้เถ้าแกลบมีมูลค่าสูง ถ้าสามารถควบคุมคุณสมบัติให้ได้ตามที่ผู้ซื้อกำหนด

**จุดด้อย** มีปริมาณขี้เถ้า 16-18 % โดยน้ำหนัก ดังนั้น ในการเผาไหม้ควรคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย อีกประการหนึ่งเนื่องจากแกลบมีน้ำหนักเบา (1 ลบ.ม. หนัก 150 กก.) ต้องมีการวางแผนในการขนส่งให้ดี

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและองค์ประกอบของชีวมวล (Energy for Environment Foundation, 2006)

การวิเคราะห์แบบประมาณ	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย
ความชื้น (%)	12.00	10.00	50.73	9.20
สารระเหยได้ (%)	56.46	60.70	41.98	67.80
คาร์บอนคงตัว (%)	18.88	18.90	5.86	16.90
ซีไ้เก่า (%)	12.65	10.39	1.43	6.10
<b>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ</b>				
คาร์บอน (%)	37.48	38.17	21.33	41.60
ไฮโดรเจน (%)	4.41	5.02	3.06	5.08
ออกซิเจน (%)	33.27	35.28	23.29	37.42
ไนโตรเจน (%)	0.17	0.58	0.12	0.40
ซัลเฟอร์ (%)	0.04	0.09	0.03	0.17
คลอรีน (%)	0.09	Na	Na	0.01
ซีไ้เก่า (%)	12.65	10.39	1.43	6.10
ความชื้น (%)	12.00	10.00	50.73	9.20
<b>คุณสมบัติอื่น ๆ</b>				
ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> )	150	125	120	100
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	14,755	13,650	9,243	16,794
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	13,517	12,330	7,368	15,479

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและองค์ประกอบของชีวมวล (Energy for Environment Foundation, 2006) (ต่อ)

การวิเคราะห์แบบ ประมาณ	ไม้ ยางพารา	ไยปาล์ม	กะลา ปาล์ม	ทะลาย ปาล์มเปล่า	ทางปาล์ม
ความชื้น (%)	45.00	38.50	12.00	58.60	48.40
สารระเหยได้ (%)	45.70	42.68	68.20	30.46	38.70
คาร์บอนคงตัว (%)	7.71	14.39	16.30	8.90	11.70
ซีเถ้า (%)	1.59	4.42	3.50	2.03	1.20
<b>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ</b>					
คาร์บอน (%)	25.58	30.82	44.44	21.15	23.90
ไฮโดรเจน (%)	3.19	3.74	5.01	2.56	3.04
ออกซิเจน (%)	24.48	21.61	34.70	15.34	22.91
ไนโตรเจน (%)	0.14	0.84	0.28	0.27	0.56
ซัลเฟอร์ (%)	0.02	0.08	0.02	0.04	0.06
คลอรีน (%)	0.01	0.11	0.02	0.16	Na
ซีเถ้า (%)	1.59	4.42	3.50	2.03	1.20
ความชื้น (%)	45.00	38.50	12.00	58.60	48.40
<b>คุณสมบัติอื่นๆ</b>					
ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> )	450	250	400	380	Na
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	10,365	13,127	18,267	9,196	9,370
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	8,600	11,400	16,900	7,240	7,556

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและองค์ประกอบของชีวมวล (Energy for Environment Foundation, 2006) (ต่อ)

การวิเคราะห์แบบ ประมาณ	ใบปาล์ม	ซังข้าวโพด	ลำต้น ข้าวโพด	เหง้ามัน สำปะหลัง	เปลือกไม้ ยูคาลิปตัส
ความชื้น (%)	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
สารระเหยได้ (%)	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
คาร์บอนคงตัว (%)	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
ซีเถ้า (%)	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
<b>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ</b>					
คาร์บอน (%)	10.13	28.19	27.83	18.76	18.60
ไฮโดรเจน (%)	1.25	3.36	4.06	2.48	2.12
ออกซิเจน (%)	9.44	27.42	22.47	17.50	16.68
ไนโตรเจน (%)	0.07	0.12	0.13	0.32	0.15
ซัลเฟอร์ (%)	0.02	0.03	Na	0.04	0.02
คลอรีน (%)	0.12	0.05	Na	0.05	0.10
ซีเถ้า (%)	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
ความชื้น (%)	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
<b>คุณสมบัติอื่นๆ</b>					
ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> )	Na	Na	Na	250	Na
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	1,760	9,615	9,830	5,494	4,917



### ฟางข้าว

- ลักษณะทั่วไป ขนาดเล็กยาวแต่กลวง ได้มาหลังการเกี่ยวข้าว
- แหล่ง ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยแรงคน ฟางข้าวจะกองอยู่บริเวณลานตากข้าวตามหมู่บ้าน ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องจักร ฟางข้าวจะถูกทิ้งไว้ในนาข้าว
- การนำไปใช้งาน ฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ คลุมดิน เพาะเห็ดฟาง ทำโครงพวงหรือดอกไม้ และใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นต้น แต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง
- จุดเด่น ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์
- จุดด้อย รวบรวมได้ยากถ้าใช้แรงคน เพราะอยู่กระจัดกระจาย ต้องใช้เครื่องทุ่นแรง (Straw baler) มาช่วยในการรวบรวม

### ใบอ้อยและยอดอ้อย

- ลักษณะทั่วไป มีลักษณะเรียวยาว จะถูกตัดออกจากลำต้นอ้อยก่อนส่งไปโรงงาน ช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายน ดังนั้นใบอ้อยและยอดอ้อยจะกระจายไปทั่วไร่อ้อย แต่บางครั้งชาวไร่อ้อยจะใช้วิธีการเผาแทนการตัด ซึ่งจะทำให้ไม่มีใบอ้อยและยอดอ้อยหลงเหลืออยู่
- แหล่ง ตามไร่อ้อยทั่วไป
- การนำไปใช้งาน ยอดอ้อยสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์
- จุดเด่น ใบอ้อยและยอดอ้อยส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้งในไร่ ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์
- จุดด้อย มีเฉพาะเดือนธันวาคมถึงเมษายนของทุกปี และการรวบรวมเก็บค่อนข้างใช้แรงงานมาก จำเป็นต้องหาเครื่องทุ่นแรงมาช่วย

### กากอ้อยหรือชานอ้อย

- ลักษณะทั่วไป มีลักษณะเป็นขุย ได้จากการผลิตน้ำตาลดิบ โดยนำอ้อยมาคั้นน้ำออก ส่วนที่เป็นน้ำนำไปผลิตเป็นน้ำตาลดิบ ส่วนที่เหลือคือกากอ้อย
- แหล่ง โรงงานน้ำตาล การนำไปใช้งานส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตน้ำตาลดิบ ประมาณ 80 % ส่วนที่เหลืออีก 20 % นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ
- จุดเด่น ยังมีกากอ้อยเหลืออีกส่วนหนึ่งที่ยังไม่ได้นำไปใช้งาน
- จุดด้อย น้ำหนักเบา และความชื้นสูง

### **เหง้ำมันสำปะหลัง**

**ลักษณะทั่วไป** เหง้ำมันเป็นส่วนที่ถูกตัดออกจากหัวมัน ด้านบนมีลักษณะเป็นลำต้นค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 15 มม. ยาวประมาณ 30 ซม. ส่วนอีกด้านหนึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน

**แหล่ง** ตามไร่มันสำปะหลัง

**การนำไปใช้งาน** ปัจจุบันยังไม่ค่อยนำไปใช้งาน จึงมักถูกเผาทิ้งตามไร่

**จุดเด่น** เนื่องจากส่วนมากยังไม่ได้นำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ จึงไม่มีคู่แข่งในการจัดหา

**จุดด้อย** ความชื้นโดยเฉลี่ย 60% และมีขนาดรูปร่างไม่แน่นอน จึงต้องมีขบวนการทำให้เล็กลงก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิง

### **เปลือกและกากมันสำปะหลัง**

**ลักษณะทั่วไป** เปลือกมีลักษณะเป็นขุย สีน้ำตาล ความชื้น 50% กากมันมีลักษณะละเอียด สีขาว ความชื้นสูงประมาณ 80 %

**แหล่ง** เป็นเศษที่เหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

**การนำไปใช้งาน** กากมันนำไปใช้ผสมอาหารสัตว์ในมันเส้น เปลือกมันทำปุ๋ย

**จุดเด่น** เนื่องจากเปลือกมันส่วนใหญ่ยังมีส่วนหนึ่งที่ขายไม่ได้ ทางโรงงานต้องนำไปฝังกลบเพราะยังไม่ได้ศึกษานำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น

**จุดด้อย** เปลือกมันมีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ

### **ซังข้าวโพดและลำต้น**

**ลักษณะทั่วไป** ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพด เพื่อนำเมล็ดมาใช้งาน ส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในส่วนของลำต้นจะถูกตัดหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว

**แหล่ง** ปัจจุบันการสีข้าวโพดจะใช้เครื่องจักรที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามไร่ข้าวโพด ดังนั้นจะสามารถหาซังข้าวโพดและต้นข้าวโพดได้ตามไร่ข้าวโพดทั่วไป

**การนำไปใช้งาน** ซังข้าวโพดมีประโยชน์หลายอย่าง นำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิง ผสมกับโมลาสเพื่อเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่วนลำต้นนำไปเลี้ยงสัตว์ได้เช่นกัน

**จุดเด่น** ซังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูง เมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นๆ ส่วนลำต้นข้าวโพดมีส่วนหนึ่งที่ไม่ได้นำไปใช้งาน ชาวไร่ข้าวโพดจะไถฝังกลบในไร่

**จุดด้อย** ชั่งข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่าง ดังนั้นต้องพิจารณาถึงแหล่งที่มีการนำไปใช้งานน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้มีการแก่งแย่งกันซื้อ ส่วนลำต้นข้าวโพดจะเก็บรวบรวมลำบาก ต้องใช้แรงคนมาก

### **เศษไม้ยางพารา**

**ลักษณะทั่วไป** ไม้ยางพาราเมื่อมีอายุถึง 20 -25 ปีจะถูกตัดเพื่อปลูกใหม่ ไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ รากหรือตอไม้ ปลายไม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วลงมา และไม้ท่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วขึ้นไป ไม้ท่อนจะถูกตัดให้ได้ความยาว 1.05 ม. เพื่อส่งโรงเลื่อยและโรงงานเฟอร์นิเจอร์ซึ่งจะได้เศษไม้หลายแบบคือ ปีกไม้ ตาไม้ (ส่วนที่มีตำหนิ) ไม้เลื่อยและซีกบ

**แหล่ง** ปีกไม้และไม้เลื่อยจะได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา ตาไม้และซีกบได้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ปลายไม้และรากไม้ได้จากสวนยางพารา

**การนำไปใช้งาน** ในส่วนของไม้เลื่อยจะนำไปเพาะเห็ด ทำรูป ใช้คลุมเผาถ่าน เศษไม้อื่นๆ จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงบ่มยางพารา เผาถ่าน ใช้ในขบวนการผลิต ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับไม้อัดยางพารา (Plywood) นอกจากนี้ ยังนำไปใช้ในงานก่อสร้าง เช่น เสาค้ำ ใช้ทำเป็นพาเลท ลังไม้ เป็นต้น

**จุดเด่น** ยังมีเศษไม้ยางพาราคือ รากไม้ และกิ่งไม้ เหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำไปใช้งาน

**จุดด้อย** มีขนาดใหญ่ และถ้าเป็นเศษไม้สดจะมีความชื้นค่อนข้างสูง ประมาณ 50% ประสิทธิภาพในการเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์ ดังนั้นอาจจะต้องเพิ่มขบวนการย่อยและลดความชื้นก่อนนำไปเผา

### **ใบปาล์มและต้นปาล์ม**

**ลักษณะทั่วไป** ใบปาล์มหรือทางปาล์มจะถูกตัดออกเพื่อนำทะเลลายปาล์มสดลงจากลำต้นมีขนาดยาวประมาณ 2-3 เมตร ส่วนลำต้นจะถูกโค่นเมื่อมีอายุ 20-25 ปี หรือเมื่อไม่สามารถให้ผลผลิตได้ดี

**แหล่ง** จากสวนปาล์ม

**การนำไปใช้งาน** ทางปาล์มใช้คลุมดิน ส่วนลำต้นเริ่มทยอยตัดในพื้นที่บางแห่ง

**จุดเด่น** ยังไม่มีการศึกษานำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างอื่น

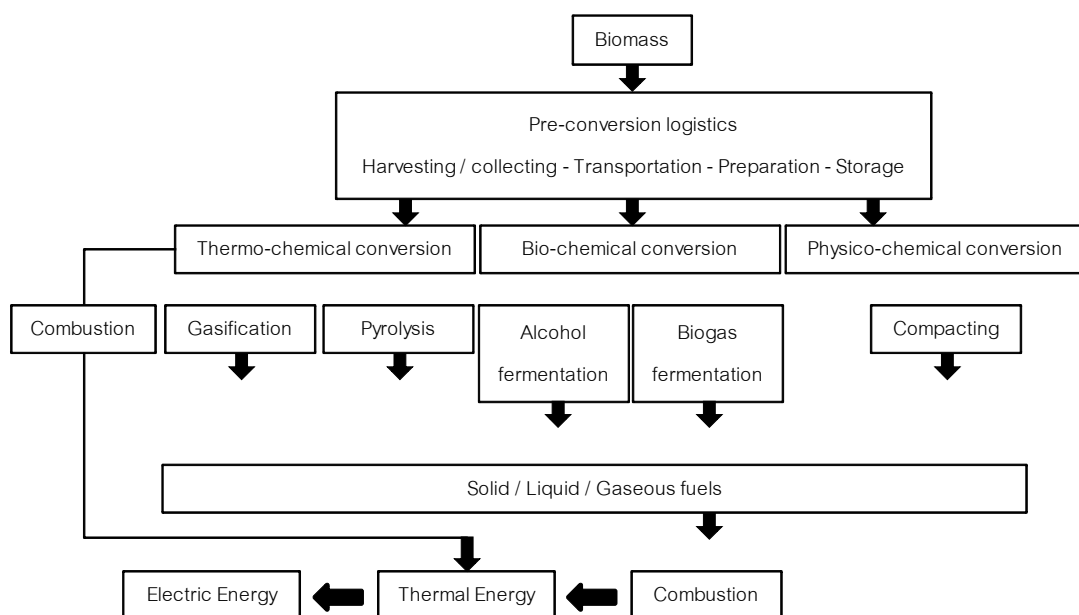
**จุดด้อย** ทางปาล์มมีความชื้นสูงถึง 80% และขนาดใหญ่

### 3.1.2 การแปลงผัน (Conversion Routes)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ชีวมวลเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตพลังงานเนื่องจากเป็นแหล่งของพลังงานที่ไม่มีวันหมด พร้อมทั้งมีวัตถุดิบจำนวนมากสำหรับกระบวนการและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การแปลงผันของชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงของแข็ง เชื้อเพลิงของเหลว และ/หรือเชื้อเพลิงแก๊สสามารถแบ่งกระบวนการหลักได้เป็น 3 กระบวนการ ดังต่อไปนี้

1. การแปลงผันทางเคมีความร้อน (Thermochemical conversion) สามารถแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการย่อย คือ การเผาไหม้ (Combustion) การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) และแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)
2. การแปลงผันทางชีวเคมี (Biochemical conversion) ซึ่งใช้จุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการแปลงผัน เช่น การหมักแอลกอฮอล์ (Alcohol fermentation) และการหมักแก๊สชีวภาพ (Biogas fermentation)
3. การแปลงผันทางเคมีกายภาพ เช่น การทำให้หนาแน่นหรือการอัดแน่น (Densification or compacting) และการสกัด (Extraction)

กระบวนการแปลงผันทั้ง 3 กระบวนการถูกประยุกต์ใช้มากที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การแปลงผันสำหรับชีวมวล (แก้ไข) (Barz et al., 2011)

### 3.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Online)

แก๊สซิฟิเคชันคือกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนของแข็งชีวมวล สารประกอบคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์หรือฟอสซิล ให้เป็นองค์ประกอบแก๊สผสมซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรเจน ( $H_2$ ) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน ( $CH_4$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ได้จากการทำปฏิกิริยาของวัสดุที่อุณหภูมิสูงมาก (มากกว่า 700 องศาเซลเซียส) ด้วยการควบคุมปริมาณของออกซิเจนและ/หรือไอน้ำ แก๊สผสมนี้เรียกว่า ซินแก๊ส (Syngas) ย่อมาจากแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas หรือ Synthetic gas) หรือ Producer gas ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงด้วยตัวของมันเอง แก๊สผสมนี้สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นทางอุตสาหกรรมสำหรับผลิตความร้อนและพลังงาน ผลิตไฮโดรเจนและสังเคราะห์เชื้อเพลิงของเหลว พลังงานจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลและการเผาไหม้ของแก๊สสังเคราะห์ได้ถูกพิจารณาให้เป็นแหล่งของพลังงานทางเลือกใหม่ที่ไม่มีความหมด แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มาจากวัสดุเช่นพลาสติกจะไม่พิจารณาเป็นพลังงานทางเลือกใหม่

ข้อได้เปรียบของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ การใช้ประโยชน์จากแก๊สสังเคราะห์มีศักยภาพและประสิทธิภาพมากกว่าการเผาไหม้โดยตรงเพราะกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง แก๊สสังเคราะห์อาจจะเผาไหม้โดยตรงในเครื่องยนต์แก๊ส ใช้ผลิตเมทานอลและไฮโดรเจน หรือเปลี่ยนผ่านกระบวนการ Fischer-Tropsch ไปเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถใช้ของเหลือทิ้งที่สามารถย่อยสลายได้เป็นวัตถุดิบ ยิ่งไปกว่านั้น การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ จะกลั่นเอาสารกัดกร่อนเช่นคลอไรด์และโพแทสเซียมออกได้ ทำให้แก๊สสะอาดขึ้น ปัจจุบันกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีใช้อย่างกว้างขวางในระดับอุตสาหกรรมเพื่อผลิตไฟฟ้า

#### 3.2.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Puig-Arnau et al., 2010)

แก๊สซิฟิเคชันคือการออกซิไดซ์ทางความร้อนบางส่วน (Partial thermal oxidation) ซึ่งให้ผลิตผลของปริมาณแก๊สในสัดส่วนที่สูง (คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และแก๊สไฮโดรคาร์บอน) และสารในปริมาณน้อย (ของแข็ง) ชี๊ถั่ว และสารประกอบที่กลั่นตัวได้ (ทาร์และน้ำมัน) โดยมีไอน้ำและอากาศ (หรือออกซิเจน) ถูกป้อนเข้าไปในปฏิกิริยาเพื่อเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) แก๊สที่ได้จะมีคุณภาพ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและ

หลากหลายกว่าเชื้อเพลิงชีวมวล แก๊สที่ได้สามารถนำไปผลิตเป็นไฟฟ้าทั้งจากเครื่องยนต์แก๊สและระบบกังหันแก๊ส หรือใช้เป็นวัตถุดิบทางเคมีเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลว กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนี้ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัตถุดิบที่มีราคาหรือคุณค่าต่ำโดยการแปลงให้เป็นผลิตภัณฑ์และเชื้อเพลิงที่ตลาดต้องการอีกทางหนึ่ง

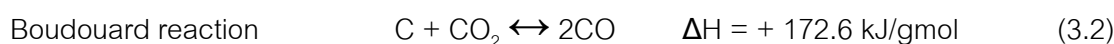
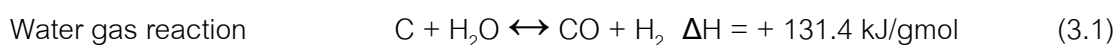
คุณสมบัติทางเคมีของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นกระบวนการทางด้านเคมีความร้อนที่ซับซ้อน โดยทั่วไปกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่เวลาเดียวในส่วนต่างๆ ของแก๊สซิฟิเคอร์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

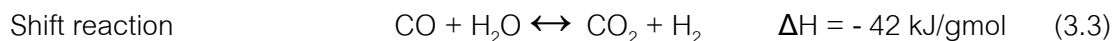
- กระบวนการอบแห้ง ในขั้นตอนนี้จะลดปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทั่วไปจะมีความชื้นตั้งแต่ 5 – 35% กระบวนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้มีค่าต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะใช้อุณหภูมิประมาณ 100 – 200 องศาเซลเซียส

- กระบวนการ Devolatilisation (หรือกระบวนการไพโรไลซิส) เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกย่อยสลายด้วยความร้อนโดยปราศจากแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ ในกระบวนการนี้สารที่ระเหยได้ในเชื้อเพลิงชีวมวลจะลดลง เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลกลายเป็นถ่านชาร์จึงส่งผลให้มีการระเหยของแก๊สไฮโดรคาร์บอนจากชีวมวลเอง แก๊สไฮโดรคาร์บอนสามารถกลั่นตัวไปเป็นน้ำมันนําทาร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำเพียงพอ

- กระบวนการออกซิเดชัน (กระบวนการเผาไหม้) เป็นปฏิกิริยาระหว่างของแข็งชีวมวลที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและออกซิเจนในอากาศ ได้ผลลัพธ์ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นน้ำ ความร้อนในปริมาณมากจะถูกปล่อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในคาร์บอนและไฮโดรเจน ถ้าหากมีออกซิเจนอยู่ในปริมาณน้อย ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ เป็นผลให้เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

- กระบวนการรีดักชัน เมื่อปราศจากออกซิเจน ปฏิกิริยารีดักชันหลายรูปแบบจะเกิดขึ้นภายใต้ช่วงอุณหภูมิ 800 - 1000 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในช่วงกระบวนการนี้ มีดังนี้





### 3.2.2 ชนิดของแก๊สซิฟิเคชัน (A. Gomez-Barea and B. Leckner, 2010)

แก๊สซิฟิเคชันสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ (1) fixed or moving bed, (2) fluidized bed และ (3) entrained flow ประเภทของแก๊สซิฟิเคชันขึ้นอยู่กับว่าแก๊สและเชื้อเพลิงจะสัมผัสกันอย่างไร รายละเอียดของแก๊สซิฟิเคชันแต่ละชนิดแสดงด้านล่าง

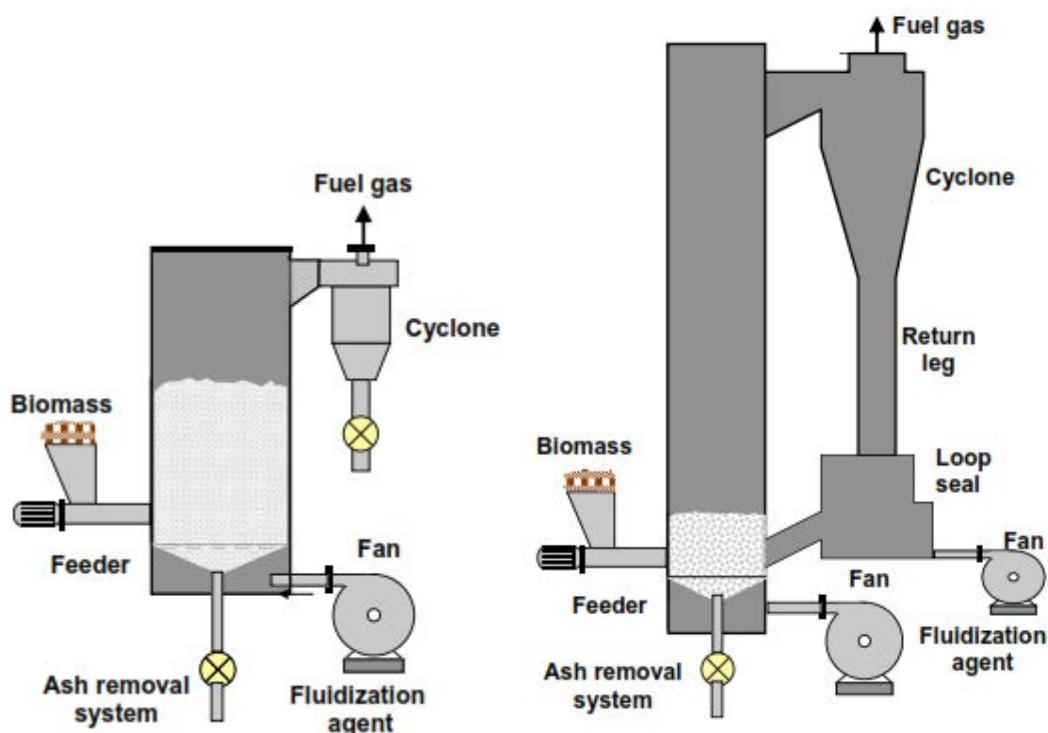
#### Fixed-bed

โดยปกติแก๊สซิฟิเคชันแบบ fixed-bed มีทั้งแบบไหลขึ้น (Counter-current) และแบบไหลลง (Co-current) แก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้นนี้ เชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ไหลลงด้านล่างในขณะที่อากาศจะเคลื่อนที่จากด้านล่างไหลขึ้นด้านบน ในขณะที่แก๊สออกจากแก๊สซิฟิเคชันใกล้เคียงกับบริเวณไพโรไลซิส แก๊สที่เกิดในแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้นนี้จะมีปริมาณสารอินทรีย์ (ทาร์) ในปริมาณสูง คาร์บอนในรูปของแข็งเกือบทั้งหมดที่อยู่ในเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นแก๊สและทาร์ ในทางกลับกัน แก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง เชื้อเพลิงและอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันและแก๊สออกจากแก๊สซิฟิเคชันในโซนที่ร้อนที่สุด ทำให้ความเข้มข้นของทาร์ต่ำกว่าแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้น

#### Fluidized-bed

แก๊สซิฟิเคชันแบบ Fluidized bed จะมีข้อดีมากกว่าแบบ fixed bed โดยเฉพาะการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและแก๊ส อัตราการเกิดปฏิกิริยา และความเป็นไปได้ของการสร้างแก๊สซิฟิเคชันที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบ fixed-bed แก๊สซิฟิเคชันประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ แบบเบดฟองอากาศและแบบเบดไหลวน มีความแตกต่างกันคือแบบเบดไหลวนมักจะสร้างกับอนุภาคที่มีการหมุนเวียน การหมุนวนกลับมาใหม่ของอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการแปลงผันของคาร์บอนที่ดีกว่า โดยเพิ่มเวลาทำปฏิกิริยาของอนุภาค รูปที่ 3.2 แสดงถึงองค์ประกอบหลักของแก๊สซิฟิเคชันแบบ Fluidized bed ทั้งสองแบบ แบบเบดไหลวนจะสูงกว่าและถูกออกแบบด้วยระบบหมุนเวียนของแข็งอย่างต่อเนื่องเพื่อจ่ายอนุภาคเข้าไปซ้ำๆ ภายในเบด (ประกอบด้วยชุดแยกอนุภาค ท่อนำกลับเบด และระบบซีล) แบบเบดไหลวนจะทำงานด้วยความเร็วสูงในช่วง 2–5

