การผสมเปลือกกล้วยในถ่านอัดแท่งเพื่อลดการคงตัวของเถ้า

BANANA PEEL ADDITION IN CHARCOAL BRIQUETTE FOR REDUCING ASH STABILITY

จักรภัทร มนประดิษฐ์
เฉลิมเกียรติ วงค์อินทร์
พิรพัฒน์ อภิพันธ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผสมเปลือกกล้วยในถ่านอัดแท่งเพื่อลดการคงตัวของเถ้า

BANANA PEEL ADDITION IN CHARCOAL BRIQUETTE FOR REDUCING ASH STABILITY

T149257

จักรภัทร มนประดิษฐ์
เฉลิมเกียรติ วงค์อินทร์
พิรพัฒน์ อภิพันธ์

วน.
จ226ก
2558
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....149257
วัน,เดือน,ปี.....30 ส.ค. 2561
b.....12881590.....
l.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANANA PEEL ADDITION IN CHARCOAL BRIQUETTE FOR REDUCING ASH STABILITY

JUKGRAPAT MONPRADIT

CHALERMKIAT WONG-IN

PHIRAPHAT APHIPHAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การผสมเปลือกกล้วยในถ่านอัดแท่งเพื่อลดการคงตัวของเถ้า
BANANA PEEL ADDITION IN CHARCOAL BRIQUETTE FOR REDUCING ASH STABILITY

ชื่อนักศึกษา นายจักรภัทร มนประดิษฐ์ รหัสนักศึกษา 55050890
นายเฉลิมเกียรติ วงค์อินทร์ รหัสนักศึกษา 55050901
นายพิรพัฒน์ อภิพันธ์ รหัสนักศึกษา 55050966

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์ ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธิ์ กรรมการ	
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การผสมเปลือกกล้วยในถ่านอัดแท่งเพื่อลดการคงตัวของเถ้า
ชื่อนักศึกษา นายจักรภัทร มนประดิษฐ์ รหัสนักศึกษา 55050890
นายเฉลิมเกียรติ วงค์อินทร์ รหัสนักศึกษา 55050901
นายพิรพัฒน์ อภิพันธ์ รหัสนักศึกษา 55050966
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการผลิตถ่านอัดแท่งโดยการนำเปลือกกล้วยมาผสมกับแกลบเพื่อลดการลดการคงตัวของเถ้า และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากผล การศึกษาพบว่าอัตราส่วนของเปลือกกล้วย:แกลบที่สามารถใช้เป็นถ่านอัดแท่งได้คือ 3:7 และ5:5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านที่ทำมาจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ให้ค่าความร้อนที่น้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านที่ทำมาจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆพบว่า เปลือกกล้วยช่วยลดปริมาณเถ้าคงคงตัวแต่ทำให้จุดติดไฟยากขึ้นเผาไหม้เร็วขึ้น และทำให้ถ่านอัดแท่งมีรูปทรงที่ไม่สวยงาม สามารถทนแรงอัดได้น้อยกว่าถ่านที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดได้เล็กน้อย ผลการศึกษาด้านต้นทุนการผลิตพบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบใช้ต้นทุนการผลิต 6.06 บาท/กิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าถ่านที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

คำสำคัญ : แกลบ กล้วย ถ่านอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	BANANA PEEL ADDITION IN CHARCOAL BRIQUETTE FOR REDUCING ASH STABILITY
Students	Mr. Jukgrapat Monpradit Student ID 55050890
	Mr. Chalermkiat Wong-in Student ID 55050901
	Mr. Phiraphat Aphiphan Student ID 55050966
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Facculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Tecchnology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr. Glinsukol Suwannarat

Abstract

This special project is the production of charcoal briquettes by mixing banana peel with rice husk to reduce the stability of ash were investigated the physical and chemical properties of charcoal briquettes.

The study found the suitable ratio of the banana peel : rice husk were 3:7 and 5:5 , The analysis of the general characteristics of charcoal briquette made from banana peels mixed with rice husk ratio were found Moisture, Ash, Volatile matter, Fixed carbon and Heating value are close to the standard of Charcoal briquette. But the heat value are less than Charcoal briquette in the market. The charcoal briquette made from banana peels mixed with rice husk ratio were found Banana peel made the ash more unstable, Ignition more difficult, not beautiful shape and the compressive strength value is less than the charcoal briquette in the market.

The study was found the beginning of reducing ash stability. Charcoal briquette from banana peel mix with rice husk to produce 6.06 baht / kg, which is less than charcoal briquette in the market.

Keywords : Banana, rice husk, charcoal briquette.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี สืบเนื่องจากความช่วยเหลือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่กรุณาติดตามตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด และให้คำปรึกษา ติชม จนผลงานสำเร็จลุล่วงได้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณ ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์และรศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธิ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงงานพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน รวมถึงนักศึกษาปริญญาโทภาคเคมี และเพื่อนๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่อโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณโครงการส่วนพระองค์สวนิตรลดา ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมใช้เครื่องมือและสถานที่

ขอขอบพระคุณ คุณ ธัญญามาศ แดงงาม และ คุณสมชาย บัวอุไร ร้านแป้งกล้วยทอดอร่อยแน่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของทุกๆท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ตลอดจนความตั้งใจที่มีให้กับโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

จักรภัทร มนประดิษฐ์

เฉลิมเกียรติ วงค์อินทร์

พิรพัฒน์ อภิพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูปภาพ ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 แหล่งพลังงาน 4
2.2 พลังงานชีวมวล 5
2.2.1 ความหมายของชีวมวล 5
2.2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล 6
2.2.3 ข้อดีของการนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิง 7
2.2.4 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล 9
2.3 กล้วย 10
2.3.1 ประวัติของกล้วย 11
2.3.2 ชนิดของกล้วย 12
2.3.3 ผลิตภัณฑ์จากกล้วย 14
2.3.4 ประโยชน์ของกล้วย 14
2.4 แกลบ 15
2.4.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ 15
2.4.2 องค์ประกอบของแกลบ 16
2.4.3 ประโยชน์ของถ่านแกลบ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง 17
2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง 18
2.5.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง 20
2.5.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง 21
2.5.4 วิธีการอัดแท่ง 21
2.5.4.1. การอัดแบบร้อน 21
2.5.4.2 การอัดแบบเย็น 24
2.5.5 เครื่องอัดแท่ง 25
2.5.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ 25
2.5.5.2 เครื่องอัดแบบเกลียว 26
2.5.5.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง 28
2.5.5.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ 28
2.6 กระบวนการไพโรไลซิส 30
2.7 ถ่านอัดแท่ง 31
2.7.1 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง 32
2.7.1.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี 32
2.7.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ 33
2.7.2 การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง 34
2.7.3 ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด 34
2.8 มาตรฐานถ่านอัดแท่ง 34
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 41
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี 41
3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี 41
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 41
3.2 การดำเนินงานวิจัย 42
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 42
3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วย 42
3.2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแกลบ 42
3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน 43
3.2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง 43
3.2.4 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่ง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 45
4.1 คุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 45
4.2 คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่ง 47
4.3 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบในอัตราส่วนต่างๆ..... 49
4.4 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่ง 51

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 53
5.1 สรุปผลการทดลอง 53
5.2 ข้อเสนอแนะ 54
เอกสารอ้างอิง 55
ภาคผนวก 61
ภาคผนวก ก. 62
ภาคผนวก ข. 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแกลบ 16
4.1 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ 44
4.2 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังนำไปเผาเป็นถ่าน..... 47
4.3 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเคมีของถ่านอัดแท่ง..... 49
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านกายภาพของถ่านอัดแท่ง 50
4.5 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่ง 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กล้วย	10
2.2 แกลบ	15
2.3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	18
2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส	19
2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	19
2.6 โครงสร้างของลิกนิน	20
2.7 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	25
2.8 เครื่องอัดแบบเกลียว	26
2.9 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด	27
2.10 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	28
2.11 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม	29
2.12 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน	29
2.13 ถ่านอัดแท่ง	32
3.1 เปลือกกล้วยที่ตากแดดไล่ความชื้นแล้ว 3-5 วัน	42
3.2 แกลบที่ตากแดดไล่ความชื้นแล้ว 3-5 วัน	42
4.1 ลักษณะก่อนเผาของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ	45
4.2 ลักษณะหลังเผาของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
kg/m^2	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
kg/cm^2	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
kg/hr	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
cal/g	แคลอรีต่อกรัม
m^2/g	ตารางเมตรต่อกรัม
MPa	เมกะปาสคาล
Kcal/kg	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
g/cm^3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ppm	1ส่วนใน1ล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

พลังงาน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมใดๆ ล้วนแต่จำเป็นต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น ในปัจจุบันเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำลงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะพลังงานสิ้นเปลืองจำพวกที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ เชื้อเพลิงฟอสซิล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมัน เป็นต้น จึงมีการศึกษาการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานชีวมวล เชื้อเพลิงอัดแท่งจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน

ชีวมวลคือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆเช่นเศษไม้ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานทำได้โดยนำวัสดุเหลือใช้มาเผาไหม้ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร ไม้และเศษไม้หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน แต่เกิดปัญหาในเรื่องของการขนส่งในเรื่องของขนาดจึงต้องนำมาแปรรูปโดยการนำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เพื่อสะดวกในการขนส่ง และเพิ่มค่าพลังงานความร้อน แต่การจะนำไปใช้นั้นต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงในการจุดติดไฟในแต่ละครั้ง จึงมีการแก้ปัญหาโดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปเผาให้อยู่ในรูปของถ่านเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน แต่ข้อเสียของถ่านอัดแท่งในปัจจุบันคือการที่มีความคงตัวของเถ้าสูงซึ่งเป็นขีดจำกัดในการใช้งานถ่านอัดแท่ง เช่น การใช้ถ่านอัดแท่งในภาคครัวเรือนใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารเมื่อถ่านเผาไหม้หมดจนหมดเถ้าที่เหลือต้องนำออกไปทิ้งเพื่อใส่ถ่านก้อนใหม่ เพราะเถ้าที่เหลืออยู่มีความคงตัวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศแห่งการเกษตรมีการผลิตผลผลิตทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ลองกอง เงาะ ทุเรียน มังคุด ลำไย ส้ม สับปะรด แตงโม กล้วย ขนุน มะม่วง ละมุด พุทรา องุ่น น้อยหน่า ลางสาด และ กล้วย เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยนั้นมีการปลูกกล้วยเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศและสภาพอากาศเหมาะแก่การเจริญเติบโตของกล้วย และกล้วยเป็นผลไม้ที่อยู่คู่กับคนไทยมาช้านานเนื่องจากคนสมัยก่อนนิยมนำกล้วยมาบริโภค เช่น กล้วยตาก กล้วยแขก กล้วยบวชชี เป็นต้น การบริโภคกล้วยเป็นจำนวนมากทำให้เกิดของเสียก็คือเปลือกกล้วยมากด้วยเช่นกัน วิธีการกำจัดก็มีหลายวิธี เช่น การฝังกลบ การเผา การนำไปเป็นปุ๋ย แต่วิธีที่ดีที่สุดก็คือ การนำกลับมาใช้ใหม่นั้นเอง ทั้งนี้ทั้งนั้นการที่จะนำเปลือกกล้วยมาใช้ในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้จริงนั้น จะต้องศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติและต้นทุนกับถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแกลบและเปลือกกล้วยในการทำถ่านอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทั่วไปและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบอัดแท่ง
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเปลือกกล้วยกับถ่านที่มีขายตามท้องตลาด
4. เพื่อให้ได้ถ่านมีความคงตัวของเถ้าต่ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมของเปลือกกล้วยต่อแกลบ (10:0, 7:3, 5:5, 3:7 และ 0:10)
2. ศึกษาคุณสมบัติทั่วไปและทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน ความคงตัวของเถ้า เวลาในการจุดติดไฟ และการทนแรงอัด
3. ทำการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อใช้ในครัวเรือน ร้านอาหาร และภัตตาคารต่างๆ
2. เป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
3. ช่วยลดปัญหาในการกำจัดขยะ
4. ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งพลังงาน (เกษม, 2524)

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน ได้แก่ พลังงานจากน้ำมัน เชื้อเพลิง ถ่านหิน เป็นต้น ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดและเป็นแหล่งเริ่มต้นของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่บนโลก จากนั้นพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังระบบนิเวศและถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจะเกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นการนำพืชซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานอันดับแรกมาใช้โดยตรง สามารถทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ถ่ายทอดจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุดและเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถสร้างทดแทนขึ้นมาได้ ซึ่งมนุษย์รู้จักในการนำมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณซึ่งอยู่ในรูปของไม้ฟืน ในปัจจุบันหลังจากมีการปฏิวัติอุตสาหกรรม น้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านหินจัดเป็นพลังงานที่สำคัญ จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานต่างๆ ถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการขาดแคลนพลังงาน และจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งพลังงานทดแทน

แหล่งพลังงานทดแทนหรือแหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือพลังงานทดแทนประเภทใช้แล้วสามารถนำกลับมาหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ เป็นต้น ซึ่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่อยู่รอบตัวเรา ซึ่งสามารถหาได้มาใช้ได้ไม่มีวันหมด และสามารถสร้างทดแทนได้ในระยะเวลาสั้นๆโดยที่มาจากธรรมชาติหลังจากที่มนุษย์นำไปใช้ และเป็นพลังงานที่สะอาด หรือเป็นพลังงานที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะอื่นๆ ส่วนพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้แล้วหมดไปหรือเรียกว่าพลังงานทดแทนประเภทไม่หมุนเวียน ได้แก่ พลังงานจากชีวภาพ และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น ซึ่งพลังงานทดแทนประเภทไม่หมุนเวียนนี้เป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่อยู่รอบตัวเรา เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่างๆ แต่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งพลังงานทั้งสองประเภท ต่างมีศักยภาพที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ สำหรับในประเทศไทยนั้น นอกเหนือจากพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนั้น พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดแทนประเภทที่ไม่หมุนเวียนที่มาจากพลังงานชีวมวลจำพวก ถ่านอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดแท่ง ก็จัดได้ว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งมีความสำคัญคือมีศักยภาพสูงมาก และสามารถช่วยลดหรือทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกพลังงานชีวมวล จำพวกเชื้อเพลิงอัดแท่ง ถ่านอัดแท่ง ซึ่งมีคุณภาพสูงในการใช้งาน เป็นจำนวนไม่น้อย ซึ่งเป็นการทดแทนการใช้พลังงานที่มาจาก น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ถึงแม้ว่ามูลค่าการส่งออกของถ่านอัดแท่งในปัจจุบันจะมีมูลค่าไม่สูงเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ แต่เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งเป็นวัสดุทางการเกษตร และอุตสาหกรรมทางการเกษตร เช่น เศษไม้ เปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ที่ได้จากการนำผลไม้ไปแปรรูป ซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย จึงควรมีการสนับสนุนให้มีการผลิตถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ และเป็นการผลิตพลังงานมาทดแทนหรือลดการใช้พลังงานประเภทสิ้นเปลือง เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

