สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ชนากานต์ เตี้ยงสูงเนิน
วรวุฒิ ศิริเคารพ
สหโชค สกุลเผือก

2ก
ส 149 ป
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107746
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b 12210468
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา เคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ชนากานต์ เตี้ยงสูงเนิน
วรวุฒิ ศิริเคารพ
สหโชค สกุลเผือก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factors Affecting Properties of Briquette from Tea Leaf Residues

Chanakan Tiangsoongnern
Worawoot Sirikaorop
Sahachoke Sakulpueak

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

นักศึกษา ชนากานต์ เตี้ยงสูงเนิน

วรวุฒิ ศิริเคารพ

สหโชค สกุลเผือก

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.ชลอ	จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ	ผศ.กรองแก้ว	ทิพยศักดิ์	.....
กรรมการ	อ.กลิ่นสุคนธ์	สุวรรณรัตน์	.....
กรรมการ	ดร.อุสารัตน์	ถาวรชัยสิทธิ์	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อถ่านอัดแท่งจากกากใบชา
นักศึกษา นางสาวชนากานต์ เตี้ยงสูงเนิน
นายวรวุฒิ ศิริเคารพ
นายสหโชค สกุลเผือก
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม และทำการแปรอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังทั้งสองชนิด เป็น 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปโดยวิธีแบบไม่ใช้ความร้อน แล้วนำไปเผาให้กลายเป็นถ่าน ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านที่ได้ ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น ในขณะที่คุณสมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น, การทนแรงอัดและค่าดัชนีการแตกร่วน จากการทดลอง พบว่า ชนิดและอัตราส่วนของตัวประสานไม่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา ยกเว้นค่าการทนแรงอัดโดยค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งที่ใช้เป็นตัวประสานเพิ่มขึ้นจาก 0-5%โดยน้ำหนัก โดยถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ผลิตได้มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 6,066 – 6,431 แคลอรีต่อกรัม, ปริมาณสารระเหย ร้อยละ18.80 – 21.00 และปริมาณความชื้นมีค่า ร้อยละ 3.61 – 6.65 ในส่วนของปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานโดยมีค่าร้อยละ 12.49 – 19.84 และร้อยละ 55.56 – 64.14 ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟโดยการเคลือบผิวถ่านอัดแท่งจากกากใบชาด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าถ่านสามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อเริ่มจุดไฟ

คำสำคัญ : กากใบชา, ถ่านอัดแท่ง, ตัวประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Factors Affecting Properties of Briquette from Tea Leaf Residues	
Name	Chanakan	Tiangsoongnern
	Worawoot	Sirikaorop
	Sahachoke	Sakulpueak
Department	Chemistry	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2005	
Special Project Advisor	Ms.Glinsukol	Suwannarat
Special Project co-advisor	Dr.Usarat	Thawornchaisit

Abstract

This research studied the effects of types and amounts of binder on properties of briquette from tea leaf residues by using two types of binder, consumer-grade and industrial-grade tapioca flour, and by changing the ratio of tea leaf residue to flour from 100 : 0 (only tea leaves), 99 : 1, 98 : 2, 97 : 3, 96 : 4 to 95 : 5 by weight. And after that, the briquette was compressed using pressing machine with non-heat method, then it was carbonized to become charcoal. Chemical properties of the briquette that was measured were heating value, ash content, volatile matter, fixed carbon, moisture content, while physical properties being studied were burning delay, ash stability, density, compressive strength, and friability index. It was found that types of binders and the binder ratio were not affected the briquette properties with the exception of compressive strength. This parameter showed when increasing tapioca flour as binder from 0 to 5% by weight. Heating value of briquette from tea leaf residues was between 6,066-6,431 cal/g. The percentage of volatile matter was 18.80-21.00 and the moisture content was 3.61-6.65%. In case of ash content and fixed carbon, it was found that the value of ash content and fixed carbon was not in accordance with the standard value in which percentage is 12.99-19.84 and 55.56-64.14 respectively. When the potential in improving ignition properties by coating the briquette surface with ethyl alcohol was studied, it was found that the charcoal from tea leaf residues was lit instantly.

Keywords: Tea leaf residues, Briquette, Binder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นผลมาจากคำแนะนำ ความช่วยเหลือและเอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน ตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัย ของอาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ และ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณสุรชัย แสงทักษิณ ผอ.สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 ชลบุรีและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมเครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่งและคำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณขนิษฐ สุทธิพงศ์ และเจ้าหน้าที่โรงบดแกลบ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาทุกท่าน ในการให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ส่วนงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง (โรงกลั่นแอลกอฮอล์) โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือ ตลอดจนคำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณน้อย เรียงวงษ์ และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ทดลองวิชาการด้านพลังงานธรรมชาติและเชื้อเพลิงพลังงาน กระทรวงพลังงาน จ.ปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือ ตลอดจนคำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูนิ-เพรสซิเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.นครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์กากใบชาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ บริษัท วิคเตอร์ ชาร์โคล จำกัด ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในด้านต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติๆ ทุกท่าน และเพื่อนทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลา รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้

คณะผู้วิจัยหวังว่าคุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากโครงงานพิเศษนี้ ขอมอบแด่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

นางสาว ชนากานต์ เตี้ยงสูงเนิน
นาย วรวุฒิ ศิริเคารพ
นาย สหโชค สกุลเผือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 พลังงานทดแทน	4
2.2 พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)	6
2.2.1 ชีวมวล (Biomass)	6
2.2.2 ประเภทของชีวมวล (Type of plant biomass)	7
2.3 กากชา	7
2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง	9
2.4.1 หลักการอัดแท่ง	9
2.4.2 ขั้นตอนการอัดแท่ง	11
2.4.3 เครื่องอัดแท่ง	13
2.4.3.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press)	13
2.4.3.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)	14
2.4.3.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)	15
2.4.3.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Pelletizing Press)	16
2.4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	16
2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง	18
2.4.6 แป้ง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6.1 แป้ง (Starch)	22
2.4.6.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง	23
2.4.6.3 การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง (Gelatinization)	25
2.4.7 ถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ในท้องตลาด	27
2.4.7.1 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว	27
2.4.7.2 ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา	28
2.4.7.3 ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย	28
2.4.7.4 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	32
3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี	32
3.1.2 อุปกรณ์	32
3.2 การเตรียมวัตถุดิบ	33
3.3 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	33
3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากชา	34
3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้ในการศึกษาครั้งนี้กับถ่านไม้ และถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	36
4.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	36
4.1.1 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้	36
4.1.2 ระยะเวลาในการจุดติดไฟของถ่าน	37
4.1.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน	37
4.1.4 ค่าความหนาแน่นโดยประมาณ	38
4.1.5 การทนแรงอัดของถ่าน	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.6 ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน 40
4.1.7 ปริมาณความชื้นของถ่าน 40
4.1.8 ปริมาณเถ้าของถ่าน 41
4.1.9 ปริมาณสารระเหยของถ่าน 42
4.1.10 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน 43
4.1.11 ค่าความร้อนของถ่าน 43
4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา 44
4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับ ถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด 44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลการทดลอง 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 47
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ 52
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 59
ภาคผนวก ค สมมติฐานและขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน 67
ภาคผนวก ง รูปตัวอย่างถ่านอัดแท่งจากกากใบชา 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปริมาณการบริโภคถ่านและไม้ฟืน ตั้งแต่ปี 2534-2538	5
ตารางที่ 2.2	เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541	5
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติทางเคมีของกากชา	7
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบทางเคมีของกากชา	8
ตารางที่ 2.5	คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	17
ตารางที่ 2.6	คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	21
ตารางที่ 2.7	สรุปความแตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน	25
ตารางที่ 2.8	ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเปกตินของแป้งจากพืชแต่ละชนิด	25
ตารางที่ 2.9	ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชแต่ละชนิด	26
ตารางที่ 2.10	อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด	26
ตารางที่ 3.1	ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	34
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้	45
ตารางที่ ข.1	ปริมาณความชื้นของถ่าน	60
ตารางที่ ข.2	ปริมาณเถ้าของถ่าน	61
ตารางที่ ข.3	ปริมาณสารระเหยของถ่าน	61
ตารางที่ ข.4	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน	62
ตารางที่ ข.5	ค่าความร้อนของถ่าน	62
ตารางที่ ข.6	ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้	63
ตารางที่ ข.7	ระยะเวลาในการจุดติดไฟ	64
ตารางที่ ข.8	ระยะเวลาในการเผาไหม้	64
ตารางที่ ข.9	ค่าความหนาแน่น	65
ตารางที่ ข.10	ค่าการทนแรงอัด	65
ตารางที่ ข.11	ดัชนีการแตกร่วน	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ก) แรงแวลเดอร์วาลล์ (Van der Waals forces)	10
	ข) พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond)	10
	ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (viscous binders adsorption layers)	10
รูปที่ 2.2	เครื่องอัดแบบลูกสูบ	13
รูปที่ 2.3	เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย	14
รูปที่ 2.4	เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด	15
รูปที่ 2.5	เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	15
รูปที่ 2.6	เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ	16
	ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม	16
	ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน	16
รูปที่ 2.7	แสดงโครงสร้างของ อะไมโลส	23
รูปที่ 2.8	แสดงโครงสร้างของอะไมโลเปกติน	24
รูปที่ 2.9	ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว	27
รูปที่ 2.10	ถ่านอัดแท่งจากกะลา	28
รูปที่ 2.11	ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย	28
รูปที่ 2.12	ถ่านอัดแท่งจากแกลบ	28
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟ	37
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการเผาไหม้	38
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นประมาณ	38
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อการทนแรงอัดของถ่าน	39
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อดัชนีการแตกร่วนของถ่าน	40
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณความชื้น	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณเถ้า	42
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณสารระเหย	42
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว	43
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณค่าความร้อน	43
รูปที่ ค.1	ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป	76
รูปที่ ค.2	ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและราคาน้ำมันดิบที่ปรับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง และการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน การจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการใช้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาประเทศ โดยภาครัฐได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของพลังงานทดแทนด้วยการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่ได้รับความสนใจ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล และพลังงานน้ำและไฮโดรเจน เป็นต้น หากมีการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นจะช่วยลดการสูญเสียเงินตราให้ต่างประเทศในการนำเข้าพลังงานและเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมาก

พลังงานชีวมวล ถือเป็นพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่งที่ได้จากซากพืชและซากสัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และขยะเป็นต้น ประกอบกับประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำให้มีชีวมวลเกิดขึ้นในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ภายในประเทศมีอยู่ค่อนข้างจำกัด

ถ่านอัดแท่ง จัดเป็นพลังงานชีวมวลรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่ายภายในครัวเรือนหรือชุมชนและใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตจึงทำให้มีต้นทุนต่ำ ดังนั้นการนำพลังงานชีวมวลมาใช้ถือเป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ผลิตชีวมวลอีกทางหนึ่ง

กากชา จัดเป็นชีวมวลชนิดใหม่อีกรูปแบบหนึ่งที่มีปริมาณมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มชาที่เพิ่มสูงขึ้นภายในไม่กี่ปีมานี้ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มชาเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วจนก่อให้เกิดกากชาจากกระบวนการผลิตปริมาณมาก กากชาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น นำมาประกอบอาหารเนื่องจากกากชายังคงอุดมด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย, ทำเป็นพื้นรองเท้า และกระดาษ เป็นต้น (Kazuyoshi, 2002) นอกจากนี้กากชาสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูงได้ (วนิตา, 2548) การนำกากชามาใช้ประโยชน์จึงถือเป็นการลดการเกิดกากของเสียที่เป็นภาระในการกำจัดลง

โครงงานพิเศษนี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและปริมาณของตัวประสาน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาให้มีประสิทธิภาพดีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดของตัวประสาน และปริมาณของตัวประสานที่ใช้ในการผลิตต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาให้ดียิ่งขึ้น
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา กับถ่านไม้ และถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของชนิดของตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค และเกรดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้แป้งทั้งสองชนิดเป็นตัวประสาน นอกจากนี้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณตัวประสานที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยแปรค่าอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังให้มีค่าเป็น 100:0 (กากใบชาอย่างเดียว), 99:1 , 98:2 , 97:3 , 96:4 และ 95:5 แล้วนำมาอัดแท่งแบบไม่ใช้ความร้อน จากนั้นนำไปเผาให้กลายเป็นถ่านอัดแท่ง ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ,ระยะเวลาในการเผาไหม้, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น, การทนแรงอัด และค่าดัชนีของการแตกร่วน
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้อัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติในการจุดติดไฟและระยะเวลาในการจุดติดไฟ เปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งจากกากใบชา อัตราส่วนเดียวกันที่ไม่ได้เคลือบผิว
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา กับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดปัญหาในการกำจัดขยะ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
2. ทำให้ได้แหล่งพลังงานชีวมวลชนิดใหม่คือ ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีสัดส่วนตัวประสานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง
3. สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานใดๆ ก็ตามที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนแหล่งพลังงานซึ่งมีการสะสมตามธรรมชาติและใช้แล้วหมดไป แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป หรือเรียกว่าพลังงานประเภทสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนประเภทที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และน้ำ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมีอยู่ค่อนข้างจำกัด แม้ว่าภาครัฐจะให้การส่งเสริมและสนับสนุนโดยพิจารณาได้จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศของกรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2546 พิจารณาเฉพาะพลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเผาไหม้โดยตรงหรือนำมาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีปริมาณ 30,613 พันตัน, ฟืนและถ่านไม้ 0.8 พันตัน และขยะชุมชน 0.01 พันตัน โดยคิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบตามลำดับ แต่ปริมาณการนำชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานมีเพียง 7,307 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) เท่านั้น

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การนำชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานค่อนข้างจำกัดเนื่องจากภายในประเทศยังนิยมใช้ฟืนและถ่านไม้เป็นแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะประชาชนในชนบทเนื่องจากมีราคาถูก และหาง่าย จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีปริมาณการใช้ฟืนและถ่านไม้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการบริโภคถ่านและไม้ฟืน ตั้งแต่ปี 2534-2538

ประเภทพลังงาน	2534 (KTOE)	2538 (KTOE)	2536 (KTOE)	2537 (KTOE)	2538 (KTOE)
ถ่าน	3,409	3,705	4,125	4,458	4,589
	(4.987)	(5.42)	(6.034)	(6.521)	(6.713)
ไม้ฟืน	3,426	3,555	3,765	3,902	3,786
	(9.052)	(9.393)	(9.948)	(10.310)	(10.003)

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2538.

หมายเหตุ: หน่วยเป็น Kiloton of Equivalent (KTOE) /ส่วนหน่วยในวงเล็บเป็นล้านตัน

จากปริมาณความต้องการใช้ถ่านและไม้ฟืนที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดปัญหาพื้นที่ป่าไม้ในปัจจุบันของประเทศไทยมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่าในปีพ.ศ. 2541 พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยเหลือเพียงร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ประเทศ (สำนักสารนิเทศ, 2541) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทยปี 2531-2541

พ.ศ.	พื้นที่ป่า (ล้านไร่)	ร้อยละ	พ.ศ.	พื้นที่ป่า (ล้านไร่)	ร้อยละ
2531	143.803	28.03	2536	133.554	26.03
2532	143.417	27.95	2538	131.485	25.62
2534	136.698	26.64	2541	129.722	25.28

ที่มา: สำนักสารนิเทศ, 2541.