เมตรต่อวินาที ซึ่งจะเร็วกว่าแบบเบดฟองอากาศที่ใช้ความเร็วเพียง 0.5–2 เมตรต่อวินาที ดังนั้นแบบเบดไหลวนจะมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่สูงกว่าแบบเบดฟองอากาศ การลำเลียงของวัสดุจากด้านล่างและการหมุนเวียนในเบดแบบไหลวนจะเป็นการเพิ่มการไหลของของแข็ง ตลอดจนเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างแก๊สและของแข็งอีกด้วย



รูปที่ 3.2 ฟลูอิดไดซ์เบด 2 แบบ (ก) Bubbling (ข) Circulating

### Entrained Flow

สำหรับระบบแก๊สซิฟิเคชันที่มีขนาดใหญ่ (>400 MWth) แก๊สซิฟิเคชันแบบ entrained-flow ที่มีการกำจัดถ่านเหลวเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงทำให้แก๊สที่ผลิตได้แทบจะไม่มีทาร์เข้ามาปะปนเพราะการเปลี่ยนแปลงสภาพของคาร์บอนเกือบจะสมบูรณ์ ดังนั้นจึงเป็นการแก้ไขข้อปัญหา 2 ปัญหาหลักของแบบ Fluidized อย่างไรก็ตามมีข้อบกพร่องบางประการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการของชีวมวลในหัวข้อนี้ นั่นคือความยุ่งยากของการลดขนาดอนุภาคของชีวมวลบางชนิดและการกร่อนของวัสดุเคลือบภายในเตาที่มีสาเหตุมาจากการหลอมเหลวของแร่



จากเชื้อเพลิงชีวมวล นอกเหนือจากนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของอุปกรณ์อันได้แก่ข้อจำกัดของปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะสามารถส่งเข้าโรงงานได้ ด้วยเหตุผลเหล่านี้เป็นการขัดขวางระบบแก๊สซิไฟเออร์แบบ Entrained-flow โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล จากผลดังกล่าว กระบวนการแก๊สซิไฟเคชันจากเชื้อเพลิงชีวมวลและขยะ ตั้งแต่ขนาดกลางไปจนถึงขนาดใหญ่จะมีการใช้ระบบแก๊สซิไฟเออร์แบบ Fluidized bed แทบทั้งสิ้น คุณลักษณะของแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมชีวมวลแสดงดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** คุณลักษณะสำคัญของแก๊สซิไฟเออร์ระดับอุตสาหกรรม (T. Damartzis และ A. Zabaniotou, 2011)

ชนิดของแก๊สซิไฟเออร์	คุณลักษณะ
Fixed-bed	สามารถจัดการได้ทั้งอนุภาคขนาดใหญ่และหยาบ ให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่า อนุภาคในแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูง ใช้ gasifying agent ในปริมาณสูง ซี้เถ้าถูกกำจัดเป็น slag หรือทำให้แห้ง
Fluidized-bed	มีการกระจายอุณหภูมิในลักษณะเดียวกัน การสัมผัสระหว่างแก๊สและของแข็งสูง อุณหภูมิในกระบวนการสูง (1000 – 1200 องศาเซลเซียส) ปริมาณอนุภาคในแก๊สผลิตภัณฑ์น้อย เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิลดลงของซี้เถ้าต่ำ ซี้เถ้าถูกกำจัดเป็น slag หรือทำให้แห้ง
Entrained Flow	ต้องการวัตถุดิบที่มีความละเอียด (<0.1–0.4 mm) อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสูงมาก (มากกว่า 1200 องศาเซลเซียส) ไม่เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณซี้เถ้าสูง ต้องการออกซิเจนสูง ซี้เถ้าถูกกำจัดเป็น slag ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่ำ

### 3.3 วงจรรวม (Combined cycle)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากรวมมีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกโดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้า วงจรรวม (Combined cycle) ใช้ความร้อนจากแก๊สเสียของกังหันแก๊สในการผลิตไฟฟ้าและให้ประสิทธิภาพมากกว่า 50% ซึ่งมากกว่าระบบวงจรทั่วไป อีกทั้งยังมากกว่าระบบ Supercritical pressure reheat steam power plants ระบบนี้ยังสามารถผลิตไฟฟ้าโดยใช้เงินลงทุนต่ำกว่าระบบดั้งเดิมเมื่อเทียบกำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน

#### 3.3.1 กังหันแก๊ส (Gas Turbine)

กังหันแก๊สเป็นที่รู้จักดีในแง่ของเงินลงทุนต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง มีความซับซ้อนน้อยและมีความเสถียรสูง การขนส่งที่รวดเร็ว การเตรียมระบบก่อนเดินเครื่องจักรจริงใช้เวลาสั้น ระบบนี้ยังได้ชื่อว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีมลพิษทางอากาศและแก๊สเรือนกระจกต่ำ ไอเสียจากกังหันแก๊สยังนำไปให้ความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนได้อีกต่อหนึ่งด้วย

กังหันแก๊สอย่างง่ายมีการใช้งานในอดีตโดยจำกัดปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าของโรงงานโดยมักจะใช้ร่วมกับความร้อนที่ได้จากการผลิตยกตัวอย่างเช่น น้ำร้อนและไอน้ำจากกระบวนการผลิต เมื่อเร็ว ๆ นี้ประสิทธิภาพของกังหันแก๊สได้ถูกพัฒนาเนื่องจากการคำนึงถึงการลงทุนในแง่ของประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า กำลังการผลิต และความมีเสถียรภาพในการผลิต ปริมาณของแหล่งเชื้อเพลิง เช่น แก๊สธรรมชาติมีความสำคัญในการลดเงินลงทุนและยังเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเพิ่มกำลังการผลิต

กังหันแก๊สใช้หลักการทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ที่เรียกว่า Brayton cycle ซึ่งเกี่ยวข้องกับการอัดความดันของอากาศแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic) การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในสภาวะความดันคงที่และการขยายตัวผ่านกังหันเพื่อกลับเข้าสู่ความดันเริ่มต้น ในทางปฏิบัติจะเกิดแรงเสียดทานและความไม่เสถียรซึ่งเกิดจาก

1. การอัดแบบ Non-isentropic สำหรับอัตราส่วนความดันรวมที่กำหนด อุณหภูมิจากการอัดจะสูงกว่าค่าในอุดมคติ
2. การขยายตัวแบบ Non-isentropic อุณหภูมิที่ลดลงจากการขยายตัวผ่านกังหันมีความสำคัญในการขับเคลื่อนเครื่องอัดความดันแบบไม่เต็มประสิทธิภาพ อัตราส่วนความดันที่เกี่ยวข้องมีค่าสูงขึ้น ซึ่งไปลดงานจากการขยายตัว

3. ความดันที่สูญเสียไปจากระบบนำอากาศเข้าเครื่องอัดความดัน มีผลต่อการลดลงของงานที่ออกจากกังหันแก๊ส

### 3.3.2 กังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

กังหันไอน้ำ คือ เครื่องจักรที่ดึงเอาพลังงานความร้อนจากไอน้ำความดันสูงและแปลงเป็นพลังงานจลน์ พลังงานที่เปลี่ยนแปลงทำหน้าที่ขับเคลื่อนกังหันค่อนข้างสมบูรณ์เพราะมีประสิทธิภาพทางความร้อนค่อนข้างสูงและมีสัดส่วนของไฟฟ้าต่อปริมาณของไอน้ำสูง มากกว่า 80% ของพลังงานไฟฟ้าทั่วโลกใช้ระบบของกังหันไอน้ำ

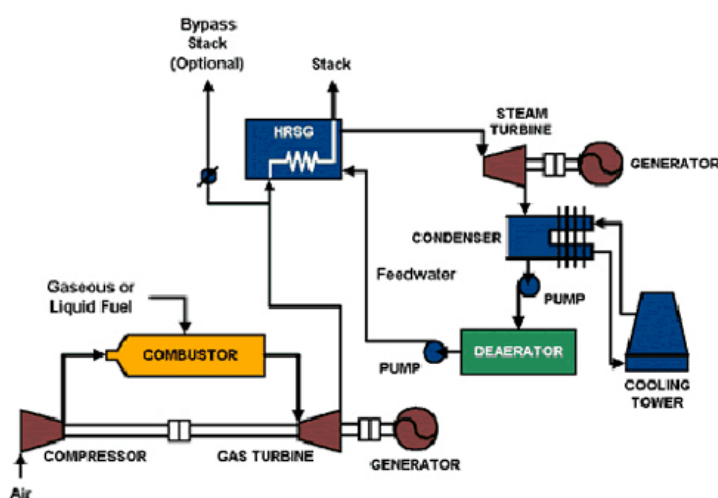
กังหันไอน้ำมีหลากหลายขนาดตั้งแต่ 0.75 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้สำหรับขับเคลื่อนปั๊ม เครื่องอัดความดันและขับเคลื่อนแกนของอุปกรณ์อื่นๆ จนถึงขนาดใหญ่ 1,500,000 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

### 3.3.3 ระบบพลังงานร่วม (Combined Cycle)

เมื่อพิจารณาระบบร่วมของกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำ จึงเป็นการใช้หลักการของ Brayton และ Rankine ร่วมกันในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยหลักการดึงความร้อนจากวัฏจักร Brayton ไปให้กับวัฏจักรความร้อนของ Rankine ในการผลิตไอน้ำแทนที่การปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยตรง จากเหตุผลข้างต้นจึงเรียกหลักการนี้ว่า การนำกลับของความร้อนปล่อยทิ้งและอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สเสียกับไอน้ำ ถูกเรียกว่า ระบบผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับ (HRSG) ประสิทธิภาพของวัฏจักรความร้อนร่วมมีค่าสูงกว่ากังหันแก๊สแบบธรรมดา

วัฏจักรความร้อนร่วมเป็นการนำหลักการทางอุณหพลศาสตร์มากกว่า 1 วัฏจักรมารวมกัน เครื่องจักรกลความร้อนที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 50% ความร้อนส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้โดยทั่วไปจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ดังนั้นการนำระบบของ Brayton และ Rankine มารวมกันจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าได้

ในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม กังหันแก๊สทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน ปล่อยทิ้งถูกใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติมในกังหันไอน้ำ ในขั้นตอนนี้ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม ในระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบทั่วไป ความร้อนอุณหภูมิสูงที่ให้แก่โรงไฟฟ้ามาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ในเชิงของประสิทธิภาพอุณหภูมิที่ต่างกันระหว่างความร้อนขาเข้าและขาออกควรมีค่าสูงสุดเท่าที่จะทำได้ การรวมกันของวัฏจักร Brayton และ Rankine จึงถูกเรียกว่า การรวมของแก๊สและไอน้ำดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การรวมของกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำ (COGAS)

#### 3.4 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน (Integrated gasification Combined Cycle (IGCC))

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สซิฟิเคชัน คือ ระบบที่ใช้เชื้อเพลิงจากเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ที่ความดันสูง ดังนั้นแก๊สที่ผลิตได้จึงต้องถูกกำจัดโดยการเผา เพราะมีปริมาณซัลเฟอร์และไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์สูง การเผาไหม้ถูกทำในกังหันแก๊สของโรงไฟฟ้า ความร้อนจากแก๊สเสียนำไปให้พลังงานกับไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในกังหันไอน้ำ

อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สซิฟิเคชัน

- โรงผลิตแก๊สซิฟิเคชัน
- ระบบนำกลับความร้อนของเชื้อเพลิง

- ระบบบำบัดซัลเฟอร์
- ระบบแยกอากาศ
- กังหันแก๊สและ HRSG
- กังหันไอน้ำ

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับแก๊สซิฟิเคชันจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สสังเคราะห์ โดยการผสมไอน้ำและออกซิเจนหรืออากาศ แก๊สซิฟิเคชันสามารถเป็นได้ทั้งแบบเบดนิ่งหรือฟลูอิดไดซ์เบด การเลือกแก๊สซิฟิเคชันที่มีประสิทธิภาพเชิงราคาแพงที่สุดและให้ระดับมลภาวะต่ำขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง

ระบบบำบัดแก๊สในขั้นต้นเริ่มจากการกำจัดฝุ่นจากแก๊สสังเคราะห์ สารเคมีอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ จะถูกกำจัดในขั้นตอนนี้ด้วย หลังจากนั้นแก๊สที่มีความบริสุทธิ์จะถูกเพิ่มอุณหภูมิและทำให้อิ่มตัวด้วยไอน้ำก่อนส่งเข้ากังหันแก๊ส

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบ IGCC มีหลายประเภท เช่น ชนิดของแก๊สซิฟิเคชัน กากของเหลว เชื้อเพลิงถ่านหิน และถ่านหิน ในความเป็นจริงระบบ IGCC ถูกพัฒนาโดยใช้ข้อดีของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมซึ่งมีประสิทธิภาพสูงโดยใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูก นอกจากนี้ IGCC ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำมาก ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีค่าต่ำเป็นเพราะการนำแก๊สสังเคราะห์มาผสมกับไนโตรเจนและทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ การกำจัดซัลเฟอร์จากแก๊สสังเคราะห์ทำให้สามารถนำซัลเฟอร์กลับมาอยู่ในรูปของแข็ง แก๊สสังเคราะห์ที่กำจัดของเสียจะนำมาเข้าตัวกรองเพื่อกำจัดของแข็ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อกังหันแก๊ส ระบบ IGCC นอกจากจะไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมแล้วยังมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงอีกด้วย

### 3.5 การเลือกชีวมวลสำหรับงานวิจัยนี้

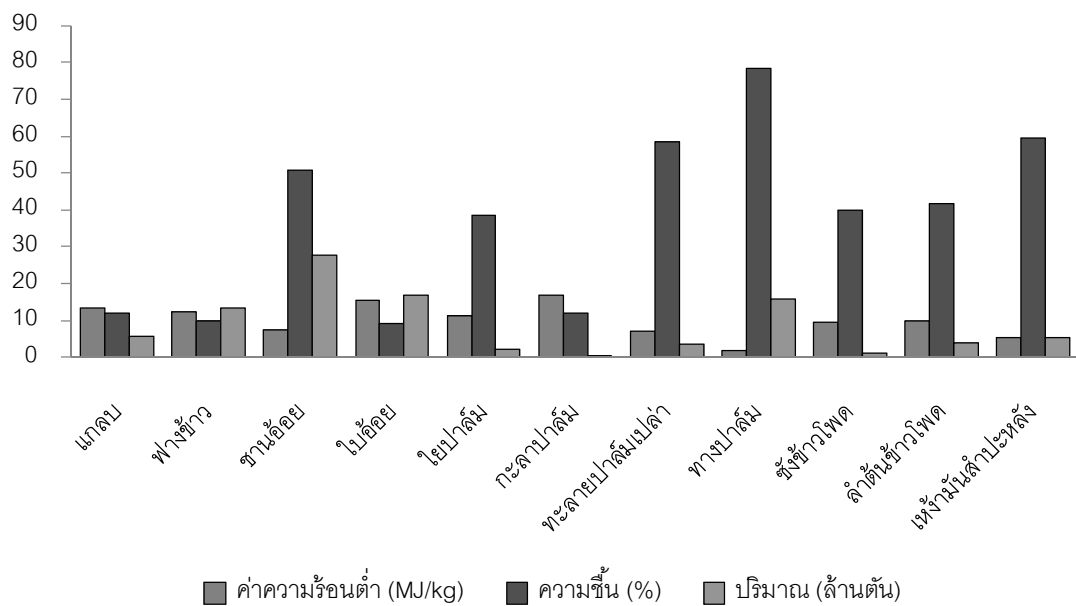
หลักการเลือกชนิดและประเภทของชีวมวลสำหรับงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

1. ชีวมวลต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกินกว่า 15% เพื่อลดค่าใช้จ่ายและพลังงานในการอบแห้ง
2. ชีวมวลต้องมีค่าความร้อนต่ำสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงดังสมการที่ 3.1 (F. Emun et al., 2010)

$$\eta_i(\%) = \frac{P_{NET}}{M_{Biomass} \times LHV_{Biomass}} \times 100\% \quad (3.5)$$

3. ปริมาณชีวมวลคงเหลือมากพอ

จากตารางที่ 3.1 สามารถสร้างกราฟแท่งระหว่างชนิดชีวมวล และค่าความร้อนต่ำ ความชื้น และปริมาณชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณาจากหลักการเลือกชีวมวล ชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ แกลบ ฟางข้าว และใบอ้อย



รูปที่ 3.4 ค่าความร้อนต่ำ ความชื้น และปริมาณของชีวมวลชนิดต่างๆ

## บทที่ 4

### การจำลองกระบวนการ

#### 4.1 สมมติฐานของงานวิจัย

สมมติฐานของแบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้คือ

- ระบบอยู่ภายใต้สภาวะคงตัวและอุณหภูมิกคงที่
- ชีวมวลถูกย่อยสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็วและเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ คือ  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$
- ปฏิกริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์ถึงสมดุลเคมี
- ถ่านชาร์ในแบบจำลองเป็นคาร์บอนและซีไ้ดำ
- ไม่คิดการรั่วและการสูญเสียความร้อนจากอุปกรณ์
- น้ำ แอมโมเนียและซัลเฟอร์ถูกกำจัดออกจากระบบทั้งหมด
- ใช้วิธีการคำนวณของ Peng-Robinson และ Boston-Mathias (PR-BM) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและการผลิตไฟฟ้า
- เลือกประเภทของกระแสเป็น MIXCINC
- กระบวนการเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์สมดุล
- ไม่เกิดของแข็งในกระบวนการ

## 4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวล

แกลบ ฟางข้าวและใบอ้อย คือ ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล (Energy for Environment Foundation, 2006)

การวิเคราะห์แบบประมาณ	แกลบ	ฟางข้าว	ใบอ้อย
ความชื้น (%)	12.00	10.00	9.20
ซีเถ้า (%)	12.65	10.39	6.10
สารระเหยได้ (%)	56.46	60.70	67.80
คาร์บอนคงตัว (%)	18.88	18.90	16.90
<b>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ</b>			
คาร์บอน (%)	37.48	38.17	41.60
ไฮโดรเจน (%)	4.41	5.02	5.08
ออกซิเจน (%)	33.27	35.28	37.42
ไนโตรเจน (%)	0.17	0.58	0.40
ซัลเฟอร์ (%)	0.04	0.09	0.17
คลอรีน (%)	0.09	-	0.01
ซีเถ้า (%)	12.65	10.39	6.10
ความชื้น (%)	12.00	10.00	9.20
<b>คุณสมบัติอื่นๆ</b>			
ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> )	150	125	100
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	14,755	13,650	16,794
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	13,517	12,330	15,479



### 4.3 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงโดยผ่านการเผาไหม้ในระบบกังหันซึ่งให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และซัลเฟอร์ออกไซด์ (SOx) ในปริมาณต่ำ และปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าประมาณ 20% เมื่อเทียบกับกระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Klimantos P. et al., 2009; Matthew J. et al., 2009; Emun F. et al., 2010) โดยระบบนี้เริ่มจากนำชีวมวลซึ่งเป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับไอน้ำและอากาศ จะได้แก๊สสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทนปริมาณเล็กน้อย จากนั้นนำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้เข้าสู่ระบบกังหันแก๊สเพื่อผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ความร้อนในไอเสียจากกังหันแก๊สสามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานต่อไปได้โดยผ่านไอเสียเข้าระบบผลิตไอน้ำความดันสูง จากนั้นนำไอน้ำความดันสูงเข้าระบบกังหันไอน้ำจะได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่ม โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลแสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

#### 4.3.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ชีวมวลที่เลือกมาคือ แกลบ ฟางข้าวและใบอ้อยจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และป้อนเข้าแก๊สซิฟิเคชันชนิดฟลูอิดไดซ์เบดที่ความดันบรรยากาศ ชีวมวลเป็นสารประกอบ (Non-conventional) ที่ไม่มีอยู่ในระบบโปรแกรม ASPEN PLUS ดังนั้นการจำลองสารประกอบชีวมวลจึงจำลองโดยใช้ Calculator block เพื่อเปลี่ยนสารประกอบชีวมวลเป็นสารประกอบ (Conventional) ที่มีอยู่ในระบบโปรแกรม ASPEN PLUS โดยคำนวณสารประกอบแต่ละตัวบนพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบประมาณและการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และใช้แบบจำลอง HCOALGEN และ DCOALIGT เพื่อประมาณค่าเอนทัลปีและความหนาแน่นของชีวมวล ตามลำดับ สภาวะการจำลองกระบวนการและการใช้งานของแต่ละหน่วยปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 สภาวะกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

แก๊สซิฟิเคชัน	
อุณหภูมิ	600 – 900 องศาเซลเซียส
ความดัน	1.05 บาร์
อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล	0.75 – 2.00
อัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ	0 - 2.00

ชีวมวลจะถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งเข้าหน่วย DECOMP เพื่อกำหนดผลได้ขององค์ประกอบแก๊ส องค์ประกอบแก๊สที่ได้จาก DECOMP จะถูกส่งเข้าสู่แก๊สซิฟิเคชันซึ่งปฏิบัติการภายใต้สภาวะคงตัว อุณหภูมิคงที่และเกิดสมดุล ความดัน 1.05 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะถูกป้อนผ่านระบบไซโคลนเพื่อกำจัดอนุภาค สารประกอบซัลเฟอร์ และสารประกอบไนโตรเจนออกก่อนเข้าระบบผลิตไฟฟ้า (Klimantos P. et al., 2009; Damartzis Th. et al., 2012) จากนั้นแก๊สสังเคราะห์ถูกป้อนผ่านเครื่องทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิลงสู่ 40 องศาเซลเซียส ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมต่อไป



ตารางที่ 4.3 หน่วยปฏิบัติการในระบบแก๊สซิฟิเคชัน

หน่วยปฏิบัติการ (ASPEN name)	สภาวะหน่วยปฏิบัติการ	การใช้งาน
DRYING (Heater)	อุณหภูมิ = 120 °C ความดัน = 1.05 bar	เพิ่มอุณหภูมิเพื่ออบแห้ง
DECOMP (RYield)	อุณหภูมิ = 350 °C	กำหนดผลได้ของส่วนประกอบ
ASHSEP (Sep)	Stream = ASH Substream = NC Comp = ASH, FRAC = 1	หน่วยปฏิบัติการนี้ใช้แยกซีเถ้าออกจากแก๊สสังเคราะห์
GASIFIER (RGibbs)	ความดัน = 1.05 bar	หน่วยปฏิบัติการนี้จำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันภายใต้สมดุลและพลังงานอิสระกิบส์ อุณหภูมิถูกเปลี่ยนแปลงตามการจำลอง
CYCLONE (Sep)	Stream = DRYGAS Substream = MIXED, CISOLID Comp = C, H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> O, CL <sub>2</sub> , S, C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> FRAC = 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0	หน่วยปฏิบัติการนี้ใช้แยกของแข็ง คาร์บอน สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบซัลเฟอร์ คลอรีน น้ำ และทาร์ออกจากแก๊สสังเคราะห์
COOLER (Heater)	อุณหภูมิ = 40 °C ความดัน = 1.05 bar	

#### 4.3.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์

เมื่อทำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์แล้ว แก๊สสังเคราะห์จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอัดความดันและส่งเข้าระบบเผาไหม้ของกังหันแก๊สเพื่อผลิตไฟฟ้าและได้แก๊สร้อนออกมาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 570 องศาเซลเซียส จากนั้นแก๊สร้อนจะถูกส่งเข้าระบบผลิตไอน้ำความดันสูง (HRSG) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำผลิตไอน้ำความดันสูง และไอน้ำความดันสูงถูกส่งเข้ากังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมจากกังหันแก๊ส สภาวะดำเนินการของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ที่ใช้อ้างอิงมาจากโรงงานแห่งหนึ่งที่บริษัทที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ได้ก่อสร้างขึ้น สภาวะการจำลองกระบวนการและการใช้งานของแต่ละหน่วยปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของกังหันแก๊ส

กังหันแก๊ส	
รุ่นกังหันแก๊ส	SGT-800
อัตราส่วนความดัน (Pressure ratio)	20.2
อุณหภูมิเผาไหม้	1400 องศาเซลเซียส

อากาศที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและแก๊สสังเคราะห์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเข้าสู่เครื่องอัดความดันของกังหันแก๊ส ซึ่งความดันที่ออกจากเครื่องอัดความดันของกังหันแก๊สมีค่าเท่ากับ 31 บาร์ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดความดันเท่ากับ 0.75 จากนั้นแก๊สสังเคราะห์และอากาศอัดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยในห้องเผาไหม้นี้กำหนดปฏิกิริยาเคมีเพื่อจำลองกระบวนการเผาไหม้ (Aspen Tech, 2006) ดังสมการต่อไปนี้



โดยสมมติว่าปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดการแปลงผันอย่างสมบูรณ์ และไม่เกิดไนโตรเจนออกไซด์

