



การจำลองกระบวนการและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพดด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

## Process Simulation and Environmental Impact Assessment of Power Generation from Cassava Pulp and Corncob through Biomass Gasification

นัปณ์ทอง ลักษณะเลิศวงศ์, ปณัดดา กมรัมย์, วรณี มังคละศิริ

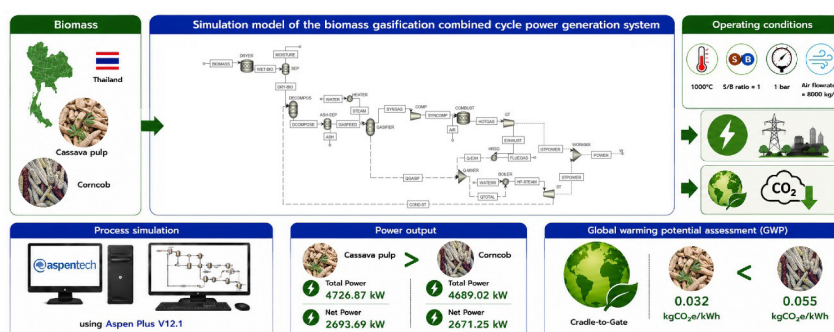
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Nupthong Luksanaloedwong, Panatda Komram, Woranee Mungkalasiri

Department of Chemical Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University, Pathumthani 12120

Received 28 May 2026; Received in revised 13 August 2026; Accepted 17 August 2026

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ABSTRACT

This research investigates the simulation of a biomass gasification combined cycle power generation system and the assessment of its global warming potential (GWP). Process simulations were conducted using Aspen Plus V.12.1 to investigate the effects of gasification temperature and the steam-to-biomass ratio on power generation. Two types of biomass

widely available in Thailand, namely cassava pulp and corncob, which are residues from the starch and feed mill industries, respectively, were selected as feedstocks. The results indicated that the optimum operating conditions for maximizing total power generation were a gasification temperature of 1000°C and a steam-to-biomass ratio of 1. Both biomass feedstocks exhibited comparable power generation performance. However, cassava pulp achieved a higher total power output of 4,726.87 kW and a net power output of 2,693.69 kW. In addition, the environmental impact in terms of GWP was evaluated under a cradle-to-gate system boundary. The results revealed that both biomass feedstocks exhibited comparable GWP values, with cassava pulp having a GWP of 0.032 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, which was slightly lower than that of corncob under the optimal operating conditions.

### คำสำคัญ

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน, การจำลองกระบวนการ, ซังข้าวโพด, ระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม, ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน

### Keywords

Biomass; Combined cycle power generation system; Gasification; Global warming potential; Process simulation

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจำลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันซังข้าวโพดร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน โดยการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen plus V.12.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน และอัตราส่วนไอน้ำต่อซังข้าวโพดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารวม 2 ชนิดที่มีอยู่อย่างแพร่หลายในประเทศไทย และเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งและอาหารสัตว์ ได้แก่ กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สามารถผลิตไฟฟ้ารวมได้สูงสุด คือ อุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเท่ากับ 1000°C และอัตราส่วนไอน้ำต่อซังข้าวโพดเท่ากับ 1 โดยซังข้าวโพดทั้ง 2 ชนิดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้กากมันสำปะหลังเป็นซังข้าวโพดที่ผลิตค่าไฟฟ้าได้สูงโดยมีค่ากำลังไฟฟ้ารวม 4726.87 kW และกำลังไฟฟ้าสุทธิ 2693.69 kW นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate ผลการศึกษพบว่าซังข้าวโพดทั้ง 2 ชนิดมีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนใกล้เคียงกัน โดยกากมันสำปะหลังมีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับ 0.032 kgCO<sub>2</sub>e/kWh ซึ่งต่ำกว่าซังข้าวโพดเล็กน้อยภายใต้สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม

\*ผู้รับผิดชอบบทความ: pworanee@engr.tu.ac.th

DOI: 10.14456/tstj.2026.29

## 1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ถือเป็นวิกฤตด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลกในปัจจุบัน และมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคพลังงานที่มีความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้นในปริมาณมาก [1] นอกจากผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศแล้ว การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลยังเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรโดยตรง [2] ดังนั้น การพัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจและมีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน

ชีวมวล ถือเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญและมีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า [3] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในแต่ละปี [4] อย่างไรก็ตามวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มประสิทธิภาพ และมักถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาในพื้นที่โล่ง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [5] การนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Gasification combined cycle power generation system) จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการแปรสภาพชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากระบบสามารถนำก๊าซไอเสีย (Exhaust gas) และความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้ง ทำให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่ามากกว่าระบบการเผาไหม้ทั่วไป [6] นอกจากนี้การนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ายังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลดการเผาในพื้นที่โล่ง สนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย และช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ตามแม้ว่าชีวมวลจะถูกมองว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด แต่กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลยังคงก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของประชาชนบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีงานวิจัยศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 10 kW ที่ใช้หญ้าเนเปียร์พบว่า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  $0.32 \text{ kgCO}_2\text{e}$  ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ซึ่งมาจากการขนส่ง การเพาะปลูก และการใช้สารเคมีในการผลิตไฟฟ้า [7] สะท้อนว่าการใช้ชีวมวลยังคงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบางส่วน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจากชีวมวลที่มีอยู่อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ได้แก่ กากมันสำปะหลัง และ ชังข้าวโพด เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพร้อมทั้งประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ภายใต้แนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยพลังงานที่ผลิตได้ ( $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพัฒนาโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีประสิทธิภาพ สนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระยะยาว

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล หมายถึง วัสดุอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดจากสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือของเสียอินทรีย์จากกระบวนการทางการเกษตร และอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ ทั้งในรูปแบบของพลังความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels) ซึ่งองค์ประกอบของชีวมวลเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางพลังงานและพฤติกรรมของ

ชีวมวลในกระบวนการแปรรูปพลังงาน เช่น การเผาไหม้ (Combustion) หรือกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งชีวมวลจากแหล่งต่างๆ จะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ส่งผลต่อค่าความร้อน (Heating value) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และองค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เท่ากัน [8]

การประเมินคุณสมบัติของชีวมวลโดยทั่วไปอาศัยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis) และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสมบัติ (Proximate analysis) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการจำลองและการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ข้อมูลคุณสมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดัง Table 1 งานวิจัยนี้ดำเนินการรวบรวมและใช้อ้างอิงข้อมูลจากวรรณกรรมวิชาการซึ่งผ่านกระบวนการตรวจสอบประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้โดยทั่วไปองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของชีวมวลประเภทเดียวกันจะมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน แม้อาจพบความแปรผันได้เล็กน้อยอันเป็นผลมาจากปัจจัยด้านสายพันธุ์ แหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ สภาพภูมิอากาศ คุณลักษณะของดิน และรูปแบบการจัดการทางเกษตร [9, 10]

## 2.2 กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification)

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวล (Biomass gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้อยู่ใน

รูปของก๊าซสังเคราะห์ (Syngas) ผ่านกระบวนการออกซิเดชันบางส่วนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้นในเตาก๊าซซิฟิเออร์ (Gasifier) เป็นไปตามสมการดังนี้ [11]

Water-gas reaction



Boudouard reaction



Water-gas shift reaction



Methane formation reaction



Methane reforming reaction



## 2.3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined cycle power plant)

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นระบบที่มีการทำงาน 2 ระบบร่วมกัน คือ ระบบกังหันก๊าซ (Gas turbine) ทำงานร่วมกับระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) โดยระบบกังหันก๊าซประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และเครื่องกังหัน โดยจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ดังนี้ [12, 13]

Hydrogen combustion reaction



**Table 1** Proximate analysis and ultimate analysis of cassava pulp and corncob

| Feedstocks       | Proximate analysis (wt%) |                 |      |                  | Ultimate analysis (wt%) |      |      |       |      |
|------------------|--------------------------|-----------------|------|------------------|-------------------------|------|------|-------|------|
|                  | Fixed carbon             | Volatile matter | Ash  | Moisture content | C                       | H    | N    | O     | S    |
| Cassava pulp [9] | 8.13                     | 81.67           | 1.44 | 8.88             | 42.90                   | 5.72 | 0.73 | 49.09 | 0.12 |
| Corncob [10]     | 12.11                    | 71.38           | 6.51 | 10.00            | 41.16                   | 5.11 | 0.46 | 53.27 | 0    |

Carbon monoxide combustion reaction



Methane combustion reaction



## 2.4 การประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential, GWP)

ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยกิจกรรมหรือหน่วยพลังงานที่ใช้ สำหรับค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (TGO) โดยใช้ค่า Emission factor ของน้ำประปาการนิคมอุตสาหกรรม เท่ากับ  $0.2512 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  สำหรับใช้เป็นสารอุปโภคในการผลิตไฟฟ้า และ Emission factor สำหรับการขนส่งชีวมวลของรถตู้บรรทุกทุกกิ่งฟุ้ง 18 ล้อ 32 ตัน 100% Loading เท่ากับ  $0.0449 \text{ kgCO}_2\text{e/tkm}$  รถตู้บรรทุกทุกกิ่งฟุ้ง 18 ล้อ 32 ตัน 0% Loading เท่ากับ  $0.821 \text{ kgCO}_2\text{e/tkm}$  ซึ่งกำหนดสถานการณ์เป็นไปตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [14] สำหรับชีวมวลที่นำไปผลิตไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด ใช้ค่า Emission factor เท่ากับ 0.0287 และ 0.0893  $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$  ตามลำดับ [15, 16] ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมดิน การเพาะปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยการคำนวณศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสามารถคำนวณได้จากปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิด คูณกับค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารนั้น เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $\text{CO}_2$ -equivalent) [17]

เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและการเผาไหม้ชีวมวลจัดเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogenic  $\text{CO}_2$ ) ตามมาตรฐานระดับสากล ในงานวิจัยนี้จึงไม่นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและการเผาไหม้ชีวมวลมาคิดรวมในการประเมินผลกระทบด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากคาร์บอนดังกล่าวเป็นคาร์บอนที่อยู่ในวัฏจักรธรรมชาติ โดยชีวมวลได้ดูดซับก๊าซ  $\text{CO}_2$  จากบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงระหว่างการเจริญเติบโตและเมื่อชีวมวลถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง คาร์บอนที่ปลดปล่อยกลับคืนสู่บรรยากาศจึงถือเป็นการหมุนเวียนของคาร์บอนเดิม ไม่ใช้การปล่อยคาร์บอนฟอสซิลใหม่เข้าสู่ระบบบรรยากาศ [18]

