

การวิเคราะห์ก๊าซชีววมวลที่ได้จากแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

Analysis of Producer Gas from Downdraft Gasifier by Using Coconut Shell as Fuel

พงษ์ศักดิ์ ทรัพย์สาร¹ จักรพันธ์ ทองบุญชู² อมาวสี รักรเรือง² ธเนศ ไชยชนะ³ พนิดา กิ่งซุ่น⁴ และจตุพร แก้วอ่อน^{5*}

Pongsak Sabpayasan¹, Jakkraphan Thongbunchoo², Amawasee Rukruang², Tanate Chaichana³,

Panita Kongsune⁴ and Jatuporn Kaew-On^{5*}

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนได้เข้ามามีบทบาทและมีความนิยมมากขึ้น เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น แก๊สเชื้อเพลิงเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทน โดยที่แก๊สเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบหลักคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) แก๊สมีเทน (CH₄) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สอื่นๆ ซึ่งได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่ผลิตได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ด้วยชุดแก๊สซิฟิเคชันแบบการไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง และใช้ช่วงความเร็วอากาศเข้าที่ 7 10 และ 14 m/s ซึ่งผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว มีร้อยละองค์ประกอบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 15.64 17.39 แก๊สไฮโดรเจน (H₂) 15.89 8.47 แก๊สมีเทน (CH₄) 4.77 2.36 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 16.09 และ 18.17 ตามลำดับ โดยช่วงความเร็วอากาศที่ดีที่สุดคือช่วงความเร็วอากาศเข้า 10 m/s ให้ร้อยละประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิฟิเคชันสูงสุดเท่ากับ 57.45 84.59 ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้ 6,307 4,441 kJ/m³ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.58 และ 2.86 kg/h ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการพัฒนาแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สซิฟิเคชัน แก๊สเชื้อเพลิง กะลามะพร้าว

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ ผศ.ดร., สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

⁴ อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

⁵ ผศ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Undergraduate Student, Program in Technology and Energy Management, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Graduate Student, Master Degree Program in Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Asst. Prof. Dr., Program in Renewable Engineering, School of Renewable Engineering, Maejo University, Chiang Mai, 50290

⁴ Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

⁵ Asst. Prof. Dr., Program in Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: +6690-9908704, E-mail address: kaew_on@yahoo.com

Abstract

Renewable energy is widely used at recent time because the trend of fossil fuel price continues to increase. Alternative energy from gasification process can be produced fuel gas that producer gas compositions such as carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and other. This research study is based on analysis producer gas from downdraft gasifier by using coconut shell and coconut shell charcoal with the adjustable air speed at blower outlet 7, 10 and 14 m/s. The experimental result shows that the average producer gas composition of coconut shell and coconut shell charcoal are carbon monoxide (CO) 15.64, 17.39 %, hydrogen (H₂) 15.89, 8.47 %, methane (CH₄) 4.77, 2.36 %, carbon dioxide (CO₂) 16.09 and 18.17 % respectively. The suitable air speed is 10 m/s will be given the highest efficiency of downdraft gasifier are 57.45, 84.59 %, the High Heating Value (HHV) are 6,307, 4,441 kJ/m³, fuel consumption rate are 2.58 and 2.86 kg/h respectively. According to the experimental result, the downdraft gasifier by using coconut shell can be improved as one potential energy of alternative energy in the next future.

Keywords: Gasification Process, Gasifier, Producer Gas, Coconut Shell

บทนำ

ปัจจุบัน โลกเผชิญกับปัญหาด้านพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil) ซึ่งนับวันยังมีปริมาณเหลือใช้ลดลง การเพิ่มขึ้นของประชากร การเติบโตทางเศรษฐกิจ และอัตราการขยายตัวของเขตเมืองทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแนวโน้มทางด้านราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ต้นทุนด้านพลังงานเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้จะต้องมีความเหมาะสมและไม่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานในระยะยาว จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดให้การสำรวจและหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เพื่อมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่าพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้งานได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ลม แสงอาทิตย์ น้ำ และชีววมวล เป็นต้น

ชีววมวลก่อนข้างมีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเชื้อเพลิงชีววมวลเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จากการสำรวจข้อมูลทางสถิติการเกษตรของประเทศไทย พบว่าไทยเป็นประเทศผู้ผลิตมะพร้าวที่สำคัญ 1 ใน 10 ของโลก โดยที่ผลผลิตมะพร้าวในปี 2557 ประมาณ 0.97 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.61 ของมะพร้าวรวมทั้งโลก สำหรับภาคใต้จะมีพื้นที่ในการปลูกมะพร้าวเยอะที่สุดในประเทศคิดเป็นร้อยละ 52.47 ของพื้นที่การปลูกมะพร้าวในประเทศ ปริมาณพื้นที่การปลูกมะพร้าวในภาคใต้ ได้แก่ หมู่พรสุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ [1] จึงทำให้เกิดปัญหาจากมะพร้าวส่วนที่ไม่ต้องการเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกะลามะพร้าวมีเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีววมวลซึ่งมะพร้าว 1 ลูก ประกอบด้วยกะลาร้อยละ 15 [2]

การนำเชื้อเพลิงชีววมวลมาเผาไหม้โดยตรงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศซึ่งส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Technology) เป็นการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงชีววมวลซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโดยการจำกัดอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สเชื้อเพลิง

ที่เกิดขึ้นเรียกว่า โพรคิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH₄) และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) โพรคิวเซอร์แก๊สที่มีค่าความร้อนปานกลางสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งและเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแอมโมเนีย ส่วนโพรคิวเซอร์แก๊สที่มีค่าความร้อนต่ำจะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้ร่วมกับเครื่องยนต์แก๊สหรือระบบหม้อไอน้ำ [3-5]

ทั้งนี้ การนำเชื้อเพลิงชีววมวลมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อนยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) ได้มีการตั้งเป้าหมายการใช้ชีววมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า 5,570 เมกะวัตต์ (MW) และความร้อน 22,100 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภายในปี พ.ศ. 2579 [6]

การนำเทคโนโลยีมาเพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานจึงมีความสำคัญและส่งผลให้การใช้ชีววมวลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาองค์ประกอบโพรคิวเซอร์แก๊สที่ได้จากแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงโดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้โพรคิวเซอร์แก๊สในระบบอื่นๆ รวมทั้งตอบสนองต่อแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ของประเทศต่อไป

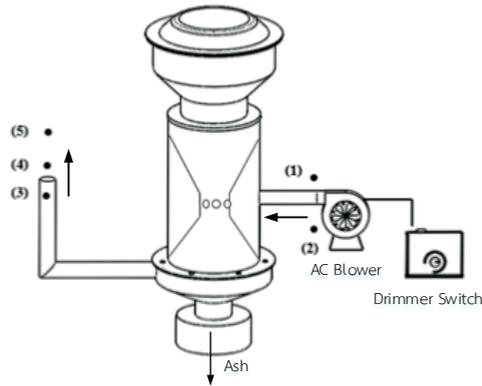
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1.1 ระบบผลิตโพรคิวเซอร์แก๊สจะใช้เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงที่เติมเชื้อเพลิงได้เพียงครั้งละ 7 กิโลกรัม (Batch Downdraft Gasifier) ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้พัดลม (AC Blower) ต่อกับชุดปรับความเร็วลม (Dimmer Switch) เพื่อป้อนอากาศเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ ระยะเวลาในการเกิดโพรคิวเซอร์แก๊สประมาณ 15-35 นาที สามารถทดสอบการเกิดโพรคิวเซอร์แก๊สได้โดยการจุดติดไฟบริเวณท่อทางออกของแก๊สเมื่อควันบ้ำเริ่มจางลง บริเวณภายนอกห้องเผาไหม้จะมีช่องสำหรับดูเปลวไฟ ช่องอากาศเข้า และช่องระบายก๊าซถ้าเมื่อหยุดใช้งาน

