สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันสบู่ดำ

T107843

นายนิธิ เทอดเกียรติบูรณะ

นางสาววรวรรณ เลิศทนงเดช

วพ.
466/2ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107843
วัน,เดือน,ปี.....14 พ.ค. 2553

b.....1221159X
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Production of Fuel Briquettes from *Jatropha curcas* Residuals Obtained from Oil Extraction Process

Nithi Terdkiatburana

Worawan Lerdtanongdej

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement of the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันสบู่ดำ
นักศึกษา	นายนิธิ เทอดเกียรติ์บูรณะ
	นางสาววรวรรณ เลิศทนงเดช
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.กรองแก้ว	ทิพยศักดิ์	.....
กรรมการ	ผศ.พรรษวรรณ	ศรีนาค	.....
กรรมการ	ดร. สุวรรณี	จรรยาพูน	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันสบู่ดำ

ชื่อนักศึกษา นางนิธิ เทอดเกียรติ์บูรณะ 46050333

นางสาววรวรรณ เลิศทนงเดช 46050350

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันที่หีบด้วยแรงคน โดยนำเปลือกของผลและกากของเมล็ดสบู่ดำมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แล้วนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อแพลิงโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวแบบอัดเย็น ตัวประสานที่ใช้ คือ แป้งมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งดังนี้ คือ เปลือกบด กากของเมล็ดสบู่ดำแบบบดและไม่บด ส่วนผสมระหว่างเปลือกบดกับกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และส่วนผสมระหว่างเปลือกบดกับกากไม่บดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จากผลการทดลอง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดและส่วนผสมระหว่างเปลือกบดและกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การบดกากและไม่บดกากของสบู่ดำไม่มีผลต่อคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของสบู่ดำ แต่การบดกากของสบู่ดำจะมีผลต่อความน่าใช้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง นั่นคือ จะมีผิวเรียบน่าใช้งานมากกว่า พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมระหว่างเปลือกบดและกากบดมีค่าความร้อนและระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้มากสุด คือ 5347.73 ± 222.81 แคลอรี่ต่อกรัม และ 67.33 ± 1.20 นาที ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งประเภทอื่น พบว่ามีเวลาในการจุดติดไฟเร็วกว่าถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ค่าความหนาแน่นและค่าทนแรงอัด ประมาณ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 6.37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ดัชนีการแตกร่วนมีค่าใกล้เคียงหนึ่งคือ 0.99 สรุปได้ว่า เปลือกบดและกากบดของสบู่ดำสามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลได้ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้คือ เวลาใช้งานยังมีเขม่ามาก

คำสำคัญ : วัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ การอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเย็น เชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Production of Fuel Briquettes from *Jatropha curcas* Residuals Obtained from Oil Extraction Process	
Name	Mr. Nithi Terdkiatburana	46050333
	Miss Worawan Lerdtanongdej	46050350
Department	Chemistry	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic year	2006	
Special Project Advisor	Dr. Suwannee Junyapoon	

Abstract

This special project studied production of fuel briquette from *Jatropha curcas* residuals obtained from oil extraction process by manual press. Fruit's hull and seed's cake of *Jatropha curcas* were grounded into small piece which is smaller than 5 millimeters Briquette was produces by screw press with cold densification technique. Five percents of cassava powder was used as binder. Physical and Chemical characteristics of briquette from *Jatropha curcas* residuals were examined. *Jatropha curcas* used in this study contained ground fruit's hull, ground seed's cake, seed's cake, combination of ground fruit's hull and ground seed's cake of 1:1 and combination of ground fruit's hull and seed's cake of 1:1

As results, Seed's cake and combination of ground fruit's hull and seed's cake were able to produce fuel briquette. Ground seed's cake and unground seed's cake did not affect on the fuel properties. However, ground seed's cake made the fuel briquette. Heating value and burning time were 5347.73 $\pm$ 222.81 cal/g and 67.33 $\pm$ 1.20 minutes, respectively. An ignition time was less than charcoal briquette bought from market. Density and compressive strength of the fuel briquette were approximately 0.6 g/cm^3 and 6.37 kg/cm^2, respectively. Friability index was closed to 1 so this fuel briquette was rigid and hard to break. In conclusion, *Jatropha curcas* residuals were suitable to produce biofuel briquette. However, the disadvantage of the briquettes that it produced smoke when burning.

Keywords: *Jatropha curca residuals*, cold densification technique, biofuel briquette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ดร. สุวรรณี จรรยาพูนที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำงาน ให้การเอาใจใส่อย่างดีมาโดยตลอดและขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ควบคุมโครงงานพิเศษอีกสองท่าน คือ ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค ที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลา ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ อ.น้อย เรียงวงศ์ และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติ และเชื้อเพลิงพลังงาน กระทรวงพลังงาน จ.ปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เครื่องมือ ตลอดจนคำปรึกษา และแนะนำในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณประสิทธิ์ โพธิ์ยี่ ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรตำบล เขาท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัด ชัยนาท (จักรกลเกษตร) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างสบู่ดำที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมัน

ขอขอบพระคุณ พี่เจี๊ยบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาคโยธา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสอนวิธีการใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา – มารดา ที่คอยเลี้ยงดูและอบรบสั่งสอน ตลอดจนให้ได้รับการศึกษาและเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณทุกๆท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายนิธิ เทอดเกียรติ์บูรณะ

นางสาววรรณ เลิศทนงเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
สารบัญคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พลังงานทดแทน	3
2.2 พลังงานชีวมวล	4
2.2.1 ชีวมวล (Biomass)	4
2.2.2 แหล่งกำเนิดชีวมวล	5
2.2.3 ประเภทของแหล่งพลังงานชีวมวล	5
2.2.4 องค์ประกอบของชีวมวล	8
2.3 สบู่ดำ	8
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสบู่ดำ	9
2.3.2 องค์ประกอบของสบู่ดำ	12
2.3.3 การปลูกและการให้ผลผลิต	12
2.3.4 การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ	18
2.3.5 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	24
2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	25
2.4.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง	26
2.4.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง	26
2.4.4 วิธีการอัดแท่ง	27
2.4.4.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification)	27
2.4.4.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification)	28
2.4.4.3 ตัวประสาน (Binder)	28
2.4.5 เครื่องอัดแท่ง	32
2.4.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press)	32
2.4.5.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)	33
2.4.5.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Palletizing Press)	33
2.4.5.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)	34
2.4.6 การตาก หรือการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง	36
2.4.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	36
2.4.7.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี	36
2.4.7.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ	37
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	41
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี	41
3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี	41
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
3.2 การดำเนินการวิจัย	42
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบสบู่ดำ	42
3.2.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง	42
3.2.2 การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น	43
3.2.2.1 การอัดวัตถุดิบเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น	43
3.2.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบเย็น	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	45
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของวัตถุดิบ	45
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	48
4.3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพ	63
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	71
ภาคผนวก ค รูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันสบู่ดำ	79
ภาคผนวก ง ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่างปี 2540-2545	4
ตารางที่ 2.2	ชนิดและแหล่งกำเนิดชีวมวล	5
ตารางที่ 2.3	พื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก ปี 2543/2544 และ 2544/2545	6
ตารางที่ 2.4	ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี 2544/2545	7
ตารางที่ 2.5	คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ	12
ตารางที่ 2.6	องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำ	12
ตารางที่ 2.7	ระยะปลูกและจำนวนต้นต่อพื้นที่ตามสภาพพื้นที่	15
ตารางที่ 2.8	การให้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำ / ไร่ / ปี	18
ตารางที่ 2.9	สรรพคุณของสบู่ดำ	19
ตารางที่ 2.10	การใช้สารสกัดพืชจากสบู่ดำป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช	20
ตารางที่ 2.11	ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุอาหารหลัก (NPK) กากสบู่ดำ ปุ๋ยคอก, ปุ๋ยหมัก คิดเป็นร้อยละ	21
ตารางที่ 2.12	คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	25
ตารางที่ 2.13	คุณสมบัติที่ดีของถ่านอัดแท่ง	38
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางเคมีของสบู่ดำ	45
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ	48
ตารางที่ 4.3	คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ	49
ตารางที่ 4.4	ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว	54
ตารางที่ 4.5	ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว	54
ตารางที่ ข.1	ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน	73
ตารางที่ ข.2	ค่าความชื้นของวัตถุดิบ	73
ตารางที่ ข.3	ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว	73
ตารางที่ ข.4	ค่าความร้อนของวัตถุดิบ	74
ตารางที่ ข.5	ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	75
ตารางที่ ข.6	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	75
ตารางที่ ข.7	เวลาในการจุดติดไฟ	76
ตารางที่ ข.8	ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข.9	ความคงตัวของเถ้า	77
ตารางที่ ข.10	ค่าความหนาแน่น (Density)	77
ตารางที่ ข.11	ค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)	78
ตารางที่ ข.12	ค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)	78
ตารางที่ ข.13	ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งเปลือกผสมกากบดอัตราส่วน 1 ต่อ 1	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ต้นสบู่ดำ	9
รูปที่ 2.2 ใบพืชสบู่ดำ	10
รูปที่ 2.3 ผลสบู่ดำ (ขณะยังไม่สุก)	10
รูปที่ 2.4 เมล็ดมีสีดำตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ	11
รูปที่ 2.5 เนื้อในเมล็ดสีขาว	11
รูปที่ 2.6 ผลสบู่ดำสุกสีเหลือง (พร้อมเก็บเกี่ยวเพื่อเพาะเมล็ดและบีบน้ำมัน)	14
รูปที่ 2.7 ผลสบู่ดำสุกสีน้ำตาล (พร้อมเก็บเกี่ยวเพื่อบีบน้ำมัน)	14
รูปที่ 2.8 พืชสบู่ดำให้ผลผลิตบริเวณซ่อกิ่ง	17
รูปที่ 2.9 การปลูกสบู่ดำร่วมกับการทำนาในประเทศเนปาล	18
รูปที่ 2.10 กากสบู่ดำ	21
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบและประโยชน์ของสบู่ดำ	23
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกลูโคส	29
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของอะไมโลส	29
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอะไมโลเปกติน	30
รูปที่ 2.15 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	32
รูปที่ 2.16 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	33
รูปที่ 2.17 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ	34
รูปที่ 2.18 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย	35
รูปที่ 2.19 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด	35
รูปที่ ค.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากกากของเมล็ดสบู่ดำ(แบบไม่บด)	81
รูปที่ ค.2 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากกากของเมล็ดสบู่ดำ (แบบบด)	81
รูปที่ ค.3 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากบดของเมล็ดสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1:1	82
รูปที่ ค.4 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากไม่บดของเมล็ดสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1:1	82
รูปที่ ค.5 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดของผลสบู่ดำ	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ค.6	เถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากบดของเมล็ดสบู่ดำในอัตราส่วน1:1 (ขวา) เปรียบเทียบกับ เถ้าของถ่านอัดแท่งที่ขายตามท้องตลาด (ซ้าย)	83
รูปที่ ค.7	ขั้นตอนการทดสอบค่าทนแรงอัด โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine 1 Ton	84
รูปที่ ค.8	ขั้นตอนการทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดของเมล็ดสบู่ดำ	84
รูปที่ ค.9	การเตรียมตัวอย่างอัดเม็ดในขั้นตอนการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	85
รูปที่ ค.10	เถ้าของถ่านที่ขายตามท้องตลาด (ซ้าย) และเถ้าของเปลือกของผลสบู่ดำกับกากของเมล็ดสบู่ดำบดในอัตราส่วน 1:1 (ขวา)	85
รูปที่ ค.11	เถ้าของเปลือกของผลสบู่ดำกับกากของเมล็ดสบู่ดำบดในอัตราส่วน 1:1 (บน) เถ้าของกากของเมล็ดสบู่ดำบด (ซ้าย) และเถ้าของกากของเมล็ดสบู่ดำไม่บด (ขวา)	86
รูปที่ ค.12	เถ้าของถ่านที่ขายตามท้องตลาด มีลักษณะที่ไม่คงตัว	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
%	เปอร์เซ็นต์
Kg	กิโลกรัม
MJ/kg	เมกะจูลต่อกิโลกรัม
TJ	ตันจูล
MT	เมกะตัน
MW	เมกะวัตต์
^{o}C	องศาเซลเซียส
cal/g	แคลอรี่ต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Fuel briquette) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกากชีวมวลคลุกเคล้ากับสารยึด (Binder) และทำการขึ้นรูปเป็นแท่งโดยการกดอัด (Compression) หรือการอัดรีด (Extrusion) นอกจากนี้อาจมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อช่วยสมบัติบางประการ เช่น ปรับปรุงให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความร้อนสูงขึ้น และให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้น เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและอุตสาหกรรมได้ โดยกากชีวมวลที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอาจเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุทางธรรมชาติ แต่มีข้อเสีย คือ ความชื้นสูง ค่าความร้อนน้อย ความหนาแน่นต่ำ และเมื่อเผาจะมีควันมาก จึงได้มีงานวิจัยต่างๆที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำกากชีวมวล มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นจำนวนมาก

จากการที่ประเทศไทยไม่มีแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงภายในประเทศที่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้น เนื่องจากวิกฤติน้ำมัน ดังนั้น การหาแหล่งพลังงานภายในประเทศมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จึงเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาพลังงานอย่างยั่งยืนของประเทศ จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นการปลูกพืชน้ำมัน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน ได้แก่ สบู่ดำ จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เศษวัสดุเหลือทิ้งหลังจากการสกัดน้ำมันจากพืชน้ำมัน จัดเป็นชีวมวลที่ยังคงมีค่าความร้อนเหลืออยู่มาก ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวด้วยวิธีอัดแบบเย็น และศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี เพื่อหาความเป็นไปได้ที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน
2. ศึกษาคุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำ ได้แก่ เปลือกของผลแบบบด (fruit's hull) กากของเมล็ดสบู่ดำหลังจากการสกัดน้ำมันแบบบดและไม่บด (seed's cake) และส่วนผสมของเปลือกของผลแบบบดกับกากของเมล็ดสบู่ดำหลังจากการสกัดน้ำมันทั้งแบบบดและไม่บดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยวิธีการอัดแบบเย็น และใช้แป้งมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวประสาน
2. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน และปริมาณไขมันและน้ำมัน
3. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ เวลาในการจุดติดไฟ ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ ความคงตัวของเถ้า ความหนาแน่น การทนแรงอัด ดัชนีการแตกร่วน ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อสามารถใช้ในอุตสาหกรรม
2. นำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง
3. ลดปัญหาในการกำจัดของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันจากสบู่ดำ
4. ลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง และช่วยสร้างรายได้ให้กับคนในท้องถิ่น เนื่องจากชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก และมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมด้วยจึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดีสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ ประเทศไทยไม่มีแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงภายในประเทศเพียงพอต่อความต้องการทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศประมาณร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2545) พลังงานนับวันจะมีปริมาณลดลงและกำลังจะหมดไปจากโลก เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นต้น คาดว่าหากมีการใช้ด้วยอัตราการใช้ในปัจจุบัน แหล่งพลังงานที่มีในประเทศไทย เช่น ก๊าซธรรมชาติจะใช้ได้อีกประมาณ 20 ปี น้ำมันดิบใช้ได้ประมาณ 12 ปี และถ่านหินคาดว่าจะใช้ได้ไม่เกิน 70-80 ปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2546 ก) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องจัดหาแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อเป็นพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ ราคาเชื้อเพลิงที่นำเข้ามีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากวิกฤติน้ำมัน ทำให้ประเทศไทยต้องขาดดุลต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ น้ำ ลม ไม้ ฟืน แกลบ กาก(ชาน)อ้อย ชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ไม่หมด มีแหล่งพลังงานอยู่ภายในประเทศและมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานประเภทสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น พลังงานจากชีวมวลจัดเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2546 ข) นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยลดปัญหาการสะสมของสภาวะก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก จากข้อมูลการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2540-2545 พบว่ามีการใช้ชีวมวลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2546 ค) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่างปี 2540-2545

ชนิด \ ปี	2540	2541	2542	2543	2544	2545
ฟืน	3,200	3,188	3,279	3,258	3,265	3,342
ถ่าน	2,273	2,254	2,277	2,277	2,286	2,307
แกลบ	723	778	828	828	903	896
กากอ้อย	2,303	1,665	2,236	2,236	1,989	2,498
รวม	8,499	7,885	8,599	8,599	8,443	9,043

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ค

หมายเหตุ : หน่วย เป็น พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ยังคงใช้ฟืนและถ่านไม้เป็นแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะชาวชนบทเนื่องจากมีราคาถูกและหาง่าย ทำให้มีการตัดไม้ทำลายป่าเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้พื้นที่ป่าลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการจัดหาไม้ฟืนให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศนั้นทำได้ยาก ดังนั้น การใช้พลังงานจากชีวมวลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะการนำเอาวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร และจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เศษไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัส ซังข้าวโพด เป็นต้น

2.2 พลังงานชีวมวล

2.2.1 ชีวมวล (Biomass) หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ ชีวมวลนับรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษไม้ ปลายไม้จากอุตสาหกรรมไม้ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากปาล์ม กะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้โดยตรง เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้หรือนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์ ดังนั้นชีวมวลจึงนับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่หาได้ในประเทศ

ชีวมวลแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป บางชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรง เช่น กากมันสำปะหลัง และส่าเหล้า เพราะมีความชื้นสูงถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์ บางชนิดต้องนำมาย่อย ก่อนนำไปเผาไหม้ เช่น เศษไม้ยางพารา เป็นต้น บางชนิดไม่ต้องผ่านการบดย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ เช่น แกลบ จะให้ค่าความร้อนสูง เนื่องจากมีความชื้นต่ำ และขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาแกลบสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและแก้วได้ ส่วนชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วมีปริมาณขี้เถ้าน้อย จึงมีปัญหาในการจัดการน้อย และขี้เถ้าดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ปรับปรุงสภาพดินในไร่อ้อยได้อีกด้วย (http://www.teenet.chula.ac.th/useful/detail5.asp?ID=151)

2.2.2 แหล่งกำเนิดชีวมวล

ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดและแหล่งกำเนิดชีวมวล

ชนิดชีวมวล	ประเภทโรงงาน	กระบวนการที่ทำให้ได้ชีวมวล
แกลบ	โรงสีข้าว	การสีข้าว
กากอ้อย	โรงงานน้ำตาล	ผลิตน้ำตาลทราย
กากปาล์ม	โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	การสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์มสด
เศษไม้	โรงเลื่อยไม้ยางพารา สวนยางพารา และโรงงานผลิตไม้อัด	การแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
ซังข้าวโพด	ไร่ข้าวโพด	การสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
กาบและกะลามะพร้าว	สวนมะพร้าว ร้านขายส่งลูกมะพร้าว และโรงงานแปรรูปเนื้อมะพร้าว	การนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว
ส่าเหล้า	โรงงานผลิตเอทธิลแอลกอฮอล์	การผลิตแอลกอฮอล์
กากมันสำปะหลัง	โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2545

2.2.3 ประเภทของแหล่งพลังงานชีวมวล แหล่งพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 4 ประเภท (Best *et al.*, 2000) ดังนี้

1. Woody biomass ได้แก่ ต้นไม้ พุ่มไม้ และต้นไม้ขนาดเล็ก แขนงหรือกิ่งก้าน เช่น กาแฟ ชา ไม้ไผ่ และต้นปาล์ม เป็นต้น

2. Non-woody biomass ได้แก่ ธัญพืช เช่น ต้นอ้อย มันสำปะหลัง ฝ้าย ก้านและรากของต้นยาสูบ พืชตระกูลหญ้า กล้วย ต้นถั่ว มันสำปะหลัง เป็นต้น

3. Process waste ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย ของเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กากสัปปะรด กากของสบู่ดำ

4. Process fuel ได้แก่ ถ่านที่ทำจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจุดประสงค์เพื่อทดแทนน้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน และถ่านไม้ จึงเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ และยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าน้ำมันเตา และถ่านหิน จึงช่วยลดปัญหามลพิษในระดับหนึ่ง

ปริมาณชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดพื้นที่ปลูกและผลผลิตพืชหลัก ของประเทศไทยในปีพ.ศ. 2543/2544 และ 2544/2545

ตารางที่ 2.3 พื้นที่ปลูกและผลผลิตพืชหลัก ปี 2543/2544 และ 2544/2545

ปี / ชนิด	พ.ศ. 2543/44		พ.ศ. 2544/45	
	พื้นที่เก็บเกี่ยว (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)
อ้อย	5,421	49,070	6,320	60,013
ข้าว	65,640	25,608	63,283	26,514
น้ำมันปาล์ม	1,303	3,256	1,456	4,089
ข้าวโพด	7,551	4,397	7,474	4,466
มันสำปะหลัง	7,068	19,064	6,176	16,868
สับปะรด	608	2,287	552	1,987
ไม้ยางพารา	11,558	2,378	11,590	2,424

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ง

สำหรับศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงผลผลิตเป็นชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมา เป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี พ.ศ. 2544/2545

