



การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษขังข้าวโพด
โดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โดย

นางสาวชมิตา ชื่นนิยม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

การศึกษาค่าเพิ่มมูลค่าของเศษขังข้าวโพด
โดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โดย

นางสาวชมิตา ชื่นนิยม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

Study on the value added of corncob waste
to produce the fuel briquettes

By

Miss. Chomthida Chunniyom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University
2010

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวชมิตา ชื่นนิยม

เรื่อง

การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.พระพีพัฒน์ ภาสบุตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตตประกร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.วรรณิ แ่งจันทิก)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรยา วิสกุล)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษซังข้าวโพดซึ่งได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยในขั้นตอนของการวิจัยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษซังข้าวโพด พบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12%, ปริมาณสารระเหยได้ 71.03%, ปริมาณเถ้า 3.19%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66% และค่าความร้อน 4054.56 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำเศษซังข้าวโพดมาผสมกับตัวประสาน 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง, กากน้ำตาล, กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ ได้แก่ ค่าความร้อน, ค่าความหนาแน่น, ค่าความทนแรงอัด, ค่าดัชนีการแตกร่วน, ค่าความต้านทานน้ำ, เวลาในการจุดติดไฟ, ความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัดง่าย มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ ในขณะที่เดียวกันการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวประสานในการอัดแท่งเศษซังข้าวโพด ทั้งนี้เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคงตัวของเถ้าและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความต้านทานน้ำสูงสุด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง มาคำนวณ พบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตันต่อปี โดยใช้ 2 สายการผลิต ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่าที่สุด โดยคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เท่ากับ 1,980,721.32 บาท, อัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 45.73%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน เท่ากับ 1.16, และระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 2.18 ปี

Abstract

In this research, a feasible study of corncob waste management from the seed preparation factory to produce the fuel briquettes was considered. First of all, the chemical properties of corncob waste were analyzed, it was found that moisture content was 8.12%, volatile matter was 71.03%, ash content was 3.19%, fixed carbon was 17.66% and heating value was 4054.56 cal/g. As a result, the corncob waste had the high potential for reuse as a fuel. After that corncob waste was mixed with different types of binders such as starch, molasses, paper mill waste and used oil with the percentage of 10, 20, 30, 40 and 50. The mixtures were briquetted and analyzed for their chemical properties, physical properties and combustion properties with the consideration of heating value, density, compressive strength, shatter index, water resistance index, ignition time, fixed ash and combustion time. Corncob waste with 50% starch was suitable for fuel briquette production because it was easy to briquette, with high compressive strength and shorter time for ignition. On the contrary, the used oil was not suitable for binding with the corncob waste. The briquettes using molasses as a binder has the highest fixed ash and the longest combustion time. Moreover when paper mill waste was used as binder, the briquettes has the highest heating value, shatter index and water resistance index. The result of economics evaluation considered from corncob waste with 50% starch showed that fuel briquettes produced in the production rate of 100 tons per year using 2 production lines was the most attractive with the NPV of 1,980,721.32 Baht, IRR of 45.73%, B/C of 1.16 and PB of 2.18 years.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญจน์ ปัตตปะกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นอบรมสั่งสอน คอยให้คำแนะนำ ติดตามดูแล ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พระพิพัฒน์ ภาสบุตร อาจารย์ ดร.วราณี แผงจันทิก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม ที่ได้สละเวลาร่วมรับฟังการนำเสนอผลงานวิจัยและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณจิตตรา ดอกบัว คุณกิตติ เมธาวงศ์ คุณสากล ม่วงเขียว คุณสมศักดิ์ หริวัชรดำรง และคุณไพรัตน์ รักพีช แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลองและการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาวสวน กาญจน์มัย คุณปิยมณ พัวพงศกร และคุณธีรณัย พุทธา แห่งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง Servohydraulic Testing Machine ขอขอบคุณ คุณจิรวุฒิ ชาญวิทย์วัฒนกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องอัดแท่ง ขอขอบคุณ คุณไพฑูรย์ สิงห์ไข่มุก ผู้จัดการโรงงานชินเจนทา ซีดีส์ จำกัด จังหวัดลพบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เศษชิ้นข้าวโพดที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท ปัญจพลเปเปอร์ อินดัสตรี้ จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ให้ความอนุเคราะห์กากของเสียจากโรงงานกระดาษที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และสนับสนุนด้านการเงินมาโดยตลอด

