



การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ

สุทธิเดช โตนชัยภูมิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

มีนาคม 2563

การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ



สุทธิเดช โตนชัยภูมิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

มีนาคม 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Comparison of compressed biomass fuel sticks for pastries  
production.



Suttidat Tochapoom

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering Program (Engineering Management)  
faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University

March 2020

Copyright of Uttaradit Rajabhat University

วิทยานิพนธ์ เรื่อง  
การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ  
ของ  
สุทธิเดช โตนชัยภูมิ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

เมื่อวันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ )  
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์)  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.พลิศภัทร์ คำฟู)  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ )  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และเลขานุการ

(อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ)  
ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์)  
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

(อาจารย์ ดร.เชาวฤทธิ์ จั่นจั่น)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดช วงศ์หล้า)  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ
ผู้วิจัย	สุทธิเดช โตนชัยภูมิ
ปริญญา	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.พลิศภัสร์ คำฟู

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบ เริ่มจากการศึกษาคุณลักษณะชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และไม้ไผ่ ร่วมด้วยการทดสอบคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และทำการกำหนดสัดส่วน แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และตัดเชื้อเพลิงให้มีขนาดความยาว 15 เซนติเมตร ใช้เครื่องอัดแบบเกลียว และส่งทดสอบคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM อีกครั้ง และนำมาทดสอบประสิทธิภาพปฏิบัติการในการอบขนมด้วยชีวมวลผสมอัดแท่ง พร้อมทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือเชิงวิศวกรรม ในการบันทึกข้อมูลระยะเวลาในการอบ อุณหภูมิ และน้ำหนักของถ้ำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบ

ผลการศึกษาพบว่า คุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM มีค่าคาร์บอนคงตัวของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 16.70-65.00 และมีค่าความชื้น ปริมาณถ้ำ และค่าสารระเหยของชีวมวลอยู่ในช่วงร้อยละ 6.70-11.50, 1.30-3.00, 70.50-77.60 ตามลำดับ และทำการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง และในด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบพบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้คุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ อัตราส่วนผสม กะลามะพร้าวร้อยละ 40.00 ชังข้าวโพดร้อยละ 50.00 และไม้ไผ่ร้อยละ 10.00 ต่อตัวประสาน 840.00 กรัม โดยอัตราส่วนนี้ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุด 58 นาที และให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุด 159.40 องศาเซลเซียส สีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.84 กิโลกรัม มีถ้ำน้อยที่สุดร้อยละ 2.41 อีกทั้งคุณภาพของขนมอบที่ได้มีลักษณะ สี

กลิ่นรส และรูปทรงของขนมอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ผลการวิจัย การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบ พบว่า ชีวมวลผสมอัดแท่งในสูตรที่ 3 สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย อีกทั้งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการลดมลพิษและกำจัดขยะที่เกิดจากการเกษตร

คำสำคัญ : ชีวมวลผสมอัดแท่ง ขนมอบ ประสิทธิภาพเชื้อเพลิง



## Abstract

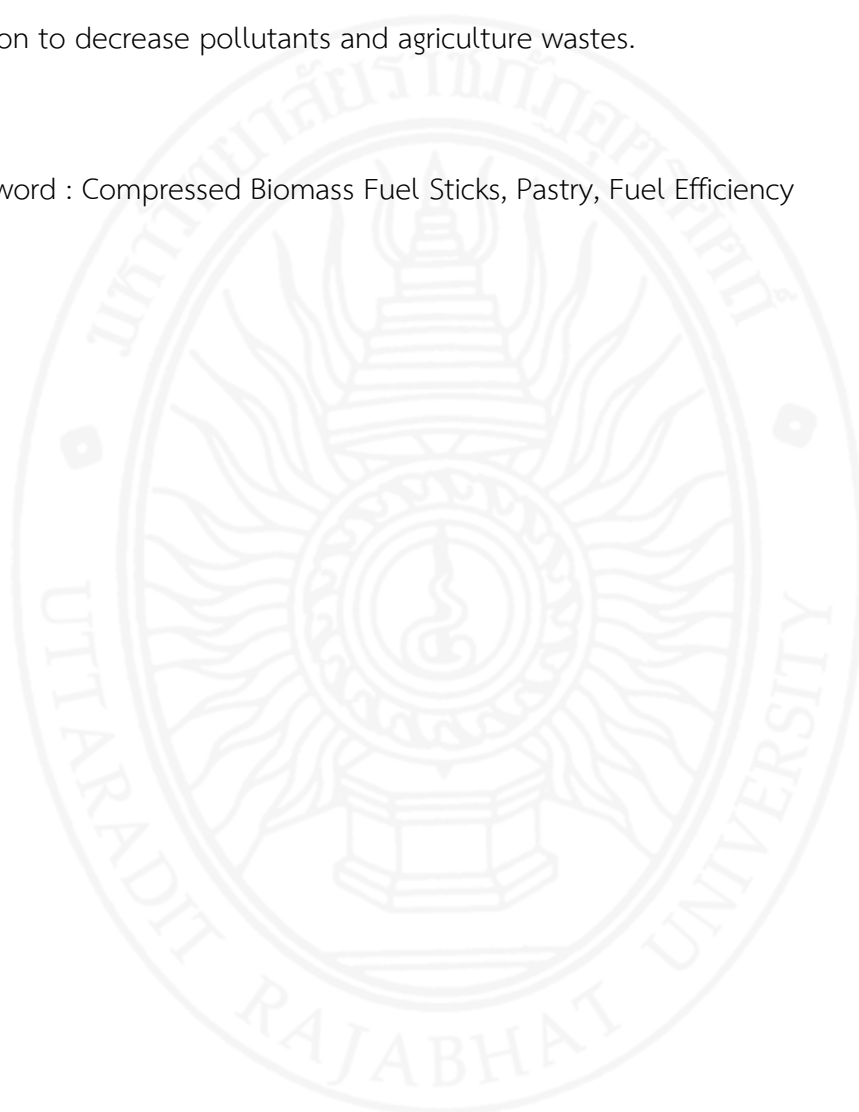
Title	Comparison of compressed biomass fuel sticks for pastries production.
Author	Suttidat Tochapoom
Degree	Master of Engineering Program (Engineering Management)
Advisor	Dr. Yosphatrachai Kanitpunyacharoen
Co-Advisor	Dr.Phalitphat Khumfu

The purposes of this research were to study chemical properties of biomass and ratios of compressed biomass fuel sticks, and to compare efficiency of compressed biomass fuel sticks for pastry production. The experiment started with examining chemical properties of coconut shell biomass, corncob biomass and bamboo biomass and testing their fuel properties according to ASTM standard. The ratio of cassava starch to water as emulsifier for compressed biomass fuel sticks was determined at 1:1 and they were cold pressed into cylinders with 2.5 centimeters in diameter and 15 centimeters in length. Then their fuel properties according to ASTM standard were tested again. After that, the compressed biomass fuel sticks were tested for their efficiency in pastry production and data including baking time, temperatures and ash weight were recorded by engineering tools to compare the efficiency.

The results reveal that the fuel properties of the 3 types of compressed biomass fuel sticks according to ASTM standard obtain fixed carbon approximately between 16.70-65.00%. The results also show the percentage of the moisture content, ash content and volatile matter at 6.70-11.50, 1.30-3.00, and 70.50-77.60 respectively. When comparing the efficiency of compressed biomass fuel sticks for pastry production, it was found that the best formula of fuel properties is 40% of coconut shell, 50% of corncob and 10% of bamboo per 840 grams of emulsifier. The pastry baking with this formula of compressed biomass fuel sticks takes the shortest

time at 58 minutes and heats up to 159.40 °C with orange flames. The fuel consumption rate in baking is 1.84 kg., and the minimum of ash is 2.41%. Moreover, the pastry's color, taste, and shape from the production meet the local product standard. In addition, the comparison shows that the 3<sup>rd</sup> formula of compressed biomass fuel sticks agrees with the hypothesis and could be developed to be an option to decrease pollutants and agriculture wastes.

Keyword : Compressed Biomass Fuel Sticks, Pastry, Fuel Efficiency



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ และอาจารย์ ดร.พลิศภัทร์ คำฟู อาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำปรึกษาเป็นอย่างดี เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในงานวิจัย และขอขอบคุณร้านค้าที่สนับสนุนเครื่องจักรในการเตรียมวัสดุ สวนระดับพันธมิตรที่เอื้ออำนวยในการใช้สถานที่จัดทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง ทางผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเอื้อประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและหน่วยงานที่สนใจในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง และหากเกิดข้อบกพร่องประการใดผู้จัดทำขอน้อมรับคำชี้แนะ และหากเกิดคุณงามความดีอันใดขึ้นผู้จัดทำวิจัยขอน้อมรับสักการะแต่ผู้มีพระคุณ ข้างต้นทุกท่าน ณ โอกาสนี้

สุทธิเดช โตนชัยภูมิ

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ชีวมวล.....	5
การวิเคราะห์คุณภาพชีวมวล.....	15
เตาอบ (Oven).....	22
กระบวนการผลิตขนมอบ.....	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย.....	30

ขั้นตอนการศึกษา .....	30
ขั้นตอนการเตรียมแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง .....	31
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง.....	31
สถานที่การศึกษาปฏิบัติการ .....	31
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
ผลการทดลองที่ 1 ผลการศึกษาคุณลักษณะชีวมวล.....	34
ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมนมอบ	
ด้านคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM .....	36
ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมนมอบเชิง	
ประสิทธิภาพปฏิบัติการประสิทธิภาพปฏิบัติการ .....	37
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	41
สรุปผล .....	41
อภิปรายผล.....	41
ข้อเสนอแนะ .....	42
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ข้อมูลชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์.....	46
ภาคผนวก ข ภาพรวมการปฏิบัติงาน.....	53
ประวัติย่อผู้วิจัย .....	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเสียที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง.....	8
ตารางที่ 2 ตรวจสอบเพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำของเสียมาผลิตแท่งเชื้อเพลิง .....	12
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์ .....	34
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์ .....	35
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์ .....	35
ตารางที่ 6 ผลการกำหนดตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง (% ต่อ 100 กรัม).....	35
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบด้านคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM.....	36
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 1 .....	37
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 2 .....	38
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 3.....	38
ตารางที่ 11 ผลเฉลี่ยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งทั้ง 3 สูตร .....	39
ตารางที่ 12 คุณภาพของขนมอบ .....	40

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 องค์ประกอบของชีวมวล.....	8
ภาพที่ 2 แบบประเมินที่เหมาะสมและความปลอดภัย.....	11
ภาพที่ 3 เครื่องอัดและกระบวนการผลิต.....	14
ภาพที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง.....	14
ภาพที่ 5 ส่วนประกอบต่างๆของตัวบอมบ์.....	20
ภาพที่ 6 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์และชุดจุดระเบิด.....	21
ภาพที่ 7 เตาอบธรรมดา (Conventional Oven).....	23
ภาพที่ 8 วางขนมลงตามพิมพ์ ลงบนถาดขนมขนาดเล็ก.....	32
ภาพที่ 9 เตรียมเตาอบขนาดเล็ก ทำการวอร์มเตาอบให้ร้อนและวัดอุณหภูมิก่อนอบ.....	32
ภาพที่ 10 ใส่ขนมผิงลงในตู้อบขนาดเล็ก เพื่อทำการอบ และจับเวลา.....	33

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อวงจรวิถีชีวิตของมนุษย์ แต่ในวันนี้สถานการณ์ของพลังงานกำลังเข้าสู่ภาวะวิกฤตเนื่องจากตัวพลังงานเองนั้นเหลือน้อยลงทุกที วิกฤตเมื่อปี 2561 เมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศไม่สอดคล้องกับการเติบโตของประชากร ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากต่างประเทศ เช่น โรงไฟฟ้าหงสาจาก สปป.ลาว (ExpresSo, 2562) และสถานการณ์อุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเป็นอย่างมากจึงเกิดการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติไปอย่างมากมาย ประชาชนจึง หันมาปลูกป่าเพื่อทดแทนป่าไม้ที่เคยถูกทำลายไป สังคมเริ่มมองเห็นคุณค่าของธรรมชาติ ที่มีความหลากหลาย และไม่สมบูรณ์ของธรรมชาติเนื่องจากการใช้พลังงานทำให้ธรรมชาติเสื่อมโทรมลง ต้นทุนสูง และเกิดผลกระทบตามมา (MaterialConneXion, 2559) เพราะฉะนั้นโลกในปัจจุบันจึงต้องคิดค้นหาหนทางแก้ไข โดยได้มีความพยายามพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ เพื่อใช้ทดแทนขึ้นในหลายๆ รูปแบบ ชีวมวล โดยได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น เศษไม้ ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แปรรูปทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน มาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิง นั้นเป็นพลังงานที่ใช้แบบหมุนเวียนไม่มีวันหมดเป็นพลังงานงานสะอาดและยังหาได้ง่ายตามชุมชน รวมทั้งได้รับพลังงานทดแทนที่นำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ แล้ว ยังช่วยลดปริมาณของเสียที่อยู่ในภาคการเกษตรที่ต้องกำจัดให้เหลือน้อยลง การแปรรูปของเสียเป็นเชื้อเพลิง เดิมการนำของเสียมาผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีให้กลายเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมอาหาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเท่านั้น

พืชเศรษฐกิจที่มีอยู่มากในจังหวัดอุดรดิตถ์ ได้แก่ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และไม้ไผ่ โดยหลังจากเก็บเกี่ยวพืชเศรษฐกิจกลุ่มนี้แล้วจะมีเศษเหลือใช้ในปริมาณมากเพียงพอต่อการนำไปผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับผลิตพลังงานทดแทน (ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ, 2558) การปรับปรุงคุณภาพชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับขมอมบ ทำได้โดยการนำ ชีวมวลต่างชนิดมาผสมกันเนื่องจากคุณลักษณะชีวมวลแต่ละชนิดให้ค่าความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจค้นคว้าวัสดุพลังงานคุณภาพสูงจากชีวมวลผสมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ ยังการนำมาผสมกันเป็นชีวมวลอัดแท่ง แล้วนำไปผลิตเป็นก๊าซให้กับอุตสาหกรรมอาหาร โดยผลิตจากวัสดุเหลือใช้ที่มีต้นทุนต่ำในชุมชนและเป็นพลังงานสะอาดมาประยุกต์ใช้ เริ่มจากศึกษาเอกสารและ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะสามารถกำหนดสัดส่วนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลได้แล้ว ดำเนินการทดลองและเปรียบเทียบชีวมวลอัดแท่ง ประโยชน์ที่จะได้รับคือแนวทางการเพิ่มมูลค่าของแท่งชีวมวลในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้และข้อมูลประกอบในการเลือกใช้พลังงานชีวมวลอีกทั้งยังเป็นการลดภาวะโลกร้อนอันเกิดจากการใช้ก๊าซ LPG ในปริมาณมาก

