โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ แบบจำลองระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันก๊าซด้วยโปรแกรม Aspen Plus

Simulation of integrated model for power generation from biomass gasification -gas turbine combustion based on Aspen Plus

ชื่อนิสิต นางสาวชญานิษฐ์ ชำนาญศิลป์ เลขประจำตัว 6032910023

นางสาวปรีชยา ไพสิฐตระกูล เลขประจำตัว 6032936423

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงงาน แบบจำลองระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊สด้วยโปรแกรม Aspen Plus

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ชื่อนิสิตที่ร่วมในโครงการ นางสาวชญานิษฐ์ ชำนาญศิลป์ เลขประจำตัว 6032910023
นางสาวปรีชยา ไพสิฐตระกูล เลขประจำตัว 6032936423

จำนวนนิสิตในโครงการรวม 2 คน

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ณัฐพล พินทุโยธิน โทร (662) 218 7523-5

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบบูรณาการจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊สเพื่อคาดการณ์คุณภาพของแก๊สและการผลิตพลังงานภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ โดยตัวแปรที่ใช้ คือ อุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นและอัตราส่วนสมมูลซึ่งส่งผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ในงานวิจัยได้สร้างแบบจำลองระบบกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊สเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัส โดยแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วยระบบผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดและการทำความสะอาดแก๊ส, ระบบการเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊ส และระบบผลิตกระแสไฟฟ้า จากการจำลองพบว่าข้อมูลจากการจำลองสอดคล้องกับข้อมูลการทดลอง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนและมีเทนได้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ในขณะที่เมื่ออัตราส่วนสมมูลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ผลผลิตของไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์และ มีเทนลดลง องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เมื่อพิจารณาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่าแบบจำลองสามารถให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับการทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจริงและทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ได้อย่างบูรณาการ

ภาควิชาเคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต ชญานิษฐ์ ปรีชยา

สาขาวิชา เทคโนโลยีเชื้อเพลิง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา N. Pintoyothin

Abstract

Title Simulation of integrated model for power generation from biomass gasification – gas turbine combustion (Aspen Plus)

Student name Ms. Chayanit Chamnansin Student ID 6032910023

Ms. Preechaya Paisittrakun Student ID 6032936423

Advisor Lecturer Nathapol Pintuyothin

This project aims to study on integrated model for power generation from biomass gasification – gas turbine combustion and to predict the effect of temperature of gasification and equivalence ratio (ER) on the composition of syngas produced by biomass gasification. The Aspen Plus model of integrated system for power generation from biomass gasification – gas turbine combustion including biomass gasification and gas-cleaning system, gas turbine combustion system and power generation system was developed. The gas yield, gas composition, and heating value of syngas from biomass gasification can be simulated and analyzed. The result shows that the model was accurate as the simulated data was verified by experimental data. Considering the effect of operating condition, the increase of temperature conducted to the slightly increase of the yields of H_2 and CH_4 and significantly increase of the CO yield. As the ER increased, the yields of H_2, CO and CH_4 decreased and the composition of CO_2 increased. Finally, the simulation of biomass gasification-gas turbine combustion integrated power generation system can obtain the main parameters of gas turbine and simulate the integrated system.

Department of Chemical Technology Student's Signature Chayanit Preechaya

Major: Fuel Technology Advisor's Signature N. Pintuyothin

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ณัฐพล พินทุโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนให้ความเห็นเพื่อนำไปปรับปรุงโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้อำนวยความสะดวกในการให้ใช้ห้องปฏิบัติการและใช้เครื่องมือวิเคราะห์ จนทำให้งานชิ้นนี้ออกมาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำที่ดี เกี่ยวกับการทำงานวิจัยฉบับนี้ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้ออกมาสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นและรวมถึงผู้ที่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 วิธีการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พลังงานชีวมวล	3
2.2 แก๊สสังเคราะห์	3
2.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้า	4
2.4 กังหันแก๊ส	4
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 การจำลองกระบวนการ	9
3.2 สารตั้งต้น	10
3.3 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น	11
3.4 กระบวนการเผาไหม้ด้วยกังหันก๊าซ	11
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล	12
4.1 การตรวจสอบแบบจำลอง	12
4.2 ผลของอุณหภูมิ	13
4.3 ผลของอัตราส่วนสมมูล (ER)	17
4.4 การจำลองระบบกังหันแก๊ส	18
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	19
เอกสารอ้างอิง	20

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่าองค์ประกอบกังหันแก๊ส M701F 5
3.1 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมวลชีวภาพที่ใช้ในการจำลอง 10
3.2 แสดงพารามิเตอร์สำหรับกังหันก๊าซ M701F 11
4.1 ตารางแสดงค่าผลการจำลองเปรียบเทียบองค์ประกอบโดยโมล กับค่าจากงานวิจัย 12
4.2 ตารางค่าความคาดเคลื่อนของผลการจำลอง 12
4.3 ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่น ต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ 14
4.4 ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลแก๊สซิฟิเคชั่น ต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ 17
4.5 ตารางแสดงผลการจำลองของการดำเนินการของพารามิเตอร์ 18
4.6 ตารางแสดงผลการจำลองของไฟฟ้าที่ผลิตได้ 19

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กังหันแก๊ส M701F	5
2.2 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล	6
2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าโดยกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล	7
3.1 แผนผังกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ	10
4.1 เปรียบเทียบค่าร้อยละองค์ประกอบโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองและงานวิจัย	13
4.2 ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์	15
4.3 ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อค่าการเปลี่ยนคาร์บอน, CGE และ Gas yield	16
4.4 ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลอัตราส่วนสมมูลของแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์	17

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ทุกวันนี้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างกว้างขวางรวมทั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรส่งผลให้มีความต้องการด้านพลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งในการผลิตพลังงานต่าง ๆ นอกจากจะต้องผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการแล้ว การดำเนินการยังต้องคำนึงถึงผลลัพธ์ที่ยั่งยืน (Sustainable) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง การผลิตไฟฟ้าจากมวลชีวภาพ ถือเป็นการส่งเสริมการผลิตและใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทยที่มุ่งกระจายแหล่งเชื้อเพลิง ในการผลิตไฟฟ้าให้ประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ อย่างเหมาะสม ประเทศไทยมีการส่งเสริมการผลิต ไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจากชีวมวลมาเป็นเวลาหลายปีแล้ว โดยเชื้อเพลิงมวลชีวภาพส่วนใหญ่มาจากวัสดุเหลือใช้ ทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง หรือทะลายปาล์ม ฯลฯ เป็นต้น[1] แม้จะมีหลายวิธีในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากมวลชีวภาพ ปัญหาคือมวลชีวภาพส่วนมากมีความหนาแน่นพลังงาน (energy density) น้อยเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ตัวอย่างเช่น ค่าความร้อนสุทธิของมวลชีวภาพไม้มีค่าประมาณ 12-15 GJ/t ในขณะที่ถ่านซับบิทูมินัสมีค่าประมาณ 20-25 GJ/t (LHV)[2] วิธีการ Gasification ของมวลชีวภาพจึงเป็นวิธีที่สำคัญและได้รับความสนใจอย่างมากในการใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการมวลชีวภาพเพื่อสร้างเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermochemical Conversion Process) ของวัตถุดิบมวลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนมวลชีวภาพที่เป็นของแข็งให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงเหลวก่อนนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า[3] เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของประเภทของเชื้อเพลิง การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์และตัวแปรในการดำเนินการต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของทั้งส่วน Gasification และส่วนผลิตไฟฟ้า การทำความเข้าใจหลักการทำงานแบบบูรณาการจำเป็นสำหรับผู้ที่สนใจในผลลัพธ์ของกระบวนการทั้งหมดหรือผู้ผลิตเครื่องปฏิกรณ์เพื่อการออกแบบที่เหมาะสม รวมทั้งประสิทธิภาพตามต้องการสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ จึงมีการจัดทำงานวิจัยและพัฒนาเชิงการทดลองและเชิงคำนวณสำหรับกระบวนการนี้ อย่างไรก็ตามต้นแบบเชิงคำนวณมีประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากความสามารถในวางแผนการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดลองจริง ๆ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและค่าใช้จ่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การวางแผนในการหาสภาวะที่เหมาะสม โดยการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์และตัวแปรในการดำเนินการต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทำงานของการใช้วิธี gasification มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการมวลชีวภาพ เพื่อนำมาผลิตเป็นไฟฟ้า