1.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดความร้อน (Hot Wire Anemometer) รุ่น Kimo VT 100 นำมาใช้เพื่อวัดความเร็วของโพรคิวเซอร์แก๊สและความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ ซึ่งสามารถวัดความเร็วอากาศในช่วง 0.15 - 30 m/s ความละเอียด 0.1 m/s โดยจะวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลางของท่อทางออกพัดลมอัดอากาศและกึ่งกลางท่อทางออกของโพรคิวเซอร์แก๊ส

1.3 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) รุ่น Testo 350-XL ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของโพรคิวเซอร์แก๊ส ที่ติดตั้งบริเวณท่อทางออกของแก๊ส การทดลองนี้ จะใช้ความเร็วลมป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ 3 ค่า ได้แก่ 7 10 และ 14 m/s



ภาพที่ 1 ไคอะแกรมของระบบผลิต โปรคิวเซอร์แก๊สในเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงและตำแหน่งเก็บข้อมูลในการทดลอง (1) ความเร็วลม (2) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (3) อุณหภูมิของแก๊สและความเร็วแก๊ส (4) องค์กรประกอบของแก๊ส (5) อุณหภูมิเปลวไฟ

2. การเตรียมเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว การเตรียมเชื้อเพลิงสามารถทำได้ดังนี้

2.1 ทำการลดความชื้นเชื้อเพลิง โดยทำการอบในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ได้เชื้อเพลิงมีความชื้นมาตรฐานแห้งน้อยกว่า 15 %

2.2 ลดขนาดเชื้อเพลิงให้มีขนาดประมาณ 10-15 เซนติเมตร ด้วยวิธีการใช้ค้อนทุบ ซึ่งขนาดดังกล่าวเหมาะสมกับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่ใช้มีขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างเชื้อเพลิง (ก) กะลามะพร้าวสด (ข) ถ่านกะลามะพร้าว

3. การประเมินประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง

3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์หาได้จากความร้อนที่ได้จากแก๊สเทียบกับความร้อนที่ใส่เข้าไป สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [8]

$$\eta_{th} = \frac{Q_{gas} \times HHV_{gas}}{FCR_{fuel} \times HHV_{fuel}} \times 100 \quad (1)$$

- เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
 Q_{gas} คือ อัตราการไหลของแก๊ส (m^3/s)
 FCR_{fuel} คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/s)
 HHV_{gas} คือ ค่าความร้อนของแก๊ส (kJ/m^3)
 HHV_{fuel} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ค่าความร้อนของชีววมวลซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบของแก๊ส CO_2 และ CH_4 สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [9]

$$HHV_{gas} = \sum_{i=1}^n H_i X_i \quad (2)$$

- เมื่อ H_i คือ ค่าความร้อนของโปรคิวเซอร์แก๊ส (CO_2 และ CH_4)
 X_i คือ สัดส่วน โดยปริมาณของโปรคิวเซอร์แก๊ส

อัตราการไหลของแก๊ส (Gas Flow Rate) ภายในท่อ มีหน่วยเป็น m^3/s สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{gas} = A \times V \quad (3)$$

- เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อแก๊ส (m^2)
 V คือ ความเร็วของแก๊ส (m/s)

อัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate, FCR) มีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$FCR_{fuel} = \frac{m_{fuel}}{t} \quad (4)$$

- เมื่อ m_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมด (s)

3.2 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [10]

$$A/F_{Ratio} = \frac{\dot{m}_{air}}{FCR_{fuel}} \quad (5)$$

- เมื่อ \dot{m}_{air} คือ อัตราไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s) หาได้จาก

$$\dot{m}_{air} = \rho \times A \times V = \rho \times Q_{gas} \quad (6)$$

- เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (kg/m^3)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว

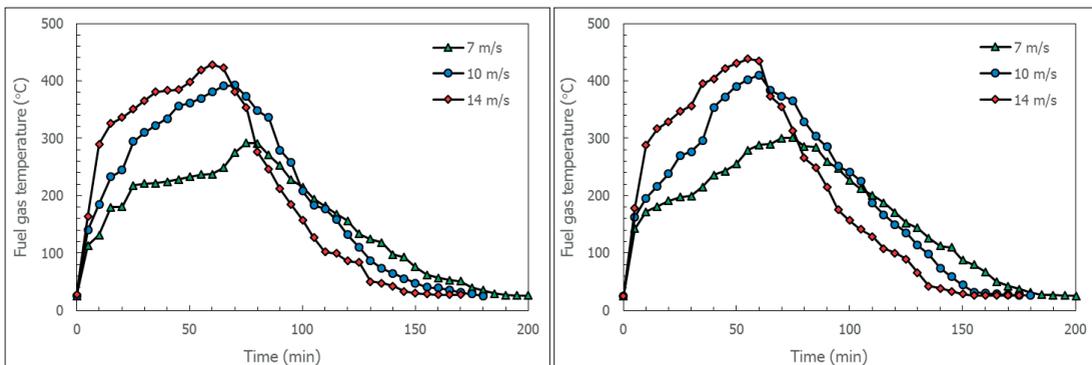
| เชื้อเพลิง | ความเร็ว อากาศ (m/s) | ความชื้น มาตรฐานแห้ง (%) | เถ้า (%) | สารระเหย (%) | ถ่าน (%) | HHV _{fuel} * (kJ/kg) |
|-----------------|----------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------|----------------------------------|
| กะลามะพร้าวสด | 7 | 11.87 | 66.93 | 99.04 | 1.63 | 20,208.72 |
| | 10 | | 58.77 | 99.16 | 1.89 | |
| | 14 | | 64.27 | 99.08 | 1.65 | |
| ถ่านกะลามะพร้าว | 7 | 10.23 | 63.26 | 99.10 | 1.43 | 31,212.64 |
| | 10 | | 48.12 | 99.31 | 1.46 | |
| | 14 | | 45.63 | 99.35 | 1.50 | |

*ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (High Heating Value, HHV) กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว [7]

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊ส

ในการทดลองใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง พบว่า เมื่อปรับความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์เป็น 7 10 และ 14 m/s จะทำให้อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊สจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยที่อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊สเมื่อใช้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสด ได้แก่ 291.8 392.2 และ 428.7 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าว ได้แก่ 300.9 409.9 และ 438.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิของกะลามะพร้าวสดจะต่ำกว่าถ่านกะลามะพร้าว เนื่องจากกะลามะพร้าวสดมีความหนาแน่นสูงกว่า จึงทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวของเชื้อเพลิง ได้ช้ากว่า ส่งผลให้เกิดการกลั่นตัวในโซนไพโรไลซิสได้น้อยกว่า และใช้เวลาในการระเหยความชื้นออกจากเชื้อเพลิงนานกว่าถ่านกะลามะพร้าว



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโปรคิวเซอร์แก๊สและเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วลม 7 10 และ 14 m/s
(ก) กะลามะพร้าวสด (ข) ถ่านกะลามะพร้าว

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊ส

องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวมีสัดส่วนของแก๊สติดไฟเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ที่ความเร็วอากาศ 10 m/s จะให้ปริมาณของโปรคิวเซอร์แก๊สสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยที่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดจะมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 16.54 15.12 และ 4.82 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 17.67 8.07 และ 2.52 ตามลำดับ การเพิ่มความเร็วลมทางเข้าเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนทำให้การเผาไหม้ในโซนการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อเข้าสู่โซนรีดักชันจะทำให้สามารถสังเคราะห์แก๊สติดไฟได้มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

| เชื้อเพลิง | ความเร็วอากาศ (m/s) | องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊ส (%) | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | CO | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ |
| กะลามะพร้าวสด | 7 | 15.62 | 14.55 | 4.82 | 15.21 |
| | 10 | 16.54 | 15.12 | 5.09 | 16.48 |
| | 14 | 16.79 | 14.45 | 4.27 | 17.97 |
| ถ่านกะลามะพร้าว | 7 | 17.18 | 8.22 | 2.46 | 7.84 |
| | 10 | 17.67 | 8.07 | 2.52 | 8.67 |
| | 14 | 17.32 | 8.08 | 2.11 | 8.89 |