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวชมธิดา ชื่นนิยม
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ	(10)
 บทที่	
1 บทนำ	1-4
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5-21
2.1 พลังงานทดแทน	5
2.2 ชีวมวล	5
2.3 การวิเคราะห์ชีวมวล.....	6
2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)	6
2.3.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value).....	7
2.4 เศษขี้ข้าวโพด	8
2.5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	9
2.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	10
2.7 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง	12
2.8 วิธีการอัดแท่ง	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification)	12
2.8.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification)	13
2.9 ตัวประสาน (Binder)	13
2.10 เครื่องอัดแท่ง.....	14
2.10.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press)	14
2.10.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)	15
2.10.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press)	15
2.10.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)	16
2.11 ขั้นตอนการอัดแท่ง.....	18
2.12 การประเมินคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	19
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย.....	 22-33
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	22
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	23
3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย.....	26
3.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษขังข้าวโพด	26
3.3.2 การอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	26
3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากเศษขังข้าวโพด.....	27
3.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากเศษขังข้าวโพด	27
3.3.4.1 การหาค่าความหนาแน่น.....	27
3.3.4.2 การทดสอบค่าความทนแรงอัด	27
3.3.4.3 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน	28
3.3.4.4 การทดสอบค่าความต้านทานน้ำ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	29
3.3.5.1 การหาเวลาในการจุดติดไฟ	29
3.3.5.2 การหาความคงตัวของเถ้า	29
3.3.5.3 การหาระยะเวลาการเผาไหม้	30
3.3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิต	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด	30
3.3.6.1 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์	31
 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	 34-47
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพด	34
4.2 ผลการวิเคราะห์จากการอัดแท่งเศษชังข้าวโพด	35
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	36
4.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	36
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	38
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	39
4.4.1 การหาค่าความหนาแน่น	39
4.4.2 การทดสอบค่าความทนแรงอัด	40
4.4.3 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน	41
4.4.4 การทดสอบค่าความต้านทานน้ำ	42
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	
จากเศษชังข้าวโพด	43
4.5.1 การหาเวลาในการจุดติดไฟ	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.2 การหาความคงตัวของเถ้า	44
4.5.3 การหาระยะเวลาการเผาไหม้.....	45
4.6 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิต เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด	46
 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	 48-49
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
 รายการอ้างอิง.....	 50-55
 ภาคผนวก.....	 56-76
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	57
 ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ.....	 62
 ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	 75
 ประวัติการศึกษา.....	 77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย	2
2.1	ตัวอย่างเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็น เชื้อเพลิงได้	11
2.2	คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	19
3.1	ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	33
4.1	ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษซังข้าวโพด และซังข้าวโพด	34
4.2	ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการ ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน.....	36
4.3	ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการ ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน.....	37
4.4	ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการ ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน	37
4.5	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ใช้ 1 สายการผลิต.....	46
4.6	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ใช้ 2 สายการผลิต	47
5.1	ผลของชนิดและสัดส่วนตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	49
ข.1	ค่าปริมาณความชื้น	62
ข.2	ค่าปริมาณเถ้า	64
ข.3	ค่าปริมาณสารระเหยได้	65
ข.4	ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว	66
ข.5	ค่าความร้อน	67
ข.6	ค่าความหนาแน่น.....	68
ข.7	ค่าความทนแรงอัด	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.8	ค่าดัชนีการแตก่วน.....	70
ข.9	ค่าความต้านทานน้ำ.....	71
ข.10	เวลาในการจุดติดไฟ.....	72
ข.11	ค่าความคงตัวของเถ้า.....	73
ข.12	ค่าระยะเวลาการเผาไหม้.....	74

