



การออกแบบระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้
ในกระบวนการรีดักชันสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง

Design of heat-recirculating system that affect combustion
reaction in reduction zone for downdraft gasifier.

นางสาวนัตยา เจริญสุข

นายธนกฤต ภัทรเกษวิทย์

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณจากเงินกองทุนส่งเสริมการวิจัย ปี พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

หัวข้องานวิจัย การออกแบบระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้
 ในกระบวนการรีดักชันสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง

ชื่อนักวิจัย นางสาวนัตยา เจริญสุข
 นายธนกฤต ภัทรเกษวิทย์

สาขา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิง ชีวมวลจากกะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการใช้งานแล้วจากการก่อสร้าง ความชื้นของชีวมวลไม่เกิน 15 % ลักษณะของเตาเป็นถังทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm สูง 134 cm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดเท่ากับ 7 cm โดยจะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง เช่น อัตราการไหลของอากาศและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าประกอบต่างๆของแก๊สชีวมวลด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

จากการทดสอบโดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศในช่วง $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตแก๊สชีวมวลจากกะลามะพร้าวคือ $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีองค์ประกอบของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุดคือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ 34.97 % แก๊สมีเทน 6.41 % และแก๊สไฮโดรเจน 21.65 % ส่วนอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตแก๊สชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสคือ $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีองค์ประกอบของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุดคือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ 34.50 % แก๊สมีเทน 5.49 % และแก๊สไฮโดรเจน 20.96 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาการออกแบบระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิบัติการเผาไหม้
ในกระบวนการรีดักชันสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง

สำเร็จลุล่วงได้ ผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคลากรหลายๆท่าน และสาขา
วิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความอนุเคราะห์ครุภัณฑ์

ในการนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณแผนกวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะ
วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ช่วยสนับสนุน
งานวิจัยเงินงบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2558

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้ มีคุณค่าและประโยชน์ทางด้านวิจัยแก่ผู้
ต้องการศึกษาข้อมูลต่อไป

สาวพ.
คณะผู้จัดทำ
มิถุนายน 2558
มทร.สุวรรณภูมิ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทคัดย่อ | 2 |
| กิตติกรรมประกาศ | 3 |
| บทที่ 1 บทนำ | 6 |
| 1.1 หลักการและเหตุผล | 6 |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 7 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | 8 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย | 8 |
| 1.5 วิธีการวิจัย | 9 |
| 1.6 ระยะเวลาและแผนดำเนินโครงการวิจัย | 9 |
| 1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย | 11 |
| 1.8 แผนการใช้จ่ายเป็นงบประมาณ | 11 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิเคราะห์ | 12 |
| 2.1 ชีวมวล | 12 |
| 2.2 กระบวนการและปฏิกิริยาการผลิตแก๊สซิฟิเคชัน | 15 |
| 2.3 ชนิดและลักษณะของเตาผลิตแก๊สซิฟิเคชัน | 16 |
| 2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล | 20 |
| 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง | 22 |
| 2.6 การใช้ประโยชน์จากแก๊สเชื้อเพลิง | 23 |
| 2.7 สิ่งเจือปนแก๊สชีวมวล | 23 |
| 2.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ | 24 |
| 2.9 เครื่องวิเคราะห์แก๊สและความร้อนเชื้อเพลิง | 26 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน | 30 |
| 3.1 หลักการออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง | 30 |
| 3.2 การออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง | 31 |
| 3.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 36 |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการทดลอง | 39 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล | 39 |
| 4.2 ผลการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล | 50 |
| 4.3 ผลการผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ | 50 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|-----------------------------|------|
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 53 |
| 5.1 สรุปผล | 53 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 53 |
| เอกสารอ้างอิง | 54 |

สวพ.
มทร.สุวรรณภูมิ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ผลพลอยได้ที่สำคัญที่นอกเหนือจากผลผลิตทางการเกษตรคือวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว แกลบ กากอ้อย กากปาล์ม เป็นต้น ซึ่งปริมาณวัสดุที่เหลือทิ้งดังกล่าวจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตร

ตารางที่ 1.1 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552 [13]

| ชนิด | ผลผลิต (ton) | ชีวมวล | ปริมาณชีวมวลเหลือใช้(ton) | ค่าความร้อน (MJ/kg) |
|-------------|--------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| อ้อย | 66,816,446 | ชานอ้อย | 4,190,794.31 | 14.40 |
| | | ยอดและใบ | 13,439,727.21 | 17.39 |
| ข้าว | | แกลบ | 3,510,598.90 | 14.27 |
| | | ฟางข้าว | 25,646,547.96 | 10.24 |
| ถั่วเหลือง | 190,480 | ต้น/เปลือก/ใบ | 170,383.17 | 19.44 |
| ข้าวโพด | 4,616,119 | ซัง | 584,539.15 | 18.04 |
| | | ลำต้น | 2,758,777.36 | 18.04 |
| ปาล์มน้ำมัน | 8,162,379 | ทะลายเปล่า | 1,024,868.34 | 17.86 |
| | | ใบ | 162,970.06 | 17.62 |
| | | กะลา | 38,959.04 | 18.46 |
| | | ก้าน | 2,203,740 | 9.83 |
| มันสำปะหลัง | 30,088,025 | ลำต้น | 2,439,236.19 | 18.42 |
| | | เหง้า | 1,834,466.88 | 18.42 |
| มะพร้าว | 1,380,980 | ก้าน | 628,990.82 | 15.40 |
| | | กาบ | 464,250.95 | 16.23 |
| | | กะลา | 128,936.58 | 17.93 |

พลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงของมนุษย์ พลังจากชีวมวลจัดว่าเป็นแหล่งพลังงานเริ่มแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้ในการหุงต้มอาหารและให้ความอบอุ่น เมื่อโลกมีการพัฒนาสามารถค้นพบและนำเชื้อเพลิงฟอสซิลจากพิภพได้ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก การใช้ชีวมวลจึงได้ลดความสำคัญลงเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีความสะดวกและประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากกว่า แต่ปัจจุบันเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณจำกัดจึงทำให้เกิดวิกฤตพลังงานขึ้น เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นตัวแปรสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ และมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากเศรษฐกิจไทยมีการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเศษวัสดุ ชีวมวล โดยใช้เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง (Down draft Gasifier) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับทาร์ที่เกิดขึ้นโดยออกแบบเตาให้มีคอคอด (Throat) และจัดวางคอคอดในโซนเผาไหม้เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของโซนนี้ให้มีการส่งผ่านความร้อนในคอคอด นอกจากนี้ยังออกแบบเตาผลิตแก๊สให้มีการส่งถ่ายความร้อนตั้งแต่โซนเผาไหม้ (Combustion or Oxidation zone) ไปจนถึงโซนอบแห้ง (Drying zone) เชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการนี้คือ ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้งานแล้วจากงานก่อสร้าง และกะลามะพร้าว เพื่อมุ่งเน้นในการลดปริมาณเชื้อเพลิงในภาคครัวเรือน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mechanical Wood Products Branch (1986) Wood gas as engine fuel ได้ออกแบบระบบ ผลิตแก๊สแบบไหลลงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊ส โดยการออกแบบให้เตาให้มีคอคอด (Throat) และจัดวางคอคอดในโซนเผาไหม้ (Combustion or Oxidation zone) เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของโซนนี้ให้มีการส่งผ่านความร้อนในคอคอดนี้เพียงจุดเดียว โดยให้ combustion products ไหลผ่านในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูง

สุรีย์ จรุงศักดิ์ (2543) ได้ศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิกโดยใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง จากการทดลองผลิตแก๊สที่อัตราการไหลอากาศต่างกัน พบว่าที่อัตราการไหลอากาศ $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3.83 kg/h, 5.33 kg/h, 6.17 kg/h และให้ค่าความร้อนเท่ากับ 3.13 MJ/Nm^3 , 3.26 MJ/Nm^3 , 3.52 MJ/Nm^3 ตามลำดับ

วิภาวรรณ แสงสง่า (2544) ได้ทำการเปรียบเทียบการผลิตเซรามิก โดยใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากเตาผลิตแก๊สแบบ UpDraft และ Downdraft เตาผลิตแก๊สที่ใช้ในการทดลองมีความจุ 0.309 m^3 จากการทดลองผลิตแก๊สที่อัตราการไหลอากาศต่างกัน 3 ระดับพบว่าที่อัตราการไหลอากาศ $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 9 kg/h, 10.79

kg/h, 18 kg/h และให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4072.32 kJ/Nm^3 , 4391.87 kJ/Nm^3 , 3857.35 kJ/Nm^3 ตามลำดับ

รัตน์ เลहनนิช (2550) ได้ทำการออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลงสำหรับการอบแห้งปุ๋ย จากการทดสอบพบว่าเตาชีวมวลมีศักยภาพในการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอบปุ๋ยได้ถึง 45.7 % เมื่อเทียบกับเตาฟืน และแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้ให้ความร้อนประมาณ $770.66 - 878.74 \text{ kw}$ มีประสิทธิภาพทางความร้อนประมาณ 76.24 % - 86.93 %

ไชยวัฒน์ จวนทอง (2553) ได้ศึกษาการออกแบบเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สชีวมวลจากไบโอดีเซลโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เตาปฏิกรณ์ที่ออกแบบนี้เป็นชนิดที่ให้แก๊สชีวมวลไหลลงใช้ไบโอดีเซลอัดแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 49 mm เป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 3.0 m/s ขนาดความยาวแท่งเชื้อเพลิง 30 mm ให้ปริมาณแก๊สชีวมวลมากที่สุดคือ $2.46 \text{ Nm}^3/\text{kg}$

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของ Producer Gas จากเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง (Down Draft Gasifier)
2. เพื่อออกแบบและสร้างเตาผลิตแก๊สชีวมวลโดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้งานแล้วจากงานก่อสร้างและกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง
3. ประยุกต์ใช้ระบบเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันต้นแบบไปใช้ในการหุงต้มในครัวเรือน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง(Down Draft Gasifier) อากาศถูกนำเข้ามาทางด้านข้าง
2. ผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบคือ ไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้งานแล้วจากงานก่อสร้าง และกะลามะพร้าว
3. วิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้งานแล้วจากงานก่อสร้าง และกะลามะพร้าวโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography
4. แก๊สที่ผลิตได้ใช้ในการหุงต้มในครัวเรือน

1.5 วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินงาน (Methodology) แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยมีขั้นตอนเตรียมข้อมูล การออกแบบ ทดสอบระบบ และวิเคราะห์ผล สามารถอธิบายการดำเนินงานดังนี้

1.5.1 เตรียมข้อมูล ข้อมูล โดยการศึกษาถึงแนวคิดในการออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง (Down Draft Gasifier) ในส่วนของระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการรีดักชัน

1. การศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ออกแบบเชิงแนวคิด อุปกรณ์ทดสอบ
3. สร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง
4. ทดสอบและวิเคราะห์ระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการรีดักชันสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง

1.5.2 ทดสอบแบบจำลองและวิเคราะห์ผล

โดยการทดสอบระบบการหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการรีดักชัน ศึกษาคุณสมบัติของ Producer Gas จากเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง (Down Draft Gasifier) และวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการรีดักชัน

1.6 ระยะเวลาและแผนดำเนินโครงการวิจัย

ระยะเวลาและแผนดำเนินโครงการวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ช่วงสำหรับดำเนินงานวิจัยกิจกรรมการดำเนินการในทุกๆ 1 เดือน (Gantt chart) สามารถแสดงได้ในตารางผลงานในแต่ละช่วงเวลาแผนการทำงานตลอดโครงการ 11 เดือน ตามปีงบประมาณ 2558 ดังนี้

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างมูลค่าแก่วัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการทางการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลแบบไหลลง
3. นำแก๊สที่ได้ไปใช้ในครัวเรือน
4. เป็นการอนุรักษ์พลังงานโดยการใช้พลังงานทดแทน

1.8 แผนการใช้จ่ายเป็นงบประมาณ

งบประมาณทั้งโครงการ 30,000 บาท ในเวลา 12 เดือน

การค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตามโครงการวิจัยสำหรับวงเงินที่ได้รับในปีงบประมาณ พ.ศ.

2558

| รายการ | วงเงิน งบประมาณ | ต.ค.-ธ.ค. | ม.ค.-มี.ค. | เม.ย.-มิ.ย. | ก.ค.-ก.ย. |
|---|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------|
| งบบุคลากร | - | - | - | - | - |
| งบดำเนินการ 27,000 | | | | | |
| ค่าจ้างเหมาสำรวจข้อมูลเบื้องต้น | 1,000 | 1,000 | | | |
| ค่าจ้างเหมาออกแบบและสร้างระบบของอุปกรณ์ทดสอบ | 17,000 | | 17,000 | | |
| ค่าจ้างเหมาในการติดตั้งระบบเครื่องมือวัด | 5,000 | | | 5,000 | |
| ค่าจ้างเหมาวัสดุเชื้อเพลิง | 1,500 | | | | |
| ค่าจ้างพิมพ์เอกสารและเข้าเล่ม | 1,500 | | | | |
| ค่าวัสดุสำนักงาน เช่น CD กระดาษ หมึกพิมพ์ ฯลฯ | 1,000 | | | | |
| เงินสมทบ มทร.สว 5% | 1,500 | 1,500 | | | |
| เงินสมทบ วิจัย 5% | 1,500 | 1,500 | | | |
| รวมเงิน | 30,000 | 4,000 | 17,000 | 5,000 | |

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนโดยใช้อากาศในการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับชีวมวล กระบวนการแปรสภาพแก๊สเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลางของกระบวนการเช่น อากาศ ออกซิเจนหรือไอน้ำ ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้โดยตรง โดยการเผาไหม้โดยตรงเป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในคาร์บอนของชีวมวลไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยแก๊สที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งาน

2.1 ชีวมวล(Biomass)

ชีวมวล หมายถึง วัสดุอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ ชีวมวลเกิดขึ้นจากพืชหรือสิ่งมีชีวิตที่เติบโตผ่านการสังเคราะห์แสง โดยที่พืชสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) เคมีที่เกิดขึ้นจะกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และทำให้เกิดโครงสร้างของ ชีวมวล

ชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือวงจรของพืชที่มีระยะเวลาสั้น ต่างจากน้ำมันหรือถ่านหินที่ต้องอาศัยการทับถมกันเป็นเวลาหลายล้านปี นอกจากนี้ชีวมวลสามารถผลิตได้ภายในประเทศ เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายชีวมวล และยังช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วยข้อดีที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมคือการใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

2.1.1 ประเภทของชีวมวล

ชีวมวลซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อการแปรเป็นพลังงานสามารถจัดแบ่งได้ 5 ประเภทตามลักษณะของแหล่งที่มา ได้ดังนี้

- 1) เชื้อเพลิงชีวมวลได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว เมล็ดธัญพืช ข้าวโพด กากมันสำปะหลัง เปลือกถั่วลิสง เปลือกมะพร้าว เมล็ดฝ้าย เป็นต้น
- 2) เชื้อเพลิงชีวมวลได้จากอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อยจากกระบวนการผลิตน้ำตาล กากสับปรดโรงงานสับปรดกระป๋อง
- 3) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากสิ่งที่เหลือใช้จากคนและสัตว์ เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากเทศบาลและมูลสัตว์ เป็นต้น
- 4) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากน้ำซึ่งจัดเป็นประเภทเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง ได้แก่ สาหร่าย และผักตบชวา เป็นต้น
- 5) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากส่วนเหลือของไม้ เช่น เศษไม้ กิ่งไม้ เปลือกไม้และขี้เลื่อย