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ด้านประสิทธิภาพ คือ ผลการทดลองเชิงปฏิบัติการ และทดสอบเชิงวิทยาศาสตร์
2. ด้านวัสดุ คือ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และไม้ไผ่ จากพื้นที่ในจังหวัดอุดรดิตถ์
3. ด้านพื้นที่ คือ อาคาร IT คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

### ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

#### ตัวแปรต้น

1. เชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่
  - 1.1 กะลามะพร้าว
  - 1.2 ชังข้าวโพด
  - 1.3 ไม้ไผ่

2. เต้าเผาชีวมวล

3. ตู้อบขนม

4. ขนมอบ

#### ตัวแปรตาม

1. คุณภาพขนมอบ

2. ต้นทุนการผลิตชีวมวล

## นิยามศัพท์เฉพาะ

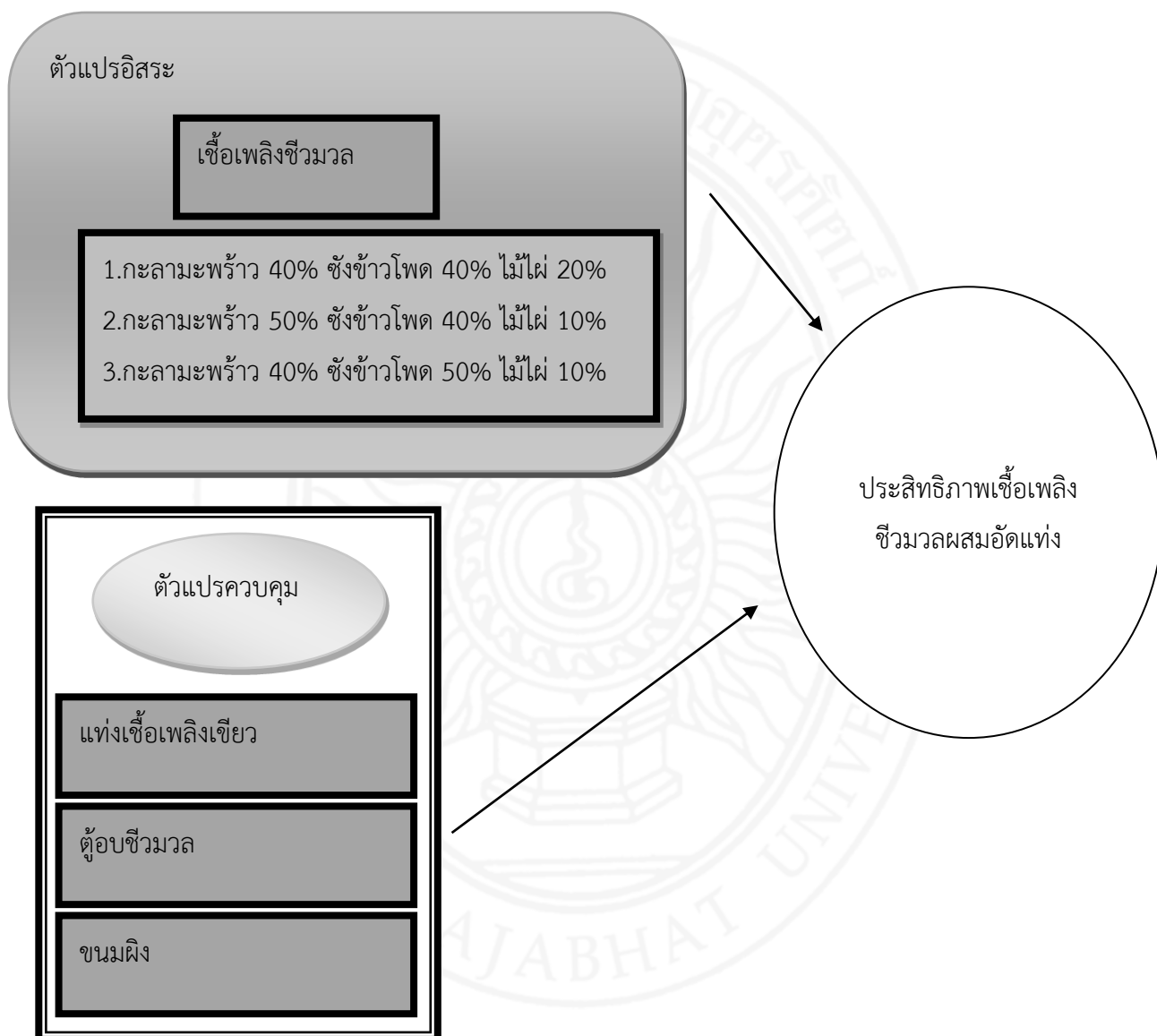
1. ชีวมวลผสมอัดแห้ง หมายถึง ชีวมวลที่เกิดจากการผสมกันของ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และไม้ไผ่
2. แ่งเชื้อเพลิงชีว หมายถึง แ่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแห้ง โดยไม่ใช้ความร้อน จากวัสดุชีวมวล หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด, ไม้ไผ่ ฯลฯ มาอัดเป็นแท่ง โดยอาศัยความเหนียวของตัวประสานเป็นตัวเชื่อมประสานและมีความชื้นพอดี เมื่ออัดออกมาเป็นแท่งก็จะได้แท่งอัดเชื้อเพลิงที่ใช้ประโยชน์แทนฟืน, ถ่าน หรือแก๊สหุงต้ม ได้เป็นอย่างดี
3. คุณลักษณะชีวมวล หมายถึง ระดับค่าความร้อน ค่าคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย ค่าความเป็นกรด ค่าความชื้น กำมะถันรวม คุณลักษณะนี้ต้องมีความเหมาะสม เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอัดแห้งแล้ว
4. ประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแห้ง คือ ชีวมวลผสมอัดแห้งที่มีค่าความร้อน ปริมาณเถ้าที่ได้หลังการเผาต้องมีปริมาณน้อย
5. ขนมหึ่ง คือ ขนมหึ่งที่ได้จากการนำกะทิกับน้ำตาลทรายมาผสมรวมกันแล้วเคี่ยวโดยใช้ไฟปานกลาง ประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วตั้งทิ้งไว้ ให้เย็นแล้วจึงใส่แป้ง ผงฟู ไข่ และนมข้นหวาน ใส่ลงไป ในน้ำกะทิจนจับหนึ่มหมักทิ้งไว้ 1 คืน นำส่วนผสมที่หมัก ทิ้งไว้มาตีให้เข้ากัน ประมาณ 20 นาที แล้วนำขนมเข้าเตาอบใช้ความร้อนประมาณ 250 องศาเซลเซียส อบขนมนาน 30 นาที จนขนมมีสีเหลืองนวล
6. ตู้อบขนม (Oven) หมายถึง อุปกรณ์ที่กักเก็บรักษาในระดับค่าความร้อนให้ได้ค่าตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ เพื่อแปรรูปอาหารให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ได้แนวทางการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลผสม
2. เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และปริมาณขยะทางการเกษตร
3. ได้ข้อมูลมาประกอบในการเลือกใช้ชนิดชีวมวลและการต่อยอดการวิจัยในครั้งต่อไป
4. ได้แนวทางลดค่าใช้จ่ายในอุตสาหกรรมขนมและลดภาวะเรือนกระจก

## กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขนมอบ โดยมีกระบวนการนำกรอบแนวคิดมาใช้ ดังนี้



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขมอมบ ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้าและเรียบเรียงเป็น โดยมีสาระสำคัญดังนี้

1. ชีวมวล
2. การวิเคราะห์คุณภาพชีวมวล
3. เตาอบ
4. กระบวนการผลิตขมอมบ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถ นำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น ผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เช่น แกลบ ฟาง กากอ้อย ต้นอ้อย กะลา ปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว เศษไม้ เศษหญ้า นอกจากนี้ยังรวมถึงมูลสัตว์ที่ใช้ในการเกษตร เช่น โคและสุกร และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรด จากโรงงาน สับปะรดกระป๋อง หรือน้ำเสียจากโรงงานเป็นต้น ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ได้ออกมา เป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา

ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล ชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตรา ต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงานจาก เชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ และไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม การพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและ การมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย

ดังนั้นหากมีการนำชีวมวลมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าหรือใช้เป็นทดแทนในรูปแบบต่างๆ อย่างเต็มรูปแบบและมีประสิทธิภาพที่ จะเกิดประโยชน์เบื้องต้นที่เห็นได้ชัดเจน คือ

1. การเผาน้ำมันเตาและถ่านหินก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศ ซึ่งถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นต้น ทำหน้าที่ห่อหุ้มโลกไว้ ถ้ามีมากเกินไป จะทำให้โลกไม่

สามารถสะท้อนความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์กลับออกไปได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้โลกร้อนขึ้น แต่การเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืช เพื่อการเจริญเติบโตครั้งต่อไป

2. หากไม่นำชีวมวลมาใช้ โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ จะเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

3. ชีวมวลจะมีองค์ประกอบของกำมะถัน หรือซัลเฟอร์ ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้ จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 2 ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 0.3-3.8 ซึ่งขึ้นกับประเภทของถ่านหิน)

4. ชีวเถ้าของชีวมวลมีสภาพที่เป็นต่าง ดังนั้นเหมาะสมที่นำไปปรับสภาพที่ดินที่เป็นกรดเพื่อใช้ในการเพาะปลูก นอกจากนี้ชีวเถ้าของชีวมวลบางประเภทยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก หรือผสมในซีเมนต์

5. การนำชีวมวลมาใช้ นอกจากจะก่อให้เกิดรายได้แก่ผู้ผลิตชีวมวล เช่น เกษตรกร โรงสีข้าว และเจ้าของสวนยางพารา เป็นต้น

6. เศรษฐกิจท้องถิ่นจะเจริญเติบโต เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถขายได้ทั้งผลิตผลทางการเกษตรและเศษเหลือจากการเกษตรที่เคยทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดรายได้กับชุมชน ผ่านทางภาษีท้องถิ่น และยังเป็นการลดภาระในการกำจัด เช่น นำไปบำบัดน้ำเสีย ฝังกลบ หรือเผาทิ้ง เป็นต้น

7. มีการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆตามมา เนื่องจากโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องในท้องถิ่นได้

8. ช่วยสร้างงานในท้องถิ่นนั้น เพราะจะมีการจ้างงานเพื่อทำงานในโรงไฟฟ้า เกิดระบบเศรษฐกิจรอบแหล่งผลิต เงินหมุนเวียนอยู่ในท้องถิ่น ประชาชนไม่ย้ายถิ่นฐานเพื่อหางานทำที่อื่น

9. เป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

10. ความมั่นคงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีโรงไฟฟ้าพลังชีวมวลขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วประเทศ ปัญหาไฟดับในพื้นที่ห่างไกลจะลดลงหากมีโรงไฟฟ้าขนาดเล็กไปอยู่ใกล้ๆ

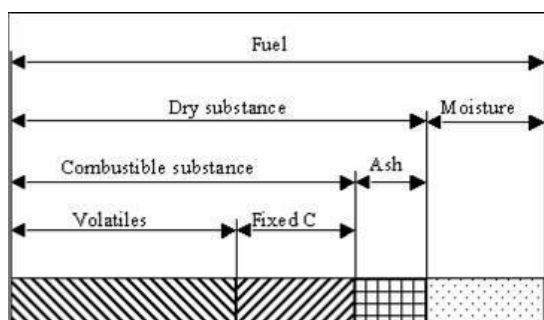
แหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลที่สำคัญ เพราะมีปริมาณมากและ เก็บรวบรวมได้ง่าย เช่น โรงสีข้าวได้แกลบ โรงงานน้ำตาลได้กากอ้อย โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ กากปาล์ม เปลือกปาล์ม และกะลาปาล์ม โรงเลื่อยไม้ยางพาราและ การแยกเมล็ดข้าวโพดได้ซังข้าวโพด โรงงานผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ได้ส่าเหล้า โรงงานแปรงมันสำปะหลังได้ กากมันสำปะหลัง โรงงานแปรรูปเนื้อมะพร้าวได้กากมะพร้าวและกะลามะพร้าว

นอกจากนี้แหล่งที่มาของชีวมวลอีกแหล่งที่นำศึกษาพัฒนา นั่นคือพื้นที่เพาะปลูก เช่น นาข้าวซึ่งมีฟางข้าวและต้นข้าวเหลืออยู่ ไร่อ้อยมีเศษใบอ้อยเหลือทิ้ง ไร่มันสำปะหลังจะคงเหลือเหง้า มันสำปะหลังเมื่อชาวบ้านขุดหัวมันแล้ว ส่วนมะพร้าวที่มีเศษลูกมะพร้าว ส่วนยางพาราที่มีตอและ รากของไม้ยางพาราอยู่เมื่อมีการตัดโค่นเพื่อทำการเพาะปลูกใหม่ซึ่งต้องมีการปลูกใหม่ทุก 25 ปี และเศษชีวมวลจากพื้นที่เพาะปลูกนี้หากมีการนำมาใช้เป็นพลังงานชีวมวลจะก่อรายได้แก่เกษตรกร โดยตรง นับเป็นการสร้างรายได้เสริม สามารถทำให้ภาคการเกษตรของไทยมีความเข้มแข็งขึ้นได้ จึงเห็นได้ว่าปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้ภายในประเทศ ขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรและมี หลายชนิดที่เป็นผลิตภัณฑ์เหลือใช้จากโรงงานแปรรูปทางเกษตรกร จึงสมควรพิจารณาความ เหมาะสมของชีวมวลแต่ละประเภทที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ดังนี้

1. ชังข้าวโพด ยังมีปริมาณไม่มาก และอยู่กระจัดกระจาย ในขณะนี้จึงเหมาะที่จะเป็นเชื้อเพลิงเสริมมากกว่าจะใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า
2. กะลามะพร้าวเป็นสิ่งของเหลือใช้ที่มีมาก เมื่อนำมาเผาเป็นถ่านจะได้ความร้อนสูง เหมาะแก่การทำชีวมวล
3. ไม้ไผ่ เป็นพืชที่มีการแพร่กระจายพันธุ์อยู่ทั่วไป ลำต้นแข็งแรงมีเนื้อไม้แข็ง เกลาให้เรียบได้ ยืดหยุ่น มีน้ำหนักเบา แข็งแต่ตัดให้โค้งงอได้ ถ้าจักเนื้อไม้ให้บางลงสามารถตัดทอนเป็นขนาดต่างๆ ได้ดังนั้น หากดูด้านศักยภาพที่ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพในเรื่องของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างมาก แต่ปัจจุบันยังอยู่ในระยะของการศึกษาเพื่อหันมาใช้ชีวมวลอย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพที่