2.2 พลังงานชีวมวล

2.2.1 ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) เป็นการผสมคำระหว่าง Bio หมายถึงสิ่งมีชีวิตกับ mass ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้ (กรกต, 2546)

ชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้ความร้อนหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์ (เสรีวัฒน์, 2539)

พลังงานชีวมวลหมายถึงพลังงานที่ได้มาจากชีวมวล โดยอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา (สุธรรม, 2546)

ชีวมวลคือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ได้แก่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่
- กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออก เพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตเป็นกะทิและน้ำมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2546)

ชีวมวลคือสารทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (นอกจากที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลไปแล้ว) ซึ่งรวมถึงการผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ของเสียจากสัตว์เช่นมูลสัตว์และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตรขยะและน้ำเสีย (กรมพัฒนาและอนุรักษ์พลังงาน,2552)

สรุปได้ว่าพลังงานชีวมวลหมายถึงพลังงานที่ได้จากพืชและซากสัตว์หรืออินทรีย์สารต่างๆ โดยที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้พลังงานที่ได้มาจากชีวมวลจะอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา

2.2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล (Biomass sources)

ประเภทของแหล่งพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 4 ประเภท (Best, G. *et.al*. 2000) ดังนี้

1. Woody biomass ได้แก่ พุ่มไม้และต้นไม้ขนาดเล็ก แขนงหรือกิ่งก้าน เช่น กาแฟ ชา ไม้ไผ่ และต้นปาล์ม เป็นต้น
2. Non woody biomass ได้แก่ ธัญพืช เช่น ต้นอ้อย มันสำปะหลัง ฝ้าย ก้านและรากของต้นยาสูบ พืชตระกูลหญ้า กล้วย ต้นถั่ว เป็นต้น
3. Processed waste ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย ขยะจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กากสับปะรด กากชาเขียว ขยะชุมชน เป็นต้น
4. Processed fuels ได้แก่ถ่านที่ทำจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล เมทานอล และก๊าซชีวภาพ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้แทนน้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน และถ่านไม้ จึงเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ นอกจากนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นมีปริมาณกำมะถันที่ต่ำกว่าน้ำมันเตาและถ่านหิน จึงสามารถช่วยลดปัญหามลพิษทางอากาศ

2.2.3 ข้อดีของการนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงมีดังนี้ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549)

1. การเผาไหม้สสารทุกชนิดจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งล่องลอยไปในอากาศและห่อหุ้มโลกไว้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลกรังสีบางส่วนไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปได้ทำให้โลกร้อนขึ้น จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกแต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาชีวมวลจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสงดังนั้นการเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก
2. การไม่นำชีวมวลมาใช้โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติเช่นมูลสัตว์จะเกิดก๊าซมีเทนซึ่งถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งและมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า
3. ชีวมวลจะมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซนต์ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน)
4. ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นด่างดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเพาะปลูกหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด แต่ขี้เถ้าจากการเผาถ่านหินจะมีสภาพเป็นด่างดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำไปในใช้การเพาะปลูกหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรดแต่ขี้เถ้าจากการเผาถ่านหินจะมีสารโลหะหนักปะปนอยู่ ดังนั้นต้องมีการนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธี เช่นมีแผ่นยางรองรับด้านล่างหลุมฝังกลบ
5. ช่วยลดภาระในการกำจัดของเสีย เช่น นำไปฝังกลบ และเผาทิ้ง เป็นต้น
6. ก่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่นชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นมีการประเมินว่าการนำชีวมวลในท้องถิ่นมาใช้ทำให้เงินหมุนเวียนในระบบเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่าและรายได้ประชาชาติสูงขึ้นกล่าวคือเมื่อชาวไร่ชาวนามีรายได้เพิ่มขึ้นจากชีวมวลจะนำเงินส่วนนี้ใช้จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่นเช่นจ้างคนเก็บและรวบรวมชีวมวลคนเหล่านั้นจะนำเงินส่วนนี้ใช้จ่ายอีกทอดหนึ่งเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ประหยัดเงินตราต่างประเทศเพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเช่นน้ำมันเตาและถ่านหินเป็นต้น นอกจากนี้ชีวมวลยังมีประโยชน์ในรูปอื่นๆเช่นใช้เป็นวัตถุดิบผลิตสินค้าปุ๋ยและกิจกรรมทางการเกษตรยกตัวอย่าง เช่น น้ำมันเตา และ ถ่านหิน เป็นต้น
8. แปรรูปเป็นปุ๋ยโดยการนำเศษไม้ใบหญ้าและฟางข้าวเป็นต้นมาหมัก 2-3 เดือนหรือปล่อยให้ย่อยสลายในสวนในไร่ตามธรรมชาติก็ได้เช่นกัน
9. เป็นวัตถุดิบเช่นการนำเศษไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยมาย่อยละอัดเป็นแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดจากการนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ
10. ใช้ในกิจกรรมปศุสัตว์เช่นโรยแกลบใต้โรงเลี้ยงไก่เพื่อรองรับมูลไก่เป็นต้น

ความต้องการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตเช่นกันเนื่องจากชีวมวลมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงสมัยใหม่ในปริมาณความร้อนที่เท่ากันและจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกและทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นในขณะที่การนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์จะช่วยบรรเทาปัญหาการเพิ่มปริมาณ CO_2 ให้กับบรรยากาศแต่เนื่องจากชีวมวลบางชนิดมีการผลิตตามฤดูกาลหรือมีเฉพาะบางภูมิภาค

ดังนั้นการนำชีวมวลมาใช้ผลิตพลังงานในแต่ละโรงงานจะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นประกอบได้แก่แหล่งชีวมวลปริมาณรวมของชีวมวลและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานชีวมวลแม้ว่าในขณะนี้การใช้พลังงานชีวมวลและเทคโนโลยีบางด้านยังไม่สามารถดำเนินการในเชิงพาณิชย์และไม่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ แต่การเตรียมพร้อมก็อาจจะเป็นประโยชน์อย่างมากหากเกิดวิกฤติพลังงานขึ้นในอนาคตขณะเดียวกันก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีบางสาขาไปถึงขั้นที่สามารถลดต้นทุนลงจนกลายมาเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล (เสรีวัฒน์, 2539)

จากปัญหาความขัดสนหรือขาดแคลนของทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไปเช่น น้ำมันก๊าดธรรมชาติและถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมากประกอบกับการเกิดวิกฤตการณ์พลังงานทำให้มนุษย์หาทางประหยัดการใช้พลังงานและพัฒนาพลังงานรูปอื่นขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะประเภทที่ไม่มีวันหมดสิ้นไปหรือเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากแหล่งน้ำ พลังงานลม และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น ชีวมวลสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น นำไม้มาทำฟืนหรือเผาถ่านนำมาผลิตก๊าซชีวมวลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ นำมูลสัตว์มาหมักหรือย่อยสลายโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพใช้ในการหุงต้มเดินเครื่องยนต์หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เราได้ใช้พลังงานจากชีวมวลมาเป็นเวลานานแล้วจนถึงปัจจุบันก็ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในสัดส่วนที่ไม่น้อยเลย โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาตามชนบทก็ยังมีการใช้ฟืนหรือถ่านในการหุงหาอาหารชีวมวลเป็นอินทรีย์สารที่ได้จากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่หาได้ในประเทศโดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อาทิ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากและกะลาปาล์ม เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลมาผลิตพลังงานยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่นบางชนิดใช้ได้ทั้งเป็นอาหารและพลังงาน ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ถ้าจะนำมาใช้เป็นพลังงานต้องไม่ทำให้อาหารขาดแคลนโดยอาจใช้ส่วนที่เหลือหรือปลูกพืชเหล่านี้ให้มากขึ้น การนำไม้ในป่ามาเป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตพลังงานย่อมทำให้ไม้หมดไปเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติจึงควรปลูกไม้โตเร็วเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานโดยตรงเพื่อลดปัญหาการทำลายป่าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กล้วย (Bananas) (ศศิวิมลและคณะ, 2550)

กล้วยชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa sapientum* Linn., *paradisaca* Linn. วงศ์ *Musaceae*มี 3 สกุล คือ สกุลกล้วย (*Musa*) สกุลกล้วยโทน (*Ensete*) และสกุลมูเซลลา (*Musella*)ประเทศไทยเป็นแหล่งพันธุกรรมกล้วยสำคัญของโลก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ กล้วยเป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปีมีลำต้นใต้ดินส่วนเหนือดินเป็นลำต้นเทียมเกิดจากกาบใบห่อหุ้มซ้อนกันลักษณะคล้ายลำต้น ใบเดี่ยวขนาดใหญ่ออกเรียงเวียนสลับกัน รูปขอบขนาน ปลายตัด ขอบเรียบ เส้นกลางใบแข็ง มีเส้นใบจำนวนมากออกจากเส้นกลางใบทั้ง 2 ข้าง ขนานกันไปจรดขอบใบ ก้านใบยาว เป็นร่อง ดอกออกเป็นช่อ (เรียกว่า ปลี) ห้อยลง ก้านช่อดอกแข็ง ดอกย่อยแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกเพศเมียจะอยู่ตอนล่างของช่อดอกและบานก่อน แต่ละช่อย่อยจะรองรับด้วยใบประดับขนาดใหญ่สีม่วงแดง (กาบปลี) ดอกย่อยรูปทรงกระบอก มีกลีบดอก 6 กลีบ มี 1 กลีบเดี่ยวขนาดเล็ก ที่เหลืออีก 5 กลีบเชื่อมติดกันเป็นหลอดปลายแยกเป็น 5 แฉก ผลทรงกระบอกหรือมีเหลี่ยมเล็กน้อย เปลือกหนาสีเขียว เมื่อสุกเปลือกสีเหลือง มีรสหวานรับประทานได้

รูปที่ 2.1 กล้วยน้ำว้า (ศศิวิมลและคณะ, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ประวัติของกล้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 2548)

ประเทศไทยมีการปลูกกล้วยกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ กล้วยที่ปลูกมีมากมายหลายชนิด พันธุ์กล้วยที่ใช้ปลูกในประเทศไทยมาตั้งแต่สมัยโบราณนั้น มีทั้งพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิม และนำเข้ามาจากประเทศใกล้เคียง กล้วยที่รู้จักกันในสมัยสุโขทัยคือ กล้วยตานี และปัจจุบันในจังหวัดสุโขทัยก็ยังมีการปลูกกล้วยตานีมากที่สุด กล้วยตานีเป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย จีน และพม่า ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่า กล้วยตานีน่าจะนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยสุโขทัยตอนต้นหรือช่วงการอพยพของคนไทยมาตั้งถิ่นฐานที่สุโขทัย

ในสมัยอยุธยา เดอลาลูแบร์ (De La Loub`ere) อัครราชทูตชาวฝรั่งเศสที่เดินทางมาเมืองไทยในรัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช เมื่อ พ.ศ. 2230 ได้เขียนบันทึกถึงสิ่งที่เขาได้พบเห็นในเมืองไทยไว้ว่า ได้เห็นกล้วยงวงช้าง ซึ่งก็คือ กล้วยร้อยหวีในปัจจุบัน ที่ส่วนใหญ่ปลูกไว้เพื่อเป็นไม้ประดับ นอกจากนี้ยังมีตำนานเล่ากันมาว่า มีการค้าขายกล้วยตีบ แสดงให้เห็นว่า ได้มีการปลูกกล้วยทั้งเพื่อความสวยงามและเพื่อการบริโภคกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ

ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2427 ในรัชกาลที่ 5 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ พระยาศรีสุนทรโวหาร (น้อย อาจารยางกูร) ซึ่งเป็นปรมาจารย์ทางด้านภาษาไทย ได้เขียนหนังสือ พรรณพฤกษากับสัตวาภิธาน เพื่อเป็นแบบเรียนภาษาไทยสำหรับใช้ในโรงเรียน กล่าวถึงชื่อของพรรณไม้และสัตว์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในเมืองไทย จึงแสดงให้เห็นถึงความนิยมในการปลูกกล้วยในสมัยนั้น ทั้งนี้เนื่องจากพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้เสด็จประพาสประเทศต่างๆ หลายประเทศ จึงได้มีการนำกล้วยบางชนิดเข้ามาปลูกในรัชสมัยของพระองค์หลังจากที่นักวิชาการชาวตะวันตก ได้เริ่มจำแนกชนิดของกล้วยตามลักษณะทางพันธุกรรมโดยใช้จีโนมของกล้วยเป็นตัวกำหนดในการแยกชนิดตามวิธีของซิมมอนดส์และเชบเฟิร์ด ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น จึงกล่าวได้ว่ากล้วยที่บริโภคกันอยู่ในปัจจุบันมีบรรพบุรุษอยู่เพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือกล้วยป่า และกล้วยตานี

ต่อมานักวิชาการไทยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับพันธุ์และชนิดของกล้วย คือ ใน พ.ศ. 2510 วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ และปวิณ ปุณศรี ได้ทำการรวบรวมพันธุ์กล้วยที่พบในประเทศได้ 125 สายพันธุ์ และจากการจำแนกจัดกลุ่มแล้ว พบว่ามี 20 พันธุ์ หลังจากนั้นในระหว่าง พ.ศ. 2523–2526 ได้มีนักวิชาการ 2 ท่าน คือ เบญจมาศ ศิลาย้อย และฉลองชัย แบบประเสริฐ แห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการสำรวจพันธุ์กล้วยในประเทศไทย และรวบรวมพันธุ์ไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยรวบรวมได้ทั้งหมด 323 สายพันธุ์ แต่เมื่อจำแนกชนิดแล้ว พบว่ามีอยู่เพียง 53 พันธุ์ หลังจากสิ้นสุดโครงการ ยังได้ทำการรวบรวมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน พบว่ามีอยู่ 71 พันธุ์ รวมทั้งกล้วยป่าและกล้วยประดับ ทั้งนี้ไม่นับรวมพันธุ์กล้วยที่ได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีอีกหลายพันธุ์