1.3 วิธีการดำเนินงาน

ก.แผนการศึกษา ศึกษาหัวข้อวิจัยและรวบรวมบทความที่เกี่ยวข้อง
ศึกษาวิธีใช้งานโปรแกรม Aspen Plus
เริ่มทำการจำลอง กระบวนการแบบ base case
ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปัจจัยที่ศึกษา
ปรับเปลี่ยนการจำลองให้ได้ผลที่ต้องการดีขึ้น
สรุปงานวิจัย และเขียนรายงาน การนำเสนอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ก. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

ได้ความรู้จากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์และปัจจัยต่าง ๆ ในการดำเนินงาน เพื่อให้ได้รับประสิทธิภาพและผลประโยชน์สูงสุด โดยที่ยังไม่ได้เริ่มทดลองจริง ๆ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินงาน

ข. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

การนำความรู้นี้ไปใช้เพื่อส่งเสริมการผลิตและใช้พลังงานทดแทน โดยคำนึงถึงผลลัพธ์ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. พลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวลเป็นหนึ่งในสาขาการวิจัยที่ได้รับการสำรวจอย่างกว้างขวางที่สุดในด้านวิทยาศาสตร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตัวขับเคลื่อนที่สำคัญสำหรับการวิจัยแก๊สซิฟิเคชั่นโดยชีวมวล คือ การใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ การลดต้นทุนการติดตั้งและการดำเนินงานและผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้จะให้มุมมองการวิจัย การพัฒนาและการปรับใช้ในปัจจุบันแบบองค์รวม มีการพัฒนากระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นให้เป็นเทคโนโลยีที่เป็นไปได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการใช้ทรัพยากรหมุนเวียน

2.2. แก๊สสังเคราะห์ [4]

แก๊สสังเคราะห์เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์หลักของแก๊สซิฟิเคชั่นโดยชีวมวลและเป็นการผสมผสานระหว่าง CO และ H_2 แก๊สสังเคราะห์เป็นแหล่งสำคัญของเชื้อเพลิงและสารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้า ไฮโดรเจนผลิตจากแก๊สสังเคราะห์โดย water gas shift reaction ซึ่งมีการใช้งานมากมายรวมถึงในเซลล์เชื่อเพลิง SNG (ก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ CH_4) เป็นหนึ่งในการใช้งานที่สำคัญของแก๊สสังเคราะห์ แก๊สสังเคราะห์ยังพบการใช้งานในการผลิตแก๊ส BTU ขนาดกลาง ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงกังหันและใน integrated gasification combined cycle (IGCC)

เชื้อเพลิงชีวภาพที่สังเคราะห์จากแก๊สสังเคราะห์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก เช่น การทำอาหาร, การต้มน้ำและแสงสว่าง พลังงานที่สามารถผลิตได้ทุกปีจากชีวมวลอาจสูงกว่าความต้องการพลังงานทั่วโลก 3-4 เท่า พบว่าไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชั่นสามารถเปลี่ยนวัตถุดิบทางชีวมวลที่ไม่สามารถบริโภคได้ให้เป็นแก๊สสังเคราะห์ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 1

$$CH_xO_y + (1 - y)H_2O \longrightarrow CO + (0.5x - y + 1)H_2 \quad (1)$$

2.3. กระบวนการผลิตไฟฟ้า

กระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล (biomass gasification) ขั้นต้นถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ของเสียอินทรีย์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ เช่น ก๊าซเชื้อเพลิง (fuel gas) หรือวัตถุดิบทางเคมี (chemical feedstock) ต่อมาได้มีการขยายเทคโนโลยีเพื่อบำบัดของเสียอันตรายโดยมีการคิดค้น plasma BG ควบคู่ไปกับการผลิตไฟฟ้า การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของน้ำวิกฤตยิ่งยวด (supercritical water) ทำให้ SCWG สำหรับชีวมวลเปียกซึ่งไม่สามารถบำบัดได้ด้วยแก๊สซิฟิเคชั่น เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิคของเทคโนโลยีของแก๊สซิฟิเคชั่นในอดีต ความก้าวหน้าในการผลิตก๊าซจากชีวมวลปูทางไปสู่แนวคิด poly-generation ที่มีการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไป ตัวอย่างเช่น การผลิตพลังงานความร้อนร่วมกับกระแสไฟฟ้า poly-generation ของความร้อน, ปุ๋ยและถ่านชีวภาพ แนวทางทั้งหมดนี้ไม่เพียง แต่เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการเท่านั้น แต่ยังให้ความยืดหยุ่นและความยั่งยืนซึ่งจะช่วยเพิ่มความได้เปรียบทางเศรษฐกิจในระยะยาว

การผลิตไฟฟ้าจากผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล (biomass gasification) เป็นเพียงสิ่งหนึ่งที่มีศักยภาพซึ่งเพิ่งได้รับความนิยมมากกว่าการเผาไหม้แบบเดิม อย่างไรก็ตามสิ่งนี้ได้รับแรงผลักดันอย่างกว้างขวางจากการเปลี่ยนแปลงกฎหมายการปล่อยมลพิษและความเรียบง่ายมากกว่าความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจหรือเทคโนโลยี แก๊สสังเคราะห์ (Syngas) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการอย่างมาก อย่างไรก็ตามมันมีฝุ่นละอองและ HCs ที่เบากว่า ซึ่งผลิตในระหว่างกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น หลังการล้างก๊าซ (gas clean-up) สามารถเผาไหม้ได้ในหัวเผาทั่วไปที่ใช้วงจรไอน้ำในการผลิตไฟฟ้า ขั้นตอนการล้างก๊าซมีวิธีการที่หลากหลาย ได้แก่ การทำความสะอาดเชิงกล (mechanical cleaning), การบำบัดด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic treatment), การบำบัดด้วยความร้อน (thermal treatment) และการทำความสะอาดพลาสม่า (plasma cleaning) นี่เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่เด็ดขาดและเสียค่าใช้จ่ายมากที่สุดซึ่งเป็นตัวตัดสินการใช้ก๊าซขาออกขั้นสุดท้าย

2.4. กังหันแก๊ส [5]

ในการศึกษานี้จะใช้กังหันแก๊ส M701F จำลองในส่วนของการผลิตไฟฟ้า ซึ่งได้รับการผลิตโดยมิตซูบิชิ (MITSUBISHI) โดยจะมีค่าองค์ประกอบในตารางที่ 2.1 และคุณสมบัติหลัก ดังนี้