เนื้อที่ป่าไม้ที่ลดลงของประเทศไทยทำให้การจัดหาไม้ฟืนปริมาณดังกล่าว จะต้องปลูกไม้โตเร็วถึงหลายล้านต้น ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะจัดหาไม้ให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ เนื่องจากปัจจุบันมีกฎหมายห้ามตัดต้นไม้ในป่าสงวน ดังนั้น การนำพลังงานทดแทนมาใช้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะพลังงานชีวมวลซึ่งนำวัสดุเหลือใช้ที่มีมูลค่าทางพลังงานมาใช้ ได้แก่ แกลบ กากอ้อย เศษไม้ เศษหญ้า เศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543) มูลสัตว์ กากกาแฟจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกาแฟและกากชาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากชา เป็นต้น หากมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นก็จะช่วยให้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานลดลงได้อย่างมาก

2.2 พลังงานชีวมวล (Biomass Energy)

2.2.1 ชีวมวล (Biomass) คือ ซากของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้

สาเหตุที่ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโตพืชเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแป้งและน้ำตาล โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงชีวมวลจะเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ยกตัวอย่างเช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ซังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าว
- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

จากการที่ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกและมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยเนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ทำการประกอบอาชีพเกษตรกรรม การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราให้ต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ผลิตชีวมวลได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประเภทของชีวมวล (Type of plant biomass) ชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงมีแหล่งกำเนิดอยู่มากมาย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท (Best; et. al. 2000) ดังนี้

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

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

3. Processed waste ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย ขยะจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กากสับปะรด กากชาและขยะชุมชน เป็นต้น

4. Processed fuels ได้แก่ ถ่านที่ทำจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ ชีวมวลอัดแท่ง เอทานอล หรือเมทานอล และก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น

2.3 กากชา

กากชา คือ กากที่เหลือจากการนำชาไปชงดื่มแล้ว ซึ่งในกากชาจะมีส่วนประกอบของใบชามากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 56 ส่วนที่เหลือเป็นส่วนของกากชาที่ไม่สามารถจำแนกส่วนประกอบได้อีก คือ ผงชา, ตาชา และก้านชา มีปริมาณร้อยละ 29 , 9 และ 6 ตามลำดับ โดยส่วนประกอบของกากชาส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และผงชาจะมีขนาดการกระจายอยู่ในทุกๆช่วง ยกเว้นช่วง 0.5-0.6 มิลลิเมตร (ณัฐฏพงษ์, ม.ป.ป.) ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของกากชา แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของกากชา

คุณสมบัติ	กากชาเขียว	เชื้อเพลิงอัดแท่ง*
ความชื้น (ร้อยละ)	8.57 ± 7.77	11.8
เถ้า (ร้อยละ)	7.10 ± 2.82	5.9
สารระเหย (ร้อยละ)	75.43 ± 0.47	78.2
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	8.36 ± 6.98	5.6
ค่าความร้อน (cal/g)	4,390	3,714

ที่มา: วนิตา, 2548 อ้างอิงจาก * ทองทิพย์ พูลเกษม, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของกากชากับคุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ตารางที่ 2.3) พบว่า ความชื้นของกากชามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งสามารถนำมาอัดแท่งได้โดยวิธีการอัดแบบร้อน ส่วนการอัดแบบเย็นต้องเพิ่มความชื้นโดยการผสมน้ำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 40-50 ส่วนปริมาณเถ้าของกากชามีค่าร้อยละ 7.1 ซึ่งถือว่ายังมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับไม้ ซึ่งมีเถ้าไม่เกินร้อยละ 5 (ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้, 2546) ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเหลือเถ้าปริมาณมาก ในส่วนของปริมาณสารระเหยของกากชายังคงมีปริมาณสูง ทำให้เมื่อเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก นอกจาก นั้นกากชายังมีปริมาณคาร์บอนคงตัวปริมาณน้อย ทำให้มีค่าความร้อนน้อย ซึ่งค่าความร้อนของกากชามีค่า 4,390 แคลอรีต่อกรัม ใกล้เคียงกับฟางข้าว, ต้นมันสำปะหลัง, ชานอ้อย และขุยมะพร้าว แต่มีค่ามากกว่า ผักตบชวา, แกลบ และเหง้ามันสำปะหลัง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2548) จากข้อมูลที่ได้จึงพอสรุปได้ว่า กากชาไม่เหมาะที่จะนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

ส่วนการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากชา ที่ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Electron Dispersive Spectrometer (EDS) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกากชา

องค์ประกอบทางเคมี	กากชา (ร้อยละ)	เนื้อไม้ (ร้อยละ)*	ถ่านหิน (ร้อยละ)**
คาร์บอน (C)	68.08 ± 0.14	50-55	75.50
ออกซิเจน (O)	26.38 ± 0.93	40-45	4.90
ไนโตรเจน (N)	5.72 ± 4.12	1	5.00
ซัลเฟอร์ (S)	0.09 ± 6.12	-	2.90
แมกนีเซียม (Mg)	0.37 ± 7.73	-	-
ซิลิกอน (Si)	0.64 ± 6.28	-	-

ที่มา: วนิตา, 2548 อ้างอิงจาก * Karchesy and Koch, 1979 ; **นิรนาม, 2548.

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 2.4) พบว่ากากชามีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 68.83 ออกซิเจนร้อยละ 26.18 และไนโตรเจนร้อยละ 5.13 เมื่อเทียบกับองค์ประกอบของเนื้อไม้แล้วพบว่า กากชามีองค์ประกอบของคาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจนใกล้เคียงกับเนื้อไม้ (Karchesy and Koch, 1979) และมีซัลเฟอร์ปริมาณน้อยจึงทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) น้อยกว่าถ่านหิน ดังนั้นกากชามีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงถือเป็นแหล่งพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันในประเทศจีน ไต้หวัน และญี่ปุ่นมีการศึกษาการนำกากชามาใช้ในรูปแบบอื่น เช่น นำกากชาที่เหลือจากการชงชาแทนที่จะนำไปทิ้งหรือหมักคลุมโคนต้นไม้มาประกอบอาหารชนิดต่างๆ ได้ เนื่องจากในกากใบชายังคงอุดมไปด้วยแร่ธาตุ วิตามิน โปรตีนและเส้นใย ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยนำกากชาที่เหลือจากการชงมาอบหรือคั่วให้แห้งเพื่อให้เก็บไว้ใช้ประกอบอาหารได้นาน และด้วยคุณสมบัติในการดูดกลิ่นของใบชาเนื่องจากมีสารเทอพีน (terpene) เป็นองค์ประกอบจึงสามารถนำใบชาหรือกากชามาประดิษฐ์เป็นของใช้ในบ้านเรือน เช่น พื้นรองเท้า, กระดาษ เป็นต้น (Kazuyoshi, 2002) นอกจากนี้ กากชายังสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูง (วนิตา, 2548) ได้อีกด้วย

2.4 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งวัสดุชีวมวลหรือเศษวัชพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา และแกลบ เป็นต้น มาอัดเป็นแท่ง ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ.2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกช่วย (ประลอง ดำรงค์ไทย, 2547) ส่วนเหตุผลที่ต้องทำการอัดแท่งเนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมากไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 1/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น 2/3 ของถ่านหินโดยน้ำหนัก (Reed and Bryant, 1978)

ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่นำเอาวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วยกระบวนการอัดแท่ง (Densification) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง กลดค่าความชื้นในเศษวัสดุให้น้อยลง เป็นวิธีการเปลี่ยนสภาพจากการใช้ตามสภาพธรรมชาติ และเพื่อขจัดข้อเสียในการใช้งานให้หมดไป

2.4.1 หลักการอัดแท่ง

หลักการอัดแท่ง คือ การใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน สรุปหลักการได้ว่าสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Grover and Miskra, 1996)

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูง เกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (liquid) และของแข็ง (fluid) เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion forces) และการเกิด Interlocking bond ระหว่างวัสดุ

2. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลาง โดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพวกลิกนิน-เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้

3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน (binders) ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ

สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมีความเหนียวเพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี (viscous binders adsorption layers) เช่น ทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับ Adhesion forces (แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว) Cohesion forces (แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน) และ Interlocking bond

วัสดุที่มีขนาดเล็กสามารถอัดแท่งโดยใช้แรงดันสูง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน โดยที่ความแข็งของวัสดุอัดแท่งขึ้นอยู่กับแรงแวนเดอร์วาลล์ (Van der Waals forces) และการเกิด Interlocking ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ก) แรงแวนเดอร์วาลล์ (Van der Waals forces)
ข) พันธะอินเตอร์ลอคกิ้ง (interlocking bond)
ค) ชั้นยางเหนียวของตัวประสาน (viscous binders adsorption layers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ขั้นตอนการอัดแท่ง

เชื้อเพลิงที่นำมาอัดแท่งโดยทั่วๆ ไป ไม่ว่าจะใช้ตัวประสานหรือไม่ใช้ตัวประสาน จะประกอบด้วยขั้นตอนหลักในการอัดเชื้อเพลิงแท่ง ดังนี้

- การบด (Grinding) เพื่อให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดติดเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น
- การอบ (Drying) เชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นในเชื้อเพลิงที่พอ เหมาะในการอัดก้อน ถ้าความชื้นมากเกินไป ก้อนเชื้อเพลิงจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น
- การผสม (Mixing) เชื้อเพลิงจะผสมกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ การผสมจะพิจารณาเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเชื้อเพลิง ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำด้วยถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป
- การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัด แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

การอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (pelleting) ลูกบาศก์ (cubing) อัดเป็นแท่งฟืน (extruded log) การอัดแท่งฟืนสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมนิยมใช้การอัดเกลียวหรืออัดสกรู (screw extrusion) ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดเกลียวหรือสกรู สามารถอัดได้ 2 แบบ คือ การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย ซึ่งในกรณีนี้ได้แก่ วัสดุพวกขี้เลื่อย แกลบ เศษไม้ โดยความร้อนจะไปทำให้สารประเภทลิกโน-เซลลูโลสเยิ้มและเชื่อมประสานกัน อีกวิธีหนึ่ง คือ การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งก็แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบใช้ตัวประสาน (binder) เข้าช่วยให้เชื้อเพลิงเกาะติดกัน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (binderless) ซึ่งใช้กับพวกวัสดุที่มียางเหนียวอยู่ในตัว เช่น อัดพวกพืชสดเป็นต้น (มงคล ไข่มุก, 2535) ดังนี้

1) การอัดร้อน (Hot Densification) การอัดแท่งแบบนี้เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการอัดที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณ 57 ปีมาแล้ว โดย R.T. Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์ฟืนสังเคราะห์จากขี้เลื่อย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้าและกลิ่นเหม็น มีข้อดีคือ ให้เปลวไฟสะอาด สามารถทำสีเปลวไฟได้ตามต้องการ (Fitzgerald, 1980) ซึ่งวิธีการอัดแท่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามชนิดของเครื่องอัดคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การอัดแท่งด้วยลูกกลิ้ง (Roll Press Densification)

2) การอัดเย็น (Cold Densification) วิธีการอัดแท่งแบบนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นการอัดแบบใช้ตัวประสาน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattachary; et. al. 1988) ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงอัดปานกลาง

ข้อดีของการอัดเย็น คือ 1. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอัดร้อน
2. ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างจากการอัดร้อนเพียงเล็กน้อย
3. ขั้นตอนวิธีการเตรียมวัตถุดิบไม่ยุ่งยาก
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดต่ำ
5. เครื่องอัดแท่งมีราคาถูกและดูแลรักษาง่าย

ข้อเสียของการอัดเย็น คือ ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

การอัดเย็นหรือไม่ใช้ความร้อน ที่มีการวิจัยในประเทศไทยนั้นหลายมีวิธี ได้แก่ (ITDG, 1984)

- การอัดสดโดยใช้พืชสดชนิดเดียวกันเป็นตัวประสาน ได้แก่ เพกติน เยลลาตินกัม ฯลฯ

- การอัดโดยใช้พืชสดชนิดอื่น ๆ เป็นตัวประสาน เพราะตัวมันเองไม่มียางเหนียวเพียงพอหรือมีน้อยมาก เช่น การอัดผักตบชวาผสมชานอ้อย

- การอัดสดโดยใช้ตัวประสานจากภายนอกเป็นตัวผสม เพื่อให้การจับตัวเป็นก้อนดีขึ้น เช่น การอัดไมยราบยักษ์ผสมกับลิกไนท์ผง

- การอัดพืชที่หมักจนเหม็นบูด (ferment) พืชบางชนิดใช้เวลาเพียง 3-4 วัน บางชนิดใช้เวลานานกว่านี้ พืชบางชนิดไม่จำเป็นต้องหมักถึงขั้นเหม็นบูด แต่หมักพอให้ชุ่มน้ำก็พอจะทำให้การอัดง่ายขึ้น

- การอัดพืชที่หมักในระยะที่เกิดการเน่าเปื่อยระยะต้นๆ (partially decay) จนถึงเน่าเปื่อยดี (well decay) ในพืชบางชนิด ใช้เวลาหมัก 3-4 อาทิตย์ ทำให้การอัดง่ายขึ้น ซึ่งปุ๋ยหมักก็อาจนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้

- การอัดพืชที่หมัก โดยผสมตัวประสานจากภายนอก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง, โมลาส และแอสฟัลท์

- การอัดเปียกโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน สามารถใช้อัดเศษอาหารที่ยังไม่เน่าบูด หรือเศษอาหารที่เน่าบูดแล้ว เศษใบตองที่ห่ออาหาร เปลือกข้าวโพด ฝักอ่อนที่ยังสดๆ เศษกระดาษที่แช่น้ำ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

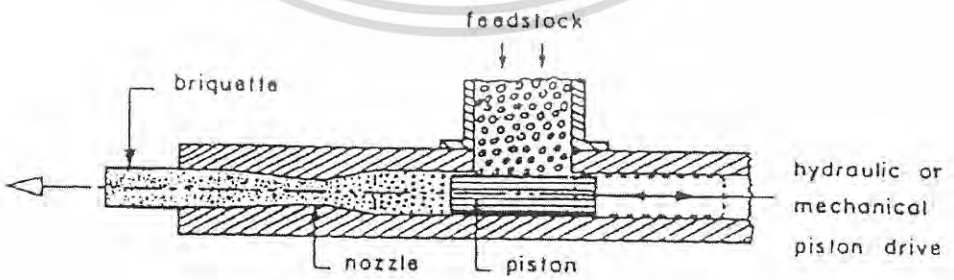
- การอัดแห้งโดยใช้วัสดุแห้งที่เป็นชีวมวลทุกชนิดผสมตัวประสาน ได้แก่ เศษพืช ฟางข้าว เศษกระดาษ หรือขยะมูลฝอยเมื่อผสมกับตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสม ก็สามารถนำมาอัดเป็นแท่งได้

การอัดเย็นแบบไม่ใช้ตัวประสาน สามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติการเป็นตัวประสานในตัววัสดุนั้นเอง คือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสด และวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมัก เนื่องจากการหมักชีวมวลทำให้เส้นใยหรือเนื้อเยื่ออ่อนตัวและสร้างสารที่เป็นยางเหนียว ทำให้ใช้พลังงานในการอัดลดลง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอัดแบบร้อน การอัดวิธีนี้ถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นพืชที่ไม่มีตัวประสาน ได้แก่ เจลาติน (Gelatin), เปกติน (Pectin), ลิกนิน (Lignin) ฯลฯ หรือมีปริมาณน้อย จะต้องผสมกับตัวประสานเพื่อที่จะให้การอัดแท่งนั้นได้ผลดี (Stienswat and Buachada, 1986)

2.4.3 เครื่องอัดแท่ง

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

2.4.3.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprecation Piston) เพื่อดันวัตถุดิบ เข้าไปในกระบอกรูปเรียว (Tapered Die) (รูปที่ 2.2) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical Choke) หรือเป็นรูปเรียวทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านนี้รวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ (Bhattacharya; et.al. 1988, Lequeux; et.al. 1988)

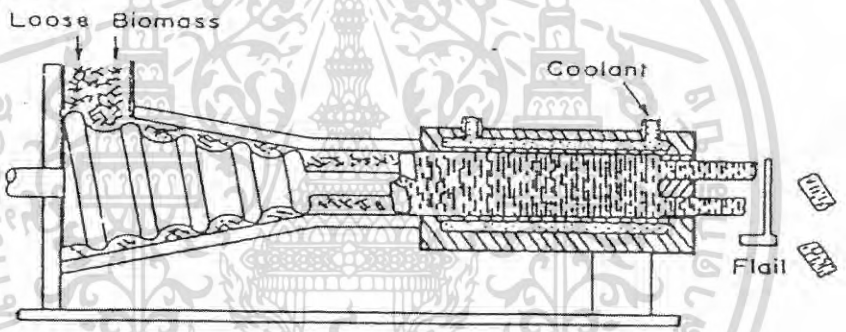


รูปที่ 2.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันเนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแท่งฟืนซึ่งนิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้งาน และการขนส่ง โดยแบ่งเครื่องอัดออกเป็น 3 ประเภท คือ

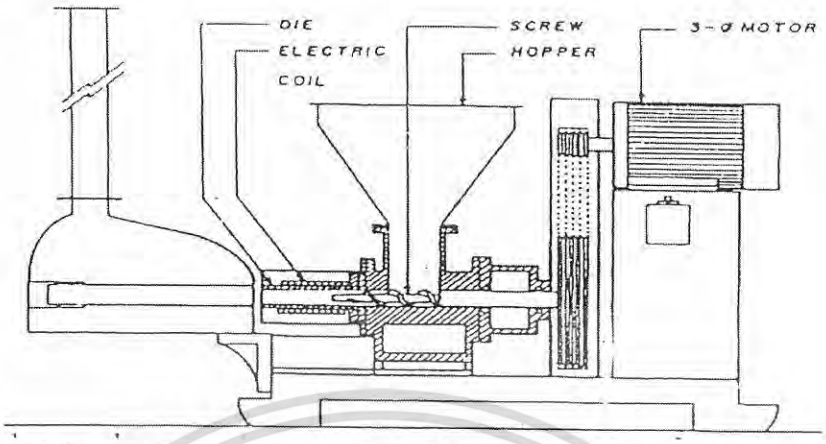
1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพ้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2. เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heated) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีหลักการทำงาน คือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนิน-เซลลูโลสหลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัด ยึดเกาะตัวกันดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตอยู่ในช่วง 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Karchesy and Koch, 1979) วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเม็ดละเอียด และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว

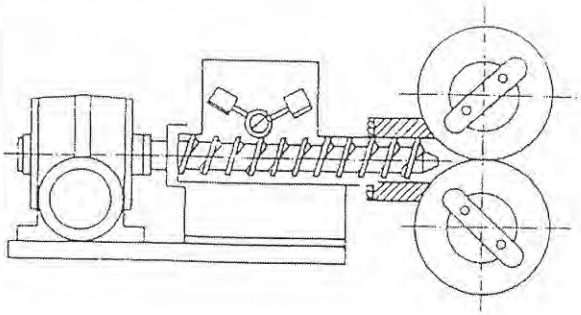
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

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

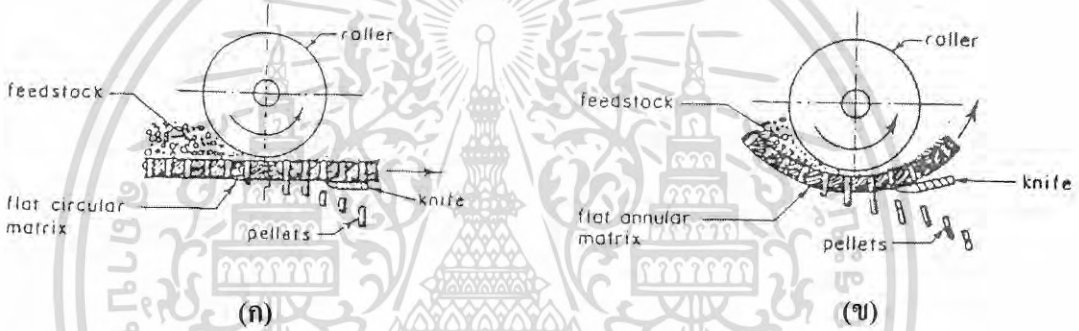
2.4.3.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หลักการทำงานคือกระบวนการอัดจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน (Pillow-shaped briquettes) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความทนทานน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้แรงอัดต่ำ และ อุณหภูมิในกระบอกอัดไม่สูงพอที่จะหลอมละลายลิกนินเพื่อช่วยในการอัดตัวกันเป็นแท่ง



รูปที่ 2.5 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing Press) ประกอบด้วย แม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และแม่พิมพ์ (Matrix) โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้งกับแม่พิมพ์ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสี และทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู ซึ่งมี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ก และ 2.6 ข แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมา จะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้การอัดแบบเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเป็นเม็ด (Pelletizing)



รูปที่ 2.6 เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ
ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน

2.4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลที่ผ่านขั้นตอนการอัดแท่งจะประเมินโดยใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลัก (Fitzgerald, 1980) คือ

1) ความชื้น (Moisture content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้ง ความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงเพราะสูญเสียความร้อนในการทำให้แห้ง และทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย โดยที่ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะต้องไม่เกินร้อยละ 10 (Reed and Bryant, 1978: Grover and Mishra, 1996)

2) ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวกอัลคาไลน์ (Alkaline mineral) เช่น SiO_2, Na_2O และ K_2O เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณเถ้าต่ำ ยกเว้นแกลบมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 20 (Grover and Mishra, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3) สารระเหย (Volatile matters) คือ ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

4) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจากที่ระเหยสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5) ค่าความร้อน (Calorific value or Heating value) ค่าความร้อนในการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบสูง แต่มีสารระเหยได้และปริมาณเถ้าต่ำ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้มีค่าความร้อนต่ำ (สมชายและกัญจนา, 2525) อย่างไรก็ตามชีวมวลที่ได้จากพืช มีคุณสมบัติที่ได้เปรียบน้ำมันธรรมชาติ และถ่านหิน เนื่องจากมีธาตุกำมะถันน้อย และไม่มีมลภาวะ หรือสารพิษอื่นๆ เช่น ปรอท ตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีปริมาณเถ้าต่ำ (นารา, 2524) เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.5

ข้อดีของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถสรุปได้ ดังนี้ (Aqa, 1990)

1) มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 - 60 มิลลิเมตร สามารถใช้ป้อนเป็นเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง

2) มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สมบูรณ์

3) ปราศจากมลภาวะ เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน ฟอสฟอรัส และขี้เถ้าลอย ปล่อยออกมาน้อยมากหรืออาจไม่มีเลย จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมมลภาวะที่มีราคาสูง ในขณะที่ในถ่านหินและน้ำมันหินจะมีกำมะถันเจือปนอยู่ราวร้อยละ 3 และอาจสูงถึงร้อยละ 7

4) สะดวกต่อการเก็บ ขนส่ง และการนำมาใช้งาน

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดี

คุณสมบัติ	ปริมาณ
คาร์บอนเสถียร (fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า 75%
สารระเหยง่าย (Volatile)	ไม่เกิน 25%
ขี้เถ้า (Ash)	ไม่เกิน 4%
ความชื้น (Moisture)	ไม่เกิน 10%
ค่าความร้อน (Heating value)	ไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรี่/ กิโลกรัม
ค่าความแข็ง (Hardness)	ไม่น้อยกว่า 5%
ความพรุน (Porousity)	สูง
พื้นที่ผิว	ไม่น้อยกว่า 200 ตารางเมตร/กรัม

ที่มา : ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107746

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านมาก เวลาจุดมีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงเขียวมีค่าความหนาแน่น (Density) ใกล้เคียง 1 ดังนั้นสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้ (Carbonization) โดยจากการทดลองเผาแบบแกลบกลบ ใช้เวลาประมาณ 20-24 ชั่วโมง (1 วัน) และถ่านที่ได้สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ และให้ความร้อนได้สูง เชื้อเพลิงเขียวที่ใช้วัชพืช (ไมยราบยักษ์) สับเป็นชิ้นเล็กๆ ผสมกับลิกไนท์ผง 20-30% จะเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะกับโรงบ่มยาสูบ หากใช้ลิกไนท์ผงล้วนๆ อัดแท่ง เถ้าจะจับตัวเป็นก้อนแตกยาก หากผสมชีวมวลจะช่วยให้เถ้าแตกง่าย (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, 2529)

2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น, ขนาดของชิ้นส่วนวัตถุดิบ, แรงดัน, อุณหภูมิ, วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง และตัวประสาน ดังนี้

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะสูญเสียพลังงานมากในการทำให้วัตถุดิบแห้ง จึงมีค่าความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำกว่า (Grover and Miskra, 1996) วัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ มีข้อจำกัดในการจับตัวเป็นก้อนและเมื่อทำการอัดแท่งจะทำให้มีรอยแตกบนผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบมีส่วนช่วยกระจายความร้อนในมวลวัตถุ ถ้าวัตถุดิบมีน้ำไม่เพียงพอทำให้การส่งผ่านความร้อนไม่ดี แรงดันที่ต้องการใช้ในการอัดแท่งจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าวัสดุมีน้ำมากเกินไป ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกกระจายไป ใช้ทำให้น้ำกลายเป็นไอ และบ่อยครั้งทำให้เกิดการระเบิดออกมาจากกระบอกอัด โดยทั่วไปพบว่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุดังกล่าวเกาะกันเป็นแท่งได้ง่าย ไม่มีรอยแตกร้าว และมีความแข็งแรงเพียงพอ สามารถขนส่งได้โดยไม่แตกหัก (Reed and Bryant, 1978)

วิธีการลดความชื้น ขึ้นอยู่กับสภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้นๆ ว่ามีปริมาณความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด และสภาพดินฟ้าอากาศ ในกรณีที่สภาพดินฟ้าอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น ในฤดูฝน จำเป็นต้องอบให้แห้งด้วยเครื่องอบ เครื่องอบมีหลายแบบ อาจเป็นเตาหมุน (rotary drying kiln) เพื่อให้ความร้อนที่ส่งผ่านมาตามท่อกระจายไปสู่เศษวัสดุที่กำลังอบอยู่อย่างทั่วถึงและจากเครื่องอบนี้จะมีท่อดูดเอาเศษวัสดุที่อบแห้งแล้วและมีความชื้นพอเหมาะไปสู่ไซโลเพื่อรอการนำไปอัดต่อไป หรืออาจใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะ หรือความร้อนที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม

2. ขนาดของชิ้นส่วนวัตถุดิบ (Particle size) เศษวัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เศษเหลือจากการทำไม้ จะได้เศษไม้ที่มีทั้งปลายไม้ ส่วนที่ผุ หรือมีตำหนิ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้กบ เพื่อให้วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดยาว และใหญ่ มีขนาดเล็กลงได้โดยการนำไปย่อยและบด เพื่อให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าเครื่องอัดแท่ง Intermediate Technology Development Grop รายงานว่า ขนาดชิ้นส่วนของวัสดุโดยเฉลี่ยควรจะมีขนาด 3 มิลลิเมตร โดยที่ร้อยละ 20 ของวัสดุควรมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และส่วนที่เหลือควรมีขนาด 2 - 4 มิลลิเมตร (ITDG, 1984) ในวัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วอาจไม่ต้องย่อยหรือบด แต่ต้องผ่านทำการร่อนด้วยตะแกรงเสียก่อน มิฉะนั้นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนอยู่ จะทำให้ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี ทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

3. แรงดัน (Pressure) แรงดันในกระบอกอัดเกิดจากการที่สกรูอัดหมุนดันให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่องอัดติดกับผนังกระบอกอัด โดยแรงดันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัด ความสูงของเกลียว ความเร็วของสกรู ตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรู เมื่อวัตถุดิบถูกสกรูหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดที่ได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกกับแท่งเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนตัวออก จะช่วยทำให้เกิดแรงดันที่เหมาะสม ทำให้วัตถุดิบเกิดการอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ใช้ ณ อุณหภูมิเฉพาะ (Reed; et.al. 1980) นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่า การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยการให้ความร้อน ควรทำภายใต้แรงดัน ณ ที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปใช้ความดันในช่วง 0.5-1,200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัด และอุณหภูมิ (ITDG, 1984) การอัดวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ โดยใช้ความดันในกระบอกอัดประมาณ 600 กิโลกรัมต่อตารางเมตร พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีการอัดตัวแน่นดี (นารา, 2529) นอกจากนี้ ขี้เลื่อยและชานอ้อย สามารถอัดเป็นก้อนได้ ภายใต้ความดันตั้งแต่ 453 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ขึ้นไป (กัญจนาและเพียรพรรค, 2535)

4. อุณหภูมิ (Temperature) (Rougerie,1980) ได้คิดหาวิธีการอัดแท่งกับวัสดุประเภทลิกโน-เซลลูโลส (ขี้เลื่อย) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120-160 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะให้ลิกนินอ่อนตัวยึดเกาะกันได้แน่นขึ้น ทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็ง ขณะที่ (Crepean et al. 1983) ได้ทดลองการทนแรงอัด (Compressive strength) ของชีวมวลอัดแท่ง การทนแรงอัดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการอัด พบว่าการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้ Intermediate Technology Development Grop รายงานว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ควรจะน้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงเวลาการอัดแท่งที่เหมาะสมนั้นควรจะน้อยที่สุดไม่เกิน 2 วินาที (ITDG, 1984)

อุณหภูมิของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 260-300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้วัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากอ้อย เกาะกันเป็นแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (นารา, 2529) จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 200 - 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษไม้ ใบไม้ ขยะของเหลือใช้ หรือของเสียต่างๆ จากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือชุมชน ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง กากอ้อย ซังข้าวโพด แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เนื่องมาจากผนังเซลล์ของไม้จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จากการวิเคราะห์เนื้อไม้จำนวน 18 ชนิด (Karchesy and Koch, 1979) พบว่า ประกอบด้วย เซลลูโลสร้อยละ 33.8 - 48.7, เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 23.2-37.7, ลิกนินร้อยละ 19.1-30.3, สารแทรกร้อยละ 1.1 -9.6 และเถ้าร้อยละ 0.1-1.3 ตามลำดับ และเนื้อไม้ของวัตถุดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบเป็น คาร์บอนร้อยละ 50 - 55, ออกซิเจนร้อยละ 40 - 45, ไฮโดรเจนร้อยละ 6 - 7, ไนโตรเจนและเถ้าประมาณร้อยละ 1 ตามลำดับ ซึ่งธาตุที่ให้ความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เมื่อธาตุทั้งสองชนิดนี้เกิดการเผาไหม้จะให้ค่าความร้อนออกมา เนื่องจากปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนของไม้แต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ค่าความร้อนแตกต่างกันไม่มากนัก โดยพิจารณาจากการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

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

ที่มา: ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548.

6. ตัวประสาน (Binder)

6.1 ชนิดของตัวประสาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Bryand, 1985) คือ

1. ตัวประสานที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ น้ำมันดิบมูลสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยะเน่าเปื่อย สาหร่าย และแป้ง เป็นต้น

2. ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ โคลน เลน ดินเหนียว และซีเมนต์เป็นต้น

6.2 คุณสมบัติที่ดีของตัวประสาน

1. มีความสามารถในการประสานดี
2. สามารถเผาไหม้ได้หรือลุกติดไฟได้ดี และไม่ทำให้เกิดควัน
3. เมื่อถูกอากาศภายนอกจะต้องไม่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงแตกร่วน หรืออ่อนตัวเกินไป
4. เสียค่าใช้จ่ายน้อย

จากการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัลท์ แป้งเปียก ขี้ผึ้ง และปูนขาว (CaO) พบว่าโมลาสเป็นตัวประสานที่ไม่ดี เนื่องจากโมลาสดูดความชื้นได้ง่าย ทำให้การผลิตยุ่งยาก ส่วนแอสฟัลท์มีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดกลิ่นเมื่อนำก้อนเชื้อเพลิงมาใช้งาน ดังนั้น การอัดแกลบกับขี้ผึ้งและแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ แกลบร้อยละ 65 แป้งเปียกร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้ขี้ผึ้งสามารถใช้แกลบได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 365 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขี้ผึ้งมีข้อดี คือ เพิ่มค่าความร้อนให้กับแท่งเชื้อเพลิง แต่มีข้อเสียคือ มีควันมากเมื่อติดไฟ (กัญจนาและเพียรพรรค, 2532) ปัจจุบันตัวประสานที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ แป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย แต่ในอนาคตมันสำปะหลังอาจมีราคาสูงขึ้นเนื่องจากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ได้ จึงควรมีการศึกษาเพื่อหาตัวประสานชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพและนำมาใช้ทดแทนกันได้ต่อไป

2.4.6 แป้ง

แป้งถือเป็นตัวประสานชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเนื่องมาจากคุณสมบัติในการเกิดเจลซึ่งมีความเหนียวช่วยในการยึดติดระหว่างอนุภาคได้

2.4.6.1 แป้ง (starch) มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี จากพืชประเภทหัว เช่น มันฝรั่ง และจากรากพืช เช่น มันสำปะหลัง แป้งเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์(polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น กรรมวิธีการผลิตถ้าเป็นธัญพืช จะเริ่มจากการสีเพื่อแยกเอ็นโดเสปิร์ม (endosperm) ออกจากรำและจมูกข้าว นำไปแช่น้ำโม่หรือบดแล้วทำแห้งเป็นผง ถ้าเป็นพืชประเภทหัวไม่ต้องผ่านการสี แป้งต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบต่างกันทำให้แป้งมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกัน แป้งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อนจึงสามารถจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

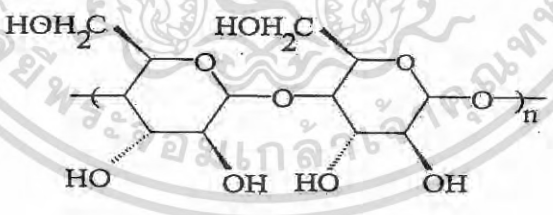
อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ประโยชน์ของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความเหนียวจากการเกิดเป็นเจล การยึดติดและการเกิดฟิล์มสามารถควบคุมคุณภาพได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก

2.4.6.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่ง กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสเรียกว่าพันธะกลูโคซายด์ (glucoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แบบควบแน่นขึ้น

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเปกติน (amylopectin)

1. อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) ขนาดของโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7



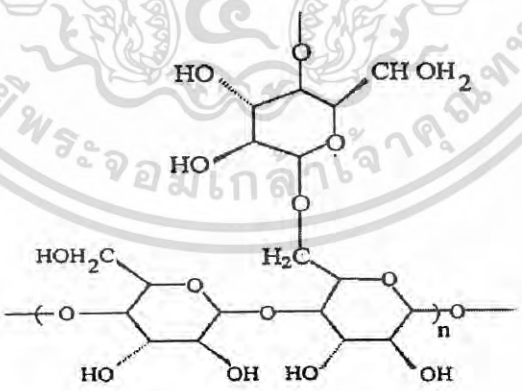
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ อะไมโลส

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ (hydrophilic) ของแป้ง เช่น การดูดความชื้น และการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลส มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ และเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลจำนวนมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในแนวขนานและใกล้เพียงพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้สมบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชอบน้ำของแป้ง และการละลายของแป้งลดลง โมเลกุลอะไมโลสสามารถจะก่อสารประกอบเชิงซ้อนแบบเกลียวล้อมรอบโมเลกุลของไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะมีสีน้ำเงิน จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้ และเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนสามารถตกตะกอนได้ด้วยบิวทานอล (butanol) หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้สามารถแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเปกติน (amylopectin) โดยวิธีการเลือกการตกตะกอน (selective precipitation)

2. อะไมโลเปกติน เป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา (branch polymer) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในแต่ละสาขาประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20-30 หน่วย (รูปที่ 2.8 จากการที่โมเลกุลอะไมโลเปกตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลส และโมเลกุลอะไมโลเปกตินเป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแป้งลดลงและขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเปกตินในน้ำจะมีลักษณะใสและมีความเสถียรในการเป็นเจลและจะไม่ก่อสารเชิงซ้อนกับไอโอดีน ส่วนที่เป็นเชิงเส้นของโมเลกุล อะไมโลเปกตินจะจัดเรียงตัวแบบขนานทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลึกแบบไมเซล (micellar crystalline) ซึ่งมีผลทำให้เกิดคุณสมบัติไบร์ฟรินเจนซ์ (Birefringence) หมายถึงองศาของการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเปกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สรุปความแตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลเปกติน มีดังนี้

อะไมโลส	อะไมโลเปกติน
ประกอบด้วยกลูโคส 250-2000 หน่วย	แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
โมเลกุลต่อกันเป็นเส้นตรง	โมเลกุลต่อกันคล้ายกิ่งไม้
ละลายน้ำได้ดีกว่า	ละลายน้ำได้น้อยกว่า
ให้สีน้ำเงินกับไอโอดีน	ให้สีแดงม่วงหรือน้ำตาล
เมื่อต้มน้ำจะหนืดข้นน้อยกว่า	เมื่อต้มหนืดข้นมากกว่าและใส
ต้มแล้วปล่อยให้เย็นเกิดเจล	ไม่เกิดเจลเมื่อต้ม

ที่มา: Zobel, 1988.

