ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าว ผสมชีวมวลด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

โดย

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์

ไชยยันต์ ทองสองยอด

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

MIXED STRAW BIOMASS ELECTRICAL POWER GENERATION SYSTEM BY USING GASIFICATION TECHNOLOGY

By

Jensak Ekburanawat

Chaiyan Thongsongyod

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2013

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้จากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี 2556 ของมหาวิทยาลัยฯ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ช่วยประสานงานและอำนวยความสะดวกต่างๆ ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณประโยชน์ใดๆ อันพึงเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณ ภรรยา และลูก ผู้เป็นกำลังใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และคณะ

สิงหาคม 2556

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A26/2556

ชื่อโครงการ : ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวผสมชีวมวลด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

ชื่อนักวิจัย : ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และนายไชยยันต์ ทองสองยอด

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการทดสอบและวิเคราะห์ศักยภาพของเชื้อเพลิงฟางข้าวอัดแท่งในเชิงของการให้กำเนิดโปรดิวเซอร์แก๊สด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งแก๊สที่ได้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง ไซโคลน เวทสครับเบอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการทดสอบเผาเชื้อเพลิงฟางข้าวอัดแท่งที่ความชื้นร้อยละ 20 30 และ 40 ตามลำดับ และทำการวัดองค์ประกอบของแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้น พร้อมทดสอบคุณภาพของแก๊สด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงฟางข้าวมันที่ความชื้นร้อยละ 20 สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่มีคุณภาพดีที่สุด แก๊สที่ได้ติดไฟง่าย และสามารถใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: ฟางข้าว แก๊สซิฟิเคชัน โปรดิวเซอร์แก๊ส

E-mail Address : **jensak.eak@rmutr.ac.th, chaiyan.tho@rmutr.ac.th**

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2555 – กันยายน 2556

Abstract

Code of project : A26/2556
Project name : Mixed Straw Biomass Electrical power Generation System by Using Gasification Technology
Researcher name : Asst.Prof.Dr.Jensak Ekburanawat, Mr.Chaiyan Thongsongyod

This research proposes the potential analysis and experiment results of the straw biomass in matter of the producer gas production by gasification technology. The producer gas from gasification process was sent to the primover engine of generator set. The experimental system consists of the downdraft gasifier stove, cyclone, wet-scrubber and generator set. The cassava biomass which 20, 30, and 40 % of moisture were use to burn in the experiment and measure the composition of the producer gas. The quality of gas was test by use as the fuel of the 2.2 kW generator set. From the experimental results, the 20% moisture of cassava biomass can be produce the best gas quality, good inflammable and good for use with the engine.

Keyword: Straw, Gasification, Producer gas

E-mail Address : jensak.eak@rmutr.ac.th, chaiyan.tho@rmutr.ac.th
Period of project : October 2012 – September 2013

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

หลักการและเหตุผล 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

ขอบเขตโครงการวิจัย 3

ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ 4

แนวทางในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 4

2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

1. พลังงานชีวมวล 5

2. รูปแบบการใช้พลังงานชีวมวล 6

3. การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส 7

4. ไซโคลน 12

5. เวทสครับเบอร์ 14

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 18

1. ขั้นตอนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็ง 18

2. โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบที่ใช้ในการทดสอบ 22

4 การทดลองและผลการทดลอง 29

1. การทดสอบเชื้อเพลิงฟางข้าวที่ผลิตขึ้นในเชิงของการให้กำเนิดแก๊ส 29

2. ขั้นตอนการทดสอบ 29

3. ผลการทดสอบ 33

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 36
บรรณานุกรม..... 37
ประวัติผู้วิจัย..... 38

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดขึ้นรูปกากแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าว	20
2	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อแท่งเพลิงฟางข้าวที่ผลิตได้	21
3	ข้อมูลของเตาแก๊สซิไฟเออร์ขนาดเล็กที่สร้างขึ้น	24
4	รายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	27
5	ช่วงการวัดที่เครื่องวิเคราะห์แก๊สสามารถทำได้	31
6	ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากถ่านไม้	33
7	ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 20 %	33
8	ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 30 %	34
9	ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 40 %	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	การเผาฟางข้าวในนาทิ้งก่อนการไถนา	2
2	เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขึ้น	8
3	เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง	9
4	เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขวาง	10
5	เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยโดยตรง	11
6	เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยในห้องเผาไหม้	11
7	เตาผลิตแก๊สแบบหมุนวน	12
8	ส่วนประกอบของไซโคลน	13
9	ชนิดของไซโคลน	14
10	โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบหอสเปรย์น้ำ	15
11	โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบเวนทูรี่	16
12	ฟางข้าว	18
13	เครื่องสับฟางข้าว	19
14	โครงสร้างของหัวอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าว	19
15	หัวอัดขึ้นรูปฟางข้าวอัดแท่ง	19
16	เครื่องขึ้นรูปแท่งฟางข้าว	20
17	การผสมฟางข้าวกับแป้งมันสำปะหลัง	20
18	เครื่องขึ้นรูปแท่งฟางข้าวแบบอัดด้วยแรงคน	21
19	ฟางข้าวที่อัดขึ้นรูปแล้ว	22
20	ระบบผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ	23
21	เตาแก๊สซิไฟเออร์ที่สร้างขึ้น	23
22	การเคลื่อนตัวของลมและฝุ่นในไซโคลน	24
23	ไซโคลนที่สร้างขึ้น	25
24	เครื่องพ่นจับแบบเปียกที่สร้างขึ้น	26
25	ถังเก็บแก๊ส	27
26	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง	28
27	ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	30
28	ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิแก๊ส	30
29	เครื่องวิเคราะห์แก๊สที่ใช้ในการทดลอง	30

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

30 การชั่งเพื่อเตรียมเชื้อเพลิงให้ได้ตามน้ำหนักที่ต้องการ..... 31

31 หัวสำหรับจุดทดสอบแก๊ส..... 32

32 ลักษณะของเปลวไฟจากการจุดทดสอบแก๊สชีวมวล..... 32

33 ลักษณะการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดแก๊สชีวมวล..... 33

34 การวัดทดสอบแก๊สชีวมวล..... 32

บทที่ 1
บทนำ

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และในปัจจุบันความต้องการพลังงานของโลกได้เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา ความต้องการพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพื่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เมื่อโลกมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงานหลักเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีความสะดวกสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางแต่เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป (non-renewable) จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณสำรองลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้น ประกอบกับแหล่งเชื้อเพลิงในประเทศมีน้อยต้องนำเข้าจากต่างประเทศส่งผลต่อการพัฒนาประเทศเนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจเกิดการชะลอตัว สำหรับการหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล และการใช้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีเศษวัสดุเหลือจากการเกษตรมากมาย เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กะลามะพร้าว ทะลายปาล์ม ฯลฯ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้เป็นพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) สามารถนำมาเผาไหม้ให้ความร้อนได้โดยตรง แต่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ต่ำ เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนจากเตามาก ดังนั้นเมื่อแปรรูปเชื้อเพลิงเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อให้ปริมาณค่าความร้อนที่สม่ำเสมอและสูงขึ้น ลดปริมาณสารระเหย ลดปริมาตรของเชื้อเพลิง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น จึงได้มีแนวความคิดนำถ่านอัดแท่งที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยการนำเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปแก๊สเชื้อเพลิง (producer gas) โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่จำกัดอากาศ ซึ่งเรียกว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยสามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สได้ร้อยละ 50–70 ซึ่งสามารถนำโปรดิวเซอร์แก๊สไปใช้ได้ตามต้องการหลายรูปแบบ เช่น นำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้โดยตรงหรือประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น ใช้เดินเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อเป็นต้นกำลังสำหรับการใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ปั๊มน้ำ หรือ เดินเครื่องจักร เป็นต้น

2. หลักการและเหตุผล

การทำเกษตรกรรมในจังหวัดนครปฐมนั้นสภาพการเพาะปลูกโดยทั่วไปจะสอดคล้องตามลักษณะและศักยภาพของดิน ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมปลูกพืชเชิงเดี่ยว ซึ่งพืชที่ปลูกได้แก่ ข้าว รองลงมาเป็นไม้ผล พืชไร่ พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ การปลูกข้าวเกษตรกรทำนาปีและนาปรังกระจายทุกอำเภอ โดยในปี 2546 พื้นที่ปลูกข้าวนาปี 377,957 ไร่ และข้าวนาปรัง 404,162 ไร่ พันธุ์ข้าวที่ใช้ กข.35 สุพรรณบุรี 1 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 ผลผลิตเฉลี่ย 851 กก. ต่อไร่ [1] จังหวัดนครปฐมมีพื้นที่ทำนา

ปริมาณมากและสามารถทำนาได้ปีละ 3 ครั้ง ทำให้มีฟางข้าวปริมาณมากจึงเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนอย่างยิ่ง แต่เนื่องจากความเร่งรีบในการทำนาอย่างต่อเนื่องทำให้ส่วนใหญ่เกษตรการจะเผาฟางข้าวทิ้งหลังจากเกี่ยวข้าวแล้วเพื่อความสะดวกในการไถนาเพื่อทำนาในครั้งต่อไป

ภาพที่ 1 การเผาฟางข้าวในนาทิ้งก่อนการไถนา

เนื่องจากคุณค่าของฟางข้าวมีมากกว่าที่จะเผาทิ้ง ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงแท่งสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า โดยจะทำการสร้างระบบผลิตเชื้อเพลิงและระบบผลิตไฟฟ้าเป็นต้นแบบสำหรับใช้เป็นศูนย์การเรียนรู้เรื่องการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล ซึ่งจะก่อให้เกิดการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและประชาชนในชุมชนเกษตรกรรมบริเวณรอบๆ มหาวิทยาลัย

แนวทางที่ทางคณะผู้วิจัยเลือกและได้แสดงรายละเอียดทางเทคนิคในส่วนต่างๆ ในรายงานการวิจัยฉบับนี้ ซึ่งเข้ากับยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 ในเรื่องของการสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และกลยุทธ์การวิจัยที่ 5 ในเรื่องการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตพลังงานชีวภาพและพลังงานทางเลือกอื่น อีกทั้งยังสอดคล้องกับแผนงานวิจัยที่ 5.2 เรื่องการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตพลังงานทางเลือกอื่น

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1 เพื่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

3.2 เพื่อหาอัตราส่วนการผสมวัสดุเพื่อทำแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวและชีวมวลชนิดอื่นๆ

3.3 เพื่อเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวและชีวมวลในรูปของการผลิตพลังงาน

3.4 เพื่อใช้ระบบที่สร้างขึ้นเป็นต้นแบบสำหรับการเรียนรู้ในการสร้างพลังงานทดแทนจากชีวมวลให้กับนักศึกษา และชาวบ้านในชุมชนใกล้เคียงกับมหาวิทยาลัยฯ ที่ประกอบอาชีพทำนาข้าว

4. นิยามศัพท์เฉพาะ

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในรายงานวิจัยนี้หมายถึงพลังงานหมุนเวียนซึ่งใช้แล้วสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้

ฟางข้าว (Rice straw) หมายถึง ต้นข้าวที่นวดเอาเมล็ดออกแล้วหรือ ต้นข้าวแห้งที่นวดเอาเมล็ดออกแล้ว

ชีวมวล (Biomass) หรือ มวลชีวภาพ หมายถึง สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์เป็นต้น

แก๊สซิไฟเออร์ หรือ เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) คือ ระบบการเผาไหม้ในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) โดยควบคุมอากาศไหลเข้าในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) เป็นหลัก และเกิดมีเทน (CH_4) เล็กน้อย แก๊สที่เกิดขึ้นสามารถนำไปให้ความร้อนโดยตรง หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อผลิตไฟฟ้า ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบนี้มีความหลากหลายอยู่ระหว่าง 20-30% ขึ้นกับเทคโนโลยี การออกแบบ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้

5. ขอบเขตของโครงการวิจัย

หาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงแท่งระหว่างฟางข้าวกับวัสดุการเกษตรชนิดอื่นๆ เช่น ใบไม้ เศษกิ่งไม้ ผักตบชวา โดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุหลัก สร้างระบบผลิตเชื้อเพลิงแท่งแบบเอ็กทรูชัน (Extrusion) สร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5 kW โดยใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งระบบจะประกอบด้วย เตาแก๊สซิไฟเออร์ ระบบทำความสะอาดแก๊ส ระบบกักเก็บแก๊ส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับภาระทางไฟฟ้าตัวอย่าง เช่น หลอดไฟฟ้า ปั๊มน้ำ น้ำพุ กังหันบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้

6. ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ได้องค์ความรู้ในเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าวที่เหมาะสมกับการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สสำหรับเดินเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

6.2 องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ชาวบ้าน และชุมชนในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

7.1 ได้ข้อมูลและองค์ความรู้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากฟางข้าวที่เหมาะสมกับการใช้ผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

7.2 องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัย สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการถ่ายทอดความรู้เรื่องการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้กับชาวบ้านในชุมชนในท้องถิ่นที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทน

7.3 สามารถนำผลที่ได้จากสร้างและทำการทดลองเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ หรือวารสารวิชาการได้

8. แนวทางในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

แนวทางการใช้ประโยชน์จากพลังงานที่ผลิตจากระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงนั้นสามารถใช้ได้ 2 แนวทางด้วยกัน คือ ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนโดยตรง หรืออีกแนวทางหนึ่งคือใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเครื่องยนต์แล้วนำกำลังทางกลที่ได้ไปใช้งาน เช่น หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องจักรต่างๆ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ดำเนินงานวิจัยตามแนวทางที่ 2 คือ นำโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จ่ายให้เครื่องยนต์เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านพลังงานทดแทนกำลังเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างมากในขณะนี้ อันเนื่องมาจากสภาวะการขาดแคลนพลังงานทำให้ราคาพลังงานในทุกรูปแบบปรับตัวสูงขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการผลิตพลังงานจากชีวมวล ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ ก็คือ เตาแก๊สซิไฟเออร์ การใช้ชีวมวลผลิตพลังงาน และการนำพลังงานที่ได้จากชีวมวลมาใช้ มีดังต่อไปนี้

1. พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์เป็นต้น

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

1. การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2. การผลิตแก๊ส (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine)

3. การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้ความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

2. รูปแบบการใช้พลังงานชีวมวล

วิธีการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่ถูกกล่าวถึงอยู่บ่อยครั้ง ได้แก่ การเผา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุด แต่ก็มีผลข้างเคียงบ้าง คือ มลพิษทางอากาศและน้ำและขี้เถ้าที่ต้องนำไปฝังกลบพร้อมกับก๊าซร้อนที่นำไปเป็นพลังงานผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแท้ที่จริงแล้ว เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรนั้นหาใช่ของเหลือทิ้งที่ไร้ค่าโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในภาวะที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นเรื่อย ๆ และเชื้อเพลิงฟอสซิลที่หาได้ยากขึ้นในอนาคต การแปลงวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรให้เป็นพลังงานจึงได้รับความสนใจมากขึ้น รูปแบบของการแปลงให้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้ 4 รูปแบบหลัก ดังนี้

1. การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยตรง หมายถึงการนำชีวมวลมาเผาในเตาเผาโดยตรง ความร้อนที่เกิดขึ้นนำมาผลิตไอน้ำ เพื่อขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2. การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยผ่านการแปรสภาพหรือที่นิยมเรียกกันว่า RDF (Refuse Derived Fuel) เพราะองค์ประกอบของขยะนั้นมีหลากหลาย หากนำขยะไปแปรสภาพให้มีคุณสมบัติเหมาะสมก่อนการใช้ก็จะทำให้ได้ประโยชน์มากขึ้น ขั้นตอนและรูปแบบเพื่อเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีอยู่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับสภาพของขยะ และสภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การคัดแยกการลดขนาด การลดความชื้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาประการหนึ่งของการคัดแยกขยะก็คือ ความชื้นที่ค้างอยู่ในขยะ จึงจำเป็นต้องมีการลดความชื้นซึ่งอาจใช้ลมร้อนหรือก๊าซร้อนมาสัมผัสกับขยะโดยตรง หรืออาจใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางให้ความร้อนแก่ขยะซึ่งวิธีนี้ไอน้ำจะไม่สัมผัสกับขยะทำให้สามารถนำน้ำที่ควบแน่นกลับไปใช้ใหม่ได้

อีกรูปแบบหนึ่ง คือ ใช้วิธีการทางชีวภาพโดยการใช้ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมักขยะ วิธีนี้เหมือนกับการนำขยะอินทรีย์มาหมักโดยใช้ออกซิเจนเพื่อให้ย่อยสลายได้สารที่นำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน แต่ไม่ได้ปล่อยให้กระบวนการเกิดขึ้นจนสิ้นสุด ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุนั้นจะเกิดความร้อนขึ้น และอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ช่วยในการระเหยน้ำออกมาจากขยะ

เชื้อเพลิงขยะที่ได้จากการแปรสภาพนั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เลย หรืออาจนำมาอัดเป็นแท่งหรือเป็นก้อนก่อนก็ได้เพื่อประโยชน์ในการขนส่งและการเก็บ รวมถึงค่าพลังงานที่ได้ก็จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในปริมาตรที่เท่ากัน ปัจจุบันในประเทศที่พัฒนาแล้ว วิธีการดังกล่าวได้รับความนิยม

มากขึ้นเป็นลำดับ เพราะเชื้อเพลิงที่ได้สามารถซื้อขายกันได้ในเชิงพาณิชย์ และขนถ่ายได้สะดวกโดยไม่ส่งกลิ่น และเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้ในหม้อน้ำ และเตาเผาต่าง ๆ โดยเฉพาะเตาเผาปูนซีเมนต์

3. การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโดยทั่วไปเรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยก๊าซที่ได้มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน รวมทั้งก๊าซอื่น ๆ สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยอาจจะใช้ในรูปของความร้อน ในอุตสาหกรรมเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหรือน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำ หรือใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยนำก๊าซที่ได้ไปใช้ในเครื่องยนต์ทดแทนน้ำมันดีเซล สิ่งที่ต้องพึงระวังในการใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ก็คือ คุณภาพของเชื้อเพลิงก๊าซที่ได้ทั้งในด้านองค์ประกอบของก๊าซและความสะอาดของก๊าซที่ได้ โดยเฉพาะองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ สิ่งที่เรียกว่า “ทาร์” หรือ “น้ำมันดิน” ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาใหญ่อันหนึ่งในการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ รวมถึงปริมาณอนุภาคขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในก๊าซที่เกิดขึ้น และอาจรวมถึงองค์ประกอบที่เป็นมลพิษต่าง ๆ เช่น โลหะหนัก ที่อาจจะปะปนอยู่ในขยะ จึงกล่าวได้ว่าการเตรียมสภาพของขยะที่ดีก่อนนำมาใช้กับเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น การควบคุมองค์ประกอบของขยะให้มีความสม่ำเสมอ ควบคุมความชื้นที่มีอยู่ในขยะให้ไม่สูงมากนัก มีการจัดการองค์ประกอบที่จะก่อให้เกิดสารมลพิษออกไป สิ่งเหล่านี้จะทำให้เชื้อเพลิงก๊าซที่ได้ออกมามีคุณภาพสูงขึ้นและสม่ำเสมอ ทำให้ระบบทำความสะอาดก๊าซสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากแก๊สซิฟิเคชันแล้วอีกวิธีการหนึ่งที่จะเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซคือ กระบวนการหมักอินทรีย์สารแบบไร้ออกซิเจนโดยก๊าซที่ได้เรียกว่า ก๊าซชีวภาพ ขยะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการคัดแยกหรือมีการจัดการโดยให้มีแต่องค์ประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ หรือที่เรียกว่าอินทรีย์สาร

4. การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก วิธีแรกใช้กระบวนการไพโลไรซิสโดยที่ขยะจะได้รับความร้อนโดยไม่มีอากาศหรือออกซิเจน เพื่อให้ขยะสลายตัว ซึ่งจะได้องค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ในตอนแรกองค์ประกอบที่เป็นของเหลวจะอยู่ในสถานะก๊าซ เพราะกระบวนการไพโลไรซิสเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500-700 องศาเซลเซียส เมื่อเราลดอุณหภูมิลง ของเหลวส่วนหนึ่งที่อยู่ในสถานะก๊าซจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงแต่ยังไม่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทันที เพราะของเหลวที่ได้นี้เปรียบเสมือนน้ำมันดิบ ต้องไปผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ที่จะทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง

3. การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากชีวมวลเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของสารสองสถานะคือของแข็งกับแก๊ส และสารสถานะเดียวกันคือแก๊สกับแก๊ส ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและเป็นสารทำปฏิกิริยา

เริ่มต้น การผลิตแก๊สสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์หรือกระบวนการทางความร้อนแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

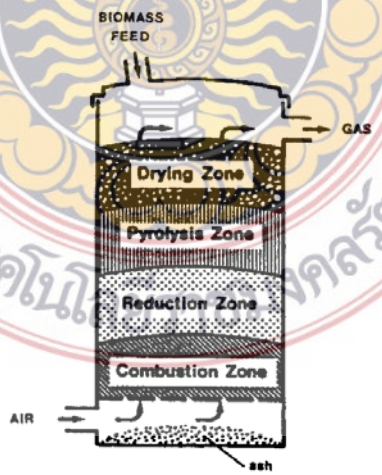
3.1 Fixed bed gasifier

เชื้อเพลิงภายในเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์มีตัวรองรับ เช่น ตะแกรงจึงเปรียบเสมือนอยู่กับที่ตลอดเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับการไหลของแก๊สหรืออากาศสามารถแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงได้ 3 ชนิด คือ

- Updraft gasifier คือ เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขึ้น โดยอากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างไหลขึ้นด้านบนในขณะที่เชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ลงด้านล่างในลักษณะสวนทางกันจึงอาจเรียกอีกชื่อว่า counter current gasifier ดังภาพที่ 2 ชั้นของปฏิกิริยาจะแบ่งเรียงเป็นลำดับจากระดับอุณหภูมิสูงในชั้นเผาไหม้ไปสู่อุณหภูมิต่ำชั้นลดความชื้น

Updraft gasifier มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงเนื่องจากแก๊สร้อนที่เกิดจากชั้นเผาไหม้ไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิง ความร้อนสัมผัสจะถูกถ่ายเทให้กับเชื้อเพลิงก่อนไหลลงสู่ชั้นไพโรไลซิสและชั้นรีดักชันต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากชั้นไพโรไลซิสและชั้นลดความชื้นจะปะปนอยู่ในโปรดิวเซอร์แก๊สและเมื่อออกจากเตาผลิตแก๊สอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สจะลดลง ทาร์และน้ำมันจะกลั่นตัวเป็นของเหลว ดังนั้นโปรดิวเซอร์แก๊สมีสิ่งปนเปื้อนสูง

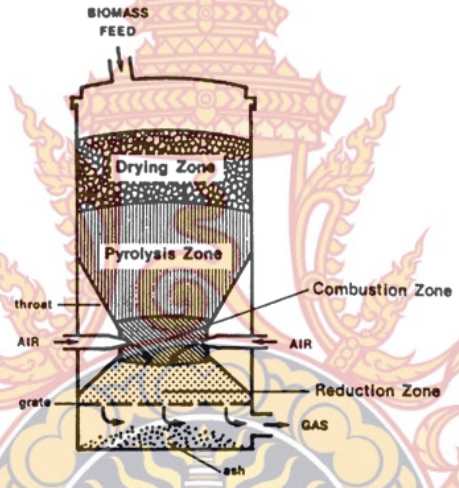
การผลิตแก๊สโดยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้นอาจจะป้อนไอน้ำช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและช่วยควบคุมอุณหภูมิชั้นเผาไหม้กรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไม่จำเป็นต้องป้อนไอน้ำ พารามิเตอร์สำคัญประกอบด้วยวิธีการป้อนอากาศ ตำแหน่งแก๊สไหลออก ชนิดและขนาดของตะแกรง การบุฉนวนชั้นเผาไหม้ ความหนาของชั้นเชื้อเพลิงและค่า Specific Gasification Rate (sgr)



ภาพที่ 2 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขึ้น

sgr หมายถึงอัตราส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สในเวลา 1 ชั่วโมง (kg/hr) ต่อพื้นที่หน้าตัดของตะแกรง (m^2) ขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อเพลิง การออกแบบและการทำงานของแก๊สซิไฟเออร์ ค่า sgr ของ updraft gasifier อยู่ระหว่าง 100-300 kg/hr-m^2

- Downdraft gasifier คือเตาผลิตแก๊สที่อากาศไหลลง โดยอากาศไหลลงทิศทางเดียวกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงจึงอาจเรียกว่า Cocurrent gasifier เตาชนิดนี้มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์จากชั้นไพโรไลซิสไหลผ่านชั้นเผาไหม้ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะไหลออกจากเตาผลิตแก๊ส ดังภาพที่ 3 โปรดิวเซอร์แก๊สจึงมีทาร์ต่ำแต่มีอุณหภูมิสูง 300-500^{O}C จุดสำคัญเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง คือ ลักษณะชั้นเผาไหม้ รูปแบบของตะแกรง และวิธีการป้อนอากาศ

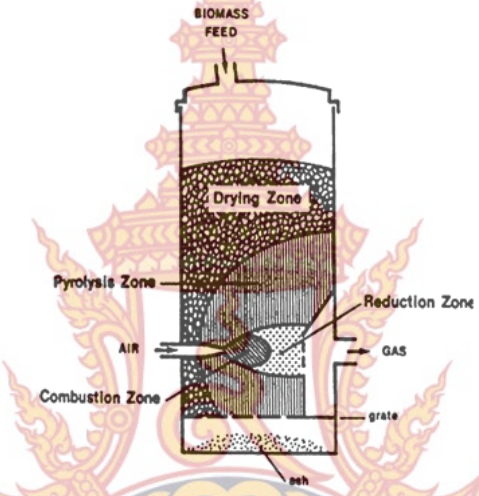


ภาพที่ 3 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง

วิธีการป้อนอากาศและรูปร่างของชั้นเผาไหม้ที่เล็กลงโดยการลดพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งป้อนอากาศเพื่อให้อุณหภูมิมีค่าสูงเพียงพอในการสลายทาร์ เชื้อเพลิงที่มีเถ้าสูงกว่าร้อยละ 6 และความชื้นสูงกว่าร้อยละ 20 ไม่เหมาะสมกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง เนื่องจากเถ้าอาจจะหลอมละลายติดกับคอคอดขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงและแก๊ส

- Crossdraft gasifier คือ เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขวาง เป็นระบบที่อากาศไหลในทิศทางขวางกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงดังภาพที่ 4 ลักษณะชั้นปฏิกิริยาโดยเฉพาะชั้นเผาไหม้ และชั้นรีดักชัน จะอยู่ใกล้ชิดกันมาก ดังนั้นจะสามารถผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วและแปรผันได้ง่ายปกติบริเวณการเผาไหม้จะอยู่กึ่งกลางของเตาผลิตแก๊ส แต่ขอบเขตของการเผาไหม้อาจขยายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น

จุดสำคัญของเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขวาง คือ ความเร็วของอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา และขอบเขตของชั้นเผาไหม้ ซึ่งปกติความเร็วอากาศจะมีค่าสูงและเกิดอุณหภูมิการเผาไหม้ โปรดิวเซอร์แก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สมีอุณหภูมิสูงและสิ่งปนเปื้อนสูง ปกติชั้นรีดักชัน มีขนาดเล็กจึงทำให้เวลาสั้นในการเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนออกไซด์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นโปรดิวเซอร์แก๊สจะมีค่าความร้อนต่ำแต่เมื่อป้อนอากาศที่ความเร็วสูงมากจะมีผลต่อองค์ประกอบโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนออกไซด์สูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเข้าใกล้สภาวะสมดุล

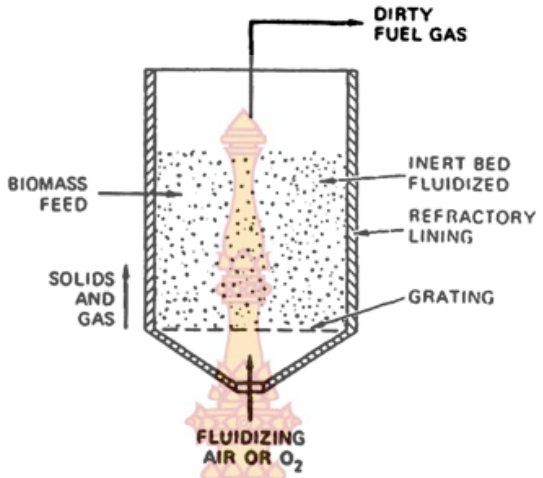


ภาพที่ 4 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขวาง

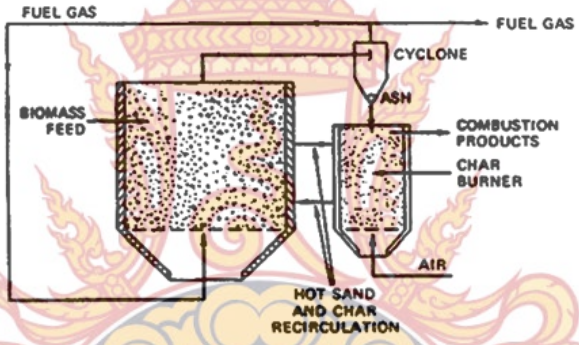
3.2 Fluidized bed gasifier

คือ เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยที่มีรูปแบบมีความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กโดยธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำ ปริมาณของเถ้าสูงและอุณหภูมิการหลอมเหลวของเถ้าต่ำในระบบแบบพ่นฝอย การสัมผัสระหว่างอากาศสารตัวกลาง (bed) กับเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 800-900^{o}C ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้

เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงและการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้สำรอง ดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ในสภาวะการทำงานแบบคงตัว (steady state) อุณหภูมิของสารตัวกลาง เช่น ทราย ถ่านหรือวัสดุเฉื่อยอื่นๆ จะมีการกระจายสม่ำเสมออย่างทั่วถึงการเผาไหม้และการผลิตแก๊สจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับที่สภาวะการเกิด fluidized bed ของสารตัวกลางแต่เนื่องจากเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอย ต้องการอากาศที่ความเร็วสูง ดังนั้นเกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงไปกับอากาศบางส่วนและโปรดิวเซอร์แก๊สจะมีอนุภาคฝุ่นปะปนสูง