องค์ประกอบของชีวมวล องค์ประกอบของชีวมวลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก

1. ความชื้น (Moisture) ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมี ความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 50
2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatile matter และ Fixed Carbon Volatile matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatile matter สูงแสดงว่าติด ไฟได้ง่าย
3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1 -3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมี สัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10 ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของชีวมวล

ที่มา: [http://www.em-group.co.th/Technology\\_Biomass.html](http://www.em-group.co.th/Technology_Biomass.html)

4. เกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงของเสีย ที่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอัดแท่ง แล้ว กลายเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติสูงนอกจากจะมีค่าความร้อนสูงแล้ว ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) โดยเฉพาะคาร์บอนคงตัวในปริมาณสูง แต่มีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเผาไหม้ในปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นของเสียที่ต้องกำจัดออกจากห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ ยังจะต้องมีกำมะถันรวมในปริมาณน้อย เพื่อไม่ให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ สำหรับความชื้นในของเสีย แม้ว่าการตากแดดหรืออบแห้งสามารถลดความชื้นในของเสียได้ แต่ก็จะเป็นการเพิ่มขึ้นตอนและความยุ่งยากในการดำเนินงาน และอาจเพิ่มต้นทุนการผลิตหากต้องใช้วิธีลดความชื้นด้วยการอบแห้ง โดยสรุป คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของของเสียที่เหมาะสมสำหรับนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ได้แก่

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเสียที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของเสียที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ค่าความร้อน (Heating Value)	สูง
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	สูง
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters)	สูง
เถ้า (Ash)	ต่ำ
ความชื้น (Moisture Content)	ต่ำ
กำมะถันรวม (Total Sulfur)	ต่ำ

คุณสมบัติของชีวมวล ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะอย่างต่างกันออกไป คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดด้อย เช่น การกระจายตัวของแหล่ง

ชีวมวล ขนาด ความชื้น สิ่งเจือปน และปริมาณขี้เถ้า เป็นต้น ดังนั้นถ้าจะนำชีวมวลใดมาผลิตไฟฟ้า จะต้องออกแบบเครื่องจักรให้ เหมาะสมกับชีวมวลนั้นๆเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามก็ ตามคุณสมบัติอย่างหนึ่งของ ชีวมวลที่เหมือนกันคือ มีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิด อื่นๆ โรงไฟฟ้าชีวมวลจึงควร อยู่ใกล้กับแหล่งผลิตชีวมวล เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งให้มากที่สุด

1. ขนาด ขนาดของชีวมวล เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถ้าชีวมวลมีขนาด ใหญ่ เช่น เศษไม้หรือปลายไม้ จากสวนปาล์มพารา และปีกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้พารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็น เชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพที่การ เผา ไหม้จะต่ำ ดังนั้นควรจะนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร จะทำให้ ประสิทธิภาพที่การเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. ความชื้น ความชื้นของชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมี ความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือสำเหล้า ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 80-90 ไม่เหมาะ ที่จะนำมาเผาไหม้ แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด (Dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อน นำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่ ซึ่งสามารถใช้เป็น เชื้อเพลิงเพื่อ ผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ในกรณีของเศษไม้ มีความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 ถ้านำมาเก็บ ไว้ล่วงหน้า ระยะเวลาหนึ่ง ความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ และถ้า เก็บไว้นานไปไม่มีโอกาสใช้ได้

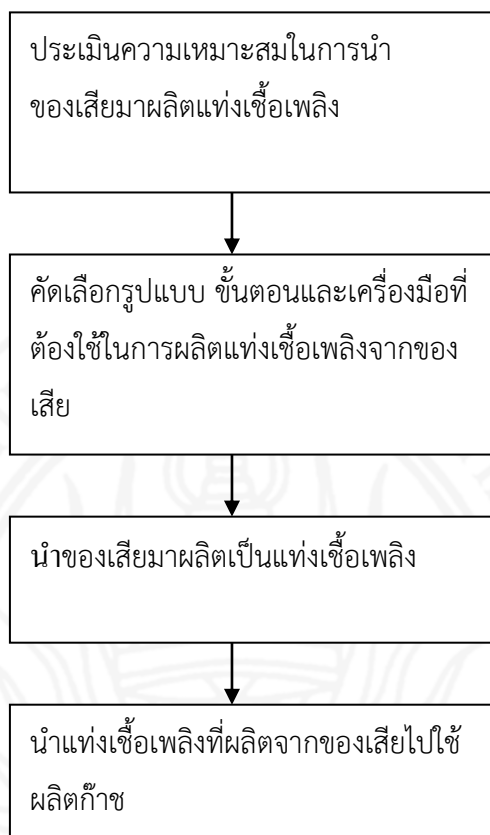
3. สิ่งเจือปน สิ่งเจือปนในชีวมวลมีหลายอย่างเช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบ น้ำมัน ปาล์ม เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มากคือ คราบน้ำมันปาล์มที่ติดอยู่ในทะลายปาล์ม และ กะลาปาล์ม เพราะเมื่อคราบน้ำมันปาล์มถูกความร้อนจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดในห้องเผา ไหม้ ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ

4. ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณขี้เถ้าของชีวมวล มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบ จะมีปริมาณ ขี้เถ้าร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการ รวบรวมขี้เถ้า ออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนประกอบทางเคมีของชีวมวล ชีวมวลแต่ละประเภทมีส่วนประกอบทางเคมีที่ แตกต่างกันได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฯลฯ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นมี หน้าที่ความสำคัญแตกต่างกัน ดังนั้นในการนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึง องค์ประกอบเหล่านี้

สรุปชีวมวล หมายถึง สารอินทรีย์เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติแล้วสามารถ นำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น แกลบ ฟาง อ้อย กะลามะพร้าว เป็นต้น





ภาพที่ 2 แบบประเมินที่เหมาะสมและความปลอดภัย  
ที่มา:คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแ่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม

การประเมินความเหมาะสมในการนำของเสียมาผลิตแ่งเชื้อเพลิง เป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนนำของเสียอุตสาหกรรมมาผลิตเป็นแ่งเชื้อเพลิง โดยการตรวจสอบที่มาของของเสีย ลักษณะทางกายภาพที่และลักษณะทางเคมีของของเสีย เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความปลอดภัยในการนำของเสียนั้นๆ มาแปรรูปให้เป็นแ่งเชื้อเพลิงและนำไปใช้งาน ขณะเดียวกัน ข้อมูลที่ได้ยังช่วยให้สามารถกำหนดรูปแบบ/ขั้นตอนการผลิต ตลอดจนการนำแ่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้งานอย่างเหมาะสมและปลอดภัยด้วย โดยประเด็นที่ควรตรวจสอบเกี่ยวกับของเสีย

ตารางที่ 2 ตรวจสอบเพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำของเสียมาผลิตแท่งเชื้อเพลิง

	ประเด็นที่ต้องตรวจสอบ	การนำเสนอข้อมูลที่ตรวจสอบไปใช้งาน
1.ที่มา	ประเภท/ชนิดของเสียต้องคงเดิมและ อัตราการเกิดของเสียต้องสม่ำเสมอ โอกาสในการปนเปื้อนสารอันตราย	ใช้ในการคัดเลือกขนาดเครื่องอัดแท่ง เชื้อเพลิงและเครื่องจักรอื่นๆ ให้เหมาะสม กับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
2.ลักษณะทาง กายภาพ	การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาด	เพื่อพิจารณาความจำเป็นในการนำของ เสียมาผ่านขั้นตอนทำให้ของเสียเป็นเนื้อ เดียวกัน เพื่อความสม่ำเสมอของแท่ง เชื้อเพลิงในการให้ความร้อน
3.ลักษณะเคมี	การปนเปื้อนสารอันตราย คุณลักษณะทางเชื้อเพลิง	ใช้บ่งชี้ความสามารถและความเหมาะสม ในการนำของเสียมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณสมบัติที่ สำคัญ

ที่มา:คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม

การคัดเลือกรูปแบบ ขั้นตอนและเครื่องมือที่ต้องใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากของเสีย ในกรณีพบว่าของเสียประเภทใดประเภทหนึ่งมีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตแท่งเชื้อเพลิงแล้ว ยังจะต้องนำข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่ได้ตรวจสอบไว้มาประกอบการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบและวิธีการดำเนินงาน รวมถึงประเภทและขนาดเครื่องมือที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนการผลิต โดยอย่างน้อยจะต้องพิจารณาถึงความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติของเสียก่อนจะนำไปอัดแท่งเชื้อเพลิงหรือไม่กระบวนการอัดที่เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของเสีย : กระบวนการอัดร้อนหรืออัดเย็น รูปแบบของแท่งเชื้อเพลิงที่จะทำการผลิต : อัดเม็ด อัดแท่ง หรืออัดก้อน (ขึ้นอยู่กับทั้งลักษณะ ของของเสียและแหล่งที่จะนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปใช้งาน) กำลังการผลิตของเครื่องจักร หรือเครื่องอัด ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับอัตราการเกิดของเสีย โดยกระบวนการพิจารณาในขั้นตอนการคัดเลือก รูปแบบ และเครื่องมือที่ต้องใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

### การนำของเสียมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับวัสดุชีวมวลที่ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติ และเนื้อวัสดุยึดเกาะกันได้โดยไม่ต้องเติมตัวประสานนั้น การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะเป็นแต่เพียงการนำวัสดุชีวมวลเหล่านั้นเข้าเครื่องอัดเป็นแท่งหรือเม็ดตามรูปแบบที่ต้องการ แต่สำหรับของเสียอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ พบว่า มักจะมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนกว่า เช่น มีปริมาณความชื้นมากเกินไป เนื้อวัสดุในของเสียไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดใหญ่เกินไป ค่าความร้อนต่ำเกินไป ฯลฯ ทำให้ต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของของเสียก่อนนำมาอัดเป็นแท่ง เช่น อาจต้อง บดย่อยของเสียก่อนทำการอัดเป็นแท่ง หากของเสียมีขนาดใหญ่และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อาจต้องผสม ของเสียกับวัสดุอื่นเพื่อเพิ่มค่าความร้อนให้สูงขึ้นตามต้องการ หรืออาจต้องเติมตัวประสานเพื่อช่วยให้วัสดุที่จะอัดแท่งเกาะยึดกัน ดังนั้น ในการเริ่มผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากของเสียอุตสาหกรรมในครั้งแรก จึงมักจะต้องทำการศึกษา ทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของเสียกับตัวประสาน (ในกรณีของเสียไม่จับตัวเป็นก้อน เมื่อทำการอัดโดยทั่วไปนิยมใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเนื่องจากราคาถูก หาซื้อง่ายและไม่เป็น อุปสรรคต่อการเผาไหม้เมื่อนำแท่งเชื้อเพลิงไปใช้งาน) และ/หรือหาสูตรผสมกับวัสดุอื่นที่ค่าความร้อนสูง เพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนตามต้องการ (ในกรณีที่ของเสียที่จะนำมาอัดแท่งมีค่าความร้อน ต่ำกว่าต้องการ) เมื่อได้ส่วนผสมที่เหมาะสมแล้วจึงนำของเสียและวัสดุผสมต่างๆ มาทำการผลิตเป็น แท่งเชื้อเพลิงให้ได้ปริมาณมากพอสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป



ภาพที่ 3 เครื่องอัดและกระบวนการผลิต  
 ที่มา:คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง  
 ที่มา:คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม

การนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้งาน เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเม็ด รูปที่ 3-4 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง การนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมไปใช้งาน นอกจากจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการให้พลังงานของเชื้อเพลิงแล้ว ยังต้องเป็นไปโดยคำนึงถึงหลักความปลอดภัยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้น หากเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากของเสียที่เป็นอันตรายแล้ว จะต้องใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาปูนซีเมนต์เท่านั้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียสเซลเซียส เป็นสภาวะที่มลสารอันตรายได้ถูกกำจัดลง โดยเฉพาะไดออกซิน (Dioxin) อีกทั้ง ระบบกำจัดมลพิษอากาศยังมีประสิทธิภาพที่สูงในการ กำจัดมลสาร และสำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ซึ่งสามารถใช้ได้กับหม้อไอน้ำหรือ หม้อต้มน้ำมัน ร้อนที่มีอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่เกิน 350 องศาเซลเซียสเซลเซียสนั้น จะต้องติดตามตรวจสอบมลสารในอากาศที่ระบายออกจากปล่องเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานมลสารที่ยินยอมให้ระบายออกจากปล่องด้วย

### การวิเคราะห์คุณภาพชีวมวล

ค่าความร้อน (Heating Value) การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีอยู่ 2 แบบ คือ Gross heat of combustion และ Net heat of combustion

1. Gross heat of combustion (Hi H Va.) หมายถึง ความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 1 หน่วยมวล ภายใต้ความดันคงที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และทำให้น้ำระเหยแล้วกลั่นตัวเป็นหยดโดยการคายความร้อนออกมา ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้จะรวมค่าความร้อนแฝงของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาสันดาปของเชื้อเพลิง

2. Net heat of combustion (Lo H Va.) หมายถึง ความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 1 หน่วยมวล ภายใต้ความดันคงที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และน้ำยังคงอยู่ในสภาพที่ไอ ดังนั้นค่าความร้อนแฝงของน้ำ และเป็นความร้อนจริงจากระบบเผาไหม้ในขณะนั้น เพราะไอน้ำที่ได้จากระบวนการเผาไหม้จริง จะระเหยออกไปทางปล่องระบายควัน ค่า Net heat of combustion สามารถคำนวณได้จาก Gross heat of combustion โดยลบด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. Ultimate Analysis เป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยทำการหาค่าแต่ละองค์ประกอบหลักทางเคมี ของเชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เถ้า ความชื้น และสารระเหยง่าย เป็นต้น วิธีการเริ่มจากการหาค่าธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนโดยวิธีการเผา ส่วนธาตุไนโตรเจนและกำมะถันใช้กระบวนการทาง

เคมี นอกจากนี้ อาจมีการตรวจหาธาตุคลอรีนถ้ามีปริมาณมากเพียงพอที่จะมีผลกระทบในการสันดาปในหม้อไอน้ำ ส่วนธาตุออกซิเจนไม่ทำการวิเคราะห์ แต่จะใช้ปริมาณส่วนที่เหลือจากการหาค่าธาตุอื่นๆแล้ว

2. Proximate Analysis วิธี Proximate Analysis เป็นการวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ ค่าความชื้น สารระเหยง่าย คาร์บอนคงตัว และเถ้า แต่ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นๆ เช่น กำมะถัน ฟอสฟอรัส เป็นต้น

2.1 ความชื้น (Moisture Content) หมายถึง น้ำที่ถูกไล่ออกในรูปต่างๆ เมื่อทดสอบภายใต้สภาวะบางอย่าง ซึ่งมีใน รูปแบบและสภาวะของความชื้นในเชื้อเพลิง

2.2 สารระเหยง่าย (Volatile Matter) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไอและก๊าซที่สลายตัวออกจากเชื้อเพลิงเพื่อทำให้ร้อน

2.3 คาร์บอน (Fixed Carbon) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

2.4 เถ้า (Ash) หมายถึง กากสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้จนมีน้ำหนักคงที่ภายใต้สภาวะที่มี การควบคุมอุณหภูมิ เวลา และสภาวะบรรยากาศที่เผาไหม้ วิธีการคือ เผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือค่าความชื้น จากนั้นนำมาเผาในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเซลเซียส น้ำหนักที่ลดลงคือ Volatile matter เชื้อเพลิงส่วนที่เหลือถูกนำมาเผาต่อที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเซลเซียสในสภาพที่เปิด ส่วนที่ถูกเผาไหม้คือ Fixed carbon และส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดคือ ชี้เถ้า

วิธีการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง การหาค่าความร้อน สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์โดยตรง และการคำนวณจากสมการต่างๆ ใน การวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงชีวมวลบดให้มีขนาดเล็กแล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้ เครื่อง Bomb Calorimeter ในการหาค่าความร้อน โดยกรณีที่จะหาโดยวิธีการคำนวณจากสมการ ต่างๆ นั้น จะหาได้จากความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ รวมไปถึงค่าความชื้น และปริมาณชี้เถ้า

สมการของ Dulong

$$HHV = 33950C + 144200 (H-O/8) + 9400S \quad \text{kJ/kg} \quad (2.1)$$

$$HHV = 14600C + 6200 (H-O/8) + 4050S \quad \text{Btu/lbm} \quad (2.2)$$

$$LHV = HHV - 2400 (M+9H_2) \quad \text{kJ/kg} \quad (2.3)$$

สมการของ Milne

$$HHV = 0.341 \cdot C + 1.322 \cdot H - 0.12 \cdot O - 0.12 \cdot N + 0.0686 \cdot S - 0.0153 \cdot \text{ash} \quad \text{MJ/kg} \quad (2.4)$$

สมการของ Boie

$$HHV = 151.2C + 499.77H + 45.0S - 47.7(O) + 27.0 N \quad \text{Btu/lbm} \quad (2.5)$$

สมการของ Grummel and Davis

$$HHV = [654.3 H/(100-A) + 424.62] [C/3 + H - (O)/8 + S/8] \quad \text{Btu/lbm} \quad (2.6)$$

สมการของ Mott และ Spooner

$$HHV = 144.54 C + 610.2 H + 40.5 S - 62.46 (O) \quad \text{Btu/lbm} \quad (O) \leq 15\% \quad (2.7)$$

$$HHV = 144.54 C + 610.2 H + 40.5 S - [65.88-30.96(O)/(100-A)] (O) \quad \text{Btu/lbm} \quad (O) > 15\% \quad (2.8)$$

เมื่อ

C คือ ค่าองค์ประกอบธาตุคาร์บอน

H คือ ค่าองค์ประกอบธาตุไฮโดรเจน

O คือ ค่าองค์ประกอบธาตุออกซิเจน

S คือ ค่าองค์ประกอบธาตุซัลเฟอร์

M คือ ค่าองค์ประกอบธาตุความชื้น

N คือ ค่าองค์ประกอบธาตุไนโตรเจน

จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะเป็นการคำนวณหาค่า Higher heating value หรือ ค่าความร้อนสูงที่รวมถึงปริมาณของความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำด้วยจะแตกต่างกันที่ หน่วยของแต่ละสมการเท่านั้นโดยที่สมการที่ (2.1) คือกิโลจูล/กิโลกรัม และสมการที่ (2.2) คือบีที ยู/ปอนด์ สำหรับสมการที่ (2.3) เป็นการคำนวณหาค่า Lower heating value หรือค่าความร้อนต่ำที่ จะไม่รวมปริมาณของความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูง และทุกสมการสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าองค์ประกอบทางเคมีของธาตุดังนี้

การแทนค่า C, H, O, N, S, M และ A จากสมการที่ (2.1) (2.2) และ(2.3) ค่า องค์ประกอบทางเคมีของธาตุที่จะนำมาแทนในสมการจะเป็นสัดส่วนคิดจากจำนวนเต็มหนึ่งสำหรับสมการที่ (2.4) (2.5) (2.6) (2.7) และ(2.8) ค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่นำมาใช้จะเป็นจำนวนร้อยละ สมการที่ (2.4) ค่าความร้อนที่ได้จะมีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม ส่วนสมการที่ (2.5) และ (2.6) ค่าความร้อนจะมีหน่วยเป็นบีทียู/ปอนด์ สมการที่ (2.7) และ (2.8) แตกต่างกันในเงื่อนไขในการเลือกใช้สมการ โดยถ้าค่าออกซิเจนที่นำมาคำนวณมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15% ให้เลือกใช้สมการที่ (2.7) และอีกกรณีถ้าค่าออกซิเจนที่นำมาคำนวณมีค่ามากกว่า 15% ให้เลือกใช้สมการที่ (2.8) ค่าของคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ สามารถหาได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทางเคมีแบบ Ultimate analysisโดยที่สามารถส่งเชื้อเพลิงชีวมวลตัวอย่างไปทดสอบเพื่อหาค่าได้ตามสถานที่รับทดสอบองค์ประกอบของธาตุทางเคมีที่รับบริการ

### การหาค่าความร้อนโดยเครื่อง บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (internal energy) อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งการวัดพลังงานภายในนี้จะเกี่ยวข้องกับพลังงานอิเล็กตรอน (electron energy) โดยตรง สสารเคมีที่มีพลังงานอิเล็กตรอนในระดับสูงย่อมจะมีพลังงานภายในสูงตามไปด้วย เมื่อธาตุสองตัว เช่น ไฮโดรเจนกับ ออกซิเจน ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นน้ำ ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ) พลังงานจะถูกปลดปล่อยออกมาและจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในที่เกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์นั้นเกิดขึ้นภายในปริมาตรที่จำกัด (Fixed volume) ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแทบทั้งหมดนั้นจะไม่เกิดขึ้นในปริมาตรที่จำกัด ดังนั้นค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเท่ากับค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาเดียวกันที่เกิดขึ้นภายนอกบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงนิยามคุณสมบัติตัวหนึ่งขึ้นมา เรียกว่า เอนทัลปี (Enthalpy) เมื่อพิจารณากระบวนการที่มีปฏิกิริยาเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง เอนทัลปีหมายถึงค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาหรือถูกดูดซับไว้ด้วยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาพที่อากาศเปิด (Open air) อย่างไรก็ตามค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงเมื่อปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในที่อากาศเปิดไม่สามารถวัดค่าได้และต้องมาจากการคำนวณเท่านั้น จึงประมาณให้ค่าเอนทัลปีมีค่าเท่ากับค่าพลังงานภายใน คือ กำหนดให้ค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ มีค่าเท่ากับค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาประเภทเดียวกันที่เกิดขึ้นในสภาพที่อากาศเปิด และจะสมมติว่าไม่มี ความแตกต่างระหว่างเอนทัลปีและค่าพลังงานภายใน สรุปได้ว่า เอนทัลปีหรือพลังงานภายในเป็นการวัดค่าพลังงานอิเล็กตรอน โดยที่เอนทัลปีจะลดลงเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี หากว่าอิเล็กตรอนได้ถูกกระจาย (spread out) ไปยังที่อยู่ (orbital's) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

### ความร้อนเนื่องจากการสันดาป (Heat of Combustion)

ความร้อนเนื่องจากการสันดาปหรือการเผาไหม้ ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ (Organic Substance) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเชื้อเพลิง (fuel) กับก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) เมื่อเกิดการเผาไหม้ขึ้นธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และ น้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาประเภทคายความร้อน (Exothermic Reaction) ซึ่งจะปลดปล่อยความร้อนออกมาค่าหนึ่ง ในการทดลองจะให้การเผาไหม้เกิดขึ้นภายในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เพื่อวัดค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ เรียกว่า ค่าความร้อนของ

เชื้อเพลิง (Heating value of fuel) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ค่าความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

1. ค่าความร้อนสูง (Higher heating value: HHV)
2. ค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value: LHV)

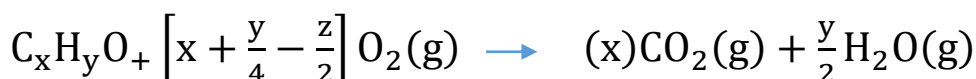
ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้งสอง อยู่ที่ว่าความ HHV จะคิดเมื่อสมมติให้น้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งจากการเผาไหม้ กลับตัวเป็นของเหลวทั้งหมด โดยจะรวมเอาค่าความร้อนเนื่องจากการกลั่นตัว (Heat of Condensation) ไว้ด้วย ซึ่งจะมีค่าประมาณ 10% ของค่าความร้อนทั้งหมด ในขณะที่ LHV จะไม่รวมค่าความร้อนเนื่องจากการกลั่นตัวของไอน้ำนี้ คือ ให้น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ ยังคงอยู่ในสภาพที่ไอน้ำ ดังนั้น HHV จึงมีค่าสูงกว่า LHV เสมอ และโดยปกติแล้วก๊าซเสีย (Exhaust Gas) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น จากการทำงานของหม้อไอน้ำ (Boiler) หรือ การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกลั่นตัวของไอน้ำเสมอ ฉะนั้นค่าความร้อนที่มักนำมาใช้งานจึงเป็นค่าความร้อนต่ำ (LHV)

### บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ อาศัยหลักการของ “Calorimetry” ซึ่งเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ ในการวัดค่าพลังงานความร้อน  $q$  ที่ถูกปลดปล่อยหรือดูดซับโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือฟิสิกส์ ถ้าหากกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในสถานะที่ปริมาตรคงที่ (Constant-volume conditions) ค่าความร้อนที่วัดได้คือ  $q_v$  ซึ่งค่านี้จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน  $\Delta U$  ด้วย และในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ปริมาตรจะถูกจำกัดให้มีค่าคงที่ตลอดการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในปี พ.ศ. 2424 (ค.ศ. 1881) Berthelot ได้ออกแบบอุปกรณ์ปิดที่เรียกว่า Bomb โดยอาศัยความจริงที่ว่าสารหลายๆตัวรวมทั้งสารไฮโดรคาร์บอนอันมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้โดยง่าย และปฏิกิริยาทั่วไปของการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนแสดงได้ดังสมการด้านล่าง ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักก็คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ



สมการสมดุลสำหรับปฏิกิริยาแสดงได้คือ

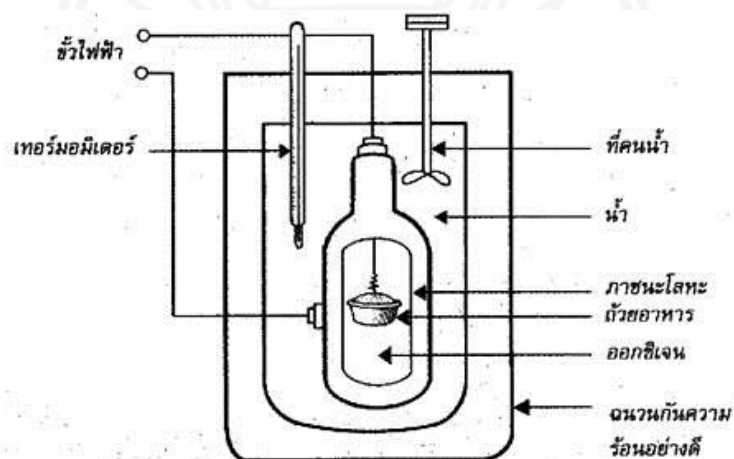


บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ทำงานได้โดยการเผาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนที่ความดันสูงภายในภาชนะแตนเลสที่ปริมาตรคงที่ ภาชนะแตนเลสจะถูกล้อมรอบไว้ด้วยน้ำ และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับไว้ด้วยน้ำที่ล้อมรอบอยู่ การวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของ

น้ำจะทำให้คำนวณหา  $q_v$  ได้ ในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์นั้น ค่าความร้อนที่วัดได้จากการเผาไหม้ตัวอย่าง (Sample) ก็คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจากสถานะเริ่มต้น (Initial state) ถึงสถานะสุดท้าย (Final state)

ส่วนประกอบบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ส่วนประกอบหลักๆของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ คือ

1. บอมบ์ (Bomb Cylinder) เป็นส่วนที่บรรจุตัวอย่าง (sample) และก๊าซออกซิเจน สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้
2. ถังโลหะ (Steel bucket) เป็นภาชนะเพื่อวัดปริมาตรของน้ำ และเป็นที่ตั้งตั้งเทอร์โมมิเตอร์และบอมบ์
3. เสื้อฉนวน (Jacket) เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอุปกรณ์ทั้งหมด



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบต่างๆของตัวบอมบ์

ที่มา:คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม

การทำงานของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์นั้น จะมีตัวบอมบ์ที่เป็นโลหะบรรจุอยู่ข้างในถังน้ำ ซึ่งถังน้ำจะตั้งอย่างหลวมๆอยู่ข้างในเสื้อฉนวนอีกที โดยจะมีใบพัดกวน (Stirrer) ติดตั้งอยู่ให้ล้อมรอบด้วยน้ำที่บรรจุอยู่ในถังน้ำ ซึ่งใบพัดกวนจะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทางด้านนอกของแคลอรีมิเตอร์เทอร์โมมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ใช้สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเกิดปฏิกิริยา สายไฟต่อจากส่วนบนของบอมบ์สู่ด้านนอกใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟเพื่อเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาหรือจุดระเบิดนั่นเองตัวบอมบ์จะจำกัดให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ตัวอย่างเกิดขึ้นในปริมาตรคงที่ ตัวอย่างที่จะทำการทดสอบจะถูกวางบนถ้วยสำหรับการสันดาป (Ignition cup) และลวดฟิวส์ (Fuse wire) จะต้องติดตั้ง