จากการศึกษาพบว่าแป้งจากพืชต่างชนิดกันจะมีสัดส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเปกตินต่างกัน (ตารางที่2.8)

ตารางที่ 2.8 ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเปกตินของแป้งจากพืชแต่ละชนิด

ชนิดของแป้งจากพืช	สัดส่วนอะไมโลส (%)	สัดส่วนอะไมโลเปกติน (%)
แป้งข้าวโพด	26	74
แป้งสาลี	25	75
แป้งข้าวเจ้า	17	83
แป้งข้าวฟ่าง	26	74
แป้งมันฝรั่ง	24	76
แป้งสาคู	27	73
Waxy maize	1	99
Waxy sorghum	1	99
แป้งมันสำปะหลัง	17	83

ที่มา: วรนุช, 2535.

การที่แป้งจากพืชแต่ละชนิดมีอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเปกติน จะมีผลต่อการเกิดเจลของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเปกตินสูงจะมีความหนืดสูงเมื่อได้รับความร้อนจนเกิดเป็นเจล

2.4.6.3 การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง (Gelatinization)

1) การบวมตัวและการเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติเม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55 – 80 องศาเซลเซียส การบวมตัวจะดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งน้ำแป้งจะเริ่มข้นขึ้นเรียกว่า เกิดการบวมตัว (Pasting) หรือเกิดเจล (Gelatinization) แป้งจากพืชแต่ละชนิดจะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน (ตารางที่2.9) โดยแป้งที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะพองตัวและใสในอุณหภูมิต่ำกว่าแป้งที่มีอนุภาคขนาดเล็ก พิจารณาจากการศึกษาอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดแป้ง		รูปร่างลักษณะ
	ขนาด (ไมครอน)	ขนาดเฉลี่ย (ไมครอน)	
ข้าวโพด	4 - 26	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวฟ่าง	6 - 30	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวสาลี	2 - 38	20 - 22	ขนาดเล็กรูปร่างทรงกลม
มันฝรั่ง	15 - 100	30	รูปไข่สารภายในแป้งซ้อนกันเป็นชั้นๆ
มันเทศ	15 - 55	25 - 50	หลายเหลี่ยมส่วนใหญ่เม็ดเล็ก
มันสำปะหลัง	5 - 25	20	ทรงกลมหรือรูปไข่มีด้านหนึ่งเว้า
ข้าวเหนียว	2- 7	-	รูปร่างหลายเหลี่ยม

ที่มา: ปราณี, 2534.

ตารางที่ 2.10 อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิของการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)		
	Initiation	Midpoint	Termination
ข้าวโพด	62	66	70
บาร์เลย์	51.5	57	59.5
ข้าวเจ้า	68	74.5	78
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
มันสำปะหลัง	52	59.5	64
มันฝรั่ง	58	62	66

ที่มา: ประชา และ อรวินท์, 2519.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอุณหภูมิของการเกิดเจลของแป้ง พบว่า แป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิของการเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิหนึ่งซึ่งเมื่ออุณหภูมิค่อยๆสูงขึ้นความหนืดจากการเกิดเจลจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกันแต่เมื่ออุณหภูมิเกินกว่าค่าหนึ่งแล้ว ความหนืดของการเกิดเจลของแป้งจะลดลงและสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง แต่ความหนืดจากการเกิดเจลจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเกิดเจลในครั้งแรก ดังนั้นในการนำแป้งมาใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิจึงถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลของแป้ง

2) ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อนและสารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น, อุณหภูมิ, เวลา, อัตราเร็วของการปั่น, pH และชนิดของสารตัวเติมหรือสิ่งเจือปนอื่นๆ จุดประสงค์ของการให้ความร้อนเพื่อทำให้เม็ดแป้งแตกออกทำให้น้ำเข้าไปแทรกตัวได้ เมื่อความเข้มข้นของแป้งมีค่าสูงพอที่จะยับยั้งการเติมน้ำอย่างสมบูรณ์ของเม็ดแป้งแล้ว สมบัติการไหลของแป้งที่เป็นเจลจะแตกต่างไปจากสมบัติของแป้งที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ที่ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤต เม็ดแป้งจะเกิดการแตกออกได้ง่ายด้วยแรงเฉือน ยิ่งความเข้มข้นสูงความหนืดก็ยิ่งมากและจะเกิดเป็นเจลได้มาก ส่วนการปั่นที่มีประสิทธิภาพ จะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพ และทั่วถึงกระบวนการให้ความร้อนก็เกิดเร็วขึ้นทำให้เม็ดแป้งแตกออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความหนืดลดต่ำลงเร็วขึ้น แป้งส่วนใหญ่เกิดเป็นเจลได้เร็วที่ค่า pH สูงๆ และที่ค่า pH ต่ำๆ ในช่วง pH 4-7 การเกิดขึ้นเป็นเจลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และอัตราการแตกสลายของโมเลกุลก็จะลดลง

2.4.7 ถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

ถ่านแท่งที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันและมีขายอยู่ในท้องตลาด (นิรนาม, 2547) ได้แก่

2.4.7.1 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว เป็นถ่านซึ่งผลิตด้วยวิธีอัดแย็น โดยใช้กะลามะพร้าว (เฉพาะกะลา เพราะใยมะพร้าวนำไปทำเป็นที่นอน)

รูปที่ 2.9 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.2 ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดเย็น โดยใช้ไม้ยางพาราที่ผ่านการเผา และบดละเอียดแล้วอัดออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.10 ถ่านอัดแท่งจากกะลา

2.4.7.3 ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย เป็นถ่านที่ผ่านการอัดด้วยวิธีอัดร้อน โดยใช้ขี้เลื่อย ซึ่งนำมาจากโรงเลื่อยไม้แล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.11 ถ่านอัดแท่งจากขี้เลื่อย

2.4.7.4 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ เป็นถ่านที่ผ่านการอัดแบบร้อน โดยใช้แกลบแล้วก็เผาออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.12 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทองม้วน นาเสงี่ยม (2524) ได้ทำการศึกษาและวิจัยการทำถ่านจากใบฉำฉา โดยนำใบฉำฉาแห้งไปเผาให้เป็นถ่าน แล้วจึงนำถ่านใบฉำฉาไปคลุกกับน้ำแป้งมันสำปะหลังประมาณ 6 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกให้ทั่ว นำไปอัดในกระบอกโลหะด้วยความดัน 115.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติกับถ่านไม้พบว่า ถ่านใบฉำฉามีคุณภาพต่ำอยู่ความร้อนโดยประมาณได้เป็นครึ่งหนึ่งของถ่านไม้ ส่วนการติดไฟ พบว่า ถ่านใบฉำฉาจะใช้ได้นานกว่าถ่านไม้

เริงศักดิ์ ฤทธิ์ประเสริฐ (2528) ได้ทำการศึกษาการอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ ด้วยเครื่องจักรที่ทางโครงการวิจัยพืชเพื่อพลังงานทดแทนและอุตสาหกรรมประดิษฐ์ขึ้นเอง พบว่า ผักยาง โสน สนปฏิพัทธ์ (ใบ) และยูคาลิปตัส (ใบ) ให้ค่าความร้อน 3,546.35, 4,150.16, 4,562.69 และ 4,563.50 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งฟืนและถ่านไม้นนทรีให้ค่าความร้อน 4,314.74 และ 7,003.22 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ แต่เมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเตาหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงเขียว (เตาโลหะ) โดยใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเพเลทมีค่าสูงกว่าฟืนและถ่านไม้นนทรี

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว (2530) ได้ทำการศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตร 3 ชนิดคือ กากอ้อย แกลบ และซังข้าวโพดโดยผสมกับกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่านไม้มะขามเทศ ปรากฏว่าเชื้อเพลิงเขียวมีองค์ประกอบและคุณสมบัติคล้ายกับฟืน คือให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 4,000 แคลอรีต่อกรัม แต่ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้มะขามเทศ ซึ่งให้ค่าความร้อน 7,390 แคลอรีต่อกรัม

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศดร (2532) ได้ทดลองหาตัวประสานสำหรับแกลบ เช่น โมลาส แอสฟัลท์ แป้งเปียก ขี้ผึ้ง และปูนขาว (CaO) พบว่าโมลาสเป็นตัวประสานที่ไม่ดี เนื่องจากโมลาสดูดความชื้นได้ง่าย ทำให้การผลิตยุ่งยาก ส่วนแอสฟัลท์มีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดกลิ่นเมื่อนำก้อนเชื้อเพลิงมาใช้งาน ดังนั้น การอัดแกลบกับขี้ผึ้ง และแป้งเปียกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ แกลบร้อยละ 65 แป้งเปียกร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 277 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้ขี้ผึ้งสามารถใช้แกลบได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 365 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขี้ผึ้งมีข้อดี คือ เพิ่มค่าความร้อนให้กับแท่งเชื้อเพลิง แต่มีข้อเสีย คือ มีควันมากเมื่อติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2538) ได้ผลิตเชื้อเพลิงเขียว โดยวัสดุต่างๆ เช่น หญ้าขจรจบ หญ้ายาง หญ้าคา ผักตบชวา ไมยราบ (ธรรมดา) โคกกระสุน และใบยูคาลิปตัส เป็นต้น นำเอาส่วนของพืชสดเหล่านี้ทั้งใบ ต้น กิ่ง มาสับให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แล้วนำไปใส่ลงในกระบอก (ท่อพีวีซี) แล้วตำหรือกระทุ้งด้วยแท่งเหล็กจนเกิดยางเหนียว และนำมาผึ่งแดดให้แห้งจะได้แท่งเชื้อเพลิงเขียวจากเศษพืชสด

วนิตา จาดดำ (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว พบว่า วิธีการที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียว คือ วิธีการอัดแบบเย็น ขนาดของกากชาที่สามารถนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งควรเป็นกากชาที่บดละเอียดส่วนใหญ่มีขนาด 12-15 เมช และในขั้นตอนการอัดหากไม่ใช้ตัวประสานจะอัดยากกว่าการใช้ตัวประสาน ซึ่งตัวประสานที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง โดยสัดส่วนที่เหมาะสมคือ 5% และเมื่อนำถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวผสมแป้งมันสำปะหลัง 5% มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่ง พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 66.67% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง จากนั้นนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เศษไม้ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้มาผสมในการอัดแท่ง พบว่าค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลง นอกจากนั้นยังนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพกับถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด พบว่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีค่าน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการทนแรงอัดมีค่าน้อยกว่า ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด ส่วนความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาด

Wayne Coates (1999) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Pecan มีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ แต่เชื้อเพลิงจากเยื่อกระดาษมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า

Ndiema,C.K.W. et.al. (2001) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม โดยพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิง (ความยาวและความพรุน) ซึ่งปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง คือความดันในการอัดแท่ง ซึ่งมีผลต่อความพรุน (ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิง) คือเมื่อความดันในการอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ช่องว่างภายในแท่งเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนความยาวนั้น พบว่า ความดันไม่มีผลต่อขนาดความยาวของแท่งเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaman, S. et. al. (2002) ได้ทดลองอัดแท่ง olive refuse และของเสียจากโรงงานกระดาษ โดยบดย่อยวัตถุดิบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ก่อนอัดแท่งด้วยระบบไฮโดรลิค ที่ความดันในช่วง 150-250 เมกะพาสคาล ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร แล้วได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก olive refuse มีค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน % คาร์บอน %ไฮโดรเจน และ %ไนโตรเจน เท่ากับ 7.5%, 5.0%, 67.5%, 5,113 แคลอรีต่อกรัม, 39.0%, 4.8% และ 1.5 % ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียจากโรงงานกระดาษ เท่ากับ 9.0 %, 15.5 %, 65.55% , 3,224 แคลอรีต่อกรัม , 35.2 %, 4.9 % และ 0.2 % ตามลำดับ

Husain, Z. et. al. (2002) ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์ม โดยอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 5 - 13.5 เมกะพาสคาล ด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ได้เชื้อเพิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40, 50 และ 60 มิลลิเมตร และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ 1,200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มีค่าความร้อน 3,917 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้า 6% และเปอร์เซนต์การดูดความชื้น 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. กากชาเขียว (บริษัท ยูนิ- เพรสซิเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.นครปฐม)
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. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) (บริษัท Carlo Erba Reagent, เกรดวิเคราะห์)
6. แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค (บริษัท อี.ที.ซี.เอี๊ยบตงจั่น จำกัด กรุงเทพฯ)
7. แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม (บริษัท อี.ที.ซี.เอี๊ยบตงจั่น จำกัด กรุงเทพฯ)
8. เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 95 % (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)
10. กรดสเตียริก (Steric acid) (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา)

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่ง (บริษัท อุตสาพัฒนเศรษฐกิจ จำกัด, ประเทศไทย)
2. เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น AC-350
3. เตาเผา (Isotemp Oven) รุ่น FP 01/125 (บริษัท Fisher Scientific, ประเทศเยอรมัน)
4. ตู้อบ (Drying oven) รุ่น CBA- 350-K (บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมัน)
5. โถดูดความชื้น (Desiccators)
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่นTP-254 (บริษัท Denver Instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (หน่วยเป็นกิโลกรัม) รุ่น TP-6101 (บริษัท Denver Instrument, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
8. เครื่อง Universal Testing Machine (บริษัท Instron, ประเทศ อังกฤษ)
9. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
10. ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง
11. เตาอั้งโล่ ตรา เตาทอง รุ่นซูเปอร์อั้งโล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. นาฬิกาจับเวลา (stop clock)
13. ชุดตุ้มน้ำหนัก
14. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
15. ตะแกรงร่อนขนาด12.5 มิลลิเมตร
16. ตะแกรงร่อนขนาด 25 มิลลิเมตร
17. อุปกรณ์และเครื่องแก้วต่างๆ สำหรับห้องปฏิบัติการ

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำตัวอย่างกากชาที่ผ่านกระบวนการชงเพื่อผลิตเครื่องดื่มประเภทชา ซึ่งนำมากองไว้ก่อนนำไปกำจัด มาแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ใช้ผ้าขาวบางกรองน้ำออกจากตัวอย่างกากใบชาแล้วคั้นให้หมาด ก่อนที่จะนำไปทำการอัดแท่งต่อไป