2.3.2 ชนิดของกล้วย

ปัจจุบันกล้วยในประเทศไทย จำแนกชนิดตามจีโนม(Genome) ได้ 9 กลุ่ม

1) กลุ่ม AA

กล้วยกลุ่มนี้มีขนาดเล็กรสหวาน มีกลิ่นหอมสามารถรับประทานสดได้ ได้แก่กล้วยทองกาบดำกล้วยสา กล้วยหอม กล้วยเล็บมือนางกล้วยน้ำนม กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไข่ กล้วยทองร่วงกล้วยหอมจำปากล้วยไข่กล้วยไล เป็นต้น

2) กลุ่ม AAA

กล้วยกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่เนื้อนุ่ม มีรสหวาน มีกลิ่นหอมรับประทานสดเช่นกันได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยไข่พระตะบองกล้วยคลองจังกล้วยครั่ง กล้วยหอมเขียว กล้วยนาก กล้วยกุ้งเขียว กล้วยหอมแม้ว เป็นต้น

3) กลุ่ม BB

กล้วยกลุ่มนี้รับประทานผลอ่อนในประเทศไทยมีแต่กล้วยตานี ซึ่งเป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่งแต่ไม่ได้มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย

4) กลุ่ม BBB

กล้วยกลุ่มนี้มีขนาดผลใหญ่ แต่มีรสที่ไม่หวาน รับประทานโดยการทำให้สุก โดยการต้ม ปิ้ง เผากล้วยในกลุ่มนี้เกิดจากกล้วยตานี (*Musa balbisiana*) ประกอบด้วยแป้งมาก เมื่อสุกก็ยังมีแป้งมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) กลุ่ม AAB

กล้วยกลุ่มนี้รับประทานโดยการทำให้สุก โดยการต้ม ปิ้ง เผากล้วยกลุ่มนี้เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี เมื่อผลสุกมีรสชาติที่ดีได้แก่ กล้วยนมสวรรค์กล้วยน้ำ กล้วยน้ำฝาด กล้วยนิ้วมือนาง กล้วยนมสาว กล้วยทองเดช กล้วยขม กล้วยไข่โบราณ กล้วยศรีนวล แต่มีกล้วยกลุ่ม AAB บางชนิดที่มีความคล้ายกับ ABB กล่าวคือเนื้อจะค่อนข้างแข็ง มีแป้งมาก กล้วยในกลุ่มนี้เรียกว่า plantain subgroup ซึ่งจะต้องทำให้สุกโดยการต้ม ปิ้ง เผาเช่นเดียวกับกลุ่ม ABB ได้แก่ กล้วยกล้ายกล้วยงาช้างกล้วยหินกล้วยนิ้วจระเข้ กล้วยพม่าแหกคุก เป็นต้น

6) กลุ่ม ABB

กล้วยกลุ่มนี้รับประทานโดยการทำให้สุก โดยการต้ม ปิ้ง เผา เชื่อมกล้วยกลุ่มนี้เป็นลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานีมีแป้งมาก ขนาดผลใหญ่ไม่นิยมรับประทานสดเพราะเมื่อสุกรสไม่หวานมีรสฝาด เมื่อนำมาต้มปิ้ง ย่างและเชื่อมจะทำให้ได้รสชาติที่ดีขึ้นได้แก่ กล้วยหักมุกเขียวกล้วยหักมุกนวลกล้วยเปลือกหนากล้วยส้ม กล้วยนางพญา กล้วยนมหมี กล้วยน้ำว้า เป็นต้น สำหรับกล้วยน้ำว้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสีของเนื้อ คือ กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าขาวและกล้วยน้ำว้าเหลือง

7) กลุ่ม ABBB

กล้วยกลุ่มนี้มีรสหวานกล้วยในกลุ่มนี้เป็นลูกผสมจึงมีแป้งมาก และมีอยู่พันธุ์เดียวคือกล้วยเทพรสหรือกล้วยทิพรส ผลมีขนาดใหญ่มากมีดอกเพศผู้หรือปลี ถ้าหากไม่มีดอกเพศผู้ จะไม่เห็นปลีและมีผลขนาดใหญ่ ถ้ามีดอกเพศผู้ ผลจะมีขนาดเล็กกว่ามีหลายหวีและหลายผลการมีปลีและไม่มีปลีนี้เกิดจากการกลายพันธุ์แบบกลับไปกลับมาได้

8) กลุ่ม AABB

กล้วยกลุ่มนี้เป็นลูกผสมมีเชื้อพันธุกรรมของกล้วยป่ากับกล้วยตานี กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวในประเทศไทยคือกล้วยเงิน ผลขนาดใหญ่รูปร่างคล้ายกล้วยไข่ เมื่อสุกผิวสีเหลืองสดใส เนื้อผลสีส้ม มีแป้งมากรับประทานผลสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) กล้วยประดับ

นอกจากกล้วยดังที่ได้กล่าวแล้วยังมีกล้วยป่าที่เกิดในธรรมชาติซึ่งมีเมล็ดมาก ทั้งกล้วยในสกุล *Musa14cuminate* และ*Musa itinerans* หรือที่เรียกว่า กล้วยหกหรือกล้วยอ่างขางและกล้วยป่าที่เป็นกล้วยประดับ เช่น กล้วยบัวสีส้มและกล้วยบัวสีชมพู

2.3.3 ผลิตภัณฑ์จากกล้วย (สำนักพัฒนาเกษตรกร, 2547)

ผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากการนำกล้วยมาผ่านกระบวนการแปรรูป มีหลายชนิด เช่น

1. ทองม้วนกล้วย คือผลิตภัณฑ์จากการนำแป้งกล้วยมาผสมกับส่วนผสมต่างๆ ให้มีลักษณะเป็นน้ำแล้วนำไปปิ้งกับแม่พิมพ์ให้เป็นแผ่นแล้วม้วนขณะยังร้อน เมื่อเย็นแล้วจะมีลักษณะกรอบใช้รับประทานเป็นของว่าง
2. ข้าวเกรียบกล้วย คือผลิตภัณฑ์จากการนำแป้งกล้วยผสมกับกล้วยสุกบดละเอียด ผสมส่วนผสมอื่นผ่านกรรมวิธีนี้จนสุกและตากแห้งให้สนิท ต้องนำมาทอดก่อนรับประทานเมื่อเย็นแล้วจะมีความกรอบ ใช้รับประทานเป็นของว่าง
3. กล้วยรังนก คือผลิตภัณฑ์จากการนำกล้วยมาหั่นหรือสไลด์เป็นเส้นบางๆ แล้วนำมาทอดแล้วใส่น้ำตาลลักษณะเหมือนรังนก มีความกรอบและรวมตัวกันเป็นก้อน
4. กล้วยกรอบแก้ว (กล้วยฉาบทรงเครื่อง) คือผลิตภัณฑ์จากการนำกล้วยมาผ่านกรรมวิธีการทอดและปรุงรสเพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคกล้วยได้ในรูปแบบอื่นๆ นอกจากผลสุก
5. กล้วยกรอบงา คือผลิตภัณฑ์จากการนำกล้วยไข่แก่จัดมาผ่านการแปรรูปให้มีรสชาติและคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นตัวผลิตภัณฑ์จะมีความกรอบ
6. กล้วยหอมเบรกแตก คือผลิตภัณฑ์จากการนำกล้วยหอมมาผ่านกรรมวิธีการทอดและปรุงรสต่างๆ เป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่ง ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นและเพิ่มมูลค่ากล้วยให้มากขึ้น

2.3.4 ประโยชน์ของกล้วย

ส่วนต่างๆของกล้วยสามารถนำมาทำอาหารได้หลายส่วน ทั้งหัวปลี หยวกกล้วย ผลทั้งสุกและดิบ ใบสามารถนำมาใช้ห่ออาหารและทำงานฝีมือหลายชนิด ลำต้นใช้ทำเชือกกล้วยผลกล้วยสามารถนำมามาส์กหน้าได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ผิว ลดความหยาบกร้านบนผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือก หวีและก้านเครือกล้วย สามารถนำมาผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์ได้ สามารถนำมาเพิ่มคุณค่าด้วยการเผาในสภาพไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ถ่านที่สามารถทำเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีความพรุนสูง โดยการกระตุ้นด้วยหลายวิธี ได้แก่ กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ในสัดส่วนต่างๆ ถ่านกัมมันต์ที่ได้อาจนำไปเป็นตัวดูดซับสารต่างๆ ในน้ำเพื่อผลิตเป็นน้ำดื่มที่ได้ตามมาตรฐานหรือใช้บำบัดน้ำเสียในบ้านเรือนได้

2.4 แกลบ

2.4.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ (Antal, 1982)

แกลบเป็นส่วนเปลือกของเมล็ดข้าวที่ได้หลังจากการสีข้าวโดยแกลบจัดเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร แกลบส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลอ่อนลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหัวท้ายปิดเป็นรูปทรงรีที่มีแกนตามยาวเป็นแนวสมมาตร มีความยาวอยู่ในช่วง 6-10 มิลลิเมตร และมีความหนาแน่น (Bulk density) โดยประมาณ 0.148 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากที่ผิวด้านนอกของแกลบมีซิลิกาผสมอยู่เป็นปริมาณสูงทำให้แกลบมีคุณสมบัติแตกหักง่าย ซิลิกาในแกลบเมื่อเทียบความแข็งตามโมห์สเกล (Mohs Scale) มีความแข็งเท่ากับ 5.5 ถึง 6.5

รูปที่ 2.2 แกลบจากข้าวหอมมะลิ (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตลดา, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 องค์ประกอบของแกลบ

องค์ประกอบของแกลบจะแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูก ส่วนมากประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ ซิลิกา และสิ่งปนเปื้อน องค์ประกอบหลักๆแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแกลบ

องค์ประกอบ	น้ำหนัก (%)
เถ้า	13-29
เซลลูโลส	34-44
ลิกนิน	19-47
น้ำตาล*	17-26

*D-xylose, L-arabinose, Methyglycoronic acid, D-galectose
*ชัดชนก และคณะ (2545)

2.4.3 ประโยชน์ของถ่านแกลบ

ปัจจุบันได้มีการนำแกลบมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจากการศึกษาพบว่า ถ่านแกลบ 1 กิโลกรัม ให้ค่าพลังงานความร้อน 4,730 กิโลแคลอรี ในขณะที่ถ่านไม้โดยทั่วไป 1 กิโลกรัม ให้ค่าพลังงานความร้อน 7,450 กิโลแคลอรี

จะเห็นได้ว่าถ่านแกลบมีค่าความความร้อนต่ำกว่าถ่านไม้ แต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดแท่งของแกลบในรูปถ่านนั้นมีข้อดีอยู่หลายประการ ได้แก่

1. ให้พลังงานความร้อนสม่ำเสมอ
2. สะดวกในการใช้งานเพราะเชื้อเพลิงอัดแท่งมีขนาดมาตรฐาน จึงสามารถนำมาคำนวณและควบคุมปริมาณการใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้
3. หากเกิดการแตกหักเสียหายของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งก็สามารถนำมาผ่านการอัดแท่งได้ใหม่โดยไม่ทำให้พลังงานความร้อนลดลง
4. พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งเหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5. เป็นการอนุรักษณ์ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นเชื้อเพลิงชนิดไม่หมุนเวียน เช่น ถ่านหิน น้ำมัน เป็นต้น
6. มีส่วนในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
7. ช่วยลดปัญหาในการกำจัดของเสียให้แก่โรงสีข้าว

ส่วนข้อเสียที่เกิดจากการใช้งานถ่านแกลบนั้น ได้แก่ เมื่อเผาไหม้แล้วจะได้ปริมาณเถ้ามากกว่าถ่านไม้และเถ้าที่ได้นั้นจะมีลักษณะคงตัวไม่เป็นผงเหมือนเถ้าที่ได้จากถ่านไม้ ทำให้มีปัญหา คือ เตาที่ใช้เผาไหม้จะเต็มเร็วและต้องเสียเวลาในการนำขี้เถ้าออกจากเตาบ่อย

2.5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Reed and Bryant, 1978)

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา และแกลบ เป็นต้น ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะโดยนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวประสานเป็นตัวเชื่อม (ประลอง, 2547) ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ
2. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว
3. มีความชื้นสูง

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่าง ๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมาก ไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก ดังนั้นการอัดแท่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและสะดวกในการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
149257

รูปที่ 2.3 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตลดา, 2555)

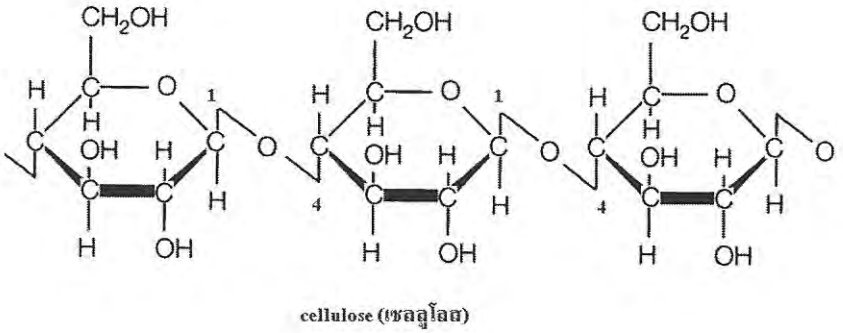
2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบหลักเป็นพวกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เศษไม้ ขยะของเหลือใช้ หรือของเสียต่างๆ จากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือชุมชน ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง กากอ้อย ซังข้าวโพด แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น โดยที่วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Karchey and Koch, 1979)