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2.1	ลักษณะของซังข้าวโพด 8
2.2	ลักษณะของเศษซังข้าวโพด 8
2.3	เครื่องอัดแบบลูกสูบ..... 14
2.4	เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง 15
2.5	เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ..... 16
2.6	เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย 17
2.7	เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด 18
3.1	เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียว..... 24
3.2	เครื่องบด ยี่ห้อ KASSEL รุ่น JC-2023..... 24
3.3	ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ WTC Binder รุ่น TRE 3..... 24
3.4	เตาเผาไฟฟ้าแบบ Muffle ยี่ห้อ STUART SCIENTIFIC รุ่น 508 25
3.5	เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์แบบ ISOPERIBOL ยี่ห้อ PARR รุ่น 1261 25
3.6	เครื่อง Servohydraulic Testing Machine ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 8801 25
3.7	การอัดแท่งเชื้อเพลิง..... 26
3.8	การอบเชื้อเพลิงอัดแท่ง 26
3.9	เชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบความทนแรงอัด..... 28
3.10	เชื้อเพลิงอัดแท่งหลังทดสอบความทนแรงอัด 28
3.11	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่จุดติดไฟแล้ว 29
3.12	ลักษณะเถ้าที่ได้..... 30
3.13	ลักษณะเถ้าที่แตกแล้ว..... 30
4.1	เศษซังข้าวโพดก่อนอัดแท่ง..... 35
4.2	เศษซังข้าวโพดหลังอัดแท่ง 35
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความร้อน 38
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความหนาแน่น..... 39
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความทนแรงอัด..... 40
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าดัชนีการแตกร่วน..... 41

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความต้านทานน้ำ.....	42
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและเวลาในการจุกติดไฟ.....	43
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและความคงตัวของเถ้า.....	44
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและระยะเวลาการเผาไหม้.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในภาวะปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งพลังงานในประเทศมีอัตราการผลิตไม่เพียงพอกับอัตราการใช้ ประกอบกับราคาน้ำมันในตลาดโลกมีราคาสูงขึ้น ดังนั้น ต้องมีการหาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างอื่นมาใช้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งในประเทศไทยคือ พลังงานชีวมวล ซึ่งได้แก่ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ซึ่งวัสดุเหลือใช้เหล่านี้เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในแต่ละปี แต่พบว่าการนำเศษวัสดุเหล่านี้มาใช้นั้นน้อยอยู่มาก ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 1.1 โดยในส่วนของอุตสาหกรรมโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืช เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าวโพด ระหว่างกระบวนการสีเพื่อเอาเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักจะมีเศษซึ่งข้าวโพดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งปกติทางโรงงานจะนำเศษซึ่งข้าวโพดเหล่านี้ไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการฟุ้งกระจายของเศษซึ่งข้าวโพดในอากาศ ศักยภาพของเศษซึ่งข้าวโพดในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้มีประมาณ 120 ตันต่อปี เทียบเท่าพลังงาน 1,986,000 เมกะจูล ในประเทศไทยมีโรงงานลักษณะเดียวกันนี้ประมาณ 133 โรงงาน ศักยภาพรวมมีประมาณ 15,960 ตันต่อปี เทียบเท่าพลังงาน 264,138,000 เมกะจูล ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากพลังงานที่จะได้รับจากเศษซึ่งข้าวโพดนั้น ถือเป็นเรื่องที่น่าเสียดายมาก หากไม่นำเศษซึ่งข้าวโพดเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นทางโรงงานจึงพยายามที่จะหาแนวทางในการนำเศษซึ่งข้าวโพดเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษซึ่งข้าวโพดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานความร้อน วิธีนี้นอกจากจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้ อีกทั้งเชื้อเพลิงอัดแท่งยังถือเป็นพลังงานทดแทนและยั่งยืนอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม รวมถึงก๊าซหุงต้มลดลงอีกด้วย

