

การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง  
: กรณีศึกษาโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด

นายอาณัติ สรทอง

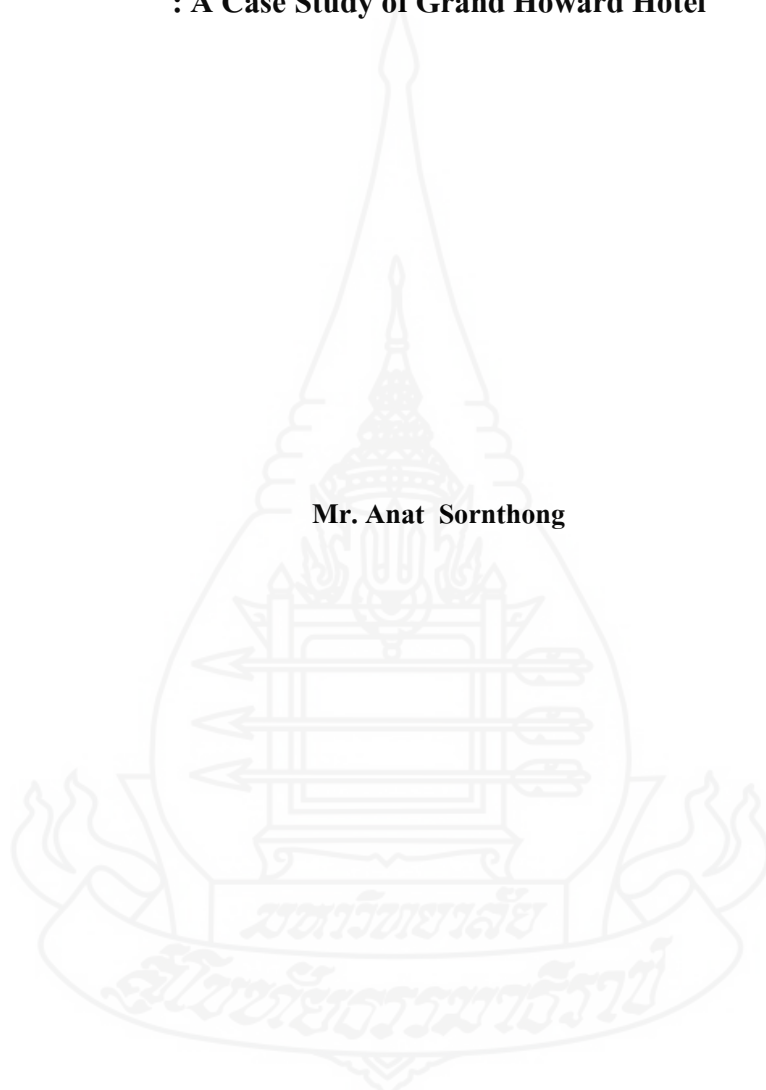


การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
วิชาเอกการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2559

**Using Fat Waste from Grease Traps for Briquette Production  
: A Case Study of Grand Howard Hotel**

**Mr. Anat Sornthong**



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Industrial Environment Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2015

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง  
: กรณีศึกษาโรงแรมแกรนด์สแควร์  
ชื่อและนามสกุล นายอาทิตย์ ศรีทอง  
วิชาเอก การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2559

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ)

.....  
(รองศาสตราจารย์สราวุธ สุธรรมมาสา)  
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง : กรณีศึกษา  
โรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด

ผู้ศึกษา นายอาณัติ สรทอง รหัสนักศึกษา 2575001793

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการผสมกากไขมัน แกลบ และขี้เถ้า ด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน และ (2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยเก็บกากไขมันแบบที่ละเท และเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง จากบ่อดักไขมัน โรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ดผสมกับแกลบ และขี้เถ้าให้เข้ากัน โดยมีอัตราส่วนที่กำหนดคือ 50 : 30 : 20, 50 : 20 : 30 และ 50 : 25 : 25 จากนั้นนำไปอัดแท่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ในแต่ละสูตร วิเคราะห์ข้อมูลค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลการศึกษาพบว่า (1) วัสดุทั้ง 3 ชนิดผสมกันในแต่ละสูตรสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และ (2) เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสมทั้ง 3 สูตรผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยส่วนอัตราผสมกากไขมัน ร้อยละ 50 แกลบ ร้อยละ 30% และขี้เถ้า ร้อยละ 20 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ มีค่าความชื้น ร้อยละ 4.94 สารระเหย ร้อยละ 79.35 คาร์บอนคงตัว ร้อยละ 9.85 เถ้า ร้อยละ 5.86 และค่าความร้อนสูง 6131.94 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เชื้อเพลิงอัดแท่งนี้สามารถนำมาใช้งานจริงได้ แต่เหมาะกับงานด้านอุตสาหกรรมด้านเชื้อเพลิงมากกว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ตามบ้านเรือนหรือร้านอาหาร เนื่องจากมีกลิ่นที่แตกต่างจากถ่านปกติ

คำสำคัญ กากไขมัน แกลบ ขี้เถ้า เชื้อเพลิงอัดแท่ง

**Independent Study title:** Using Fat Waste from Grease Traps for Briquette Production  
: A Case Study of Grand Howard Hotel

**Author:** Mr. Anat Sornthong; **ID:** 2575001793;

**Degree:** Master of Science (Industrial Environment Management);

**Independent Study advisor:** Dr. Sarisak Soontornchai, Associate Professor;

**Academic year:** 2016

### **Abstract**

The objectives of this research were: (1) to study feasibility for utilizing fat waste in producing briquettes by combining fat waste, chaff, and sawdust at various ratios; and (2) to determine fuel properties of the briquette.

This quasi-experimental research involved the collection of fat waste samples using the batch technique and purposive sampling method from grease traps at the Grand Howard Hotel in Bangkok. The fat waste was then blended with chaff and sawdust at three ratios: 50:30:20, 50:20:30, and 50:25:25. After that the mixtures were compressed into briquettes and then analyzed for humidity, ash content, volatile matter concentration, and fixed carbon content, according to the ASTM D7582 standard test method, and heating value with ASTM D5865, for each ratio. Data were analyzed to determine percentage, mean, and standard deviation, and analysis of variance.

The results revealed that: (1) the three materials mixed in all three ratios could be used to produce briquettes with somewhat similar density; and (2) the fuel properties of briquettes using all the three ratios met the criteria of industrial waste application for briquette production. The briquette derived with the 50:30:20 mixing ratio of fat waste, chaff and sawdust yielded the best heating value of 6131.94 kcal/kg; and it contained 4.92% humidity, 79.35% volatile matter, 9.85% fixed carbon, and 5.86% ash. Thus, this briquette can be really used as fuel, especially in industrial settings rather than in households or restaurants since its smell is different from that of wood charcoal.

**Keywords:** Fat waste, Chaff, Sawdust, Briquette

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย อาจารย์ที่ปรึกษา การศึกษาค้นคว้าอิสระ ที่สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือ ใช้อุปกรณ์ต่างๆ ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาตลอดมา จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณ บริษัท เจ นคระ พัฒนาที่ดิน จำกัด (โรงแรม แกรนด์ฮาวเวิร์ด) ที่อนุเคราะห์ สถานที่ทำการศึกษาในการเตรียมพื้นที่สำหรับการทดลอง และทำยที่สุดขอขอบคุณครอบครัว ของผู้วิจัยที่เป็นต้นทางให้วันนี้

อาณัติ ศรีทอง

พฤศจิกายน 2559

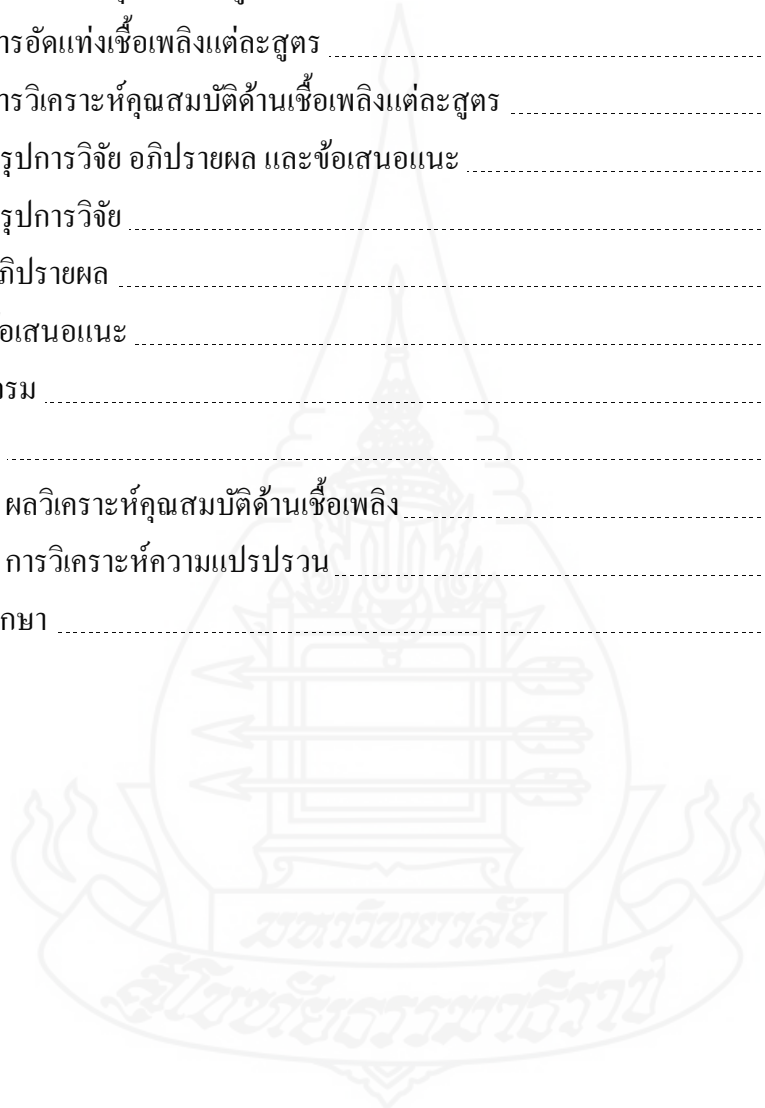


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	2
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	2
สมมติฐานการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
ข้อจำกัดในการวิจัย .....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	5
คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง .....	5
เชื้อเพลิงอัดแท่ง .....	12
ทฤษฎีของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง .....	16
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง .....	22
สถานที่ที่มีกากไยมันในการศึกษา .....	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	29
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....	29
เครื่องมือการวิจัย .....	29
ขั้นตอนการทดลอง .....	30
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	41
การผสมวัตถุคิบแต่ละสูตร .....	41
การอัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	42
การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงแต่ละสูตร .....	44
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	48
สรุปการวิจัย .....	48
อภิปรายผล .....	50
ข้อเสนอแนะ .....	52
บรรณานุกรม .....	53
ภาคผนวก .....	55
ก ผลวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง .....	56
ข การวิเคราะห์ความแปรปรวน .....	60
ประวัติผู้ศึกษา .....	66





สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร ..... 5
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง 11
ตารางที่ 2.3	แสดงความจุความร้อนจำเพาะของสารที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ ... 18
ตารางที่ 2.4	ผลวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ..... 40
ตารางที่ 4.1	ความหนาแน่นแท่งเชื้อเพลิง ..... 43
ตารางที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ..... 45
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความร้อนสูงของผลการทดลองทั้ง 3 สูตร ..... 46
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ผลการทดลอง 3 สูตรเป็นรายคู่ ..... 46
ตารางที่ 4.5	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคาร์บอนคงตัวของผลการทดลองทั้ง 3 สูตร ..... 47



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	2
ภาพที่ 2.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ กข29 (ชัณษาท 80) .....	8
ภาพที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) .....	13
ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) .....	14
ภาพที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press With a Heated Die) .....	14
ภาพที่ 2.5 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) .....	15
ภาพที่ 2.6 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม .....	16
ภาพที่ 2.7 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน .....	16
ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหน่วยต่างๆ .....	17
ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนสถานะของน้ำเมื่อได้รับความร้อน .....	20
ภาพที่ 3.1 การเตรียมกากไขมัน .....	31
ภาพที่ 3.2 การเตรียมแคลบ .....	31
ภาพที่ 3.3 การเตรียมขี้เลื่อย .....	32
ภาพที่ 3.4 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 1 .....	32
ภาพที่ 3.5 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 1 .....	33
ภาพที่ 3.6 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 2 .....	33
ภาพที่ 3.7 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 2 .....	34
ภาพที่ 3.8 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 3 .....	34
ภาพที่ 3.9 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 3 .....	35
ภาพที่ 3.10 ปั่นส่วนผสมให้ละเอียด .....	36
ภาพที่ 3.11 การอัดแท่งเชื้อเพลิง .....	37
ภาพที่ 3.12 ตากเพื่อให้อัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งตัว .....	38
ภาพที่ 3.13 วิธีการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง .....	39
ภาพที่ 4.1 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 2 .....	41
ภาพที่ 4.2 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 3 .....	42
ภาพที่ 4.3 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 1 .....	42

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.4 การอัดแท่งเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิกระบอกอัดแท่งปกติ .....	43
ภาพที่ 4.5 การอัดแท่งเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิกระบอกอัดแท่งสูงกว่าปกติ .....	43
ภาพที่ 4.6 การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดแท่ง (อัดร้อน) .....	44
ภาพที่ 4.7 ค่าความร้อนสูงสุดของแต่ละสูตร .....	44
ภาพที่ 4.8 ค่าคาร์บอนคงตัวของแต่ละสูตร .....	45



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเติบโตของกรุงเทพมหานคร และเป็นศูนย์กลางการความเจริญทางเศรษฐกิจ การค้า อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ประกอบกับเป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยว ทำให้มีสถานประกอบการที่ปรุง และจำหน่ายอาหารกระจายอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครจำนวนมาก เช่น ภัตตาคาร ร้านอาหาร โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ตลาด อาคารชุด เป็นต้น น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากร้านอาหารมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ 2546) ค่าความเข้มข้นของ น้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ร้านอาหาร โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน ในบ่อดักไขมันสำหรับร้านอาหารขนาดเล็ก (น้อยกว่า 100 ตารางเมตร) ขนาดกลาง (100-200 ตาราง เมตร) และขนาดใหญ่ (มากกว่า 200 ตารางเมตร) เท่ากับ 1,300 2,400 และ 6,400 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิ์ เหลืองรุ่งเกียรติ 2545) ดังนั้น มวลแห้งเฉลี่ยของน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เท่ากับ 1.5 4.2 และ 19.2 กิโลกรัม/วัน-ร้านตามลำดับ โดยทั่วไป แล้วสถานประกอบการเหล่านี้จะมีระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติ แต่ส่วนของไขมันที่ไม่สามารถบำบัดได้จึงจำเป็นต้องจ้างสำนักงานเขต เพื่อมารับไขมัน มากำจัดและแปรรูป ที่โรงงานกำจัดไขมันและแปรรูปอ่อนนุช และโรงงานกำจัดไขมันและแปรรูป หนองแขม ซึ่งโรงงานทั้ง 2 แห่งนี้สามารถกำจัดไขมันได้วันละ 600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และนำ ตะกอนไขมันมาแปรรูป เป็นปุ๋ยอินทรีย์ และแท่งเชื้อเพลิง

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เคยมี และบทความต่างๆ นั้น ได้มีการ นำไขมันมาผสมกับพืชผลทางการเกษตรต่างๆ เพื่อศึกษาค่าปริมาณความร้อนที่ได้ โดยนำวัสดุ 2 ชนิด มาผสมกันคือไขมันและวัสดุทางการเกษตร มาผสมกันในอัตราที่กำหนด เพื่อศึกษา ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณเถ้า (Ash Content) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอน คงตัว (Fixed Carbon) และค่าความร้อนสูง (High Heating Value)

โรงแรมแกรนด์สแควร์ ก็เป็นอีกแห่งที่มีปริมาณของกากไขมันที่มีส่วนประกอบของ ไขมันจากน้ำมันพืช ไขมันจากพืชและสัตว์ที่นำมาประกอบอาหารสำหรับผู้ที่มาเข้าพักในโรงแรม จำนวน 256 ห้อง และมีจำนวนห้องครัว 3 ห้องครัวด้วยกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องจ้างสำนักงานเขต

บางคลอแหลม เพื่อมารับไขมันไปกำจัด โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4 ลูกบาศก์เมตร/เดือน ดังนั้น ถ้ามีการศึกษาค้นคว้าจนสามารถนำกากไขมันที่มีนำมาแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ จะสามารถลดปัญหาในการจัดการกากไขมันในส่วนของโรงแรมและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไขมันของทางโรงแรมได้อีกทั้งสามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้งานเองได้อีกด้วย