2.1.2 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลมีวิธีการวัดอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

- 1) ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึง การนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อกิโลกรัม

2) ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัมมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9\text{H} + \text{M}) \quad (2.1)$$

หรือ

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9\text{H} + \text{M}) \quad (2.2)$$

| | | | |
|-------|-----|-----|--|
| เมื่อ | HHV | คือ | ค่าความร้อนสูง, kJ/kg |
| | LHV | คือ | ค่าความร้อนต่ำ, kJ/kg |
| | H | คือ | ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล |
| | M | คือ | ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล |

3) ค่าความร้อนแห้ง หรือ Dry Heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัมเพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนแห้ง ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating value} = \frac{\text{HHV}}{(1-\text{M}/100)} \quad (2.3)$$

2.1.3 ปริมาณความชื้นของชีวมวล

เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยไม่เท่ากัน ปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงนี้อาจมีอยู่แล้วในธรรมชาติ เช่นความชื้นที่มีอยู่ในไม้ หรือเป็นความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือเป็นความชื้นที่เชื้อเพลิงดูดเข้าไปในระหว่างที่เก็บ ใน Down draft gasifier นั้น ความชื้นของเชื้อเพลิงจะถูกกำจัดไปในช่วงของ Pyrolysis zone ซึ่งอยู่เหนือ Combustion zone แต่ถ้าเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงมากเกินไป ความชื้นจะยังคงเหลืออยู่เมื่อเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ลงไปถึง Combustion zone ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก ความชื้นเหล่านั้นจะระเหยกลายเป็นไอน้ำปนเข้าไปกับแก๊ส

ผลเสียของเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงนั้น นอกจากจะทำให้อุณหภูมิ Combustion zone ต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้แก๊สที่ได้มีค่าความร้อนต่ำลงไปด้วยไอน้ำที่ปนอยู่ในแก๊สเชื้อเพลิงจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะอยู่บนชิ้นเชื้อเพลิง หลังจากดับเตาหยดน้ำเหล่านี้จะทำให้การจุดเตาอีกครั้งต้องใช้เวลามากกว่าปกติเพราะต้องใช้เวลาระเหยน้ำดังกล่าว

ตารางที่ 2.1 ค่าความชื้นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [1]

| ชนิดของเชื้อเพลิง | ค่าความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
|------------------------|--------------------------------------|
| ไม้ฟืน (พร้อมที่จะใช้) | 15-25 |
| ไม้ฟืน (ตัดมาใหม่ๆ) | สูงกว่า 60 |
| ถ่านไม้ | 3-5 |
| พีท | 20-25 |
| แอนทราไซต์ | 5 |
| กะลามะพร้าว(ตากแห้ง) | 5 |
| ไม้ยูคาลิปตัส(ตากแห้ง) | 14 |

2.1.3.1 การหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบกับมวลวัสดุของชิ้นหรือแห้ง ความชื้นในเนื้อวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

- 1) ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{(w - d)}{w} \quad (2.4)$$

- 2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \quad (2.5)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %

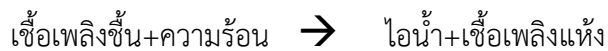
w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีน้ำ, kg

2.2 กระบวนการและปฏิกิริยาการผลิตแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process)

2.2.1 กระบวนการอบแห้ง (Drying Process)

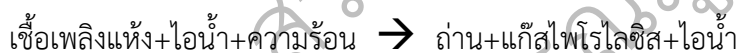
คือกระบวนการระเหยความชื้นออกจาก เชื้อเพลิงแข็ง โดยใช้ความร้อนที่ผ่านมาจากโซนไพโรไลซิส ไอน้ำ และเชื้อเพลิงแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้ง จะลงไปสู่โซนไพโรไลซิส ซึ่งอยู่ในโซนถัดไปด้านล่าง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งแสดงได้ดังนี้



ช่วงอุณหภูมิในโซนอบแห้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถกำหนดได้จากการ วิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis) สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีอุณหภูมิ ต่ำกว่า 200 °C ความร้อนที่ใช้ในโซนการอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงแข็ง

2.2.2 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process)

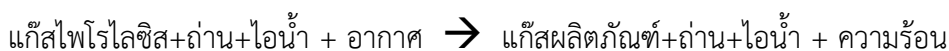
คือกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารระเหยที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแห้ง จะถูกระเหยสลายออกมาจากเชื้อเพลิงแข็งด้วยความร้อนที่ได้จากโซนการเผาไหม้ที่อยู่บริเวณด้านล่างของโซนไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ไพโรไลซิสคือ ถ่าน และแก๊สไพโรไลซิส เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สอีเทน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสแสดงได้ดังนี้



แก๊สไพโรไลซิสและถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิส จะใช้สำหรับกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานความร้อนในโซนการเผาไหม้ ช่วงอุณหภูมิในโซนไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถกำหนดได้จากการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis) สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีอุณหภูมิ ระหว่าง 200°C - 600 °C

2.2.3 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion or Oxidation Process)

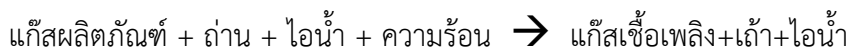
แก๊สไพโรไลซิสและถ่านที่ผ่านเข้ามาในโซนการเผาไหม้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศที่จ่ายเข้าสู่โซนการเผาไหม้ เพื่อผลิตพลังงานความร้อนสำหรับใช้ในโซนปฏิกิริยาอื่น เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะได้มาจากโซนการเผาไหม้เพียงแหล่งเดียว และมีอุณหภูมิประมาณ 1000°C ดังนั้นการออกแบบโซนการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นส่วนสำคัญ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้แสดงได้ดังนี้



2.2.4 กระบวนการรีดักชัน (Reduction Process)

หลังจากผ่านโซนการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ที่เข้าสู่โซนรีดักชันประกอบด้วยถ่าน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ แก๊สไนโตรเจนที่เข้ามาพร้อมกับอากาศจากเชื้อเพลิงแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไพโรไลซิสที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ ในโซนการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากโซนการเผาไหม้จะทำปฏิกิริยาต่อในโซนรีดักชัน เพื่อผลิตแก๊สที่สามารถเผาไหม้

ได้ซึ่งแก๊สที่ออกจากโซนรีดักชันจะมีองค์ประกอบของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทนซึ่งมีความเข้มข้นเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง กระบวนการในโซนรีดักชันมีอุณหภูมิระหว่าง 600 °C - 900 °C และสามารถแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งแสดงได้ดังนี้



2.3 ชนิดและลักษณะของเตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์

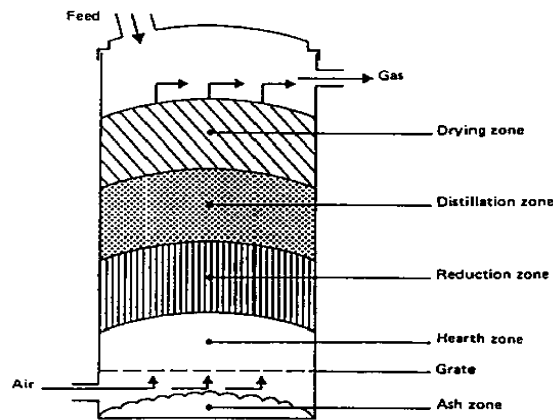
2.3.1 ชนิดของเตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์

เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้น ดังนั้นการออกแบบเตาผลิตก๊าซจากชีวมวล แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของการทำงาน วัตถุประสงค์ที่ใช้ และคุณสมบัติของก๊าซที่ได้ สามารถแบ่งเตาผลิตก๊าซชีววมวลออกเป็น 4 แบบดังนี้

1) เตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier)

เตาประเภทนี้เป็นเตาเผาที่ผลิตใช้เริ่มแรกและเป็นแบบง่ายที่สุด เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา และอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่างบริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้น ซึ่งเราเรียกบริเวณส่วนนี้ว่าโซนสันดาป (Combustion zone) หรือฮาร์ทโซน (Hearth zone) เมื่ออากาศผ่านเข้าไปบริเวณโซนสันดาปจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซร้อนที่ผ่านจากโซนเผาไหม้ จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งผ่านไปยังโซนรีดักชัน ซึ่งเป็นโซนที่มีปริมาณของคาร์บอนมากเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นแก๊สที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของชีวมวล และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200°C - 500 °C หลังจากนั้นแก๊สจะไหลเข้าสู่ชั้นของชีวมวลที่ขึ้น เนื่องจากแก๊สยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านั้น ทำให้แก๊สที่ออกจากเตาเผาชีวมวลมีอุณหภูมิต่ำลง

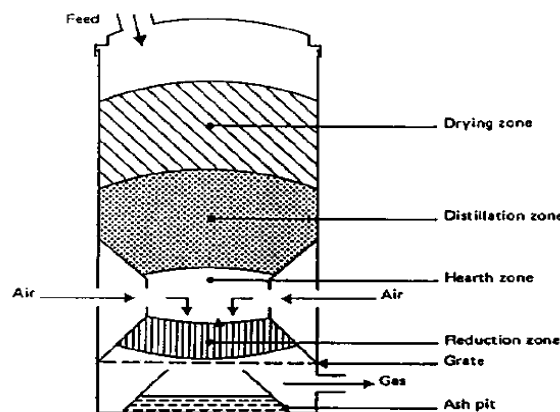
เตาเผาประเภทนี้จะไม่ซับซ้อน และแก๊สชีววมวลที่ได้มีอุณหภูมิไม่สูง แต่มีข้อจำกัดคือ แก๊สที่ผลิตได้จะมีสารเคมีประเภทน้ำมัน และน้ำมันดินเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในโซนไพโรไลซิส (distillation zone) และจะกลั่นตัวเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นแก๊สที่ได้จากเตาเผาประเภทนี้จึงเหมาะกับการนำไปใช้สำหรับหม้อน้ำ หรือการอบแห้งวัสดุทางเกษตรซึ่งแก๊สที่ได้จะผสมกับอากาศ และทำการเผาไหม้โดยตรงในห้องเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนในกระบวนการที่ใช้ความร้อนต่อไป



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเตาผลิตก๊าซแบบไหลขึ้น [7]

2) เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier)

เตาเผาชีวมวลแบบนี้ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อที่จะขจัดน้ำมันดิน ที่มีอยู่ภายในเชื้อเพลิงแข็งโดยเฉพาะ อากาศจะถูกส่งจากข้างผ่านกลุ่มของหัวฉีดยา บริเวณหัวฉีดยาจะเป็นบริเวณของโซนสันดาป แก๊สที่ได้จากโซนสันดาปจะไหลลงสู่ด้านล่างและผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนซึ่งอยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อยขณะเดียวกันในชั้นของชีวมวลที่อยู่ทางด้านบนของโซนสันดาป จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากทำให้เกิดการกลั่นสลาย และไอของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนทำให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นแก๊ส ซึ่งการแตกตัวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง $800^{\circ}\text{C} - 1,000^{\circ}\text{C}$

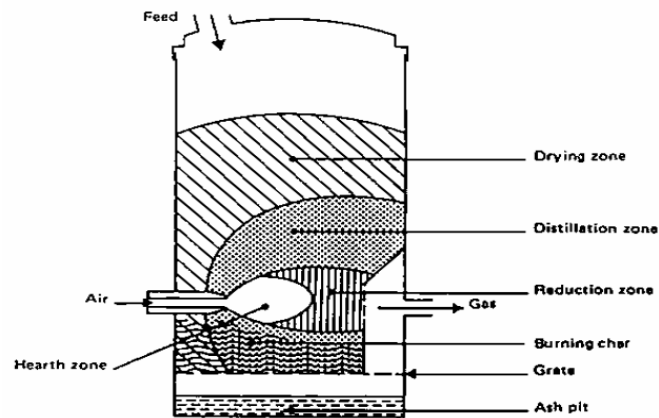


รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลง [7]

3) เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลตัดขวาง (Cross-draft gasifier)

เตาเผาแบบนี้ อากาศจะถูกจ่ายผ่านหัวฉีดยาซึ่งอยู่ในแนวราบ โซนสันดาปจะอยู่ต่อจากหัวฉีดยาและถัดออกไปจะเป็นโซนรีดักชัน แล้วก๊าซชีวมวลจะออกสู่ภายนอกโดยผ่านตะแกรง ซึ่งอยู่ในแนวตั้ง โดยรอบบริเวณโซนสันดาป และโซนรีดักชันจะเป็นโซนไพโรไลซิส น้ำมันดินที่ได้จากโซนไพโรไลซิสจะผ่านโซนรีดักชันก่อนที่จะออกไปสู่ภายนอกเตา ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะออกไปสู่ภายนอก ทำให้แก๊สชีวมวลที่ได้มีปริมาณน้ำมันดิน

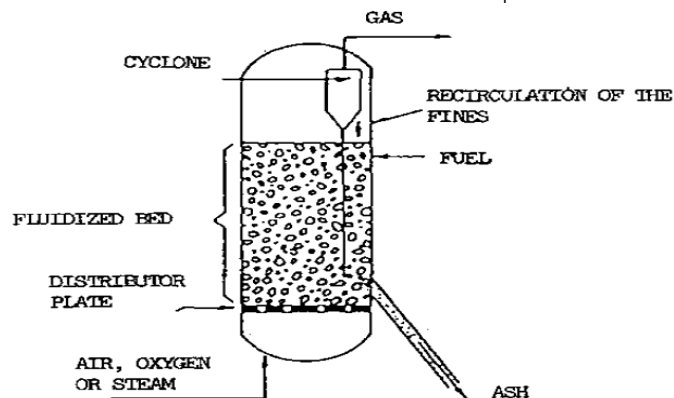
ต่ำ เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบนี้ได้ทำการออกแบบให้สามารถใช้กับยานพาหนะ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา และมีผลตอบสนองเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของภาระที่กระทำอยู่ เชื้อเพลิงแข็งที่ควรนำมาใช้กับเตาเผาแบบนี้ควรเป็นถ่านไม้ที่มีคุณภาพสูง



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลตัดขวาง [7]

4) เตาผลิตแก๊สแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed gasifier)

เตาผลิตก๊าซชีวมวลจากที่กล่าวมาแล้วทั้งสามแบบข้างต้น การทำงานของกระบวนการในระบบขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีและสภาพทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิง โดยที่จะเกิดปัญหาทางด้าน ซีเถ้าที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงทำให้เกิดการอุดตันในเตาเผาบ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดมาใช้ เตาเผาแบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเราเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้น ในขณะที่เริ่มติดไฟนั้นเบดจะเริ่มร้อนขึ้นจนอุณหภูมิถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจึงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ ภายในเตาจะใส่วัสดุเฉื่อย เช่นทราย หรือวัสดุเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ หินปูน ซึ่งช่วยในการถ่ายเทความร้อนและช่วยในการทำความสะอาดแก๊สที่ได้จากเบด เตาเผาแบบนี้มีข้อดีคือ การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาสามารถทำได้ง่าย จึงสามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้ ทำให้ไม่เกิดการจับตัวของเถ้าที่เกิดขึ้น จึงสามารถใช้กับเชื้อเพลิงที่มีเถ้ามากได้ แต่ข้อเสียของเตาเผาแบบนี้คือแก๊สชีวมวลที่ออกจากเตาเผาจะมีปริมาณเถ้า และฝุ่นถ่านออกมาด้วย