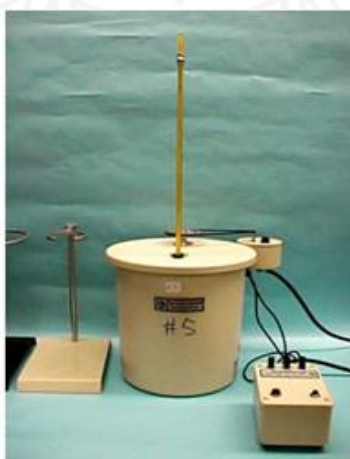
ให้สัมผัสกับตัวอย่างที่จะทดสอบ ซึ่งจะกระทำอย่างระมัดระวัง บอมบ์จะถูกปิดอย่างหนาแน่นด้วยฝาปิด และก๊าซออกซิเจนความดันสูงจะถูกเติมเข้าไป

ประเภทของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์อาศัย 2 วิธีการหลักๆ ในการวัดความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี คือ Isothermal และ Adiabatic สามารถเลือกใช้ได้แล้วแต่ความเหมาะสม แต่ไม่ว่าจะเป็นบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบใดก็ตาม อุปกรณ์จะต้องได้รับการปรับค่า (calibrate) ก่อน โดยการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการเผาไหม้ของ สารมาตรฐานที่รู้จักอยู่แล้ว เพื่อที่จะหาค่าความจุความร้อนของอุปกรณ์

1. บอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบอเดียบาติก (Adiabatic bomb calorimeter) เป็นแบบที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม สามารถควบคุมอุณหภูมิของเสื้อฉนวน (Jacket) และของถังน้ำ (Steel bucket) ให้เท่ากันตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างถังน้ำและน้ำขึ้น ทำให้การคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นไปได้โดยสะดวก

2. บอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบไอโซเทอร์มอล (Isothermal bomb calorimeter) หรือเรียกได้อีกชื่อว่า เพลนแคลอรีมิเตอร์ (Plain calorimeter) ซึ่งบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบนี้จะควบคุมอุณหภูมิของเสื้อฉนวนหรืออุณหภูมิภายในระบบให้คงที่ ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างถังน้ำกับเสื้อฉนวน หรืออาศัยการถ่ายเทงานและความร้อนเข้าช่วย

นักศึกษาต้องทำการศึกษาวีธีการและรายละเอียดปลีกย่อยในการใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จากคู่มือประจำเครื่อง (Manual) ให้เข้าใจถ่องแท้ก่อนทำการทดลอง



ภาพที่ 6 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์และชุดจุดระเบิด

ที่มา: คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง กรมโรงงานอุตสาหกรรม

## เตาอบ (Oven)

เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำอาหารอบ มีใช้กันมาตั้งแต่ก่อนคริสตกาล ชาวอียิปต์ได้ใช้เตาอบแบบง่าย ๆ ที่ไม่มีปล่องไปอบขนมปัง หลังจากนั้นพวกกรีกได้ดัดแปลงเตาอบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการนำเอาเตาอบแบบอียิปต์โบราณมาดัดแปลงเป็นเตาอบที่ก่ออิฐเป็นรูปโดม ทำให้ได้อาหารอบที่มีคุณภาพดีกว่าเดิมสมัยกรีกยุคต้น ใช้ขามใบใหญ่ทำจากดินเผาวางไว้เหนือกองไฟ จะได้รับความร้อนคล้ายเตาอบ จนกระทั่งสมัยโรมันช่วงกลางถึงปัจจุบัน การอบอาหารได้ทำในอิฐที่ก่อขึ้นอย่างง่าย เหนือเตาไฟยุคอเมริกาขณะที่เป็นเมืองขึ้น การอบอาหารทำในเตาอบดัตช์ ซึ่งตั้งอยู่ด้านหน้าเตาผิงหรือตั้งติดกัน หรือตั้งในซุ้มที่มีปล่องไฟสร้างไว้ด้านหลังของเตาผิงก่อด้วยอิฐขนาดใหญ่ เตาอบเหล่านี้ได้รับความร้อนจากฟืนที่ใส่ไว้ด้านใน เมื่ออิฐร้อนทั่วกันและเผาไหม้จนเกิดขี้เถ้า ขี้เถ้าจะถูกเอามาใส่หลุมขี้เถ้าด้านใน ปล่องไฟของเตาอบจะถูกปิด และอาหารจะถูกอบอยู่ในภาชนะจนสุก แม้บ้านในยุคนี้จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบในการทำอาหารอบจำพวกขนมปัง หรือพายได้ดีที่สุดเตาอบโลหะ และ เตาคร้ว เริ่มใช้ในประเทศอังกฤษและอเมริกาช่วงสุดท้ายของศตวรรษที่ 18 (แต่ยังไม่ปรากฏแน่ชัดว่าเริ่มใช้ครั้งแรกในขณะที่ยังเป็นเมืองขึ้น) ตำราอาหารในช่วงนั้นบันทึกไว้ว่า เจ้าของเตาอบไม่สามารถใช้เครื่องมือนี้ได้เตาอบโลหะและการทำขนมได้กระทำกันอย่างแพร่หลาย จนถึงศตวรรษที่ 20 แก๊สและไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ในการอบอาหาร ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบ ทำให้การอบอาหารอยู่ตัวดีขึ้น

### ประเภทของเตาอบ

ปัจจุบันเตาอบอาหารมีทั้งชนิดที่ใช้ไฟฟ้า ใช้แก๊สและใช้น้ำมัน ได้ถูกพัฒนาให้มีรูปแบบใหม่ๆ เหมาะแก่การใช้งาน สวยงาม สะดวก และมีประสิทธิภาพสูง แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 3 ประเภท คือ



ภาพที่ 7 เตาอบธรรมดา (Conventional Oven)

ที่มา: thaigoodview <http://www.thaigoodview.com/node/49028>

เป็นเตาอบที่ใช้อบอาหารโดยเฉพาะ มีทั้งชนิดที่ใช้แก๊ส และไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง เป็นเตาอบที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่นิยมใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง เพราะแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง เตาอบชนิดนี้เป็นเตาอบที่ผลิตได้ในบ้านเมืองเรา ทั้งชนิดที่ทำจากเหล็กผสม สแตนเลส และชนิดที่ทำจากเหล็กทั้งหมด โดยด้านนอกจะพ่นสีเคลือบสนิม และเพิ่มความสวยงาม ส่วนชนิดที่ทำจากสแตนเลส ภายนอกของเตาจะหุ้มสแตนเลสเพื่อความสวยงาม และง่ายต่อการทำความสะอาด แต่ส่วนอื่น ภายในเตาอบยังคงเป็นเหล็กเหมือนเดิม เนื่องจากเหล็กเป็นโลหะที่เก็บความร้อนได้ดี และราคาถูกกว่าสแตนเลส เตาชนิดนี้จะมีทั้งไฟบนและไฟล่างให้เลือกใช้ แต่มีข้อเสียคืออุณหภูมิภายในเตาอบไม่สม่ำเสมอ ด้านที่อยู่ใกล้ประตู อุณหภูมิจะต่ำกว่าด้านใน บางครั้งจึงพบว่าขนมปัง คุกกี้ หรือ อาหารที่นำมาอบที่อยู่ด้านในจะสุกก่อน ในขณะที่ส่วนที่อยู่ด้านใกล้ประตูยังไม่สุกหรือสุกแล้วแต่ยังมีสีอ่อนอยู่

### เตาอบพาความร้อน (Convection or Fan Oven)

เป็นเตาอบที่มีพัดลมติดตั้งอยู่ภายในเตาอบ คอยเป่าความร้อนให้กระจายไปทั่วเตา ทำให้ความร้อนกระจายได้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา เตาอบแบบนี้เวลาใช้ต้องใช้ทั้งไฟบนและไฟล่าง ไม่สามารถเลือกใช้อย่างหนึ่งอย่างใดได้

### เตาอบรุ่นใหม่ (New Generation of Oven)

เป็นเตาอบแบบผสม ซึ่งมีทั้งไฟบนและไฟล่าง มีพัดลมคอยเป่าคลายความร้อน บางรุ่นจะมีเตาระบบไมโครเวฟอยู่ภายในด้วย โดยเตาไมโครเวฟจะทำให้ขนมสุกอย่างรวดเร็ว และเตาอบธรรมดาจะทำให้ขนมมีสีเหลืองเข้มขึ้น เตาอบแบบนี้จะมีระบบทำความสะอาดในตัวเอง โดยที่เขม่าดำที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นซีเถ้า และที่ผนังเตาจะบุด้วยเยื่อพิเศษ ซึ่งเขม่าหรือซีเถ้าจะไม่สามารถเกาะติดผนังนี้ได้ ทำให้ภายในเตาอบสะอาด เตาอบรุ่นใหม่จะมีลักษณะต่าง ๆ กัน ทำให้สะดวกในการใช้งาน เช่น เตาอบพร้อมตู้หมัก เตาอบที่สามารถเข็นรถเข็นเข้าไปได้ และสามารถอบได้ทั้งรถเข็น เตาอบที่ใช้ในงานอาหารอบมีหลายแบบ หลายขนาด มีทั้งชนิดตอนเดียว หรือ 2-3 ตอน โดยเปิดใช้ทีละตอนก็ได้ แต่ละตอนมีชั้นเดียว เตาอบบางชนิดมีชั้นสำหรับอบหลายชั้น ตั้งแต่ 5-10 ชั้น มีพัดลมเป่าความร้อนกระจายได้ทั่วทั้งเตา ทำให้ขนมที่อบสุกแล้วมีสีสวยเสมอกัน บางเตาเป็นชั้นหมุนได้รอบตัว ส่วนฝาเตาอบอาจเป็นบานทึบหรือบานกระจก ถ้าเป็นบานกระจกจะมองเห็นขนมที่อบอยู่ในเตาได้โดยไม่ต้องเปิดบ่อยๆ เพราะจะทำให้ความร้อนภายในเตาอบไม่คงที่ เตาอบไม่ว่าแบบใด ชนิดใด ควรตั้งและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้จึงจะดี ส่วนขนาดและ ประเภทของเตาอบที่ใช้ควรคำนึงถึงกำลังในการผลิต สำหรับเตาอบที่ใช้ภายในบ้านส่วนใหญ่ด้านล่างจะเป็นเตาอบ ส่วนด้านบนเป็นเตาสำหรับใช้หุงต้ม มีเข็มบอกอุณหภูมิความร้อนของเตาอบเป็น 3 ระดับ หรือ ต่ำ ปานกลาง และสูง หรืออาจเป็นตัวเลขบอกอุณหภูมิกำกับไว้ มีหลายขนาดและหลายราคา ถ้าราคาถูกมักจะควบคุมอุณหภูมิไม่ได้ แต่ถ้าราคาแพง สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ และอาจตั้งเวลาได้ด้วยเตาอบที่ควบคุมอุณหภูมินั้น หมายถึง เมื่อตั้งอุณหภูมิไว้เท่าใดแล้ว อุณหภูมิภายในเตาอบจะไม่เปลี่ยนแปลงจากที่ตั้งไว้ แต่ถ้าเตาอบ ไม่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิควรใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้กับเตาอบมาใช้ขณะอบอาหาร

### วิธีใช้เตาอบ

1. ตรวจสอบตัวเปิด-ปิดแก๊สที่เตาอบทุกตัว และที่ถังแก๊สว่าอยู่ในสภาพใด เปิดหรือปิด ถ้าตัวเปิด-ปิดแก๊ส ตัวใดเปิดอยู่ให้ทำให้อยู่ในสภาพปิดก่อน เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้
2. เปิด-ปิดแก๊ส
3. เปิดตัวเปิดปิดแก๊สที่ท่อนำไฟฟ้า (Pilot)
4. จุดไฟที่ปลายท่อไฟนำ
5. ท่อแก๊สที่เตาอบ

6. ตัวเปิด-ปิดแก๊ส ท่อที่ต้องการติดไฟโดยให้เปิดที่ละท่อ แล้วใช้ไฟนำจุดตามท่อที่ต้องการให้ติดที่ละท่อ ไม่ควรเปิดตัวเปิด-ปิดแก๊สที่ท่อแก๊สของเตาอบพร้อมๆกันทุกท่อ เพราะอาจได้รับอันตรายได้

7. ต้องปรับเปลวไฟที่จุดโดยหมุนวาล์วปรับอากาศเบาๆมือ เพื่อปรับอากาศที่อยู่ในท่อแก๊สปรับให้ได้เปลวไฟเป็นสีฟ้าหรือสีเขียวน้ำไม่ควรให้มีสีเหลือง สีส้ม หรือ สีแดง เพราะจะทำให้เกิดเป็นควันหรือเขม่าไฟได้

8. รองนกว่าความร้อนในเตาอบจะมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยดูที่เทอร์โมมิเตอร์ แล้วจึงนำอาหารอบ

### คุณสมบัติที่ดีของเตาอบ

เตาอบที่ดีควรเป็นเตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ หมายถึง เมื่อตั้งอุณหภูมิไว้เท่าใดแล้ว อุณหภูมิภายในเตาอบจะไม่เปลี่ยนแปลงจากที่ตั้งไว้ ถ้าเตาอบไม่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิควรใช้เทอร์โมมิเตอร์สำหรับใช้กับเตาอบ แขนงไว้ภายในตู้บริเวณด้านล่างของเตาอบขณะอบอาหาร การดูแลรักษาเตาอบ

1. หลังจากใช้เตาอบเสร็จแล้วให้ปิด ตัวเปิด-ปิดแก๊สทุกตัว ทั้งที่เตาอบและที่ถังแก๊ส
2. เปิดประตูเตาอบเอาไว้ เพื่อระบายความร้อนภายในเตาอบ และเพื่อให้เข็มควบคุมอุณหภูมิ กลับลงไปอยู่ที่เดิมสำหรับเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง
3. ถ้าเตาอบสกปรกเนื่องจากอาหารที่นำมาอบหกเปื้อนเตาอบ ให้ใช้ผ้านุ่มชุบน้ำหมาดๆ เช็ดถูในขณะที่เตาอบยังอุ่นๆอยู่จะทำให้เศษอาหารที่หกติดอยู่หลุดออกง่ายกว่าทำความสะอาดขณะเตาอบเย็นตัวแล้ว
4. ควรใช้ผ้าสะอาดนุ่มๆ เช็ดถูบริเวณกระจกใสที่เอาไว้สำหรับดูอาหารในเตาอบทุกครั้ง หลังใช้งานแล้ว