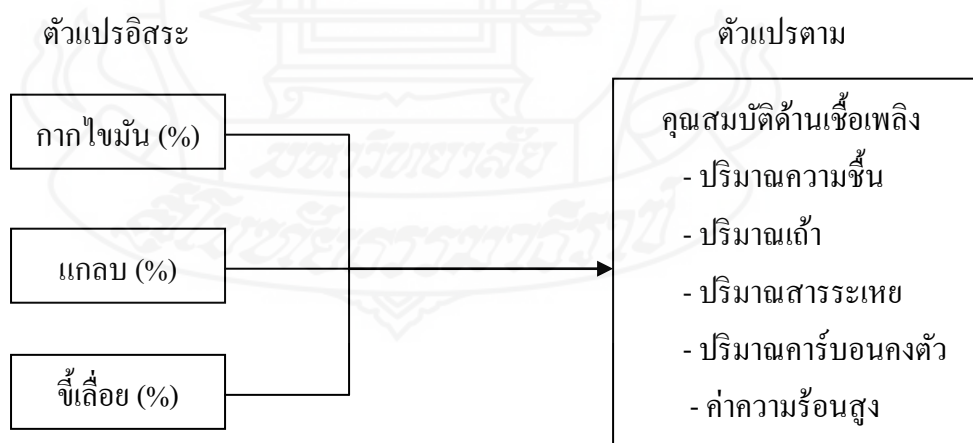
## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการผสมกากไขมัน แกลบ และขี้เถ้า ด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน

2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอัดแท่ง

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

การดำเนินการวิจัย นี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเชื้อเพลิงจากการผสมของกากไขมัน กับแกลบ และขี้เถ้า ในอัตราที่กำหนดเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

#### 4. สมมติฐานการวิจัย

การนำคุณสมบัติในการเป็นเถ้าของแกลบ กับคุณสมบัติในการลุกไหม้ของขี้เลื่อย นำมาผสมรวมกันกับ กากไขมัน จะสามารถเพิ่มค่าความร้อน และช่วงเวลาในการลุกไหม้ ได้นานเพียงพอ เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

#### 5. ขอบเขตของการวิจัย

5.1 การศึกษาค้นคว้าอิสระ การวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) โดยการนำกากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ดมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่างกากไขมัน กับแกลบ และขี้เลื่อย ตามอัตราส่วนที่กำหนด คือ 50 : 30 : 20 , 50 : 20 : 30 , 50 : 25 : 25

5.3 อัดแท่งเชื้อเพลิง ที่โครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ-สระบุรี กม.7 ถนนแก่งคอย-บ้านนา ตำบลชำผักแพว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18110

5.4 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง จำนวน 5 พารามิเตอร์ ได้แก่

5.4.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

5.4.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content)

5.4.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

5.4.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

5.4.5 ค่าความร้อนสูง (High Heating Value)

5.5 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

## 6. ข้อจำกัดในการวิจัย

- 6.1 กากไขมันที่นำมาใช้งาน จะมีความชื้นปะปนถึงแม้จะทำการตากแดด เพื่อลดความชื้นลง จนกากไขมันเหลว
- 6.2 การนำวัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่แตกต่างกันมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน 100% เป็นข้อจำกัด
- 6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง สามารถอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ โดยที่วัสดุที่ใช้ทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงมีความชื้นต่ำกว่า 10%

## 7. นิยามศัพท์เฉพาะ

- 7.1 กากไขมัน หมายถึง กากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด หรือที่เรียกว่าไขมันที่ได้จากน้ำเสียชุมชน นำมาตากแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นจนกากไขมันเหลว
- 7.2 แกลบ หมายถึง เปลือกของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าวเจ้าพันธุ์ กข29 (ชัณษาท80) ที่นำมาผสมทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 7.3 จี้เลื่อย หมายถึง ผงละเอียดที่ได้จากการเลื่อยไม้ยางพารา ที่นำมาผสมทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 7.4 เถ้า หมายถึง ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นั่นเอง
- 7.5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากการนำกากไขมันผสม กับแกลบและจี้เลื่อย ในแต่ละสูตรที่กำหนดแล้วนำมาอัดเป็นแท่ง

## 8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 8.1 เกิดการใช้ประโยชน์ของกากไขมัน ทางด้านพลังงาน แทนการกำจัดที่ไร้ประโยชน์ และค่าใช้จ่ายในการกำจัดไขมัน
- 8.2 ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
- 8.3 เพิ่มมูลค่าให้กับแกลบและจี้เลื่อย

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์กับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เชื้อเพลิงอัดแท่ง
3. ทฤษฎีของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง
5. สถานที่ที่มีกากไขมันในการศึกษา
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.1 กากไขมัน ได้มาจากชุมชน ร้านอาหาร โรงแรม และอาคารต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย น้ำมัน และไขมัน (oil and grease) เป็นสารอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติ ได้มาจากพืชและสัตว์ มีค่าปริมาณความร้อน อยู่ที่ 2,390 – 4,060 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม โดยน้ำมันและไขมันมีองค์ประกอบ (ตารางที่ 2.1) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น
ความเป็นกรด ค่า (pH)	-	5-7
สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)	μs/cm	300 – 2,500
สี (Color)	ADMI	60 - 700
ไนโตรเจนทั้งหมด (TNK)	mg/L	9 - 106
กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)	%	0.02 - 85
ไขมัน และน้ำมัน* (Grease and oil)	g/kg wet	140 - 850



## ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น
ไขมัน และน้ำมัน** (Grease and oil)	mg/L	14 - 38,000
ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	mg/L	0.13 - 100

ที่มา: ตัวอย่างน้ำเสีย ทำการวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรม และการจัดการ

ด้านสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) พ.ศ.2551

หมายเหตุ \* กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นตะกอน (Sludge)

\*\* กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นของเหลว (Liquid)

คู่มือ แนวทางการจัดการน้ำมันและไขมัน จากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์ (2551) กล่าวว่า บ่อดักไขมัน เป็นอุปกรณ์สำหรับแยกไขมันไม่ให้ไหลปนไปกับน้ำทิ้งช่วยรักษาสภาพน้ำในขั้นต้น ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือท่อระบายน้ำทิ้ง การจัดการน้ำมันและไขมัน โดยใช้บ่อดักไขมันเป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหารและภัตตาคาร

### 1.1.1 หลักการทำงานของบ่อดักไขมัน

- 1) น้ำเสียจะผ่านเข้ามาที่ตะแกรงดักเศษอาหาร ซึ่งทำหน้าที่แยกเศษอาหารที่ปะปนมากับน้ำเสีย
- 2) น้ำเสียจากชั้นตอนแรกจะไหลผ่านมายังส่วนดักไขมัน โดยไขมันที่แยกตัวออกจากน้ำเสียจะลอยขึ้นเป็นชั้นเหนือน้ำ ซึ่งเราสามารถดักไขมันส่วนนี้ออกไปได้
- 3) น้ำเสียที่อยู่ใต้ชั้นไขมันจะไหลเข้าสู่ถังบำบัดขั้นต่อไป ก่อนปล่อยน้ำเสียออกสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ

### 1.1.2 รูปแบบบ่อดักไขมันสำหรับร้านอาหาร

บ่อดักไขมันที่นิยมใช้กันสำหรับในร้านอาหาร มี 3 แบบ ได้แก่ 1. บ่อดักไขมันสำเร็จรูป 2. บ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์ และ 3. บ่อดักไขมันแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

#### 1) บ่อดักไขมันสำเร็จรูป

บ่อดักไขมันสำเร็จรูป เป็นบ่อที่ทำจากไฟเบอร์กลาส มีน้ำหนักเบาสะดวกในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง ประกอบด้วยตะแกรงดักเศษอาหารและส่วนแยกไขมัน การติดตั้งใช้งานต้องคำนึงถึงปริมาณของบ่อดักไขมันและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม

## 2) บ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์

สร้างได้โดยใช้วงขอบซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8-1.2 เมตร นำมาวางซ้อนกันเป็นตัวบ่อจนมีปริมาตรตามที่ต้องการ หากต้องการปริมาตรมากๆ ก็สามารรถทำได้โดยการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

## 3) บ่อดักไขมันแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

สร้างโดยใช้แบบหล่อคอนกรีต มีขนาดค่อนข้างใหญ่เหมาะกับแหล่งกำเนิดที่มีปริมาณน้ำเสียมาก เช่น สถานที่จำหน่ายอาหารขนาดใหญ่ ร้านอาหารในโรงแรม หรือ โรงอาหารสำหรับสถาบันขนาดใหญ่

### 1.1.3 การดูแลรักษาบ่อดักไขมัน

- 1) ต้องติดตะแกรงดักขยะและเศษผงก่อนเข้าบ่อดักไขมัน
- 2) ต้องไม่ทะลวง หรือแทงหลักให้เศษขยะไหลผ่านตะแกรงไปเข้าบ่อดักไขมัน
- 3) ต้องไม่เอาตะแกรงดักขยะออก แล้วปล่อยให้เศษขยะเข้าไปในบ่อดักไขมัน
- 4) ต้องหมั่น โกวเศษขยะที่ดักไว้หน้าตะแกรงออกอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยทุกวัน
- 5) ห้ามเอาน้ำจากส่วนอื่นๆ เช่น น้ำล้างมือ น้ำอาบ น้ำซักเสื้อผ้า น้ำฝน ฯลฯ เข้ามาในบ่อดักไขมัน
- 6) ต้องหมั่นดักไขมันออกจากบ่อดักไขมันอย่างน้อยทุกสัปดาห์และนำไขมันที่ดักได้ใส่ภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อให้เทศบาลนำไปกำจัดหรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ
- 7) ล้างถังดักไขมันอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยทุก 6 เดือน

**1.2 แกลบ** หมายถึง เปลือกแข็งของเมล็ดข้าว ที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวล มีค่าปริมาณความร้อน อยู่ที่ 3,440 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีเถ้า ถึง 17.4 % สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานและอุตสาหกรรม โดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือใช้ทำแท่งถ่านอัดซีเมนต์แกลบเพื่อเป็นเชื้อเพลิง ก็ได้เช่นกัน

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว มุมจัดการความรู้ ได้กล่าวว่า ประวัติข้าวเจ้าพันธุ์ กข29 (ชัณษาท 80) (ภาพที่ 2.1) ได้จากการผสม 3 ทางระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 60 และสายพันธุ์ IR29692-99-3-2-1 กับสายพันธุ์ IR11418-19-2-3 ที่สถานีทดลองข้าวชัณษาท ในปี 2532 ปลุกลูกผสมชั่วที่ 1 คัดเลือกพันธุ์ ศึกษาพันธุ์และเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีที่ศูนย์วิจัยข้าวชัณษาท ในปี พ.ศ. 2533-2541 จากนั้นนำเข้าเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานีที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

ศูนย์วิจัยข้าวลพบุรี และศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท ในฤดูนาปี พ.ศ. 2541 – ฤดูนาปี พ.ศ. 2547 นำเข้าเปรียบเทียบผลผลิตในนารายณ์ในแปลงเกษตรกรจังหวัดพิษณุโลก ลพบุรี สิงห์บุรี และชัยนาท ในฤดูนาปี พ.ศ. 2542 ถึง ฤดูนาปี พ.ศ. 2547 นำเข้าทดสอบเสถียรภาพผลผลิต ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก แพร่ อุบลราชธานี สกลนคร สุรินทร์ ปทุมธานี สุพรรณบุรี พัทลุง คลองหลวง ราชบุรี ชัยนาท ลพบุรี และละหานทราย คัดเลือกเข้าทดสอบผลผลิตในนาเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลก อุตรดิตถ์ พิจิตร สุโขทัย ชัยนาท และสิงห์บุรี ในฤดูนาปี พ.ศ. 2544 ถึง ฤดูนาปี พ.ศ. 2548 คณะกรรมการมีมติให้เป็นพันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2550



ภาพที่ 2.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ กข29 (ชัยนาท 80)

ที่มา: <http://psl.brrd.in.th/>

### 1.2.1 ลักษณะประจำพันธุ์

เป็นข้าวเจ้า ไม้ไวต่อช่วงแสง อายุ 103 วัน ในฤดูนาปี และ 99 วัน ในฤดูนาปรังเมื่อปลูกโดยหว่านน้ำตม กอตั้ง สูงประมาณ 104 เซนติเมตร ใบเขียวเข้ม ใบธงตั้งตรง รวงแน่นปานกลาง คอรวงยาว ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ข้าวกล้องรูปร่างเรียวยาว 7.34 มิลลิเมตร กว้าง 2.23 มิลลิเมตรหนา 1.80 มิลลิเมตร คุณภาพทางเคมีเป็นข้าวอมิโลสสูง (26.9 – 29.4 %) ข้าวเมื่อหุงสุกมีลักษณะร่วนแข็งสีขาวนวล ไม่หอม

### 1.2.2 ลักษณะเด่น

- 1) อายุสั้น มีอายุวันเก็บเกี่ยว 99 วัน ในฤดูนาปรัง และ 103 วัน ในฤดูนาปี สั้นกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 (104 และ 106 วัน) สุพรรณบุรี 1 (108 และ 110 วัน) และพิษณุโลก 2 (105 และ 106 วัน)
- 2) ผลผลิตสูง ให้ผลผลิตเฉลี่ย 876 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (824 กิโลกรัมต่อไร่) ชัยนาท 1 (744 กิโลกรัมต่อไร่) 6 และ 18 เปอร์เซ็นต์
- 3) ก่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคขอบใบแห้ง
- 4) คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ เป็นข้าวเจ้า เมล็ดเรียวยาว ขนาดข้าวกล้อง 7.34 x 2.23 x 1.80 มิลลิเมตร ท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดีมาก สามารถสีเป็นข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์
- 5) ธาตุเหล็กสูง มีปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องสูงถึง 15.7 มิลลิกรัมต่อข้าว 1 กิโลกรัม ส่วนในข้าวสารพบปริมาณธาตุเหล็ก 6.7 มิลลิกรัมต่อข้าว 1 กิโลกรัม

### 1.2.3 พื้นที่แนะนำ

เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่นาชลประทาน ภาคเหนือตอนล่างที่ต้องการข้าวอายุสั้นเพื่อปลูกปีละ 3 ครั้ง โดยเริ่มปลูกในเดือนสิงหาคม ธันวาคม และเมษายน หรือสำหรับปลูกหลังฤดูน้ำท่วมในฤดูฝนและสามารถปลูกและเก็บเกี่ยวได้ 2 ครั้งในฤดูนาปรังก่อนฤดูน้ำท่วม

### 1.2.4 ข้อควรระวัง

- 1) ไม่ควรปลูกในช่วงกลางเดือนกันยายน ถึงปลายพฤศจิกายน ซึ่งมีอากาศเย็น เพราะจะมีเมล็ดลีบมาก ผลผลิตต่ำ
- 2) อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในเขตจังหวัดนครปฐม ปทุมธานี ราชบุรี และฉะเชิงเทรา

**1.3 ขี้เลื่อย** เป็นผลพลอยได้จากการเลื่อยไม้ มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีค่าปริมาณความร้อน อยู่ที่ 4,990 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีเถ้า 1.5% โดยปกติขี้เลื่อยจะเป็นของเสียที่มีมากในโรงงานแปรรูปไม้ หรือโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ จนกระทั่งเริ่มมีการนำขี้เลื่อยมาทำพลังงานชีวมวลด้วยการอัดเม็ด หรือนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับประเทศเพื่อนบ้าน (ยุทธศาสตร์การพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมภายใต้กรอบการพัฒนาเขตเศรษฐกิจสามฝ่ายอินโดนีเซีย-มาเลเซีย-ไทย: IMT-GT) กล่าวว่า ไม้ยางพาราเป็นไม้ยืนต้น<sup>1</sup> ที่อยู่ในสกุล (Genus) *Hevea* และวงศ์ (Family) *Euphorbiaceae* มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ โดยชาวพื้นเมืองเรียกว่า "เกาชู" (cao tchu) แปลว่า ต้นไม้ร้องไห้จนถึงปี พ.ศ. 2313 (1770) โจเซฟ ปริสต์ลีย์ พบว่า ยางสามารถ

นำมาลบรอยดำของดินสอได้ เรียกว่า ยางลบหรือตัวลบ (Rubber) ซึ่งเป็นศัพท์ใช้ในอังกฤษและเนเธอร์แลนด์เท่านั้น ศูนย์กลางของการเพาะปลูกและซื้อขายยางในอเมริกาใต้แต่ดั้งเดิมอยู่ที่ รัฐปารา (Pará) ของบราซิล ยางชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า “ยางพารา”

ไม้ยางพาราไม่มีวงเจริญเติบโตให้เห็นเด่นชัดทางด้านหน้าตัด แต่จะเห็นเป็นลายไม้เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความแน่นของไฟเบอร์และปริมาณความหนาแน่นของหมู่เนื้อ Parenchyma ทางด้านข้าง Pore เตี้ยและแผด 2-3 คละกัน กระจายห่างๆ อย่างสม่ำเสมอ มี Metatracheal Parenchyma (concentric) ตัดกับ Ray เห็นเป็นลักษณะตาข่ายทางด้านหน้าตัด (สำนักงานวิชาการป่าไม้ 2543)