## 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ชีวมวลแต่ละชนิดถูกป้อนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราไหลเชิงมวล 1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยนำข้อมูลคุณสมบัติของชีวมวล ได้แก่ Proximate analysis และ Ultimate analysis มาใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการจำลองกระบวนการ โดยเลือกใช้สมการสถานะ Peng-Robinson ในการคำนวณสมมูลของระบบ [19] ขั้นตอนการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus V12.1 ดังแสดงใน Figure 1 ประกอบด้วย การแปลงชีวมวลให้อยู่ในรูปองค์ประกอบพื้นฐาน (C, H, O, N, S และ Ash) โดยใช้ RYield reactor ตามข้อมูล Proximate analysis และ Ultimate analysis การจำลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วย RGibbs reactor ภายใต้สมมติฐานสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic equilibrium) โดยคำนวณองค์ประกอบสมมูลของก๊าซสังเคราะห์ด้วยหลักการลดค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy minimization) ระบบกังหันก๊าซ (Gas turbine) ประกอบด้วย Compressor และห้องเผาไหม้ซึ่งจำลองด้วย RStoic reactor โดยสมมติให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของก๊าซเชื้อเพลิง และระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ซึ่งนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ผลิตไอน้ำผ่าน Heat recovery steam generator (HRSG) การจำลองกระบวนการนี้ กำหนดให้ระบบ

ทำงานภายใต้สภาวะคงตัว (Steady-state) โดยไม่พิจารณาการสูญเสียความร้อน (Heat loss) และการสูญเสียความดัน (Pressure drop) ภายในอุปกรณ์ต่างๆ

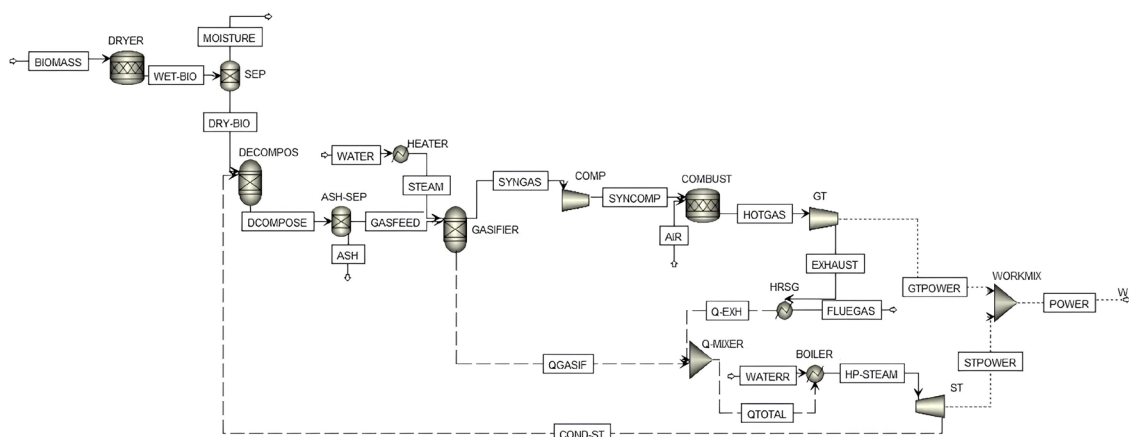
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินงานของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน และอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลสำหรับชีวมวล 2 ชนิด ได้แก่ กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด โดยช่วงของตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันในช่วง 800-1000°C [18, 19] และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio) ในช่วง 0.1-1 [20, 21] โดยกำหนดความดันของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเท่ากับ 1 bar อัตราส่วนกำลังอัดอากาศ (Compression ratio) เท่ากับ 14 อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Air flowrate) เท่ากับ 8000 kg/h [22]

สำหรับการประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนนั้น ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle-to-Gate ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงไฟฟ้า จนถึง

กระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยกำหนดให้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในกระบวนการมาจากไฟฟ้าที่ผลิตได้เองภายในระบบ กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ที่ใช้ในการประเมินกำหนดเป็นการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ การผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (1 kWh) เมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้จากกระบวนการ และคำนวณค่า GWP ในหน่วย  $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$  การศึกษานี้ไม่ได้ครอบคลุมการก่อสร้างโรงไฟฟ้า การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การบำรุงรักษา การกำจัดของเสีย ตลอดจนการจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานของระบบ เนื่องจากมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของกระบวนการเท่านั้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดที่ตั้งของโรงงาน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลระยะทางการขนส่งอ้างอิงตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย โดยอัตราดังกล่าวคำนวณจากสถานการณ์การขนส่งระยะทาง 700 กิโลเมตร พิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ [17]