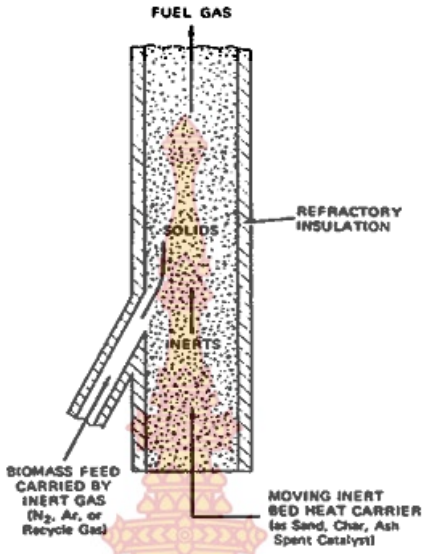
ภาพที่ 5 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยโดยตรง



ภาพที่ 6 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยในห้องเผาไหม้

3.3 เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบหมุนวน (entrained bed gasifier or moving bed gasifier)

เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงการทำงานในการถ่ายเทความร้อนคล้ายกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอย โดยปกติควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 482-593^{O}C เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบหมุนวนมีประสิทธิภาพสูงในการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับแก๊สโดยมีลักษณะเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เช่น ผงถ่านหินและชีวมวลที่มีขนาดเล็กๆ การทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นในช่องปฏิกิริยาแบบหมุนวน แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เตาผลิตแก๊สแบบหมุนวน

4. ไซโคลน (Cyclone)

เครื่องเก็บฝุ่นเชิงกล (Mechanical Collectors) เป็นเครื่องมือที่แยกฝุ่นหรืออนุภาคออกจากแก๊ส หรืออากาศ โดยใช้แรงถ่วง หรือแรงเฉื่อยกระทำบนอนุภาคหรือทั้ง 2 อย่าง ตัวอย่างเครื่องเก็บฝุ่นประเภทนี้ ได้แก่ ถังตกอนุภาค (gravity settling chambers) และไซโคลน (cyclone collectors) ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศ โดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหมุนวน (vortex) จึงสามารถแยกอนุภาคออกจากอากาศได้ การเกิดกระแสวนทำได้โดยการให้อากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัส หรือแนวแกนโดยผ่าน vanes1.2 กลไกในการจับอนุภาค (Collection Mechanisms) กลไกที่ใช้เก็บอนุภาคในไซโคลนมี 2 อย่าง คือ

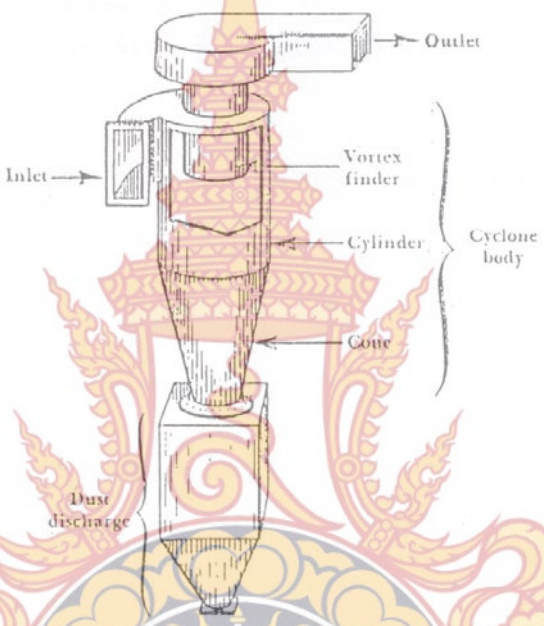
ก. แรงหนีศูนย์กลางหรือแรงเหวี่ยง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศมีการหมุน ทำให้อนุภาคถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลน

ข. แรงถ่วง เมื่ออนุภาคเคลื่อนถึงผนังของไซโคลนแล้ว อนุภาคที่หนักจะได้รับแรงถ่วงทำให้อนุภาคตกลงไปที่ถังพักข้างล่าง

4.1 หลักการทำงานไซโคลน

ไซโคลนประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก และมีปลายเป็นรูปโคน (ภาพที่ 8) อากาศเคลื่อนเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสที่ใกล้ส่วนบนของเครื่องมือด้วยความเร็วประมาณ 30 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศผ่านเข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวน (เรียกว่า main vortex) ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดแรงหนี

ศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลนกระแสวนนี้จะเคลื่อนลงจนถึงจุดหนึ่งที่อยู่เกือบปลายโคน อากาศจะหมุนกลับเป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิม (เรียกว่า core vortex) และเคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไซโคลน จนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง นั่นคือมีกระแสวน 2 ชั้น (double vortex) เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันสำหรับอนุภาค ที่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลนจะเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนปลายของโคนไปยังถังพัก (Hopper) เนื่องจากแรงถ่วง ส่วนอากาศที่ไม่มีอนุภาคก็จะหมุนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของไซโคลน



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของไซโคลน

4.2 ชนิดของไซโคลน

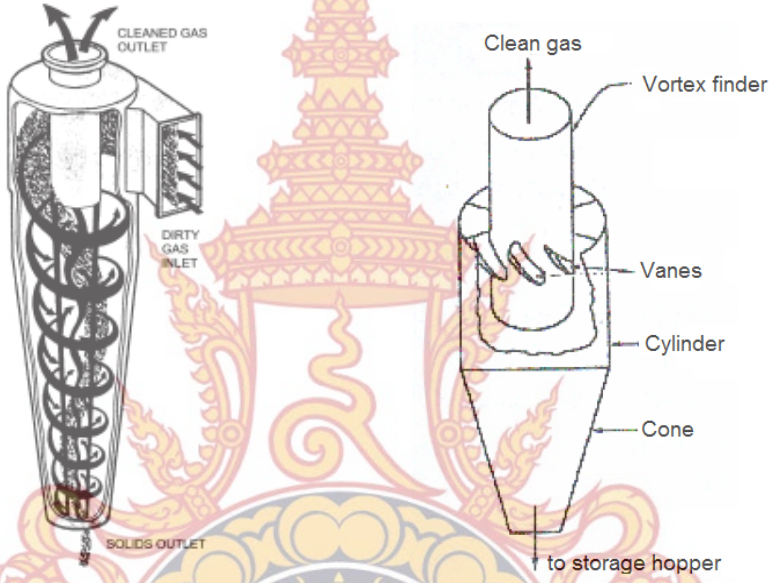
ไซโคลนแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ตามวิธีการให้อากาศเข้าสู่เครื่อง เพื่อให้เกิดการหมุนวน คือ

ก. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส (Tangential entry cyclone)

ข. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน (Axial entry) (ดูภาพที่ 8)

โดยทั่วไปอากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนตามแนวสัมผัส เพื่อให้เกิดการหมุนวน ท่อเข้ามักเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีผนังภายในค่อยๆ โค้ง และสัมผัสกับไซโคลนส่วนที่เป็นทรงกระบอกสำหรับไซโคลนชนิดที่มีทางเข้าตามแนวแกน อากาศและอนุภาคเข้าสู่ไซโคลนตามแนวแกนของเครื่องโดยผ่าน vanes (ภาพที่ 9) แบบนี้ใช้มากในมัลติไซโคลน ไม่ว่าจะเป็นไซโคลนชนิดใด จะมีการทำงานขึ้นกับความเฉื่อยของอนุภาคที่จะเคลื่อนในแนวเส้นตรงเมื่ออากาศเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางดังกล่าวส่วนใหญ่ไซโคลนทำมาจากเหล็กคาร์บอน หรือใช้โลหะหรือเซรามิกใดก็ได้ ถ้าต้องการใช้ในงานที่มีอุณหภูมิ

สูง การกัดกร่อนและสึกกร่อน แต่ผิวภายในต้องเรียบ เนื่องจากไซโคลนเป็นเครื่องมือที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ดังนั้นการเดินเครื่องจึงง่าย และไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักนอกจากนี้ไซโคลนอาจแบ่งออกเป็น แบบที่ใช้กันทั่วไป (conventional cyclones) และแบบที่มีประสิทธิภาพสูง (high efficiency cyclone) ซึ่งมีขนาดเล็ก (body diameter) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ฟุต หรือ 0.9 เมตร ส่วนไซโคลนทั่วๆ ไป มีขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 12 ฟุต หรือ 1.2 ถึง 3.6 เมตร) ประสิทธิภาพของไซโคลน 3 ชนิด คือ ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพสูง ไซโคลนที่ใช้กันทั่วไป และไซโคลนที่รับอัตราการไหลสูง (High volume cyclone)

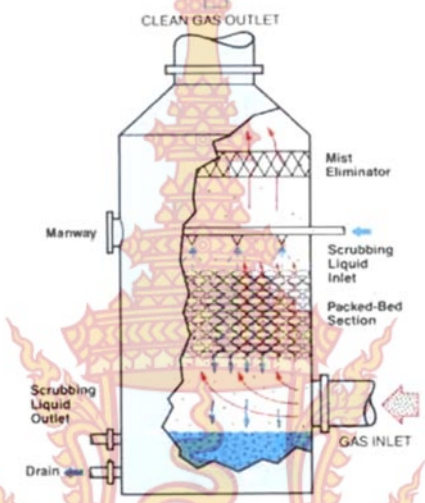


ภาพที่ 9 ชนิดของไซโคลน

5. เวทสครับเบอร์ (Wet Scrubers)

เวทสครับเบอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ในการแยกอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กออกจากกระแสอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการชักนำอากาศที่มีฝุ่นละอองเจือปนอยู่ให้เคลื่อนที่เข้าสู่อุปกรณ์แล้วไปสัมผัสกับละอองของเหลวที่อยู่ในรูปของละอองน้ำ ม่านน้ำ หรือผ่านชั้นวัสดุ (Packed beds) ซึ่งมีน้ำเคลือบอยู่ที่ผิว เวทสครับเบอร์ชนิดที่ใช้การสเปรย์ละอองน้ำ (Spray droplet) นับเป็นวิธีการที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการควบคุมมลพิษทางอากาศ เนื่องจากสามารถกำจัดได้ทั้งมลพิษที่เป็นก๊าซ ไอระเหย และอนุภาคออกจากกระแสอากาศไปพร้อมๆกัน รวมถึงสามารถใช้ปรับสภาวะที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้ วิธีการดักจับอนุภาคโดยใช้ระบบเปียก (Wet collection) จะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการดักจับโดยใช้ระบบแห้ง (Dry collection) ตัวอย่าง เช่น สามารถลดความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่น และสามารถนำมาใช้กับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงรวมถึงอนุภาคหรือของเหลวที่มี