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลม สูงปานกลาง เปลือกสีเทาดำ มองทางด้านหน้าตัดจะเห็นท่อน้ำยาง (Latex Vessel) ต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัส (Tangential) เนื้อไม้มีสีขาวอมเหลือง เมื่อสดและมีสีขาวจาง เมื่อแห้งเนื้อจะหยาบ (ปานกลาง) เส้นตรง วงรอบปีไม่เห็นชัด ไม่มีแกน ส่วนเรย์ (Ray) มีขนาดเล็กมากและมีสีอ่อนกว่าเนื้อไม้ และพอร์ (Pore) เป็นแบบ Radial Multiple ซึ่งการเรียงตัวจะตัดกันระหว่างเรย์กับเมตาทราเคียพาราเรงคิมา (Metatracheal parenchyma) ทำให้มองดูเนื้อไม้คล้ายตาข่าย มีความหนาแน่นพื้นฐาน (Basic Density) 0.56 – 0.65 กรัม/ลบ.ซม. สำหรับที่ความชื้น 15% มีความหนาแน่นประมาณ 0.67-0.74 กรัม/ลบ.ซม. โดยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ Soft Maple ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพารานั้นๆ สำหรับขนาดของเส้นใยไม้ยางพาราประมาณ 1.26 มม. โดยมีความกว้างประมาณ 0.021 มม. คุณสมบัติทางเคมีของ ไม้ยางพาราสด เมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ประกอบด้วย สารแทรก (Extractives) 13.28% (สำหรับสารแทรกแบ่งเป็นสารที่สามารถละลายในน้ำรวม 10.36% และละลายได้ในสารละลายรวม 23.24%) เซลลูโลส (Cellulose) 50.63% (Holocellulose 78.72%, Alpha Cellulose 49.41%) เพนโตซาน (Pentosan) 17.17% ลิกนิน (Lignin) 18.06% และเถ้า (Ash) 0.86% (บริษัท บูรณาการรูป จำกัด 2556)

ประเทศไทยมีการใช้ฟืนและถ่านมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนมาตั้งแต่อดีต แต่เชื้อเพลิง ที่มาจากฟืนจะมีปัญหาเกี่ยวกับควันและความสกปรกมากกว่าการใช้ถ่านไม้ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้คนหันมาใช้ถ่านไม้โดยเฉพาะในภาคครัวเรือน แต่ในปัจจุบันภาคครัวเรือนจะหันมาใช้ในการเชื้อเพลิงที่มาจากถ่านไม้มากขึ้นจากความสะดวกและการพลังงานความร้อนดีกว่า อย่างไรก็ตามถ่านไม้ยังคงมีบทบาทสำคัญในพื้นที่ชนบทและร้านอาหารประเภทบั้งย่างที่ได้รับความนิยมในสังคมเมือง และที่สำคัญถ่านไม้ยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศพอสมควร (กรมการค้าต่างประเทศ, 2546) การเผาถ่านในปัจจุบันวัตถุดิบสำคัญ คือ ไม้ยางพารา หาง่ายกว่าไม้ประเภทอื่นๆ ถ่านไม้ยางพาราส่วนใหญ่ผลิตมาจากไม้พื้น ปีกไม้ และเศษปลายไม้ยางพาราที่เหลือจากการเลื่อยแปรรูปไม้ยางพารา

1.4 เกณฑ์คุณสมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ทั้งในด้านการปนเปื้อนสารอันตรายและคุณสมบัติขั้นค่าทางเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากข้อมูลคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง (ตารางที่ 2.2) ดังนี้

การปนเปื้อนสารอันตราย ไม่ปนเปื้อนสารอันตรายต่อไปนี้

1.4.1 สารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer)

1.4.2 สารที่ก่อให้เกิดการระเบิดเมื่อถูกทำให้ร้อน

1.4.3 สารกัดกร่อนที่เป็น Strong Oxidizer

ค่าความร้อน ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ไม่ควรต่ำกว่า 15%

เถ้า (Ash) ไม่ควรเกิน 20%

กำมะถันรวม (Total Sulfur) ไม่ควรเกิน 2%

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย (%โดยน้ำหนัก)	คาร์บอนคงตัว (% โดยน้ำหนัก)	เถ้า (% โดยน้ำหนัก)	กำมะถัน (% โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (% โดยน้ำหนัก)
ขี้เลื่อย	75.4	22.4	2.0	0.20	4,500
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	0.3	4,400
แกลบ	62.7	17.4	20.0	0.14	3,600
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	-	4,000
ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,400
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,800
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,500
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.3	4,000
เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,500
เศษหวาย	70.5	23.7	5.7	-	4,800
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,600
ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	1.19	3,100

ที่มา: คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสีย เพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบดอัดประสาน



## 2. เชื้อเพลิงอัดแท่ง

**2.1 การอัดแท่งเชื้อเพลิง** เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นแท่งๆ โดยใช้เครื่องอัดแท่ง โดยวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้ 2 วิธี

การอัดแบบใช้ความร้อน (อัดร้อน) เป็นวิธีการอัดแท่งที่ใช้ความร้อนและแรงอัดสูงในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง โดยความร้อนจะไปทำให้สารพอลิเมอร์ในวัสดุชีวมวลถูกสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกลายเป็นตัวประสานให้วัสดุสามารถจับตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น แกลบ จี้เลื่อย เศษไม้ วัสดุนี้จะนำมาทำการลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 หากวัสดุมีขนาดใหญ่ต้องทำให้มีขนาดเล็กเสียก่อน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดต่อไป การอัดแบบใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งและแน่นมาก ซึ่งต้องใช้ความร้อนและแรงอัดที่สูงมาก จึงจะสามารถหลอมวัสดุได้ การอัดแท่งยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่ง เช่น ปริมาณความชื้น แรงดัน อุณหภูมิและขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น

การอัดแบบไม่ใช้ความร้อน (อัดเย็น) วิธีการอัดแบบนี้จะใช้แรงอัดและอุณหภูมิระหว่างอัดต่ำ โดยอาศัยความสามารถของวัสดุชีวมวล ในการจับตัวกันเป็นแท่งหรือประสาน วัสดุที่ใช้อัดจะมีเส้นใยและความเหนียวที่สามารถทำให้วัสดุเกาะติดกันได้ เช่น เพกติน เฮลลานินและกัม ซึ่งรูปแบบการอัดแบบนี้มีกระบวนการอัดแท่ง แบ่งได้ 2 แบบ คือ

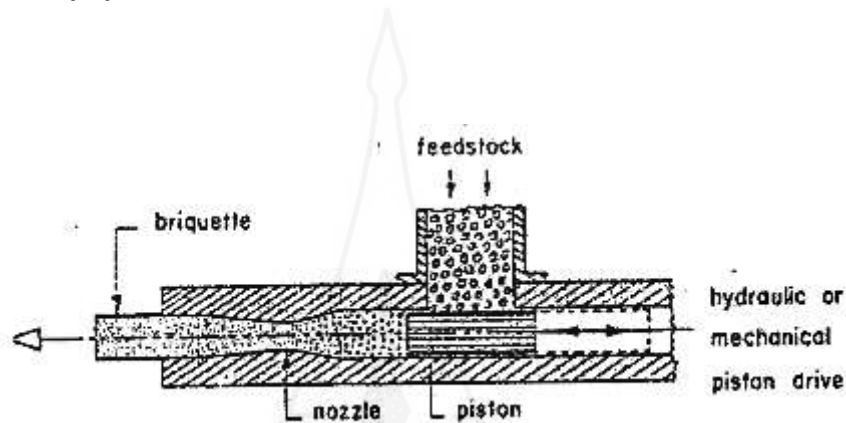
**2.1.1 การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน** เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามต้องการ

**2.1.2 การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง** เป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ดี ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีเวลาจำเป็นที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก

**2.2 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง** ทองทิพย์ พูลเกษม (2542) ได้กล่าวว่าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

**2.2.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press)** ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocating piston) เพื่อคั้นวัตถุดิบที่มาจากช่อง ป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered die) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัววีครูปกรวย (Conical

chock) หรือรูปรีเวว จะทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ (ภาพที่ 2.2)



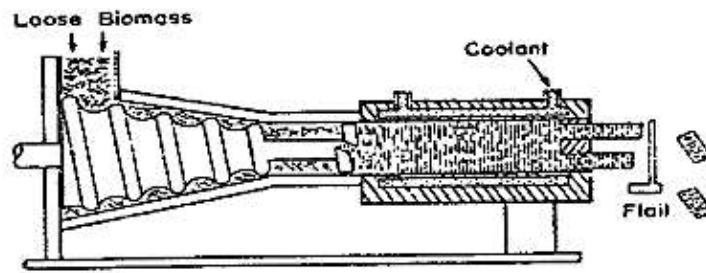
ภาพที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press)

ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)

**2.2.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press)** ในเครื่องอัดแบบเกลียว วัสดุที่ใช้อัดจากช่องป้อน (Feed hopper) ถูกส่งผ่านและอัดด้วยเกลียว แบ่งเครื่องอัดแบบนี้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press) มีหลักการทำงานคือเกลียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อฟันเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลินินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัด กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8-10 (ภาพที่ 2.3)

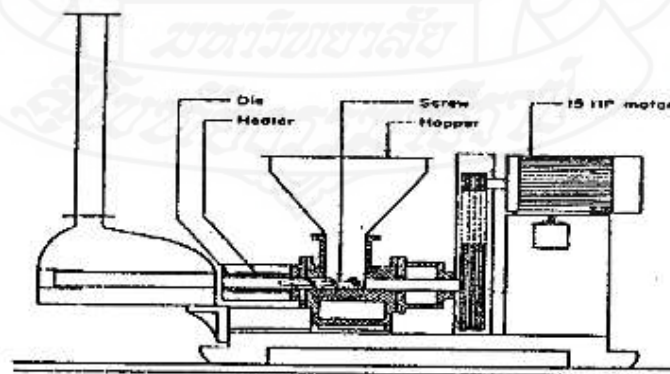




ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press)

ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)

2) เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw press with a heated die) มีหลักการทำงาน คือวัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อย ผ่านเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนระหว่าง 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้ทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกยึดตัวกันดี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร โดยเฉพาะการออกแบบของหัวเกลียวทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้อยู่ในช่วง 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาใหญ่ของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของเกลียวและกระบอกอัด (ภาพที่ 2.4)



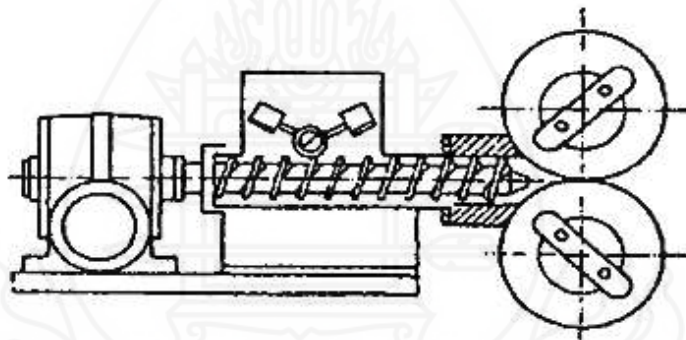
ภาพที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

(Screw Press With a Heated Die)

ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)

3) เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-screw press) เครื่องอัดแบบนี้มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw parts) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด สำหรับวัตถุดิบที่ใช้อัดควรมีขนาด 30-80 มิลลิเมตร และวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไปจึงจะสามารถทำการอัดได้ โดยไม่ต้องทำให้แห้งเสียก่อน กำลังการผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2800-3600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

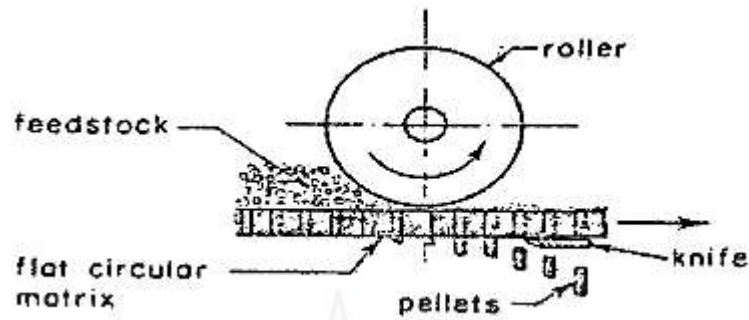
2.2.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งนี้ มีการทำงานโดยจะเริ่มทำงานอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางการหมุนตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแทนอัด (Pillow-shaped briquetted) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น และแท่งอัดที่ได้มีความทนทานน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่นเนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลายลิพิน ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จจึงจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วย ที่ทำให้วัสดุเกาะติดกันดี (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)

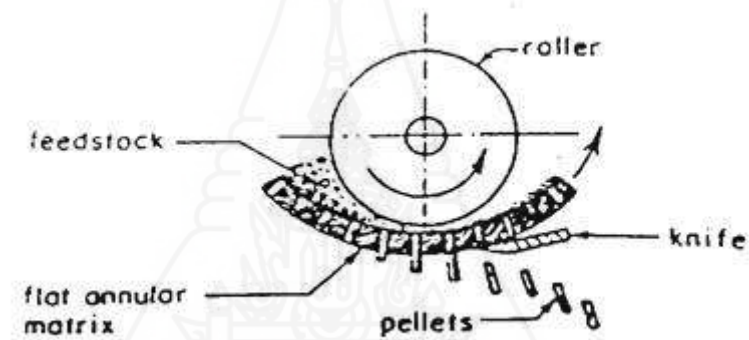
ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)

2.3.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Pelletizing press) เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงอัดระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรูซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk matrix press) (ภาพที่ 2.6) และเครื่องอัดแม่พิมพ์วงแหวน (Ring matrix press) (ภาพที่ 2.7) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดให้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะใช้การอัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ด



ภาพที่ 2.6 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม

ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)



ภาพที่ 2.7 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน

ที่มา: ทองทิพย์ พูลเกษม (2542)

### 3. ทฤษฎีของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

**3.1 ความร้อน (Thermal)** ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดเปลี่ยนมาจากพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล (พลังงานศักย์และ พลังงานจลน์) พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ หรืองาน เป็นต้น

พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นจูล (Joule ;J) ในระบบเอสไอ (SI) แต่บางครั้งอาจบอกเป็นหน่วยอื่นได้ เช่น แคลอรี (cal) และบีทียู (BTU)

พลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือพลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ในช่วง  $14.5^{\circ}\text{C}$  ถึง  $15.5^{\circ}\text{C}$

พลังงานความร้อน 1 บีทียู คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ ( °F ) ในช่วง 58.1 °F ถึง 59.1 °F

จากการทดลองพบว่า

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

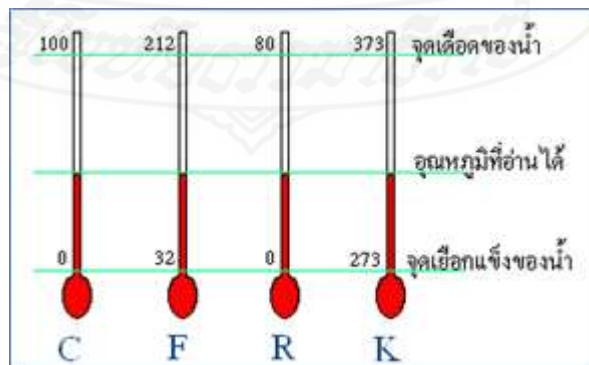
$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

**3.2 อุณหภูมิ (Temperature)** นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดว่าอุณหภูมิ คือ ปริมาณที่แปรผันโดยตรงกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สการที่เราจะบอกว่าวัตถุใดร้อนมากหรือน้อย เราสามารถบอกได้ด้วยอุณหภูมิของวัตถุนั้น คือ วัตถุที่มีระดับความร้อนมากจะมีอุณหภูมิสูง วัตถุที่มีระดับความร้อนน้อยจะมีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นถ้าเราเอาวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาสัมผัสวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานความร้อนจะถูกถ่ายโอนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ จนวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน

อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์มีหลายชนิด (ภาพที่ 2.8) เช่น

**3.2.1 สเกลองศาเซลเซียส (Celsius ; °C)** หรือบางที่เรียกว่าองศาเซนติเกรด (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ จุดเยือกแข็งของน้ำเป็น 0 เซลเซียสและจุดเดือดเป็น 100 เซลเซียส ระหว่างจุดเยือกแข็งและจุดเดือดแบ่งเป็น 100 ส่วนเท่าๆ กัน)

**3.2.2 สเกลองศาเคลวิน (Kelvin ; K)** เป็นหน่วยอุณหภูมิสัมบูรณ์ (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ จุดเยือกแข็งของน้ำเป็น 273.16 เคลวินและจุดเดือดเป็น 373.16 เคลวิน ระหว่างจุดเยือกแข็งและจุดเดือดแบ่งเป็น 100 ส่วนเท่าๆ กัน) ## หน่วยเคลวินเป็นหน่วยมาตรฐานในระบบเอสไอ



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหน่วยต่างๆ

ที่มา: แผนการเรียนรู้อาชีวศึกษา ชั้น ม.5 กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง

**3.3 ปริมาณความร้อนของวัตถุ (Heat ; Q)** เป็นพลังงานความร้อนที่วัตถุรับเข้ามาหรือคายออกไป จากการศึกษารผลของความร้อนต่อสสารหรือวัตถุในชั้นนี้จะศึกษาเพียงสองด้าน คือ

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงโดยสถานะยังคงรูปเดิม

ความร้อนแฝง (Latent Heat) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะโดยอุณหภูมิกคงที่

ความจุความร้อน (Heat Capacity ; C) คือ ความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่กำลังพิจารณามีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย โดยสถานะไม่เปลี่ยน

ถ้าให้ปริมาณความร้อน  $\Delta Q$  แก่วัตถุ ทำให้อุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนไป  $\Delta T$  ดังนั้นถ้าอุณหภูมิวัตถุเปลี่ยนไป 1 หน่วย จะใช้ความร้อน C คือ

$$C = \Delta Q / \Delta T \text{ มีหน่วยเป็น จูล / เคลวิน (J / K)}$$

**3.4 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity ; c)** คือค่าความร้อนที่ทำให้สาร (วัตถุ) มวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศาเคลวิน (ตารางที่ 2.3) คือ

$$C = \Delta Q / m\Delta T \text{ ความจุความร้อนจำเพาะของสาร (J / kg - K)}$$

นั่นคือ เมื่อสารมวล m มีอุณหภูมิเพิ่มจาก  $T_1$  เป็น  $T_2$  และความจุความร้อนจำเพาะมีค่าคงตัว ความร้อนที่สารได้รับ คือ

$$Q = C\Delta T \text{ หรือ } Q = mc\Delta T$$

ตารางที่ 2.3 แสดงความจุความร้อนจำเพาะของสารที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ

วัสดุ	ความจุความร้อนจำเพาะของสาร ( J / kg - K)
อะลูมิเนียม	900
ทองแดง	390
เหล็ก	450
ตะกั่ว	130
ปรอท	140
หินอ่อน	860
เอลทานอล	2,500

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

วัสดุ	ความจุความร้อนจำเพาะของสาร ( J / kg – K)
น้ำ	4,186
ร่างกายมนุษย์	3,500

ที่มา: แผนการเรียนรู้อิสิกส์ ชั้น ม.5 กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง

ความร้อนแฝง (Latent Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะ โดยอุณหภูมิคงที่

**3.5 ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific Latent Heat ; L)** คือความร้อนที่ทำให้สาร(วัตถุ) มวลหนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะไปจนหมด เช่น น้ำ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หลอมเหลวกลายเป็นน้ำหมดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะใช้ ความร้อน 333 กิโลจูล

ดังนั้น ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำ คือ  $L_f$

$$L_f = 333 \text{ kJ / kg}$$

และที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กลายเป็นไอน้ำหมดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะใช้ความร้อน 2256 กิโลจูล

ดังนั้น ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำ คือ  $L_v$

$$L_v = 2256 \text{ kJ / kg}$$

นั่นคือ ถ้าให้  $Q$  คือความร้อนที่ทำให้สาร(วัตถุ) มวล  $m$  เปลี่ยนสถานะหมดคือ

$$Q = mL$$

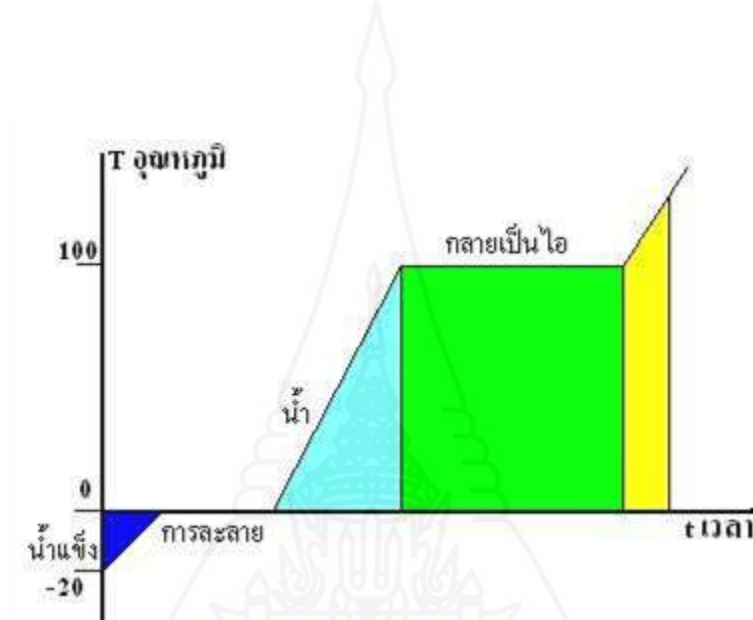
**3.6 การเปลี่ยนสถานะของสาร (Changing the Status of the Substance)** สารและ สิ่งของที่ถูกรอบตัวเราพบว่ามีอยู่ 3 สถานะ คือ ของแข็ง(น้ำแข็ง) ของเหลว(น้ำ) และ แก๊ส(ไอน้ำ) ได้ (ภาพที่ 2.9)

**3.6.1 ของแข็ง** แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่ามาก ทำให้โมเลกุลอยู่ใกล้กัน จึงทำให้รูปร่างของของแข็งไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อมีแรงขนาดไม่มากนักมากกระทำ ตามคำจำกัดความนี้ เหล็ก คอนกรีต ก้อนหิน เป็นของแข็ง



**3.6.2 ของเหลว** แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อย โมเลกุลจึงเคลื่อนที่ไปมาได้บ้าง จึงทำให้รูปทรงของของเหลวเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ น้ำ น้ำมัน โปรท เป็นของเหลว

**3.6.3 แก๊ส** แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยมาก จน โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมากและเคลื่อนที่ได้สะเปะสะปะ ฟู่งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ เช่นอากาศและแก๊สชนิดต่างๆ



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนสถานะของน้ำเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา: แผนการเรียนรู้อชีวฟิสิกส์ ชั้น ม.5 กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสตรีอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง

ถ้าเรานำน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  ที่ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ความร้อนทำให้น้ำแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ คือ

1. น้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  กลายเป็นน้ำแข็ง  $0^{\circ}\text{C}$  (เป็นค่า  $c$  ของน้ำแข็ง)
2. น้ำแข็ง  $0^{\circ}\text{C}$  ละลายกลายเป็นน้ำ  $0^{\circ}\text{C}$
3. น้ำ  $0^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นน้ำ  $100^{\circ}\text{C}$  (เป็นค่า  $c$  ของน้ำ)
4. น้ำ  $100^{\circ}\text{C}$  เดือดกลายเป็นไอน้ำ  $100^{\circ}\text{C}$

การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน วัตถุโดยทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว การขยายตัวของวัตถุจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของวัตถุเช่น วัตถุที่มีความยาวมีลักษณะเป็นเส้นหรือแท่งยาว จะมีการขยายตัวตามเส้น (การขยายตัวตามยาว) วัตถุที่เป็นแผ่นจะมีการขยายตัวตามพื้นที่ วัตถุที่มีรูปร่างเป็นปริมาตรจะมีการขยายตัวตามปริมาตร ในทางกลับกันถ้าวัตถุสูญเสียความร้อนก็จะหดตัว

สมบัติที่สำคัญๆ เกี่ยวกับการขยายของของแข็ง ได้แก่

1. ของแข็งต่างชนิดกัน ถ้าเดิมมีความยาวเท่ากัน เมื่อร้อนขึ้นเท่ากันจะมีส่วนขยายตัวเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน
2. ของแข็งชนิดเดียวกัน ถ้าเดิมมีความยาวเท่ากัน เมื่อร้อนขึ้นเท่ากันจะมีส่วนขยายตัวเพิ่มขึ้นเท่ากัน
3. การขยายตัวของวัตถุเป็นเรื่องที่สำคัญมากในทางวิศวกรรม เช่น การวางเหล็กวางรถไฟ การึงสายไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น

**3.7 การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer)** ความร้อนจะถ่ายโอนหรือส่งผ่านจากวัตถุที่มีระดับความร้อนสูง (อุณหภูมิสูง) ไปสู่วัตถุที่มีระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) การถ่ายโอนความร้อนมี 3 แบบ คือ

**3.7.1 การนำ (Conduction)** เป็นการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านตัวกลาง ซึ่งโดยมากจะเป็นพวกโลหะต่างๆ เช่น เราเอามือไปจับช้อนโลหะที่ปลายข้างหนึ่งแช่อยู่ในน้ำร้อนมือเรารู้สึกร้อน เพราะความร้อนถูกส่งผ่านจากน้ำร้อนมายังมือเราโดยมีช้อนโลหะเป็นตัวนำความร้อน

**3.7.2 การพา (Convection)** เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวกลางเป็นตัวพาความร้อนไปจากบริเวณที่มีระดับความร้อนสูง (อุณหภูมิสูง) ไปสู่บริเวณที่มีระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) เช่น เวลาต้มน้ำความร้อนจากเตาทำให้น้ำที่ก้นภาชนะร้อนมันจะขยายตัวทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำด้านบน จึงลอยตัวสูงขึ้นส่วนน้ำด้านบนอุณหภูมิต่ำกว่าความหนาแน่นมากก็จะจมลงมาแทนที่ การหมุนวนของน้ำทำให้เกิดการพาความร้อน

**3.7.3 การแผ่รังสี (Radiation)** เป็นส่งพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รังสีอินฟราเรด) ดังนั้นจึงไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก โดยทั่วไปวัตถุที่แผ่รังสีได้ดีก็จะรับ(ดูดกลืน)รังสีได้ดีด้วย วัตถุชนิดนั้นเราเรียกว่าวัตถุดำ (Black Body) วัตถุดำไม่มีในธรรมชาติ มีแต่ในอุดมคติ ดังนั้นวัตถุที่มีลักษณะใกล้เคียงวัตถุดำคือ วัตถุที่มีสีดำ ในทางกลับกันวัตถุขาวจะไม่ดูดกลืนรังสีและไม่แผ่รังสีที่ตกกระทบ มีแต่ในอุดมคติเท่านั้น



## 4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง

**4.1 เครื่องบอมม์แคลอริมิเตอร์ (Automatic Bomb Calorimeter)** เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความร้อนของวัตถุเชื้อเพลิง ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวรวมทั้งขยะอุตสาหกรรมที่ได้ตามมาตรฐาน ASTM, ISO, BS และ DIN ดังนี้ ASTM D 240 – 92, ASTM D 4809 – 95, ASTM D 5468 – 95, ASTM D 5865 – 03A, ASTM E711 – 87, ISO 1928 – 1995 (E), BS 1016 PART 5, 1997, DIN 51900 หากค่าความร้อนแบบชดเชยต่อเนื่อง (Continuously Compensated Calorimeter) โดยระบบควบคุมกาทำงานด้วยไมโครโพลีเซสเซอร์ ที่มีระบบตรวจจับระดับอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งระบบการปรับค่าอุณหภูมิแบบ เวลาจริง (Real Time) มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.2% RSD (อ้างอิงจากการวิเคราะห์ค่ากรดเบนโซอิก)

การทำงานของเครื่องบอมม์แคลอริมิเตอร์ จะใช้หลักการของ ไดรเร็คแคลอริมิเตอร์ (Direct Calorimeter) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญอาหารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อาหารจะถูกบรรจุใน ริงค์ (Chamber) และ เก็บประจุ (Charged) ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (High Pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน ฟิวส์ (Fuse) และทำให้เกิดการจุดระเบิด (Ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของอาหารและออกซิเจน (Food-oxygen Mixture) เนื่องจาก แคลอริมิเตอร์ จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกัน ไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากสารอาหารแต่ละชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรตไขมันและโปรตีนจะปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน

**4.2 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)** ตู้อบลมร้อนเป็นเครื่องมือพื้นฐานชนิดหนึ่งที่พบในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่างๆ ไปเพราะใช้สำหรับการอบวัสดุและอุปกรณ์ ต่างๆ ให้แห้ง ใช้รักษาอุณหภูมิของปฏิกิริยาในการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการบางชนิดให้คงที่ ใช้อบฆ่าทำลายเชื้อโรค ใช้อบเพาะเชื้อจุลินทรีย์ ใช้เผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า (Ashing) เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม ใช้หาความชื้นในตัวอย่าง ใช้เผากากกัมมันตรังสี ฯลฯ

หลักการทำงานตู้อบลมร้อน ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนถูกถ่ายเทให้วัตถุ โดยกระบวนการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ความร้อนที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวให้ความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากของเหลวเป็นไอ หรือจากของแข็งเป็นไอ

**4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น (Hygrometer)** สมหวัง อริสวียงค์ (2553, น. 6 – 7) กล่าวว่า ความชื้น (Humidity) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะเปลี่ยน

สถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่า การระเหย ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอนี้ เรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent Heat) เมื่ออากาศเย็นลงไอน้ำจะเริ่มกลั่นตัวเป็นละอองและคายความร้อนแฝงออกมาด้วย อากาศจะได้รับไอน้ำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นตัวกำหนดปริมาณไอน้ำในอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ถ้าอากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้เรียกว่า ไอน้ำอิ่มตัว (Saturate)

ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) เป็นอุปกรณ์วัดความชื้นอากาศแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้กันมาก วัสดุอุปกรณ์ที่สำคัญคือ เส้นผม ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้นในอากาศ ถ้าความชื้นน้อยจะทำให้เส้นผมหดตัวสั้นลง ความชื้นมากเส้นผมจะพองตัวยาวขึ้น การยืดหดตัวของเส้นผมจะส่งผลไปยังคันกระดิ่งซึ่งเป็นกลไกที่ต่อกับแขนปากกา ทำให้ปากกาที่อยู่ปลายแขนชิดไปบนกระดาษกราฟบอกความชื้นสัมพัทธ์สม่ำเสมอขึ้น เครื่องไฮโกรมิเตอร์นี้อาจนำไปรวมกับเทอร์โมมิเตอร์ เรียกว่า เทอร์โมไฮโกรมิเตอร์

## 5. สถานที่ที่มีกากไขมันในการศึกษา

**5.1 โรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด (Grand Howard Hotel) ตั้งอยู่ริมถนนเจริญราษฎร์** แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ทั้งหมด 2 ไร่ 2 งาน (4,131.52 ตารางเมตร) เป็นโรงแรมขนาด 26 ชั้น และชั้นใต้ดิน 1 ชั้น ความสูง 115.50 เมตร มีห้องพักจำนวน 256 ห้อง แบ่งเป็น เอ็กsekutive 스위트 (Executive Suites) 3 ห้อง เอ็กsekper สวิท (Express Suites) 16 ห้อง คอนเนอร์ 스위트 (Corner Suites) 13 ห้อง ดีลักซ์ 스위트 (Deluxe Suites) 16 ห้อง ซุปิเรียร์ ไทพ (Superior Type) 208 ห้อง มีห้องประชุมสัมมนา 7 ห้อง รับคนได้ตั้งแต่ 20 คน จนถึง 150 คน และ ห้องแกรนด์ บอลรูม (Grand Ballroom) รับคนได้ 500 คน มีห้องครัวสำหรับจัดเตรียมอาหารสำหรับแขกที่มาพัก และที่มาใช้งาน ห้องประชุม 3 ห้องครัว พร้อมทั้งสระว่ายน้ำ และห้องฟิตเนส (Fitness) รวมถึงห้องอาหารบางกอก บีม คาเฟ่ (Bangkok's Beams Café) และ มอคค่า เล้าจน์ (Mocca Lounge)

**5.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System) ของโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด** ถูกออกแบบให้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม./วัน) น้ำเสียที่เกิดจากการใช้งานของโรงแรม คือ น้ำทิ้ง น้ำโสโครกจากห้องน้ำ ห้องส้วมและห้องครัว ไหลลงตามท่อและเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบชีววิทยาชนิดที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเรียกว่า ระบบเติมอากาศแบบมีตัวกลาง (Aerobic Fixed Bed หรือ Fixed Film Aeration) โดยอาศัยจุลินทรีย์ซึ่งเกาะอยู่ตัวกลางพลาสติกภายในบ่อเติมอากาศ ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิต หลังจากทำการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียแล้ว ก็จะได้น้ำทิ้งที่มี

คุณสมบัติที่ดี มีคุณภาพ ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง สามารถปล่อยระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

**5.3 ส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสีย (The components of the wastewater treatment plant)** ประกอบด้วย ทั้งหมด 7 ส่วน ดังนี้

**5.3.1 บ่อดักไขมัน (Grease Trap Tank)** มีความจุ 90 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.2 บ่อเกรอะ (Septic Tank)** มีความจุ 125 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.3 บ่อปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank)** มีความจุ 48 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.4 บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank)** มีความจุ 155 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.5 บ่อดกตะกอน (Sedimentation Tank)** มีความจุ 23 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.6 บ่อเก็บน้ำใส (Effluent Tank)** มีความจุ 6 ลูกบาศก์เมตร