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับ



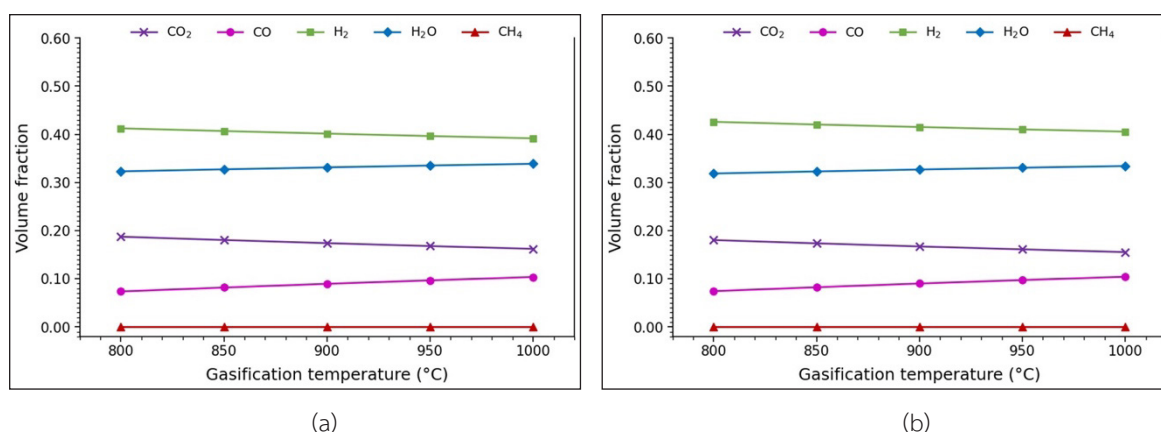
**Figure 1** Simulation model of the biomass gasification combined cycle power generation system using Aspen Plus V.12.1.

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมได้สูงสุด พร้อมทั้งประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของระบบในขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate ทำการจำลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมด้วยโปรแกรม Aspen Plus ซึ่งความน่าเชื่อถือของแบบจำลองกระบวนการที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Aspen Plus ในงานวิจัยนี้ได้รับการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันกับงานวิจัยอ้างอิงของงานวิจัยของ Zhao et al. (2023) [23] และผลการจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมกับงานวิจัยของ Ali et al. (2023) [22] ผลการทดสอบแบบจำลองพบว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลของงานวิจัยในระดับที่น่าพอใจ การตรวจสอบแบบจำลองดังกล่าวยืนยันว่าแบบจำลอง Aspen Plus ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการประเมินผลของอุณหภูมิการก๊าซซิฟิเคชันและอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลที่มีต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์ การผลิตไฟฟ้า และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

#### 4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวล ได้แก่ กากมันสำปะหลัง และชังข้าวโพด โดยศึกษาอุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันในช่วง 800-1000°C ที่ความดัน 1 bar และกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของชีวมวลเท่ากับ 1000 kg/h และอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio) เท่ากับ 1 โดยอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันที่มีผลต่อก๊าซสังเคราะห์ดังแสดงใน Figure 2

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบก๊าซสังเคราะห์ที่มีค่าแตกต่างกันในสภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยพบว่าสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงขึ้น (800-1000°C) แนวโน้มดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากทิศทางการเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการผลิต  $H_2$  ได้แก่ ปฏิกิริยา Water-gas reaction (1) และ Methane reforming (5) การที่อุณหภูมิสูงจะ



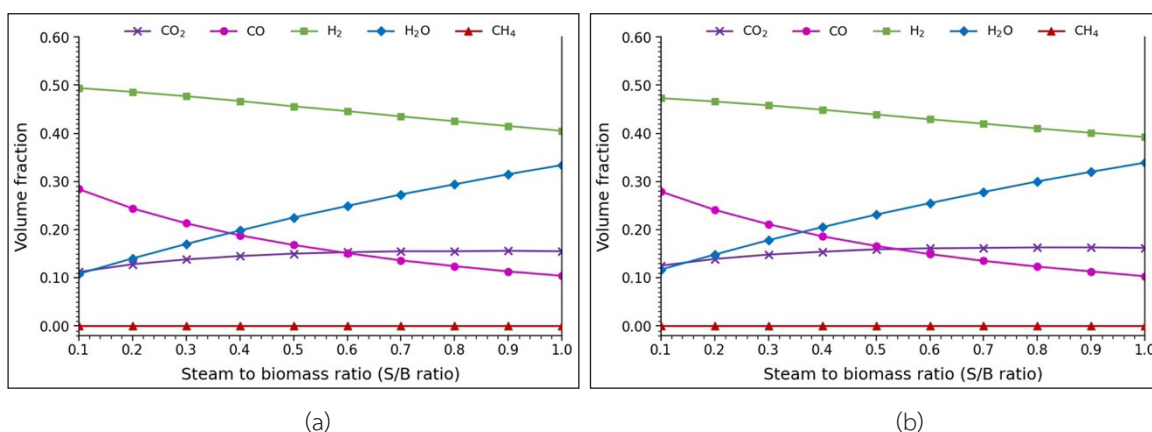
**Figure 2** Effects of gasification temperature on syngas compositions at S/B ratio of 1 (a) Cassava pulp (b) Corn cob.

ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reactions) จึงเอื้อต่อการก่อตัวของ  $H_2$  อย่างไรก็ดีตามเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นสมดุลของปฏิกิริยา Water-gas shift (3) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจะเคลื่อนไปทางซ้าย ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของ  $H_2$  ชะลอตัวลงหรือเริ่มลดลงเล็กน้อยในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น [24] ในขณะเดียวกันสัดส่วนโดยปริมาตร ของ  $CO$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการผลิต  $CO$  เช่น ปฏิกิริยา Boudouard (2) ที่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนถูกกระตุ้นภายใต้อุณหภูมิสูง ส่งผลให้  $CO$  กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของก๊าซสังเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิสูง นอกจากนี้พบว่าสัดส่วนโดยปริมาตรของ  $CO_2$  ลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการที่  $CO_2$  ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยา Boudouard (2) ภายใต้อุณหภูมิสูง จึงทำให้  $CO_2$  ถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น  $CO$  มากขึ้น และในส่วนของ  $CH_4$  เนื่องจากปฏิกิริยา Methane formation (4) เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเปลี่ยนไปทางซ้าย ส่งผลให้  $CH_4$  ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยา อีกทั้งอุณหภูมิสูงยังช่วยกระตุ้นการ ใช้  $CH_4$  ในปฏิกิริยา Methane reforming (5) จึงทำให้  $CH_4$  ในก๊าซสังเคราะห์ภายใต้ช่วงอุณหภูมิ

ที่ทำการศึกษานั้นมีค่าน้อยมาก [24] โดยผลการศึกษาได้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานของ Cvetinović et al. [20] และ Gao et al. [24] ซึ่งรายงานว่าเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาดูดความร้อน ได้แก่ Water-gas reaction และ Boudouard reaction จะเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของ  $CO$  เพิ่มขึ้น ขณะที่  $CO_2$  ลดลง

#### 4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B ratio) ต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่มีผลต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวล ได้แก่ กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด โดยศึกษาอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลในช่วง 0.1-1.0 โดยกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของชีวมวลเท่ากับ 1000 kg/h และอุณหภูมิของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเท่ากับ 1000°C โดยอิทธิพลของอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์ดังแสดงใน Figure 3



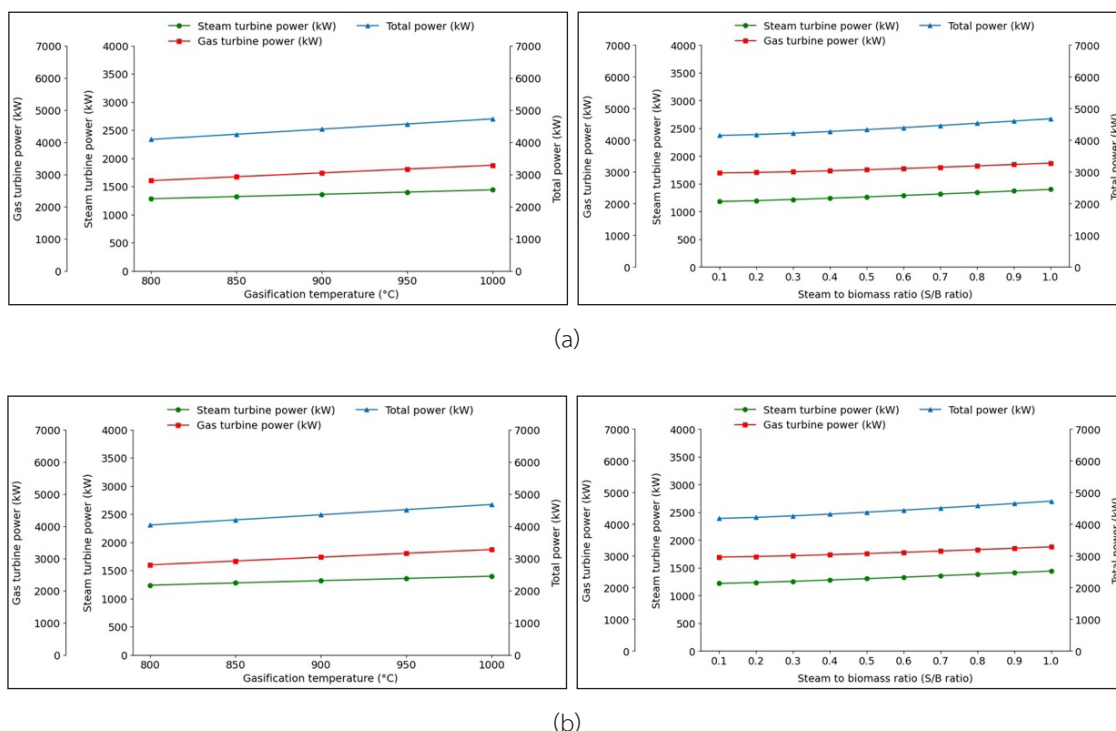
**Figure 3** Effects of steam-to-biomass ratio on syngas compositions at gasification temperature of 1000°C (a) Cassava pulp (b) Corncob.