2.4.1. คุณสมบัติหลักของกังหันแก๊ส M701F

- compressor shaft end drive ช่วยลดผลกระทบของการขยายตัวทางความร้อนต่อการจัดวาง
- โรเตอร์ที่มีการรองรับด้วย single-shaft two-bearing แบบง่าย
- โครงสร้างโรเตอร์มีแผ่นดิสก์ที่เชื่อมต่อกับโบลต์ด้วยหมุดแรงบิดในส่วนของคอมเพรสเซอร์และข้อต่อ CURVIC ในส่วนของกังหันแก๊ส เพื่อให้แน่ใจว่ามีการส่งแรงบิดที่คงที่

- โครงสร้างของไอเสียจะไหลแบบ axial flow ทำให้มีประโยชน์สำหรับโรงงานแบบวงจรรวม
- ปลอกแยกในแนวนอน (Horizontally split casings) ที่ช่วยในการถอดใบพัดออกจากสนามโดยให้โรเตอร์อยู่กับที่

รูปที่ 2.1 กังหันแก๊ส M701F

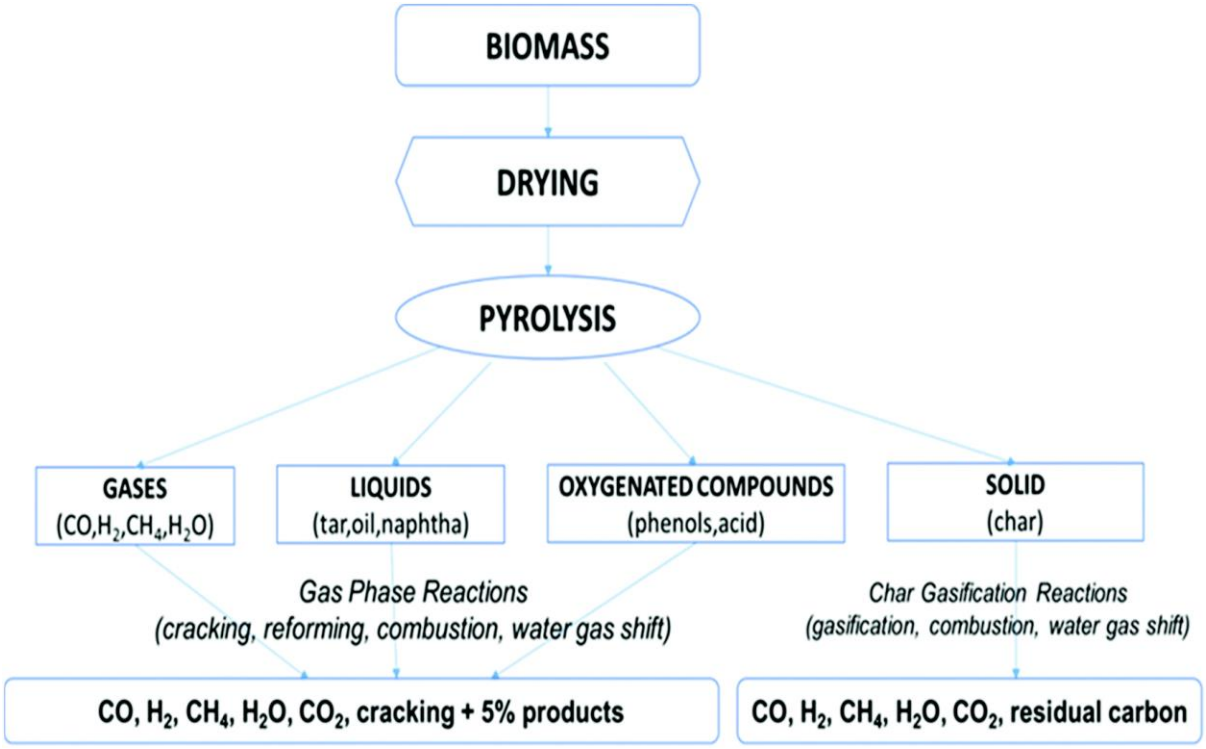
ตารางที่ 2.1 ค่าองค์ประกอบกังหันแก๊ส M701F

M701F		
Compressor	**Number of Stages**	17
Combustor	**Number of Cans**	20
	Cooling Method	Air Cooled
Turbine	**Number of Stages**	4
Rotor	**Number of Rotors**	1
Output Shaft		Cold End
Rated Speed		3,000 rpm
Gas Turbine	**Approx. L × W × H**	14.3 × 5.8 × 6.1 m
	Approx. Weight	415 ton

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 กระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล (biomass gasification) [4]

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นโดยชีวมวลประกอบไปด้วยกระบวนการที่ทับซ้อนกันหลายขั้นตอน ได้แก่ การทำให้แห้ง (Drying), ไพโรไลซิส (Pyrolysis), Char gasification, Gas phase reaction แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล

เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซ โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน [8] ดังนี้

2.5.1.1. Drying การให้ความร้อนกับชีวมวล เพื่อให้ความชื้นระเหยออกไป

$$H_2O\ (l) \longrightarrow H_2O(g) \qquad (2)$$

2.5.1.2. pyrolysis การให้ความร้อนเพื่อให้ชีวมวลสลายตัว (thermal decomposition) ในสภาวะไร้อากาศได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการให้ความร้อน

$$\text{Biomass} \longrightarrow \text{Char} + \text{Tars} + H_2O + \text{Light gases } (CO + CO_2 + H_2 + CH_4 + \ldots) \qquad (3)$$

โดย Char เป็นของแข็งที่เรียกว่า fixed carbon; Tars เป็นได้ทั้งของเหลวและก๊าซ และ Light gases ประกอบ ไปด้วย CH_4, CO, CO_2, H_2 และ H_2O

2.5.1.3. char gasification เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นคู่ขนาน กับขั้นตอนการ drying และ pyrolysis โดยมี 3 ปฏิกิริยาหลักดังสมการที่ 3, 4 และ 5 โดยปฏิกิริยา methanation นั้นจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก

ปฏิกิริยา Boudouard $\quad C + CO_2 \longrightarrow 2CO \quad \Delta H^{O}_{rxn} = +172$ kJ/gmol (4)

ปฏิกิริยา heterogeneous water gas shift $\quad C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \quad \Delta H^{O}_{rxn} = +131$ kJ/gmol (5)

ปฏิกิริยา methanation $C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$ ΔH^{O}_{rxn}= -75 kJ/gmol (6)

2.5.1.4. combustion และ gas phase reaction เป็นขั้นตอนที่เกิดคู่ขนานกัน โดยเกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการpyrolysis และ char gasification โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 6, 7, 8, 9 และ 10

ปฏิกิริยา combustion $2C+O_2 \longrightarrow 2CO$ ΔH^{O}_{rxn}= -111 kJ/gmol (7)

$CO + 1/2O_2 \longrightarrow CO_2$ ΔH^{O}_{rxn}= -283 kJ/gmol (8)