ตารางที่ 1.1
ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย

ชนิด	ผลผลิต (10 ⁶ kg)	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณ วัสดุ เหลือใช้ (10 ⁶ kg)	ค่า ความ ร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (TJ)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (MT)	กำลัง ไฟฟ้า (MW)
1. อ้อย	60,013	ชานอ้อย	3,615.00	14.40	52,056.04	1.23	764.21
		ยอดและใบ	17,870.19	17.39	310,762.62	7.36	4,105.92
2. ข้าว	26,514	แกลบ	3,006.42	14.27	42,901.65	1.02	566.83
		ฟางข้าว	8,106.60	10.24	83,011.61	1.97	1,096.78
3. ปาล์ม น้ำมัน	4,089	ทะลายปาล์ม	1,002.05	17.86	18,253.88	0.43	241.18
		เส้นใยปาล์ม	80.55	17.62	1,419.21	0.03	18.75
		กะลาปาล์ม	7.41	18.46	136.85	0.00	1.81
		ก้านทาง	10,647.76	9.83	104,667.44	2.48	1,382.91
		ทะลายตัวผู้	952.74	16.33	15,558.20	0.37	205.56
4. ข้าวโพด	4,466	ซังข้าวโพด	816.88	18.04	14,736.44	0.35	194.71
5. มะพร้าว	1,396	เปลือก	300.68	16.23	4,880.11	0.12	64.48
		กะลามะพร้าว	84.43	17.93	1,513.83	0.04	20.00
		ทะลาย	57.66	15.40	888.03	0.02	11.73
		ทางมะพร้าว	254.11	16.00	4,065.71	0.10	53.72
6. มัน สำปะหลัง	16,868	ลำต้น	604.14	18.42	11,128.34	0.26	147.03
7. ถั่วลิสง	129	เปลือก	41.67	12.66	527.50	0.01	6.97
8. ฝ้าย	36	ลำต้น	116.35	14.49	1,685.94	0.04	22.27
9. ถั่ว เหลือง	292	ลำต้นและใบ	590.97	19.44	11,488.51	0.27	151.79
10. ข้าว ฟาง	145	ใบและต้น	117.64	19.23	2,262.18	0.05	45.14
11. เศษไม้	10,268	กิ่งก้าน	2,669.68	14.98	39,991.81	0.95	528.39
รวม			48,293.26		721,935.91	17.10	9,630.18

ที่มา : www.dede.go.th. 2552

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษซังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน
2. ศึกษาผลของชนิดและสัดส่วนของตัวประสาน ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด
3. ศึกษาชนิดและสัดส่วนของตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด
4. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของเศษซังข้าวโพดที่ได้จากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืช และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ได้แก่ ปริมาณความชื้น, ปริมาณเถ้า, ปริมาณสารระเหยได้, ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน อีกทั้งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, ค่าความทนแรงอัด, ค่าดัชนีการแตกร่วน, ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ, เวลาในการจุดติดไฟ, ความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาการเผาไหม้ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด โดยตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง, กากน้ำตาล, กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ซึ่งจะผสมในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด
2. ได้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อใช้ในครัวเรือน, ร้านอาหาร, ภัตตาคาร และอุตสาหกรรมต่างๆ
3. เป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
4. ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า
5. ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

6. เพิ่มทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิง และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม รวมถึง ก๊าซหุงต้ม
7. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ ชนิดอื่นๆ ต่อไป
8. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานที่มีลักษณะเดียวกันได้
9. ช่วยลดปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นสิ่งที่เหลืออยู่หลังจาก กระบวนการอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด เลือกชนิดและสัดส่วนของตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน ชีวมวล เศษชังข้าวโพด เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตัวประสาน และการวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดแท่งในด้านต่างๆ รวมทั้งทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในงานวิจัยนี้