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบก๊าซสังเคราะห์แตกต่างกันตามอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล โดยเมื่อค่า S/B ratio เพิ่มขึ้น สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง ขณะที่สัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 3 ทั้งนี้ การเพิ่มอัตราส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลส่งผลให้ความดันย่อยของไอน้ำภายในเตาก๊าซซิฟิเคชันเพิ่มขึ้น และทำให้สมดุลของปฏิกิริยาต่างๆ ภายในระบบ เช่น Water-gas (1), Boudouard (2) และ Water-gas shift (3) เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะปฏิกิริยา Water-gas shift ซึ่งส่งเสริมการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้สัดส่วนโดยปริมาตรของ  $CO$  ลดลง ขณะที่  $CO_2$  เพิ่มขึ้น ภายใต้แบบจำลองสมดุลทางอุณหพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์เป็นผลจาก

สมดุลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นร่วมกันภายในระบบ ส่งผลให้สัดส่วนโดยปริมาตรของ  $H_2$  ที่ได้จากการจำลองมีแนวโน้มลดลงภายใต้ช่วงค่า S/B ratio ที่ศึกษา [25]

#### 4.3 ผลการศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์พบว่า สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม คือ ที่อุณหภูมิกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเท่ากับ  $1000^\circ C$  และค่าอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 1 เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมได้มากที่สุด ดังแสดงใน Figure 4



**Figure 4** Effect of operating conditions on total power generation at gasification temperature of  $1000^\circ C$  and S/B ratio of 1 (a) Cassava pulp (b) Corncob.

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ พบว่ากากมันสำปะหลังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ 4726.87 kW โดยมาจากกังหันก๊าซ 3285.98 kW และกังหันไอน้ำ 1440.89 kW ในขณะที่ซังข้าวโพดสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวม เท่ากับ 4676.35 kW ซึ่งมาจากกังหันก๊าซ 3277.44 kW และกังหันไอน้ำ 1399.09 kW โดยค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าชีวมวลทั้งคู่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซสังเคราะห์เพื่อนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่ากากมันสำปะหลังและซังข้าวโพดจะให้กำลังไฟฟ้าสุทธิใกล้เคียงกัน แต่กากมันสำปะหลังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสุทธิได้สูงกว่า โดยความแตกต่างของกำลังไฟฟ้ารวมระหว่างกากมันสำปะหลังและซังข้าวโพดเกิดจากองค์ประกอบพื้นฐานของชีวมวล แม้ว่าซังข้าวโพดจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สูงกว่า แต่กากมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์บอน และไฮโดรเจน ใน Ultimate analysis สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีบทบาทต่อการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง โดยเฉพาะ  $H_2$  และ CO ภายใต้สภาวะการก๊าซซิฟิเคชัน นอกจากนี้ องค์ประกอบอื่นของชีวมวล เช่น ความชื้น ปริมาณเถ้า และสารระเหย (Volatile matter) รวมถึงปฏิกิริยาสมดุลที่เกิดขึ้นภายในเตาก๊าซซิฟิเคชัน ล้วนส่งผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบรวมกัน ดังนั้น แม้ว่าซังข้าวโพดจะมีค่า Fixed carbon สูงกว่า แต่ผลรวมของคุณสมบัติทั้งหมดทำให้กากมันสำปะหลังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมได้สูงกว่าเล็กน้อย

#### 4.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP)

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบเพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบได้มาจากการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus V.12.1 โดยกาก

มันสำปะหลังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบเท่ากับ 2033.18 kW และซังข้าวโพดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในระบบเท่ากับ 2018.19 kW สำหรับแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในระบบ เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสามารถผลิตไฟฟ้าได้เองจากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบมาจากไฟฟ้าที่ผลิตได้เองจากระบบโดยไม่ต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบโครงข่าย รวมถึงการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากระบบมีนำพลังงานบางส่วนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ภายในกระบวนการ จึงทำให้ไม่มีการพึ่งพาเชื้อเพลิงเพิ่มเติมจากภายนอก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate จากผลการประเมินจาก Table 2 พบว่า กากมันสำปะหลังมีค่า GWP เท่ากับ 0.032  $kgCO_2e/kWh$  ขณะที่ซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.055  $kgCO_2e/kWh$  ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มสัมพันธ์กับกำลังการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากกากมันสำปะหลังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสุทธิสูงกว่าซังข้าวโพด จึงส่งผลให้ค่า GWP ต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่า ซึ่งกำลังไฟฟ้าสุทธิได้รับผลกระทบโดยตรงจากกำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้หักด้วยการใช้ไฟฟ้าภายในระบบ และความแตกต่างของกำลังการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวเป็นผลมาจากองค์ประกอบพื้นฐานของ ชีวมวลที่แตกต่างกัน โดยจาก Table 1 พบว่าซังข้าวโพดมีค่าความชื้น ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้าสูงกว่ากากมันสำปะหลังเล็กน้อย ถึงแม้ว่าซังข้าวโพดจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่า แต่ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำก่อนเข้าสู่ปฏิกิริยาก๊าซซิฟิเคชัน อีกทั้งปริมาณเถ้าที่สูงทำให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบและส่งผลต่อปฏิกิริยาในเตาก๊าซซิฟิเคอร์ ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิต่ำกว่ากาก

มันสำปะหลัง จึงทำให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แตกต่างกัน [24]

นอกจากนี้อีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ GWP คือ Emission factor จากการได้มาของวัตถุดิบ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการต้นน้ำก่อนเข้าสู่การผลิตพลังงาน เช่น การเพาะปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและเชื่อมโยงกับการใช้พลังงานและทรัพยากรในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยซังข้าวโพดมีค่า Emission Factor ที่สูงกว่ากากมันสำปะหลัง เนื่องจากซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของโรงงานผลิตอาหารสัตว์ทำให้กระบวนการแปรรูปของซังข้าวโพดมีความซับซ้อนและใช้พลังงานสูงกว่า เป็นผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าชีวมวลทั้งสองชนิดให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกัน และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับการผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะเดียวกัน  $\text{CO}_2$  ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและการเผาไหม้ของกากมันสำปะหลังและซังข้าวโพด เท่ากับ 0.248 และ 0.253  $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$  ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็น Biogenic  $\text{CO}_2$  และไม่นำมาคำนวณในการประเมิน GWP เนื่องจากเป็นคาร์บอนในวัฏจักรธรรมชาติ ซึ่งค่า Biogenic  $\text{CO}_2$  ของกากมันสำปะหลังที่สูงกว่าซังข้าวโพดนั้นมีความเกี่ยวข้อง

