

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง  
SYNGAS PRODUCTION FROM BAMBOO-BASED CHARCOALS USING  
A DOWNDRAFT GASIFIER

นิธิพัฒน์ ศิลป์จิตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2566

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง

**SYNGAS PRODUCTION FROM BAMBOO-BASED CHARCOALS USING**

**A DOWNDRAFT GASIFIER**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2566

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยระบบเตาแก๊ส  
ซีไฟเออร์แบบไหลลง

ผู้วิจัย

นิธิพัฒน์ คตังจิตร

สาขาวิชา

พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์ดินถนาท

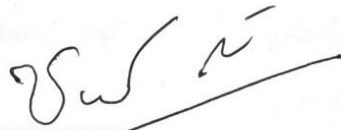
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์

คณะกรรมการสอบ



..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทาลย์ ชัยชนะ)



..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์ดินถนาท)



..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและ  
สิ่งแวดล้อมชุมชน



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลณัฐ พลวัน)

วันที่ ๓๑ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๖

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยระบบเตาแก๊ส  
ซีไฟเออร์แบบไหลลง

ผู้วิจัย : นิธิพัฒน์ ตลิ่งจิตร

สาขาวิชา : พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

: อาจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์สินธุนาท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยใช้ระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง โดยใช้ถ่านไม้ไผ่โดยได้นำถ่านไม้ไผ่ซึ่งมีค่าความร้อน 27.72 MJ/kg เป็นเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง โดยมีการทดสอบปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ให้มีค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Equivalent Ratio, ER) 0.2 0.3 0.4 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยมีการวัดอุณหภูมิ 4 จุดได้แก่ 1. ถังเก็บเชื้อเพลิง 2. ห้องเผาไหม้ 3. รีดักชัน 4. หอล้างแก๊ส เพื่อศึกษาข้อมูลของอุณหภูมิในช่วงต่าง ๆ ของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์เพื่อนำไปใช้ประกอบในการหาประสิทธิภาพของระบบเตา

ผลการศึกษา พบว่า การทดลองกำหนด ER ของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ER 0.2 0.3 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ไผ่จำนวน 15 กิโลกรัมเท่ากันพบว่า ER 0.2 สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพที่ต่ำในส่วนของ ER 0.3 พบว่าสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 ในส่วน ER 0.4 พบว่าอุณหภูมิในช่วงห้องเผาไหม้จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ที่มีการกำหนดปริมาณอากาศที่ ER 0.3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่

คำสำคัญ : แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์, แก๊สซีไฟเออร์, ถ่านไม้ไผ่, อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงต่ออากาศ

**The Title** : Syngas Production from Bamboo-based Charcoals  
Using a Downdraft Gasifier

**The Author** : Nithipat Taluengjit

**Program** : Community Energy and Environment

**Thesis Advisors**

: Dr. Chayanon Sawatdeenarunat Advisor

: Assistant Professor Dr. Nuttiya Tantranont Co – advisor

**ABSTRACT**

The objective of this research is to produce synthetic fuel gas from bamboo-based charcoal by using a downdraft gasifier. The charcoal with the heat value of 27.72 MJ/kg is utilized as the fuel in the runoff. The testing of the amount of air for combustion in the gasifier is adjusted to derive the equivalent ratio (ER) of fuel to air at 0.2, 0.3 and 0.4 in an attempt to find out suitable conditions to produce the synthetic gas. The temperatures are measured at four locations: the fuel storage tank, the combustion chamber, reduction, and the gas flushing tower. This is conducted to uncover temperature ranges in the gasifier for use to determining the efficiency of the furnace.

The research results revealed that the ER determination experiment of the three types of gasifier using 15 kilograms of bamboo-based charcoal as the fuel revealed that ER 0.2 can produce synthetic gas with low efficiency, ER 0.3 can produce the gas continuously for one and a half hours, and ER 0.4 generates a high temperature in the combustion chamber. From the experiment, it can be concluded that ER 0.3 is the optimal condition to produce synthetic fuel gas from bamboo-based charcoal.

**Keywords** : Synthetic Fuel Gas, Gasifier, Bamboo-Based Charcoal, Equivalent Ratio of Fuel to Air

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เกิดขึ้นและสำเร็จลงไปด้วยดีผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์ดินถนาท อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอดจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (adiCET) ที่ให้ทุนในการทำวิจัยครั้งนี้และขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ที่วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (adiCET) ตลอดจนเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านเอกสารและประสานงานต่าง ๆ ขอบขอบคุณ

นิธิพัฒน์ ตลิ่งจิตร

## สารบัญ

|                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ .....                                                | ข    |
| ABSTRACT .....                                                | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                         | ง    |
| สารบัญ .....                                                  | จ    |
| สารบัญตาราง .....                                             | ช    |
| สารบัญภาพ .....                                               | ซ    |
| บทที่                                                         |      |
| 1 บทนำ .....                                                  | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                          | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                                 | 1    |
| ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย .....                               | 2    |
| สมมติฐานการวิจัย .....                                        | 3    |
| ขอบเขตของการวิจัย .....                                       | 4    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ .....                                         | 5    |
| กรอบแนวคิดการวิจัย .....                                      | 5    |
| 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....                         | 6    |
| ชีวมวล.....                                                   | 6    |
| ศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทย.....                              | 7    |
| คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล.....                             | 8    |
| ความหมายเตาแก๊สซิไฟเออร์.....                                 | 9    |
| ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบเบดคงที่.....  | 13   |
| ส่วนประกอบของแก๊สที่ผลิตได้.....                              | 13   |
| การออกแบบระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์.....                            | 14   |
| ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง..... | 17   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                   | 18   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า                                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------|
| 3     | วิธีดำเนินการวิจัย ..... 22                                 |
|       | การทดสอบหาสมบัติและองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่..... 23          |
|       | การออกแบบระบบเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง ..... 23              |
|       | วิธีการทดสอบ เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง..... 26               |
|       | เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ..... 27                         |
|       | การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ..... 29                |
| 4     | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 31                               |
|       | การวิเคราะห์องค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่..... 32                 |
|       | การออกแบบระบบเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง..... 33               |
|       | การหาพลังงานที่ใช้ของเตาแก๊สซิฟิเคชัน..... 33               |
|       | การหาอัตราการผลิตเชื้อเพลิง..... 33                         |
|       | การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reactor..... 34                   |
|       | การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง..... 34            |
|       | วิธีการทดสอบ เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง..... 35               |
|       | การคำนวณปริมาณอากาศ..... 37                                 |
|       | ผลการทดลอง..... 38                                          |
|       | การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้..... 44   |
|       | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซิฟิเคชัน..... 45 |
|       | การวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง..... 46             |
|       | สรุปประสิทธิภาพระบบเตาแก๊สซิฟิเคชัน..... 48                 |
|       | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซิฟิเคชัน..... 51 |
|       | การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์..... 52                 |
|       | การคำนวณมูลค่าแก๊สที่ผลิตได้ต่อปี..... 53                   |
|       | ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์..... 53             |
| 5     | สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ..... 54                       |
|       | สรุปผลการทดลอง ..... 54                                     |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| การวิเคราะห์หาค่าประกอบของถ่านไม้ไฟ.....                            | 54   |
| การออกแบบระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง.....                            | 54   |
| สรุปประสิทธิภาพระบบเตาแก๊สซีฟเอร์.....                              | 55   |
| การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....                            | 56   |
| ข้อเสนอแนะ .....                                                    | 56   |
| บรรณานุกรม .....                                                    | 57   |
| ภาคผนวก .....                                                       | 59   |
| ภาคผนวก ก เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบเก็บข้อมูลและระบบเตาแก๊สซีฟเอร์..... | 60   |
| ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงและผลงานการตีพิมพ์ .....      | 72   |
| ประวัติผู้วิจัย .....                                               | 78   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                   | หน้า |
|----------|---------------------------------------------------|------|
| 2.1      | แสดงคุณสมบัติของชีวมวล.....                       | 6    |
| 2.2      | ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง..... | 13   |
| 2.3      | องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง.....                  | 15   |
| 3.1      | ปัจจัยต้น-ปัจจัยตามในการทดลอง.....                | 27   |
| 4.1      | การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่.....        | 34   |
| 4.2      | ปริมาณอากาศที่ทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง.....  | 39   |
| 4.3      | ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง.....              | 47   |
| 4.4      | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน .....                | 47   |
| 4.5      | ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง.....              | 49   |
| 4.6      | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน.....                 | 49   |
| 4.7      | ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง.....              | 53   |
| 4.8      | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน.....                 | 53   |
| 4.9      | ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....      | 55   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....                                          | 5    |
| 2.1 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น (Updraft Gasifier) .....      | 9    |
| 2.2 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง (Downdraft Gasifier) .....      | 10   |
| 2.3 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวาง (Crossdraft Gasifier)..... | 12   |
| 3.1 หลักการทำงานของเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบไหล.....                      | 30   |
| 3.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type K Thermocouple).....                   | 31   |
| 3.3 Data Logger.....                                                  | 31   |
| 3.4 ถูเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง.....                                 | 30   |
| 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม.....                                         | 30   |
| 4.1 ระบบเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบไหลลง.....                               | 35   |
| 4.2 ห้องเผาไหม้ระบบเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์ขนาด 25 cm.....                  | 35   |
| 4.3 ขนาดความสูงเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์ 63 cm.....                          | 39   |
| 4.4 ถ่านไม้ไฟขนาดไม่เกิน 3 นิ้วที่ใช้ในการทดสอบ.....                  | 39   |
| 4.5 ถ่านไม้ที่ใช้ในการทดสอบ.....                                      | 40   |
| 4.6 การวัดค่าอุณหภูมิภายในเตา 4 จุดเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุด.....      | 40   |
| 4.7 อุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิง.....                                    | 42   |
| 4.8 อุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิง (ถ่านไม้ไฟ).....                        | 42   |
| 4.9 อุณหภูมิห้องเผาไหม้.....                                          | 44   |
| 4.10 อุณหภูมิห้องเผาไหม้ (เศษถ่านไม้ไฟ).....                          | 44   |
| 4.11 อุณหภูมิช่วงรีดักชั่น.....                                       | 46   |
| 4.12 อุณหภูมิช่วงรีดักชั่น (เศษถ่าน).....                             | 46   |
| 4.13 องค์ประกอบแก๊สที่ผลิตได้.....                                    | 48   |
| 4.14 องค์ประกอบแก๊สที่ผลิตได้เศษถ่านไม้ไฟ.....                        | 50   |
| 4.15 การติดตั้งเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบไหลลงที่ใช้ในการทดลอง.....        | 51   |
| 4.16 การเปรียบเทียบองค์ประกอบแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้.....                | 51   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์ ก่อตั้งขึ้นตามพระราชดำริของสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี ในปีพ.ศ. 2515 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้ประชาชนประกอบอาชีพสุจริตและมีคุณภาพชีวิตที่ดีอย่างยั่งยืน โดยใช้แนวทางการพัฒนาที่สืบสานตามแนวพระราชปณิธานของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี เพื่อแก้ปัญหาความยากจนซึ่งเป็นรากเหง้าของปัญหาสังคมต่าง ๆ เช่น ยาเสพติด การทำลายสิ่งแวดล้อม และโครงสร้างสังคมอ่อนแอ (โครงการพัฒนาออยดุง, 2563) ทั้งนี้พลังงานเป็นปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญมากในการบรรลุวัตถุประสงค์อย่างไรก็ตามมูลนิธิแม่ฟ้าหลวงฯ ได้มีการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้ลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงไปได้ร้อยละ 15 ในปี พ.ศ. 2561 เมื่อเทียบกับในปี พ.ศ. 2558 ในปี พ.ศ. 2561 มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงฯ มีการใช้พลังงานรวมทั้งสิ้น 680 ตันน้ำมันดิบ (Ton of oil Equivalent) (หรือเทียบเท่า 28,470.24 GJ) ในจำนวนนี้เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เพียง 56.5 ตันน้ำมันดิบ หรือคิดเป็นร้อยละ 8.3 ของการใช้พลังงานทั้งหมดเท่านั้น เพื่อให้ทำตามเป้าหมายพลังงานทดแทนของประเทศ (30 เปอร์เซนต์ ภายในปี พ.ศ. 2579) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนอีกประมาณ 200 ตันน้ำมันดิบ

โครงการพัฒนาออยดุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีพื้นที่ประมาณ 93,915 ไร่ มีพื้นที่ป่า 84,795 ไร่ ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด (38,084 ไร่) เป็นป่าไฟ โดยธรรมชาติลำไผ่อายุ 5-8 ปี จะล้มหรือแห้งตายในช่วงหน้าร้อนหรือหน้าแล้ง เมื่อเกิดไฟป่า ต้นไผ่ที่ล้มหรือแห้งตายนั้นจะเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี ซึ่งส่งผลก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน (โครงการพัฒนาออยดุง, 2563) ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ส่วนงานสิ่งแวดล้อม มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงฯ จึงต้องการหาทางใช้ประโยชน์จากลำไผ่ที่ล้มหรือแห้งตายในป่า รวมทั้งการใช้ชีวมวลอื่น ๆ ที่มีศักยภาพสำหรับการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงและพลังงานชีวภาพ (Bio-fuels and Bioenergy) ทดแทนเชื้อเพลิงที่มาจากฟอสซิลกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นกระบวนการทางเคมีความ

ร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ชีวมวลแข็งเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนภายใต้สภาวะ (Partial Oxidation) เพื่อให้เชื้อเพลิงแข็งกลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthesis Gas or Syngas) แก๊สดังกล่าวมีองค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และ แก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) ซึ่งมีสมบัติเป็นเชื้อเพลิงและให้พลังงานความร้อน (นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ กิตติกร สาธุจิตต์ 2558) เหตุผลดังกล่าว โครงการวิจัยจึงมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อนำไปทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง รวมทั้งวิเคราะห์หาลำดับองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ค่าความร้อน ปริมาณคาร์บอน และประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasifier) และประเมินความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม (LPG) ของโครงการพัฒนาออยคองฯ ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณการใช้พลังงานทดแทน และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับโครงการพัฒนาออยคองฯ ต่อไป

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ความร้อนและองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่ได้ Bulk density, Ultimate analysis, Proximate analysis และ Heating value เพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงสังเคราะห์ด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง
2. เพื่อออกแบบ จัดทำ ทดสอบ และติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง โดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่เพื่อทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว
4. เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้แก๊สซิฟิเคชันที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลวโดยพิจารณาจากการคำนวณค่า (Payback Period: PB), (Net Present Value: NPV), (Internal Rate of Return: IRR) ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว

### ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงสมบัติและองค์ประกอบของถ่านที่ได้จากต้นไผ่ และศักยภาพสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชัน สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม
2. ได้ข้อมูลองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Syngas) ค่าความร้อน ปริมาณคาร์บอน ปริมาณของเตาแก๊สซิฟิเคชัน และศักยภาพการใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม รวมทั้งสถานะหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบแก๊สซิฟิเคชัน
3. ได้ทราบถึงแนวทางการนำแก๊สจากเตาแก๊สซิฟิเคชันไปใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลวใน โรงงานเย็บผ้า โรงผลิตกระดาษสา และโรงงานเซรามิค
4. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตและการใช้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากถ่านต้นไผ่หรือชีวมวลอื่น ๆ
5. ได้แนวทางการจัดการเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในชุมชนโดยชาวบ้านในพื้นที่ เพื่อให้เกิดประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงทดแทนแก๊สหุงต้ม ทั้งด้านสังคม สิ่งแวดล้อม และพลังงานสูงสุด รวมทั้งเกิดความมั่นคงและยั่งยืนต่อไป

### สมมติฐานการวิจัย

การนำถ่านไม้ไผ่แห้งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาแก๊สซิฟิเคชันเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโครงการพัฒนาคอกอู

### ขอบเขตของการวิจัย

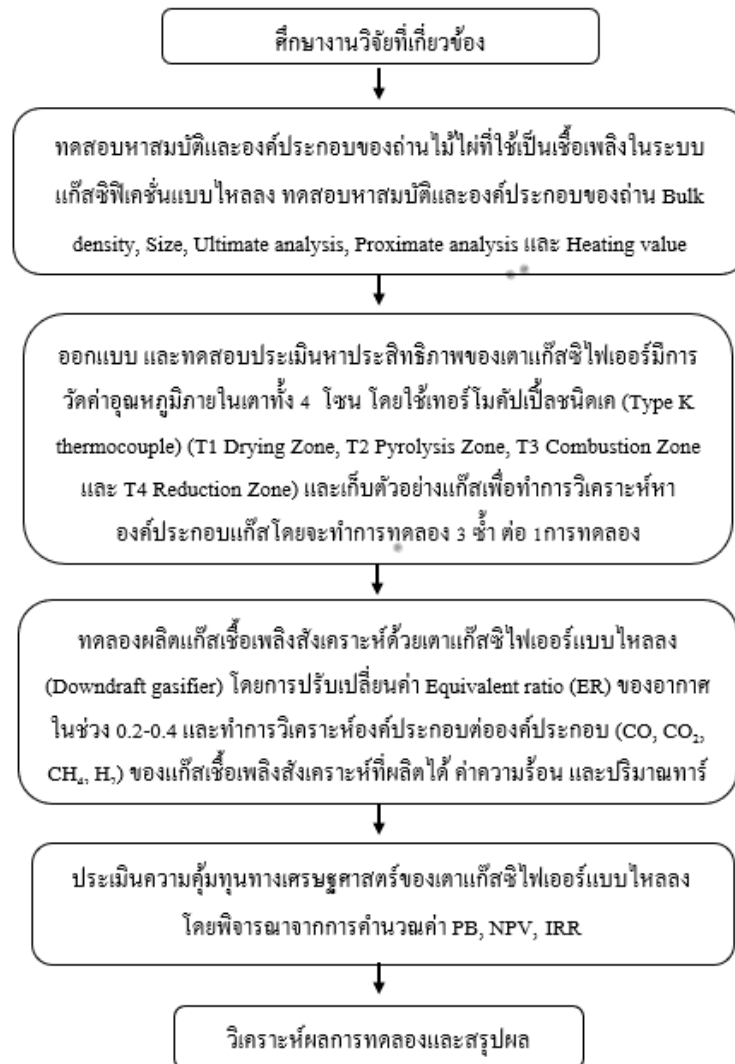
1. ทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านไม้ไผ่ดังนี้ ได้แก่ ความหนาแน่น (Bulk Density), วิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง (Ultimate Analysis), วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของถ่าน (Proximate Analysis) และค่าความร้อน (Heating Value)
2. พัฒนาระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงขนาดรองรับถ่านไม้ไผ่จำนวน 24 กิโลกรัม
3. ศึกษาสังเคราะห์ (Syngas) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้แก๊สแก๊สหุงต้มและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับขนาดของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนสมมูล (Equivalent Ratio) ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ เพื่อทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว
4. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

### นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง หมายถึง เป็นเทคโนโลยีสำหรับการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงของแข็งให้กลายเป็นเชื้อเพลิงแก๊สที่ได้เรียกว่า โปรดิวเซอร์แก๊ส ซึ่งมีองค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH<sub>4</sub>) และไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) เป็นองค์ประกอบ ที่สามารถจุดติดไฟได้ เป็นแบบไหลลง (Down-Draft) โดยแบ่งออกเป็น 3 โซนเรียงจากด้านบนมาล่าง คือ ชั้นลดความชื้น (Distillation Zone) ชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) และชั้นผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Reduction Zone) โดยอากาศจะไหลเข้ามาทางด้านบนและแก๊สที่ผลิตได้จะไหลออกมาทางด้านล่างซึ่งข้อดีของเครื่องนี้คือบริเวณชั้นเผาไหม้จะไม่ติดกับบริเวณส่วนที่เป็นจี้เต้า ดังนั้นในกรณีที่อุณหภูมิของชั้นเผาไหม้สูง ๆ จะไม่เกิดการละลายและรวมตัวเป็นก้อนจี้เต้า (Clinker) และนอกจากนี้เตาผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สชนิดนี้ยังสามารถนำความชื้นที่ได้จากการอบเชื้อเพลิงที่บริเวณชั้นลดความชื้น มาใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ชั้นผลิตแก๊สสังเคราะห์ได้อีกด้วย

แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ หมายถึง แก๊สที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงและมีอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างจำกัดทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และ แก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน แก๊สที่ผลิตได้เหล่านี้เป็นแก๊สชีวภาพหรือแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิจัย เรื่อง การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้แนวทางการวิจัยโดยได้แยกประเด็นวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ชีวมวล
  - 1.1 ความหมายของชีวมวล
  - 1.2 ศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทย
  - 1.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล
  - 1.4 การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล
2. เตาแก๊สซีไฟเออร์
  - 2.1 ชนิดแก๊สซีไฟเออร์ ประสิทธิภาพและข้อเด่น ข้อด้อย
  - 2.2 ส่วนประกอบของแก๊สที่ผลิตได้
  - 2.3 การออกแบบระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์
3. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
  - 3.1 ระยะเวลาคืนทุน
  - 3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
  - 3.3 อัตราผลตอบแทนภายใน

#### ชีวมวล

##### ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) หมายถึงอินทรีย์สารที่ได้มาจากพืชหรือสัตว์ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร มูลสัตว์ และขยะชุมชน แต่ไม่ได้มีความหมายรวมถึงอินทรีย์สารที่เกิดจากการทับถมกันเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี และมีการ เปลี่ยนรูปโดยกระบวนการทางธรณีวิทยาเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น

ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลโดยอาศัยข้อมูลผลผลิตทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลังและ ยางพารา ซึ่งชีวมวลบางชนิดไม่เหมาะสมนำมาเป็นพลังงานเนื่องจากความชื้นค่อนข้างสูงและบางชนิดต้องหาวิธีจัดเก็บรวบรวมเพื่อให้ต้นทุนถูกที่สุด เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ยอดอ้อย รากไม้ยางพาราและมันสำปะหลัง องค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวลแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ คือ

1. เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มี ลิกนิน และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก
2. เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการเปลี่ยนรูปไปจากชีวมวลดั้งเดิมในระหว่างการผลิตหรือใช้ชีวมวล

#### ฟางข้าว

เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการเพาะปลูกข้าว ได้แก่ แกลบ และฟางข้าว หากพิจารณาเฉพาะชีวมวลจากข้าวสามารถสรุปรายละเอียดได้ ดังนี้ จากการเพาะปลูก พ.ศ. 2551 มีแกลบเกิดขึ้นประมาณ 6.73 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 21 ผลของการผลิตข้าวทั้งหมดจะมีการเกิดขึ้น 15.69 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 49 ของผลผลิตข้าวทั้งหมด

การนำไปใช้งาน ฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ คูลุมดิน เพาะเห็ด ฟาง ทำโครงพวงหรีดดอกไม้และใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นต้น แต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง

#### ไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราเมื่อมีอายุถึง 20-25 ปี จะถูกตัดเพื่อปลูกใหม่ ไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ รากหรือคอไม้ ปลายไม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วลงมา และไม้ท่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วขึ้นไป ไม้ท่อนจะถูกตัดให้ได้ความยาว 1.05 เมตร เพื่อส่งโรงเลื่อย และโรงงานเฟอร์นิเจอร์ซึ่งจะได้เศษไม้หลายแบบคือ ปีกไม้ ตาไม้ (ส่วนที่มีตำหนิ) จี้เลื่อย และจี้กบ

การนำไปใช้งาน วัสดุที่เหลือทิ้งจากการโค่นไม้ยางพาราได้แก่ ไม้ยางพาราและกิ่งไม้เล็ก ๆ ซึ่งเหลือในพื้นที่เพาะปลูกยางพาราประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณต้นยางพาราทั้งหมด ตัวอย่างในการเก็บรวบรวมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมเผาทิ้งหรือบางส่วนนำไปเป็นวัตถุดิบในการเผาถ่าน

#### อ้อยโรงงาน

อ้อยโรงงานสามารถทำการประเมินวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชีวมวลที่เกิดขึ้น พ.ศ. 2551 ซึ่งผลผลิตในรูปแบบลำต้นมีประมาณ 73.5 ล้านตันต่อปี เศษวัสดุที่นำมาใช้ผลิตพลังงาน

ได้แก่ชานอ้อยและยอดและใบอ้อยโดยชานอ้อยเกิดจากระบวนการหีบร้อยละ 58 ของผลผลิตอ้อย ส่วนยอดและใบอ้อยรื้อนเป็นวัสดุที่เกิดบนที่พ่อปลูกเมื่อการเก็บเกี่ยวร้อยละ 17 ของผลผลิตอ้อย

**การนำไปใช้งาน** ปัจจุบันชานอ้อยใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานที่จำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตน้ำตาลเกือบร้อยละ 100 ของปริมาณที่เกิดขึ้นทั้งหมดทำให้ปริมาณที่เหลือนำมาใช้ประโยชน์ได้นั้นมีน้อยมาก ในส่วนของใบและยอดอ้อยส่วนใหญ่จะถูกเผาทั้งก่อนตัดเพื่อสะดวกต่อการตัดและเตรียมพื้นที่ปลูกในรอบต่อไป

#### ใบปาล์มหรือทางปาล์ม

ใบปาล์มจะถูกตัดออกเพื่อนำทะเลาย ปาล์มสดลงจากลำต้น มีขนาดยาวประมาณ 2-3 เมตร ส่วนลำต้นจะถูกโค่นเมื่อมีอายุ 20-25 ปี หรือเมื่อไม่สามารถให้ผลผลิตได้ดีทางปาล์มใช้คลุมดิน ส่วนลำต้นเริ่มทยอยตัดในพื้นที่บางแห่ง ชีวมวลที่ได้จากข้าวโพดสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ชังข้าวโพดและลำต้น 2. ยอดและใบซึ่งจากข้อมูลการเพาะปลูก พ.ศ. 2551 มีปริมาณผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งปี 4.249 ล้านตัน จะมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากข้าวโพดมีตั้งข้าวโพดเกิดขึ้นประมาณ 1.02 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 24 ผลผลิตข้าวโพดทั้งหมด

**การนำไปใช้งาน** ชังข้าวโพดมีประโยชน์หลายอย่าง เป็นเชื้อเพลิง ผสมกับโมลาสเพื่อเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่วนลำต้น นำไปเลี้ยงสัตว์ได้เช่นกัน

#### คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้แตกต่างกันตามลักษณะขององค์ประกอบต่าง ๆ ของชีวมวลแต่ละชนิดและสัดส่วนความชื้นที่สะสมอยู่ในชีวมวลโดยคุณสมบัติชีวมวลที่เป็นพืชหลักจะมีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตพลังงานในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของชีวมวล

| พืช        | ส่วนประกอบ | ค่าความร้อนต่ำ<br>(KJ/Kg) | ความชื้น<br>(%) | ความหนาแน่น<br>รวม (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| ข้าว       | ฟางข้าว    | 12,330                    | 10.00           | 125                                     |
|            | แกลบ       | 14,204                    | 8.20            | 150                                     |
| อ้อยโรงงาน | ใบ         | 15,479                    | 9.20            | 100                                     |
|            | ชานอ้อย    | 7,368                     | 50.73           | 120                                     |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

| พืช                    | ส่วนประกอบ          | ค่าความร้อนต่ำ<br>(KJ/Kg) | ความชื้น<br>(%) | ความหนาแน่น<br>รวม (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| มันสำปะหลัง            | เหง้ามัน            | 5,494                     | 59.40           | 250                                     |
|                        | ลำต้น               | 7,560                     | 48.40           | Na                                      |
|                        | ทางใบ               | 1,760                     | 78.40           | Na                                      |
| ข้าวโพดเลี้ยง<br>สัตว์ | ซังข้าวโพด          | 16,220                    | 7.00            | Na                                      |
|                        | ลำต้น               | 9,830                     | 41.7            | Na                                      |
| ปาล์มน้ำมัน            | ทะลายปาล์ม          | 7,240                     | 58.60           | 380                                     |
|                        | เส้นใยปาล์ม         | 11,800                    | 31.84           | 250                                     |
|                        | กะลาปาล์ม           | 18,267                    | 12.00           | 400                                     |
|                        | ลำต้นปาล์ม          | 7,540                     | 48.40           | Na                                      |
| ยางพารา                | ไม้ยางพารา          | 8,600                     | 45.00           | 450                                     |
| ยูคาลิปตัส             | เปลือกไม้ยูคาลิปตัส | 6,745                     | 50.00           | Na                                      |
| มะพร้าว                | ขุยมะพร้าว          | 6,272                     | Na              | 270                                     |

ที่มา : คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (2554)

### เตาแก๊สชีฟเฟอร์

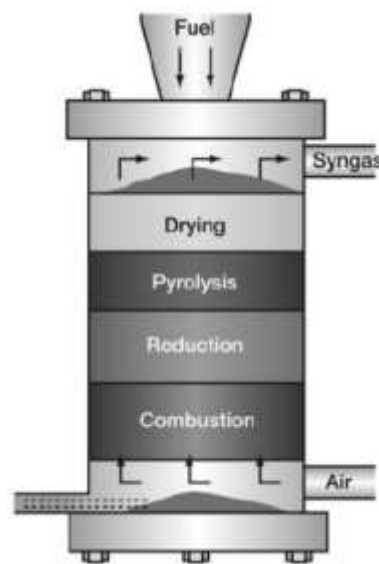
#### ความหมายของเตาแก๊สชีฟเฟอร์

เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบเบดคงที่ (Fixed Bed Gasifier) เป็นเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่เชื้อเพลิงบรรจุอยู่ภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะมีการเคลื่อนที่และขยับขึ้นตลอดเวลาที่เกิดปฏิกิริยาโดยเชื้อเพลิงที่เกิดปฏิกิริยาจะขยับตัวทำให้เชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนเพื่อนเข้ามาแทนที่เชื้อเพลิงที่ขยับตัวไปเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบเบดคงที่ใช้งานโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้

#### เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นอากาศเข้าสู่เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งใต้ตะแกรงแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะไหลขึ้นผ่านชั้นของเชื้อเพลิงที่อยู่เหนือขึ้นไปและไหลออกที่ช่องทางออกของแก๊สเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนสุดทิศทางการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงเทียบกับทิศ

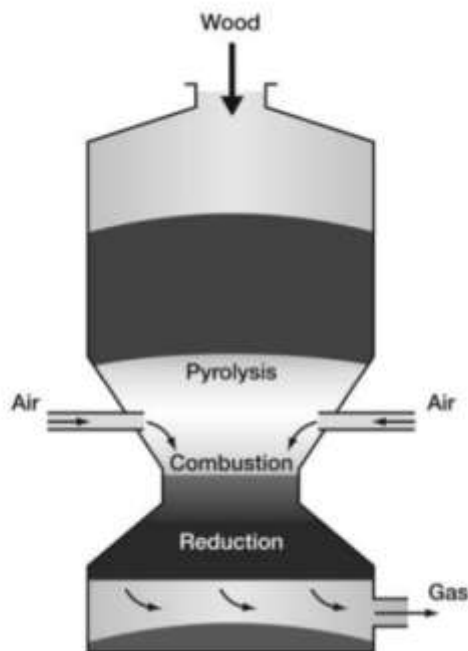
ทางการเคลื่อนที่ของชั้นเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงจะมีทิศไหลขึ้นขึ้นสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการเคลื่อนที่ลงชีวมวลที่อยู่ภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในบริเวณนี้จะทำปฏิกิริยากับอากาศและเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่าโซนเผาไหม้ (Combustion Zone) ซึ่งโซนที่อยู่ด้านล่างสุดผลิตภัณฑ์ที่ได้บริเวณนี้ ได้แก่ ความร้อนและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้จะได้รับความร้อนจากผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันสำหรับชีวมวลที่อยู่บริเวณเหนือขึ้นไปจะได้รับความร้อนในสภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจนเนื่องจากสารตัวกลางที่เข้าไปในตำแหน่งจ่ายอากาศได้ถูกใช้สำหรับการเผาไหม้จึงไม่สามารถเข้ามาถึงบริเวณนี้ได้ชีวมวลที่อยู่ในบริเวณนี้จะเกิดปฏิกิริยาสลายตัวด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิสชีวมวลที่อยู่ด้านบนความร้อนทำให้เชื้อเพลิงในบริเวณนี้มีความชื้นลดลงเรียกว่าโซนลดความชื้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับเชื้อเพลิงภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นจะเกิดขึ้นเป็นลำดับต่อเนื่องกันไปเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจะไหลออกจากเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ช่องทางออกของแก๊สบริเวณด้านบนสุดไหลผ่านโซนรีดักชัน โซนไพโรไลซิส และโซนลดความชื้น ระหว่างที่แก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านโซนทั้งสาม ความร้อนจากแก๊สจะไหลผ่านชีวมวลที่ชั้นต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น ๆ ทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ไหลออกจากเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นมีอุณหภูมิสูงและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง



ภาพที่ 2.1 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

### เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง (Downdraft Gasifier)

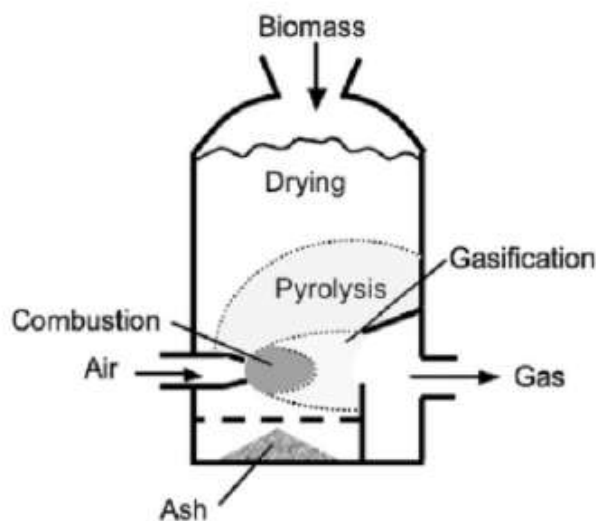
เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลงที่ออกแบบให้แก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคลื่อนที่ลงและไหลออกที่ช่องทางการออกของแก๊สเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านล่างใต้ตะแกรงผ่านทางห้องเผา ซึ่งถ้าพิจารณาจากทิศทางการเคลื่อนที่ของแก๊สเชื้อเพลิงเทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของชั้นเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่าแก๊สเชื้อเพลิงมีทิศทางการไหลไปในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิง เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลงได้ออกแบบให้อากาศป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งเหนือตะแกรงขึ้นมาระยะหนึ่งโดยตำแหน่งจ่ายอากาศจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่าโซนเผาไหม้ (Combustion Zone) มวลที่อยู่ถัดลงมาซึ่งติดกับโซนเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันและชีวมวลที่อยู่เหนือขึ้นไปจากโซนเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสและลดความชื้นเนื่องจากช่องทางการออกของแก๊สเชื้อเพลิงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลงอยู่ที่ตำแหน่งใต้ตะแกรงให้สารไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลหนักที่เกิดจากบริเวณโซนไพโรไลซิสซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำมันดินสลายตัวเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลเบาเมื่อไหลผ่านบริเวณโซนเผาไหม้และโซนรีดักชันที่มีอุณหภูมิสูงก่อนที่จะไหลออกจากเครื่องผลิตแก๊ส



ภาพที่ 2.2 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง (Downdraft Gasifier)

### เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวาง (Crossdraft Gasifier)

เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวางเป็นเครื่องผลิตเชื้อเพลิงที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดบางประการที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นและแบบไหลลงการนำเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวางไปใช้งานต้องพิจารณาให้มีความเหมาะสม เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวางมีการออกแบบให้จ่ายอากาศจากด้านล่างโดยช่องจ่ายอากาศและช่องเชื้อเพลิงไหลออกอยู่ตรงข้ามกันทำให้ส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวางวางตัวในแนวขวางซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นและไหลลงเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวางจะมีโซนเผาไหม้และโซนรีดักชันแคบกว่าเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นและไหลลงจากการที่มีโซนรีดักชันจะส่งผลให้แก๊สที่ผ่านโซนรีดักชันมีความเร็วสูงซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในบริเวณรีดักชันทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้ที่บริเวณโซนเผาไหม้ที่อยู่ด้านในมีเวลาในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำและมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาปริมาณมากรวมทั้งการที่มีโซนเผาไหม้แคบจะส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณโซนเผาไหม้ไม่มีค่าสูงซึ่งอาจทำให้เกิดเขม่าในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้



ภาพที่ 2.3 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลตามขวาง (Crossdraft Gasifier)

ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบเบดคงที่ ดังนำเสนอในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

| ประเภท                                            | ข้อดี                                                                                                                                                                        | ข้อจำกัด                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| แก๊สซิฟิเออร์แบบไหลขึ้น<br>(Updraft Gasifier)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความดันตกภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าต่ำ</li> <li>- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง</li> <li>- ไม่เกิดเถ้าหลอมภายในเตา</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงสูง</li> </ul>                                      |
| แก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลง<br>(Downdraft Gasifier)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงต่ำ</li> <li>- สามารถปรับอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะสำหรับใช้งานกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก</li> </ul>                            |
| แก๊สซิฟิเออร์แบบไหลขวาง<br>(Cross draft Gasifier) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงต่ำ</li> <li>- ความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงไม่มากนัก</li> <li>- ระยะเวลาในการจุดเตาสั้น</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดเถ้าหลอมในเตา</li> <li>- ความดันตกในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าสูง</li> </ul> |

#### ส่วนประกอบของแก๊สที่ผลิตได้

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์เพื่อการทำปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเออร์ แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), แก๊สไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และ แก๊สมีเทน ( $CH_4$ ), ซึ่งเป็นแก๊สที่ติดไฟได้ สิ่งที่เกี่ยวข้องมาพร้อมกับ แก๊สเชื้อเพลิง คือ ฝุ่นเถ้าและน้ำมันดิน (Tar) ดังนำเสนอในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของแก๊สที่ผลิตได้

| องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง | แบบไหลขึ้น | แบบไหลลง | แบบไหลขวาง |
|--------------------------|------------|----------|------------|
| ไฮโดรเจน %               | 8-14       | 12-20    | 5-10       |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ %       | 20-30      | 15-22    | 20-30      |
| มีเทน %                  | 2-3        | 1-3      | 0.5-2      |
| คาร์บอนไดออกไซด์ %       | 5-10       | 8-15     | 2-8        |

## ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

| องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง                     | แบบไหลขึ้น | แบบไหลลง  | แบบไหลขวาง |
|----------------------------------------------|------------|-----------|------------|
| ไนโตรเจน %                                   | 45-55      | 45-55     | 55-60      |
| ออกซิเจน %                                   | 1-3        | 1-3       | 1-3        |
| ความชื้น (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> ) | 0.2-0.3    | 0.06-0.12 | < 0.3      |
| น้ำมันดิน (g/Nm <sup>3</sup> )               | 2-10       | 0.1-3     | < 0.3      |
| ค่าความร้อน (MJ/Nm <sup>3</sup> )            | 5.3-6.0    | 4.5-5.5   | 4.0-5.2    |

ที่มา : Stassen, and Huber, 1995, P.11

### การออกแบบระบบเตาแก๊สชีฟเฟอร์

#### การหาค่ากำลังการผลิตของเตาแก๊สชีฟเฟอร์

กำลังการผลิตของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากพลังงานที่ต้องการนำไปใช้งานหรือกำหนดได้จากความต้องการของผู้ใช้งาน

สมการคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

$$Q_U = \frac{M \times E_S}{T}$$

เมื่อ  $Q_U$  = กำลังที่ต้องการนำไปใช้งาน (kcal/hr)

$M$  = มวลของน้ำ (kg)

$E_S$  = พลังงานที่ใช้ในการปรุงอาหาร (kcal/kg)

$T$  = ระยะเวลาในการให้ความร้อน (hr)

#### การหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง

พลังงานที่เข้าสู่เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Input Energy) คือพลังงานจากชีวมวลที่ใส่เข้าไปในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง การหาพลังงานจากชีวมวลที่ใส่เข้าไปภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะคิดจากพลังงานของชีวมวลที่ใช้งานต่อชั่วโมง

สมการคำนวณหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

$$\dot{m} = \frac{Q_u}{LHV \times n_g}$$

เมื่อ  $\dot{m}$  = อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/hr)

$Q_g$  = กำลังของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (kw)

$Q_u$  = กำลังที่ต้องการนำไปใช้งาน (kw)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของชีวมวล (J/kg)

$n_g$  = ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

#### 2.2.4.3 การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reactor

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สามารถหาได้โดยพิจารณาจากรูปทรงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก

สมการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reactor

$$D = \left( \frac{1.27 \dot{m}}{SGR} \right)$$

เมื่อ  $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (m)

$\dot{m}$  = อัตราการใช้ชีวมวล (kg/hr)

SGR = อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/m<sup>2</sup>-hr)

การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ความสูงของเตาแก๊สซีฟเอร์จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการใช้งานและอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

สมการหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

$$n = \frac{SGR \times T}{P}$$

เมื่อ  $n$  = ความสูงของเตาแก๊สซีฟเอร์ (m)

$SGR$  = อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะ ( $\text{kg/m}^2\text{-hr}$ )

$T$  = ระยะเวลาที่ต้องการใช้งานเตาแก๊สซีฟเอร์ (hr)

$P$  = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล ( $\text{kg/m}^3$ )

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงปริมาณอากาศที่เข้าไปในระบบจะมีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยค่าอัตราส่วนสมมูลมีค่าระหว่าง 0.3 - 0.4 โดยค่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถหาได้จาสมการ (วรณูช แจงสว่าง.2556)

$$AFR = \frac{\mathcal{E} \times FCR \times SA}{\rho_a}$$

เมื่อ  $AFR$  = อัตราการไหลของอากาศ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\mathcal{E}$  = อัตราส่วนสมมูล

$FCR$  = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กิโลกรัมต่อชั่วโมง ( $\text{kg/h}$ )

$SA$  = ปริมาณอากาศที่ต้องการทางทฤษฎีของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด กิโลกรัมอากาศต่อ กิโลกรัมชีวมวล

$\rho_a$  = ความหนาแน่นของอากาศ  $1.25 (\text{kg/m}^3)$

### ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์

ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ซึ่งผู้วิจัยจะประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงและระบบเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง โดยประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรกอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ หรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ มีหลักเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NP) มีค่าเป็นบวกหรือมากกว่าศูนย์จะยอมรับโครงการอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

(Internal Rate of Return: IRR) หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนเริ่มแรก หลักเกณฑ์การตัดสินใจคือกิจการจะตอบรับโครงการลงทุนถ้าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ ( $r$ ) นั่นคือ ตอบรับโครงการลงทุนเมื่อ  $IRR > r$

(Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้ผลรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิจากการดำเนินงานโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ โครงการใดที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่มีความเสี่ยงน้อยจึงจะยอมรับโครงการ

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเตาแก๊สซิฟิเคชัน

วิชา ภูจินดา และวิวัฒน์ แก้วดวงเล็ก (2558) ได้ทำการศึกษารูปแบบของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลที่นิยมในปัจจุบันนั้น เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลโดยการเผาชีวมวลให้ได้เป็นแก๊สชีวมวล หรือแก๊สเชื้อเพลิง สังเคราะห์ (Synthetic Gas หรือ Syngas) เทคโนโลยีนี้เรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลโดยวิธีการ แก๊สซิฟิเคชัน เป็นการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจน การประเมินเบื้องต้นของผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล: กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชันสัดส่วนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของชีวมวลซึ่งมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบจากเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง โดยอาศัยปฏิกิริยา เชิงอุณหภูมิเคมี (Thermochemical Reaction) ทำปฏิกิริยาร่วมกับอากาศ ออกซิเจนหรือ

ไอน้ำภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการย่อย 4 กระบวนการ คือ อบแห้ง (Drying) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เผาไหม้ (Combustion) และรีดักชัน (Reduction) เมื่อผ่านกระบวนการเหล่านี้แล้วจะได้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ได้แก่ 1) แก๊สที่สามารถจุดติดไฟได้ ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊ส ไฮโดรเจน แก๊สมีเทน 2) แก๊สออกซิเจน 3) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 4) แก๊สไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีฝุ่น เบบและน้ำมันดิน (Tar) เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ด้วยวิธีแก๊สซิฟิเคชันอีกด้วย

วิชาภา ภูจินดา และสิริสุดา หนูทิมทอง (2556) ได้ทำการศึกษาจัดการพลังงานและการใช้พลังงานหมุนเวียน ในชุมชนและครัวเรือนและเสนอแนวทางการวางแผน การบริหารจัดการ และการใช้พลังงานหมุนเวียน อย่างยั่งยืนการใช้เตาชีวมวลโดยใช้เศษไม้ เป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้แก๊สหุงต้ม และการเผาโดยใช้เตาเผาถ่าน 200 ลิตร การใช้พลังงานชีวมวลในครัวเรือน เช่น ถ่านไม้ที่ผลิตจากเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูง มีการส่งเสริมปลูกพืชพลังงาน ส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในรถยนต์และเรือประมงพื้นบ้าน

บุศรา พชรพันธ์ และคนอื่น ๆ (2552) ได้ทำการศึกษาแนวทางการออกแบบเตาผลิตแก๊สชีวมวล โดยใช้ขี้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง การศึกษานี้มุ่งเน้นถึงผลกระทบของการเติมเชื้อเพลิงแบบสกรูลำเลียง โดยเปรียบเทียบกับการเติมเชื้อเพลิงแบบประมาณค่าโดยกำหนดอัตราการเติมขี้ข้าวโพดไว้ 3.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและความชื้นภายในขี้ข้าวโพดอยู่ระหว่างร้อยละ 10-15 เพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาในส่วนเผาไหม้กับความเร็วอากาศที่ผ่านหัวฉีดอากาศและลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด จากการทดลองพบว่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหัวฉีดมีค่า 0.38 เมตรต่อวินาที ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพิจารณาจากลักษณะของเปลวไฟที่หัวเผาเวลาในการติดไฟซึ่งสามารถติดไฟได้นานถึง 65 นาที ตลอดจนพิจารณาจากค่าอุณหภูมิของส่วนเผาไหม้ (Combustion Zone) และอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงโดยอุณหภูมิของทั้ง 2 จุดมีค่าค่อนข้างเสถียรอยู่ที่ประมาณ 650-700 องศาเซลเซียส สำหรับส่วนเผาไหม้ และ 180 - 250 องศาเซลเซียสสำหรับแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อความดันของแก๊สที่ได้ ส่วนความเร็วของอากาศ 2 เมตรต่อวินาทีที่พบว่ามิผลทำให้อุณหภูมิของส่วนเผาไหม้ มีอุณหภูมิสูงในช่วง 800 - 1,000 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้สามารถติดไฟอยู่ได้เพียง 25 นาทีเท่านั้น

วาทินทร์ ทองแก้ว (2554) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลงจากถ่านไม้ โดย 1) ศึกษาประสิทธิภาพการเกิดแก๊สชีวมวลของเชื้อเพลิงถ่านไม้โก่งก้างในเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลง 2) ศึกษาเปรียบเทียบขนาดของถ่านไม้โก่งก้างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลของเตาผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็ก 3) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ

อากาศที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลของเตาผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กกรณีใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้โกงกาง นำมาหาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลของเตาผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กของ (Producer Gas) ชุมชนบ้านวังจันทร์ ตำบลวังจันทร์ อำเภอแกลงระยอง จังหวัดเพชรบุรี โดยเก็บข้อมูลปริมาณของแก๊สชีวมวลที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านไม้โกงกาง โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเชื้อเพลิงถ่านไม้และเปลี่ยนแปลงปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าในระบบเพื่อนำข้อมูลที่ได้ มาเปรียบเทียบผลหาจุดที่มีความเหมาะสมของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของถ่านและปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการให้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศกับแก๊สที่ได้ เมื่อมีการป้อนอากาศที่เหมาะสม แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในโซนแก๊สซิฟิเคชัน คือ ที่ขนาดถ่านที่ใช้ 1 - 2 นิ้ว อากาศออกจากเตาที่ปริมาณ 4.56 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดที่คาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 28.48 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

สุนทร สุทธิปาก สันติ ป้อมสุวรรณ และ ธวัชชัย สีลาโส (2559) บทความนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเตาแก๊สซิฟิเคชันชีวมวลสำหรับใช้ในชุมชนวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้วิธีการทดสอบการเดือดของน้ำ (Water Boiling Test) ตัวอย่างชีวมวลที่ทำการศึกษารวบรวมด้วยแกลบขี้เถ้าและถ่านไม้จากผลการทดลองพบว่าชีวมวลชนิดถ่านไม้จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคชันสูงสุดประมาณร้อยละ 28.90 รองลงมาเป็นแกลบและขี้เถ้าประมาณร้อยละ 22.30 และร้อยละ 20.74 ตามลำดับและจากผลการวัดอุณหภูมิในการเผาไหม้ชีวมวลภายในเตาแก๊สซิฟิเคชันพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของเตาแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ชีวมวลทั้งสามชนิดจะเกิดขึ้นบริเวณโซนด้านล่างของเตาอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 1,226 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงส่วนอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้แกลบและขี้เถ้าเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 1,090 องศาเซลเซียส และ 1,085 องศาเซลเซียส ตามลำดับผลการศึกษานี้ได้นำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนเพื่อแก้ปัญหาการใช้พลังงานชีวมวลและมลพิษที่เกิดขึ้นในโรงฆ่าสัตว์ของเทศบาลตำบลกุคบก อำเภอกุคบก จังหวัดสกลนคร ซึ่งเป็นการพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลที่มีอยู่ในชุมชนให้เกิดความคุ้มค่าและประโยชน์สูงสุดช่วยให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้ตามแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

วรารักษ์ ทุมชาติ (2557) เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบ Inverted Downdraft สามารถผลิตโปรคิวเซอร์แก๊สหรือแก๊สชีวมวลได้โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยการจำกัดอากาศหรือออกซิเจนให้เหมาะสมลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการวางหัวเตาที่เหมือนกับหัวเตาแก๊สหุงต้ม บรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้ประมาณ 1.3 กิโลกรัม เป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยพัดลมจากด้านล่างจุดติดเชื้อเพลิงจากด้านบนนำไปทดลองใช้ในครัวเรือนของชุมชนบ้าน

รมเย็นหมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปางจำนวน 5 ครัวเรือน จากการศึกษาพบว่า โปรคิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแบบ Inverted Downdraft ให้อุณหภูมิสูงมีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม การเผาไหม้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมพัดลมของเตามีการปรับความเร็วลม 4 ระดับที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 3, 6, 9 และ 12 โวลต์มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามลำดับคือ 4.89, 7.41, 9.41 และ 10.21 เมตรต่อวินาที น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 60, 97, 97 และ 97 องศาเซลเซียสใช้ระยะเวลาประมาณ 60, 14, 12 และ 8 นาที รัศยาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานประมาณ 6, 20, 20 และ 23 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.11 แอมแปร์กำลังไฟฟ้า 9, 14, 20 และ 25 วัตต์และเตาแก๊สซีไฟเออร์มีระยะเวลาคืบทุนประมาณ 2 ปี

นฤเบศร์ หนูโสพิษฐ์ และสิทธิชัย วงศ์หน่อ (2553) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาแก๊สซีไฟเออร์ที่ใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงโดยมีการออกแบบให้เตาผลิตแก๊สมีลักษณะเป็นถึง 2 ชั้นที่ป้อนอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนในขณะที่แก๊สที่ได้ไหลกลับทางไปออกทางท่อด้านล่างของถังโดยแก๊สที่ได้ทำการผ่านถังกรอง 2 ชั้นคือผ่านน้ำและกรองอากาศที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวเพื่อกำจัดฝุ่นและน้ำมันดิน จากผลการทดสอบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 5 แรงม้าที่มีการดัดแปลงคาร์บูเรเตอร์ให้ใช้ได้กับแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้โดยการป้อนเชื้อเพลิงเกลบ 5 กิโลกรัมต่อครั้งสามารถให้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1,250 วัตต์ เฉลี่ยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จากการทดสอบโดยการปรับปริมาณอากาศที่ ป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเตาแก๊สซีไฟเออร์ 4 ระดับคือ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับพบว่า การปรับปริมาณอากาศที่ 75 เปอร์เซ็นต์ให้ผลในการผลิตแก๊สได้ดีที่สุดโดยที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงที่กำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากันจากการทดสอบที่ภาระกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 200, 400, 600, 800 และ 1000 วัตต์พบว่า จะมีความเร็วรอบแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 7.34, 7.76, 9.51, 12.75 และ 9.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ภานุพงศ์ หมั่นนิจ (2557) ได้ทำการศึกษาร่วมออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลงโดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเตาจากถังเก่าขนาดความจุ 200 ลิตร การทดสอบหาค่าพลังงานความร้อน ( $\Delta Q$ ) ของแก๊สเชื้อเพลิงและการหาประสิทธิภาพของเตาโดยเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ถูกสร้างขึ้นสามารถจุเชื้อเพลิงได้ประมาณ 0.11 ลูกบาศก์เมตร จากการทดสอบเตาโดยใช้ไม้ฉำฉาเป็นเชื้อเพลิงและปรับอัตราการไหลของอากาศ 5 ค่า ในช่วง  $16 \times 10^{-3}$  ถึง  $47 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศประมาณ  $47 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ให้ค่าประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวลดีที่สุด คือประมาณร้อยละ 2.24 และค่าปริมาณความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่า ( $\Delta Q$ ) สูงสุดประมาณ 6,220 กิโลจูล

ประสิทธิ์ ไกรลมสม (2561) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวข้องกับระยะเวลาคืนทุน (Pay-back Period) ซึ่งให้ความหมายว่าระยะเวลาคืนทุนการคำนวณระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับมูลค่าการลงทุนรวมทั้งโครงการ คือ ระยะเวลาที่โครงการได้รับเงินที่ลงทุนไปเมื่อเริ่มต้นโครงการ กลับคืนมาทั้งหมดโดยคำนึงถึงมูลค่าเงินตามระยะเวลาหรือมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด

ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาส สายดา, สุจิตรา ภู่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์ (2558) การศึกษาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) หมายถึงระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับสะสมเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายจากเงินลงทุนเป็นตัวชี้วัดที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โดยมีเกณฑ์ในการตัดสินใจคือจะยอมรับโครงการเมื่อ  $PB \leq$  ระยะเวลาคืนทุนเป้าหมาย (Target Payback Period)

พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์ และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล (2556) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ (Internal Rate of Return, IRR) คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยของโครงการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period, DPB) คือระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุน สุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้วิจัยและพัฒนาเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่แห้งมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนในพื้นที่ โครงการพัฒนาออยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มลงได้ และสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน

#### การทดสอบหาสมบัติและองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบแก๊สซิฟิเคชัน

โดยใช้วิธี Bulk Density Size, Ultimate Analysis, Proximate Analysis และ Heating Value ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) เป็นความหนาแน่นของสารซึ่งนอกจากเนื้อสารแล้ว ในชิ้นงานยังประกอบด้วยรูพรุนเปิด รูพรุนปิด และตำหนิต่าง ๆ (อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 373) ใช้หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes Principle) การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านสามารถทำได้โดยการหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) (สุพิชญา เชิดเกียรติกุล และปิ่นทิพย์ ศุภชุตikul, 2558)

$$D_B = \frac{M}{V}$$

โดย  $D_B$  คือ ความหนาแน่นรวม (Bulk Density, g/cm<sup>3</sup>)