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของเตาผลิตก๊าซแบบฟลูอิดไดซ์เบด [7]

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาแก๊สซิฟิเคชัน [9]

| ชนิดของเตา | ทาร์ | สิ่งปนเปื้อน | ความชื้นชีวมวล |
|-----------------------|------|--------------|----------------|
| เตาแบบไหลขึ้น | สูง | สูง | สูง |
| เตาแบบไหลลงมีคอคอด | ต่ำ | ต่ำ | ต่ำ |
| เตาแบบไหลลงไม่มีคอคอด | ต่ำ | ต่ำ | ต่ำ |
| เตาแบบไหลตัดขวาง | ต่ำ | สูง | ต่ำ |

2.3.2 ลักษณะของเตาผลิตแก๊สซิฟิเคชัน

Gasification เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาผลิตแก๊ส การเกิดกระบวนการ Gasification นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ Heterogeneous และ Homogeneous คือเป็นปฏิกิริยาระหว่างสสารที่มี 2 สภาวะมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน หรืออาจจะอยู่ในสภาวะเดียวกันโดยทั่วไปในการเกิดกระบวนการ Gasification นั้นจะใช้ Oxygen ที่มีอยู่ในอากาศ ในปริมาณที่จำกัดไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิง เพื่อให้เกิดความร้อนและก๊าซ CO_2 เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาเคมีอื่นๆต่อไปสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) Air-Blown Gasification

เป็นการใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในชั้นการเผาไหม้ก่อน หลังจากนั้นความร้อนและ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากชั้นเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อผลิต Producer Gas โดยกระบวนการ Gasification แก๊สที่ได้ทั้งหมดจะมี N_2 ที่อยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลักโดยจะมีอยู่ราว 60% - 70%

2) Oxidative Gasification

เป็นการใช้ก๊าซ O_2 แทนอากาศซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Producer Gas สูงขึ้นเพราะไม่มี N_2 ปนมาด้วย ทำให้การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะสามารถทำได้ดีกว่า แต่ในทางปฏิบัตินั้นต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญเพราะราคาของ O_2 บริสุทธิ์แพงกว่าอากาศธรรมดา

3) Steam Gasification

จะใช้ไอน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณ Producer Gas โดยเฉพาะ H_2 แต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ควรต่ำกว่า 800°C จึงจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินไปได้อย่างดี

4) Hydrogasification

เป็น Gasification ที่ใช้ Hydrogas ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงไม่มีการใช้ O_2 หรืออากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 750°C และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่งความดันในเตาปฏิกิริยาบางชนิดอาจจะสูงมากถึงประมาณ 20 MPa แก๊สที่ได้จะเป็น CH_4

2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

เตาผลิตแก๊สสามารถออกแบบให้ใช้กับเชื้อเพลิงต่างๆได้อย่างกว้างขวาง เช่น ชังข้าวโพด ไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และแกลบ เป็นต้น เชื้อเพลิงจากแหล่งต่างๆ นั้นจะมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงก็คือ ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิงนั้นๆ เชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนมากก็จะให้แก๊สที่มีค่าความร้อนสูง ซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้แกลบ ไม้ยูคา ลิปตัส และกะลามะพร้าวมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต Producer Gas

2.4.1 แกลบ

แกลบคือผลผลิตที่ได้จากการสีข้าวมีลักษณะเป็นรูปทรงรีเมล็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล เมื่อนำข้าวเปลือก 1 ตันมาผ่านกระบวนการแปรรูปแล้วจะได้ข้าวสารประมาณ 700 kg และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือแกลบประมาณ 220 kg เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้าประมาณ 90 kWh - 125 kWh ในแต่ละปีจะมีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจ แกลบเหล่านี้บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย และในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานสูง แกลบจึงถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบได้ เทียบเท่าน้ำมันดิบ 0.63 ล้านตันต่อปี

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด [14]

| Proximate analysis | กะลามะพร้าว | กะลาปาล์ม | เปลือกลำไย | ไม้ยูคาลิปตัส |
|--------------------|-------------|-----------|------------|---------------|
| Moisture, % | 4.23 | 1.62 | 14.55 | 1.14 |
| Ash, % | 1.43 | 4.72 | 3.33 | 2.64 |
| Volatile Matter, % | 76.00 | 76.00 | 70.23 | 79.70 |
| Fixed Carbon, % | 18.22 | 17.66 | 51.81 | 17.90 |

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละ [14]

| Ultimate Analysis | กะลามะพร้าว | กะลาปาล์ม | เปลือกลำไย | ไม้ยูคาลิปตัส |
|-------------------|-------------|-----------|------------|---------------|
| Carbon, % | 46.20 | 47.94 | 52.25 | 48.93 |
| Hydrogen, % | 5.42 | 7.63 | 6.31 | 8.05 |
| Oxygen, % | 47.46 | 43.77 | 41.35 | 42.28 |
| Nitrogen, % | 0.87 | 1.63 | 1.46 | 0.58 |
| Sulfur, % | 0.05 | 0.03 | ND | 0.09 |
| Chlorine, % | 0.10 | 7.51 | ND | 1.67 |
| Heat value | กะลามะพร้าว | กะลาปาล์ม | เปลือกลำไย | ไม้ยูคาลิปตัส |
| HHV, kJ/ kg | 20202 | 17839 | 18978 | 18557 |
| LHV, kJ/ kg | 20188 | 17675 | 18815 | 18392 |

2.4.2 กะลามะพร้าว

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocoas Nucifera* Linn เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยนิยมใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้สำรวจพบว่าประชากรไทย 1 คนจะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรประมาณ 70 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 1260 ล้านผลหรือประมาณร้อยละ 65 ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 35 ของผลผลิตทั้งหมดหรือ 489 ล้านผลใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

1) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้งอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวชุบแข็ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว

2) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภคเช่นอุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว

กะลามะพร้าวเป็นชีวมวลที่เหลือใช้จากมะพร้าวซึ่งมะพร้าว 1 ลูก จะได้ใยร้อยละ 36.2 และกะลาร้อยละ 16 โดยส่วนมากมะพร้าวจะปลูกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย โดยจะให้ผลผลิตตลอดปีแต่จะให้ผลผลิตมากในช่วงเดือนพฤษภาคม - สิงหาคมประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวประมาณ 2.43 ล้านไร่มีผลผลิตประมาณ 1.63 ล้านตันต่อปี

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของชีวมวล [14]

| ชีวมวล | สาร ระเหย | ถ่าน | เถ้า | กำมะถัน | ค่าความร้อน (kcal/kg) |
|-----------------|--------------|------|------|---------|-----------------------|
| ขี้เลื่อย | 71.3 | 27.2 | 1.5 | - | 4990 |
| ขุยมะพร้าว | 63.3 | 29.4 | 7.1 | 0.06 | 4380 |
| กะลามะพร้าว | 73.7 | 25.5 | 0.7 | 0.03 | 4830 |
| ผักตบชวา | 58.9 | 15.3 | 25.8 | - | 3010 |
| ถ่านกะลามะพร้าว | 15.2 | 82.4 | 2.4 | - | 7760 |
| ไม้ยูคาลิปตัส | 6.4 | 25.7 | 3.9 | - | 4430 |

2.4.3 ไม้ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะลำต้นเป็นไม้ตรงมีความสูงประมาณ 28 เมตร ส่วนของใบออกเป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกันลักษณะเป็นใบรูปหอกสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน เปลือกมีลักษณะเรียบเป็นมัน สีเทาสลับขาว เปลือกนอกจะแตกอ่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้นเมื่อแห้ง เปลือกนอกหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียดบิดไปตามแนวลำต้น มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.9 ในสภาพแห้งซึ่งขึ้นกับอายุของไม้ ลักษณะเนื้อไม้แตกง่ายหลังจากตัดฟันตามแนวยาวขนานลำต้น คุณภาพเนื้อไม้ยูคาลิปตัสเมื่อแปรรูปจึงมักบดงอง่าย

ไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน ทำรั้ว ทำเสา นั่งร้านในการก่อสร้าง หรือนำมาเป็นส่วนประกอบของอาคารบ้านเรือน รวมทั้งสามารถนำไปทำไม้พื้นหรือแผ่นถ่าน ซึ่งไม้ยูคาลิปตัสจะให้พลังงานความร้อนสูงถึง 4,800 kcal/kg ส่วนถ่านไม้ยูคาลิปตัสให้พลังงานความร้อนสูงถึง 7,400 kcal/kg ใกล้เคียงกับไม้โกงกางซึ่งจัดเป็นถ่านไม้ชั้นดีที่สุด การเลือกใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงมีข้อดีหลายประการได้แก่

1) ปริมาณเถ้าของไม้ต่ำมาก คือมีค่าประมาณ 0.5% - 2% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้และปริมาณของเปลือกไม้ที่ปนเข้าไปด้วย

2) ไม้ไม่มีซัลเฟอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สามารถจับตัวกับน้ำเป็นกรดซัลฟูริกได้ง่าย ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่เครื่องผลิตแก๊ส

เครื่องผลิตแก๊สที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงก็มีข้อเสียเช่นกัน ข้อเสียของไม้ที่เห็นได้ชัดเจนคือไม้มีความหนาแน่นต่ำ และมีความชื้นสูงไม้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% แต่ไม้ที่ตัดมาสด ๆ นั้นจะมีความชื้นสูงถึง 60% ได้ ก่อนที่จะนำไม้มาเป็นเชื้อเพลิงจึงต้องไล่ความชื้นออกเสีย ก่อนการทิ้งไม้ไว้ในอากาศจะทำให้ไม้แห้งลงได้ 12% - 15% หากต้องการความชื้นต่ำกว่านี้ก็ต้องนำไม้เข้าเตาอบ ซึ่งจะลดความชื้นลงเหลือประมาณ 5% ไม้สดกับไม้แห้ง อาจให้ค่าความร้อนแตกต่างกันได้ถึง 2 เท่าดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าความร้อนของไม้ ที่มีความชื้นค่าต่างๆ [1]

| สภาพของไม้ | ความชื้นในไม้ (คิดจากน้ำหนักอบแห้ง)(%) | ความร้อนที่ได้ kcal / kg |
|--------------------|---|-----------------------------|
| อบแห้งด้วยเตาอบ | 0 - 5 | 3719 - 3934 |
| ตากแดดหรือผึ่งแห้ง | 10 - 15 | 3336 - 3519 |
| ไม้สด | 50 | 2399 |

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ปัจจัยที่มีผลต่อระบบการผลิตแก๊สสามารถจำแนกออกเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ชนิดของวัสดุชีวมวล ขนาดวัสดุชีวมวล ความชื้น และคุณลักษณะวัสดุชีวมวล เป็นต้น ปัจจัยที่สองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตแก๊ส ซึ่งรวมไปถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบด้วย ได้แก่ วิธีการป้อนเชื้อเพลิง และความต่อเนื่องของการป้อนเชื้อเพลิง การควบคุมการเผาไหม้ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ ระบบบำบัดแก๊ส ระบบแยกน้ำมันนํารและซัลเฟตเป็นต้น ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาที่สำคัญดังนี้

- 1) ขนาดของเชื้อเพลิง
- 2) น้ำหนักต่อปริมาณทั้งหมด
- 3) ปริมาณฝุ่นในเชื้อเพลิง
- 4) ปริมาณความชื้น
- 5) ปริมาณเถ้า
- 6) ความเสถียรภาพของการเผาไหม้

2.6 การใช้ประโยชน์จากแก๊สเชื้อเพลิง

ปริมาณและลักษณะสมบัติของแก๊สที่ถูกผลิตได้จากระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับประเภทของระบบผลิตแก๊ส และลักษณะของวัสดุชีวมวล นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยการกักเก็บและบำบัดด้วยการใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นั้นสามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง แต่ก่อนนำมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องผ่านระบบทำความสะอาดก่อน และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน การใช้ประโยชน์ของแก๊สเชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ 3 ประการคือ

1) การใช้พลังงานความร้อนโดยตรง สามารถนำแก๊สเชื้อเพลิงมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยตรงเนื่องจากแก๊สเชื้อเพลิงสามารถส่งไปตามท่อในระยะใกล้ได้ เช่น การใช้แก๊สเชื้อเพลิงทดแทนแก๊สหุงต้ม (LPG) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อต้มเพื่อผลิตไอน้ำและนำไอน้ำมาใช้กับเครื่องผลิตไฟฟ้า

2) ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยนำแก๊สเชื้อเพลิงส่งเข้าเครื่องสันดาปภายในเช่นเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์แก๊ส ในกรณีนี้แก๊สเชื้อเพลิงจะต้องมีแยกทาร์และสิ่งปนเปื้อนออกจากกระแสแก๊ส เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานเครื่องยนต์

3) นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี แก๊สเชื้อเพลิงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี เช่น เซลล์เชื้อเพลิง คาร์บอนเตลว และสารตั้งต้นในการผลิตเมทานอล นอกจากนี้ซีไธ์และน้ำมันทาร์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทางการเกษตรได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้จะนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตแก๊ส ชีวมวลไปใช้สร้างความร้อนโดยตรง โดยนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้หุงต้มภายในครัวเรือน

2.7 สิ่งเจือปนแก๊สชีวมวล

ทาร์ (Tar) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการหรือของเสียที่เกิดจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน หรือเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์โดยที่ลักษณะของทาร์นั้นเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง (high viscous) และมีฤทธิ์กัดกร่อนโดยทั่วไปจะมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก และสมบัติของทาร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อพบว่าอุณหภูมิในกระบวนการสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของทาร์ [9]

| อุณหภูมิปกติ 400 ^o C -500 ^o C (Conventional Flah Pyrolysis) | อุณหภูมิสูง 600 ^o C -650 ^o C (Hi-temperature Flah Pyrolysis) | อุณหภูมิปกติ 700 ^o C -800 ^o C (Conventional Flah Pyrolysis) | อุณหภูมิสูง 900 ^o C -1000 ^o C (Hi-temperature Flah Pyrolysis) |
|--|---|--|--|
| Acid | Benens | Naphthalenes | Naphthalenes |
| Aldehydes | Phenols | Acenaphthalenes | Acenaphthalenes |
| Ketone | Catechols | Fluorenes | Phenanthrenes |
| Furun | Naphthalene | Phenanthrenes | Fluranthrenc |
| Alcohols | Biphenyls | Benzaldehydes | Pyrene |
| Complex- Oxygenate | Phenanthrenes | Phenols | Acenaphthalenes |
| Phenols | Benzofuruns | Naphatofurans | Benzanthracenes |

จากตารางที่ 2.6 จะพบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่อยู่ในทาร์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ผลิตแก๊สชีววมวลที่อุณหภูมิต่างๆนั้นจะเกิดสารประกอบกรดมากที่สุดและที่อุณหภูมิสูงนั้นสารก่ดกร่อนประเภทกรดจะลดน้อยลงเนื่องจากทาร์จะแตกตัวในโซนเผาไหม้มากขึ้น

2.8 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านการเงินเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการหรือเงินทุนและผลตอบแทนของโครงการ หรือผลกำไรทางการเงินสำหรับโครงการเอกชน วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์ด้านการเงิน คือทำการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าโครงการที่จัดทำขึ้นมีความคุ้มค่าหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ด้านการเงิน จะวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้คือ