กับองค์ประกอบพื้นฐานของชีวมวล โดยจากผลการวิเคราะห์ Ultimate analysis พบว่ากากมันสำปะหลังมีปริมาณองค์ประกอบคาร์บอนสูงกว่าซังข้าวโพด ซึ่งคาร์บอนในชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}$  ในปฏิกิริยา Boudouard reaction (2) ระหว่างกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ซึ่งทำให้เกิด  $\text{CO}_2$  ในปฏิกิริยา Carbon monoxide combustion (7) ระหว่างการเผาไหม้มากขึ้น ส่งผลให้กากมันสำปะหลังมีการปล่อย Biogenic  $\text{CO}_2$  สูงกว่าซังข้าวโพดเล็กน้อย

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนที่ได้จากการศึกษานี้กับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแหล่งพลังงานประเภทต่างๆ ในขอบเขต Cradle-to-Gate พบว่าค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน (0.77-0.84  $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) [26] และก๊าซธรรมชาติ (~0.65  $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) [27] แสดงให้เห็นว่าแม้การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลยังคงก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า แต่ปริมาณการปล่อยดังกล่าวยังคงต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างถ่านหินและก๊าซธรรมชาติอย่างชัดเจน สะท้อนถึงศักยภาพของชีวมวลในการเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าในระยะยาว

**Table 2** Net power output, global warming potential (GWP), and biogenic  $\text{CO}_2$  emissions of cassava pulp and corncob in the gasification combined cycle power generation system

| Biomass      | Net power (kW) | GWP ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) | Biogenic $\text{CO}_2$ ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ) |
|--------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Cassava pulp | 2693.69        | 0.032                              | 0.253                                                 |
| Corn cob     | 2658.34        | 0.055                              | 0.248                                                 |

## 5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจำลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมควบคู่กับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันและอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลส่งผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์และกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมของระบบ โดยสถานะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบ คือ อุณหภูมิกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน  $1000^{\circ}\text{C}$  และค่าอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นสถานะที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมได้สูงที่สุด โดยกากมันสำปะหลังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ 4726.87 kW และกำลังไฟฟ้าสุทธิเท่ากับ 2693.69 kW ขณะที่ซังข้าวโพดสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ 4676.35 kW และกำลังไฟฟ้าสุทธิเท่ากับ 2658.34 kW อย่างไรก็ตามความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าชีวมวลทั้งสองชนิดมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ผลการประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate พบว่ากากมันสำปะหลังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) เท่ากับ  $0.032 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$  ซึ่งน้อยกว่าซังข้าวโพดที่มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับ  $0.055 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$  ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยกากมันสำปะหลังมีค่า Emission factor จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ต่ำกว่าและสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสุทธิได้สูงกว่าซังข้าวโพด จึงส่งผลให้ค่า GWP ต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำกว่า นอกจากนี้ค่า GWP ของชีวมวลทั้งสองชนิดยังต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล สะท้อนให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีศักยภาพในการเป็นทางเลือกด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus ร่วมกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) สามารถใช้เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซซิฟิเคชันชีวมวลควบคู่กับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเลือกชนิดของชีวมวลมีผลต่อทั้งประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้ว่าความแตกต่างของกำลังการผลิตไฟฟ้าระหว่างกากมันสำปะหลังและซังข้าวโพดจะมีไม่มาก แต่ความแตกต่างของคุณสมบัติของชีวมวลและค่า Emission factor ส่งผลให้ค่า GWP แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกชีวมวลสำหรับการผลิตไฟฟ้าไม่ควรพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพด้านพลังงานเท่านั้น แต่ควรประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมร่วมด้วยเพื่อให้เกิดความยั่งยืนของระบบผลิตพลังงานในระยะยาว และผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาระบบพลังงานชีวมวลคาร์บอนต่ำของประเทศไทยได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

## 7. References

- [1] Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., 2024, GHG Emissions of All World Countries 2024 Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 286 p.
- [2] World Health Organization, 2023, Air Pollution, Available Source: <https://www.who.int/>, May 16, 2026.

- [3] U.S. Energy Information Administration, 2024, Biomass Explained, Available Source: <https://www.eia.gov/>, May 16, 2026.
- [4] Emission Index, 2024, Thailand Greenhouse Gas Emission Statistics 2024, Available Source: <https://www.emission-index.com/>, May 16, 2026. (in Thai)
- [5] Junpen, A., Pansuk, J., Kamnoet, O., Cheewaphongphan, P. and Garivait, S., 2018, Emission of air pollutants from rice residue open burning in Thailand, Atmosphere. 9(11): 449.
- [6] Higman, C. and Van der Burgt, M., 2008, Gasification, 2nd ed., Gulf Professional Publishing, Oxford, 456 p.
- [7] Prapitrat, T., Maneechot, P. and Wansungnoen, W., 2016, Carbon dioxide emission assessment of biomass community based power plant from Napier grass, J Sci Tech URU. 18(2): 22. (in Thai)
- [8] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2023, Thailand Renewable Energy Data 2023, Ministry of Energy, Available Source: <https://www.dede.go.th/>, May 17, 2026. (in Thai)
- [9] Cabaraban, M.T., Divinagracia, G., Padernal, J.C., Ramirez, V.M., Arranguel, L., Semilla, J.M., Ombiga, D.J.M., Barcelona, E.J. and Paderanga, K., 2020, Production of biocrude and charcoal from fast oxidative pyrolysis of cassava pulp residue using a fluidized bed reactor, J. Eng. Appl. Sci. Technol. 2(3): 2.
- [10] Pahla, G., Mamvura, T.A., Ntuli, F. and Muzenda, E., 2017, Energy densification of animal waste lignocellulose biomass and raw biomass, S. Afr. J. Chem. Eng. 24: 171.
- [11] Pala, L.P.R., Wang, Q., Kolb, G. and Hesse, V., 2017, Steam gasification of biomass with subsequent syngas adjustment using shift reaction for syngas production: An Aspen Plus model, Renewable Energy. 114: 484-492.
- [12] Delta Gas Transportation Limited, 2022, Combined Cycle Power Plant for Domestic Gas to Power Project: Scoping Report, Delta Gas Transportation Limited, Myanmar, 187 p.
- [13] OpenStax, 2019, Chemistry 2e, Rice University, Houston, Available Source: <https://openstax.org/>, May 17, 2026.
- [14] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Emission Factor (CFP), Available Source: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>, May 17, 2026. (in Thai)
- [15] Ghimire, A., Sen, R. and Annachhatre, A.P., 2015, Biosolid management options in cassava starch industries of Thailand: Present practice and future possibilities, Procedia Chem. 14: 75-82.
- [16] Climatiq, 2024, Corn cob emission factor, Available Source: <https://www.climatiq.io/>, May 25, 2026.

- [17] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2020, Carbon Footprint of Products Calculation Guideline, Research Report, Bangkok, 72 p., Available Source: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>, May 26, 2026. (in Thai)
- [18] Climatiq, Biogenic CO<sub>2</sub> and accounting concepts, Available Source: <https://www.climatiq.io/>, May 26, 2026.
- [19] Sotkaew, A., Sritet, L. and Mungkalasiri, W., 2025, Simulation of power generation from agricultural by-products: Case study of bagasse and cassava pulp, Thai Sci. Technol. J. 33(1): 76-77. (in Thai)
- [20] Cvetinović, D., Erić, A., Milutinović, N., Petrov, N., Anđelković, J. and Bakić, V., 2024, Thermodynamic equilibrium modeling of biomass gasification: Effects of operating conditions on gasifier performance, J. King Saud Univ. Sci. 36(9): 103370.
- [21] Jeong, Y.-S., Jang, J., Kim, K.H. and Suh, E.-K., 2020, Lab-scale and pilot-scale two-stage gasification of biomass using active carbon for production of hydrogen-rich and low-tar producer gas, Fuel Process. Technol. 198: 106240.
- [22] Ali, A.M., Shahbaz, M., Shahzad, K., Inayat, M., Naqvi, S., Al-Zahrani, A.A., Rashid, M.I., Rehan, M. and Mahpudiz, A.B., 2022, Polygeneration syngas and power from date palm waste steam gasification through an Aspen Plus process modeling, Fuel. 332: 126120.
- [23] Zhao, Y., Yao, J., Chen, G., Liu, J., Cheng, Z., Wang, L., Yi, W. and Xu, S., 2023, Energy, efficiency, and environmental analysis of hydrogen generation via plasma co-gasification of biomass and plastics based on parameter simulation using aspen plus, Energy Convers. Manage. 295, 117623.
- [24] Gao, Y., Wang, M., Raheem, A., Wang, F., Wei, J., Xu, D. Song, X. Bao, W., Huang, A., Zhang, S. and Zhang, H., 2023, Syngas production from biomass gasification: Influences of feedstock properties, reactor type, and reaction parameters, ACS Omega. 8(35): 31620-31631.
- [25] He, Y., Tu, J., Li, D., Lin, C., Mo, Z., Huang, S., Hu, C., Shen, D. and Wang, T., 2023, Investigation of hydrogen-rich syngas production from biomass gasification with CaO and steam based on real-time gas release behaviors, J. Anal. Appl. Pyrolysis. 169: 105851.
- [26] Mahmud, K.S., Ahmed, M.R., Ahmed, S., Jihan, J.I., Tonni, M.T.N., Kibria, M.G. and Sarker, M.R.I., 2025, Life cycle and environmental impact assessment of coal-fired power plants in Bangladesh, Energy Convers. Manage. X. 28: 101325.
- [27] Olanrewaju, O.A., Ige, O.E., Akintayo, B.D. and Ali, A., 2023, Life Cycle Assessment of Natural Gas Power Plant: Calculation of impact potentials, In Climate Smart Greenhouses Innovations and Impacts, IntechOpen, London.



พิมพ์ที่: สำนักงานบริหารการพิมพ์ธรรมศาสตร์, พ.ศ. 2569  
<http://www.thammasatprintinghouse.com>