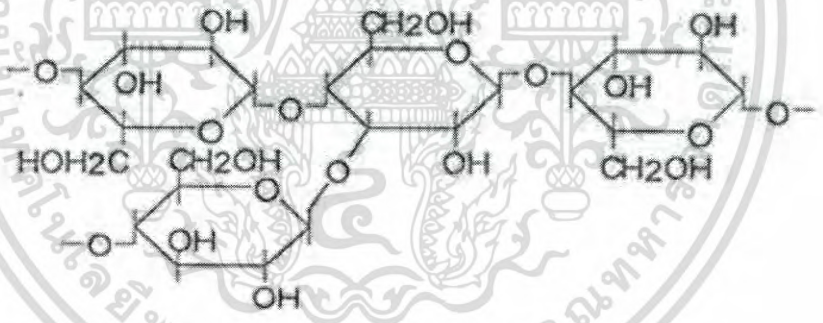
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันเชื่อมต่อกัน ที่ตำแหน่ง บีต้า-1,4 glycosidic เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ส่วนใหญ่จะเป็นรูปผลึกที่มีระเบียบ มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $C_6H_{12}O_6$ (มนตรีและคณะ, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส (Karchey and Koch, 1979)

เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสและเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิดเช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส เป็นต้น เฮมิเซลลูโลสพบในเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่นลิกนิน เซลลูโลส พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (Karchey and Koch, 1979)

ลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของพืชซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของอะโรมาติกของหน่วยฟีนิลโพรเพนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอนสายตรง (Aliphatic chain) ลิกนินมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นผนังเซลล์ของพืช ช่วยยึดและเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์พืช และอยู่ในรูปอสัณฐานเช่นเดียวกับพวกเฮมิเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของลิกนิน (Karchey and Koch, 1979)

2.5.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Mishra and Grover, 1996)

การอัดแท่งเป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการ คือสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามแรงดึงดูด (Attractive force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกันกระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยแรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสานหรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลวและของแข็ง เรียกว่าแรงแอดฮีชัน (Adhesion force) และเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (Interlocking bond) ระหว่างวัสดุ
2. การอัดแท่งแบบใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้
3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (Binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี เช่น ทาร์และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้กลไกการยึดติดของตัวประสานก็ขึ้นอยู่กับแรงดึงระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกันเองและวัสดุที่ต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง

วัสดุที่นำมาอัดแท่ง ทั้งที่ต้องใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสานโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

1. การบด (Grinding) เพื่อให้วัสดุมีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดการอัดติดเป็นก้อนได้ง่ายขึ้น
2. การอบ (Drying) วัสดุที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นที่เหมาะสมในการอัดก้อน ถ้ามีความชื้นมากเกินไป เชื้อเพลิงอัดแท่งจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น
3. การผสม (Mixing) การผสมวัสดุกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้โดยที่เวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำ ถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน
4. การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด ดังนั้นคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

2.5.4วิธีการอัดแท่ง (Fitzgerald, 1980)

สามารถแบ่งตามวิธีการอัดเป็น 2 แบบ คือ

2.5.4.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification)

เป็นวิธีที่นิยม สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ขี้เลื่อย แกลบ และเศษไม้ เป็นการอัดที่ถือกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมี R.T.Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์ฟืนสังเคราะห์จากขี้เลื่อยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้า และกลิ่นเหม็น มีข้อดีคือ ให้เปลวไฟสะอาด สามาถทำสีเปลวไฟได้ตามต้องการ ซึ่งวิธีการอัดแท่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ตามชนิดของเครื่องอัด คือ

- การอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing)
- การอัดแท่งด้วยเกลียว (Screw Press Densification)
- การอัดแท่งด้วยลูกสูบ (Piston Press Densification)
- การอัดแท่งด้วยลูกกลิ้ง (Roll Press Densification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ความร้อน ได้แก่

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Densification) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะสูญเสียพลังงานมากในการทำให้วัสดุแห้ง และมีค่าความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำกว่า (Mishra and Grover. 1996) ส่วนวัสดุที่มีความชื้นต่ำ มีข้อเสียในการจับตัวเป็นก้อน และการอัดแท่งทำให้มีรอยแตกบนผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบมีส่วนช่วยกระจายความร้อนในมวลวัตถุ ถ้าวัตถุดิบมีน้ำไม่เพียงพอทำให้การส่งผ่านความร้อนได้ไม่ดี แรงดันที่ต้องการใช้ในการอัดแท่งจึงเพิ่มขึ้น ถ้าวัสดุมีน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดการระเบิดออกมาจากกระบอกอัด โดยทั่วไปความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุดังกล่าวเกาะกันเป็นแท่งได้ง่าย ไม่มีรอยแตกร้าว และมีความแข็งแรงพอ สามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก (Reed and Bryant, 1978) วิธีการลดความชื้นขึ้นอยู่กับสภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้นๆ ว่ามีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด สามารถทำให้แห้งโดยวิธีการอบหรือนำไปตากแดด
2. ขนาดของชิ้นวัตถุดิบ (Particle size) เศษวัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น เศษเหลือจากการทำไม้ จะได้เศษไม้ที่มีทั้งปลายไม้ ส่วนที่ผุ หรือมีตำหนิ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้กบ เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดยาวและใหญ่มีขนาดเล็กลงได้โดยการนำไปย่อยและบด เพื่อให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าเครื่องอัดแท่ง Intermediate Technology Development Group รายงานว่า ขนาดชิ้นส่วนของวัสดุโดยเฉลี่ยควรจะมีขนาด 3 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วอาจไม่ต้องย่อยหรือบด แต่ต้องทำการร่อนด้วยตะแกรงเสียก่อน มิฉะนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนอยู่ จะไม่สามารถอัดแท่งได้ดี ทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ
3. แรงดัน (Pressure) แรงดันในกระบอกอัดเกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอัดติดกับผนังกระบอกอัด โดยแรงดันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อวัสดุถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกที่อัดที่ได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกอัดกับแท่งเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนตัวออกจะช่วยทำให้เกิดแรงดันที่เหมาะสม ทำให้วัสดุเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น โดยทั่วไปพบว่าการใช้ความดันประมาณ 600 kg/m^2จะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีการอัดตัวที่แน่น (นารา, 2529)

4. อุณหภูมิ (Temperature)(Rougerie, 1980) ได้คิดหาวิธีการอัดแท่งกับวัสดุประเภทลิกนินเซลลูโลส (ขี้เลื่อย) ที่อุณหภูมิ 85-160 °C เพื่อที่จะให้ลิกนินอ่อนตัวยึดเกาะกันได้แน่นขึ้นทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความแข็ง ต่อมาก็ได้มีการค้นพบว่าการอัดแท่งเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 220 °C ทำให้ได้แท่งอัดก้อนที่มีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการค้นพบอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ควรจะน้อยกว่า 150 °C และพบช่วงเวลาการอัดแท่งที่เหมาะสม ควรจะน้อยสุดไม่เกิน 2 วินาที อุณหภูมิของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 260-300 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เกาะกันเป็นแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (นารา, 2529) จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 200-300 °C

ข้อดีของการอัดแท่งแบบร้อนคือ

1. สามาถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง
2. ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน
3. ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการอัดแท่งแบบร้อนคือ

1. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดแบบเย็น
2. วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำ
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
4. เครื่องอัดแท่งมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification)

วิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ สามารถแบ่งเป็นการอัดแบบใช้ตัวประสาน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattacharya, S.C. *et. al,* 1988) ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงปานกลาง

ข้อดีของการอัดแบบเย็นคือ

1. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดแบบร้อน
2. ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดแบบร้อนเพียงนิดเดียว
3. ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
5. เครื่องอัดแท่งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดแบบเย็นคือ

ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำกับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติตัวประสาน

ตัวประสาน (Binder)

ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Bryand, 1985) คือ

1. ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดิบ มูลสัตว์ ขยะเน่าเปื่อย สาหร่าย และแป้ง เป็นต้น
2. ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เลน และดินเหนียว เป็นต้น

คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

1. มีความเหนียวมากเพียงพอในการเป็นตัวประสาน
2. สามารถเผาไหม้หรือลุกติดไฟได้ดี และไม่ทำให้เกิดควัน
3. เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนหรืออ่อนตัวเกินไป
4. เสียค่าใช้จ่ายน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

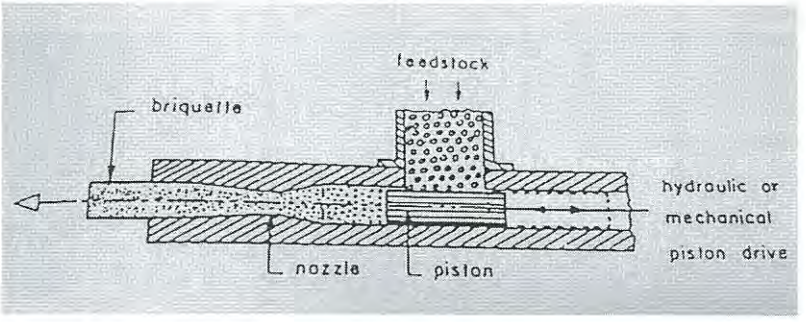
แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่นิยมใช้โดยทั่วไป เป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลังประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดรวมตัวกัน แต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก และผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้งอีกด้านแบบไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน ในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้ง (โสภิตา และคณะ, 2542)

2.5.5 เครื่องอัดแท่ง (Karchesy and Koch, 1979)

เครื่องอัดแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ

2.5.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press)

ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocating piston) เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่องป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered die) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical chock) หรือรูปเรียว จะทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ (ทองทิพย์, 2542)



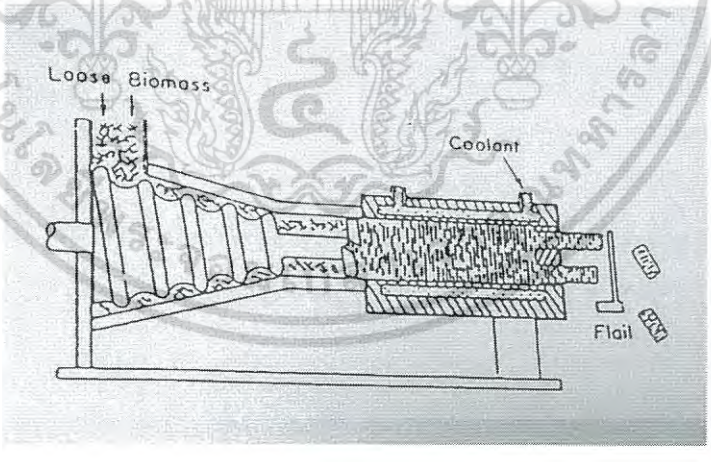
รูปที่ 2.7 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Karchesy and Koch, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press)

ในเครื่องอัดแบบเกลียว วัตถุดิบที่ใช้อัดจากช่องป้อน (Feed hopper) ถูกส่งผ่านและอัดด้วยเกลียว แบ่งเครื่องอัดแบบนี้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

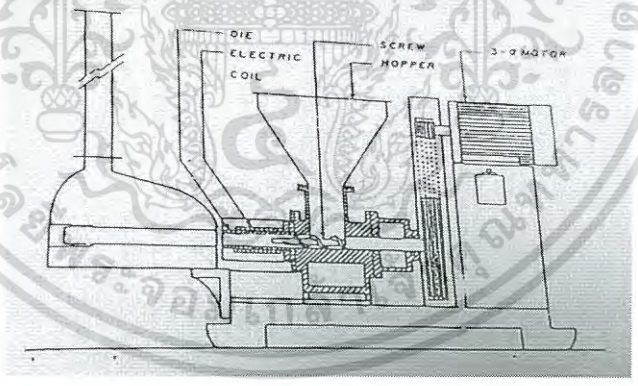
1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press) มีหลักการทำงานคือเกรียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพ้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลิกนินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8-10 (ทองทิพย์, 2542)



รูปที่ 2.8 เครื่องอัดแบบเกลียว (Karchesy and Koch, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 (ทองทิพย์, 2542)

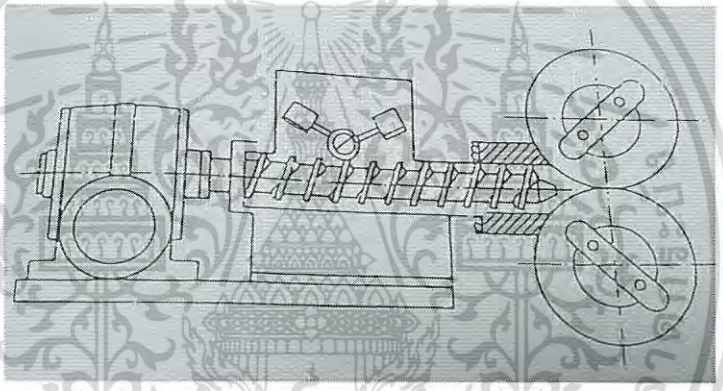


รูปที่ 2.9 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Karchesy and Koch, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press)

เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งนี้ มีหลักการทำงานโดยจะเริ่มทำงานอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแท่นอัด (Pilloe-shaped briquetted) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น และแท่งอัดที่ได้มีความทนทานน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่นเนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลายลินิน ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จดีจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วย ที่ทำให้วัสดุเกาะติดกันดี (ทองทิพย์, 2542)

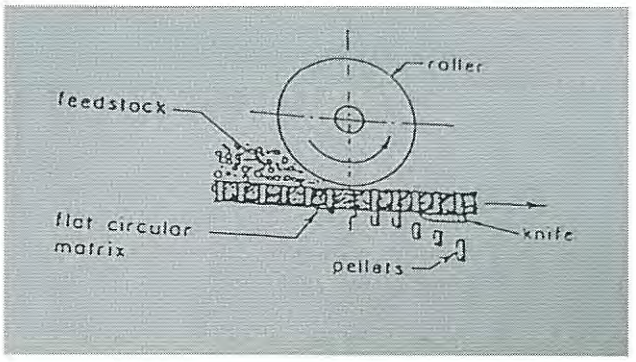


รูปที่ 2.10 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Karchesy and Koch, 1979)

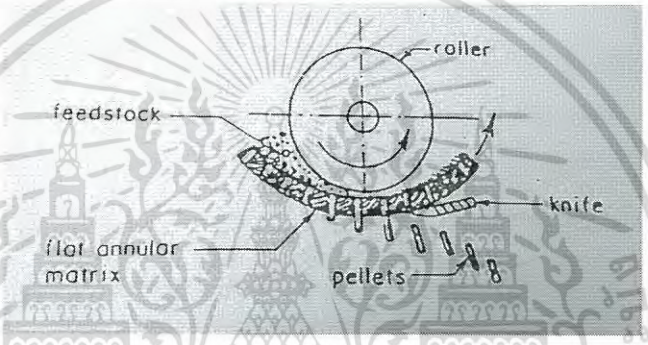
2.5.5.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Pellitizing press)

เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงอัดระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรูซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk matrix press) และเครื่องอัดแม่พิมพ์วงแหวน (Ring matrix press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดให้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะใช้การอัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ด (ทองทิพย์, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Karchesy and Koch, 1979)



รูปที่ 2.12 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Karchesy and Koch, 1979)

จากการศึกษาการอัดเชื้อเพลิงแบบเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆด้วยเครื่องจักรที่ทางโครงการ วิจัยพืชเพื่อพลังงานทดแทนและอุตสาหกรรมประดิษฐ์ขึ้นเอง พบว่าผักยาง โสน สนปฏิพัทธ์ (ใบ) และยูคาลิปตัส (ใบ) ให้ค่าความร้อน 3,546.35, 4,15.69 และ 4,563.50cal/g ตามลำดับซึ่งฟืนและถ่านไม้นนทรีให้ค่าความร้อน 4,314.74 และ 7,003.22 cal/g ตามลำดับแต่เมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเตาหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงสีเขียว (เตาโลหะ) โดยใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเพเลทมีค่าสูงกว่าฟืนและถ่านไม้นนทรี (เริงศักดิ์, 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตากหรือการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยเฉพาะการอัดเย็น จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความชื้นสูง ดังนั้นการตากจึงมีความจำเป็น การตาก หรือการอบทำได้หลายวิธี เช่น

1. การตากแดดโดยตรง
2. การตากในตู้อบแสงแดด
3. การอบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
4. การอบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
5. การอบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน หรือตู้อบไฟฟ้า

การเก็บรักษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง ควรเก็บในที่แห้ง ไม่ให้ถูกน้ำ ถ้าเปียกชื้นอาจทำให้แท่งเชื้อเพลิงขึ้นราได้ และถ้าเปียกมาก ๆ จะสลายตัวและไม่เป็นแท่ง

2.6 กระบวนการไพโรไลซิส (Antal, 1982)

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนในการเปลี่ยนโครงสร้างของแข็งให้เป็นก๊าซด้วยการเผาไหม้ของของแข็งที่เป็นเชื้อเพลิง เมื่อวัสดุมีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ร้อนก็ผ่านความร้อนเกิดการสลายตัวและแปลงสภาพเป็นก๊าซติดไฟ และเถ้าถ่านกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแตกตัวของสารที่มีมวลโมเลกุลสูง ด้วยกระบวนการทางความร้อนภายใต้สภาวะปราศจากอากาศโดยความร้อนที่ใช้เป็นความร้อนขนาดปานกลางที่อุณหภูมิ 450 – 600 องศาเซลเซียสโดยได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดตามสถานะคือก๊าซของแข็งและของเหลวโดยก๊าซที่ได้ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) จนถึงก๊าซโพรเพน (C_4H_{10}) ส่วนของเหลวที่ได้มีคุณลักษณะทั่วไปคล้ายน้ำมันสำหรับของแข็งที่ได้จากกระบวนการคือถ่าน(Charcoal) ซึ่งเป็นผงของคาร์บอนโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวโดยอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอัตราการให้ความร้อน อัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการและชนิดของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตกระบวนการไพโรไลซิสจะมีด้วยกันทั้งหมด 3 ประเภทโดยยึดถือสภาวะปฏิบัติอัตราเร่งของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเกณฑ์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Slow Pyrolysis หรือไพโรไลซิสแบบช้าคือปฏิบัติการที่เร่งอุณหภูมิที่ไม่เกิน 400 องศาเซลเซียสอย่างช้าโดยมีอัตราการเร่งของอุณหภูมิไม่เกิน 10.0 องศาเซลเซียสต่อนาทีโดยปล่อยสารระเหยให้ทำปฏิกิริยาภายในอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 5 – 30 นาทีโดยรักษาอุณหภูมิอย่างคงที่มีวัตถุประสงค์คือต้องการถ่าน (Charcoal) จากกระบวนการเป็นหลัก ของเหลวและแก๊สจะได้ในปริมาณไม่มาก
2. Fast Pyrolysis หรือไพโรไลซิสแบบเร็วคือปฏิบัติการที่เร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างเร็วเมื่อเทียบกับแบบช้าโดยมีอัตราการเร่งที่นาทีละ 10.0 – 100 องศาเซลเซียสอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์อยู่ระหว่าง 600 – 650 องศาเซลเซียสสารระเหยที่ได้จะต้องปล่อยออกทันทีหรือให้อยู่ในเตาปฏิกรณ์ไม่เกิน 2 – 3 วินาทีและเมื่อก๊าซผ่านออกมาแล้วจะทำการควบแน่นอย่างเร็วเพื่อให้ได้ของเหลวในปริมาณที่สูงที่สุดซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นของเหลวประมาณร้อยละ 50.0 – 60.0 ของแข็งร้อยละ 25.0 – 30.0 และก๊าซประมาณร้อยละ 15.0 – 20.0 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบโดยมีความสัมพันธ์ดังนี้
   - ขนาดของวัตถุดิบต่อการเร่งของอุณหภูมิ
   - การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ไม่ให้สูงเกิน 650 องศาเซลเซียส
   - การปล่อยไอระเหยให้ออกจากเตาปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องไม่ให้ติดขัด
   - การควบแน่นไอระเหยอย่างรวดเร็ว
3. Flash Pyrolysis หรือไพโรไลซิสชนิดเร็วมากคือการปฏิบัติที่ให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตราการเร่งที่วินาทีละตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปอุณหภูมิภายในเตาจะสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียสผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซเชื้อเพลิง

2.7 ถ่านอัดแท่ง (Charcoal briqueete)

จากการศึกษาถ่านที่ทำมาจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือแท่งเชื้อเพลิงที่นำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยอาศัยความร้อนจากเปลวไฟในสภาวะที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน(กระบวนการไพโรไลซิส)ที่เป็นตัวทำให้เกิดการเผาไหม้ การลุกติดไฟ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งความชื้นและสารต่างๆในเชื้อเพลิงอัดแท่ง เกิดการระเหยและสลายตัวออกไปจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งจะเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ส่วนที่เป็นคาร์บอน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้หลังจากการนำไปเผาจึงเปลี่ยนเป็นสีดำ เรียกว่า ถ่านอัดแท่ง โดยสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้ และสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานไม่มีปัญหาจากการรบกวนที่มาจากแมลงสามารถนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในด้านต่างๆรวมทั้งมีคุณสมบัติพิเศษในการใช้งานอื่นๆได้อย่างหลากหลายเมื่อมีการเผาด้วยอุณหภูมิสูง โดยถ่านอัดแท่งที่ดีนั้นจะมีลักษณะภายนอกที่มีความแข็งและแตกหักยาก เมื่อใช้งานจะไม่มีควัน

รูปที่ 2.13 ถ่านอัดแท่ง (Fitzgerald, 1980)

2.7.1 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง (Fitzgerald, 1980)

การวิเคราะห์คุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางด้านเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ

2.7.1.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี

1. การวิเคราะห์โดยการประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์แบบง่ายๆ โดยการเผาเชื้อเพลิงภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของเชื้อเพลิงได้แก่

   - ความชื้น (Moisture content) คือปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดงลง และจะทำให้จุดติดไฟยาก ความชื้นที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 10 (Mishra and Grover, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ปริมาณเถ้า (Ash content) คือส่วนสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ภายในเตาเผา เช่น SiO_2,NaO_2และ K_2O โดยส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณเถ้าที่ต่ำ ยกเว้นแกลบที่มีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 20 (Mishra and Grover, 1996)

-สารระเหย (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งได้เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

-คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ส่วนของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากที่ระเหยสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 °C

-ค่าความร้อน (Calorific value or Heating value) ค่าความร้อนในการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2. การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของเชื้อเพลิง โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ %C, %N, %O, %S และ %Si เป็นต้น การวิเคราะห์แบบนี้ต้องใช้เทคนิคขั้นสูงในการวิเคราะห์

2.7.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

เป็นการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วน เป็นต้น

คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งนั้นให้ความร้อนสูง เนื่องจากเป็นถ่านที่ได้รับการเผาไหม้เต็มที่ปลอดภัยไม่มีสารตกค้างและไม่ทำลายสุขภาพ เพราะถ่านได้ถูกเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิเกิน 800 องศาเซลเซียสทนนาน สามารถใช้ได้นานกว่าถ่านไม้ธรรมดาถึง 2.5 - 3 เท่าประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะใช้ได้นาน ไม่แตกและไม่ดับเมื่อติดแล้วไม่แตกประทุ อย่างถ่านไม้ทั่วไปไม่มีควัน เนื่องจากความชื้นน้อยมากไม่มีกลิ่น เพราะผลิตจากวัสดุธรรมชาติ 100 % ไม่ผสมสารเคมีใดๆไม่ดับกลางคัน แม้ว่าจะใช้ในที่ที่อากาศถ่ายเทน้อยทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนถ่านบ่อยๆให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ ไม่วูบวาบเนื่องจากความหนาแน่นของถ่านเท่ากันทุกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง

การเก็บรักษาถ่านอัดแท่ง ควรเก็บในที่แห้ง ไม่ให้ถูกน้ำ ถ้าเปียกจะชื้นจะทำให้มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง คือถ้าถ่านอัดแท่งมีความชื้นสูง จะส่งผลให้มีค่าความร้อนต่ำ (Reed and Bryant, 1980)

2.7.3 ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ถ่านอัดแท่งที่นิยมใช้ในปัจจุบันและมีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่

- ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว เป็นถ่านที่ผลิตด้วยวิธีการอัดแบบเย็น โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับตัวประสาน
- ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีการอัดแบบเย็น โดยใช้ไม้ยางพารามาอัดเป็นถ่านอัดแท่งผสมกับตัวประสาน
- ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีการอัดแบบร้อนโดยใช้ขี้เลื่อยซึ่งนำมาจากโรงเลื่อยไม้ แล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง
- ถ่านอัดแท่งจากแกลบ เป็นถ่านที่ผ่านการอัดแบบร้อน โดยใช้แกลบที่อัดแท่งแล้วแล้วนำไปเผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง

2.8 มาตรฐานถ่านอัดแท่ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์มก. – ธ.ก.ส.ถ่านอัดแท่ง

1) ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์มก. – ธ.ก.ส. นี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านเม็ดหรือผงมาอัดเป็นแท่งหรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

2) บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์มก. – ธ.ก.ส. มีดังต่อไปนี้

2.1) ถ่านอัดแท่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่านอาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ด แล้วอัดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งตามรูปทรงที่ต้องการหรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน

2.2) ค่าความร้อนหมายถึงพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรี่ต่อกรัม

3) คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1) ลักษณะทั่วไปในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกันขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอไม่เปราะอาจแตกหักได้บ้าง

3.2) การใช้งานเมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควัน และกลิ่น

3.3) ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก

3.4) ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,500 แคลอรีต่อกรัม

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุชิตกิจสวัสดิ (2543) ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ของยางพารา โดยงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพาราและเปลือกนอกของเมล็ดยางพาราที่ให้ค่าพลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดทำการทดลอง โดยนำถ่านจากไม้ยางพารามาผสมกับถ่านจากเปลือกนอกของเมล็ดยางพาราในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือ ถ่านที่ใช้น้ำแป้งสุกเป็นตัวประสาน (A1 – A11) และถ่านที่ใช้ดินเหนียวละลายน้ำเป็นตัวประสาน (B1 – B11) เมื่อนำไปหาค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ พบว่าถ่านสูตร A1 (ไม้ยางพารา) และถ่านสูตร B11 (เปลือกนอกของเมล็ดยางพารา) มีค่าพลังงานความร้อนมากที่สุดและน้อยที่สุด คือ 4666.66 และ 3119.12 cal/g ตามลำดับ

รุ่งโรจน์พุทธีสกุล (2553) ได้ทำการศึกษาและวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง ผู้วิจัยได้ทำการทดลองนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมและอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้ถ่านอัดแท่งพบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 195 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงสัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547)

สังเวย เสวกวิหารี (2555) ได้ทำการศึกษาเรื่องศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกมังคุดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดซึ่งได้พลังงานความร้อนเท่ากับ 5920 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูงเมื่อเทียบกับคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก-. ธ.ก.ส. ถ่านอัดแท่งกำหนดค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,500 แคลอรี่ต่อกรัมจึงจัดได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีศักยภาพด้านพลังงานสูงเหมาะสำหรับใช้งานหุงต้มในครัวเรือน

สังเวยเสวกวิหารีและคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยนำวัสดุเหลือทิ้งเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้ฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ โดยมีกาวแป้งเปียกเป็นตัวประสานผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ พบว่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาเผาด้วยเตาเผาแบบอังโล่เตาเผาแบบอุณหภูมิสูงและเตาเผาแบบแผ่นเหล็กได้ถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คงรูปร่างลักษณะเดิมนำมาเข้าเครื่องบดละเอียดได้เป็นผงถ่านผสมผงถ่านกับแป้งมันในอัตราส่วน 5 : 1 (โดยละลายแป้งมันในน้ำร้อน 1 ลิตรจนเป็นกาวแป้งเปียก) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันนำมาเข้าเครื่องอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือได้แท่งเชื้อเพลิงคงรูปไม่แตกหัก เมื่อนำไปตากแดดจนแห้งสนิทแล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงพบว่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้

อภิรักษ์และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาและวิจัยถึงการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากชีวมวลโดยอาศัยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดเย็นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน วัตถุดิบหลักที่ใช้ได้แก่ขี้เถ้าแกลบได้จากการเผาแกลบในกระบวนการอบข้าวเปลือกในโรงสีข้าวโดยการนำมาบดผสมกับผงถ่านซังข้าวโพดและผงถ่านกะลามะพร้าว มีอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแป้งมันจะนำไปผสมกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80-85 °C โดยมีสัดส่วนการผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบกับ 1:10 จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นความต้านทานแรงกดจะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของผงซังข้าวโพดและผลกะลามะพร้าวที่เปลี่ยนแปลงแต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก พบว่ามีค่าความร้อนเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6,048 - 6,943 kcal/kg ค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 5.7 - 5.83%