$M$  คือ มวลของถ่าน (g)

$V$  คือ ปริมาณของถ่าน (c

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Heating Value) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5865 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง มี 2 วิธีคือการวิเคราะห์โดยหาค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (Higher Heating Value HHV) และการวิเคราะห์โดยหาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง (Ultimate Analysis) โดยละเอียดหรือแบบแยกธาตุ มาตรฐานการทดสอบ ASTM D3176-09 ได้วิเคราะห์ปริมาณที่ต้องการได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน และเถ้า (วรณูช แจงสว่าง, 2556)

การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของถ่าน (Proximate Analysis) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3172-07 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณค่าปริมาณ 4 ปริมาณ ได้แก่ 1) ความชื้น 2) สารระเหย 3) เถ้า 4) คาร์บอนคงตัว

#### การออกแบบระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลง

กระบวนการแก๊สซีฟิเออร์ประกอบด้วย ตัวเตา ซีโครน และชุดทำความสะอาด สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง

#### การหาค่ากำลังการผลิตของเตาแก๊สซีฟิเออร์

กำลังการผลิตของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากพลังงานที่ต้องการนำไปใช้งานหรือกำหนดได้จากความต้องการของผู้ใช้งาน

สมการคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

$$Q_U = \frac{M \times E_S}{T}$$

เมื่อ  $Q_U$  = กำลังที่ต้องการนำไปใช้งาน (kcal/hr)

$M$  = มวลของอาหาร (kg)

$E_S$  = พลังงานที่ใช้ในการปรุงอาหาร (kcal/kg)

$T$  = ระยะเวลาในการให้ความร้อน (hr)

### การหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

พลังงานที่เข้าสู่เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Input Energy) คือพลังงานจากชีวมวลที่ใส่เข้าไปในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง การหาพลังงานจากชีวมวลที่ใส่เข้าไปภายในเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะคิดจากพลังงานของชีวมวลที่ใช้งานต่อชั่วโมง

สมการคำนวณหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

$$\dot{m} = \frac{Q_u}{LHV \times n_g}$$

เมื่อ  $\dot{m}$  = อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/hr)

$Q_g$  = กำลังของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (kw)

$Q_u$  = กำลังที่ต้องการนำไปใช้งาน (kw)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของชีวมวล (J/kg)

$n_g$  = ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Reactor

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สามารถหาได้โดยพิจารณาจากรูปทรงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก

สมการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Reactor)

$$D = \left( \frac{1.27 \dot{m}}{SGR} \right)$$

เมื่อ  $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (m)

$\dot{m}$  = อัตราการใช้ชีวมวล (kg/hr)

SGR = อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/m<sup>2</sup>-hr)

## การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ความสูงของเตาแก๊สซีฟเอร์จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการใช้งานและอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

สมการหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

$$n = \frac{SGR \times T}{P}$$

เมื่อ

$n$  = ความสูงของเตาแก๊สซีฟเอร์(m)

$SGR$  = อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะ ( $\text{kg/m}^2\text{-hr}$ )

$T$  = ระยะเวลาที่ต้องการใช้งานเตาแก๊สซีฟเอร์ (hr)

$P$  = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล ( $\text{kg/m}^3$ )

## วิธีการทดสอบ เตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง

วิธีการทดลองเก็บข้อมูล

1) กำหนดขนาดของถ่านไม้ไฟที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง 3 นิ้ว 5 นิ้ว

2) ใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบจำนวน 24 กิโลกรัม ต่อ 1 การทดลอง

3) วัดค่าอุณหภูมิภายในเตา 4 จุดเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุดทุก ๆ 4 นาทีโดยเทอร์โมคัปเปิ้ลและคาล์ดอลเทอร์โมในการในการเก็บข้อมูล

T1 ถังเก็บเชื้อเพลิง

T2 ห้องเผาไหม้

T3 รีดักชัน

T4 ถังล้างแก๊ส

ปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง (Equivalent Ratio) ของอากาศในช่วง 0.2 0.3 0.4 มีการเก็บตัวอย่างแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ด้วยการแยกสารผสมออกจากกันในสถานะแก๊ส (Gas Chromatography) เพื่อหาค่าความร้อน และปริมาณคาร์บอนตามวิธีมาตรฐาน (นฤมล เชาวะกระโทก, 2556)

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยต้น – ปัจจัยตามในการทดลอง

| ปัจจัยต้น                                    | ปัจจัยตาม                                              |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. ถ่านไม้ไฟที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง             | 1. คุณสมบัติของถ่านไม้ไฟ                               |
| 2. Equivalent ratio (ER) ขนาดของของถ่านไม้ไฟ | 2. ค่าความร้อนและองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ |

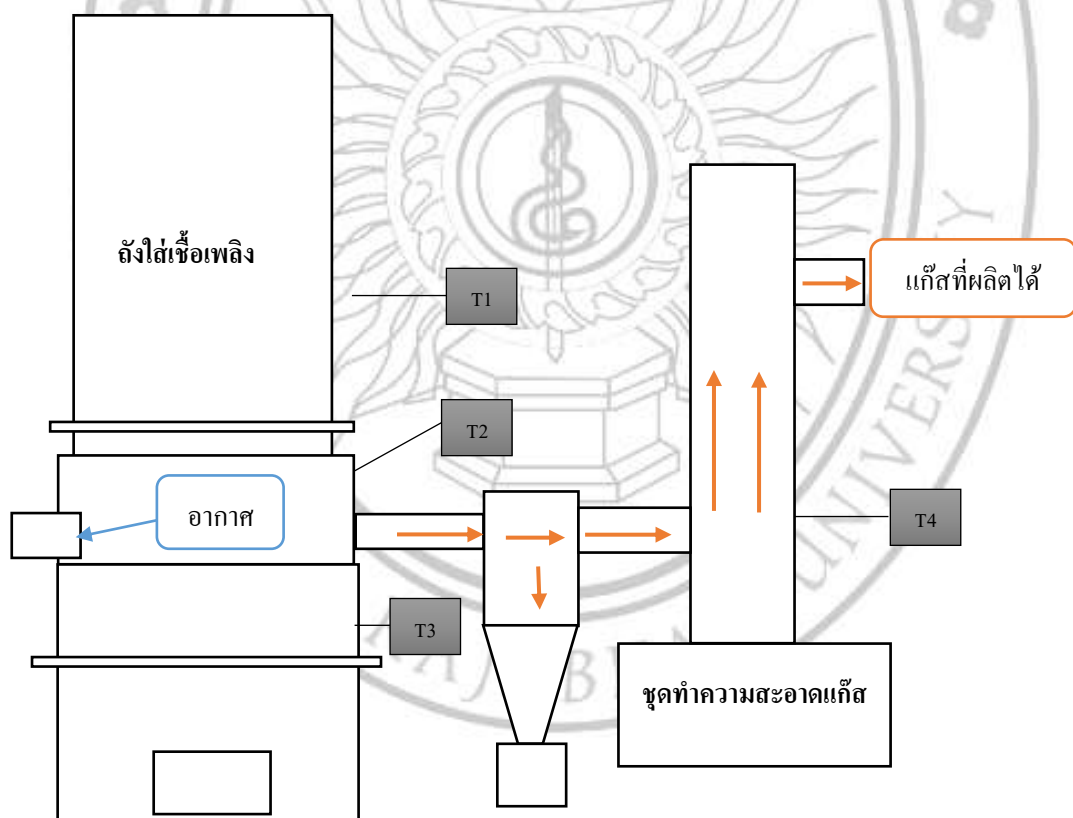
#### จุดวัดอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง

T1 ถังเก็บเชื้อเพลิง

T2 ห้องเผาไหม้

T3 รีดักชัน

T4 ถังล้างแก๊ส



ภาพที่ 3.1 หลักการทำงานของเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง

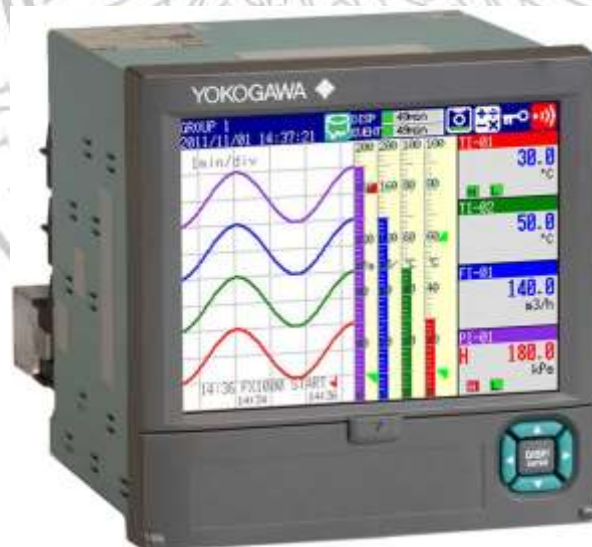
### เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type K Thermocouple) ใช้ในการวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ของตัวเตา



ภาพที่ 3.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type K Thermocouple)

ดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger) ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลในการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง



ภาพที่ 3.3 Data Logger

ถุงเก็บตัวอย่างแก๊สที่ผลิตได้จากระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์เพื่อนำไปส่งตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊ส



ภาพที่ 3.4 ถุงเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง

เครื่องวัดความเร็วลม เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอากาศเข้าและอากาศออกของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม

### การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์

ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ซึ่งผู้วิจัยจะประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงและระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง โดยประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ใช้สำหรับการตัดสินใจในการเลือกลงทุนจากระยะเวลาคืนทุน ซึ่งระยะเวลาคืนทุนน้อยจะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า (ธีรภพ แสงศรี และภฤศภณ ไชยลังกา, 2559) ใช้สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \frac{\text{เงินสดจากการลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิต่อปี}}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ใช้ประเมินความเป็นไปได้และผลกำไรในการลงทุน โดยเมื่อ  $NPV > 0$  หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าการลงทุนนี้ให้ผลที่คุ้มค่า (อดุลย์สัมาน สุขแก้ว, ปานทิพย์ บุญส่ง และคณะ, 2558) ใช้สูตรการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

- |       |                                |
|-------|--------------------------------|
| $C_0$ | คือ เงินลงทุนเริ่มแรก          |
| $C$   | คือ กระแสเงินสด                |
| $r$   | คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) |
| $T$   | คือ ระยะเวลา (อายุของโครงการ)  |

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ใช้พิจารณาอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน โดยเมื่ออัตราผลตอบแทนภายใน สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมของโครงการที่กำหนดไว้ แสดงว่าโครงการคุ้มค่าแก่การลงทุน (สุรกิจ ทองสุข และอรรรพพล เก่าพิทักษ์กุล, 2561) ใช้สูตรการคำนวณ IRR ดังนี้

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

n คือ อายุของโครงการ

$ES_t$  คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Cost Savings) รายปีตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

$I_0$  คือ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total Investment)

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเรื่อง การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่ด้วยเตาแก๊สซีฟเฮอร์แบบไหลลง โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ งานวิจัยดังนี้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ความร้อนและองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่ได้ Bulk density, Ultimate analysis, Proximate analysis และ Heating value เพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงสังเคราะห์ด้วยระบบแก๊สซีฟเฮอร์แบบไหลลง
2. เพื่อออกแบบ จัดทำ ทดสอบ และติดตั้งระบบแก๊สซีฟเฮอร์แบบไหลลง โดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง
3. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่เพื่อทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว
4. เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้แก๊สซีฟเฮอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลวโดยพิจารณาจากการคำนวณค่า (Payback Period: PB), (Net Present Value: NPV), (Internal Rate of Return: IRR) ของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว

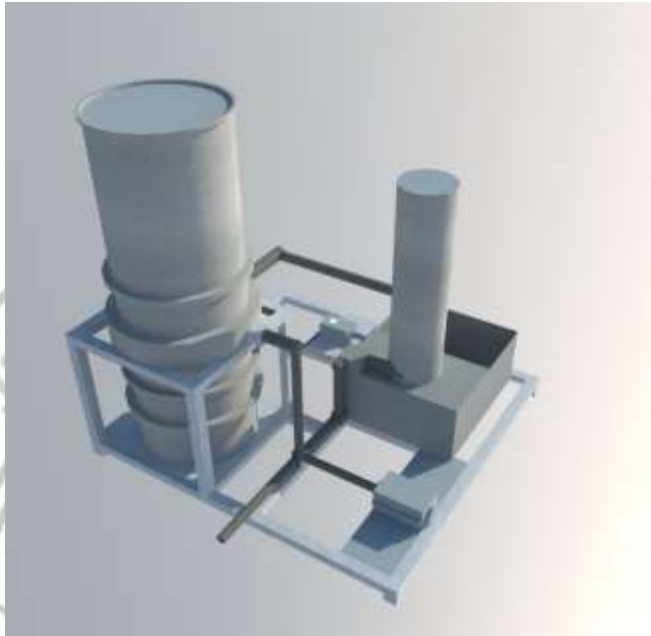
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูล

จากการนำไม้ไผ่จากพื้นที่โดยรอบโครงการพัฒนาคอยดุงมาแปรรูปเป็นถ่านไม้ไผ่โดยใช้วิธีการเผาถ่าน โดยใช้เตาเผาแบบชาวบ้านซึ่งเตาเผามีลักษณะที่ใหญ่และสามารถบรรจุไม้ไผ่ได้หลายร้อยกิโลกรัมและใช้เวลาในการเผาที่นาน เมื่อทำการเผาจนได้ถ่านจึงนำตัวอย่างถ่านไม้ไผ่ส่งไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) พบว่า ค่าความชื้นของถ่านไม้ไผ่อยู่ที่ร้อยละ 6.36 ตามน้ำหนัก เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สดซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 12.42 ตามน้ำหนัก และในส่วน of ค่าความร้อนสุทธิอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สดซึ่งมีค่าความร้อนสุทธิอยู่ที่ 2.86 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวและสารระเหย อยู่ที่ร้อยละ 69.02 ตามน้ำหนัก และร้อยละ 17.0 ตามน้ำหนักตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านไม้ไผ่

| ที่ | ลักษณะ             | หน่วย              | กระบวนการ           | ผลลัพธ์ |
|-----|--------------------|--------------------|---------------------|---------|
| 1   | ความชื้น           | % ตามน้ำหนัก       | ASTM D3302/3302M-17 | 6.36    |
| 2   | สารระเหย           | % ตามน้ำหนัก       | ASTM D7582-15       | 17.07   |
| 3   | ปริมาณคาร์บอนคงตัว | % ตามน้ำหนัก       | ASTM D7582-15       | 69.02   |
| 4   | ค่าความร้อนสุทธิ   | กิโลจูลต่อกิโลกรัม | ASTM D5865-13       | 27.72   |

## การออกแบบระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลง



ภาพที่ 4.1 ระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลง

### การหาค่าพลังงานที่ใช้ของเตาแก๊สซีฟิเออร์

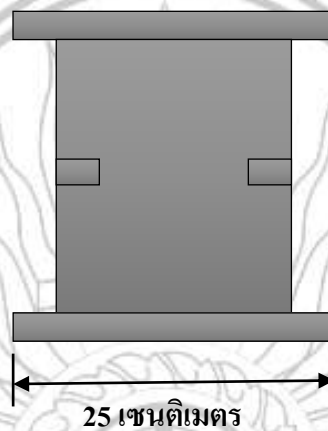
จากการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงตามสมการซึ่งสามารถหาได้จากพลังงานที่ต้องการนำไปใช้งานหรือกำหนดได้จากความต้องการของผู้ใช้งานโดยมีการแทนค่า มวลน้ำอยู่ที่ 40 กิโลกรัม และพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำ 72 แคลอรีต่อกิโลกรัม และช่วงเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาที พบว่าจะได้ค่าพลังงานที่ใช้ต้มน้ำมีค่า 32 แคลอรีต่อชั่วโมง

### การหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

จากการคำนวณหาการหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงตามสมการ ซึ่งสามารถหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยการแทนค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งมีค่า 32 แคลอรีต่อชั่วโมง และค่าค่าความร้อนต่ำของชีวมวลอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และค่าประสิทธิภาพของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง 36 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลลัพธ์อยู่ที่ 4.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

### การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Reactor)

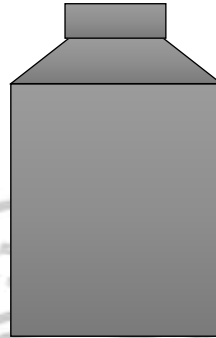
การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สามารถหาได้โดยพิจารณาจากรูปทรงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยใช้สมการในการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 4.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่  $5.2705 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$  และระยะเวลาในการงานอยู่ที่ 90 นาที พบว่า การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีขนาดอยู่ที่ 25 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.2 ห้องเผาไหม้ระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์ขนาด 25 เซนติเมตร

### การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการใช้งานและอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้สมการในการคำนวณหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยมีค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่  $5.2705 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$  และระยะเวลาในการงานอยู่ที่ 90 นาที และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล  $282.38 \text{ kg/m}^3$  (วรณัฐ แจ่มสว่าง, 2556) พบว่าของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีขนาดความสูงอยู่ที่ 63 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.3 ขนาดความสูงเตาแก๊สซีฟเออร์ 63 เซนติเมตร

#### วิธีการทดสอบ เตาแก๊สซีฟเออร์แบบไหลลง

กำหนดขนาดของถ่านไม้ไฟที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว โดยถ่านไม้ไฟที่นำมาทดลองได้มาจากการนำไม้ไฟแห้งที่ล้มตายในพื้นที่ป่าบริเวณโดยรอบของโครงการพัฒนาคอยตุง มาแปรรูปเป็นถ่านไม้ไฟเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีฟเออร์ โดยใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบจำนวน 15 กิโลกรัม ต่อ 1 การทดลอง



ภาพที่ 4.4 ถ่านไม้ไฟขนาดไม่เกิน 3 นิ้วที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 4.5 ถ่านไม้ที่ใช้ในการทดสอบ

วัดค่าอุณหภูมิภายในเตา 4 จุดเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุดทุก ๆ 4 นาทีโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) และดาต้าล็อกเกอร์ (Data Locker) ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ T1 ถังเก็บเชื้อเพลิง T2 ห้องเผาไหม้ T3 รีดก๊าส T4 ถังล้างแก๊ส โดยการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองแสดงไว้ในรูปและปรับเปลี่ยนค่า Equivalent Ratio (ER) ของอากาศในช่วง 0.2 0.3 0.4 และทำการเก็บข้อมูลวัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่เริ่มมีการเผาไหม้จนจบกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.6 การวัดค่าอุณหภูมิภายในเตา 4 จุดเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุด

### การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงปริมาณอากาศที่เข้าไปในระบบจะมีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยค่าอัตราส่วนสมมูลมีค่าระหว่าง 0.3 - 0.4 โดยค่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และทำการกำหนดทางออกของอากาศที่มีปริมาณที่เกินออกโดยการทำท่อปล่อยอากาศทิ้ง

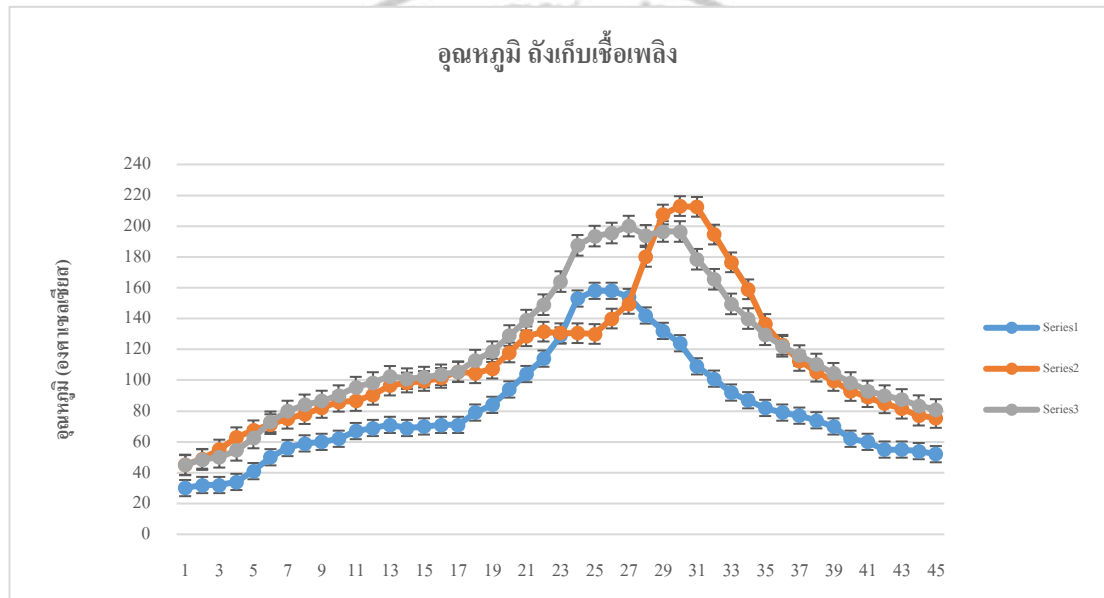
#### ตาราง 4.2 ปริมาณอากาศที่ทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

| สภาวะ  | ปริมาณอากาศ          |
|--------|----------------------|
| ER 0.2 | 10.25 มิลลิต่อวินาที |
| ER 0.3 | 14.20 มิลลิต่อวินาที |
| ER 0.4 | 22.05 มิลลิต่อวินาที |

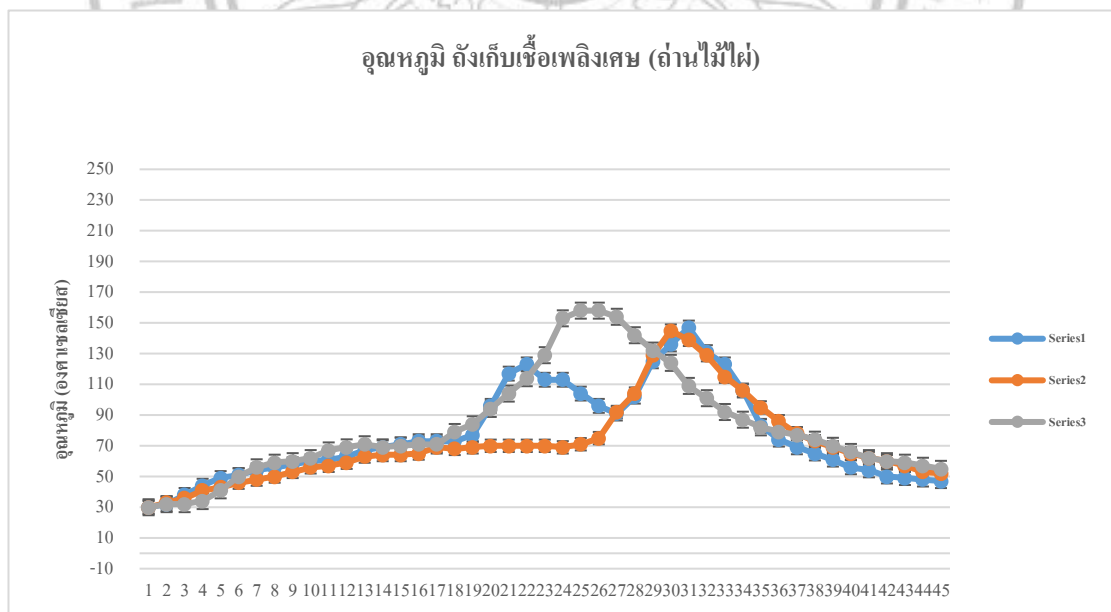
จากการคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องการทั้งสามสภาวะพบว่า ER 0.2 มีการกำหนดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 10.25 มิลลิต่อวินาที และในส่วน ER 0.3 มีการกำหนดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 14.20 มิลลิต่อวินาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมการเผาไหม้จึงทำให้สภาวะที่ ER 0.3 เป็นสภาวะที่สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง และในส่วนของ ER 0.4 เป็นสภาวะที่มีปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 22.05 มิลลิต่อวินาทีซึ่งปริมาณที่มากจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ในอุณหภูมิที่สูงจึงทำให้เกิดปริมาณเถ้าหลอมที่มากจึงทำให้ระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ไม่สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง

### ผลการทดลอง

การทดลองกำหนด Equivalent ratio (ER) ของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ER 0.2 0.3 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ไผ่ขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว จำนวน 15 กิโลกรัมเท่ากันโดยมีวัดค่าอุณหภูมิภายในเตา 4 จุดเพื่อหาค่าความร้อนสูงสุดทุก ๆ 4 นาทีโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) และดาต้าล็อกเกอร์ (Data Locker) ในการเก็บข้อมูล



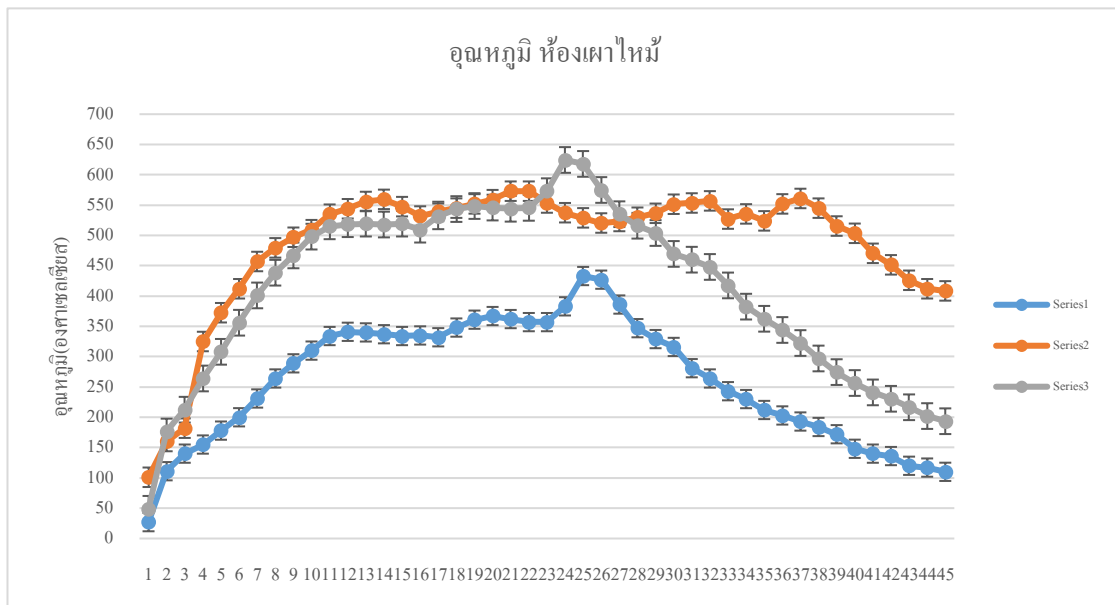
ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิง



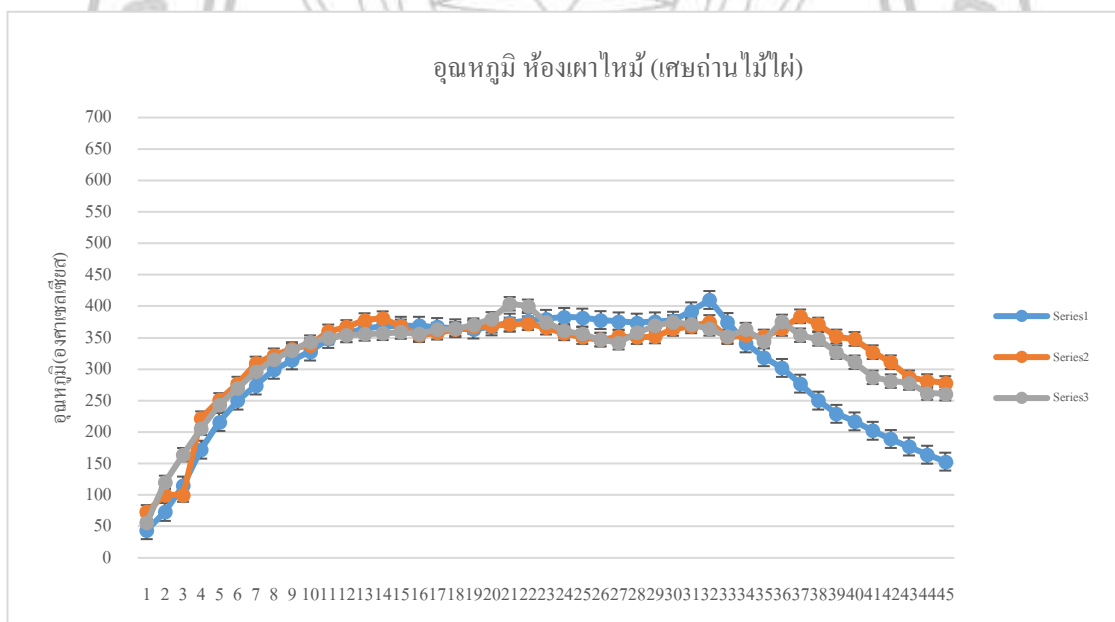
ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิงเศษ (ถ่านไม้ไผ่)

จากการทดสอบเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงของถังเก็บเชื้อเพลิงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้วพบว่าอุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิงที่ ER 0.2 พบว่าโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 40 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 210 องศาเซลเซียส ER 0.3 มีปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส ส่วนที่ ER 0.4 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 230 องศาเซลเซียส และจากการทดสอบเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงของถังเก็บเชื้อเพลิงโดยใช้เศษถ่านไม้ไผ่พบว่าอุณหภูมิถังเก็บเชื้อเพลิงที่ ER 0.2 พบว่าโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 30 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 160 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเปลี่ยนค่า ER เป็น 0.3 โดยมีปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 40 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 120 องศาเซลเซียส ส่วนที่ ER 0.4 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส

จากการทดลองเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดสามารถสรุปการใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบระบบเตาแก๊สซีฟเออร์ได้ดังนี้โดยการใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 3 นิ้ว มีอุณหภูมิในช่วงของถังเก็บเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเนื่องจากนำเชื้อเพลิงไปลงในถังเก็บเชื้อเพลิงเพื่อทำการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงมีลักษณะที่แห้งกันจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นของเชื้อเพลิงจึงทำให้อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสหรือปฏิกิริยาสลายตัวด้วยความร้อนซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงในบริเวณนี้มีความชื้นลดลงในอุณหภูมิที่สูงจึงสามารถลดความชื้นของเชื้อเพลิงได้ไ้ขึ้นจึงทำให้ระบบเตาแก๊สซีฟเออร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งต่างจากการใช้เศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเศษถ่านไม้ไผ่มีลักษณะที่เล็กจึงทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ผ่านได้ยากจึงทำให้ปฏิกิริยาไพโรไลซิสในช่วงของชั้นเก็บเชื้อเพลิงเกิดได้ช้าจึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบเตาแก๊สซีฟเออร์ไม่ดีเท่าที่ควร



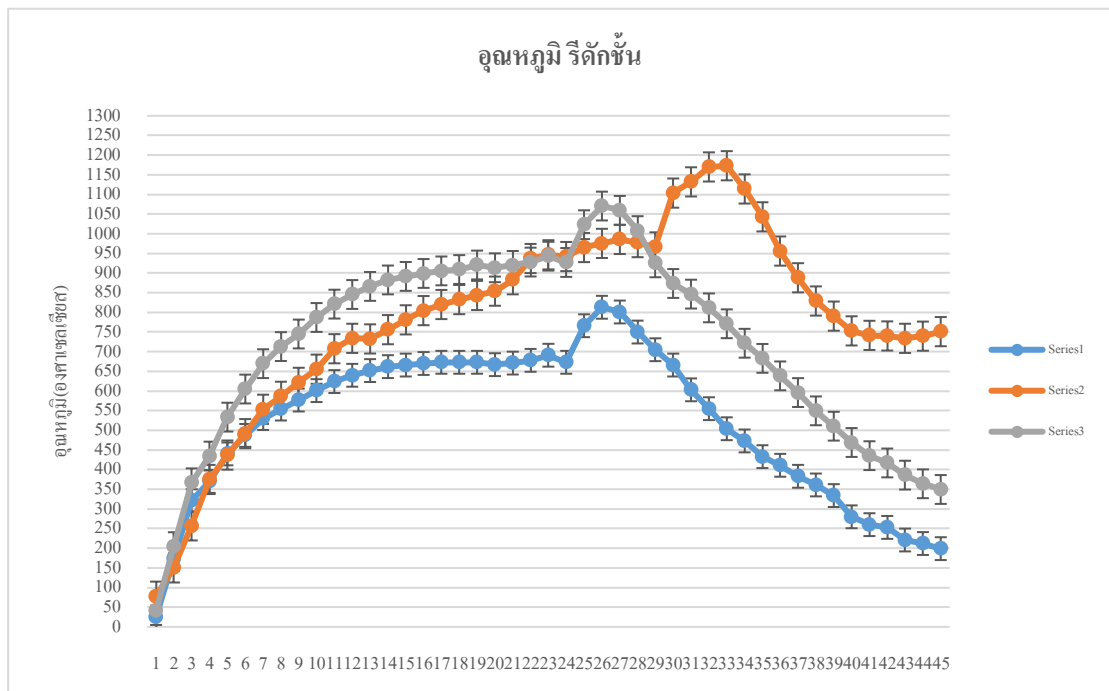
**ภาพที่ 4.9**      อุณหภูมิห้องเผาไหม้



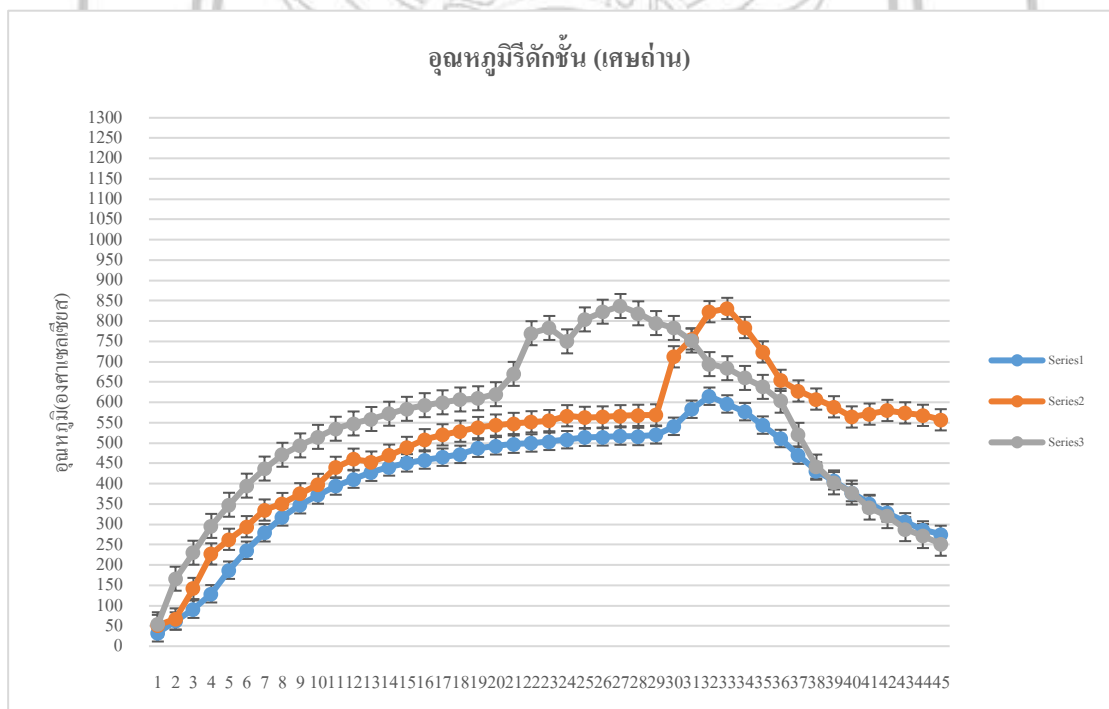
**ภาพที่ 4.10**      อุณหภูมิห้องเผาไหม้ (เศษถ่านไม้ไฟ)

ในขณะที่ศึกษาอุณหภูมิห้องเผาไหม้โดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้วพบว่า อุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่มี ER 0.2 พบว่าโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิ สูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 640 องศาเซลเซียส และในส่วนที่ ER 0.3 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศา เซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 580 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่ม ER เป็น 0.4 มีอุณหภูมิ เริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 630 องศาเซลเซียสและจากการ ศึกษาอุณหภูมิห้องเผาไหม้โดยใช้เศษถ่านไม้ไผ่พบว่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่มี ER 0.2 พบว่าโดยมี อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส และใน ส่วนที่ ER 0.3 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 430 องศา เซลเซียส และเมื่อเพิ่ม ER เป็น 0.4 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 550 องศาเซลเซียส

จากการทดลองสามารถสรุปการใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบระบบเตาแก๊สซีฟเออร์ ได้ดังนี้โดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 3 นิ้ว มีอุณหภูมิในช่วงของห้องเผาไหม้ที่สูง กว่าเนื่องจากเมื่อนำเชื้อเพลิงใส่ลงไปในถังเก็บเชื้อเพลิงเพื่อทำการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงมีลักษณะ ที่แห้งกันจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นของเชื้อเพลิงจึงทำให้ปริมาณอากาศที่ทำการจ่ายเข้าระบบ มีปริมาณที่พอดีตามสภาวะที่กำหนดจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ในช่วงห้องเผาไหม้และช่วงผสม อากาศของช่วงรีดักชั่นได้ดีจึงระบบเตาแก๊สทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์



ภาพที่ 4.11 อุณหภูมิช่วงริดักชั้น



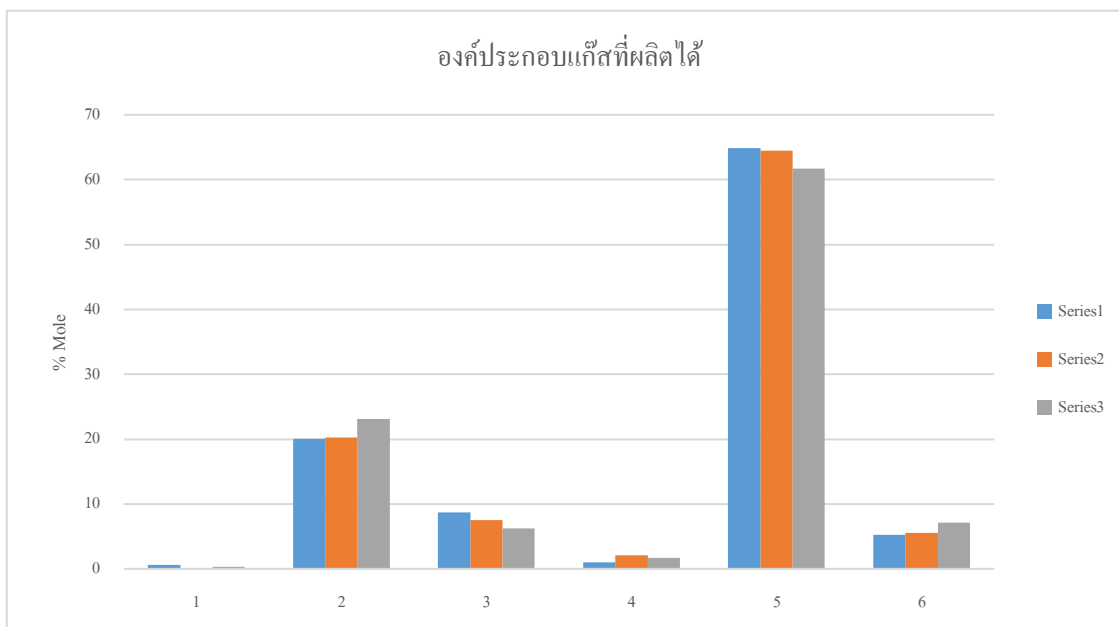
ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิช่วงริดักชั้น (เศษถ่าน)

จากการศึกษาอุณหภูมิช่วงริดักชั้นโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิด 3 นิ้วพบว่าอุณหภูมิช่วงริดักชั้นที่มี ER 0.2 พบว่าโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุด

เฉลี่ยอยู่ที่ 1200 องศาเซลเซียส ที่ ER 0.3 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 580 องศาเซลเซียส ส่วนที่ ER 0.4 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,120 องศาเซลเซียส และในส่วนของการศึกษาอุณหภูมิช่วงรีดักชันโดยใช้เศษถ่านไม้ไฟในการทดสอบพบว่า อุณหภูมิช่วงรีดักชันที่มี ER 0.2 พบว่าโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 850 องศาเซลเซียส ที่ ER 0.3 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 450 องศาเซลเซียส ส่วนที่ ER 0.4 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 50 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 600 องศาเซลเซียส

จากการทดลองเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดสามารถสรุปการใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ได้ดังนี้โดยการใช้ถ่านไม้ไฟที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 3 นิ้ว มีอุณหภูมิในช่วงของรีดักชันที่สูงกว่าเนื่องจากเชื้อเพลิงมีลักษณะที่ห้ำกันจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นของเชื้อเพลิงจึงทำให้ปริมาณอากาศที่เข้าสู่ช่วงของรีดักชันมีปริมาณที่มากจึงทำให้อุณหภูมิในช่วงนี้เกิดจากการเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงจึงจึงทำให้ระบบเตาแก๊สซีฟเอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานะของ ER 0.3 เนื่องจากสถานะ ER 0.4 มีการเผาไหม้ในอุณหภูมิที่สูงจึงทำให้เกิดถ่านไหม้ภายในเตาได้ ในส่วนของการใช้เศษถ่านไม้ไฟเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากเศษถ่านไม้ไฟมีลักษณะที่เล็กจึงทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ผ่านได้ยากจึงทำให้ปริมาณอากาศในช่วงนี้มีปริมาณที่น้อยจึงทำให้เกิดสถานะการเผาไหม้ที่ต่ำอุณหภูมิในช่วงรีดักชันจะน้อยจึงทำให้คุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีคุณภาพที่ต่ำ

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากถ่านไม้ไฟเพื่อหาค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์



ภาพที่ 4.13 องค์ประกอบแก๊สที่ผลิตได้

จากการทดลองกำหนด Equivalent Ratio (ER) ของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ER 0.2 0.3 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ไฟขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว จำนวน 15 กิโลกรัมเท่ากัน โดยทำการบันทึกเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง

จากการทดสอบเก็บข้อมูลองค์ประกอบแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้พบว่าปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ของถ่านไม้ไฟที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามค่าที่กำหนดพบว่าเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงจะทำให้สัดส่วนของแก๊สติดไฟในองค์ประกอบแก๊สเปลี่ยนแปลง โดยพบว่า ER 0.2 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 20.7 ร้อยละ 0.6 และร้อยละ 5.24 เมื่อทำการเปลี่ยนค่า ER เป็น 0.3 สัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 20.29 ร้อยละ 0.12 และร้อยละ 0.3 และในส่วนของ ER 0.4 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน คือร้อยละ 23.15 ร้อยละ 0.3 และร้อยละ 7.14

## ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

### ตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง

| สถานะ  | ค่าความร้อนต่ำ | หน่วย                  |
|--------|----------------|------------------------|
| ER 0.2 | 3.31           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.3 | 3.19           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.4 | 3.80           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |

จากการคำนวณค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงทั้งสามสถานะ Equivalent Ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ 3.31 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร 3.19 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และ 3.80 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.4 เป็นสถานะที่มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงดีที่สุด

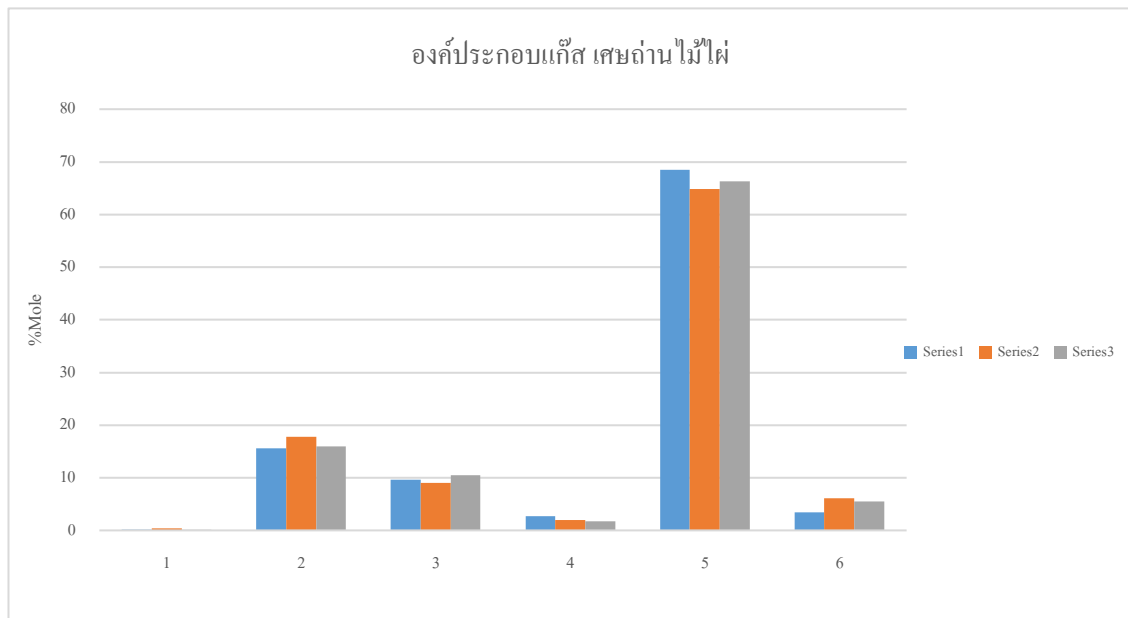
### ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์

### ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

| สถานะ  | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน | หน่วย |
|--------|------------------------------|-------|
| ER 0.2 | 36.78                        | %     |
| ER 0.3 | 35.45                        | %     |
| ER 0.4 | 42.22                        | %     |

จากการคำนวณประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ทั้งสามสถานะ Equivalent Ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ร้อยละ 36.78 ร้อยละ 35.45 และร้อยละ 42.22 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.4 เป็นสถานะที่มีประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนดีที่สุด

## การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเศษถ่านไม้ไผ่



ภาพที่ 4.14 องค์ประกอบแก๊สเศษถ่านไม้ไผ่

จากการทดลองกำหนด Equivalent Ratio (ER) ของระบบเตาแก๊สซิฟิเคชันทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ER 0.2 0.3 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นเศษถ่านไม้ไผ่ จำนวน 15 กิโลกรัมเท่ากัน โดยทำการบันทึกเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง

จากการทดสอบเก็บข้อมูลองค์ประกอบแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้พบว่าปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ของถ่านไม้ไผ่ที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามค่าที่กำหนดพบว่าเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงจะทำให้สัดส่วนของแก๊สติดไฟในองค์ประกอบแก๊สเปลี่ยนแปลง โดยพบว่า ER 0.2 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 15.55 ร้อยละ 0.2 และร้อยละ 3.45 เมื่อทำการเปลี่ยนค่า ER เป็น 0.3 สัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 17.80 ร้อยละ 0.35 และร้อยละ 6.10 และในส่วนของ ER 0.4 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน คือร้อยละ 15.95 ร้อยละ 0.2 และร้อยละ 5.55

ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเศษถ่านไม้ไผ่

ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง

| สถานะ  | ค่าความร้อนต่ำ | หน่วย                  |
|--------|----------------|------------------------|
| ER 0.2 | 2.40           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.3 | 3.03           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.4 | 2.68           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |

จากการคำนวณค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงทั้งสามสถานะ Equivalent Ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.40 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร 3.03 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และ 2.68 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.3 เป็นสถานะที่มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงดีที่สุด

ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์โดยใช้เศษถ่านเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

| สถานะ  | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน | หน่วย |
|--------|------------------------------|-------|
| ER 0.2 | 26.66                        | %     |
| ER 0.3 | 33.67                        | %     |
| ER 0.4 | 25.78                        | %     |

จากการคำนวณประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ทั้งสามสถานะ Equivalent ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ร้อยละ 26.66 ร้อยละ 33.67 และร้อยละ 25.78 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.3 เป็นสถานะที่มีประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนดีที่สุด

### สรุปประสิทธิภาพระบบเตาแก๊สซีฟเอร์

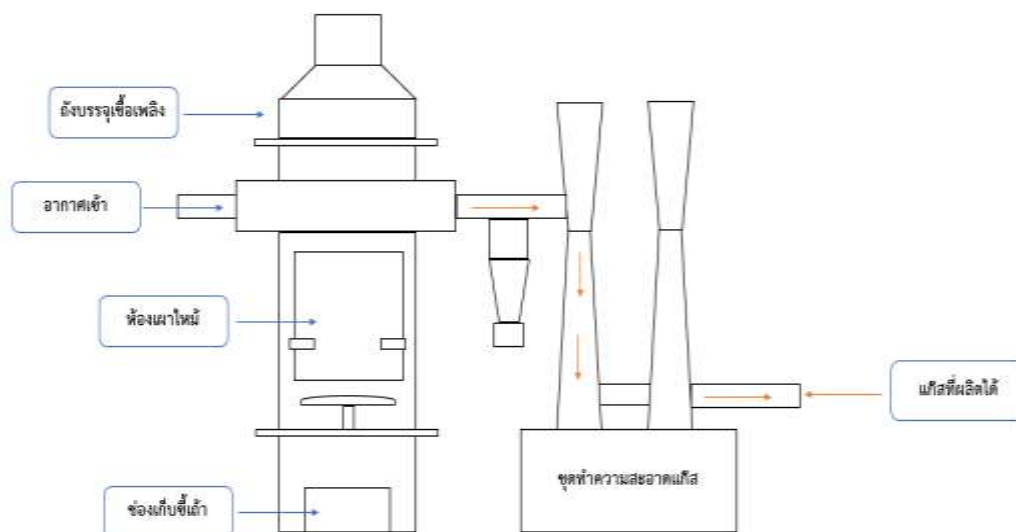
จากการทดลองเก็บข้อมูลระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่และเศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ โดยมีการกำหนดสภาวะอัตราส่วนผสมมีค่าระหว่าง 0.3-0.4 โดยค่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากสมการที่ 3.3.5 พบว่าค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว มีค่าความร้อนอยู่ที่ 3.31, 3.19 และ 3.80 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้เศษถ่านไม้ไผ่พบว่าค่าความร้อนอยู่ที่ 2.40, 3.03 และ 2.68 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพที่แตกต่างเนื่องจากเศษถ่านไม้ไผ่มีขนาดเล็กจึงทำให้ปริมาณอากาศที่ทำการจ่ายเข้าระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ได้น้อยและเกิดการเผาไหม้ที่ช้าและมีอุณหภูมิที่ต่ำจึงทำให้ประสิทธิภาพค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อเทียบกับถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว

เมื่อทำการเทียบประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์โดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว และเศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของการทดลองโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ร้อยละ 36.78 ร้อยละ 35.45 และร้อยละ 42.22 ตามลำดับ และในส่วนของการทดลองโดยใช้เศษถ่านไม้ไผ่พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ร้อยละ 26.66 ร้อยละ 33.67 และร้อยละ 25.78 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์เนื่องจากเศษถ่านไม้ไผ่มีขนาดเล็กจึงทำให้ปริมาณอากาศที่ทำการจ่ายเข้าระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ได้น้อยและเกิดการเผาไหม้ที่ช้าและมีอุณหภูมิที่ต่ำจึงทำให้การนำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้งานไม่เหมาะสมเท่าที่ควรเนื่องจากต้องใช้เวลาในการเดินระบบเป็นเวลานานและสิ้นเปลืองพลังงาน

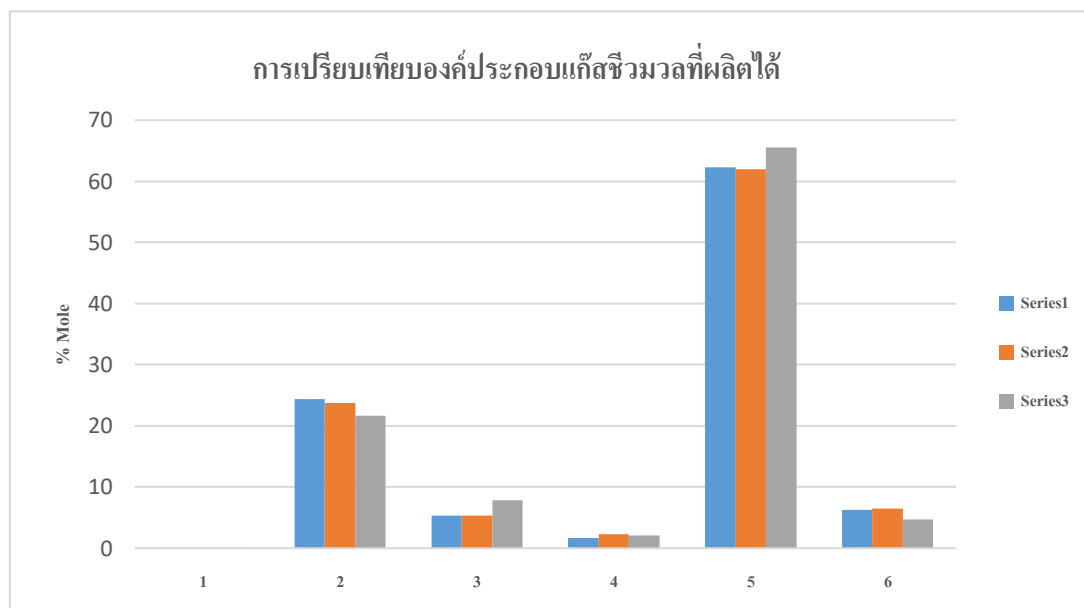
ดังนั้นจึงสามารถสรุปการทดลองโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว และเศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบได้ว่าระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบนั้นมีความเหมาะสมกับการใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว เป็นเชื้อเพลิงจากการทดสอบระบบเตาแก๊สซีฟเอร์โดยใช้ถ่านไม้ไผ่ขนาดไม่เกิน 3 นิ้วและเศษถ่านไม้ไผ่ผู้วิจัยจึงได้มีการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลการโดยใช้เตาแก๊สซีฟเอร์ที่มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้ระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ของ โครงการพัฒนาออยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 5 นิ้ว ในการทดสอบเก็บข้อมูลดังนี้

### วิธีการทดสอบ เตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง

1. กำหนดขนาดของถ่านไม้ไฟที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงขนาดไม่เกิน 5 นิ้ว โดยถ่านไม้ไฟที่นำมาทดลองได้มาจากการนำไม้ไฟแห้งที่ล้มตายในพื้นที่ป่าบริเวณโดยรอบของ โครงการพัฒนาอยตุง มาแปรรูปเป็นถ่านไม้ไฟเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีฟเอร์
2. ใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบจำนวน 40 kg ต่อ 1 การทดลอง
3. ปรับเปลี่ยนค่า Equivalent ratio (ER) ของอากาศในช่วง 0.2 0.3 0.4 และศึกษาระยะเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์และเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.15 การติดตั้งเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงที่ใช้ในการทดลอง



**ภาพที่ 4.16** การเปรียบเทียบองค์ประกอบแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้

การทดลองกำหนด Equivalent Ratio (ER) ของระบบเตาแก๊สซิฟิเคอร์ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ER 0.2 0.3 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ไผ่ขนาดไม่เกิน 5 นิ้ว จำนวน 40 กิโลกรัมเท่ากัน โดยทำการบันทึกเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง

จากการทดสอบเก็บข้อมูลองค์ประกอบแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้พบว่าปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ของถ่านไม้ไผ่ที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามค่าที่กำหนดพบว่าเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงจะทำให้สัดส่วนของแก๊สติดไฟในองค์ประกอบแก๊สเปลี่ยนแปลง โดยพบว่า ER 0.2 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 24.4 ร้อยละ 0.1 และร้อยละ 6.3 เมื่อทำการเปลี่ยนค่า ER เป็น 0.3 สัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน มากที่สุดคือร้อยละ 23.8 ร้อยละ 0.1 และร้อยละ 6.5 และในส่วนของ ER 0.4 มีสัดส่วนของแก๊สที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน คือร้อยละ 21.7 ร้อยละ 0.15 และร้อยละ 4.8 ดังแสดงในภาพ

ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากถ่านไม้ไผ่ในระบบเตาของโครงการพัฒนาโดยตุง  
ตารางที่ 4.7 ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง

| สถานะ  | ค่าความร้อนต่ำ | หน่วย                  |
|--------|----------------|------------------------|
| ER 0.2 | 2.40           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.3 | 3.03           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |
| ER 0.4 | 2.68           | เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร |

จากการคำนวณค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงทั้งสามสถานะ Equivalent Ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.40 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร 3.03 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และ 2.68 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.3 เป็นสถานะที่มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงดีที่สุด

ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซิฟิเคอร์โดยใช้เศษถ่านเป็นเชื้อเพลิง  
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

| สถานะ  | ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน | หน่วย |
|--------|------------------------------|-------|
| ER 0.2 | 26.66                        | %     |
| ER 0.3 | 33.67                        | %     |
| ER 0.4 | 25.78                        | %     |

จากการคำนวณประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของระบบเตาแก๊สซิฟิเคอร์ทั้งสามสถานะ Equivalent Ratio (ER) พบว่า ER 0.2 ER 0.3 และ ER 0.4 มีค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ที่ร้อยละ 26.66 ร้อยละ 33.67 และร้อยละ 25.78 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ER 0.3 เป็นสถานะที่มีประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนดีที่สุด

ผลการศึกษา พบว่า การทดลองกำหนด ER ของระบบเตาแก๊สซิฟิเคอร์ทั้ง 3 สถานะได้แก่ ER 0.2 0.3 และ 0.4 โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ไผ่จำนวน 40 กิโลกรัม เท่ากันพบว่า ที่ ER 0.2 0.3 และ 0.4 สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง 50 นาที 2 ชั่วโมง 30 นาที และ 2 ชั่วโมง 10 นาที ตามลำดับซึ่งคิดเป็นปริมาณการสิ้นเปลืองอยู่ที่ 16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 17.3กิโลกรัมต่อชั่วโมง

และ 19 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ER 0.2 เป็นสภาวะที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่องนานที่สุดและมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดแต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งานในโรงงานพบว่าที่ ER 0.2 และ ER 0.3 ไม่สามารถส่งแก๊สที่ผลิตได้ไปตามจุดใช้งานต่าง ๆ ภายในโรงงานได้เนื่องจากอากาศที่จ่ายเข้าในระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มีปริมาณที่น้อยเกินไปดังนั้น ER 0.4 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานในโรงงานเนื่องจากมีปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าในระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มากพอที่จะสร้างแรงดันในท่อส่งแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถส่งแก๊สไปตามจุดใช้งานต่าง ๆ ในโรงงานได้

### การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์

ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ซึ่งผู้วิจัยจะประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงและระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง โดยประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากตารางแสดงรายการค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ 15 ปี โดยได้ทำการประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงและระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง โดยรายการค่าใช้จ่ายสามารถจำแนกการลงทุนออกเป็นการลงทุนถาวร การลงทุนทุก 3-5 ปี และการลงทุนทุกปีตลอดอายุโครงการทั้ง 15 ปี โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

1. โบเวอร์อัดอากาศมีการลงทุนทุก ๆ 3 ปี เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มีการใช้งานโบเวอร์อัดอากาศทุกครั้งที่ใช้งานจึงทำให้มีเศษขี้เถ้าและความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ไหลผ่านจึงทำให้โบเวอร์อัดอากาศเสียหายได้ง่าย

2. ปั๊มน้ำระบบทำความสะอาดแก๊สมีการลงทุนทุก ๆ 5 ปี เนื่องจากอายุการใช้งานของมอเตอร์ปั๊มน้ำมีอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี

3. ปะเก็นทนความร้อนมีการลงทุนตลอดอายุโครงการ 15 ปี เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มีการใช้งานโดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่สูงจึงทำให้เกิดคาร์บอนปริมาณมากซึ่งทำให้ระบบเตาแก๊สซีฟเอร์อุดตันจึงต้องทำให้ต้องถอดระบบเพื่อทำความสะอาด

4. หัวฉีดระบบทำความสะอาดแก๊สมีการลงทุนตลอดอายุโครงการ 15 ปี เนื่องจากระบบชุดทำความสะอาดแก๊สมีหน้าที่ล้างทำความสะอาดแก๊สเชื้อเพลิงจึงทำให้มีเศษตะกอนเข้าไปอุดตันบริเวณหัวฉีดจึงทำให้ต้องเปลี่ยนหัวฉีดทุกครั้งที่ทำกรทำความสะอาดระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์

5. กรองปั้มน้ำมีการลงทุนตลอดอายุโครงการ 15 ปี เนื่องจากต้องเปลี่ยนทุกครั้ง

#### การคำนวณมูลค่าแก๊สที่ผลิตได้ต่อปี

จากการทดสอบเก็บข้อมูลระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์เทียบกับการใช้แก๊ส LPG พบว่า การใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัมจำนวน 15 กิโลกรัม ซึ่งสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อเทียบกับการการใช้งานแก๊ส LPG เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งมีน้ำหนักถังอยู่ที่ 15 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นเงินอยู่ กิโลกรัมละ 26 บาท เมื่อมีการทดสอบในเวลาเท่ากันพบว่ามีการใช้แก๊สเชื้อเพลิงไปทั้งหมด 1.2 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นเงินอยู่ที่ 30 บาทต่อวัน 900 บาทต่อเดือน 10,800 บาทต่อปี

#### ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

| ตัวชี้วัด | ค่า        |
|-----------|------------|
| PB        | 14.4 ปี    |
| NVP       | 14,230 บาท |
| IRR       | 1.18%      |

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ระยะเวลาดำเนินทุน (Payback Period) ดังสมการที่ 3.4.1 พบว่า มีระยะเวลาดำเนินทุนที่ 14 ปี 4 เดือน โดยมีระยะเวลาโครงการอยู่ที่ 15 ปี เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์มีการลงทุนเริ่มต้น 45,000 บาท และมีการบำรุงรักษาระบบตลอดอายุการใช้งานในส่วนของคุณค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คำนวณ และผลตอบแทนภายใน (IRR) ซึ่งมีค่ามากกว่า อัตราดอกเบี้ย ณ ปัจจุบันที่ร้อยละ 1.18 แสดงว่าการลงทุนโครงการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนในระบบเตาทุก ๆ 3 ปี และ 5 ปี

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้วิจัยและพัฒนาเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงโดยใช้ถ่านไม้ไผ่แห้งมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนในพื้นที่ โครงการพัฒนาออยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อให้สามารถนำระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ใช้งานร่วมกับการใช้แก๊ส LPG ได้

#### การวิเคราะห์หาค่าประกอบของถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูล

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยจึงได้มีการนำไม้ไผ่โดยมาแปรรูปเป็นถ่านไม้ไผ่และได้นำถ่านไม้ไผ่ส่งไปวิเคราะห์หาค่าประกอบของถ่านตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) พบว่าค่าความชื้นของถ่านไม้ไผ่อยู่ที่ร้อยละ 6.36 ตามน้ำหนัก เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สดซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 12.42 ตามน้ำหนัก และในส่วนของค่าความร้อนสุทธิอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สดซึ่งมีค่าความร้อนสุทธิอยู่ที่ 2.86 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว และสารระเหยอยู่ที่ร้อยละ 69.02 ตามน้ำหนัก และร้อยละ 17.07 ตามน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำถ่านไม้ไผ่มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้

#### การออกแบบระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง

การหาค่าพลังงานที่ใช้ของเตาแก๊สซีฟเอร์ จากการวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้มีการคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงตาม พบว่ามวลน้ำอยู่ที่ 40 กิโลกรัม และพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำ 72 แคลอรีต่อกิโลกรัม และช่วงเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาที พบว่าจะได้ค่าพลังงานที่ใช้ต้มน้ำมีค่า 32 แคลอรีต่อชั่วโมง

### การหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

จากการคำนวณหาการหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงตามสามารถคำนวณหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งมีค่า 32 แคลอรีต่อชั่วโมง และค่าความร้อนต่ำของชีวมวลอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และค่าประสิทธิภาพของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง 36 เปอร์เซ็นต์ ทำให้พบว่าค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลลัพธ์อยู่ที่ 4.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

### การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Reactor)

จากคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 4.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่  $5.2705 \text{ kg/m}^2\text{-hr}$  และระยะเวลาในการทำงานอยู่ที่ 90 นาที พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีขนาดอยู่ที่ 25 เซนติเมตร

### การหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

จากการคำนวณหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ในการคำนวณหาความสูงของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยมีระยะเวลาในการทำงานอยู่ที่ 90 นาที และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล  $282.38 \text{ kg/m}^3$  (วรณัฐ แจ่มสว่าง, 2556) พบว่าของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีขนาดความสูงที่เหมาะสมอยู่ที่ 63 เซนติเมตร

### การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงโดยค่าอัตราส่วนสมมูลมีค่าระหว่าง 0.3 - 0.4 โดยค่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 22.05 มิลลิต่อวินาที

### สรุปประสิทธิภาพระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ขนาด 200 ลิตร และ 600 ลิตร

จากการทดลองเก็บข้อมูลระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงขนาด 200 ลิตรโดยใช้ถ่านไม้ไผ่และเศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบโดยมีการกำหนดสภาวะอัตราส่วนสมมูลมีค่าระหว่าง 0.3-0.4 ใช้ถ่านไม้ไผ่ขนาดไม่เกิน 3 นิ้วและเศษถ่านไม้ไผ่ผู้วิจัยจึงได้มีการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลการโดยใช้เตาแก๊สซีไฟเออร์ที่มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ขึ้นขนาด 600 ลิตรโดยใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 5 นิ้ว พบว่าเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงขนาด 200 ลิตรใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว และเศษถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบได้ว่าระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบนั้นมีความเหมาะสมกับการใช้ถ่านไม้ไผ่ที่มีขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว เป็น

เชื้อเพลิงและในส่วนเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลงขนาด 600 ลิตรการผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ER 0.4 เป็นสถานะที่เหมาะสมในการใช้งานในโรงงานเนื่องจากมีปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าในระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มากพอที่จะสร้างแรงดันในท่อส่งแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถส่งแก๊สไปตามจุดใช้งานต่าง ๆ ในโรงงานได้

#### **การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์**

ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์สำหรับการใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว ซึ่งผู้วิจัยจะประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงและระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง โดยประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### **การคำนวณมูลค่าแก๊สที่ผลิตได้ต่อปี**

จากการนำข้อมูลการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มาเทียบกับการใช้แก๊สเชื้อเพลิง พบว่าการใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 27.72 กิโลจูลต่อกิโลกรัมจำนวน 15 กิโลกรัม ซึ่งสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อเทียบกับการการใช้งานแก๊สเชื้อเพลิง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งมีน้ำหนักถึงอยู่ที่ 15 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นเงินอยู่ กิโลกรัมละ 26 บาท เมื่อมีการทดสอบในเวลาเท่ากันพบว่าการใช้แก๊สเชื้อเพลิง ไปทั้งหมด 1.2 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นเงินอยู่ที่ 30 บาทต่อวัน 900 บาทต่อเดือน 10,800 บาทต่อปี

#### **การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเตาแก๊สซีฟเอร์**

จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) พบว่า มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 14 ปี 4 เดือนโดยมีระยะเวลาโครงการอยู่ที่ 15 ปี เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีฟเอร์มีการลงทุนเริ่มต้น 45,000 บาท และมีการบำรุงรักษาระบบเตาตลอดอายุการใช้งานในส่วน of มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คุ้มค่า และ ผลตอบแทนภายใน (IRR) ซึ่ง IRR มีค่ามากกว่า อัตราดอกเบี้ย ณ ปัจจุบันที่ร้อยละ 1.18 แสดงว่าการลงทุนโครงการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากระบบเตาแก๊สซีฟเอร์ต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนในระบบเตาทุก ๆ 3 ปี และ 5 ปี

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะด้านงานวิจัย

จากงานวิจัยการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านไม้ไผ่เพื่อให้ระบบเตาขนาด 200 ลิตร และ 600 ลิตรให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพการมากยิ่งขึ้นรวมถึงศึกษาผลกระทบของขนาดชีวมวลที่มีต่อประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์และยังสามารถปรับใช้เชื้อเพลิงในพื้นที่

### 2. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

จากงานวิจัยที่ได้ทำการนำไม้ไผ่แห้งโดยรอบโครงการพัฒนาออยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มาผลิตเป็นถ่านไม้ไผ่เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ภายในโรงงานและยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับคนในชุมชนในการแปรรูปเศษไม้ไผ่ให้เป็นถ่านไม้ไผ่เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง และยังช่วยลดปัญหาการเกิดปัญหาไฟป่าและปัญหาหมอกควันในพื้นที่ได้

## บรรณานุกรม

- โครงการพัฒนาคอกขุข (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2563). *ประวัติและความ เป็นมา*. สืบค้นจาก [http://www.maefahluang.org/?page\\_id=760&lang=th](http://www.maefahluang.org/?page_id=760&lang=th)
- นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ คุณภู และกิตติกร สาธุจิตต์ (2558). การทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะ ระบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับการอบแห้งเมล็ดพืช. *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบ พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8*, 103-107
- คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (2554). *พลังงานชีวมวล*. สืบค้นจาก [https://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=774&filename=index](https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=774&filename=index)
- วรรณข จ้างสว่าง. (2556). *เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์บริษัท แดเน็กอินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.
- ธีรภพ แสงศรี และภฤศภณ ไชยลังกา. (2559). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการคลินิก บ้านท่าคันขาว อ.สารภี จ.เชียงใหม่. *วารสารราชชมงคลล้านนา*, 4(1), 31-44.
- อดุลย์สัณ สุกแก้ว, ปานทิพย์ บุญส่ง และฐกฤต ปานขลิบ. (2558). การจัดการทรัพยากรชีวมวลที่ เหมาะสมสู่การลงทุนในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. *การจัดการทรัพยากรชีวมวลที่ เหมาะสมสู่การลงทุนในอุตสาหกรรมฯ*, 2(2), 1-12.
- สุรกิจ ทองสุก, และอรรถพล เก้าพิทักษ์กุล. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของ ระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทร ราชวิทยาลัย*, 10(19), 157-169.
- วิชาภา ภูจินดาและวิวัฒน์ แก้วดวงเล็ก. (2558). การประเมินเบื้องต้นของผลตอบแทน ทางสังคม จากการลงทุนในการผลิตไฟฟ้า จากพลังงานชีวมวล: กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าพลังงาน ชีวมวลด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชัน. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 11(2) 92-103.
- วิชาภา ภูจินดา และสิริสุดา หนูทิมทอง. (2556). การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิต พลังงาน ใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน: กรณีศึกษา ชุมชนเกาะพะลวย. *วารสาร การจัดการสิ่งแวดล้อม*, 9(2) 45-63.
- ปิติพีร์ รวมเมฆ. (2560). โอกาสทางการตลาดและปัจจัยแห่งความสำเร็จของธุรกิจผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานชีวมวล. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรม ราชูปถัมภ์* 11(3), 260-271.

- ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาส สายคา, สุจิตรา ภู่งสี และสิวพร เงินเรืองโรจน์. (2558). การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต*, 23(5), 755-771.
- บุศรา พชรพันธ์. (2552). การศึกษาเตาเผาชีวมวลชนิดอากาศไหลลงขนาดเล็กโดยใช้ขี้เถ้าโพดเป็นชีวมวล. *มหาลัยนเรศวร*
- วาทีนทร์ ทองแก้ว. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลงจากถ่านไม้. (สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร).
- ภาณุพงศ์ หมั่นจิต. (2557). การออกแบบและทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลง. *มหาวิทยราชภัฏเชียงใหม่*.
- วรารณ ทุมชาติ (2557). การผลิตโปรคิวเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิง. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง* 7(1), 26-38.
- พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์, และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล. (2556). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. *ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 4(3), 218-255.
- อรัญญ์ วรควาวิสันต์. (2553). การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์. *บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ*, 3 1-28.
- สหัสยา ทองสาร, บงกช ประสิทธิ์ และวิกานต์ วันสูงเนิน. (2558). เปรียบเทียบการใช้ถ่านกัมมันต์ความร้อนสำหรับเตาผลิตแก๊สชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบที่หาง่ายในชุมชน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 23(2) 66-77.
- ประสิทธิ์ ไกรลมสม. (2561). การศึกษาต้นทุนและระยะเวลาคืนทุนของธุรกิจโฮสเทล. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มรภ.พระนครศรีอยุธยา*, 1(2), 17-21.
- Stassen, H.E.M. (1995). *Small scale biomass gasifiers for heat power*. World bank technical paper No.296 Energy Series.