### กระบวนการผลิตขนมอบ

ขนมปังเรียกได้ว่าเป็นขนมโบราณชนิดหนึ่งเพราะถือกำเนิดมาในสมัยกรุงศรีอยุธยาช่วงรัชสมัยของ สมเด็จพระนารายณ์มหาราช ขนมปังเป็นขนมที่มีสัญชาติโปรตุเกส เช่นเดียวกับ ลูกชุบ ทองหยิบ ฝอยทอง ซึ่ง ท้าวทองกิมม้า (มารี กิมมาร์) หัวหน้าห้องเครื่องต้น ได้ดัดแปลงตำรับเดิมของชาวโปรตุเกส เอาวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีในสยามเข้ามาผสมผสาน ซึ่งหลักๆ ได้แก่ มะพร้าว แป้งและน้ำตาล จนทำให้เกิดขนมใหม่ที่มีรสชาติอร่อย แต่เป็นที่ น่าเสียดายว่า ปัจจุบันขนมไทยโบราณค่อยๆ เลือนหายไปจากวิถีชีวิตของชาวไทยพร้อมกับการเข้ามาของวัฒนธรรมต่างชาติที่หลากหลาย ถ้าไม่อนุรักษ์ไว้คาดว่าต่อไปในภายภาคหน้าลูกหลานของเราคงจะไม่รู้จักขนมไทยโบราณเหล่านี้ ปัจจุบัน

ขนมไทยหลายชนิดเริ่มหายไปหรือหารับประทานยาก เช่น ขนมขี้หนู ขนมกง ขนมหันตรา โดยกระบวนการทำขนมผิงต้องเตรียมวัตถุดิบ ดังนี้

1. แป้งมันสำปะหลัง 3 ส่วน
2. น้ำตาลทราย 1 ส่วน
3. ไข่ไก่ 1 ฟอง
4. กะทิ 2 ส่วน
5. นมข้นหวาน 1/4 ส่วน
6. ผงฟู 1 ส่วน

#### วิธีทำ

เมื่อเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้วให้ทำตามขั้นตอน ดังนี้ นำกะทิกับน้ำตาลทรายมาผสมรวมกันแล้วเคี่ยวโดยใช้ไฟปานกลาง ประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำแป้ง, ผงฟู, ไข่ และนมข้นหวาน ใส่ลงไปนึ่งในน้ำกะทิจนนิ่มหมักทิ้งไว้ 1 คืน นำส่วนผสมที่หมัก ทิ้งไว้มาตีให้เข้ากัน (ใช้เครื่องตี) ประมาณ 20 นาที แล้วนำขนมเข้าเตาอบใช้ความร้อนประมาณ 250 องศาเซลเซียส อบขนมนาน 30 นาที จนขนมมีสีเหลืองนวลให้นำขนมออกจากถาดขณะที่ยังร้อนแล้วทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด(สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี,2554)

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนตรี นันตา (2550) ศึกษาเรื่องการผลิตและหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพที่ของถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพดจึงการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเผาแกลบและเปลือกข้าวโพด รวมถึงศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตถ่านอัดแท่งจากแกลบกับเปลือกข้าวโพดและตัวประสาน จากการทดลองทำให้ได้สูตรของการผสมถ่านโดยใช้อัตราส่วน 4:6 และใช้ตัวประสาน 20 เปอร์เซ็นต์

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ (2548) การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมถ่านจากกะลามะพร้าว เนื่องจากซังข้าวโพดได้ถูกนำไปทิ้งหลังเก็บเกี่ยว การทำถ่านอัดแท่งจึงเป็นประโยชน์เป็นอย่างมาก จากการศึกษาด้านเทคนิคและการผลิตพบว่าหากเพิ่มถ่านจากกะลามะพร้าว และทำให้อัตราส่วนน้ำหนักของถ่านซังข้าวโพด:แป้ง:กะลามะพร้าว เป็น 7:1:2 จะทำให้ถ่านมีคุณสมบัติที่ดี ให้ค่าความร้อนสูง

สุวดี จางอิสระกุล และคณะ (2552) ชีวมวลทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานทดแทนโดยเปลือกลูกยางและหญ้าแฝก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพที่ใช้พลังงานชีวมวลทางเลือกใหม่ ซึ่งชีวมวลที่ทำการศึกษา ได้แก่เปลือกลูกยางและหญ้าแฝก นอกจากนี้ยังได้ทำการ

วิเคราะห์ความร้อนของชีวมวลทั้ง 2 ผลที่ได้รับ คือ จากการวิเคราะห์พบว่าเปลือกกลูแคนและหญ้าแฝกมีความร้อนสูง เหมาะแก่การใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนต่อไปโดยเปลือกกลูแคนมีความร้อนสูงมากกว่าหญ้าแฝก

ประลอง ดำรงค์ไทย และคณะ (2539) แห่งเชื้อเพลิงเขียวเพื่อทดแทนฟืนและถ่านจากการวิจัยการเอาแห้งเชื้อเพลิงเขียวไปทดลองหาค่าความร้อน และค่าที่ได้จากการใช้ชานอ้อยเน่าเปื่อยล้วนๆ จะสูงกว่าที่ผสมกับขุยมะพร้าว แต่จะต่ำกว่าไม้ฟืนและถ่าน แต่ทั้งนี้แห้งเชื้อเพลิงเขียวก็ยังให้ค่าความร้อนสูง ซึ่งสามารถต้มน้ำให้เดือดในระยะเวลา 14-18 นาที ในขณะที่ฟืน(ไม้มะขามเทศ)ใช้เวลาเฉลี่ย 36 นาทีในการต้มน้ำให้เดือด ผลที่ได้ คือ แห้งเชื้อเพลิงเขียวนั้นให้ค่าความร้อนสูงพอสมควรเมื่อเทียบกับฟืน แต่ถ้านำมาผสมกับผงถ่านที่เหลือทิ้งสักเล็กน้อยจะช่วยให้มีคุณภาพที่สูงขึ้นและมีประสิทธิภาพที่ไม่แพ้ถ่านหรือมากกว่าถ่านเสียอีก

ทงศักดิ์ วัฒนา (2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ตู้อบกระเทียมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับก๊าซชีวมวล งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ใช้พลังงาน ความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวมวล (Producer gas) ซึ่งเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงพบว่าสภาวะและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกระเทียมหนัก 30 kg ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 67% มาตรฐานเปียก จนมีความชื้น สุกแห้งประมาณ 60% มาตรฐานเปียก แบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 แบบ โดยกรณีแบบที่ 1 ทำการ อบแห้งโดยใช้พลังงานจากก๊าซชีวมวลเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 55.6°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง และกรณีแบบที่ 2 ทำ การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานจากก๊าซชีวมวล อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 45.4°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 0.17 kg/s ทั้ง 2 กรณีเมื่อศึกษาถึงความ สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า ในกรณีแบบที่ 1 และกรณีแบบที่ 2 มีการใช้ พลังงานจากแหล่งพลังงาน 2 แหล่งที่เหมือนกัน คือ พลังงานความร้อนจากก๊าซชีวมวลและพลังงาน ไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ของพัดลมเป่าอากาศแต่กรณีแบบที่ 2 ซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมด้วย สามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 49% ของพลังงานความสิ้นเปลืองทั้งหมด ซึ่งสรุปได้ว่า ใน กรณีแบบที่ 2 นี้มีต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งต่อกิโลกรัมกระเทียมแห้ง 21.25 Baht/kg dried garlics, 16.44 Baht/kg dried garlics และ 13.02 Baht/kg dried garlics ระยะเวลาทำการอบแห้ง 60, 90 และ 140 วันต่อปี ตามลำดับ ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้ง สำหรับการระเหยน้ำออกจากกระเทียมมีค่า 94.93 Baht/kg H<sub>2</sub>O evap., 73.50 Baht/kg H<sub>2</sub>O evap. และ 58.19 Baht/kg H<sub>2</sub>O evap. ระยะเวลาทำการ อบแห้ง 60, 90 และ 140 วันต่อปี ตามลำดับและกำหนดราคาขายไว้ 3 ราคา คือ ที่ราคา 80 บาท, 60 บาท และ 40

บาท พบว่า ทำการอบแห้ง 140 วันต่อปีให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด คือ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ ภายใน 1 ปี 3 เดือน, 2 ปีและ 5 ปี ตามลำดับ (ในกรณีไม่คิดค่าแรงงานในการอบแห้ง)

สุขฤดี นาถกรณกุล (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูงร่วมกับระบบพลังงานความร้อนเสริมจากระบบก๊าซชีวภาพ (Biogas System) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1. ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) 2. อุโมงค์อบแห้ง (Tunnel Dryer) 3. แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Biogas System) ผลผลิตก๊าซที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจาก แสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้ง เป็นพลาสติกใส และ ได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้พัด ลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และในเวลาที่ไม่ใช่แสงอาทิตย์ หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือมีฝนตกตลอดทั้งวัน จะมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบ แก๊สชีวภาพ (Biogas System) ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน จากการทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีค่า 42.8% ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่า โดยเฉลี่ย 54.6% สามารถปรับอุณหภูมิอากาศ อบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อการเผยแพร่ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้เพื่อ อบแห้งสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต

สุพจน์ เกิดมี และคณะ(2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษวัสดุทางการเกษตร งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเตาชีวมวลอย่างง่ายเพื่อใช้ทดแทนเตาแบบธรรมดาและเตาแก๊สที่ใช้กันในเวลาปัจจุบัน และเป็นการทดสอบการใช้เตาชีวมวลเปรียบเทียบกับการใช้เตาธรรมดาระยะเวลาในการจุดเตาและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาชีวมวลนั้นมีค่าน้อยกว่า และสำหรับ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาชีวมวลมีค่าสูงกว่าเตาแบบ จะเห็นได้ว่าเตาชีวมวลมี ประสิทธิภาพสูงทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติได้ และในส่วนของ ถังหมัก ก๊าซชีวภาพนั้นสามารถออกแบบและสร้างถังหมักและถังเก็บก๊าซและใช้งานได้จริง แต่เนื่องจาก ปริมาณของมูลสัตว์และเศษอาหารของชุมชนน้ำก้อ้นั้น มีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการใช้หมักก๊าซ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักมูลสัตว์และเศษอาหาร ในการประกอบอาหารทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย คือ การทำถังหมัก ก๊าซชีวภาพสำหรับครอบครัวเล็กควรใช้ถังหมักขนาด 60 ลิตร ครอบครัวใหญ่ควรใช้ถังหมักก๊าซที่มี ขนาด 200 ลิตร

วุฒิพร คำก้อนแก้ว และสุทธิเดช โตนชัยภูมิ (2556) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคุณภาพสูง วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคุณภาพสูง โดยสรุปผลการวิจัยออกมาว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคุณภาพสูง คณะผู้วิจัยได้ศึกษาคุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคุณภาพสูง ด้วยการวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ทำการวิเคราะห์หา ค่าความชื้น ค่าความร้อน ค่าสารระเหย ค่าความเป็นเถ้า และศึกษาจากวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการต้มน้ำและวัดอุณหภูมิพร้อมจับเวลา ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของเหลือใช้ทางการเกษตร และจากผลการทดลองชีวมวลทั้ง 3 สูตร โดยมีสัดส่วนตามสูตรดังนี้ 1. กะลามะพร้าว 40% ชังข้าวโพด 40% ไม้ไผ่ 20% 2. กะลามะพร้าว 50% ชังข้าวโพด 40% ไม้ไผ่ 10% 3. กะลามะพร้าว 40% ชังข้าวโพด 50% ไม้ไผ่ 10% พบว่า การกำหนดอัตราส่วนต่างๆ พบว่าแก๊สเชื้อเพลิง ชีวมวลในอัตราส่วนที่ 2 มีวัตถุดิบ คือ กะลามะพร้าว 50% ชังข้าวโพด 40% ไม้ไผ่ 10% ผสมกับตัวประสาน คือ น้ำกากส่า 640 กรัม แป้งข้าวเหนียว 200 กรัม นั้น ให้คุณภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนในสูตรต่างๆ ของชีวมวลที่กำหนด ทั้งนี้สูตรที่ 2 มีการติดไฟที่ยาก หลังจากการติดไฟนั้นมีควันมาก หลังจากติดไฟระยะหนึ่งจะให้ความร้อนที่สูงมาก เปลวไฟมีสีแดงปนส้ม มีปริมาณเถ้าน้อยกว่า และระยะเวลาในการเผาไหม้นั้นมีระยะเวลาที่นานกว่าสูตรอื่นๆ

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเปรียบเทียบชีวมวลผสมอัดแห้งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตก๊าซชีวมวลสามารถหาได้ภายในชุมชน มีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษา
2. ขั้นตอนการเตรียมแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแห้ง
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดสอบ
4. การวิเคราะห์ข้อมูล
5. สถิติในการวิจัย

#### ขั้นตอนการศึกษา

1. เตรียมการศึกษาค้นคว้ามีขั้นตอนดังนี้
  - 1.1 ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากหนังสือ ตำราและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้ง
  - 1.2 การกำหนดสัดส่วนชีวมวล การวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตแห้งเชื้อเพลิงคุณภาพสูงโดยมีผลการศึกษาหา ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าสารระเหย ค่าความเป็นเถ้า
  - 1.3 การวิเคราะห์ชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์
  - 1.4 เตรียมอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองชีวมวลที่กำหนดพร้อมตัวประสานเพื่อทำการผลิตแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลคุณภาพสูง
  - 1.5 อัดแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร มีสีดำ ขนาดความยาว 2 นิ้วโดยประมาณ รวมทั้งฝั่งแดดเพื่อลดความชื้น เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแห้งเพื่อผลิตก๊าซชีวมวล
  - 1.6 ส่งเปรียบเทียบเชิงวิทยาศาสตร์ โดยกำหนดให้หาค่าความร้อน ค่าสารระเหย ค่าความชื้น และค่าความเป็นเถ้าของชีวมวลผสมอัดแห้ง
  - 1.7 เตรียมวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองและได้ทำการทดลองโดยการวัดค่าจาก ค่าความร้อน ระยะเวลาในการเผาไหม้ ปริมาณที่ได้

### ขั้นตอนการเตรียมแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง

1. เตรียมชีวมวลที่ต้องการ คือ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด ไม้ไผ่ และแป้งมันสำปะหลัง
2. ทำการบดชีวมวลที่เตรียมให้ละเอียดเพื่อง่ายต่อการผสม และอัดแท่ง
3. ผสมชีวมวลตามสูตรที่กำหนด
4. อัดชีวมวลด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว ด้วยกระบวนการอัดเย็น และทำการตากชีวมวล เพื่อไล่ความชื้นในตัวแท่งเชื้อเพลิง
5. ส่งชีวมวลผสมอัดแท่งไปทดสอบด้วยการทดสอบคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM
6. ทำการทดสอบประสิทธิภาพปฏิบัติการในการอบขนมด้วยชีวมวลผสมอัดแท่ง
7. ทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือเชิงวิศวกรรม ในการบันทึกข้อมูลระยะเวลาในการอบ อุณหภูมิ และน้ำหนักของถ้ำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบ

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

1. เครื่องบดเศษวัสดุ คือ เครื่องสับไม้เนกประสงค์ Comprehensive blade1400-500 กำลังการผลิต 30 ตัน/ชม.
2. เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5 ซม. ยาว 15 ซม.
3. กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น THT46
4. นาฬิกาจับเวลาใช้ในการบันทึกระยะเวลา
5. ทรายซังดิจิตอล
4. ขนมหึง
5. ตู้อบ ขนาดความกว้าง 80 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 40 ซม.
6. แท่งเชื้อเพลิง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 ซม. ยาว 15 ซม.