นพพรสุดใจธรรม (2546) ได้ทำการศึกษาเรื่องเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ โดยใช้เครื่องอัดเย็นและมีตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัย 3 ชนิด คือ ผักตบชวาหมัก เศษมันสำปะหลังและแป้งเปียก จากผลการทดลองพบว่ากากกาแฟมีค่าความร้อน 6,038 kcal/kg (25.28 Mj/kg) ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟืน (4,436 kcal/kg) แต่ต่ำกว่าถ่านไม้เบญจพรรณ (6,552 kcal/kg) เมื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมผักตบชวาหมักเศษมันสำปะหลังหรือแป้งเปียกจะมีค่าความร้อนลดลงเหลือ 4 ,700-5,700 kcal/kg ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสานและมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.5 -0.9 g/cm^{3}ซึ่งจะมีค่าลดลงดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟจึงมีความเหมาะสมในการผลิตเพื่อใช้งานโดยเฉพาะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการอุตสาหกรรมตลอดจนการใช้งานในระดับครัวเรือนนอกจากนี้การนำกากกาแฟมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งยังเป็นการลดปริมาณกากกาแฟซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนอุตสาหกรรมที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

ทองม้วน นาเสงี่ยม (2524) ได้ทำการศึกษาและวิจัยการทำถ่านจากใบฉำฉา โดยนำใบฉำฉาแห้งไปเผาให้เป็นถ่าน แล้วจึงนำถ่านใบฉำฉาไปคลุกกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 6 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอัดในกระบอกโลหะ ด้วยความดัน 115.1 kg/cm^{2}เมื่อนำไปทดสอบพบว่าถ่านใบฉำฉามีคุณภาพต่ำ

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว (2530) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากวัสดุเกษตร 3 ชนิด คือ กากอ้อย แกลบ และซังข้าวโพดโดยผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเป็นตัวประสานแล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 Hp เมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืน คือให้ค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยนประมาณ 4000 cal/g แต่ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศ ซึ่งให้ค่าความร้อน 7,390 cal/g

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศศดร (2532) ได้ทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัสท์ แป้งเปียก ขี้ผึ้ง ปูนขาว พบว่าโมลาสและแอสฟัสท์เป็นตัวประสานที่ไม่ดี ส่วนการอัดแกลบกับขี้ผึ้ง และแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

ธีรพจน์ พุทธิกีกฎวีวงศ์ (2549) ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิง โดยนำเอาต้นถั่วเหลืองไปเผาให้เป็นถ่านมาบด อัดเป็นแท่ง และใช้มันสำปะหลังสดเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนตัวประสานต่อถ่านที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อน 21.30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสประมาณร้อยละ 26 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรและสารระเหยน้อยกว่าแต่มีปริมาณเถ้ามากกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านอัดแท่งจากถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนและทดแทนการใช้ฟืนและถ่านได้

ทองทิพย์ พูลเกษม (2542) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด การทดลองได้นำเปลือกทุเรียน 2 พันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี ที่มีความชื้นร้อยละ 75 – 80 สับเป็นชิ้นเล็กๆตากแดดให้เหลือความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 45 จากนั้นนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น 2 วิธี คือ อัดโดยใช้ตัวประสาน (น้ำ หมักชีวภาพและโมลาส) และอัดโดยไม่ใช้ตัวประสาน ผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบอัดโดยใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานให้ค่าความร้อน ประมาณ 3,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น คือ 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาภาวดี เบ็ญจมธารกุล (2545) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งได้มีการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนน้ำเสียโดยการหมักและเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมกับแกลบ และนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาเผาเป็นถ่าน ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการวิจับพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่งกากตะกอนของเสียจากโรงงานผงชูรสและโรงงานนมอยู่ที่ 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยปริมาณ ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีและใช้เวลาน้อย จากการนำตะกอนทั้ง 3 โรงงานหลังจากหมักแล้ว ประสิทธิภาพการให้พลังงานความร้อนของกากตะกอนของเสียจากโรงงานผงชูรสและโรงงานนมต่ำลง จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการอัดแท่ง ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจะแปลผลตามเวลาซึ่งขึ้นกับความชื้นของอัตราส่วนผสม จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเนื่องจากมีการแตกร่วนน้อย คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเผาให้เป็นถ่าน พบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานและการให้พลังงานแก่น้ำดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่เผาเป็นถ่าน

Wayne (1999) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝ้ายผสมเปลือก Pecan (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษพบว่าเชื้อเพลิงจากฝ้ายผสมเปลือก Pecan มีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ

Ooi and Siddiqui (2000) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลต่างๆ เช่น แกลบ เปลือกถั่วลิสง ใยมะพร้าว และเส้นใยปาล์ม โดยศึกษาถึงความแข็งและคุณสบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

Ndiema, C.K.W. *et.al* (2001) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม โดยพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิง (ความยาวและความพรุน) นอกจากนี้ยังศึกษาความดันในการอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิงลดงลงเนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความดัน ไม่มีผลต่อขนาดความยาวของแท่งเชื้อเพลิง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaman, S. *et.al.* (2002) ได้ทดลองอัดแท่ง olive refuse และของเสียจากโรงงานกระดาษโดยบดย่อยวัตถุดิบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ก่อนอัดด้วยระบบไฮโดรลิคที่ความดันในช่วง 150-250 MPa ได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก olive refuse มีความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน %C %H และ %N เท่ากับ 7.5%, 5.0%, 67.5% cal/g, 30.0%, 4.8%และ 1.5% ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียจากโรงงานกระดาษเท่ากับ 9%, 15.5%, 65.55%, 3,224 cal/g, 35.2%, 4.9% และ0.2 %

Husain, Z. *et.al.* (2002) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์ม โดยอัดแท่งที่มีความดันระหว่าง 5-13.5 MPa ด้วยระบบไฮดรอลิก (hydraulic press) ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40, 50 และ 60 มิลลิเมตร และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ 1,200kg/m^2 มีค่าความร้อน 3,917 cal/g ปริมาณเถ้า 6% และค่าความชื้น 12%

ชัดชนกและคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านแกลบ ซึ่งในการศึกษาผลของวัตถุดิบแกลบ ตัวอย่างที่ใช้ ได้แก่ถ่านแกลบที่ไม่บด ถ่านแกลบบด 2 ครั้ง และถ่านแกลบบด 10 ครั้ง ผลการวิเคราะห์ความคงตัวของเถ้าพบว่า ขนาดของวัตถุแกลบที่เล็กลงจะทำให้ความคงตัวของเถ้ามากขึ้น การวิเคราะห์คุณสมบัติอื่นๆพบว่า ขนาดของวัตถุดิบแกลบที่เล็กลงจะทำให้คุณสมบัติโดยรวมของถ่านแย่ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. แกลบจากข้าวหอมมะลิ (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
2. เปลือกกล้วยน้ำว้า (ร้านขายกล้วยแขกบริเวณโรงอาหารใหม่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
2. เตาเผา (Muffle Furnace), Type 6000,Thermolyne, ประเทศ เยอรมัน
3. เครื่องอบแบบลมร้อน (OvenIncubator), UN55, Memmert, ประเทศจีน
4. เครื่อง (Bomb Calorimeter),C 2000 Basic, IKA, ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องวัดแรงอัด (Materials Testing Machine), LR5K Plus, LLOYD, ประเทศอังกฤษ
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (MS-TS Analytical Balances),MS204TS, Mettler Toledo, ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์
7. เครื่องดูดความชื้น (Desiccator)
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก (หน่วยเป็นกิโลกรัม)
9. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
10. ตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol burner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วย นำตัวอย่างเปลือกกล้วยที่เหลือใช้จากการนำไปบริโภคจากร้านขายกล้วยแขกบริเวณโรงอาหารใหม่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใส่ถุงพลาสติก มัดปากถุงจนแน่น แล้วขนส่งกลับมายังห้องทดลอง

รูปที่ 3.1 เปลือกกล้วยที่ตากแดดไล่ความชื้นแล้ว 3-5 วัน

นำไปตากแดดไล่ความชื้น 3-5 วันจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดแบบหยาบให้มีขนาดเล็กลง โดยให้มีขนาดไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร เก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแกลบ นำตัวอย่างแกลบที่เหลือใช้จากโรงสีข้าวในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดามาใส่ถุงพลาสติก มัดปากถุงจนแน่น แล้วขนส่งกลับมายังห้องทดลอง

รูปที่ 3.2 แกลบที่ตากแดดไล่ความชื้นแล้ว 3-5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปตากแดดไล่ความชื้น 3-5 วัน เก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบร้อน

ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำได้โดยการนำส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบ กล้วย : แกลบ ในอัตราส่วน 10:0 7:3 5:5 3:7 0:10 โดยน้ำหนัก มาเข้าเครื่องอัดแบบร้อนในสภาวะที่กำหนดไว้ดังนี้

วัตถุดิบ = เปลือกกล้วย(จากข้อ 3.2.1.1)

เครื่องอัดแท่ง = แบบเกลียวมีการให้ความร้อน (Screw Press)

มอเตอร์ขับ = ไฟฟ้า 3 phaseมอเตอร์กำลัง 10แรงม้า

อุณหภูมิของ = อุณหภูมิอยู่ในช่วง 250-300 °C

เครื่องทำความร้อน = เป็นการให้ความร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบ

แรงดันไฟฟ้า = ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 200-220 V 50 Hz

วิธีการอัดแท่งทำโดยนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ เข้าเครื่องอัดแท่งแบบใช้ความร้อน จากนั้นเกลียวที่หมุนด้วยมอเตอร์กำลัง 10 แรงม้า จะบีบอัดแกลบและเปลือกกล้วยเข้าไปยังกระบอกที่ร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 250-300 °C จากนั้นวัตถุดิบจะถูกดันออกมาอย่างต่อเนื่องทางรางที่รองรับไว้ที่ปลายกระบอกอัดอีกข้างหนึ่ง จะได้แท่งเชื้อเพลิง จากนั้นนำไปวัดขนาดที่ได้

3.2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง

วัตถุดิบ = เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน กล้วย: แกลบ 10:0 7:3 5:5 3:7 0:10 โดยน้ำหนัก

นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปได้ใน ข้อ 3.2.2 มาให้ความร้อนด้วยเตาเผา Furnance ที่อุณหภูมิ 500-550 °C เป็นเวลา 45-60 นาที นำเชื้อเพลิงออกมาแล้วใช้ทรายกลบจบมิด เพื่อไม่ให้มีอากาศจากภายนอกเข้าไปด้านในจนเกิดปฏิกิริยาไพโรไรซิส ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

นำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้จากวิธีอัดแบบร้อนมาศึกษาหาคุณสมบัติทั่วไป ขั้นพื้นฐานที่สำคัญของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน มีดังนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่ง (ภาคผนวก ก) ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176
- ค่าความร้อน (Heating value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015
- ความคงตัวของเถ้า
- เวลาในการจุดติดไฟ
- การทนแรงอัด (Compressive Strength) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621
- เวลาในการติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

นำเปลือกกล้วยที่ผ่านการไล่ความชื้นและบดมาผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆดังนี้คือ 10:0 7:3 5:5 3:7 และ 0:10 มาขึ้นรูปโดยวิธีการอัดร้อน ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ

คุณสมบัติ	สัดส่วนเปลือกกล้วย : แกลบ				
	10:0	7:3	5:5	3:7	0:10
ความยาว (cm)	29.3±0.35	31.0±0.45	25.0±0.25	35.4±0.21	45.5±0.26
เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	6.1±0.10	5.5±0.06	7.2±0.06	6.0±0.10	5.5±0.10
ความเป็นแท่งของถ่านหลังเผา	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง

(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.1 ลักษณะก่อนเผาของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ (ก)สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 10:0 (ข) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 7:3 (ค) สัดส่วนเปลือกกล้วย: แกลบ 5:5 (ง) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 3:7 (จ) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 0:10

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถอัดให้เป็นแท่งด้วยความร้อนได้ทุกอัตราส่วน แต่อัตราส่วนที่เปลือกกล้วยมากจะทำให้เป็นแท่งไม่สวยงาม เพราะ ความชื้นของวัสดุมีค่ามากเกินไป ไอน้ำที่ปะทุทำให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนสอดคล้องกับพุฒินันท์(2548)ที่ได้ทำการทดลองไว้ และอุณหภูมิที่ให้ในระหว่างอัดร้อนมีค่าไม่สม่ำเสมอเพราะในระหว่างการอัดได้ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการขึ้นรูปด้วยความร้อน จึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไม่เป็นรูปสวยงาม สอดคล้องกับดวงดีการเกษตร(2551) ที่กล่าวไว้ว่า ถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ผิวหน้าของแท่งฟืนไหม้เกรียม การเกาะตัวกันของแกลบไม่เป็นเนื้อแน่นดีเท่าที่ควร และถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิ ต่ำ ความแข็งของแท่งฟื้นที่ได้ก็จะต่ำด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่ง

เมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งในสัดส่วนต่างๆมาทำการผ่านกระบวนการไพโรไรซิส เพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง พบว่าลักษณะของถ่านอัดแท่งที่ได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆหลังนำไปเผาเป็นถ่าน

คุณสมบัติ	สัดส่วนเปลือกกล้วย : แกลบ				
	10:0	7:3	5:5	3:7	0:10
ความเป็นแท่งของถ่านหลังเผา	ไม่เป็นแท่ง	ไม่เป็นแท่ง	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง	เป็นแท่ง
น้ำหนักที่หายไปหลังเผา (ร้อยละ)	N/A	N/A	38.02±0.14	31.17±0.15	30.43±0.11
ความยาว(cm)	N/A	N/A	24.3±0.25	35.3±0.36	45.8±0.31
เส้นผ่าศูนย์กลาง(cm)	N/A	N/A	6.8±0.10	6.1±0.10	5.3±0.06

หมายเหตุ*N/Aคือ ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากไม่เป็นถ่าน

(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.2 ลักษณะหลังเผาของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ (ก) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 7:3 (ข) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 5:5 (ค) สัดส่วนเปลือกกล้วย: แกลบ 3:7 (ง) สัดส่วนเปลือกกล้วย:แกลบ 0:10