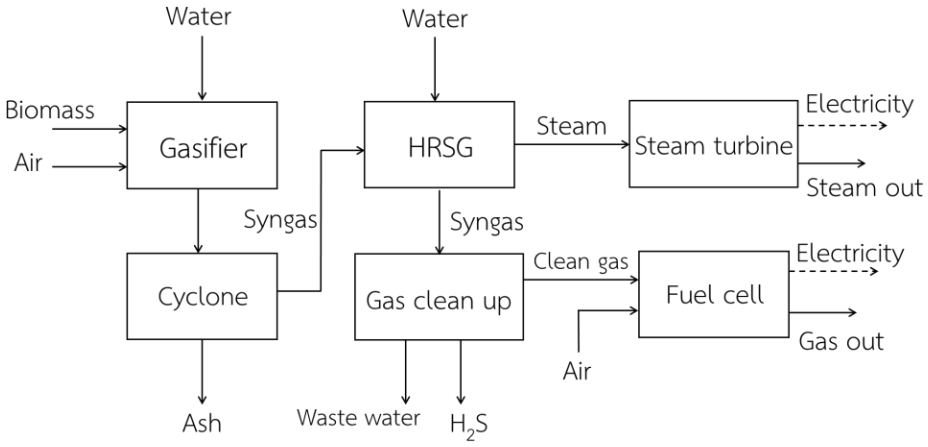
$C+O2 \longrightarrow CO2$ ΔH^{O}_{rxn}= -394 kJ/gmol (9)

ปฏิกิริยา water gas shift $CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ ΔH^{O}_{rxn}= -41 kJ/gmol (10)

ปฏิกิริยา Stream methane reforming $CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$ ΔH^{O}_{rxn}= +206 kJ/gmol (11)

2.5.2. ระบบผลิตไฟฟ้าโดยกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล (integrated biomass gasification power generation system)

เป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าซึ่งใช้กระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวลมาทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิง โดยระบบนี้ประกอบด้วยกระบวนการ ผลิตก๊าซ (gasifier) กระบวนการแยกขี้เถ้า (cyclone) กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนและผลิตไอน้ำ (heat recovery steam generation, HRSG) และกระบวนการทำความสะอาดก๊าซ (gas clean up) กระบวนการนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้จาก 2 ส่วน คือ ผลิตไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำ (steam turbine) และผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าโดยกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล [7]

จิตติ มังคละศิริ[6] และคณะ ศึกษาระบบผลิต ไฟฟ้าโดยกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวลร่วมกับ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (BGFC) โดยจำลอง ระบบด้วยโปรแกรม ASPEN PLUS v.8.6 เพื่อศึกษา อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้านี้ โดยศึกษาชีวมวล 7 ชนิด ได้แก่ ซังข้าวโพด ทะลาย ปาล์มเปล่า เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว แกลบ ชาน อ้อย และกะลาปาล์ม โดยตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพของระบบ BGFC ได้แก่ ค่าอุณหภูมิของก๊าซซิไฟเออร์ สัดส่วนการป้อนอากาศต่อชีวมวล สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง และความดันของเซลล์เชื้อเพลิง โดยผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณกำลัง ไฟฟ้าของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนการป้อนอากาศต่อชีวมวล สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง และความดันของเซลล์เชื้อเพลิง ส่วนประสิทธิภาพของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและความดันของเซลล์เชื้อเพลิง โดยเหง้ามันสำปะหลังมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด

Supawat Vivanpatarakij[8] ทำการศึกษาทั้งการใช้แบบจำลองและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จากการจำลองกระบวนการผลที่ได้พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของถ่านไม้สูงขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของไอน้ำต่อถ่านไม้ในสายป้อนที่เหมาะสมคือ 0.2 ทำให้ได้พลังงานจากระบบสูงที่สุด การเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของไอน้ำต่อถ่านไม้จะช่วยทำให้ได้ H_2 เป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น และการปรับอัตราส่วนเชิงโมลของ CO_2 ต่อถ่านไม้ สามารถช่วยปรับอัตราส่วนการปลดปล่อย CO_2 และอัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์ได้ด้วย สำหรับเงื่อนไขที่ใช้อัตราส่วน O_2/ไอน้ำ/ CO_2/ถ่านไม้ เป็น 0.2/1/1/1 จะให้ค่าประสิทธิภาพของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงที่สุดที่ 0.742 ในส่วนของการทำการทดลองศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของถ่านไม้สูงที่สุด ส่วนผลการศึกษาอัตราส่วนการป้อนของ O_2/ไอน้ำ/CO_2/ถ่านไม้ ให้ผลเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการจำลองกระบวนการ ที่อัตราส่วนการป้อน CO_2 ต่อถ่านไม้เป็นศูนย์ ส่งผลให้ค่าผลได้ของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงที่สุด อย่างไรก็ตามการป้อนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการช่วยในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสามารถปรับอัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์ได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจำลองกระบวนการ

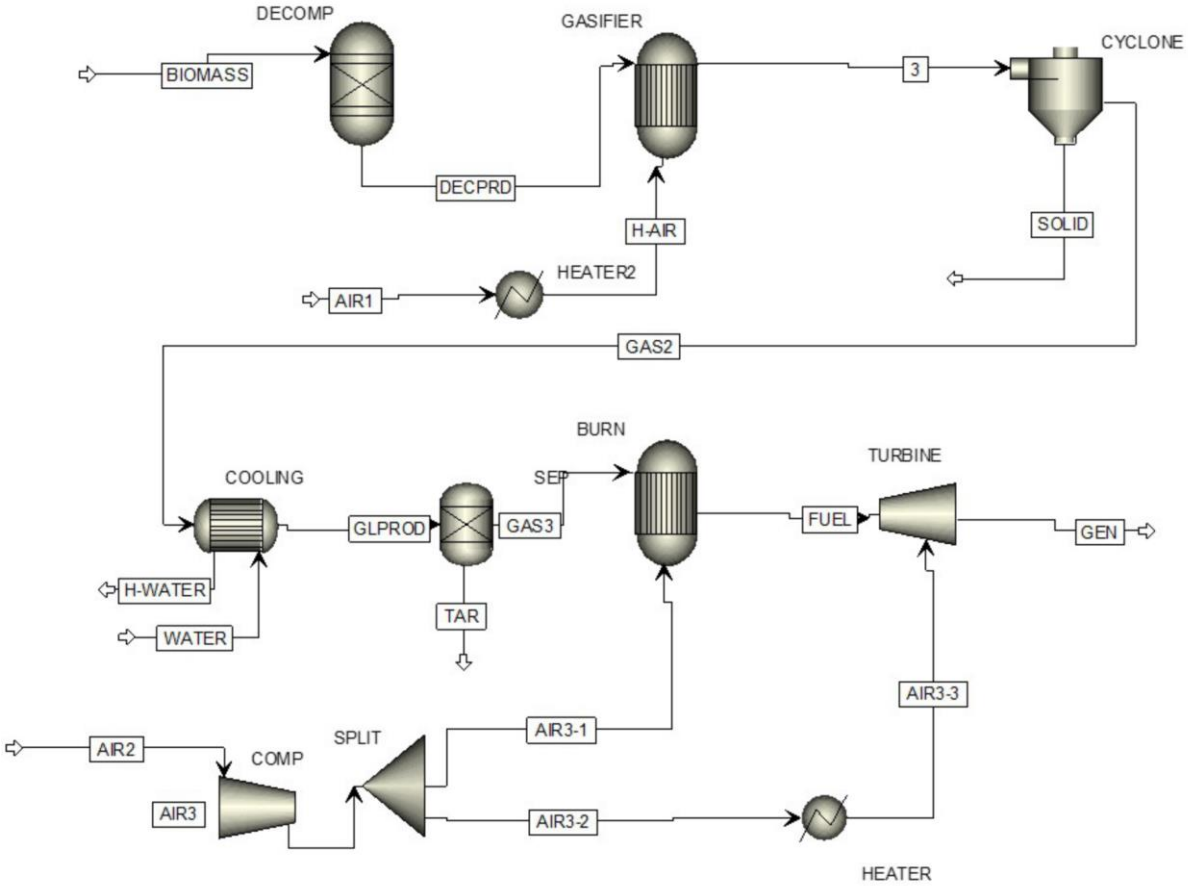
โครงการวิจัยนี้สนใจออกแบบและจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นควบคู่กับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สสังเคราะห์ที่ได้โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ Aspen Plus ใช้มวลชีวภาพที่มีองค์ประกอบและปริมาณใกล้เคียงกับมวลชีวภาพในประเทศไทยเป็นตัวอย่างในการจำลองกระบวนการ โดยวางแผนการจำลองให้ลดความซับซ้อนของกระบวนการและให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ มีแนวโน้มที่ถูกต้องตามทฤษฎีและผลการทดลองจากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมทั้งศึกษาผลของสภาวะการดำเนินการในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นและการผลิตกระแสไฟฟ้า

การจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพประกอบด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น (Biomass gasification) การทำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์ (Syngas cleaning system) และการนำแก๊สสังเคราะห์ไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเผาไหม้ในกังหันแก๊ส (Gas turbine combustion) ตามลำดับดังในรูปที่ 3-1 โดยมีสารป้อนเข้าเป็นมวลชีวภาพที่มีการวิเคราะห์องค์ประกอบ

สมมติฐานของการสร้างแบบจำลองถูกตั้งขึ้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์กระบวนการได้อย่างไม่ซับซ้อนตามข้อมูลการดำเนินการทั่วไปที่มีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการเป็นกระบวนการแบบไอโซเทอร์มัล (isothermal) และอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)
2. ระบบของกระบวนการเป็นแบบศูนย์มิติ (zero-dimensional system)
3. ดำเนินการที่สภาวะความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure ~1 bar)
4. แก๊สในกระบวนการเป็นแก๊สในอุดมคติ
5. ไม่คิดผลของความดันลด
6. ถ่านชาร์ประกอบด้วยเพียงคาร์บอนและเถ้า (Ash)
7. ไนโตรเจนที่อยู่ในมวลชีวภาพถูกเปลี่ยนเป็น NH_3 ทั้งหมด
8. ซัลเฟอร์ที่อยู่ในมวลชีวภาพถูกเปลี่ยนเป็น H_2S ทั้งหมด
9. การทำให้แห้ง (Drying) และกระบวนการไพโรไลซิสเกิดขึ้นอย่างทันที (instantaneous)
10. ไม่พิจารณาการเกิดทาร์ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

ในการจำลองกระบวนการด้วย Aspen Plus V11 ผู้จัดทำเลือกใช้ชุดข้อมูลการคำนวณเป็นสมการสภาวะของเปิง-โรบินสันและการปรับของบอสตัน-มาเทียส (Peng-Robinson equation of state with Boston-Mathias modifications) สายสาร 'BIOMASS' ถูกกำหนดให้เป็นสารนอกรูปแบบ (non-conventional) มีการป้อนข้อมูลองค์ประกอบของสารโดย PROXIMAL เป็นค่า Proximate analysis, ULTANAL เป็น Ultimate analysis และ SULFANAL เป็นออร์แกนนิกซัลเฟอร์ทั้งหมด ตามตารางที่ 3.1



รูปที่ *3.1* แผนผังกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ

3.2 สารตั้งต้น

ในการจำลองนี้เลือกใช้สารตั้งต้นกระบวนการเป็นกะลามะพร้าวซึ่งมีอยู่มาก หาได้ง่ายและไม่มีการใช้งานในด้านอื่นเพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการพัฒนาพลังงานทดแทน โดยกะลามะพร้าวที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นมีข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ *3.1* ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมวลชีวภาพที่ใช้ในการจำลอง

Proximate Value	
%Moisture content	4.90 wt.%
%Volatile matter	77.3 wt.%
%Ash	0.40 wt.%
%Fixed carbon	17.7 wt.%
LHV	5.93 MJ/kg
HHV (as dry basis)	19,070 MJ/kg

Ultimate Value (as dry basis)	
%Carbon	47 wt.%
%Hydrogen	6.9 wt.%
%Nitrogen	3.4 wt.%
%Sulfur (as organic sulfur)	0.1 wt.%

3.3 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น

ในการจำลอง สารป้อนเข้าถูกกำหนดเป็นสารนอกรูปแบบดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนให้เป็นสารในรูปแบบต่าง ๆ ตามสมดุลมวลในข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบในตารางที่ และจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาไพโรไลซิสโดยในแบบจำลองใช้หน่วย 'DECOMP' ซึ่งเป็นการจำลองเครื่องปฏิกรณ์แบบ RYIELD ใช้ FORTRAN statement เพื่อกำหนดร้อยละของผลผลิตที่ได้จากการย่อยมวลชีวภาพโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของร้อยละผลผลิตที่แต่ละอุณหภูมิ เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นในหน่วย 'GASIFY' โดยใช้ร้อยละการแปลงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแก๊สซิฟิเคชั่น

3.4 กระบวนการเผาไหม้ด้วยกังหันก๊าซ

ในการจำลองจะใช้กังหันก๊าซ M701F ในการจำลอง โดยสารป้อนเข้าทางหน่วย COMP ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบ Compr ด้วย AIR2 และถูกทำให้ร้อนด้วย COMP-AIR หลังจากนั้นจะได้ AIR3 เข้าสู่ SPLIT แยกออกเป็นอากาศ 83% AIR3-1 ที่จะไปผสมกับ GAS3 และถูกเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ (combustion chamber) หลังจากนั้นจะผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ส่วนอากาศ 17% AIR3-2 จะถูกระบายความร้อนและแรงดันผ่าน COOLING ซึ่งเป็นการจำลองเครื่องปฏิกรณ์แบบ HEATER ทั้งส่วนของอากาศที่ถูกระบายความร้อนแล้วกับส่วนที่ออกมากจากห้องเผาไหม้จะไปรวมกันที่ TURBINE โดยที่ค่าที่ออกแบบสำหรับการจำลองแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์สำหรับกังหันก๊าซ M701F [9]

Parameters	Design value
Compressor pressure ratio	17
Turbine pressure ratio	17
Net power (MW)	270
Inlet temperature of gas turbine (°C)	1400
Outlet temperature of gas turbine (°C)	586
Air flow rate (kg/s)	651
Net efficiency (%)	38.2
Isentropic efficiency of gas turbine	0.90
Heat balance calculation temperature (°C)	1245

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผล

4.1 การตรวจสอบแบบจำลอง

ในการตรวจสอบแบบจำลองระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊สจากโปรแกรม Aspen Plus ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ Paviet และคณะ (2009) และข้อมูลแบบจำลองเทอร์โมไดนามิกส์ของ Jayah (2012) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาคิดค่า Mean error ดังตารางที่ 4.2