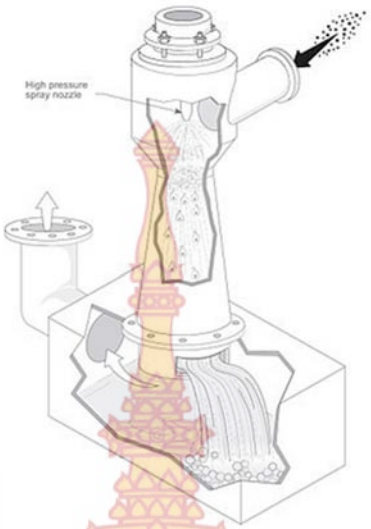
ลักษณะเหนียว (Sticky) ในขณะเดียวกันข้อด้อยที่เกิดจากการใช้เวทสครับเบอร์ ได้แก่ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดหรือบำบัดมลพิษจากน้ำที่ผ่านการใช้งานภายในเวทสครับเบอร์ ตัวอย่างของกระบวนการหรืออุตสาหกรรมที่มีการนำเวทสครับเบอร์ไปใช้งานได้แก่ บอยเลอร์ (Boilers) เตาเผาปูน (lime kilns) โรงหลอม (Foundry cupolas) เตาเผาขยะหรือกากของเสีย (Municiple sludge incinerators) และอุปกรณ์ควบคุมกลิ่น (Odor control devices)



ภาพที่ 10 โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบหอสเปรย์น้ำ (Spray tower wet scrubber)

5.1 การใช้งานเวทสครับเบอร์

เวทสครับเบอร์สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย โดยชนิดของเวทสครับเบอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ หอสเปรย์น้ำ (Spray tower) และเวนทูรี่สครับเบอร์ (Venturi scrubber) โดยปัจจัยเบื้องต้นที่มีความสำคัญในการออกแบบเวทสครับเบอร์ประกอบด้วยค่าความดันลด (Pressure drop) ค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศ (Liquid to gas flow rate; L/G, gal/1000 ft^3 of gas) การกระจายขนาดของละอองน้ำ (Droplet-size distribution) โดยทั่วไปเวทสครับเบอร์ที่มีขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคมากกว่าเวทสครับเบอร์ที่มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความดันลดและค่า L/G เท่ากัน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่หยดละอองน้ำเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางที่เป็นอากาศภายในเวทสครับเบอร์



ภาพที่ 11 โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบเวนทูรี่ (Venturi wet scrubber)

5.2 ประเภทของเวทสครับเบอร์

เวทสครับเบอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะใช้วิธีในการสร้างหยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับอนุภาคฝุ่นวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกัน ดังต่อไปนี้ คือ

1) การใช้หัวฉีดสเปรย์ (Spray nozzles)
2) การใช้คอคอดเวนทูรี (Venturi constriction)
3) การชนกระทบกับพื้นผิว (Impingment surface)
4) การสร้างกระแสวนไซโคลน (Cyclone opening)
5) การสเปรย์ที่ทางเข้าออริฟิส (Spray inducing orifices)
6) การขับคลื่นใบพัดเชิงกล (Mechanically driven rotors)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยา จงเจริญ และ บุญเลี้ยง ชิ้มศรีสกุล ทำการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเพื่อที่จะใช้ในการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยเผาไหม้ถ่านไม้ในเตาที่มีอากาศจำกัดได้โปรดิวเซอร์แก๊สที่มีปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์ประมาณร้อยละ 20-30 จากนั้นให้โปรดิวเซอร์แก๊สไหลผ่านเครื่องทำความสะอาดแก๊ส เครื่องหล่อเย็นแล้วผสมกับอากาศป้อนเข้าไปในเครื่องยนต์ขนาด 1300 ซีซี 4 จังหวะ 4 สูบ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยอาศัยพลังงานจากโปรดิวเซอร์แก๊สอย่างเดียวและที่ความเร็วรอบ 1330 rpm ในสภาวะที่ไม่มีภาระในการทำงานจะใช้ถ่านไม้ 1.5 กิโลกรัม ซึ่งสามารถแทนน้ำมันได้ 1 ลิตร

ศิรินุช จินดารักษ์ [2] ได้นำเสนอการผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นแนวทางหนึ่งในการ กำจัดสิ่งเหลือใช้และเป็นการหาแหล่งพลังงานใหม่ ในการวิจัยนี้เป็นการพัฒนา

เชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตจากซังข้าวโพด ที่ผลิตขึ้นที่โรงงานอัดแท่งถ่านซังข้าวโพด ตำบลหนองกระเถ้า อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนซังข้าวโพดในการผลิต และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวอีกด้วย โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวกับซังข้าวโพด ที่ใช้กาวแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวนั้น ในอัตราส่วน 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5.5 พบว่า มีค่าความร้อนเฉลี่ยคือ 4,216, 4,444, 4,753, 4,953, 5,252และ 5,802 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเขียวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทถ่านอัดแท่งมีค่า ความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 6:4 และ 5:5 แต่ในการวิจัยนี้ใช้อัตรส่วน 6:4 มาเป็นตัวอย่างในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเขียว เพราะต้องการใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางด้านอื่นๆ คือ ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 17.90 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 5.99 มาตรฐานเปียก และค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเขียวได้ร้อยละ 20.79

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และคณะ[3] ได้ศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากมันสำปะหลังเปียกมาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง (RDF) แล้วส่งเข้าเตาแก๊สซิไฟเออร์ผลิตเป็นแก๊สชีวมวลป้อนให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า ระบบที่ทำการออกแบบใช้กากมันเปียกความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ผ่านระบบการอัดเม็ด และลดความชื้น ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมดุลมวลและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งนี้ด้วย ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อจ่ายให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลัง คือ 180 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำการออกแบบมีขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 100 กิโลวัตต์

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และคณะ[4] ได้นำเสนอผลการทดสอบและวิเคราะห์ศักยภาพของเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งในเชิงของการให้กำเนิดโปรดิวเซอร์แก๊สด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งแก๊สที่ได้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง ไซโคลน เวทสครับเบอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการทดสอบเผาเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งที่ความชื้นร้อยละ 20 30 และ 40 ตามลำดับ และทำการวัดองค์ประกอบของแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้น พร้อมทดสอบคุณภาพของแก๊สด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงกากมันที่ความชื้นร้อยละ 20 สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สที่มีคุณภาพดีที่สุด แก๊สที่ได้ติดไฟง่าย และสามารถใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการนำฟางข้าวที่ได้จากการทำนามาอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง เพื่อนำเข้ากระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซซึ่งเรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และนำก๊าซที่ได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า ซึ่งขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงแข็งมีดังต่อไปนี้

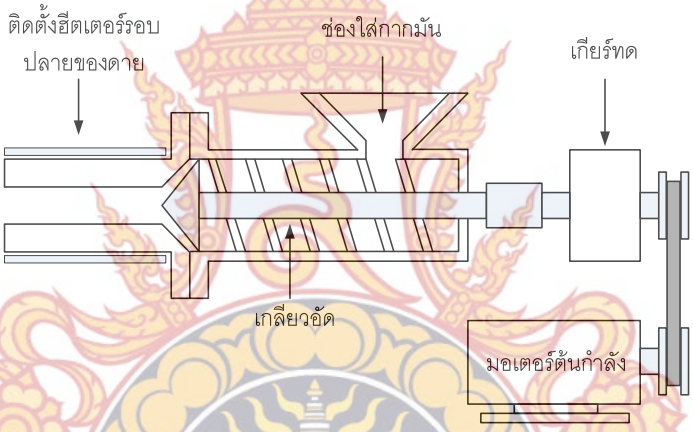
1. ขั้นตอนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็ง

ฟางข้าวที่ได้จากการทำนาจะมีลักษณะเป็นเส้นยาวบ้างสั้นบ้างและมีความหนาแน่นน้อยจึงยังไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาแก๊สซิไฟเออร์ขนาดเล็ก จึงต้องนำมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่ออัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยผสมกับวัสดุที่ช่วยในการจับยึดเศษฟางข้าวเข้าด้วยกัน คือ แป้งมันสำปะหลังและน้ำ

ภาพที่ 12 ฟางข้าว

กระบวนการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวจะอาศัยหลักการของการอัดด้วยเกลียวเอ็กทรูชัน โดยสับฟางข้าวให้เป็นชิ้นขนาดเล็กๆด้วยเครื่องสับซึ่งประยุกต์มาจากเครื่องสับต้นข้าวโพด แล้วผสมฟางข้าวที่สับแล้วกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำเพื่อช่วยเชื่อมประสานให้ฟางข้าวขึ้นรูปเป็นแท่งและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในกระบวนการนี้อาจผสมวัสดุชีวมวลชนิดอื่นๆ เช่น ใบไม้ กิ่งไม้สับ ใบอ้อย หรือซังข้าวโพด เพื่อการจับยึดตัวที่ดีขึ้น

ภาพที่ 13 เครื่องสับฟางข้าว



ภาพที่ 14 โครงสร้างของหัวอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าว

รูปที่ 15 หัวอัดขึ้นรูปฟางข้าวอัดแท่ง

ตารางที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดขึ้นรูปกากแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าว

มอเตอร์ต้นกำลัง	2 แรงม้า
แรงดันไฟฟ้า	3 phase 380V, 50Hz
กระแสไฟฟ้า	0.8 A/phase
ความเร็วรอบ	275 รอบต่อนาที
อัตราส่วนเกียร์ทด	27.5 : 1
ความเร็วรอบของเครื่องที่ใช้	10 รอบ
การปรับความถี่	ใช้อินเวอร์เตอร์
ความถี่ที่ใช้	10 Hz
ฮีตเตอร์	500 วัตต์

ภาพที่ 16 เครื่องขึ้นรูปแท่งฟางข้าว

ภาพที่ 17 การผสมฟางข้าวกับแป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 18 เครื่องขึ้นรูปแท่งฟางข้าวแบบอัดด้วยแรงคน