3.3 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ในการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา ชนิดของตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและเกรดที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากตามท้องตลาดแป้งมันสำปะหลังมีราคาต่ำกว่าแป้งชนิดอื่นๆ และมีปริมาณอะไมโลเปกตินสูง ทำให้มีความหนืดมากในการเกิดเจล เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นตัวประสาน โดยวิธีการศึกษาเป็นไป ดังนี้

1. กากชาที่เตรียมจากข้อ 3.2 มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคในสัดส่วนกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลัง 100:0 (กากใบเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2 , 97:3 , 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำลงไปอีกร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
2. นำวัตถุดิบที่ทำการผสมแล้วไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบสกรูชนิดเกลียวตัวหนอนโดยวิธีแบบไม่ใช้ความร้อน วัตถุดิบถูกอัดด้วยแรงอัดประมาณ 5 แรงม้า จนได้กากใบชาอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร
3. กากใบชาอัดแท่งที่ได้ไปตากแดดประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น
4. กากใบชาอัดแท่งไปเผาให้เป็นถ่านในเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 – 800 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง ทำการปิดช่องอากาศให้สนิททิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาประมาณ 18 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านอัดแท่งออกจากเตาเผาและเก็บไว้ในถุงพลาสติก นำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 3.1

5. ทำซ้ำตามวิธีการข้างต้น แต่เปลี่ยนชนิดของตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 3.1 วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

พารามิเตอร์	เครื่องมือ / วิธีการวิเคราะห์
<u>คุณสมบัติทางเคมี</u>	
- ปริมาณความชื้น (Moisture content)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash content)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหย (Volatile matters)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	วิธีมาตรฐาน ASTM D3176
- ค่าความร้อน (Calorific value)	วิธีมาตรฐาน ASTM D5865
<u>คุณสมบัติทางกายภาพ</u>	
- ความคงตัวของเถ้า	วิเคราะห์โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก และแผ่นสังกะสี
- ระยะเวลาในการจุดติดไฟ	วิเคราะห์โดยใช้เตาอั้งโล่ และนาฬิกาจับเวลา
- ระยะเวลาในการเผาไหม้	วิเคราะห์โดยใช้เตาอั้งโล่ และนาฬิกาจับเวลา
- ความหนาแน่น (Density)	วิเคราะห์โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ วัดรัศมีวงในและวงนอกคำนวณหาปริมาตรและชั่งน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งเพื่อหาความหนาแน่น
- การทนแรงอัด (Compressive strength)	วิธีมาตรฐาน ASTM D1621
- ดัชนีการแตกร่วน	วิธีมาตรฐาน ASTM D3038

3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

1. นำสารละลายเตรียมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 ลิตร ผสมกับกรดสเตรียริกประมาณ 30 กรัม นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 5 กรัม ลงในสารละลายผสม
2. นำถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีสัดส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 โดยน้ำหนัก มาชุบด้วยสารละลายผสมในข้อ 1 ให้เร็วที่สุดก่อนที่สารละลายผสมจะเริ่มแข็งตัว หลังจากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถ่านอัดแท่งที่ผ่านการชุบไปทดสอบคุณสมบัติการจุดติดไฟและระยะเวลาในการติดไฟ จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยเอทิลแอลกอฮอล์

3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้ในการศึกษาครั้งนี้ กับถ่านไม้ และถ่านอัดแท่งที่มีขายในท้องตลาด

1. นำถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีชนิดของตัวประสานและสัดส่วนของตัวประสานที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 มาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ
2. นำข้อมูลทุติยภูมิจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้เกี่ยวกับคุณสมบัติของถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายตามท้องตลาดมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ชนิดและปริมาณของตัวประสาน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ชนิดของตัวประสาน (binder) 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้แป้งทั้งสองชนิดเป็นตัวประสาน จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น, การทนแรงอัดและค่าดัชนีของการแตกร่วน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาโดยใช้อัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 95:5 โดยน้ำหนัก มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำถ่านไปทดสอบสมบัติในการจุดติดไฟ ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังนี้

4.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณตัวประสานที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม และทำการแปรอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 ชนิด เป็นดังนี้ 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบสกรูไม่ใช้ความร้อน จากนั้นนำไปเผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านจากกากใบชาที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังนี้คือ

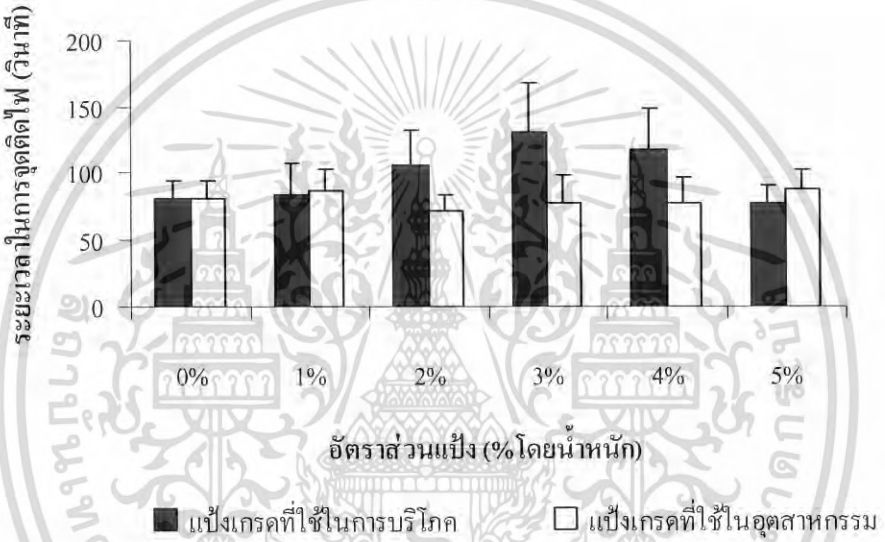
4.1.1 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

จากการศึกษาความคงตัวของเถ้าโดยนำถ่านมาเผาจนกลายเป็นเถ้า พบว่าชนิดและปริมาณของตัวประสานทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ เนื่องจากหลังการเผาไหม้เถ้าที่เหลือจะแตกร่วนและไม่มีความคงตัว ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีความสะดวกในการถ่ายเถ้าออกจากเตา ถ่านที่ผลิตได้จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ระยะเวลาในการจุดติดไฟของถ่าน

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟของถ่าน โดยนำถ่านที่เตรียมได้มาทำการจุดไฟ ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มจุดจนกระทั่งถ่านติดไฟ พบว่าเมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองชนิด ระยะเวลาในการจุดติดไฟจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ด้วยวิธีการ T - test ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีระยะเวลาในการจุดติดไฟจะอยู่ในช่วง 43.86 วินาที ถึง 1นาที 20 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1

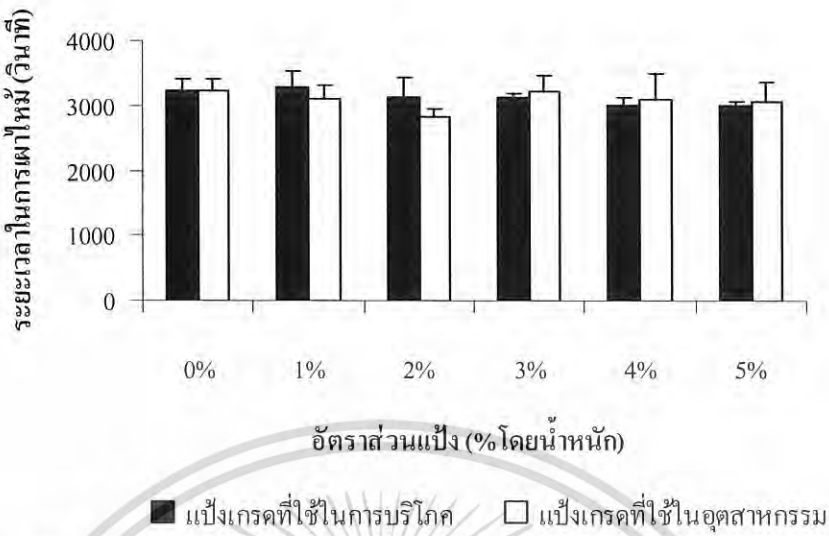


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟ

4.1.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่าน โดยนำถ่านที่เตรียมได้มาทำการจุดไฟ แล้วทำการจับเวลาที่เริ่มติดไฟจนกระทั่งถ่านมอดกลายเป็นเถ้า พบว่าชนิดของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานไม่ทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้แตกต่างกัน โดยถ่านทั้งสองชนิดมีระยะเวลาในการเผาไหม้ตั้งแต่ 47 นาที 34 วินาที ถึง 55 นาที 7 วินาทีส่วนผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อระยะเวลาในการติดไฟก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2

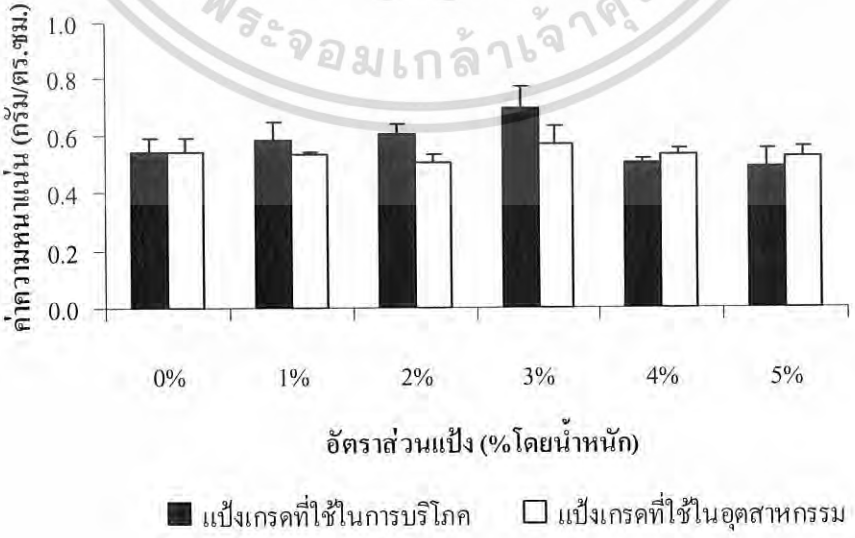
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อระยะเวลาในการเผาไหม้

4.1.4 ค่าความหนาแน่นของถ่าน

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อความหนาแน่นของถ่าน ซึ่งทำได้โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของแท่งถ่านเพื่อคำนวณหาปริมาตรของเนื้อถ่าน แล้วนำถ่านนั้นไปชั่งน้ำหนัก นำค่าปริมาตรและน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่น พบว่าชนิดของแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นของถ่านที่ได้แตกต่างกัน (รูปที่ 4.3) โดยถ่านที่ผลิตได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.4942 - 0.6963 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้พบว่าค่าความหนาแน่นของถ่านมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตถ่านเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3

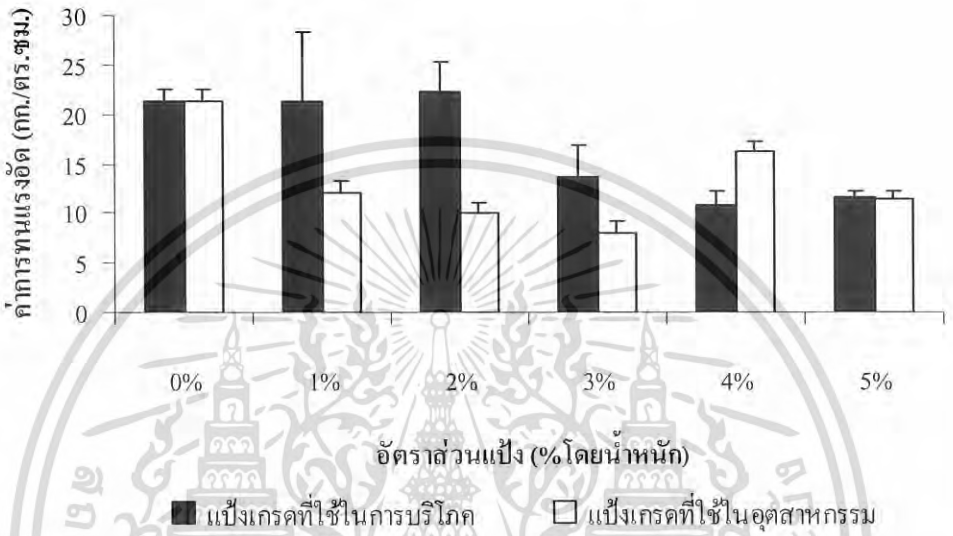


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การทนแรงอัดของถ่าน

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของตัวประสานต่อความสามารถในการทนแรงอัดของถ่าน โดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้จากการใช้ตัวประสานที่มีชนิดและปริมาณต่างกัน มาทำการอัดด้วยเครื่อง UTM เพื่อวิเคราะห์ค่าการทนแรงอัด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อการทนแรงอัดของถ่าน

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของตัวประสานต่อความสามารถในการทนแรงอัดของถ่าน (รูปที่ 4.4) พบว่า ถ่านที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมีความสามารถในการรับแรงอัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้แป้งทั้งสองเกรดในสัดส่วน 2% และ 4% โดยน้ำหนัก

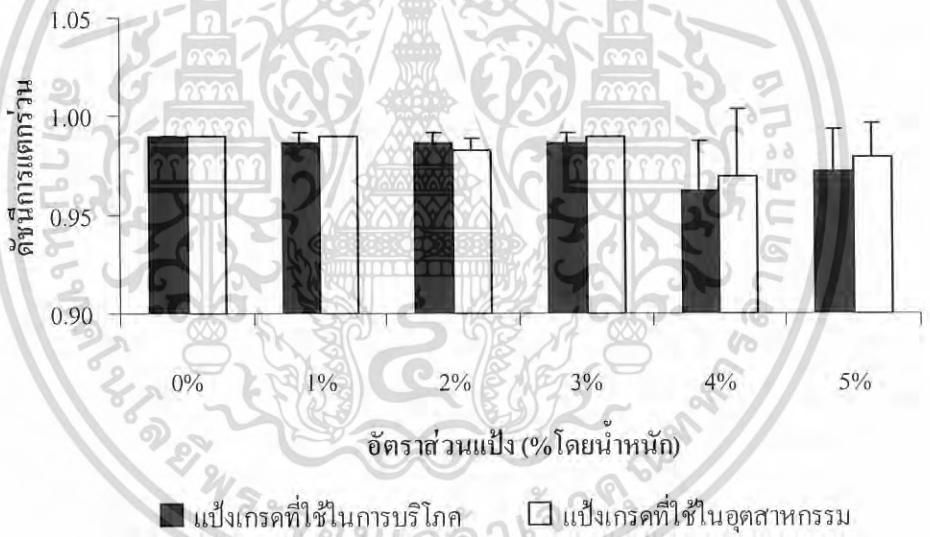
นอกจากนี้พบว่า ความสามารถในการทนแรงอัดของถ่านมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคมาใช้ในการผลิต โดยค่าการทนแรงอัดมีค่าลดลงจาก 21.37 ± 1.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็น 11.62 ± 0.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจาก 0 % เป็น5% โดยน้ำหนัก ในกรณีของแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบว่า ค่าการทนแรงอัดมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกับเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคเป็นตัวประสาน โดยค่าการทนแรงอัดมีค่าลดลงอย่างเด่นชัดจาก 21.37 ± 1.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็น 8.06 ± 1.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจาก 0% เป็น 3% โดยน้ำหนัก สาเหตุที่ค่าการทนแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสานเนื่องมาจาก อุณหภูมิของกระบอกอัดอยู่ในช่วง 100-200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งมันสำปะหลังที่อยู่ในช่วง 52-64 องศาเซลเซียส ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลของแป้งลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงกันข้าม ณ ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวของกระบอกอัด เป็นช่วงอุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้สารลิกโน-เซลลูโลสที่อยู่ในกากใบชาหลอมออกมาเป็นตัวประสาน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณตัวประสานจะเป็นการลดปริมาณของสารลิกโน-เซลลูโลส ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ผลิตได้มีค่าการทนแรงอัดลดลง

4.1.6 ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน

จากการศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านที่มีตัวประสานต่างชนิดและปริมาณแตกต่างกัน โดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้มาทำการทดสอบโดยปล่อยจากที่สูง 1.80 เมตร เพื่อวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของถ่าน หากค่าดัชนีการแตกร่วนเป็น 0.00 ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้จะเปราะ แตกง่าย แต่ถ้าค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 แสดงว่าถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน (Erikson and Prior, 1990) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อดัชนีการแตกร่วนของถ่าน