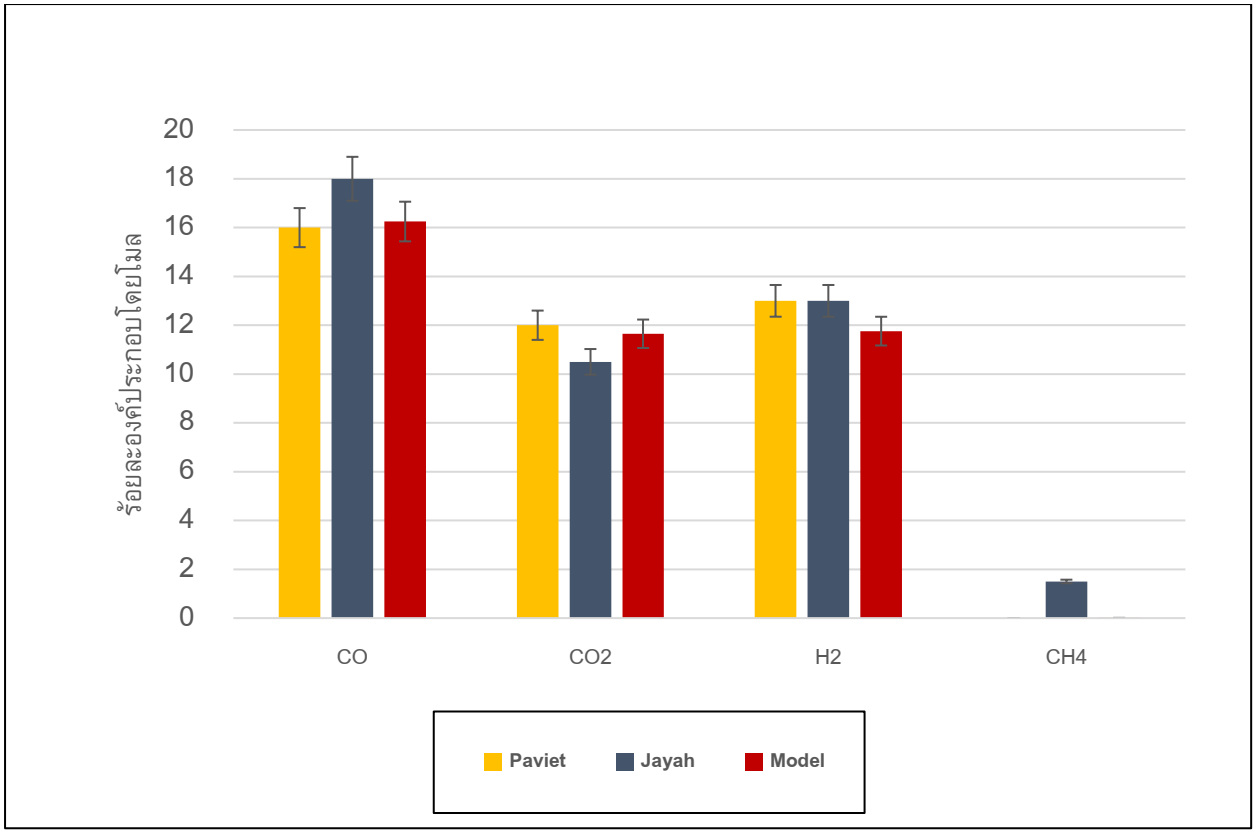
ตารางที่ *4.1* ตารางแสดงค่าผลการจำลองเปรียบเทียบองค์ประกอบโดยโมลกับค่าจากงานวิจัย

Data	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2
Paviet	16	12	13	0	58
Jayah	18	10.5	13	1.5	57
Simulation	16.24904	11.65	11.76	0.0076	60.33

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความคาดเคลื่อนของผลการจำลอง

Mean error			
CO	CO_2	H_2	CH_4
0.62928009	0.45307591	0.41333333	0.49873816

จากผลการตรวจสอบแบบจำลองจะได้ว่าแบบจำลองให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองและแบบจำลองเทอร์โมไดนามิกส์จากงานวิจัย มีความคาดเคลื่อนจากข้อมูลจากงานวิจัยเพียงเล็กน้อย ความคาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกิดขึ้นอาจมาจากการใช้ค่า Property ที่ต่างจากความเป็นจริงและเนื่องจากจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา เมื่อพิจารณาค่า Mean error ของข้อมูลพบว่าเป็นที่ยอมรับได้ และค่าจากการจำลองโดยโปรแกรม Aspen Plus นี้ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองเทอร์โมไดนามิกส์เดิม



รูปที่ *4.1* เปรียบเทียบค่าร้อยละองค์ประกอบโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองและงานวิจัย

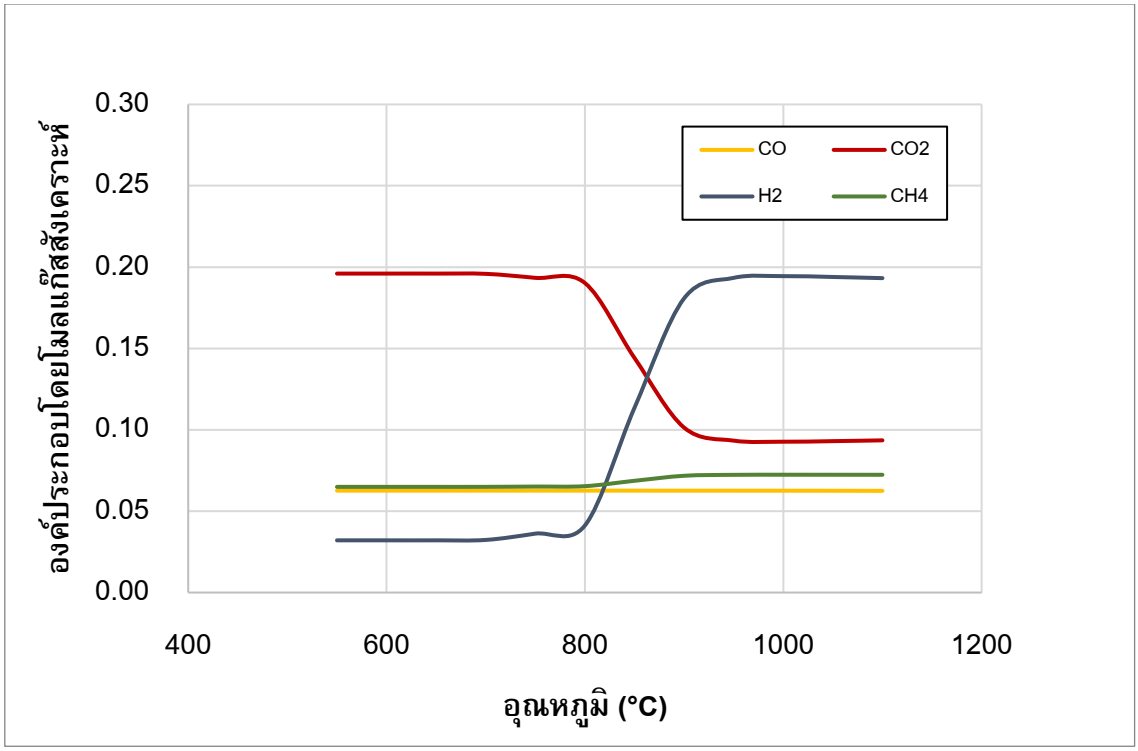
4.2 ผลของอุณหภูมิ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการจำลอง (Sensitivity analysis) ผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทนในแก๊สสังเคราะห์จากหน่วย GASIFY ในช่วงอุณหภูมิ 550 ถึง 1100 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่นิยมดำเนินการในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นทั่วไป โดยใช้ค่าอัตราส่วนสมมูล (ER) เป็น 0.2 ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ *4.3* ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์

Row/Case	Status	Temp	CO	CO_2	H_2	CH_4
1	OK	550	0.063	0.196	0.032	0.065
2	OK	600	0.063	0.196	0.032	0.065
3	OK	650	0.063	0.196	0.032	0.065
4	OK	700	0.063	0.196	0.032	0.065
5	OK	750	0.063	0.193	0.036	0.065
6	OK	800	0.063	0.190	0.041	0.065
7	OK	850	0.063	0.144	0.114	0.069
8	OK	900	0.063	0.101	0.181	0.072
9	OK	950	0.063	0.093	0.193	0.072
10	OK	1000	0.063	0.093	0.194	0.072
11	OK	1050	0.063	0.093	0.194	0.072
12	OK	1100	0.063	0.094	0.193	0.072