2.8.1 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ ได้จากการนำกระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปี มาเทียบให้เป็นมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ โดยให้อัตราส่วนลดมีค่าเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของลูกค้านักพาณิชย์ในปัจจุบัน โดยคำนวณสูตรต่อไปนี้

$$NPV = PVB - PVC = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} - C_0 \quad (2.6)$$

| | | | |
|-------|----------------|-----|---------------------------------------|
| เมื่อ | NPV | คือ | มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ, บาท |
| | PVC | คือ | มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน, บาท |
| | PVB | คือ | มูลค่าปัจจุบันของผลได้ของโครงการ, บาท |
| | C ₀ | คือ | เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ, บาท |
| | R _t | คือ | กระแสเงินสดรับสุทธิต่อปี, บาท |
| | k | คือ | อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ |

t คือ ปีที่รับ จ่าย เงินสด (1 ถึง n)
n คือ อายุของโครงการ, ปี

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าของอัตราส่วนลดมีบทบาทสำคัญในการกำหนดค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ และกระแสเงินสดจ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตคือ เกณฑ์การประเมินโครงการที่หาค่าเทียบเท่าเงินปัจจุบันสุทธิของผลกำไร หรือผลตอบแทนของการลงทุนโดยหาจากค่าประมาณการของเงินลงทุน โครงการนั้นจะเป็นโครงการที่ขาดทุน การพิจารณาควบคุมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิดังนี้

เมื่อ NPV > 0 โครงการกำไร ตอบรับโครงการ
NPV = 0 โครงการเสมอตัว ปฏิเสธโครงการ
NPV < 0 โครงการขาดทุน ปฏิเสธโครงการ

การเปรียบเทียบโครงการมากกว่าหนึ่งโครงการ กรณีที่โครงการเหล่านั้นเป็นโครงการขัดกัน ให้เลือกโครงการที่มี NPV มากที่สุดหรือมากกว่า เพราะ NPV คือค่าเทียบเท่าเงินปัจจุบันของรายได้สุทธิหรือผลประโยชน์สุทธิ กรณีของการเปรียบเทียบต้นทุนให้เลือกโครงการที่มีค่าเทียบเท่าเงินปัจจุบันสุทธิของต้นทุนน้อยที่สุด

2.8.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนหมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนซึ่งวัดออกมาในรูปค่าปัจจุบันของผลตอบแทน เทียบกับค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายไปในการดำเนินงานโครงการสำหรับการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{B/C Ratio} = \frac{\text{PVC}}{\text{PVB}} \quad (2.7)$$

เมื่อ PVC คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน, บาท
PVB คือ มูลค่าปัจจุบันของผลได้ของโครงการ, บาท

ถ้าหากผลการคำนวณอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 (B/C Ratio เป็น 1) แสดงว่าผลตอบแทนจากโครงการจะมีมากกว่า หรืออย่างน้อยที่สุดเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไปในการดำเนินโครงการนั้น

2.8.3 อัตราส่วนผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR) คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ หรือผลตอบแทนในโครงการกิจการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ หรือต้นทุนในโครงการกิจการโดยมีสูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} = C_0 \quad (2.8)$$

| | | | |
|-------|-------|-----|--------------------------------|
| เมื่อ | C_0 | คือ | เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ, บาท |
| | R_t | คือ | กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี, บาท |
| | t | คือ | ปีที่รับ จ่าย เงินสด (1 ถึง n) |
| | n | คือ | อายุของโครงการ, ปี |

สำหรับหลักเกณฑ์การตัดสินใจก็คือ ทุกโครงการที่มีค่า IRR สูงกว่าอัตราผลตอบแทนของเป้าหมายซึ่งก็คือ ต้นทุนของเงินทุนหรือค่าเสียโอกาสของทุนก็สามารถยอมรับได้ แต่ถ้า IRR มีค่าต่ำกว่าก็ไม่สมควรลงทุน

2.8.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) จำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งจะทำให้มูลค่าในการลงทุนสะสม (อย่างน้อยที่สุด) เท่ากับมูลค่าผลตอบแทนเงินสุทธิตะสม หรือกล่าวได้ว่าระยะเวลาคืนทุน คือจำนวนปีในการดำเนินการ ซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกัน แล้วมีค่าเท่ากับจำนวนเงินลงทุนเริ่มแรก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิรายเดือน}} \quad (2.9)$$

การยอมรับหรือปฏิเสธโครงการ ขึ้นอยู่กับการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาคืนทุนของโครงการนั้นกับระยะเวลาคืนทุนซึ่งสูงสุดที่ธุรกิจกำหนดไว้ ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาคืนทุนที่กำหนดไว้ ถือว่ายอมรับโครงการ ถ้ามมากกว่าระยะเวลาคืนทุนที่กำหนดไว้ ถือว่าปฏิเสธโครงการในกรณีที่ธุรกิจต้องการเลือกโครงการเพียงโครงการเดียว ควรจะเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุดหรือคุ้มทุนเร็วที่สุด

2.9 เครื่องวิเคราะห์แก๊สและความร้อนเชื้อเพลิง

2.9.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Chromatography)

Gas Chromatography (GC) เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับแยกสารผสมที่มีคุณสมบัติที่สามารถเป็นแก๊สได้ โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสมเช่น ฮีเลียม จะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็นแก๊สที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะถูกดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตตามความเป็นขั้วของสารกับโมเลกุลในสารผสม ทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน สารผสมก็จะแยกออกจากกัน องค์ประกอบหลักที่สำคัญของเครื่อง Gas Chromatography (GC) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1) Injector คือ ส่วนที่สารผสมตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยกลายเป็นไอ ก่อนที่จะเข้าสู่คอลัมน์อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้ตัวอย่าง

ระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลาย ตัว เช่น Split, Splitless injector, On column injector เป็นต้น

2) Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับวิธีการที่ต้องการวิเคราะห์สารผสม การควบคุม อุณหภูมิของ oven นั้นมี 2 แบบ คือ Isothermal จะใช้อุณหภูมิเดียวตลอดการวิเคราะห์ และแบบ temperature program จะสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิได้ในระหว่างการวิเคราะห์ มักจะนิยมใช้กับสารผสมที่มีช่วงของจุดเดือดกว้างทำให้ chromatogram ที่ได้มี peak shape และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์

3) Detector คือ ส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และดูว่าสารตัวอย่างที่สนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด

2.9.1.1 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Gas Chromatography

1) ถังแก๊สที่ใช้บรรจุแก๊สตัวพาเพื่อจะพาไอของสารตัวอย่างผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ได้แก่ ไนโตรเจน ฮีเลียม และอาร์กอน เป็นต้น

2) ส่วนที่ใช้ควบคุมการไหลของแก๊สต่างๆได้แก่ ไฮโดรเจน อากาศ และไนโตรเจน เป็นต้น

3) ส่วนที่จะฉีดสารตัวอย่างเข้าไป

4) คอลัมน์ (column) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดที่ใช้สำหรับแยกสาร

5) ดีเทคเตอร์เป็นส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดสารแต่ละชนิดที่ถูกแยกออกมาจากคอลัมน์

6) ส่วนที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิให้กับคอลัมน์ดีเทคเตอร์

7) ส่วนที่ใช้ประมวลผลและข้อมูลต่างๆ

2.9.1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย Gas Chromatography (GC)

1) ต้องตรวจสอบเสียก่อนว่าสารที่จะวิเคราะห์เป็นสารประเภทใด เช่น แอลกอฮอล์ หรือกรดไขมัน เป็นต้น

2) สารตัวอย่างนั้นมีจุดเดือด (ของเหลว) หรือมีอุณหภูมิที่จะกลายเป็นไอได้อยู่ในช่วงใดถ้าสารตัวอย่างเป็นแก๊สก็จะสะดวก

3) เลือกคอลัมน์ที่จะใช้ให้เหมาะสม

4) เลือกดีเทคเตอร์ให้เหมาะสมกับสารที่จะวิเคราะห์

5) นำคอลัมน์ไปติดตั้งในเครื่องให้ถูกตำแหน่ง

6) เปิดเครื่องแล้วตั้งพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสม เช่น อัตราการไหลของแก๊สผ่านอุณหภูมิของตู้อบ หรือคอลัมน์ อุณหภูมิของดีเทคเตอร์ และพารามิเตอร์ต่างๆที่จะใช้ในการประมวลผล เป็นต้น

7) เลือกเทคนิคที่จะต้องใช้ทำการวิเคราะห์ คือ จะใช้วิเคราะห์แบบ isothermal หรือใช้ temperature program ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวอย่างและที่สำคัญที่ ต้องไม่ใช่อุณหภูมิของคอลัมน์สูงกว่าที่กำหนด

8) เลือกโปรแกรมที่จะใช้ในการประมวลผล

9) เมื่อจัดเครื่องและพารามิเตอร์ต่างๆตามที่ต้องการแล้วจึงเริ่มทำการ วิเคราะห์ได้ และเมื่อพารามิเตอร์บางค่าไม่เหมาะสมก็สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลัง

2.9.2 บอมบ์แคลอริมิเตอร์

เชื้อเพลิงมีพลังงานสะสมอยู่ในรูปของพลังงานเคมีซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้แต่ สามารถหาค่าพลังงานในเชื้อเพลิงในรูปของพลังงานความร้อนได้โดยนำเชื้อเพลิงเผาไหม้ในการต้ม น้ำ พลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับ น้ำ น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแทนพลังงาน ความร้อนมีหน่วยวัดเป็นจูล (J) การวัดพลังงานความร้อนนี้ทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ซึ่งเป็นการวัดพลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะที่มี ออกซิเจน บอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือในการหาพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ (Enthalpy of combustion)

2.9.2.1 หลักการทำงานของบอมบ์แคลอริมิเตอร์

การทำงานของบอมบ์แคลอริมิเตอร์จะใช้หลักการของ Direct calorimetric ซึ่งเป็น การวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงจะถูกบรรจุใน Chamber และ Charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง จากนั้นให้ กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านฟิวส์ (Fuse) และทำให้เกิดการจุดระเบิด (Ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ ส่วนผสมของน้ำมันเบนซินหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ติดไฟได้และออกซิเจน แคลอริมิเตอร์จะถูกหุ้มด้วย ฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน

การคำนวณค่าพลังงานจากสมการ

$$W \times \Delta t = Q \times g + e_1 + e_2 + e_3 \quad (2.10)$$

- เมื่อ W คือ ค่าเทียบเท่า น้ำ, $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$
 Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยน, $^{\circ}\text{C}$
 Q คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, cal/g
 g คือ ปริมาณของเชื้อเพลิง, g
 e_1 คือ ค่าความร้อนจากกรดไนตริก, cal
 e_2 คือ ค่าความร้อนจากกรดซัลฟิวริก, cal
 e_3 คือ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ลวด, cal

$$\Delta t = t_c - t_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (2.11)$$

- เมื่อ
- a คือ เวลาเมื่อจุดระเบิด, min
 - b คือ เวลาที่อุณหภูมิสูงขึ้น 60 %, min
 - c คือ เวลาที่เริ่มคงที่ หลังการเผาไหม้, min
 - t_a คือ อุณหภูมิเมื่อจุดระเบิด, $^{\circ}\text{C}$
 - t_c คือ อุณหภูมิ ที่เริ่มคงที่, $^{\circ}\text{C}$
 - r_1 คือ ความชันที่ 5 นาทีก่อนจุดระเบิด, $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - r_2 คือ ความชันที่ 5 นาทีแล้วเวลาเริ่มคงที่, $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

สวพ.
มทร.สุวรรณภูมิ

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

ในการออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงจะพิจารณาจากปัจจัยของขนาดและทิศทางการไหลของแก๊สชีวมวล ซึ่งเตาผลิตแก๊สที่ออกแบบนี้จะเป็นลักษณะทิศทางการไหลของแก๊สแบบไหลลงมีคอคอดหนึ่งคอคอด เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น คือปริมาณทาร์ที่แตกตัวจากโซลไพโลโรซินั้นจะไหลลงเข้าสู่โซนเผาไหม้ จึงทำให้ทาร์นั้นถูกเผาไหม้ในโซนนี้ และไหลลงสู่โซนรีดักชันซึ่งเป็นโซนการเกิดแก๊สชีวมวล ซึ่งจะทำให้มีปริมาณทาร์เกิดขึ้นน้อยกว่าเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น ดังนั้นในโครงการนี้จึงเลือกออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมีคอคอดหนึ่งคอคอด โดยอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นจะถูกนำเข้าทางด้านข้างในการดำเนินงานสร้างและทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงได้ทำการศึกษาและออกแบบที่ ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 หลักการออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีความร้อนในส่วนต่างๆ ของเตาขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่เข้าสู่โซนเผาไหม้ นอกจากนี้ยังขึ้นกับช่วงระยะเวลาของอากาศและแก๊สที่อยู่ในแต่ละโซนด้วย ตัวแปรดังกล่าวนี้จะเป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการออกแบบและกำหนดขนาดของโซนต่างๆ ของเตาผลิตแก๊ส การคำนวณหาเวลาที่ใช้จริงในแต่ละโซนไม่สามารถหาได้ เพราะนอกจากปริมาตรของตัวเตา อัตราการไหลของแก๊สและอัตราการไหลของวัตถุดิบที่เคลื่อนที่ลงสู่ตัวเตา ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพแก๊สที่ผลิตได้ด้วย เช่น ขนาดและความสูงของโซนต่างๆ ภายในเตา จากการศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ในการเกิดแก๊สแต่ละกระบวนการพบว่า

- 1) ช่วงเวลาในกระบวนการของการอบแห้ง (Drying zone) จะเป็นเวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำออกไปหมด
- 2) ช่วงเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) จะเป็นเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายด้วยความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารระเหยที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแห้งจะถูกสลายออกมาจากเชื้อเพลิงแห้งด้วยความร้อนที่ได้จากโซนการเผาไหม้
- 3) ช่วงเวลาในกระบวนการการเผาไหม้ วัตถุดิบที่ได้รับการอบแห้งไอน้ำออกไปแล้ว จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงเวลานี้การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดบริเวณสั้นๆ เท่านั้น
- 4) ช่วงเวลาในกระบวนการ Reduction zone ถ้าต้องการให้เกิดแก๊สเชื้อเพลิง (CO , H_2 , CH_4) ในปริมาณสูงเวลาที่แก๊สอยู่ในช่วงนี้จะต้องนานพอสมควร อุณหภูมิในบริเวณนี้จะลดลงต่ำกว่าช่วงการเผาไหม้

3.1.1 ลักษณะสำคัญสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ดีมีดังต่อไปนี้

- 1) แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงคือมีส่วนประกอบของแก๊สที่ให้พลังงาน ซึ่งได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ในปริมาณสูง และมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำ แก๊สที่มีคุณภาพดีจะมีค่าความร้อนประมาณ $5,000 \text{ kJ/Nm}^3$ ที่วัตถุดิบมีความชื้น 10 % - 15 %

2) น้ำมันดินมีปริมาณต่ำโดยปกติแก๊สแห้งจะมีน้ำมันดินปะปนอยู่ประมาณ 0.5 g/Nm^3

3) กระบวนการเผาไหม้ของคาร์บอนควรเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะอยู่ที่ 70 % – 75 %

4) การไหลของเชื้อเพลิงในเตาผลิตแก๊สจะต้องง่ายและสะดวก

5) ค่าความสูญเสียความดันต่ำ

3.1.2 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการออกแบบที่จะต้องนำมาพิจารณาคือ