### สถานที่การศึกษาปฏิบัติการ

1. อาคาร IT คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

## การวิเคราะห์ข้อมูล

### 1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์

1.1 การวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์ได้ส่งที่ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ทำการวิเคราะห์ศึกษาหา ค่าความชื้น ค่าความร้อน ค่าสารระเหย ค่าความเป็นกรด โดยวิธี ASTM, Furnace, Hit Air Oven

### 2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางการปฏิบัติการและทดลอง

#### 2.1 ออกแบบบันทึกข้อมูล

#### 2.2 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ในการทดลอง

### 3. ผสมขนม ตามสูตรเพื่อทำการอบ

### 4. วางขนมลงตามพิมพ์ ลงบนถาดขนมขนาดเล็ก



ภาพที่ 8 วางขนมลงตามพิมพ์ ลงบนถาดขนมขนาดเล็ก

### 5. เตรียมเตาอบขนาดเล็ก ทำการวอร์มเตาอบให้ร้อนและวัดอุณหภูมิก่อนอบ



ภาพที่ 9 เตรียมเตาอบขนาดเล็ก ทำการวอร์มเตาอบให้ร้อนและวัดอุณหภูมิก่อนอบ

6. ใส่ขนมผิงลงในตู้อบขนาดเล็ก เพื่อทำการอบ และจับเวลา



ภาพที่ 10 ใส่ขนมผิงลงในตู้อบขนาดเล็ก เพื่อทำการอบ และจับเวลา

7. บันทึกและวิเคราะห์คุณภาพชีวมวลเพื่อเปรียบเทียบ
8. บันทึกและวิเคราะห์คุณภาพขนมอบ

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมขมอบ โดยการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดจากพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ จังหวัดอุดรธานี ได้แก่ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และไม้ไผ่ มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนที่ต่างกัน โดยแบ่งขั้นตอนดังนี้ 1. ศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง 2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมขมอบ และสรุปเป็นสูตรเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุดในงานของผู้วิจัย

#### ผลการทดลองที่ 1 ผลการศึกษาคุณลักษณะชีวมวล

การศึกษาคูณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากหนังสือ ตำราและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาคูณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง โดยมีผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่ากะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนสูงถึง 65% ไม้ไผ่ 16.7% ชังข้าวโพด 16.7% ส่วนค่าความชื้นน้อยคือ กะลามะพร้าว 6.7% ไม้ไผ่ 7.1% ชังข้าวโพด 11.5% ค่าสารระเหยมากคือ กะลามะพร้าว 77.6% ไม้ไผ่ 76.4% ชังข้าวโพด 70.5% และค่าความเป็นเถ้าต่ำที่สุดคือ ชังข้าวโพด 1.3% ไม้ไผ่ 2.9% กะลามะพร้าว 3% (ดังตารางที่ 4.1)

#### ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์

ชีวมวล	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ/เครื่องมือ
ไม้ไผ่	Fixed Carbon	60%	Furnace
	Ash	2.9%	Furnace
	Moisture	7.1%	Hit Air Oven
	Volatile	76.4%	Furnace

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์

ชีวมวล	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ/เครื่องมือ
กะลามะพร้าว	Fixed Carbon	65%	Furnace
	Ash	3.0%	Furnace
	Moisture	6.7%	Hit Air Oven
	Volatile	77.6%	Furnace

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์

ชีวมวล	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ/เครื่องมือ
ซังข้าวโพด	Fixed Carbon	16.7%	Furnace
	Ash	1.3%	Furnace
	Moisture	11.5%	Hit Air Oven
	Volatile	70.5%	Furnace

ตารางที่ 6 ผลการกำหนดตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง (% ต่อ 100 กรัม)

สูตร	กะลามะพร้าว	ซังข้าวโพด	ไม้ไผ่	ตัวประสาน (1:1)
1	40	40	20	1206
2	50	40	10	964
3	40	50	10	840

ผลการกำหนดตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง พบว่า การนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียว ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติชีวมวลเพื่อนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และการวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยกำหนดเป็นกลุ่ม

ตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง กำหนดสัดส่วนเฉลี่ยต่อ 100 กรัม ซึ่งจะมีสัดส่วนของกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดอยู่ร้อยละ 40-50 เนื่องจากกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนสูง และเพื่อให้ชีวมวลมีค่าความร้อนสูง และทำการกำหนดไม้ไผ่อยู่ที่ร้อยละ 10-20 เนื่องจากไม้ไผ่ให้ค่าความร้อนสูงแต่ปริมาณถ้ามากจึงกำหนดอัตราส่วนที่น้อย

### ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับ

### อุตสาหกรรมขนมอบด้านคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบด้านคุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM

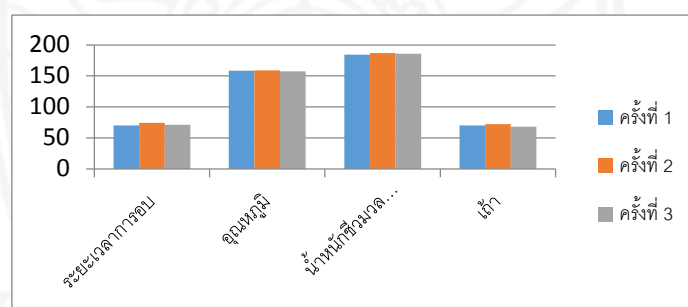
ชื่อตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่าง	รายการทดลอง	ผลการวิเคราะห์	วิธีทดลอง/เครื่องมือ
สูตรที่ 1	เป็นแท่ง มีสีน้ำตาล	Fixed Carbon	13.44%	ASTM D3173
		Ash	2.49%	ASTM D3174
		Moisture	9.30%	ASTM D3172
		Heating Value	3,730.10 Kcal/Kg	Bomb Calorimeter
		Volatile	74.77%	ASTM D3175
สูตรที่ 2	เป็นแท่ง มีสีดำ	Fixed Carbon	12.48%	ASTM D3173
		Ash	6.37%	ASTM D3174
		Moisture	4.64%	ASTM D3172
		Heating Value	3,637.30 Kcal/Kg	Bomb Calorimeter
		Volatile	76.51%	ASTM D3175
สูตรที่ 3	เป็นแท่ง มีสีดำ	Fixed Carbon	12.40%	ASTM D3173
		Ash	5.47%	ASTM D3174
		Moisture	9.85%	ASTM D3172
		Heating Value	3,807.50 Kcal/Kg	Bomb Calorimeter
		Volatile	72.29%	ASTM D3175

## ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับ อุตสาหกรรมนมอบเชิงประสิทธิภาพปฏิบัติการประสิทธิภาพปฏิบัติการ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมนมอบ ผู้วิจัยได้เตรียมวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองและได้ทำการทดลองโดยการอบขนมพร้อมกับจับเวลา ได้แก่ เวลาการอบขนม, ระยะเวลาการเผาไหม้, ปริมาณเถ้า ผลการศึกษามีดังนี้

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 1

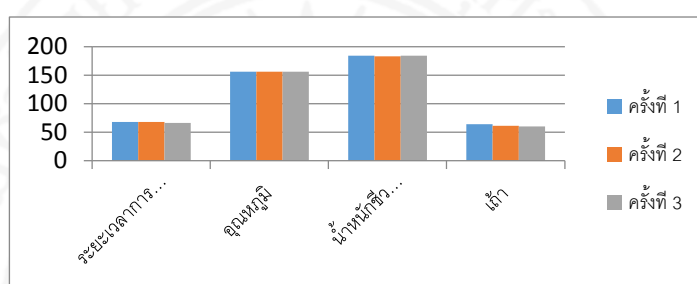
สูตร 1 (ครั้งที่)	ระยะเวลา การอบ(นาที)	อุณหภูมิ (องศา)	สีเปลวไฟ ชีวมวล	น้ำหนักชีวมวล (ก่อน)	เถ้า (ร้อยละ)
1	70 นาที	158.4	สีส้ม	1.84 กก.	3.80
2	74 นาที	156.8	สีส้ม	1.87 กก.	3.85
3	71 นาที	157.3	สีส้ม	1.86 กก.	3.65



จากการเปรียบเทียบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสูตรที่ 1 พบว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งครั้งที่ 1 ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุดคือ 70 นาที ให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุดคือ 158.4 องศา สีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.86 กิโลกรัม มีเถ้าที่น้อยที่สุดคือ 3.65

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 2

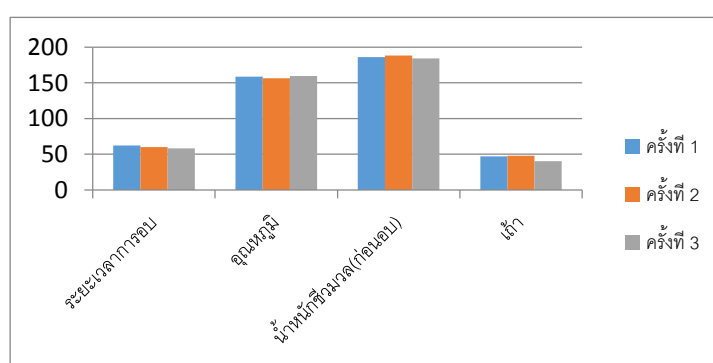
สูตร 2 (ครั้งที่)	ระยะเวลา การอบ(นาที)	อุณหภูมิ (องศา)	สีเปลวไฟชีวมวล	น้ำหนักชีวมวล (ก่อน)	เถ้า (ร้อยละ)
1	68 นาที	155.8	สีส้ม	1.84 กก.	3.47
2	68 นาที	156	สีส้ม	1.83 กก.	3.33
3	66 นาที	156.1	สีส้ม	1.84 กก.	3.26



จากการเปรียบเทียบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสูตรที่ 2 พบว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งครั้งที่ 3 ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุดคือ 66 นาที ให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุดคือ 156.1 องศา สีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.84 กิโลกรัม มีเถ้าร้อยละ 3.26

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง สูตรที่ 3

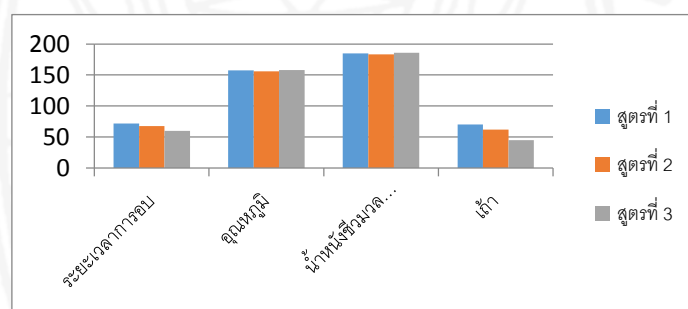
สูตร 3 (ครั้งที่)	ระยะเวลา การอบ(นาที)	อุณหภูมิ (องศา)	สีเปลวไฟ ชีวมวล	น้ำหนักชีวมวล (ก่อน)	เถ้า (ร้อยละ)
1	62 นาที	158.4	สีส้ม	1.86กก.	2.52
2	60 นาที	156.1	สีส้ม	1.88 กก.	2.55
3	58 นาที	159.4	สีส้ม	1.84 กก.	2.17



จากการเปรียบเทียบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสูตรที่ 3 พบว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งครั้งที่ 3 ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุดคือ 58 นาที ให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุดคือ 159.4 องศา ซีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.84 กิโลกรัม มีเถ้าที่สุต ร้อย 2.17

ตารางที่ 11 ผลเฉลี่ยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งทั้ง 3 สูตร

สูตรที่	ระยะเวลาการอบ(นาที)	อุณหภูมิ(องศา)	สีเปลวไฟชีวมวล	น้ำหนักชีวมวล(กอน)	เถ้า(ร้อยละ)
1	71.67	157.5	สีส้ม	1.85 กก.	3.78
2	67.33	155.99	สีส้ม	1.83 กก.	3.33
3	60	157.99	สีส้ม	1.86 กก.	2.41



จากการเปรียบเทียบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งทั้ง 3 สูตร พบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสูตร 3 ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุดคือ 58 นาที ให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุดคือ 159.4 องศา ซีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.86 กิโลกรัม มีเถ้าที่สุต ร้อย 2.41

ตารางที่ 12 คุณภาพของขนมอบ

สูตรถ่าน ชีวมวล	รูปทรงขนม อบ	สีของขนมอบ	กลิ่นของขนม อบ	รสชาติของ ขนมอบ	น้ำหนัก (ก่อนอบ)	น้ำหนัก (หลังอบ)
1	กลมและแบน	สีน้ำตาล	กลิ่นหอมกะทิ	รสชาติหวาน	100 กรัม	62 กรัม
2	กลมและแบน	สีน้ำตาลอ่อน	กลิ่นหอมกะทิ	รสชาติหวาน	100 กรัม	41 กรัม
3	กลมและแบน	สีขาว	กลิ่นหอมกะทิ	รสชาติหวาน	100 กรัม	46 กรัม

จากการตรวจสอบคุณภาพของขนมอบ พบว่าขนมอบที่ใช้ชีวมวลในสูตรที่ 1 มีรูปร่างกลมและแบน มีสีน้ำตาล มีกลิ่นของกะทิ รสชาติของขนมอบมีรสหวาน น้ำหนักก่อนอบ 100 กรัม หลังอบ 60 กรัม เนื่องจากมีเวลาในการอบนานกว่าสูตรอื่น

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขมอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่งและเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขมอบ

#### สรุปผล

การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับการผลิตขมอบ ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่งด้วยการวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ค่าความร้อน ค่าสารระเหย ค่าความเป็นเถ้าและศึกษาจากวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทำการทดลองเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งโดยการอบขนม พร้อมจับเวลา ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางการใช้พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของเหลือใช้ทางการเกษตร