2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โลกขับเคลื่อนไปข้างหน้า มนุษย์ค้นพบแหล่งพลังงานมานานแล้ว เช่น พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งแปรรูปมาจากพลังงานธรรมชาติที่สะสมมานานนับศตวรรษ ได้แก่ ปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ) ซึ่งพลังงานดังกล่าวผลักดันโลกให้พัฒนาก้าวไปข้างหน้าในทุกๆ ด้าน จนกระทั่งในปัจจุบันกำลังจะหมดไป ส่งผลให้น้ำมันดิบมีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ทุกๆ ประเทศพยายามที่จะคิดหาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างอื่นมาใช้แทนเพื่อให้พอเพียงแก่ความต้องการ

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้เป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ไฮโดรเจน และชีวมวล เป็นต้น

2.2 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น

- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพารา หรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่

- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อ

มะพร้าวไปผลิตเป็นกะทิ และน้ำมันมะพร้าว

- ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ให้ได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วนำไปกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิง พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้แป้งและน้ำตาลจึงถูกปลดปล่อยออกมา

ชีวมวลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustibles) ซึ่งประกอบด้วย

- ความชื้น (Moisture) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของชีวมวล ชีวมวลส่วนมากมักมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

- เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่มีเถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว ซึ่งมีเถ้าอยู่ประมาณร้อยละ 10-20 ทำให้มีปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดพอสสมควร

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustibles) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหยได้ (Volatile Matter) และคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) สารระเหยได้ คือส่วนที่ถูกติดไฟได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง แสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่าย ส่วนคาร์บอนคงตัว คือส่วนที่เป็นคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ๆ (ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก) และเป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ยาก มีคุณสมบัติในการจุดติดไฟสูง

2.3 การวิเคราะห์ชีวมวล (กัญญา บุญเกียรติ. 2544)

ในการที่จะนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทราบค่าการวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบด้วย

- ความชื้น (Moisture, M) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการอบสารตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยน้ำหนักส่วนที่เป็น

ความชื้น (Inherent Moisture) ระเหยออกมา ขณะที่น้ำที่เป็นส่วนประกอบทั้งส่วนที่เป็นอินทรีย์ และส่วนที่เป็นอินทรีย์ (Coherent Moisture) ยังคงอยู่ในเชื้อเพลิง

- เถ้า (Ash, A) เป็นน้ำหนักที่คงอยู่หลังจากการเผาตัวอย่างภายใต้สภาวะออกซิไดซ์ที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 700-750 °C

- สารระเหยได้ (Volatile Matter, VM) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไป (เมื่อหักความชื้นออกแล้ว) หลังจากการอบตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 950±20 °C เป็นเวลา 6 นาที โดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เพื่อกลับสลายส่วนที่ระเหยได้ออกมา

- คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) เป็นส่วนที่เหลือของโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงแข็ง ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ (แต่ไม่ทั้งหมด) ได้จากการคำนวณผลต่าง ตามสมการที่ 2.1

$$\%FC = 100 - (\%M + \%A + \%VM) \quad (2.1)$$

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) สามารถแบ่งรูปแบบการวิเคราะห์ตามหลักอ้างอิง (Basis) ได้หลายชนิด เช่น

1. Air-Dried Basis คือ การวิเคราะห์แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า
2. Dry Basis คือ การวิเคราะห์แบบไม่รวมความชื้น
3. Dry and Ash Free Basis (daf basis) คือ การวิเคราะห์แบบไม่รวมความชื้นและไม่รวมเถ้า เป็นต้น

2.3.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง มักแสดงในหน่วยความร้อนต่อน้ำหนัก เช่น กิโลจูล (kJ) หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ในระบบ SI หรือแคลอรีต่อกกรัม (cal/g) ในระบบเมตริก เป็นต้น นอกจากนี้อาจแสดงในหน่วยบีทียูต่อปอนด์ (Btu/lb_m) ในระบบ American Engineering ซึ่งนิยมใช้กันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา

การระบุค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งต้องระบุหลักอ้างอิง ด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงแข็งแบบใด เช่น แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า หรือแบบไม่รวมความชื้นและไม่รวมเถ้า หรือแบบอื่นๆ เพราะหลักอ้างอิงมีผลต่อค่าความร้อนและการนำค่าความร้อนไปใช้เป็นอย่างมาก

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งกระทำได้โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286

การนำชีวมวลพวกเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นวิธีการหนึ่ง ที่สะดวกและช่วยประหยัดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยสามารถแบ่งลักษณะการนำเศษวัสดุ

เหล่านี้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือการนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือนำไปผสมรวมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นแล้วเผาเพื่อให้พลังงาน แต่เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดขึ้นนั้นไม่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงกล่าวคือ มีความหนาแน่นต่ำทำให้ลุกไหม้หมดลงอย่างรวดเร็ว มีปริมาณความชื้นและเถ้าสูง ให้ค่าความร้อนต่ำ และเกิดควันมากในขณะเผาไหม้ จึงมีการพัฒนาอีกวิธีหนึ่งโดยการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปผ่านกรรมวิธีผลิตเป็นเชื้อเพลิงชนิดใหม่เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ได้แก่ การนำไปเผาเป็นถ่าน และการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.4 เศษซังข้าวโพด

ในอุตสาหกรรมผลิตเมล็ดพันธุ์พืช เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าวโพด หลังจากกระบวนการสีเพื่อเอาเมล็ดออกจากฝัก จะทำให้เกิดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2 ชนิด อย่างแรกคือ ซังข้าวโพด แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งโดยส่วนใหญ่โรงงานจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำโดยตรง อย่างที่สอง คือ เศษซังข้าวโพด แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งทางโรงงานได้เคยทดลองนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงแล้ว แต่เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเศษซังข้าวโพดไม่เหมาะสมกล่าวคือ มีความหนาแน่นต่ำ จึงเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว โดยมีลักษณะคล้ายลูกไฟ ดังนั้น ทำให้ทางโรงงานไม่สามารถนำเศษซังข้าวโพดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงได้ จึงต้องนำไปทิ้ง โดยในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาจะมีเศษซังข้าวโพดเกิดขึ้นประมาณ 120 ตันต่อปี

ภาพที่ 2.1

ลักษณะของซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.2

ลักษณะของเศษซังข้าวโพด



2.5 เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดแท่งวัสดุชีวมวลหรือเศษวัสดุพืชต่างๆ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรม เช่น ชังข้าวโพด ชานอ้อย และแกลบ เป็นต้น ซึ่งการอัดแท่งนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดถ่านเขียว (Green Charcoal) ของประเทศฟิลิปปินส์ เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งค้นพบโดย มร.กอนซาโล คาแทน (Gonzalo O. Catan) และคณะ โดยนำเศษใบไม้ ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวประสานเป็นตัวเชื่อม (ประลอง ดำรงไทย. 2547) ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่ง ทำให้การใช้อยู่จำกัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิตเท่านั้น การขนส่งไปบริเวณห่างไกล จะให้ผลไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ

2. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะมีความหนาแน่นต่ำ และมีค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ ทำให้ต้องใช้ปริมาณมาก จึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่า ทำให้การใช้อย่างเหลือใช้หรือฟืนถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมากๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา

3. มีความชื้นสูง ทำให้จุดติดไฟได้ยากและมีค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากให้แห้ง นอกจากนี้ วัสดุที่เปียกยังเกิดการลุ่เน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ดรา และการกัดกินของแมลง

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรมาก ไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนเท่ากับ $\frac{1}{3}$ ของถ่านหินโดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มความร้อนเป็น $\frac{2}{3}$ ของถ่านหินโดยน้ำหนัก (Reed and Bryant. 1978) ดังนั้น การอัดแท่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและสะดวกในการขนส่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาอัดขึ้นรูปให้มีความหนาแน่นมากขึ้น และมีลักษณะเป็นแท่งเหมาะแก่การใช้งาน สามารถจุดติดไฟและลุกไหม้ได้เวลานานขึ้น ตัวอย่างของเชื้อเพลิงเขียว เช่น เชื้อเพลิงเขียวจากแกลบ เชื้อเพลิงเขียวจากขี้เลื่อย เป็นต้น