**5.3.7 บ่อเก็บกักตะกอนส่วนเกิน (Sludge Holding Tank)** มีความจุ 7 ลูกบาศก์เมตร

**5.4 หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย (Principle of operation of the wastewater treatment plant)** น้ำเสียจากโรงแรม แยกเป็น 2 ประเภท คือ น้ำเสียจากห้องครัว (Kitchen Waste; KW) ที่มีไขมันปะปนอยู่ และน้ำจาก ห้องน้ำ (Waste Water ; W) ห้องส้วม (Soil Water ; S) ถูกรวบรวมมาจากจุดต่างๆ ภายในอาคาร ไหลเข้ามายังระบบบำบัดน้ำเสียตามส่วนต่างๆ ดังนี้

**5.4.1 บ่อดักไขมัน (Grease Trap Tank)** รับน้ำจากท่อน้ำเสียห้องครัว มาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในสถานะนิ่ง ทำให้ไขมันที่มีน้ำหนักเบาลอยขึ้นเหนือน้ำ เพื่อรอการตักออกและนำไปกำจัดต่อไป ส่วนที่เป็นน้ำจะไหลลงสู่บ่อเกรอะต่อไป

**5.4.2 บ่อเกรอะ (Septic Tank)** ทำหน้าที่แยกกักตะกอนในน้ำเสีย รวมทั้งสิ่งปฏิกูลขนาดใหญ่ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อตะกอนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากจะตกลงสู่ก้นถัง และส่วนตะกอนลอย (Scum) ที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำจะถูกกั้นไว้ด้วยท่อสามทางในแนวดิ่ง เพื่อบังคับให้น้ำใสส่วนกลาง สามารถไหลไปยังส่วนต่อไปได้

**5.4.3 บ่อปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization Tank)** เป็นบ่อที่รับน้ำเสียจากบ่อเกรอะ มีการเติมอากาศเพื่อควบคุมให้น้ำเสียเป็นเนื้อเดียวกัน และมีปั๊มสูบน้ำเสีย จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งควบคุมการทำงานโดยลูกลอย 4 ระดับให้ปั๊มสลับกันทำงาน และเสริมกัน ในขณะที่มีน้ำเสียมากๆ เพื่อค่อยๆ สูบส่งน้ำเสียไปยังส่วนต่อไป เพราะการใช้น้ำของโรงแรมจะมีมากเป็นช่วงๆ แต่ระบบต้องการให้ปริมาณน้ำเสียค่อยๆ ไหลสู่ส่วนเติมอากาศ จึงต้องมีส่วนนี้เพื่อรับรองน้ำในเวลาไหลมามาก โดยระดับลูกลอยจะพร่องน้ำในบ่อไว้ให้อยู่ในระดับต่ำๆ

**5.4.4 บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank)** น้ำจากบ่อปรับสภาพน้ำเสีย จะถูกสูบเข้ามา ยังบ่อเติมอากาศ ซึ่งภายในมีการติดตั้งตัวกลางพลาสติก และมีท่อลมที่ติดตั้งหัวจ่ายอากาศอยู่ด้านล่าง บ่อ เพื่อให้แก๊สระบบได้อย่างเพียงพอและทั่วถึง จุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นจะอาศัยอยู่ตามช่องว่างของตัวกลาง พลาสติกและยึดเกาะที่ผิวหน้าของตัวกลาง มีลักษณะเป็นเมือกชีวภาพ จุลินทรีย์เหล่านี้ทำหน้าที่ ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้ค่าความสกปรกโดยเฉพาะค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ; BOD) มีค่าลดลง สำหรับจุลินทรีย์ที่มีอายุตะกอนมากจะหลุดออกไปพร้อมกับน้ำที่เข้าสู่ ถึงตกตะกอน โดยถึงตกตะกอนจะทำหน้าที่แยกตะกอนเหล่านี้ต่อไป

สำหรับอากาศที่จ่ายเข้าสู่บ่อ มาจากเครื่องจ่ายลม (Air Blower) 2 เครื่อง จะสลับกัน ทำงาน โดยมีชุดควบคุมเวลา (Timer) เป็นตัวควบคุม

**5.4.5 บ่อตกตะกอน (Sedimentation Tank)** น้ำเสียที่มีตะกอน จากบ่อเติมอากาศ จะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนตามแนวท่อ ไปยังส่วนกลางบ่อตกตะกอน ซึ่งมีแผ่นกั้นกระเพื่อม (Feed Well) เพื่อบังคับให้น้ำไหลลงก้นบ่อและลดแรงกระเพื่อมของน้ำ ทำให้น้ำนิ่ง โดยบ่อตกตะกอนจะ ทำหน้าที่แยกน้ำใสและตกตะกอนจุลินทรีย์ น้ำที่ใสซึ่งผ่านการบำบัดแล้วจะไหลล้นสู่รางน้ำใสส่วนบน และระบายลงสู่บ่อน้ำใสต่อไป ส่วนตะกอนที่ตกลงสู่ก้นถังจะมีท่อดูดตะกอนย้อนกลับด้านล่าง (Air Lift Pump) ทำหน้าที่สูบตะกอนหมุนเวียนไปยังบ่อเติมอากาศได้ และตะกอนส่วนเกินก็จะถูกส่ง ไปเก็บยังบ่อเก็บตะกอน

**5.4.6 บ่อเก็บน้ำใส (Effluent Tank)** น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อตกตะกอน จะไหลเข้าสู่บ่อเก็บน้ำใส แล้วจะถูกสูบรวมระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป โดยควบคุมด้วยเครื่อง สูบน้ำ จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยลูกลอย 4 ระดับ ให้สลับกันทำงาน และเสริมกัน ในขณะที่มีน้ำมาก

**5.4.7 บ่อเก็บกักตะกอนส่วนเกิน (Sludge Holding Tank)** ตะกอนจากด้านล่างของ บ่อตกตะกอนจะถูกนำมายังบ่อเก็บกักตะกอนโดยท่อย้อนกลับด้านล่าง ซึ่งดูดตะกอนจากก้นบ่อ ตกตะกอน ส่วนหนึ่งให้ย้อนกลับไปทำงานที่บ่อเติมอากาศ (Return Sludge) และตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge) ก็จะถูกส่งมายังบ่อนี้ ทั้งนี้เมื่อพบว่าน้ำทิ้งมีลักษณะขุ่น ก็สามารถเปิดวาล์ว ในห้องนี้ เพื่อให้ตะกอนที่สะสมอยู่ไหลมายังส่วนเก็บกักและรอการนำไปกำจัด โดยรถสูบล้างปลิวต่อไป

## 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แกลบเป็นผลิตผลพลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งมีค่าความร้อนเฉลี่ยสูงถึง 3880 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม แต่เนื่องจากแกลบมีความหนาแน่นต่ำการใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงอยู่ในขอบเขตจำกัดเนื่องจากค่าขนส่งสูง ทางหนึ่งที่จะทำให้แกลบใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นไปได้ในทางการค้าคือ การนำแกลบมาอัดเป็นแท่งพิน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ศึกษาความคุ้มค่าของการอัดแกลบให้เป็นแท่ง โดยใช้เครื่องอัดที่ผลิตจากไต้หวันทำการทดลองผลิต ณ โรงสีข้าวประจักษ์ วิทยุผล จ.ฉะเชิงเทรา โดยมุ่งหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตได้แก่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของแกลบ อุณหภูมิของการอัดแกลบ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความหนาแน่น ระยะเวลาของการอัดแท่ง และพลังงานไฟฟ้า (วิศวกรรมสาร 2525)

ทองทิพย์ พูลเกษม (2542) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนพินและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด การทดลองได้นำเปลือกทุเรียน 2 พันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี ที่มีความชื้นร้อยละ 75-80 สับเป็นชิ้นเล็กๆ ตากแดดให้เหลือความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 45 จากนั้นนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น 2 วิธี คือ อัดโดยใช้ตัวประสาน (น้ำ หมักชีวภาพและโมลาส) และอัดโดยไม่ใช้ตัวประสาน ผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบอัดโดยไม่ใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานให้ค่าความร้อน ประมาณ 3,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น คือ 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง

ส่วนคันคว้าและพัฒนาพลังงาน (2544) ได้ทำการศึกษาการนำถ่านแกลบอัดแท่งมาปรับปรุงคุณภาพและการผลิต โดยการนำเศษถ่านแกลบอัดแท่งของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านแกลบที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปใหม่ให้เป็นแท่งได้ พบว่าถ่านแกลบนี้ได้ผ่านการอบไล่ความชื้น และสารระเหยต่างๆ ไปหมดแล้วองค์ประกอบที่เหลือส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนและเถ้า ดังนั้นในการนำถ่านแกลบอัดแท่งมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีกจะต้องใช้ตัวประสานต่างๆ เช่น กากน้ำตาล เนื้อมันสำปะหลัง ผักตบชวา และน้ำ เพื่อช่วยในการยึดเกาะให้คงรูปเป็นแท่งได้



นิสากร ดอนกระสินธุ์ (2544) การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไขมัน น้ำมัน ผสมขี้เลื่อย จากการทดลองนำ Scam (น้ำมันไขมัน) จากบ่อดักไขมันในร้านอาหารผสมกับขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร และมีการทดสอบองค์ประกอบเชื้อเพลิงโดยใช้ มาตรฐาน ASTM ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถัน และค่าความร้อน รวมทั้งได้ศึกษาการปล่อยมลพิษ CO<sub>2</sub>, NO และ SO<sub>2</sub> พบว่า Scam ผสมขี้เลื่อยสามารถอัดแท่งได้ แต่เมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นไม่สามารถอัดแท่งได้ เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 7065, 6915, 6466 และ 6117 kcal/kg มีสารระเหย 20.92, 21.84, 29.29 และ 31.51 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาความเข้มข้น ของ CO<sub>2</sub>, NO และ SO<sub>2</sub> พบว่าอยู่ที่ 302, 203, 275, 217 ppm และ 11, 0.4, 7, 7 ppm และ 8, 2, 3, 4 ตามลำดับและอัตราส่วนที่ 1:3 ให้ค่าความร้อนสูงสุดซึ่ง ใกล้เคียงกับขี้เลื่อย และถ่านไม้

ประริญา ราไพ (2546) การศึกษาศึกษาสภาพตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม ประเภทสาร อนินทรีย์สาร เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง นำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยามาใช้ ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษามาจาก โรงงานผลิตเชื้อกระดาษและ โรงงาน ฟอกย้อม โดยทำการศึกษาร่วมกันของกากตะกอนและเปลือกมะพร้าวอ่อนในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปอัดแท่ง ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนโดยใช้ การหมัก 2 แบบ คือไม่มีอากาศและมีอากาศและการเผาแท่งเชื้อเพลิงให้เป็นถ่าน หลังจากนั้นนำแท่ง เชื้อเพลิงที่ได้ไปทดสอบ จากการอัดแท่งพบว่าอัตราส่วนที่สามารถอัดได้ และเหมาะสมที่จะนำไป ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 1:1, 1:2 และ 1:3 ผลการหมักของตะกอน โรงงานผลิตเชื้อกระดาษพบว่า การหมักทั้ง 2 แบบทำให้กลิ่นลดลงและผลการใช้งานความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่หมักแบบไม่มี อากาศดีกว่าหมักแบบมีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 3,398 แคลอรี/กรัม ผลการทดลองหมักกากตะกอน โรงงานฟอกย้อม พบว่าการหมักแบบมีอากาศให้การใช้งานความร้อน ดีกว่าการหมักแบบไม่มีอากาศโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1:3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 2,851 แคลอรี/กรัม

สำรวม โกลศานันท์ (2553) การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมันและ กากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร นำกากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มาผสมกับวัสดุ เหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย เหม้ามันสำปะหลัง และซังข้าวโพด โดยนำมาผสมแบบ แปรผันกับปริมาณกากไขมัน ตั้งแต่ 25% ถึง 75% พบว่ากากไขมันที่ใช้ในการผสมกับวัสดุทางการ เกษตรที่มีปริมาณของกากไขมัน เกิน 50% จะมีลักษณะแข็งกึ่งเหลวไม่รวมตัวกันเป็นก้อน แต่จะให้ ค่าความร้อนสูงสุด และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เหมาะสมที่สุดคือ ซังข้าวโพด

สุธีรา สุนทรารักษ์ (2556) การใช้ประโยชน์กากไขมันของระบบบ่อดักไขมันอย่างง่าย จากร้านอาหารร่วมกับเศษกระดาษ และเศษใบไม้เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นการทดสอบเพื่อหา ความเหมาะสมในการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการนำขยะมูลฝอยชุมชน

3 ประเภท ได้แก่ กากไขมันจากระบบบ่อดักไขมันอย่างง่ายจากร้านอาหาร เศษกระดาษรวมจากสำนักงาน และเศษใบไม้แห้งรวม มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน เพื่อหาคุณสมบัติทางพลังงานที่ดีที่สุด และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าความหนาแน่น และดัชนีการแตกร่วน) และคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง (ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน) พบว่ามีเพียงเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่าง กากไขมันฯ : เศษกระดาษ : เศษใบไม้ เท่ากับ 3 : 3 : 0, 3 : 0 : 3, 3 : 2 : 1, 3 : 1 : 2 และ 3 : 1.5 : 1.5 เท่านั้น ที่สามารถขึ้นรูปและคงรูปอยู่ได้สวยงามเหมาะแก่การใช้งาน จึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจะวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่าง กากไขมันฯ : เศษกระดาษ : เศษใบไม้ เท่ากับ 3 : 1.5 : 1.5 มีศักยภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงที่สุด



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) โดยนำกากไขมันผสมกับแกลบ และซีลี้อยตามสูตรที่กำหนดแต่ละสูตร มาผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปอัดแท่งเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ในแต่ละสูตร

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 กากไขมันของโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด หมายถึง ไขมันที่ได้จากการล้างส่วนประกอบของอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ ผักต่างๆ และไขมันจากน้ำมันพืชเป็นต้น ที่ได้จากการประกอบอาหารต่างๆ ที่เหลือทิ้ง ผ่านระบบท่อน้ำทิ้งจากห้องครัว ตามจุดต่างๆ ของโรงแรม มารวมกันที่บ่อดักไขมันที่มีความจุ 90 ลิว

1.2 กากไขมันของโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ดที่เก็บแบบทีละเท เป็นการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการเลือกใช้กากไขมันที่บ่อดักไขมัน เนื่องจากเป็นจุดรวมของกากไขมันจากทุกจุดการใช้งานของโรงแรม โดยการตัดที่ผิวบนของกากไขมันเพื่อให้ได้ปริมาณกากไขมันที่มีน้ำปะปนน้อยที่สุดก่อนนำไปตากเพื่อลดปริมาณน้ำในกากไขมันในขั้นตอนต่อไป

#### 2. เครื่องมือการวิจัย

##### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

2.1.1 เครื่องจักรผลิตถ่านอัดแท่ง TS-01 (มอเตอร์ขับ 3 เฟส กำลัง 10 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์ 50 Hz อัตราการผลิต 820 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขนาดกระบอกอัดยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกอัด 4.5 เซนติเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางรูกระบอกอัด 1 เซนติเมตร) ผลิตโดย บริษัท ไทยซูมิ จำกัด 21/3 หมู่ 3 ตำบล คลองจิก อำเภอ บางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160



2.1.2 อ่างพลาสติกสำหรับรองเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.1.3 กระเบื้องลอนใหญ่สำหรับตากเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.1.4 ถังพลาสติก 3 ถัง สำหรับผสมเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.1.5 จอบ สำหรับตักไขมัน

2.1.6 อ่างมือยาง สำหรับผสมส่วนผสมในแต่ละสูตร

2.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาด 35 กิโลกรัม สำหรับชั่งวัตถุดิบ

2.1.8 เครื่องปั่นพริก ยี่ห้อ MARA สำหรับลดขนาดเกลบ

## 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการงาน

2.3.1 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (*Automatic Bomb Calorimeter*) ยี่ห้อ IKA รุ่น C5000 จำหน่ายโดย บริษัท ยู.พี. มาร์เก็ตติ้ง เซนเนอรัล ซัพพลาย จำกัด 138/11 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 22 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

2.3.2 ตู้อบลมร้อน (*Hot Air Oven*) ยี่ห้อ Lab Tech รุ่น LVO-2030 จำหน่ายโดย บริษัท เวลด์ไวด์เทรดไทย จำกัด 30/10 หมู่ที่ 19 ถนนบางระมาด แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170

2.3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น (*Hygrometer*) ยี่ห้อ Rixen รุ่น TH-3800B-KIT จำหน่ายโดย บริษัท เลกะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด 1/28 อาคารบางนาธานี ชั้น 14 เอ ซอยบางนา-ตราด 34 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

## 3. ขั้นตอนการทดลอง

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 *กากไขมัน* จากบ่อตักไขมัน โรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด นำขึ้นมาตากแดดในวันที่แดดจัดอย่างน้อย 7 วัน เพื่อลดความชื้นจนกากไขมันแห้ง (ซึ่งทำให้น้ำหนักของกากไขมันลดลงมากกว่า 50% ของน้ำหนักกากไขมันที่ตักขึ้นมา) (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 การเตรียมกากไขมัน

2.1.2 แกลบ ที่ไม่ผ่านการเผา (แกลบขาว) ที่ได้จากเปลือกข้าวเจ้าพันธุ์ กข29 (ชัณษาท 80) นำมาตากเพื่อลดความชื้น ในพื้นที่ปิดเพื่อป้องกันลมพัดกระจาย (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 การเตรียมแกลบ

2.1.3 **ขี้เลื่อย** จากไม้ยางพารา นำมาตากในพื้นที่ปิดเพื่อป้องกันลมพัดกระจาย และลดความชื้น โดยการพลิกกองจนแห้งสนิท (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 การเตรียมขี้เลื่อย

## 2.2 ผสมวัตถุดิบในแต่ละสูตร

**สูตรที่ 1** ผสมในอัตราส่วน ไขมัน 50% แกลบ 30% ขี้เลื่อย 20% โดยนำกากไขมันที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 5 กิโลกรัม จากนั้น นำแกลบที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 3 กิโลกรัม และนำขี้เลื่อย มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.4) จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาผสมให้เข้ากัน (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.4 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 1





ภาพที่ 3.5 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 1

**สูตรที่ 2** ผสมในอัตราส่วน ไขมัน 50% แกลบ 20% จี้เลื่อย 30% โดยนำกากไขมันที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 5 กิโลกรัม จากนั้นนำแกลบที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 กิโลกรัม และนำจี้เลื่อย มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 3 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.6) จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาผสมให้เข้ากัน (ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.6 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 2



ภาพที่ 3.7 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 2

**สูตรที่ 3** ผสมในอัตราส่วน ไขมัน 50% แกลบ 25% ขี้เลื่อย 25% โดยนำกากไขมันที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 5 กิโลกรัม จากนั้น นำแกลบที่เตรียมไว้ มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2.5 กิโลกรัม และนำขี้เลื่อย มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2.5 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.8) จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาผสมให้เข้ากัน (ภาพที่ 3.9)



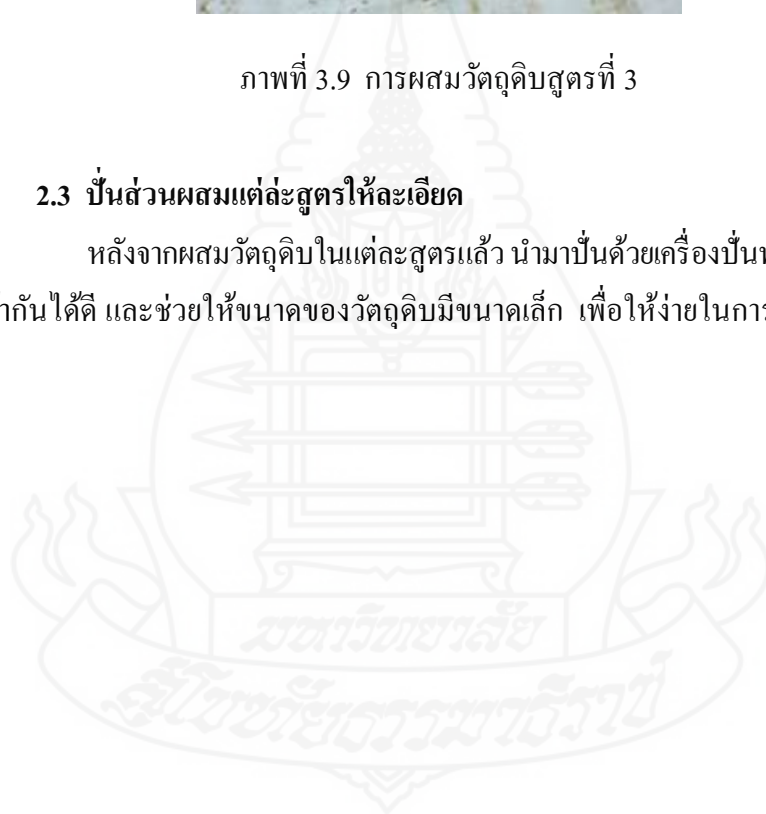
ภาพที่ 3.8 เตรียมวัตถุดิบในการผสมสูตรที่ 3



ภาพที่ 3.9 การผสมวัตถุดิบสูตรที่ 3

### 2.3 ปั่นส่วนผสมแต่ละสูตรให้ละเอียด

หลังจากผสมวัตถุดิบในแต่ละสูตรแล้ว นำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นพริก เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันได้ดี และช่วยให้ขนาดของวัตถุดิบมีขนาดเล็ก เพื่อให้ง่ายในการอัดเป็นแท่ง (ภาพที่ 3.10)





ภาพที่ 3.10 ปั่นส่วนผสมให้ละเอียด

#### 2.4 อัดแท่งเชื้อเพลิง

ที่โครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ-สระบุรี กม.7 ถนนแก่งคอย-บ้านนา ตำบลชำผักแพว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18110 เป็นสถานที่อัดแท่งเชื้อเพลิง โดยนำวัตถุดิบแต่ละสูตรที่ทำการปั่นจนละเอียดแล้ว มาเข้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง (อัดเย็น) โดยแท่งเชื้อเพลิงจะมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางรู 1 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.11)





ภาพที่ 3.11 การอัดแท่งเชื้อเพลิง

## 2.5 ตากเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งตัว

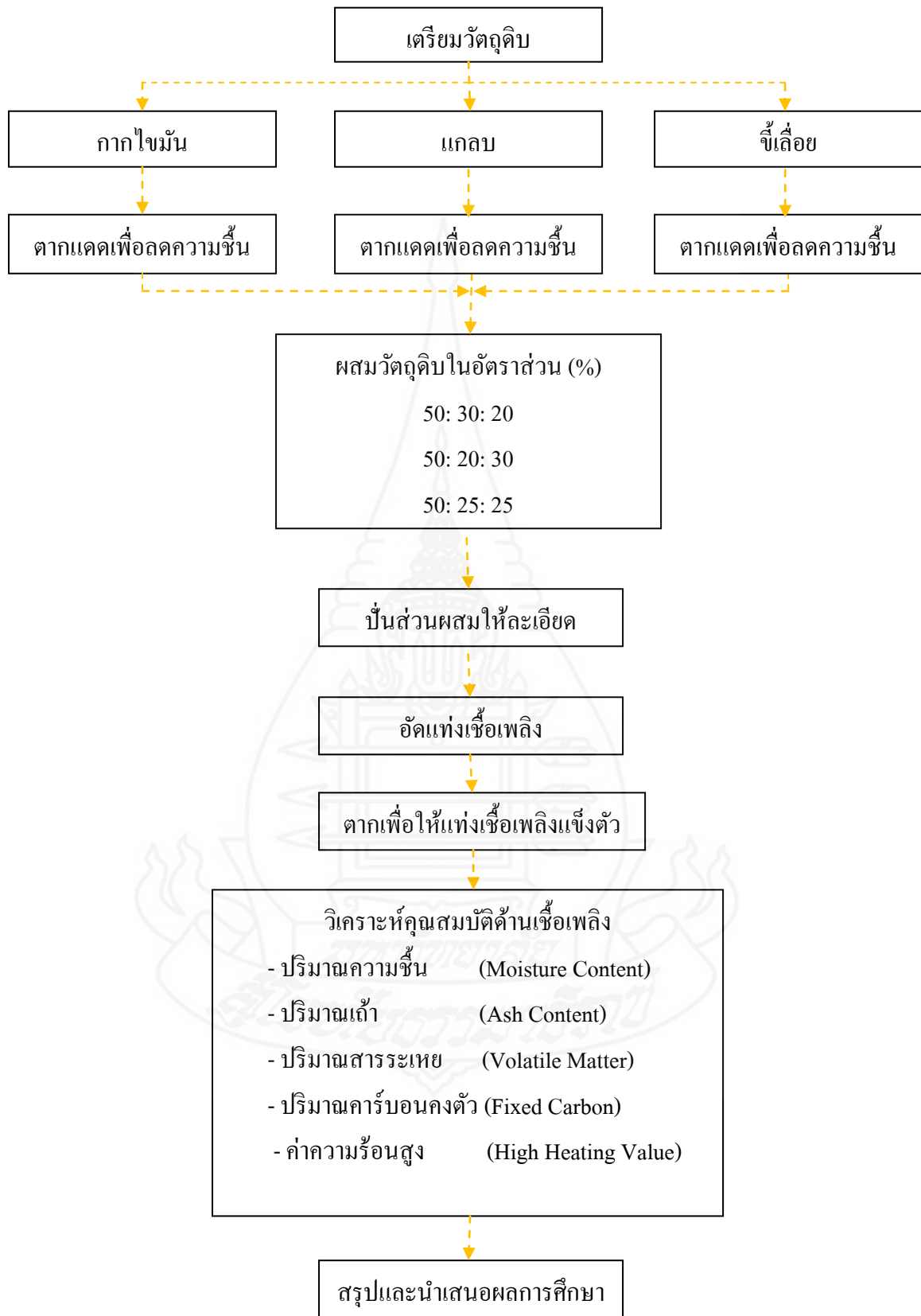
เนื่องจากปลายกระบอกลูกเครื่องอัดแท่งมีความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีของวัตถุดิบกับกระบอกลูกอัด และวัตถุดิบที่นำมาอัดนั้นมีส่วนประกอบของกากไขมัน ถึง 50% เมื่อกากไขมันถูกความร้อนของกระบอกลูกอัดแท่ง จึงละลายทำให้แท่งเชื้อเพลิงอ่อนตัว จึงต้องนำมาตากเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดการแข็งตัว (ภาพที่ 3.12)



ภาพที่ 3.12 คากเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งตัว

## 2.6 ตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 เป็นสถานที่นำแท่งเชื้อเพลิงมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง (ตารางที่ 3.1) ที่ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณเถ้า (Ash Content) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 โดยการทดลองหาค่าทั้ง 4 พารามิเตอร์ 3 ซ้ำ และค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ที่เกิดขึ้นอีก 2 ซ้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 วิธีการศึกษาอาจสรุปได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วิธีการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ 3.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง ในการ ทดสอบ	ทดสอบ ครั้งที่	ASTM D 7582			ASTM D 5865	
		ความชื้น	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว	เถ้า	ค่าความร้อนสูง
		Moisture (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Ash (%)	High Heating Value (kcal/kg)
สูตรที่ 1	1	4.93	79.31	9.91	5.85	6,139.27
สูตรที่ 1	2	4.88	79.60	9.70	5.82	6,124.61
สูตรที่ 1	3	5.02	79.15	9.93	5.90	-
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>4.94</b>	<b>79.35</b>	<b>9.85</b>	<b>5.86</b>	<b>6,131.94</b>
สูตรที่ 2	1	6.76	78.83	10.25	4.16	5,951.14
สูตรที่ 2	2	6.88	78.57	9.86	4.69	5,925.04
สูตรที่ 2	3	6.75	78.43	9.94	4.88	-
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>6.80</b>	<b>78.61</b>	<b>10.02</b>	<b>4.58</b>	<b>5,938.09</b>
สูตรที่ 3	1	6.25	78.60	9.74	5.41	6,095.15
สูตรที่ 3	2	6.27	78.78	9.43	5.52	6,071.52
สูตรที่ 3	3	6.26	78.45	9.80	5.49	-
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>6.26</b>	<b>78.61</b>	<b>9.66</b>	<b>5.47</b>	<b>6,083.34</b>

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำกากไขมัน แกลบ จี้เลื่อย มาผสมในอัตราส่วน ในแต่ละสูตร โดยให้กากไขมัน มีอัตราในการผสมคงที่ และให้แกลบ จี้เลื่อย มีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่ผสม โดยมีการวิเคราะห์ ข้อมูลด้วย สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในการ คำนวณค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Average) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัย ประเภท การวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) ดังนั้น การวิเคราะห์ข้อมูล จึงจำเป็นต้องแยกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การผสมวัตถุดิบแต่ละสูตร การอัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละสูตร การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

#### ตอนที่ 1 การผสมวัตถุดิบแต่ละสูตร

จากการผสม กันระหว่าง ไบโอมัน แกลบ และขี้เลื่อย ทั้ง 3 สูตรนั้น ให้ไบโอมันมีอัตราคงที่ ในส่วนผสม ที่ 50% ในทุกสูตรแล้วนำมาปั่นให้ละเอียด จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 2 ในอัตราส่วน ไบโอมัน 50% แกลบ 20% และขี้เลื่อย 30% นั้นมีความละเอียดของวัสดุมากที่สุด (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 2

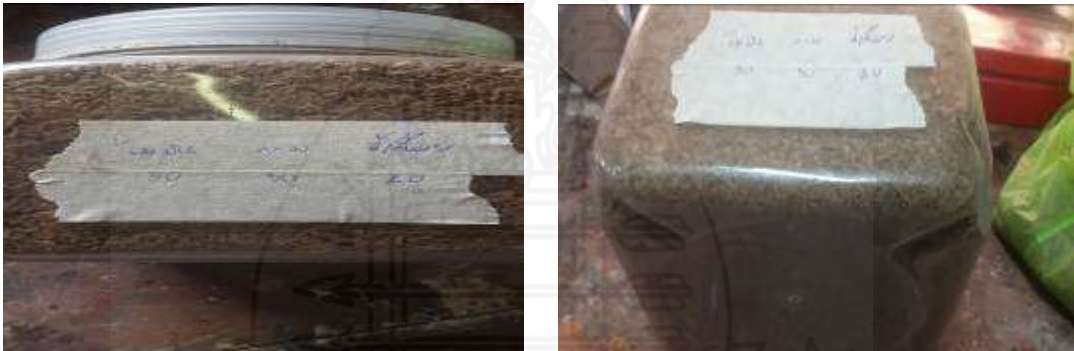
ส่วนสูตรที่ 3 ในอัตราส่วน ไบโอมัน 50% แกลบ 25% และขี้เลื่อย 25% นั้นเมื่อนำมาปั่นให้ละเอียด พบว่ามีความหยาบที่มากกว่า อัตราส่วนผสมสูตรที่ 2 หรือมีความละเอียดเป็นลำดับที่ 2 (ภาพที่ 4.2)





ภาพที่ 4.2 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 3

และสูตรที่ 1 ในอัตราส่วนไขมัน 50% แกลบ 30% และขี้เลื่อย 20% เมื่อบั่นให้ละเอียด (ภาพที่ 4.3) แล้วจะมีความละเอียดน้อยกว่า อัตราส่วนผสมสูตรที่ 2 และ อัตราส่วนผสมสูตรที่ 3



ภาพที่ 4.3 ความละเอียดของวัตถุดิบสูตรที่ 1

## ตอนที่ 2 การอัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละสูตรจะได้ความหนาแน่น ใกล้เคียงกันที่  $(1.2 \text{ mg/cm}^3$  อัตราส่วนผสมสูตรที่ 1)  $(1.285 \text{ mg/cm}^3$  อัตราส่วนผสมสูตรที่ 2)  $(1.262 \text{ mg/cm}^3$  อัตราส่วนผสมสูตรที่ 3) (ตารางที่ 4.1) แต่สิ่งที่ทำให้การอัดแท่งเชื้อเพลิงมีความต่างของความหนาแน่น คือความร้อนที่กระบอกรีดอัดแท่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยที่ถ้ากระบอกรีดอัดแท่งเชื้อเพลิงเย็น จะไม่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงออกมาได้ หรือถ้ามีอุณหภูมิที่กระบอกรีดอัดแท่งเชื้อเพลิงสูงเกินไปจะเป็นผลให้ส่วนประกอบที่เป็นไขมัน ละลายเป็นน้ำมัน ไม่สามารถอัดออกมาเป็นแท่งได้ (ภาพที่ 4.5)



ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ลองทดสอบในความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับวัตถุบดที่ทำกรอัดแท่งกับเครื่องอัดแท่งแบบอัดร้อน ผลที่ได้คือ ไม่สามารถอัดได้เนื่องจากวัตถุดิบนั้นละลายและเกิดควันมาก (ภาพที่ 4.6)

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นแท่งเชื้อเพลิง

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่น ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )
สูตรที่ 1	1.2
สูตรที่ 2	1.285
สูตรที่ 3	1.262



ภาพที่ 4.4 การอัดแท่งเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิกระบอกอัดแท่งปกติ



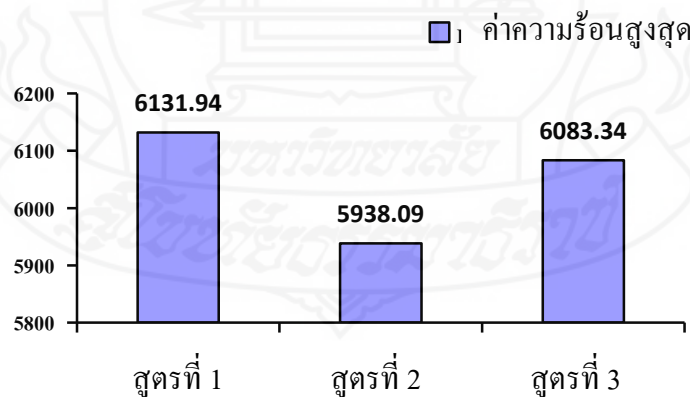
ภาพที่ 4.5 การอัดแท่งเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิกระบอกอัดแท่งสูงกว่าปกติ



ภาพที่ 4.6 การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดแท่ง (อัดร้อน)

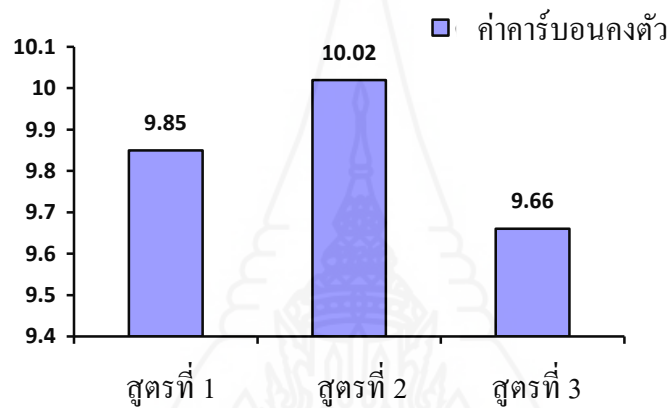
### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงแต่ละสูตร

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ในแต่ละสูตรพบว่าค่าความร้อนสูงในอัตราส่วนผสมสูตรที่ 1 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 30% และขี้เลื่อย 20% ให้ค่าความร้อนสูงสุด (6,131.94 kcal/kg) ตามมาด้วยสูตรที่ 3 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 25% ขี้เลื่อย 25% (6,083.09 kcal/kg) และสูตรที่ 2 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 20% และขี้เลื่อย 30% (5,938.09 kcal/kg) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ค่าความร้อนสูงสุดของแต่ละสูตร

ส่วนระยะเวลาในการเผาที่นานที่สุดสัมพันธ์กับ ค่าคาร์บอนคงตัว คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2555) พบว่าในอัตราส่วนผสมสูตรที่ 2 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 20% และขี้เลื่อย 30% ให้ค่าคาร์บอนคงตัว สูงที่สุด (10.02%) ตามด้วยส่วนผสมที่ 1 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 30% และขี้เลื่อย 20% (9.85%) และสูตรที่ 3 ประกอบด้วย ไขมัน 50% แกลบ 25% ขี้เลื่อย 25% ให้ค่าคาร์บอนคงตัวต่ำที่สุด (9.85%)(ภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.8 ค่าคาร์บอนคงตัวของแต่ละสูตร

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอย่าง ในการทดสอบ (%)	ความชื้น (Moisture) (%)	ASTM D 7582			ASTM D 5865
		สารระเหย (Volatile Matter) (%)	คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) (%)	เถ้า (Ash) (%)	ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) (kcal/kg)
สูตรที่ 1	4.94 $\pm$ 0.070	79.35 $\pm$ 0.157	9.85 $\pm$ 0.127	5.86 $\pm$ 0.040	6,131.94 $\pm$ 10.366
สูตรที่ 2	6.80 $\pm$ 0.072	78.61 $\pm$ 0.202	10.02 $\pm$ 0.205	4.58 $\pm$ 0.373	5,938.09 $\pm$ 18.455
สูตรที่ 3	6.26 $\pm$ 0.010	78.61 $\pm$ 0.165	9.66 $\pm$ 0.198	5.47 $\pm$ 0.056	6,083.34 $\pm$ 16.708

เมื่อนำผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) (ตารางที่ 4.2) พบว่าในตั้งแต่ขึ้น การเตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบ และการปั้นวัตถุดิบนั้น วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดเกิดการผสมกันดีมาก ทำให้แห้งเชื้อเพลิงที่ทำการอัดแท่ง มีอัตราส่วนผสมที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความร้อนสูงของผลการทดลองทั้ง 3 สูตร

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
ระหว่างกลุ่ม	40,690.919	2	20,345.460	83.927*	.002
ภายในกลุ่ม	727.251	3	242.417		
<b>รวม</b>	<b>41,418.170</b>	<b>5</b>			

\*P < 0.05

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การทดสอบความแตกต่างด้วยสถิติทดสอบ F มีค่าเท่ากับ 83.927 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าผลการทดลองอัตราผสมในแต่ละสูตรที่แตกต่างกัน จะพบค่าเฉลี่ยค่าความร้อนสูงอย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการทดสอบรายคู่ด้วยวิธีการของ Scheffe' ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ผลการทดลอง 3 สูตรเป็นรายคู่

ผลการทดลอง	n	ค่าเฉลี่ย (kcal/kg)	SD	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
สูตรที่ 1	2	6,131.94	10.37	-		
สูตรที่ 2	2	5,938.09	18.46	193.85*	-	
สูตรที่ 3	2	6,083.34	16.70	48.60	-145.24*	-

\*P < 0.05

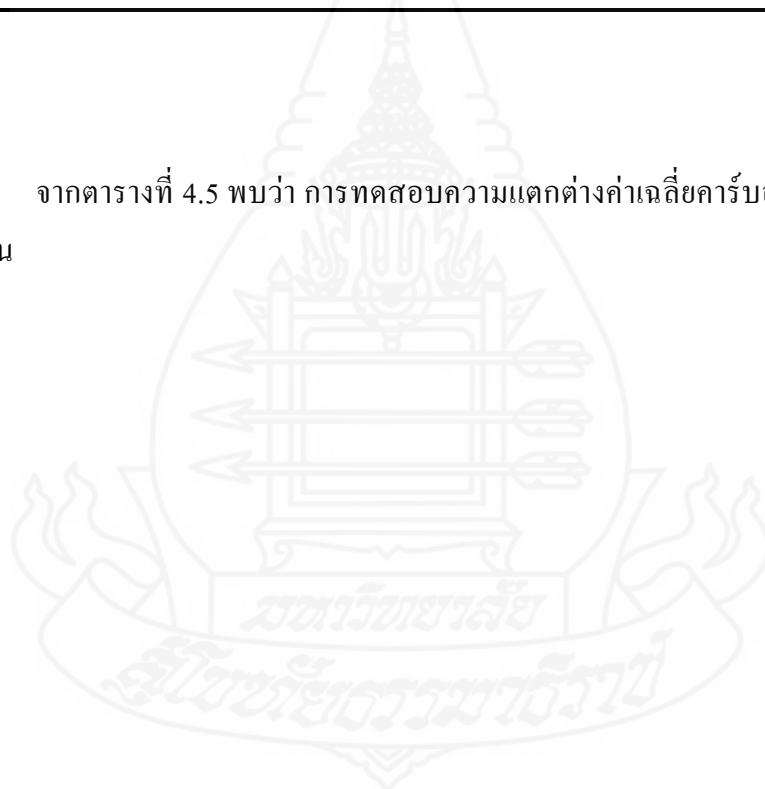
จากตารางที่ 4.4 เมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยรายคู่ตามวิธีการของ Scheffe' พบว่าค่าเฉลี่ยความร้อนสูงของสูตรที่ 1 มากกว่า สูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีค่าเฉลี่ยความร้อนสูง น้อยกว่า สูตรที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 และสูตรที่ 1 กับสูตรที่ 3 พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคาร์บอนคงตัวของผลการทดลองทั้ง 3 สูตร

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
ระหว่างกลุ่ม	.195	2	.097	2.976	.127
ภายในกลุ่ม	.196	6	.033		
<b>รวม</b>	<b>.391</b>	<b>8</b>			

\*P < 0.05

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยคาร์บอนคงตัว ไม่มีความแตกต่างกัน



## บทที่ 5

### สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลองโดยนำกากไขมันจากน้ำทิ้งห้องครัวที่ได้จากการล้างวัตถุดิบส่วนประกอบของการทำอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ ผักต่างๆ และไขมันจากน้ำมันพืช เป็นต้น และที่ได้จากการประกอบอาหารต่างๆ มาผสมกับ แกลบ และขี้เถ้า ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเกิดการใช้ประโยชน์ของกากไขมัน ทางด้านพลังงานแทนการกำจัดที่ไร้ประโยชน์และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไขมัน อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

#### 1. สรุปการวิจัย

##### 1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการผสมกากไขมัน แกลบ และขี้เถ้า ด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน

1.1.2 เพื่อศึกษาคูณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากไขมัน

##### 1.2 สมมติฐานการวิจัย

การนำคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของกากไขมัน กับคุณสมบัติในการลุกไหม้ของขี้เถ้า นำมาผสมรวมกันกับ กากไขมัน จะสามารถเพิ่มค่าความร้อน และช่วงเวลาในการลุกไหม้ ได้นานเพียงพอ เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

##### 1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) โดยนำกากไขมันผสมกับแกลบและขี้เถ้าตามสูตรที่กำหนดแต่ละสูตร มาผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปอัดแท่งเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ในแต่ละสูตร

##### 1.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ในการวิจัย

1) เครื่องจักรผลิตถ่านอัดแท่ง TS-01 (มอเตอร์ขับ 3 เฟส กำลัง 10 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์ 50 Hz อัตราการผลิต 820 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขนาดกระบอกอัดยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกอัด



4.5 เซนติเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางรูกระบอกอัด 1 เซนติเมตร) ผลิตโดย บริษัท ไทยซูมิ จำกัด 21/3 หมู่ 3 ตำบล คลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160

- 2) ถุงพลาสติกสำหรับรองเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 3) กระเบื้องลอนใหญ่ สำหรับตากเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 4) ถังพลาสติก 3 ถัง สำหรับผสมเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 5) จอบ สำหรับตักไขมัน
- 6) ถุงมือยาง สำหรับผสมส่วนผสมในแต่ละสูตร
- 7) เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาด 35 กิโลกรัม สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- 8) เครื่องปั่นพริก ยี่ห้อ MARA สำหรับลดขนาดเกลบ

### 1.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ

1) เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Automatic Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C5000 จำหน่ายโดย บริษัท ยู.พี. มาร์เก็ตติ้ง เชนเนอรัล ซัพพลาย จำกัด 138/11 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 22 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

2) ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Lab Tech รุ่น LVO-2030 จำหน่ายโดยบริษัท เวลด์ไวต์เทรดไทย จำกัด 30/10 หมู่ที่ 19 ถนนบางระมาด แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170

3) เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น (Hygrometer) ยี่ห้อ Rixen รุ่น TH-3800B-KIT จำหน่ายโดย บริษัท เลกะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด 1/28 อาคารบางนาธานี ชั้น 14 เอ ซอยบางนา-ตราด 34 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

### 1.4 ผลการวิจัย

ในการศึกษา การนำกากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียมาผสม เกลบ และขี้เลื่อย ในอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสูตร โดยคงให้กากไขมันอยู่ที่ 50% นั้นทุกสูตรในการผสมสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ทั้งหมดและได้ผลทดลองดังนี้

**สูตรที่ 1** เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว มาทำการหาค่าเฉลี่ยได้ผลลัพธ์คือ ความชื้น 4.94% สารระเหย 79.35% คาร์บอนคงตัว 9.85% เถ้า 5.86% และค่าความร้อนสูง 6,131.94 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

**สูตรที่ 2** เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว มาทำการหาค่าเฉลี่ยได้ผลลัพธ์คือ ความชื้น 6.80% สารระเหย 78.61% คาร์บอนคงตัว 10.02% เถ้า 4.58% และค่าความร้อนสูง 5,938.09 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

**สูตรที่ 3** เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว มาทำการหาค่าเฉลี่ยได้ผลลัพธ์คือ ความชื้น 6.26% สารระเหย 78.61% คาร์บอนคงตัว 9.66% เถ้า 5.47% และค่าความร้อนสูง 6,083.34 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

## 2. อภิปรายผล

จากการวิจัยทั้งหมดลงในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยนำกากไขมันมาผสมกับแกลบ และ จี๊เลื้อย ที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกันมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการผสมกากไขมัน แกลบ และจี๊เลื้อย ด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของกากไขมัน นั้นได้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณของกากไขมันในอัตราคงที่ และส่วนผสมทั้ง แกลบ และจี๊เลื้อย มีการเปลี่ยนแปลงในอัตราผสมน้อยเพียง 5%- 10%

ในทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีความหนาแน่นในแต่ละสูตรใกล้เคียงกัน ผิวของแท่งเชื้อเพลิงมีความเรียบ ซึ่งเป็นเพราะมีส่วนผสมของกากไขมัน ถึง 50% และวัสดุที่นำมาผสม มีความละเอียดค่อนข้างมาก แตกต่างกับกับการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงครั้งแรกที่ไม่ได้ทำการบั่นแกลบให้ละเอียดทำให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวหลังจากที่อัดเป็นแท่งแล้วซึ่งเป็นผลมาจากการที่แกลบมีความยืดหยุ่นในตัว

คุณสมบัติของการเป็นเถ้าของแกลบ กับคุณสมบัติในการลุกไหม้ของจี๊เลื้อย เมื่อนำมาผสมรวมกันกับ กากไขมัน สามารถเพิ่มค่าความร้อนให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทั้ง 3 สูตรนั้นมีค่าความร้อนสูง ที่มากกว่าการนำวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้อัตราส่วนเดียว 100% ซึ่งกากไขมันมีค่าปริมาณความร้อน อยู่ที่ 2,390 – 4,060 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม แกลบ มีค่าสารระเหย 62.7% คาร์บอนคงตัว 17.4% เถ้า 20% และค่าความร้อนสูง 3,600 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และจี๊เลื้อย มีค่า สารระเหย 75.4% คาร์บอนคงตัว 22.4% เถ้า 2% และค่าความร้อนสูง 4,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม โดยสูตรที่ 1 มีค่า ความชื้น 4.94% สารระเหย 79.35% คาร์บอนคงตัว 9.85% เถ้า 5.86% และค่าความร้อนสูง 6,131.94 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม สูตรที่ 2 มีค่า ความชื้น 6.80% สารระเหย 78.61% คาร์บอนคงตัว 10.02% เถ้า 4.58% และค่าความร้อนสูง 5,938.09 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และสูตรที่ 3 มีค่าความชื้น 6.26% สารระเหย 78.61% คาร์บอนคงตัว 9.66% เถ้า 5.47% และค่าความร้อนสูง 6,083.34 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ส่วนอัตราผสม สูตรที่ 1 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ มีค่า ความชื้น 4.94% สารระเหย 79.35% คาร์บอนคงตัว 9.85% เถ้า 5.86% และค่าความร้อนสูง 6131.94 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งค่าความร้อน

สูงที่ได้นั้นตรงกับสมมติฐานการวิจัย ที่นำกลีบ ขี้เลื่อย นำมาผสมรวมกันกับ กากไขมันจะสามารถเพิ่มค่าความร้อนสูงได้ และเมื่อนำค่าความร้อนสูงมาวิเคราะห์ในส่วนผสมและพารามิเตอร์ พบว่าค่าความร้อนสูงที่ได้ของสูตรที่ 1 มีปริมาณกลีบ ที่สูงที่สุดในสูตร มีถั่ว สารระเหย ในปริมาณที่มากที่สุด และปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ซึ่งในส่วนของสูตรที่ 3 มีปริมาณกลีบ ที่ระดับกลางของทั้ง 3 สูตร มีถั่ว สารระเหย ในระดับกลางเมื่อเทียบกับ 3 สูตร และปริมาณความชื้นอยู่ในระดับกลางเช่นกัน และสูตรที่ 2 ปริมาณกลีบ ที่น้อยที่สุดในสูตร มีถั่ว สารระเหย ในปริมาณที่น้อยที่สุด และปริมาณความชื้นมากที่สุด ซึ่งในส่วนของคาร์บอนคงตัวจะได้ค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 สูตร เพราะแตกต่างกัน เพียง 0.1 -0.3 % เท่านั้น

เมื่อนำค่าความร้อนที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ นิสากร ดอนกระสินธ์ (2544) การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไขมัน น้ำมันผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วนที่ 1:3 ให้ค่าความร้อนสูงสุดและสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ คือ 6,466 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งได้ค่าความร้อนใกล้เคียงกัน แต่ต้องใช้ขี้เลื่อยมากกว่าไขมันถึง 2 เท่า

และเมื่อเทียบกับ ตำรวม โกศลานันท์ (2553) การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร นำกากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มาผสมกับกลีบ และขี้เลื่อย พบว่าค่าความร้อนที่ปริมาณกากไขมันที่ 50% กับกลีบ 50% ได้ค่าความร้อน 14.821 กิโลจูล/กรัม (3,539.93 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) ส่วนปริมาณกากไขมันที่ 50% กับขี้เลื่อย 50% ได้ค่าความร้อน 15.489 กิโลจูล/กรัม (3,669.48 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) ซึ่งหมายความว่า ในอัตราผสม 1:1 ของไขมันกับวัสดุทางการเกษตร คือ กลีบ และขี้เลื่อย ไม่สามารถเพิ่มค่าความร้อนให้ถึงในระดับ 6,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมได้

แต่ช่วงเวลาในการลุกไหม้นั้นกลับสั้นลงไม่เป็นไปตามสมมติฐาน คือมีค่าคาร์บอนคงตัวเพียง 9.85 % (ในสูตรที่ 1) 10.02% (ในสูตรที่ 2) และ 9.66% (ในสูตรที่ 3) ลดลงกว่า คุณสมบัติเดิมของกลีบที่มีคาร์บอนคงตัว 17.4 % และขี้เลื่อย 22.4 % ก่อนที่นำมาผสมกับกากไขมัน เมื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าค่าความร้อน ที่ 6,131.94 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นั้นผ่านเกณฑ์ จากที่ตั้งไว้ไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม โดยสามารถเพิ่มปริมาณความร้อนเดิมของไขมันจาก 2,390 – 4,060 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ส่วนถ้านั้นเกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ ไม่เกิน 20% ซึ่งผลจากการทดลองนั้น ได้ ถั่ว เพียง 5.86 % มีเพียงคาร์บอนคงตัว ที่มีผลต่อระยะเวลาในการลุกไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าเกณฑ์ นั้นได้เพียง 9.85% ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ที่ไม่น้อยกว่า 15%

โดยสรุปการนำกากไขมันมาผสมกับ และขี้เถื่อยเพื่อทำเชื้อเพลิงอัดแท่งในครั้งนี้ ผู้วิจัยคิดว่าสามารถนำมาใช้งานจริงได้แต่เหมาะกับงานด้านอุตสาหกรรมด้านเชื้อเพลิง มากกว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ตามบ้านเรือนหรือร้านอาหาร เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้จะมีกลิ่นหืนที่มาจากกากไขมัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก่อนนำไปใช้งานจริงควรศึกษาต้นทุนของวัตถุดิบเสียก่อน

### 3. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและได้ทดลองในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการนำไขมันจากโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด ผสมกับแกลบ และขี้เถื่อย ภายหลังจากการทดลองจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

3.1 ในการนำแกลบมาเป็นส่วนผสมควรทำการบดให้ละเอียด ก่อนทำการอัดขึ้นรูป เพราะจะทำให้การขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวได้เนื่องจากแกลบมีความยืดหยุ่น

3.2 หรือนำแกลบดำ (แกลบที่ผ่านการเผา) มาเป็นส่วนผสมแทนแกลบขาวเพราะแกลบดำจะไม่มีกลิ่นหืน จึงไม่จำเป็นต้องบดให้ละเอียด และเนื่องจากแกลบดำถูกเผาจนเป็นถ่านทำให้มีคุณสมบัติเป็นคาร์บอน เมื่อนำมาผสมอาจทำให้ได้ค่าคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นจากเดิมก็เป็นได้

3.3 เครื่องอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแบบอัดเย็น แต่ตรงกระบอกรัดแท่งเชื้อเพลิงมีการเสียดสีทำให้เกิดความร้อน เป็นผลให้ส่วนผสมที่มีไขมันเกิดการละลายทำให้ไม่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่อง ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงลักษณะปั๊มขึ้นรูปตามแม่พิมพ์เพื่อป้องกันการอัดแท่งเชื้อเพลิงไม่ออก

3.4 จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในการทดสอบนั้น ค่าคาร์บอนคงตัว ยังไม่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในการทำวิจัยครั้งต่อไปอาจเพิ่มวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มค่าคาร์บอนคงตัว ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้นานขึ้น

3.5 เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ไม่มีการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปจึงอยากให้มีการคำนวณ เพื่อให้เป็นตัวประกอบในการตัดสินใจในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และครัวเรือน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 6(11), 66-77.
- นัทพงศ์ จันทมาศ. (2557). กากไขมันเหลือใช้ไม่ไร้ประโยชน์: การใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(1), 47-54.
- ประริญา ไร่ไพ. (2546). การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรีย์สาร เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สุธีรา สุนทรารักษ์. (2557). การใช้ประโยชน์กากไขมันของระบบบ่อดักไขมันอย่างง่ายจากร้านอาหาร ร่วมกับเศษกระดาษและเศษใบไม้เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 30(1), 1-10.
- ตำรวจ โกศลันนท์. (2551). การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- นิศากร ดอนกระตืนธุ์. (2544). การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหารมาผสม กับขี้เลื่อยเพื่อเป็น เชื้อเพลิงแท่ง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- Shinya Yokoyama. (2008, มกราคม). การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและความร้อนของสารชีวมวล คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. น. 84-108 สืบค้นจาก [http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All\\_T.pdf](http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf)
- กรมควบคุมมลพิษ. (2551). คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์. สืบค้นจาก [http://infofile.pcd.go.th/water/manual\\_Restaurant09.pdf?CFID=2231620&CFTOKEN=68212171](http://infofile.pcd.go.th/water/manual_Restaurant09.pdf?CFID=2231620&CFTOKEN=68212171)
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบดอัดประสาน. สืบค้นจาก <http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040>





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

สภามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร



ภาคผนวก ก

ผลวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง



คำขอบริการที่ ผทท. 213/59

ที่ ผทท.พ. 804-08/59

## รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

คุณ อาณัติ ศรีทอง

การทดสอบ / วิเคราะห์ ไขมัน 30 : แกลบ 30 : ซีเรียล 20 %

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ °C ความชื้นสัมพัทธ์ %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพน้ำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	4.9	-
สารระเหย, %	79.3	83.5
ด้านคงตัว, %	9.9	10.4
เถ้า, %	5.9	6.1
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	6,130	6,450

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. ทวพงษ์ พงษ์เชษฐ

ผู้รับรอง



ผู้ตรวจสอบ

มร. ชู

(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงษ์ไพศาล)

ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 18 สิงหาคม 2559

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น  
 งานนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)

26 หมู่ 3 เขตอินทนนท์ ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. (66) 0 2577 9000 ไลน์ลัด 90 สาย

โทรสาร (66) 0 2577 9009 E-Mail : tsr.or.th Website : www.tsr.or.th

FM-ETD-21

วิสัยทัศน์ : เป็นองค์กรชั้นนำระดับอาเซียนในด้านวิจัย พัฒนา และบริการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม



คำขอบริการที่ ศพท. 213/59

ที่ ศพท.พ. 805-08/59

## รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

คุณ อาฉัตรี ศรีทอง

การทดสอบ / วิเคราะห์ ไขมัน 50 : แกลบ 20 : ซี้เลื้อย 30 %

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุณหภูมิ - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	6.8	-
สารระเหย, %	78.6	84.3
ค่าบดกั่ว, %	10.0	10.8
เถ้า, %	4.6	4.9
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	5,940	6,370

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. ทวีพงษ์ พรหมทอง

ผู้รับรอง



ผู้ตรวจสอบ

(ดร.บริสุทธิ์ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 18 สิงหาคม 2559

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น  
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)

25 หมู่ 9 เขตไทรบุรี อ.คลองเตย จ.ปทุมธานี 12120

โทร. (ee) 0 2577 9000 สดในคืน 90 นาที

โทรสาร (ee) 0 2577 9009 E-Mail : tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21

วิสัยทัศน์ : เป็นองค์กรชั้นนำระดับอาเซียนในด้านวิจัย พัฒนา และบริการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม



คำขอบริการที่ ผทพ. 213/59

ที่ ผทพ.ป. 806-08/59

## รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

คุณ อาณัติ ทรทอง

การทดสอบ / วิเคราะห์ ไนลัน 50 : แกลบ 25 : ซีดีเอช 25 %

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ASTM D 7582 and D 5865

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์: อุดหนุมี - °C ความชื้นสัมพัทธ์ - %

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพนำหนักแห้ง
ความชื้น, %	6.3	-
สารระเหย, %	78.6	83.9
ถ่านคงตัว, %	9.6	10.3
เถ้า, %	5.5	5.8
ค่าความร้อนสูง, กิโลแคลอรี/กก.	6,080	6,490

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

- 1.
2. ทวีพงษ์ พรหมเพชร.

ผู้รับรอง

(ดร.รมย์ อภิธรรม)  
ผู้อำนวยการ

ผู้ตรวจสอบ

ว.ว. ช.ว.

(ดร.บริสุทธิ จันทร์วงศ์ไพศาล)

ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน

วันที่ 18 สิงหาคม 2559

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น

ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)

25 หมู่ 3 เขตโรจฉานี คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. (๐๕) ๐ 2577 ๙๐๐๐ โทรสาร ๐๕ ๒๕๗๗ ๙๐๐๐

โทรสาร (๐๕) ๐ 2577 ๙๐๐๐ E-Mail : tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

FM-ETD-21

วิสัยทัศน์ : เป็นองค์กรชั้นนำระดับอาเซียนในด้านวิจัย พัฒนา และบริการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความแปรปรวน



## Oneway

## Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
ความร้อน	สูตรที่1	2	6131.9400	10.36619	7.33000	6038.8035	6225.0765	6124.61	6139.27
	สูตรที่2	2	5938.0900	18.45549	13.05000	5772.2740	6103.9060	5925.04	5951.14
	สูตรที่3	2	6083.3350	16.70893	11.81500	5933.2112	6233.4588	6071.52	6095.15
	Total	6	6051.1217	91.01447	37.15650	5955.6078	6146.6355	5925.04	6139.27
คาร์บอน	สูตรที่1	3	9.8467	.12741	.07356	9.5302	10.1632	9.70	9.93
	สูตรที่2	3	10.0167	.20599	.11893	9.5050	10.5284	9.86	10.25
	สูตรที่3	3	9.6567	.19858	.11465	9.1634	10.1500	9.43	9.80
	Total	9	9.8400	.22102	.07367	9.6701	10.0099	9.43	10.25
ถ้ำ	สูตรที่1	3	5.8567	.04041	.02333	5.7563	5.9571	5.82	5.90
	สูตรที่2	3	4.5767	.37314	.21543	3.6497	5.5036	4.16	4.88
	สูตรที่3	3	5.4733	.05686	.03283	5.3321	5.6146	5.41	5.52
	Total	9	5.3022	.59975	.19992	4.8412	5.7632	4.16	5.90
สารระเหย	สูตรที่1	3	79.3533	.22811	.13170	78.7867	79.9200	79.15	79.60
	สูตรที่2	3	78.6100	.20298	.11719	78.1058	79.1142	78.43	78.83
	สูตรที่3	3	78.6100	.16523	.09539	78.1996	79.0204	78.45	78.78
	Total	9	78.8578	.41021	.13674	78.5425	79.1731	78.43	79.60
ความชื้น	สูตรที่1	3	4.9433	.07095	.04096	4.7671	5.1196	4.88	5.02
	สูตรที่2	3	6.7967	.07234	.04177	6.6170	6.9764	6.75	6.88
	สูตรที่3	3	6.2600	.01000	.00577	6.2352	6.2848	6.25	6.27
	Total	9	6.0000	.82744	.27581	5.3640	6.6360	4.88	6.88

## Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ความร้อน	9.2E+14	2	3	.000
คาร์บอน	.704	2	6	.531
เถ้า	7.220	2	6	.025
สารระเหย	.213	2	6	.814
ความชื้น	3.755	2	6	.088

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความร้อน	Between Groups	40690.919	2	20345.460	83.927	.002
	Within Groups	727.251	3	242.417		
	Total	41418.170	5			
คาร์บอน	Between Groups	.195	2	.097	2.976	.127
	Within Groups	.196	6	.033		
	Total	.391	8			
เถ้า	Between Groups	2.589	2	1.295	26.954	.001
	Within Groups	.288	6	.048		
	Total	2.878	8			
สารระเหย	Between Groups	1.105	2	.553	13.752	.006
	Within Groups	.241	6	.040		
	Total	1.346	8			
ความชื้น	Between Groups	5.456	2	2.728	789.521	.000
	Within Groups	.021	6	.003		
	Total	5.477	8			

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Scheffe

Dependent Variable	(I) สูตร	(J) สูตร	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ความร้อน	สูตรที่1	สูตรที่2	193.8500*	15.56975	.003	125.7972	261.9028
		สูตรที่3	48.6050	15.56975	.114	-19.4478	116.6578
	สูตรที่2	สูตรที่1	-193.8500*	15.56975	.003	-261.9028	-125.7972
		สูตรที่3	-145.2450*	15.56975	.006	-213.2978	-77.1922
	สูตรที่3	สูตรที่1	-48.6050	15.56975	.114	-116.6578	19.4478
		สูตรที่2	145.2450*	15.56975	.006	77.1922	213.2978
คาร์บอน	สูตรที่1	สูตรที่2	-.1700	.14765	.549	-.6435	.3035
		สูตรที่3	.1900	.14765	.481	-.2835	.6635
	สูตรที่2	สูตรที่1	.1700	.14765	.549	-.3035	.6435
		สูตรที่3	.3600	.14765	.127	-.1135	.8335
	สูตรที่3	สูตรที่1	-.1900	.14765	.481	-.6635	.2835
		สูตรที่2	-.3600	.14765	.127	-.8335	.1135
น้ำ	สูตรที่1	สูตรที่2	1.2800*	.17895	.001	.7061	1.8539
		สูตรที่3	.3833	.17895	.182	-.1906	.9573
	สูตรที่2	สูตรที่1	-1.2800*	.17895	.001	-1.8539	-.7061
		สูตรที่3	-.8967*	.17895	.007	-1.4706	-.3227
	สูตรที่3	สูตรที่1	-.3833	.17895	.182	-.9573	.1906
		สูตรที่2	.8967*	.17895	.007	.3227	1.4706
สารระเหย	สูตรที่1	สูตรที่2	.7433*	.16366	.011	.2184	1.2682
		สูตรที่3	.7433*	.16366	.011	.2184	1.2682
	สูตรที่2	สูตรที่1	-.7433*	.16366	.011	-1.2682	-.2184
		สูตรที่3	.0000	.16366	1.000	-.5249	.5249
	สูตรที่3	สูตรที่1	-.7433*	.16366	.011	-1.2682	-.2184
		สูตรที่2	.0000	.16366	1.000	-.5249	.5249
ความชื้น	สูตรที่1	สูตรที่2	-1.8533*	.04800	.000	-2.0073	-1.6994
		สูตรที่3	-1.3167*	.04800	.000	-1.4706	-1.1627
	สูตรที่2	สูตรที่1	1.8533*	.04800	.000	1.6994	2.0073
		สูตรที่3	.5367*	.04800	.000	.3827	.6906
	สูตรที่3	สูตรที่1	1.3167*	.04800	.000	1.1627	1.4706
		สูตรที่2	-.5367*	.04800	.000	-.6906	-.3827

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Homogeneous Subsets

### ความ ร้อน

Scheffe<sup>a</sup>

สูตร	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
สูตรที่2	2	5938.0900	
สูตรที่3	2		6083.3350
สูตรที่1	2		6131.9400
Sig.		1.000	.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

### คาร์บอน

Scheffe<sup>a</sup>

สูตร	N	Subset for
		alpha = .05
สูตรที่3	3	9.6567
สูตรที่1	3	9.8467
สูตรที่2	3	10.0167
Sig.		.127

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## เก่า

Scheffe<sup>a</sup>

สูตร	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
สูตรที่2	3	4.5767	
สูตรที่3	3		5.4733
สูตรที่1	3		5.8567
Sig.		1.000	.182

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## สำรวจเหย

Scheffe<sup>a</sup>

สูตร	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
สูตรที่2	3	78.6100	
สูตรที่3	3	78.6100	
สูตรที่1	3		79.3533
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## ความชื้น

Scheffe<sup>a</sup>

สูตร	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
สูตรที่1	3	4.9433		
สูตรที่3	3		6.2600	
สูตรที่2	3			6.7967
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นายอาณัติ ศรีทอง
วัน เดือน ปีเกิด	31 สิงหาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	<p>ประถมศึกษา โรงเรียนวัดกลาง พ.ศ. 2538</p> <p>มัธยมศึกษา โรงเรียนวัดทรงธรรม พ.ศ. 2541</p> <p>ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ พ.ศ. 2544</p> <p>อนุปริญญา ไฟฟ้ากำลัง/เครื่องกลไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ พ.ศ. 2546</p> <p>ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน พ.ศ. 2549</p>
สถานที่ทำงาน	<p>พ.ศ. 2546 - 2553 โรงแรม บันขันทรี กรุงเทพมหานคร</p> <p>พ.ศ. 2553 - 2554 บริษัท พี.เอส.พี สเปเชียลตี้ส์ จำกัด สมุทรสาคร</p> <p>พ.ศ. 2554 - 2555 บริษัท พีเอสบี แลนด์ โคร่งการหนึ่ง จำกัด กรุงเทพมหานคร</p> <p>พ.ศ. 2555 - 2556 โรงแรม เมเปิ้ล กรุงเทพมหานคร</p> <p>พ.ศ. 2556 - ปัจจุบัน โรงแรม แกรนด์ ฮาวเวิร์ด กรุงเทพมหานคร</p>
ตำแหน่ง	หัวหน้าช่าง