ผลการศึกษาพบว่า คุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM มีค่าคาร์บอนคงตัวของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 16.70-65.00 และมีค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าสารระเหยของชีวมวลอยู่ในช่วงร้อยละ 6.70-11.50, 1.30-3.00, 70.50-77.60 ตามลำดับ และทำการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่ง และในด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งสำหรับขนมอบพบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้คุณลักษณะด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด คืออัตราส่วนผสม กะลามะพร้าวร้อยละ 40.00 ชั่งข้าวโพดร้อยละ 50.00 และไม้ไผ่ร้อยละ 10.00 ต่อตัวประสาน 840.00 กรัม โดยอัตราส่วนนี้ใช้เวลาในการอบขนมน้อยที่สุด 58 นาที และให้ความร้อนในการอบขนมมากที่สุด 159.40 องศาเซลเซียส สีเปลวเพลิงเป็นสีส้ม อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผสมอัดแท่งในการอบ 1.84 กิโลกรัม มีเถ้าที่น้อยที่สุดร้อยละ 2.41 อีกทั้งคุณภาพของขนมอบที่ได้มีลักษณะ สี กลิ่นรส และรูปร่างของขนมอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

#### อภิปรายผล

จากการศึกษาคุณลักษณะชีวมวลและสัดส่วนชีวมวลผสมอัดแท่ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงชีวมวลผสมอัดแท่งเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลสำหรับการผลิตขมอบ ซึ่งสอดคล้องกับประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย เนื่องจากได้แนวทางการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ชีวมวลผสม และสามารถเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่มากในพื้นที่ เมื่อพิจารณาการนำชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมาใช้ ได้แก่ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด ไม้ไผ่ นำมาผลิตเป็นชีวมวลผสมอัดแท่ง ก่อให้เกิดผลดีในด้านทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นทางเลือกของการใช้พลังงานทดแทนทางหนึ่งเพื่อลดมลพิษและกำจัดขยะที่เกิดจากการเกษตร ลดการเผาขยะ และงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดแนวทางในการนำชีวมวลชนิดอื่นมาสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่งให้นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อสร้างรายได้ ลดรายจ่าย และเพื่อให้มีคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นต่อไป

### ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งต่อไปผู้ศึกษาสามารถนำอัตราส่วนผสมชีวมวลอัดแท่งในตัวอย่างต่างๆ ไปทำการศึกษาเพื่อเพิ่มชนิดชีวมวลหรือกำหนดสัดส่วนและขนาดชีวมวลให้ใหญ่หรือเล็กลงตามความต้องการที่เหมาะสม
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม หรืออื่นๆ ต้องมีความพร้อมในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และชีวมวลตามความเหมาะสมของพื้นที่หรือความสะดวกของผู้ศึกษา
3. รัฐบาลในแต่ละสมัยควรมีการส่งเสริมและพัฒนาพลังงาน ทดแทน และการจัดทำแผนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานภายใต้กรอบของ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งล้วนแต่เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้พลังงานทดแทนในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้น
4. สามารถนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตแท่งเชื้อเพลิง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่ง หรือทดแทนถ่าน ฟืน ทำให้ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มรายได้



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). *พลังงานชีวมวล*. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). *คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง*. กรุงเทพฯ: สำนักงานบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม.

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. (2548). *การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านอัดแท่ง จากขังข้าวโพดผสมถ่านจากกะลามะพร้าว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

ประลอง ดำรงค์ไทย. (2539). *แท่งเชื้อเพลิงชีวเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน*. สืบค้น 5 มีนาคม 2559. จาก [http://www.dnp.go.th/research/Knowledge/green\\_fuel.htm](http://www.dnp.go.th/research/Knowledge/green_fuel.htm)

มนตรี นันตา. (2556). *การผลิตและหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง จากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

วุฒิพร คำก้อนแก้ว และสุทธิเดช โตนชัยภูมิ. (2556). *การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งคุณภาพสูง*. วิทยานิพนธ์เทคโนโลยีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ. (2558). *แผนงานวิจัย กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ExpresSo. (2562). *วิกฤตการณ์พลังงานเกิดจากอะไร มีทางแก้ไขได้หรือไม่*. สืบค้น 5 มีนาคม 2562. จาก <https://blog.pttexpresso.com/energy-crisis-causes-and-solutions/>

MaterialConneXion. (2559). *สถานการณ์อุตสาหกรรม*. สืบค้น 5 มีนาคม 2559. จาก <https://web.tcdc.or.th/th/Articles/Detail/%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%95%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1>

thaigoodview. (2552). *การใช้เตาอบ*. สืบค้น 5 มีนาคม 2559. จาก <http://www.thaigoodview.com/node/49028>



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ข้อมูลชีวมวลเชิงวิทยาศาสตร์

มท.7



Department of Science Service

# TEST REPORT

Department of Science Service

Sample's name  
Corncob

Mark / Brand

Laboratory No.  
L56/05895.3

Department of Science Service

## Test Result

Moisture, %	
Ash, %	11.5
Volatile matter, %	1.3
Fixed carbon, %	70.5
	16.7

Department of Science Service

Customer's name Mr. Yosphatrachai Kanitpunyacharoen  
 Customer's address Uttaradit Rajabhat University, Muang, Uttaradit 53000  
 Sample's description Brown solid  
 Test date 13-23 August 2013  
 Test method ASTM D 7582-10<sup>61</sup>

Department of Science Service

Department of Science Service

Note The calculations are based on the sample received.

Approved by

*Kam Kachwatt*  
 (Miss Kanda Komolwattanachai)  
 Scientist, Senior Professional Level

Reported by

*Wachirapun Punkrawee*  
 (Mr. Wachirapun Punkrawee)  
 Scientist, Practitioner Level

Department of Science Service

Department of Science Service

Department of Science Service

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be reproduced or shall not manifest partially without the written permission of the Department of Science Service.



TESTING

No.0082

TR 043 / 57

หน้า 1/4

ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์  
27 ถ.อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุดรดิตต์  
โทร. (055) 416601 - 30 ต่อ 1679, 1689 โทรสาร (055) 411096 ต่อ 1710

## รายงานผลการทดสอบ

หมายเลขวิเคราะห์ที่ ควท.อด. 0043/57

ชื่อตัวอย่าง วัสดุชีวมวล วิธีทดสอบ -

รับตัวอย่างเมื่อ 22 / ก.ค. / 57 วิเคราะห์เมื่อ 22 - 25 ก.ค. 57

ชื่อหน่วยงาน/ผู้ขอรับบริการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่อยู่ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์  
รายละเอียดของตัวอย่าง ตัวอย่างบรรจุในถุงพลาสติก

รหัสปฏิบัติการ	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ ( หน่วย )	วิธีทดสอบ / เครื่องมือ
ไม้ไผ่	Fixed Carbon	60 %	Furnace
	Ash	2.9 %	Furnace
	Moisture	7.1 %	Hit Air Oven
	Volatile	76.4 %	Furnace

รหัสปฏิบัติการ	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ ( หน่วย )	วิธีทดสอบ / เครื่องมือ
กะลามะพร้าว	Fixed Carbon	65 %	Furnace
	Ash	3.0 %	Furnace
	Moisture	6.7 %	Hit Air Oven
	Volatile	77.6 %	Furnace

รหัสปฏิบัติการ	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ ( หน่วย )	วิธีทดสอบ / เครื่องมือ
ถ่านอัดแท่ง	Fixed Carbon	73 %	Furnace
	Ash	3.1 %	Furnace
	Moisture	7.5 %	Hit Air Oven
	Volatile	80.0 %	Furnace

หมายเหตุ: \* - รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

- รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอม  
เป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

แก้ไขครั้งที่.....3..... ออกเมื่อ.....09/11/55.....

ควทฟ-5.10(1)-1/1

TR 043 / 57

หน้า 2/4


ลงชื่อ ..... นล นนทรน  
( นางสาวนารีนาถ ภาวังกุล )  
นักวิเคราะห์  
28 ก.ค. 2557

ลงชื่อ .....  
( นางสุภัทรรดา สุขะ )  
ทวนสอบผล/หัวหน้าห้องปฏิบัติการ  
28 ก.ค. 2557

ลงชื่อ .....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชมี เพ็ชรช้าง )  
ผู้บริหารระดับสูง  
28 ก.ค. 2557  
( ผู้อนุมัติ )

\*\*\*\*\* End of data \*\*\*\*\*

TR 214 / 60



ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์  
27 ถ.อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุดรดิตต์  
โทร. (055) 411096 ต่อ 1679, 1789 โทรสาร (055) 411096 ต่อ 1710

หน้า 1/2

รายงานผลการทดสอบ


หมายเลขวิเคราะห์ที่ ศวท.อต. 0214/60  
รับตัวอย่างเมื่อ 30 ส.ค. 60  
ชื่อหน่วยงาน/ผู้ขอรับบริการ นายสุทธิเดช โตนชัยภูมิ

ชื่อตัวอย่าง ถ่านชีวมวล  
วิเคราะห์เมื่อ 30 ส.ค. - 10 ต.ค. 60  
ที่อยู่ 2/3 ม.1 ต.เมืองบางยม อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย

ชื่อตัวอย่าง/ รหัสปฏิบัติการ	ลักษณะตัวอย่าง	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ (หน่วย)	วิธีทดสอบ/เครื่องมือ
ถ่านชีวมวล (สูตร 1) (30/08/60-0511)	เป็นแท่ง มีสีน้ำตาล	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	13.44% 2.49% 9.30% 3,730.10 Kcal/Kg 74.77%	ASTM D3173 ASTM D3174 ASTM D3172 Bomb Calorimeter (EPA 5050) ASTM D3175
ถ่านชีวมวล (สูตร 2) (30/08/60-0512)	เป็นแท่ง มีสีดำ	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	12.48% 6.37% 4.64% 3,637.30 Kcal/Kg 76.51%	ASTM D3173 ASTM D3174 ASTM D3172 Bomb Calorimeter (EPA 5050) ASTM D3175
ถ่านชีวมวล (สูตร 3) (30/08/60-0513)	เป็นแท่ง มีสีดำ	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	12.40% 5.47% 9.85% 3,807.50 Kcal/Kg 72.29%	ASTM D3173 ASTM D3174 ASTM D3172 Bomb Calorimeter (EPA 5050) ASTM D3175

หมายเหตุ: - รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น  
- รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอม  
เป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

แก้ไขครั้งที่...5.... ออกเมื่อ...23/05/59.....



ศวทฟ-5.10(1)-1/1



TR 214 / 60

หน้า 2/2

ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์  
 27 ถ.อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุดรดิตต์  
 โทร. (055) 411096 ต่อ 1679, 1789 โทรสาร (055) 411096 ต่อ 1710

ลงชื่อ .....  
 (นายสมพร เทพศิริ)  
 นักวิเคราะห์  
 11 ส.ค. 2560 /

ลงชื่อ .....  
 (นางสาวมีนา กรรมมี)  
 ทวนสอบผล/หัวหน้าห้องปฏิบัติการ  
 11 ส.ค. 2560 /

ลงชื่อ .....  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์เพ็ญ ชุมแสง)  
 ผู้บริหารระดับสูง  
 11 ส.ค. 2560 /  
 (ผู้อนุมัติ)

\*\*\*\*\* End of data \*\*\*\*\*





TR 214 / 60

หน้า 1/1

ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์  
27 ถ. อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์  
โทร. (055) 416601 – 30 ต่อ 1679, 1789 โทรสาร (055) 411096 ต่อ 1710

## รายงานผลการทดสอบ

หมายเลขวิเคราะห์ที่ ศวท.อต. 0214/60

ชื่อตัวอย่าง ถ่านชีวมวล

รับตัวอย่างเมื่อ 30 ส.ค. 60

วิเคราะห์เมื่อ 30 ส.ค. – 10 ต.ค. 60

ชื่อหน่วยงาน/ผู้ขอรับบริการ นายสุทธิเดช โตนชัยภูมิ

ที่อยู่ 2/3 ม.1 ต.เมืองบางยม อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย

ชื่อตัวอย่าง/ รหัสปฏิบัติการ	รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ (หน่วย)	เปรียบเทียบ มาตรฐานคุณภาพถ่านอัดแท่ง <sup>1</sup>
ถ่านชีวมวล (สูตร 1) (30/08/60-0511)	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	ร้อยละ 13.44 ร้อยละ 2.49 ร้อยละ 9.30 3,730.10 แคลอรีต่อกรัม ร้อยละ 74.77	ต้องไม่เกินร้อยละ 8 - - ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม -
ถ่านชีวมวล (สูตร 2) (30/08/60-0512)	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	ร้อยละ 12.48 ร้อยละ 6.37 ร้อยละ 4.64 3,637.30 แคลอรีต่อกรัม ร้อยละ 76.51	ต้องไม่เกินร้อยละ 8 - - ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม -
ถ่านชีวมวล (สูตร 3) (30/08/60-0513)	1. ความชื้น (Moisture) 2. เถ้า (Ash) 3. คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 4. ค่าความร้อน (Heating Value) 5. สารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	12.40% 5.47% 9.85% 3,807.50 แคลอรีต่อกรัม 72.29%	ต้องไม่เกินร้อยละ 8 - - ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม -

หมายเหตุ: <sup>1</sup>มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 238/2547



ภาคผนวก ข  
ภาพรวมการปฏิบัติงาน



ภาพที่ 11 กะลามะพร้าว



ภาพที่ 12 ไม้ไผ่



ภาพที่ 13 ชังข้าวโพด



ภาพที่ 14 เครื่องบดย่อยซีวมวล



ภาพที่ 15 เครื่องบดย่อยซีวมวล



ภาพที่ 16 ชีวมวลที่ผ่านการบดละเอียด



ภาพที่ 17 การชั่งชีวมวลก่อนผสม



ภาพที่ 18 การผสมชีวมวล



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการอัดชีวมวล



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการอัดชีวมวล



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการอัดชีวมวล



ภาพที่ 31 ชีวมวลผสมอัดแท่ง



ภาพที่ 24 การผสมขนมสำหรับอบ



ภาพที่ 25 เตรียมขนมสำหรับอบ



ภาพที่ 6 นำขนมเข้าเตาอบ



ภาพที่ 7 อบขนมและจับเวลา



ภาพที่ 8 อบขนมและจับเวลา



ภาพที่ 9 กล้องวัดความอุณหภูมิ



ภาพที่ 10 ขนมผิงหลังอบเสร็จ

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	สุทธิเดช โตนชัยภูมิ
วัน เดือน ปี เกิด	27 ธันวาคม พ.ศ.2535
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศรีสังวร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2558 เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การจัดการอุตสาหกรรม)
ที่อยู่ปัจจุบัน	2/3 หมู่ 1 ตำบลเมืองบางยม อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย 64110

