

การศึกษาการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับ ระบบผลิตก๊าซ: กรณีศึกษาชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง Simulation Study of Integrated Gasification Combined Cycle System: Case Study of Rubber Wood Sawdust and Municipal Solid Waste Pellets

ปวิษฐา ราน้อย, ธันยชนก เทพแก้ว, วรณี มังคละศิริ*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Pawitchaya Rangnoi, Thanchanok Thepkaew, Woranee Mungkalasiri*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

Thammasat University, Pathum Thani, 12120

Received 21 July 2023; Received in revised 25 July 2023; Accepted 3 August 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง โดยใช้เครื่องผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง ซึ่งทำการศึกษาโดยการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม ASPEN Plus V.12.1 เพื่อศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด ภายใต้สภาวะการดำเนินงานของตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ (700-1200 องศาเซลเซียส) สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล (0.2-1) และอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องกังหันก๊าซ (14-22) ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จะลดลง แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไอน้ำจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำจะเพิ่มขึ้น แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทนนั้นจะลดลง ซึ่งก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์นั้นเป็นก๊าซหลักในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูง คือ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ เท่ากับ 1200 องศาเซลเซียส สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อ ชีวมวล เท่ากับ 1 และอัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 14 โดยกำลังไฟฟ้าของชีเลื่อยไม้

ยางพารา และขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าเท่ากับ 5.55 และ 5.30 เมกะวัตต์ ตามลำดับ นอกจากนี้สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชี้เลี้ยงไม้ยางพารา และขยะชุมชนอัดแท่งที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูง คือ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ เท่ากับ 1200 องศาเซลเซียส สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล เท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 14 โดยประสิทธิภาพของชี้เลี้ยงไม้ยางพารา และขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าเท่ากับ 31.85% และ 38.49% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจำลองกระบวนการ; ขยะชุมชนอัดแท่ง; ชี้เลี้ยงไม้ยางพารา; โปรแกรม ASPEN Plus; ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ

Abstract

This research investigates an integrated gasification combined cycle (IGCC) system utilizing rubber wood sawdust and municipal solid waste pellets as feedstock in a downdraft gasifier. The study aims to evaluate optimal operating conditions that maximize total power and power efficiency. A simulated process was conducted using the ASPEN Plus V.12.1 program to study various operating variables, including gasification temperature (700-1200°C), steam to biomass ratio (S/B) (0-1), and compression ratio (14-22). The results reveal that increasing the gasification temperature resulted in a reduction in the syngas compositions of H₂, CO₂, and CH₄, while CO and steam increased. In addition, increasing the steam to biomass ratio (S/B) resulted in higher H₂, CO₂, and steam in the syngas, while CO and CH₄ decreased. H₂ and CO were identified as the primary syngas compositions for power generation. For the generation of high total power, the optimal operating conditions were found to be a gasification temperature of 1200°C, an S/B ratio of 1, and a compression ratio of 14. Under these conditions, the total power output from rubber wood sawdust and municipal solid waste pellets was 5.55 MW and 5.30 MW, respectively. Moreover, for achieving high power efficiency, the optimal operating conditions were determined as a gasification temperature of 1200°C, S/B ratio of 0.2, and a compression ratio of 14. The power efficiency for rubber wood sawdust and municipal solid waste pellets was 31.85% and 38.49%, respectively.

Keywords: ASPEN Plus program; Integrated gasification combined cycle (IGCC); Municipal solid waste pellets; Process simulation; Rubber wood sawdust

1. บทนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ ความต้องการการเดินทางภายในประเทศและการเดินทางระหว่างประเทศ รวมไปถึงการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใช้ถ่านหินในภาคอุตสาหกรรมและเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า [1] อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศโลก อันเป็นสาเหตุของปัญหาภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าวิธีผลิตพลังงานรูปแบบใหม่ที่สามารถทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งเทคโนโลยีด้านพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยด้านพลังงานทั่วโลก จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากการแปรรูปชีวมวลที่เรียกว่าพลังงานชีวมวล (Biomass energy) ดังนั้นจึงได้มีการนำชีวมวลมาใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ (Biomass Integrated Gasification Combine Cycle) หรือที่เรียกว่าเทคโนโลยี BIGCC ซึ่งการใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซ (Gasification) นั้น มีการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมในอัตราที่ต่ำ เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) จึงถูกยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเหมาะกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กอีกด้วย [2] ซึ่งมีงานวิจัยหลายเรื่องได้ทำการศึกษาระบบการผลิตก๊าซ และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ ด้วยการจำลองกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม ASPEN Plus เช่น Arshid Mahmood Ali และคณะ (2022) [3] ได้ทำการศึกษาระบบการผลิตก๊าซและกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากก๊าซสังเคราะห์ ด้วยโปรแกรม ASPEN Plus โดยใช้วัตถุดิบเป็น กากอินทผลัม ภายใต้สภาวะการดำเนินงานต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ สัดส่วน

การป้อนไอน้ำต่อชีวมวล อัตราส่วนกำลังอัด ที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์และกำลังไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ก๊าซสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนลดลง แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้น และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย เมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ก๊าซสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบดังที่กล่าวไปข้างต้นลดลง และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราส่วนกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกังหันก๊าซและเครื่องกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น และ Miaomiao Niu และคณะ (2021) [4] ได้ทำการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle, BIGCC) โดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ ด้วยโปรแกรม ASPEN Plus เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซจากชีวมวล และการผลิตไฟฟ้าภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (Excess air ratio) ในระบบผลิตไฟฟ้า และอัตราส่วนกำลังอัดของระบบผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซลดลง อัตราส่วนอากาศส่วนเกินในระบบผลิตไฟฟ้าควรต่ำกว่า 3.5 เนื่องจากต้องมีการรักษาอุณหภูมิ ขาเข้าของกังหันก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ และเมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากำหนดนำเชื้อเพลิงไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ โดยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการดำเนินงานในกระบวนการผลิตก๊าซ และกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากก๊าซสังเคราะห์ของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