1) เส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง(Throat diameter)

2) ความยาวของ Reduction zone

3) ตำแหน่งที่อากาศจะเข้าสู่เตาผลิตแก๊ส

4) ขนาดและจำนวนของรูอากาศที่เข้าสู่เตาผลิตแก๊ส

3.2 การออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

3. 2.1 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดหาได้จากสมการ

$$\text{surface area throat} = \frac{\text{Gas outlet}}{\text{Hearth load}} \quad (3.1)$$

Gas outlet หาได้จากการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการ โดยเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประกอบอาหารในครัวเรือน ดังนั้นจึงนำปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการหุงต้มในครัวเรือนมาเป็นตัวแปรในการกำหนดปริมาณความร้อนที่ต้องการ โดยการเทียบกับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหุงข้าวปริมาณ 1 กิโลกรัมด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้า 830 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาทีสามารถหาปริมาณความร้อนนี้ได้จากสมการ

$$W = P \times t$$

เมื่อ W คือ พลังงานไฟฟ้า (kWh)

P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

t คือ เวลา (hr)

จากการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ในการหุงข้าวปริมาณ 1 kg ได้เท่ากับ 1.49 MJ แต่การประกอบอาหารด้วยเตาผลิตแก๊สชีวมวลจะต้องมีการสูญเสียพลังงานความร้อนให้กับสถานะแฉะล่อมอีกด้วย และหลังจากการหุงข้าวแล้วยังจำเป็นต้องใช้ความร้อนในการทำกับข้าวต่อไปอีก ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ต้องการจึงมีมากกว่า 1.49 MJ โดยกำหนดให้ปริมาณความร้อนที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 6 MJ

| | |
|--|---------------------------|
| กำหนดให้ระยะเวลาในการผลิตแก๊สมีเวลาเท่ากับ | 20 min |
| อัตราความร้อนที่ต้องการเท่ากับ | 18.2 MJ/hr |
| ค่าความร้อนของแก๊สจากกะลามะพร้าวเท่ากับ | 1.70 MJ/Nm ³ |
| อัตราการไหลของแก๊ส | 10.71 Nm ³ /hr |

Hearth load คืออัตราการเกิดแก๊สต่อพื้นที่หน้าตัดคอคอด โดย Dr. naksitte coovattanachai ได้กล่าวไว้ว่าค่า Hearth load ที่เหมาะสมสำหรับเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 - 0.9 Nm³/cm² - hr สำหรับในโครงการนี้จะเลือกค่า Hearth load เท่ากับ 0.3 Nm³/cm² - hr เนื่องจากเป็นการออกแบบเตาผลิตแก๊สขนาดเล็กสำหรับใช้หุงต้มในครัวเรือน แทนค่าในสมการที่ (3.1) จะได้ Surface area throat = 35.7 cm²

จากสมการ
$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{35.7 \times 4}{\pi}}$$

$$= 6.74 \text{ cm}$$

จากการคำนวณหาขนาดของคอคอดได้เท่ากับ 6.74 cm เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงจึงออกแบบเพิ่มอีก 3.7 % จึงทำให้ขนาดของคอคอดมีค่าเท่ากับ 7 cm

3.2.2 การหาขนาดและจำนวนของหัวฉีด

จากการคำนวณขนาดของคอคอดแล้วได้เท่ากับ 7 cm สามารถนำขนาดของคอคอดมาเปิดตารางเพื่อหาขนาดและจำนวนของหัวฉีดได้

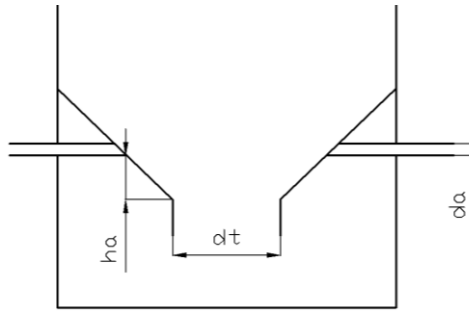
ตารางที่ 3.1 มาตรฐานการหาขนาดของหัวฉีด [1]

| ขนาดคอคอด (mm) | ขนาดหัวฉีด (mm) | จำนวนหัวฉีด |
|----------------|-----------------|-------------|
| 70 | 10.5 | 3 |
| 80 | 9 | 5 |
| 90 | 10 | 5 |
| 100 | 11 | 5 |
| 120 | 12.7 | 5 |
| 130 | 13.5 | 5 |
| 150 | 15 | 5 |
| 170 | 14.3 | 7 |
| 190 | 16 | 7 |
| 220 | 18 | 7 |

จากตารางเปิดตารางที่ขนาดคอคอดเท่ากับ 7 cm จะได้หัวฉีดจำนวน 3 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวละ 10.5 mm

3.2.3 ตำแหน่งของหัวฉีดและความยาว Reduction Zone

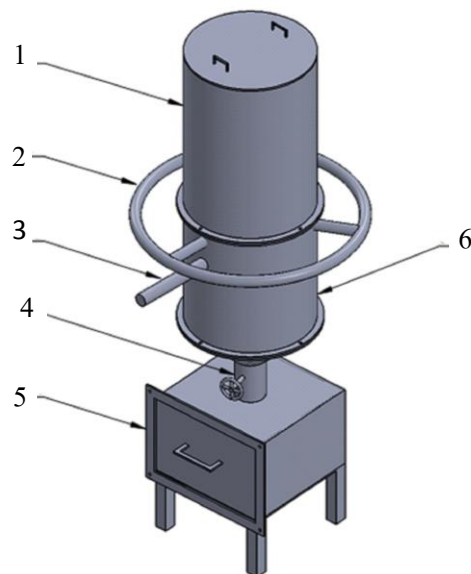
อากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาผลิตแก๊สนั้นจะถูกนำเข้าทางด้านข้างของเตาบริเวณโซนเผาไหม้ ซึ่งอากาศจะสามารถเข้าสู่เตาได้โดยใช้แรงดันจากพัดลมเป่าอากาศ (Blower) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเตาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จำเป็นต้องออกแบบระยะความสูง และขนาดของท่ออากาศเข้าให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิเผาไหม้สูงเพียงพอที่จะสลายน้ำมันดินได้เพื่อป้องกันไม่ให้ น้ำมันดินปะปนไปกับกระแสแก๊ส และในการป้องกันจุดโซนเย็นจึงมีการออกแบบผนังให้มีลักษณะเอียงลง โดยท่ออากาศเข้าจะอยู่บริเวณเหนือคอคอดและมีระยะความสูงของท่ออากาศเข้าเหนือคอคอด (h_2) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะคอคอดเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

- เมื่อ d_t คือ ขนาดคอคอด
 d_a คือ ขนาดหัวฉีด
 h_a คือ ความสูงระหว่างท่ออากาศเข้ากับคอคอด

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดและคอคอดจากผลการทดลองของ Dr. naksitte coovattanachai ได้กล่าวไว้ว่าระยะห่างระหว่างหัวฉีดและคอคอดมีระยะเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด และความยาวของ Reduction Zone มีขนาดเท่ากับ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับคอคอดจึงมีขนาดเท่ากับ 7 cm และความยาว Reduction Zone มีขนาดเท่ากับ 21 cm



1. ถังใส่เชื้อเพลิง
2. ท่อทางเข้าอากาศ
3. Reduction zone
4. วาล์วนำซีเมนต์ออก
5. ชั้นเก็บซีเมนต์
6. ท่อทางออกของแก๊ส

รูปที่ 3.2 แบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

3.2.4 ชั้นส่วนแต่ละชั้นของเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

อธิบายรายละเอียดชั้นส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 3.2 ได้ดังนี้

1) ถังใส่เชื้อเพลิง (หมายเลข 1) เป็นชั้นส่วนที่อยู่บนสุดของเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง ใช้สำหรับบรรจุเชื้อเพลิงชีวมวล ทำจากเหล็กแผ่นมีความหนา 3.5 mm ชั้นรูปด้วยการม้วนให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm มีความสูง 400 mm

2) ท่อทางเข้าของอากาศ (หมายเลข 2) ทำหน้าที่นำอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยใช้แรงดันอากาศจากพัดลมเป่าอากาศ (Blower) ท่อทางเข้าของอากาศทำจากท่อเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 mm วางอยู่เหนือคอคอด 70 mm

3) Reduction zone (หมายเลข 3) ทำจากวัสดุเหล็กแผ่นมีความหนา 3.5 mm ชั้นรูปด้วยการม้วนให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 170 mm มีความสูง 210 mm ทำหน้าที่เป็นโซนในการก่อเกิดแก๊ส

4) วาล์วนำชี้ไถ้ออก (หมายเลข 4) ทำหน้าที่ป้องกันแก๊สรั่วขณะที่นำชี้ไถ้ออกออกมาทิ้ง ทำให้เตาผลิตแก๊สแบบไหลลงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยวาล์วสำหรับนำชี้ไถ้ออกนี้ทำมาจากวัสดุทองเหลืองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 76.20 mm

5) ชั้นเก็บชี้ไถ้อ (หมายเลข 5) จะอยู่ด้านล่างของเตาผลิตแก๊สเพื่อใช้รองรับชี้ไถ้อที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยสร้างจากเหล็กแผ่นที่มีความหนา 2 mm นำมาประกอบขึ้นรูปเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 349 mm x 349 mm สูง 250 mm แล้วซีลด้วยประเก็นทนความร้อนหนา 3 mm เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว

6) ท่อทางออกของเตาผลิตแก๊ส (หมายเลข 6) ทำหน้าที่นำแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ออกไปใช้งาน ท่อทางออกของอากาศทำจากท่อเหล็กมีความหนา 2 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 mm วางอยู่ในแนวเดียวกับคอคอด

วิธีการทำงานของเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง คือนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการอบหาปริมาณความชื้นแล้วเทใส่ลงไปในถังบรรจุเชื้อเพลิงแล้วจึงทำการติดไฟ และเปิดสวิตช์เครื่องเป่า อากาศโดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามปริมาณที่กำหนด แก๊สที่ผลิตได้จะไหลผ่าน Reduction zone ซึ่งทำหน้าที่เป็นโซนก่อเกิดแก๊ส โดยแก๊สที่ผลิตได้ในช่วง 5 นาทีแรกจะยังไม่สามารถจุดติดไฟได้เนื่องจากมีปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำ แก๊สที่ไหลผ่าน Reduction zone แล้วจะไหลผ่านท่อทางออกของเตาผลิตแก๊สเพื่อนำแก๊สที่ได้ไปใช้งาน ส่วนชี้ไถ้อที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลจะไหลลงมาสู่ช่องเก็บชี้ไถ้อ โดยสามารถนำชี้ไถ้อออกมาทิ้งได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องเนื่องจากมีวาล์วป้องกันแก๊สรั่วขณะที่ถอดชั้นเก็บชี้ไถ้อ จึงทำให้เตาผลิตแก๊สแบบไหลลงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

จากการหาขนาดต่างๆของเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงเพื่อมาใช้ในการออกแบบแล้วทำให้สามารถสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เต้าผลิตแก๊สแบบไหลลง

3.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

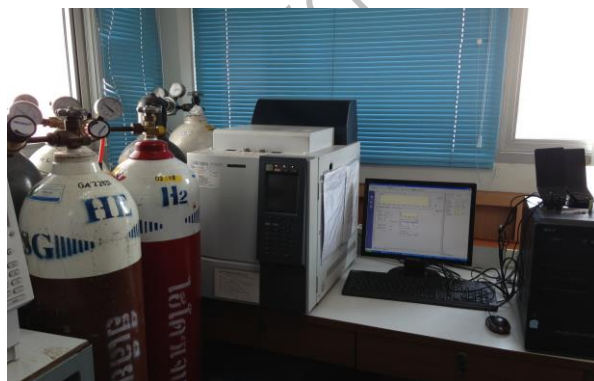
ในการทดลองโครงการนี้ มีเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1) เต้าผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง

เต้าผลิตแก๊สแบบไหลลงมีปริมาตรเท่ากับ 0.049 m^3 ดังรูปที่ 3.3

2) เครื่องวิเคราะห์ห้องคัพประกอบของแก๊ส

ในโครงการนี้จะนำแก๊สที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบของแก๊ส โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส Gas Chromatography

3) เครื่องอบหาค่าความชื้น

การหาค่าความชื้นในโครงการนี้จะใช้วิธีการอบด้วยความร้อนจากเตาอบ โดยทำการชั่งน้ำหนักชีวมวลก่อนอบและหลังอบจากนั้นนำน้ำหนักที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชีวมวล



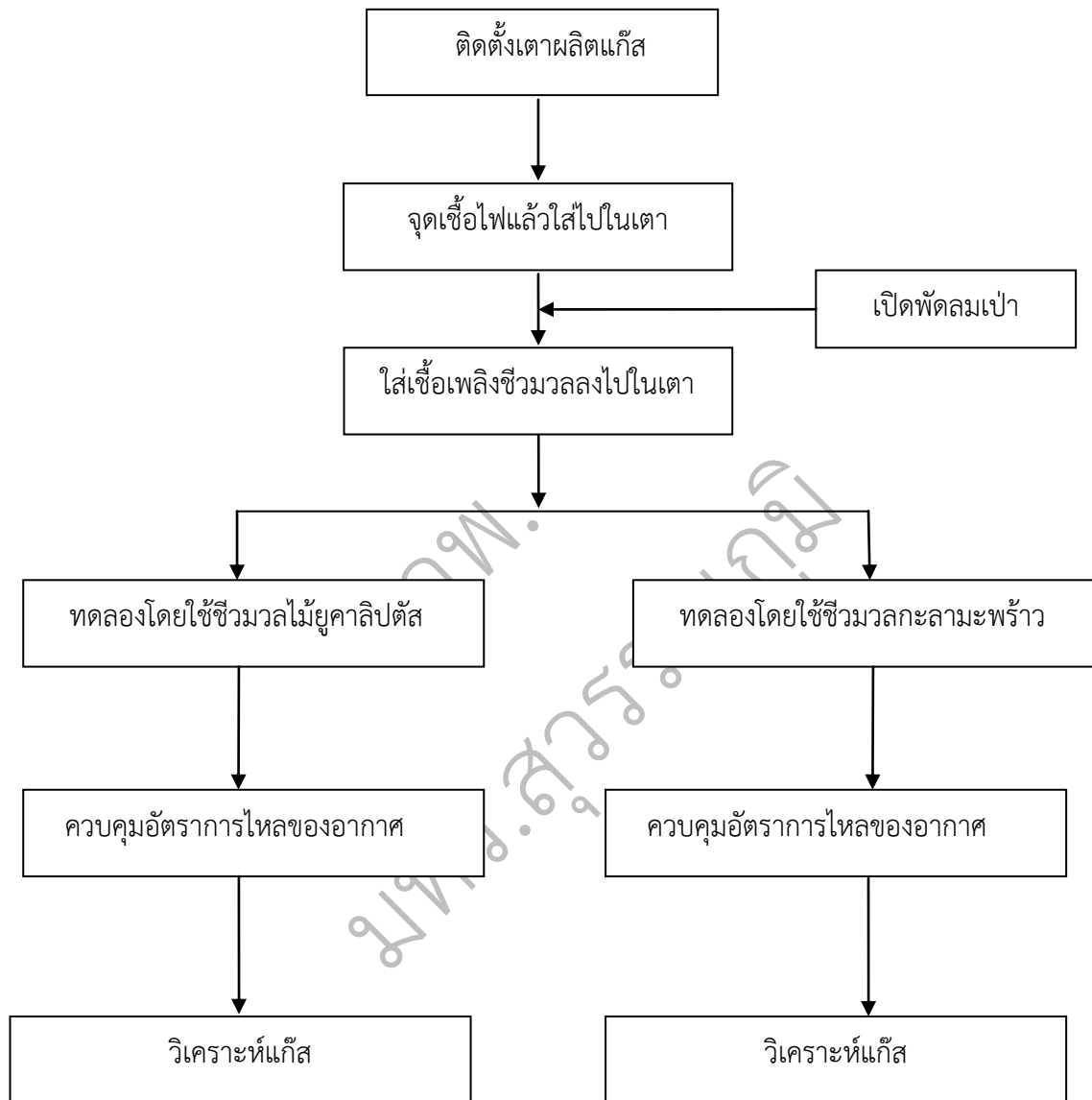
รูปที่ 3.5 เครื่องอบหาค่าความชื้น

- 4) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 5) พัดลมเป่าอากาศ
- 6) เครื่องวัดความเร็วลม
- 7) เครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์
- 8) นาฬิกาจับเวลา
- 9) กระจกบรจุแก๊ส