ชนิด	ผลผลิต (10^6kg)	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (10^6kg)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (MT)	กำลังไฟฟ้า (MW)
อ้อย	60013.00	ชานอ้อย	3,615.00	14.40	52,056.04	1.23	764.21
		ยอดและใบ	17,870.19	17.39	310,762.62	7.36	4,105.92
ข้าว	26514.00	แกลบ	3,006.42	14.27	42,901.65	1.02	566.83
		ฟางข้าว	8,106.60	10.24	83,011.61	1.97	1,096.78
น้ำมันปาล์ม	4089.00	ทะลายปาล์ม	1,022.05	17.86	18,253.88	0.43	241.18
		เส้นใย	80.55	17.62	1,419.21	0.03	18.75
		กะลา	7.41	18.46	136.85	0.00	1.81
		ก้านทาง	10,647.76	9.83	104,667.44	2.48	1,382.91
		ทะลายตัวผู้	952.74	16.33	15,558.20	0.37	205.56
มะพร้าว	1396.00	เปลือก	300.68	16.23	4,880.11	0.12	64.48
		กะลา	84.43	17.93	1,513.83	0.04	20.00
		ทะลาย	57.66	15.40	888.03	0.02	11.73
		ทาง	254.11	16.00	4,065.71	0.10	53.72
มันสำปะหลัง	16868.00	ต้น	604.14	18.42	11,128.34	0.26	147.03
ข้าวโพด	4466.00	ซัง	816.88	18.04	14,736.44	0.35	194.71
ถั่วลิสง	129.00	เปลือก	41.67	12.66	527.50	0.01	6.97
ฝ้าย	36.00	ลำต้น	116.35	14.49	1,685.94	0.04	22.27
ถั่วเหลือง	292.00	ลำต้นและใบ	590.97	19.44	11,488.51	0.27	151.79
ข้าวฟ่าง	145.00	ใบและต้น	117.64	19.23	2,262.18	0.05	45.14
เศษไม้	10268.00	กิ่งก้าน	2,669.68	14.98	39,991.81	0.95	528.39
รวมวัสดุเหลือใช้	-	-	48,293.26	-	-	-	-
รวมพลังงานทั้งหมด					721,935.91	17.10	9,630.18

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ ชีวมวลเหล่านี้ บางส่วนได้ถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตอยู่แล้ว เช่น แกลบจะถูกนำมาเผา เพื่อผลิตไอน้ำ นำไปหมุนกังหันใช้งานในโรงสีข้าว กากอ้อยและกากปาล์ม จะถูกนำมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำ และไฟฟ้าใช้ในขบวนการผลิต และเศษไม้ยางพารา จะถูกนำมาเผา เพื่อผลิตลมร้อนใช้ในการอบไม้ยางพารา เป็นต้น

2.2.4 องค์ประกอบของชีวมวล จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก (http://www.efe.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=348&Itemid=40&PHPSESSID=d0a714d0548b54a2aeba381b3554e82a) คือ

1. ความชื้น (Moisture)

ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงาน โดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance)

ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatile matter และ Fixed carbon โดย Volatile matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้น ชีวมวลใดที่มีค่า Volatile matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash)

ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดขี้เถ้าที่เกิดขึ้น

2.3 สบู่ดำ (ภัทชาณาภร และจุฑาทิพย์, 2548)

สบู่ดำ (Physic nut หรือ Purging nut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas Linn* เป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกากลาง ที่ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในปลายสมัยอยุธยา

สบู่ดำ เป็นพืชให้น้ำมัน ได้รับการตั้งชื่อตามคุณสมบัติเด่นคือ ผลมีสีดำ ให้ฟองแทนสบู่ได้ คนภาคกลางเรียกว่า สบู่ดำ คนเหนือเรียกว่า มะหุ่งฮั้ว คนอีสานเรียกว่า มะเยา คนใต้เรียกว่า หงเทศ ภาษายาวีเรียกว่า นาเคาะ พันธุ์ที่ปลูกในไทยเป็นพันธุ์พื้นเมือง โดยมีชื่อเรียกต่างๆไปตามถิ่นที่ปลูก เช่น พันธุ์สตูล น่าน บุรีรัมย์ และมุกดาหาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์สบู่ดำ

พันธุ์สบู่ดำที่พบในประเทศไทย มี 3 พันธุ์ (http://www.energygang.com/Information6.asp) คือ

1) พันธุ์สบู่ดำที่มีผลทรงกลม ขนาดของผลปานกลาง มีเปลือกหนาปานกลาง

2) พันธุ์สบู่ดำที่มีผลทรงกลม หรือทรงผลยาวกว่าชนิดแรกเล็กน้อย แต่มีเปลือกหนากว่า

3) พันธุ์สบู่ดำที่มีผลกลม แต่มีขนาดเล็กกว่า 2 ชนิดแรก

ผลผลิตของแต่ละพันธุ์จะขึ้นอยู่กับการดูแล พืชสบู่ดำมีข้อมูลทั่วไปดังนี้

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของสบู่ดำ

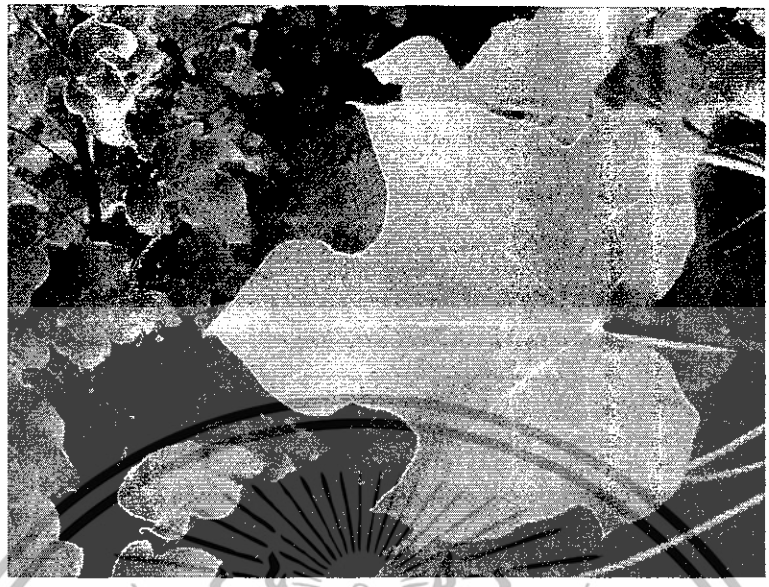
1) ลักษณะต้นเป็น ไม้พุ่มยืนต้น สูง 2-7 เมตร อายุ 20-50 ปี ต้นและยอดคล้ายละหุ่ง แต่ไม่มีขน ลำต้นเกลี้ยงเกลา ใช้มือหักได้ง่าย เพราะเนื้อไม่มีแก่น ใบหยักคล้ายละหุ่งแต่หยักตื้นกว่า มี 4 หยัก (รูปที่ 2.1)

รูปที่ 2.1 ต้นสบู่ดำ

2) ลักษณะดอกเป็นช่อกระจุกที่ข้อส่วนปลายยอด ขนาดเล็กสีเหลืองมีกลิ่นหอมอ่อนๆ มีดอกตัวผู้มากกว่าดอกตัวเมียในช่อเดียวกัน

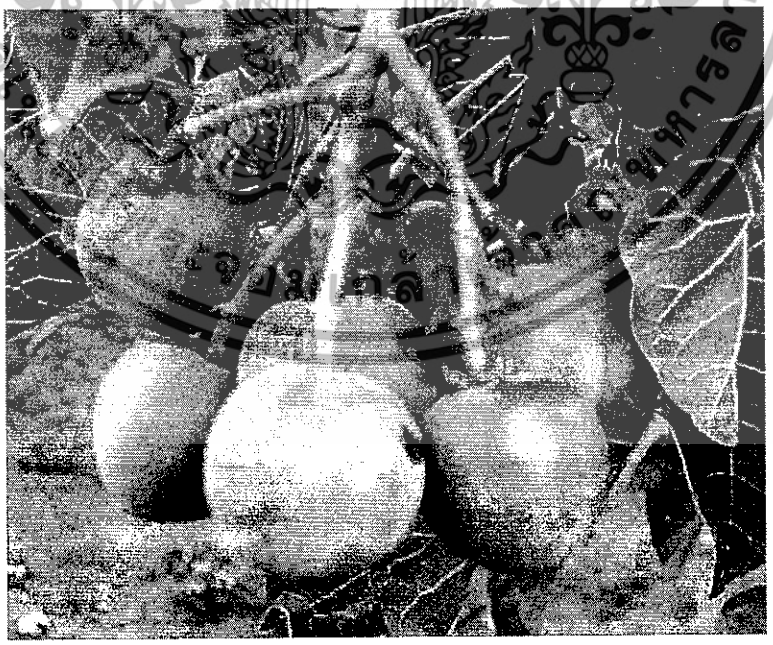
3) ลักษณะใบคล้ายใบฝ้าย ใบพุดตานแต่หนากว่า ใบหยักคล้ายใบละหุ่ง และมีหยักตื้น 4 แฉก ใบที่โตเต็มที่มีขนาดเท่าฝ่ามือ ก้านใบยาว เมื่อหักหรือเด็ดก้านใบจะมียางสีขาวใสไหลออกมา (รูปที่ 2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ใบพืชสบู่ดำ

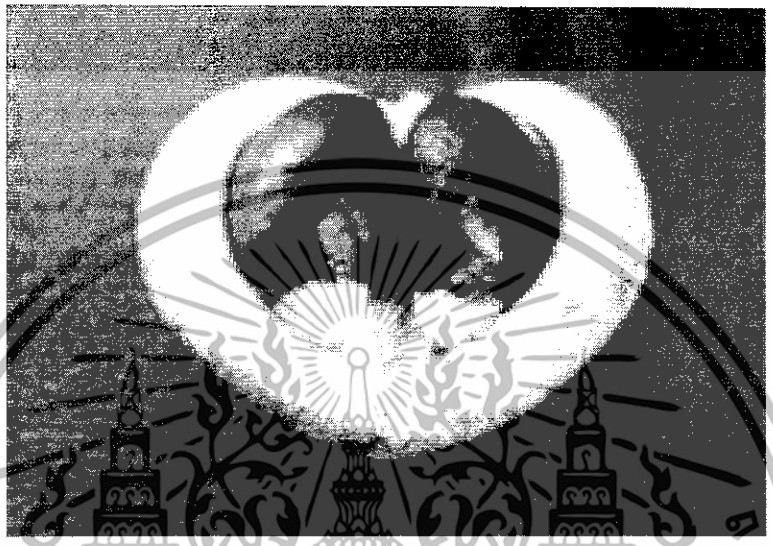
4) ลักษณะผลเกลี้ยงเกลารูปทรง 6 เหลี่ยม ค่อนข้างกลม ผลเป็นพู ส่วนมากมี 3 พู สีเขียวอ่อน เวลาสุกแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองคล้ายลูกจันทร์ และเป็นสีน้ำตาลในที่สุด 1 ผลมี 3 เมล็ดนับตั้งแต่วันที่ออกดอกจนผลแก่ใช้เวลาประมาณ 60-90 วัน (รูปที่ 2.3)



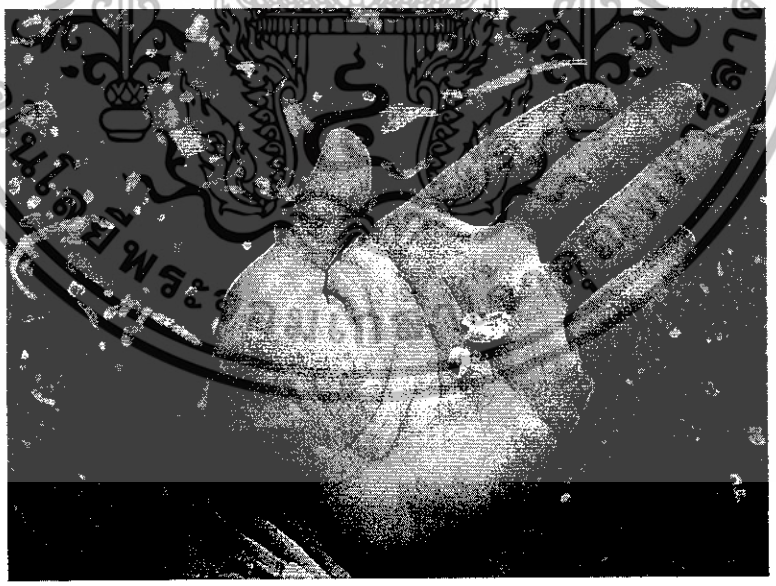
รูปที่ 2.3 ผลสบู่ดำ (ขณะยังไม่สุก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ลักษณะเมล็ดมีสีดำ ตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ ติดอยู่ ความยาวประมาณ 1.7-1.9 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.8-0.9 เซนติเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 69.8 กรัม เมื่อแกะเปลือกนอกสีดำออกจะเห็นเนื้อในสีขาว (รูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.4 เมล็ดมีสีดำตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ



รูปที่ 2.5 เนื้อในเมล็ดสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 องค์ประกอบของสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง เมล็ดสบู่ดำมีปริมาณน้ำมัน 30 – 35 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการสกัดแยกน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำที่นิยมทำกันมากคือ ใช้วิธีการบีบอัด (pressing) จะได้น้ำมันประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำมันตกค้างในกาก 10-15 เปอร์เซ็นต์ (ไพจิตร, 2530)

น้ำมันสบู่ดำจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวปนเหลือง ใสและยังคงใสที่อุณหภูมิต่ำ และมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และองค์ประกอบกรดไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันสบู่ดำ (รพีพันธุ์และคณะ, 2525)

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันสบู่ดำ	ปริมาณ
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, %as oleic acid)	4.80
ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification value)	197.13
ค่าไอโอดีน (Iodine value, Wijs)	97.08
ดัชนีหักเห (Refractive index) ที่ 25°C	1.4670
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ที่ 25°C (กรัม / มิลลิลิตร)	0.9136
ความหนืด (Viscosity)ที่ 25°C (centistokes)	45.68

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำ (รพีพันธุ์และคณะ, 2525)

ปริมาณไขมันอิ่มตัว		ปริมาณไขมันไม่อิ่มตัว	
Palmitic acid (C16:0)	ร้อยละ 16.17	Oleic acid (C18:1)	ร้อยละ 44.88
Stearic acid (C 18:0)	ร้อยละ 5.11	Linoleic acid (C18:2)	ร้อยละ 33.83
Total saturated fatty acid	ร้อยละ 21.28	Total unsaturated fatty acid	ร้อยละ 78.71

2.3.3 การปลูกและการให้ผลผลิต

1. สภาพพื้นที่ปลูก

สบู่ดำเป็นพืชที่เพาะปลูก และขึ้นได้ง่าย จัดเป็นพืชทนความแห้งแล้ง ไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง ปลูกได้ทุกภาคในประเทศไทย สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดตั้งแต่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจนถึงความอุดมสมบูรณ์สูง อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้รับก็แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม ดังนั้น การที่จะให้ได้ผลผลิตสูง ดินที่ปลูกควรมีความเป็นกรดเล็กน้อย ดินควรมีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำดี และหากจะปลูกในที่ลุ่มควรทำทางระบายน้ำ จากข้อมูลและรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบุว่า สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดได้ในดินที่ไม่เหมาะสม และในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น ดินด่าง ดินเค็ม ดินทราย ดินที่มีหินมาก หรือแม้แต่ดินที่มีฝนตกน้อยปีละ 200 มิลลิเมตร (Lele, 2005) ค่าจะมีการปรับตัวได้ดีในเขตร้อนที่มีปริมาณฝน 300-1000 มิลลิเมตรต่อปี (Joker and Jepen, 2003) แต่ในแหล่งที่มีน้ำฝนมากกว่า 1000 มิลลิเมตรต่อปี และดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง เกษตรกรมักปลูกพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า ดังนั้น การจะเลือกปลูกพืชจึงขึ้นอยู่กับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเป็นหลัก

2. การเตรียมดิน

ต้นสบู่ดำไม่ต้องการน้ำมาก หากน้ำท่วมขังต้นจะตายได้ ดินที่เหมาะสมจึงควรมีการระบายน้ำที่ดี มีลักษณะผสมของดินทราย การเตรียมดินเหมือนกับการเตรียมดินเพื่อการปลูกต้นไม้ทั่วไป คือ ขุดหลุมขนาด 50 x 50 x 50 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยคอกรองที่ก้นหลุม แต่หากเป็นดินทรายแท้ ซึ่งปกติไม่อุ้มน้ำเลย ควรเตรียมหลุมปลูกดังนี้

2.1 ขุดหลุมกว้าง 20 x 20 เซนติเมตร

2.2 ผสมปุ๋ยอินทรีย์ ภูไมท์ซัลเฟต (Pumice Sulfate) เพื่อให้รากงอก เคล้ากับดินก้นหลุม

2.3 หากปลูกในพื้นที่ฝนทิ้งช่วง ควรแช่โพลีเมอร์ หรือ เอริซอร์บ (Erisorb) ให้พองตัวในน้ำ 200 เท่า ใส่ก้นหลุม 0.5-1 ลิตร ไม่ต้องเคล้ากับดินวางต้นไม้บนโพลีเมอร์แล้วกลบดิน กลบโคนต้นต่ำกว่าดินรอบๆปากหลุม 2-3 นิ้ว เพื่อช่วยเก็บน้ำเวลาฝนตก

2.4 ถ้าเร่งให้เจริญเติบโตเร็ว หว่านปุ๋ยสูตร 18-4-5 และภูไมท์ซัลเฟต (Pumice Sulfate) บ้าง เพื่อเร่งให้ต้นไม้ตั้งตัวเร็ว

สำหรับการปลูกเพื่อหวังผลตอบแทนสูง ทางเศรษฐกิจในระยะยาว เกษตรกรบางส่วนจะขุดหลุมปลูกและเตรียมหลุมปลูกอย่างดี ใส่ปุ๋ยอินทรีย์รองก้นหลุมก่อนปลูก และมีการกำจัดวัชพืชและพรวนดินระหว่างแถวตามความเหมาะสม เนื่องจากสบู่ดำเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง มีอายุยาวนานกว่า 40 ปี หากมีการวางแผนเตรียมการที่ดีตั้งแต่เริ่มต้น ย่อมได้รับผลตอบแทนที่ดีในระยะยาว

3. การปลูก

3.1 วิธีการปลูก

การปลูกสบู่ดำ ที่นิยมปลูกทั่วไป มี 3 วิธี (นันทวรรณ) (http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=43) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) **โดยการหยอดเมล็ดลงในหลุมปลูกโดยตรง** หลุมละ 1-2 เมล็ด หยอดลึกประมาณ 2-5 เซนติเมตร และกลบดิน กรณีนี้จะต้องมีการเตรียมแปลงปลูก และหลุมปลูกให้พร้อมเวลาปลูกที่เหมาะสม ควรเป็นฤดูฝน (พฤษภาคม-กันยายน) หากไม่งอกให้ทำการปลูกซ่อม โดยใช้เมล็ดหรือต้นกล้าที่เพาะเตรียมไว้

2) **ปลูกด้วยต้นที่เพาะจากเมล็ด** เมล็ดสบู่ที่เหมาะแก่การนำมาขยายพันธุ์ ควรเป็นเมล็ดจากผลสุกสีเหลือง ส่วนเมล็ดจากผลสุกสีเหลืองไปจนเป็นสีน้ำตาลนั้นมีอัตราการงอกต่ำกว่า (เมล็ดจากผลสุกสีน้ำตาลนำมาบีบน้ำมันได้ แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำไปเพาะพันธุ์) เมล็ดสบู่ดำไม่มีระยะฟักตัว หากทิ้งไว้นาน อัตราการงอกจะลดลง การเพาะเมล็ดในถุงพลาสติกดำจะงอกได้ง่ายกว่าการปลูกเมล็ดลงแปลงโดยตรง ดูแลให้เติบโตเป็นต้นกล้าอายุ 2 เดือนจึงนำลงแปลงปลูกได้ (รูปที่ 2.6 และ รูปที่ 2.7)

รูปที่ 2.6 ผลสบู่ดำสุกสีเหลือง (พร้อมเก็บเกี่ยวเพื่อเพาะเมล็ดและบีบน้ำมัน)

รูปที่ 2.7 ผลสบู่ดำสุกสีน้ำตาล (พร้อมเก็บเกี่ยวเพื่อบีบน้ำมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยก่อนเพาะ นำเมล็ดไปแช่ในน้ำ 1 คืน และนำไปเพาะในถุงเพาะชำ เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า อายุประมาณ 1 เดือนครึ่ง ถึง 2 เดือน จึงย้ายลงแปลงปลูก การปลูกโดยวิธีนี้จะได้จำนวนต้นที่แน่นอน มักเป็นการปลูกในแปลงที่มีการเตรียมการอย่างดี

3) **ปลูกด้วยท่อนพันธุ์** โดยการปักชำท่อนพันธุ์ในถุงเพาะชำ ความยาวของท่อนพันธุ์ที่เหมาะสม คือ 30-60 เซนติเมตร (จากการทดลองของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี 2529) เมื่อกิ่งแตกตาจนมีอายุ 45-60 วัน แล้วจึงย้ายลงแปลงปลูก การปลูกสบู่ดำโดยวิธีนี้จะได้จำนวนต้นที่แน่นอน เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูง เช่นเดียวกับการปลูกวิธีที่ 2

4. ระยะปลูก

ระยะปลูกและจำนวนต้นต่อพื้นที่จะแตกต่างกันไป แล้วแต่สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการปลูก ปัจจุบันระยะปลูกและอัตราปลูกที่เหมาะสมยังอยู่ระหว่างการทำวิจัย ในที่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และปลูกในสภาพน้ำฝน อาจปลูกระยะแคบและมีจำนวนต้นต่อพื้นที่ปลูก มากกว่าในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง และมีแหล่งน้ำ เป็นไปตามคำแนะนำ "ดินเลวปลูกถี่ ดินดีปลูกห่าง" อัตราปลูกและระยะปลูกตามสภาพพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ระยะปลูกและจำนวนต้นต่อพื้นที่ตามสภาพพื้นที่

สภาพพื้นที่	แหล่งน้ำ	ระยะปลูก (เมตร)	จำนวนต้น/ไร่
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	สภาพน้ำฝน	1 x 1	1,600
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	สภาพน้ำฝน	2 x 1	800
ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	1.5 x 1.5	711
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	2 x 1.5	533
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	2 x 2	400
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	2.5 x 2.5	256
ความอุดมสมบูรณ์ดี	น้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำ	3 x 2	266

ที่มา: สมศักดิ์. 2549

5. การปฏิบัติดูแลรักษา

ในระยะแรกของการปลูก (สบู่ดำอายุ 1-3 เดือน) เกษตรกรควรเอาใจใส่ดูแล เพื่อให้ต้นสบู่ดำมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง และเจริญเติบโตได้ดี ควรดูแลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การให้น้ำ กรณีที่ปลูกในสภาพน้ำฝน และไม่มีแหล่งน้ำ ควรย้ายกล้าปลูก หรือหยอดเมล็ดในช่วงต้นฤดูฝน ส่วนในกรณีที่มีแหล่งน้ำ ควรมีการให้น้ำในช่วงดินแห้งทุก ๆ 7-15 วัน แล้วแต่สภาพพื้นที่และฤดูกาล