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเออร์จากเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าว โดยมี ร้อยละประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 26.67-50.97 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวอยู่ในช่วง 12.01-19.40 เนื่องจากกะลามะพร้าวสดมีความหนาแน่นมากกว่าถ่านกะลามะพร้าวซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยพบว่าความเร็วลมป้อนเข้าที่ 10 m/s ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 50.97 และ 19.40 ซึ่งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 23.57 และ 21.26 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเออร์และคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

| เชื้อเพลิง | ความเร็วอากาศ (m/s) | ประสิทธิภาพ (%) | A/F Ratio | อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h) | HHV _{gas} (kJ/m ³) |
|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|---------------------------------|--|
| กะลามะพร้าวสด | 7 | 26.67 | 17.51 | 2.43 | 5,996 |
| | 10 | 50.97 | 23.57 | 2.58 | 6,307 |
| | 14 | 47.96 | 29.35 | 2.90 | 5,906 |
| ถ่านกะลามะพร้าว | 7 | 12.01 | 17.00 | 2.50 | 4,373 |
| | 10 | 19.40 | 21.26 | 2.86 | 4,441 |
| | 14 | 18.64 | 27.33 | 3.11 | 4,223 |

สรุปผลการทดลอง

องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลงโดยใช้กะลามะพร้าวสด และถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ความเร็วอากาศป้อนเข้าเตาแก๊สซิฟิเออร์ 10 m/s ให้โปรคิวเซอร์แก๊สสูงสุดประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) โดยที่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดจะมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 16.54 15.12 และ 4.82 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 17.67 8.07 และ 2.52 ตามลำดับ เตาแก๊สซิฟิเออร์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 50.97 และ 19.40 มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 23.57 และ 21.26 ตามลำดับ และมีค่าความร้อนของโปรคิวเซอร์แก๊สสูงสุดเท่ากับ 6,307 kJ/m³ และ 4,441 kJ/m³ ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. (2016). **Agricultural Statistics of Thailand, 2016** (Online). Retrieved 17 March 2017, from <http://www.oae.go.th>.
- [2] Industrial Technology Service Center. (n.d.). **Coconut and Poconut Products Processes** (Online). Retrieved 14 June 2017, from <http://www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload5.html>.
- [3] Jatuporn, K., Jompob, W., Marina, M and Suwit, P. (2005). "Biomass Energy Conversion: Gasification", **Thaksin University Journal**. 2(2), 56-67.
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2015). **Alternative Energy Development Plan: AEDP2015**. Retrieved 14 June 2017, from <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf>
- [5] Ismail, T.M. and El-Salam, M.A. (2017). "Parametric Studies on Biomass Gasification Process on Updraft Gasifier High Temperature Air Gasification", **Applied Thermal Engineering**. 112, 1460-1473.
- [6] Wang, X., Niu, B., Deng, S., Liu, Y. and Tan, H. (2014). "Optimization Study on Air Distribution of an Actual Agriculture Up-draft Biomass Gasification Stove", **Energy Procedia**. 61, 2335-2338.
- [7] Department of Industrial Works. (2012). **Guideline and Criteria for Wastes for Processing as Fuel Rods and Binder Blocks** (Online). Retrieved 14 June 2017, from <https://books.google.co.th/books?id=evlmlwEACAAJ>.
- [8] Chawdhurya, M.A. and Mahkamovb, K. (2011). "Development of a Small Downdraft Biomass Gasifier for Developing Countries", **Journal of Scientific Research**. 1, 51-64.
- [9] Yothapakdee, J. (2013). **Performance Report on Cooperative Education Maejo University** (Online). Retrieved 17 March, 2017, from http://aookaui.fireexit.co.th/MJUnew/course_detail/22/Jidapa%20Yothapakdee.pdf.
- [10] Puchaporn, N., Nikran, H., Kittikorn, S., and Akkarin, I. (2010). "Performance Assessment of Downdraft Gasifier Operated on Agricultural Residues", In **The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference**. Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.