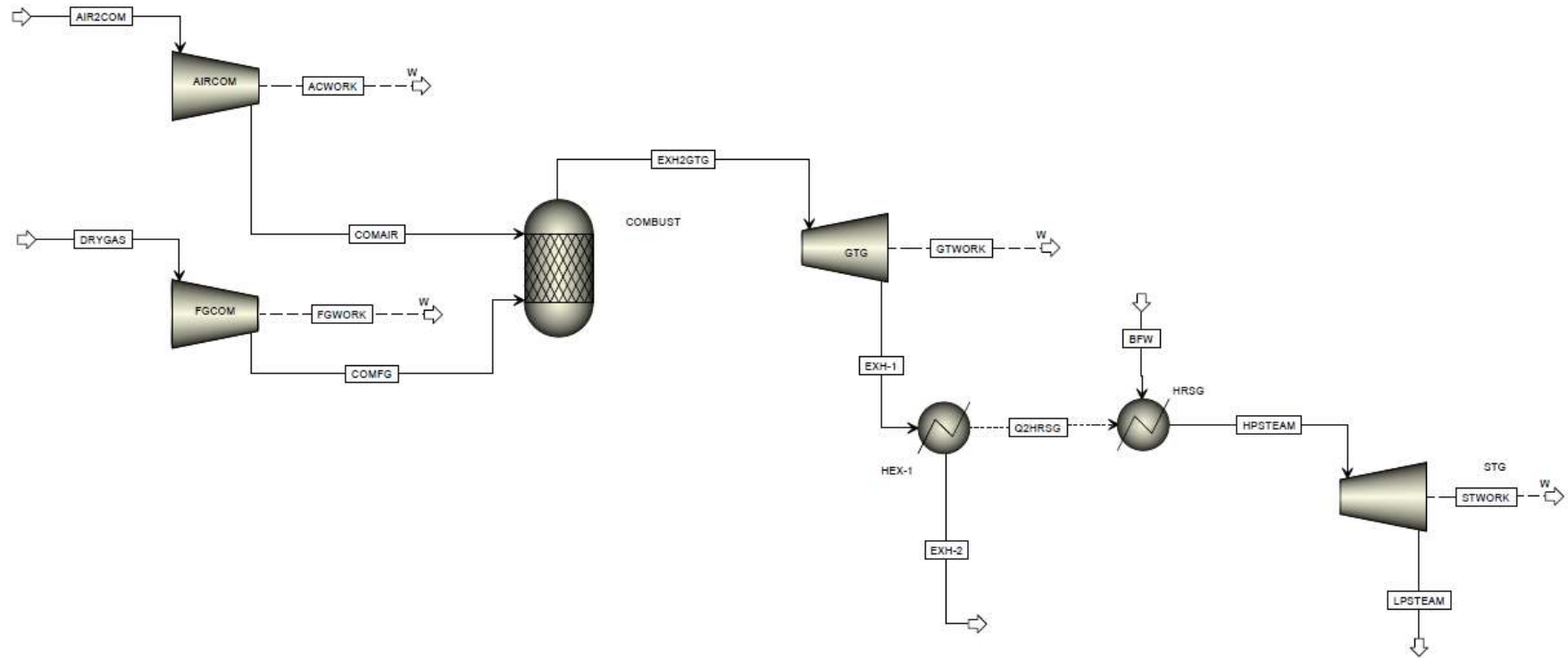
อุณหภูมิเผาไหม้ของกังหันแก๊สที่ 1,400 องศาเซลเซียสถูกกำหนดโดยแก๊สร้อนที่ออกจากกังหันแก๊ส เมื่อแก๊สร้อนออกจากห้องเผาไหม้จะขยายตัวผ่านกังหัน ความดันที่ออกจากกังหันแก๊สมีค่าเท่ากับ 1 บาร์ และประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของกังหันแก๊สเท่ากับ 0.90

แก๊สร้อนถูกส่งเข้าระบบผลิตไอน้ำความดันสูง (HRSG) โดยแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ป้อนเข้ามา ได้ไอน้ำความดันสูง 85.6 บาร์ อุณหภูมิ 565 องศาเซลเซียส จะขยายตัวเพื่อปั่นกังหันได้ไฟฟ้าเพิ่มเติมจากส่วนของกังหันแก๊ส ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของกังหันแก๊สเท่ากับ 0.90

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 หน่วยปฏิบัติการในระบบผลิตไฟฟ้า

หน่วยปฏิบัติการ (ASPEN name)	สภาวะหน่วยปฏิบัติการ	การใช้งาน
FGCOM & AIRCOM (Compr)	ประเภท = ไอเซนโทรปิก ความดัน = 31 bar ประสิทธิภาพ = 0.75	เพิ่มความดันให้กับแก๊สสังเคราะห์ และอากาศก่อนเข้าสู่กังหันแก๊ส
COMBUSTOR (RStoi)	อุณหภูมิ = 1,400 °C ความดัน = 31 bar Stoi 1 $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ Stoi 2 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ Stoi 3 $\text{CH}_4 + 1.5\text{O}_2 = \text{CO}$ + $2\text{H}_2\text{O}$ CONV1: CO 1 CONV2: H2 1 CONV3: CH4 1	จำลองปฏิกิริยา Stoichiometric ใน ระบบกังหันแก๊ส
GAS TURBINE (Compr)	ประเภท = ไอเซนโทรปิก ความดันขาออก = 1 bar ประสิทธิภาพ = 0.90	จำลองเครื่องอัดความดันเป็นแบบ ขยายตัวออก
HRSG (Heater)	ความดัน = 85.6 bar	
STEAM TURBINE (Compr)	ประเภท = ไอเซนโทรปิก ความดันขาออก = 1 bar ประสิทธิภาพ = 0.90	จำลองเครื่องอัดความดันเป็นแบบ ขยายตัวออก



รูปที่ 4.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์



### 4.3.3 พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ

พลังงานไฟฟ้าสุทธิ (Net power) คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำโดยหักพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบออก กังหันแก๊สและกังหันไอน้ำจำลองโดยหน่วยปฏิบัติการ “COMPR” ใน ASPEN PLUS ซึ่งต้องใส่ข้อมูลของความดันขาออกและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก ในหน่วยปฏิบัติการนี้ การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้ มีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW) คำนวณได้ดังสมการ (F. Emun et al., 2010)

$$\text{Net power} = \text{GT power} + \text{ST power} - \text{Auxiliary power} \quad (4.4)$$

โดยที่

GT power                      พลังงานสุทธิจากกังหันแก๊สคำนวณได้จากผลรวมของงานที่ได้จากกังหันแก๊สและงานที่ใส่เข้าไปในเครื่องอัดความดันของกังหันแก๊ส

ST power                      พลังงานที่ออกมาจากกังหันไอน้ำ

Auxiliary power              พลังงานที่เกิดจากระบบการผลิตไอน้ำเท่ากับ 5.5 MW

ประสิทธิภาพสุทธิของระบบขึ้นกับค่าความร้อนสูงของสารตั้งต้น คำนวณได้จากสมการ (F. Emun et al., 2010; Th. Damartzis et al., 2012)

$$\% \text{Efficiency} = \frac{\text{Net Power (MW)}}{\text{HHV (kJ/kg)} \times \text{Feed flowrate (ton/s)}} \times 100\% \quad (4.5)$$

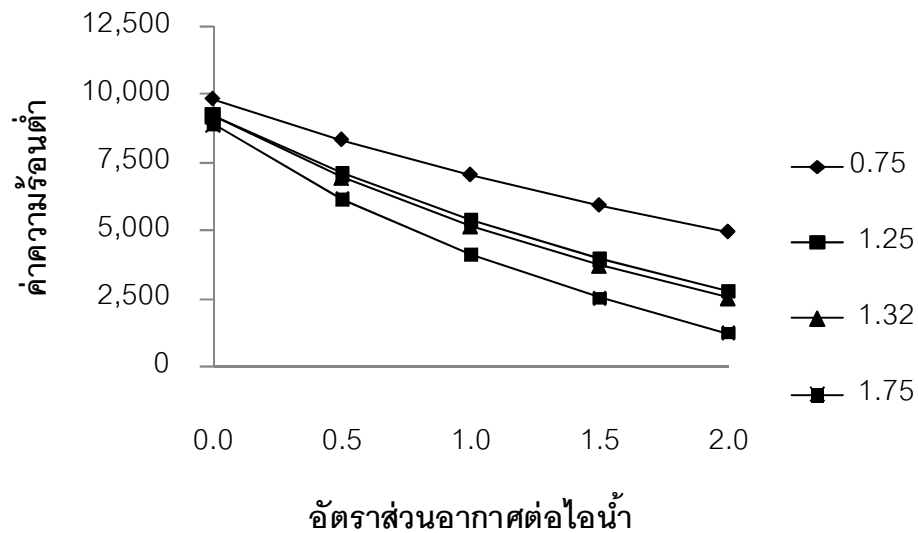
โดยที่

HHV                              ค่าความร้อนสูงคือค่าพลังงานที่กำจัดความชื้นหรือน้ำออกให้หมดจากชีวมวล 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

Net power                      พลังงานไฟฟ้าสุทธิ มีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW)

Feed flowrate                อัตราการป้อนสารตั้งต้น มีหน่วยเป็นตันต่อวินาที (ton/s)

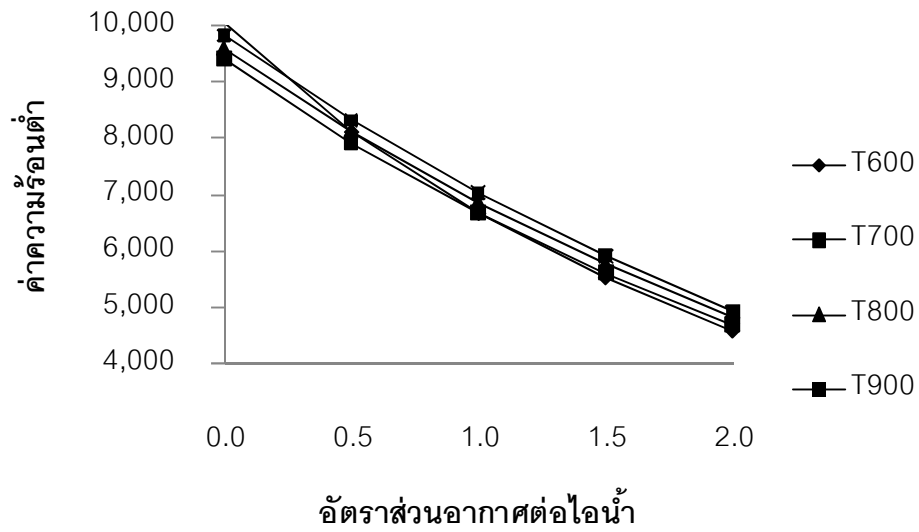
จากผลการจำลองของระบบแก๊สซิฟิเคชันเพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการจำลองกระบวนการที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด คือ กำหนดอุณหภูมิคงที่ที่ 600 700 800 900 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล (Steam to biomass ratio) และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ (Air to steam ratio) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความร้อนและอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 สรุปได้ว่าที่ทุกอุณหภูมิและทุกอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้จะมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75

จากนั้นกำหนดอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลคงที่ที่ 0.75 เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าความร้อนและอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลคงที่ที่ 0.75

จากรูปที่ 4.4 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 และทุกอัตราส่วนอากาศต่อไอน้ำ ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ดังนั้นจากผลการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน จึงได้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าความร้อนสูงสุดที่อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นสภาวะตั้งต้นในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

#### 4.4 การทดสอบแบบจำลองกระบวนการ

เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาใช้ได้จริงและถูกต้อง ดังนั้นจึงทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นมากับผลการทดลองในงานวิจัยสำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และทดสอบกับสภาวะดำเนินการจริงสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งได้ข้อมูลมาจากสภาวะการดำเนินการจริงของบริษัทแห่งหนึ่งซึ่งบริษัทที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมแห่งนี้

##### 4.4.1 การทดสอบแบบจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถูกทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Chanchal และคณะ (2011) ในงานวิจัยของ Chanchal และคณะ (2011) ได้ทดลองกระบวนการที่สมดุลโดยใช้แก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เบด ใช้แกลบเป็นสารป้อนและใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์ ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชันและอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ สภาวะดำเนินการถูกกำหนดที่อุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชัน 750 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 บาร์ อัตราป้อนแกลบ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลการจำลองกระบวนการแสดงดังตารางที่ 4.6 โดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square, RMS) เพื่อหาความเบี่ยงเบนจากผลการทดลองดังสมการที่ 4.6

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_j^N (\text{Experiment}_j - \text{Model}_j)^2}{N}} \quad (4.6)$$

โดยที่

N จำนวนของข้อมูล

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และปริมาณมีเทนของแบบจำลองต่ำกว่าผลการทดลองเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของแบบจำลองสูงกว่าผลการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากในแบบจำลองกระบวนการ ปฏิริยาแก๊สซีพีเคชันถึงจุดสมดุลเคมีกว่าการทดลองจริง ทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และปริมาณมีเทนต่ำกว่า ปริมาณไฮโดรเจนและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าตามสมดุลเคมีของปฏิริยา

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการจำลองกระบวนการแก๊สซีพีเคชัน

Temperature (°C)	S/B	Experimental				Simulation				RMS
		H <sub>2</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	
690	1.32	50.50	14.30	26.60	8.60	58.61	13.23	28.02	0.14	5.9270
730	1.32	52.20	16.40	23.50	7.90	58.21	14.71	27.03	0.05	5.3168
750	1.00	49.50	23.70	21.20	5.60	56.62	19.04	24.28	0.06	5.3079
750	1.32	52.30	17.75	22.25	7.40	57.98	15.42	26.57	0.03	5.2605
750	1.70	52.90	16.40	22.90	7.80	59.04	12.56	28.38	0.01	5.9820
770	1.32	54.40	18.50	19.40	7.70	57.75	16.11	26.13	0.02	5.5042
Average										5.5497

#### 4.4.2 การทดสอบแบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมถูกทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับสภาวะดำเนินการจริง ซึ่งได้ข้อมูลมาจากสภาวะการดำเนินการของบริษัทแห่งหนึ่งซึ่งบริษัทที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ดำเนินการก่อสร้าง โดยจำลองกระบวนการตามไดอะแกรมสมดุลมวลและความร้อน (Heat & Mass Balance) ซึ่งสภาวะของอากาศที่ป้อนเข้าเครื่องอัดอากาศคือ ที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และแก๊สธรรมชาติถูกป้อนเข้าเครื่องอัดอากาศที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความดันเป็น 31 บาร์ เผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของกังหันแก๊สที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส จากนั้นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จะขยายตัวผ่านกังหันแก๊สได้

ไฟฟ้าออกมา โดยอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกจากกังหันแก๊ส

แก๊สร้อนจากกังหันแก๊สจะถูกส่งเข้าไปที่ระบบนำกลับความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำที่ป้อนเข้ามา ผลิตไอน้ำความดันสูงที่ 85.6 บาร์ อุณหภูมิ 565 °C ไอน้ำความดันสูงจะถูกส่งขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม ผลของสภาวะดำเนินการจริงเปรียบเทียบกับผลการจำลองกระบวนการแสดงดังตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** การเปรียบเทียบสภาวะดำเนินการจริงและผลการจำลองกระบวนการโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

Component	Simulation Results	
	NPC Power Plant	This Work
GTG (2 No.) output (MW)	89.82	93.11
GT exhaust gas temperature (°C)	569.7	591
STG (1 No.) output (MW)	38.65	35.94
HP steam temperature (°C)	538	565

## บทที่ 5

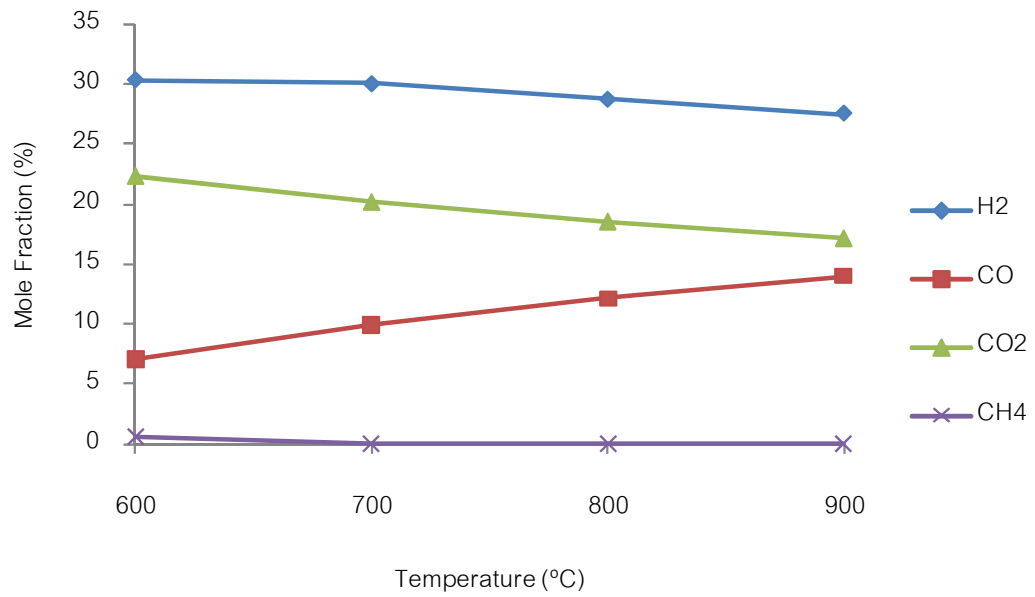
### ผลการจำลองกระบวนการและการวิเคราะห์ผล

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ประเภทของชีวมวล คือ แกลบ ฟางข้าว และใบอ้อย อัตราป้อนของชีวมวล 100 ตันต่อชั่วโมง อุณหภูมิของแก๊สซิฟิเคชันในช่วง 600-900 °C ความดันของแก๊สซิฟิเคชันในช่วง 1-20 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล 0.75-2.0 อัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำ 0-2.0 สัดส่วนชีวมวลระหว่าง ฟางข้าวกับใบอ้อย ผลของการจำลองกระบวนการจะถูกวิเคราะห์เพื่อให้ได้สมรรถนะของระบบ แก๊สซิฟิเคชันและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด

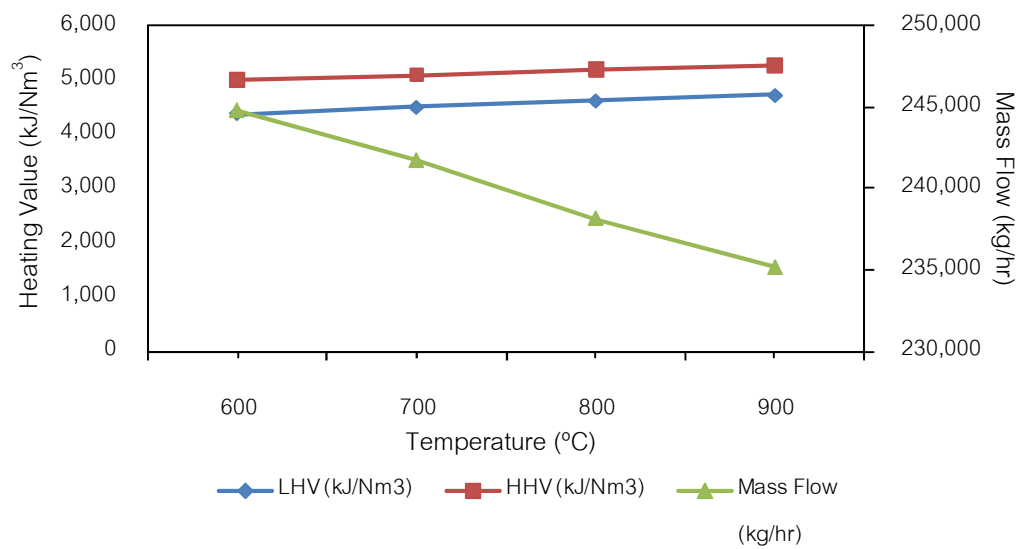
#### 5.1 ผลกระทบของตัวแปรต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์

##### 5.1.1 ผลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชัน

ผลกระทบของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชันเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อสมรรถนะของแก๊สซิฟิเคชัน โดยการจำลองกระบวนการกำหนดความดันที่ 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำที่ 2.0 จากรูปที่ 5.1-5.6 จะเห็นได้ว่าปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำยังมีปริมาณคาร์บอนและมีเทนที่ไม่ทำปฏิกิริยาในแก๊สสังเคราะห์ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยาเพื่อผลิตแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) ตามปฏิกิริยา Water gas และปฏิกิริยา Boudouard ส่วนมีเทน ( $CH_4$ ) ทำปฏิกิริยาได้แก๊สไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา Methane-steam reforming มากกว่านั้นผลกระทบของอุณหภูมิมิมีผลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งจากผลการจำลองกระบวนการ ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นและได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด

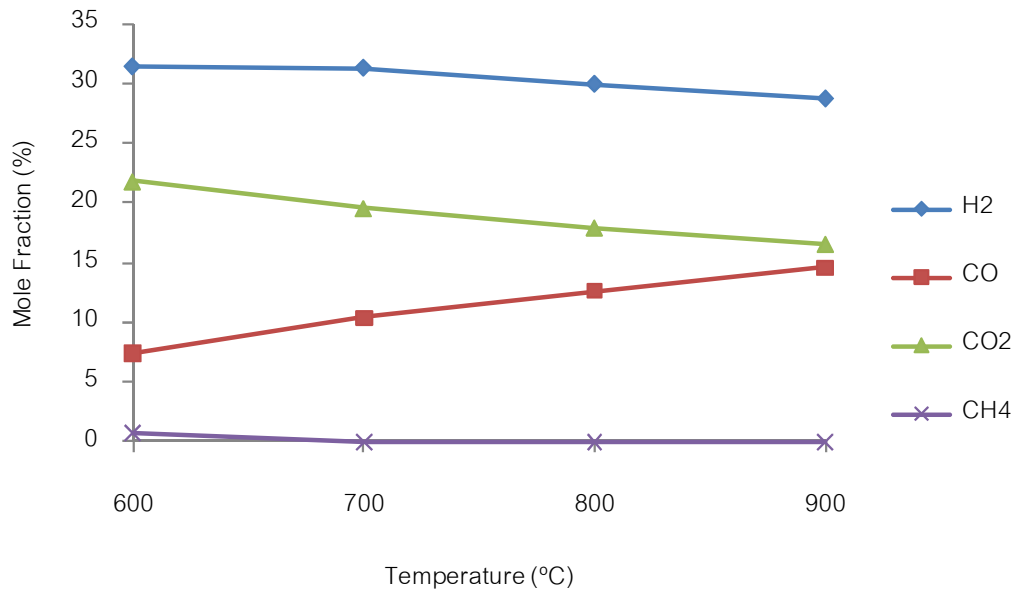


รูปที่ 5.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลป

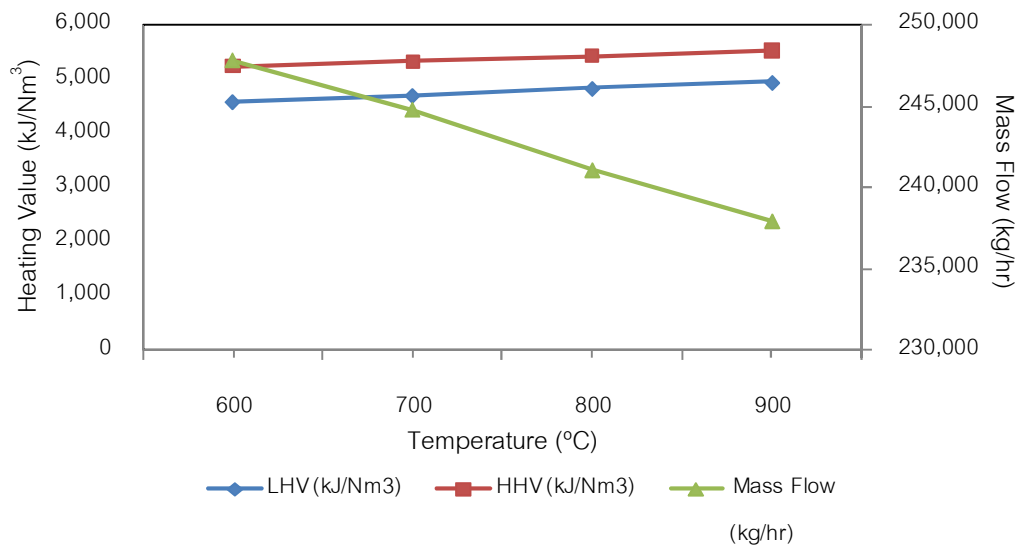


รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับแกลป

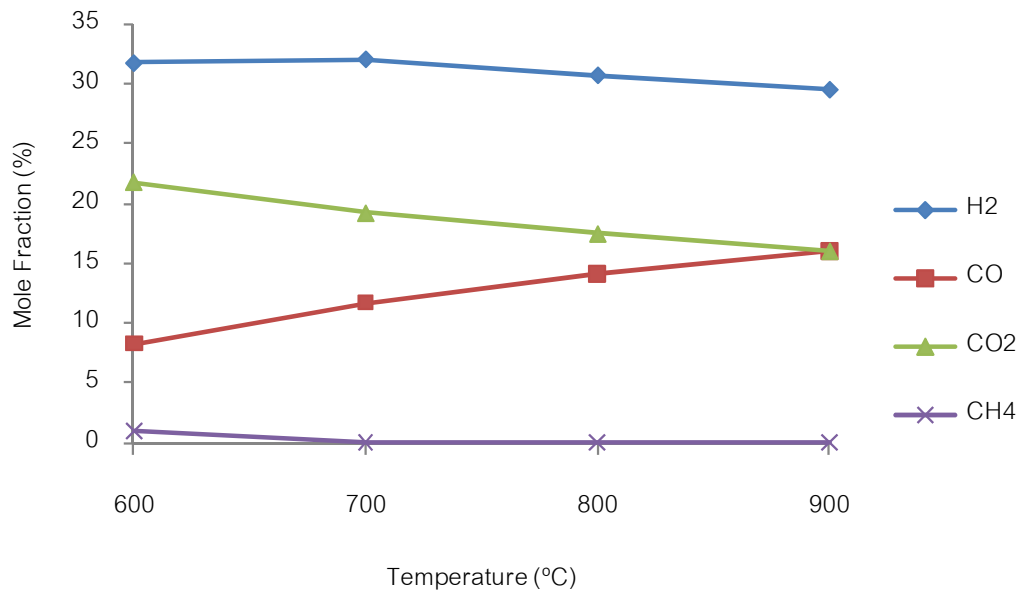




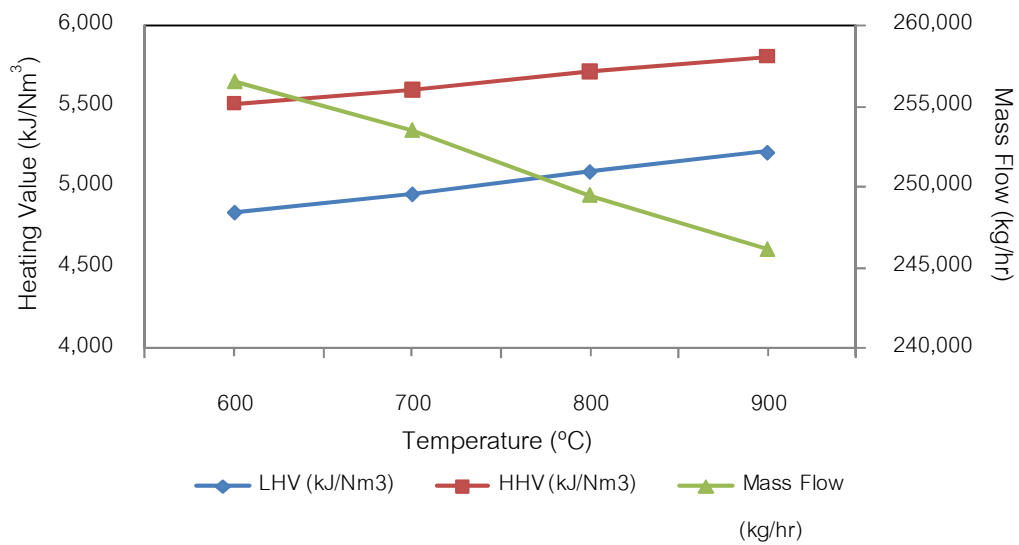
รูปที่ 5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว



รูปที่ 5.4 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับฟางข้าว



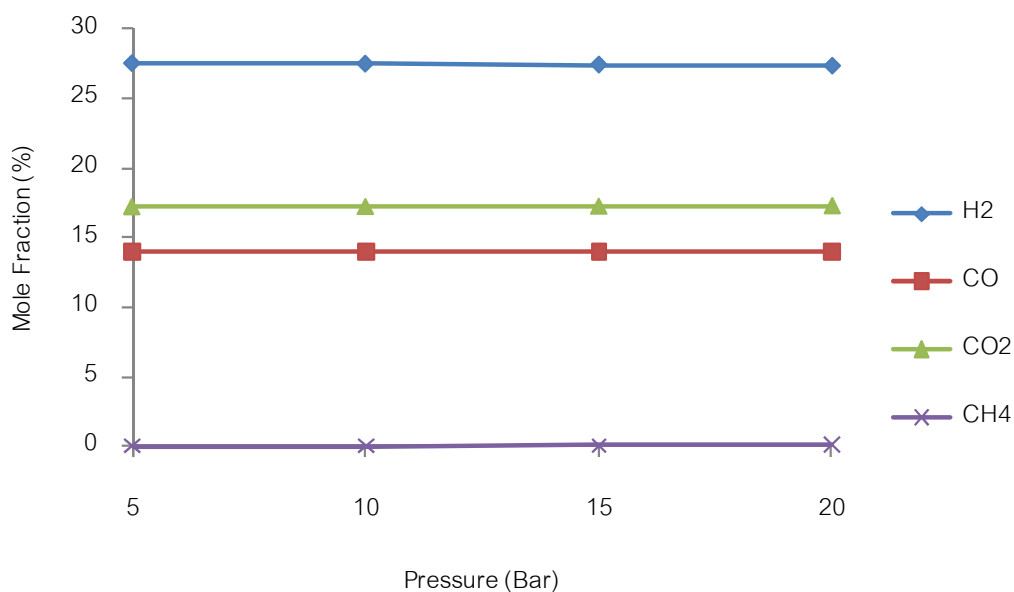
รูปที่ 5.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบโอดีเซล



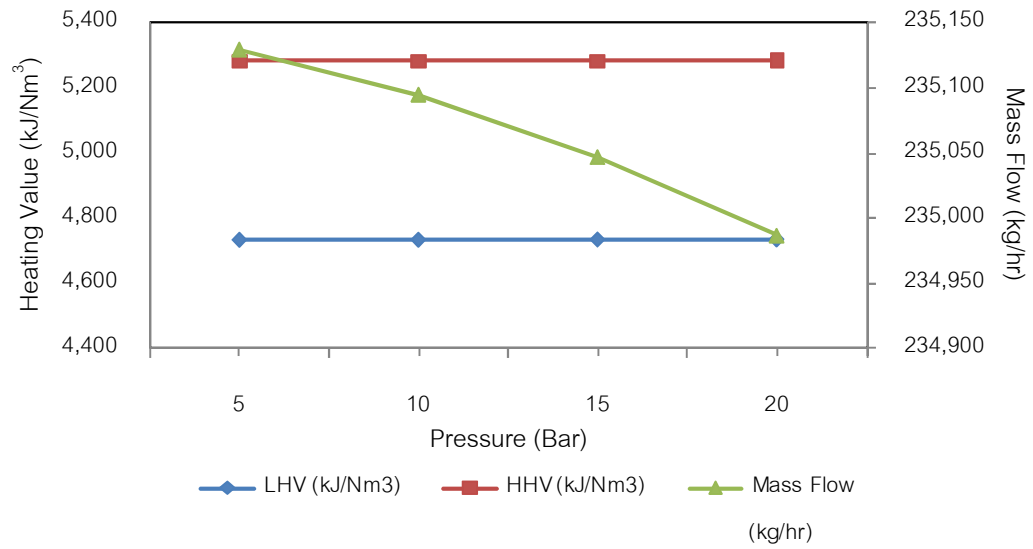
รูปที่ 5.6 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับไบโอดีเซล

### 5.1.2 ผลของความดันแก๊สซิฟิเคชัน

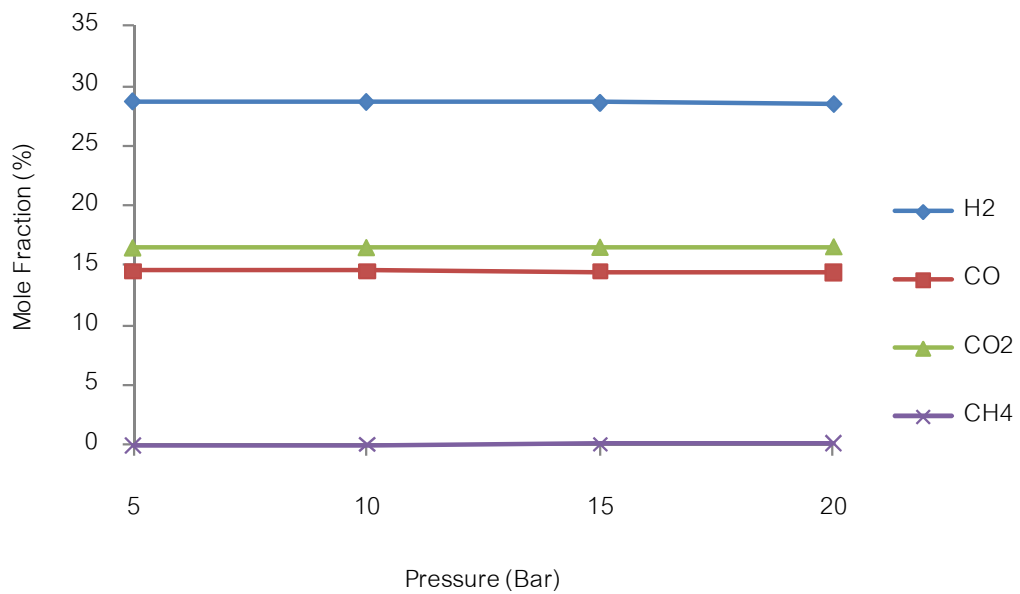
ผลกระทบของความดันในแก๊สซิฟิเคชันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของแก๊สซิฟิเคชัน โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำเท่ากับ 2.0 จากรูปที่ 5.7-5.12 จะเห็นได้ว่าปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ ) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงเล็กน้อยเมื่อความดันสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาผันกลับของปฏิกิริยา Methane-steam reforming มากกว่านั้นผลกระทบของความดันมีผลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งจากผลการจำลองกระบวนการ ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงเมื่อเพิ่มความดันสูงขึ้นและได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



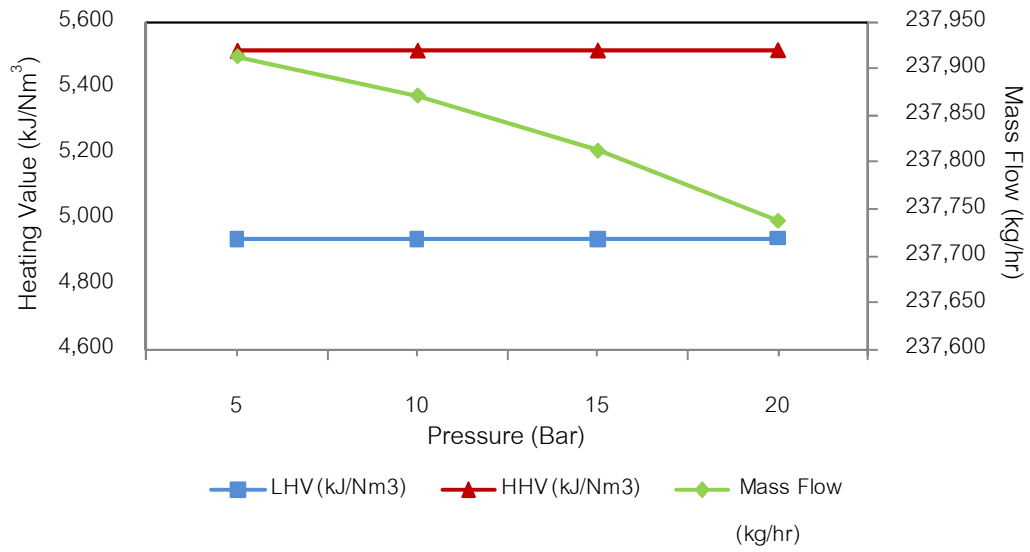
รูปที่ 5.7 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลบ



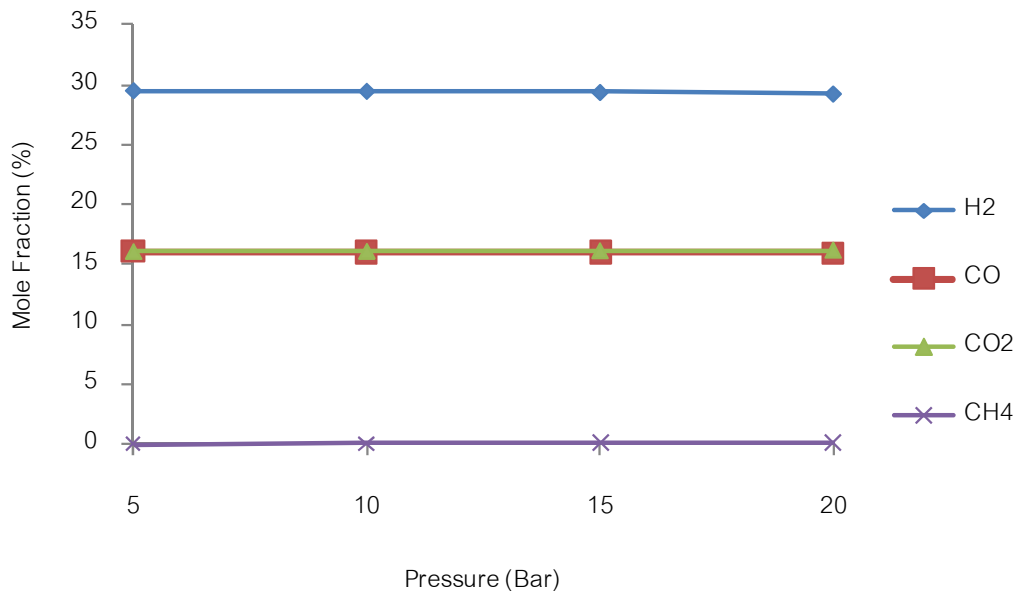
รูปที่ 5.8 ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับแก๊ส



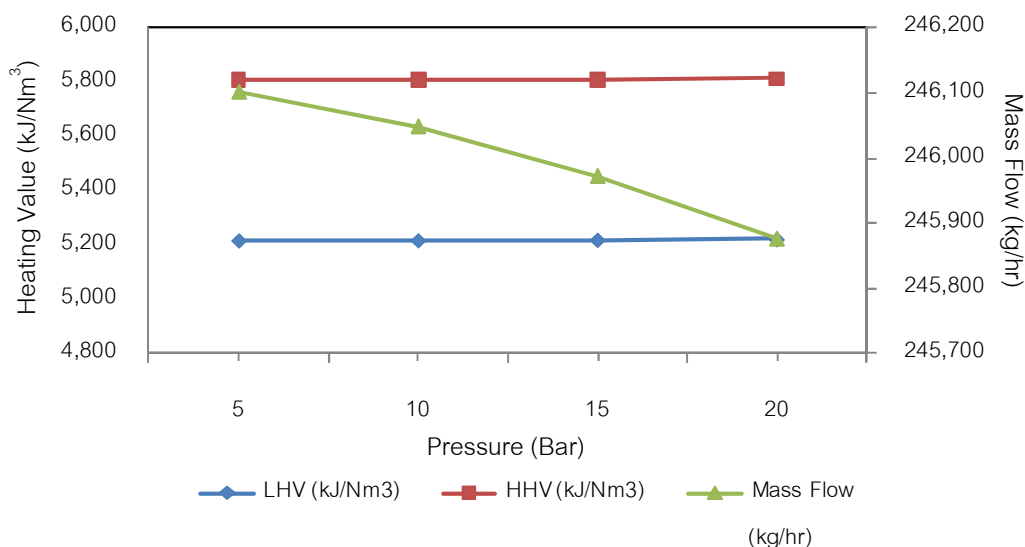
รูปที่ 5.9 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว



รูปที่ 5.10 ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับฟางข้าว



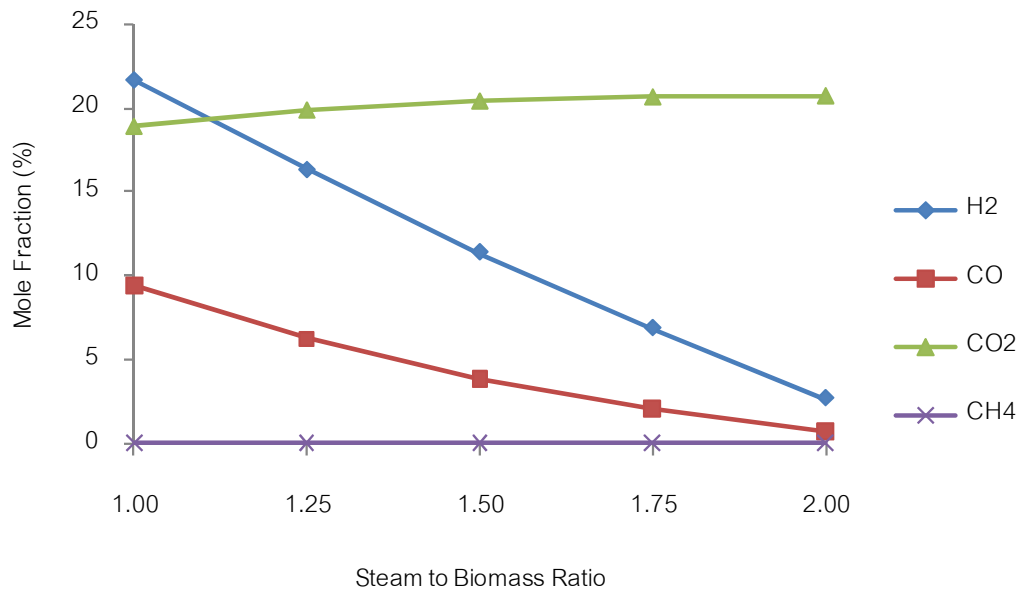
รูปที่ 5.11 ผลกระทบของความดันต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบอ้อย



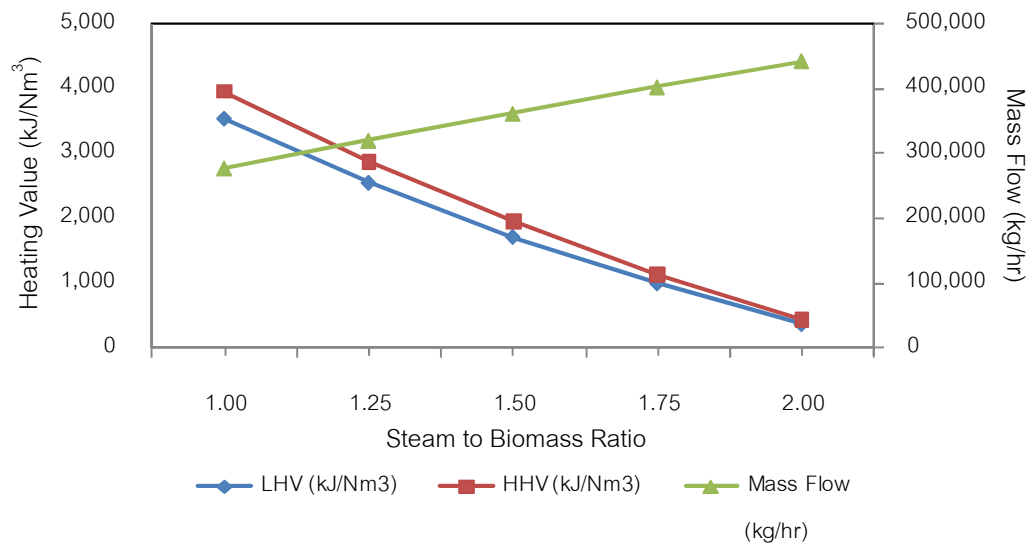
รูปที่ 5.12 ผลกระทบของความดันต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับไบโอดีเซล

### 5.1.3 ผลของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio)

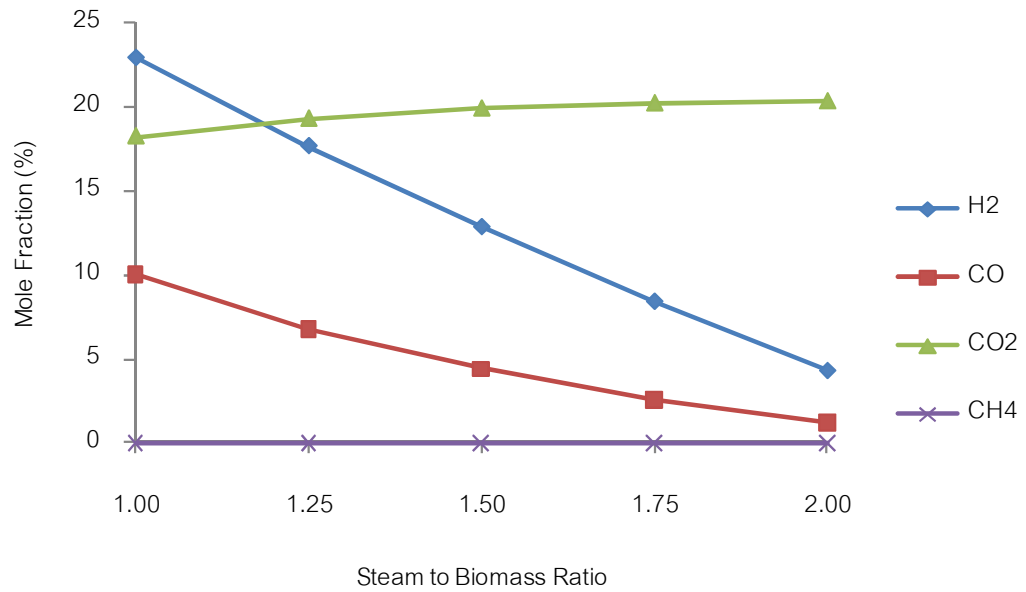
ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล มีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะของแก๊สซิไฟเออร์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดคุณสมบัติ 900 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 บาร์ และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำเท่ากับ 2.0 จากรูปที่ 5.13-5.18 จะเห็นได้ว่าปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลสูงขึ้น และไม่ปรากฏปริมาณมีเทน ( $CH_4$ ) เลย ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำจะถูกเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (คงที่ที่ 2 เท่า) ของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล จึงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) มากขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งจากผลการจำลองกระบวนการ ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ลดลงแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลสูงขึ้นและได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



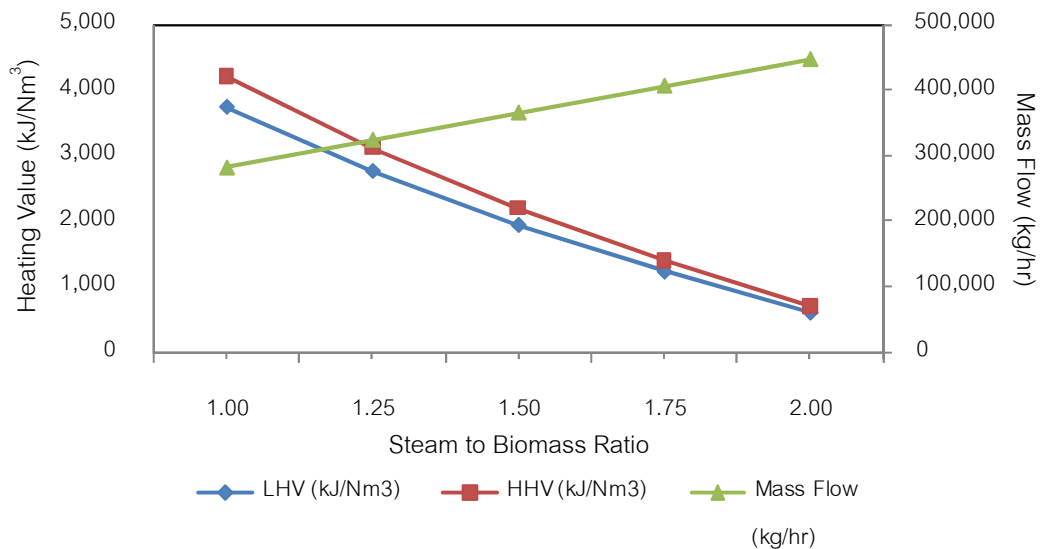
รูปที่ 5.13 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลป



รูปที่ 5.14 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับแกลป

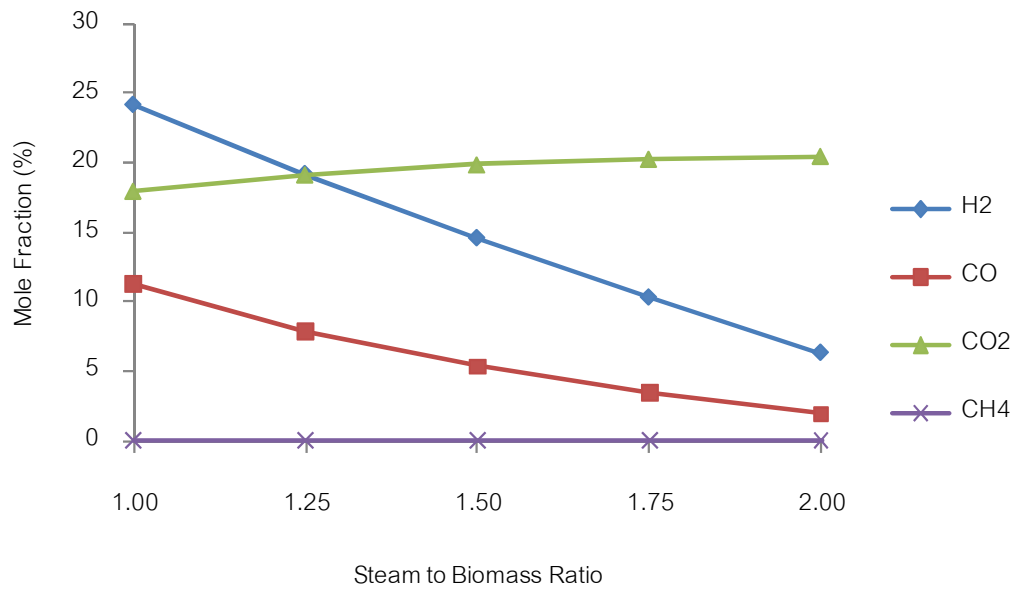


รูปที่ 5.15 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว

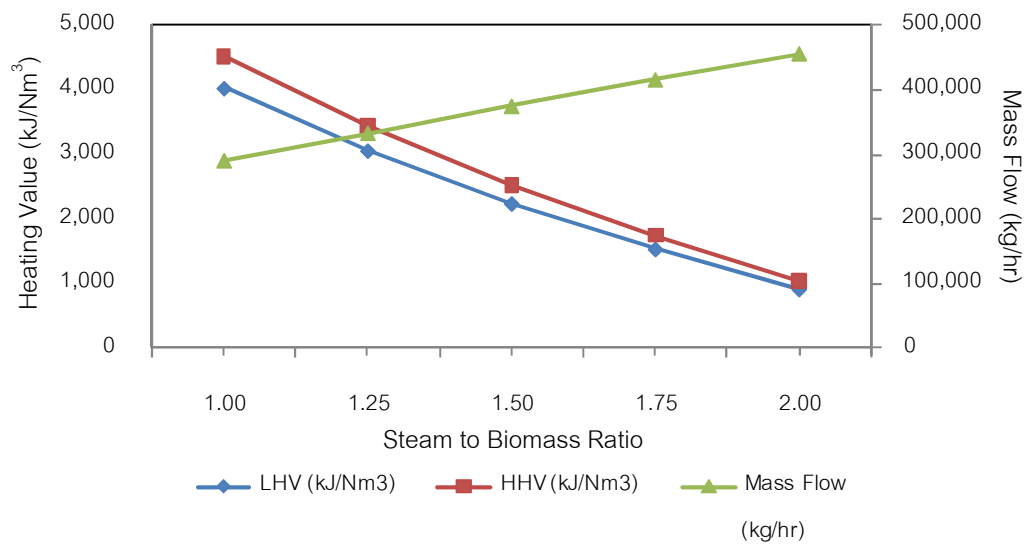


รูปที่ 5.16 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับฟางข้าว





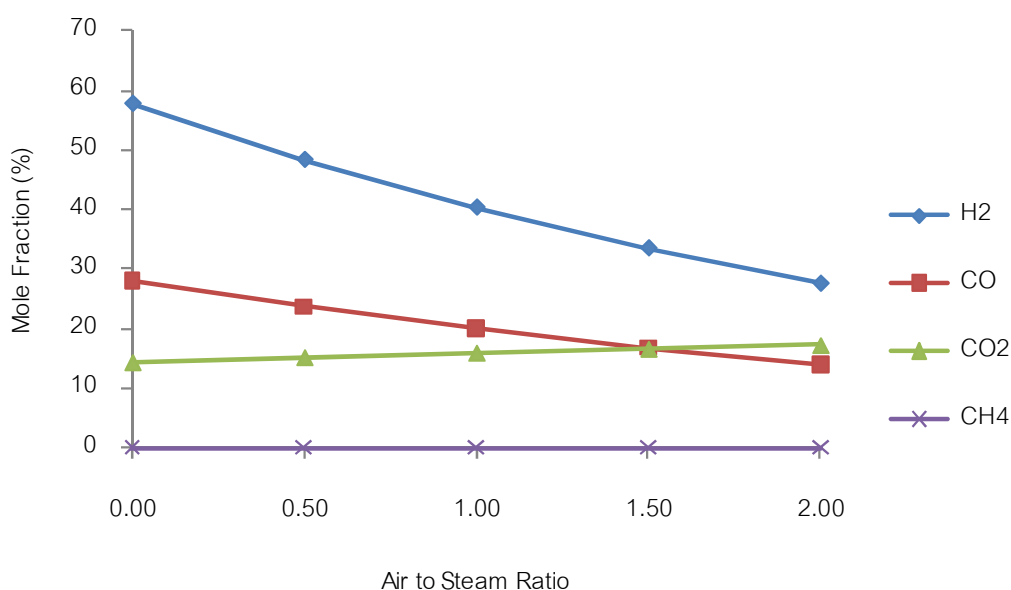
รูปที่ 5.17 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบโอดีเซล



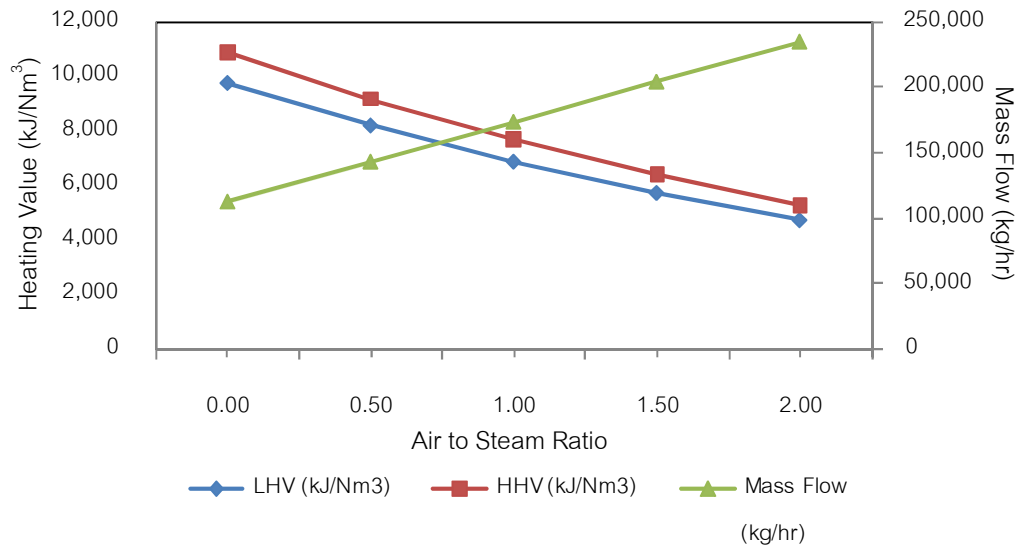
รูปที่ 5.18 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับไบโอดีเซล

#### 5.1.4 ผลของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S ratio)

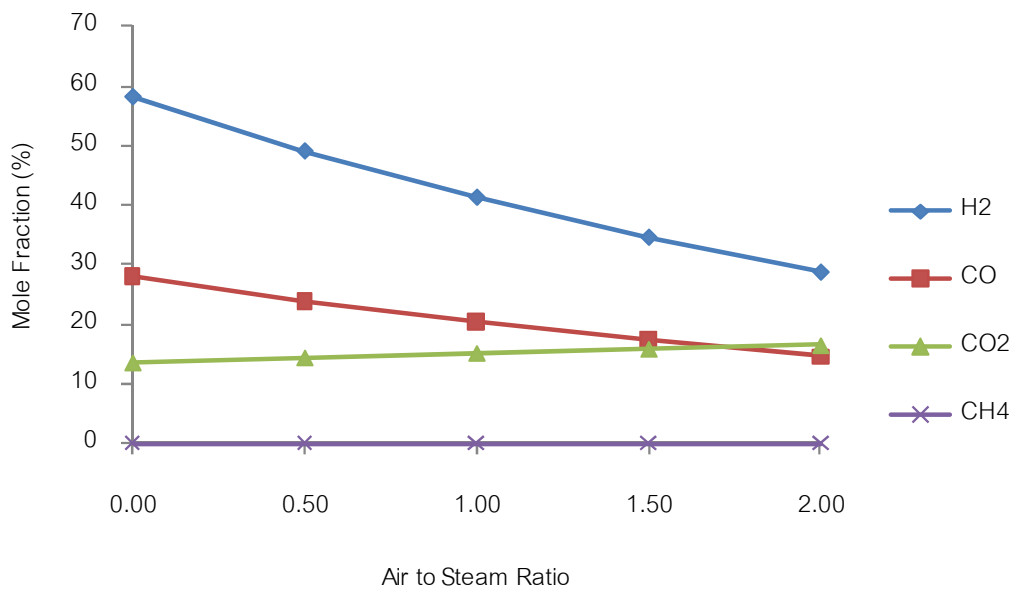
ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ มีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะของแก๊สซีไฟเออร์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 จากรูปที่ 5.19-5.24 จะเห็นได้ว่าปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำสูงขึ้น และไม่ปรากฏปริมาณมีเทน ( $CH_4$ ) เลย ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่มอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) มากขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำมีผลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งจากผลการจำลองกระบวนการค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ลดลงแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำสูงขึ้นและได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



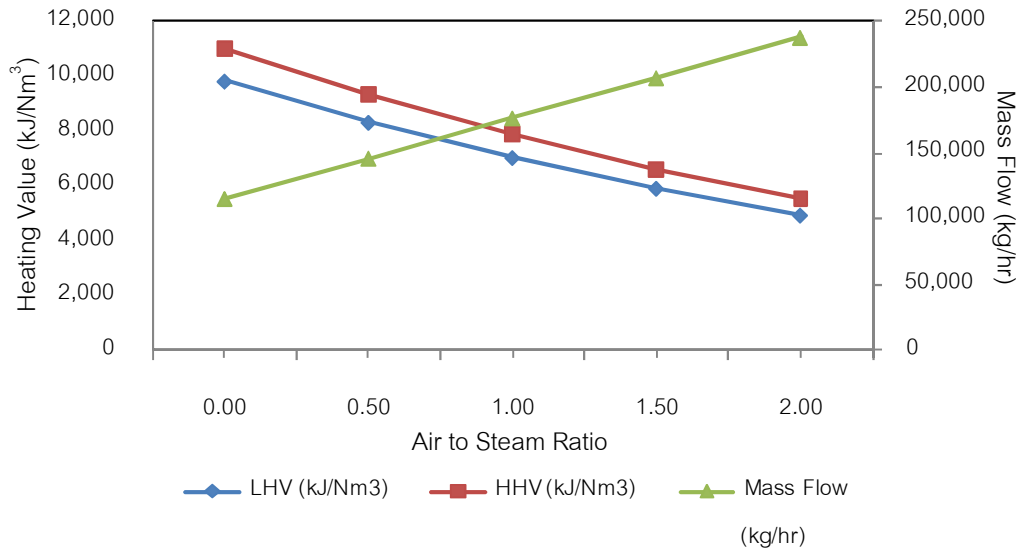
รูปที่ 5.19 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแกลบ



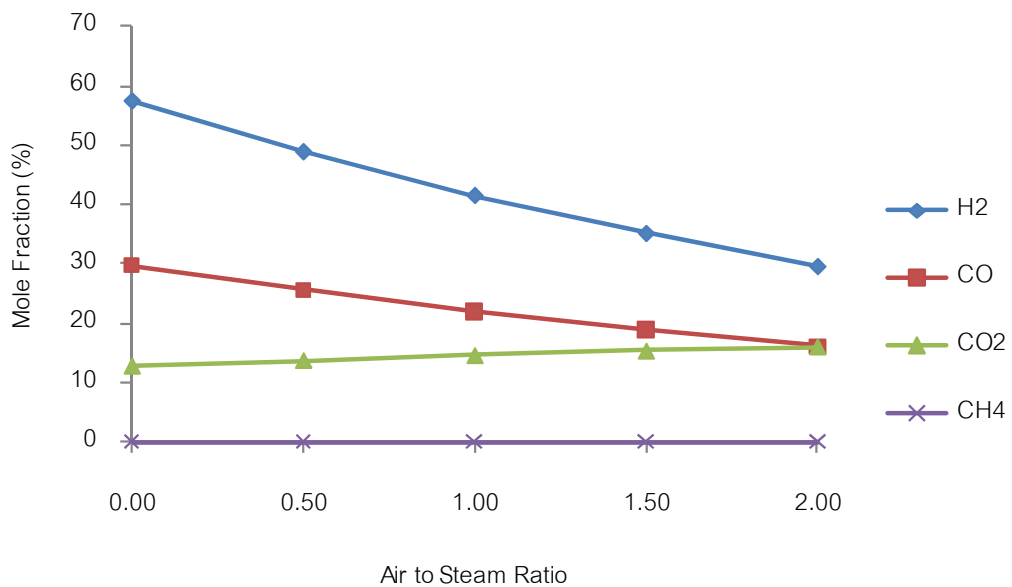
รูปที่ 5.20 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับแก๊ส



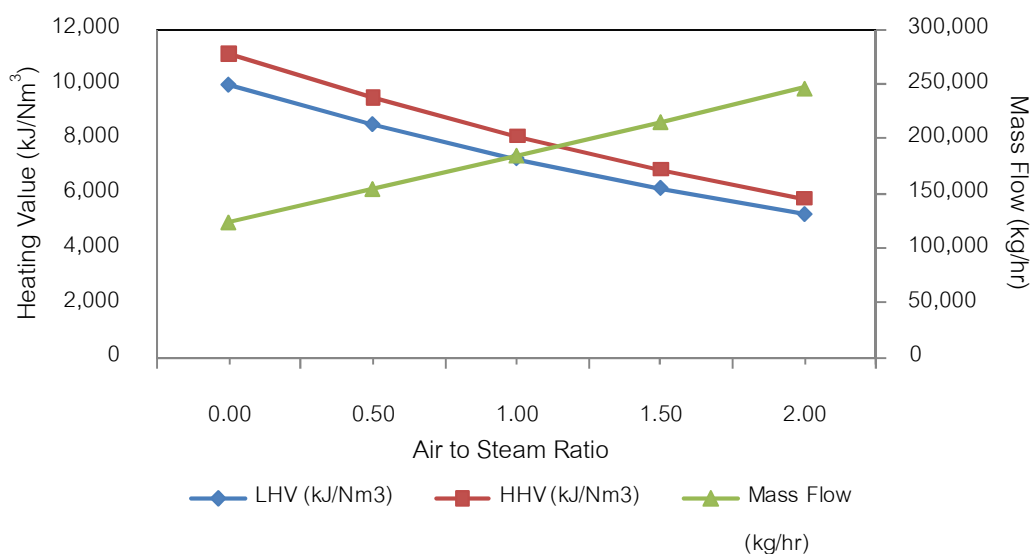
รูปที่ 5.21 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับ ฟางข้าว



รูปที่ 5.22 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับฟางข้าว



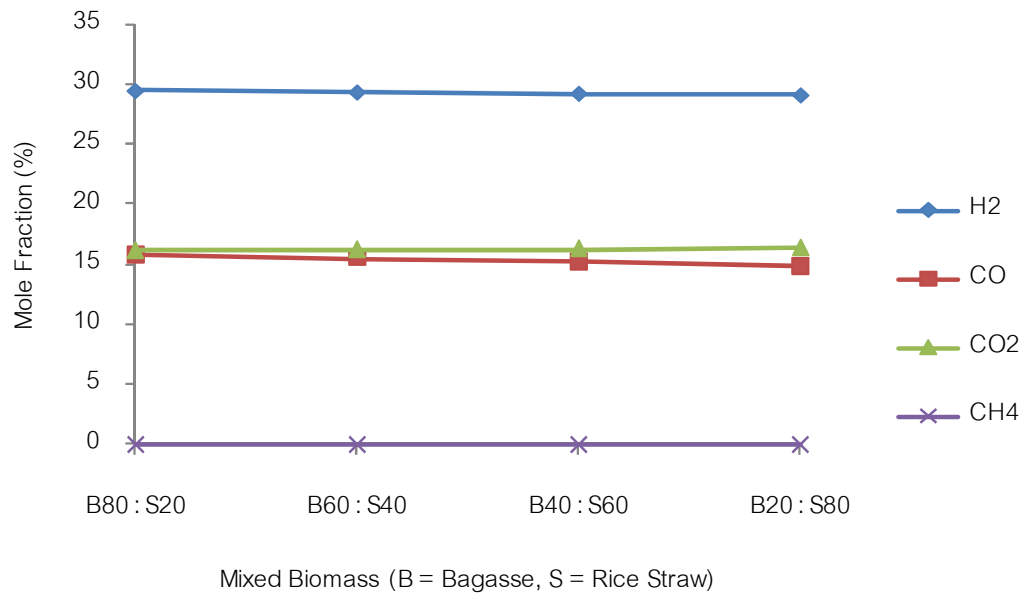
รูปที่ 5.23 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบเอ้อย



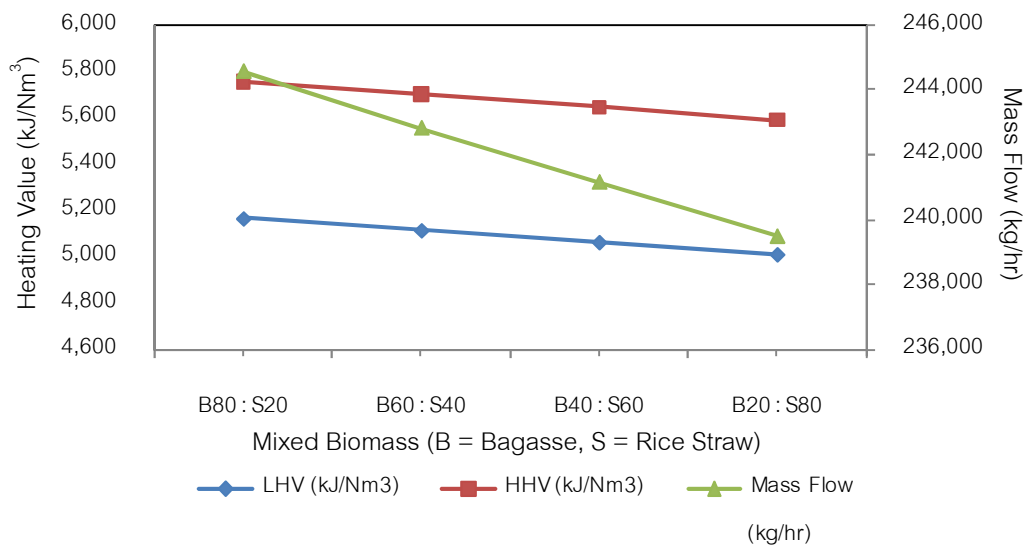
รูปที่ 5.24 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับไบอ้อย

### 5.1.5 ผลของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสม

ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมส่งผลต่อสมรรถนะของแก๊สซิฟิเคชัน โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส ความดันที่ 1.05 บาร์ อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำที่ 2.0 ชีวมวลผสมคือฟางข้าวและไบอ้อยถูกเลือกเนื่องจากชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีค่าความร้อนสูงที่สุด โดยไบอ้อยมีค่าความร้อนสูง 16.79 เมกะจูลต่อกิโลกรัมและฟางข้าวมีค่าความร้อนสูง 13.65 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จากรูปที่ 5.25-5.26 จะเห็นว่าปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกันและไม่ปรากฏปริมาณมีเทน ( $CH_4$ ) เลยเมื่อเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีค่าความร้อนต่ำกว่าไบอ้อย ในปริมาณการป้อนชีวมวลที่เท่ากัน มากกว่านั้นผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมมีผลต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งจากผลการจำลองกระบวนการ ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์และอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวสูงขึ้น



รูปที่ 5.25 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับชีวมวลผสมฟางข้าวและใบอ้อย

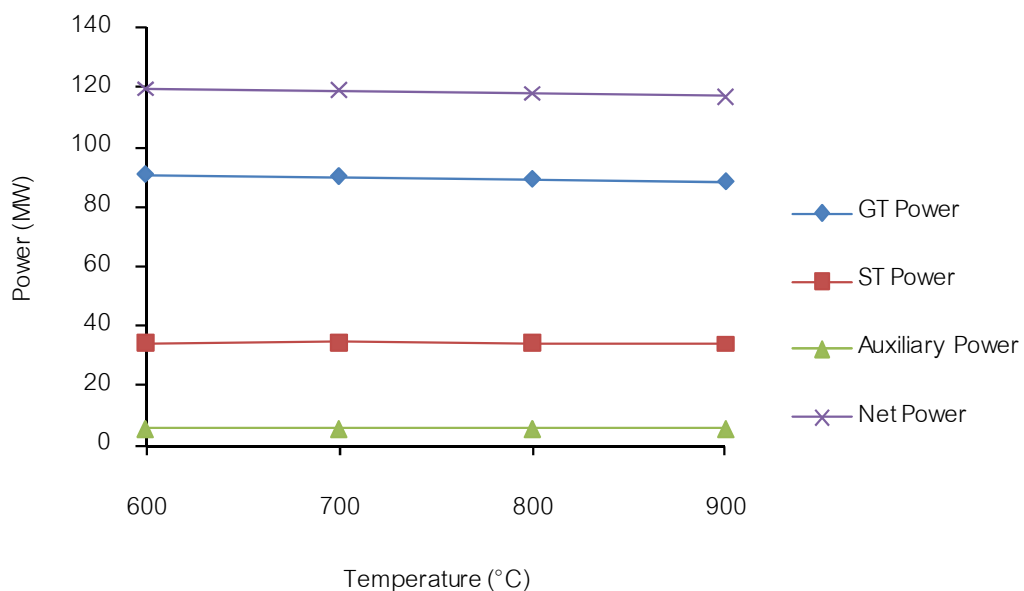


รูปที่ 5.26 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับชีวมวลผสมฟางข้าวและใบอ้อย

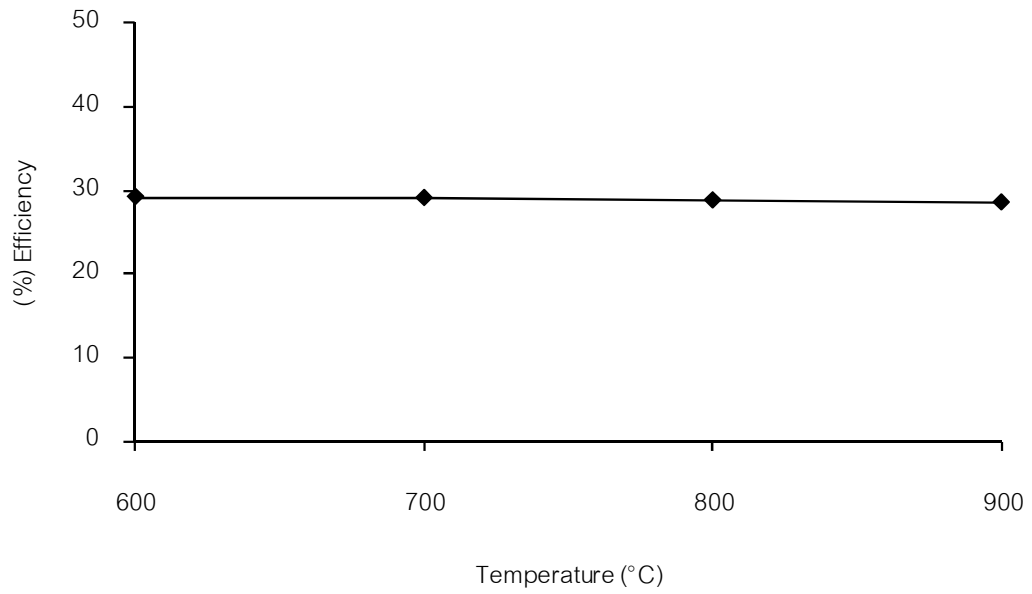
## 5.2 ผลกระทบของตัวแปรต่อประสิทธิภาพและไฟฟ้าสุทธิของระบบ

### 5.2.1 ผลของอุณหภูมิแก๊สซีไฟเออร์

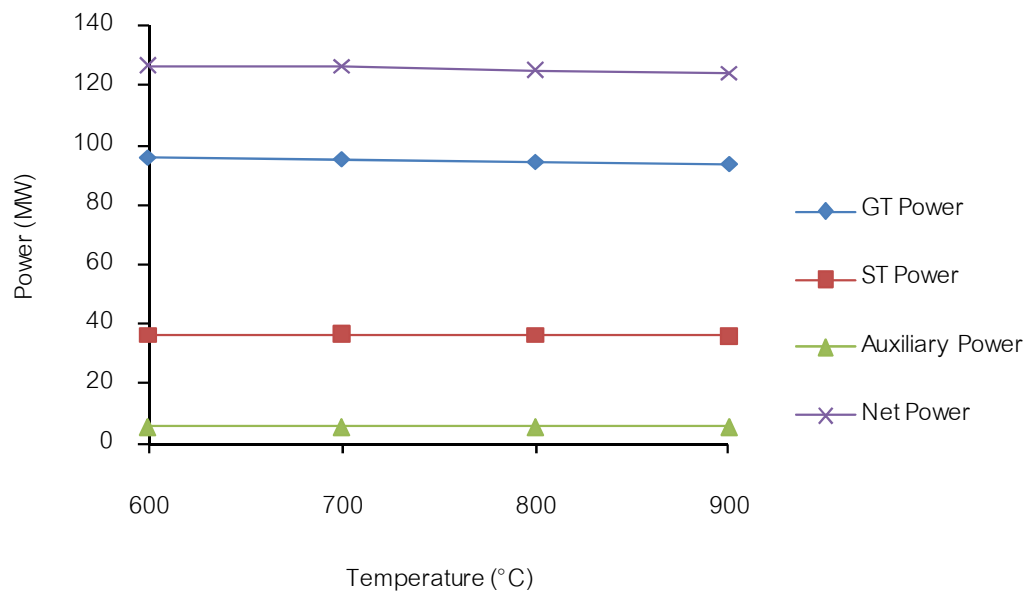
ผลกระทบของอุณหภูมิในแก๊สซีไฟเออร์เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดความดันที่ 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำที่ 2.0 จากรูปที่ 5.27-5.32 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ยังมีผลกับพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลง จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วย และได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 5.27 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแก๊ส

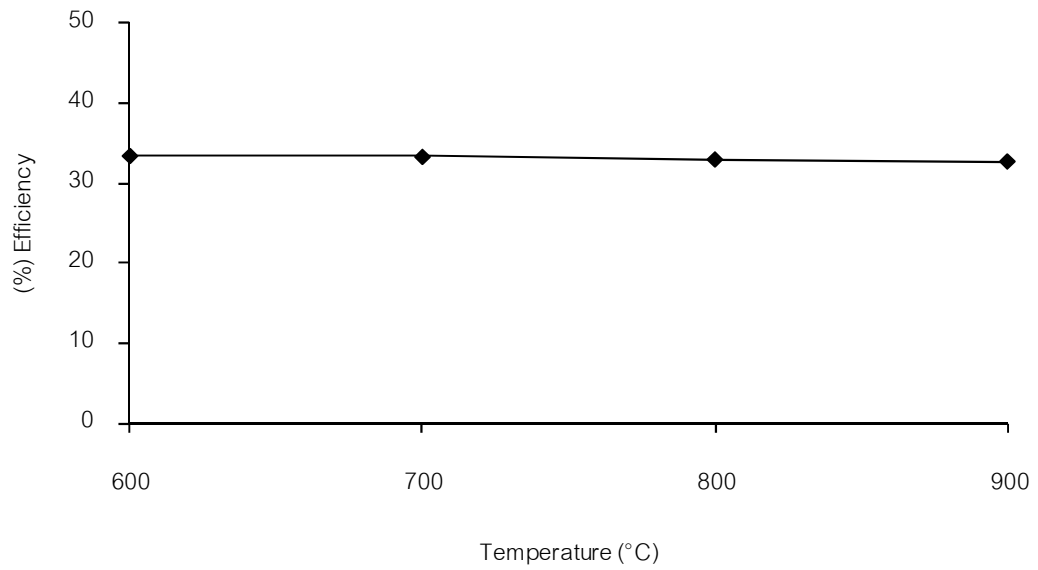


รูปที่ 5.28 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแก๊ส

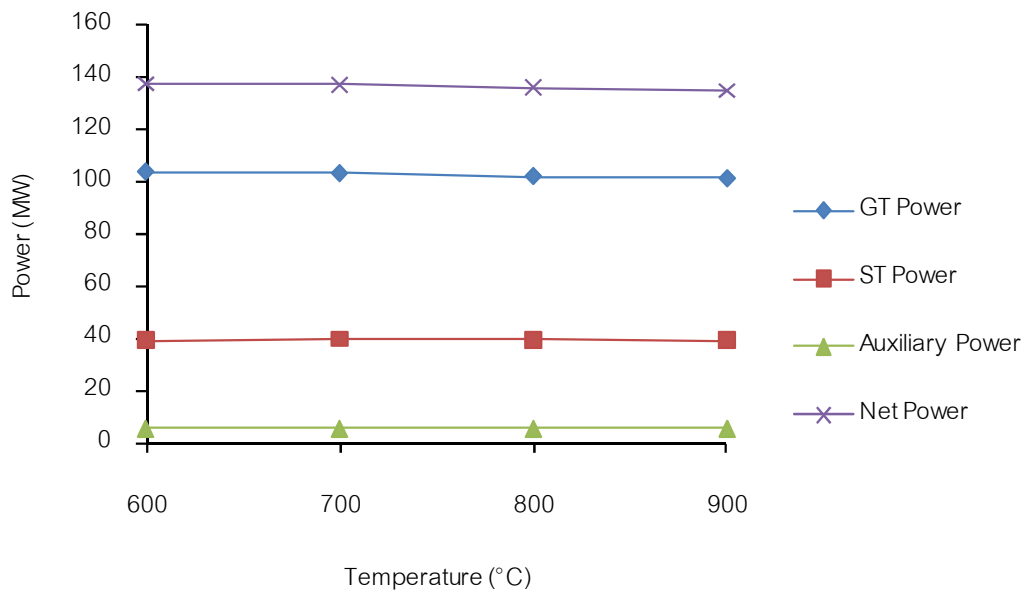


รูปที่ 5.29 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว

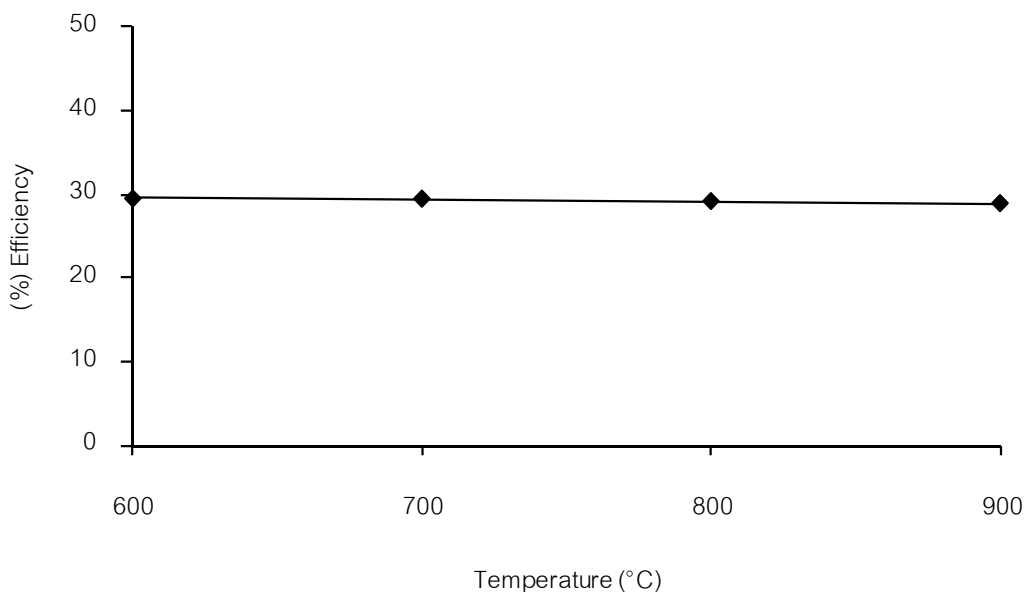




รูปที่ 5.30 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับฟางข้าว



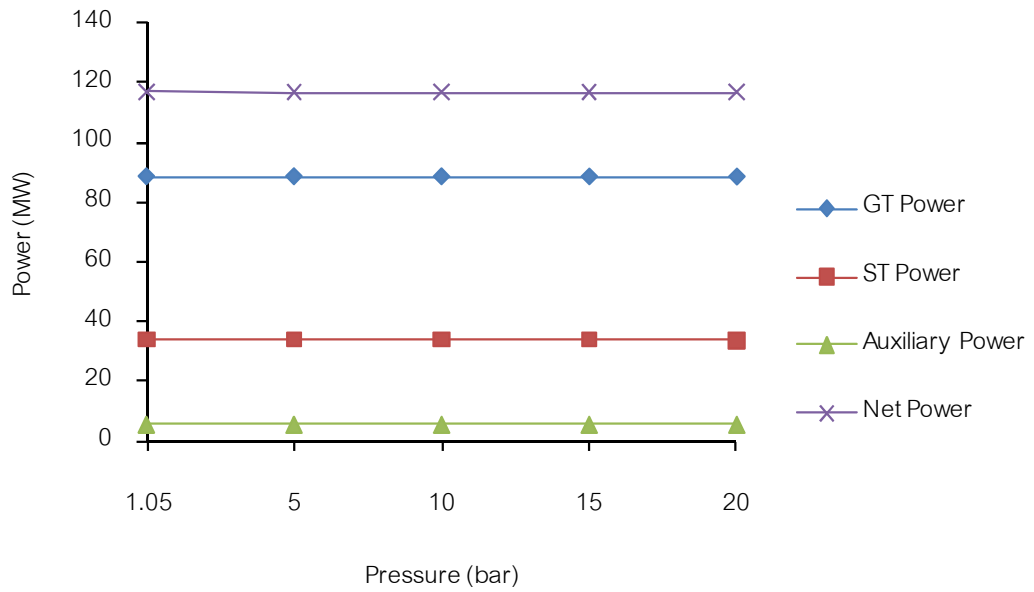
รูปที่ 5.31 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับไบอัส



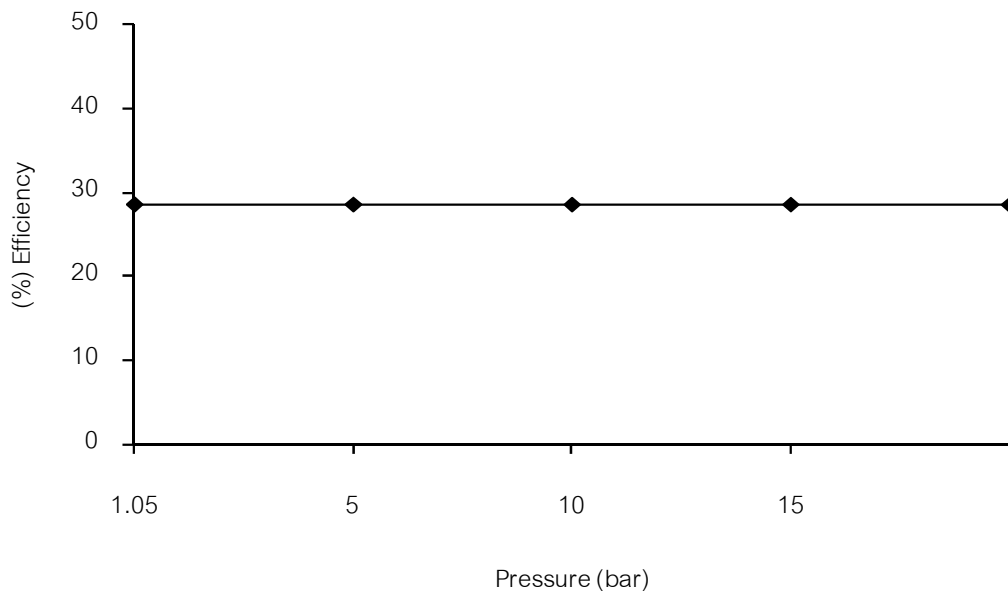
รูปที่ 5.32 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับไบอ้อย

## 5.2.2 ผลของความดันแก๊สซีไฟเออร์

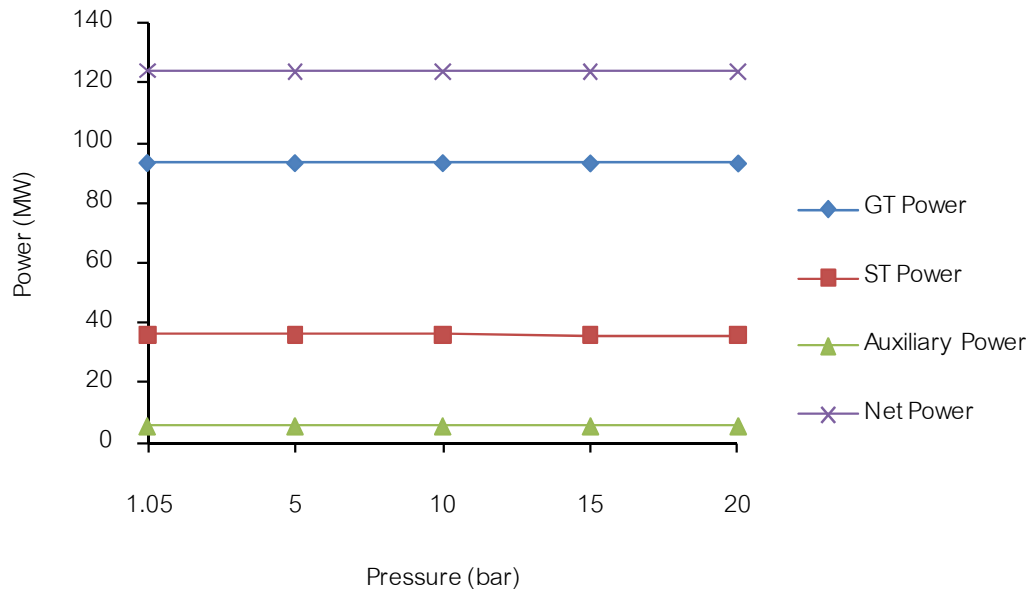
ผลกระทบของความดันในแก๊สซีไฟเออร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำเท่ากับ 2.0 จากรูปที่ 5.33-5.38 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความดัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงที่ความดันสูงขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ยังมีผลกับพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงเมื่อเพิ่มความดันสูงขึ้น จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลง และได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



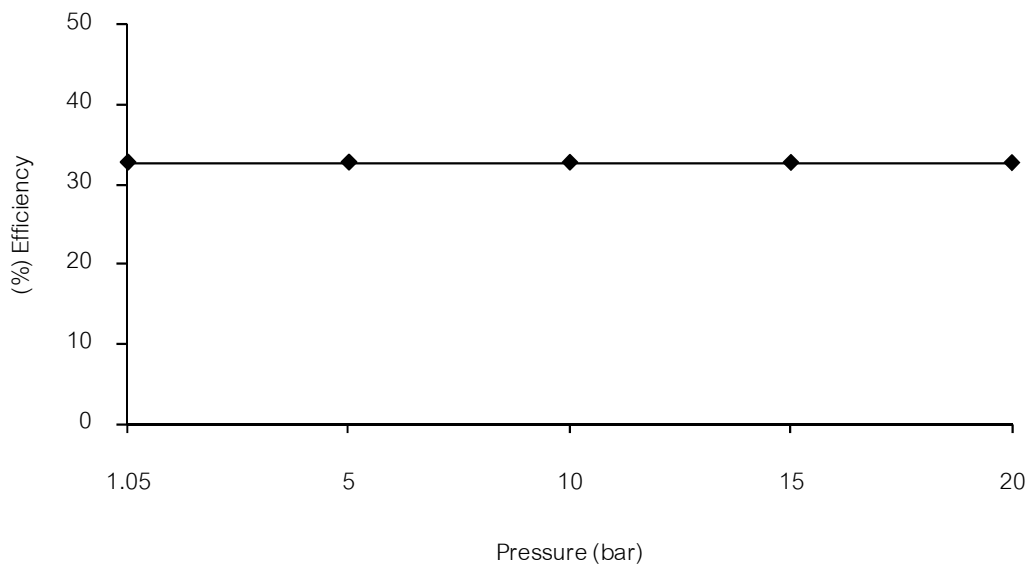
รูปที่ 5.33 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแก๊ส



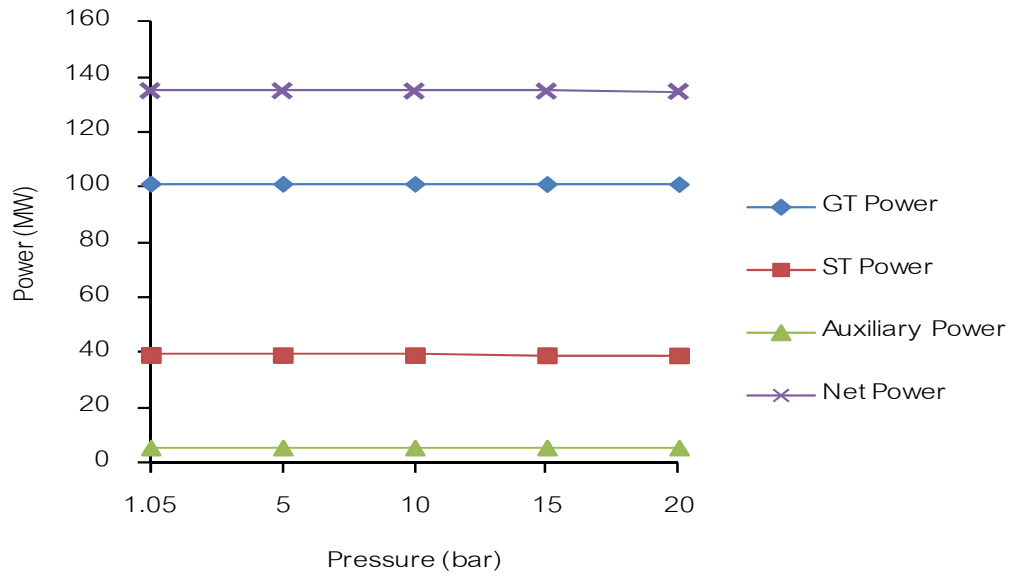
รูปที่ 5.34 ผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแก๊ส



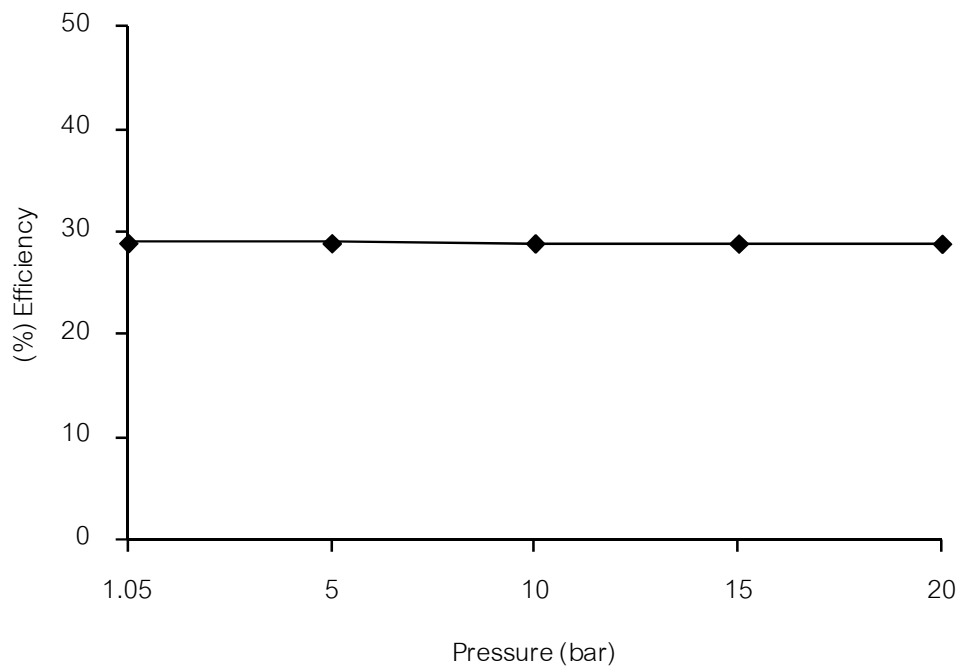
รูปที่ 5.35 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว



รูปที่ 5.36 ผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับฟางข้าว



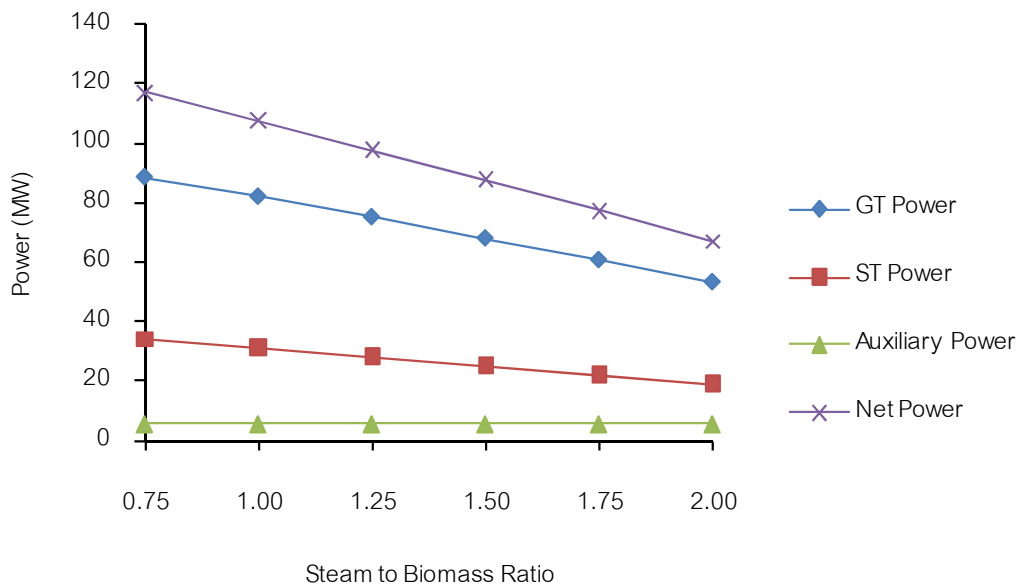
รูปที่ 5.37 ผลกระทบของความดันต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับไบอ้อย



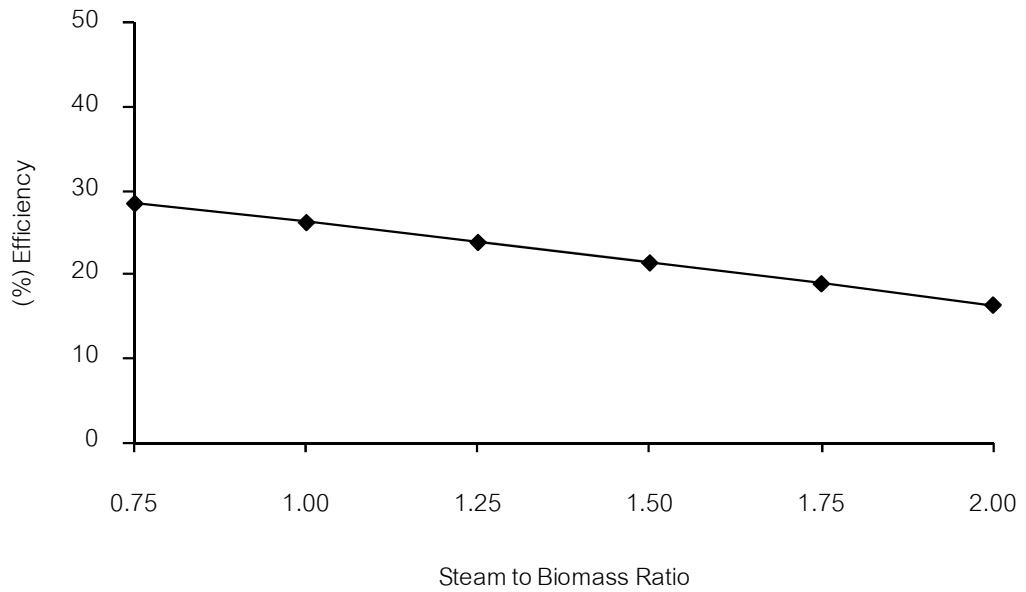
รูปที่ 5.38 ผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับไบอ้อย

### 5.2.3 ผลของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio)

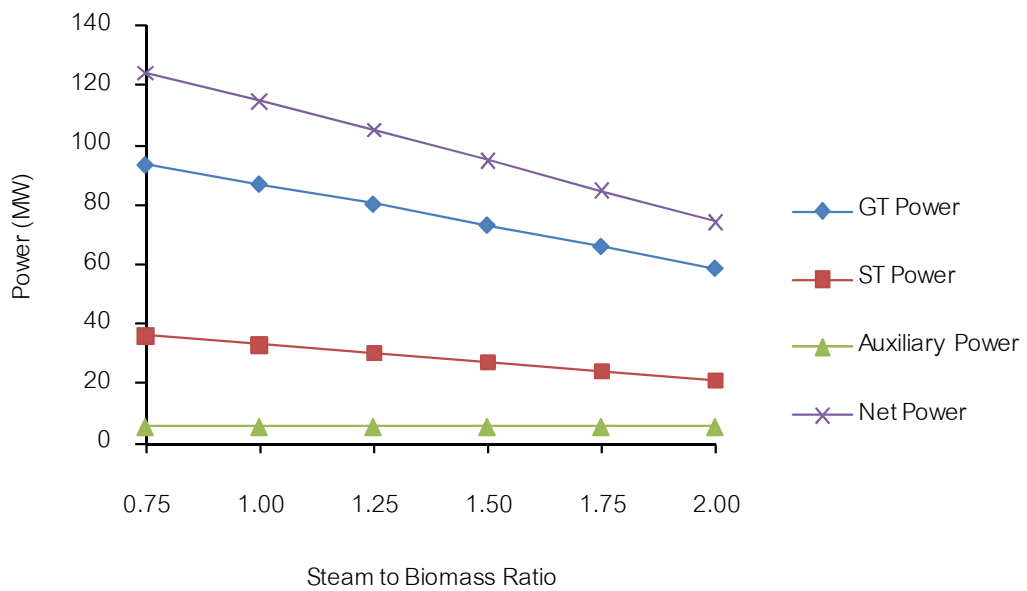
ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล มีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 บาร์ และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำเท่ากับ 2.0 จากรูปที่ 5.39-5.44 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำด้วย เพราะเมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำจะถูกเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (คงที่ที่ 2 เท่า) ของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงที่อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลและอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำสูงขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ ยังมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเมื่อค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ลดลงแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลง และได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



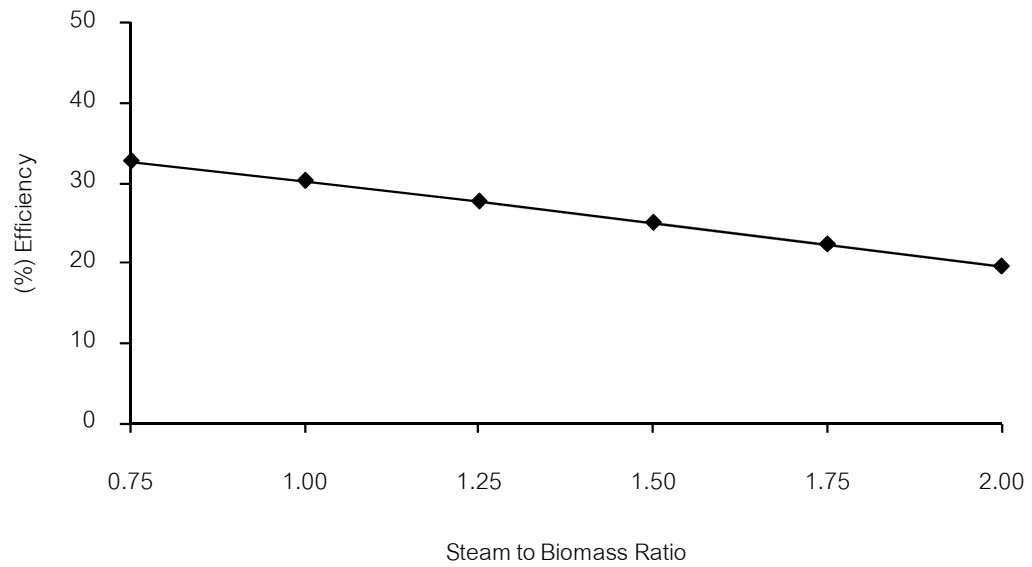
รูปที่ 5.39 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแก๊ส



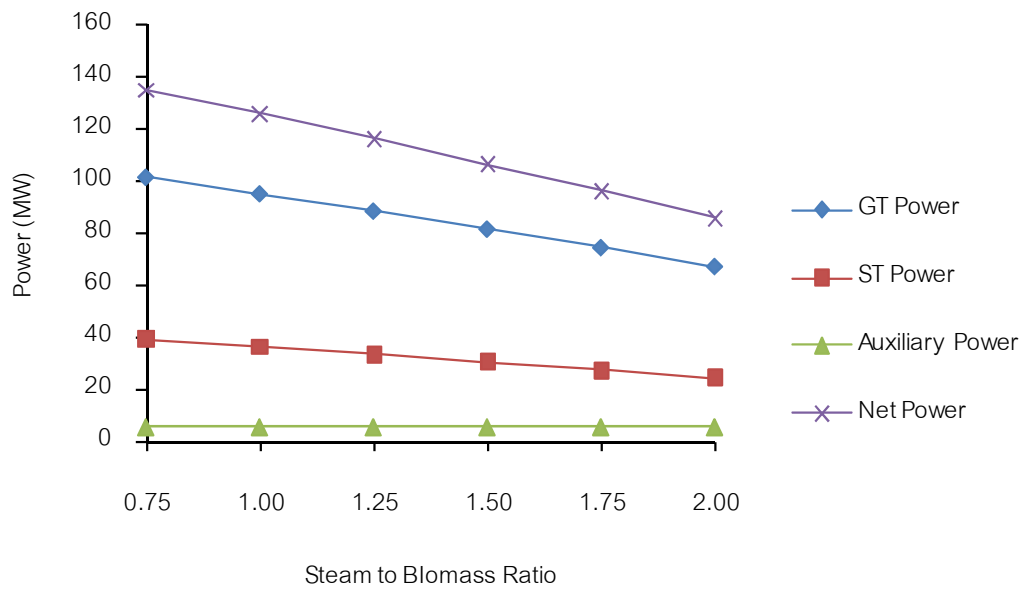
รูปที่ 5.40 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแก๊ส



รูปที่ 5.41 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว

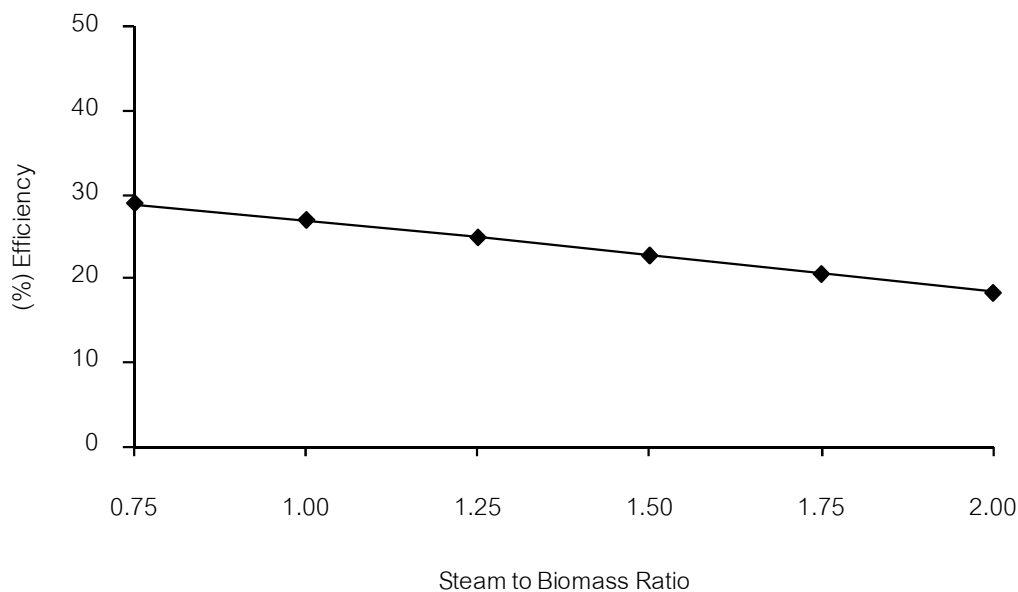


รูปที่ 5.42 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับฟางข้าว



รูปที่ 5.43 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับใบอ้อย

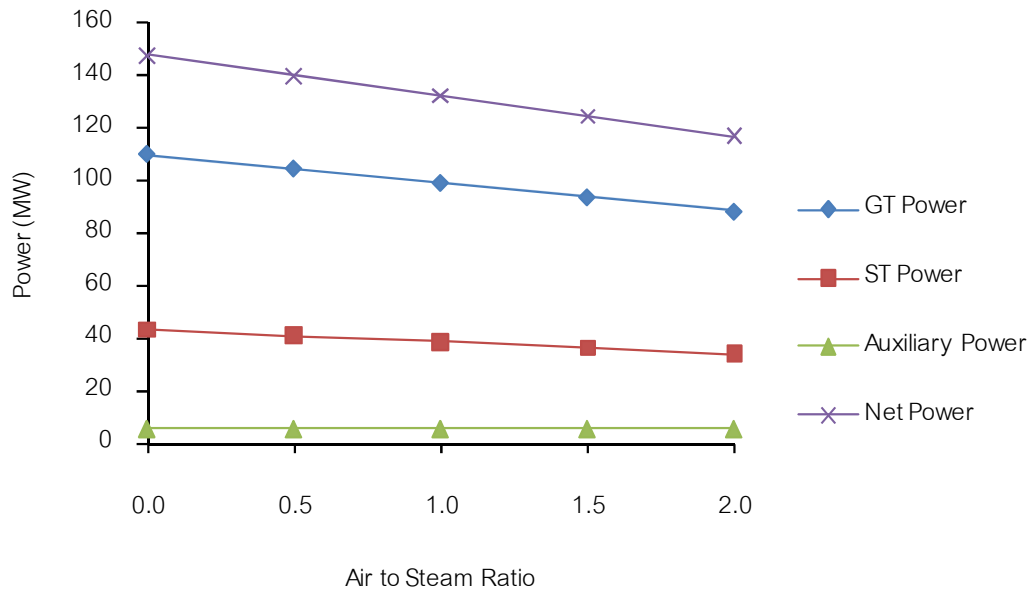




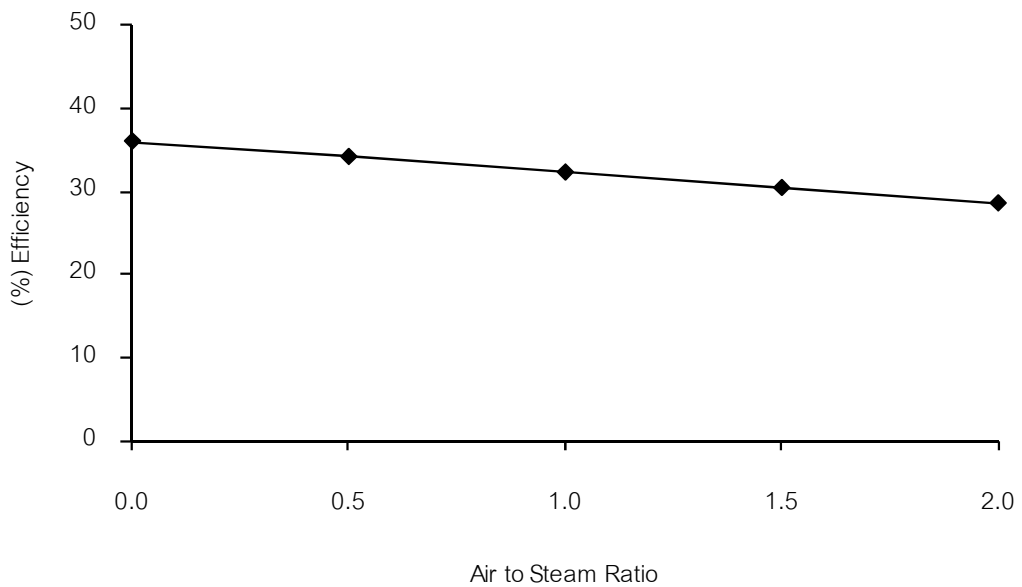
รูปที่ 5.44 ผลกระทบของอัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับใบอ้อย