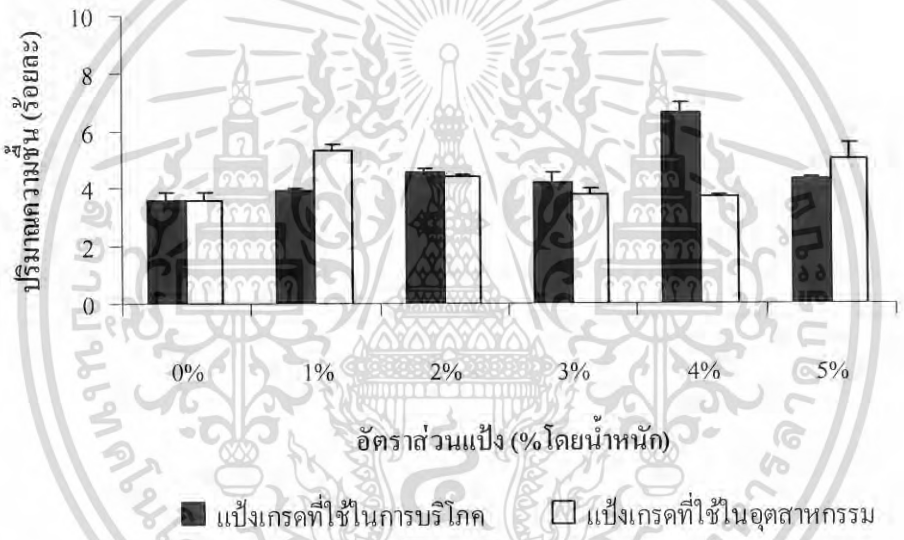
จากรูปที่ 4.5 พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตต่างกัน ไม่ทำให้ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้วิธีการ T-test ในการทดสอบ ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านที่ผลิตได้จะมีค่าใกล้เคียง 1.00

4.1.7 ปริมาณความชื้นของถ่าน

จากการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านโดยนำถ่านไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาทำการชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นของถ่าน พบว่าชนิดของแป้งทั้งสองเกรดที่ใช้เป็นตัวประสานในการผลิตถ่าน ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผลิตได้ ยกเว้นอัตราส่วนของแป้ง 1% และ 4%โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test โดยเมื่อใช้แป้งในอัตราส่วน 1%โดยน้ำหนัก แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีผลทำให้ถ่านที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นสูงกว่า ส่วนในกรณีที่ใช้แป้งในอัตราส่วน 4%โดยน้ำหนัก ผลที่ได้จะเป็นไปในทางตรงกันข้าม นอกจากนั้นเมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมในช่วง 0-5%โดยน้ำหนัก ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นที่ 1%โดยน้ำหนักและมีแนวโน้มลดลงจนไม่มีความแตกต่างกันที่อัตราส่วน 3-5%โดยน้ำหนัก ส่วนแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดที่อัตราส่วน 4%โดยน้ำหนักเป็นร้อยละ6.65 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

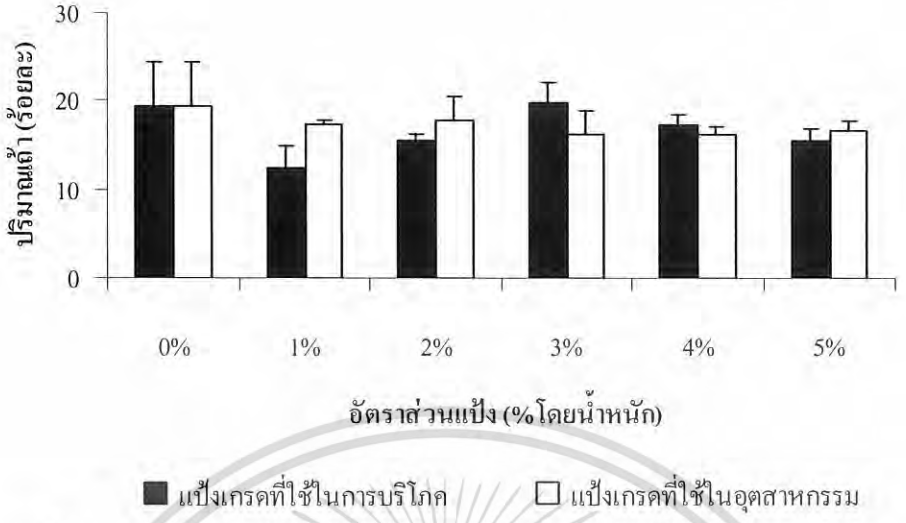


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณความชื้น

4.1.8 ปริมาณเถ้าของถ่าน

จากการศึกษาปริมาณเถ้าของถ่าน โดยนำถ่านไปเผาในถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำเถ้าที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณเถ้า พบว่า ชนิดของแป้งทั้งสองเกรดที่ใช้ในการผลิตถ่านไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า ยกเว้นอัตราส่วนของแป้งที่ 3% โดยน้ำหนักที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test และที่อัตราส่วนดังกล่าว แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคจะมีผลทำให้ถ่านที่ผลิตได้มีปริมาณเถ้าสูงกว่าเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนั้นพบว่าปริมาณเถ้าของถ่านจะไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตถ่านเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7

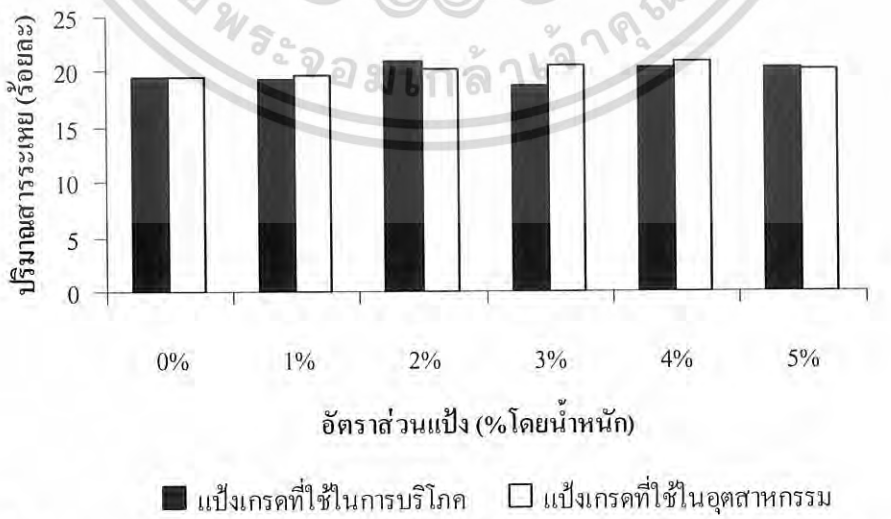
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณเถ้า

4.1.9 ปริมาณสารระเหยของถ่าน

จากการศึกษาปริมาณสารระเหย โดยนำถ่านไปเผาในถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 นาที แล้วนำเถ้าที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณสารระเหย พบว่า ถ่านที่ใช้แป้งทั้งสองเกรดเป็นตัวประสานมีปริมาณสารระเหยที่ใกล้เคียงกัน เมื่ออัตราส่วนของแป้งอยู่ในช่วง 0-5% โดยน้ำหนัก ปริมาณสารระเหยของถ่านที่ได้จะมีค่าระหว่างร้อยละ 18.80-21.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.8

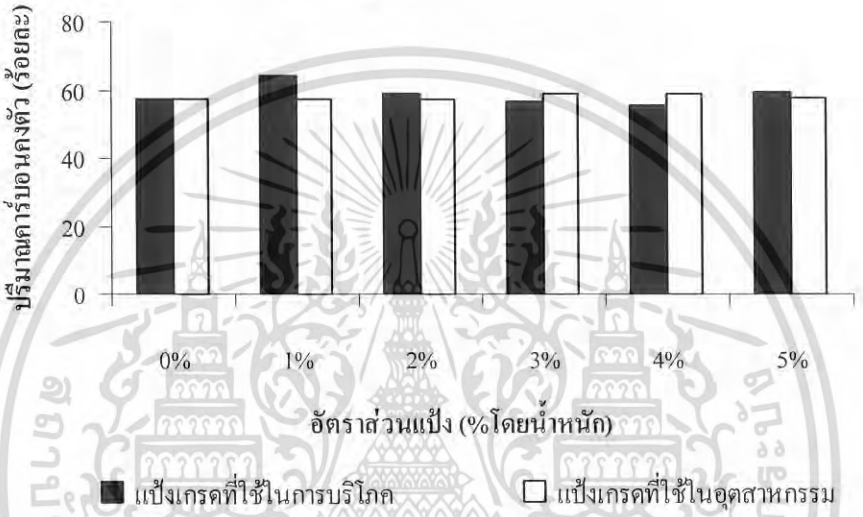


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณสารระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน

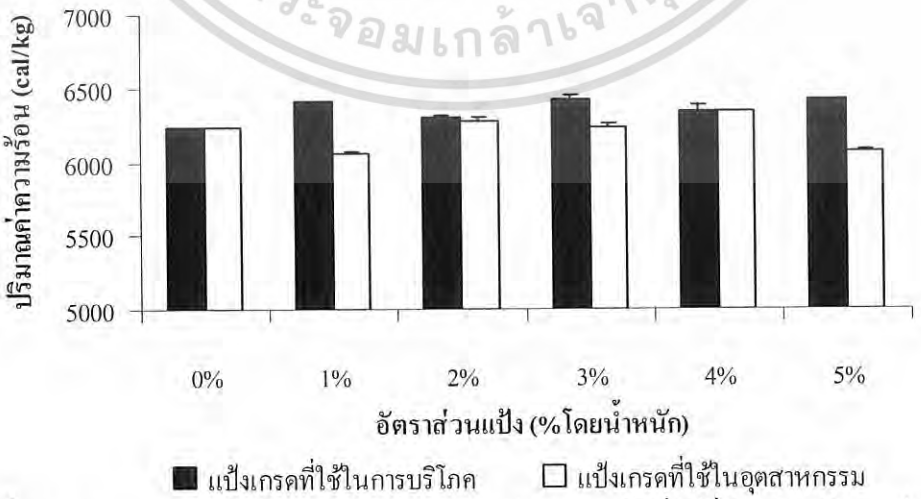
จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวโดยนำค่าปริมาณความชื้น, ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหยของถ่านที่ผลิตได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่า ชนิดของแป้งทั้งสองเกรดที่ใช้ในการผลิตถ่านจะมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวใกล้เคียงกัน เมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งทั้งสองเกรดในช่วง 0-5%โดยน้ำหนัก ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านที่ได้จะอยู่ระหว่างร้อยละ 55.56 - 64.14 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว

4.1.11 ค่าความร้อนของถ่าน

จากการศึกษาค่าความร้อนของถ่านโดยนำถ่านที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ที่มีผลต่อปริมาณค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าถ่านที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังทั้งสองเกรดที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมีแนวโน้มของปริมาณค่าความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอัตราส่วนของแป้งที่ 1% และ 5%โดยน้ำหนัก ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดสอบแบบ T-test และที่อัตราส่วนดังกล่าว ถ่านที่มีแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคเป็นตัวประสานจะให้ปริมาณค่าความร้อนสูงกว่า และเมื่อทำการแปรอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคในช่วง 0- 5% โดยน้ำหนัก แนวโน้มของค่าปริมาณความร้อนจะเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 1%โดยน้ำหนักหลังจากนั้นปริมาณของเถ้าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทำการแปรอัตราส่วนของแป้งในช่วงเดียวกันแนวโน้มของค่าปริมาณความร้อนจะไม่แตกต่างกันที่อัตราส่วน0 -4 % โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นค่าปริมาณความร้อนจะลดลง

4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

จากการศึกษาโดยนำถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น 95:5 โดยน้ำหนัก มาทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปทดสอบการจุดติดไฟทันทีหลังจากเอทิลแอลกอฮอล์ที่เคลือบแข็งตัว พบว่า ถ่านอัดแท่งสามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อเริ่มทำการทดสอบ

4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยนำช่วงค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีสัดส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ95:5 โดยน้ำหนัก มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และชมรมสวนป่าและผลิตภัณฑ์จากไม้ แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้

คุณสมบัติ	ถ่านอัดแท่งจากกากใบชา	คุณสมบัติที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง
ค่าความร้อน(แคลอรีต่อกรัม)	6,066– 6,431	>5,000
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	12.49 – 19.84	<8
ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)	18.80 – 21.00	<25
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	55.56 – 64.14	>75
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3.61 – 6.65	<10
ความพรุน	N/A	สูง

- หมายเหตุ N/A หมายถึง Not Applicable

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ช่วงค่าคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณสารระเหย และปริมาณความชื้น ส่วนค่าคุณสมบัติที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน คือ ปริมาณเถ้าเนื่องจากมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ค่อนข้างมาก รวมถึงปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มีช่วงค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาชนิดและปริมาณตัวประสานที่มีผลต่อสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภคและแป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม และทำการแปรอัตราส่วนของกากใบชาต่อแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 ชนิด เป็นดังนี้ 100:0 (กากใบชาเพียงอย่างเดียว), 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 และ 95:5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำถ่านจากกากใบชาที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาไม่ทำให้เกิดความแตกต่างต่อคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหย, ปริมาณคาร์บอนคงตัว, ปริมาณความชื้น และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาในการจุดติดไฟ,ระยะเวลาในการเผาไหม้, ความคงตัวของเถ้า, ความหนาแน่น และค่าดัชนีของการแตกร่วน อย่างไรก็ตามพบว่าชนิดและปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้จะมีผลต่อค่าการทนแรงอัดของถ่านโดยมีแนวโน้มของความสามารถในการทนแรงอัดลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคในอัตราส่วน 2%โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการทนแรงอัดสูงที่สุดเป็น 22.34 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการศึกษาทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่าชนิดของตัวประสานและอัตราส่วนของตัวประสานที่เปลี่ยนไปรวมถึงการไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาไม่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของถ่านที่ได้ โดยการไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปจะให้ค่าการทนแรงอัดที่ไม่แตกต่างจากการใช้แป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภคในอัตราส่วน 2%โดยน้ำหนัก เป็นตัวประสาน ดังนั้นในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาจึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสานเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟโดยนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปทำการเคลือบผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าความสามารถในการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาดีขึ้น โดยสามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อเริ่มจุดไฟ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชากับถ่านไม้และถ่านอัดแท่งที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และชมรมสวนป่าและผลิตภัณฑ์จากไม้ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ผลิตได้มีค่าความร้อน 6,066 – 6,431 แคลอรีต่อกรัม ส่วนปริมาณสารระเหยและปริมาณความชื้นมีค่าร้อยละ18.80 – 21.00 และร้อยละ 3.61 – 6.65 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ในส่วนของปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยปริมาณเถ้ามีค่าร้อยละ 12.49 – 19.84 โดยน้ำหนัก เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างเห็นได้ชัด ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าร้อยละ 55.56 – 64.14 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงการนำแป้งชนิดอื่นๆ มาใช้แทนแป้งมันสำปะหลังในการขึ้นรูป แม้ว่าจากการศึกษาพบว่า การไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากกากใบชาจะสามารถทำได้และไม่มีผลต่อสมบัติของถ่านที่ได้ก็ตาม เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีปริมาณของอะไมโลส และอะไมโลเปกตินที่แตกต่างกัน อาจทำให้ความหนืดในการเป็นตัวประสานแตกต่างกัน

2. ควรศึกษาการนำวัสดุอื่นๆ มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากใบชาให้เป็นไปตามมาตรฐาน เช่นการเติมชีวมวลบางชนิดที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง เพื่อทำให้ค่าความร้อนของถ่านมีปริมาณสูงขึ้น เป็นต้น

3. ควรศึกษาถึงคุณสมบัติของเอทิลแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์มีจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสจึงควรระมัดระวังในการเก็บรักษา รวมถึงคุณสมบัติของเอทิลแอลกอฮอล์อาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อผ่านการเคลือบเป็นระยะเวลานาน

4. ควรศึกษาการนำกากชาไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม โดยนำคุณสมบัติเด่นอื่นๆ ของกากใบชาไปใช้ เช่น ศึกษาการนำกากชาไปใช้ในด้านการบำบัดด้วยกลิ่นหอม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546. **การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน** [online]. Available: http://www.dede.go.th

กรมส่งเสริมธุรกิจไทยในต่างประเทศ. 2546. **สถานการณ์พลังงานทดแทนภายในประเทศ 2546.** [online]. Available: http://www.mfa.go.th

กนกรัตน์ พู่เจริญ และยุพา เมืองทอง. 2544. **การศึกษาคุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดขนุน.** ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กัญจนา บุณยเกียรติ และเพียรพรรค ทัศดร. 2532. การอัดเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้. ใน **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 2 เรื่อง พลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กาญจนากร เกศางาม และวิมลมาศ เมืองแก่น. 2541. **การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลัง(I).** ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จารุวรรณ แสงสุวรรณวาว. 2530. **การศึกษาการทำเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเกษตรผสมกากส่าเหล้าและกากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้. 2546. **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.** กรุงเทพฯ.