จากผลการทดลอง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งในสัดส่วน เปลือกกล้วย:แกลบ 10:0 และ 7:3 เมื่อนำมาเผาให้เป็นถ่านอัดแท่งจะไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนอีกต่อไป เนื่องจากปริมาณกล้วยที่มากเกินไปไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้เมื่อนำไปเผา เพราะ กล้วยไม่มีความสามารถในการเป็นตัวผสานในตัวซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสัมฤทธิ์ และคณะ (2548) ที่ไม่พบคุณสมบัติในการจับตัวเป้นก้อนของกล้วย มีน้ำหนักหายไปมากที่อัตราส่วน 5:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติทั่วไปและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อได้ถ่านอัดแท่งแล้วก็นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปและกายภาพ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ

คุณสมบัติ	สัดส่วนเปลือกกล้วย : แกลบ			ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด	คุณสมบัติที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง*
	5:5	3:7	0:10		
ความชื้น (ร้อยละ)	2.52±0.42	1.68±0.16	0.43±0.08	5.95±0.14	< 10
เถ้า(ร้อยละ)	6.84±0.27	10.41±0.25	13.26±0.35	7.83±0.31	< 8
สารระเหย (ร้อยละ)	9.42±0.13	10.80±0.30	12.35±0.23	15.06±0.14	< 25
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	81.23±0.78	77.10±0.52	73.96±0.42	71.15±0.43	> 75
ค่าความร้อน (Cal/g)	5,032±19.08	5,099±15.52	4,820±3.00	6,052±8.54	> 5,000

*พุฒินันท์ 2546 ; มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ โดยความชื้นและสารระเหยอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานทุกอัตราส่วน ส่วนปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วน ผลการเปรียบคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด พบว่าปริมาณเถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของถ่านที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆมีค่าน้อยกว่าถ่านตามท้องตลาด

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ

คุณสมบัติ	สัดส่วนเปลือกกล้วย : แกลบ			ถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด
	5:5	3:7	0:10	
ความคงตัวของเถ้า	ไม่คงตัว (+++)	ไม่คงตัว (++)	ไม่คงตัว (+)	ไม่คงตัว (+)
ระยะเวลาจุดติดไฟ (นาที)	3.08±0.09	2.47±0.21	2.20±0.04	1.45±0.02
การทนแรงอัด (kg/cm2)	35.85±0.26	36.65±0.22	37.44±0.28	40.24±0.13
ลักษณะของถ่าน	ผิวขรุขระ	ผิวขรุขระ	ผิวเรียบ	ผิวเรียบ
ระยะเวลาที่ติดไฟ (ชั่วโมง)	1.50±0.03	1.62±0.05	1.77±0.02	1.85±0.02

*+ หมายถึง ระดับความคงตัว

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ เป็นขี้เถ้าไม่คงตัวทุกอัตราส่วน เมื่อถ่านอัดแท่งมีอัตราส่วนของเปลือกกล้วยในปริมาณมากค่าการคงตัวของเถ้าจะมีค่าลดลง มีค่าการทนแรงอัดที่ใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน ในถ่านอัดแท่งที่มีเปลือกกล้วยเป็นส่วนผสมในปริมาณมากระยะเวลาจุดติดไฟจะมีค่ามากขึ้น ลักษณะถ่านอัดแท่งที่มีเปลือกกล้วยเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะผิวที่ขรุขระ ถ่านอัดแท่งที่มีเปลือกกล้วยเป็นส่วนผสมปริมาณมากระยะเวลาติดไฟจะลดลง ผลการเปรียบคุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกลบในอัตราส่วนต่างๆมีระยะเวลาการจุดติดไฟที่มากกว่าถ่านอัดแท่งตามท้องตลาด และถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบในอัตราส่วนต่างๆมีค่าการทนแรงอัดที่น้อยกว่าถ่านอัดแท่งตามท้องตลาดเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oni and Siddiqui (2001) ที่กล่าวไว้ว่าแกลบมีคุณสมบัติในการทนแรงอัดที่ดีและมีผิวที่เรียบกว่าถ่านอัดแท่งจากวัตถุดิบต่างๆที่ผสมกับแกลบ

4.4 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ กับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ กับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาดแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข. ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ กับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาดแสดงดังตารางที่4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบกับถ่านที่ขายตามท้องตลาด

ถ่านอัดแท่งจากวัสดุต่างๆ	ค่าพลังงานความร้อน (cal/g)*	ราคา(บาท/กิโลกรัม)**
1.ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว	≈7,159	8.00
2.ถ่านอัดแท่งจากไม้โกงกาง	≈7,500	9.00
3.ถ่านอัดแท่งจากไม้กระถินณรงค์	≈7,890	16.00
4.ถ่านอัดแท่งจากไม้สนประดิพัทธ์	≈7,890	15.00
5.ถ่านอัดแท่งจากไม้สะแก	≈6,900	7.50
6.ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบ	≈5,050	6.06

*ที่มา วนิดา (2548)

**ที่มา ถ่านอัดแท่ง และการขายถ่านของผู้ประกอบการ (โชคจิระ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต พบว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบในอัตราส่วนต่างๆจะมีราคาต่ำกว่าถ่านอัดแท่งตามท้องตลาดเล็กน้อย แม้ว่าราคาถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบในอัตราส่วนต่างๆจะมีราคาถูกว่าถ่านอัดแท่งตามท้องตลาด แต่เนื่องด้วยค่าความร้อนที่น้อยกว่าถ่านตามท้องตลาด และ ลักษณะของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบในอัตราส่วนต่างๆนั้นมีรูปร่างไม่สวยงาม จึงไม่น่าเป็นที่พึงพอใจต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการและข้อเสนอแนะทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการขึ้นรูปเชื้อเพลงอัดแท่งโดยใช้เปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทุกอัตราส่วน เมื่อนำไปเผาเพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง พบว่าอัตราส่วนของ เปลือกกล้วย:แกลบ ที่สามารถใช้เป็นถ่านอัดแท่งได้ก็คือ 3:7 และ 5:5 โดยรูปร่างของถ่านอัดแท่งที่ได้นั้นไม่สวยงามเหมือนถ่านอัดแท่งตามท้องตลาด

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน เปลือกกล้วย:แกลบ 3:7 พบว่ามีค่าความชื้นเท่ากับ 1.68%, สารระเหย 10.80%, คาร์บอนคงตัว 77.10% และค่าความร้อน 5,099 cal/g สำหรับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน เปลือกกล้วย:แกลบ 5:5 พบว่ามีค่าความชื้นเท่ากับ 2.52%, เถ้า 6.84%, สารระเหย 9.42%, คาร์บอนคงตัว 81.23% และค่าความร้อน 5,032 cal/g ซึ่งทั้งสองสัดส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานของคุณสมบัติที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง แต่มีปริมาณเถ้า 10.41% ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตราฐานตามคุณสมบัติที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่งเล็กน้อย และมีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ที่อัตราส่วน เปลือกกล้วย:แกลบ 3:7 และ 5:5 มีความคงตัวของเถ้าในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับแกลบ 100% ถ่านที่มีเปลือกกล้วยเป็นส่วนผสมมากจะทำให้จุดติดไฟได้ยากและระยะเวลาในการติดไฟจะลดลง มีค่าการทนแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมแกลบในอัตราส่วนต่างๆมีค่าการทนแรงอัดน้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ลักษณะของผิวถ่านอัดแท่งที่มีเปลือกกล้วยเป็นส่วนผสม จะมีความขรุขระไม่สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบในอัตราส่วนต่างๆกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ต้นทุนการผลิตมีค่า 6.06 บาท ซึ่งน้อยกว่าถ่านอัดแท่งตามท้องตลาดเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการผลิตถ่านด้วยวิธีการผลิตแบบอื่น เช่น การอัดแบบเย็น
2. ศึกษาการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง รูปทรงต่างๆ เช่น อัดเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยม อัดเป็นเม็ด อัดเป็นรูปทรงแบบรังผึ้ง เป็นต้น
3. ควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดร้อนให้มีค่าความร้อนในการอัดให้คงที่
4. ปรับปรุงคุณภาพถ่านให้มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มวัสดุอื่นที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงลงไป
5. ศึกษาหาค่าความชื้นเริ่มต้นของเปลือกกล้วยก่อนทำการขึ้นรูปอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรกต พิมทะวงศ์. 2547. **พลังงานชีวมวล.** วารสารวิชาการราชภัฏอุตรดิตถ์. 105 หน้า.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2546. **การศึกษาพลังงานทดแทน.** [online]. Available : http://www.dede.go.th สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2559.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2552. **พลังงานชีวมวล.** [online]. Available : http://www.dede.go.th_สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2559

[4] กระทรวงพลังงาน. 2552. ***เทคโนโลยีพลังงานชีวมวลและก๊าซชีวภาพ.*** [online]. Available : http://www.energy.go.th/moen/Index.aspx?MenuID=67 สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2559.

[5] กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศศดร. 2532. **การอัดเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี. 115 หน้า.

[6] กัญญา เม้ามีทรัพย์. 2544. **การผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากชีวมวลและกระบวนการ Pyrolysis. วารสารประสิทธิภาพพลังงาน.** 42-48. 90 หน้า.

[7] เกษม จันทร์แก้ว. 2524. **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.เล่ม1.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 90 หน้า.

[8] โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. **เรื่องที่ 6 กล้วยพันธุ์กล้วยในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ. [online].Available : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book /book.php?book=30&chap=6&page=c hap6.htm สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2559.

[9] จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว. 2530. **การศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจาดเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและ กากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนฟืนและถ่าน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 103 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ชัดชนก โชคชัยเจริญ, พิมพ์สิรินทร์ แดงสระน้อย และอาทิตย์ วาณิชอดิศักดิ์. 2545. **ปัจจัยที่มีผลต่อการคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านแกลบ**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 110 หน้า.

[11] ทองม้วน นาเสงี่ยม. 2524. **พลังงานทดแทนจากใบฉำฉา**. รายงานการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูมหาสารคาร. มหาสารคาม: ม.ป.พ. 85 หน้า.

[12] นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529. **อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้**. หน้า10 ใน เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ 22-24 กรกฎาคม 2529. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพลังงาน. 50 หน้า.

[13] พัชฎาภรณ์ เจริญรอย และอรชุมา นุสีวอ. 2545. **การทำแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. มหาสารคาม : ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 115 หน้า.

[14] ระลอง ดำรงไทย. 2547. **แท่งเชื้อเพลิงเขียวทดแทนฟืนและถ่าน**. [online]. Available : http://www.Charcoal.SNMcenter.com สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2559.

[15] รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. 2553. **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง**.กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 181 หน้า.

[16] เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ. 2528. **การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบเพเลทจากพืชบางชนิด**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 102 หน้า.

[17] ลือพงษ์ ลือนาม และสมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช. 2551. **การวิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านกะลามะพร้าวในกระดับเกษตรกร**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคนิดเกษตรคณะเทคโนโลยีการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 95 หน้า.

[18] วนิตา จาดดำ. 2548. **การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว**. วิทยานิพนธ์วท.ม. (เคมีสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 90 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19] ศศิวิมล แสวงผล, สิรภพ วงษ์เนียม, กนกพร อะทะวงษา, ปิยรัษฎ์ เจริญทรัพย์, ต่อศักดิ์ สีลานันท์ และจามร สมณะ. 2550. **กล้วย...เรื่องไม่กล้วย.** โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, กรุงเทพฯ.หน้า 135-139. 150หน้า.

[20] ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2549. **ชีวมวล.**พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:คิวพริ้นท์แมเนจเม้นท์. 150 หน้า.

[21] สมชาย โอสุวรรณ และกัญจนา บุณยเกียรติ. 2525. **การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน** วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีอาหารและเชื้อเพลิง 1. 75-79. 100 หน้า.

[22] สมบัติบุญกระจ่าง. 2550. **การศึกษาเพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้การเกษตรมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานความร้อน.** กรุงเทพฯ: ม.ป.พ. 90 หน้า.

[23] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยและสิ่งแวดล้อม. 2548. **การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ**.[online]. Available : http://www.Charcoal.SNMcenter.com สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2559.

[24] สังเวย เสวกวิหารี, วันดี มาตสถิต และนิภาพร ปัญญา. 2553.**พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.** การประชุมวิชาการ.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 100 หน้า.

[25] สังเวย เสวกวิหารี. 2555. **การศึกษาเรื่องศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 90 หน้า.

[26] สมัฤทธิ์ โม้พวง, วิจิตร อุดอ้าย, สุรัตน์ บุญผ่อง และ เริงนภรณ์ โม้พวง. 2548. **การผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยและก้านเครือกล้วย.** รายงานวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 150 หน้า.

[27] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2545. **การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย**. วารสารนโยบายพลังงาน. [online]. Available : http://www.eppo.go.th /vrs/VRS55-06-biomass.html สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] สำนักพัฒนาเกษตรกรกรมส่งเสริมการเกษตร 2547. **ผลิตภัณฑ์จากกล้วย.** 52 หน้า.

[29] สุธรรม ปทุมสวัสดิ์. 2546. **วารสารเทคนิคศึกษา.** 16(48) : 37. 50 หน้า.

[30] เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา. 2539. **นิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อมกับการปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์.**พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 120 หน้า.

[31] อภิรักษ์ สวัสดิกิจ, ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์, พิสุทธิ์รัตน แสนวงษ์, จักรพันธ์ กันหา, วรพจน์ พันธ์คง. 2551. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน.** ในการประชุมวิชาการเครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา 17-19 มกราคม 2551 จังหวัดขอนแก่น. 95 หน้า.

[32] อาภาวดีเบ็ญจมธารกุล. 2546. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน.** กรุงเทพฯ: สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 113 หน้า.

[33] Antal, M.J. Jr. Biomass Pyrolysis ; A review of Literature Part 1 Carbohydrate Pyrolysis, **Advances in Solar Energy**. American Solar Energy Society Inc., New York 1982

[34] Aqa,1990. **A study of Densification of Preheated Sawdust**. Master thesis, AIT Thailand.

[35] ASTM. 1992. **Annual Book of ASTM Standard Section 5**. America Society for Testing and Material. America

[36] Best, G. Rome, F. and Christensen, J. 2000. **Role of Biomass in Global Energy Supply**.[Online]. Available : http://www.rice.dk/rispub/energy report/ris-r-1430s8_12pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2559.