1.1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิต

จากการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวด้วยเครื่องพบปัญหาว่าไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากฟางข้าวที่สับแล้วมีขนาดไม่เล็กพอทำให้เส้นใยของฟางข้างคืนตัวออกไม่จับรวมตัวเป็นก้อน จึงแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนวิธีอัดโดยสร้างเครื่องอัดก้อนด้วยแรงคนขึ้น ตามภาพที่ 18 ทำให้สามารถแก้ปัญหาได้ ฟางข้าวที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 7-10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลเกิดจากการหักด้วยน้ำหนักของตัวแท่งเองตามแรงโน้มถ่วงของโลก ข้อมูลของลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งที่ผลิตได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อแท่งเพลิงฟางข้าวที่ผลิตได้

ลักษณะทางกายภาพ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำหนัก	g/piece	41.4
ความหนาแน่น	mg/cc	873
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	cm	5
ความยาวเฉลี่ย	cm	10
ความชื้น	%	50
พลังงานความร้อนที่ใช้	kJ/piece	6.07

หลังจากที่ได้แท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวแล้วยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบแก๊สซิฟิเคชันได้ เนื่องจากยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ในขั้นตอนการทดลองนี้ใช้จะนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง

โดยใช้เวลาในการตากประมาณ 1 วัน แท่งเชื้อเพลิงที่ได้หลังจากการตากแดดแล้วจะมีความชื้นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการตากและปัจจัยอื่น เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และการถ่ายเทของอากาศ เป็นต้น

ภาพที่ 19 ฟางข้าวที่อัดขึ้นรูปแล้ว

2. โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างระบบผลิตแก๊สชีวมวลขึ้นเพื่อใช้ทดสอบแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวที่ผลิตขึ้น และได้ทำการเปรียบเทียบผลของแก๊สชีวมวลที่ได้จากแท่งเชื้อเพลิงฟางข้าวกับแก๊สชีวมวลที่ได้จากถ่านไม้ ระบบผลิตแก๊สชีวมวลที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

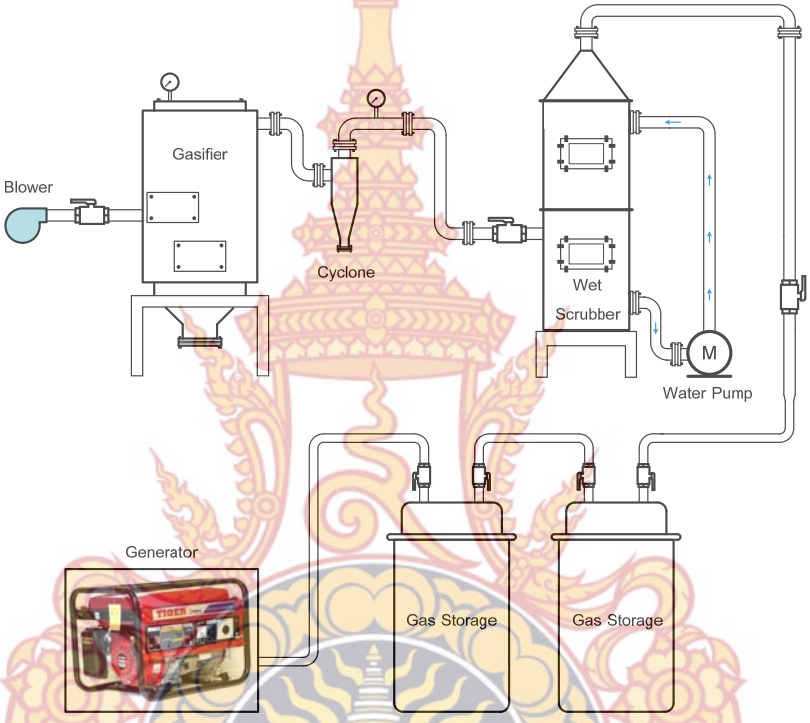
1) เตาแก๊สซิไฟเออร์
2) ไซโคลน
3) เครื่องพ่นจับแบบเปียก (Wet Scrubber)
4) ถังเก็บแก๊ส
5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

ภาพที่ 20 แสดงการต่อเชื่อมกันของอุปกรณ์ในระบบผลิตแก๊สชีวมวลที่สร้างขึ้น หลักการทำงานเบื้องต้นและรายละเอียดของส่วนประกอบหลักๆ ของระบบมีดังต่อไปนี้

2.1 เตาแก๊สซิไฟเออร์

เตาแก๊สซิไฟเออร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบการให้กำเนิดแก๊สชีวมวลของกากมันสำปะหลังนี้เป็นแบบอากาศไหลลง (Downdraft) ซึ่งเตาชนิดนี้มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์จากชั้นไพโรไลซิสไหลผ่านชั้นเผาไหม้ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะไหลออกจากเตาผลิตแก๊ส ดังภาพที่ 21 แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จึงมีทาร์ต่ำแต่มีอุณหภูมิสูง 300 - 500°C จุดสำคัญเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงก็คือ ลักษณะชั้นเผาไหม้ รูปแบบของตะแกรง และวิธีการป้อนอากาศ โดยวิธีการป้อน

อากาศและรูปร่างของชั้นเผาไหม้ที่เล็กลงโดยการลดพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งป้อนอากาศเพื่อให้อุณหภูมิมีค่าสูงเพียงพอในการสลายทาร์ เชื้อเพลิงที่มีเถ้าสูงกว่าร้อยละ 6 และความชื้นสูงกว่าร้อยละ 20 ไม่เหมาะสมกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง เนื่องจากเถ้าอาจจะหลอมละลายติดกับคอคอดขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงและแก๊ส



ภาพที่ 20 ระบบผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ

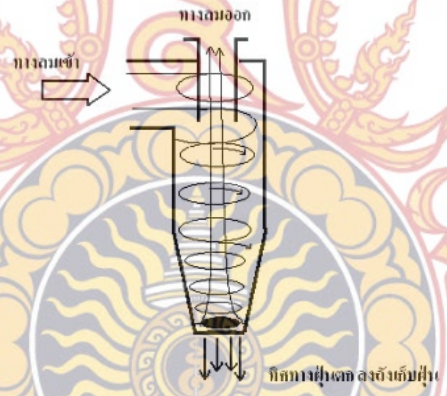
ภาพที่ 21 เตาแก๊สซิไฟเออร์ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 3 ข้อมูลของเตาแก๊สซิไฟเออร์ขนาดเล็กที่สร้างขึ้น

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	เซนติเมตร	72
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	เซนติเมตร	56
ความสูง	เซนติเมตร	159
เส้นผ่าศูนย์กลางของห้องเผาไหม้	เซนติเมตร	20.5

2.2 ไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากกระแสก๊าซโดยใช้แรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนวน (Vortex) เนื่องจากรูปร่างลักษณะของไซโคลนกระแสที่ไหลเข้าสู่ไซโคลนตามแนวสัมผัสหรือตามแนวแกนโดยผ่าน Vanes ไม่ว่ากรณีใดการทำงานของไซโคลนขึ้นกับความเฉื่อย (Inertia) ของอนุภาคที่จะเคลื่อนในแนวเส้นตรงเมื่อก๊าซเปลี่ยนทิศทางหนีแรงศูนย์กลางจะเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลนและเคลื่อนลงถังพักภาพที่ 22 แสดงการเคลื่อนตัวของลมและฝุ่นในไซโคลน



ภาพที่ 22 การเคลื่อนตัวของลมและฝุ่นในไซโคลน

ระบบผลิตแก๊สชีวมวลที่สร้างขึ้นนี้ติดตั้งไซโคลนในตำแหน่งถัดจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ (ดูภาพ 21) เพื่อทำหน้าที่กรองเอาฝุ่นและเถ้าถ่านที่ปะปนมากับแก๊สที่ผลิตได้ก่อนส่งเข้ากระบวนการต่อไป ไซโคลนที่สร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 23

ภาพที่ 23 ไซโคลนที่สร้างขึ้น

2.3 เครื่องพ่นจับแบบเปียก

เครื่องพ่นจับแบบเปียก (Wet Scrubber) เป็นระบบที่สามารถนำสิ่งเจือปนในกระแสอากาศออกโดยให้มีการสัมผัสกับของเหลว แต่เดิมนั้นในเครื่องพ่นจับแบบเปียกอนุภาคจะถูกดักเก็บโดยหยดของเหลวหรือไม่ก็ของเหลวที่ไหลอย่างต่อเนื่องในรูปแบบของกำแพงกั้นที่เปียก แผ่นของเหลว (Liquid Sheet) เป็นต้น ละอองของเหลวในเครื่องพ่นจับแบบเปียกเป็นหนึ่งในหลายๆ วิธีที่มักนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมมลพิษทางอากาศซึ่งอาจจะทำให้เกิดการรวมกันของแก๊ส อนุภาคที่ต้องการควบคุมและสภาวะของแก๊ส ทั้งอุณหภูมิและความชื้น เครื่องพ่นจับแบบเปียกมีข้อดี คือ สามารถลดความเสี่ยงในการฟุ้งกระจายของอนุภาคและสามารถใช้ได้กับแก๊สที่ร้อน อนุภาคที่เหนียว และของเหลว ข้อเสียคือปัญหาที่จะต้องกำจัดของเหลวที่ออกจากระบบ และการกำจัดหรือการนำของเหลวที่มีการปนเปื้อนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่

ในงานวิจัยนี้นำเครื่องพ่นจับแบบเปียกมาใช้ดักจับฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่หลุดลอดผ่านไซโคลนออกมาได้ โดยวางตำแหน่งของเครื่องพ่นจับแบบเปียกไว้ต่อจากไซโคลน เครื่องพ่นจับแบบเปียกที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบหอสเปรย์น้ำ (Spray Tower) แสดงดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 เครื่องพ่นจับแบบเปียกที่สร้างขึ้น

2.4 ถังเก็บแก๊ส

ได้ทำการออกแบบถังเก็บแก๊สอย่างง่ายขึ้นจำนวน 2 ชุด เพื่อใช้เก็บแก๊สชีวมวลที่ผ่านจากระบบทำความสะอาดแก๊สมาแล้ว โดยใช้ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร คว่ำลงในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ที่มีน้ำบรรจุอยู่ภายในป้องกันไม่ให้แก๊สรั่วไหลออกมาและติดตั้งวาล์วสำหรับปิด-เปิดแก๊ส เพื่อนำไปใช้งาน ตามภาพที่ 25 ถังเก็บแก๊สที่ออกแบบขึ้นนี้สามารถกักเก็บแก๊สชีวมวลได้ประมาณชุดละ 100 ลิตร

ภาพที่ 25 ถังเก็บแก๊ส

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ได้ทำการทดสอบคุณภาพของแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จากระบบ โดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง โดยได้ทำการดัดแปลงระบบของเครื่องให้สามารถใช้กับแก๊สชีวมวลได้ ข้อมูลและรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 26

ตารางที่ 4 รายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายละเอียด		ข้อมูล
เครื่องยนต์	Model	LPG160
	Type	Air-Cooled, 4 Stroke, OHV
	Displacement (cc)	163
	Diameter x Stroke (mm)	68 x 45
	Rate Output (kW/rpm)	2.8/3000, 3.2/3600
	Fuel	LPG
	Gas Flow Rate (kg/h)	1.1
	Noise Level (dBA/at 7m)	78
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	Rated Frequency (Hz)	50
	Maximum Output (kVA)	2.2
	Rated Output (kVA)	2.0
	AC Output Voltage (V)	220-240
	DC Output (V, A)	12V, 8.3A
	Net Weight (kg)	36
	Dimensions (mm)	590 x 433 x 430

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาพที่ 26 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

1. การทดสอบเชื้อเพลิงฟางข้าวที่ผลิตขึ้นในเชิงของการให้กำเนิดแก๊ส

การทดสอบเชื้อเพลิงฟางข้าวที่ผลิตขึ้นในเชิงของการให้กำเนิดแก๊สนั้นมีวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงฟางข้าวว่าเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สที่เกิดขึ้นจากถ่านไม้

2. เพื่อให้ทราบถึงความชื้นที่เหมาะสมในการใช้งานของเชื้อเพลิงฟางข้าว

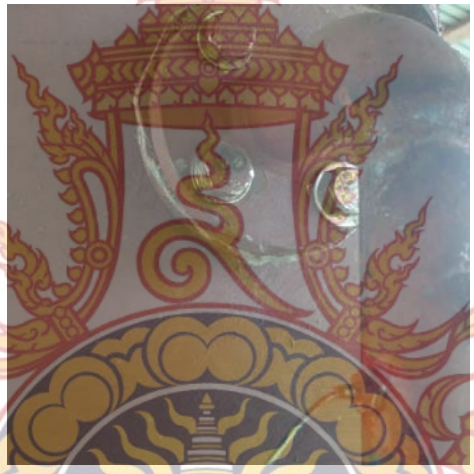
2. ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบใช้เชื้อเพลิงในน้ำหนักที่เท่ากัน คือ 8 กิโลกรัม โดยเฉลี่ยแล้วปริมาณของเชื้อเพลิงตามน้ำหนักนี้จะประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของเตา สาเหตุที่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเท่านี้เนื่องจากต้องการให้ใช้เวลาในการทดสอบต่อรอบไม่มากนัก ซึ่งช่วงเวลาในการทดสอบจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 ชั่วโมงต่อรอบ การทดสอบเริ่มต้นจากการผลิตแก๊สชีวมวลด้วยถ่านไม้ก่อน หลังจากนั้นจึงเริ่มผลิตแก๊สด้วยเชื้อเพลิงกากฟางข้าว โดยเชื้อเพลิงฟางข้าวที่ทดสอบมีค่าความชื้นเฉลี่ยที่ร้อยละ 20 30 และ 40 ตามลำดับ ข้อมูลที่บันทึกในช่วงของการทดสอบ ได้แก่

- ปริมาณร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
- ปริมาณร้อยละคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)
- ปริมาณร้อยละออกซิเจน (O_2)
- ปริมาณในหน่วย ppm ของแก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC)
- ปริมาณในหน่วย ppm ของแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)
- อุณหภูมิของแก๊สที่ขาออกของเตาแก๊สซิไฟเออร์

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของแก๊สในการทดลอง คือ เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลที่ใช้เซนเซอร์เป็นเทอร์โมคัปเปิล Type K โดยติดตั้งเทอร์โมคับเปิลบริเวณท่อใกล้กับทางออกของแก๊สจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ ดังแสดงในภาพที่ 27-28

ภาพที่ 27 ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 28 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิแก๊ส

ภาพที่ 29 เครื่องวิเคราะห์แก๊สที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องวิเคราะห์แก๊สที่ใช้ในการทดลอง ใช้หัววัดก๊าซชนิด NDIR สามารถตรวจวัด CO, C_xH_y, CO_2, O_2, NO ได้อย่างต่อเนื่อง มีจอแสดงผลแบบตัวเลข ใช้ระยะเวลา warm-up เครื่องประมาณ 10 นาที ช่วงการวัดที่เครื่องวิเคราะห์แก๊สสามารถทำได้ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ช่วงการวัดที่เครื่องวิเคราะห์แก๊สสามารถทำได้

แก๊สที่วิเคราะห์	ช่วงการตรวจวัด	ความละเอียด
ไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y)	0-9999 PPM	1 PPM
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	0-10%	0.01%
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	0-20 %	0.01%
ออกซิเจน (O_2)	0-25 %	0.01%
ไนโตรเจนออกไซด์ (NO)	0-5000 PPM	1 PPM

ขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมเชื้อเพลิงให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ ทำการจุดเตาด้วยเชื้อเพลิงที่ติดไฟง่าย เช่น กระดาษ เศษไม้ หรือเศษถ่านขนาดเล็ก เปิดพัดลมพอประมาณเพื่อเพิ่มอากาศให้ไฟติดได้ง่าย เมื่อไฟติดแล้วเทเชื้อเพลิงที่เตรียมไว้ลงในเตาแก๊สซิไฟเออร์ ปิดฝาเตาให้แน่น หลังจากนั้นเร่งพัดลมให้แรงสุด รอประมาณ 5-10 นาที จะเกิดแก๊สขึ้นพร้อมใช้งาน โดยเราสามารถทดสอบว่าแก๊สที่ได้ใช้งานได้หรือไม่จากการจุดทดสอบว่าแก๊สที่ได้ติดไฟหรือไม่และมีลักษณะของการติดไฟอย่างไร ตามภาพที่ 31-32 หลังจากนั้นจึงทำการวัดและวิเคราะห์แก๊สที่ผลิตได้พร้อมบันทึกผล

ภาพที่ 30 การชั่งเพื่อเตรียมเชื้อเพลิงให้ได้ตามน้ำหนักที่ต้องการ

ภาพที่ 31 หัวสำหรับจุดทดสอบแก๊ส

ภาพที่ 32 ลักษณะของเปลวไฟจากการจุดทดสอบแก๊สชีวมวล

ภาพที่ 33 ลักษณะการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดแก๊สชีวมวล

ภาพที่ 34 การวัดทดสอบแก๊สชีวมวล

3. ผลการทดสอบ

ข้อมูลของแก๊สชีวมวลที่ได้จากการเผาถ่านไม้ และเชื้อเพลิงกากฟางข้าวที่ความชื้นร้อยละ 20 30 และ 40 โดยทำการวัดทุกๆ 1 นาที เฉลี่ยตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6 - 9

ตารางที่ 6 ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากถ่านไม้

เชื้อเพลิง	ถ่านไม้
น้ำหนัก (kg)	8
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO); (%)	21.76
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2); (%)	27.92
ออกซิเจน (O_2); (%)	0.2
แก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC); (ppm)	131.04
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx); (ppm)	55.09
อุณหภูมิของแก๊ส (°C)	112.86
ลักษณะการติดไฟของแก๊ส	จุดติดได้ดี

ตารางที่ 7 ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 20 %

เชื้อเพลิง	กากฟางข้าวอัดขึ้นรูปความชื้น 20 %
น้ำหนัก (kg)	8
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO); (%)	13.46
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2); (%)	25.15
ออกซิเจน (O_2); (%)	0.28

แก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC); (ppm)	2705.50
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx); (ppm)	70.12
อุณหภูมิของแก๊ส (°C)	102.01
ลักษณะการติดไฟของแก๊ส	จุดติดไฟดีมาก

ตารางที่ 8 ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 30 %

เชื้อเพลิง	กากฟางข้าวอัดขึ้นรูปความชื้น 30 %
น้ำหนัก (kg)	8
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO); (%)	10.83
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2); (%)	22.77
ออกซิเจน (O_2); (%)	0.44
แก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC); (ppm)	2809.59
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx); (ppm)	141.3
อุณหภูมิของแก๊ส (°C)	91.78
ลักษณะการติดไฟของแก๊ส	จุดติดยาก ติดไฟไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 9 ข้อมูลจากการทดสอบแก๊สชีวมวลจากกากฟางข้าวความชื้น 40 %

เชื้อเพลิง	กากฟางข้าวอัดขึ้นรูปความชื้น 40 %
น้ำหนัก (kg)	8
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO); (%)	6.54
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2); (%)	19.57
ออกซิเจน (O_2); (%)	0.30
แก๊สไฮโดรคาร์บอน (HC); (ppm)	1533.78
แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx); (ppm)	85.77
อุณหภูมิของแก๊ส (°C)	140.82
ลักษณะการติดไฟของแก๊ส	ควันมากไม่ติดไฟ

4. สรุปผลการทดสอบ

ผลผลิตแก๊สชีวมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงกากฟางข้าวอัดขึ้นรูปความชื้นร้อยละ 20 นั้นสามารถจุดติดไฟได้ดีมากเมื่อเทียบกับแก๊สชีวมวลที่ได้จากถ่านไม้ และสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ได้ดี สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ติด เครื่องยนต์เดินเรียบและสามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังงานสูงสุดถึง 1