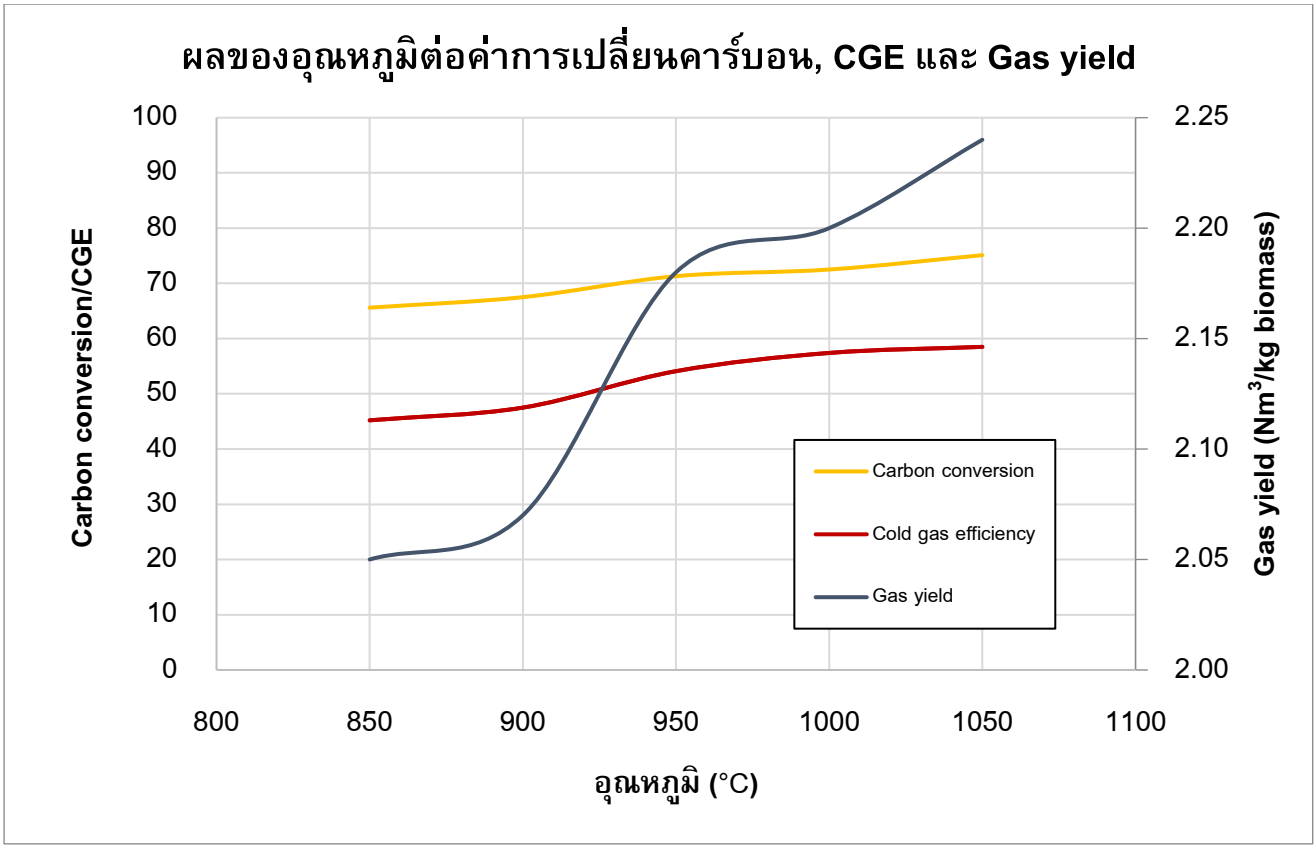
แบบจำลองสามารถใช้วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชั่นที่มีต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์ได้โดยมีแนวโน้มผลการจำลองดังรูปที่ *4.2*



รูปที่ ***4.2*** ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์

จากผลการจำลองจะได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นองค์ประกอบโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์จะคงที่ จนถึงที่อุณหภูมิที่ 800 °C CH_4 และ CO ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนคงที่ ที่ 900 °C ส่วน H_2 จะเพิ่มขึ้นอย่างมากแบบเป็นเส้นตรง และ CO_2 จะลดลงอย่างมากแบบเป็นเส้นตรง จนคงที่ ที่ 900 °C เช่นกัน ซึ่งเป็นผลมากจากปฏิกิริยา Stream methane reforming ($CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$) ซึ่งจะทำให้มีองค์ประกอบของ H_2 และ CO ที่มากขึ้นแทนที่จะเป็น CO_2

เมื่อพิจารณาค่า Cold Gas Efficiency (CGE), Carbon Conversion และ Gas yield ของกระบวนการแก๊สซิเคชั่นได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ ***4.3*** ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อค่าการเปลี่ยนคาร์บอน, *CGE* และ *Gas yield*

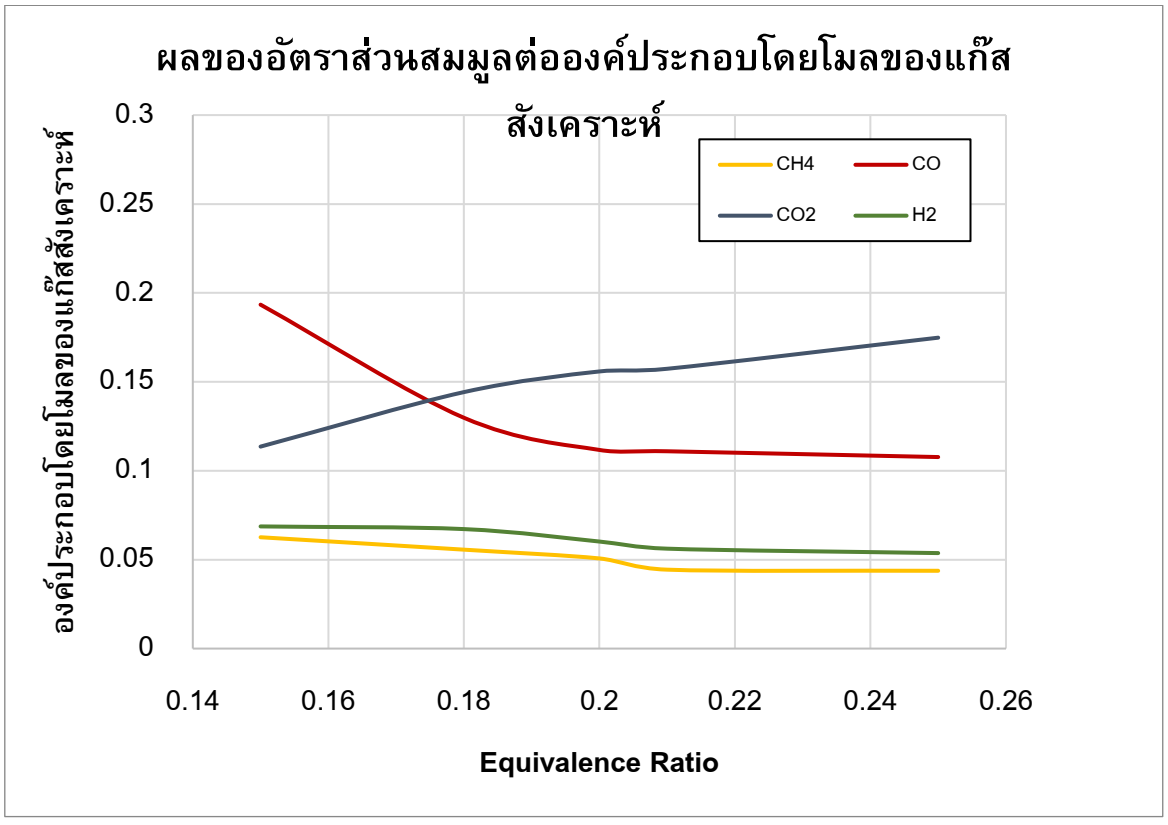
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าจากการศึกษาในช่วงอุณหภูมิที่ 850-1050 ℃ มีการใช้ตัวชี้วัด 3 ตัว คือ Cold Gas Efficiency (CGE), Carbon Conversion และ Gas yield ตัวชี้วัดทั้งสามแสดงถึงพฤติกรรมที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ในกราฟที่ 4.2 ที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้องค์ประกอบโดยโมลของ CO และ H_2 มากขึ้นในผลิตภัณฑ์แก๊ส

4.3 ผลของอัตราส่วนสมมูล (ER)

เป็นการคาดการณ์ของแก๊สสังเคราะห์ที่ให้ผลผลิตตามหน้าที่ของ ER สำหรับอุณหภูมิที่ 750 °C

ตารางที่ ***4.4*** ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์

Row/Case	Status	ER	CO	CO_2	H_2	CH_4
1	OK	0.15	0.062	0.197	0.113	0.068
2	OK	0.17	0.055	0.134	0.144	0.067
3	OK	0.19	0.050	0.112	0.155	0.060
4	OK	0.21	0.044	0.110	0.157	0.056
5	OK	0.23	0.043	0.109	0.164	0.054
6	OK	0.25	0.043	0.108	0.175	0.053



รูปที่ ***4.4*** ผลการจำลองวิเคราะห์อิทธิพลอัตราส่วนสมมูลของแก๊สซิฟิเคชั่นต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า CO มีค่าองค์ประกอบโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์ลดลงอย่างเป็นเส้นตรงจนค่อนข้างคงที่เมื่อมีค่าอัตราส่วนสมมูลประมาณ 0.21 และมีองค์ประกอบโดยโมลของ CO_2 เพิ่มขึ้น น่าจะมาจากการเพิ่มออกซิเดชันโดยสมบูรณ์ของคาร์บอนเป็น CO_2 แทนที่จะเป็น CO เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีค่าอัตราส่วนสมมูลที่เพิ่มขึ้น

4.4 การจำลองระบบกังหันแก๊ส

ตารางที่ ***4.5*** ตารางแสดงผลการจำลองของการดำเนินการของพารามิเตอร์

Parameters	Design value	Simulation results
Compressor pressure ratio	17	17.033
Turbine pressure ratio	17	16.816
Net power (MW)	270	270.494
Inlet temperature of gas turbine (°C)	1400	1480.6452
Outlet temperature of gas turbine (°C)	586	597.400
Heat balance calculation temperature (°C)	1245	1238.00

ตารางที่ ***4.6*** ตารางแสดงผลการจำลองของไฟฟ้าที่ผลิตได้

Unit	COMPWK	TURBWK	Network
Power MW	265.32803	−535.82241	−270.49438

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊ส จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัส แบบจำลองสามารถใช้เพื่อคาดการณ์คุณภาพของแก๊สและการผลิตพลังงานภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ ได้โดยตัวแปรที่ใช้ คือ อุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นและอัตราส่วนสมมูลในการเกิดแก๊สซิฟิเคชั่นซึ่งจะส่งผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ จากผลการจำลองระบบกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นมวลชีวภาพ-การเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊สเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัสประกอบไปด้วยระบบผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นและการทำความสะอาดแก๊ส, ระบบการเผาไหม้ในเครื่องกังหันแก๊ส และระบบผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองและข้อมูลจากงานวิจัยพบว่าข้อมูลจากการจำลองสอดคล้องกับข้อมูลการทดลอง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลการจำลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 550-1100 ℃ ที่อัตราส่วนสมมูลเป็น 0.20 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เพิ่มผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนและมีเทน จะได้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ในการศึกษาผลของอัตราส่วนสมมูลใช้ค่าในช่วง 0.15-0.25 ที่อุณหภูมิ 750 ℃ เมื่ออัตราส่วนสมมูลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ผลผลิตของไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ และ มีเทนลดลง องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เมื่อพิจารณาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่าแบบจำลองสามารถให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องกังกันแก๊ส M701F ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 270 MW และทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ได้อย่างบูรณาการ

ข้อเสนอแนะ

1. ประสิทธิภาพของระบบเผาไหม้ในกังหันแก๊สขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาวะดำเนินการของระบบด้วย ควรมีการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรของเครื่องกังหันแก๊สเพิ่มเติม
2. ระบบทำความสะอาดแก๊สควรเพิ่มการแยก H_2S เนื่องจากในกระบวนการจริงมีการเกิด H_2S ขึ้นจำนวนหนึ่งหากไม่กำจัดจะทำให้เกิดปัญหาการดำเนินการ
3. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นขึ้นอยู่กับจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาในกระบวนการ ควรมีข้อมูลจลนพลศาสตร์ที่แม่นยำจากการทดลองจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] Prasertsan, S., Sajjakulnukit, B., 2006. Biomass and biogas energy in Thailand: potential, opportunity and barriers. Renewable Energy. 31, 599–610. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.005

[2] Karellas, S., Karl J., Kakaras, E., 2008. An innovative biomass gasification process and its coupling with microturbine and fuel cell systems. Energy. 33, 284–291. https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.06.006

[3] Han, J., Liang, Y., Hu, J., Qin, L., Street, J., Lu, Y., Yu, F., 2017. Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus. Energy Conversion and Management. 153, 641-648. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.030

[4] Sikarwar V., Zhao M., Clough P., Yao J., Zhong X., Mamon M., Shah N., Anthony E., Fennell P., 2016. An overview of advances in biomass gasification. Energy Environ. Sci. 9, 2939-2977 https://doi.org/ 10.1039/C6EE00935B

[5] MITSUBISHI POWER. Overall design. [Online]. Available from: https://power.mhi.com/products/gasturbines/lineup/m701f [2021, April 20]

[6] จิตติ มังคละศิริ, วรณี แพ่งจันทึก, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบผลิตไฟฟ้าโดยกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวลร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งด้วยโปรแกรม ASPEN PLUS, Study of parameters affecting the power generation system via integrated biomass gasification with solid oxide fuel cell using ASPEN PLUS, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปีที่ 25 ฉบับที่ 3 (พ.ค.-มิ.ย. 2560) หน้า 520-532.

[7] Chutichai, B., Authayanun, S., Assabum- rungrat, S., Arpornwichanop, A., 2013. Performance analysis of an integrated biomass gasification and PEMFC (proton exchange membrane fuel cell) system: Hydrogen and power generation. Energy. 55, 98-106. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.088

[8] Supawat V., 2016. Chulalongkorn University, Performance improvement of integrated process of biomass gasification and reformer for green hydrogen production and reduction of CO2 emission by utilization of recycled CO2 as a gasitying agent : Final report

[9] Lan, W., Chen, G., Zhu, X., Wang, X., Liu, C., Xu, B., 2018. Biomass gasification-gas turbine combustion for power generation system model based on ASPEN PLUS. Science of The Total Environment. 628–629, 1278-1286. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.159