**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก ก

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลและระบบเตาแก๊สซีฟเอร์แบบไหลลง



ภาพที่ 1 ถ่านไม้ไฟที่ได้จากการผลิตจากเศษไม้ไฟรอบบริเวณโครงการคอยตุง

ที่ พบก-บ. 395, 85.6.63

CF-017

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND  
TEST REPORT SOLID FUEL ANALYSIS  
FOR PROXIMATE ANALYSIS

Report No. 630454

Page 1 of 1

CUSTOMER : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
920/9 หมู่ 7 ต.แม่ฟ้าหลวง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย 57110

| LAB NO. 630454-01            |                       | SAMPLE DATE 11/06/2020       |                            |        |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|--------|
| SAMPLE NAME ชีวมวล           |                       | RECEIVED DATE 11/06/2020     |                            |        |
| SAMPLE DESCRIPTION ถ่านไม้ไฟ |                       | ANALYSED DATE 16 - 20/6/2020 |                            |        |
| SAMPLE CONDITION Normal      |                       |                              |                            |        |
| AS RECEIVED                  | PARAMETER             | UNIT                         | METHOD                     | RESULT |
|                              | MOISTURE              | % by weight                  | ASTM D3302/3302M-17        | 6.36   |
|                              | ASH                   | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 7.55   |
|                              | VOLATILE MATTER       | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 17.07  |
|                              | FIXED CARBON          | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 69.02  |
|                              | SULFUR                | % by weight                  | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.08   |
|                              | GROSS CALORIFIC VALUE | MJ/Kg                        | ASTM D5865-13              | 28.46  |
|                              | NET CALORIFIC VALUE   | Kcal/Kg                      | ASTM D5865-13              | 6802   |
| DRY BASIS                    | ASH                   | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 8.07   |
|                              | VOLATILE MATTER       | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 18.22  |
|                              | FIXED CARBON          | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 73.71  |
|                              | SULFUR                | % by weight                  | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.08   |
|                              | GROSS CALORIFIC VALUE | MJ/Kg                        | ASTM D5865-13              | 30.39  |
|                              | NET CALORIFIC VALUE   | Kcal/Kg                      | ASTM D5865-13              | 7264   |
| AIR DRY BASIS                | INHERENT MOISTURE     | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 5.65   |
|                              | ASH                   | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 7.61   |
|                              | VOLATILE MATTER       | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 17.20  |
|                              | FIXED CARBON          | % by weight                  | ASTM D7582-15              | 69.55  |
|                              | SULFUR                | % by weight                  | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.08   |
|                              | GROSS CALORIFIC VALUE | MJ/Kg                        | ASTM D5865-13              | 28.68  |
| RELATIVE DENSITY             |                       | Kcal/Kg                      | ASTM D5865-13              | 6855   |
|                              |                       |                              | AS 1038.21.1.1-2002        | -      |

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Approved By :   
( Miss Nucharin Whangdeeniran )  
SCIENTIST LEVEL 8

Reported By :   
( Miss Maturot Tulapan )  
SCIENTIST LEVEL 6

ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของถ่านไม้ไฟ

CF-018

Report No. 630454

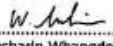
Page 1 of 1

**ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND  
TEST REPORT SOLID FUEL ANALYSIS  
FOR ULTIMATE ANALYSIS**

CUSTOMER : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
920/9 หมู่ 7 ต.แม่ฟ้าหลวง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย 57110

|                                     |              |             |                            |                |
|-------------------------------------|--------------|-------------|----------------------------|----------------|
| LAB NO.                             | 630454-01    |             |                            |                |
| SAMPLE NAME                         | ชีวมวล       |             | SAMPLE DATE                | 11/06/2020     |
| SAMPLE DESCRIPTION                  | ถ่านไม้ไฟ    |             | RECEIVED DATE              | 11/06/2020     |
| SAMPLE CONDITION                    | Normal       |             | ANALYSED DATE              | 17 - 20/6/2020 |
| AS DETERMINED<br>(AIR DRY)<br>BASIS | PARAMETER    | UNIT        | METHOD                     | RESULT         |
|                                     | MOISTURE     | % by weight | ASTM D7582-15              | 5.65           |
|                                     | ASH          | %           | ASTM D7582-15              | 7.61           |
|                                     | CARBON       | %           | ASTM D5373-16              | 75.69          |
|                                     | HYDROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 3.37           |
|                                     | NITROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 0.21           |
|                                     | TOTAL SULFUR | %           | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.08           |
|                                     | OXYGEN       | %           | (plus errors)              | 13.04          |
| DRY BASIS                           | ASH          | %           | ASTM D7582-15              | 8.07           |
|                                     | CARBON       | %           | ASTM D5373-16              | 80.22          |
|                                     | HYDROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 2.90           |
|                                     | NITROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 0.22           |
|                                     | TOTAL SULFUR | %           | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.08           |
|                                     | OXYGEN       | %           | (plus errors)              | 8.51           |
| DRY ASH-FREE<br>BASIS               | CARBON       | %           | ASTM D5373-16              | 87.26          |
|                                     | HYDROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 3.15           |
|                                     | NITROGEN     | %           | ASTM D5373-16              | 0.24           |
|                                     | TOTAL SULFUR | %           | ASTM D4239-18 <sup>1</sup> | 0.09           |
|                                     | OXYGEN       | %           | (plus errors)              | 9.26           |

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Approved By :   
( Miss Nucharin Whangdeeniran )  
SCIENTIST LEVEL 8

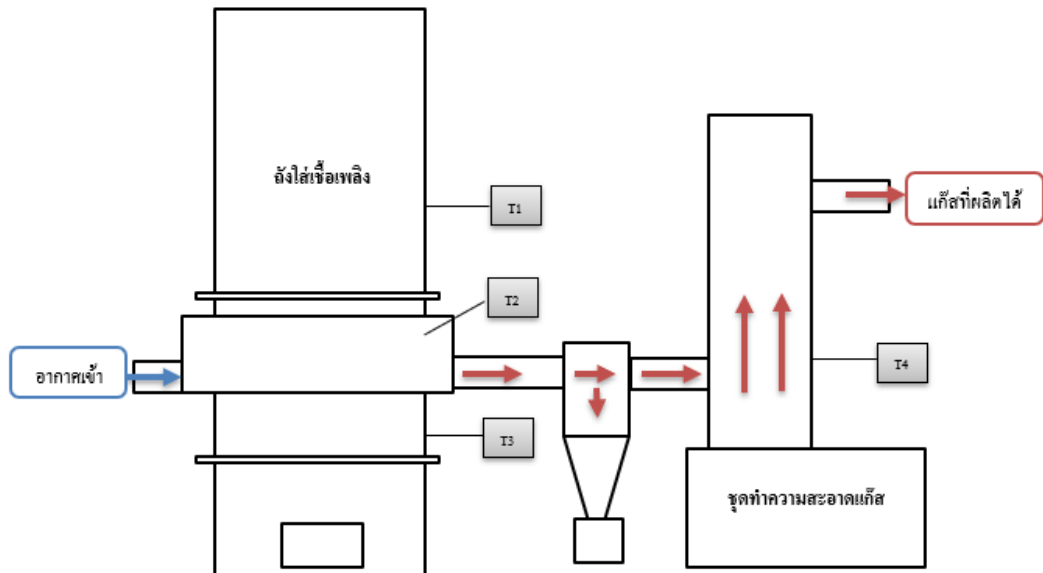
Reported By :   
( Miss Maturot Tulapan )  
SCIENTIST LEVEL 6

ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของถ่านไม้ไฟ



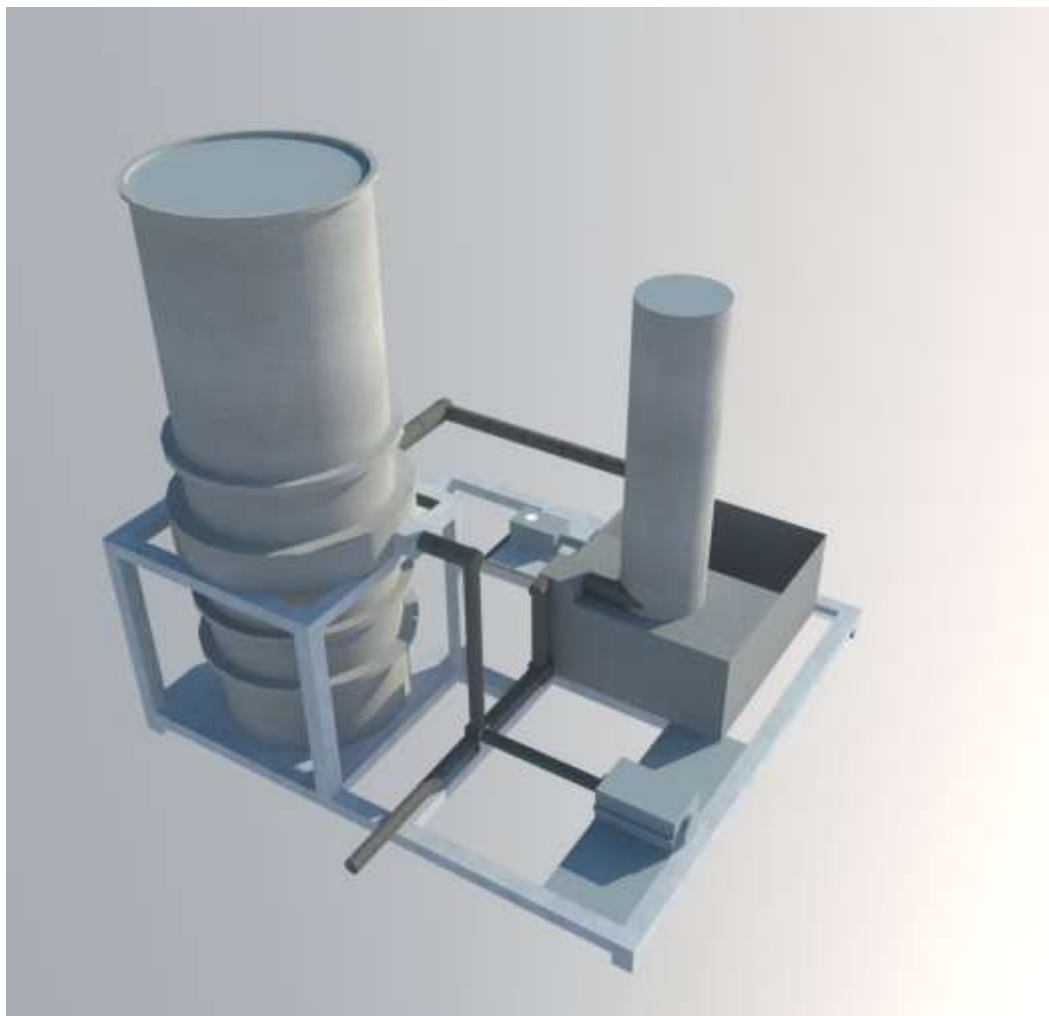
ภาพที่ 4 การกำหนดขนาดถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดลองเก็บข้อมูล





ภาพที่ 5 หลักการทำงานของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง





ภาพที่ 6 การเขียนแบบระบบเตาแก๊สไฟฟ้าแรงดันต่ำ





ภาพที่ 7 ระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลงที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 8 การเก็บข้อมูลค่าความร้อนโซนต่างๆ ของระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลง





ภาพที่ 9 การเก็บข้อมูลการใช้งานความร้อนและเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง



ภาพที่ 10 การถอดชิ้นส่วนเตาแก๊สซีฟเออร์ออกมาทำความสะอาดก่อนการเริ่มทดลองครั้งถัดไป



ภาพที่ 11 เศษไม้ที่ติดในห้องเผาไหม้หลังจากการทดลอง



ภาพที่ 12 ระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์แบบไหลลงในพื้นที่โครงการพัฒนาออยตุง

## ภาคผนวก ข

### ผลการวิเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงและผลงานการตีพิมพ์



**ERDI - Nakornping**  
Energy Research and Development Institute-Nakornping,  
Chiang Mai University  
สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**  
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University

ERDI-010-01 Rev. 01  
ฉบับแก้ไข : 10/2562

#### ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/34 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์

ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักดอยตุง ต. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย

รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.2 ซ้ำที่ 1 / ตัวอย่างวันที่ 22 ธันวาคม 2563

ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บแก๊ส สภาพตัวอย่างปกติ

วันที่รับตัวอย่าง : 23 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/23 300)

วันที่ทดสอบ : 23 - 29 ธันวาคม 2563

ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.1        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 22.8       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 6.1        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 2.0        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 63.7       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 5.3        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012

\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ กัญจน์ สิงห์สุทิน

( นางสาววิระญา สิงห์สุทิน )

นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ พณภรณ์ พ.

( นางสาวพรสวรรค์ อติยศ )

หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน ( 29 ธันวาคม 2563 )

.....รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการดำเนินงานของหน่วยงานต้นสังกัด และเพื่อเป็นข้อมูลในการดำเนินงานของหน่วยงานต้นสังกัดเท่านั้น

**สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**  
239 ถนนห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

**Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University**  
239 Huay Kaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand  
Tel: 053-942007-9 Fax: 053-903760, 053-903763 http://erdi.cmu.ac.th

## ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/35 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักดอยตุง ด. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย  
รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.2 ซ้ำที่ 2 / ตัวอย่างวันที่ 22 ธันวาคม 2563  
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ  
วันที่รับตัวอย่าง : 23 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/23 301)  
วันที่ทดสอบ : 23 - 29 ธันวาคม 2563  
ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.1        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 25.9       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 4.5        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 1.4        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 60.9       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 7.2        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012.

\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015.

ลงชื่อ กมล สิริสุติน

( นางสาววิระญา สิริสุติน )

นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ พชรพร สอน

( นางสาวพรสวรรค์ ชัยยศ )

หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (.....29 ธันวาคม 2563.....)

รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นตามสัญญาจ้าง การรายงานผลการทดสอบเป็นข้อมูลเฉพาะและใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่สามารถเปิดเผยหรือเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าวต่อผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
239 ถนนสุเทพ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200  
Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University  
239 Huay Kaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand  
Tel: 053-942007-9 Fax: 053-903760, 053-903763 <http://erdi.cmu.ac.th>



### ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/36 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักดอยตุง ต. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย  
รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.3 ซ้ำที่ 1 / ตัวอย่างวันที่ 22 ธันวาคม 2563  
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ  
วันที่รับตัวอย่าง : 23 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/23 302)  
วันที่ทดสอบ : 23 - 29 ธันวาคม 2563  
ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.1        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 22.1       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 5.5        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 3.0        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 63.5       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 5.8        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012  
\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ พิมพ์ สิริสุติน  
( นางสาววิระญา สิริสุติน )  
นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ พนมรัตน์ ขน  
( นางสาวพรสวรรค์ ขัติยศ )  
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (.....29 ธันวาคม 2563.....)

รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบเท่านั้น การรายงานผลการทดสอบต้องอิงตามมาตรฐานห้องสอบ ไม่สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงผลได้โดยไม่ผ่านการตรวจสอบและรับรองจากหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่



### ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/37 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักค้อยตุง ต. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย  
รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.3 ซ้ำที่ 2 / ตัวอย่างวันที่ 22 ธันวาคม 2563  
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ  
วันที่รับตัวอย่าง : 23 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/23 303)  
วันที่ทดสอบ : 23 - 29 ธันวาคม 2563  
ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.1        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 25.5       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 5.2        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 1.6        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 60.5       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 7.1        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012  
\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ กนก สอนสุภาพ  
( นางสาววิระญา สิงห์สุติน )  
นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ ทรงเดช ขว.  
( นางสาวพรสวรรค์ ขัติยศ )  
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (.....29.....ธันวาคม 2563.....)

รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับทดสอบเท่านั้น รายงานผลการทดสอบจะต้องใช้ข้อมูลเฉพาะที่รายงานด้วย (กรณีมีข้อบกพร่อง) ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจทางธุรกิจหรือการตัดสินใจอื่นใดได้



### ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/38 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักดอยตุง ต. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย  
รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.4 ซ้ำที่ 1 / ตัวอย่างวันที่ 24 ธันวาคม 2563  
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ  
วันที่รับตัวอย่าง : 28 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/28 318)  
วันที่ทดสอบ : 28 - 29 ธันวาคม 2563  
ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.1        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 20.4       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 7.2        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 2.4        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 65.5       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 4.4        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012  
\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ วิมล สิงห์สุติน  
( นางสาววิมล สิงห์สุติน )  
นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ พรสวรรค์ ชติยศ  
( นางสาวพรสวรรค์ ชติยศ )  
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (..... 29 .. ธันวาคม 2563 ..)

.....รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารลับซึ่งมีค่าทางเทคนิคและข้อมูลเชิงพาณิชย์และ/หรือข้อมูลอื่นใดที่มิได้เปิดเผยแก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่ออกเอกสารฉบับนี้และต้องเก็บรักษาไว้เป็นความลับ.....



### ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงาน ERDI 64/39 : หน้า 1/1

ชื่อผู้รับบริการ : มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์  
ที่อยู่ : 920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักตอยสูง ต. แม่ฟ้าหลวง  
อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย  
รายละเอียดตัวอย่าง : ER 0.4 ซ้ำที่ 2 / ตัวอย่างวันที่ 24 ธันวาคม 2563  
ลักษณะ/สภาพตัวอย่าง : เก็บใส่ถุงเก็บก๊าซ สภาพตัวอย่างปกติ  
วันที่รับตัวอย่าง : 28 ธันวาคม 2563 (รหัสตัวอย่าง 63/12/28 319)  
วันที่ทดสอบ : 28 - 29 ธันวาคม 2563  
ผลการทดสอบ :

| รายการทดสอบ                          | ผลการทดสอบ | หน่วย | วิธีทดสอบ / เทคนิคที่ใช้       |
|--------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| 1. Methane (CH <sub>4</sub> )        | 0.2        | %     | *part 2720 C.<br>**part D 1945 |
| 2. Carbon monoxide (CO)              | 18.9       | %     |                                |
| 3. Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) | 8.4        | %     |                                |
| 4. Oxygen (O <sub>2</sub> )          | 1.8        | %     |                                |
| 5. Nitrogen (N <sub>2</sub> )        | 65.6       | %     |                                |
| 6. Hydrogen (H <sub>2</sub> )        | 5.1        | %     |                                |

หมายเหตุ : \* In house methods based on Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22<sup>nd</sup> edition, 2012  
\*\* In house methods based on American Society for Testing and Materials (ASTM), Volume 05.06 2015

ลงชื่อ วิมล สิริวัน  
( นางสาววิระญา สิงห์สุติน )  
นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ พรศักดิ์ ชว  
( นางสาวพรสวรรค์ ชิตยศ )  
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการ

วันที่รายงาน (.....29.....ธันวาคม 2563.....)

.....รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเอกสารภายในหน่วยงานเท่านั้น รายงานผลการทดสอบนี้ใช้ได้เฉพาะหน่วยงานที่ส่งมาทดสอบเท่านั้น ไม่สามารถนำผลการทดสอบไปใช้ในการอ้างอิงหรือเผยแพร่ภายนอกหน่วยงานผู้ส่งมาทดสอบได้

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นาย นิธิพัฒน์ ตลิ่งจิตร

วัน เดือน ปีเกิด 20 กันยายน 2538

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 404 ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง  
รหัสไปรษณีย์ 52100

อีเมลแอดเดรส t.nithipat20@gmail.com

ประวัติการศึกษา  
พ.ศ. 2561 – 2566 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน  
สถาบันการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ประวัติการทำงาน  
ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารและโรงงาน  
บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด