



รายงานการวิจัย

การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทาง  
สำหรับการอบแห้งและการผลิตกระแสไฟฟ้า  
(Design and Testing of a Hybrid Updraft-Downdraft Biomass  
Gasifier for Grain Drying and Engine-Generator Applications)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อัจฉาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

พรรษา ลิบลับ	พินิจ จิรคกุล	ทิพย์สุภินทร์ หินขุย
ณัฐพงษ์ ประภาการ	สุภัทร หนูแย้ม	สาวิตรี คำหอม
ธนรัช มุขพันธ์	ปภัศ ชนะโรค	พจนาลัย ชาวห้วยหมาก
ศรัลย์ ปานศรีพงษ์	นัยวัฒน์ สุขทั้ง	วิเชียร ดวงสีเสน
กิตติยาภรณ์ รongเมือง	กฤษกร รับสมบัติ	นิวัฒน์ คงกะพี
กงจักร ทมวิชัย	กงเดช พะสีนาม	ธราวุธ บุญน้อม

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2553

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งบประมาณ 2546 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนา ศาสตราจารย์ ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ ศาสตราจารย์ ดร. มรกต ตันติเจริญ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะทางวิชาการ ต่อคณะผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทางสำหรับการอบแห้งและการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ทำการออกแบบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Hybrid Updraft-Downdraft Biomass Gasifier กำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kWh และนำความร้อนไปใช้กับเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน 2) การทดสอบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง 3) การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator set) และเครื่องอบแห้ง (Dryer) 4) การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน 5) การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคของใช้งานของ Hybrid Updraft-Downdraft Biomass Gasifier

เตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ออกแบบจะใช้ข้อดีของทั้ง Updraft และ Downdraft แก๊สซิฟิเคชันแก๊สที่ได้จาก Updraft ซึ่งมีทาร์ปนอยู่ค่อนข้างมากจะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องอบแห้ง ที่มีขนาด 2.31 x 2.31 x 0.60 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) หรือ มีประมาณเท่ากับ 3.2 ลูกบาศก์เมตร ส่วนที่เป็น Downdraft นำไปใช้กับชุดผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิต 160 กิโลวัตต์ ที่มีการติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง

เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงถูกทดสอบโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง พบว่าสถานะของอัตราการไหลแก๊สสูงสุดที่สามารถเดินระบบได้คือ 135.8 m<sup>3</sup>/hr มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง 101.9 kg/hr และให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency) มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะอื่น ๆ คือ 66.47% เนื่องจากค่าความร้อนที่ผลิตได้มีค่าสูง (5.31 MJ/Nm<sup>3</sup>) พลังงานความร้อนนี้เพียงพอที่จะนำไปใช้อบแห้งได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณทาร์และฝุ่น (Tar and Dust) มีค่าสูง โดยอยู่ในช่วง 44.5-78.1 g/Nm<sup>3</sup> ดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมที่จะนำแก๊สเชื้อเพลิงมาใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้นการพัฒนากระบวนการทำความสะอาดแก๊สที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องจำเป็น

การทดสอบอบแห้งดำเนินการโดยการใส่เหง้ามันสำปะหลังลงในเครื่องอบและกำหนดให้ความสูงของวัตถุดิบประมาณ 50 cm หรือมีประมาณเท่ากับ 2.67 m<sup>3</sup> ก๊าซชีวมวลที่ได้จะถูกเผาโดยใช้ห้องเผา (Burner) ก๊าซร้อนจะถูกผสมกับอากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิประมาณ 130°C หลังจากนั้นก็ส่งเข้าเครื่องอบแห้งที่อัตราการไหลประมาณ 3,007 m<sup>3</sup>/hr ผลการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเหง้ามันสำปะหลังที่ความชื้น 57.1% (wb) ไปสู่ความชื้น 15% (wb.) มีค่าประมาณ 4.5 ชั่วโมง

## Abstract

The present research is the design and test of the hybrid updraft-downdraft gasifier for drying application and electricity generation. The study was divided into five parts, namely; 1) design and construction of a hybrid updraft-downdraft biomass gasifier which is capable of generating electricity 20 kWh and using for drying with capacity of 5 tons/day, 2) test of the developed gasifier, 3) installation of generator set and dryer 4) evaluation of the system efficacy and 5) analysis of the test results to draw the technical conclusion of use of hybrid updraft-downdraft biomass gasifier.

The gasifier was designed by taking advantage of both updraft and downdraft gasification. The gas derived from updraft which contains high content of tar was used in producing heat for a bin drier having dimensions of 2.31 x 2.31 x 0.60 m (width x length x height) or a total volume of 3.2 m<sup>3</sup>. For downdraft gasification, the gas was supplied to a 200 kW generator set to generate electricity in which a diesel dual engine was used.

The designed gasifier was tested with cassava rhizome. The results showed that at the maximum gas flow rate of 135.8 m<sup>3</sup>/hr had the specific biomass consumption 101.9 kg/hr and gave the highest gasification efficiency approximately 66.47% compared with other conditions. Thank to the high heating value of gas produced (5.31 MJ/Nm<sup>3</sup>), it would be sufficient for use in drying application. However, the tar and dust contained in the producer gas were quite high ranging from 44.5-78.1 g/Nm<sup>3</sup>, as a result, it is still inappropriate for being used directly in the engine generator set. The development of gas cleaning system is indispensable for this gasification system.

The drying test was carried out by loading cassava rhizome into the bin dryer the height of which was approximately 50 cm. or a total volume of 2.67 m<sup>3</sup>. The producer gas was burnt in a burner. The hot air was mixed with the fresh air to obtain the temperature around 130°C and then passed through the dryer with a flow rate of 3,007 m<sup>3</sup>/hr. The result showed that the time to reduce the moisture content from 57.1% w.b. to 15% w.b. was approximately 4.5 hr.

# สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)	5
2.3 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงร่วม (Co-fire Technology)	10
2.4 เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Technology)	10
2.5 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Technology)	11
2.6 การพัฒนาเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันในประเทศไทย	18
2.7 สรุป	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	25
3.1 บทนำ	25
3.2 อุปกรณ์และวิธีการ	25
3.3 แผนการบริหารโครงการวิจัย	33
3.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์	34
4.1 การออกแบบ และสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง	34
4.2 การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	37
4.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง	44
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน	48
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุป	55
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	62
ภาคผนวก ข อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย	73
ประวัตินักวิจัย	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบ จุดเด่น-จุดด้อย ของระบบการเผาไหม้โดยตรงแต่ละแบบ	9
3.1	แสดงถึงพารามิเตอร์ เครื่องมือวัด ระบบการวัดและวิเคราะห์	28
4.1	รายละเอียดของอุปกรณ์ ของระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier	35
4.2	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง ก่อน/หลังกระบวนการเตรียม	38
4.3	องค์ประกอบแบบประมาณ ของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง	38
4.4	องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) ของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง	39
4.5	องค์ประกอบธาตุย่อย (Trace Element) ของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง	40
4.6	การควบคุมปริมาณและสัดส่วนการป้อนอากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊ส	41
4.7	องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อน ต่ออัตราการไหลของแก๊ส	43
4.8	รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง	46
4.9	การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของระบบ โดยใช้เหง้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง	48
4.10	การวิเคราะห์องค์ประกอบป็นเป็อนในแก๊สเชื้อเพลิง	49
4.11	อุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ยของทั้ง 4 สภาวะ	50
4.12	ชนิดของมลสารและระบบทำความสะอาดแก๊สเชื้อเพลิง	54

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบการเผาไหม้โดยตรงแบบตะกรับเลื่อน	6
2.2	ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด	7
2.3	การผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วม	8
2.4	กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน	12
2.5	เตาผลิตแก๊สชีววมวลชนิดต่างๆ	16
2.6	โรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบสาธิตฯ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	20
2.7	กระบวนการและส่วนประกอบของระบบโรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบสาธิตฯ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	20
2.8	แผนผังส่วนประกอบที่สำคัญของต้นแบบ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	22
2.9	กระบวนการและการจัดวางระบบต้นแบบ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	23
2.10	ต้นแบบ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	23
3.1	การวางระบบสำหรับ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier	26
3.2	แสดงอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด	29
4.1	แนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design)	35
4.2	การสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง และการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือวัด	36
4.3	กระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงแห้งสำหรับใช้ทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยคุณสมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงแห้งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้	37
4.4	การทดสอบหาสัดส่วนการป้อนอากาศต่ออัตราการไหลของแก๊ส	41
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการป้อนอากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงในระบบ	42
4.6	การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้	42
4.7	แสดงสัดส่วนโดยปริมาตรเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง	43



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	เครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง	45
4.9	การติดตั้งชุดเครื่องอบแห้งแบบกระบะ	47
4.10	สมดุลมวลและพลังงานของระบบ	49
4.11	Temperature Profile ของอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 4 สภาวะ	50
4.12	การทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยการทดสอบอบแห้ง	52
4.13	แสดงการตรวจวัดปริมาณทาร์ และลักษณะของทาร์ที่อุคตันในระบบ	53
ก1	การเตรียมเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์	68
ก2	การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้วิเคราะห์ความชื้นของแก๊สเชื้อเพลิง	69
ก3	การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้วิเคราะห์ทาร์และฝุ่น	70
ก4	กระดวยกรองหลังผ่านการเก็บตัวอย่าง (ทาร์และฝุ่นรวมกัน)	70
ก5	การล้างด้วยสารเคมี Anesol เพื่อกำจัดทาร์ออกจากกระดวยกรอง	71
ข1	เครื่อง Bomb Calorimeter (วิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)	73
ข2	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ C H N S Elemental Analyzer	73
ข3	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ	74
ข4	เครื่องเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุ	74
ข5	เครื่องเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุ	75
ข6	เตาเผา (Muffle Furnace) และการเตรียมตัวอย่าง	75
ข7	เตาเผา (Muffle Furnace) และการเตรียมตัวอย่าง	76
ข8	เตาอบ (Drying Oven) สำหรับวิเคราะห์หาความชื้น	76
ข9	เครื่องบดวัตถุดิบ (เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ)	77
ข10	การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ	77

## คำอธิบายสัญลักษณ์

ASTM	American Society for Testing and Materials
BOD	Biological Oxygen Demand
EDXRF	Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer
$G_c$	Gas Composition (%V)
$HHV_{bio}$	High Heating Value of biomass (MJ/Nm <sup>3</sup> )
$HHV_g$	High Heating Value of gas (MJ/Nm <sup>3</sup> )
$m_{ash}$	Ash Production (kg/hr)
$m_{bio}$	Biomass Consumption (kg/hr)
ND	Not Detected
$P_e$	Electrical Power
$T_0$	Producer Gas Temperature (Gas Outlet (°C))
$T_1 - T_6$	Reactor Temperature
TD	Impurities (Tar & Dust) After Biomass Filter Box (mg/Nm <sup>3</sup> )
$T_g$	Producer Gas Temperature (Cleaned Gas (°C))
$V_g$	Gas Flow Rate (Nm <sup>3</sup> /h)
$\eta_g$	Gasification Efficiency
$\eta_e$	Engine-generator Efficiency
$\eta_{el}$	Electrical Efficiency

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานและปัญหาวิกฤตด้านสิ่งแวดล้อมของโลก หลายภาคส่วนเริ่มตื่นตัวและให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งนี้ หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจคือ พลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีศักยภาพสูงด้านพลังงานชีวมวล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เศษวัสดุทางการเกษตรซึ่งหลงเหลือจากการกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นจำนวนมาก อาทิ เศษไม้ ฟางข้าว ชานอ้อย แกลบ ทางปาล์ม และเห้งน้ำมันสำปะหลัง เป็นต้น ที่ยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ หรือแม้กระทั่งบางครั้งก่อให้เกิดภาวะที่ต้องทำลายหรือกำจัดทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ดังนั้นการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการผลิตพลังงานจึงเป็นการใช้วัตถุดิบหรือทรัพยากรที่เหมาะสมกับภูมิประเทศไทยและ ยังช่วยขจัดปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้แก่เกษตรกรอีกด้วย กระบวนการผลิตพลังงานจากชีวมวล โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ กระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermo-chemical Conversion) และกระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion) ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของชีวมวล ในส่วนของเศษวัสดุเหลือทิ้งกล่าวมาข้างต้นมีลักษณะเป็นของแข็งจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตพลังงานด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อน

กระบวนการทางเคมีความร้อน มีระบบหลักๆ อยู่ 4 ระบบ คือ การเผาไหม้ตรง (Direct-fired) การเผาพร้อม (Co-firing) แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ทั้งนี้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันถูกยอมรับว่ามีความเหมาะสมเพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Stiegel et al., 2001)

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการทางอุณหภูมิที่อาศัยการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็งในสถานะที่มีการควบคุมปริมาณอากาศ เกิดเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification reaction) ได้ผลผลิต คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และ แก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) มีค่าความร้อนสูง สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้หลากหลาย อาทิ ใช้งานกับเครื่องยนต์แก๊ส (Gas Engine) เพื่อผลิตไฟฟ้าหรือใช้ประโยชน์ในรูปแบบของความร้อน (Coovattanachai, 1990) นอกจากนี้ กากของเชื้อเพลิงแข็งที่หลงเหลือจากการกระบวนการ ยังมีคุณสมบัติเป็นถ่านชาร์ (Char) สามารถนำไปใช้เป็นถ่านหุงต้ม หรือพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ได้

เครื่องปฏิกรณ์ผลิตก๊าซเชื้อเพลิง หรือเตาแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) แบ่งตามลักษณะการป้อนวัตถุดิบ (ชีวมวล) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบคอลัมน์ (Fixed Bed Gasifier) และแบบไหลแบบต่อเนื่อง (Fluidized Bed Gasifier) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์ (Dutta, 1998) หากทำการพิจารณาถึงความซับซ้อนของระบบแล้วนั้น เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้ดีในสถานภาพของประเทศไทย ซึ่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์นี้สามารถจำแนกออกไปได้อีกตามทิศทางการป้อนอากาศในเตาคือ ถ้าอากาศถูกป้อนจากด้านล่างขึ้นข้างบนของเตาเรียกว่า Updraft gasifier และถ้าป้อนจากส่วนบนของห้องเผาไหม้ลงด้านล่างของเตาเรียกว่า Downdraft gasifier ส่วนอากาศเข้าในแนวขวางเรียกว่า Crossdraft gasifier แต่อย่างไรก็ดีปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตก๊าซดังกล่าวซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญในการนำก๊าซเชื้อที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ก็คือปัญหาการปนเปื้อนของยางเหนียว หรือ Tar จึงมีผู้คิดค้นเทคนิคใหม่ในการป้อนอากาศเพื่อลดการปนเปื้อนของยางเหนียวโดยการป้อนอากาศหลายส่วนในเตาผลิตก๊าซซึ่งเรียกว่า Multi-stage gasifier ซึ่งสามารถผลิตก๊าซร้อนได้ถึง  $1000^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำลายโมเลกุลของยางเหนียวได้ (Nikolaisen, 1992) โดยหลักการดังกล่าวนี้ นำมาสู่การพัฒนาเป็น Two-stage gasifier ซึ่งแนวโน้มที่จะได้รับการยอมรับที่จะนำมาใช้งานต่อไปในอนาคต

การพัฒนา Two-stage gasifier ในประเทศไทยนั้นเริ่มต้นโดย นักวิจัยชาวเวียดนาม Bui Tuyen (Bui, 1994; Bui, 1996) ขณะที่ศึกษาปริญญาเอกอยู่ที่ AIT (Asian Institute of Technology) และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจาก Siddque A.H.Md.M.Rahman (Siddque, 1997) Dutta Animesh (Dutta, 1998) และ Wickramasinghe T.A (Wickramasinghe, 2001) โดยเตาเผาชนิดนี้ได้ได้รับการพัฒนาให้มีการป้อนอากาศ 2 ส่วนและมีทางออกของก๊าซเชื้อเพลิง 2 ด้านซึ่งเรียกว่า Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier ซึ่งได้รับการยืนยันอย่างชัดเจนในเรื่องของ ปริมาณยางเหนียวที่ลดลงจนถือว่าน้อยมากตลอดจนการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น การนำไปใช้ในเป็นเชื้อเพลิงร่วมของเครื่องยนต์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Dutta, 1998; San, 1999; Sethapanich, 2001) หรือแม้กระทั่งนำมาใช้ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร (Bhatta, 1998; Aung, 2000) แต่เป็นที่น่าเสียดาย ที่ในบรรดานักวิจัยที่พัฒนาเทคโนโลยีส่วนใหญ่เป็นชาวต่างชาติและนำเทคโนโลยีนี้กลับไปเหลือเพียง 1 คน ที่มารับหน้าที่ผู้ช่วยวิจัยในโครงการนี้ ที่จะนำเทคโนโลยี Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเหมาะสมกับประเทศไทย

แม้ว่าเทคโนโลยีของ Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier จะได้รับการยืนยันแล้วว่า มีอัตราส่วนของยางเหนียวน้อย มีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานสูงกว่าแบบอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีมาใช้ให้เป็นระบบและก่อให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมนั้นยังไม่ปรากฏ กล่าวคือการใช้ประโยชน์ 2 ด้านในการอบแห้ง และผลิตกระแสไฟฟ้า จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการ

ออกแบบให้เป็นระบบ และนำมาใช้ได้จริงในส่วนที่เป็นพลังงานทดแทน โดยหลักการก็คือ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากช่องออกด้านบนเป็นก๊าซที่มีการปนเปื้อนของยางเหนียวมากพอสมควรจะถูกกำจัดโดยการเผาที่ห้องเผาไหม้ต่างหาก (Burner) และนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการอบแห้ง ส่วนก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ที่ช่องทางออกด้านล่างเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่ปราศจากยางเหนียว จะนำไปใช้ผ่านมีกระบวนการขจัดฝุ่นละออง และลดอุณหภูมิ เพื่อที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วมของเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นต้นกำลังของเครื่องปั่นไฟต่อไป

ส่วนสถานการณ์การวิจัยที่เกี่ยวกับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ในต่างประเทศ มีการตื่นตัวในเรื่องการใช้ประโยชน์จากชีวมวลมากไม่ว่าจะเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วหรือประเทศที่กำลังพัฒนาก็ตามซึ่งมีงานวิจัยต่างๆมากมายที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นส่วนของการพัฒนาเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถทำให้ทราบถึงแนวโน้มถึงความเป็นไปได้ในของผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่จะมาเป็นพลังงานทดแทนในต้นศตวรรษที่ 21 นี้

## 1.2 วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบ และพัฒนาเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทาง Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยทดสอบกับการอบแห้งและการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.3 เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน โดยการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ในประเทศไทย

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

3.1 การออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ทำการออกแบบ Reactor หรือ Gasifier แบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier กำลังการผลิต 20 ไฟฟ้า 20 kWh และความต้องการเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน

3.2 การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ ประเมินปริมาณก๊าซ CO, H<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ปริมาณยางเหนียว และ ระบบป้อนชีวมวลในเตาเผา

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง เพื่อเป็นการนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้ง (Dryer) และติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ (Generator set)

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier กำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kWh และเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน

3.5 การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคของใช้งานของ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ผลประโยชน์ที่เห็นได้ชัดหลังจากงานวิจัยเสร็จสิ้นก็คือ ผลตอบแทนจากการดำเนินการผลิตเชื้อเพลิง โดยหน่วยงานที่จะได้รับผลประโยชน์อันนี้ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในส่วนของฟาร์มมหาวิทยาลัย ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างน้อย 20 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ 160 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ 1 วัน มาใช้ในการให้แสงสว่างหรือกิจกรรมอื่นๆในฟาร์มเป็นการประหยัดค่าไฟฟ้าให้แก่มหาวิทยาลัยถึงปีละ 58400 กิโลวัตต์ชั่วโมง อีกทั้งยังได้พลังงานความร้อนที่ได้รับสามารถนำไปอบแห้งหรือลดความชื้น หรืออบแห้งผลิตผลทางการเกษตรสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้าสินค้าเกษตรของฟาร์มได้ โดยการประมาณความสามารถในการอบแห้งเบื้องต้นไว้ที่ 2.5 ตันต่อ 4 ชั่วโมง หรือ 5 ตันต่อ 1 วัน

นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้ในส่วนของสังคม ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม พลังงาน โดยรวมตลอดจนด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความสัมพันธ์ระหว่างองค์กร และอื่นๆมากมายที่จะตามมา โดยหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

- 1) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- 2) กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
- 3) กรมวิชาการเกษตร
- 4) กรมส่งเสริมการเกษตร
- 5) กรมการพัฒนาชุมชน
- 6) องค์การบริหารส่วนตำบล
- 7) ผู้ประกอบการ โรงสี

## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ปัจจุบันเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือชีวมวลได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานในรูปของความร้อนหรือกระแสไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ สำหรับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวลโดยกระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermo-chemical process) มีระบบหลักๆ อยู่ 4 ระบบ คือ การเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired) การเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงร่วม (Co-firing) เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งการเลือกใช้เทคโนโลยีแบบต่างๆ ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน

#### 2.2 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)

ระบบการเผาไหม้โดยตรงได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานานกว่า 100 ปี และในปัจจุบันระบบการเผาไหม้โดยตรงเพื่อทำงานร่วมกับเทคโนโลยีกังหันไอน้ำในการผลิตพลังงานจากชีวมวลเป็นระบบที่มีการใช้มากที่สุดในโลก

##### 2.2.1 การจำแนกระบบการเผาไหม้โดยตรง

สามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบ คือ การเผาไหม้ในเตาเผาแบบตะกรับ (Stoker Firing) การเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion) และการเผาไหม้ในแบบลอยตัว (Suspension Firing)

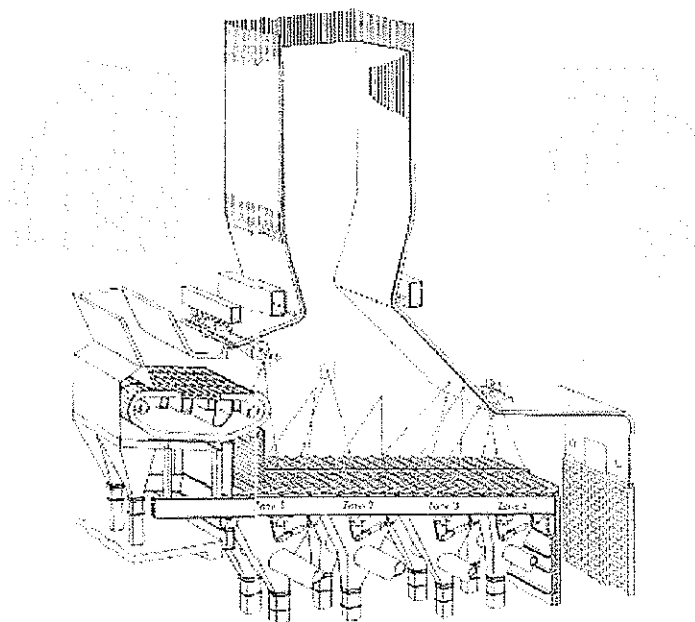
##### 1) ระบบการเผาไหม้แบบตะกรับ

เป็นระบบที่ใช้เครื่องจักรป้อนเชื้อเพลิงแทนแรงงานคน โดยมีกลไกที่ไม่ซับซ้อนมากนัก มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายๆชนิด หลายขนาด แต่มีข้อเสียคือระบบแบบตะกรับ มีขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำต่ำ ระบบแบบตะกรับแบ่งออกได้ตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิง ดังนี้

1.1) ระบบแบบตะกรับที่มีการป้อนเชื้อเพลิงทางด้านบน (Overfeed Stoker) เช่น ตะกรับเอียง (Stationary Sloping Grate Stoker) แบบตะกรับเลื่อน (Travelling Grate Stoker) และแบบตะกรับสั่น (Vibrating Grate Stoker)

1.2) ระบบแบบตะกรับที่มีการป้อนเชื้อเพลิงทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

โดยในระบบแบบตะกรับ เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบทางด้านหนึ่ง และ  
 เชื้อเพลิงที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาจะออกอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นอัตราการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงจึงเป็น  
 ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานระบบการเผาไหม้แบบตะกรับดังแสดง  
 ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบการเผาไหม้โดยตรงแบบตะกรับเคลื่อน

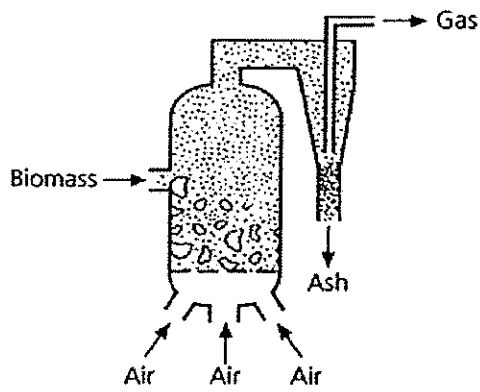
## 2) ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด

ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด อากาศจะเข้าสู่ระบบทางด้านล่างและ  
 ไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มอัตราความเร็วของอากาศถึงจุดหนึ่งเชื้อเพลิงจะลอยตัวขึ้นมี  
 ลักษณะคล้ายของไหล ซึ่งเรียกว่า สภาวะของ Fluidization โดยจะมีสารเฉื่อย (Inert Material) เช่น  
 ทราย หรือสารทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน เป็นเบด เมื่อเริ่มติดเตาเบดจะได้รับความ  
 ร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาอย่างสม่ำเสมอ  
 โดยมีเบดช่วยในการถ่ายเทความร้อน โดยปกติเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบในตำแหน่งเหนือชั้น  
 ของทราย ระบบฟลูอิดไคซ์เบดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

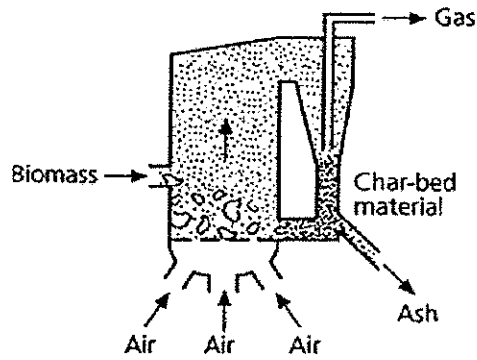
2.1) แบบ **Bubbling Fluidized Bed** คือการแบ่งแยกของส่วนที่  
 หนาแน่นกว่าซึ่งเป็นชั้นของทรายและส่วนที่เบาบางกว่าซึ่งเป็นชั้นของแก๊ส ทรายที่ใช้เป็นตัว  
 กระจายความร้อนและถ่านชาร์จะถูกนำกลับเข้าสู่ระบบโดยผ่านการดักจับโดยไซโคลน ดังแสดงใน  
 รูปที่ 2.2 (ก)



2.2) แบบ **Circulating Fluidized Bed** ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating Fluidized Bed ความเร็วของลมที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) ซึ่งอาจจะอยู่ภายในหรือภายนอกระบบ ระบบนี้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่มีปริมาณขี้เถ้าสูง



(ก) Bubbling Fluidized Bed



(ข) Circulating Fluidized Bed

รูปที่ 2.2 ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด

ปัจจุบัน ระบบฟลูอิดไดซ์เบดมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้เกือบทุกชนิดและมีอุณหภูมิภายในเตาสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งเตา มีอัตราการเผาไหม้ที่คงที่ สามารถใช้กับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงได้ดี ข้อดีที่สำคัญ คือการมีสารเฉื่อย เช่น ทราายเป็นเบดจะทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงและออกซิเจนเป็นอย่างดี การเผาไหม้จึงสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้เบดยังช่วยให้ความร้อนมีความเสถียรไม่ดับง่าย อุณหภูมิภายในเตาไม่สูงมากนักประมาณ 850 องศา ทำให้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ )

### 3) ระบบการเผาไหม้ในแบบลอยตัว

การเผาไหม้เชื้อเพลิงของระบบนี้ใช้หลักการเดียวกับการเผาไหม้ในเตาเผาเชื้อเพลิงบดละเอียด (Pulverized Fuel Combustor) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กับถ่านหินและเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในโรงไฟฟ้า การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่เชื้อเพลิงถูกแขวนลอย ดังนั้นขนาดของเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่เตาจะต้องมีขนาดเล็กสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศ อากาศส่วนแรกที่ถูกป้อนเข้าสู่เตาจะถูกอุ่นก่อนเพื่อช่วยในการอบแห้งเชื้อเพลิง อากาศส่วนที่สองจะถูกส่งเข้าสู่เตาโดยตรงเพื่อช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกมากับไอเสีย

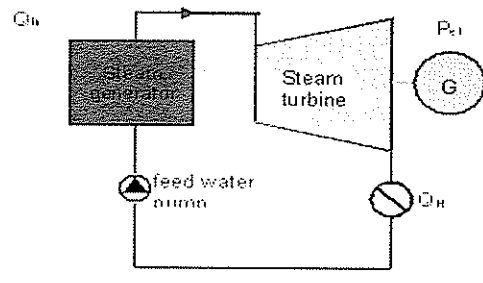
ในปัจจุบันเทคโนโลยีหม้อไอน้ำที่ใช้เตาเผาแต่ละแบบข้างต้นจะมีประสิทธิภาพ (Boiler Efficiency) มากกว่า 80% ขึ้นไป โดยสามารถเปรียบเทียบ จุดเด่น-จุดด้อย ของระบบการเผาไหม้แต่ละแบบดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

## 2.2.2 ระบบผลิตพลังงาน (Power Generation System)

โดยทั่วไปแก๊สร้อนที่ได้จากระบบเผาไหม้โดยตรงผ่านไปยังหม้อไอน้ำ (Waste Heat Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำที่ใช้ในการเดินกังหันไอน้ำ และผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้ การผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนร่วมก็ยังสามารถทำได้ซึ่งแนวทางนี้นอกจากจะเป็นการตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้า และความร้อนเพื่อการผลิตน้ำร้อนหรือการใช้ไอน้ำความดันสูงแล้ว ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบอีกด้วย โดยมีการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เหลือ (Waste Heat) จากการใช้ผลิตไฟฟ้า

ในระบบที่ติดตั้งกังหันไอน้ำแบบ Back Pressure ไอน้ำความดันต่ำที่ออกจากส่วนท้ายของกังหันไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) โดยทั่วไปมีความดันประมาณ 2 bars และอุณหภูมิประมาณ  $200^{\circ}\text{C}$  สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น การทำน้ำร้อน ระบบทำความร้อนความเย็น เป็นต้น

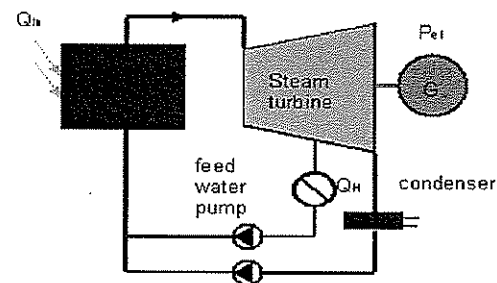
สำหรับระบบที่ติดตั้งกังหันไอน้ำแบบ Extraction condensing ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ไอน้ำที่ความดันสูงสามารถดึงออกมาใช้ได้ที่ส่วนกลางของกังหันไอน้ำ ตัวอย่างการใช้ เช่น ในอุตสาหกรรมซึ่งต้องการใช้ไอน้ำที่ความดันสูงเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล



$P_{ei}$  electrical output  
 $Q_H$  heat consumer  
 $Q_{in}$  heat input  
 G generator

— feed water  
 — steam  
 - - - shaft

(ก) Back Pressure Steam Turbine



$P_{ei}$  electrical output  
 $Q_H$  heat consumer  
 $Q_{in}$  heat input  
 G generator

— feed water  
 — steam  
 — shaft

(ข) Extraction Condensing Steam Turbine

รูปที่ 2.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วม

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบ จุดเด่น-จุดด้อย ของระบบการเผาไหม้โดยตรงแต่ละแบบ

ระบบการเผาไหม้	จุดเด่น	จุดด้อย
เตาเผาแบบตะกรับ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การควบคุมง่าย</li> <li>- มีให้เลือกหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก จนถึงไม่เกิน 181,440 กิโลกรัมไอน้ำต่อ ชั่วโมง โดยขนาดที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ คือ กำลังการผลิตไอน้ำไม่เกิน 45,000 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง</li> <li>- ใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิงน้อย ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด</li> <li>- การควบคุมมลพิษอากาศใช้อุปกรณ์ กำจัดง่าย ๆ เช่น ไซโคลน, เครื่องดักฝุ่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีส่วนประกอบที่ต้องเคลื่อนที่ขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาสูง</li> <li>- ใช้พื้นที่ติดตั้งส่วนเตาเผามาก</li> <li>- อัตราการปล่อยความร้อนต่อปริมาตรต่ำกว่าเตาเผาแบบอื่น สามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาตรเล็อย่างต่ำ 8</li> </ul>
การเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดโดยใช้เดี่ยว หรือผสมที่มีคุณภาพแตกต่างกันมากได้</li> <li>- เนื่องจากอุณหภูมิในเตาเผาต่ำ (ไม่เกิน 1,000 °C) ทำให้ลดการกัดกร่อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะเวลาเริ่มจุดเตา/หยุดเดินเตานาน ระบบป้อนมันแปรกับสมบัติของเชื้อเพลิงมาก</li> <li>- ท่อไอน้ำเกิดการกร่อน (Erosion) สูง เนื่องจากไอระเหยแก๊ส</li> <li>- ระบบจัดการกับเถ้าขนาดใหญ่ และยุ่งยาก ใช้พลังงานสำหรับพัดลมของหม้อไอน้ำสูง</li> </ul>
การเผาไหม้แบบลอยตัว	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงง่าย และมีการตอบสนองเร็ว</li> <li>- ได้เปลวไฟที่อุณหภูมิสูงในตำแหน่งที่ถูกต้องและเปลวมีการแผ่รังสีความร้อน</li> <li>- การเผาไหม้สมบูรณ์โดยไม่ต้องใช้อากาศเกินพอสูง</li> <li>- มีชั่วโมงการใช้งาน (Availability) สูง ได้เถ้าที่มีคุณภาพสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิงให้มีขนาดและความชื้นตามที่ออกแบบ</li> <li>- เถ้าเบา มีขนาดเล็กและส่วนใหญ่ติดไปกับ Flue Gas ต้องใช้ระบบกำจัดที่มีประสิทธิภาพสูง</li> <li>- ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ ประมาณ 800–900°C และใช้กระบวนการเผาไหม้แบบหลายขั้นตอน (Staged Combustion) และการจำกัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่ให้เกิน 6% (Excess Air &lt; 30%) เพื่อลดการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์</li> </ul>

### 2.3 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงร่วม (Co-fired Technology)

เทคโนโลยีการเผาไหม้ร่วมอาศัยหลักการการเผาไหม้โดยตรง แต่มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล หรือการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลายชนิดร่วมกัน ทั้งนี้เพื่อประโยชน์หลายประการต่อไปนี้

- 1) เพื่อเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียนลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ
- 2) เป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีโอกาสหมดลงได้
- 3) ลดปริมาณการเกิดแก๊สพิษที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 4) การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลายชนิดร่วมกันเป็นการลดการพึ่งอุปทานของชีวมวลเพียงชนิดเดียว

ซึ่งในกรณีนี้มีโรงไฟฟ้าถ่านหินหลายแห่งสามารถนำระบบการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเผาไหม้ร่วมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อเป็นการลดการปล่อยมลภาวะทางอากาศโดยเฉพาะแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แม้ว่าชีวมวลจะมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าถ่านหิน แต่มีราคาถูก และชีวมวลยังมีปริมาณมาก

### 2.4 เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis Technology)

เทคโนโลยีไพโรไลซิสอาศัยกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะที่อับอากาศ ได้ผลิตภัณฑ์คือ ถ่านชาร์ น้ำมันชีวภาพและแก๊ส ปฏิริยาไพโรไลซิสยังเป็นปฏิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงต้นของปฏิริยาแก๊สซิฟิเคชันและปฏิริยาการเผาไหม้ด้วย เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ปฏิริยาไพโรไลซิสเกิดขึ้นตาม 5 ขั้นตอนหลักคือ

- 1) การปลดปล่อยความชื้น
- 2) การแตกตัวของพันธะเคมีต่างๆ และปลดปล่อยไอน้ำ และสารระเหย (Volatile) ซึ่งประกอบด้วยสารระเหยโมเลกุลใหญ่สามารถควบแน่นเป็นของเหลวที่ อุณหภูมิห้องและแก๊สจำพวกคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊ส ไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น มีเทน อีเทน ไฮโดรเจน และเกิดผลิตภัณฑ์ของแข็งคือ ถ่านชาร์ (Char)
- 3) การเกิดปฏิริยาคายความร้อนของสารระเหย และมีการปล่อยแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น
- 4) ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ไอของสารระเหยโมเลกุลใหญ่หากไม่ได้รับการควบแน่นจะเกิดปฏิริยาทุติยภูมิ (Secondary Reaction) คืออาจเกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น ยึดติดอยู่กับถ่านชาร์ หรือแตกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงในรูปของแก๊ส

5) ปฏิกริยาสิ้นสุดลงโดยสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราการให้ความร้อน (Heating Rate) อุณหภูมิที่ทำปฏิกริยา (Temperature) เวลาที่ทำปฏิกริยา (Residence Time) โดยหากต้องการผลิตภัณฑ์หลักคือผลิตภัณฑ์ของเหลวซึ่งอยู่ในรูปของน้ำมัน จะต้องทำปฏิกริยาไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) ซึ่งใช้อัตราการให้ความร้อนสูง ( $> 1,000$  องศาเซลเซียสต่อวินาที) อุณหภูมิปานกลาง และระยะเวลาที่ทำปฏิกริยาโดยเฉพาะของไอสารระเหยจะต้องสั้นมาก แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์หลักคือ ถ่านชาร์ จะใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำ อุณหภูมิปานกลางและระยะเวลาที่ทำปฏิกริยานาน หรือที่เรียกว่า ปฏิกริยาไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) และลักษณะของระบบไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

## 2.5 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Technology)

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันเป็นการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric Fuel Air Ratio) ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน เรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (Synthesis Gas) ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกริยา แก๊สที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ  $3 - 5 \text{ MJ/Nm}^3$  หากมีการเติมไอน้ำด้วยจะทำให้ได้แก๊สที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกริยา แก๊สที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าคือ ประมาณ  $15 - 20 \text{ MJ/Nm}^3$  แก๊สผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปใช้ในรูปของเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานหรือนำไปใช้ผลิตเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่นต่อไป เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันสามารถรองรับวัตถุดิบได้หลากหลายชนิดและคุณสมบัติ นอกจากชีวมวลประเภทเศษไม้หรือของเหลือจากการเกษตรแล้ว บางกระบวนการได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถใช้กับกากตะกอนน้ำเสีย (Sewage Sludge) และขยะ

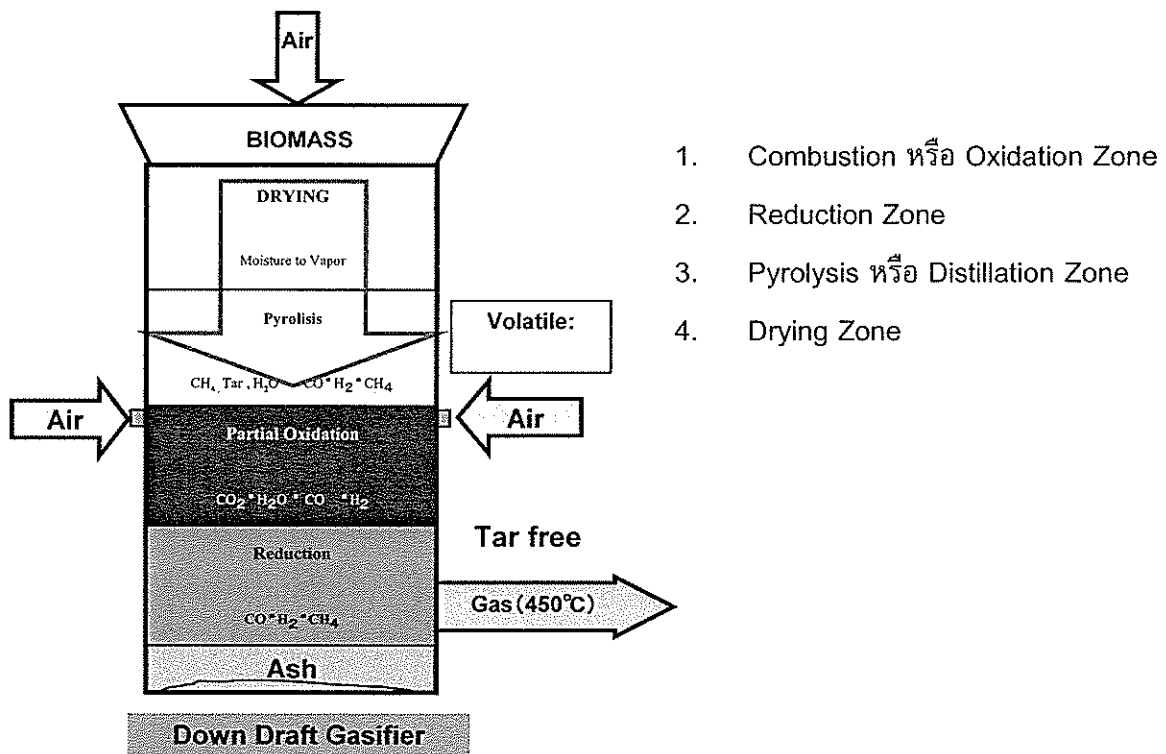
องค์ประกอบของระบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับการผลิตพลังงานประกอบด้วยส่วนแรก คือ เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชัน (Gasifier) ซึ่งเป็นส่วนที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อป้อนเป็นเชื้อเพลิงสู่ส่วนที่สอง คือ ระบบผลิตพลังงาน (Power Generation System) โดยแก๊สเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ระบบผลิตพลังงานจะต้องมีการบำบัดเสียก่อนเพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อส่วนต่างๆของระบบผลิตพลังงาน และส่วนที่สาม คือ ส่วนควบคุมมลพิษ (Pollutant Control Unit)

### 2.5.1 ทฤษฎีแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) เป็นกระบวนการที่ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดไฟติด และมีค่าความร้อนสูง โดยอาศัยปฏิกริยาอุณหเคมี (Thermo-chemical Reaction) ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) แก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

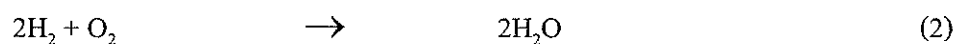
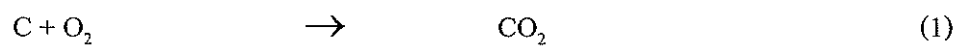
ซึ่งสถานะที่ทำให้เกิดแก๊สดังกล่าวก็คือ สถานะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ เป็นสถานะที่มีการจำกัดปริมาณอากาศหรือแก๊สออกซิเจน เพราะหากมีแก๊สออกซิเจนเพียงพอ หรือมากเกินไปจะกลายเป็นกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Combustion) และมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำออกมาซึ่งไม่คิดไฟ

ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยโซนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

Combustion หรือ Oxidation Zone เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เชื้อเพลิงชีวมวลจะลุกไหม้ เกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการที่ (1) ถึง (2)



ปฏิกิริยาใน สมการที่ (1) และ (2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคูดความร้อนในโซน Reduction และ โซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1,100 – 1,500 °C

Reduction Zone แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ใน Zone นี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500 – 900 °C ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ไฮโดรเจน และมีเทน ดังสมการที่ (3) ถึง (7)



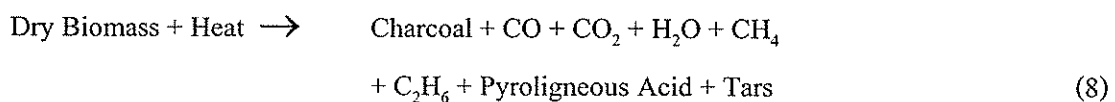
ปฏิกิริยาในสมการที่ (3) เรียกว่า Boundouard Reduction และปฏิกิริยาในสมการที่ (4) เรียกว่า Water Gas Reduction เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 °C แก๊สที่ได้จากสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สหลักที่ต้องการ ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สชีววมวลนี้จะขึ้นอยู่กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ว่าจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ร้อนได้มากน้อยเพียงใด

ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงชีววมวล และพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงชีววมวล ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงชีววมวลที่ใช้ จะมีผลต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงชีววมวลขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีววมวลมีค่าต่ำ

แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้นและแก๊สที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้น จากปฏิกิริยาถ้าอุณหภูมิในโซน Reduction สูงกว่า 900 °C แล้วแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 1,100 °C จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซน Reduction

ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (5) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 500-600 °C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สชีววมวลมีค่ามากขึ้นซึ่งมีผลทำให้แก๊สมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้าในกระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไปไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการที่ (6) (ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water Shift Reduction) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีววมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีววมวลที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้ ดังสมการที่ (7) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Methane Production

Pyrolysis หรือ Distillation Zone รับความร้อนจากโซน Reduction ทำให้ Volatile Matter ที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200-500 °C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ก็คือคาร์บอนในรูปถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion ปฏิกิริยาที่ได้ในโซนนี้แสดงไว้ในสมการที่ (8)



Drying Zone ในโซนนี้ความร้อนจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของ Volatile Matter แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยออกมาได้ โซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100-200 °C

### 2.5.2 ชนิดของเตาผลิตแก๊สชีววมวล (Type of Gasifier)

ชนิดของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasifier) แบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงวัตถุดิบ (ชีววมวล) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบคอลัมน์ (Fixed Bed Gasifier) และแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์ (Dutta, 1998) และวัตถุดิบที่ใช้ หากต้องการนำไปใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่แล้วพบว่าเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์ มีความเหมาะสมเพราะนอกจากจะสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงด้วยระบบที่ไม่ซับซ้อนและยังสามารถนำพลังงานที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์นี้สามารถจำแนกตามทิศทางการป้อนอากาศในเตาคือ ถ้าอากาศถูกป้อนจากด้านล่างขึ้นข้างบนของเตาเรียกว่า Updraft Gasifier และถ้าป้อนจาก



ส่วนบนของห้องเผาไหม้ด้านล่างของเตาเรียกว่า Downdraft Gasifier ส่วนอากาศเข้าในแนวขวางเรียกว่า Crossdraft Gasifier ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1) เตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนจะทยอยเลื่อนลงมาใน โชนเผาไหม้ ซึ่งจะสวนทิศกับอากาศที่เข้าทางด้านล่างและลอยขึ้นด้านบนของเตาเผา ซึ่ง โพรคิวเซอร์แก๊ส (producer gas) ที่ถูกผลิตออกจากระบบนี้ก็จะลอยขึ้นและไหลออกจากเครื่องผลิตทางด้านบน (รูปที่ 2.5) เครื่องผลิตแก๊สชนิดนี้จะผลิตโพรคิวเซอร์แก๊สที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากโพรคิวเซอร์แก๊ส (producer gas) ที่ลอยขึ้นจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างความร้อนของโพรคิวเซอร์แก๊ส (producer gas) กับเชื้อเพลิงในชั้นบนซึ่งเป็นการอุ่นเชื้อเพลิงก่อน แต่ระบบนี้จะมีปัญหาทางด้านน้ำมันดิน (tar) สะสมอยู่มาก

### 2) เตาผลิตแก๊สแบบไหลลง (Downdraft Gasifier)

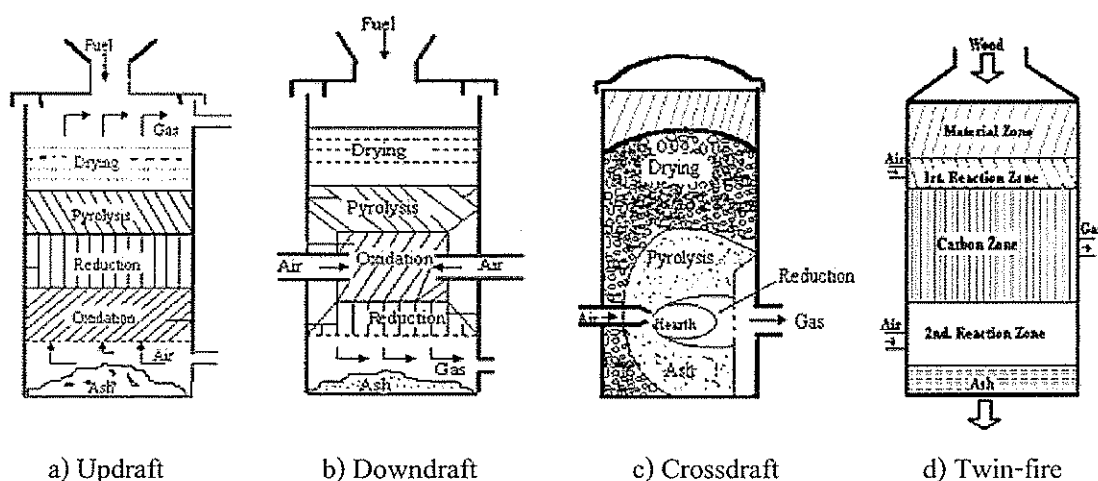
เตาผลิตแก๊สแบบไหลลงเป็นระบบที่ให้อากาศไหลลงผ่าน โชนเผาไหม้ แก๊สที่ผลิตได้จะไหลออกทางด้านล่างของเตา (รูปที่ 2.5) โดยหลักการของระบบนี้คือ น้ำมันดินจากโชนกลั่นตัวนั้นสามารถสลายที่อุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้โพรคิวเซอร์แก๊ส (producer gas) ซึ่งยังมีปริมาณน้ำมันดินอยู่นั้นผ่าน โชนเผาไหม้ ซึ่งเป็นโชนที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดก่อน แล้วจึงผ่านเข้าโชนรีดักชันแล้วได้โพรคิวเซอร์แก๊ส (producer gas) ออกทางด้านล่างของระบบ แต่เครื่องผลิตแก๊สแบบไหลลงนั้นมีข้อจำกัด คือ ไม่เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเถ้าสูง และเชื้อเพลิงที่เกิดสแลก (slag) ได้ง่าย

### 3) เตาผลิตแก๊สแบบไหลขวาง (Cross-draft Gasifier)

เป็นเตาที่ได้รับการพัฒนาจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) และแบบไหลลง (Downdraft gasifier) เป็นระบบที่สามารถเร่งเครื่องได้ดีมาก เนื่องจากโชนเผาไหม้มีบริเวณแคบ (รูปที่ 2.5) อุณหภูมิจึงสามารถขึ้นถึง 2000 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาเริ่มระบบเร็วกว่าเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นและเตาผลิตแก๊สแบบไหลลง คือใช้เวลาเพียง 5-10 นาที ซึ่งระบบนี้มีข้อด้อยคืออุณหภูมิของโพรคิวเซอร์แก๊สสูง ช่วงเดินทางของแก๊สสั้นทำให้ต้องใช้ความเร็วสูง ทำให้โอกาสที่แก๊สจะครบช่วงปฏิกิริยาน้อยลง ดังนั้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เพียงบางส่วนที่ถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) ในโชนรีดักชัน เปลวไฟและโชนขี้เถ้า ของเครื่องผลิตแก๊สแบบไหลขวางนั้นไม่ได้แยกขาดกันด้วยตะกรับ ดังนั้นต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้าต่ำเท่านั้น

#### 4) เตาผลิตแก๊สแบบเผาสองโซน (Twin-fire Gasifier)

เป็นการร่วมกันของ Co-Current กับ Counter-Current Twin-fire Gasifier ประกอบด้วย 2 โซนหลักในการทำปฏิกิริยา คือ โซนบน จะเป็นปฏิกิริยาอุณหภูมิของเชื้อเพลิง จะมีอุณหภูมิต่ำ และแก๊สบางส่วนเกิดจากการแตกตัวที่โซนด้านบน ขณะเดียวกันที่โซนล่าง จะเป็นปฏิกิริยาอุณหภูมิของถ่านคาร์บอนที่ร้อน อุณหภูมิของแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าระหว่าง 460-500 c ขบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นภายใต้ความดัน 30 mbar. ดังนั้นเตาผลิตแก๊สแบบเผาสองโซน จึงเป็นระบบที่ได้ผลผลิตแก๊สค่อนข้างสะอาด แต่ต้องควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสม ให้อยู่ในสภาวะการเผาไหม้ที่มีอากาศจำกัด



รูปที่ 2.5 เตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดต่างๆ

#### 2.5.3 ระบบผลิตพลังงาน (Power Generation System)

แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยทำได้หลายแนวทาง ดังต่อไปนี้

##### 1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากไอน้ำโดยผ่านกังหันไอน้ำ

แก๊สเชื้อเพลิงจะถูกส่งจากเครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันเข้าห้องเผาแบบ Close-coupled Combustion Chamber จากนั้นแก๊สร้อนที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังหม้อไอน้ำ (Waste Heat Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำที่ใช้ในการเดินกังหันไอน้ำและผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไปเหมือนในกรณีของไอน้ำที่ผลิตได้จากความร้อนจากระบบการเผาไหม้โดยตรง ส่วน Flue Gas ที่เกิดขึ้นจากหม้อไอน้ำจะต้องผ่านระบบบำบัดมลพิษทางอากาศก่อนระบายออกสู่บรรยากาศต่อไป

## 2) การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงในการเดินเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือเครื่องยนต์ดีเซล

แก๊สเชื้อเพลิงจะถูกส่งจากเครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันจะถูกทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่อาจเป็นอันตรายต่อส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์โดยเฉพาะส่วนที่เป็นโลหะจะเกิดการสึกหรอเนื่องจากการกัดกร่อน หลังจากนั้นพลังงานกลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป ซึ่งเครื่องยนต์จะต้องทำการดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้กับแก๊สเชื้อเพลิง การเดินเครื่องยนต์ดีเซลอาจใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สเชื้อเพลิง 100% หรือใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลใน Dual Fuel Diesel Engine

## 3) การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยการเผาเพื่อเดินกังหันแก๊ส

ทางเลือกอีกทางหนึ่งของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลคือ การใช้เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลร่วมกับวัฏจักรกังหันแก๊ส (Biomass-integrated Gasifier/Gas Turbine Technology BIG/GT) เทคโนโลยีนี้เป็นการรวมวัฏจักรเบรตัน (Brayton Cycle) ซึ่งเป็นวัฏจักรหลักของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส และเทคโนโลยีการผลิตแก๊สจากถ่านหินมาประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล ระบบดังกล่าวจะมีต้นทุนโรงไฟฟ้าต่อหน่วยของกำลังการผลิตต่ำกว่าในขณะเดียวกันจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

แก๊สเชื้อเพลิงจะถูกส่งจากเครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันจะถูกทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ ผุ่น ชีวเถ้าหรือแก๊สต่างๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อกังหันใบพัด (Turbine Blades) ออกก่อนป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส ซึ่งแก๊สจะต้องมีความสะอาดค่อนข้างสูง โดยทั่วไปสามารถตรวจสอบได้กับผู้ผลิตกังหันแก๊ส แก๊สที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ในกังหันแก๊สเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป ข้อควรระวังสำหรับระบบนี้ คือ ระบบต้องการใช้แก๊สที่มีค่าความร้อน (Heating Value) ค่อนข้างสม่ำเสมอ หากใช้แก๊สเชื้อเพลิงซึ่งมีค่าความร้อนที่แตกต่างกันมากๆ อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการดำเนินงาน และทำให้ค่าดำเนินงานระบบสูงขึ้น ไปอีก ยกตัวอย่างเช่น ขยะมูลฝอยชุมชนซึ่งมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันมาก หรือมีค่าความชื้นสูง จะส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้หรือค่าปีที่บูมีค่าแตกต่างกันมาก สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเสริม ซึ่งจะก่อให้เกิดความซับซ้อนในการดำเนินงานมากขึ้น และยังส่งผลต่อราคาค่าดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นด้วย

## 2.6 การพัฒนาเทคโนโลยีแก๊สฟิสิกซ์ในประเทศไทย

การตรวจสอบงานวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานในส่วนของ Biomass Gasification (การนำชีวมวล หรือ Biomass มาผลิตพลังงานด้วยกระบวนการ Gasification) ในประเทศไทย พบว่า ได้มีการทดลองสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากถ่านไม้ ในปี 1979 (กองเกษตรวิศวกรรม, 2522) โดยนำมาใช้ในผลิตเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 5 แรงม้า เพื่อใช้ในการสูบน้ำเพื่อการเกษตร พบว่ามีความเหมาะสมที่จะใช้ในท้องถิ่นที่มีถ่านมาก เช่น ในภาคใต้ที่มีการตัดยางพาราเพื่อปลูกยางพันธุ์ดีทดแทนในยุคนั้น

ส่วนกลุ่มวิจัยที่ได้รับเครดิตและถือได้ว่าเป็นผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Biomass Gasification อย่างจริงจังก็คือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ทำการศึกษาและพัฒนา Gasification System ขนาดเล็กสำหรับการใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้น ในช่วงปี 1981-1990 โดยเฉพาะในช่วงปี 1989-1990 Gasification System ขนาด 10 kW<sub>e</sub> ที่พัฒนาขึ้นใช้งานไปได้ 700 ชั่วโมง ใช้ในการสาธิตและฝึกอบรม นอกจากนี้มีการติดตั้ง 3 เครื่องในเขตที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีกด้วย (RAR-FAO, 1999)

การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี Biomass Gasification ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ ในการนำพลังงานที่ได้จากกระบวนการ Gasification มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในแ่งมุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเทคนิค และรายละเอียดการออกแบบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงตลอดจนสภาวะต่างๆที่เหมาะสมที่จะผลิตแก๊สให้ได้คุณภาพ ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งเป็นต้นกำลังในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งเรื่องของวัตถุดิบ (Biomass) อื่นๆที่มีศักยภาพอีกด้วย (Coovattanachai et al., 1982; Coovattanachai, 1982a; Coovattanachai, 1982b ; Coovattanachai, 1983; Coovattanachai, 1986; Coovattanachai, 1990; Coovattanachai, 1997)

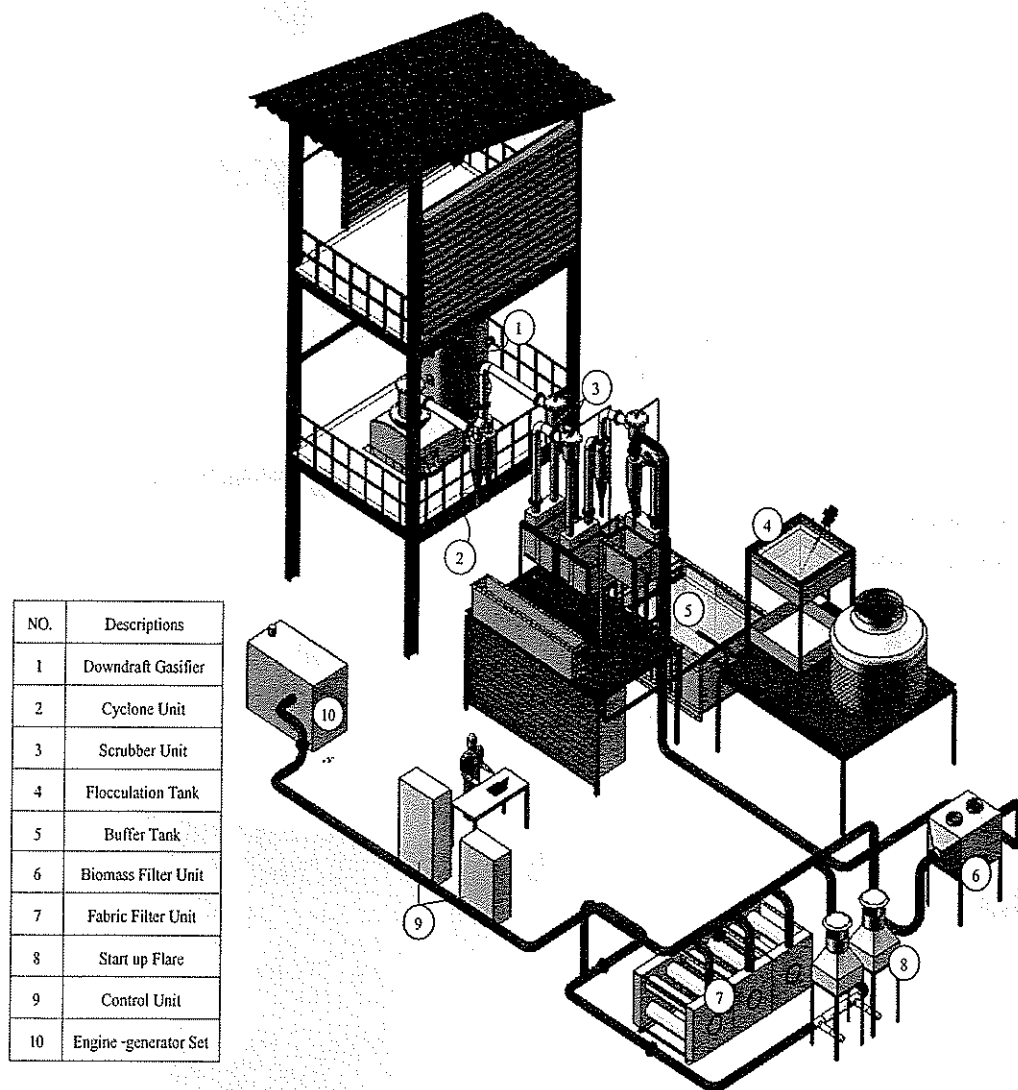
จากการที่โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี Biomass Gasification ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล และหน่วยงานระหว่างประเทศที่ผ่านมามากมายในอดีต แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าและเป็นที่ยอมรับในเทคโนโลยีและศักยภาพของประเทศไทยที่สามารถผลิตพลังงานจากกระบวนการ Gasification ได้เป็นอย่างดี จากรายงานของ Biomass Gasification Component of Renewable Non-conventional Energy Project (Chulalongkorn Univ., 1985) ซึ่งเป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพลังงานแห่งชาติ (National Energy Administration) และ U.S. Agency for International Development พบว่ามีการออกแบบ สร้าง ทดสอบ Gasifier นำใช้งานในลักษณะ Pilot Project โดยมีการพัฒนารูปแบบ Gasifier หลายชนิด ชนิดที่เป็น Fixed Bed Gasifier มีตั้งแต่ขนาด 0.5 kW<sub>e</sub> จนถึง 25 kW<sub>e</sub> หรือแม้กระทั่ง Fluidized Bed Gasifier ซึ่งไม่เพียงแต่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่านั้นที่ได้ที่ได้รับการสนับสนุน

## 2) ต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

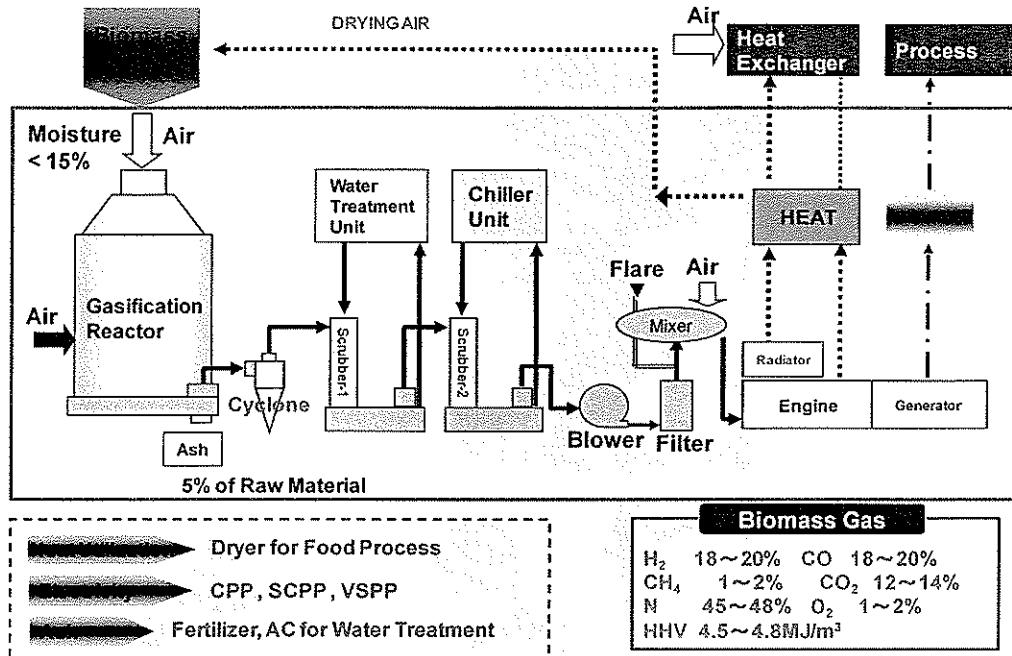
โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนเริ่มก่อสร้างในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2548 โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบริษัท ซาตาเคะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศญี่ปุ่น มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาระบบการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยอาศัยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาวิจัย และเผยแพร่ไปสู่ชุมชน โดยดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นปีมหามงคลที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช ทรงครองราชสมบัติ ครบ 60 ปี ซึ่งพระองค์ทรงเปรียบเสมือนพระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ ตามหลัก“เศรษฐกิจพอเพียง” ที่มีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ชีวมวล) ที่มีอยู่ในพื้นที่ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าหมุนเวียนก่อให้เกิดการพึ่งพาตนเองในด้านพลังงานของชุมชน

ในปีมหามงคลนั้นเอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้รับพระบรมราชานุญาตให้ใช้ชื่อ **โรงไฟฟ้าชีวมวลเฉลิมพระเกียรติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี** โดยได้รับพระมหากรุณาธิคุณจาก สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินเป็นองค์ประธานในพิธีเปิด เมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2549 โรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” นี้มีกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์ เป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กใช้เทคโนโลยี Biomass Gasification ชนิด Open Top Downdraft Gasification โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงทางด้านบน ที่ใช้หลักการเผาไหม้ที่ควบคุมปริมาณอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นของแข็ง จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สมือองค์ประกอบคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 18-22% แก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) 18-20% และ แก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) 1-2% มีค่าความร้อนเฉลี่ย 4.5-5.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือแก๊สธรรมชาติได้ โดยแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดอย่างเหนียวและฝุ่น (Tar and Dust) และลดอุณหภูมิแล้ว จะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่เป็นต้นกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าได้

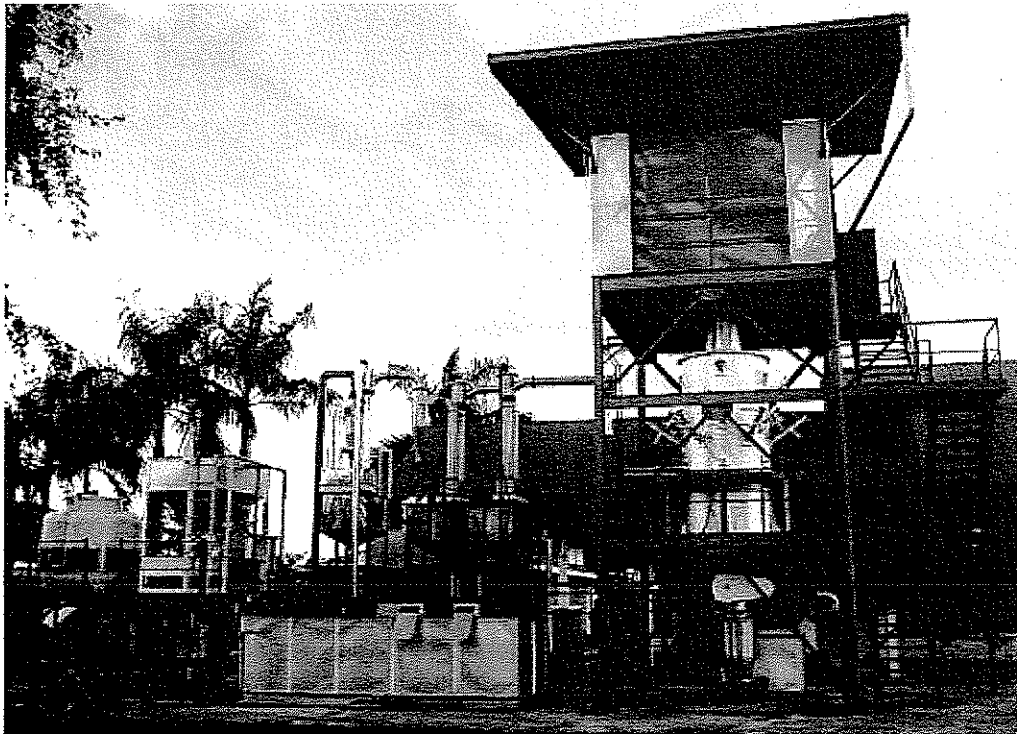
จากผลการศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก (วีรชัย อาจหาญและคณะ, 2549; 2550; 2551) สรุปได้ว่า โรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับชุมชนสามารถใช้ได้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ชีวมวล) ได้ทุกประเภท อาทิ เศษไม้ ทางและทะเลายปาล์ม แกลบ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ฯลฯ จึงเหมาะสมกับทุกภาคของประเทศไทย



รูปที่ 2.8 แผนผังส่วนประกอบที่สำคัญของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.9 กระบวนการและการจัดวางระบบต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.10 ต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทั้งนี้เทคโนโลยี Hybrid Updraft-downdraft Gasifier นี้ ก็เป็นอีกได้รับการพัฒนาต่อเนื่อง โดยศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ปี 2544-2548) โดยมีการพัฒนาต้นแบบโรงไฟฟ้าและสถานีอบแห้ง ขนาด 30 kW<sub>e</sub> โดยเน้นการนำไปใช้ในสถานประกอบการ และมีการเผยแพร่ติดตั้ง โรงงานต้นแบบ 2 แห่ง คือ

- 1) ไร่เคหะนคร บริษัท เคหะนครจำกัด ต.ลาดบัวขาว อ. สีคิ้ว จ. นครราชสีมา
- 2) สถานีบ่มใบยา เวียงแก้ว อ. แม่สาย จ. เชียงราย

โดยมีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าควบคู่กับการใช้ความร้อนร่วมในการ อบแห้งใบกระถินยักษ์ (อาหารสัตว์) และใบยาสูบ จากการติดตามประเมินผลพบว่า โรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบสามารถใช้ในการนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการอบแห้งได้ แต่ยังคงจำเป็นต้องทำการออกแบบระบบป้อนอากาศให้มีความเหมาะสมมากขึ้น เพื่อให้ปฏิกิริยาอุณหเคมีในเตาเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิง คือ เพิ่มองค์ประกอบของแก๊สที่เผาไหม้ได้ และลดปริมาณยางเหนียวลง

## 2.7 สรุป

ผลการศึกษาของวีรชัย อัจหาญ และคณะ (2549; 2550; 2550) จากรายงานการวิจัย โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล (ระยะที่ 1) โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล (ระยะที่ 2) และโครงการศึกษาด้านทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน กรณีศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล ขนาด 100 กิโลวัตต์ (เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันแบบ Fixed Bed Downdraft Gasifier) สรุปได้ว่า เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน มีเสถียรภาพ และได้รับการยอมรับกันทั่วโลกว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความปลอดภัย เพราะเป็นระบบความดันต่ำ (Low Pressure) เหมาะสมสำหรับชุมชน

อย่างไรก็ตาม สำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทาง Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier การพัฒนาอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ ยังเป็นเรื่องที่จำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงมี คุณภาพมากที่สุด เพื่อความหลากหลายของการนำไปใช้ประโยชน์ อาทิ ช่วยเพิ่มองค์ประกอบของแก๊สที่เผาไหม้ได้ซึ่งจะส่งผลต่อการนำอบแห้ง และช่วยลดปริมาณยางเหนียวเพื่อไม่ส่งผลต่อชิ้นส่วน อุปกรณ์ของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน โดยการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ในประเทศไทย



## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ทำการออกแบบ Reactor หรือ Gasifier แบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier กำลังการผลิต 20 ไฟฟ้า 20 kWh และความต้องการเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน 2) การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ ประเมินปริมาณก๊าซ CO, H<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ปริมาณยางเหนียว และระบบป้อนชีวมวลในเตาเผา 3) ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง เพื่อเป็นการนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้ง (Dryer) และติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ (Generator set) 4) การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน 4) การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคของใช้งานของ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier

#### 3.2 อุปกรณ์และวิธีการ

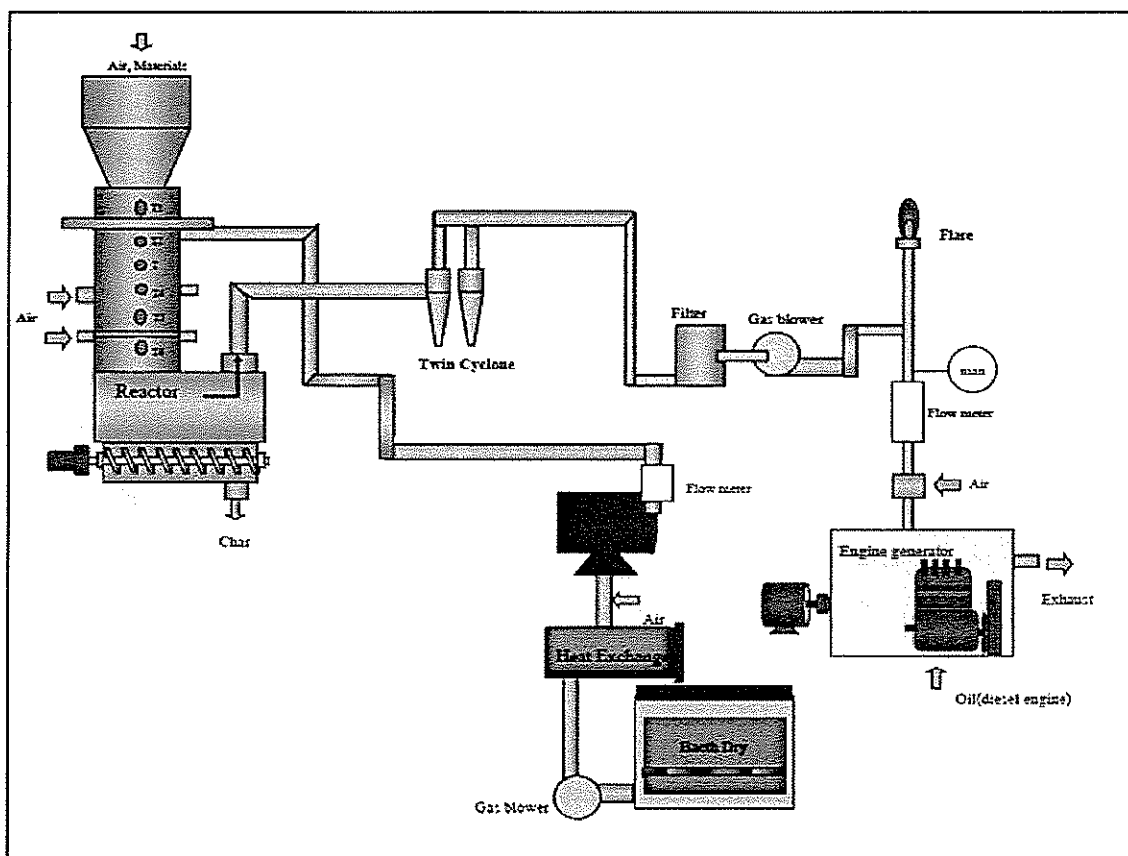
งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ โดยมีอุปกรณ์และวิธีการ ดังต่อไปนี้

##### 3.2.1 การออกแบบ และสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง

ทำการออกแบบ Reactor หรือ Gasifier สำหรับใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยใช้กระบวนการ Gasification โดยมีแนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design) หลักๆ 2 ประการคือ สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและการอบแห้ง (Double application design) และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental friendly design) ซึ่ง Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier ที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องและตรงกับแนวทางการออกแบบในครั้งนี้

โดยข้อมูลเบื้องต้นสำหรับที่ใช้ในการออกแบบ ได้มาจากการประมาณความต้องการพลังงานในชุมชนขนาดเล็ก ในที่นี้เราใช้ข้อมูลเบื้องต้นจาก ฟาร์มมหาวิทยาลัยที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง อยู่ที่ 20 kWh และความต้องการเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน หลังจากทำการออกแบบขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลาง) ของ Reactor โดยการทำให้ Energy Balance จะสามารถหาค่าประมาณของขนาดของ Reactor ได้ โดยที่เราให้ความสูงของ Reactor เท่ากับ 3 เมตรตามต้นแบบที่ถูกพัฒนาโดย นักวิจัยจาก AIT

จากนั้นทำการออกแบบระบบทำความสะอาดและลดอุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงที่ช่องออกด้านล่าง อันเนื่องมาจาก การที่เราจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล จำเป็นต้องสะอาด ไม่มีฝุ่นละออง ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบถังลมหมุนที่ดักอนุภาคฝุ่นละอองขนาดใหญ่ออกก่อน และทำการออกแบบระบบลดอุณหภูมิด้วยน้ำเพื่อป้องกันการชิงจุดของเครื่องยนต์ และสามารถดักฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้อีกด้วย หลังจากนั้นทำการสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง การวางระบบสำหรับ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier ดังแสดงใน รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การวางระบบสำหรับ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier

### 3.2.2 การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง แม้ว่าเราจะทำการออกแบบมาอย่างดีแล้ว แต่ในสภาวะการทำงาน ที่ทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ (Combustible gas) ที่มีคุณภาพซึ่งมีปริมาณ  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  และ  $\text{H}_2$  สูง และ  $\text{CO}_2$  อยู่ปริมาณน้อยจำเป็นต้องควบคุมปริมาณและสัดส่วนการปนอากาศหรือก๊าซออกซิเจนระหว่างทางป้อนด้านบน และด้านล่างที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การควบคุมปริมาณก๊าซดังกล่าว สามารถทำได้โดยการปรับวาล์ว ที่ช่องทางเข้าของอากาศทั้งสองทาง โดยจะทำการวัด

คุณภาพของก๊าซเชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์ยางเหนียวที่ได้รับในช่องทางทั้งสอง เพื่อหาประสิทธิภาพของเตาเผาเชื้อเพลิงในกรณีที่ไม่มีภาระการทำงาน เพื่อคุณลักษณะการใช้ชีวมวล การติดขัดของชีวมวลในเตาเผา หรือแม้กระทั่งความสะอาดของก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

### 3.2.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง

พลังงานความร้อนที่ใช้ทำให้อากาศร้อนและพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาขับเคลื่อน ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้อากาศร้อนเป็นความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงที่จุดระเบิดในห้องเผาไหม้ (Burner) และทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สถานะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับการอบแห้ง โดยที่ขนาดของเครื่องอบแห้ง (Batch size) จะอยู่ที่ 2.5 ตัน โดยมีอัตราการอบอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการอบแห้งต่อไป

สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงให้เป็นเครื่องยนต์แบบ Dual-fuel engine โดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่าง น้ำมันดีเซลกับก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยทำการออกแบบให้สัดส่วนการใช้พลังงานงานระหว่าง น้ำมันดีเซลกับก๊าซเชื้อเพลิง 20:80 ในสถานะการทำงานที่คงที่ (Steady condition) สำหรับสถานะกระตุ้น (Exciting condition) จะใช้เชื้อเพลิงหรือพลังงานจากน้ำมันดีเซล ซึ่งทำให้ ระบบสามารถอยู่ได้ด้วยตัวเอง (Stand alone) แม้ว่าจะไม่มีแหล่งไฟฟ้าเลยก็ตาม

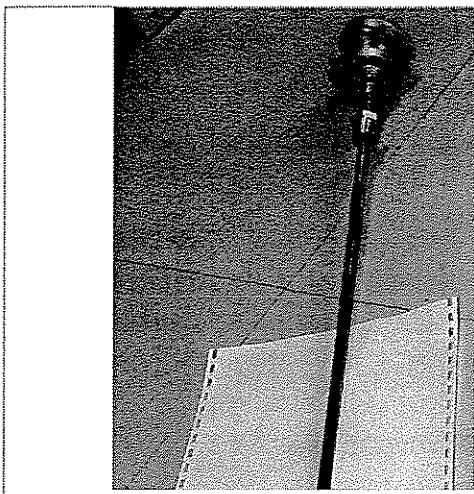
### 3.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงในขณะที่มีภาระงานสองอย่าง แม้ว่าจะทำการปรับแต่งเตาเผาอย่างดีแล้วในขั้นตอนที่ 2 แต่ในสถานะการทำงานจริงๆมีแรงดึงอากาศจากภายนอกนั้นคือ แรงดึงที่เกิดจากเคลื่อนที่ของกระบอกสูบเครื่องยนต์ และแรงดึงจากการดูดอากาศเข้าไปผสมสำหรับการอบแห้ง ซึ่งสถานะที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากภาระงานดังกล่าว จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 3 โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงเป็น 4 ระดับ พร้อมกับหาปริมาณและสัดส่วนการป้อนอากาศหรือก๊าซออกซิเจนระหว่างทางป้อนด้านบน และด้านล่างที่เหมาะสมเพื่อหาแนวทางการควบคุมอัตราการป้อนอากาศอัตโนมัติ

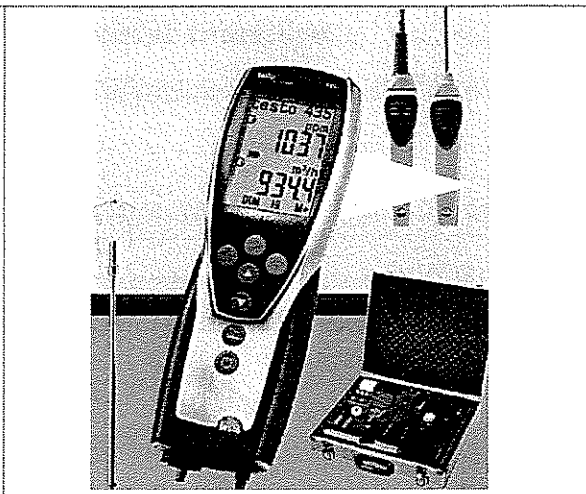
พารามิเตอร์ เครื่องมือวัด เครื่องมือวิเคราะห์ ของการศึกษาในหัวข้อนี้ แสดงรายละเอียดใน ตารางที่ 3.1 และแสดงใน รูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงพารามิเตอร์ เครื่องมือวัด ระบบการวัดและวิเคราะห์

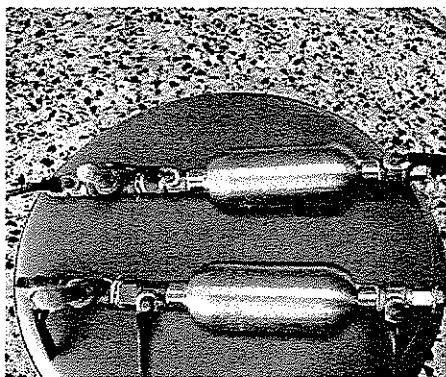
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	เครื่องมือวัด/Sensor
1. อุณหภูมิ (Temperature) - Reactor Temperature	$T_1-T_6$	Thermocouple Type K
2. อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง Gas Flow Rate (Nm <sup>3</sup> /hr)	-	Testo Model 435 Anemometer Model (range 5 to 40m/s: vane probes)
3. องค์ประกอบของแก๊ส Gas Composition (%V)	-	Gas Chromatography (Shimazu GC-14B)
4. อัตราการใช้เชื้อเพลิง Fuel Consumption (kg/hr)	$m_{Fuel}$	ตาชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง
5. อัตราการเกิดเถ้า Ash Production (kg/hr)	$m_{Ash}$	ตาชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง
6. ปริมาณทาร์และฝุ่น (Tar and Dust) - After Biomass Filter Box (mg/Nm <sup>3</sup> )	-	ปั๊มสุญญากาศ และ ความแน่น
7. Proximate Analysis (Raw material และ Ash)	-	เครื่องมือวิเคราะห์ / วิเคราะห์ ตาม มาตรฐาน ASTM D5142 – 04 และ ASTM D5865-04
8. Ultimate Analysis (Raw material และ Ash)	-	เครื่อง CHNS Analyzer



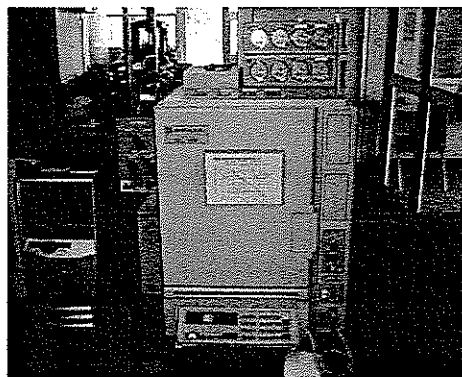
ก. Thermocouple Type K



ข. Gas Flow Meter



ค. อุปกรณ์บรรจุแก๊สเชื้อเพลิง  
(บรรจุแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์กับเครื่อง GC)



ง. เครื่อง Gas Chromatography (GC)



จ. ตาชั่ง

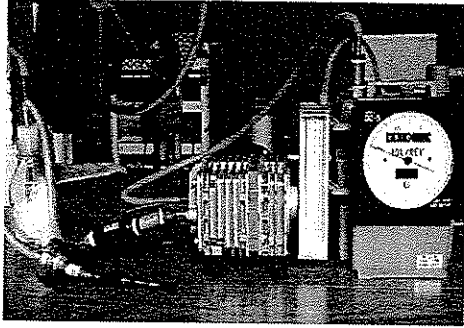
(ใช้วัด Fuel Consumption :  $m_{Fuel}$ )



ฉ. ตาชั่ง

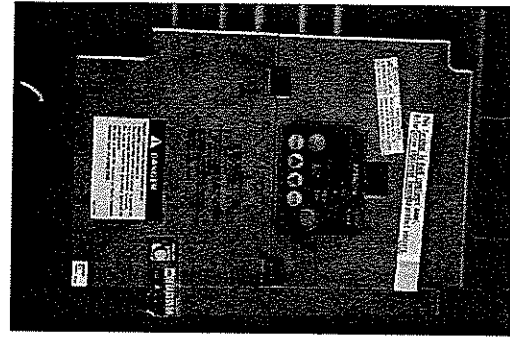
(ใช้วัด Ash Production :  $m_{Ash}$ )

รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด



ข. ชุด Filter and Condenser

(ใช้วัด Tar and Dust)



ข. Inverter

(ใช้ปรับอัตราป้อนอากาศของ Blower)

### รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด (ต่อ)

การประเมินประสิทธิภาพการ จะใช้วิธีการของ Bhattacharya et al. (2001)

#### 1) การประเมินประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าชีวมวล

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณ หาประสิทธิภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

#### 1.1) การประเมินประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency)

$$\text{Gasification Efficiency } (\eta_g) = \frac{[\text{Rate of energy carried by producer gas}]}{[\text{Rate of energy supplied to reactor}]}$$

$$\text{Gasification Efficiency } (\eta_g) = \frac{[V_g \times \text{HHV}_g]}{[m_{\text{fuel}} \times \text{HHV}_{\text{fuel}}]} \quad (1)$$

เมื่อ

$m_{\text{Fuel}}$  คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)

$V_g$  คือ อัตราการไหลของแก๊ส ( $\text{Nm}^3/\text{hr}$ )

$\text{HHV}_{\text{Fuel}}$  คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 (MJ/kg)

$\text{HHV}_g$  คือ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ( $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ )

1.2) การประเมินประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Reactor Efficiency)

$$\text{Reactor Efficiency } (\eta_R) = [V_g \times \text{HHV}_g] + [m_{\text{ash}} \times \text{HHV}_{\text{ash}}] / [m_{\text{fuel}} \times \text{HHV}_{\text{fuel}}] \quad (2)$$

เมื่อ

$\text{HHV}_{\text{ash}}$  คือ ค่าความร้อนของเถ้า (MJ/kg)

$M_{\text{ash}}$  คือ ปริมาณการเกิดเถ้า (kg/hr)

1.3) การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine-generator Efficiency)

$$\text{Engine-generator Efficiency } (\eta_e) = \frac{[\text{Energy equivalent of electrical power}]}{[\text{Rate of energy supplied to engine}]}$$

$$\text{Engine-generator Efficiency } (\eta_e) = [3.6 \times P_e] / [V_g \times \text{HHV}_g] \quad (3)$$

เมื่อ

$P_e$  คือ Electrical Power (kWh)

1.4) การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Electrical Efficiency)

Electrical Efficiency ( $\eta_{el}$ ) = [Energy equivalent of electrical power] / [Rate of energy supplied to reactor]

$$\text{Electrical Efficiency } (\eta_{el}) = [3.6 \times P_e] / [m_{\text{fuel}} \times \text{HHV}_{\text{fuel}}] \quad (4)$$

1.5) อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption: kg/kW)

$$\text{Specific Fuel Consumption} = [m_{\text{fuel}}] / [P_e] \quad (5)$$

อัตราการใช้เถ้าจำเพาะ (Specific Ash Production: kg/kW)

$$\text{Specific Ash Production} = [m_{\text{ash}}] / [P_e] \quad (6)$$

1.6) การคำนวณค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง (High heating value of producer gas)

$$\text{High heating value of producer gas: } CV_g = \sum X_i H_i \quad (6)$$

เมื่อ

$CV_g$  คือ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ( $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ )

$X_i$  คือ สัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง

$H_i$  คือ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ )

โดยที่ ( $\text{CO} = 13.1 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ ,  $\text{H}_2 = 13.2 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$  และ  $\text{CH}_4 = 41.2 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ )

## 2) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ข้อมูลของอุณหภูมิในเตาจะแสดงผลทางระบบ Data logger ซึ่งสามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้ตลอดเวลา (ในที่นี้จะเก็บทุกๆ 30 นาที) ที่ตำแหน่งความสูงต่างๆ ของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จำนวน 6 ตำแหน่ง ( $T_1$ - $T_6$ ) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Temperature profile) จะสามารถนำไปใช้อธิบายความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ เนื่องจากอุณหภูมิมิมีผลต่อองค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

## 3) การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบและเถ้า

3.1) วิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ของวัตถุดิบและเถ้า โดยใช้ Method ASTM D5142 - 04 และ ASTM D5865-04 ในการวิเคราะห์ %Moisture Content, % Volatile Mater, %Ash, % Fixed Carbon และ ค่าความร้อน (HHV) ตามลำดับ

3.2) วิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ของวัตถุดิบและเถ้า โดยใช้เครื่อง CHNS Analyzer ในการวิเคราะห์ธาตุ C, H, N และ S

### 3.2.5 การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน

ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคของใช้งานของ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier และเพื่อขยายผลไปใช้เชิงพาณิชย์ โดยต้องมีการวิเคราะห์ต้นทุนกำไร (Cost-benefit analysis) ของโครงการต่อไป เพื่อที่จะนำไปสู่การเผยแพร่และนำไปใช้ได้จริงในชุมชนหรือหมู่บ้าน



### 3.3 แผนการบริหารโครงการวิจัย

แผนดำเนินการตลอดระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ขั้นตอน	ระยะเวลาดำเนินการ												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. การออกแบบ และสร้างเตาผลิต เชื้อเพลิง													
2. การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง													
4 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง													
4. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน													
5. การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน													

### 3.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ผลของงานวิจัยนี้จะถูกตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทั้งในและต่างประเทศเพื่อให้วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้นำผลลัพธ์ไปขยายผล ไปประยุกต์ใช้ในลักษณะของงานอื่นๆอีก เป็นแนวทางหรือเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนจากชีวมวลของประเทศไทยต่อไป อีกทั้งจะถูกตีพิมพ์ลงในวารสารทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและเทคโนโลยีชนบทหรือเทคโนโลยีชาวบ้านเพื่อเผยแพร่ไปสู่ เกษตรกรหัวก้าวหน้าที่น่าสนใจ อีกทั้งยังเปิดให้ผู้สนใจเข้าชมและจัดสัมมนาแลกเปลี่ยนข้อมูล และทำการเชิญเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่สามารถนำประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยนี้ไปใช้(ดังแสดงเอาไว้ในหัวข้อที่ 13) มาประชุมแลกเปลี่ยนเพื่อหาแนวทางการเผยแพร่

อนึ่งการถ่ายทอดเทคโนโลยี ถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่นำผลการวิจัยและพัฒนาไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน โดยมีเป้าหมายในการส่งเสริมให้มีการนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ให้แพร่หลายด้วยโครงการนำร่อง หรือหน่วยสาธิต 10 หน่วยหรือ 10 หมู่บ้าน ในเขตจังหวัดนครราชสีมา และทำการประสานไปยังศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นเขตภาคกลาง 1 แห่งและศูนย์วิจัยพลังงานและเทคโนโลยีที่เหมาะสมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นเขตภาคเหนือตอนบน อีก 1 แห่งเพื่อให้ศูนย์ดังกล่าวได้ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ชุมชนในเขตจังหวัดใกล้เคียงต่อไป

ในการจัดตั้งหน่วยสาธิตนี้ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงจึงโดยจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งเงินทุนสนับสนุนในด้านการสร้างอุปกรณ์ต่างๆ จากหน่วยงานที่สนับสนุนเช่น สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ กองทุนพัฒนาเอเชียของ ธนาคารพัฒนาเอเชีย (Asian Development Bank) หรือ World Bank เป็นต้น

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์

#### 4.1 การออกแบบ และสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง

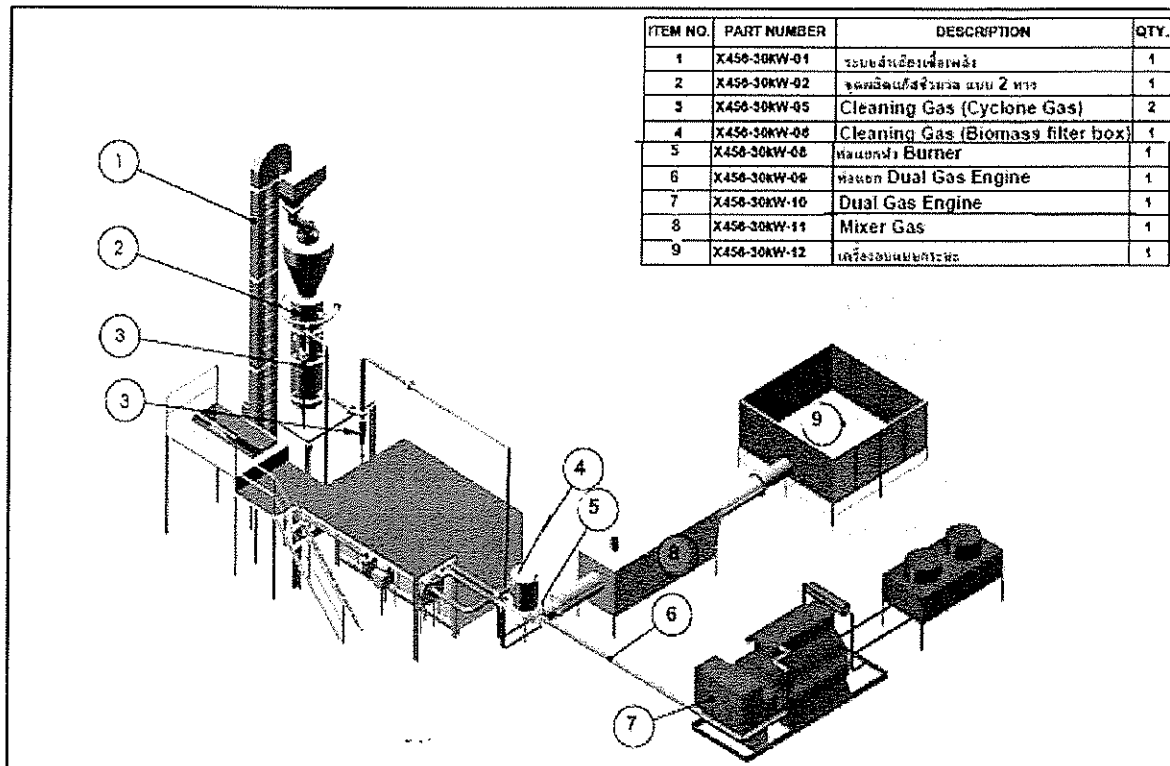
##### 4.1.1 ข้อมูลสำหรับการออกแบบ

โดยข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้ในการออกแบบได้มาจากการประมาณความต้องการพลังงานในชุมชนขนาดเล็ก ในที่นี้เราใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากฟาร์มมหาวิทยาลัยที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างอยู่ที่ 20 kW (ได้จากการคำนวณกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่องสว่างทั้งหมดที่ใช้ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัย) และความต้องการเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน หลังจากทำการออกแบบขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลาง) ของ Reactor โดยการทำ Energy Balance จะสามารถหาค่าประมาณของขนาดของ Reactor ได้ โดยที่เราให้ความสูงของ Reactor อยู่ที่ 3 เมตร ตามต้นแบบที่ ถูกพัฒนาโดย นักวิจัยจาก AIT

การออกแบบ ระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier การทำงานของระบบคือ เชื้อเพลิงจะถูกลำเลียงสู่ถังพักเพื่อรอที่จะเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ หลังจากนั้นวัตถุดิบจะถูกปล่อยลงสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์และจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น 4 โซนคือ โซนอบแห้ง (Drying zone) โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone) โซนการเผาไหม้ (Combustion zone) และ โซนรีดักชัน (Reduction zone)

ส่วนที่เป็น Updraft เชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนจะทยอยเลื่อนลงมาในโซนเผาไหม้ ซึ่งจะสวนทิศกับอากาศที่เข้าทางด้านล่างและลอยขึ้นด้านบนของเตาเผา ซึ่งโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) ที่ถูกผลิตออกจากระบบนี้จะลอยขึ้นและไหลออกจากเตาผลิตแก๊สทางด้านบน และจะไหลผ่านชุดเผาไหม้ (Burner) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สภาวะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับการอบแห้งต่อไป ส่วนที่เป็น Downdraft ซึ่งโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) ที่เกิดในโซนรีดักชันจะไหลผ่านทางออกด้านล่าง ไปสู่ไซโคลนลดปริมาณทาร์และลดอุณหภูมิของแก๊ส โดยผ่านอุปกรณ์ควบแน่น (Condenser) ที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าต่อไป

แนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design) หลักๆ 2 ประการคือ สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและการอบแห้ง (Double application design) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design)

#### 4.1.2 สร้างตามผลิตเชื้อเพลิง

รายละเอียดของอุปกรณ์ ระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ ของระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier

<b>Make</b>	SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	
<b>Capacity</b>	20 kW	
<b>Feedstock</b>	Wood, Cassava Stock	
<b>Main Component</b>	1. Hybrid updraft-downdraft Gasifier	1 unit
	2. Twin Cyclone	2 unit
	3. Gas line (Blower, Valve, Filter)	1 unit
	6. Control panel including air pipe	1 unit
	7. Fuel Feed System	1 unit
	8. Structure with floor & Shed	1 unit
	9. Engine-Generator set with electric control panel	1 unit
	10. Burner, Heat exchanger, Batch Dryer	1 unit

การสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง และการติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมทั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ดัง  
แสดงใน รูปที่ 4.2



(ก) การประกอบเตาและระบบป้อนเชื้อเพลิง



(ข) การประกอบเตาและระบบลำเลียงถ่าน



(ค) การประกอบระบบบ่อน้ำเชื้อเพลิง



(ง) ติดตั้ง Electric control panel



(จ) ระบบควบคุม (Electric control panel)

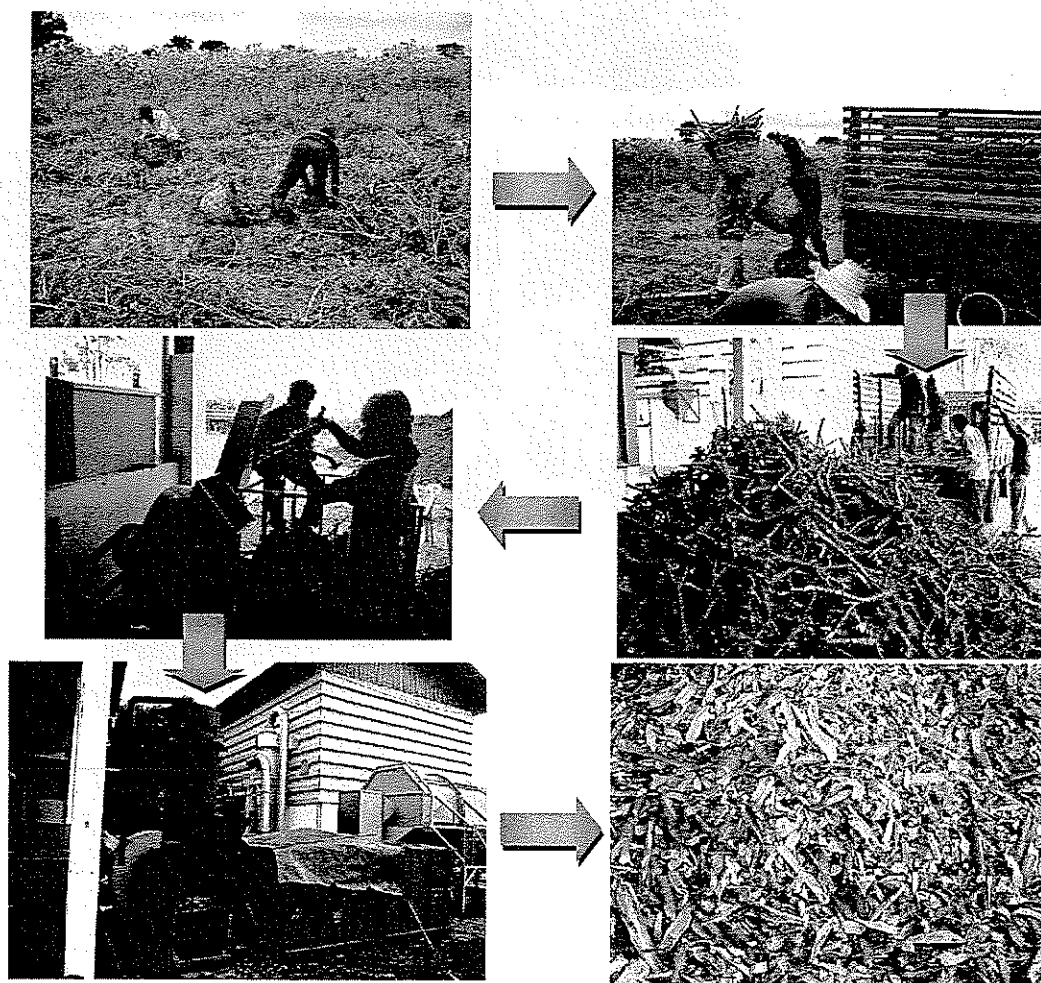
รูปที่ 4.2 การสร้างเตาผลิตเชื้อเพลิง และการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือวัด

## 4.2 การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง แม้ว่าจะทำการออกแบบมาอย่างดีแล้ว แต่ในสภาวะการทำงาน ที่ทำให้เกิดแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ (Combustible gas) ที่มีคุณภาพ การทดสอบ มีดังต่อไปนี้

### 4.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อนำไปใช้ทดสอบ

ในการทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จะใช้ชีวมวลแห้งมันสำปะหลัง มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบ โดยแหล่งที่มา คือรวบรวมจากแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกร ต.สุรนารี อ.เมือง จ. นครราชสีมา มีกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงให้เหมาะสำหรับนำมาใช้ทดสอบ โดยใช้เครื่องสับ/ย่อยวัสดุชีวมวล (Chipper) ชนิดห้วย้อย/สับชนิดจานหมุน (Flywheel Type) จากนั้นอบแห้งโดยใช้ลมร้อนจากเตาไซโคลน ดังแสดงใน รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงแห้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยคุณสมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงแห้งมันสำปะหลัง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

### 1) ลักษณะทางกายภาพ (Physical Properties)

เหง้ามันสำปะหลังมีขนาดที่ไม่แน่นอนดังกล่าว ทำให้ความหนาแน่นต่ำ (Bulk Density) หลังจากทำการเก็บเกี่ยวแล้วจะมีความชื้นสูง (40-70%) จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิง ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเหง้ามัน แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง ก่อน/หลังกระบวนการเตรียม

พารามิเตอร์	ก่อนเตรียม	หลังเตรียม
ขนาด (mm.)	ยาว 200-300 ขนาด $\varnothing$ 25.4	ยาว 10-75
ความชื้น (%MC)	44.35	11.23
ความหนาแน่นกองวัสดุ (kg/m <sup>3</sup> )	253	313

### 2) องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value)

ผลการวิเคราะห์สมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 แสดงถึงสัดส่วนของปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 เป็นสมบัติที่นิยมใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกเชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม ในส่วนของปริมาณเถ้า ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักในรูปของความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเปลี่ยนคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงชีวมวลไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบแบบประมาณ ของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลัง

คุณสมบัติ	เหง้ามันสำปะหลัง
%MC	11.23
%VM	82.51
%Ash	3.80
%FC	13.69
ค่าความร้อน, HHV (MJ/kg)	17.05

### 3) องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

เป็นสมบัติที่แสดงถึงธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur Analyzer; CHNS-932) ซึ่งองค์ประกอบของธาตุต่างๆ จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของชีวมวลแต่ละชนิด ทั้งนี้ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญ และมีผลต่อค่าความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดเป็น คาร์บอนได-ออกไซด์ น้ำ และพลังงานในกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณไฮโดรเจนมาก ในปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ จะเกิดน้ำมากเช่นกัน ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำส่วนนี้ดูดซับพลังงานไว้บางส่วน พลังงานที่ระบบปลดปล่อยออกมาจึงลดลง

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) ของเชื้อเพลิงแห้งมันสำปะหลัง

คุณสมบัติ Ultimate value (%)	แห้งมันสำปะหลัง
%C	46.12
%H	7.55
%N	1.13
%S	0.03
%O	45.17

### 4) องค์ประกอบธาตุอื่น (Trace Element)

องค์ประกอบของธาตุอื่นๆ ในที่นี้คือ ธาตุอนินทรีย์ เนื่องจากธาตุต่างๆ เหล่านี้ (Na, Mg, Al, K, C, Cl) จะรวมตัวในรูปสารประกอบออกไซด์ในเถ้า เมื่อมีเถ้าไหม้ที่อุณหภูมิสูง จึงถูกพิจารณาว่าอีกปัญหาหนึ่งในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เช่น การเกิดเถ้าหลอม (Slag Melting) ปัญหาการอุดตันในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Fouling) และการกัดกร่อนในชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ (Corrosion) การวิเคราะห์จะใช้เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer ซึ่งผลวิเคราะห์ Trace Element ดังแสดงใน ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบธาตุย่อย (Trace Element) ของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง

ธาตุองค์ประกอบอื่นๆ	เหง้ำมันสำปะหลัง
Na <sub>2</sub> O	N.D.
MgO	0.292 %Wt
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.989 %Wt
SiO <sub>2</sub>	3.36 %Wt
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.748 %Wt
K <sub>2</sub> O	15.287 %Wt
CaO	14.368 %Wt
Cl <sub>2</sub> O	3.46 %Wt
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N.D.
SO <sub>3</sub>	5.698 %Wt
MnO	0.396 %Wt
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.822 %Wt
TiO <sub>2</sub>	0.357 %Wt

N.D. (Not Detected)

จากผลวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลเหง้ำมันสำปะหลัง เห็นได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

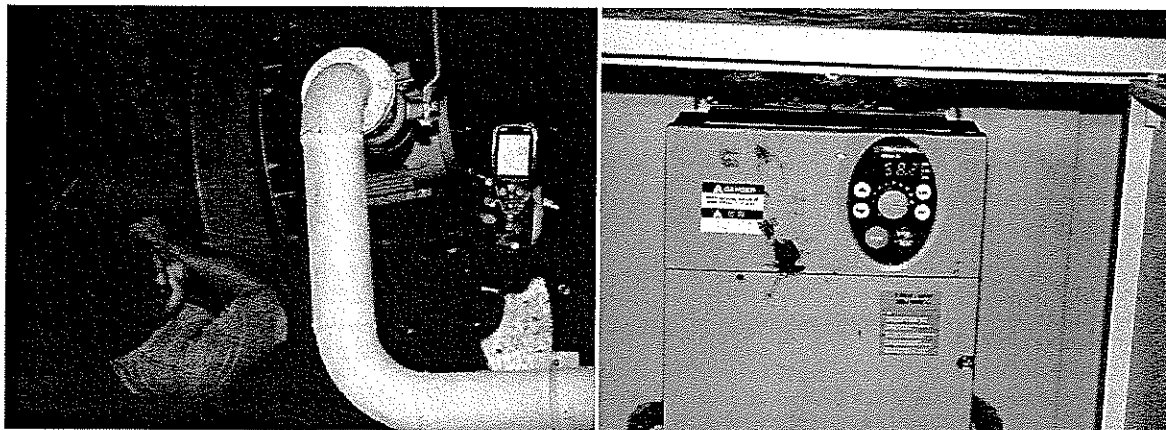
#### 4.2.2 การทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (CH<sub>4</sub>, CO และ H<sub>2</sub>) ได้สัดส่วนที่สูง โดยจำเป็นต้องควบคุมปริมาณและสัดส่วนการป้อนอากาศหรือแก๊สออกซิเจนระหว่างทางป้อนด้านบน และด้านล่างที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การควบคุมปริมาณแก๊สดังกล่าวทดสอบ โดยการปรับระดับอัตราการไหลของอากาศเข้าเตาเป็น 4 ระดับ ที่ช่องทางเข้าของอากาศทั้งสองทาง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของแก๊ส อัตราการใช้ชีวมวล องค์ประกอบของแก๊ส ค่าความร้อน และความสะอาดของแก๊ส เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของเตาเผาเชื้อเพลิงในกรณีที่ไม่มีการการทำงาน เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งผลการทดสอบสรุปได้ดังต่อไปนี้



1) ผลการควบคุมปริมาณและสัดส่วนการปนื้ออากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊ส

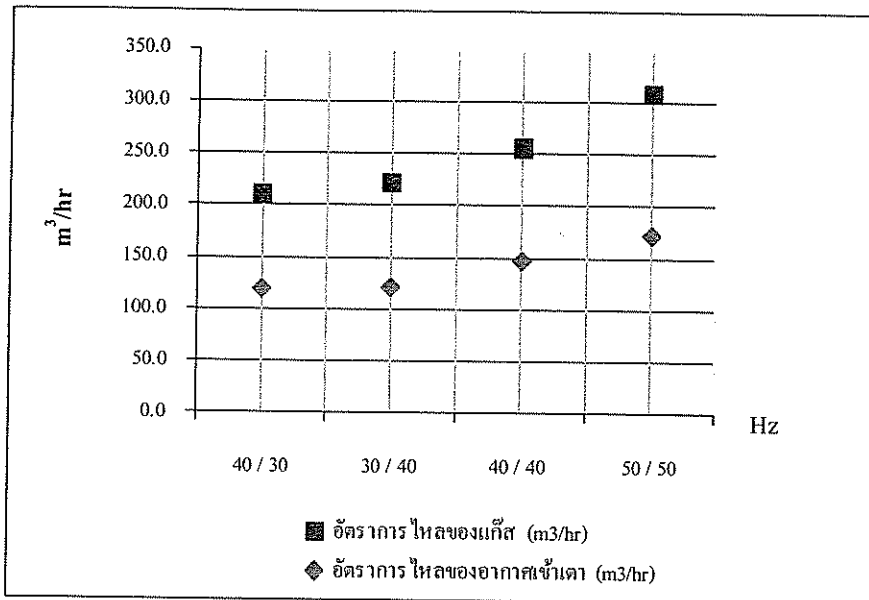
การควบคุมปริมาณและสัดส่วนการปนื้ออากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊ส เชื้อเพลิงได้ทำการทดลอง 4 สภาวะ โดยการคุมกำลังของ Blower 2 ตัว ที่แรงอัดอากาศเข้าสู่ระบบ และแรงดูดแก๊สออกจากระบบแสดงใน รูปที่ 4.4 ผลการควบคุมปริมาณและสัดส่วนการปนื้ออากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊ส โดยควบคุมแรงอัด - แรงดูด แสดงใน ตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.5



ก. การวัดอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบ      ข. การคุมกำลังของ Blower โดยใช้ Inverter  
รูปที่ 4.4 การทดสอบหาสัดส่วนการปนื้ออากาศต่ออัตราการไหลของแก๊ส

ตารางที่ 4.6 การควบคุมปริมาณและสัดส่วนการปนื้ออากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊ส

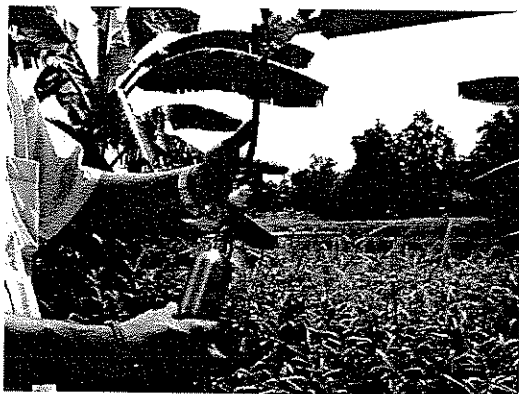
สภาวะที่ทดสอบ	ปรับ Blower อัดอากาศ เข้าเตา Frequency (Hz)	ปรับ Blower ดูดอากาศออก จากเตา Frequency (Hz)	อัตราการไหลของ อากาศเข้าเตา (m <sup>3</sup> /hr)	อัตราการไหลของ แก๊ส (m <sup>3</sup> /hr)
1	40	30	118.7	91.3
2	30	40	120.5	100.4
3	40	40	146.4	108.4
4	50	50	171.1	135.8



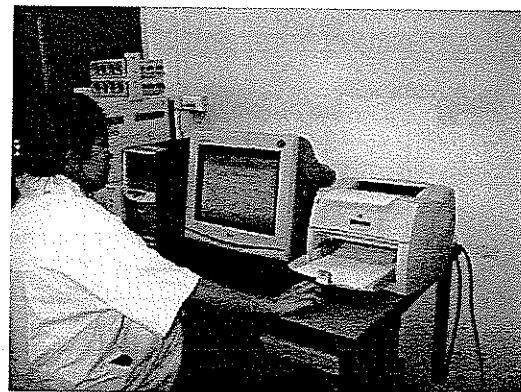
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการป้อนอากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงในระบบ

2) ผลการควบคุมปริมาณและสัดส่วนการป้อนอากาศ ต่อคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากหมักน้ำมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (ยี่ห้อ SIMADSU รุ่น GC-14B โดยการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที ณ ตำแหน่งหลังผ่าน Biomass Filter Box แสดงใน รูปที่ 4.6



ก. การเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง



ข. การวิเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงด้วยเครื่อง

Gas Chromatography

รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

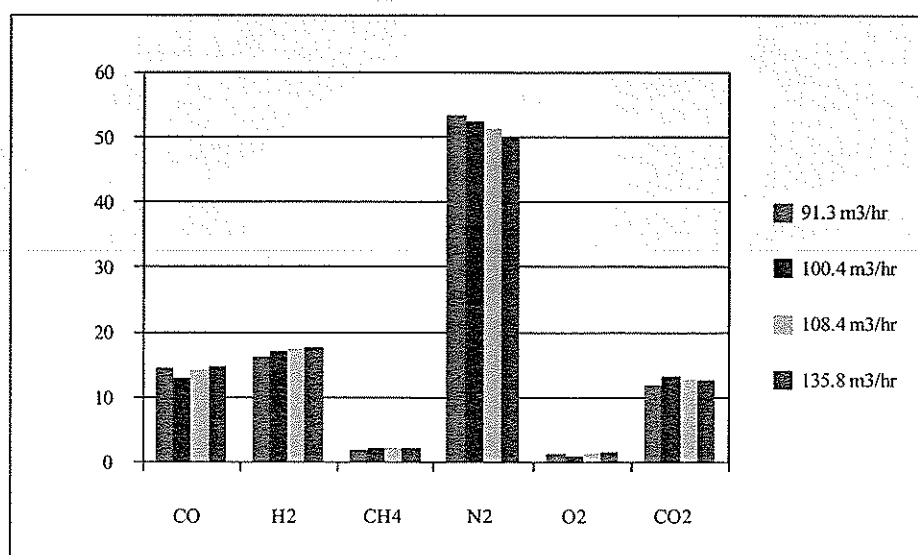
องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย และค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย ที่อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลมีความใกล้เคียงกัน พิจารณาได้จากข้อมูลเปรียบเทียบ ดังแสดงใน รูปที่ 4.7 ทั้งนี้องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถจัดเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่จุดไฟติด (Combustible Gas) ประกอบด้วย  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  และ  $\text{CH}_4$  ในสัดส่วนโดยปริมาตรเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.22- 14.96%, 16.38-17.91% และ 1.96-2.39% ตามลำดับ โดยที่ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงคำนวณ 4.90 -5.31 MJ/Nm<sup>3</sup> ซึ่งจัดเป็นแก๊สที่นำไปใช้เป็นพลังงาน หรือนำไปใช้เชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

- กลุ่มที่จุดไฟไม่ติด (Non-Combustible Gas) ประกอบด้วย  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  และ  $\text{CO}_2$  ในสัดส่วนโดยปริมาตรเฉลี่ยอยู่ในช่วง 49.99-53.58%, 1.07-1.79% และ 11.91-13.37% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อน ต่ออัตราการไหลของแก๊ส

สถานะที่ทดสอบ	อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /hr)	องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง (%)						HHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )
		CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
1	91.3	14.74	16.38	1.96	53.58	1.43	11.91	4.90
2	100.4	13.22	17.30	2.39	52.65	1.07	13.37	5.00
3	108.4	14.34	17.57	2.35	51.39	1.56	12.79	5.17
4	135.8	14.96	17.91	2.39	49.99	1.79	12.96	5.31



รูปที่ 4.7 แสดงสัดส่วนโดยปริมาตรเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง

### 4.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง

#### 4.3.1 การติดตั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า

การใช้แก๊สเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น จะต้องปรับปรุงลักษณะบางประการของเครื่องยนต์เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์นั้น เหมาะสมแก่การใช้แก๊สเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง และสามารถทำงานได้ดีใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยทั่วไปการใช้แก๊สเชื้อเพลิง กับเครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี

1) การนำเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง หรือเรียกว่า ใช้เชื้อเพลิงคู่ (Gas-Diesel Engine or Dual-Fuel Engine) โดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงผสมกับอากาศเป็น อดีเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าห้องเผาไหม้ วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องการใช้น้ำมันดีเซลเพื่อการจุดระเบิดประมาณ 10%-20% ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปกติ ดังนั้นทำให้ประหยัดน้ำมันดีเซลได้ 80%-90% และไม่ต้องมีการดัดแปลงลักษณะการทำงานเครื่องยนต์ดีเซลแต่อย่างใด

2) การนำเครื่องยนต์ดีเซลมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพื่อใช้กับแก๊สเชื้อเพลิง (Gas-Otto Engine) โดยเปลี่ยนระบบการจุดระเบิดจากเดิมเป็นการจุดระเบิดโดยการอัดเปลี่ยนมาเป็นการจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการดัดแปลงโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ให้ได้ 10-12 และเพิ่มอุปกรณ์ผสมอากาศกับแก๊สเชื้อเพลิงหรือคาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) และหัวเทียนเข้าไป ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้เนื่องจากราคาถูก

3) การนำเครื่องยนต์แก๊สโซลีนมาดัดแปลงใช้กับแก๊สเชื้อเพลิง (Gas-Otto Engine) วิธีการแบบนี้เครื่องยนต์ต้องได้รับการออกแบบให้มีอัตราส่วนการอัดให้ได้ 10-12 และมีระบบผสมแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศจากโรงงานผู้ผลิตเครื่องยนต์ ซึ่งเครื่องยนต์ประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่มีราคาสูงกว่าประเภทที่ 2 ประมาณ 2 เท่า

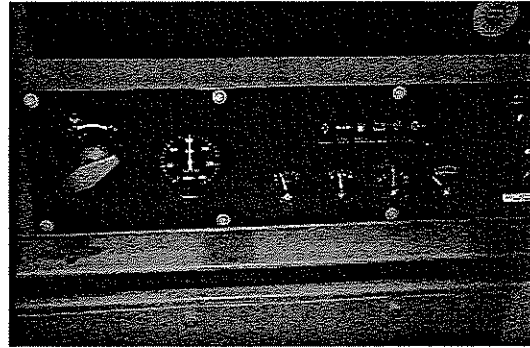
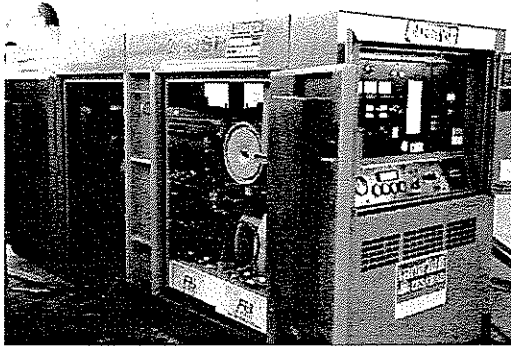
สำหรับการใช้เครื่องยนต์แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า สามารถนำเครื่องยนต์แก๊สเชื้อเพลิงมาต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1) ไดนาโม (Generator) วิธีนี้จะต้องมีอุปกรณ์หรือวงจรควบคุมความเร็วรอบของการทำงานให้คงที่ เพื่อให้แรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีความคงที่ ซึ่งถ้าหากแรงดันและความถี่ไม่มีความคงที่ หากนำอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่อใช้งานจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

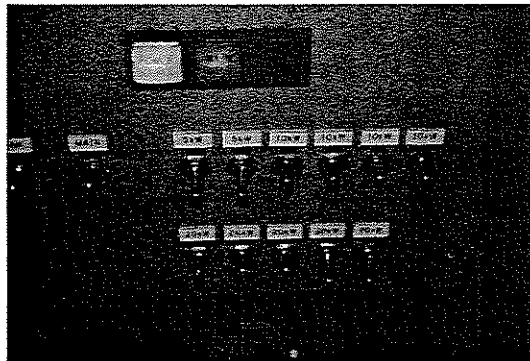
2) มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) วิธีนี้จะใช้หลักการที่ว่า เมื่อเครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็วรอบมากกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ของมอเตอร์ มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นไดนาโม ข้อดีของวิธีนี้คือ ระบบผลิตไฟฟ้านี้สามารถต่อพ่วงเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ได้ทันที โดยระบบจะผลิตเฉพาะกระแสไฟฟ้า ส่วนแรงดันและความถี่จะใช้ของการไฟฟ้าฯ

ทำให้ไม่เกิดผลเปลี่ยนแปลงต่อแรงดันและความถี่ ซึ่งหากนำอุปกรณ์ทางไฟฟ้ามาต่อใช้งาน จะไม่ทำให้อุปกรณ์เสียหายแต่อย่างใด การนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาต่อพ่วงกับเครื่องยนต์แก๊สเชื้อเพลิง จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของขนาดมอเตอร์และเครื่องยนต์ เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมอเตอร์จะต้องมีความเร็วรอบและแรงบิดใกล้เคียงกับแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์

ในงานวิจัยนี้ใช้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator Set) ซึ่งมีเครื่องยนต์แบบใช้เชื้อเพลิงร่วม(น้ำมันดีเซลกับแก๊ส) โดยเครื่องยนต์ผลิตจากบริษัท Komatsu S6D125E-2-A ชุดกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ผลิตจากบริษัท DENYO : DCA-220SPK3 กำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 160 kW แสดงในรูปที่ 4.8 และรายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงใน ตารางที่ 4.8



ก. เครื่องยนต์ Dual Engine



ข. โหลดจำลอง (Resistant Load)

รูปที่ 4.8 เครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง

Model		DENYO : DCA-220SPK3
Alternator		
Frequency		50 Hz
Output	continuous	200 KVA
	standby	220 KVA
No of Phases		3-Phase,4-Wire
Mated Voltage	V	2 Dual Voltage
Power Factor		0.8 (Lagging)
Voltage Regulation	%	Within $\pm 0.5$
Excitation		Brushless, Rotating Excite (with A.V.R)
Insulation		Class F
Engine		
Make Model		Komatsu S60125E-2-A
Type		Inlined Direct Injected Turbo Charged
Output Rating	PS/rpm	242/1500
	kW/min <sup>-1</sup>	178/1500
No. of Cylinders-Dore X Stoke	mm	6x125x150
Piston Displacement	L	11.040
Fuel		ASTM No.2 Diesel fuel or Equivalent
Fuel Consumption	L/h	31.5
Lube oil Sump Capacity	L	42
Coo lent Capacity	L	36
Battery X Quantity		145G51X2
Fuel Tank Capacity	L	380
Unit		
Dimensions	Length mm	3650
	Wide mm	1300
	Height mm	1750
Dry weight	kg	3670
Sound Level		
7m dBA 1500/1800 rpm/min		= 83 dBA

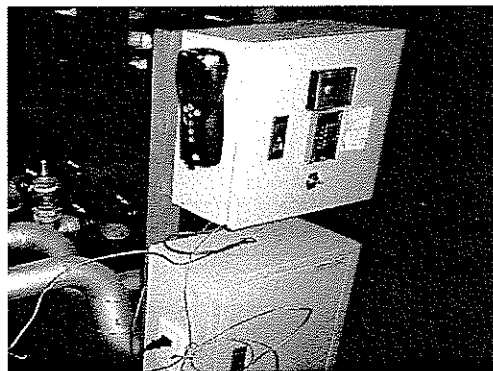
### 4.3.2 การติดตั้งชุดเครื่องอบแห้ง

พลังงานความร้อนที่ใช้ทำให้อากาศร้อนและพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาขับเคลื่อน ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้อากาศร้อนเป็นความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ที่จุดระเบิดในห้องเผาไหม้ (Burner) และทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สถานะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับการอบแห้ง โดยที่ขนาดของเครื่องอบแห้ง (Batch size) จะอยู่ที่ 2.5 ตัน โดยมีอัตราการอบอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการอบแห้งต่อไป

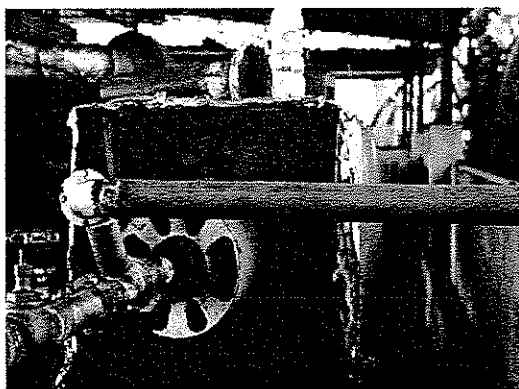
สำหรับเครื่องอบแห้งกระบะ จะใช้ของกลุ่มงานวิจัยหลังการเก็บเกี่ยว กองเกษตรวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดคือ มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (2310mm x 2310mm x 600mm) หรือประมาณ 3.2 m<sup>3</sup>



ก. การติดตั้งชุดอบแบบกระบะ 2.5 ตัน



ข. ติดตั้งอุปกรณ์วัด



ค. ห้องเผาไหม้ (Burner)



ง. ชุดผสมอากาศเพื่อนำอากาศร้อนไปอบแห้ง

รูปที่ 4.9 การติดตั้งชุดเครื่องอบแห้งแบบกระบะ

## 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

### 4.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของระบบ

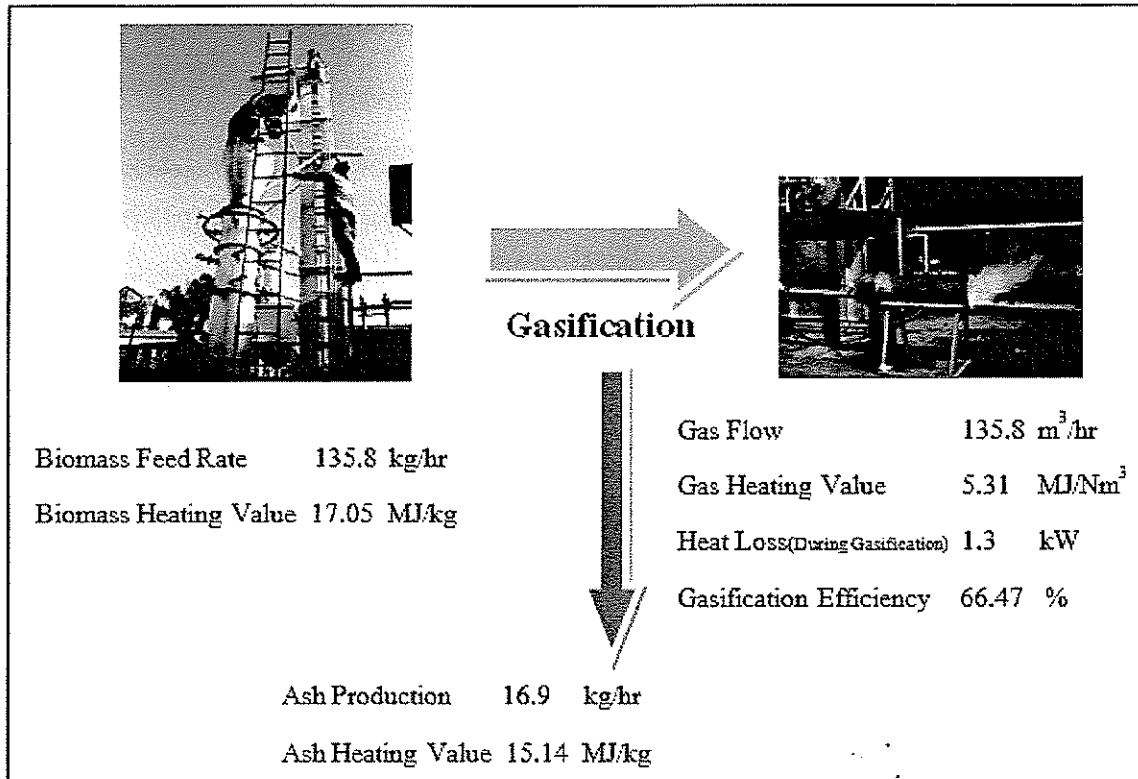
#### 1) ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency)

จากการทดลองเดินระบบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency) เฉลี่ยเท่ากับ 60% คุณภาพแก๊สที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมาก ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น ค่าความร้อนที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 4.90-5.31 MJ/Nm<sup>3</sup> ค่าความร้อนนี้สามารถนำไปใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลได้ สภาวะที่อัตราการไหลของแก๊สสูงสุดที่สามารถเดินระบบได้คือ 135.8 m<sup>3</sup>/hr มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงแห้ง้านสำปะหลัง 101.9 kg/hr และให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency) มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นๆ คือ 66.47% เนื่องจากค่าความร้อนที่ผลิตได้สูงถึง 5.31 MJ/Nm<sup>3</sup> พลังงานความร้อนนี้เพียงพอที่จะนำไปใช้อบแห้งได้ และสำหรับการนำไปใช้งานสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องตรวจวัดปริมาณของน้ำมันดินหรือยางเหนียว รูปที่ 4.10 แสดงภาพการทำสมดุลมวลและพลังงานของระบบ

ตารางที่ 4.9 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของระบบโดยใช้แห้ง้านสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

Gas Flow (m <sup>3</sup> /hr)	HHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	Biomass Consumption (kg/h)	Ash Production		Gasification Efficiency %
			kg/h	%	
91.3	4.90	55	7.9	14.36	62.56
100.4	5.00	70.78	13.6	19.21	58.64
108.4	5.17	96.85	15.1	15.59	57.45
135.8	5.31	101.9	16.9	16.58	66.47





รูปที่ 4.10 สมดุลมวลและพลังงานของระบบ

## 2) องค์ประกอบปนเปื้อนทาร์และฝุ่น

การวิเคราะห์องค์ประกอบปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงจะทำการวิเคราะห์ทาร์และฝุ่น (Tar and Dust) ในตำแหน่งหลังจากระบบ Biomass Filter Box ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าทาร์และฝุ่นมีปริมาณสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 44.5-78.1 g/Nm<sup>3</sup> ดังกล่าวว่าคุณภาพแก๊สมีค่าต่ำในแง่ของการปนเปื้อน ซึ่งอาจยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์องค์ประกอบปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิง

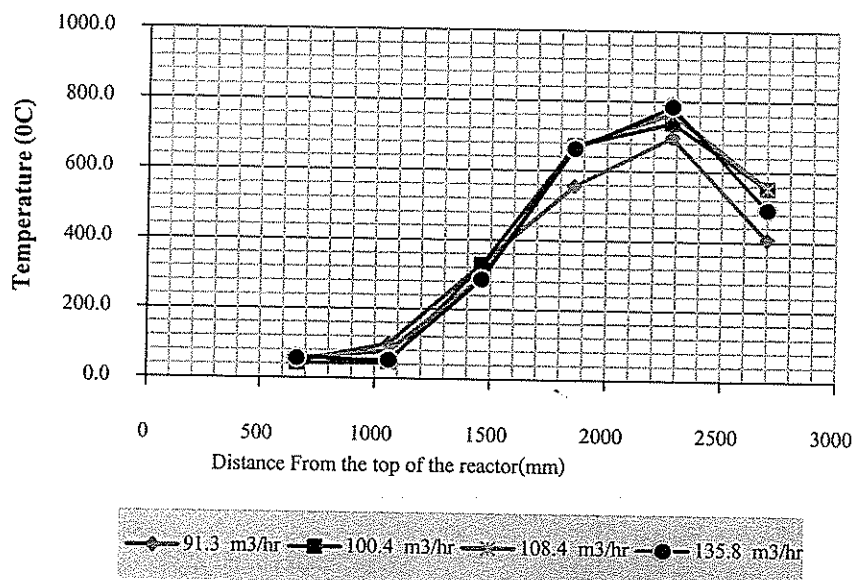
สภาวะที่ทดสอบ	ปรับ Blower เข้าเตา Frequency (Hz)	ปรับ Blower ดูดอากาศออก จากเตา Frequency (Hz)	อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /hr)	ปริมาณทาร์และฝุ่น (g/Nm <sup>3</sup> )
1	40	30	91.3	75.1
2	30	40	100.4	50.5
3	40	40	108.4	44.5
4	50	50	135.8	41.8

### 3) ผลของอุณหภูมิในเตาผลิตแก๊ส

อุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ยของทั้ง 4 สภาวะ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.11 ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูล T1-T6 ของอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 4 สภาวะมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเตาและระยะความสูง ดังแสดงใน รูปที่ 4.11 พบว่าชั้นของอุณหภูมิ (Temperature Profile) ของอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 4 สภาวะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ยของทั้ง 4 สภาวะ

อัตราการไหลของแก๊ส (m <sup>3</sup> /hr)	อุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง					
	T1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
91.3	47.7	99.7	331.0	556.0	697.1	406.7
100.4	42.1	46.3	330.0	672.0	739.0	554.0
108.4	56.8	78.4	290.0	669.0	765.9	554.5
135.8	57.3	53.7	287.0	664.0	785.7	492.5

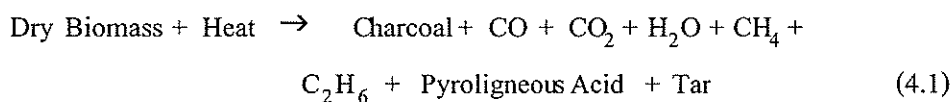


รูปที่ 4.11 Temperature Profile ของอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 4 สภาวะ

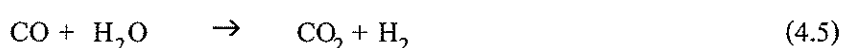
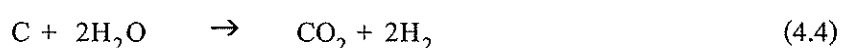
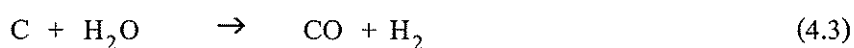
การอธิบายประเภทของปฏิกิริยาอุณหเคมี ที่เกิดขึ้นภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากการใช้เชื้อเพลิงแห้งามันสำปะหลัง โดยใช้ชั้นของอุณหภูมิภายในเตาอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ที่ระยะความสูง  $T_1-T_3$  ซึ่งเป็นความสูงช่วงบนของเตา อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนข้างต่ำ คือประมาณ 100- 300 °C กระบวนการที่เกิดขึ้นจะเป็นช่วงของ Drying Zone คือช่วงที่ความชื้นในเชื้อเพลิงถูกกำจัดออก แต่เนื่องจากเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นสูง การพาความร้อนจากปฏิกิริยาใน Combustion Zone ทำได้ยากและช้า จึงทำให้อุณหภูมิในช่วงแรกก่อนข้างต่ำ

ที่ระยะความสูงระหว่าง  $T_3-T_5$  เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่  $T_4$  เป็นจุดที่ป้อนอากาศเข้าสู่เตา จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ช่วง  $T_4-T_5$  นี้จะเป็นหัวใจ Heat Hearth ทั้งนี้ Hot Zone ที่เกิดจากกระบวนการ Combustion และถ่ายเทให้กับบริเวณรอบ ๆ ระหว่าง  $T_3-T_4$  เป็น Zone ของปฏิกิริยา Pyrolysis หรือ Distillation ช่วงอุณหภูมิ 200-500°C (Kirubakaran et al., 2007) โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยทั้งของแข็ง ของเหลว สารอินทรีย์ระเหยง่าย และแก๊ส ดังสมการที่ (4.1)



ที่ระยะความสูงระหว่าง  $T_5-T_6$  จะเป็นช่วง Reduction Zone มีอุณหภูมิในช่วง 500-700°C ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Zone ก่อนหน้านี้จะถูกนำมาใช้ เพื่อเป็นสารตั้งต้น โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วง  $T_4-T_5$  นี้คือปฏิกิริยาของ C กับ  $\text{CO}_2$  เกิดเป็น CO ดังสมการที่ (4.2) เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ Boudouard Reaction และจะเกิดปฏิกิริยา Water Shift Reaction โดยเป็นปฏิกิริยาของ C กับ  $\text{H}_2\text{O}$  เกิดเป็น  $\text{H}_2$  ดังสมการที่ (4.3) ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดแก๊สเชื้อเพลิงที่ต้องการ คือ CO และ  $\text{H}_2$  สำหรับกรณีเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง ปริมาณน้ำส่วนเกิน ( $\text{H}_2\text{O}$ ) จะทำปฏิกิริยากับ C และ CO ต่อเนื่องทำให้ปริมาณ CO ลดลง และมีปริมาณแก๊ส  $\text{CO}_2$  สูงขึ้น ดังสมการที่ (4.4) และ (4.5) ส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าลดลง จึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงให้ต่ำลงหลังจากให้มีความชื้นก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้  $\text{H}_2$  บางส่วนจะทำปฏิกิริยากับ C ทำให้เกิดแก๊สมีเทนซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักของการผลิตแก๊สมีเทน ดังสมการที่ (4.6) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Methane Production หรือ Methanization

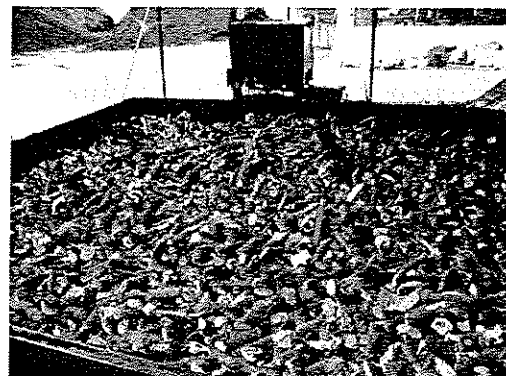


#### 4.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยทดสอบการอบแห้ง

พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ที่จุดระเบิดในห้องเผาไหม้ (Burner) ทำให้ได้แก๊สร้อน และทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สภาวะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับการอบแห้ง โดยขนาดของเครื่องอบแห้ง (Batch size) มีค่าเท่ากับ 2.5 ตัน โดยมีอัตราการอบแห้งอย่างน้อย 4 ชั่วโมง โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทดสอบคือ เหง้ามันสำปะหลังสับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.12



ก. เหง้ามันสำปะหลังสับ



ข. การอบแห้งมันสำปะหลังสับ

รูปที่ 4.12 การทดสอบประสิทธิภาพการเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยทดสอบอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบกระบอกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (2310mm x 2310mm x 600mm) หรือ ประมาณ  $3.2 \text{ m}^3$  แต่ในการทดสอบนี้ใช้ความสูงเพียง 0.05 m หรือความจุประมาณ  $2.67 \text{ m}^3$  ปริมาณลมร้อน  $3,007 \text{ m}^3/\text{hr}$  โดยแหล่งความร้อนจะมาจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ (Burner) โดยจะถูกนำมาผสมกับอากาศจากภายนอกภายในถังผสมโดยตรงจึงทำให้ค่าความร้อนสูญเสียไม่มาก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ประมาณ  $125^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}$

การทดสอบโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังสับในกระบอกอบหนุเท่ากับ 50 cm ทำการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่  $130^\circ\text{C}$  และเก็บตัวอย่างแบ่งเป็นชั้นๆ ที่ความสูง 0 cm (ชั้นล่าง), 25 cm (ชั้นกลาง) และ 50cm (ชั้นบน) รวม 3 ชั้นๆละ 5 ตัวอย่าง เพื่อนำมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมงจนน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มคงที่ แล้วนำตัวอย่างไปห่าน้ำหนักแห้ง โดยเข้าตู้อบ (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ  $103^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยความชื้นในแต่ละชั่วโมง เพื่อนำมาหาอัตราการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

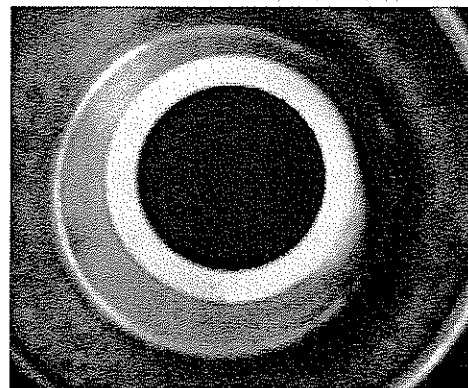
จากอัตราการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการทดสอบอบแห้งแห้งมันสำปะหลังซึ่งมีชั้นหนาเท่ากับ 50 cm ที่อุณหภูมิ 130° C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นเริ่มต้นแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ สามารถลดความชื้นแห้งมันสำปะหลังจาก 57.1% (wb) เป็น 15% (wb.) โดยใช้เวลาประมาณ 4.5 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าที่ออกแบบไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง อาจเนื่องมาจากความชื้นเริ่มต้นของแห้งมันสำปะหลัง ขนาดชั้นของแห้งมันสำปะหลัง สับ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แตกต่างจากสภาวะการออกแบบ

#### 4.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยการผลิตกระแสไฟฟ้า

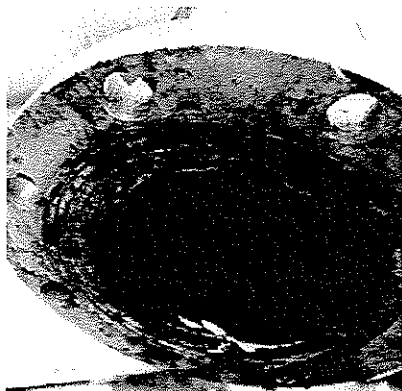
จากผลการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบป็นเป็อนในแก๊สเชื้อเพลิง (ตารางที่ 4.10) เห็นได้ว่าปริมาณทาร์ละฟุนมีค่าสูง หากต้องนำไปใช้กับเครื่องยนต์จะต้องมีระบบทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ โดยปริมาณทาร์ที่ปนเป็อนในแก๊สเชื้อเพลิง ที่สามารถใช้งานได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ไม่ควรมีค่าเกิน 50-500 mg/ Nm<sup>3</sup> (kaupp et al., 1981; Groeneveld et al.,1983; Reed et al., 1983) รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจวัดปริมาณทาร์ และลักษณะของทาร์ที่อุดตันในระบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงยังทำไม่การทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะเห็นถึงความจำเป็นของการพัฒนาระบบทำความสะอาดแก๊สเพื่อลดปริมาณทาร์ก่อน



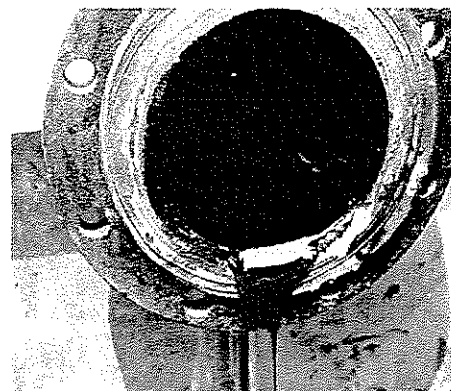
ก. กระดาษกรองก่อนตรวจวัดทาร์



ข. กระดาษกรองหลังตรวจวัดทาร์



ค. ลักษณะของทาร์ที่อุดตันในท่อ



ง. ลักษณะของทาร์ที่อุดตันใน Blower

รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจวัดปริมาณทาร์ และลักษณะของทาร์ที่อุดตันในระบบ

ทาร์ที่เกิดขึ้นมีชนิดของมลสาร นอกจากจะเป็นปัญหาต่อระบบ ยังเป็นมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย การมีระบบทำความสะอาดแก๊สจึงเป็นเรื่องสำคัญ (Quaak et al., 1999) ซึ่งระบบทำความสะอาดแก๊สเชื้อเพลิงที่นิยมใช้โดยทั่วไปเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ชนิดของมลสารและระบบทำความสะอาดแก๊สเชื้อเพลิง

ชนิดมลสาร	ระดับมลพิษ (g/Nm <sup>3</sup> )	ระบบทำความสะอาด
มลสารหรืออนุภาคขนาดเล็ก	3-70	ระบบกรอง (Filtration) ระบบสครับเบอร์(Scrubber)
องค์ประกอบอัลคาไลโลหะ (Alkali Metal)	-	ระบบการควบแน่น(Condensation) ระบบกรอง (Filtration)
ออกไซด์ของไนโตรเจน	1.5-3.0	ระบบสครับเบอร์(Scrubber) Selective Catalytic Reduction (SCR)
ทาร์ (Tars)	10-100	การแตกตัวโดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) การแตกตัวโดยใช้ความสารเร่ง (Catalytic Cracking) ระบบการควบแน่น (Condensation) ระบบสครับเบอร์ (Scrubber)
ซัลเฟอร์และคลอรีน	2.5-3.5	ระบบสครับเบอร์โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต หรือปูนขาว (Sodium bicarbonate or Lime Scrubbing)

ที่มา : Belgiorno et al. (2003)

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทางสำหรับการอบแห้งและการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อออกแบบ และพัฒนาเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสองทาง Hybrid Updraft-Downdraft Gasifier อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ และเพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยทดสอบกับการอบแห้งและการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมถึงเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน โดยการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ในประเทศไทย

โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ทำการออกแบบ Reactor หรือ Gasifier แบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier กำกับการผลิต 20 ไฟฟ้า 20 kWh และความต้องการเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้ง 5 ตัน/วัน 2) การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ ประเมินปริมาณก๊าซ CO, H<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ปริมาณยางเหนียว และระบบป้อนชีวมวลในเตาเผา 3) ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง เพื่อเป็นการนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้ง (Dryer) และติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ (Generator set) 4) การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน 5) การวิเคราะห์ และการเขียนรายงาน ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในทางเทคนิคของใช้งานของ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier ผลการการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 การออกแบบ ระบบ Hybrid updraft-downdraft biomass gasifier

ขนาดของ Reactor ได้ โดยที่เราให้ความสูงของ Reactor อยู่ที่ 3 เมตร ตามต้นแบบที่ ถูกพัฒนาโดย นักวิจัยจาก AIT การทำงานของระบบคือ เชื้อเพลิงจะถูกตำเลียงสู่ถังพักเพื่อรอที่จะเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ หลังจากนั้นวัตถุดิบจะถูกปล่อยลงสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์และจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น 4 โซนคือ โซนอบแห้ง (Drying zone) โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone) โซนการเผาไหม้ (Combustion zone) และ โซนรีดักชัน (Reduction zone) ส่วนที่เป็น Updraft เชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนจะทยอยเลื่อนลงมาในโซนเผาไหม้ ซึ่งจะสวนทิศกับอากาศที่เข้าทางด้านล่างและลอยขึ้นด้านบนของเตาเผา ซึ่งโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) ที่ถูกผลิตออกจากระบบนี้จะลอยขึ้นและไหลออกจากเตาผลิตแก๊สทางด้านบน และจะไหลผ่านชุดเผาไหม้ (Burner) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สภาวะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับ

การอบแห้งต่อไป ส่วนที่เป็น Downdraft ซึ่งโปรคิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) ที่เกิดในโซนรีดักชัน จะไหลผ่านทางออกด้านล่าง ไปสู่ไซโคลน ลดปริมาณทาร์และลดอุณหภูมิของแก๊ส โดยผ่านอุปกรณ์ควบแน่น (Condenser) ที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าต่อไป

### 5.1.2 การทดสอบและปรับแต่งเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การทดสอบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จะใช้ชีวมวลแห้งน้ำหนักสำปะหลัง มาเป็นเชื้อเพลิง สำหรับทดสอบ ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลแห้งน้ำหนักสำปะหลังพบว่าความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทดสอบ โดยการควบคุมปริมาณและสัดส่วนการป้อนอากาศ ต่ออัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงได้ โดยการคุมกำลังของ Blower 2 ตัว (โดยปรับความถี่ของ Blower อัดอากาศ เข้า ต่อ Blower ดูดอากาศออกจากเตา โดยติดตั้งวงจรควบคุมอัตโนมัติ) ทำการทดลอง 4 สภาวะ 40/30, 30/40, 40/40 และ 50/50 Hz ซึ่งทั้ง 4 สภาวะจะให้อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง 91.3, 100.4, 108.4 และ 135.8 m<sup>3</sup>/hr ตามลำดับ

### 5.1.3 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องอบแห้ง

การติดตั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า จะใช้เครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง โดยเครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลิตจากบริษัท DENYO : DCA-220SPK3 ชุดกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ผลิตจากบริษัท Komatsu กำลังการผลิต 200 กิโลวัตต์ การติดตั้งชุดเครื่องอบแห้ง จะใช้ของกลุ่มงานวิจัยหลังการเก็บเกี่ยว กองเกษตรวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดคือ มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง (2310mm x 2310mm x 600mm) หรือ ประมาณ 3.2 m<sup>3</sup> โดยการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่จุดระเบิดในห้องเผาไหม้ (Burner) ทำให้ได้แก๊สร้อน และทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) จากนั้นทำการผสมอากาศเข้าไปเพื่อปรับให้สภาวะลมร้อนให้เหมาะแก่การนำไปใช้กับการอบแห้ง โดยที่ขนาดของเครื่องอบแห้ง (Batch size) จะอยู่ที่ 2.5 ตัน โดยมีอัตราการอบอย่างน้อย 4 ชั่วโมง

### 5.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

จากการทดลองเดินระบบเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราการไหลต่างกัน พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency) เฉลี่ยเท่ากับ 60% คุณภาพแก๊สที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมาก ค่าความร้อนที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 4.90-5.31 MJ/Nm<sup>3</sup> ค่าความร้อนนี้สามารถนำไปใช้อบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลได้ สภาวะที่อัตราการไหลของแก๊สสูงสุดที่สามารถเดินระบบได้คือ 135.8 m<sup>3</sup>/hr มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงแห้งน้ำหนักสำปะหลัง 101.9 kg/hr และให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Efficiency) มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นๆ คือ 66.47% เนื่องจากค่าความร้อนที่ผลิตได้สูงถึง 5.31 MJ/Nm<sup>3</sup> พลังงานความร้อนนี้เพียงพอที่จะนำไปใช้อบแห้งได้ องค์ประกอบปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงจะทำการวิเคราะห์ทาร์และฝุ่น (Tar and Dust) ในตำแหน่งหลังจากระบบ Biomass Filter Box มีปริมาณสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 44.5-78.1 g/Nm<sup>3</sup>



ดังกล่าวคุณภาพแก๊สมีค่าต่ำในแง่ของการปนเปื้อน ซึ่งอาจยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิติก๊าซเชื้อเพลิงโดยการทดสอบอบแห้งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ในการทดสอบนี้ใช้ความสูงเพียง 0.05 m หรือความจุประมาณ 2.67 m<sup>3</sup> ปริมาณลมร้อน 3,007 m<sup>3</sup>/hr โดยแหล่งความร้อนจะมาจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ (Burner) โดยจะถูกนำมาผสมกับอากาศจากภายนอกภายในถังผสมโดยตรงจึงทำให้ค่าความร้อนสูญเสียไม่มากโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ประมาณ 125°C – 135°C การทดสอบโดยใส่เหง้ามันสำปะหลังสับในถังอบที่ความสูง 50 cm ทำการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 130°C สามารถความชื้นจาก 57.1% (wb) เป็น 15% (wb.) ซึ่งดังกล่าวใช้เวลาประมาณอบแห้งประมาณ 4.5 ชั่วโมง

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ไม่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิติก๊าซเชื้อเพลิงโดยการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากปริมาณทาร์ละฟุ้งมีค่าสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 44.5-78.1 g/Nm<sup>3</sup> เนื่องจากระบบทำความสะอาดแก๊สมีเฉพาะไซโคลน ซึ่งสามารถกำจัดได้เฉพาะอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่เท่านั้น ดังกล่าวจึงส่งผลให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำในแง่ของการปนเปื้อน ซึ่งอาจยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า หากต้องนำไปใช้กับเครื่องยนต์จำเป็นต้องมีระบบทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ โดยปริมาณทาร์ที่ปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิง ที่สามารถใช้งานได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ไม่ควรมีค่าเกิน 50-500 mg/Nm<sup>3</sup> ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงยังไม่ทำการทดสอบประสิทธิภาพการเผาผลิติก๊าซเชื้อเพลิงโดยการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะเห็นถึงความจำเป็นของการพัฒนาระบบทำความสะอาดแก๊สเพื่อลดปริมาณทาร์ก่อน

เนื่องจากทาร์ที่เกิดขึ้นมีชนิดของมลสาร นอกจากจะเป็นปัญหาต่อระบบ ยังเป็นมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย การมีระบบทำความสะอาดแก๊สจึงเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งระบบทำความสะอาดแก๊สที่เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ อาทิ การแตกตัวโดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) การแตกตัวโดยใช้ความสารเร่ง (Catalytic Cracking) ระบบการควบแน่น (Condensation) และ ระบบสครับเบอร์ (Scrubber) ดังนั้นการพัฒนาระบบทำความสะอาดแก๊สที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องจำเป็น

## บรรณานุกรม

- 1) วีรชัย อางหาญ, นิวัฒน์ คงกะพี, กฤษกร รับสมบัติ, ปกัศ ชนะโรค และ ทิพย์สุภินทร์ หินชูช. 2551. การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน การประเมินประสิทธิภาพและผลกระทบด้านมลพิษ. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ปีที่ 40 เล่มที่ 2 .
- 2) วีรชัย อางหาญ. 2553. การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 2). วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ด้านพลังงานฉบับพิเศษ (วช. ครอบรอบ 50 ปี)
- 3) ทิพย์สุภินทร์ หินชูช. (2550) . การศึกษาการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน : กรณีศึกษาจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- 4) American Public Health Association. (1998). Standard Method for the Examination of Water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed, Washington D.C., USA.
- 5) American Society for Testing and Materials (ASTM). 1991. Standard test methods for gross calorific value of solid fuel by the adiabatic bomb calorimeter, ASTM D2015-77. Philadelphia, Pa, USA.
- 6) American Society for Testing and Materials (ASTM). 1991. Standard methods for chemical analysis of wood charcoal, ASTM D1762-84. Philadelphia, Pa, USA.
- 7) Aung, M.K. 2000. A Study of Solar and Biomass-Fuelled Hybrid Drying System. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 8) Bui, Tuyen, R. Loof and S.C. Battacharya. 1994. Multi Reactor for Biomass Gasification for Power Generation. Fuel, Vol. 19, No. 4, Pages 397-404.
- 9) Bui, Tuyen. 1996. A Multi Stage Approach. Dissertation. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 10) Bhatta, C.P. 1999. An Experiment Study on Hybrid (Solar-Biomass) Drying of Agricultural Products. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 11) Bhattacharya, S. C. , Hla S. S., and Pham, H. L. (2001) . A study on a multi-stage hybrid gasifier-engine system. **Biomass and Bioenergy** 21(6): 445-460.

- 12) Belgiorno, V., Feo D. G., Rocca D. C. and Napoli R.M.A. (2003) . Energy from gasification of soild wastes. **Waste Management** 23: 1-15.
- 13) Dutta, A. 1998. A Study of Biomass Gassification for Engine Application. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 14) Nikolaisen, L. 1992. Straw for Energy Production. The Center of Biomass Technology, Denmark.
- 15) San, S.H. 1999. A Study on a Biomass Gasifier-Engine System. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 16) Sethapanich, R. 2001. Experimental Study of a Counter Current Moving Bed Reactor for Heat and Chacoal/Clean Gas Production. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- 17) Wickramasinghe, T.A. 2001. A Multi-Stage Gasifier Engine System. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.

#### **Bibliographies**

- 1) Arun K. Tripathi, P. V. R. Iyer and Tara Chandra Kandpal. 1999. Biomass gasifier based institutional cooking in India: a preliminary financial evaluation, *Biomass and Bioenergy*, Volume 17, Issue 2, Pages 165-173.
- 2) Arun K. Tripathi, P. V. R. Iyer and Tara Chandra Kandpal. 1999. Financial analysis of biomass gasifier based water pumping in India, *Energy*, Volume 24, Issue 6, Pages 511-517.
- 3) Arun Kumar Tripathi, P. V. R. Iyer and Tara Chandra Kandpal. 1997. A financial evaluation of biomass-gasifier-based power generation in India, *Bioresource Technology*, Volume 61, Issue 1, Pages 53-59.
- 4) Beenackers, A. A. C. M. and K. Maniatis. 1998. Gasification technologies for heat and power from biomass, *Fuel and Energy Abstracts*, Volume 39, Issue 1, Page 36.
- 5) Bridgwater, A. V. 1995. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation, *Fuel*, Volume 74, Issue 5, Pages 631-653.
- 6) Claus Hindsgaul, Jesper Schramm, Linda Gratz, Ulrik Henriksen and Jens Dall Bentzen. 2000. Physical and chemical characterization of particles in producer gas from wood chips, *Bioresource Technology*, Volume 73, Issue 2, Pages 147-155.

- 7) Hasler, P. and Th. Nussbaumer. 1999. Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification, *Biomass and Bioenergy*, Volume 16, Issue 6, Pages 385-395 .
- 8) Hasler, P. and Th. Nussbaumer. 1999. Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification, *Biomass and Bioenergy*, Volume 16, Issue 6, Pages 385-395.
- 9) Herri Susanto and Antonie A. C. M. Beenackers. 1996. A moving-bed gasifier with internal recycle of pyrolysis gas, *Fuel*, Volume 75, Issue 11, Pages 1339-1347.
- 10) Iniyan, S. and T. R. Jagadeesan. 1997. A comparative study of critical factors influencing the renewable energy systems use in the Indian context, *Renewable Energy*, Volume 11, Issue 3, Pages 299-317.
- 11) Jafar, M. 2000. Renewable energy in the South Pacific - options and constraints, *Renewable Energy* -, Volume 19, Issues 1-2, Pages 305-309.
- 12) Kyriakos Maniatis and Enzo Millich. 1998. Energy from biomass and waste: the contribution of utility scale biomass gasification plants, *Biomass and Bioenergy*, Volume 15, Issue 3, Pages 195-200.
- 13) Larson, E. D. and D. R. Raymond. 1998. Commercializing black liquor and biomass gasifier/gas turbine technology, *Fuel and Energy Abstracts*, Volume 39, Issue 3, Page 209.
- 14) Mansaray, K. G., A. E. Ghaly, A. M. Al-Taweel, F. Hamdullahpur and V. I. Ugursal. 1999. Air gasification of rice husk in a dual distributor type fluidized bed gasifier, *Biomass and Bioenergy*, Volume 17, Issue 4, Pages 315-332.
- 15) Marcio L. de Souza-Santos . 1999. A feasibility study of an alternative power generation system based on biomass gasification/gas turbine concept, *Fuel*, Volume 78, Issue 5, Pages 529-538.
- 16) McIlveen-Wrigh, D. R., B. C. Williams and J. T. McMullan. 2000. Wood gasification integrated with fuel cells, *Renewable Energy*, Volume 19, Issues 1-2, Pages 223-228.
- 17) Moersch, O., H. Spliethoff and K. R. G. Hein. 2000. Tar quantification with a new online analyzing method, *Biomass and Bioenergy*, Volume 18, Issue 1, Pages 79-86.
- 18) Nick Abatzoglou, Nick Barker, Philipp Hasler and Harrie Knoef. 2000. The development of a draft protocol for the sampling and analysis of particulate and organic contaminants in the gas from small biomass gasifiers, *Biomass and Bioenergy*, Volume 18, Issue 1, Pages 5-17.

- 19) Pekka Simell, Pekka Ståhlberg, Esa Kurkela, Johannes Albrecht, Steven Deutsch and Krister Sjöström. 2000. Provisional protocol for the sampling and analysis of tar and particulates in the gas from large-scale biomass gasifiers. Version 1998, *Biomass and Bioenergy*, Volume 18, Issue 1, Pages 19-38.
- 20) Philipp Hasler and Thomas Nussbaumer, 2000. Sampling and analysis of particles and tars from biomass gasifiers, *Biomass and Bioenergy*, Volume 18, Issue 1, Pages 61-66.
- 21) Roland V. Siemons, 2001. Identifying a role for biomass gasification in rural electrification in developing countries: the economic perspective, *Biomass and Bioenergy*, Volume 20, Issue 4, Pages 271-285.
- 22) Ruggiero, M. and G. Manfreda. 1999. An equilibrium model for biomass gasification processes, *Renewable Energy*, Volume 16, Issues 1-4, Pages 1106-1109.
- 23) Sakaki, K. and K. Yamada. 1997. CO<sub>2</sub> mitigation by new energy systems, *Energy Conversion and Management*, Volume 38, Pages S655-S660.
- 24) Surendra B. Prasad, 1996. Modelling a charcoal production system fired by the exhaust of a diesel engine, *Energy Conversion and Management*, Volume 37, Issue 10, Pages 1535-1546.
- 25) Turn, S., C. Kinoshita, Z. Zhang, D. Ishimura and J. Zhou, 1998. An experimental investigation of hydrogen production from biomass gasification, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 23, Issue 8, Pages 641-648.
- 26) Williams, R. H. and E. D. Larson. 1996. Biomass gasifier gas turbine power generating technology, *Biomass and Bioenergy*, Volume 10, Issues 2-3, Pages 149-166.
- 27) Zainal, Z. A., R. Ali, C. H. Lean and K. N. Seetharamu. 2001. Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials, *Energy Conversion and Management*, Volume 42, Issue 12, Pages 1499-1515.

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

#### ก.1 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนและเถ้า

##### ก1.1 ความหนาแน่นก่อนการอัด

วิธีการทดลองนำกากตะกอนมาจัดเรียงให้ชิดกันที่สุดในภาชนะขนาด 50x50x50 cm<sup>3</sup> นำไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล คำนวณของกากตะกอนต่อหน่วยปริมาตรที่แน่นอน

##### ก1.2 ความหนาแน่นหลังการอัด

วิธีการทดลอง ทำการวัดค่ามวลต่อปริมาตรของกากตะกอน แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณตามสมการที่ (ก1)

$$Density = \frac{Mass (kg)}{Volume (m^3)} \quad (ก1)$$

##### ก1.3 ความชื้น

คือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักกากตะกอน โดยหาเป็นร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตสติกเตอร์ (Desiccator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถาด อลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
- นำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างของตัวอย่างคงที่
- นำถาดอลูมิเนียมมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำเข้าเตสติกเตอร์ จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จึงทำการชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างที่ทำการอบแล้วอยู่ภายใน ทำการบันทึกผล จากนั้นนำผลการทดลองมาคำนวณตามสมการที่ (ก2)

$$M(wb) = 100 \times \frac{(W_1 - W_2)}{W} \quad (ก2)$$

เมื่อ

M (wb) คือ ร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis)

$W_1$  คือ น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองก่อนทำการอบ (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหลังทำการอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

## ก.2 การหาค่าประกอบแบบประมาณของกากตะกอนและเถ้า (Proximate Analysis)

การหาค่าประกอบประมาณ ได้แก่ ความชื้น เถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (Volatile Mater) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) โดยใช้วิธีการตามมาตรฐานของ ASTM D1762-84 ซึ่งมีวิธีการดังนี้

### ก2.1 ความชื้น

คือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยหาเป็นร้อยละของความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (desicator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถาด อลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
- นำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างของตัวอย่างคงที่
- นำถาดอลูมิเนียมมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ นาที จึงทำการชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่าง ที่ทำการอบแล้วอยู่ภายใน และทำการบันทึกจากนั้นนำผลการทดลองมาคำนวณตามสมการที่ (ก3)

$$M(db) = 100 \times \frac{(W_1 - W_2)}{W_2 - W_0} \quad (ก3)$$

เมื่อ

M (db) คือ ร้อยละของความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

$W_0$  คือ น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

$W_1$  คือ น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองก่อนทำการอบ (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหลังทำการอบ (กรัม)

## ก2.2 เถ้า (Ash)

- เตาครุชีเบลพอร์ซเลน (Porcelain Crucible) พร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ  $750^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์แล้วทำการชั่งน้ำหนักครุชีเบลพอร์ซเลนพร้อมฝา
- ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองใส่ครุชีเบลพอร์ซเลนประมาณ 1 กรัม
- นำไปเผาบนตะเกียงบุนเซน รอจนควันระเหยออกหมด
- ใส่ครุชีเบลพอร์ซเลนพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $750^{\circ}\text{C}$  ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือรอจนน้ำหนักเถ้าคงที่
- นำครุชีเบลพอร์ซเลนออกจากเตาเผาแล้วนำทิ้งไว้ให้เย็นลง จากนั้นนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกผล แล้วทำการคำนวณตามสมการที่ (ก4)

$$A = 100 \times \frac{(W_3 - W_4)}{W} \quad (ก4)$$

เมื่อ

A คือ ร้อยละของเถ้า

$W_3$  คือ น้ำหนักของครุชีเบลพอร์ซเลนพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)

$W_4$  คือ น้ำหนักของครุชีเบลพอร์ซเลนพร้อมฝา (กรัม)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)



### ก2.3 ปริมาณสารระเหย

- เผาครูชีเบิลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950°C ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิเคเตอร์ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของครูชีเบิลพร้อมฝาและทำการบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองใส่ในครูชีเบิลประมาณ 1 กรัม
- ปิดฝาครูชีเบิลให้เรียบร้อย จากนั้นนำไปให้ความร้อน โดยให้อยู่เหนือปากเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เป็นเวลาประมาณ 6 นาที
- หย่อนครูชีเบิลให้อยู่บริเวณปากเตา อุณหภูมิประมาณ 600°C ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- หย่อนครูชีเบิลให้อยู่กึ่งกลางเตาเผา อุณหภูมิประมาณ 950°C เป็นเวลาประมาณ 6 นาที
- นำครูชีเบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง จากนั้นนำไปใส่ไว้ในเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที จากนั้นจึงนำไปชั่งน้ำหนักและทำการบันทึกผล แล้วทำการคำนวณตามสมการที่ (ก5)

$$V = 100 \times \frac{(W_5 - W_6)}{W} \quad (ก5)$$

เมื่อ

- V คือ ร้อยละของสารระเหย
- $W_5$  คือ น้ำหนักของครูชีเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองก่อนทำการเผา (กรัม)
- $W_6$  คือ น้ำหนักของครูชีเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหลังทำการเผา (กรัม)
- $W$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)
- M คือ ร้อยละของความชื้น

## ก2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัว สามารถคำนวณ ได้ตามสมการที่ (ก6)

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละของความชื้น} - \text{ร้อยละของเถ้า} \\ - \text{ร้อยละของสารระเหย} \quad (\text{ก6})$$

## ก2.5 การหาค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Calorific Value)

การหาค่าความร้อนของการเผาไหม้ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ตามมาตรฐานของ ASTM D 2015-77 โดยนำตัวอย่างตัวอย่างแห้งบดละเอียด อัดเป็นเม็ด พันด้วยลวดเผาไหม้ (Ignition Wire) ใส่ลงในถ้วยตัวอย่าง วางในเครื่องบอมป์ปิดฝา อัดก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปด้วยความดัน  $30 \text{ kg/cm}^2$  ประมาณ 5 นาที แล้วประกอบเข้าในถัง (Jacket) เติมน้ำ ประมาณ 1800 มิลลิตร กดปุ่มเผาไหม้ตัวอย่าง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำ แล้วนำค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ไปคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่างตัวอย่าง โดยเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการ บอมป์ Benzoic acid มาตรฐาน

ค่าทางความร้อนทางเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ การหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายใน Bomb Calorimeter ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมป์แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์และปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ก7)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (ก7)$$

เมื่อ

- Q คือ ปริมาณความร้อน (MJ/Kg)  
 m คือ มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์ (kg)  
 c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.186 KJ/kg)  
 $\Delta T$  คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ( $^{\circ}\text{C}$ )

### ก.3 การหาคุณสมบัติแบบแยกธาตุของกากตะกอนและเถ้า (Ultimate Analysis)

#### ก3.1 องค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์

สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ C H N S Elemental Analyzer นำตัวอย่างตัวอย่างบดให้ละเอียด ชั่งปริมาณที่แน่นอนประมาณ 1-2 mg ใส่ภาชนะ นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ  $925^{\circ}\text{C}$  ภายใต้ออกซิเจนบริสุทธิ์ ผ่านเข้าไปใน Reagion  $\text{CO}_2$   $\text{H}_2\text{O}$   $\text{N}_2$  ความคุมความดัน อุณหภูมิ ปริมาตรให้คงที่

#### ก3.2 องค์ประกอบของธาตุออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนของเชื้อเพลิงกากตะกอน หาได้จากการคำนวณดังสมการที่ (ก8)

$$\text{ปริมาณออกซิเจน(\%)} = 100 - (\% \text{คาร์บอน} - \% \text{ไฮโดรเจน} - \% \text{ไนโตรเจน} - \% \text{ซัลเฟอร์}) \quad (ก8)$$

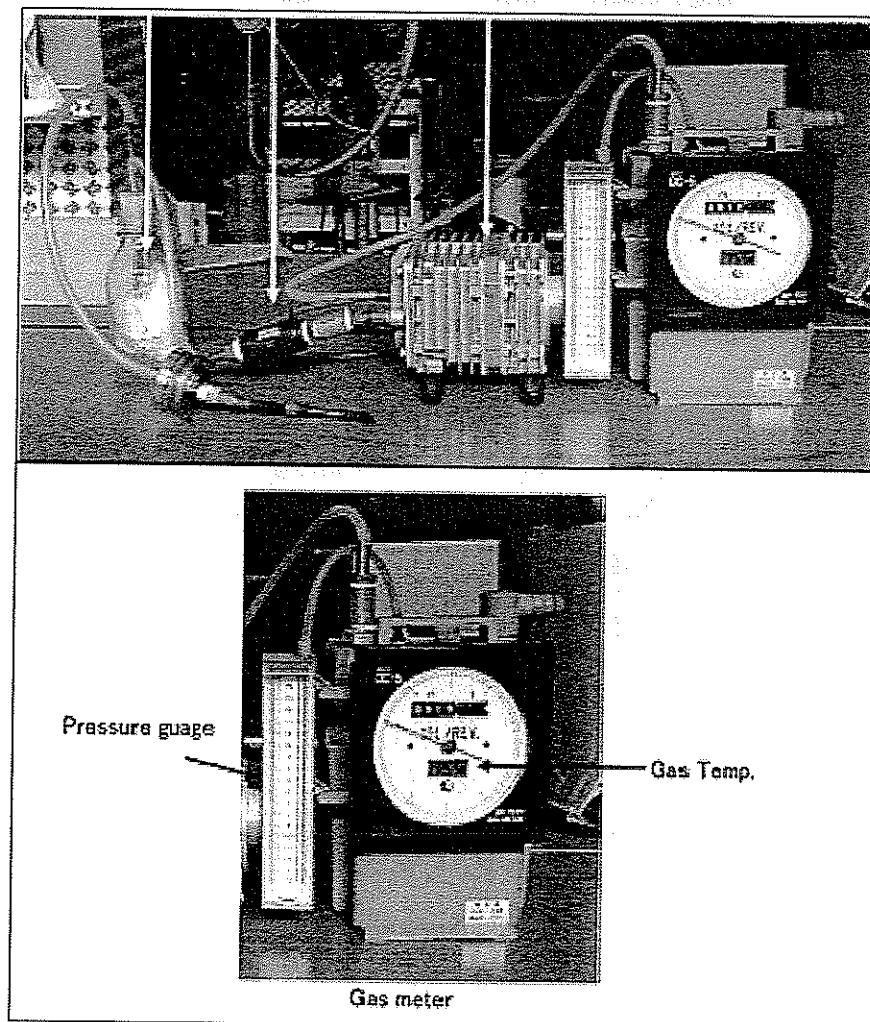
#### ก3.3 องค์ประกอบของธาตุโลหะหนักและคลอรีน

สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ คือ เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF รุ่น ED 2000) ที่สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ครอบคลุมตั้งแต่ธาตุ Na จนถึงธาตุ U ในระดับ 0.01-100 %) โดยนำตัวอย่างตัวอย่างที่บดให้ละเอียด ชั่งปริมาณใส่ในถ้วยชั่งสาร แล้วนำไปอัดตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเตรียมตัวอย่าง EDXRF จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยเครื่องมือดังกล่าว

#### ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณทาร์และฝุ่น (Tars and dust)

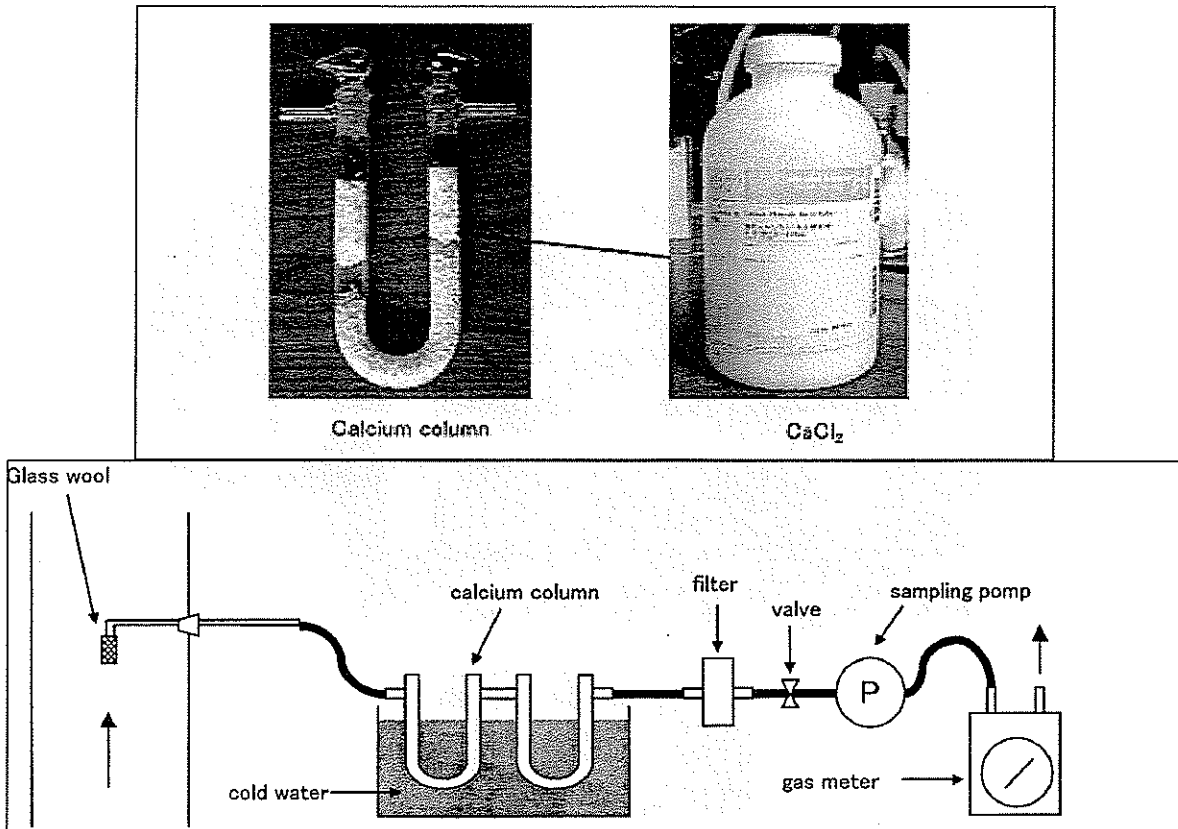
การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของทาร์และฝุ่น อ้างอิงตามคู่มือการเดินระบบของ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี (Technical Training Manual : Technical Support Materials on the Biomass Gasification Power Plant) โดยวิธีการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1) เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ ก1 คือบีมที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทาร์และฝุ่น ต้องควบคุมปริมาตรให้ได้เท่ากันทุกครั้งที่ทำกรเก็บตัวอย่าง เพื่อลดความคลาดเคลื่อน โดยปริมาตรที่กำหนด คือ ไม่เกิน 300 L



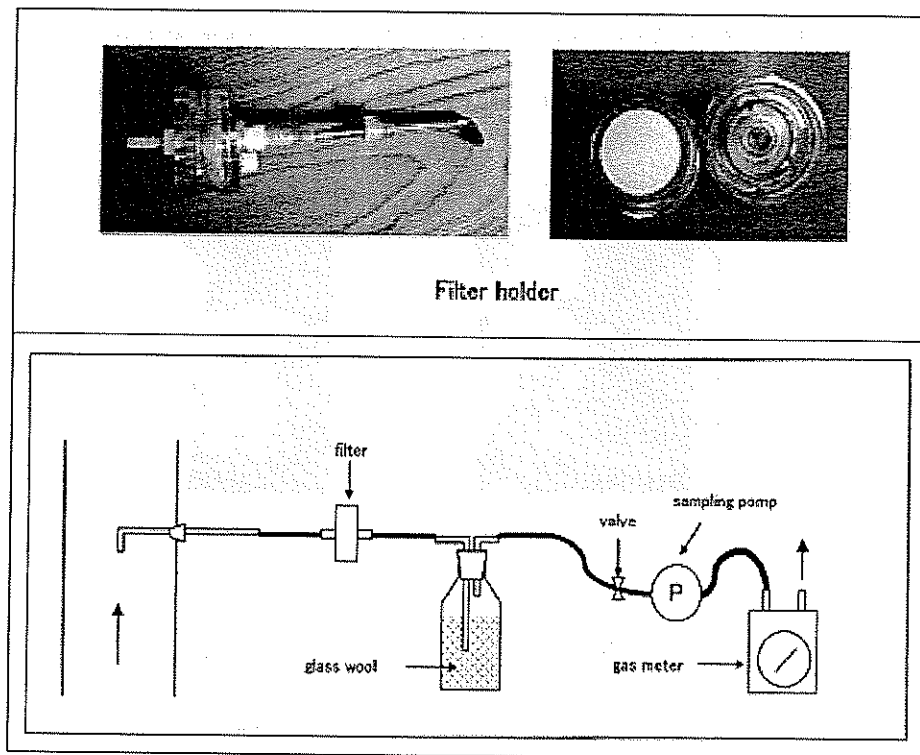
รูปที่ ก1 การเตรียมเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์

2) เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ ก2 คือ  $\text{CaCl}_2$  ซึ่งทำหน้าที่ดูดความชื้นที่มีอยู่ในแก๊ส โดยทำการเติม  $\text{CaCl}_2$  ลงไปใน Calcium ทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ ก2 นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแก๊สเชื้อเพลิง ( $X_w$ ) เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรของแก๊สที่มีความชื้น ( $V_m$ ) ก่อนที่จะคำนวณในรูป ปริมาตรของแก๊สแห้ง ( $V_N$ ) หรือที่ใช้ในหน่วย  $\text{Nm}^3$



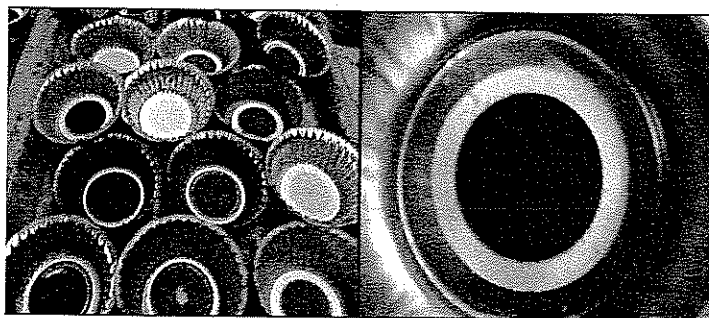
รูปที่ ก2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้วิเคราะห์ความชื้นของแก๊สเชื้อเพลิง

3) จากนั้นเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ทาร์และฝุ่น คือ Filter Holder สำหรับใส่กระดาษกรอง ซึ่งจะใช้กระดาษกรอง GF/B Dia. 47 mm ที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วที่อุณหภูมิ  $103-105^\circ\text{C}$  โดยทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ก3



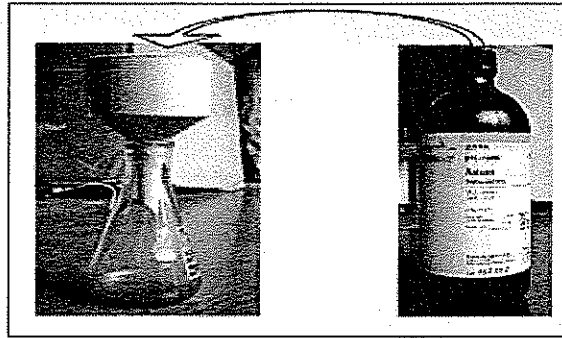
รูปที่ ๓ การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้วิเคราะห์ทาร์และฝุ่น

4) ทำการเก็บตัวอย่างทาร์และฝุ่นในแก๊สเชื้อเพลิงจนได้ปริมาตรที่กำหนด คือไม่เกิน 300 L จากนั้นนำกระดวยกรองไปอบไล่ความชื้นก่อน แล้วทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งน้ำหนักที่ได้คือปริมาณของทาร์และฝุ่นรวมกัน ตัวอย่างกระดวยกรองหลังผ่านการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ ๓4



รูปที่ ๓4 กระดวยกรองหลังผ่านการเก็บตัวอย่าง (ทาร์และฝุ่นรวมกัน)

- 5) ทำการล้างสารออกจากกระดวยกรองโดยใช้สารละลาย Anisole ดังแสดงในรูปที่ ก5 จากนั้นนำกระดวยกรองไปอบไล่ความชื้นก่อน แล้วทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ ก5 การล้างด้วยสารเคมี Anisole เพื่อกำจัดสารออกจากกระดวยกรอง

- 6) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ดังนี้

$$X_w = \frac{1.24m + 100}{V_m \times \left( \left( \frac{273}{273 + \theta_m} \right) \times \left( \frac{P_a + P_m}{101.3} \right) \right) + 1.24m} \quad (ก9)$$

$$V_m = \frac{V_L \times \left( \left( \frac{273}{273 + \theta_m} \right) \times \left( \frac{P_a + P_m}{101.3} \right) \right)}{1000} \quad (ก10)$$

เมื่อ

- $X_w$  คือ % ความชื้นของแก๊สเชื้อเพลิง  
 $m$  คือ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของแคลเซียมคลอไรด์ (mg)  
 $V_L$  คือ ปริมาตรของแก๊สที่มีความชื้น (L)  
 $V_m$  คือ ปริมาตรของแก๊สที่มีความชื้น ( $m^3$ )  
 $\theta_m$  คือ อุณหภูมิที่อ่านได้จาก Gas meter ( $^{\circ}C$ )  
 $P_a$  คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)  
 $P_m$  คือ ความดันแก๊สที่อ่านได้จาก Gas meter (kPa)

$$V_n = V_m \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \quad (ก11)$$

$$W_d = \left(\frac{m_3 - m_1}{V_n}\right) \quad (ก12)$$

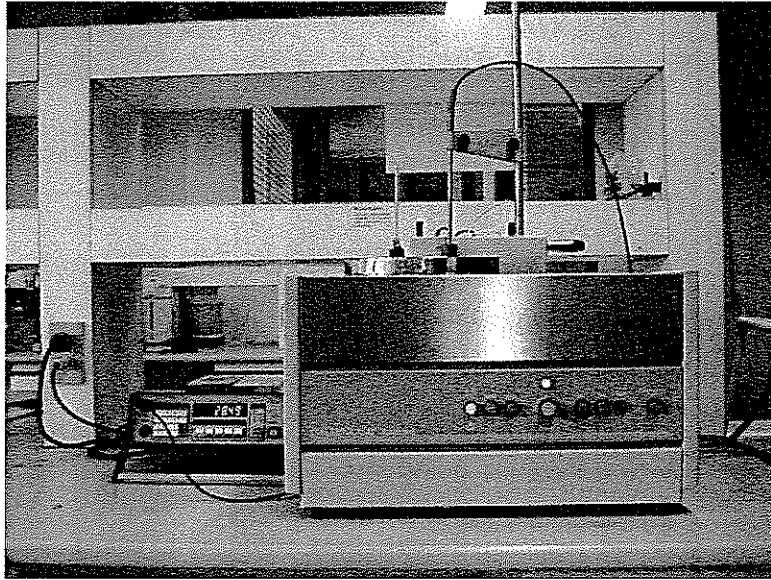
$$W_t = \left(\frac{m_2 - m_3}{V_n}\right) \quad (ก13)$$

เมื่อ

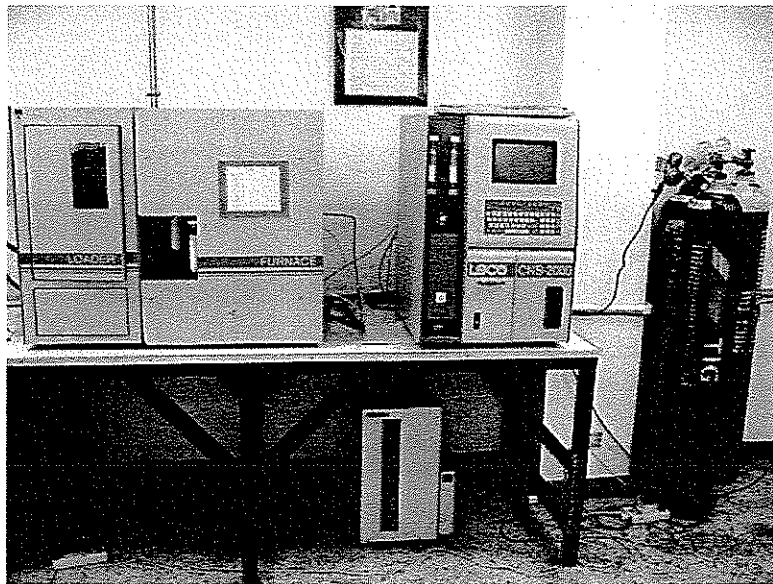
- $V_m$  คือ ปริมาตรของแก๊สที่มีความชื้น ( $m^3$ )  
 $V_N$  คือ ปริมาตรของแก๊สแห้ง ( $Nm^3$ )  
 $W_t$  คือ ความเข้มข้นของทาร์ (Tar Concentration  $mg/Nm^3$ )  
 $W_d$  คือ ความเข้มข้นของฝุ่น (Dust Concentration  $mg/Nm^3$ )  
 $m_1$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองเริ่มต้น (mg)  
 $m_2$  คือ น้ำหนักหลังการกรองและอบที่อุณหภูมิ  $103^\circ C$  (mg)  
 $m_3$  คือ น้ำหนักหลังล้างทาร์ออกด้วยสารละลาย Anisole และอบที่อุณหภูมิ  $130^\circ C$  (mg)



ภาคผนวก ข  
อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย



รูปที่ ข1 เครื่อง Bomb Calorimeter (วิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)



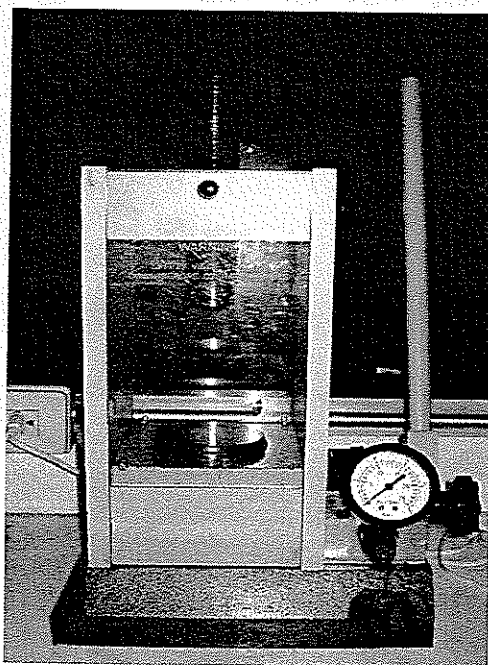
รูปที่ ข2 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ C H N S Elemental Analyzer  
(วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์)



รูปที่ ข3 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

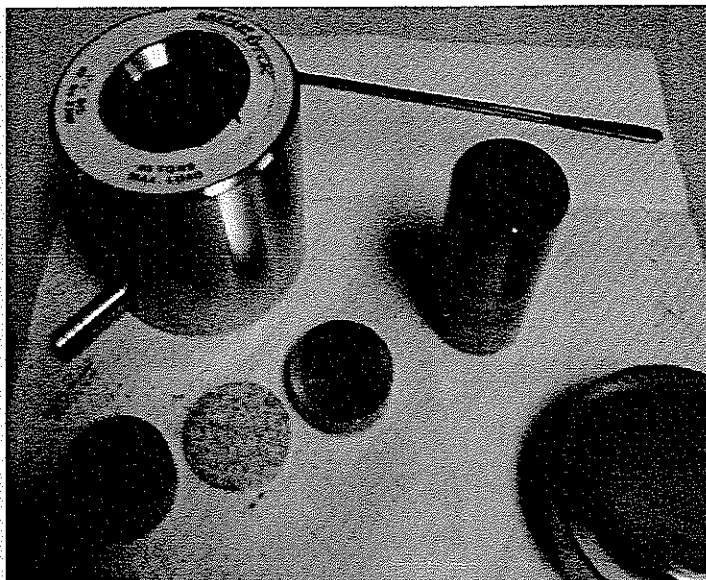
(Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer : EDXRF)

(วิเคราะห์หาองค์ประกอบของโลหะหนัก Cd, Cu, Pb, Fe, Zn และปริมาณธาตุ Cl ในวัสดุดิบ)



รูปที่ ข4 เครื่องเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

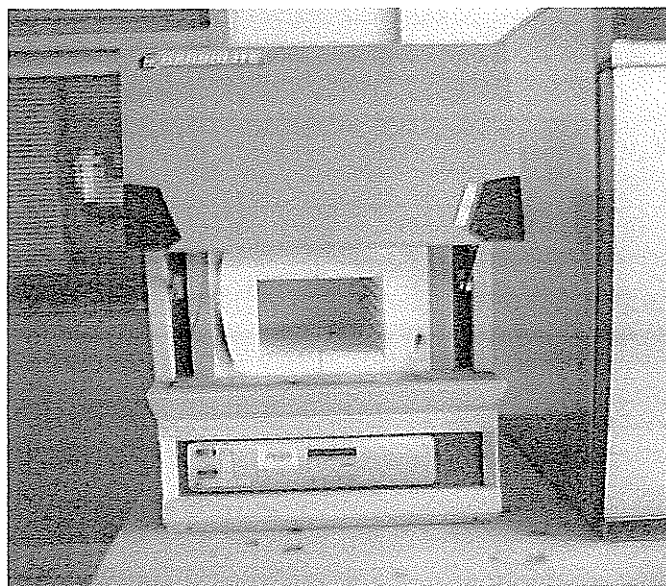
โดย Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF)



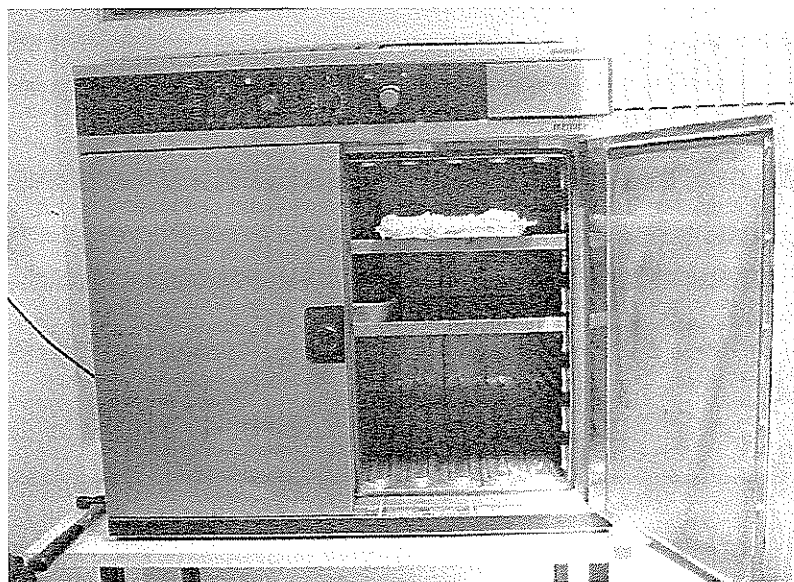
รูปที่ ข5 เครื่องเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุ  
โดย Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF)



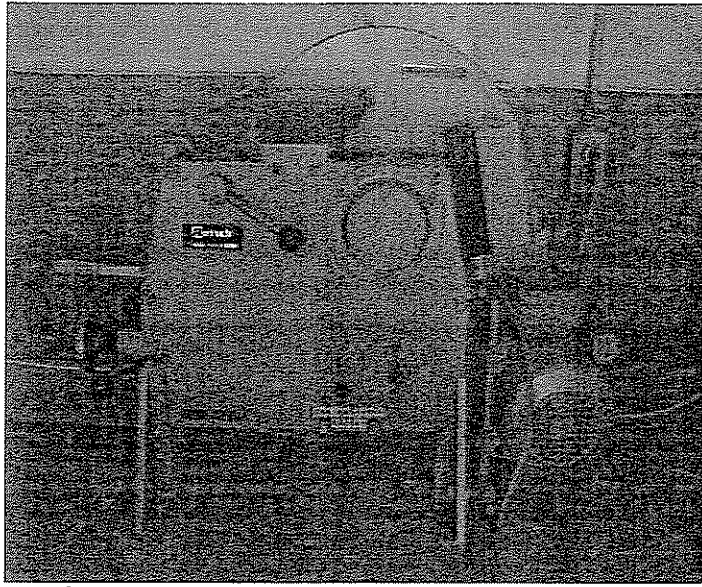
รูปที่ ข6 เตาเผา (Muffle Furnace) และการเตรียมตัวอย่าง  
(วิเคราะห์หา เถ้าและสารระเหย)



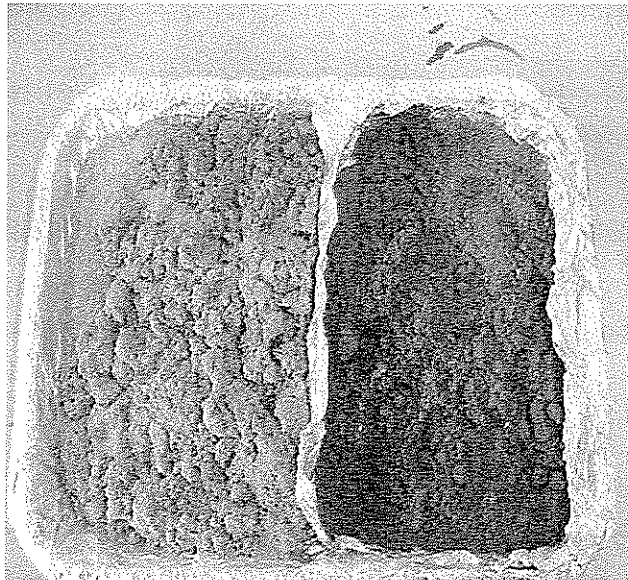
รูปที่ ข7 เตาเผา (Muffle Furnace) และการเตรียมตัวอย่าง  
(วิเคราะห์หา ถ้ำและสารระเหย)



รูปที่ ข8 เตาอบ (Drying Oven) สำหรับวิเคราะห์หาความชื้น



รูปที่ ข9 เครื่องบดวัตถุดิบ (เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ)



รูปที่ ข10 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

## ประวัตินักวิจัย

### หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล ดร. วีรชัย อจหาญ

Dr. WEERACHAI ARJHARN

2. หมายเลขบัตรประชาชน 3 1799 00014 82 4 วัน เดือน ปี เกิด 5 มิถุนายน 2513

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์/หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์/ โทรสาร 044-224225, 044-225007

E-mail : arjharh@g.sut.ac.th

### 5. การศึกษา

1. Ph.D. สาขาวิศวกรรมเกษตร University of Tsukuba, Japan. พ.ศ. 2544

2. วศ.ม. วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2540

3. วท.บ. เกษตรกลวิธาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2537

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- Energy (Renewal energy and their applications)
- Environmental and Resources Management (Waste management)

### 6. ประวัติการทำงาน

ปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
 : หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
 : หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล  
 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พ.ศ. 2548 - 2550 : รักษาการหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
 : รักษาการรองผู้จัดการฟาร์มมหาวิทยาลัย สำนักวิชา  
 เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา

พ.ศ. 2544- 2549 : อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.  
นครราชสีมา

## 7. ประสบการณ์การทำงาน

### 7.1 ประสบการณ์โดยสรุป:

ประสบการณ์ 15 ปี ในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ปี 2537-2543 (7 ปี) วิจัยและพัฒนา การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นต้นกำลังในรถแทรกเตอร์เกษตร โดยการพัฒนาต้นแบบรถแทรกเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 15 hp ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ปี 2544-ปัจจุบัน (8 ปี) เน้นการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานชีวมวล/ชีวภาพและการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงาน ทั้งส่วนของการวิจัยและพัฒนา และเป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาและวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงาน เช่น การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวมวล (Biomass Gasification) การพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพ การพัฒนาระบบการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลใช้กับแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Feedstock Technology) การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชพลังงาน เช่น ไม้โตเร็วสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ตลอดจนการวิเคราะห์และตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน

### 7.2 ผลงานการบริหารโครงการ

พ.ศ. 2544 – ปัจจุบัน

โครงการออกแบบและทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับผลิตถ่านชีวภาพ (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่งหัวหน้าโครงการ

โครงการออกแบบและทดสอบระบบกกกลูกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาล โดยใช้แก๊สชีวภาพ (วิจัย: สกว. และบริษัท โฟร์ที จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการออกแบบเตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบสองทางออกสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและการอบแห้ง (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การประเมินวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีววมวล (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การประเมินวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากเห่ง้ามันสำปะหลัง (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการพัฒนาต้นแบบสถานีผลิตไฟฟ้าและความร้อนขนาดเล็กโดยใช้เตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบสองทางออก (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหน่วยงานที่ปรึกษาในเครือข่ายฯ โครงการส่งเสริมการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง (ระยะที่ 3) ฟาร์มขนาดกลาง (ผู้ว่าจ้าง: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สนพ.) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

- ฟาร์มเรืองศิริ จ. ขอนแก่น 1000 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มคุณประยุทธ์ จ. ชลบุรี 1000 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มสุกรจักรกริช จ. ชลบุรี 1000 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มพนัสพันธุ์สัตว์ จ. ชลบุรี 1000 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มบูรพา จ. ร้อยเอ็ด 1000 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มธงชัย จ. บุรีรัมย์ 400 m<sup>3</sup>
- ไทยฟาร์ม จ. บุรีรัมย์ 500 m<sup>3</sup>
- ฟาร์มกุครึ่ง จ. มหาสารคาม 1000 m<sup>3</sup>

โครงการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ น้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับนำมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดเชียงใหม่ (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ



โครงการหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชน้ำมันสำหรับ  
ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล -ปาล์มน้ำมัน ทานตะวัน สนุ่นดำ - (วิจัย:  
Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI)  
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล  
(วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry,  
METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาการสมบัติน้ำมันรำข้าวสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (ผู้ว่าจ้าง: บริษัท เจียเม็ง จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการจัดทำกรอบแผนยุทธศาสตร์พลังงานแบบบูรณาการ  
ระดับจังหวัด ปี 2547- บัรรัมย์ – (ผู้ว่าจ้าง: สำนักงานพลังงาน  
ภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวงพลังงาน) ตำแหน่ง  
ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงานโครงการ)

โครงการจัดทำกรอบแผนยุทธศาสตร์พลังงานแบบบูรณาการ  
ระดับจังหวัดปี 2548 – ชัยภูมิ มหาสารคาม ศรีสะเกษ – (ผู้ว่าจ้าง:  
สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวงพลังงาน)  
ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงานโครงการ)

โครงการออกแบบและทดสอบระบบกกกลูกลูกสุกในโรงเรือนตลอด  
โดยใช้ความร้อนเหลือทิ้ง จากเครื่องยนต์ผลิต ไฟฟ้าด้วยแก๊สชีวภาพ  
(วิจัย: มทส. และ บริษัท เอสพีเอ็ม จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้า  
โครงการ

โครงการพัฒนาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน  
(วิจัย: บริษัทซาตาเก้ (ประเทศไทย) จำกัด และ SATAKE  
CORPERATION CO., LTD JAPAN) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการบูรณาการงานด้านพลังงานกับแผนยุทธศาสตร์จังหวัด ปี  
2549 (ผู้ว่าจ้าง: สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา)  
กระทรวงพลังงาน) ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน/ผู้  
ประสานงานโครงการ)

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกไม้โตเร็วเพื่อเป็น  
พลังงานชีวมวล (วิจัย: กองทุนอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบาย  
และแผนพลังงาน) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็น  
พลังงานทดแทน (ระดับชุมชน) (วิจัย: กองทุนอนุรักษ์พลังงาน  
สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน  
ระยะที่ 1 (วิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ) ตำแหน่ง  
หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน  
ระยะที่ 2 (วิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ) ตำแหน่ง  
หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาด้านทุนทางเศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก  
สำหรับชุมชน 2 (วิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)  
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลัง  
สำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล แหล่งทุน ศูนย์นวัตกรรมหลังการ  
เก็บเกี่ยว ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการ การศึกษาสังเคราะห์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน  
ทางเลือก แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการ การศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกไม้โตเร็วเพื่อเป็น  
พลังงานชีวมวลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำนักงานประมาณ  
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การศึกษาแนวทางบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงาน  
ทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน) สำนักงานคณะกรรมการ  
วิจัยแห่งชาติ ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การศึกษาและพัฒนาต้นแบบการจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (กรณีศึกษาชุมชนขนาดเล็ก ปริมาณขยะ 3-5 ตัน/วัน) กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การผลิตพลังงานจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

การรีไซเคิลลำไยค้ำสตัด ปี 2546/2547 โดยใช้เป็นพลังงานชีวมวล สำนักงานปลัด กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : ต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

### 7.3 ผลงานตีพิมพ์

- 1) *Arjharn W.*, M. Koike, T. Takigawa, A. Yoda, H. Hasegawa and B. Bahalayodhin. *Preliminary Study on the Applicability of an Electric Tractor (Part 1) – Energy Consumption and Drawbar Pull Performance* – Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 63(3), 130-137, 2001.
- 2) *Arjharn W.*, M. Koike, T. Takigawa, A. Yoda, H. Hasegawa and B. Bahalayodhin. *Preliminary Study on the Applicability of an Electric Tractor (Part 2) – Effect of Battery allocation on the Tractive Performance* – Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 63(5), 92-99, 2001.
- 3) Hasegawa, H., Koike, M., Yoda, A., *Arjharn, W.* and Sato, S. 2001. *Studies on the Development of Supporting Technology for Rice in View of Environmental (Part 1) - Field Trial for Weed Control by Using Rice Bran Pellets* -. Proceedings of 37th Annual Meeting of the Kanto Regional Unit of JSAM, 4-5.
- 4) กรัชพล ประรณารักษ์, ระวี โปร่งสี และ วีรชัย ออจหาญ. 2545. การออกแบบและทดสอบระบบทำความร้อนสำหรับกกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาล โดยใช้แก๊สชีวภาพ. วารสารสำนักวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 4-5.
- 5) Jantasiri, J. and *W. Arjharn*. 2003. *Design and Testing of the Heating System for Swine Nursery House Using Biogas*. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the Thai Society of Agricultural Engineering, 643-650,
- 6) จิระกุล จันทศิริ และ วีรชัย ออจหาญ. 2547. การออกแบบและทดสอบระบบทำความร้อนสำหรับกกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาล โดยใช้แก๊สชีวภาพ. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 10(3). 300-306
- 7) เจนวิทย์ วรรณพีระ, ณัฐยา พูนสุวรรณ, ศรัลย์ ปานศรีพงษ์ และ วีรชัย ออจหาญ. 2547. การเตรียมและวัดสมบัติถ่านจากวัสดุชีวมวล. การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 ประจำปี 2547, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 469-474.
- 8) พงนาลัย ชาวห้วยหมาก, ชีระสุด สุขกำเนิด และ วีรชัย ออจหาญ. 2547. การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการปรับปรุงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์รีฟิเคชันของปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 ประจำปี 2547, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 432-438.

- 9) Saran Pansiripong, Sarawut Panthon and Weerachai Arjharn. (2006). Chassis dynamometer emission test of diesel engine using various % blend of biodiesel. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 155-160.
- 10) Niwat Kongkapee, Saran Pansiripong and Weerachai Arjharn. (2006). Performance characteristics of the diesel engine using various % blend of biodiesel . Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 161-166.
- 11) Pojanalai Chowhouimak, Terasut Sookkumnerd and Weerachai Arjharn. (2006). Chassis dynamometer emission test of diesel engine using various % blend of biodiesel. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 147-154.
- 12) พยุงศักดิ์ จุลยเสน และ วีรชัย ออาจหาญ. 2551. ระบบกักตุนกมลพิษในโรงเรือนปลอดโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 176-177.
- 13) สุภัทร หนูเข้ม, เวียง อากรชิ และ วีรชัย ออาจหาญ. 2551. การศึกษาลักษณะการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 182-183.
- 14) ณัฐพงษ์ ประภาการ, พรรษา ลิบลับ และ วีรชัย ออาจหาญ. 2551. การศึกษาคูณสมบัติกำลังเรือนของเชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 184-185
- 15) นิวัฒน์ คงกะพี้, กฤษกร รับสมบัติ และ วีรชัย ออาจหาญ. 2551. การทดสอบประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 186-187
- 16) ทิพย์สุกินทร์ หินชุย, ปกัศ ชนะโรค และ วีรชัย ออาจหาญ. 2551. การศึกษามลพิษและของเสียจากโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 188-189
- 17) วีรชัย ออาจหาญ, นิวัฒน์ คงกะพี้, กฤษกร รับสมบัติ, ปกัศ ชนะโรค และ ทิพย์สุกินทร์ หินชุย. 2551. การศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน การประเมินประสิทธิภาพและผลกระทบต่อด้านมลพิษ. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ปีที่ 40 เล่มที่ 2 .

- 18) วีรชัย อางหาญ, ชิงชัย วิริยะบัญชา และ สมิต บุญเสริมสุข. 2551. การศึกษาศักยภาพการปลูกไม้โตเร็วสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในชุมชนสำหรับประเทศไทย. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 190-191
- 19) สาวิตรี คำหอม และ วีรชัย อางหาญ. 2551. การศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 192-193
- 20) Weerachai Arjham, Pansa Liplap and Payungsak Junyusen. (2008). The Study on a Small-Scale Biomass Gasification Power Plant for a Rural Electricity Production in Thailand. Proceedings of 2008 The 43rd Annual Meeting Japanese Society of Farm Work R
- 21) Payungsak Junyusen, Weerachai Arjham and Pansa Liplap. (2008). Utilization of a Biogas Combined Heat and Power System for Warming Piglets in Farrowing House. Proceedings of 2008 The 43rd Annual Meeting Japanese Society of Farm Work Research, 171
- 22) Pansa Liplap and, Weerachai Arjham and Payungsak Junyusen. (2008). A Study on Shearing Characteristics of Biomass Fuel. Proceedings of 2008 The 43rd Annual Meeting Japanese Society of Farm Work Research, 173-174.
- 23) ทิพย์สุภินทร์ หินซุย, วีรชัย อางหาญ, บุญชัย วิจิตรเสถียร และ สมรัฐ เกิดสุวรรณ (2552). การผลิตพลังงานและมลพิษสิ่งแวดล้อมจากการใช้กากตะกอนน้ำเสียกับเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. หน้า 225.
- 24) สาวิตรี คำหอม, วีรชัย อางหาญ และชาญชัย ทองโสภณ. 2552. การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 36-41.
- 25) พิณิจ จิรัศกุล, วีรชัย อางหาญ, สุภัทร หนูแย้ม และ สาวิตรี คำหอม. 2552. การศึกษาด้านทุนการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์. การประชุมวิชาการครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 380-385.

- 26) สุภัทร หนูแย้ม, เวียง อากรจี และ วีรชัย ออาจหาญ. 2552. การศึกษาการใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 396-401.
- 27) พินิจ จิรัคคกุล, วีรชัย ออาจหาญ และ พรธมา ลิบลับ. 2553. การศึกษาต้นทุนการผลิตเหง้ามันสำปะหลังเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2553 หัวข้อ “การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน” ครั้งที่ 2
- 28) เกียรติศักดิ์ นิคมชัยประเสริฐ, คงเดช พระสีนาม และ วีรชัย ออาจหาญ. 2553. การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม. การประชุมวิชาการครั้งที่ 11 ประจำปี 2553, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 333-338.
- 29) คงเดช พระสีนาม และ วีรชัย ออาจหาญ. 2553. การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม. การประชุมวิชาการครั้งที่ 11 ประจำปี 2553, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 339-344.
- 31) วีรชัย ออาจหาญ. 2553. การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 2). วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ด้านพลังงานฉบับพิเศษ (วช. ครบรอบ 50 ปี)