ถนอมลาภ เต็มพงศ์พอจิต และพรศักดิ์ เลอศักดิ์ธนากร. 2541. **การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อเนื่องของแป้งมันสำปะหลัง(II).** ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทองม้วน นาเสงี่ยม. 2524. **พลังงานทดแทนจากใบฉำฉา.** รายงานการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูมหาสารคาม. เอกสารอัดสำเนา.

นารา พิทักษ์อรรณพ. 2529. อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้. ใน **เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ,** หน้า 10. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นิรนาม. 2546. **สาระ...ชา.** [online]. Available: http://www.lib.ru.ac.th.

นิรนาม. 2547. **ถ่าน.** [online]. Available: http://www.Charcoal.SNMcenter.com

นิรนาม. 2548. **ถ่านหิน.** [online]. Available: http://www.egat.co.th/fuel/lignite/coal.html.

ประลอง ดำรงไทย. 2547. **แท่งเชื้อเพลิงเขียวทดแทนฟืนและถ่าน.** [online]. Available: http://www.Charcoal.SNMcenter.com

มงคล ไข่มุก. 2535. **การนำพีทมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแข็ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. 2530. **ชีวเคมี.** กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วนิตา จาดดำ. 2548. การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2529. **เชื้อเพลิงเขียว(โครงการเชื้อเพลิงแข็ง).** กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2548. **การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ.** [online]. Available: http://www.Charcoal.SNMcenter.com

สุทธิพงษ์ พงษ์วร. 2548. **ทำไมเราต้องกินผัก.** [online]. Available: http://www.ipst.ac.th/biology/Bio/Article/mag-content30.html.

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

สมเจตน์ คุ้งโพธิ์. 2546. **เผาไม้ให้กลายเป็นเงิน,** หน้า 25-46. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สามเจริญพานิช จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สำนักสารนิเทศ. 2541. **เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย.** [online]. Available: http://www.forest.go.th/stat41/Forest_area.html-2k

สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **พลังงานเพื่อความเข้าใจใช้อย่างรู้คุณค่าพัฒนาสู่ความยั่งยืน.** [online]. Available: http://www.eppo.go.th/doce/index_right.htm.

โสภิตา บุญอเนกทรัพย์, สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และจิรพันธ์ เนื่องจากนิล. 2542. **การสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลัง.** โครงงานวิจัย สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ.

อาทิตย์ มลิทอง. 2536. **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนท์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ASTM. 1992. **Annual Book of ASTM Standard Section 5.** America: American Society for Testing and Material.

Aqa, S. 1990. **A study of Densification of Preheated Sawdust.** Master Thesis AIT Thailand.

Best, G.,Rome, F. and Christensen, J. 2000. **Role of biomass in global energy supply.** [online]. Available: http://www.risoe.dk/rispub/energy_report/ris-r-1430s8_12.df

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

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

Crepean, P. et al. 1983. French Patent No.2544327. Quoted in the **literature Survey Report on Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing** for ITDG by BEST in March 1987.

Erikson, S. and Prior, M. 1990. **Technical Aspects of briquette**. [n.p.].

Fitzgerald, O.A. 1980. **Wood Waste Magic.** Timer information. American Ingenuity and Enterprise Solve One of the Problem of Waste of Natural Resources: No.24.

Husain, Z., Zainac, Z. and Abdullah, Z. 2002. Briquetting of palm fiber and shell from the processing of palm nut to palm oil. **Biomass & Bioenergy.** 22: 505-509.

ITDG., 1984. **Small Scale Briquetting**. Project 470. Intermediate Technology Development Grop. Rugby. United Kingdom: 3-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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

Kazuyoshi, 2002. **Utilization of Use Tea.** [online]. Available: http://www.ocha.net/english/teacha/detail/-e.asp.

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

Ndiema, C.K.W.,Manga, P.N. and Ruttoh, C.R. 2001. Influence of die pressure on relaxation characteristics of briquetted biomass. **Energgy Conversion and Management.** 43: pp. 2157-2161

Ooi, C. C. and Siddiqui, K.M. 2000. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. **Biomass & Bioenergy.** 18(3): 233-228.

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

Reed, et al. 1980. Biomass Densification Energy Requirements. AXS Symposium Series 130. **Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass.** America Chemical Society, pp. 169-177.

Rougerie, J.L. 1980. France Patent No. 24716120. Quoted in **the literature Survey Report on Partial Pyrolysis Briquetting and Briquette Testing** for ITDG by BEST in March 1987.

Stienswat, W. and Buachanda, V. 1986. Green Fuel-Potential Feedstock for Gasifier. **Proceedings of Regional Training Workshop on Energy from Biomass**. King Mongkut'Institute of Technology, Bangkok Thailand: pp. 132-147. 3-7 March 1986.

Wayne, C. 1999. Using cotton plant residue to produce briquettes. **Biomass & Bioenergy.** 18: 201-208.

Yaman, S., Sahan, M., Haykiri-acma, H.,Sesen, K. and Kucukbarak, S. 2002. Production of flues briquettes from olive refuse and paper mill waste. **Fuel Processing Technology.** 68: 23-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

เป็นการวิเคราะห์โดยปริมาณ (Proximate analysis)

1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างไปอบในตู้ที่มีความร้อนคงที่ ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ : ตู้อบ (Drying Oven), โถดูดความชื้น(Desiccators) และถ้วยทนไฟ(Crucible)พร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝา ที่อุณหภูมิในช่วง 104-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างทดลอง ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปในตู้อบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำถ้วยทนไฟออกจากตู้อบ และปิดฝา แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟ รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace), โถดูดความชื้น (Desiccators) และถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ :

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมฝา
2. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1
3. นำเข้าเตาพร้อมฝา เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 องศาเซลเซียส เผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

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

เมื่อ A = น้ำหนัก Crucible ตัวอย่าง และเถ้าที่เหลือจากการเผา (กรัม)

B = น้ำหนัก Crucible เปล่า (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 $\pm$ 20 องศาเซลเซียส ในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา (Furnace), โถดูดความชื้น (Desiccators), ถ้วยทนไฟ (Crucible) พร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. ชั่งตัวอย่างทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก
2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผา โดยปิดฝา และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 $\pm$ 20 องศาเซลเซียส 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss)

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างทดลอง (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

Volatile Matter (%) = C-D

เมื่อ C = Weight Loss (%)

D = ความชื้น (%)

1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณ ดังนี้

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

1.5 การหาค่าปริมาณความร้อน (Heating value)

ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 5865 โดยนำตัวอย่างของสารมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

เครื่องมือ : เครื่องBomb Calorimeter, ถังออกซิเจน, ลวด, ถ้วยโลหะ และเครื่องอัดเม็ด

วิธีการ :

1. อัดเม็ดตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.9-1.0 กรัม
2. ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดของตัวอย่างที่อัดได้ใส่ในถ้วยโลหะ
3. ผูกลวดเผาไหม้ 10 เซนติเมตร ไว้กับเครื่องมือให้แน่น โดยให้ส่วนล่างของเส้นลวดแตะกับตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Bomb
5. อัดออกซิเจนลงใน Bomb ให้มีความดันประมาณ 28-30 บรรยากาศ
6. ใส่น้ำลงใน Jacket ประมาณ 2,000 มิลลิลิตร
7. นำ Bomb ที่ใส่ตัวอย่าง และออกซิเจนเรียบร้อยแล้วลงไปใน Jacket
8. สังเกตสัญญาณไฟที่ปุ่ม READY เพื่อเตรียมวัดอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1) โดยกดปุ่ม FIRE เพื่อเป็นการจุดระเบิด
9. อ่านค่าอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที จนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุด และคงที่
10. นำ Bomb ออกมา แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนเปิดฝา
11. ล้างภายใน Bomb ด้วย wash solution (เตรียมโดย เติมเมทิลออเรนจ์ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร) จนน้ำล้างไม่มีสีชมพู เก็บน้ำล้างไว้ในบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. วัดความยาวของลวดที่เหลือ บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. นำน้ำที่ได้จากข้อ 11 มาไตเตรทกับสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

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

เมื่อ $\triangle T$ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (T2-T1); (องศาเซลเซียส)

W = พลังงานคงที่ของเครื่อง Calorimeter ซึ่งหาได้จากใช้ Benzoic acid แทนตัวอย่างทดลอง (แคลอรีต่อองศาเซลเซลเซียส)

E_1 = 1.4 ×ml. ของสารละลาย Na_2CO_3เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล(แคลอรี)

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

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

G = น้ำหนักของตัวอย่างที่อัดเป็นเม็ด (กรัม)

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

2.1 ระยะเวลาเวลาในการจุดติดไฟ และความคงตัวของเถ้า

อุปกรณ์ : ชุดตุ้มเหล็ก, เตาอั้งโล่, แผ่นสังกะสี และไฟแช็ค

วิธีการ :

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

การหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และขนาด (Dimension) ของถ่านอัดแท่งที่เตรียมได้

อุปกรณ์ : เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

วิธีการ :

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

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

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (Bulk Density)

หมายเหตุ : ความหนาแน่นที่ได้เป็นความหนาแน่นโดยประมาณ

2.3 การทดสอบค่าการทนแรงอัด (Compressive Strength)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1621 เพื่อศึกษาความต้านทานต่อการกระแทกภายใต้แรงอัด โดยค่าการทนแรงอัดเป็นค่าแรงเค้น (Stress) สูงสุดที่แท่งเชื้อเพลิงจะรับได้จากการทดลองใช้แรงกดลงบนแท่งเชื้อเพลิง

อุปกรณ์ : เครื่อง Universal Testing Machine, เลื่อย และเครื่องเจียร

วิธีการ :

1. นำตัวอย่างถ่านอัดแท่งมาตัดเพื่อให้มีความสูงอยู่ในช่วง 25-30 มิลลิเมตร แล้วนำมาขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยเครื่องเจียร
2. นำถ่านไปวางในแนวตั้งในเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) แล้วทำการทดสอบค่าการทนแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\sigma_c = F/A$$

เมื่อ σ_c = การทนแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

F = แรงอัดที่กระทำกับตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งเชื้อเพลิง (ตารางเซนติเมตร)

2.4 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3038 เพื่อหาความสามารถของถ่านอัดแท่งที่จะมีความทนทานในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน

อุปกรณ์ : เครื่องชั่งน้ำหนัก, ถุงพลาสติกแบบซิปล็อค และตะแกรงขนาด 25 มิลลิเมตร

วิธีการ :

1. นำถ่านอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 300 กรัม แล้วปล่อยจากที่สูง 1.8 เมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ ซ้ำๆ กัน 3 ครั้ง
2. นำถ่านไปร่อนผ่านตะแกรง นำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาค่าดัชนีการแตกร่วน (Friability Index) หรือ(Shatter Index) ได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$R = W_f / W_i$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตกร่วน

W_f = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ (กรัม)

W_i = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ(กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ตารางที่ ข.1 ปริมาณความชื้นของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	3.43	3.46	3.93
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	3.89	3.96	4.04
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	4.68	4.65	4.36
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	4.58	4.00	4.19
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	7.06	6.51	6.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	4.41	4.32	4.41
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	5.18	5.55	5.37
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	4.53	4.48	4.39
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	3.99	3.90	3.61
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	3.73	3.81	3.77
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	4.51	5.63	5.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ปริมาณเถ้าของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	21.62	22.83	13.64
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	15.05	10.64	11.79
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	15.21	16.26	14.96
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	21.22	21.1	17.19
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	18.7	16.19	16.97
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	13.81	16.85	15.79
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	17.51	17.82	16.72
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	20.25	18.28	14.87
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	16.81	18.5	13.24
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	16.89	16.47	15.34
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	17.29	17.32	15.34

ตารางที่ ข.3 ปริมาณสารระเหยของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)
ไม่ใช้ตัวประสาน	19.50
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	19.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	21.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	18.80
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	20.50
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	20.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	19.70
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	20.30
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	20.60
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	21.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	20.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)
ไม่ใช้ตัวประสาน	57.53
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	64.14
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	58.96
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	57.11
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	55.56
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	59.74
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	57.58
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	57.43
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	59.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	59.00
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	58.08

ตารางที่ ข.5 ค่าความร้อนของถ่าน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ปริมาณค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ไม่ใช้ตัวประสาน	6,224.2	6,239.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	6,414.4	6,417.1
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	6,311.3	6,292.3
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	6,446.8	6,404.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	6,322.1	6,378.2
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	6,429.6	6,433.8
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	6,070.8	6,062.4
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	6,266.0	6,303.3
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	6,229.6	6,258.6
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	6,344.8	6,340.5
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	6,084.1	6,071.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของฉ่านอัดแท่งจากกากใบชา

ตารางที่ ข.6 ความคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ความคงตัวของเถ้า
ไม่ใช้ตัวประสาน	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	ไม่คงตัว
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	ไม่คงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ระยะเวลาในการจุดติดไฟ (นาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	1.05	1.23	1.35
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	1.42	1.32	0.57
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	2.12	1.18	0.49
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	2.26	2.39	1.29
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	2.22	1.21	2.10
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	1.29	1.20	1.03
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	1.07	1.33	1.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	1.18	0.59	1.20
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	1.14	0.57	1.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	1.39	0.55	1.25
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	1.14	1.23	1.45

ตารางที่ ข.8 ระยะเวลาในการเผาไหม้

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ระยะเวลาในการเผาไหม้ (นาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	52.11	52.10	57.38
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	53.28	59.36	52.17
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	56.39	54.01	46.59
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	52.43	51.04	53.28
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	49.44	49.17	52.33
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	48.38	50.48	51.10
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	47.41	55.04	52.21
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	48.28	45.34	48.42
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	49.49	55.26	57.11
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	51.37	42.03	45.27
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	47.44	57.01	49.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ค่าความหนาแน่น

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ความหนาแน่น (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	0.5161	0.5077	0.5953
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.5399	0.6598	0.5437
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.6140	0.5692	0.6367
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.7501	0.6029	0.7360
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.5094	0.4914	0.5202
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.5636	0.4548	0.4643
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	0.5225	0.5414	0.5404
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.4789	0.5285	0.5155
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.5626	0.5128	0.6338
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	0.5571	0.5184	0.5406
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	0.4989	0.5603	0.5293

ตารางที่ ข.10 ค่าการทนแรงอัด

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ค่าการทนแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ใช้ตัวประสาน	20.21	21.34	22.55
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	15.49	19.32	29.25
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	25.13	22.90	18.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	12.42	11.14	17.40
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	11.67	11.60	9.33
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	11.19	12.49	11.17
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	10.61	12.87	12.75
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	10.66	9.08	10.62
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	8.72	6.73	8.73
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	16.90	16.94	15.13
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	12.02	10.51	11.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ดัชนีการแตกร่วน

อัตราส่วนของตัวประสานที่ใช้	ดัชนีการแตกร่วน		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
ไม่ใช้ตัวประสาน	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.99	0.98	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.99	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.99	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.96	0.99	0.94
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.99	0.95	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 1%	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.98	0.99	0.98
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.99	0.99	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	0.99	0.93	0.99
แป้งมันสำปะหลังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	0.96	0.99	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
สมมติฐานและขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานและขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน คือ คำตอบที่ผู้ทดสอบ ผู้วิจัยคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุผล ข้อมูลที่ถูกสุ่มมาจากประชากร (ตัวอย่าง) จะถูกใช้เพื่ออ้างอิงค่าพารามิเตอร์ของประชากร ดังนั้น เมื่อมีการทดสอบสมมติฐาน จะเป็นการทดสอบว่าค่าพารามิเตอร์มีค่าเป็นอย่างที่ได้คาดการณ์ไว้หรือไม่

สมมติฐานจะมี 2 ประเภท คือ

- สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) H_0
- สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) H_a

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

1. ตั้งสมมติฐาน (โดยการตั้งสมมติฐานรอง)
2. กำหนดตัวสถิติในการทดสอบ
3. กำหนดระดับนัยสำคัญ
4. คำนวณค่าสถิติ
5. คำนวณค่าวิกฤติ (Critical Value)
6. เปรียบเทียบ ค่าคำนวณ (ข้อ 4) กับ ค่าวิกฤติ (ข้อ 5)
7. สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

<u>การทดสอบสมมติฐาน</u>

การทดสอบสมมติฐานมี 2 ประเภท คือ

1. การทดสอบสมมติฐานแบบมีทิศทาง (Direction test, One-tailed test)

$H_a: \mu > \mu_0$ $\quad \mu_1 > \mu_2$

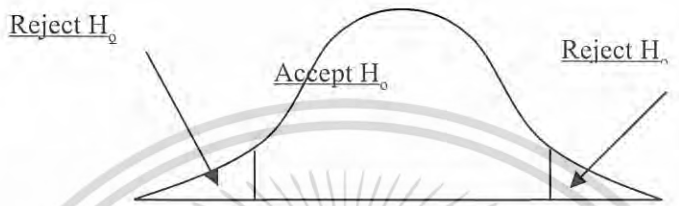
$H_a: \mu < \mu_0$ $\quad \mu_1 < \mu_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมมติฐานแบบไม่มีทิศทาง (Non-Direction test, Two-tailed test)

$H_o : \mu = \mu_0$ $H_o : \mu_1 = \mu_2$

$H_a : \mu \neq \mu_0$ $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$



ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติที่เลือกใช้ในการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเขตวิกฤติ (Critical region) จะปฏิเสธ H_0 และจะยอมรับ H_a ซึ่งจะเรียกผลการทดสอบสมมติฐานว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (Significance)

ถ้าค่าคำนวณของค่าสถิติไม่อยู่ในเขตวิกฤติจะยอมรับ H_0 แสดงว่า ผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม โดยใช้ T-test คุณลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ T-test ต้องมีลักษณะ ดังนี้

1. ข้อมูลอยู่ในระดับมาตราอัตรภาค (interval scale) หรืออัตราส่วน (ration scale)
2. มีกลุ่มตัวอย่าง 1 หรือ 2 กลุ่ม
3. กลุ่มตัวอย่างสุ่มจากประชากร
4. คะแนนเป็นการแจกแจงปกติ
5. ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร (ถ้าทราบความแปรปรวนของประชากร ให้ใช้ Z-test)
6. ถ้าคะแนนของกลุ่มตัวอย่างอิสระจากกันใช้ T-test แบบ Independent ถ้าคะแนนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระจากกันใช้ T-test แบบ Dependent หรือ related data
7. ควรมีการทดสอบความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่ม เพื่อเลือกใช้สถิติในการทดสอบถ้าคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS โปรแกรมจะทำการทดสอบความแปรปรวนให้เอง 2 ค่า คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่เท่ากัน (equal variances assumed) และ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เท่ากัน (equal variances not assumed)

ขั้นตอนการทดสอบด้วย T-test

1. กำหนด H_o , H_1 และ ค่านัยสำคัญ (significance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บันทึกคะแนนของทั้ง 2 กลุ่ม หาค่า ED_1 และ ED_2 (สำหรับ T - test แบบ Dependent) และ หาค่า X และ S^2 (สำหรับ T - test แบบ Independent)

3. หาค่า t

4. หาค่า df (T - test แบบ Dependent df = N - 1) และ T - test แบบ Independent df = n1 + n2 - 2)

5. หาค่าวิกฤต จากตาราง T และสอดคล้องกับระดับนัยสำคัญ

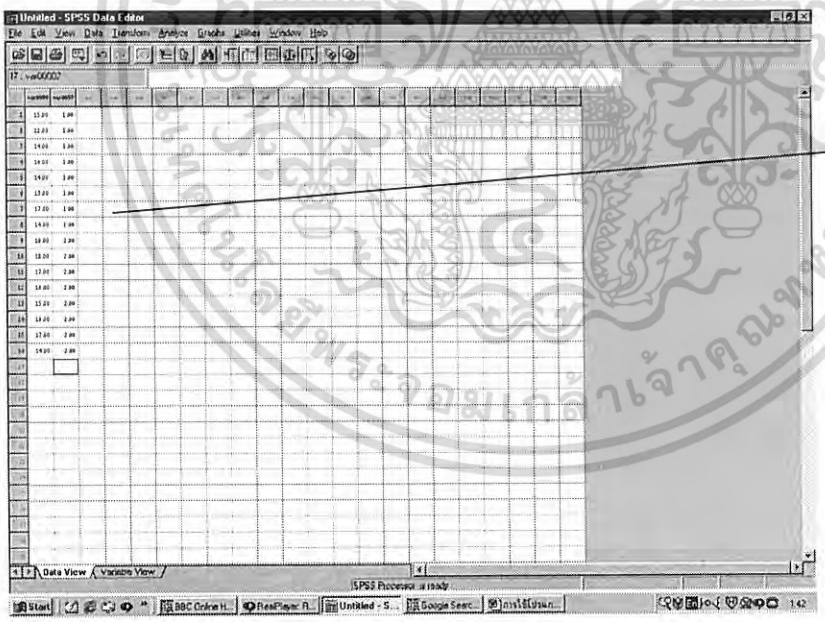
6. เปรียบเทียบค่า t ที่ได้จากการคำนวณ กับค่า t ที่ได้จากตาราง ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณ < ค่า t ที่ได้จากตาราง ให้ยอมรับ H_0 ถ้า ค่า t ที่ได้จากการคำนวณ > = ค่า t ที่ได้จากตาราง ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

7. สรุปผล จะสนับสนุน หรือ ไม่สนับสนุนสมมุติฐานการวิจัย

<u>การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการทดสอบสมมติฐาน</u>

SPSS: Statistical Package for Social Sciences

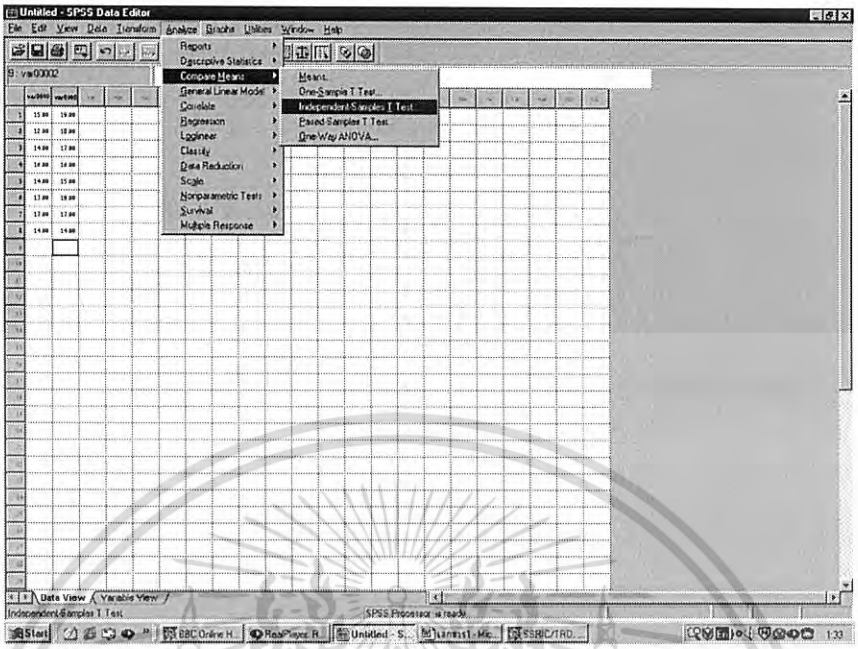
กรณีที่มีการสุ่มข้อมูลมาจากสองประชากร ข้อมูลที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 อยู่ในคอลัมน์ที่ 1 และข้อมูลที่สุ่มมาจากประชากรที่ 2 อยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ตามลำดับ จะปรากฏดังรูปต่อไปนี้



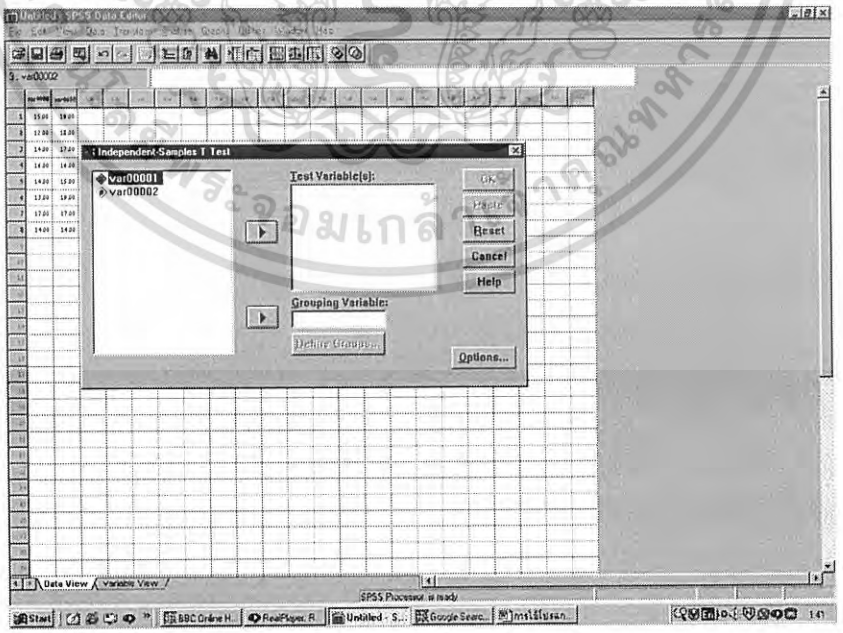
15	1
12	1
14	1
16	1
14	1
13	1
17	1
14	1
19	2
18	2
17	2
16	2
15	2
19	2
17	2
14	2

เมื่อต้องการที่จะวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว เลือกไปที่ Analyze ที่ Menu Bar และเลือกที่ Compare Mean ถ้าเราต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ประชากร จะต้องเลือกไปที่ Independent-Samples T-Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

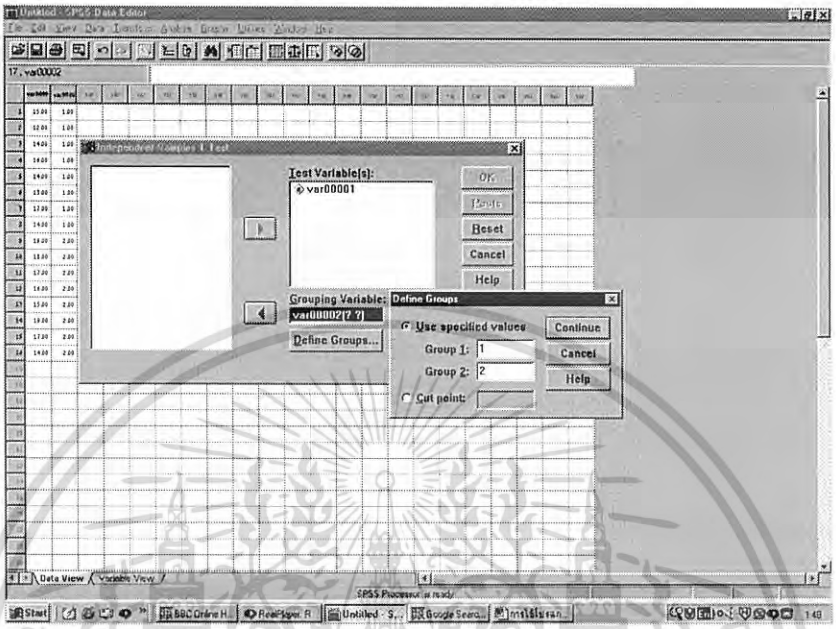


หลังจากที่เลือก Independent-Samples T-Test จะปรากฏจอภาพดังนี้ โดยที่ตัวแปร var00001 คือ ค่าของข้อมูลที่ถูกเลือกจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนตัวแปร var0002 เป็นตัวแปรควบคุมที่มีค่าเป็น 1 หมายถึงข้อมูลสุ่มมาจากประชากรที่ 1 และมีค่าเป็น 2 หมายถึงข้อมูลสุ่มมาจากประชากรที่ 2 ตามลำดับ



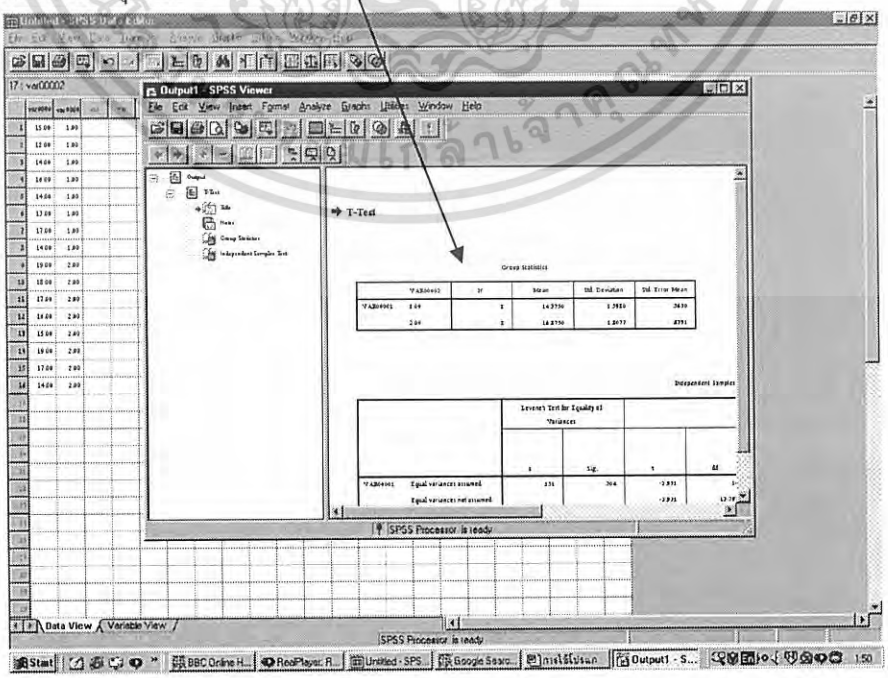
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เลือก var00001 เป็น Test Variable (s) และเลือกตัวแปร var00002 เป็นตัวแปร Grouping Variable ซึ่งค่าของ Group 1: คือ 1 และค่าของ Group 2: คือ 2



เมื่อกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว โดยการ Click ที่ Continue สามารถที่จะให้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวได้โดยการเลือกปุ่ม OK ซึ่งจะปรากฏดังนี้

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะได้ดังนี้ ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถจะถูกจัดเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล .SPO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-Test

Group Statistics

	VAR00002	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VAR00001	1.00	8	14.3750	1.5980	.5650
	2.00	8	16.8750	1.8077	.6391

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
								95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VAR00001	Equal variances assumed	.151	.704	-2.931	14	.011	-2.5000	.8530	-4.3296	-.6
	Equal variances not assumed			-2.931	13.792	.011	-2.5000	.8530	-4.3322	-.6

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะอธิบายสารสนเทศเบื้องต้นของข้อมูลจากตัวอย่างที่ถูกเลือกมาจาก 2 ประชากร ในทำนองเดียวกันค่าสถิติ T-test จะมีค่าสองกรณีคือ

1. ความแปรปรวนของทั้งสองประชากรสมมติว่าเท่ากัน
2. ความแปรปรวนของทั้งสองประชากรไม่ทราบว่าเท่ากัน

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ถ้า Sig (Significance : P-value) < 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

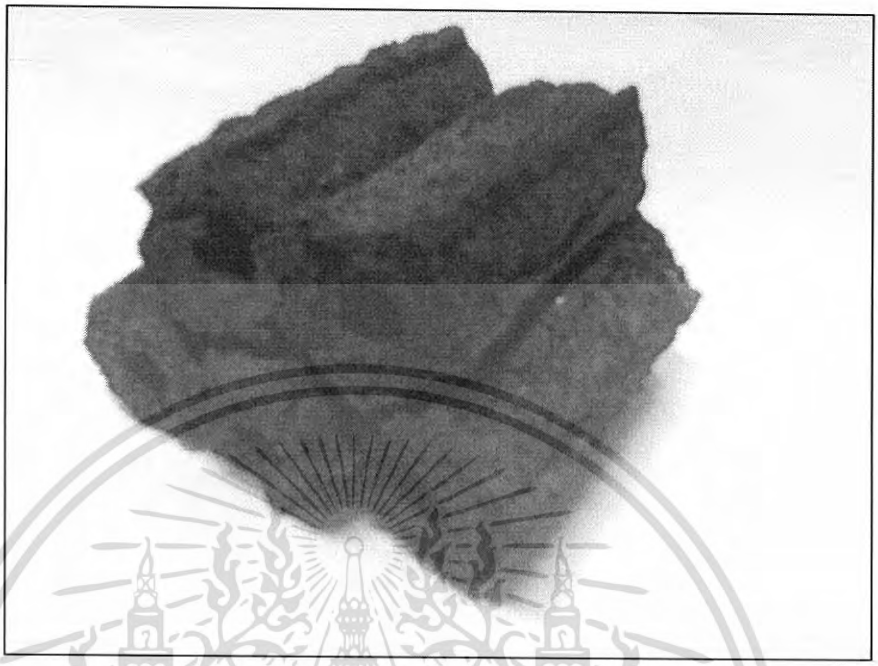
ตารางที่ ค.1 แสดงค่า Sig (Significance : P-value)

รูปที่	ตัวอย่างที่ทำการเปรียบเทียบ	P
4.1	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.217
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.215
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	
4.2	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 1%	0.177
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.105
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
4.3	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	0.026
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	0.059
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.025
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	
4.4	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 4%	0.005
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 5%	0.168
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 5%	
4.5	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.288
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 2%	
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 2%	0.088
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในการบริโภค 3%	
4.6	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 3%	0.094
	ถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวต่อแป้งเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รูปตัวอย่างถ่านอัดแท่งจากกากใบชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

รูปที่ ค.2 ถ่านอัดแท่งจากกากใบชาที่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้