3.3.2 วิธีการทดลองเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

ชีวมวลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าว โดยสารตัวกลางที่ทำปฏิกิริยาสันดาปกับชีวมวล คือ อากาศ โดยการทดลองจะควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้เพื่อหาค่าปริมาณอากาศที่ดีที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันกับชีวมวล และแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้นั้นจะนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊ส และหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การทดลองเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมีวิธีการทดลองเพื่อให้เป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ สามารถเรียงลำดับตั้งแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลองเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

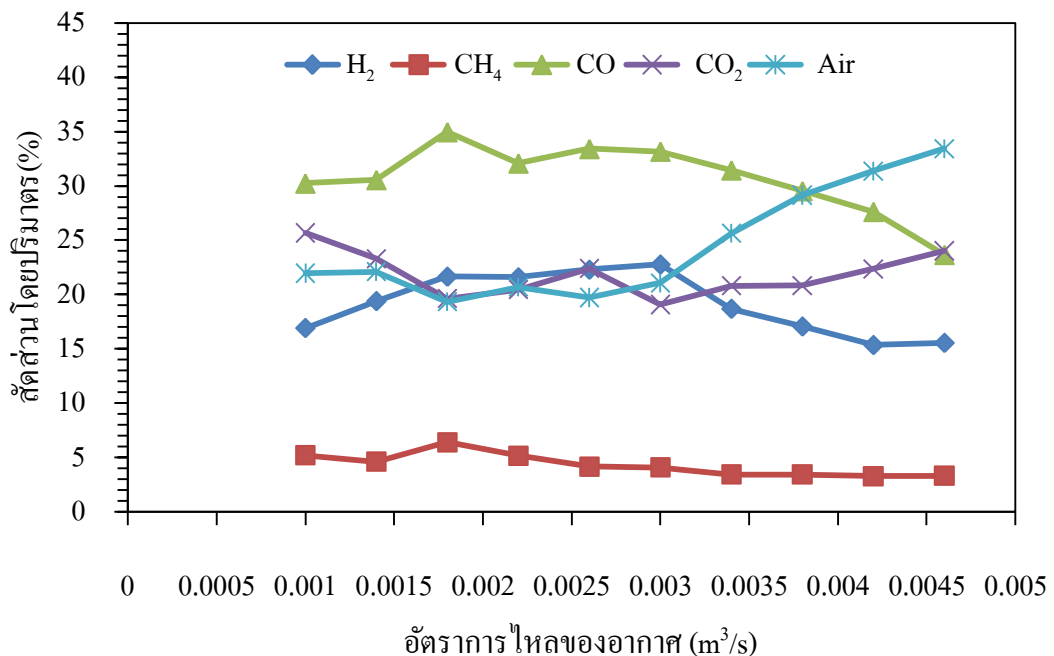
บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นกรออกแบบและสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงเพื่อวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างๆของแก๊สชีววมวล และวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์โดยนำค่าความร้อนของแก๊สชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าวมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของแก๊ส LPG โดยทำการทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศ 10 อัตราการไหลได้แก่ 0.0010m³/s, 0.0014 m³/s, 0.0018 m³/s, 0.0022 m³/s, 0.0026 m³/s, 0.0030 m³/s, 0.0034 m³/s, 0.0038 m³/s, 0.0042 m³/s และ 0.0046 m³/s

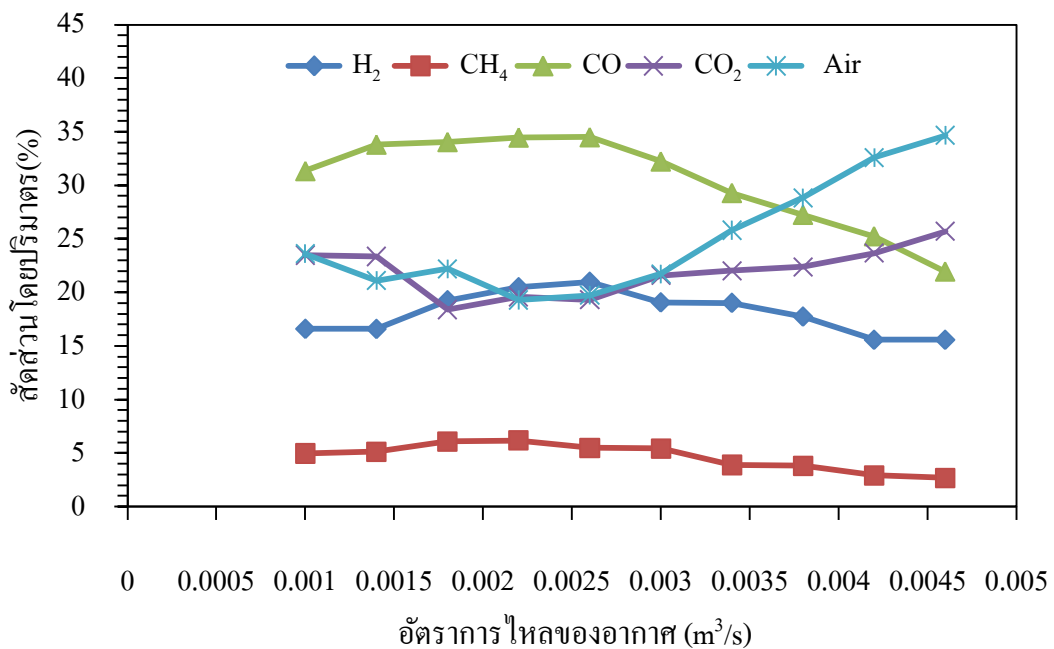
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ

ในโครงการนี้ได้ทำการทดลองเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง โดยได้กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 0.0010 m³/s, 0.0014 m³/s, 0.0018 m³/s, 0.0022 m³/s, 0.0026 m³/s, 0.0030 m³/s, 0.0034 m³/s, 0.0038 m³/s, 0.0042 m³/s และ 0.0046 m³/s โดยใช้ชีววมวลจากกะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัสมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊ส ในการทดลองนี้จะป้อนชีววมวลในปริมาณครั้งละ 6.5 kg โดยแก๊สที่ได้นั้นจะนำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างๆของแก๊สชีววมวล



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าว

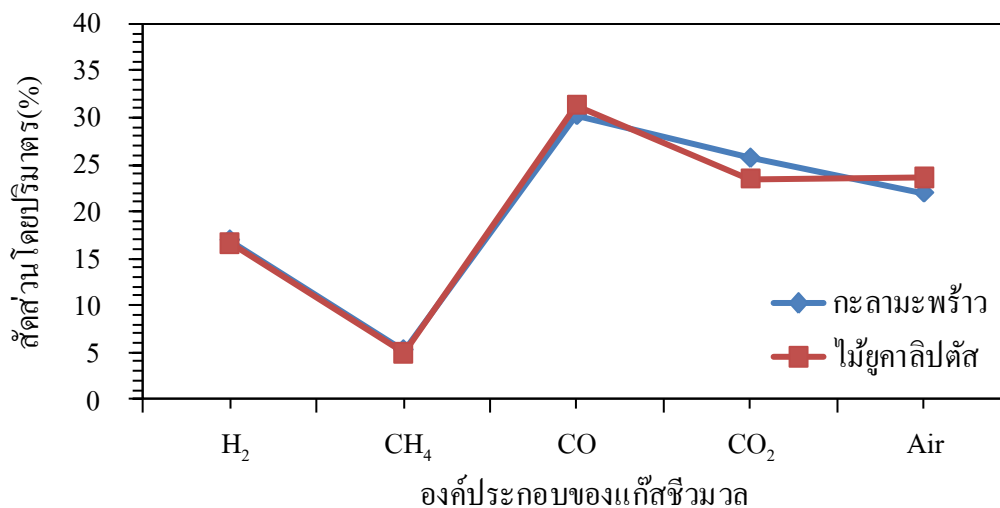
จากรูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่าเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจากที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลง และเมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มสูงขึ้นไปอีกจาก $0.0018 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิง ชีวมวลมีมากเกินไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณอากาศที่เหมาะสม กับการผลิตแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวคือ $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุด คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 34.97 % แก๊สมีเทน (CH₄) 6.41 % และ แก๊สไฮโดรเจน (H₂) 21.65 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 19.62 % และอากาศ (Air) 19.33 %



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สจากไม้ยูคาลิปตัส

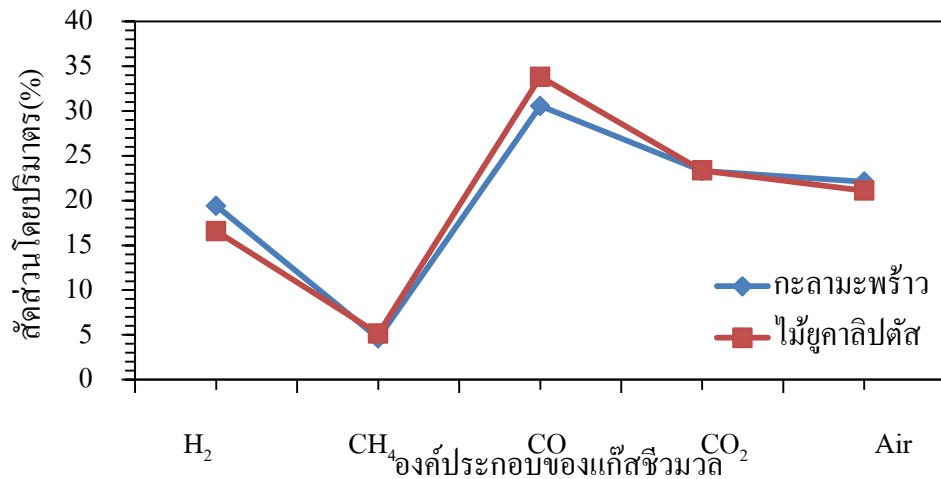
จากรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่าเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจากที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลง และเมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มสูงขึ้นไปอีกจาก $0.0026 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิง ชีวมวลมีมากเกินไป จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตแก๊สชีววมวลจาก ไม้ยูคาลิปตัสคือ $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งจะให้ปริมาณแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุดคือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 34.50 % แก๊สมีเทน (CH_4) 5.49 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 20.97 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 19.30 % และอากาศ (Air) 19.72 %



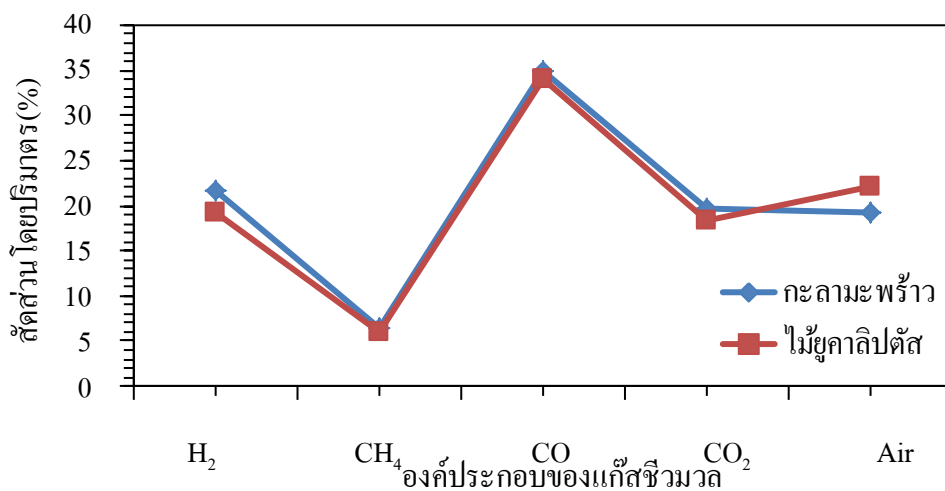
รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบขององค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ ชีวมวลจาก ไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ และมีปริมาณอากาศที่สูงกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากกะลามะพร้าวมีความต้องการอากาศที่ใช้การเผาไหม้น้อยกว่าไม้ยูคาลิปตัสจึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้ คือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 30.24 % แก๊สมีเทน (CH_4) 5.19 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 16.92 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 31.33 % แก๊สมีเทน (CH_4) 4.96 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 16.59 %



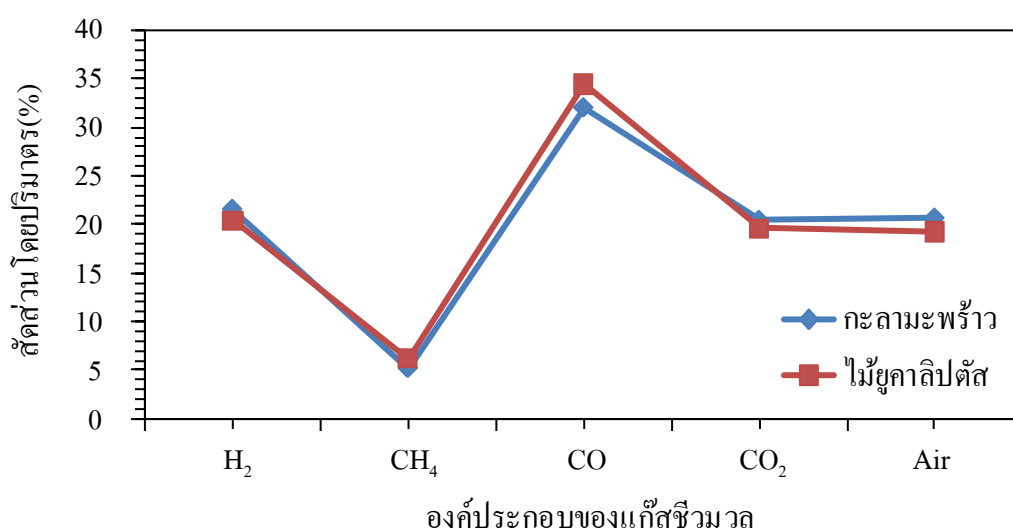
รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0014 m³/s

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.0014 m³/s จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ ชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่สูง และมีปริมาณแก๊สอากาศที่ต่ำกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากกะลามะพร้าวมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าไม้ยูคาลิปตัส โดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 30.56 % แก๊สมีเทน (CH₄) 4.61 % และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) 19.40 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 33.81 % แก๊สมีเทน (CH₄) 5.13 % และแก๊สไฮโดรเจน(H₂) 16.58 %