#### 5.2.4 ผลของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S ratio)

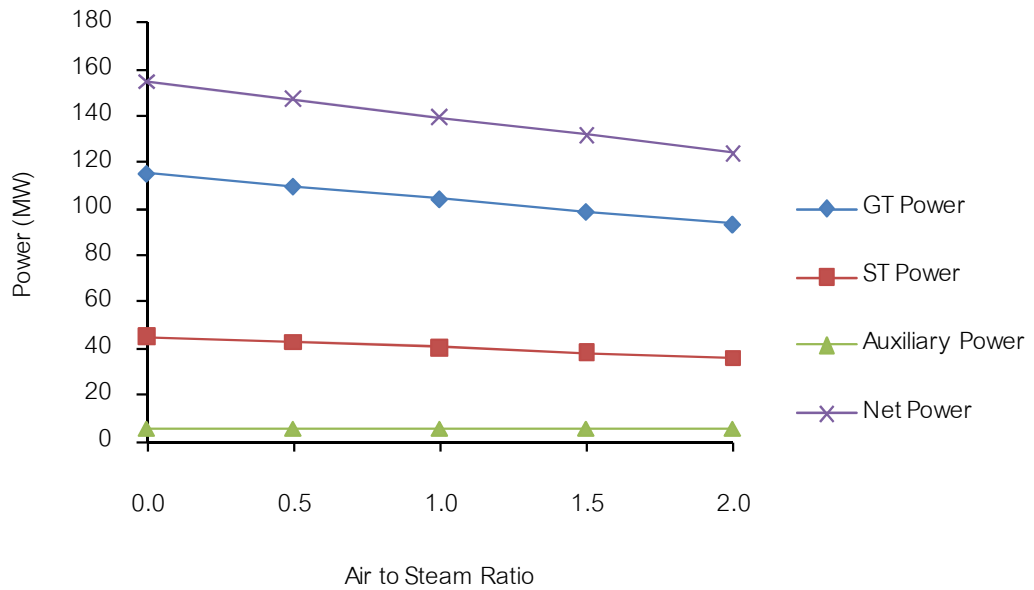
ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ มีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความดัน 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 0.75 จากรูปที่ 5.45-5.50 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแก๊สสังเคราะห์ลดลงที่อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำสูงขึ้น มากกว่านั้นผลกระทบของค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเมื่อค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ลดลงแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลง และได้ผลเช่นเดียวกันกับชีวมวลทั้ง 3 ชนิด



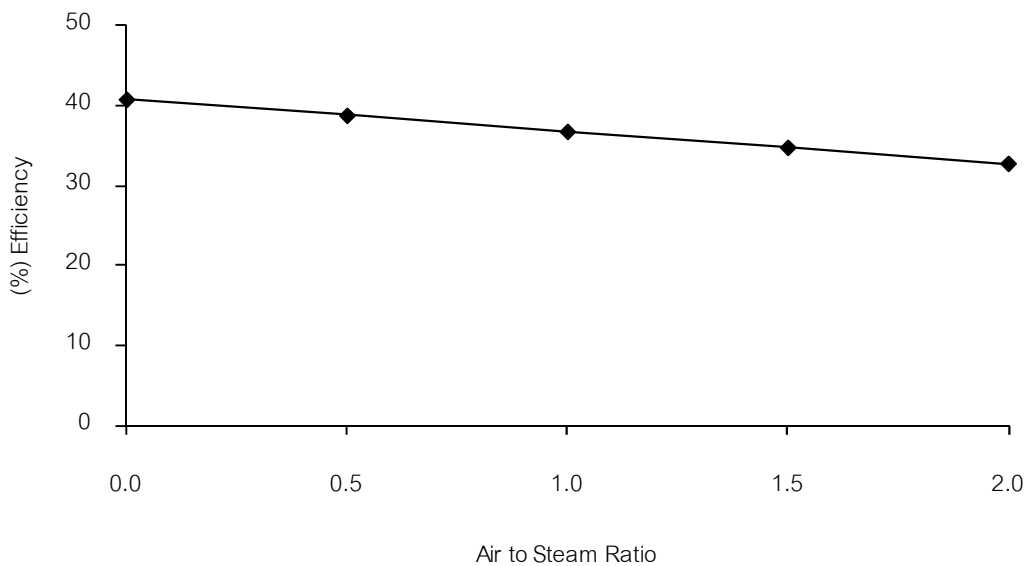
รูปที่ 5.45 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับแกลบ



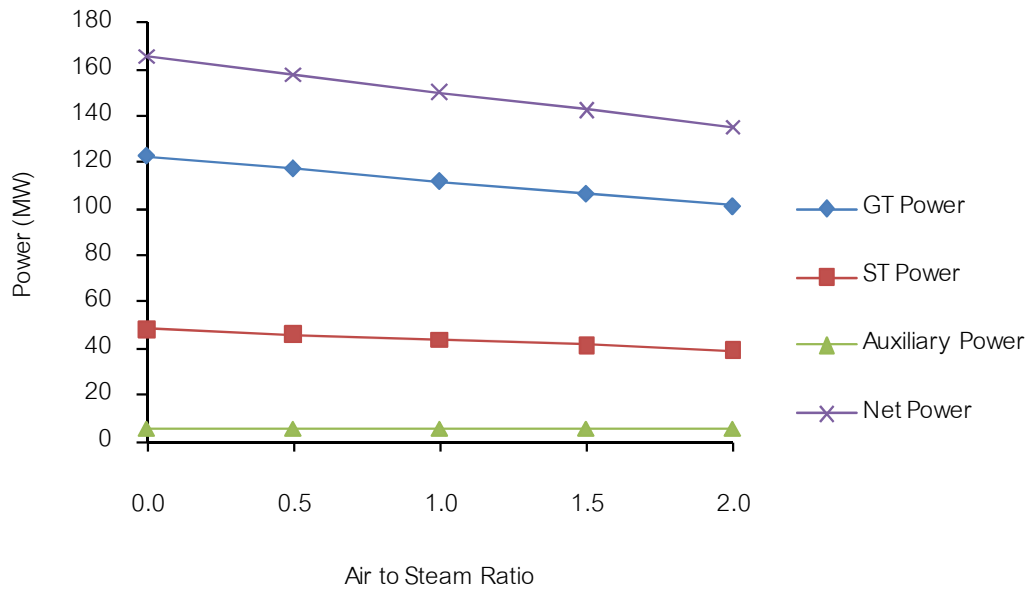
รูปที่ 5.46 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับแกลบ



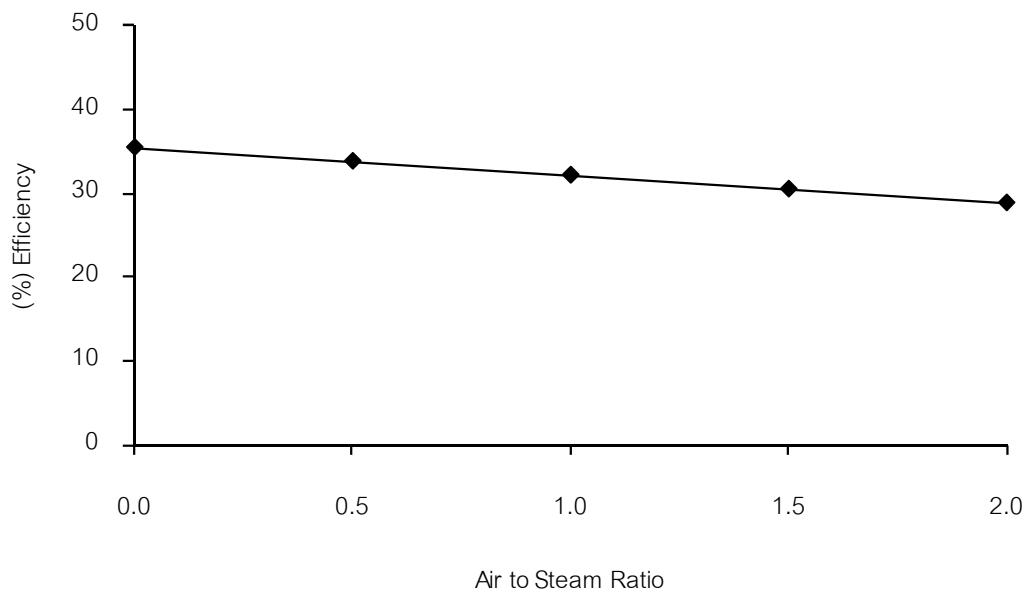
รูปที่ 5.47 ผลกระทบของอัตราการบินอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับฟางข้าว



รูปที่ 5.48 ผลกระทบของอัตราการบินอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับฟางข้าว



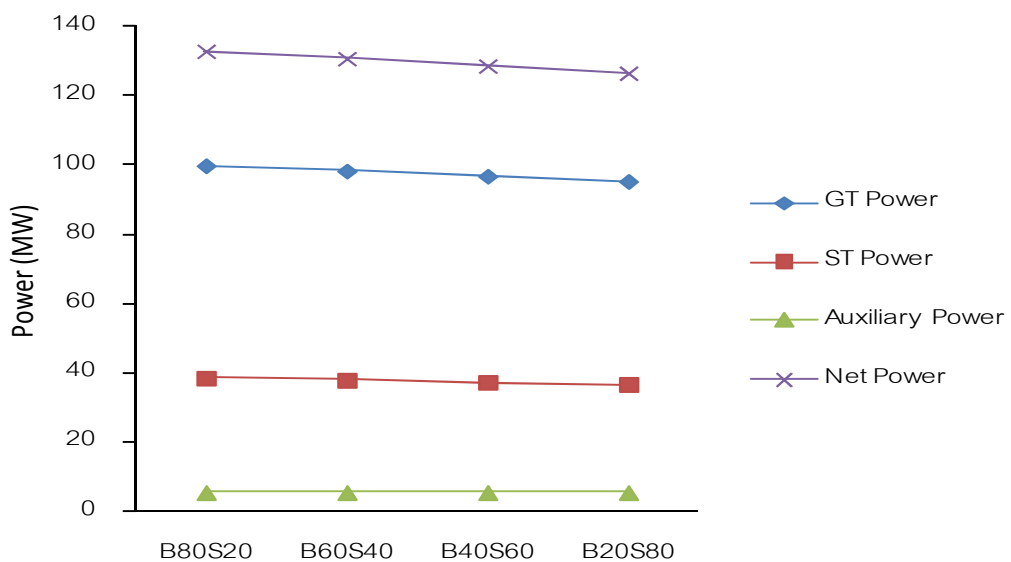
รูปที่ 5.49 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิสำหรับไบอ้อย



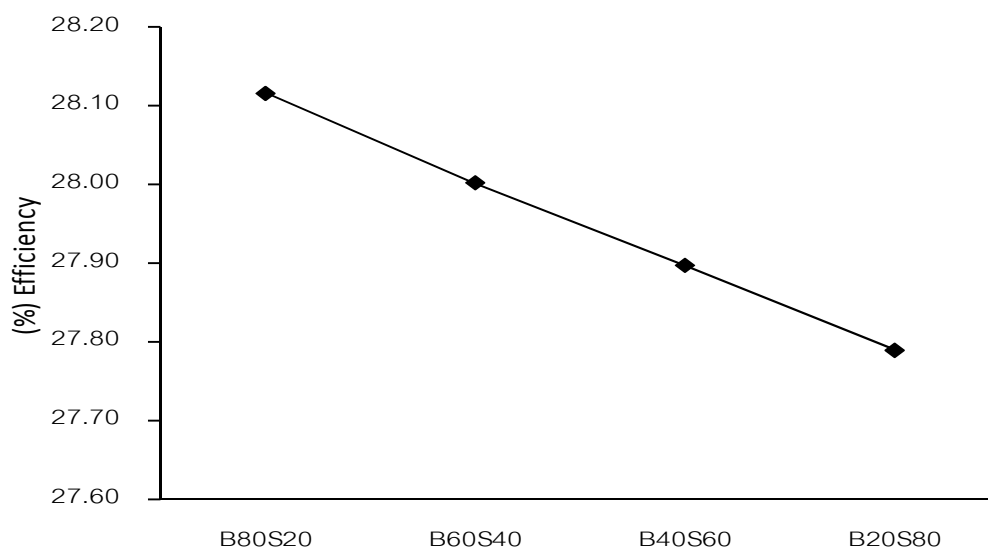
รูปที่ 5.50 ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบสำหรับไบอ้อย

### 5.2.5 ผลของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสม

ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมส่งผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์ โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส ความดันที่ 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำที่ 2.0 ชีวมวลผสมคือฟางข้าวและไบโอดีเซลเนื่องจากชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีค่าความร้อนสูงที่สุด โดยไบโอดีเซลมีค่าความร้อนสูง 16.79 เมกะจูลต่อกิโลกรัมและฟางข้าวมีค่าความร้อนสูง 13.65 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จากรูปที่ 5.51-5.52 จะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีค่าความร้อนต่ำกว่าไบโอดีเซลในปริมาณการป้อนชีวมวลที่เท่ากัน มากกว่านั้นผลกระทบของค่าความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเมื่อค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์และอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลง ทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วย



รูปที่ 5.51 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิของชีวมวลผสมฟางข้าวและไบโอดีเซล (B = ไบโอดีเซล S = ฟางข้าว)

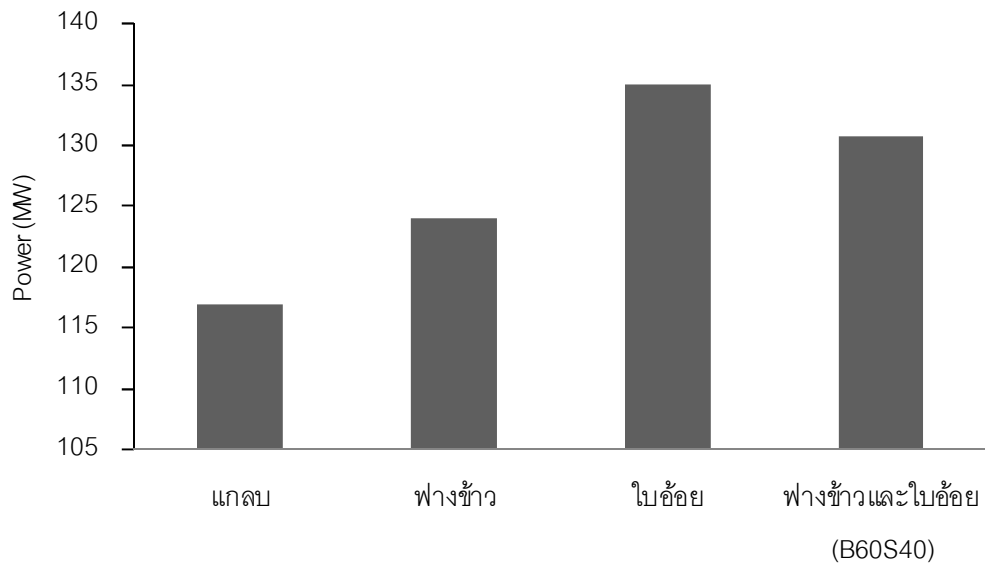


**รูปที่ 5.52** ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อประสิทธิภาพของระบบของชีวมวลผสมฟางข้าวและไบโอดีเซล (B = ไบโอดีเซล S = ฟางข้าว)

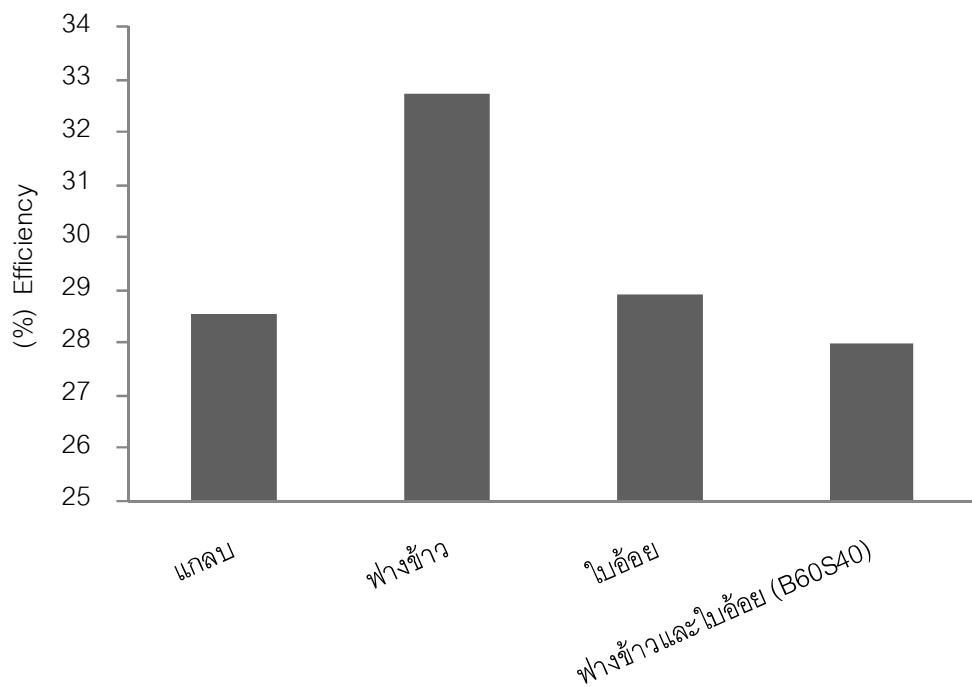
### 5.2.6 ผลของชนิดชีวมวล

จากรูปที่ 5.53 และ 5.54 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของชนิดชีวมวล โดยการจำลองกระบวนการกำหนดอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส ความดันที่ 1.05 บาร์ อัตราการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่ 0.75 และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำที่ 2.0 แสดงให้เห็นว่าชีวมวลที่ให้ปริมาณไฟฟ้ามากที่สุดคือไบโอดีเซล รองลงมาคือชีวมวลผสมระหว่างฟางข้าวและไบโอดีเซล ฟางข้าว และแกลบ ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามฟางข้าวให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลทุกชนิดและอ้างอิงตามสมการที่ 4.5

ชีวมวลที่ให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบมากที่สุด คือ ฟางข้าว ไบโอดีเซล แกลบ และชีวมวลผสมระหว่างฟางข้าวและไบโอดีเซล ตามลำดับ



รูปที่ 5.53 ผลกระทบของชนิดชีวมวลต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิ



รูปที่ 5.54 ผลกระทบของชนิดชีวมวลต่อประสิทธิภาพของระบบ

### 5.3 การประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ในหัวข้อนี้จะศึกษาต้นทุนของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นมีความคุ้มค่าและสมควรลงทุน โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะให้ความสำคัญแก่ผลตอบแทนการลงทุนเป็นสำคัญ

การพิจารณาผลตอบแทนการลงทุน จะวิเคราะห์โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจอยู่ 4 ประการ คือ

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) ควรมีค่าเป็นบวกในอัตราค่าเสียโอกาสที่เหมาะสม
2. อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย (Benefit / Cost ratio) ควรมีค่ามากกว่า 1
3. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return: IRR) ควรมีค่ามากกว่าอัตราค่าเสียโอกาสรวมค่าความเสี่ยงของโครงการ
4. ระยะคืนทุน (Payback period: PB) ควรมีระยะสั้น ซึ่งหากโครงการมีระยะยาวหรือยังคงสามารถให้ผลตอบแทนต่อไปได้อีกก็จะได้รับกำไรมากขึ้น

การวิเคราะห์ความเหมาะสมเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลนี้ได้นำข้อมูลและปัจจัยต่างๆ หลายประการจากการศึกษาโครงการแก๊สซิฟิเคชันและโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมมาใช้ประกอบในงานวิจัยนี้ การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการใช้ข้อมูลราคาลงทุนและราคาก่อสร้างของระบบซึ่งได้มาจากบริษัทที่ผู้วิจัยทำงานอยู่ โดยใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล มีกำลังการผลิต 110 เมกะวัตต์
2. เงินลงทุนทั้งสิ้น 7,380,000,000 บาท (อ้างอิงจากบริษัทที่ผู้วิจัยทำงาน)
3. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and maintenance) ทั้งหมด 25 ปี เฉลี่ยปีละ 950,000,000 บาท (อ้างอิงจากบริษัทที่ผู้วิจัยทำงาน)



4. ราคาชีวมวล คิดจากชีวมวล 799,000 ตันต่อปี ที่ราคาตันละ 750 บาท  
(<http://www.eppo.go.th>)

5. อัตราค่าไฟฟ้า 2.8 บาทต่อกิโลวัตต์ (ค่าไฟฟ้าฐานสำหรับไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล 2.5 บาทต่อกิโลวัตต์ รวมกับค่าส่วนเพิ่มจากโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล 0.3 บาทต่อกิโลวัตต์ ปีที่ 1-7 กรณีเข้าร่วมโครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหญ่) (<http://www.eppo.go.th>)

6. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 8% ต่อปี (ราคาเฉลี่ยจากธนาคารแห่งประเทศไทย)

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลสามารถสรุปผลได้ดังนี้ (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

**ตารางที่ 5.1** ผลตอบแทนการลงทุนโรงไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล

ผลตอบแทน	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV (บาท)	อัตราผลตอบแทนของ โครงการ IRR (%)	ระยะคืนทุน PB (ปี)
อัตราดอกเบี้ย 8%	812,693,640.09	13.64%	6.84

## บทที่ 6

### สรุปผลการจำลองกระบวนการและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการจำลองกระบวนการ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทยและสภาวะที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล โดยใช้โปรแกรม ASPEN PLUS โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล ประกอบด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล ใช้แก๊สซิฟิเคอร์แบบฟลูอิดไดซ์เบดผลิตแก๊สสังเคราะห์ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยกังหันแก๊ส (Gas Turbine) ระบบนำกลับความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) และกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ต่อสมรรถนะของแก๊สซิฟิเคอร์และประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ แกลบ ฟางข้าวและไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน ดังสรุปผลด้านล่าง

##### 6.1.1 ผลกระทบของตัวแปรต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์

จากผลการจำลองกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาวะดำเนินการ เช่น อุณหภูมิแก๊สซิฟิเคอร์ ความดันแก๊สซิฟิเคอร์ อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) สัดส่วนการป้อนชีวมวลผสม มีผลกระทบต่อสมรรถนะของแก๊สซิฟิเคอร์และองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ การเพิ่มอุณหภูมิและความดันทำให้ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลง เมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ลดลงแต่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมระหว่างฟางข้าวและไบโอดีเซล ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์และอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวสูงขึ้น

### 6.1.2 ผลกระทบของตัวแปรต่อประสิทธิภาพและไฟฟ้าสุทธิของระบบ

จากผลการจำลองกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาวะดำเนินการ เช่น อุณหภูมิแก๊สซีไฟเออร์ ความดันแก๊สซีไฟเออร์ อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) สัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมและชนิดชีวมวล มีผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้และประสิทธิภาพของระบบ การเพิ่มอุณหภูมิ ความดันทำให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงเล็กน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) และอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) เมื่อเพิ่มสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมระหว่างฟางข้าวและใบอ้อย จะพบว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิและประสิทธิภาพของระบบลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวมากขึ้น ส่วนชีวมวลที่ให้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคือ ใบอ้อย แต่ฟางข้าวให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบมากที่สุด

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล คือ ใบอ้อยเป็นวัตถุดิบป้อน ปฏิบัติการในช่วงอุณหภูมิแก๊สซีไฟเออร์ 600-900 องศาเซลเซียส อัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) เท่ากับ 0.75 และที่อัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำ (A/S) น้อยที่สุด

### 6.1.3 การประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล ให้อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เท่ากับ 13.64% และระยะคืนทุนอยู่ที่ 6.84 ปี แสดงว่าโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลมีความคุ้มค่าและสมควรลงทุน

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการนำความร้อนจากการลดอุณหภูมิของแก๊สสังเคราะห์และความร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องไอเสียของระบบ HRSG มาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงาน
- ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการนำไอน้ำความดันต่ำที่ออกมาจากกังหันไอน้ำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงาน
- ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของอัตราส่วนการป้อนออกซิเจนต่อไอน้ำ เพื่อหาประสิทธิภาพและพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ธนาคารแห่งประเทศไทย. อัตราแลกเปลี่ยนประจำวัน. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา : <http://www.bot.or.th> [13 กันยายน 2556].

พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ศักยภาพพลังงานชีวมวล. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา : <http://www.dede.go.th> [1 มีนาคม 2556].

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, ข้อมูลชีวมวลทั่วไป, บทความด้านพลังงานชีวมวล ฉบับที่ 1 (2545) : 3-42.

สุริยา พันธุ์โกศล. ศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลในประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : <http://www.cssckmutt.in.th>

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. มาตรการจูงใจด้านราคาแก่ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา : <http://www.eppo.go.th>.