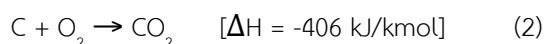
2.1 กระบวนการผลิตก๊าซ

กระบวนการผลิตก๊าซเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่ใช้พลังงานทางความร้อนโดยกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) ที่อุณหภูมิสูง [5] เพื่อเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ชีวมวล และขยะชุมชน ให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงก๊าซ

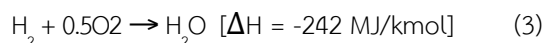
ปฏิกิริยาการอบแห้ง (Drying)



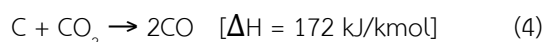
ปฏิกิริยาการเผาไหม้คาร์บอน (Carbon combustion)



ปฏิกิริยาการเผาไหม้ไฮโดรเจน (Hydrogen combustion)

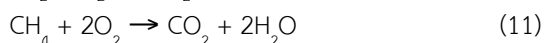


ปฏิกิริยา Boudouard (BD)



2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีการทำงาน 2 ระบบร่วมกัน คือ ระบบกังหันก๊าซ ทำงานร่วมกับระบบกังหันไอน้ำ โดยระบบ



2.3 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (Power efficiency) แสดงถึงการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ายังมีความสำคัญในเรื่องของ

เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และกากของแข็ง ที่เรียกว่าถ่านชาร์ โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ออกซิเจน และไอน้ำร้อนยิ่งยวด และมีการจำกัดปริมาณของอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตก๊าซ แสดงดังนี้ [6-7]

ปฏิกิริยา Methane formation reaction (MF)



ปฏิกิริยา Water gas reaction (WG)



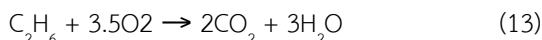
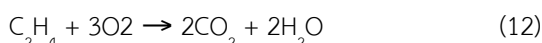
ปฏิกิริยา Methane reforming reaction (MR)



ปฏิกิริยา Water gas shift reaction (WGS)



กังหันก๊าซประกอบไปด้วยเครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และเครื่องกังหัน [8] โดยจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ดังนี้ [9]



การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย ซึ่งประสิทธิภาพทางไฟฟ้าขึ้นกับค่าความร้อนต่ำของวัตถุดิบตั้งต้นที่ป้อนเข้ามาในระบบ สามารถคำนวณได้จากสมการ (14) [10]

$$\eta_E = \frac{W_{net}}{m_{feed} \times LHV_{feed}} \times 100 \quad (14)$$

โดยที่ η_E คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (Power efficiency, %)

W_{net} คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิ (Net power, MW)

m_{feed} คือ อัตราการป้อนของวัตถุดิบตั้งต้น (Mass flow rate, kg s⁻¹)

LHV_{feed} คือ ค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value, MJ kg⁻¹)

กำลังไฟฟ้าสุทธิ (Net power) คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำลบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในระบบ ซึ่งกำลังไฟฟ้าสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการ (15) [10]

$$W_{net} = W_{GT} + W_{ST} - W_{COMP} - W_{PREP} - W_{AUX} \quad (15)$$

โดยที่ W_{net} คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิ (MW)

W_{GT} คือ กำลังไฟฟ้าผลิตได้จากกังหันก๊าซ (MW)

W_{ST} คือ กำลังไฟฟ้าผลิตได้จากกังหันไอน้ำ (MW)

W_{COMP} คือ กำลังไฟที่ใช้ในการอัดของเครื่องอัดอากาศ (MW)

W_{PREP} คือ กำลังไฟที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบตั้งต้นจากกระบวนการไพโรไลซิส (MW)

W_{AUX} คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบ เช่น ปั๊ม และโบลเวอร์ (MW) โดยมีค่าประมาณ 5% ของกำลังไฟฟ้ารวมผลิตได้จากเครื่องกังหันก๊าซและเครื่องกังหันไอน้ำ

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ ด้วยการจำลองกระบวนการโดยโปรแกรม ASPEN Plus V.12.1 ด้วยซีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง และใช้สมการสถานะ Peng-Robinson with Boston Mathias (PR-BM) ซึ่งเป็นสมการสถานะที่เหมาะสมสำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน [3] โดยการจำลองกระบวนการเริ่มจากการป้อนซีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง (สาย FEED) ซึ่งมีองค์ประกอบ Proximate analysis และองค์ประกอบ Ultimate analysis แสดงดังตารางที่ 1 เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ประเภท RYield ด้วยอัตราการไหลเชิงมวล 1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงชีวมวลและขยะชุมชนให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบพื้นฐาน (Conventional) เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน และเถ้า จากนั้นจะถูกป้อนเข้า

สู่เครื่องผลิตก๊าซ (RGIBBS) ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ประเภท RGibbs พร้อมป้อนน้ำ (สาย WATER) โดยจะให้ความร้อนด้วยหม้อไอน้ำ (BOILER) เพื่อเปลี่ยนน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ และให้ความร้อนต่อด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HEX) เพื่อทำให้เกิดไอน้ำยิ่งยวดจะได้ก๊าซสังเคราะห์ (สาย SYNGAS) เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตก๊าซจะถูกป้อนเข้าเครื่องอัดอากาศ (COMPR) จะทำการอัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูง จากนั้นเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (COMBUST) พร้อมอากาศ (สาย AIR) ที่อัตราการไหลเชิงมวล 8000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [3] อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 14 บาร์ [3] เพื่อไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังสมการที่ 9-13 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซเผาไหม้ (สาย GASES) ไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซ (GTURBINE) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า (สาย POWER1) ส่วนก๊าซเผาไหม้ที่เกิดจากเครื่องกังหันก๊าซ (สาย GASOUT) จะนำไปลดอุณหภูมิด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (COOLER2) จากนั้นความร้อน (สาย HEAT3) ซึ่งได้จากความร้อนที่ถูกปล่อยออกจากเครื่อง