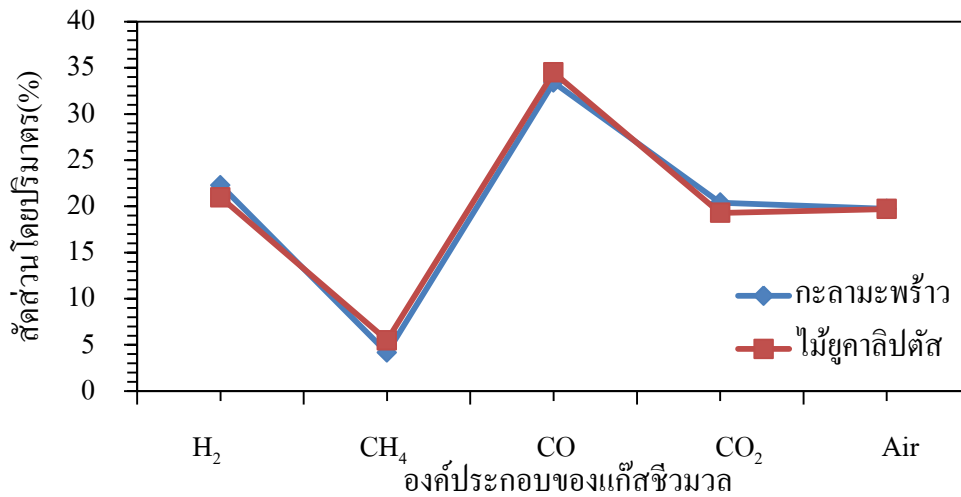
รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0018 m³/s

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ต่ำ และมีปริมาณอากาศที่สูงกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ากะลามะพร้าว โดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้ คือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 34.94 % แก๊สมีเทน (CH_4) 6.41 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 21.65 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 34.05 % แก๊สมีเทน (CH_4) 6.08 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 19.25 %



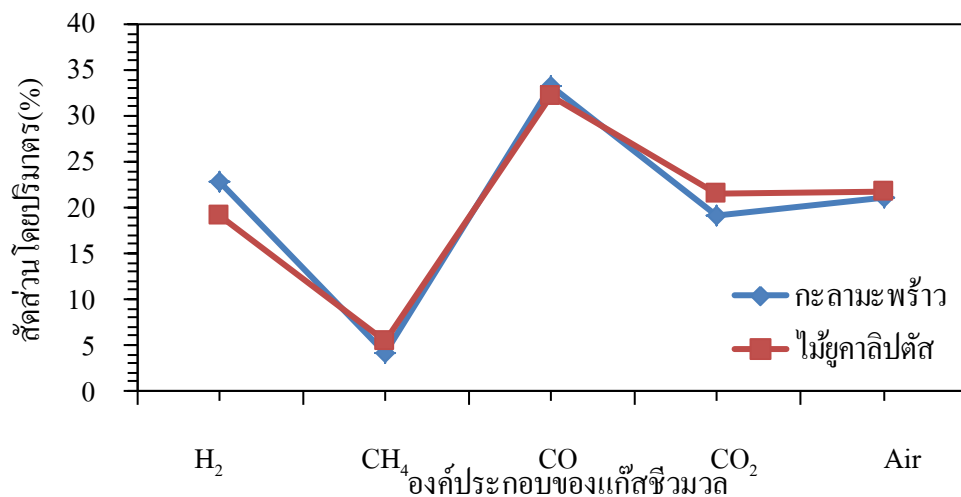
รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนที่สูง และมีปริมาณอากาศที่ต่ำกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากกะลามะพร้าวมีการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์กว่าไม้ยูคาลิปตัส โดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้ คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 32.09 % แก๊สมีเทน (CH_4) 5.16 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 21.59 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 34.47 % แก๊สมีเทน (CH_4) 6.16 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 20.46 %



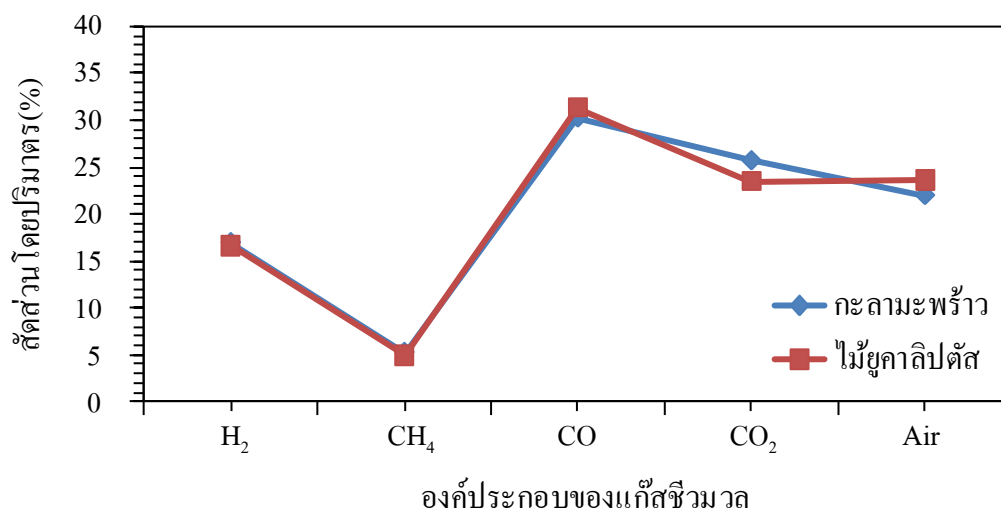
รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0026 m³/s

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.0026 m³/s จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน และมีปริมาณของแก๊สที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าไปสันดาประหว่างเชื้อเพลิงชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสและชีววมวลจากกะลามะพร้าวมีการเผาไหม้ที่สมดุลกันโดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 33.42 % แก๊สมีเทน (CH₄) 4.16 % และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) 22.29 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 34.50 % แก๊สมีเทน (CH₄) 5.49 % และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) 20.97 %



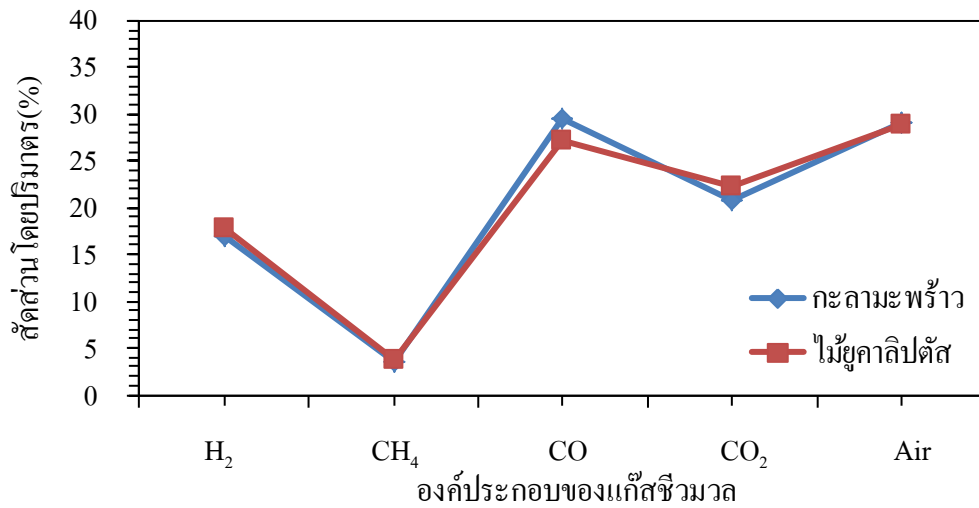
รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0030 m³/s

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0030 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนที่ต่ำ และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ากะลามะพร้าว โดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้ คือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 33.18 % แก๊สมีเทน (CH_4) 4.07 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 22.77 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 32.23 % แก๊สมีเทน (CH_4) 5.42 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 19.05 %



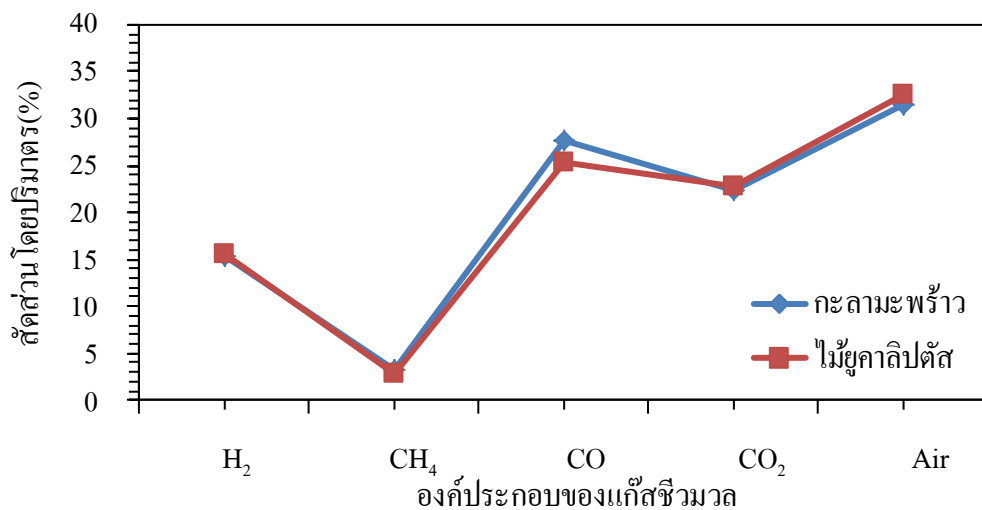
รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0034 \text{ m}^3/\text{s}$

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0034 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ ชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ต่ำ และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัสมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ากะลามะพร้าวโดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 31.45 % แก๊สมีเทน (CH_4) 3.43 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 18.69 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 29.28 % แก๊สมีเทน (CH_4) 3.88 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 19.01 %



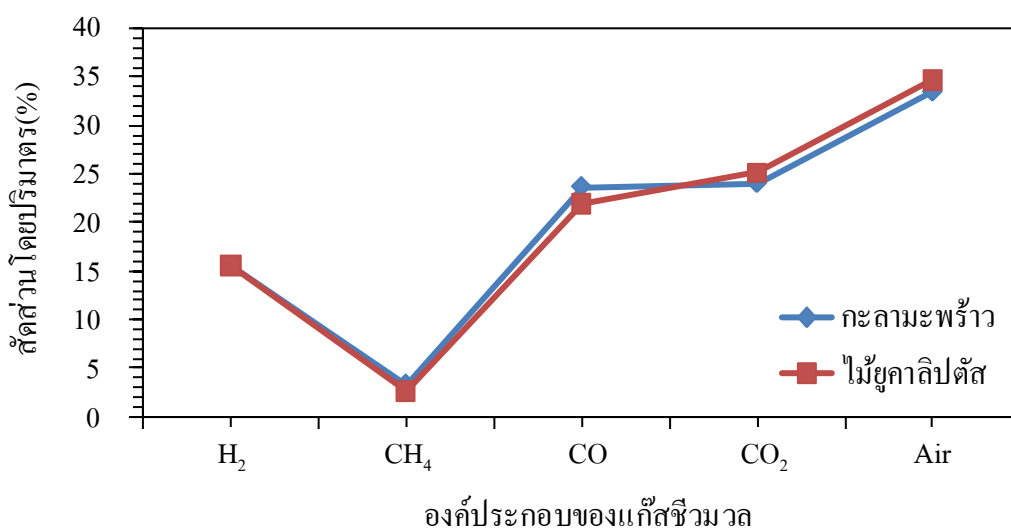
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0038 m³/s

จากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.0038 m³/s จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะคล้ายกัน แต่ไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ต่ำ และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ากะลามะพร้าว โดยกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 29.54 % แก๊สมีเทน (CH₄) 3.43 % และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) 17.06 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 27.24 % แก๊สมีเทน (CH₄) 3.80 % และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) 17.73 %



รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0042 m³/s

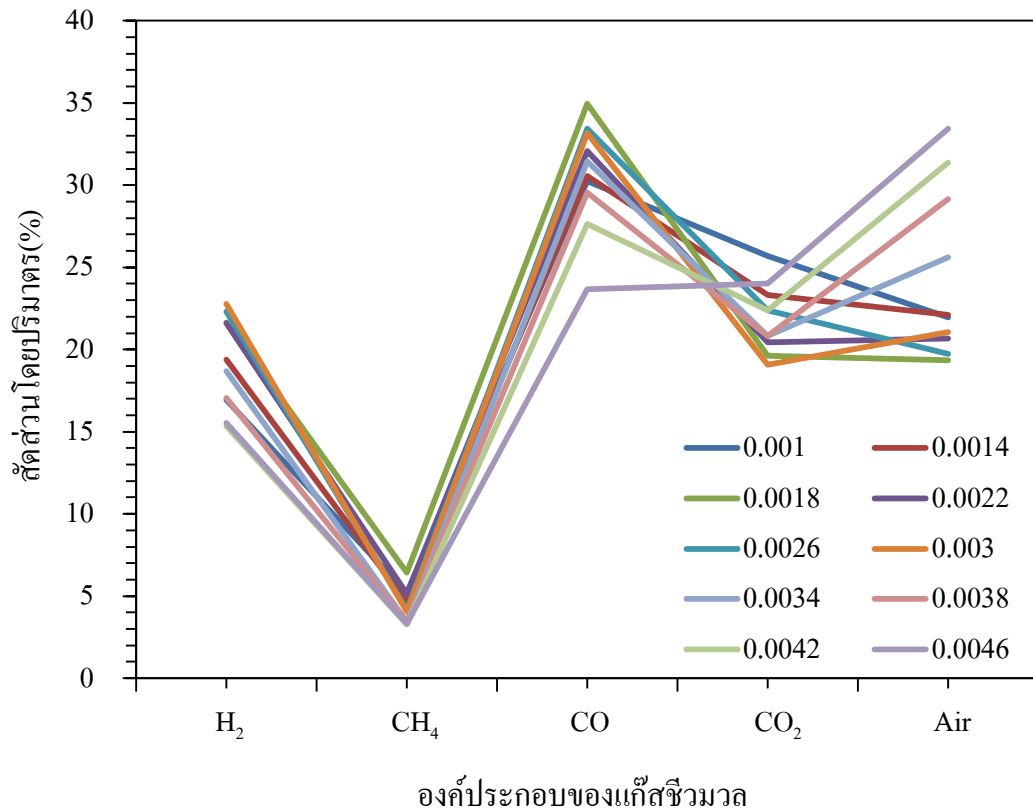
จากรูปที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจาก กะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0042 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลอง พบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีองค์ประกอบของแก๊สไปในทิศทาง เดียวกันเนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของชีววมวลทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และในอัตราการ ไหลของอากาศที่ $0.0042 \text{ m}^3/\text{s}$ จะพบว่าปริมาณอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้สูงเนื่องจากได้มีการ ปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงชีววมวลมากเกินไป โดยชีววมวลจาก กะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่เผาไหม้ได้คือแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 27.63 % แก๊สมีเทน (CH_4) 3.27 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 15.35 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 22.37 % และอากาศ (Air) 31.38 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 25.23 % แก๊สมีเทน (CH_4) 2.91 % และแก๊สไฮโดรเจน(H_2) 15.57 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 23.67 % และอากาศ (Air) 32.60 %



รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการ ไหลของอากาศ $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$