[37] Bhattacharya, S.C., Ram M. Sivasakthy, S and Shrestha, S. 1988. **State of the Art for Biocoal Technology**. Biocoal Project, AIT-GTZ. Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[38] Bryand, B. 1985. **Understanding Briquetting**. Volunteers in Technical Assistance (VITA).

[39] Fitzgerald. 1980, O.A, 1980. **Wood waste Magic**. Timer information. American Ingenuity and Enterprise Solve One of the problem of Waste of Natural Resources: No.24 : 50.

[40] Haoxi Ben, Arthur J. Ragauskas. (2013). **Comparison for the compositions of fast and slow pyrolysis oils by NMR characterization**. Bioresource Technology 147. 577–584.

[41] Husain, Z. Zainac, Z. and Abdullah, Z. 2002. Briquetting of Palm Fiber and shell from the Processing of Palm oil. **Biomass & Bioenergy**. 22 : 505-509.

[42] Karchesy, J. and Koch, P. 1979. **Energy Production from Hard Woods Growing on Southern Pine Sites**. General Technical Report SO-24. USDA Forest Service.

[43] Mishra, L.K.and Grover P.D. 1996. **Biomass Briquetting**. Technology and Practices. Bangkok : Food and Agriculture Organization the United Nations Bangkok.

[44] Ndiema, C.K.W. Manga, P.N and Ruttoh, C.R. 2001. Influence of die Pressure on Relaxation Characteristics of Briquetted Biomass. **Energy Conversion and Management**. 43: 2157-2161.

[45] Ooi, C.C. and Siddiqui, K.M. 2000. Characteristic of some Biomass Briquette Prepared under Modest Die Pressures. **Biomass & Bioenergy**. 18 (3) : 233-228.

[46] Reed, T. and Bryant, B. 1978. **Densified Biomass**. A New Form of Solid Fuel. SERI Report 35. The Solar Energy Research Institute, Colorado. U.S.A.

[47] Reed, T. and Bryant, B. and Crepean, P. 1980. **Biomass Densification Energy Requirements**. AXS Symposium Series 130. Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass. America Chemical Society. 169-177.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[48] Rougerie, J.L. 1980. France Patent No. 24716120. Quotes in the Literature Survey Report on Patial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing for ITDG by BEST in March 1987.

[49] Wayne, C. 1999. Using Ccotton Plant Residue to Produce Briquettes. **Biomass & Bioenergy**. 18 : 201-208.

[50] Yaman, S., Sahan, M. Haykiri-acma, H. Seen, K and Kucukbayrak, S. 2002. Production of Flues Briquettes from Olive Refuse and Paper Mill Waste. **Fuel Processing Technology**. 68 : 23-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ

1. วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไป

1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยอบตัวอย่างในตู้ที่มีความร้อนคงที่ใน Drying Oven ที่อุณหภูมิ 104-110 °C เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ : ตู้อบ (Drying Oven) เครื่องดูดความชื้น (Desiccators) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104-110 °C ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ และปิดฝา แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = (A-B)/B \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 °C เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆเพิ่มความร้อนเป็น 700-750 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้าสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณภูมิ 700-750 °C ประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1
3. นำเข้าเตาพร้อมฝาปิด เผาที่อุณหภูมิ 200 °Cนานประมาณ 30 นาที แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 °C เผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = [(A-B)/C]\times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักCrucible พร้อมตัวอย่างหลังเผา (g)

B = น้ำหนัก Crucible เปล่า (g)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace) เครื่องดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝา

วิธีการ :

1. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝา และนำไฟเผาที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ในเครื่องดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณน้ำหนักที่หายไป

$$\text{Weight Loss (\%)} = (A-B)/A \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนเผา (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (g)

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\text{Volatile Matter (\%)} = C-D$$

เมื่อ C = Weight Loss (%)

D = ความชื้น (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176 ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100 -(%ความชื้น + %ปริมาณเถ้า + %ปริมาณสารระเหย)

1.5 การหาค่าความร้อน (Heating value)

ทดลองตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015 โดยนำตัวอย่างของสารเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน Bomb Calorimeterที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอ

เครื่องมือ : Bomb Calorimeter, ถังออกซิเจน, ลวด, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการ :

1. อัดเม็ดตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 0.9 – 1.0 g
2. ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดของตัวอย่างที่อัดได้ใส่ในถ้วยโลหะ
3. ผูกลวดเผาไหม้10 เซนติเมตร ไว้กับเครื่องมือให้แน่น โดยให้ส่วนล่างของเส้นลวดแตะกับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปใน Bomb Calorimeter
5. อัดออกซิเจนใน Bomb Calorimeter ให้มีความดันประมาณ28 – 30 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำลงใน Jacket ประมาณ 2,000 มิลลิลิตร
7. นำ Bomb Calorimeter ที่ใส่ตัวอย่างและออกซิเจนเรียบร้อยแล้วลงไปใน Jacket
8. สังเกตสัญญาณไฟที่ปุ่ม READY เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิเริ่มต้น () โดยกดปุ่ม FIRE เพื่อเป็นการจุดระเบิด
9. อ่านค่าอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที จนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงที่
10. นำ Bomb Calorimeter ออกมา แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนเปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ล้างภายใน Bomb Calorimeter ด้วย wash solution (เตรียมโดยเติม Methyl Orange 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาณเป็น 1 ลิตร) จนน้ำล้างไม่มีสีชมพู เก็บล้างไว้ในบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. วัดความยาวของลวดที่เหลือ บันทึกผล
13. นำน้ำยาที่ได้จากข้อ 11 มาไตเตรทกับสารละลายเข้มข้น 0.0725 นอร์มัล จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{Heating value} = [(\Delta T)(w) - E_1 - E_2 -)]/g$$

เมื่อ ΔT= อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น(T_2-)(°C)

W= พลังงานคงที่ของเครื่อง Calorimeterซึ่งหาได้จากการใช้ Benzoic acid แทนตัวอย่างทดลอง (cal/°C)

E_1 = 1.4 × ml ของสารละลาย เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล (cal)

E_2 = (332 × 2.479 ×) (ความยาวของลวดที่ถูกเผาไหม้) (cal)

E_3 = 4180 × 8.80 × น้ำหนักด้าย (cal)

g = น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (g)

- การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis)

ทดลองโดยใช้เครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 เวลาในการจุดติดไฟและความคงตัวของเถ้า

เครื่องมือและอุปกรณ์ : ตุ้มเหล็ก เตาอั้งโล่ แผ่นสังกะสี และตัวอย่างถ่านอัดแท่ง

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมา 3 แท่ง แบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 50 กรัมโดยอัดให้พื้นผิวหน้าตัดของถ่านเรียบเสมอกันทั้ง 2 ด้าน
2. นำมาเผาในเตาอั้งโล่ที่จุดไฟด้วยฟืนน้ำหนักประมาณ 15 กรัม
3. บันทึกเวลาเมื่อตัวอย่างเริ่มติดไฟ (นาที)
4. รอจนเถ้าเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักเถ้า
5. วางแผ่นสังกะสีลงบนเถ้า
6. วางตุ้มเหล็กลงบนแผ่นสังกะสี โดยเริ่มจากตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนักเบาก่อน แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักของตุ้มเหล็กไปเรื่อยๆ จนเถ้าแตกออก
7. บันทึกน้ำหนักตุ้มเหล็ก

1.7 การทดสอบค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัดโดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30มิลลิลิตร แล้วจัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายให้เรียบ จากนั้นนำไปวางแนวตั้งในเครื่องUniversal Testing Machine (UTM) เพื่อทำการทดสอบต่อไปค่าการทนแรงอัดเป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้ จากการทดลองแรงกดของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\sigma c = F/A$$

เมื่อ σc = การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (kg/mm^2)

F = แรงอัดที่กระทำกับตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ระยะเวลาในการติดไฟ

1. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมา 3 แท่ง แต่ละแท่งหนักประมาณ 100 กรัม
2. นำถ่านตัวอย่างไปจุดไฟให้ไฟติด
3. จับเวลาตั้งแต่ถ่านติดไฟจนเป็นเถ้า และบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

1.ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข.1 ความยาว

ตัวอย่าง	ความยาว(cm)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 10:0	29.0	29.3	29.7	29.3	0.35
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 7:3	31.0	30.5	31.4	31.0	0.45
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	25.0	25.3	24.8	25.0	0.25
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	35.5	35.6	35.2	35.4	0.21
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	45.5	45.1	45.0	45.2	0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2หาเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง(cm)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 10:0	6.0	6.2	6.1	6.1	0.10
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 7:3	5.5	5.5	5.4	5.5	0.06
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	7.2	7.3	7.2	7.2	0.06
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	6.0	6.1	5.9	6	0.10
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	5.5	5.4	5.3	5.4	0.10

2.ลักษณะของถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ ข.3 ความยาว

ตัวอย่าง	ความยาว(cm)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	24.5	24.0	24.3	24.3	0.25
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	35.0	35.7	35.2	35.3	0.36
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	45.5	46.1	45.7	45.8	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4เส้นผ่านศูนย์กลาง

ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง(cm)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	6.9	6.8	6.7	6.8	0.10
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	6.0	6.2	6.1	6.1	0.10
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	5.5	5.5	5.6	5.3	0.06

ตารางที่ ข.5 น้ำหนักที่หายไปหลังเผา

ตัวอย่าง	น้ำหนักที่หายไปหลังเผา(cm)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	38.16	37.88	38.01	38.02	0.14
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	31.15	31.32	31.03	31.17	0.15
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	30.48	30.51	30.30	30.43	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทั่วไป

ตารางที่ ข.6 ความชื้น

ตัวอย่าง	ความชื้น(ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	2.25	3.00	2.30	2.52	0.42
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	1.50	1.75	1.80	1.68	0.16
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	0.34	0.50	0.45	0.43	0.08
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	5.82	6.10	5.94	5.95	0.14

ตารางที่ ข.7 ปริมาณเถ้า

ตัวอย่าง	ปริมาณเถ้า(ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	6.57	7.10	6.85	6.84	0.27
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	10.54	10.12	10.58	10.41	0.25
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	13.65	12.98	13.15	13.26	0.35
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	8.14	7.84	7.52	7.83	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ปริมาณสารระเหย

ตัวอย่าง	ปริมาณสารระเหย(ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	9.27	9.53	9.45	9.42	0.13
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	10.53	10.75	11.12	10.80	0.30
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	12.41	12.10	12.54	12.35	0.23
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	15.17	15.12	14.90	15.06	0.14

ตารางที่ ข.9 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	ปริมาณคาร์บอนคงตัว(ร้อยละ)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	81.91	80.37	81.40	81.23	0.78
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	77.43	77.38	76.50	77.10	0.52
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	73.60	74.42	73.86	73.96	0.42
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	70.87	70.94	71.64	71.15	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ค่าความร้อน

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	5,012	5,050	5,034	5,032	19.08
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	5,115	5,098	5,084	5,099	15.52
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	4,817	4,823	4,820	4,820	3.00
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	6,060	6,043	6,053	6,052	8.54

4.ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ข.11 ความคงตัวของเถ้า

ตัวอย่าง	ความคงตัวของเถ้า
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน5:5	ไม่คงตัว (+++)
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน3:7	ไม่คงตัว (++)
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน0:10	ไม่คงตัว (+)
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	ไม่คงตัว (+)

*+ หมายถึง ระดับการคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ระยะเวลาจุดติดไฟ

ตัวอย่าง	ระยะเวลาจุดติดไฟ(นาที)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	3.17	3.00	3.08	3.08	0.09
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	2.25	2.50	2.67	2.47	0.21
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	2.17	2.25	2.18	2.20	0.04
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	1.43	1.45	1.47	1.45	0.02

ตารางที่ ข.12 ระยะเวลาจุดติดไฟ

ตัวอย่าง	ระยะเวลาจุดติดไฟ(นาที)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	3.17	3.00	3.08	3.08	0.09
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	2.25	2.50	2.67	2.47	0.21
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	2.17	2.25	2.18	2.20	0.04
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	1.43	1.45	1.47	1.45	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ค่าการทนแรงอัด

ตัวอย่าง	ค่าการทนแรงอัด(kg/cm^2)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	35.60	36.12	35.82	35.85	0.26
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	36.27	36.54	36.11	36.31	0.22
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	37.12	37.65	37.54	37.44	0.28
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	40.12	40.38	40.22	40.24	0.13

ตารางที่ ข.14 ระยะเวลาที่ติดไฟ

ตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ติดไฟ(ชั่วโมง)			เฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 5:5	1.50	1.53	1.47	1.50	0.03
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 3:7	1.61	1.67	1.58	1.62	0.05
ถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยผสมกับแกลบที่อัตราส่วน 0:10	1.75	1.78	1.78	1.77	0.02
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด	1.83	1.85	1.87	1.85	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนการผลิต

แกลบ = 1 บาท/กิโลกรัม เปลือกกล้วย = 0 บาท/กิโลกรัม

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบดเปลือกกล้วย = 0.02 หน่วย/60 วินาที

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดแท่ง = 0.063/219 วินาที

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่าน = 1.5 บาท/ชั่วโมง

เผาได้ 0.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ถ่าน 1 กิโลกรัมใช้ค่าไฟ 1.5 * 2 = 3 บาท/กิโลกรัม

อัตราการผลิต = น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กิโลกรัม) /เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง)

= 4/ (219/3600) = 65.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ค่าไฟ 5 บาท/หน่วย

ค่าไฟเครื่องบด = 0.02 * 5 = 0.1 บาท/กิโลกรัม

ค่าไฟเครื่องอัดแท่ง = 0.063 * 5 = 0.315 บาท/กิโลกรัม

ค่าไฟฟ้าเครื่องเผา = 3 บาท/กิโลกรัม

ค่าไฟทั้งหมด = 0.1 + 0.315 + 3= 3.415 บาท/กิโลกรัม

ค่ารักษาเครื่องมือ = 0.5 บาท/กิโลกรัม

ค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาท/วันคน 2 คน = 600 บาท/วัน

1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง ผลิตถ่านได้ 65.75 * 8 = 526 กิโลกรัม/วัน

ค่าแรง = 600/526 = 1.14 บาท/กิโลกรัม

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 3.415 + 0.5 + 1.14 + 1 = 6.055 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้