ผลิตก๊าซ (สาย HEAT1) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (สาย HEAT2) ที่ใช้ลดอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ จะถูกนำไปใช้ในการให้ความร้อนกับน้ำเพื่อผลิตเป็นไอน้ำ (สาย STEAM2) ไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (STURBINE) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า (สาย POWER2) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิต

ได้จากเครื่องกังหันก๊าซ และเครื่องกังหันไอน้ำจะเรียกว่ากำลังไฟฟารวม (สาย TOTAL) ส่วนไอน้ำที่ออกจากเครื่องกังหันไอน้ำ (สาย CWATER) จะมีความดันลดลง และสามารถส่งไปยังเครื่องควบแน่นต่อไปเพื่อควบแน่นไอน้ำให้กลายเป็นน้ำแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Figure 1)

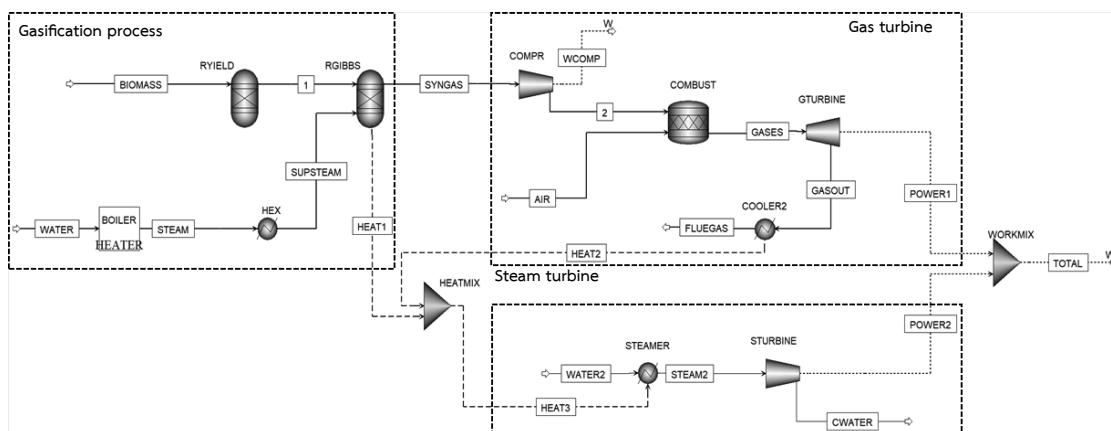


Figure 1 Process diagrams of integrated gasification combined cycle system.

Table 1 Proximate analysis, ultimate analysis and lower heating value of rubber wood sawdust and municipal solid waste pellets.

Feed stocks	Proximate analysis (wt%)				Ultimate analysis (wt%)				LHV (MJ/kg)
	Fixed Carbon	Volatile matter	Ash	Moisture	C	H	N	O	
Rubber wood sawdust [11]	14.10	79.80	1.80	4.30	44.20	7.20	0.30	48.30	17.33
Municipal solid waste pellets [12]	3.39	76.24	14.86	5.51	38.73	4.95	-	43.39	17.38

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินงานของระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชี้เลี้ยงไม่ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

สูงสุด โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิ ของกระบวนการผลิตก๊าซ สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล และอัตราส่วนกำลังอัดของกังหันก๊าซ โดยช่วงของตัวแปร ที่ทำการศึกษา (แสดงใน Table 2)

Table 2 Parameters of the nominal and ranges of operating conditions.

Parameters	Nominal conditions	Range of operating conditions
Gasification process		
Gasification temperature (°C) [3-4,13-15]	1200	700-1200
Steam to biomass ratio (S/B ratio) [3,14]	1	0.2-1
Combined cycle power plant		
Compression ratio [3,4]	14	14-22

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการดำเนินงานในกระบวนการผลิตก๊าซและกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจากก๊าซสังเคราะห์ของชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง และศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการผลิตก๊าซด้วยชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการผลิตก๊าซด้วยชีเลื่อย ไม้ยางพาราและขยะชุมชน แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเชิงโมล ของก๊าซไฮโดรเจนลดลง เป็นผลมาจากปฏิกิริยา Reverse Water Gas Shift (RWGS) (ปฏิกิริยาที่ 8) เมื่อพิจารณา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พบว่าอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง เนื่องจากปฏิกิริยา RWGS และปฏิกิริยา BD (ปฏิกิริยาที่ 4) เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา RWGS ปฏิกิริยา BD และปฏิกิริยา MR (ปฏิกิริยาที่ 7) เมื่อพิจารณาก๊าซมีเทนพบว่าอัตรา การไหลเชิงโมลของก๊าซมีเทนลดลง เป็นผลมาจากปฏิกิริยา MR และปฏิกิริยาแบบย้อนกลับของ MF (ปฏิกิริยาที่ 5) นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการไหลเชิงโมลของไอน้ำเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยา RWGS [7] และ Figure 2 (a) พบว่าชีเลื่อยไม้ยางพารามีปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตก๊าซสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 2 (b) เนื่องจากเมื่อพิจารณา Ultimate analysis (Table 1) พบว่าองค์ประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอนของชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ชีเลื่อยไม้ยางพารามีองค์ประกอบของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ใน ก๊าซสังเคราะห์สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง

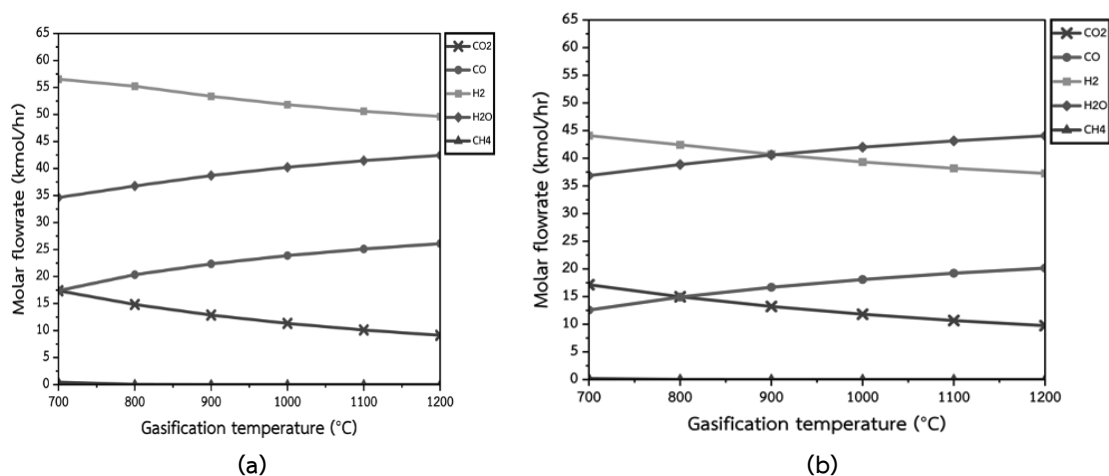


Figure 2 Effects of gasification temperature on syngas composition (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at a S/B ratio of 1.

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการผลิตก๊าซด้วยชี้เลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง

ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการผลิตก๊าซด้วยชี้เลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 3 พบว่าเมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น อัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยา WG (ปฏิกิริยาที่ 6) ปฏิกิริยา WGS (ปฏิกิริยาที่ 8) และปฏิกิริยา MR (ปฏิกิริยาที่ 7) เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา WGS เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่าอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง เนื่องจาก

ปฏิกิริยา WGS และเมื่อพิจารณาก๊าซมีเทน พบว่าอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซมีเทนลดลง เป็นผลมาจากปฏิกิริยา MR และปฏิกิริยาแบบย้อนกลับของ MF (ปฏิกิริยาที่ 5) นอกจากนี้อัตราการไหลเชิงโมลของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยา RWGS [16] และจากภาพที่ 3 (a) พบว่าชี้เลื่อยไม้ยางพารามีปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตก๊าซสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 3 (b) เนื่องจากองค์ประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอนของ Ultimate analysis (Table 1) ของชี้เลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ชี้เลื่อยไม้ยางพารามีองค์ประกอบของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง

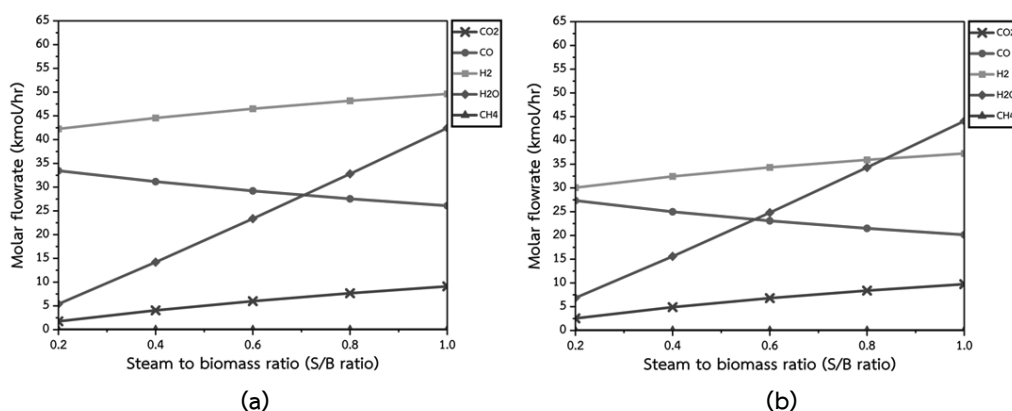


Figure 3 Effects of steam to biomass ratio on syngas composition (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at gasification temperature of 1,200°C

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้า (Figure 4) พบว่ากำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟารวมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่มีอิทธิพลมากกว่าก๊าซของค์ประกอบอื่นๆ นั้นเพิ่มขึ้น แม้ว่าก๊าซไฮโดรเจนในก๊าซสังเคราะห์จะลดลงก็ตาม ดังภาพที่ 2 ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในห้องเผาไหม้ของกังหันก๊าซ ดังสมการที่ 9 และ 10 [3] จะได้ก๊าซเผาไหม้ที่อุณหภูมิและความดันสูงไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซเพิ่มขึ้น [10] จาก

นั้นก๊าซเผาไหม้จากกังหันก๊าซจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำจนน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟารวมของ ซีเลื่อยไม้ยางพารา Figure 4 (a) สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 4 (b) เนื่องจากปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตก๊าซของซีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่า ขยะชุมชนอัดแท่งแสดงดังภาพที่ 2 จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ซีเลื่อยไม้ยางพาราผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง

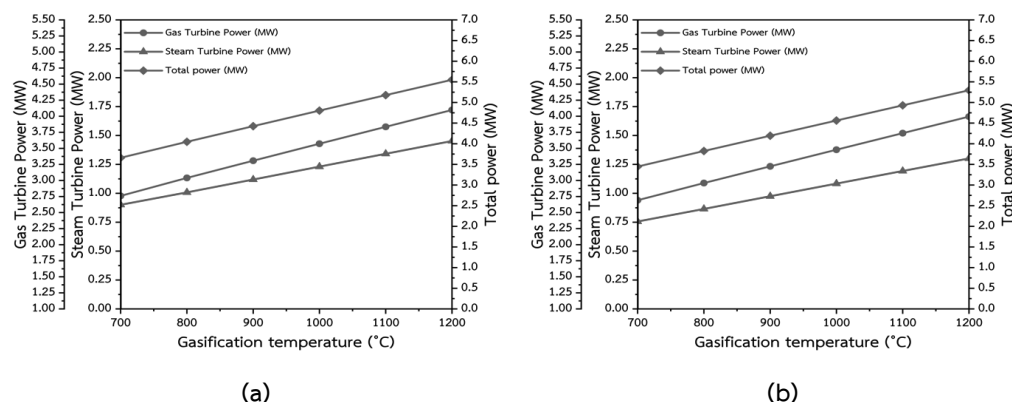


Figure 4 Effects of gasification temperature on power generation (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at a S/B ratio of 1, a compressor ratio of 14 and an air flowrate of 8,000 kg/hr