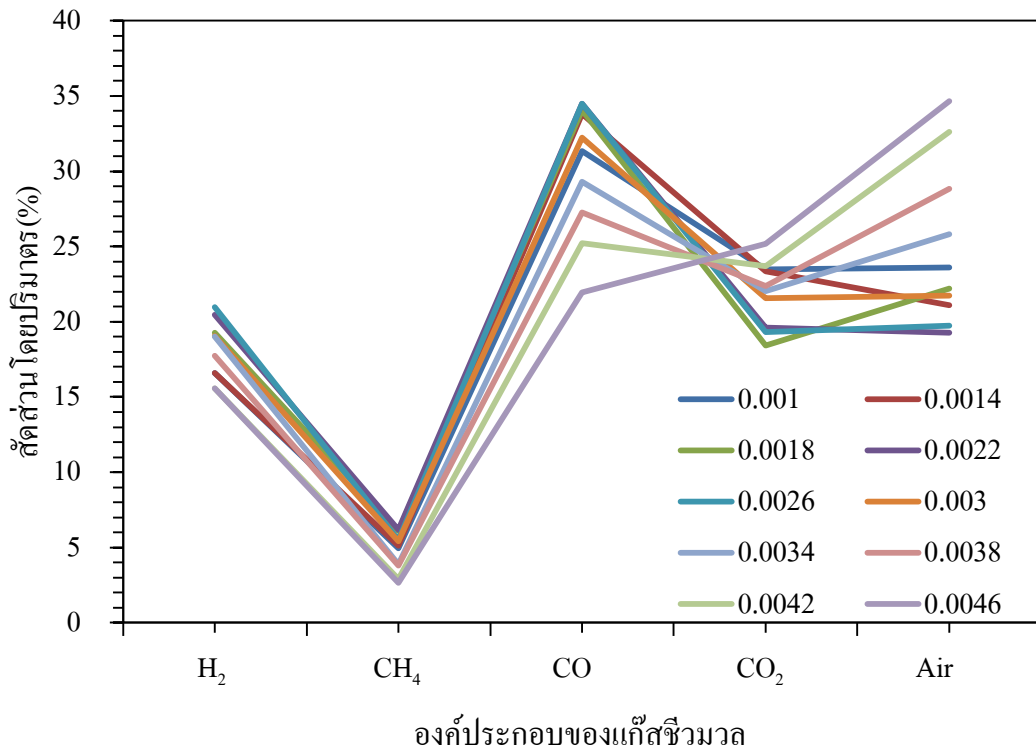
จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊ส ชีววมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จาก การทดลองพบว่าองค์ประกอบของแก๊สชีววมวลทั้ง 2 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จะมีปริมาณอากาศที่ค่อนข้าง สูงเนื่องจากการปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าไปมากจนเกินความสมดุลที่จะใช้ในการเผาไหม้แต่ ผลการวิเคราะห์แก๊สทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกันเนื่องจากชีววมวลจากกะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัสมีคุณสมบัติทางเคมีที่ใกล้เคียงกันโดยชีววมวลจากกะลามะพร้าวจะมีปริมาณแก๊สที่ เผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 23.67 % แก๊สมีเทน (CH_4) 3.32 % และแก๊ส ไฮโดรเจน (H_2) 15.55 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 24.02 % และอากาศ (Air) 33.44 % ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

21.93 % แก๊สมีเทน (CH_4) 2.66 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 15.57 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 25.17 % และอากาศ (Air) 34.65 %



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สจากกะลามะพร้าว

จากรูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากกะลามะพร้าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่า องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณใกล้เคียงกัน และมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด แต่พบว่าเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจากที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอากาศที่เข้าสู่เตานั้นได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้เส้นกราฟของคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมีแนวโน้มลดลง และเมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มสูงขึ้นไปอีกจาก $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงชีววมวลมีมากขึ้นไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงส่งผลทำให้เส้นกราฟของคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

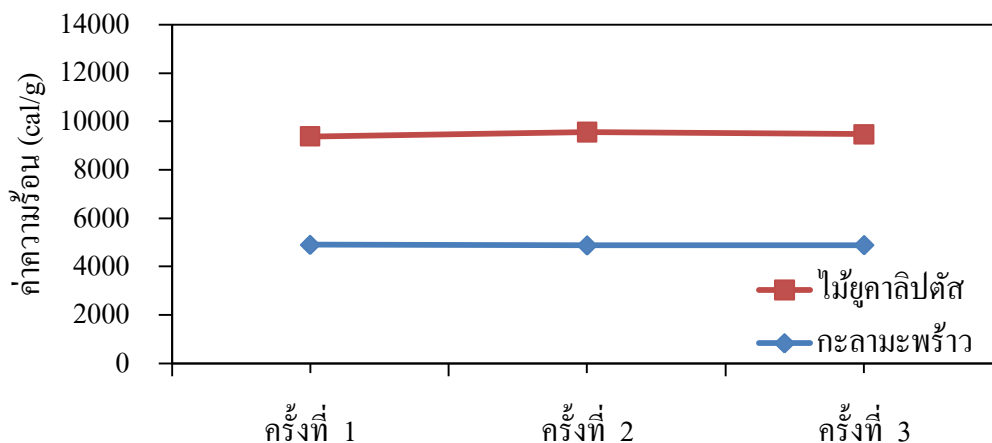


รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัส

จากรูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลจากไม้ยูคาลิปตัส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จากการทดลองพบว่า องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณใกล้เคียงกันและมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุดแต่พบว่าเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจากที่ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอากาศที่เข้าสู่เตานั้นได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้เส้นกราฟของคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มสูงขึ้นไปอีกจาก $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ จะส่งผลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงชีววมวลมีมากเกินไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงส่งผลทำให้เส้นกราฟของคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

4.2 ผลการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจะทดสอบโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยจะทำการทดลองหาค่าความร้อนของชีวมวลจากกะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัสอย่างละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของชีวมวล



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัส

จากรูปที่ 4.15 ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจากกะลามะพร้าวและไม้ยูคาลิปตัส โดยทำการทดลองด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ จากการทดลองหาค่าความร้อนพบว่าในการทดลองแต่ละครั้งกราฟของชีวมวลจากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนมากกว่าไม้ยูคาลิปตัส โดยกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 4885.09 cal/g ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 4587.73 cal/g เนื่องจากชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ต่างกันจึงทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่าง ดังนั้นในกระบวนการผลิตแก๊สควรเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ต่างชนิดกันจะส่งผลต่อค่าความร้อนของแก๊สที่ผลิตได้โดยตรง

4.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวล

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนนั้น จะนำค่าความร้อนของชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าวมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของแก๊ส LPG โดยที่ค่าความร้อนของแก๊ส LPG มีค่าเท่ากับ 50.22 MJ / kg ซึ่งแก๊ส LPG 1 ถึงขนาด 15 kg มีราคา 290 Bath หากใช้หมดภายใน 1 เดือนจะมีค่าความร้อนเท่ากับ $15 \text{ kg} \times 50.22 \text{ MJ/kg}$ เท่ากับ 753.3 MJ ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความร้อนของแก๊ส LPG มาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลได้จาก ตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลและแก๊ส LPG

| รายการ | ชีวมวลจากกะลามะพร้าว | ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส |
|--|----------------------|------------------------|
| ค่าความร้อน | 20448.98 kJ/kg | 19204.23 kJ/kg |
| ต้องการค่าความร้อน 753.3 MJ จะใช้ชีวมวล | 36.83 kg | 39.22 kg |
| ค่าใช้จ่ายในการผลิตแก๊สชีวมวล | 1.50 Bath / kg | 5 Bath / kg |
| ค่าใช้จ่ายรายเดือน | 55.24 Bath | 196.10 Bath |

จากตาราง 4.14 จะพบว่าการผลิตแก๊สชีวมวลจากกะลามะพร้าวให้มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับแก๊ส LPG ขนาดถึง 15 kg จะมีค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าการใช้แก๊ส LPG 234.76 Bath/month และจากการลงทุนสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 7,200 Bath ถ้านำเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมาใช้แทนแก๊ส LPG จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ

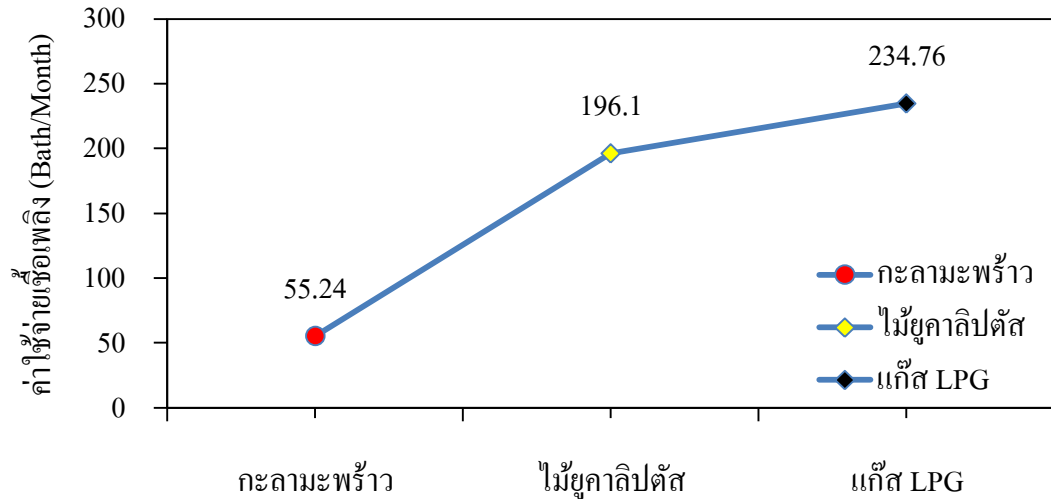
$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิรายเดือน}} \\
 &= \frac{7200 \text{ Bath}}{234.76 \text{ Bath / Month}} \\
 &= 30.66 \text{ Month} \\
 &= 2.5 \text{ Year}
 \end{aligned}$$

การผลิตแก๊สชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสให้มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับแก๊ส LPG ขนาดถึง 15 kg จะมีค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าการใช้แก๊ส LPG 93.9 Bath/month และจากการลงทุนสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 7,200 Bath ถ้านำเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงมาใช้แทนแก๊ส LPG จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิรายเดือน}} \\
 &= \frac{7200 \text{ Bath}}{93.9 \text{ Bath / Month}}
 \end{aligned}$$

= 76.67 Month

= 6.38 Year



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงชีวมวลจากกะลามะพร้าวและเชื้อเพลิงชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส โดยเปรียบเทียบค่าความร้อนระหว่างค่าความร้อนของแก๊ส LPG 1 ถึงขนาด 15 kg กับชีวมวล จากการทดลองพบว่าที่ค่าความร้อนของแก๊ส LPG และค่าความร้อนของชีวมวลเท่ากันพบว่าการใช้ชีวมวลจากกะลามะพร้าวจะมีค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG 234.76 Bath/month ส่วนการใช้ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะมีค่าใช้จ่ายประหยัดกว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG 93.9 Bath/month และในการลงทุนสร้างเตาผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับผลต่างของการประหยัดค่าใช้จ่ายระหว่างชีวมวลกับแก๊ส LPG จึงทำให้จุดคุ้มทุนมีระยะเวลา

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาและออกแบบสร้างเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง เพื่อหาหาค่าประกอบของแก๊สที่ผลิตได้ โดยทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เท่ากับ $0.0010 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0014 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0030 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0034 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0038 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0042 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.0046 \text{ m}^3/\text{s}$ ใช้ชีวมวลในการทดสอบ 2 ชนิดคือชีวมวลกะลามะพร้าว และชีวมวลไม้ยูคาลิปตัสหลังทำการทดลองแล้วได้อธิบายผลการทดลองไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) จากการทดลองโดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งหมด 10 อัตราการไหลพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตแก๊สชีวมวลจากกะลามะพร้าวคือ $0.0018 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีองค์ประกอบของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุดคือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 34.97 % แก๊สมีเทน (CH_4) 6.41 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 21.65 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 19.62 % และอากาศ 19.33 % ส่วนที่อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตแก๊สชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสคือ $0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีองค์ประกอบของแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้สูงสุด คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 34.50 % แก๊สมีเทน (CH_4) 5.49 % และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 20.97 % ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 19.30 % และอากาศ 19.72 % ซึ่งชีวมวลจากกะลามะพร้าวจะใช้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สน้อยกว่าชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ และชนิดของชีวมวลจึงมีผลต่อองค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้

2) เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบค่าความร้อนของแก๊ส LPG กับค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากกะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัส พบว่าการผลิตแก๊สชีวมวลให้มีความร้อนเท่ากับแก๊ส LPG ขนาดถังบรรจุ 15 kg เชื้อเพลิงชีวมวลจากกะลามะพร้าวจะประหยัดได้ 234.76 บาท/เดือนโดยจะคืนทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ 2.5 ปี และเชื้อเพลิงชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัสจะประหยัดได้ 93.90 บาท/เดือนโดยจะคืนทุนภายในระยะเวลาเท่ากับ 6.38 ปี และในปัจจุบันราคาแก๊ส LPG มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุนอาจจะเร็วกว่านี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง พบว่าเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงสามารถใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมาผลิตแก๊สเพื่อใช้หุงต้มภายในครัวเรือนแทนแก๊ส LPG ได้ และอาจเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นทางเลือกส่งเสริมการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ อีก ทั้งยังเป็นทางเลือกช่วยประหยัดแก๊ส LPG ที่มีแนวโน้มราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแยกประเด็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1) ควรแก้ไขระบบการตีไฟในเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงเพื่อสะดวกต่อการใช้งานซึ่งการจุดตีไฟควรเจาะช่องสำหรับตีไฟที่บริเวณห้องเผาไหม้

2) ควรออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบไหลลงให้มีฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] บวรพรรณ คติการ.2529.ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.
- [2] Forest Industries Division (1986). Wood gas as engine fuel. Mechanical Wood
Products Branch.
- [3] สุรีย์ จรูญศักดิ์. 2543. การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้
ผลิตเซรามิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี.
- [4] วิภาวรรณ แสงสง่า. 2544. การเปรียบเทียบการผลิตเซรามิกโดยใช้พลังงานความร้อนที่ได้จาก
เตาก๊าซชีฟไฟเออร์แบบ UpDraft และ Downdraft. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] สุรพงษ์ คล้ายมุข. 2545. การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตโปรติวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สชนิด
ไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] อำนาจ คงไทย. 2547. ศักยภาพในการใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] รัตน์ เลหวนิช. 2550. การออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลงสำหรับการ
อบแห้งปุ๋ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] ศุภวิทย์ ลวณะสกล และคณะ. 2551. การผลิตไอน้ำ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดยระบบหม้อไอน
น้ำแก๊สชีฟไฟเออร์จากชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [9] ไชยวัฒน์ จวนทอง. 2553. การศึกษาออกแบบเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สชีวมวลจากใบอ้อยโดยใช้
เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [10] ชัยยุทธ ไชยงาม และธงชัย กำลิ่งหาญ. 2554. การศึกษาการลดระยะเวลาในการอุ่นเชื้อเพลิง
ของหัวเผา น้ำมันพีซไฟแล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [11] Dr.Naksitte Coovattanachai, Biomass Gasification, ASEAN SUB-COMMITT on Non-
Conventional Energy Research.
- [12] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน,
สถานการณ์พลังงานไทยปี พ.ศ. 2553 และแนวโน้มปี พ.ศ. 2554.
- [13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, การใช้พลังงานทดแทน
เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 – เดือนเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554.