การจัดการน้ำ คือ ปัจจัยที่สำคัญ ของความสำเร็จในการปลูกสบู่ดำเชิงพาณิชย์ เกษตรกรที่ "แหล่งเรียนรู้พืชน้ำมันสบู่ดำแห่งประเทศไทย" หมู่ 2 บ้านร้องวัวแดง ต.รองวัวแดงอ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ (นำโดยเกษตรกร สัมฤทธิ์ อัครปะชะ ประธานศูนย์ฯ) มีการติดตั้งระบบน้ำหยดให้แก่สบู่ดำที่ปลูกโดยวิธียกร่องปลูก ใช้ระยะปลูก 3 x 2 เมตร และมีการให้ปุ๋ยควบคู่ไปด้วย ร่วมกับการดูแลรักษาอื่น ๆ ปรากฏว่า ต้นสบู่ดำมีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง พบว่า ต้นสบู่ดำต้องการน้ำสูงถึง 5-10 ลิตรต่อวัน (สมศักดิ์, 2549)

5.2 การใส่ปุ๋ย เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปสกัดเอาน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนั้น ต้นสบู่ดำจึงมีความต้องการแสง และธาตุอาหารบางธาตุสูงกว่าพืชที่ให้ผลผลิตที่มีคาร์โบไฮเดรทเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจาก ความต้องการธาตุอาหารพืช คือ เพื่อการดำรงชีพ หรือเพื่อการสร้างรากลำต้น และใบให้กับพืชปกติกันเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของผลผลิต คือ ให้ใช้ปุ๋ยสูตรเสมอ เช่น 15-15-15 ซึ่งจะทำให้แปลงวิจัยคัดเลือกพันธุ์ ต้นที่มีลักษณะดี และให้ผลผลิตสูง อัตราต้นละ 125 กรัม ร่วมกับปุ๋ยคอก 2.5 กิโลกรัม รองก้นหลุมขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และลึก 50 เซนติเมตร และสบู่ดำไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี

5.3 การกำจัดวัชพืช หลังจากปลูกสบู่ดำประมาณ 1 เดือน ควรมีการกำจัดวัชพืชในแปลงปลูก โดยการใช้แรงคนถาง วัชพืชรอบโคนต้น หรือใช้เศษซากพืช หรือวัสดุอื่น ๆ เช่น แกลบ หรือฟางข้าวคลุมโคนต้น จะช่วยควบคุมวัชพืชบริเวณโคนต้น และเป็นการรักษาความชื้นรอบโคนต้น ส่วนวัชพืชระหว่างต้นและแถวปลูก อาจใช้รถตัดหญ้าขนาดเล็ก หรือใช้สารเคมีกำจัด

5.4 การตัดแต่งกิ่ง และเทคนิควิธีเพื่อเพิ่มผลผลิต ปัจจุบันการตัดแต่งกิ่งกำลังอยู่ระหว่างการวิจัย เนื่องจากสบู่ดำจะออกลูกที่ปลายกิ่ง ดังนั้น การตัดแต่งกิ่งจึงมีความจำเป็นมากในการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง หากไม่มีการตัดแต่งกิ่งเลยต้นสบู่ดำก็จะมีกิ่งแค่ 1-2 กิ่งเท่านั้น

การตัดแต่งกิ่งจะทำเมื่อต้นสบู่ดำมีอายุประมาณ 1 ปี หรือหลังเก็บเกี่ยวสบู่ดำครั้งที่ 2 พบว่าตำแหน่งในการตัดแต่งกิ่งที่เหมาะสมในครั้งแรก คือ ตัดแต่งกิ่งที่เหนือข้อที่ 2 และตัดแต่งกิ่งครั้งที่ 2 เหนือข้อที่ 3 ของต้นสบู่ดำ (สัมฤทธิ์, 2548) ทั้งนี้ เพื่อให้ทรงพุ่มกว้าง รับแสงแดดได้ดี ให้ผลผลิตสูง และเก็บเกี่ยวสะดวก คำแนะนำ คือ ควรตัดแต่งกิ่งต้นสบู่ดำให้ได้ความสูงประมาณ 2 เมตร ไม่ควรสูงกว่านี้เพราะจะเก็บเกี่ยวยาก หลังจากที่มีการตัดแต่งกิ่งต้นสบู่ดำ ได้ 2 สัปดาห์ ต้นสบู่ดำจะเริ่มแตกกิ่งอ่อน หลังจากนั้นอีก 4 สัปดาห์ จะเริ่มแตกกิ่งและใบเป็นทรงพุ่มสวยงาม และหลังจากตัดแต่งกิ่งได้ 6-8 สัปดาห์ สบู่ดำจะเริ่มออกดอก และอีก 8-10 สัปดาห์ จะเริ่มติดผล การตัดแต่งกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ควรทำก่อนฤดูฝน หลังตัดแต่งกิ่ง เกษตรกรบางรายจะใช้ปุ๋ยทางใบ 0-0-52 อัตราความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ฉีดพ่นเพื่อกระตุ้นในการแตกยอดใหม่ นอกจากนี้ยังใช้เบนเลท ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันเชื้อราเข้าทำลายทางแผล

เนื่องจากสบู่ดำเป็นไม้ยืนต้น ดังนั้น ควรมีการตัดแต่งกิ่งทุก ๆ 3-5 ปี ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของลำต้นและความสูงของลำต้น เนื่องจากต้นสบู่ดำที่สูงเกินไปเป็นอุปสรรคต่อการเก็บเกี่ยว

6. ปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ

แสง สบู่ดำเป็นพืชที่ต้องการแสงมากเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างน้ำมัน ดังนั้น ต้นสบู่ดำที่ปลูกในที่ที่ไม่มีร่มเงา ได้รับแสงแดดมากจะเจริญได้ดี เพราะการสังเคราะห์น้ำมันในพืชจำเป็นต้องใช้พลังงานเพื่อการสังเคราะห์โมเลกุลสูงกว่าสารคาร์โบไฮเดรทมาก ดังนั้น สบู่ดำพันธุ์ดีจึงต้องมีความสามารถในการสังเคราะห์กลูโคสได้สูง และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันได้ดี เป็นต้น

ฤดูปลูก ควรเป็นช่วงต้นฤดูฝน ประมาณต้นเดือนเมษายน โดยในระยะแห้งแล้งระหว่างกุมภาพันธ์-มีนาคม ถ้าให้น้ำเดือนละ 1-2 ครั้ง ต้นสบู่ดำจะให้ผลผลิตตลอดไป ถ้าแล้งจริงๆ ต้นไม้จะสลัดใบ คงไว้แต่เมล็ดดำๆ

7. การให้ผลผลิต

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และเอกสารเผยแพร่ของศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท (จักรกลเกษตร) ได้ทดลองปลูกต้นสบู่ดำ ในระยะต่างๆ โดยระยะการปลูกที่เหมาะสมที่สุดคือ ระยะ 2 x 2.5 เมตร สามารถปลูกได้ 320 ต้น/ไร่ เก็บเกี่ยวปีละ 2 ครั้งต่อปี แต่ละครั้งได้ผลผลิตประมาณ 400 กิโลกรัม และบีบเป็นน้ำมันสบู่ดำได้ 100 ลิตร (ตารางที่ 2.8) พืชสบู่ดำไม่ว่าจะมีขนาดเท่าใดหากได้อายุในการให้ผลผลิต ก็สามารถออกดอกให้ผลผลิตได้ โดยการให้ผลผลิต พืชสบู่ดำจะออกดอกเตรียมให้ผลผลิตบริเวณช่อปลายกิ่งทุกกิ่ง (รูปที่ 2.8)

รูปที่ 2.8 พืชสบู่ดำให้ผลผลิตบริเวณช่อกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107843

ตารางที่ 2.8 การให้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำ / ไร่ / ปี

ระยะการปลูก (เมตร)	จำนวนต้น	จำนวนการเก็บเกี่ยว (ครั้ง)	จำนวนผลผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมัน (ลิตร)
2 x 2.5	320	2	800	200

หมายเหตุ 1. ผลผลิต 4 กิโลกรัม บีบน้ำมันได้ 1 ลิตร

2. ปลูกแบบให้น้ำฝนเป็นหลัก

3. หากให้น้ำในฤดูแล้ง ทุกๆ 7-10 วัน สบู่ดำจำให้ผลผลิตตลอดปี (เป็นวิธีการหลอกให้ต้นไม้เข้าใจว่าเป็นหน้าฝน)

2.3.4 การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ

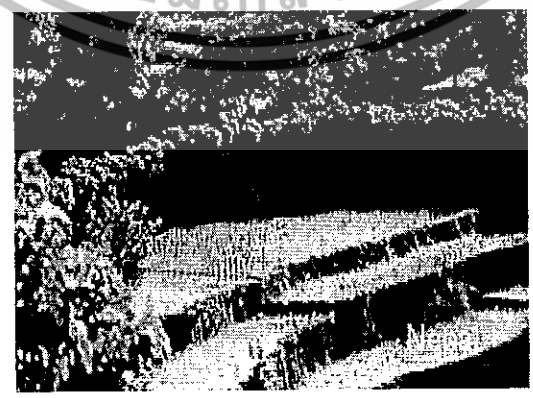
1. การปลูกสบู่ดำ

1.1 เป็นรั้วล้อมรอบพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจหลักๆ เพื่อป้องกันวัว ควาย เข้ามาทำความเสียหายต่อพืชชนิดนั้น เนื่องจากวัว ควาย จะไม่กินใบหรือยอดอ่อนของสบู่ดำ (Diallo, 1994) นอกจากนี้ อินเดียปลูกเป็นรั้วป้องกันลมร้อนในฤดูร้อนที่ทำให้มีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วในแปลงปลูกผัก

1.2 ปลูกสบู่ดำป้องกันการชะล้างของดิน (soil erosion) ในฤดูฝนของเขตพื้นที่แห้งแล้ง พบที่ Cape Verde เป็นพืชสบู่ดำ 14.6 % ของพื้นที่ทั้งหมด 4,462 เฮกแตร์ (Spaak, 1990)

1.3 ในประเทศ Madagascar ปลูกสบู่ดำสำหรับเป็นเสาค้างของพืชวนิลลา

1.4 ในบางพื้นที่ของประเทศอินเดียปลูกพืชสมุนไพร ได้แก่ Asgandh (*Withania somnifera*) แซมในระหว่างต้นสบู่ดำ สารเคมีจากต้นสบู่ดำจะถูกปล่อยออกมาขับไล่แมลงศัตรูของพืชสมุนไพร Asgandh ได้ (http://botaisical.com/site/column-poudhia//4-jatropha.html)



รูปที่2.9 การปลูกสบู่ดำร่วมกับการทำนาในประเทศเนปาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้เป็นอาหารของคน

2.1 ส่วนของใบอ่อนหรือยอดอ่อนเมื่อนำไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อนแล้วสามารถนำมารับประทานได้อย่างปลอดภัย (Duke, 1985)

2.2 เมล็ดสบู่ดำจากบางพื้นที่ของประเทศเม็กซิโกเมื่อนำมาต้มและคั่วด้วยความร้อนสามารถนำไปรับประทานได้ (Apone, 1978)

3. การใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากกากสบู่ดำ (press cake) มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ประกอบด้วยสารพิษมากมายได้แก่ curcin, phorbolic esters, saponin, protease inhibitors และ phytates นำกากสบู่ดำมาผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์โดยการใช้ความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี หรือการหมักกากน้ำมันสบู่ดำด้วยเชื้อรา Rhizopus oryzae (Gübitz etal., 1997)

Gübitz และคณะ (1997) รายงานว่าการใช้ใบของพันธุ์สบู่ดำจากประเทศเม็กซิโกเลี้ยงไหมป่า (eri silkworm) ทำให้ไหมป่ามีชีวิตรอดเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นและน้ำหนักเปลือกรังไหมต่ำกว่าไหมป่าที่เลี้ยงด้วยใบละหุ่ง แต่ในอียิปต์ใช้ใบสบู่ดำเลี้ยงไหมป่า tusser (http://www.fao.org//docrep/x540Ze11.htm)

4. การใช้เป็นยารักษาโรค ส่วนต่างๆ ของสบู่ดำสามารถนำมาสกัดเป็นยารักษาโรคของคนได้ดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สรรพคุณของสบู่ดำ

ส่วนต่างๆ ของสบู่ดำ	สรรพคุณทางเภสัช
ต้น	ยาถ่าย
เปลือก	ยาถ่าย ขับพยาธิ แก้ปวดท้อง
ใบและเนื้อไม้	แก้พิษตานซาง ถอนพิษที่ทำให้ตัวร้อน แก้ปากและลิ้นเปื่อยพุพอง แก้ลิ้นเป็นฝ้าละออง
เมล็ด	แก้ปวดตามข้อ แก้โรคผิวหนัง เป็นยาระบาย ยาถ่ายอย่างแรง
ยาง	แก้ปากเปื่อย พุพอง และแก้ลิ้นเป็นฝ้าละออง

ที่มา :รังษี และอมรรัชฎ์. 2548

5. การใช้เป็นสารป้องกันกำจัดโรค แมลงศัตรูพืช และหอย

5.1 สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช (insecticides) มีรายงานการใช้สารสกัดพืชจากสบู่ดำป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 การใช้สารสกัดพืชจากสบู่ดำป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช

Insect	Plant	Preparation	Reference
Helicoverpa armigera	Cotton	Acetone extraet of seeds; aqueous extract from oil; seed oil	Solsoloy *et al.* (1987), Solsoloy (1993; 1995)
Aphis gossypii	Cotton	Aqueous extract from oil; seed oil	Solsoloy (1993; 1995)
Pectinophora gossypiella	Cotton	Aqueous extract from seed oil	Solsoloy (1993)
Empoasea biguttula	Cotton	Seed oil	Solsoloy (1995)
Phthorimaca operculella	Potato	Seed oil	Shelke *et al.* (1985)
Callosobruchus maculatus	Pulse	Seed oil	Jadhav (1984)
Callosobruchus chinensis	Mungbean	Seed oil	Solsoloy (1995)
Sitophilus zoamays	Corn	Seed oil	Solsoloy (1995)
Manduca sexta	?	Phorbol esters	Sauerwein *et al.* (1993)
Sesamia calamistis	Sorghum	Oil and phorbol esters	Henning (1994)

5.2 สารป้องกันกำจัดหอย (molluscicides) Agaceta และคณะ (1981) รายงานว่าในประเทศฟิลิปปินส์ใช้สารสกัดจากสบู่ดำกำจัดหอยที่เป็นพาหนะของพยาธิในตับ (liver fluke)

Vassiliades (1984) พบว่าในประเทศเซเนกัล สารสกัดพืชจากสบู่ดำสามารถกำจัดหอยที่เป็นพาหนะของพยาธิ *Fasciola gigantea* และ *Schistosomia* Liu และคณะ (1996) กล่าวว่าสารสกัดจากเมล็ดสบู่ดำที่สามารถกำจัดหอยพาหะของพยาธิ *Schistosomia* เป็นสารพวก phorbol esters

5.3 สารป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicides) รังษีและคณะ(2548) รายงานว่าน้ำสกัดจากเปลือกผลสบู่ดำสามารถยับยั้งการเจริญเส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าทุเรียน และเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสมะม่วงได้ 100% เท่ากับสารเคมีเมทราแลคซิลและโปรคลอราซตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดสบู่ดำสามารถยับยั้งการสร้าง sporangia zoospore และการงอก zoospore ของ *P. palmivora* ได้ 91.67, 95.83 และ 100% ตามลำดับ รวมทั้งสามารถยับยั้งการสร้างยับยั้งการสร้างและการงอก conidia ของ *C. gloeosporioides* ได้ 100%

Garcia and Lawas (1990) รายงานว่าน้ำสกัดจากใบสบู่ดำสามารถควบคุมโรคพืชของ Azolla ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Sclerotium* sp. Thangavelu และคณะ(2004) รายงานว่าการใช้สารสกัดสบู่ดำที่ความเข้มข้น 25 และ 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum musae* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของกล้วยได้ 100% และ Wei และคณะ (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานว่าสาร β1,3-glucanase จากเมล็ดสบู่ดำสามารถฆ่าเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และ *Gibberelle zeae* ได้ และสรุปว่าสารชนิดนี้มีศักยภาพเป็น biological fungicide

6. การใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุอาหารหลัก (NPK) ของกากสบู่ดำ (รูปที่ 2.10) และปุ๋ยชีวภาพชนิดต่างๆ โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร ทำให้ทราบว่า กากสบู่ดำสามารถทำเป็นปุ๋ยคุณภาพดี (ตารางที่ 2.11) และสามารถขายให้โรงงานผลิตปุ๋ยได้ในราคากิโลกรัมละ 3.50 บาท (ราคา ณ กันยายน 2548) โดยทุกๆ 4 กิโลกรัม เมล็ด ได้กากสบู่ดำ 2.5 กิโลกรัม (ภัทชาณาภร และจุฑาทิพย์, 2548)

รูปที่ 2.10 กากสบู่ดำ

ตารางที่ 2.11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุอาหารหลัก (NPK) กากสบู่ดำ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก คิดเป็นร้อยละได้ผลดังนี้

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
กากสบู่ดำ	4.44	2.09	1.68
กากละหุ่ง	5.20	1.10	1.10
มูลกระบือ	0.98	0.69	1.66
มูลไก่	3.04	6.27	2.08
มูลเป็ด	2.37	2.10	1.09
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.81	0.18	0.68
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.46	0.48
ปุ๋ยหมักจากขยะ	1.25	0.25	0.65

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลนี้ จะเห็นได้ว่า กากสบู่ดำมีธาตุอาหารหลัก NPK มากกว่าปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ผักตบชวา และ ขยะ อย่างเห็นได้ชัด กากสบู่ดำมีค่าไนโตรเจนสูง จึงเหมาะที่จะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ให้กับต้นไม้ในระยะตั้งตัวและต้นไม้ที่ปลูกเพื่อเก็บผลผลิตใบ เช่น ใบชา เพราะต้นชาต้องการไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่นและสอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนเร็วมาก การให้ไนโตรเจนมากขึ้น 1 กิโลกรัม จะทำให้ผลผลิตใบชาเพิ่มมากขึ้นจาก 4 เป็น 8 กิโลกรัม โดยทั่วไปปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้อยู่ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟตหรือยูเรียจึงทำให้ดินเป็นกรดเล็กน้อย

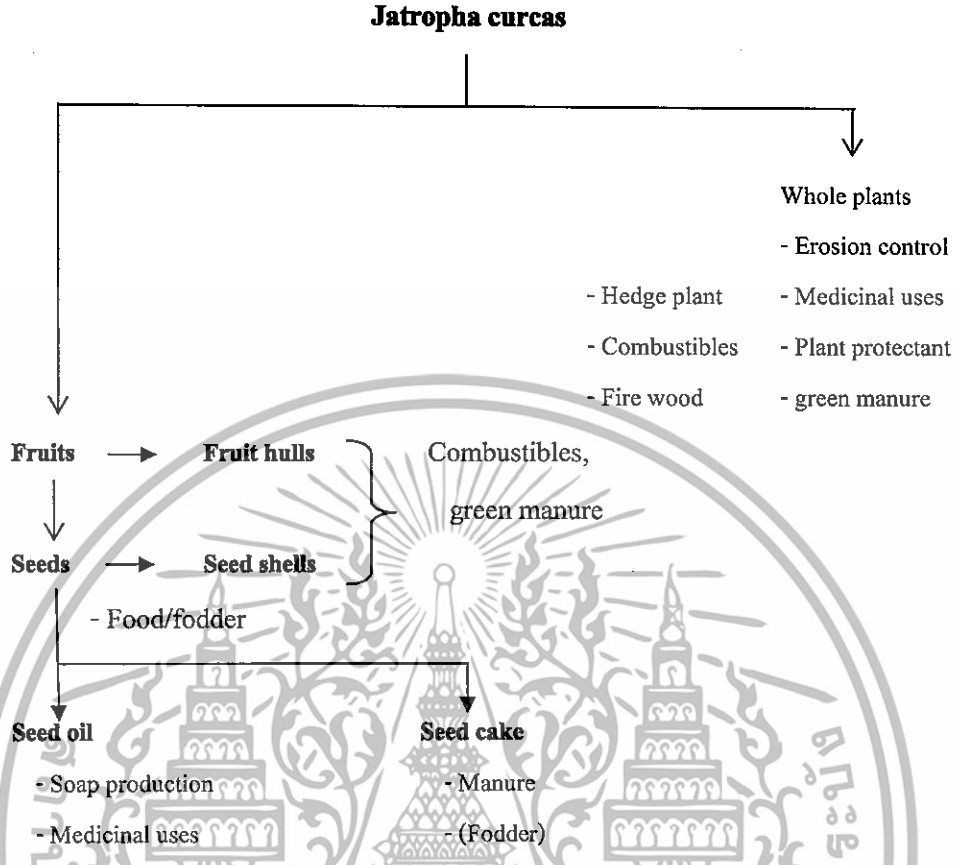
7. การใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติสำหรับย้อมเส้นใยธรรมชาติ จากเอกสารทางอิเลคโทรนิครายงานว่าส่วนเปลือกของลำต้นและรากของสบู่ดำสามารถเป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้ โดยส่วนเปลือกจะให้สีน้ำเงินเข้ม ส่วนรากจะให้สีเหลือง (http://www.maxpaages.com/Jatropha/Utilization of Jatropha)

8. การใช้เป็นพลังงาน นอกจากการใช้น้ำมันสบู่ดำแปรรูปเป็น methyl หรือ ethyl esters สำหรับผสมน้ำมันดีเซลเป็นไบโอดีเซลแล้วและส่วนอื่นๆ ของสบู่ดำสามารถใช้เป็นพลังงานได้ด้วยเหมือนกัน ดังนี้

ใน Cape Verde ใช้ส่วนลำต้นและกิ่งใหญ่ใช้เป็นฟืนสำหรับให้ความร้อนแต่เป็นแหล่งที่ให้พลังงานต่ำ Gübitz และคณะ (1997) รายงานว่า การหมักเปลือกผลสบู่ดำและกากน้ำมันสบู่ดำในสภาพไร้อากาศ จะได้ biogas ซึ่ง 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นก๊าซมีเทน

9. เมล็ดสบู่ดำบดเป็นผงสำหรับใช้เคลือบเครื่องหนังเป็นสีน้ำตาล (tanning) (http://www/maxpages.com/Jatropha/Utilization of Jatropha) นอกจากนี้ในส่วนของน้ำมันและส่วนของกลีเซอลีนดิบที่ได้จากกระบวนการแปรรูปน้ำมันเป็น ethyl หรือ methyl esters สามารถนำไปทำสบู่ สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช และยารักษาโรคผิวหนัง ส่วนน้ำมันแปรรูปเป็นน้ำมันเครื่อง (Illuminants และ Varnishes) ได้ ส่วนประกอบและประโยชน์ของสบู่ดำสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบและประโยชน์ของสบู่ดำ

2.3.5 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

การปลูกสบู่ดำจุดมุ่งหมายหลักเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน โดยการแปรรูปน้ำมันสบู่ดำนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นไบโอดีเซลใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกประเภทหรือใช้น้ำมันสบู่ดำโดยตรงกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร ดังนั้น การปลูกสบู่ดำจะต้องได้ผลผลิตเมล็ด เปอร์เซ็นต์น้ำมันในเมล็ด และคุณภาพน้ำมันสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ การวิจัยและพัฒนาจึงแบ่งเป็น 2 ระดับ ตามสภาพทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระดับชุมชน และระดับอุตสาหกรรม

ระดับชุมชน เน้นให้กลุ่มหรือชุมชนเกษตรกรพึ่งตัวเองมากที่สุด การปลูกสบู่ดำเพื่อสามารถผลิตน้ำมันใช้กับเครื่องยนต์การเกษตรได้เองภายในกลุ่มหรือชุมชน การใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นๆ ของสบู่ดำ ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากส่วนกากน้ำมันหรือเปลือกผลแห้ง และปุ๋ยพืชสดจากส่วนใบและกิ่งหลังการตัดแต่งกิ่งสบู่ดำเพื่อใช้ในการผลิตพืชเศรษฐกิจที่เป็นหลักของชุมชน การผลิตสารป้องกันกำจัดโรค แมลง และหอยศัตรูพืชจากใบ กิ่ง เปลือกผล และกากน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้การสกัดสารแบบง่ายๆ รวมทั้งน้ำมันสบู่ดำด้วยเพื่อใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชในการผลิตพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐกิจที่เป็นพืชที่สร้างรายได้หลักของชุมชน การใช้ส่วนรากและเปลือกลำต้นสกัดเป็นสีธรรมชาติย้อมเส้นใยธรรมชาติประดิษฐ์เป็นเครื่องนุ่งห่มหรือของใช้อื่นๆ และการใช้ส่วนของกิ่งใหญ่ๆ หรือลำต้นเผาเป็นถ่านหรือเชื้อเพลิงเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน

ระดับอุตสาหกรรม เน้นการปลูกสบู่ดำเพื่อเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ มีระบบปลูกและการจัดการที่ให้ผลผลิตน้ำมันในปริมาณที่มากที่สุดเพื่อเข้าสู่ระบบการแปรรูปเป็น ethyl หรือ methyl ester แบบโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์จากส่วนอื่นๆ ของสบู่ดำ ได้แก่ การผลิตอาหารสัตว์จากกากน้ำมันสบู่ดำที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษแล้ว การผลิตยารักษาโรคคนจากสารสำคัญที่อยู่ในส่วนต่างๆ ของสบู่ดำ การผลิตน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันทาสี น้ำมันเคลือบเงา หมึกพิมพ์โรเนียวหรือจากน้ำมันสบู่ดำ การแปรรูปกลีเซอลีนดิบ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง และการผลิตสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และการผลิต Biogas จากการหมักเปลือกผลสบู่ดำหรือกากน้ำมันสบู่ดำในสภาพไร้อากาศเพื่อเป็นพลังงานหมุนเวียนใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสบู่ดำ

2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำเอาวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืชต่างๆหรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น กากอ้อย แกลบ และผักตบชวา เป็นต้น มาบดหรือย่อย จากนั้นอัดเป็นก้อนหรือเป็นแท่งเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในวัสดุที่นำมาอัด ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2523 ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและเศษไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้ว แต่ประสิทธิภาพการใช้งานนั้นยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากและมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่ง ทำให้การใช้ถูกจำกัดอยู่บริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิต การขนส่งไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ

2. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีความหนาแน่นต่ำ และมีค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมาก จึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่า ทำให้การใช้วัสดุเหลือทิ้งถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรือในอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมากๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

3. มีความชื้นสูง ทำให้จุดติดไฟได้ยากและมีค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากแห้ง นอกจากนี้ วัสดุที่เปียกยังเกิดการผุ เน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ด รา และการกัดกินของแมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรต่างๆ ก่อนการอัดแท่งจะมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมาก ไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา ดังนั้นการอัดแท่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและสะดวกในการขนส่ง

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง มีองค์ประกอบหลักเป็นพวกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เศษไม้ ใบไม้ ขยะของเหลือใช้ หรือของเสียต่างๆจากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือชุมชน ได้แก่ แกลบ ฟางข้าง กากอ้อย กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด และขี้เลื่อย เป็นต้น โดยที่วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง	สารระเหย (%)	ถ่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	กำมะถัน (%)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี่/กก.)
1.ขี้เลื่อย	71.3	27.2	1.5	-	4,990
2.กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	-	4,440
3.ชานอ้อย	71.8	23.4	4.8	-	4,510
4.แกลบ	62.7	17.4	20.0	-	3,860
5.ฟางข้าว	74.4	18.9	7.3	-	4,300
6.ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.3	4,300
7.เหง้ามันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,050
8.ซังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,540
9.ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,380
10.กะลามะพร้าว	73.7	25.5	0.7	0.03	4,830
11.ถ่านกะลามะพร้าว	15.2	82.4	2.4	-	7,760
12.ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	-	3,010
13.เปลือกหวาย	70.5	23.7	5.7	-	4,480
14.ทะลายปาล์ม	73.9	22.3	3.8	-	4,500
15.เส้นใยปาล์ม	71.5	23.1	5.4	-	4,820
16.ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.1	-	4,560
17.ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.4	-	7,650
18.ถ่านหิน	42.8	49.5	7.7	1.73	5,860
19.ถ่านโค้ก	1.2	90.6	8.2	0.48	7,150
20.ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,150
21.ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,460

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

หลักการอัดแท่ง คือ การใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยหลักการ คือ สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด ความแข็งแรง เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาค สนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบได้แก่ (Mishra and Grover. 1996)

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูง เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว และของแข็ง เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (adhesion forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ลอคกิง (interlocking bond) ระหว่างวัสดุ

2. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำ โดยอาศัยตัวประสานช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกลการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน นอกจากนี้ กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว (adhesion forces) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน (cohesion forces) และพันธะอินเตอร์ลอคกิง (interlocking bond) ระหว่างวัสดุ

2.4.3 ขั้นตอนการอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่นำมาอัดก้อน โดยทั่วไป ไม่ว่าจะใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสาน จะประกอบด้วย กระบวนการหลัก คือ การบด การอบ การผสม และการอัดขึ้นรูป

การบด (Grinding) เพื่อให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลงทำให้การอัดติดเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น

การอบ (Drying) เชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นที่พอเหมาะกับการอัดก้อน ถ้าความชื้นมากเกินไป ก้อนเชื้อเพลิงจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น ถ้าความชื้นต่ำเกินไป เชื้อเพลิงจะเสียความแข็งแรง หรืออาจทำให้อัดไม่ติด

การผสม (Mixing) เชื้อเพลิงจะผสมกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ การผสมจะต้องพิจารณาเวลาในการผสมซึ่งจะต้องมากพอที่จะผสมสารให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเชื้อเพลิง ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำด้วยความชื้นของส่วนผสมที่มีน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอัด (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นนอนขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงอัดและระยะเวลาที่อัดด้วย

2.4.4 วิธีการอัดแท่ง

สามารถแบ่งตามวิธีการอัดเป็น 2 แบบ คือ

2.4.4.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification)

เช่น การอัดก้อนแบบใช้เครื่องอัดแบบสกรู เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบสกรู คือ บรรจุวัสดุที่ต้องการอัดลงในถัง (hopper) ที่มีช่องว่างออกสู่กระบอกอัด (extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนหมุน การขับเคลื่อนของสกรูอาศัยแรงขับจากมอเตอร์ ผ่านสายพานและเฟืองทด วัสดุจะไหลเข้าสู่กระบอกอัดเมื่อสกรูหมุน และวัสดุจะถูกอัดติดกับผนังกระบอกอัดด้วยแรงดันสูง ในขณะที่วัสดุอัดแท่งเคลื่อนผ่านกระบอกอัด วัสดุจะได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกอัด แท่งวัสดุจะเคลื่อนตัวอย่างช้าออกจากปลายกระบอกอัดและจะหักเมื่อสัมผัสกับเหล็กฉาก จากนั้นจะถูกผลักให้หักเหออกจากทิศทางเดิม ความยาวของแท่งวัสดุจะถูกควบคุมด้วยเหล็กฉาก การอัดแบบนี้อาจมีการเติมตัวประสานหรือไม่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ถ้าวัสดุมีลิกนินและเส้นใยในปริมาณที่สูง เมื่อถูกความร้อนจากเครื่องอัดจะทำให้สารเหล่านี้เกิดการเยิ้มยึดเกาะติดกันได้ แต่ถ้ามีวัตถุดิบพวกนี้น้อย ก็อาจจำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วย วิธีการอัดแท่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามชนิดของเครื่องอัด คือ

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

ข้อดีของการอัดแบบร้อนคือ
1. สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง
2. ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน
3. ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการอัดแบบร้อนคือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดแบบเย็น
2. วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำ คือ ไม่เกินร้อยละ 10
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
4. เครื่องอัดแท่งมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification)

เช่น การอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิกส์ (hydraulic press) เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่องอัดแบบไฮโดรลิกส์ คือ ใส่เชื้อเพลิงที่ต้องการลงในแบบอัด จากนั้นบังคับวาล์วและบังคับทางเดินน้ำมันให้แกนไฮโดรลิกส์กดวัสดุลงในแบบอัด ซึ่งแรงในการอัดสามารถบังคับได้โดยมีวาล์วปรับความดัน ในการอัดแบบไม่ใช้ความร้อนนี้จำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วยในการอัดแท่ง แต่การอัดแบบเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน ก็สามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน คือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสด และวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมัก เนื่องจากการหมักชีวมวลทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัวและสร้างสารที่เป็นยางเหนียว ทำให้ใช้พลังงานที่ใช้ในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการอัดแบบร้อน

ข้อดีของการอัดแบบเย็นคือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดแบบร้อน
2. ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดแบบร้อนเพียงเล็กน้อย
3. ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
5. เครื่องอัดแท่งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดแบบเย็นคือ ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

2.4.4.3 ตัวประสาน (Binder)

ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Bryand., 1985) คือ

1. ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดิบ ขยะเน่าเปื่อย สาหร่าย และแป้ง เป็นต้น

2. ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เลน และดินเหนียว เป็นต้น

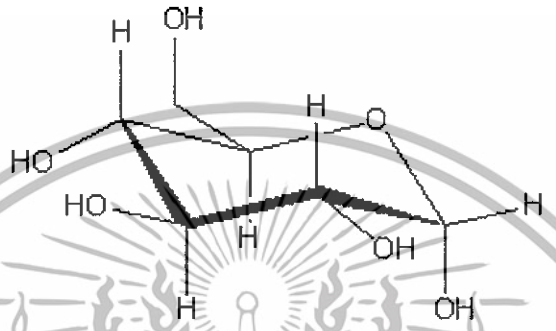
คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

1. มีความเหนียวมากเพียงพอในการเป็นตัวประสาน
2. สามารถเผาไหม้ได้หรือลุกติดได้ดี และไม่ทำให้เกิดควัน
3. เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วน หรืออ่อนตัวเกินไป
4. เสียค่าใช้จ่ายน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้ง (Starch)

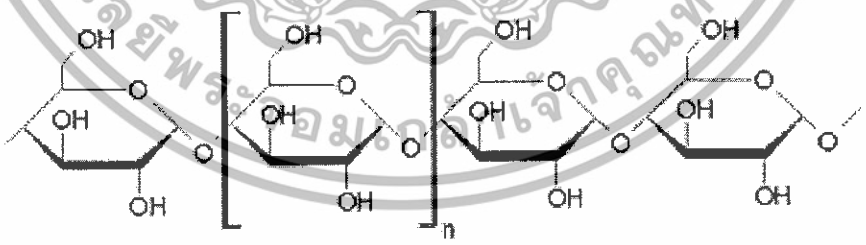
แป้ง (Starch) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในอาหารที่มีปริมาณเส้นใยสูงซึ่งสามารถพบได้ในพืช เช่น ข้าวเจ้า และ ข้าวสาลี เป็นต้น องค์ประกอบทางเคมีของแป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต โครงสร้างของแป้งมีลักษณะของพอลิเมอร์ของหน่วยกลูโคส (Glucose) (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกลูโคส

โครงสร้างของแป้ง มีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. อะไมโลส (Amylose) มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นโครงสร้างโซ่ตรง เกิดจากพันธะแอลฟา 1,4 (α -1,4 linkage) เชื่อมระหว่างสายโซ่โมเลกุลของกลูโคส ทำให้มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง ขนาดโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย (รูปที่ 2.13)



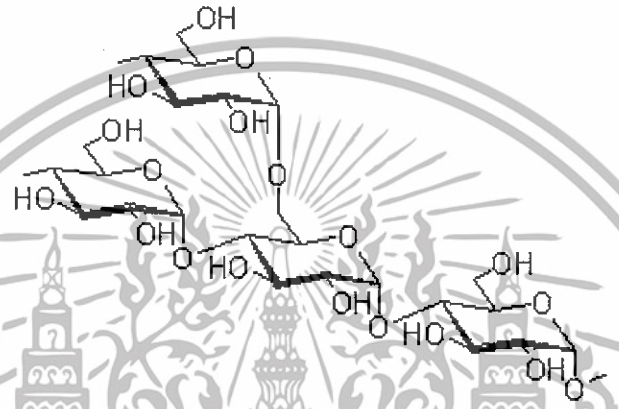
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของอะไมโลส

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จะแสดงถึงคุณสมบัติการชอบน้ำ (Hydrophilic) ของแป้ง เช่น การดูดความชื้น และการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอะไมโลสมีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ และเนื่องจากมีหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮดรอกซิลในโมเลกุลมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จัดเรียงตัวในแนวขนานและใกล้เพียงพอที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้สมบัติการชอบน้ำ และการละลายของแป้งลดลง

2. อะไมโลเปกติน (Amylopectin) พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นโครงสร้างกิ่งซึ่งเกิดจากการต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 (α -1,6 linkage) เชื่อมระหว่างสายโซ่โมเลกุลของกลูโคส ทำให้มีลักษณะเป็นสายกิ่ง แต่ละกิ่งประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคส ประมาณ 20-30 หน่วย (รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอะไมโลเปกติน

จากรูปที่ 2.14 โมเลกุลอะไมโลเปกตินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลส และอะไมโลเปกตินเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่งทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลแป้งลดลง และขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเปกตินในน้ำจะมีลักษณะใส และมีความเสถียรในการเป็นเจล

โดยปกติแป้งบริสุทธิ์ (Pure starch) ไม่สามารถนำมาใช้งานในด้านบรรจุภัณฑ์ (Packaging) เพราะแป้งบริสุทธิ์ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม (Film) ได้

ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของแป้งโดยการแทนที่หมู่ –OH ในโครงสร้างของแป้งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxypropylation เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำของแป้ง (Hydrophobicity) ทำให้แป้งเกิดการรวมตัวกับพอลิเมอร์อินทรีย์เพื่อสังเคราะห์เป็นบรรจุภัณฑ์

แป้งจากมันสำปะหลัง เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเปกติน ซึ่งทั้งสองชนิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ที่ได้จากกลูโคสมาต่อเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว หมู่ไฮดรอกซิลในกลูโคสสามารถยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในน้ำแป้งจะดูดน้ำและพองตัวอย่างถาวร ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและใส เรียกว่า การสุกหรือเจลาติไนเซชั่น (Gelatinization) แป้งสุกเมื่อทำให้แห้งจะเกาะตัวกันได้ดี จึงสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุรูปทรงต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของแป้ง

1) การดูดซับ การพองตัว การละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศ ทำให้เกิดการสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17% จากการทดลองของ Leach (กล้าณรงค์ .2543) พบว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 42.9 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแป้ง 100 กรัม

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมี 3 รูปแบบ คือ น้ำในรูปของ Bound water และน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นจากมากไปน้อยตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้นประมาณ 8-10% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูง เนื่องจากเป็นการจับกันของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยแป้ง

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง ได้แก่

- ชนิดของแป้ง

แป้งจากส่วนราก (pitch) เช่น แป้งมันสำปะหลัง จะมีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งธัญพืช

- ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง

- สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

- ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

2) ความหนืด

เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากและยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัว เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งลดน้อยลงและเม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

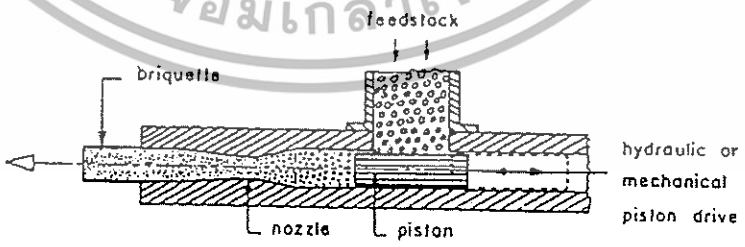
ความหนืดเพิ่มขึ้นปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชั่น (Gelatinization) และอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสจะกระจัดกระจายออกมา ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ เกิดโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback)

2.4.5 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่งสามารถแบ่ง เป็น 4 กลุ่มใหญ่ (Karchesy and Koch. 1979) คือ

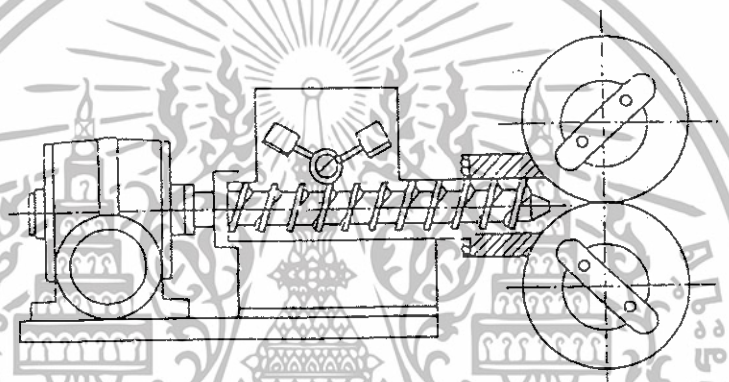
2.4.5.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocation Piston) เพื่อดันวัตถุดิบเข้าไปในกระบอกรูปเรียว (Tapered Die) (รูปที่ 2.15) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical Choke) หรือเป็นรูปเรียวทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านรวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ (Bhattacharya *et al.* 1988; Lequeux *et al.* 1988)



รูปที่ 2.15 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) หลักการทำงานคือกระบวนการอัดจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน (Pillow-shaped briquettes) (รูปที่ 2.16) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความทนทานน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้แรงอัดต่ำ และ อุณหภูมิในกระบอกอัดไม่สูงพอที่จะหลอมละลายลิกนินเพื่อช่วยในการอัดตัวกันเป็นแท่ง

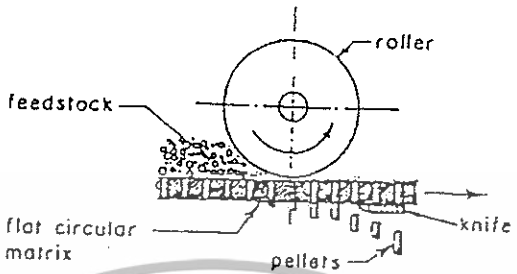


รูปที่ 2.16 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

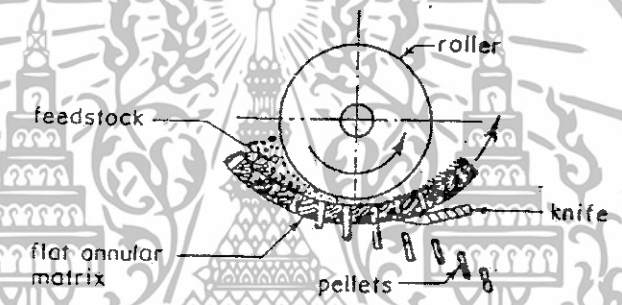
2.4.5.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยแม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และแม่พิมพ์ (Matrix) โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้งกับแม่พิมพ์ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสี และทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู มี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ก และ 2.17 ข ตามลำดับ แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมา จะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้การอัดแบบเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเป็นเม็ด (Pellet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



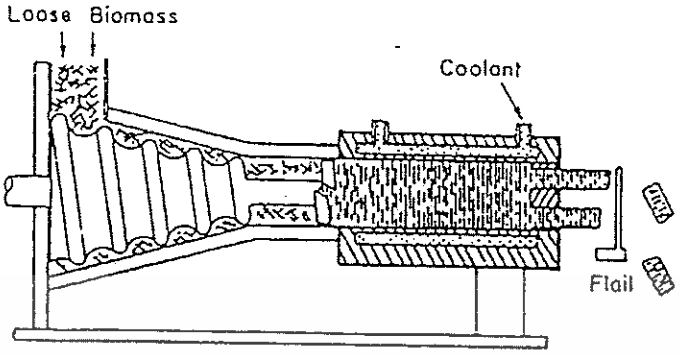
รูปที่ 2.17 เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ

ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน

2.4.5.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจาก แท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแท่งฟืนซึ่งนิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้งาน และการขนส่ง โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

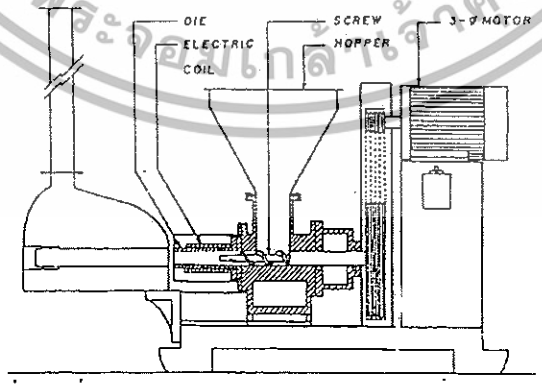
1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพ้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.18) การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2. เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heat) มีหลักการทำงาน คือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2.19) ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนิน เซลลูโลส หลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดยึดเกาะตัวกันดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตอยู่ในช่วง 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Karchesy and Koch. 1979) วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเม็ดละเอียด และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว



รูปที่ 2.19 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) ประกอบด้วยเกลียวอัด 2 อัน ต่อกับเพลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw part) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสีสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป สามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องทำให้แห้งก่อน กำลังการผลิตของเครื่องอัดนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

จากการศึกษาการอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ ด้วยเครื่องจักรที่ทางโครงการวิจัยพืชเพื่อพลังงานทดแทน และอุตสาหกรรมประดิษฐ์ขึ้นเอง พบว่าผักยาง โสน สนปฏิพัทธ์ (ใบ) และยูคาลิปตัส (ใบ) ให้ค่าความร้อน 3,546.35, 4,150.16, 4,562.69 และ 4,563.50 แคลอรี่ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งฟืน และถ่านไม้นนทรีให้ค่าความร้อน 4,314.74 และ 7,003.22 แคลอรี่ต่อกรัม ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเตาหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงเขียว (เตาโลหะ) โดยใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ พบว่าประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเพเลทมีค่าสูงกว่าฟืนและถ่านไม้นนทรี (เริงศักดิ์, 2528)

2.4.6 การตาก หรือการอบแห้งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยเฉพาะการอัดเย็น จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความชื้นสูง ดังนั้น การตากจึงมีความจำเป็นมาก การตาก หรือการอบทำได้หลายวิธี เช่น

1. การตากแดดโดยตรง อาจจะตากบนพื้นซีเมนต์ บนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ
2. การตากในตู้อบแสงอาทิตย์
3. การอบด้วยความร้อนจากเตาเผาขยะ
4. การอบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
5. การอบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน หรือตู้อบไฟฟ้า

การเก็บเชื้อเพลิงอัดแท่ง ควรเก็บในที่แห้ง ไม่ให้ถูกน้ำ ถ้าเปียกชื้นอาจทำให้แท่งเชื้อเพลิงขึ้นราได้ และถ้าเปียกมาก ๆ จะสลายตัวและไม่เป็นแท่ง

2.4.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.4.7.1 คุณสมบัติทางด้านเคมี

1. การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์แบบง่าย โดยการเผาเชื้อเพลิงภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่างของเชื้อเพลิง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลง และจะทำให้จุดติดไฟได้ยาก

- ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวกอัลคาไลน์ เช่น SiO_2 , Na_2O และ K_2O เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณเถ้าต่ำ ยกเว้นแกลบ

- สารระเหย (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

- คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากที่ระเหยสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

- ค่าความร้อน (Calorific value or heating value) ค่าความร้อนในการเผาไหม้ ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2. การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของเชื้อเพลิง โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ %C, %N, %O, %S และ %Si เป็นต้น การวิเคราะห์แบบนี้ต้องทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคขั้นสูงเพราะต้องหาค่าส่วนประกอบดังกล่าวอย่างละเอียด

2.4.7.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

เป็นการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น การทนแรงอัด และดัชนีการแตกร่วน เป็นต้น

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบสูงแต่มีสารระเหยได้ และปริมาณเถ้าต่ำ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความชื้นสูง จะมีผลทำให้มีค่าความร้อนต่ำ (สมชาย และกัญจนา, 2525) อย่างไรก็ตาม ชีวมวลที่ได้จากพืช มีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันธรรมชาติ และถ่านหิน คือ มีธาตุกำมะถันน้อย และไม่มีมลภาวะ หรือสารพิษอื่น ๆ เช่น ปรอท ตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีปริมาณเถ้าต่ำ (นารา, 2529) ถ่านที่ดีควรมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 คุณสมบัติที่ดีของถ่านอัดแท่ง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
คาร์บอนเสถียร (Fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า 75%
สารระเหยง่าย (Volatile)	ไม่เกิน 25%
ขี้เถ้า (Ash)	ไม่เกิน 8%
ความชื้น (Moisture)	ไม่เกิน 10%
ค่าความร้อน (heating value)	ไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g
ความพรุน (porosity)	สูง

ที่มา : พุฒินันท์. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารสรุปได้ ดังนี้ (Aqa. 1990)

1. มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง

2. มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สมบูรณ์

3. ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และขี้เถ้าลอยถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้น้อยมากหรืออาจไม่มีเลย จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง ในขณะที่ถ่านหินและน้ำมันมีกำมะถันปนอยู่ประมาณร้อยละ 3 และอาจสูงถึงร้อยละ 7

4. สะดวกต่อการเก็บ ขนส่ง และการนำมาใช้งาน

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเขียวมีค่าความหนาแน่น (Density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้น สามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้ (Carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบแกลบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20-24 ชั่วโมง และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ความร้อนได้สูง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว (2530) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตร 3 ชนิด คือ กากอ้อย แกลบ และซังข้าวโพดโดยผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเป็นตัวประสานแล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 4,000 แคลอรี่ต่อกรัม แต่ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศ ซึ่งให้ค่าความร้อน 7,390 แคลอรี่ต่อกรัม

กัญจนา บุญยเกียรติและเพียรพรรค (2532) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมและการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และชานอ้อย โดยนำมาอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ภายใต้ความดัน 57-1070 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สารยึดที่ใช้ ได้แก่ ขี้ผึ้งและแป้งเปียก พบว่าขี้เลื่อยและชานอ้อยสามารถนำมาอัดให้ติดกันเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้สารยึดหรือผสมกับขี้เลื่อยหรือชานอ้อย จึงจะสามารถติดกันเป็นก้อนได้ หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ถุงพลาสติกอย่างน้อย 2 เดือนแล้วนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักร้อยละที่ร่วนออกมา ความชื้น ขี้เถ้า ปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อน และสมบัติในการไหม้ไฟ สำหรับการให้ความร้อนเมื่อเทียบกับถ่านไม้ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อยมีการแตกร่วนน้อยที่สุด (1.53%) สำหรับสมบัติการไหม้ไฟ พบว่าก้อนเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้ และมีควันมากเมื่อเริ่มลุกไหม้

สดับพร จันทราษฎร์ เจริญ เลิศสถิตธนกร และทรงชัย วิริยอำไพวงศ์ (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากถ่านไม้โสนโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่น โดยผลิตจากต้นโสนซึ่งเป็นวัชพืช แทนการใช้ไม้ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม ต้นโสนจะผ่านกระบวนการเผาไหม้ให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ตัวประสานที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด ได้แก่ โมลาส มันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังหยาบ ส่วนผสมระหว่างผงถ่านไม้โสนกับตัวประสานจะถูกอัดให้เป็นแท่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 35, 40 และ 45 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบสกรู สมบัติทางกลที่ทดสอบ ได้แก่ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด และดัชนีค่าต้านทานการตกกระแทก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงที่มีความแข็งแรงและมีค่าความร้อนสูงสุดได้จากเชื้อเพลิงที่ใช้มันสำปะหลังดิบเป็นตัวประสาน

Wayne, C. (1999) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan มีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ แต่เชื้อเพลิงจากเยื่อกระดาษมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า

Wilhelm, H. and Martin, M. (2000) ได้ทำการศึกษาทดลองการลดสารพิษในน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ โดยปัจจัยต่าง ๆ ของขั้นตอนการกลั่นทั้งหลายจะถูกแปรผันตามความเหมาะสมของระดับการลดสารพิษ เกือบทั้งหมดไม่มีผลกระทบต่อการลดความหนืด และการกำจัดกลิ่น ในขณะที่ขั้นตอนของการลดความเป็นกรด และการทำให้บริสุทธิ์สามารถลดปริมาณฟอร์บอลเอสเทอร์ได้ถึง 55 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaman, S. *et al.* (2002) ได้ทดลองอัดแท่ง olive refuse และของเสียจากโรงงานกระดาษ โดยบดย่อยวัตถุดิบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ก่อนอัดแท่งด้วยระบบไฮโดรลิค ที่ความดันในช่วง 150-250 เมกะปาสคาล ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร แล้วได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก olive refuse มีค่าปริมาณความชื้น 7.5%, ปริมาณเถ้า 5.0%, ปริมาณสารระเหย 67.5%, ค่าความร้อน 5,113 cal/g, %C 39.0%, %H 4.8%และ %N 1.5% และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียจากโรงงานกระดาษ เท่ากับ 9.0%, 15.5%, 65.55%, 3,224 แคลอรี่ต่อกรัม, 35.2%, 4.9% และ 0.2% ตามลำดับ

Martinez-Herrera, J. *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของสบู่ดำในประเทศเม็กซิโก พบว่าค่าความร้อนที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำ คือ 31.1 – 31.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณแป้งและน้ำตาลต่ำกว่า 6% กรดอะมิโนที่สำคัญ โดยเฉพาะไลซีน ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานทั่วไปของ FAO/WHO กรดไขมันหลัก คือ โอเลอิค (41.5% - 48.8%) ไลโนเลอิค (36.4% - 44.4%) ปาล์มมาติค (10.5% - 13%) และ สเตียริค (2.3% - 2.8%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. วัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมัน (จากศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัด ชัยนาท (จักรกลเกษตร)) ได้แก่ เปลือกของผล เนื้อของเมล็ดหลังจากการสกัดน้ำมัน
2. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
3. เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
5. เฮกเซน (Hexane) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
6. แป้งมันสำปะหลัง ตรามังกร (เกรดอาหาร)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น CAB101.AB1.C ประเทศ อังกฤษ
2. เครื่องบด (Grinding Machine) บริษัท อุตสาหกรรมเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศไทย
3. เครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่ง บริษัท อุตสาหกรรมเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศไทย
4. เตาเผา (Muffle Furnace) ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น P320 ประเทศ เยอรมัน
5. ตู้อบ (Dry Oven) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น A007307 ประเทศเยอรมัน
6. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator) ยี่ห้อ Sanplatec Corp. รุ่น CM-3 ประเทศเยอรมัน
7. เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC-254 ประเทศเยอรมัน
8. เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ FEL รุ่น 4100S ประเทศอังกฤษ
9. ตะแกรง ขนาด 19 มิลลิเมตร (No.3/4) และขนาด 5 มิลลิเมตร
10. เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Instron รุ่น 5566 ประเทศ สหรัฐอเมริกา
11. เตาอั้งโล่
12. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ครูซิเบิล (Crucible) พร้อมฝาปิด
14. กระดาษทดสอบพีเอช
15. ชุดเครื่องมือสกัดแบบ Soxhlet รวมทั้งชุดควบแน่น (Allihn condenser)
16. Heating mantle
17. หลอดรูพรุนที่ทำด้วยเซลลูโลส (Fat-free extraction thimble)
18. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

วัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัด ชัยนาท (จักรกลเกษตร)

3.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบสบู่ดำ

นำวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำหลังจากผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันแบบหีบด้วยแรงคน เก็บใส่ในถุงพลาสติก ทำการมัดปากถุงให้แน่น แล้วขนส่งกลับมายังห้องทดลอง โดยสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เปลือกและกาก เปลือกของผลสบู่ดำนำมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ส่วนกากของผลสบู่ดำจะทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบบด (ขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร) และแบบไม่บด

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1. เปลือกของผลสบู่ดำแบบบด
2. กากของเมล็ดสบู่ดำแบบบด
3. กากของเมล็ดสบู่ดำแบบไม่บด
4. ส่วนผสมของเปลือกของผลสบู่ดำแบบบดกับกากของเมล็ดสบู่ดำแบบบด ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1
5. ส่วนผสมของเปลือกของผลสบู่ดำแบบบดกับกากของเมล็ดสบู่ดำแบบไม่บด ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1

3.2.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำก่อนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) นำตัวอย่างมาจำนวน 5 กรัม มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมันโดยวิธีการสกัดด้วยซอกห์เลต (ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) นำตัวอย่างมาจำนวน 1 กรัม มาทำการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ตามวิธีมาตรฐาน ASTM (ASTM, 1998) ดูในรายละเอียดภาคผนวก ก ได้แก่

- 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 (Calorific value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015

3.2.2 การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น

3.2.2.1 การอัดวัตถุดิบเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น

สภาวะที่ใช้ในการอัดวัตถุดิบโดยวิธีอัดแบบเย็น

วัตถุดิบ	:	วัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ 2 กิโลกรัม
เครื่องอัดแท่ง	:	แบบเกลียวไม่มีการให้ความร้อน (Screw press)
มอเตอร์	:	ไฟฟ้า 1 เฟส มอเตอร์กำลัง 5 แรงม้า
แรงดันไฟฟ้า	:	ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 200-220 โวลต์ 50 เฮิร์ซ
ขนาดกระบอกอัด	:	ยาว 27.5 เซนติเมตร

วิธีการอัดแท่งทำโดย

1) นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.1.1 ประมาณ 2 กิโลกรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังประมาณ 100 กรัม (5 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2) นำไปให้ความร้อนด้วยการนึ่งเพื่อลดความแข็งของวัตถุดิบ นาน 10-15 นาที

3) ใส่วัตถุดิบเข้าไปในเครื่องอัดแบบไม่ใช้ความร้อน เติมน้ำเพื่อให้มีความชื้นพอเหมาะกับการอัดแบบเย็น จากนั้นเกลียวที่หมุนด้วยมอเตอร์กำลัง 5 แรงม้า จะบีบอัดวัตถุดิบเข้าไปในกระบอกอัด จากนั้นวัตถุดิบจะถูกดันออกมาอย่างต่อเนื่องที่ปลายกระบอกอัดอีกข้างหนึ่งจะได้แท่งเชื้อเพลิงยาวประมาณ 50-60 เซนติเมตร

4) ตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร

5) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำที่ผลิตโดยวิธีอัดแบบเย็น

นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้จากวิธีอัดแบบเย็นมาศึกษาหาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพขั้นพื้นฐานที่สำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ค่าความร้อน (Calorific value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015
- รูปร่างและลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- เวลาในการจุดติดไฟ
- ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- ความคงตัวของเถ้า
- ความหนาแน่น (Density)
- การทนแรงอัด (Compressive Strength) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621
- ดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038

จากนั้นเลือกคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และค่าคาร์บอนคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของวัตถุดิบ

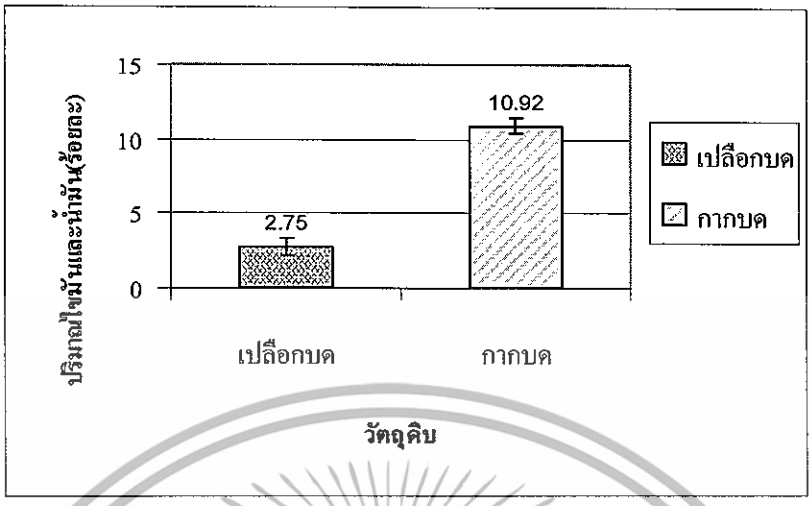
ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของสบู่ดำ แสดงดังตารางที่ 4.1 (ตารางที่ ข.1 - ข.4 ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของสบู่ดำ

พารามิเตอร์ / ตัวอย่าง	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (%)	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (cal/g)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณสารที่ระเหยได้ (%)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)
เปลือก	2.75 ± 0.58	10.70*	3347.22 ± 50.39	14.10*	62.60*	12.60*
กากบด	10.92 ± 0.52	9.40*	5004.95 ± 200.73	4.80*	67.10*	18.70*
กากไม่บด	-	7.23 ± 0.47	5349.33 ± 222.81	-	-	-
เปลือกบดผสมกากบดอัตราส่วน 1 ต่อ 1	-	8.37 ± 0.24	4754.22 ± 274.72	-	-	-
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	-	8.52 ± 0.38	4738.57 ± 421.68	-	-	-

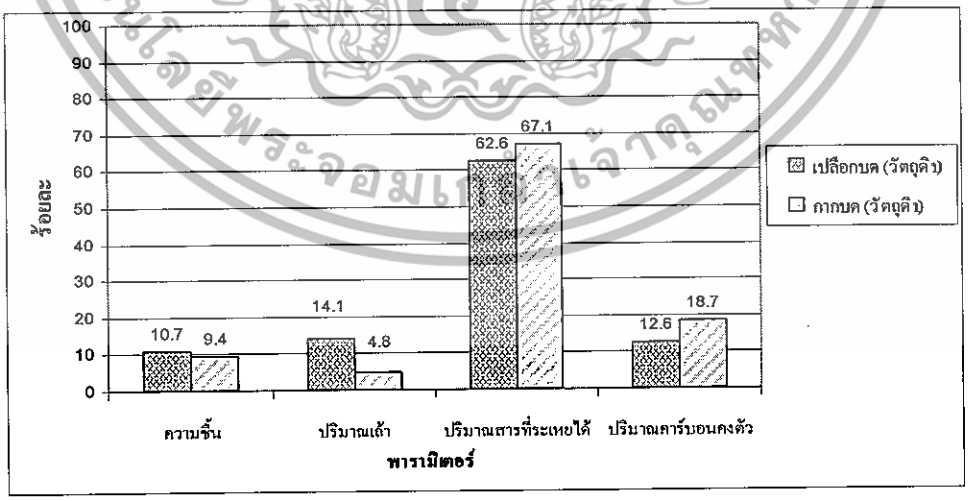
* หมายเหตุ : ผลวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำในเปลือกและกากของสบู่ดำ

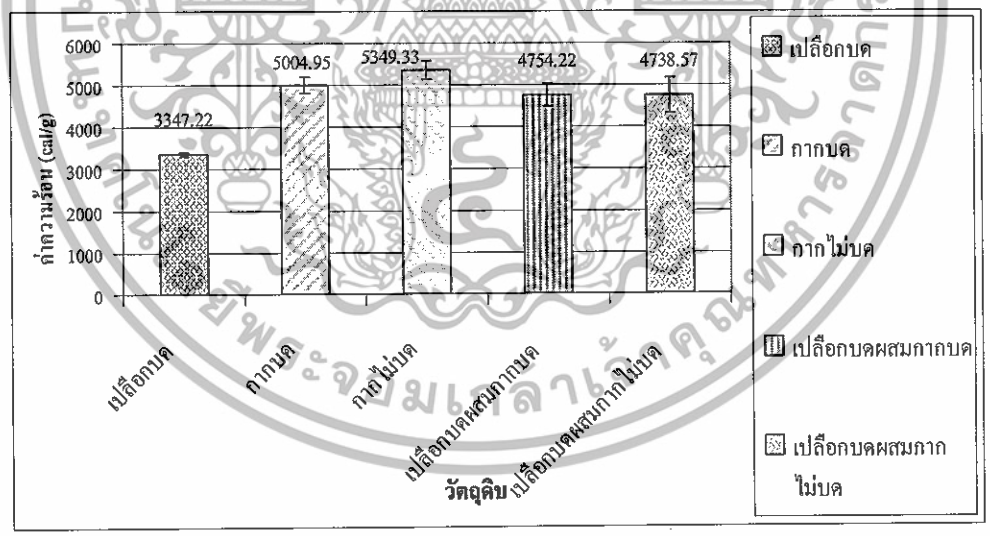
จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ 4.1 ภาคผนวก ข.1) แสดงให้เห็นให้ว่าทั้งเปลือกบดและกากบด ยังมีปริมาณไขมันและน้ำมันหลงเหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 2.75 และ ร้อยละ 10.92 ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการหีบน้ำมันจากสบู่ดำที่ใช้แรงคน ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำมันประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ จึงยังคงเหลือปริมาณไขมันและน้ำมันอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับ ไพจิตร (2530) ที่พบว่า มีปริมาณน้ำมันตกค้างในกากของสบู่ดำ10-15%ซึ่งปริมาณไขมันและน้ำมันนี้ยังคงมีค่าความร้อนและสามารถช่วยในการจุดติดไฟ



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนของเปลือกและกากของสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณสารที่ระเหยได้ของเปลือกบดและกากบดมีค่าสูง คือ ร้อยละ 62.6 และ ร้อยละ 67.1 ตามลำดับ ซึ่งมีข้อดี คือ ช่วยในการจุดไฟ แต่มีข้อเสียคือ เมื่อมีการเผาไหม้จะเกิดควันในปริมาณมาก ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวของเปลือกบดและกากบดมีค่าร้อยละ 12.6 ร้อยละ 18.7 ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับชีวมวลอื่นที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น แกลบ มันสำปะหลัง ฟางข้าว เป็นต้น ค่าความชื้นของเปลือกบดและกากบดมีค่าร้อยละ 10.7 และ ร้อยละ 9.4 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คือมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 โดยในงานวิจัยนี้เป็นการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีอัดแบบเย็น ซึ่งควรมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 40-50 ดังนั้น จึงเพิ่มความชื้นด้วยการผสมน้ำในวัตถุดิบเพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม กากและเปลือกของสบู่ดำมีความแข็งค่อนข้างสูง ทำให้อัดตัวเป็นก้อนได้ยาก จึงต้องนำไปนึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการอัดแท่ง ปริมาณเถ้าของเปลือกมีค่าสูงเมื่อเทียบกับปริมาณเถ้าในชีวมวลชนิดอื่น ยกเว้นแกลบ อย่างไรก็ตาม ปริมาณเถ้าในกากมีค่าน้อย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับขี้เลื่อย ซังข้าวโพด ไม้ยางพารา (ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2548) ดังนั้น การนำกากของผลสบู่ดำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงไม่มีปัญหาในเรื่องปริมาณเถ้า เนื่องจากมีปริมาณเถ้าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกินร้อยละ 8 (พุฒินันท์, 2546)



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเปลือก กาก และเปลือกผสมกากของสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า กากของเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการหีบน้ำมันออกมีค่าความร้อนสูงกว่าเปลือกของผลสบู่ดำ เนื่องจากกากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวและ ปริมาณไขมันและ น้ำมันสูงกว่าเปลือก ส่วนเปลือกบดผสมกากบดและเปลือกผสมกากไม่บดมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่ากากอย่างเดียว เนื่องจากการผสมกันของวัตถุดิบทั้งสองทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณไขมันและน้ำมันมีค่าลดลง แต่ยังคงมีค่าความร้อนสูงที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ค่าความร้อนของชีวมวลมีค่าความร้อนประมาณ 3000-5000 แคลอรี่ต่อกรัม (ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2548)

ดังนั้น เปลือกของผลสบู่ดำและกากของเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการหีบน้ำมันออก สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากยังคงมีค่าคาร์บอนคงตัว ค่าความร้อนของการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ค่าความชื้นและปริมาณสารระเหยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในคุณสมบัติ

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลจากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ แสดงดังตารางที่ 4.2 (ตารางที่ ข.5 และ ข.6 ภาคผนวก ข) และตารางที่ 4.3 (ตารางที่ ข.7 - ข.12 ภาคผนวก ข) ตามลำดับพบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลงจากวัตถุดิบประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องจากหลังจากกระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง จะต้องนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปอบเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีความคงตัวและไม่ขึ้นรา พบว่า ซึ่งค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำมีค่าร้อยละ 5 (รูปที่ 4.4) ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ให้ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 10

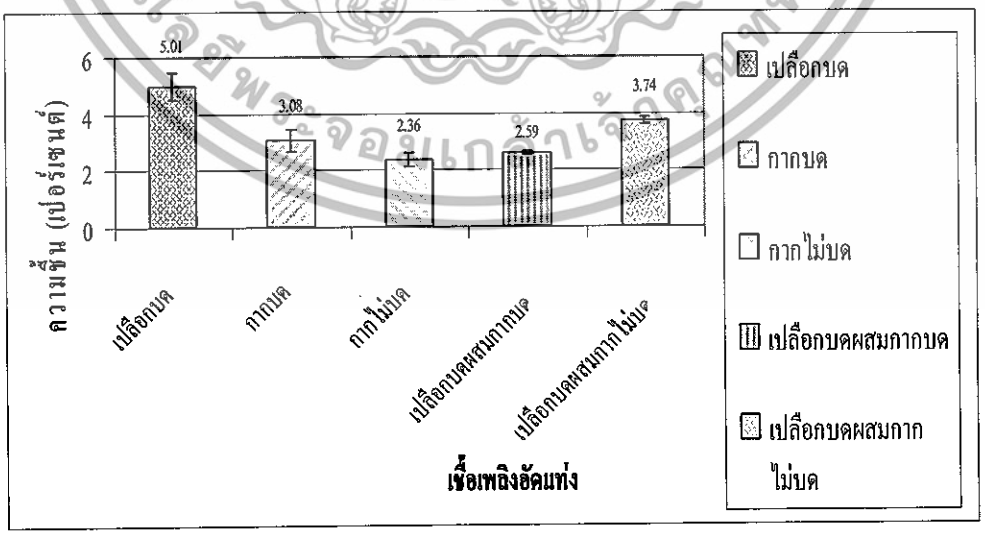
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

พารามิเตอร์ / ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
เปลือก	5.01 ± 0.48	3,923.47 ± 327.72
กากบด	3.08 ± 0.39	4,913.13 ± 335.85
กากไม่บด	2.36 ± 0.25	4,863.85 ± 78.25
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.59 ± 0.06	5,347.73 ± 442.84
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	3.74 ± 0.12	4,427.22 ± 43.48
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	-	7,023.08 ± 422.74
ถ่านหิน	-	5,860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

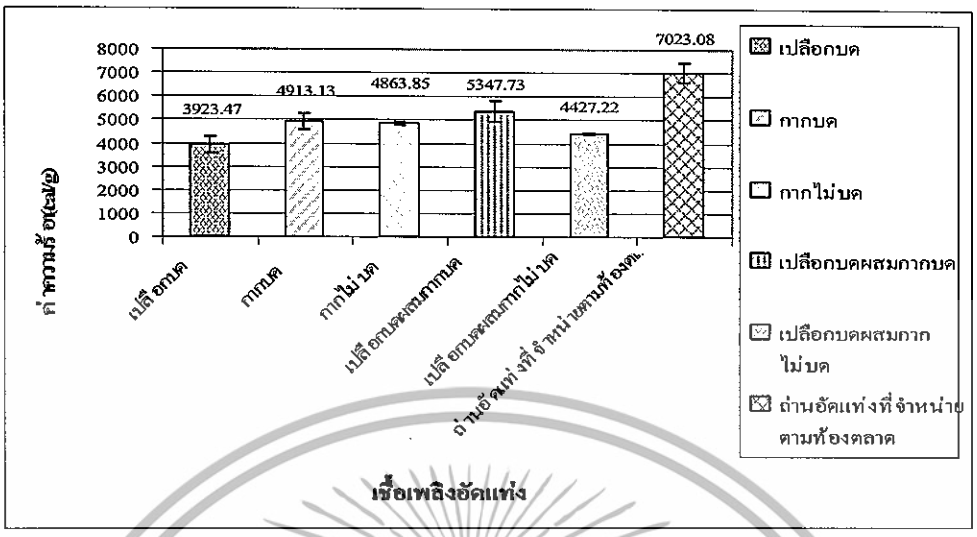
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

พารามิเตอร์ / ตัวอย่าง	เวลาในการจุดติดไฟ (นาที)	ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ (นาที)	ความคงตัวของเถ้า	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าทนแรงอัด (kg/cm^2)	ค่าดัชนีการแตกร่วน
เปลือก	1.30 ± 0.14	47.26 ± 1.36	เถ้าไม่คงตัว	0.58 ± 0.04	15.62 ± 3.05	1.00 ± 0.00
กากบด	1.12 ± 0.17	60.58 ± 2.09	เถ้าไม่คงตัว	0.80 ± 0.03	7.88 ± 1.02	0.86 ± 0.01
กากไม่บด	1.16 ± 0.11	64.57 ± 2.11	เถ้าไม่คงตัว	0.79 ± 0.01	8.08 ± 0.97	0.80 ± 0.06
เปลือกผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.30 ± 0.00	67.33 ± 1.20	เถ้าไม่คงตัว	0.60 ± 0.03	6.37 ± 0.28	0.99 ± 0.00
เปลือกผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.12 ± 0.03	50.43 ± 0.11	เถ้าไม่คงตัว	0.57 ± 0.03	6.95 ± 0.90	0.99 ± 0.00
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	3.14 ± 0.06	218.61 ± 0.57	เถ้าไม่คงตัว	0.92 ± 0.09	8.92 ± 1.48	0.92 ± 0.00



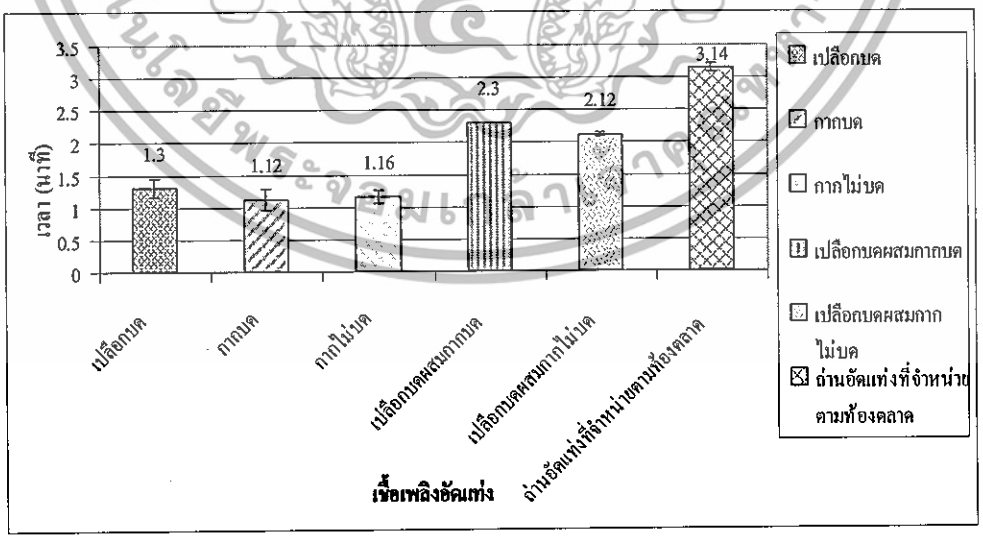
รูปที่ 4.4 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ

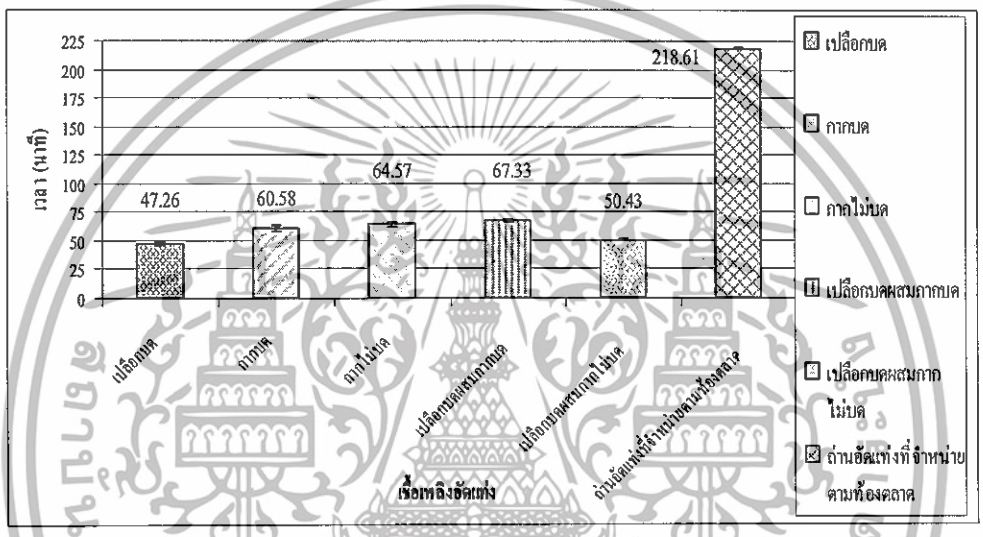
จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความร้อนของกากบดและกากไม่บดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าเปลือกบด เนื่องจากกากมีปริมาณไขมัน และ น้ำมัน และปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่าเปลือก ส่วนเปลือกผสมกากบดและเปลือกผสมกากไม่บดในอัตราส่วน 1:1 มีค่าความร้อนใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่ากากเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ค่าความร้อนที่เหมาะสม เมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 4.6 เวลาในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

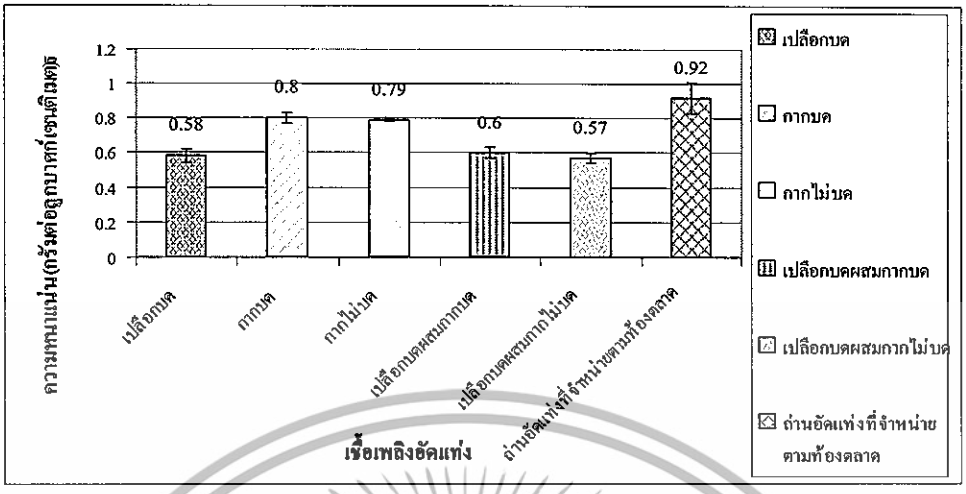
จากรูปที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกบด กากบด และกากไม่บดมีค่าใกล้เคียงกัน และเร็วกว่าถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปริมาณสารระเหยสูงจึงจุดติดไฟได้เร็วกว่า สำหรับเวลาในการจุดติดไฟของเปลือกผสมกากบดและเปลือกผสมกากไม่บดมีค่าสูงกว่าเปลือกบดและกากเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการทดลองจุดติดไฟ ทดสอบด้วยเตาถ่าน จึงอาจมีสภาวะแวดล้อมภายนอกเข้ามามีผล ได้แก่ ลม ดังนั้นจึงควรทำซ้ำและใช้ผู้ทดสอบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

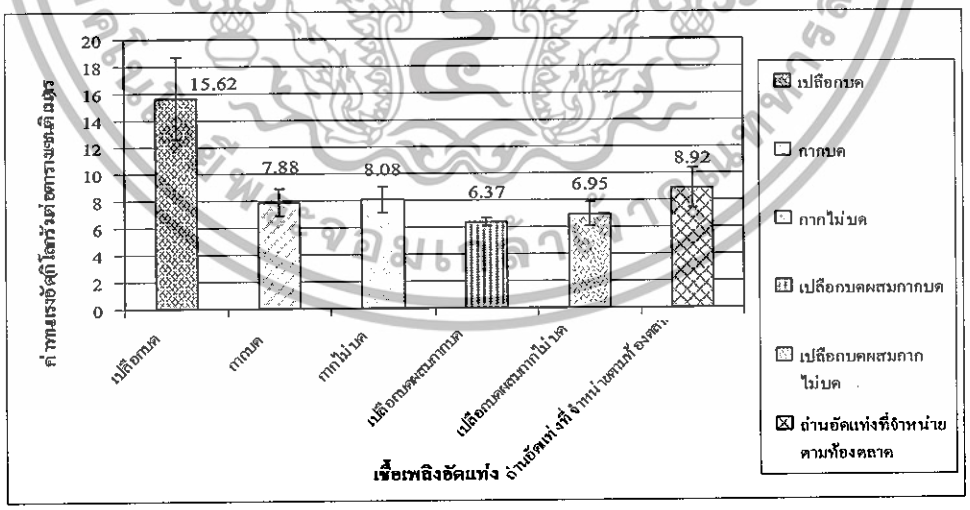
จากรูปที่ 4.7 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ ทั้งจากกาก เปลือก และกากผสมเปลือกมีระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้เร็วกว่า เมื่อเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ทั้งนี้อาจเกิดจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำมีค่าคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตาท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ

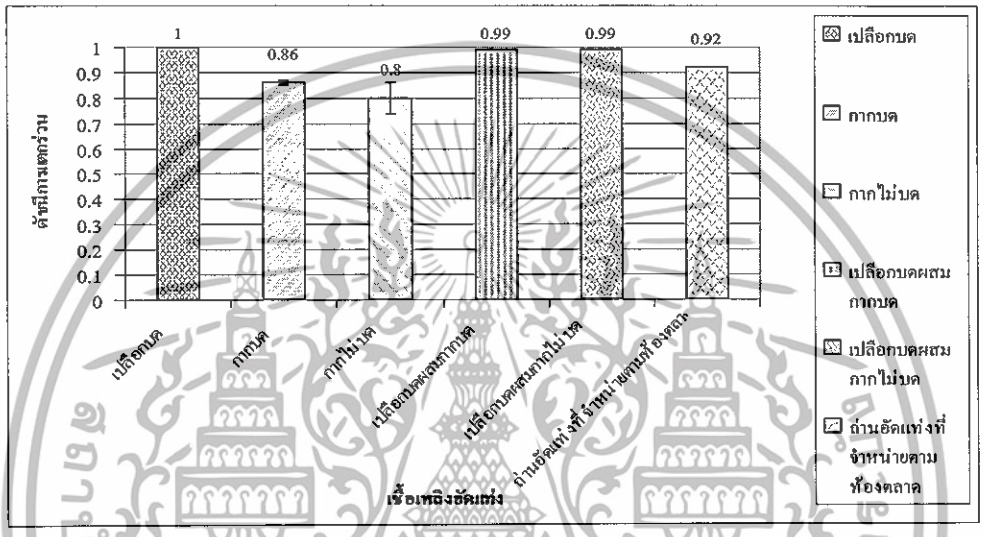
จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความหนาแน่นของกากบดและกากไม่บดมีค่าสูงกว่าเปลือกเปลือกผสมกากบด และเปลือกผสมกากไม่บด แต่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกากบดถูกอัดได้ง่ายกว่าเปลือกบด และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องเวลาในการจุดติดไฟ โดยที่ความหนาแน่นสูงจะมีเวลาในการจุดติดไฟนานกว่า



รูปที่ 4.9 ค่าทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ค่าการทนแรงอัดของเปลือกบดมีค่าสูงสุดและสูงกว่าค่าทนแรงอัดจากถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด รองลงมาคือ กากบดและกากไม่บด ส่วนเปลือกผสมกากบดและเปลือกผสมกากไม่บดมีค่าทนแรงอัดที่ต่ำกว่ากากบดและกากไม่บด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะส่วนผสมของวัตถุดิบทั้งสองไม่รวมเป็นเนื้อเดียวทำให้ค่าการทนแรงอัดมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ค่าทนแรงอัดที่ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด



รูปที่ 4.10 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการศึกษาของ Eriksson และ Prior (1990) พบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนที่มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่า จับตัวกันเป็นก้อนได้ดี แตกร่วนได้ยาก จากรูปที่ 4.10 พบว่า ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกบด กาก และเปลือกบดผสมกาก มีค่าเข้าใกล้ 1 อย่างไรก็ตามดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดและกากไม่บดมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยจึงจับตัวกันเป็นก้อนได้ไม่ดีและแตกร่วนได้ง่าย

4.3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งในข้อ 4.2 พบว่า ในงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกบดผสมกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน เนื่องจาก มีคุณสมบัติทางพลังงานดีที่สุด นอกจากนี้ ยังมีลักษณะรูปร่างและพื้นผิวภายนอกเรียบน่าใช้ ไม่มีรอยแตกร้าว แสดงดังตารางที่ 4.4 (ตารางที่ ข.13, ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณสารที่ระเหยได้ (%)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	6.70	7.20	69.20	16.90

4.4 เปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ผลการศึกษาต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำพบว่าราคาต้นทุนมีค่าเท่ากับ 7.19 บาทต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว

ต้นทุน	บาท/กิโลกรัม
1. เชื้อเพลิงอัดแท่ง	5.79
2. เชื้อเพลิงอัดแท่งผสมแป้ง 5%	7.19

จากการคำนวณต้นทุนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ พบว่าต้นทุนการผลิตยังค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับราคาเชื้อเพลิงอัดแท่งราคา ... บาท เนื่องจากยังเป็นการศึกษาเบื้องต้น ดังนั้น วัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจึงยังมีราคาค่อนข้างแพง แต่ถ้าเพิ่มปริมาณการผลิตให้สูงขึ้น จะทำให้วัตถุดิบมีราคาลดลง นอกจากนี้แป้งมันสำปะหลังมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น จึงควรหาตัวประสานใหม่ที่มีราคาต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำโดยประมาณ (Proximate analysis) พบว่า ปริมาณไขมันและน้ำมันในเปลือก และกากของสบู่ดำหลังจากหีบน้ำมันออก พบว่ามีน้ำมันเหลืออยู่ เท่ากับ ร้อยละ 2.75 และ 10.92 ตามลำดับ ความชื้นของเปลือกและกากของสบู่ดำมีค่าประมาณร้อยละ 9-11 เปลือกของสบู่ดำจะมีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่ากากของสบู่ดำที่ผ่านการหีบน้ำมันออก เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ต่ำกว่า ปริมาณเถ้าในเปลือกและกากของผลสบู่ดำพบว่า มีปริมาณเถ้าร้อยละ 14.1 และ 4.80 ตามลำดับ ดังนั้น การนำกากของสบู่ดำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจะไม่มีปัญหาในเรื่องของเถ้า ปริมาณสารระเหยของเปลือกและกากบดมีปริมาณสูง คือ ร้อยละ 62.60 และ 67.10 ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวของเปลือกและกากบดมีค่าร้อยละ 12.6 และ 18.7 ตามลำดับ ดังนั้น เปลือกและกากของสบู่ดำที่ผ่านการหีบน้ำมันออก จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

5.2 ผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน 5% พบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำมีค่าลดลงจากวัตถุดิบประมาณครึ่งหนึ่ง ความคงตัวของเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีลักษณะเป็นเถ้าไม่คงตัว เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดและกากไม่บดมีคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพใกล้เคียงกัน เชื้อเพลิงจากเปลือกผสมกากบดมีค่าความร้อนประมาณ 5347.73 แคลอรีต่อกรัม ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้มีค่าประมาณ 67.33 นาที ซึ่งมีค่าความร้อนสูงที่สุดและระยะเวลาในการใช้งานนานที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำประเภทอื่นยกเว้น ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด ค่าความหนาแน่นและค่าทนแรงอัดมีค่า ประมาณ 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 6.37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกผสมกากบดมีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากกว่าคือ 0.99 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจับตัวเป็นก้อนได้ดี แตกหักยาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกผสมกากบดในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีความเหมาะสมและประสิทธิภาพดีที่สุดในการนำมาใช้งาน จากการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเคมีพบว่า ค่าความชื้นมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ ร้อยละ 6.70 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 7.20 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 69.20 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 16.90

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบร้อนเปรียบเทียบกับวิธีการอัดแบบเย็น

5.2.2 ศึกษาสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน เช่น 0, 1, 5 และ10 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

5.2.3 ศึกษาโดยใช้ตัวประสานอื่นแทนแป้งมันสำปะหลังเกรดอาหาร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดการค้า สลัดจ์จากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ขี้ผึ้ง และแป้งเปียก เป็นต้น

5.2.4 ศึกษาส่วนผสมระหว่างเปลือกกับกากของสบู่ดำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เช่น 5:1, 3:1 และ 2:1 เป็นต้น

5.2.5 มีการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้วัสดุที่มีค่าความร้อนสูงได้แก่ ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด และกะลามะพร้าว เป็นต้น มาผสมและเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

5.2.6 ศึกษาการทำถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ และคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ รวมทั้งเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

5.2.7 ศึกษาต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ก. **พลังงานทดแทน**. [Online]. Available : http://www2.dede.go.th/Wboard/Question.asp?GID=35

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ข. **พลังงานทดแทน**. [Online]. Available : http://www.dede.go.th

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ค. **รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2545**. [Online]. Available : http://www.dede.go.th

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 ง. **รายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลักและไม้ยางพาราปี 2543/2544 และ 2544/2545.** [Online]. Available : http://www.dede.go.th

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546 จ. **ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.** [Online]. Available : http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=437

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2550. **รายงานผลการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง เปลือกบดจากสบู่ดำ หมายเลขปฏิบัติการ ZC.556.** 2 หน้า.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2550. **รายงานผลการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง กากบดจากสบู่ดำ หมายเลขปฏิบัติการ ZC.557.** 2 หน้า.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2550. **รายงานผลการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากสบู่ดำ (เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1) หมายเลขปฏิบัติการ ZC.558.** 2 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2544. **ข้อมูลเบื้องต้นสบู่ดำ .** สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. เอกสารโรเนียว 4 หน้า

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2.

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทศพร. 2532. "การอัดเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้." **ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 2 เรื่อง พลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 25-28 กุมภาพันธ์ 2535.

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว. 2530. **การศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุฐินันท์ แจงกระโทก ธนารัตน์ ศรีรัตนพิบูล และนภาพร บัวจง. 2546. **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์โดยใช้แป้ง.** โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทวรรณ สโรบล. **การเขตกรรมสบู่ดำ.** [Online]. Available : http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=437

นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529. "อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้." หน้า10. ใน **เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ 22-24 กรกฎาคม 2529.** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.

นิรนาม. **Standard Methods for Testing Aggregate and Concrete.** คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต.หน้า 85-91.

พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546. **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.** กรุงเทพฯ : ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้.

ไพจิตร จันทรวงศ์. 2530. **พืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด.** โรงพิมพ์คุรุสภา. กรุงเทพฯ. 126 หน้า.

ภัทชาณาภร รัตนไชยดำรง และจุฑาทิพย์ เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา. 2548. **สบู่ดำ : พืชพลังงานทดแทน.** จังหวัด ชัยนาท: สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.).

รพีพันธุ์ ภาสบุตร, สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์, ไพจิตร จันทรวงศ์, วีระศักดิ์ อนัมบุตร, มาลี ประภาวัต, วิไล กาญจนภูมิ และ อรวรรณ หวังดีธรรม. 2525. **เดินเครื่องด้วยน้ำมัน "สบู่ดำ".** 43 หน้า.

รังษี เจริญสถาพร และอมรรัชฎ์ คิดใจเดียว. 2548. การวิจัยและพัฒนาสารสกัดจากพืชเพื่อควบคุมโรคพืช. **รายงานความก้าวหน้างานวิจัยและพัฒนาด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตรปี 2548 ไตรมาสที่ 2 (มกราคม-มีนาคม 2548) เล่ม 2 8-10 มิถุนายน 2548 ณ กรมวิชาการเกษตร.** กรุงเทพฯ : หน้า 608.

เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ. 2528. **"การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบเพเลทจากพืชบางชนิด."** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น. 2529. **ผลของความยาวกิ่งพันธุ์สบู่ดำ ที่มีต่อการตายของต้นพันธุ์สบู่ดำในสภาพไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ในฤดูฝนปี 2529.**

สดับพร จันทราษฎร์ เจริญ เลิศสถิตธนกร และทรงชัย วิริยอำไพวงศ์. 2548. "การผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากถ่านไม้โสนโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่น." **การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 วันที่ 11-13 พฤษภาคม 2548.** ECI07-1 ถึง EIC07-6.

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **พลังงานชีวมวล.** [Online]. Available : http://www.teenet.chula.ac.th/usefull/detail5.asp?ID=151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2548. **การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถัน ของวัสดุต่างๆ.** [Online]. Available : http://www.charcoal.snmcenter.com/

สมชาย โอสุวรรณ และกัญจนา บุณยเกียรติ. 2525. **การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน.** วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง 1: 75-79.

สมศักดิ์ ศรีสมบุญ. 2549. **การปลูกสบู่ดำ หน้า 26-43. ใน ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะ. (บรรณาธิการ). เอกสารวิชาการสบู่ดำ : พืชพลังงาน.** ฟันนี่ พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

สัมฤทธิ์ อัครปะชะ. 2548. **สบู่ดำ : ปลูกอย่างไรให้ได้ผลผลิตสูง (ที่นี่มีคำตอบ).** บริษัท บีเอสดี การพิมพ์ จำกัด เชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. **การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย.**วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 55 มกราคม - มีนาคม 2545 http://www.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html

Agaceta, L.M., Dumag P.U., Atolos J.A. and Bandiola F.C.. 1981. **Studies on the Control of Snail Vector of Fasciolasis.** Molluscicidal activity of some Indigenous plants. National Science Development Board (NSDB). Technol J. (Philhppines) 6 (2): 30-34.

Aponte, C. Hernandez. 1978. **Estudio de *Jatropha curcas* L. como recurso biotico.** Diploma thesis. University Veracruz, Yalapa-Insiquez, Veracruz, Mexico.

Aqu, S. 1990 **"A Study of Densification of Preheated Sawdust."** AIT Thailand.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Test Method for Drop Shatter Test for Coke. America.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. America.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. America.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. America.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. America.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 5.** Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adibatic Bomb Calorimeter. America.

ASTM. 1998. **Annual Book of ASTM Standards Section 8.** Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. America.

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

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

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

Diallo, N. 1994. **Trees and Hedges in the Agricultural Systems in Faranah Prefecture.** Flamboyant 31: 24-29

Duke, J.A. 1985. **CRC Handbook of Medicinal Herbs. CRC Press Inc. Boca Raton, Fl.**

Eriksson, S. and Prior, M. 1990. **The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel.** [online]. Available : http://www.fao.org/docrep/T0275E/T0275E03.htm.

Garcia, R.P., and Lawas P., 1990. **Potential Plant Extracts for the Control of Azolla Fungal Pathogens.** Philipp. Agric. 73 (3/4): 343-348.

Giibitz G.M., Mittelbach M. and Trabi M., 1999. **Exploitation of the Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas L.*.** Bioresource Technology. 1999 (67): 73-82

Gubitz, G.M., Mittelbach M., and Trabi M., 1997. **Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas*.** Developed from the Symposium Jatropha 97 Managua, Nicaragua February 23-27, 1997. Sponsored by the Austrian Ministry of Foreign Affairs and by Sucher & Holzer Graz.

Henning, R. 1994. 1. **Fachlicher Zwischenbericht zum Projekt: Produktion und Nutzung von Pflanzenöl als Kraftstoff.** PN 93. 2202.5-01.100. Projet Pourghere DNHE-GTZ, Bamako, Mali.

Jadhav, K.B., and Jadhav L.D., 1984. **Use of Some Vegetable Oils, Plant Extracts and Synthetic Products as Protectants from Pulse Beetle, *Callosobruchus maculatus* Fabr.** In stored gram. J. Food Sci. Technol. 21: 110-113.

Joker, D. and Jepen J., 2003. ***Jatropha curcas* L. Seed Leaflet.** No. 83. Danida Forest Seed Center. Denmark. 2 pages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Lele, S. 2005. The Cultivation of *Jatropha curcas*. http://www.svleve.com/jatropha_plant.html.

Liu, S.Y., Sporer F., Wink M., Jourdane J., Henning R., Li Y.L., and Ruppel A., 1996. **Anthraquinones in *Rheum palmatum* and *Rumes dentatus* and Phorbolesters in *Jatropha curcas* with Molluscicidal Activity against the Schistosome Vector Snails *Oncomelania*, Biomphalaria and Bulinus.** Trop. Med and Paras.

Martinez-Herrera J., Siddhuraju P., Francis G., Davila-Ortiz G., Becker K. 2006. **Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico**. Food Chemistry 96 (2006): 80-89.

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

Sauerwein, Sporer M.F., and Wink M., 1993. **Insect-toxicity of Phorbol Esters from *Jatropha curcas* Seed Oil.** Planta Medica 59(7): 686

Shelke, S.S., Jadhav L.D., and Salunkhe G.N., 1985. **Ovipositional and Adult Repellent Action** of Some Vegetable Oils/Extracts against Potato Tuber Moth. J. Maharasthra Agric. Univ. 10(3): 284-286.

Solsoloy, A.D. 1993. **Insecticidal Activity of Formulated Product and Aqueous Extract from Physic Nut, *Jatropha curcas* L. Seed Kernel Oil on Cotton Insect Pests.** Cotton Res. J. 6 (1/2): 28-34.

Solsoloy, A.D. 1995. **Pesticidal Efficacy of the Formulated Physic Nut, *Jatropha curcas* L. Oil on Pests of Selected Field Crops.** Philipp. J. Sci 124 (1): 59-74.

Solsoloy, A.D., Dumlao N.A., and Solsoloy T.S., 1987. **Insecticidal Activity of Indigenous Plant Extracts against Bollworm (*Helicoverpa armigera* Hubn.)** Technical report CY (Calendar year) 1985-86: 175-784. Cotton Research and Development Inst. Batac, Ilocos Norte, Philippines.

Spaak, J.D. 1990. **Boiser les Iles du Cap-Vert-pourquoi, comment, pour qui ?** Bois For Trop 225: 47-54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thangavelu, R., Sundararayu P., and Sathiamoorthy S., 2004. **Management of Anthracnose Disease of Banana caused by *Colletotrichum musae* using Plant Extracts.** The Journal of Hocticultural Science and Biotechnologes. 79(4): 664-668.

Vassiliades, G. 1984. **Notes sus les proprietes molluscicides de deux Euphorbiacees *Euphorbia tirucalli* et *Jatropha cureas*. Essais en laboraloire.** Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. 37 (1): 32-34.

Wayne, C. 1999. "Using Cotton Plant Residue to Produce Briquettes." **Biomass & Bioenergy.** 18 : 201-208.

Wei, Q., Liao Y., Chen Y., Wang S-H., Xu Y., Tang L., and Chen F., 2005. **Isalation, Characterisation and Antifungal Activity of â –1, 3-glucanase from Seeds of *Jatropha curcas*.** South African Journal of Botany. 71(1): 95-55.

Wilhelm H., Mittelbach M., 2000. "Detoxification Experiments with the Seed Oil from *Jatropha curcas* L.." **Industrial Crops and Products.** 12: 111-118.

Yaman, S., Sahan, M., Haykiri-açma, H., Sesen, K and Küçükbayrak, S. 2002. "Production of Flues Briquettes from Olive Refuse and Paper Mill Waste." **Fuel Processing Technology.** 68 : 23-31.

http://botaisical.com/site/column-poudhia//4-jatropha.html

http://www.doa.go.th/fieldcrops/phinut/index.HTM_= ต้นสบู่ดำ

http://www.energygang.com/Information6.asp = พันธุ์สบู่ดำที่มีในประเทศไทย

http://www.fao.org//docrep/x540Ze11.htm

http://www.maxpaages.com/Jatropha/Utilization of Jatropha

http://www.medplant.mahidol.ac.th/_= ต้นสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี

เป็นการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างอบในตู้ที่มีความร้อนคงที่ใน Drying Oven ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 °C เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

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

วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104 - 110 °C ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดลอง ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 104 - 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ และปิดฝา แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 °C เป็นเวลา 30 นาที และค่อย ๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700 - 750 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟ รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ พร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

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

วิธีการ :

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700 - 750 °C ประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออมาทิ้ง ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเข้าเตาพร้อมฝา เผาที่อุณหภูมิ 200 °C นานประมาณ 30 นาที แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 - 750 °C เผาประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

ปริมาณเถ้า (%) = [(A-B)/C]×100

เมื่อ A = น้ำหนัก Crucible ตัวอย่าง และเถ้าที่เหลือจากการเผา (g)

B = น้ำหนัก Crucible เปล่า (g)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

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

วิธีการ :

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณน้ำหนักที่หายไป

Weight Loss (%) = (A-B)/A×100

A = น้ำหนักตัวอย่างทดลอง (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (กรัม)

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย

Volatile Matter (%) = C-D

C = Weight Loss (%)

D = ความชื้น (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้

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

1.5 การหาค่าความร้อน (Heating value)

ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2015 โดยนำตัวอย่างของสารเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอ

เครื่องมือ : Bomb Calorimeter, ถังออกซิเจน, ลวด, ด้าย, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการ :

1. อัดเม็ดตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.9 – 1.0 g
2. ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดของตัวอย่างที่อัดได้ใส่ในถ้วยโลหะ
3. ผูกลวดเผาไหม้ 10 cm. ไว้กับเครื่องมือให้แน่น โดยให้ส่วนล่างของเส้นลวดแตะกับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่น ประมาณ 1 ml. ใส่ลงใน Bomb
5. อัดออกซิเจนใน Bomb ให้มีความดันประมาณ 28-30 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำลงใน Jacket ประมาณ 2,000 ml
7. นำ Bomb ที่ใส่ตัวอย่าง และออกซิเจนเรียบร้อยแล้วลงไปใน Jacket
8. สังเกตสัญญาณไฟที่ปุ่ม READY เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1) โดยกดปุ่ม FIRE เพื่อเป็นการจุดระเบิด
9. อ่านค่าอุณหภูมิทุก ๆ 10 วินาที จนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุด และคงที่
10. นำ Bomb ออกมา แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนเปิดฝา
11. ล้างภายใน Bomb ด้วย wash solution (เตรียมโดย เติม Methyl Orange 1 ml. ปรับปริมาตรเป็น 1 L.) จนน้ำล้างไม่มีสีชมพู เก็บน้ำล้างไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml.
12. วัดความยาวของลวดที่เหลือ บันทึกผล
13. นำน้ำที่ได้จากข้อ 11 มาไตเตรทกับสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{Heating value} = [(\triangle T)\,(w) - E_1 - E_2 - E_3)] / g$$

เมื่อ

$\triangle T$ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (T_2-T_1); °C

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

E_1 = 1.4 × ml. ของ สารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล (cal)

E_2 = ($332 \times 2.479 \times 10^{-3}$) (ความยาวของลวดที่ถูกเผาไหม้) (cal)

E_3 = $4180 \times 8.80 \times 10^{-3}$ × น้ำหนักด้าย (cal)

G = น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (g)

1.6 การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันโดยการใช้ซอกห์เลต

ระบบซอกห์เลตถือว่าเป็นระบบพื้นฐานที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการสกัดสารพวกไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากสะดวก ประหยัดตัวทำละลายที่ใช้และมีประสิทธิภาพ สารที่สกัดได้จากการทดลองถูกเรียกว่า ไขมันหยาบ (Crude fat) ซึ่งประกอบด้วยไทรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิปิด สเทียรอล กรดไขมันอิสระ รงควัตถุ และสารอื่นๆ ที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์

เครื่องมือ : ชุดเครื่องมือสกัดแบบ Soxhlet รวมทั้งชุดควบแน่น (Allihn condenser), ขวดก้นกลม ขนาด 250 มล., หลอดรูพรุนที่ทำด้วยเซลลูโลส (Fat-free extraction thimble), Heating mantle, เตาอบ, เดซิเคเตอร์, สำลี และเฮกเซน

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างที่บดละเอียดไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำออกมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง
2. นำขวดก้นกลมที่แห้งสนิท (โดยนำขวดไปอบ) มาชั่งน้ำหนักขณะที่เย็น หาค่าน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นวางขวดก้นกลมใน heating mantle ต่อด้วย Soxhlet tube
3. แบ่งตัวอย่างแห้งออกมาประมาณ 5 กรัม ชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดรูพรุน (Thimble tube) ที่ทราบน้ำหนักแล้วเช่นกัน จากนั้นอุดปากหลอดด้วยสำลี แล้วใส่ลงในซอกห์เลตทิว จากนั้นต่อด้วย allihn condenser ตรวจเช็ครอยต่อ (Joints) ให้แนบสนิท เปิดน้ำเข้า allihn condenser แล้วเติมตัวทำละลายเฮกเซนผ่าน allihn condenser จนกระทั่งตัวทำละลายถูกไซฟอน ลงมาสู่ขวดก้นกลม 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมตัวทำละลายผ่าน allihn condenser ลงไปอีกจนมีปริมาตรของตัวทำละลายมีประมาณ 1/4 ของซอกห์เลตทิว (หรือปริมาตรของตัวทำละลายในขวดต้องไม่เกิน 2/3 ของปริมาตรขวด)
5. ปรับความร้อนเพื่อทำให้อัตราการเดือดของตัวทำละลายพอเหมาะและสม่ำเสมอ แล้วทำการสกัดจนไขมันถูกสกัดลงมาในขวดก้นกลมจนหมด หรือใช้เวลาในการสกัดประมาณ 1 ชั่วโมง (ต้องระวังอย่าให้ขวดก้นกลมแห้ง แต่ถ้าขวดแห้งอาจต้องเติมตัวทำละลายลงไปอีกตามสมควร)
6. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้ตัวทำละลายถูกไซฟอนออกจากซอกห์เลตทิวเป็นครั้งสุดท้ายเอาหลอดรูพรุนออกจากซอกห์เลตทิว แล้วติดตั้งเครื่องมือและทำการ refluk เหมือนเดิมจนตัวทำละลายถูกไซฟอนลงมาอีก 1 ครั้ง
7. ถอดคอนเดนเซอร์และซอกห์เลตทิว แล้วถอดขวดก้นกลมออกทิ้งให้เย็น นำไปใส่ในเตาอบที่ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยออกหมด (ไม่มีกลิ่นของตัวทำละลายเหลืออยู่) จึงนำมาใส่เดซิเคเตอร์จนกระทั่งเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
8. นำหลอดรูพรุนที่มีกากของสารตัวอย่างอยู่ไปอบที่ 80 องศาเซลเซียส จนตัวทำละลายระเหยออกหมด นำมาใส่เดซิเคเตอร์จนกระทั่งเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
9. คำนวณหาปริมาณไขมันเป็นเปอร์เซ็นต์ไขมันในสารตัวอย่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

อาจคำนวณได้ 2 วิธี คือ

1. $$\% \text{ Fat} = \frac{w_2 - w_1}{w_3} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของขวดที่มีไขมันสกัดได้ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

2. $$\% \text{ Fat} = \frac{w_2 - w_1}{w_2} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักของกาก (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

2.1 เวลาในการจุดติดไฟ ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ และความคงตัวของเถ้า

เครื่องมือ : เตาอั้งโล่ และตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งมา 3 แท่ง แบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม โดยตัดให้พื้นผิวหน้าตัดของถ่านเรียบเสมอกันทั้ง 2 ด้าน
2. นำมาเผาในเตาอั้งโล่ที่จุดไฟด้วยฟืนน้ำหนักประมาณ 15 กรัม
3. บันทึกเวลาเมื่อตัวอย่างเริ่มติดไฟ (นาที)
4. บันทึกระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้ของแท่งเชื้อเพลิง (นาที)
5. บันทึกลักษณะทางกายภาพของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเหลิงอัดแท่ง

2.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

การหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และขนาด (Dimension) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เตรียมได้

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของถ่านอัดแท่ง (D_1)
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถ่านอัดแท่ง (D_2)
3. วัดความสูงของถ่านอัดแท่ง (h)
4. ชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (m)
5. คำนวณหาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากสมการ (ρ)

$$\rho = \frac{4m}{\pi h (D_1^2 - D_2^2)}$$

หมายเหตุ : ความหนาแน่นที่ได้เป็นความหนาแน่นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทดสอบค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัด โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30 mm แล้วนำมาขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายให้เรียบ จากนั้นนำไปวางแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เพื่อทำการทดสอบต่อไป

ค่าการทนแรงอัด เป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้ จากการทดลองแรงกดของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\sigma c = F/A$$

เมื่อ σc = การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (kg/cm^2)

F = แรงอัดที่กระทำกับตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (kg.)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (cm^2)

2.4 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038 เพื่อหาความสามารถของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่จะมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน วิธีการทดสอบทำโดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 300 g แล้วปล่อยจากที่สูง 1.8 m ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำ ๆ กัน 3 ครั้ง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 19 mm นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก และสามารถหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) หรือ ดัชนีการการแตกละเอียด (Shatter Index) ได้จาก

$$R = W_f / W_i$$

เมื่อ

R = ดัชนีการแตกร่วน

W_f = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ (g)