ภาษาอังกฤษ

Aspen Plus. Aspen Plus IGCC Model. Aspen Technology, Inc. (2006).

Barz M., M.K. Delivand. Agricultural residues as promising biofuels for biomass power generation in Thailand. Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issues (2011) : 21-27.

Biomass Clearing House, Energy for Environment Foundation. Biomass. Q Print Management Co., Bangkok (2006).

Boonrod Sajjakulnukit, Rungrawee Yingyuad, VirachManeekhao, Veerawan Pongnarintasut, S.C. Bhattacharya, P. Abdul Salam. Assessment of sustainable energy potential of nonplantation biomass resources in Thailand. Journal of Biomass and Bioenergy 29 (2005) : 214-224.

Chanchal Loha, Pradip K. Chatterjee, Himadri Chattopadhyay. Performance of fluidized bed steam gasification of biomass Modeling and experiment. Journal of Energy Conversion and Management 52 (2011) : 1583-1588.

F. Emun, M.Gadalla, T.Majozi, D.Boer, 'Integrated gasification combined cycle (IGCC) process simulation", Journal of Computures and Chemical Engineering 34 (2010) 331-338.

Gomez-Barea A., Lecker B. Modeling of biomass gasification in fluidized bed. Journal of Progress in Energy and Combustion Science 36 (2010) : 444-509.

Inayat A., M.M. Ahmad, M.I. Abdul Mutalib, Yusup S. Effect of process parameters on hydrogen production and efficiency in biomass gasification using modeling approach. Journal of Applied Sciences 10(24) (2010) : 3183-3190.

- Jun Han, Heejoon Kim. The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) : 397-416.
- Kumar, Y. Demirel, D.K. Jones, M.A. Hanna, "Optimization and economic evaluation of industrial gas production and combined heat and power generation from gasification of corn stover and distillers grains", Journal of Bioresource Technology 101 (2010) 3693-3701.
- Lijun Wang, Curtis L. Weller, David D. Jones, Milford A. Hanna. Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production. Journal of Biomass and Bioenergy 32 (2008) : 573-581.
- Manuel Campoy, Alberto Gomez-Barea, Angel L. Villanueva, and Pedro Ollero. Air-Steam Gasification of Biomass in a Fluidized Bed under Simulated Autothermal and Adiabatic Conditions. Journal of Industrial Engineering Chemical Resources 47 (2008) : 5957-5965.
- Manuel Campoy, Alberto Gómez-Barea, Fernando B. Vidal, Pedro Ollero. Airsteam gasification of biomass in a fluidised bed: Process optimisation by enriched air. Journal of Fuel Processing Technology 90 (2009) : 677-685.
- Maria Puig-Arnavat, Joan Carles Bruno, Alberto Coronas. Review and analysis of biomass gasification models. Journal of Renewable and Sustainable Energy 14 (2010) : 2841-2851.
- Matthew J. De Kam, R. Vance Morey, Douglas G. Tiffany. Biomass Integrated Gasification Combined Cycle for heat and power at ethanol plants. Journal of Energy Conversion and Management 50 (2009) : 1682-1690.

- Mehrdokht B. Nikoo, Nader Mahinpey. Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS. Journal of Biomass and Bioenergy 32 (2008) : 1245-1254.
- M. Nelles, A. Schuch, and G. Morscheck. Biogenous waste to energy Challenges and solutions. Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issue (2011) : 57-61.
- Narendar R. Mitta, Sergio Ferrer-Nadal, Aleksandar M. Lazovic, José F. Perales, Enric Velo, Luis Puigjaner. Modeling and Simulation of a Tyre Gasification Plant for Synthesis Gas Production. 16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9<sup>th</sup> International Symposium on Process Systems Engineering (2006).
- Naveed Ramzan, Asma Ashraf, Shahid Naveed, Abdullah Malik. Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste. Journal of Biomass and Bioenergy 35 (2011) : 3962-3969.
- P. Klimantos, N. Koukouzas, A. Katsiadakis, E. Kakaras. Air-blown biomass gasification combined cycles (BIGCC) : System analysis and economic assessment. Journal of Energy 34 (2009) : 708-714.
- P.M. Lv, Z.H. Xiong, J. Chang, C.Z. Wu, Y. Chen, J.X. Zhu. An experimental study on biomass air steam gasification in a fluidized bed. Journal of Bioresource Technology 95 (2004) : 95-101.
- Pooya Lahijani, Zainal Alimuddin Zainal. Gasification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed: A performance and agglomeration study. Journal of Bioresource Technology 102 (2011) : 2068-2076.



- P. Seksan, Y. Chantana, L. Pongvipa, and M. Pomthong, Overview of biomass utilization in Thailand.
- Samsudin A., Z.A. Zainala. Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) : 2355-2377.
- S. Prasertsan, B. Sajjakulnukit. Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. Journal of Renewable Energy 31 (2006) : 599-610.
- T. Damartzis, A. Zabaniotou. Thermochemical conversion of biomass to second generation biofuels through integrated process design-A review. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) : 366-378.
- T.R. McLendon, A.P. Lui, R.L. Pineault, S.K. Beer, S.W. Richardson. High-pressure cogasification of coal and biomass in a fluidized bed. Journal of Biomass and Bioenergy 26 (2004) : 377-388.
- Wayne Doherty, Anthony Reynolds, David Kennedy. The effect of air preheating in a biomass CFB gasifier using ASPEN Plus simulation. Journal of Biomass and Bioenergy 33 (2009) : 1158-1167.
- Wayne Doherty, Anthony Reynolds, David Kennedy. Computer simulation of a biomass gasification-solid oxide fuel cell power system using Aspen Plus. Journal of Energy 35 (2010) : 4545-4555.
- Wikipedia, the free encyclopedia. Gasification. [Online]. 2556. Available from : <http://en.wikipedia.org/wiki/Gasification> [2013, September].
- X.T. Li, J.R. Grace, C.J. Lim, A.P. Watkinson, H.P. Chen, J.R. Kim. Biomass gasification in a circulating fluidized bed. Journal of Biomass and Bioenergy 26 (2004) : 171-193.

Yanan Zhang, Jun Xiao, Laihong Shen. Simulation of methanol production from biomass gasification in interconnected fluidized beds. Journal of Industrial Engineering Chemical Resources (2009) : 5351-5359.

ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก

ตารางสรุปผลกระทบของสภาวะดำเนินการสำหรับชีวมวลแต่ละชนิด

ตารางที่ ก.1 ผลกระทบของอุณหภูมิแก๊สซีฟิเออร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแก๊ส (ที่ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Temperature	600 °C		700 °C		800 °C		900 °C	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.3036	6,344	0.3002	6,244	0.2870	5,857	0.2750	5,521
CO	0.0702	20,393	0.0989	28,583	0.1210	34,323	0.1399	39,030
CO <sub>2</sub>	0.2232	101,840	0.2018	91,632	0.1857	82,751	0.1720	75,365
CH <sub>4</sub>	0.0062	1,024	0.0003	54	0.0000	4	0.0000	0
N <sub>2</sub>	0.3968	115,215	0.3987	115,224	0.4063	115,229	0.4131	115,230
<b>Total</b>	<b>1.0000</b>	<b>244,816</b>	<b>1.0000</b>	<b>241,738</b>	<b>1.0000</b>	<b>238,164</b>	<b>1.0000</b>	<b>235,146</b>
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,383		4,499		4,623		4,732	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,012		5,099		5,197		5,282	

ตารางที่ ก.2 ผลกระทบของความดันแก๊สซิฟิเคอร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแก๊ส (ที่อุณหภูมิ 900 °C, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Pressure	5 Bar		10 Bar		15 Bar		20 Bar	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2748	5,516	0.2744	5,504	0.2738	5,487	0.2730	5,464
CO	0.1399	39,013	0.1398	38,953	0.1395	38,853	0.1392	38,716
CO <sub>2</sub>	0.1720	75,369	0.1722	75,388	0.1724	75,423	0.1727	75,473
CH <sub>4</sub>	0.0001	9	0.0002	36	0.0005	81	0.0009	141
N <sub>2</sub>	0.4132	115,223	0.4134	115,213	0.4137	115,203	0.4142	115,193
Total	1.0000	235,129	1.0000	235,095	1.0000	235,047	1.0000	234,987
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,732		4,732		4,732		4,733	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,282		5,282		5,282		5,283	

ตารางที่ ก.3 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแก๊ส (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, A/S ratio = 2.0)

Steam to Biomass Ratio	1.00		1.25		1.50		1.75		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2163	4,778	0.1628	3,903	0.1137	2,929	0.0685	1,882	0.0266	776
CO	0.0944	28,963	0.0623	20,740	0.0388	13,875	0.0211	8,045	0.0075	3,024
CO <sub>2</sub>	0.1891	91,183	0.1989	104,103	0.2043	114,890	0.2068	124,050	0.2075	131,939
CH <sub>4</sub>	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0
N <sub>2</sub>	0.5003	153,585	0.5761	191,940	0.6433	230,294	0.7036	268,649	0.7584	307,003
Total	1.0000	278,509	1.0000	320,686	1.0000	361,989	1.0000	402,626	1.0000	442,742
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	3,523		2,541		1,716		1,005		382	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	3,956		2,867		1,943		1,141		435	

ตารางที่ ก.4 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับแก๊ส (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75)

Air to Steam Ratio	0.00		0.50		1.00		1.50		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.5777	8,581	0.4834	7,808	0.4033	7,039	0.3346	6,277	0.2750	5,521
CO	0.2792	57,627	0.2366	53,105	0.2000	48,499	0.1681	43,807	0.1399	39,030
CO <sub>2</sub>	0.1422	46,128	0.1510	53,242	0.1587	60,484	0.1657	67,858	0.1720	75,365
CH <sub>4</sub>	0.0001	7	0.0000	3	0.0000	2	0.0000	1	0.0000	0
N <sub>2</sub>	0.0008	170	0.1289	28,933	0.2379	57,699	0.3317	86,464	0.4131	115,230
Total	1.0000	112,513	1.0000	143,092	1.0000	173,723	1.0000	204,408	1.0000	235,146
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	9,755		8,201		6,874		5,729		4,732	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	10,912		9,168		7,682		6,399		5,282	



ตารางที่ ก.5 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับแก๊ส

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
Temp = 600 °C	244,816	717,129	54.10	133.60	278.49	34.39	5.50	119.67	29.20%
Temp = 700 °C	241,738	727,775	54.13	135.59	279.82	34.52	5.50	119.12	29.06%
Temp = 800 °C	238,164	728,142	53.29	135.66	278.14	34.25	5.50	117.95	28.78%
Temp = 900 °C	235,146	727,991	52.56	135.63	276.60	34.01	5.50	116.93	28.53%
Pressure = 5 Bar	235,129	727,747	52.54	135.58	276.53	34.00	5.50	116.90	28.52%
Pressure = 10 Bar	235,095	727,260	52.51	135.49	276.37	33.99	5.50	116.86	28.51%
Pressure = 15 Bar	235,047	726,583	52.46	135.37	276.16	33.96	5.50	116.80	28.50%
Pressure = 20 Bar	234,987	725,727	52.39	135.21	275.90	33.93	5.50	116.73	28.48%
S/B = 1.00	278,509	599,912	57.64	111.77	251.31	31.14	5.50	107.55	26.24%
S/B = 1.25	320,686	471,744	62.42	87.89	225.39	28.17	5.50	97.76	23.85%
S/B = 1.50	361,989	343,510	67.00	64.00	199.03	25.14	5.50	87.67	21.39%
S/B = 1.75	402,626	215,226	71.41	40.10	172.31	22.05	5.50	77.35	18.87%
S/B = 2.00	442,742	86,901	75.69	16.19	145.31	18.92	5.50	66.85	16.31%

ตารางที่ ก.5 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับแก๊ส (ต่อ)

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
A/S = 0.00	112,513	1,112,776	39.16	207.32	356.34	43.23	5.50	147.60	36.01%
A/S = 0.50	143,092	1,016,564	42.49	189.39	336.36	40.92	5.50	139.90	34.13%
A/S = 1.00	173,723	920,371	45.83	171.47	316.42	38.61	5.50	132.23	32.26%
A/S = 1.50	204,408	824,180	49.19	153.55	296.50	36.31	5.50	124.57	30.39%
A/S = 2.00	235,146	727,991	52.56	135.63	276.60	34.01	5.50	116.93	28.53%

ตารางที่ ก.6 ผลกระทบของอุณหภูมิแก๊สซีฟเฮอร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว (ที่ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Temperature	600 °C		700 °C		800 °C		900 °C	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.3135	6,734	0.3124	6,701	0.2994	6,301	0.2876	5,952
CO	0.0736	21,963	0.1039	30,948	0.1264	36,970	0.1456	41,861
CO <sub>2</sub>	0.2179	102,193	0.1952	91,415	0.1787	82,132	0.1648	74,460
CH <sub>4</sub>	0.0075	1,287	0.0004	70	0.0000	5	0.0000	1
N <sub>2</sub>	0.3874	115,643	0.3881	115,654	0.3954	115,658	0.4021	115,660
Total	1.0000	247,820	1.0000	244,788	1.0000	241,066	1.0000	237,933
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,581		4,696		4,825		4,938	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,235		5,321		5,424		5,514	

ตารางที่ ก.7 ผลกระทบของความดันแก๊สซิฟิเคอร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว (ที่อุณหภูมิ 900 °C, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Pressure	5 Bar		10 Bar		15 Bar		20 Bar	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2874	5,946	0.2869	5,932	0.2861	5,910	0.2852	5,881
CO	0.1455	41,837	0.1453	41,759	0.1451	41,629	0.1446	41,452
CO <sub>2</sub>	0.1648	74,466	0.1650	74,493	0.1653	74,539	0.1657	74,603
CH <sub>4</sub>	0.0001	12	0.0003	47	0.0006	104	0.0011	183
N <sub>2</sub>	0.4022	115,652	0.4025	115,641	0.4029	115,630	0.4034	115,619
Total	1.0000	237,913	1.0000	237,871	1.0000	237,812	1.0000	237,737
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,938		4,938		4,939		4,940	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,514		5,514		5,514		5,516	

ตารางที่ ก.8 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, A/S ratio = 2.0)

Steam to Biomass Ratio	1.00		1.25		1.50		1.75		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2298	5,222	0.1770	4,360	0.1286	3,399	0.0840	2,364	0.0426	1,270
CO	0.1001	31,620	0.0678	23,216	0.0440	16,172	0.0260	10,171	0.0120	4,989
CO <sub>2</sub>	0.1825	90,550	0.1930	103,756	0.1990	114,823	0.2022	124,252	0.2034	132,394
CH <sub>4</sub>	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0
N <sub>2</sub>	0.4876	154,015	0.5621	192,369	0.6283	230,724	0.6878	269,079	0.7420	307,433
Total	1.0000	281,408	1.0000	323,700	1.0000	365,118	1.0000	405,866	1.0000	446,085
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	3,742		2,766		1,943		1,234		611	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,201		3,119		2,200		1,402		696	

ตารางที่ ก.9 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับฟางข้าว (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75)

Air to Steam Ratio	0.00		0.50		1.00		1.50		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.5825	9,021	0.4913	8,245	0.4134	7,475	0.3461	6,711	0.2876	5,952
CO	0.2804	60,343	0.2395	55,847	0.2041	51,268	0.1730	46,606	0.1456	41,861
CO <sub>2</sub>	0.1343	45,400	0.1432	52,475	0.1512	59,675	0.1583	67,003	0.1648	74,460
CH <sub>4</sub>	0.0001	8	0.0000	4	0.0000	2	0.0000	1	0.0000	1
N <sub>2</sub>	0.0028	600	0.1259	29,363	0.2313	58,129	0.3225	86,894	0.4021	115,660
Total	1.0000	115,371	1.0000	145,934	1.0000	176,549	1.0000	207,215	1.0000	237,933
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	9,823		8,322		7,034		5,916		4,938	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	10,989		9,306		7,862		6,609		5,514	

ตารางที่ ก.10 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับฟางข้าว

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
Temp = 600 °C	247,820	769,750	55.65	143.41	295.00	36.31	5.50	126.76	33.43%
Temp = 700 °C	244,788	783,137	55.89	145.90	297.09	36.54	5.50	126.34	33.32%
Temp = 800 °C	241,066	783,666	55.04	146.00	295.38	36.27	5.50	125.12	33.00%
Temp = 900 °C	237,933	783,521	54.28	145.97	293.79	36.03	5.50	124.06	32.72%
Pressure = 5 Bar	237,913	783,233	54.26	145.92	293.69	36.01	5.50	124.03	32.71%
Pressure = 10 Bar	237,871	782,639	54.21	145.81	293.51	35.99	5.50	123.98	32.70%
Pressure = 15 Bar	237,812	781,799	54.15	145.65	293.25	35.96	5.50	123.91	32.68%
Pressure = 20 Bar	237,737	780,732	54.06	145.45	292.92	35.92	5.50	123.82	32.66%
S/B = 1.00	281,408	655,452	59.38	122.11	268.55	33.16	5.50	114.72	30.26%
S/B = 1.25	323,700	527,293	64.19	98.24	242.70	30.20	5.50	104.97	27.68%
S/B = 1.50	365,118	399,068	68.80	74.35	216.39	27.17	5.50	94.92	25.03%
S/B = 1.75	405,866	270,792	73.23	50.45	189.73	24.09	5.50	84.64	22.32%
S/B = 2.00	446,085	142,476	77.54	26.54	162.80	20.97	5.50	74.18	19.56%

ตารางที่ ก.10 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับฟางข้าว (ต่อ)

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
A/S = 0.00	115,371	1,168,300	40.90	217.66	373.55	45.25	5.50	154.75	40.81%
A/S = 0.50	145,934	1,072,094	44.22	199.74	353.57	42.94	5.50	147.05	38.78%
A/S = 1.00	176,549	975,902	47.56	181.82	333.62	40.63	5.50	139.37	36.76%
A/S = 1.50	207,215	879,711	50.91	163.89	313.69	38.32	5.50	131.71	34.74%
A/S = 2.00	237,933	783,521	54.28	145.97	293.79	36.03	5.50	124.06	32.72%



ตารางที่ ก.11 ผลกระทบของอุณหภูมิแก๊สซีฟิเออร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบอ้อย (ที่ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Temperature	600 °C		700 °C		800 °C		900 °C	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.3174	7,098	0.3205	7,200	0.3075	6,778	0.2955	6,405
CO	0.0831	25,817	0.1173	36,606	0.1410	43,183	0.1608	48,419
CO <sub>2</sub>	0.2177	106,280	0.1919	94,112	0.1746	84,049	0.1603	75,840
CH <sub>4</sub>	0.0104	1,850	0.0006	106	0.0000	7	0.0000	1
N <sub>2</sub>	0.3715	115,442	0.3698	115,453	0.3769	115,458	0.3834	115,460
Total	1.0000	256,487	1.0000	253,478	1.0000	249,476	1.0000	246,125
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,846		4,958		5,097		5,216	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,519		5,601		5,712		5,808	

ตารางที่ ก.12 ผลกระทบของความดันแก๊สซิไฟเออร์ต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบอ้อย (ที่อุณหภูมิ 900 °C, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Pressure	5 Bar		10 Bar		15 Bar		20 Bar	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2953	6,397	0.2947	6,377	0.2937	6,347	0.2924	6,307
CO	0.1607	48,382	0.1605	48,263	0.1601	48,067	0.1595	47,803
CO <sub>2</sub>	0.1604	75,853	0.1606	75,900	0.1610	75,978	0.1616	76,085
CH <sub>4</sub>	0.0001	17	0.0004	69	0.0009	152	0.0015	265
N <sub>2</sub>	0.3835	115,451	0.3838	115,439	0.3843	115,427	0.3850	115,416
Total	1.0000	246,101	1.0000	246,048	1.0000	245,972	1.0000	245,876
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,216		5,217		5,219		5,221	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,808		5,809		5,810		5,813	

ตารางที่ ก.13 ผลกระทบของอัตราป้อนไอน้ำต่อชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบอ็อกซ์ (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, A/S ratio = 2.0)

Steam to Biomass Ratio	1.00		1.25		1.50		1.75		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2414	5,735	0.1916	4,925	0.1455	4,011	0.1029	3,016	0.0631	1,958
CO	0.1131	37,338	0.0789	28,206	0.0536	20,526	0.0343	13,962	0.0192	8,279
CO <sub>2</sub>	0.1798	93,252	0.1917	107,601	0.1989	119,669	0.2030	129,982	0.2051	138,911
CH <sub>4</sub>	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0
N <sub>2</sub>	0.4658	153,815	0.5378	192,169	0.6020	230,524	0.6598	268,878	0.7126	272,233
Total	1.0000	290,141	1.0000	332,902	1.0000	374,730	1.0000	415,838	1.0000	456,380
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,030		3,062		2,246		1,542		923	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	4,513		3,445		2,537		1,747		1,049	

ตารางที่ ก.14 ผลกระทบของอัตราป้อนอากาศต่อไอน้ำต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์สำหรับไบอ้อย (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75)

Air to Steam Ratio	0.00		0.50		1.00		1.50		2.00	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.5739	9,411	0.4885	8,651	0.4151	7,897	0.3513	7,148	0.2955	6,405
CO	0.2974	67,760	0.2562	63,051	0.2204	58,257	0.1888	53,379	0.1608	48,419
CO <sub>2</sub>	0.1269	45,425	0.1367	52,839	0.1454	60,378	0.1532	68,045	0.1603	75,840
CH <sub>4</sub>	0.0001	10	0.0000	5	0.0000	3	0.0000	1	0.0000	1
N <sub>2</sub>	0.0018	400	0.1185	29,163	0.2191	57,928	0.3066	86,694	0.3834	15,460
Total	1.0000	123,006	1.0000	153,709	1.0000	184,463	1.0000	215,268	1.0000	246,125
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	9,945		8,503		7,258		6,172		5,216	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	11,094		9,482		8,090		6,876		5,808	

ตารางที่ ก.15 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับไบอ้อย

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
Temp = 600 °C	256,487	844,285	57.91	157.29	319.00	39.23	5.50	137.53	29.48%
Temp = 700 °C	253,478	863,488	58.59	160.87	322.67	39.67	5.50	137.37	29.45%
Temp = 800 °C	249,476	864,375	57.69	161.04	320.92	39.39	5.50	136.07	29.17%
Temp = 900 °C	246,125	864,241	56.88	161.01	319.22	39.12	5.50	134.94	28.93%
Pressure = 5 Bar	246,101	863,880	56.86	160.95	319.10	39.11	5.50	134.91	28.92%
Pressure = 10 Bar	246,048	863,087	56.80	160.80	318.86	39.08	5.50	134.84	28.90%
Pressure = 15 Bar	245,972	861,942	56.70	160.58	318.51	39.03	5.50	134.75	28.89%
Pressure = 20 Bar	245,876	860,479	56.58	160.31	318.06	38.98	5.50	134.64	28.86%
S/B = 1.00	290,141	736,213	62.12	137.16	294.26	36.30	5.50	125.78	26.96%
S/B = 1.25	332,902	608,089	67.05	113.29	268.65	33.38	5.50	116.19	24.91%
S/B = 1.50	374,730	479,894	71.75	89.41	242.55	30.39	5.50	106.29	22.78%
S/B = 1.75	415,838	351,646	76.28	65.51	216.09	27.33	5.50	96.13	20.61%
S/B = 2.00	456,380	223,354	80.66	41.61	189.32	24.24	5.50	85.78	18.39%

ตารางที่ ก.15 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับไบอ้อย (ต่อ)

Operating Conditions	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
A/S = 0.00	123,006	1,248,960	43.37	232.69	398.69	48.30	5.50	165.44	35.46%
A/S = 0.50	153,709	1,152,773	46.73	214.77	378.78	46.00	5.50	157.79	33.82%
A/S = 1.00	184,463	1,056,597	50.10	196.85	358.90	43.70	5.50	150.16	32.19%
A/S = 1.50	215,268	960,419	53.48	178.93	339.05	41.41	5.50	142.54	30.56%
A/S = 2.00	246,125	864,241	56.88	161.01	319.22	39.12	5.50	134.94	28.93%

ตารางที่ ก.16 ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนชีวมวลผสมต่อองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ (B = ใบอ้อย, S = ฟางข้าว)

(ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Mixed Biomass	B80 : S20		B60 : S40		B40 : S60		B20 : S80	
	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)	Mole Fraction	Mass Flow (kg/hr)
H <sub>2</sub>	0.2944	6,327	0.2931	6,242	0.2918	6,159	0.2904	6,075
CO	0.1578	47,118	0.1547	45,792	0.1517	44,497	0.1487	43,213
CO <sub>2</sub>	0.1610	75,535	0.1618	75,250	0.1626	74,927	0.1633	74,585
CH <sub>4</sub>	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1
N <sub>2</sub>	0.3869	115,582	0.3904	115,532	0.3940	115,568	0.3976	115,604
<b>Total</b>	<b>1.0000</b>	<b>244,564</b>	<b>1.0000</b>	<b>42,816</b>	<b>1.0000</b>	<b>241,151</b>	<b>1.0000</b>	<b>239,478</b>
LHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,165		5,113		5,061		5,008	
HHV (kJ/Nm <sup>3</sup> )	5,755		5,700		5,645		5,589	

ตารางที่ ก.17 ผลกระทบของสภาวะดำเนินการต่อการผลิตไฟฟ้าสำหรับชีวมวลผสม (ที่อุณหภูมิ 900 °C, ความดัน 1.05 บาร์, S/B ratio = 0.75, A/S ratio = 2.0)

Mixed Biomass	Syngas Flow (kg/hr)	Air to GT (kg/hr)	FG Comp (MW)	Air Comp (MW)	GT Power (MW)	ST Power (MW)	Auxiliary (MW)	Net Power (MW)	Efficiency (%)
B80 : S20	244,564	849,320	56.38	158.23	314.49	38.54	5.50	132.92	28.12%
B60 : S40	242,816	833,508	55.88	155.29	309.51	37.94	5.50	130.78	28.00%
B40 : S60	241,151	818,141	55.38	152.42	304.66	37.34	5.50	128.70	27.90%
B20 : S80	239,478	802,773	54.88	149.56	299.80	36.75	5.50	126.61	27.79%



ภาคผนวก ข

ตารางแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ  
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม 110 MW





## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชรินทร์ ศุภวิมล เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสันป่าตองวิทยาคม จังหวัดเชียงใหม่ในปี การศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ ในปีการศึกษา 2549 เข้าทำงานที่บริษัทโตโยไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (2550-ปัจจุบัน) ตำแหน่งวิศวกรโครงการ และได้เข้ารับการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2556

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ได้รับการตอบรับให้นำเสนอผลงานและตีพิมพ์ที่ The 4<sup>th</sup> KKU International Engineering Conference 2012 (KKU-IENC 2012) ระหว่างวันที่ 10-12 พฤษภาคม 2555 ที่โรงแรมโสมชะ จังหวัดขอนแก่น