กิโลวัตต์ ส่วนแก๊สชีวมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงกากฟางข้าวอัดขึ้นรูปความชื้นร้อยละ 30 และ 40 นั้นมีสภาพของการจุดติดไฟที่ไม่ดีและไม่สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดของเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่ใช้เป็นแบบอากาศไหลลง (Down Draft) ซึ่งไม่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การทดสอบความสามารถในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สของเชื้อเพลิงฟางข้าว ใช้เครื่องยนต์ต้นกำลังแบบ 4 จังหวะ ความจุกระบอกสูบ 163 cc. มีกำลังขับที่เพลาขับสูงสุด 2.8 kW ที่ความเร็ว 3030 รอบต่อนาที เพลาขับต่อตรงเข้ากับเจนเนอเรเตอร์ขนาด 2 kW เพื่อผลิตไฟฟ้า จากการทดลองพบว่า การใช้เชื้อเพลิงฟางข้าวให้อัตราการไหลของแก๊สจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ประมาณ 14.8 m^3/hr ที่ค่าความหนาแน่นของโปรดิวเซอร์แก๊สประมาณ 1.234 kg/m^3 พบว่าโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้ไหลออกด้วยอัตรา 18.26 kg/hr ในหนึ่งหน่วยชั่วโมงทดสอบจะเห็นว่าฟางข้าวมีการแลกเปลี่ยนเป็นโปรดิวเซอร์แก๊สที่อัตรา 4.53 $kg_{(Gas)}/kg_{(Biomass)}$ หรือ 3.7 ลบ.ม.ต่อฟางข้าว 1 kg ในขณะที่เชื้อเพลิงถ่านไม้ได้ผลผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สในอัตรา 3.35 m^3/hr หรือ 4.137 kg/hr โดยมีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนเป็นโปรดิวเซอร์แก๊สระดับ 1.81 $kg_{(Gas)}/kg_{(Biomass)}$ หรือ 1.5 m^3 ต่อถ่านไม้ 1 kg จึงสรุปได้ว่าโปรดิวเซอร์แก๊สจากถ่านไม้ที่ทดสอบให้คุณค่าทางพลังงาน 8,191.5 kJ ต่อถ่านไม้ 1 kg ส่วนโปรดิวเซอร์แก๊สจากฟางข้าวจะให้คุณค่าทางพลังงาน 13,914 kJ ต่อกากมันอัด 1 kg ซึ่งฟางข้าวให้ปริมาณมากกว่าถ่านไม้ถึง 1.7 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 5.1 ค่าพลังงานของโปรดิวเซอร์แก๊สจากฟางข้าวเทียบกับถ่านไม้ (อากาศ: 2.971x10^{-3} m^3/sec)

เชื้อเพลิง	สิ้นเปลือง (kg/hr)	การเกิดแก๊ส (m^3/hr)	พลังงานต่อ แก๊ส (kJ/kg.)	การแลกเป็นแก๊ส ($kg_{(Gas)}/kg_{(Biomass)}$)	ความสามารถในการผลิตแก๊ส ($m^3/kg_{(Biomass)}$)	($kJ_{(Gas)}/kg_{(Biomass)}$)
ถ่านไม้	2.3	3.35	4,526	1.81	1.47	8191.5
ฟางข้าว	4	14.8	3,047	4.57	3.70	13,914

ในส่วนการทดสอบความสามารถผลิตไฟฟ้าของเชื้อเพลิงเตาแก๊สซิไฟเออร์ยังพบว่าในการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล 8 kg เท่ากัน โปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงถ่านไม้ และเชื้อเพลิงที่เป็นฟางข้าว สามารถใช้งานป้อนให้เครื่องยนต์ได้ 3 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่กำลังความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ 300 W และ 1kW ตามลำดับ ซึ่งประมาณการเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 1.05 kWh และ 2 kWh ตามลำดับ

บรรณานุกรม

[1] ข้อมูลจากสำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครปฐม http://moac.nakhonpathom.info/html/a_data.htm

[2] วิทยา จงเจริญ และ บุญเลี้ยง ชิ้มศรีสกุล. (2530) Producer Gas ติดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3] ศุภวิทย์ ลวณะสกล เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ใช้ถ่านไม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[4] ศิรินุช จินดารักษ์ (2548) **แท่งเชื้อเพลิงเขียวจากฟางข้าวและซังข้าวโพด** วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ. หน้า 79-90 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2548)

[5] เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ (2553) **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเปียกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553

[6] เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ ไชยยันต์ ทองสองยอด และณัฐ จันท์ครบ **ศักยภาพของเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งในเชิงการให้กำเนิดแก๊สสำหรับผลิตไฟฟ้า** งานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2553 วันที่ 16-18 กันยายน 2553 โรงแรม เจ บี หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr.Jensak Ekburanawat

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   มือถือ 089-6974340 e-mail: jensak.eak@rmutr.ac.th, jensak@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา
   พ.ศ. 2548 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
   พ.ศ. 2542 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
   สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
   พ.ศ. 2537 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อส.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
   มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   - ไฟฟ้ากำลัง
   - พลังงานทดแทน เทอร์โมอิเล็กตริก และระบบแก๊สซิฟิเคชัน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
   พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งรองผู้อำนวยการฝ่ายส่งเสริมงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และสมิต อินทร์ศิริพงษ์. (2548). **ตู้น้ำเย็นเทอร์โมอิเล็กตริก**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 11-13 พฤษภาคม 2548 หน้า AE02-1 – AE02-4.
2. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และวัฒนา กสิกุล. (2548). **การวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นเชื้อเพลิง**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่ง

ประเทศไทย ครั้งที่ 1 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 11-13 พฤษภาคม 2548 หน้า AE06-1 – AE06-6.

3. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และอิษฎา บุญญาอรุณเนตร. (2548). **อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กสำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 โรงแรมเพอร์ล วิลเลจ จังหวัดภูเก็ต วันที่ 11-13 ตุลาคม 2548.
4. ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2549). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549.
5. พจนารถ ศิริมั่น ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2549). **เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปรับมุมตามดวงอาทิตย์**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 27-29 กรกฎาคม 2549.
6. ณัฐ จันท์ครบ ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน อมร สมเจตน์เลิศเจริญ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2549). **การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งของเตาหุงต้มในครัวเรือนด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON 29) แอมบาสซาเดอร์ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 9-10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549.
7. เสรี ชื่นอารมณ์ ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2550). **เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดสูงด้วยซอฟแวร์**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 5 (PEC-5) โรงแรมภูเก็ตเกรซแลนด์ รีสอร์ท&สปา จังหวัดภูเก็ต วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2550.
8. ณัฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ์ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2550). **การวิเคราะห์รูปแบบการต่อเชื่อมกันทางไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กตริกเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 5 (PEC-5) โรงแรมภูเก็ตเกรซแลนด์ รีสอร์ท&สปา จังหวัดภูเก็ต วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2550.
9. ณัฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ์ เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และกลางพล กมลโชติ. (2551). **การทดสอบสภาพนำไฟฟ้าของน้ำเสียเพื่อใช้สำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโตรโคแอกกูเลชัน**. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551.
10. ณัฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ์ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2551). **ระบบควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน**. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551.
11. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ เสรี ชื่นอารมณ์ และณัฐ จันท์ครบ. (2552). **ระบบติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติสำหรับเครื่องอบแห้ง**. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่ง

ประเทศไทยครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก วันที่ 30 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552.

12. สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ. (2552). **ต้นแบบเตาเผาขาหมูแบบช่วยลดมลภาวะ**. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชาออคิด จังหวัดขอนแก่น วันที่ 21-22 ตุลาคม 2552.
13. สมิต อินทร์ศิริพงษ์ ณฐพรภัทร อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ. (2553). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องต้นแบบอย่างง่ายสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าวสดเข้มข้น**. การประชุมวิชาการหัวข้อ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย จังหวัดหนองคาย วันที่ 21-23 มกราคม 2553.
14. สมิต อินทร์ศิริพงษ์ ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์. (2553). **การออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านไม้น้ำหนักเบาประจำบ้าน**. การประชุมวิชาการหัวข้อการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย จังหวัดหนองคาย วันที่ 21-23 มกราคม 2553.
15. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเปียกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553
16. สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ **การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่านแบบเคลื่อนที่ได้** การประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2553 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 26-27 พฤษภาคม 2553
17. สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล **ต้นแบบระบบการผลิตน้ำเชื่อมจากอ้อยแบบเคลื่อนที่สำหรับเกษตรกรรายย่อย** การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554” โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ จอมเทียนพัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 20-21 ตุลาคม พ.ศ. 2554
18. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และไชยยันต์ ทองสองยอด **การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแบบหล่อด้วยเรซิ่นในเชิงการใช้งานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า** การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 โรงแรมชลจันทร์พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี 14-16 ธันวาคม 2554

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายไชยยันต์ ทองสองยอด
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Chaiyan Thongsongyod

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   มือถือ 089-9934898 e-mail: thongsongyod451@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

-	2001-2004	B.Eng (Electrical Engineering)	MUT
-	2004-2006	M.Eng (Electrical Engineering)	KMUTT

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. ไชยยันต์ ทองสองยอด อนุศักดิ์ บิสลาม อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และอิษฎา บุญญาอรุณเนตร. (2553). **การออกแบบอินเวอร์เตอร์คลาสดี LLC เรโซแนนซ์ความถี่สูงสำหรับเครื่องต้มน้ำแบบเหนี่ยวนำ.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย (ENET 6th) ครั้งที่ 6 โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553
2. Chaiyan Thongsongyod, Anusak Bilslam, Adisak Nartkaranakul, and Itsda Boonyaroonate. (2010). **Induction Forging High Efficiency Class D LLC Resonant Inverter For Photovoltaic Array System.** Asia Pacific Symposium of Applied Electromagnetics and Mechanics (APSAEM2010) 6th , Hotel Istana, Bukit Bintang, Kuala Lumpur, Malaysia, July 28-30, 2010.
3. Anusak Bilslam, Chaiyan Thongsongyod, Adisak Nartkaranakul, and Itsda Boonyaroonate. (2010). **The application photovoltaic with high efficiency Class D LLC resonant inverter for induction forging.** International

Conference on power system technology (POWERCON2010), Zhijiang Hotel Hangzhou, Hangzhou, China, October 24-28, 2010. (Accepted full paper)

4. อนุศักดิ์ บิสลาม ไชยยันต์ ทองสองยอด และอิษฎา บุญญาอรุณเนตร. **การประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์คลาสดี LLC เรโซแนนซ์แรงดันต่ำกระแสสูงสำหรับงานให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ.** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON 33) ครั้งที่ 33 โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553 (อยู่ระหว่างการตอบรับผลงานวิจัย)
5. เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ และไชยยันต์ ทองสองยอด **การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแบบหล่อด้วยเรซิ่นในเชิงการใช้งานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า** การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 โรงแรมชลจันทร์พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี 14-16 ธันวาคม 2554