W_i = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเคมีของตัวอย่างที่เป็นวัตถุดิบ

- การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

ตารางที่ ข.1 ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน

ตัวอย่าง	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (ร้อยละ)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือก	2.15	3.32	2.77	2.75	0.58
กากบด	10.68	10.56	11.51	10.92	0.52

ตารางที่ ข.2 ค่าความชื้นของวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	14.04	15.00	14.13	14.39	0.53
กากบด	8.61	8.37	8.44	8.47	0.12
กากไม่บด	7.34	6.71	7.64	7.23	0.47
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	8.17	8.64	8.29	8.37	0.24
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	8.58	8.86	8.10	8.52	0.38

ตารางที่ ข.3 ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณสารที่ระเหยได้ (ร้อยละ)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)
เปลือกบด	10.70	14.10	62.60	12.60
กากบด	9.40	4.80	67.10	18.70

หมายเหตุ : ผลการตรวจ วิเคราะห์ และทดสอบตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ค่าความร้อนของวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	3400.42	3341.04	3300.22	3347.22	50.39
กากบด	5078.97	5158.17	4777.72	5004.95	200.73
กากไม่บด	5602.96	5259.96	5185.08	5349.33	222.81
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	5067.93	4638.05	4556.67	4754.22	274.72
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	5189.55	4672.08	4354.10	4738.57	421.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข.5 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	4.58	5.53	4.92	5.01	0.48
กากบด	2.90	3.53	2.81	3.08	0.39
กากไม่บด	2.58	2.08	2.41	2.36	0.25
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.54	2.65	2.58	2.59	0.06
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	3.65	3.88	3.70	3.74	0.12

ตารางที่ ข.6 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	4287.45	3831.19	3651.79	3923.47	327.72
กากบด	5287.60	4813.21	4638.59	4913.13	335.85
กากไม่บด	4951.85	4837.59	4802.12	4863.85	78.25
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	5838.76	5225.80	4978.63	5347.73	442.84
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	4460.55	4443.08	4378.03	4427.22	43.48
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	7493.85	6675.95	6899.43	7023.08	422.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 เวลาในการจุดติดไฟ

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)		เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
เปลือกบด	1.20	1.40	1.30	0.14
กากบด	1.00	1.24	1.12	0.17
กากไม่บด	1.24	1.08	1.16	0.11
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.30	2.30	2.30	0.00
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2.14	2.10	2.12	0.03
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	3.10	3.18	3.14	0.06

ตารางที่ ข.8 ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้

ตัวอย่าง	ระยะเวลาทั้งหมดในการลุกไหม้(นาที)		เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
เปลือกบด	48.22	46.30	47.26	1.36
กากบด	59.10	62.06	60.58	2.09
กากไม่บด	66.06	63.08	64.57	2.11
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	66.48	68.18	67.33	1.20
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	50.35	50.50	50.43	0.11
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	มากกว่า 218.21	มากกว่า 219.01	มากกว่า 218.61	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ความคงตัวของเถ้า

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ความคงตัวของเถ้า
เปลือก	1	เถ้าไม่คงตัว สีน้ำตาลเทา เผาไหม้ไม่หมด แต่หมดความร้อนแล้ว
	2	เถ้าไม่คงตัว สีน้ำตาลเทา เผาไหม้ไม่หมด แต่หมดความร้อนแล้ว
กากบด	1	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
	2	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
กากไม่บด	1	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
	2	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
เปลือกบดผสมกากบด	1	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
เปลือกบดผสมกากไม่บด	1	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
อัตราส่วน 1 ต่อ 1	2	เถ้าไม่คงตัว สีเทา เผาไหม้หมด
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่าย	1	เถ้าไม่คงตัว สีน้ำตาล เผาไหม้หมด
ตามท้องตลาด	2	เถ้าไม่คงตัว สีน้ำตาล เผาไหม้หมด

ตารางที่ ข.10 ค่าความหนาแน่น (Density)

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (g/cm^3)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	0.60	0.53	0.60	0.58	0.04
กากบด	0.78	0.83	0.79	0.80	0.03
กากไม่บด	0.79	0.80	0.79	0.79	0.01
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	0.58	0.58	0.64	0.60	0.03
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	0.59	0.58	0.54	0.57	0.03
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	.98	0.82	0.96	0.92	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ค่าทนแรงอัด (Compressive Strength)

ตัวอย่าง	ค่าทนแรงอัด (kg/cm^2)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	15.46	12.64	18.75	15.62	3.05
กากบด	7.11	9.05	7.49	7.88	1.02
กากไม่บด	9.05	8.07	7.11	8.08	0.97
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	6.67	6.33	6.10	6.37	0.28
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	7.31	5.92	7.61	6.95	0.90
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	9.89	9.65	7.21	8.92	1.48

ตารางที่ ข.12 ค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

ตัวอย่าง	ดัชนีการแตกร่วน			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เปลือกบด	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
กากบด*	0.86	0.85	0.87	0.86	0.01
กากไม่บด*	0.77	0.77	0.87	0.80	0.06
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00
เปลือกบดผสมกากไม่บด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00
ถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด*	0.93	0.92	0.92	0.92	0.00

หมายเหตุ : * เมื่อทำการทดสอบแล้วจะมีลักษณะแตกหักออกเป็นชิ้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.13 ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งเปลือกผสมกากบดอัตราส่วน 1 ต่อ 1

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณสารที่ระเหยได้ (ร้อยละ)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)
เปลือกบดผสมกากบด อัตราส่วน 1 ต่อ 1	6.70	7.20	69.20	16.90

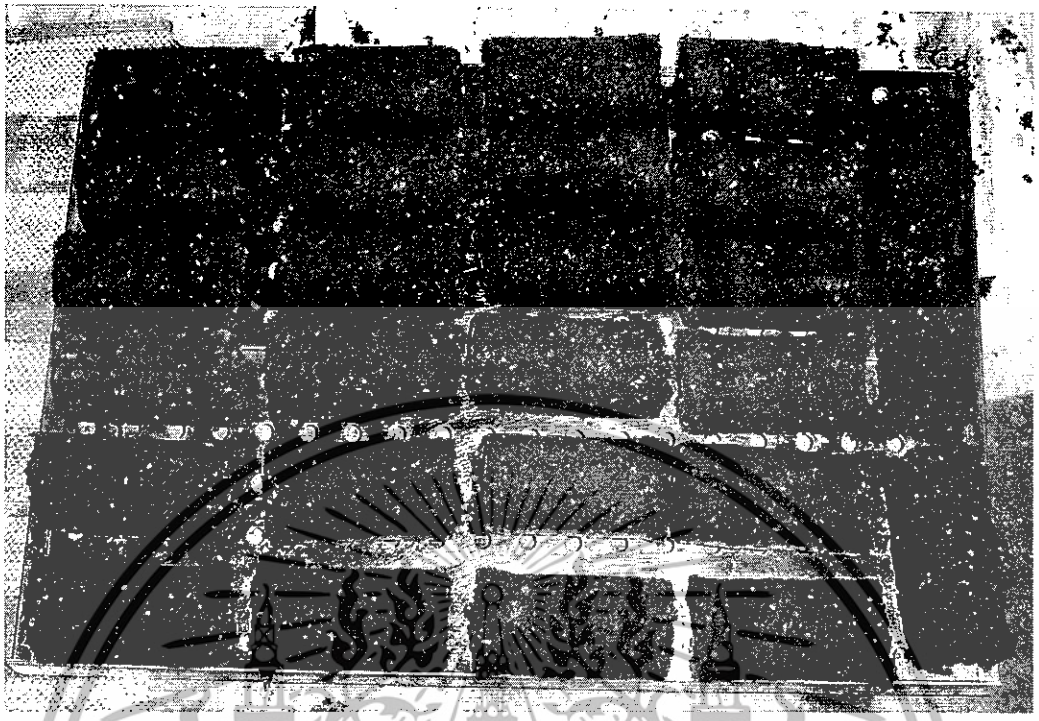
หมายเหตุ : ผลการตรวจ วิเคราะห์ และทดสอบตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำจากกระบวนการสกัดน้ำมันสบู่ดำ

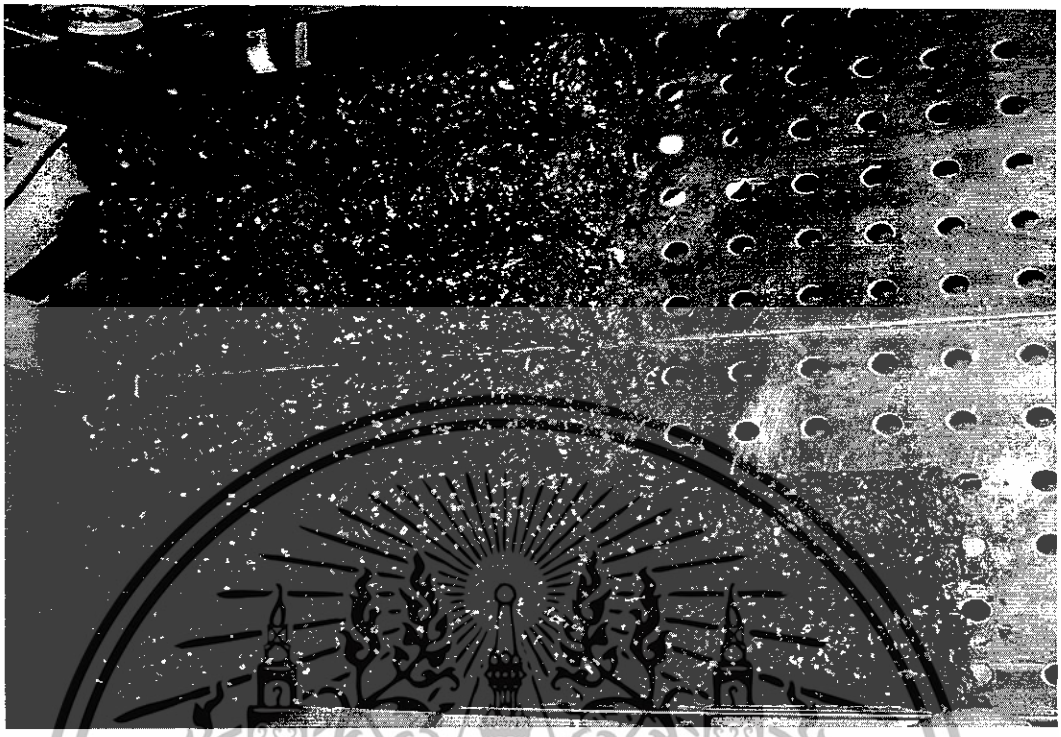
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



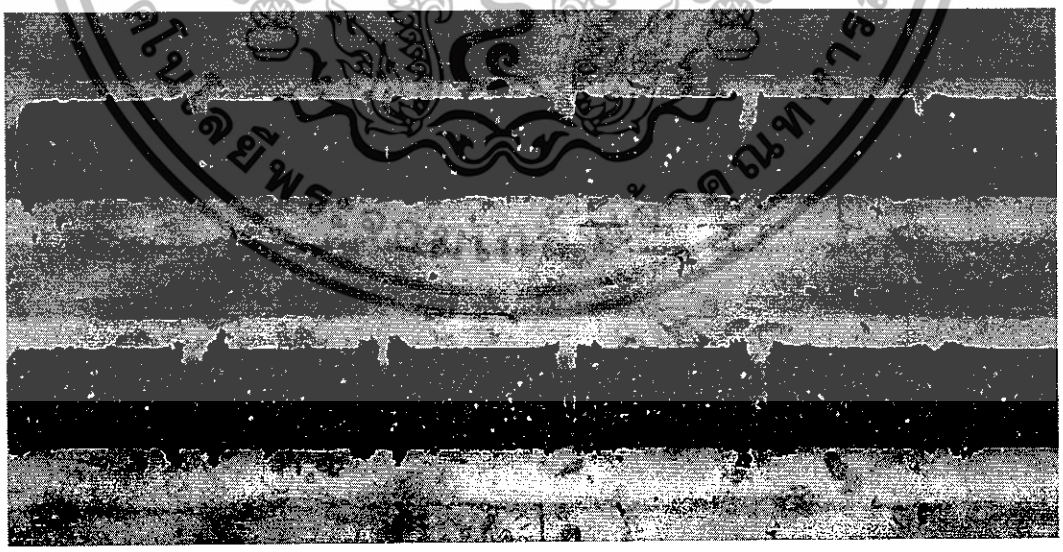
รูปที่ ค.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากกากของเมล็ดสบู่ดำ (แบบไม่บด)

รูปที่ ค.2 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากกากของเมล็ดสบู่ดำ (แบบบด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากบดของเมล็ดสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1:1



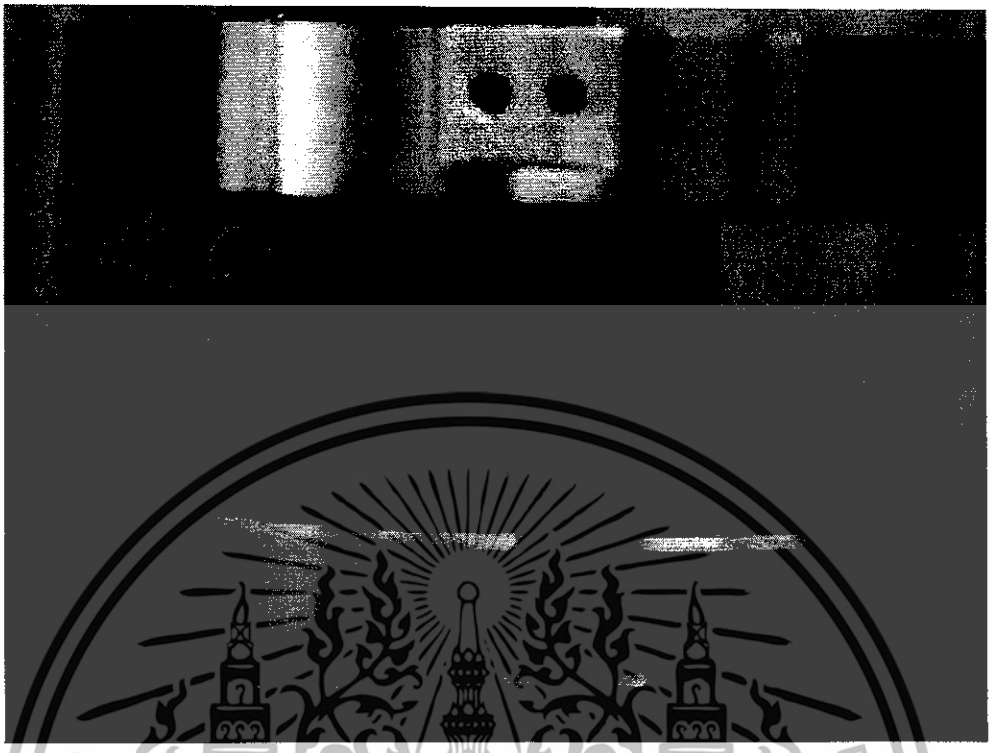
รูปที่ ค.4 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากไม่บดของเมล็ดสบู่ดำ ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.5 เชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดของผลสบู่ดำ

รูปที่ ค.6 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งสบู่ดำจากเปลือกบดผสมกับกากบดของเมล็ดสบู่ดำใน อัตราส่วน 1:1 (ขวา) เปรียบเทียบกับ เถ้าของถ่านอัดแท่งที่ขายตามท้องตลาด (ซ้าย)

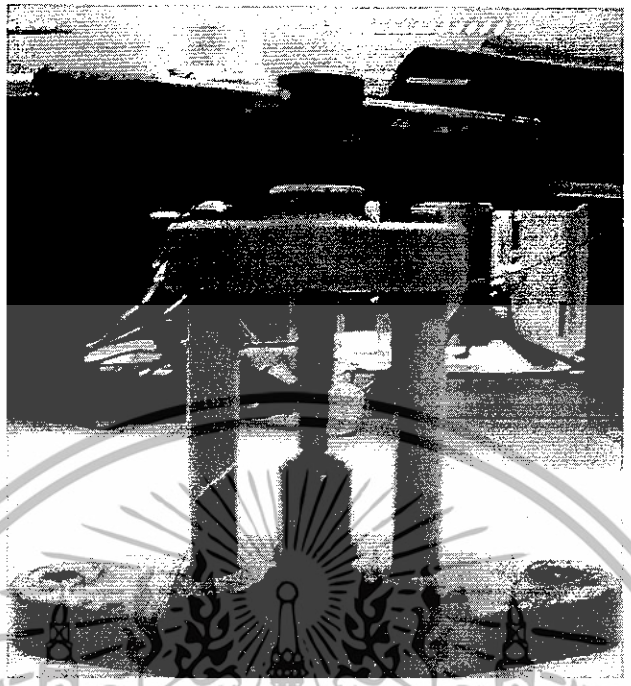
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 ขั้นตอนการทดสอบค่าทนแรงอัด โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine 1 Ton

รูปที่ ค.8 ขั้นตอนการทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากบดของเมล็ดสบู่ดำ

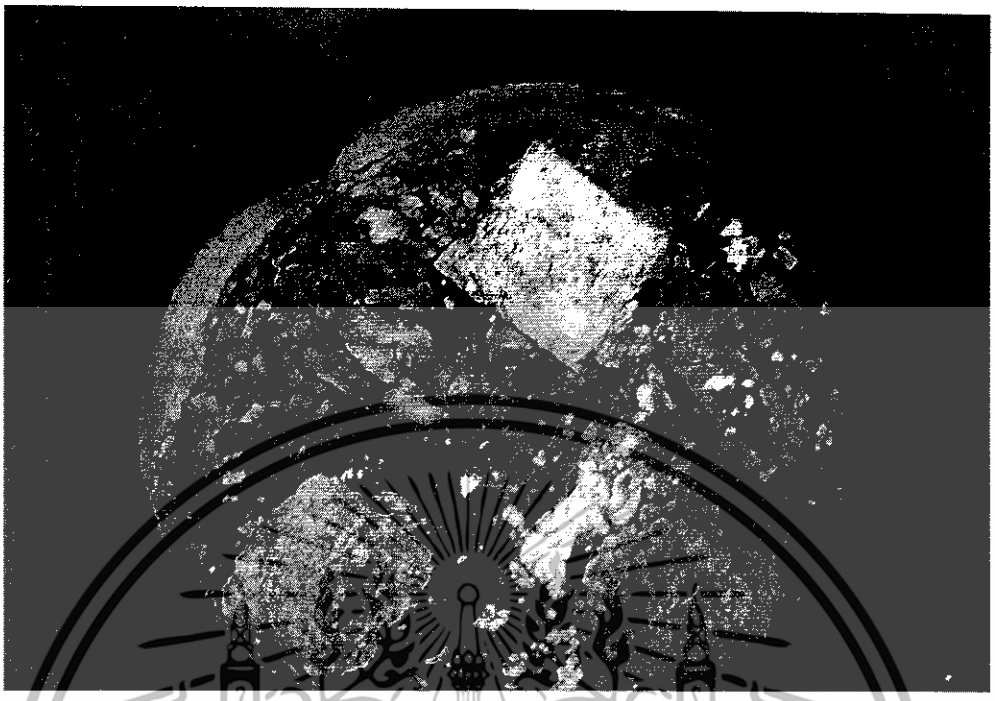
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 การเตรียมตัวอย่างอัดเม็ดในขั้นตอนการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รูปที่ ค.10 เถ้าของถ่านที่ขายตามท้องตลาด (ซ้าย) และเถ้าของเปลือกของผลสบู่ดำ กับกากของเมล็ดสบู่ดำบดในอัตราส่วน 1:1 (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.11 เถ้าของเปลือกของผลสบู่ดำกับกากของเมล็ดสบู่ดำบดในอัตราส่วน 1:1 (บน) เถ้าของกากของเมล็ดสบู่ดำบด (ซ้าย) และ เถ้าของกากของเมล็ดสบู่ดำไม่บด (ขวา)

รูปที่ ค.12 เถ้าของถ่านที่ขายตามท้องตลาด มีลักษณะที่ไม่คงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

จากการทดลอง เป็นการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2 กิโลกรัม จากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

1. วัตถุดิบที่ใช้

น้ำหนักของชา = 1.9 กิโลกรัม

น้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง = 0.1 กิโลกรัม

น้ำหนักของน้ำที่เติมเข้าไปในส่วนผสม = 2.0 กิโลกรัม

2. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบดวัตถุดิบ = 0.02 หน่วย / 60วินาที

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ = 0.63 หน่วย / 219 วินาที

อัตราการผลิตของเครื่องอัดแท่ง

$$= \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กิโลกรัม)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง)}}$$

$$= 4/(219/3600)$$

$$= 65.75 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

1. ค่าไฟฟ้า = 5 บาท/ หน่วย

ค่าไฟฟ้าจากเครื่องบดละเอียด = 0.02×5 = 0.1 บาท/กิโลกรัม

ค่าไฟฟ้าจากเครื่องอัดแท่ง = 0.063×5 = 0.315 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าทั้งหมด = 0.1 + 0.315

= 0.415 บาท/กิโลกรัม

2. มูลค่าวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ = 3.5 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มูลค่าแป้งมันสำปะหลัง = 14 บาท/กิโลกรัม

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ 1 กิโลกรัม

ใช้แป้งมันสำปะหลัง = 0.1 กิโลกรัม

ดังนั้น มูลค่าแป้งมันสำปะหลัง = 0.1×14

= 1.4 บาท/กิโลกรัม

6. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ = 0.5 บาท/กิโลกรัม

7. ค่าแรงงาน

มีคนงาน 2 คน

แรงงานขั้นต่ำคือ = 181 บาท/คน/วัน

ใน 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง จึงผลิตถ่านอัดแท่งได้ = (65.75/2) ×8 = 263 กิโลกรัม/วัน

ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน = 181×2 = 362 บาท/วัน

ดังนั้น ค่าแรงงาน = 362/263 = 1.37 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำ

= 0.415+0+0.5+1.37

= 5.79 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งสบู่ดำผสมแป้งมัน 5%

= 0.415+3.5+1.4+0.5+1.37

= 7.19 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้