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้า Figure 5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้ารวมจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะส่งผลให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิขาเข้าของกังหันก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย [10] ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่คำนวณได้จากสมการที่ 15 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

จึงทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 5 (b) สูงกว่าชี้เลี้ยงไม่ยางพารา Figure 5 (a) เนื่องจากเมื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าสุทธิตามสมการที่ 15 พบว่ากำลังไฟฟ้าสุทธิของชี้เลี้ยงไม่ยางพารา และค่าความร้อนต่ำของขยะชุมชนอัดแท่งและชี้เลี้ยงไม่ยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน (Table 1) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของขยะชุมชนอัดแท่งมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าชี้เลี้ยงไม่ยางพารา

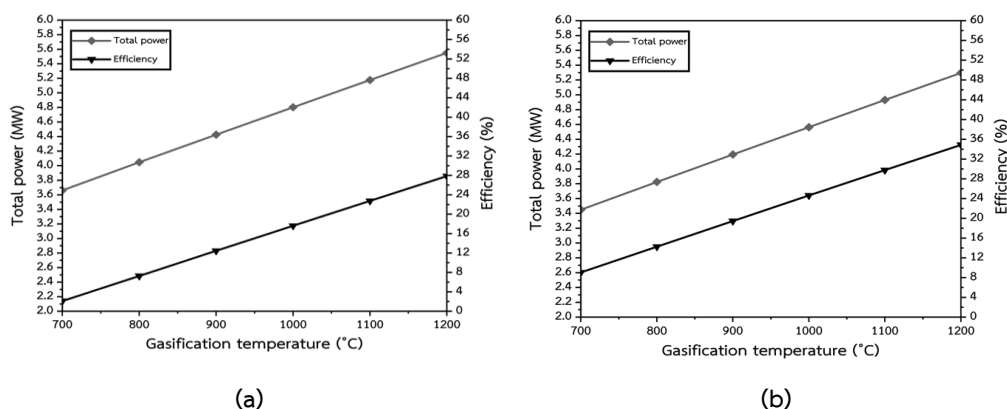


Figure 5 Effects of gasification temperature on power efficiency (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at a S/B ratio of 1, a compressor ratio of 14 and an air flowrate of 8,000 kg/hr

4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้า (Figure 6) พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลของกระบวนการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์เพิ่มขึ้น (Figure 3) และสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซสังเคราะห์จะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใน ห้องเผาไหม้ของกังหันก๊าซ จึงทำให้

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก ก๊าซสังเคราะห์มีองค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีอิทธิพลมากกว่าก๊าซขององค์ประกอบอื่นๆ นั้นลดลง จากนั้นก๊าซเผาไหม้จากกังหันก๊าซจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำจนเดือดกลายเป็นไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้นทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น [10] นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟ้ารวมของชี้เลี้ยงไม่ยางพารา Figure 6 (a) สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 6 (b) เนื่องจากปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตก๊าซของชี้เลี้ยงไม่ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง (Figure 3)

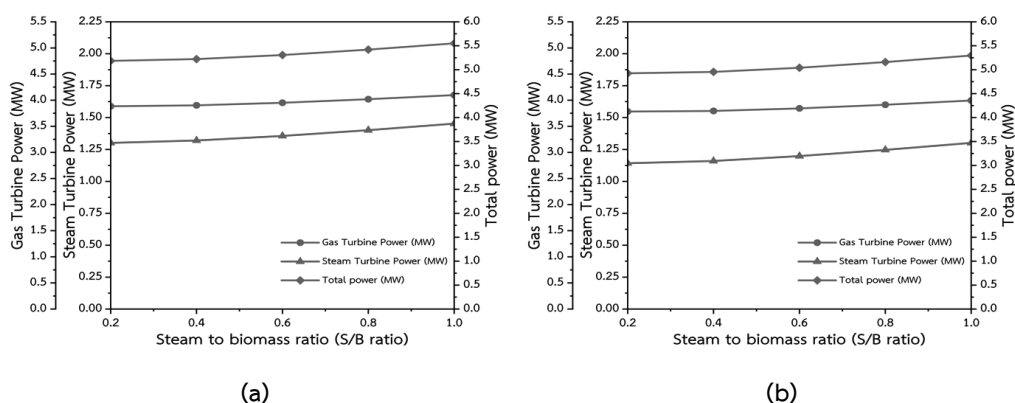


Figure 6 Effects of S/B ratio on power generation (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at gasification temperature of 1200°C, a compressor ratio of 14 and an air flowrate of 8,000 kg/hr.

ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลของกระบวนการผลิตก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้า Figure 7 พบว่าเมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิขาเข้าของกังหันก๊าซลดลง [17] เนื่องจาก

ไอน้ำส่วนเกินในก๊าซสังเคราะห์จะไปลดอุณหภูมิของห้องเผาไหม้จึงทำให้อุณหภูมิขาออกของห้องเผาไหม้ หรืออุณหภูมิขาเข้าของกังหันก๊าซลดลง และเมื่อพิจารณากำลังไฟฟารวมของระบบนั้นจะมีกำลังไฟฟารวมเพิ่มขึ้นแต่กำลังไฟฟ้าสุทธิของระบบลดลงเนื่องจากกำลังไฟฟารวมที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงของการศึกษาสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลนั้นมีค่าเพิ่ม

ขึ้นเล็กน้อย จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง เมื่อสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของขยะชุมชนอัดแท่ง Figure 7 (b) สูงกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา Figure 7 (a) เนื่องจากเมื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าสุทธิตามสมการที่ 15 พบว่ากำลังไฟฟ้าสุทธิของขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าสุทธิของขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ ค่าความร้อนต่ำของขยะชุมชนอัดแท่งและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน (Table 1) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของขยะชุมชนอัดแท่งมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา

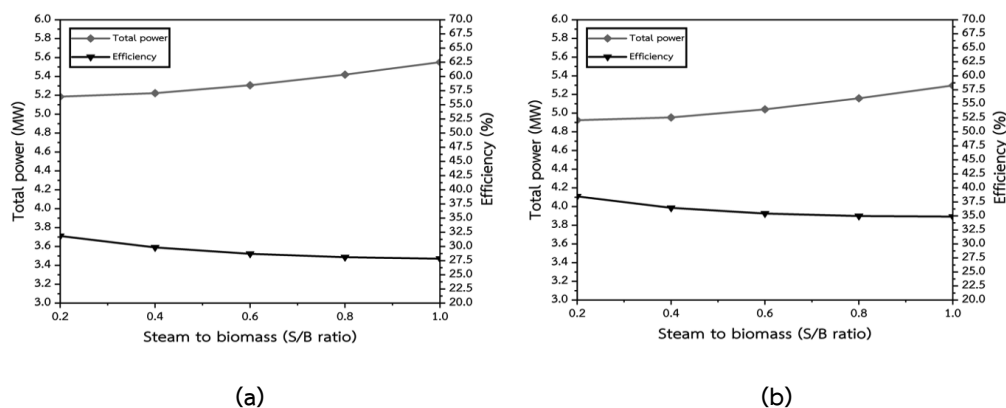


Figure 7 Effects of S/B ratio on power efficiency (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at gasification temperature of 1200°C, a compressor ratio of 14 and an air flowrate of 8,000 kg/hr.

4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องกังหันก๊าซที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกำลังอัดของกังหันก๊าซที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้า Figure 8 พบว่า กำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และ กำลังไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซสังเคราะห์ถูกอัดจนมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันของก๊าซเผาไหม้ที่ได้จากห้องเผาไหม้ของกังหันก๊าซสูงขึ้น และขยายตัวมากขึ้น [4] จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงาน

จากกังหันก๊าซที่นำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น จึงทำให้กำลังไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟ้ารวมของชีเลื่อยไม้ยางพารา Figure 8 (a) สูงกว่า ชยะชุมชนอัดแท่ง Figure 8 (b) เนื่องจากปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตก๊าซของชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่า ชยะชุมชนอัดแท่ง จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซ กังหันไอน้ำ และกำลังไฟฟ้ารวมของชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าชยะชุมชนอัดแท่ง

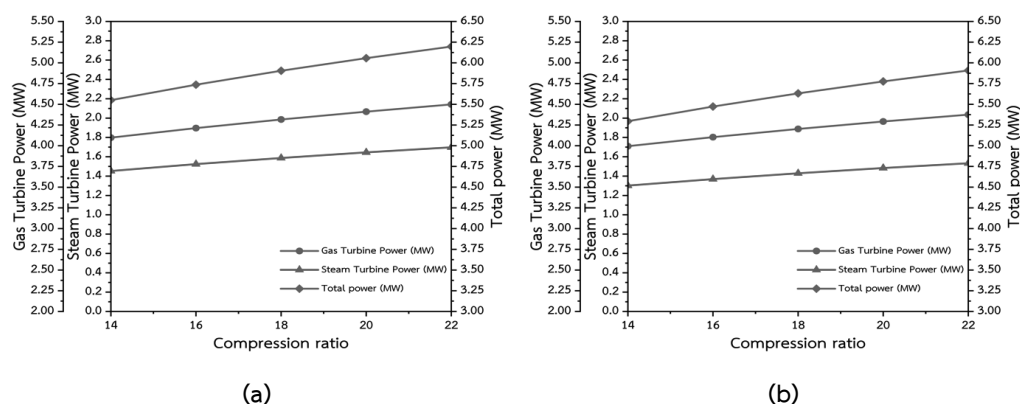


Figure 8 Effects of compression ratio on power generation (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at gasification temperature of 1200°C, a S/B ratio of 1 and an air flowrate of 8,000 kg/hr.

ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกำลังอัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อนรวมจากก๊าซสังเคราะห์ด้วยชีเลื่อยไม้ยางพาราและชยะชุมชนอัดแท่ง Figure 9 พบว่า เมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของก๊าซสังเคราะห์ขาออกจากเครื่องอัดอากาศสูงขึ้น เนื่องจากการอัดอากาศและก๊าซสังเคราะห์ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิขาเข้าของกังหันก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย [10] ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่คำนวณได้จากสมการที่ 15

นั้นก็มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของชยะชุมชนอัดแท่ง Figure 9 (b) สูงกว่าชีเลื่อยไม้ยางพารา Figure 9 (a) เนื่องจากเมื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าสุทธิตามสมการที่ 15 พบว่ากำลังไฟฟ้าสุทธิของชยะชุมชนอัดแท่งมีค่าสูงกว่า กำลังไฟฟ้าสุทธิของชีเลื่อยไม้ยางพารา และค่าความร้อนต่ำของชยะชุมชนอัดแท่งและ ชีเลื่อยไม้ยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน (Table 1) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของชยะชุมชนอัดแท่งมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าชีเลื่อยไม้ยางพารา

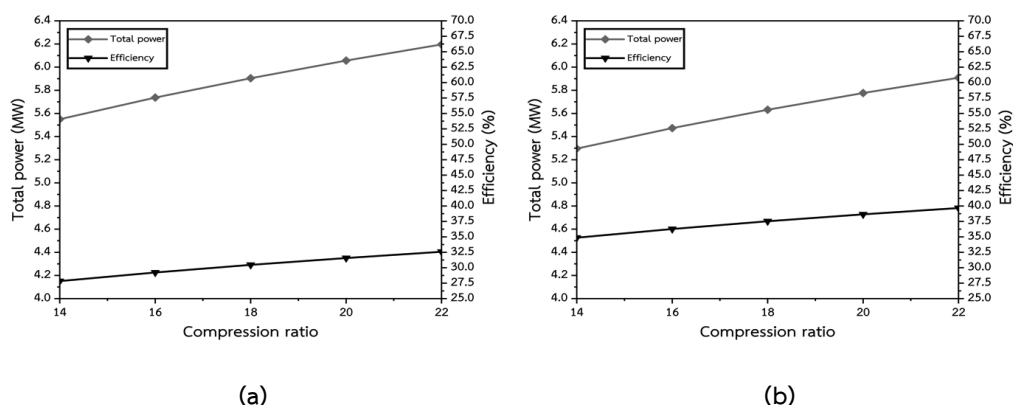


Figure 9 Effects of compression ratio on power efficiency (a) Rubber wood sawdust (b) Municipal solid waste pellets at gasification temperature of 1200°C, a S/B ratio of 1 and an air flowrate of 8,000 kg/hr.

4.6 ผลการศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่ง

ผลการศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซ เท่ากับ 1,200 องศาเซลเซียส สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล เท่ากับ 1 และเลือกสภาวะการดำเนินงานที่อัตราส่วนกำลังอัดเท่ากับ 14 เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่เพิ่มขึ้นนั้นมีค่าต่างกันไม่มากเมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้น เพราะการใช้อัตราส่วนกำลังอัดที่สูงจะทำให้เครื่องอัดอากาศสูญเสียพลังงานมากขึ้น และยังทำให้เครื่องอัดอากาศเกิดไฟกระชาก (Surge) เมื่อแรงดันสูงอีกด้วย [4] โดยกำลังไฟฟ้าของชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงาน ความร้อนร่วมที่สภาวะการดำเนินงานนี้มีค่าเท่ากับ 5.55 และ 5.30 เมกะวัตต์ โดยมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้า เท่ากับ 27.84% และ 34.87% ตามลำดับ ซึ่งชีเลื่อยไม้ยางพาราสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง เนื่องจากปริมาณ ก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ของชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชน นอกจากนี้เมื่อพิจารณา Ultimate analysis (Table 1) พบว่าองค์ประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอนของชีเลื่อยไม้

ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ชีเลื่อยไม้ยางพาราผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง นอกจากนี้หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจะพบว่าที่อุณหภูมิของกระบวนการผลิตก๊าซเท่ากับ 1,200 องศาเซลเซียส สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล เท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 14 เป็นสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูง โดยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของชีเลื่อยไม้ยางพารา และขยะชุมชนอัดแท่ง มีค่าเท่ากับ 31.85% และ 38.49% ตามลำดับ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 5.19 และ 4.93 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งขยะชุมชนอัดแท่ง มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าชีเลื่อยไม้ยางพารา เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสุทธิของขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าสุทธิ ชีเลื่อยไม้ยางพารา และค่าความร้อนต่ำของขยะชุมชนอัดแท่งและชีเลื่อยไม้ยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน (Table 1) ดังนั้นเมื่อนำกำลังไฟฟ้าสุทธิไปคำนวณค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าตามสมการที่ 14 จึงทำให้ขยะชุมชนอัดแท่งมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าชีเลื่อยไม้ยางพารา

5. สรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพารา

และ ขยะชุมชนอัดแท่ง โดยนำชีเลื่อยไม้ยางพาราและ ขยะชุมชนอัดแท่งที่อัตราการป้อน เท่ากับ 1,000 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง มาผลิตเป็นก๊าซสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ผลิตก๊าซ และนำก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้ไปผลิตไฟฟ้า ด้วยกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โดยใช้โปรแกรม ASPEN Plus V.12.1 ในการจำลอง กระบวนการดังกล่าว โดยศึกษาสภาวะในการดำเนินงาน ที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม กับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชน อัดแท่ง เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า สูงสุด โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ของกระบวนการผลิตก๊าซ สัดส่วนของการป้อนไอน้ำต่อ ชีวมวล และอัตราส่วนกำลังอัด

ผลการศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ ของ กระบวนการผลิตก๊าซพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผล ให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำเพิ่ม ขึ้น เนื่องจากก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการ ผลิตก๊าซนั้นมีองค์ประกอบของ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่มีอิทธิพลมากกว่าก๊าซของค์ประกอบอื่นๆ นั้นเพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุผลให้สามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การศึกษา อิทธิพลของสัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล เมื่อสัดส่วน การป้อนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ ผลิตได้ จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซ สังเคราะห์มีองค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีอิทธิพลมากกว่าก๊าซของค์ ประกอบอื่นๆ นั้นลดลง จึงเป็นเหตุผลให้ผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การศึกษอิทธิพลของอัตราส่วน กำลังอัด เมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ ผลิตได้ จากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่ในการ ดำเนินงานไม่ควรใช้อัตราส่วนกำลังอัดที่มากเกินไป เพราะจะทำให้เครื่องอัดอากาศสูญเสียพลังงานมากขึ้น และทำให้เครื่องอัดอากาศเกิดไฟกระชาก (Surge) เมื่อ แรงดันสูง ดังนั้นสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ จากชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งที่สามารถ

ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูง คือ อุณหภูมิของกระบวนการผลิต ก๊าซ เท่ากับ 1,200 องศาเซลเซียส สัดส่วนของการป้อน ไอน้ำต่อชีวมวล เท่ากับ 1 และอัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 14 ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากชีเลื่อยไม้ยางพารา และ ขยะชุมชนอัดแท่งด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ เท่ากับ 5.55 และ 5.30 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก ชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง เนื่องจาก เมื่อพิจารณา Ultimate analysis (Table 1) พบว่าองค์ประกอบของไฮโดรเจน และคาร์บอนของ ชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะชุมชนอัดแท่ง จึงส่ง ผลให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้จาก กระบวนการผลิตก๊าซของชีเลื่อยไม้ยางพาราสูงกว่าขยะ ชุมชน ซึ่งก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น เป็นก๊าซหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จึงเป็นเหตุผล ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากชีเลื่อยไม้ยางพาราสูง กว่าขยะชุมชนอัดแท่ง นอกจากนี้หากพิจารณาใน เทอมประสิทธิภาพของระบบจะพบว่า ที่อุณหภูมิของ กระบวนการผลิตก๊าซ เท่ากับ 1,200 องศาเซลเซียส สัดส่วนการป้อนไอน้ำต่อชีวมวล เท่ากับ 0.2 และ อัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 14 จะเป็นสภาวะการดำเนิน งานที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน ร่วมกับระบบผลิตก๊าซจากชีเลื่อยไม้ยางพารา และขยะ ชุมชนอัดแท่งที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูง โดย ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ ชีเลื่อยไม้ยางพารา และ ขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าเท่ากับ 31.85% และ 38.49% ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สามารถ กล่าวได้ว่า ชีเลื่อยไม้ยางพาราและขยะชุมชนอัดแท่งมี ความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงในการ ผลิตพลังงานหมุนเวียนด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ความร้อนร่วมกับระบบผลิตก๊าซ นอกจากนี้การนำขยะ ชุมชนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานยังเป็นการช่วยจัดการ ของเสีย (Waste management) อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากภาค
วิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ธรรมศาสตร์

7. References

- [1] Energy Policy and Planning Office., Trend of energy consumption in 2023, Available Source: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/18695-news-090165-01>, June 16, 2023. (in thai)
- [2] Ministry of Energy., Strategic environmental assessment project for the construction of a coal power plant in the Southern part, Available Source: <https://www.egat.co.th/home/wp-content/uploads/2022/05/รายงานฉบับสมบูรณ์.pdf>, May 31, 2023. (in thai)
- [3] Ali, A.M., Shahbaz, M., Shahzad, K., Inayat, M., Naqvi, S., Al-Zahrani, A.A., Rashid, M.I., Rehan, M. and Mahpud, A.B., 2022, Polygeneration syngas and power from date palm waste steam gasification through an Aspen Plus process modeling, *Fuel*. 332: 126120.
- [4] Niu, M., Xie, J., Liang, S., Liu, L., Wang, L. and Peng, Y., 2021, Simulation of a new biomass integrated gasification combined cycle (BIGCC) power generation system using Aspen Plus: Performance analysis and energetic assessment, *International journal of hydrogen energy*, 46: 22356-2236.
- [5] Song, H., Yang, G., Xue, P., Li, Y., Zou, J., Wang, S., Yang, H. and Chen, H., 2022, Recent development of biomass gasification for H₂ rich gas production, *Applications in Energy and Combustion Science*. 10: 100059.
- [6] Mishra, S. and Upadhyay, R.K., 2021, Review on Biomass Gasification: Gasifiers, Gasifying mediums, and Operational parameters, *Materials Science for Energy Technologies*. 4: 329-340.
- [7] Duan, W., Yu, O., Wang, K., Qin, Q., Hou, L., Yao, X. and Wu, T., 2015, ASPEN Plus simulation of coal integrated gasification combined blast furnace slag waste heat recovery system, *Energy Conversion and Management*. 100: 30-36.
- [8] Wang, T., 2017, The gas and steam turbines and combined cycle in IGCC systems, *Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technologies*. 490-640.
- [9] Supawimon, P., 2013, Simulation and analysis of combined cycle power plant from synthesis gas by biomass gasification, Master thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, 39 p. (in Thai)
- [10] Ge, H., Zhang, H., Guo, W., Song, T. and Shen, L., 2018, System simulation and experimental verification: Biomass-based integrated gasification combined cycle (BIGCC) coupling with chemical looping gasification (CLG) for power generation, *Fuel*. 241: 118-128.
- [11] Izzatie, N.I., Basha, M.H., Uemura, Y., Hashim, M.S.M., Afendi, M. and Mazlan, M.A.F., 2019, Co-pyrolysis of rubberwood sawdust (RWS) and polypropylene (PP) in a fixed bed pyrolyzer, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*. 13: 4636-4647.

- [12] Waiyanate, P., 2016, The effects of microwave absorbers on the torrefaction of highly-moist municipal solid waste (MSW) pellets, pp. 36, In Prapasin, P., and Pattanavibul, A., Comparison study of hydrogen production processes by simulation using ASPEN Plus Program, Department of chemical engineering faculty of engineering, Thammasat University, Pathumthani. (in Thai)
- [13] Deng, N., Zhang, A., Zhang, Q., He, G., Cui, W., Chen G. and Song, C., 2017, Simulation analysis and ternary diagram of municipal solid waste pyrolysis and gasification based on the equilibrium model, Bioresource Technology. 235: 371-379.
- [14] Marcantonio, V., Falco, M.D., Capocelli, M., Bocci, E., Colantoni, A. and Villarini, M., 2019, Process analysis of hydrogen production from biomass gasification in fluidized bed reactor with different separation systems, International Journal of Hydrogen Energy. 44: 10350-10360.
- [15] Antonopoulos, I.S., Karagiannidis, A., Gkoutsoletso, A. and Perkoulidis, G., 2011, Modelling of a downdraft gasifier fed by agricultural residues, Waste Management. 32: 710-718.
- [16] Puig-Gamero, M., Argudo-Santamaria, J., Valverde, J.L., Sánchez, P. and Sanchez-Silva, L., 2018, Three integrated process simulation using, Energy Conversion and Management. 177: 416-427.
- [17] Yin, F., Shah, K., Zhou, C., Tremain, P., Yu, J., Doroodchi, E. and Moghtaderi, B., 2015, Novel calcium-looping-based biomass-integrated gasification combined cycle: Thermodynamic modeling and experimental study, Energy and fuels. 30(3): 1730-1740.