2. ถ่านอัดแท่ง เนื่องจากสมบัติบางประการของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้นั้น ไม่เหมาะสมในการใช้ในครัวเรือนที่ชุมชนหนาแน่นและภาคอุตสาหกรรม เพราะมีควันมากในขณะเผาไหม้ อีกทั้งยังมีข้อด้อยกว่าฟืนและถ่านไม้ ทั้งในด้านของความร้อนที่ต่ำกว่า ปริมาณเถ้าที่มากกว่า และระยะเวลาที่ลุกไหม้ก็สั้นกว่า จึงมีการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยการเผาเศษวัสดุให้เป็นถ่านดำก่อน แล้วจึงนำเศษถ่านดำนั้นมาอัดเป็นแท่ง เช่น ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด เป็นต้น

2.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้น จึงมีของเหลือใช้หรือเหลือทิ้งจากการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวหลายชนิด ประกอบกับภาคอุตสาหกรรมของประเทศส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมยาสูบ อุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ สับปะรดกระป๋อง ผลไม้กระป๋อง ปลากระป๋อง เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวนี้มีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ทั้งสิ้น

ตัวอย่างของแหล่งวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่

1. เศษพืชหรือเศษวัสดุทางการเกษตรหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่ามีอยู่กระจายอยู่ทั่วไปในไร่นา สวนและป่า ในโรงงาน เช่น โรงเลื่อย โรงสี โดยตัวอย่างของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ แสดงดังตารางที่ 2.1

2. วัชพืช หมายถึง พืชที่ไม่เป็นที่ต้องการ ซึ่งมีอยู่กระจายทั่วไปในพื้นที่เพาะปลูกหรือในพื้นที่ว่างเปล่า ไม่ว่าสภาพพื้นที่จะเป็นเช่นไร นอกจากนี้วัชพืชที่ขึ้นในเขตป่าอาจเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าได้เมื่อถึงฤดูแล้งจะแห้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดความสูญเสียจากไฟฟ้าอย่างประเมินค่าไม่ได้

3. เศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากส่าเหล้าจากโรงงานสุรา กากส่าเบียร์จากโรงงานเบียร์ แป้งปูดเน่าจากโรงงานแป้ง แกลบจากโรงสี เป็นต้น

4. ขยะมูลฝอย ซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศ โดยพบว่าปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากสามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงจะสามารถลดความรุนแรงของปัญหาขยะดังกล่าว และเป็นแนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงานควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1

ตัวอย่างเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้

ชื่อตัวอย่าง	Proximate Analysis as Received				ค่าความร้อน (cal/g) (Dry basis)
	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	
ต้นฝ้าย	9.33	4.77	67.95	17.95	4,044.29
ข้าวฟ่าง	4.31	8.63	68.83	18.23	4,051.48
ต้นข้าวโพด	13.32	6.20	64.58	15.90	4,313.90
ซังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4,187.00
กะลามะพร้าว	11.79	0.85	64.03	23.33	4,860.48
กะลาปาล์ม	13.00	1.30	64.55	21.05	5,072.50
ฟางข้าว	2.86	11.24	65.64	20.26	3,503.51
เปลือกทุเรียน	9.93	2.71	74.30	13.06	4,449.45
กากทานตะวัน	11.50	3.67	64.34	20.49	4,034.20
ชานอ้อย	13.38	2.61	64.73	19.26	3,972.76
ใบจามจุรี	7.32	15.65	62.35	14.68	5,078.74
แกลบ	7.27	14.07	60.87	17.79	4,009.40
ลำต้นมันสำปะหลัง	31.54	6.22	47.73	14.51	4,670.00
เหง้ามันสำปะหลัง	41.98	3.57	41.86	12.59	4,368.30
หญ้าขจรจบ	5.91	8.04	66.97	19.08	3,939.68
หญ้าคา	5.75	6.53	65.32	22.40	3,773.11
โคกกระสุน	8.57	9.88	65.23	16.32	4,340.92
ไมยราบยักษ์	9.25	4.15	64.38	22.22	4,556.10
ผักตบชวา	6.47	10.08	67.07	15.70	3,492.13
ไผ่ยงพารา	3.94	4.54	16.00	73.52	6,934.02
ไผ่ยงคาลิปดัส	4.30	1.51	79.10	15.09	4,436.00
ขี้เลื่อยไม้เบญจพรรณ	7.87	2.23	72.14	17.76	5,179.00
ไม้กระถินยักษ์	9.09	1.03	72.17	17.71	4,309.40

ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2535

2.7 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่ง เป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็กๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือ สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (Attractive Force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี โดยแบ่งตามแรงดันออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ (Mishra and Grover. 1996)

1. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นของเหลว (Liquid) และของแข็ง (Solid) เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion Forces) และการเกิดพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้ง (Interlocking Bond) ระหว่างวัสดุ
2. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันปานกลางโดยอาศัยความร้อนช่วยในการอัดตัวของวัสดุ ความร้อนทำให้วัสดุที่มีสารพอลิเมอร์ และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อ่อนตัวยึดเกาะกันได้ดี
3. การอัดแท่งแบบที่ใช้แรงดันต่ำโดยอาศัยตัวประสาน ช่วยในการอัดตัวของวัสดุ สำหรับกลไกการอัดแท่งแบบใช้ตัวประสาน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน โดยตัวประสานที่ดีจะต้องมียางเหนียวที่ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุได้ดี เช่น ทาร์ และสารอินทรีย์ที่มียางเหนียวเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ กลไกการยึดติดของตัวประสานขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็งกับของเหลว (Adhesion Forces) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของวัสดุชนิดเดียวกัน (Cohesion Forces) และพันธะอินเตอร์ล็อกกิ้งระหว่างวัสดุ

2.8 วิธีการอัดแท่ง

การอัดแท่งวัสดุต่างๆ นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

2.8.1 การอัดแบบร้อน (Hot Densification) เป็นวิธีที่นิยม สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง เช่น ชีส์เลื่อย แกลบ และเศษไม้ เป็นการอัดที่ถือกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา ประมาณ 57 ปี โดยมี R.T.Bowling เป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์ขึ้นสังเคราะห์จากชีส์เลื่อยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีเขม่าควัน เถ้า และกลิ่นเหม็น คุณสมบัติของเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 260-300 °C

- ข้อดีของการอัดแบบร้อนคือ
1. สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้อย่างกว้างขวาง
 2. ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสาน
 3. ให้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง
- ข้อเสียของการอัดแบบร้อนคือ
1. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอัดเย็น
 2. วัสดุที่ใช้ในการอัดต้องมีความชื้นต่ำคือ ไม่เกินร้อยละ 10
 3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูง
 4. เครื่องอัดแท่งมีราคาแพงและดูแลรักษายาก

2.8.2 การอัดแบบเย็น (Cold Densification) วิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในระหว่างการอัดต่ำ สามารถแบ่งเป็นการอัดแบบใช้ตัวประสาน และแบบไม่ใช้ตัวประสาน (Bhattacharya, S.C. et al. 1988) ตัวประสานทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดด้วยแรงอัดปานกลาง

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

ข้อเสียของการอัดแบบเย็นคือ ต้องใช้ตัวประสาน หรือถ้าไม่ใช้ตัวประสานสามารถทำได้กับวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานกล่าวคือ มีน้ำยางเหนียว เช่น พืชสด และวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมัก

2.9 ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ให้มีลักษณะดังรูปแบบที่ต้องการให้อัดออกมาได้ และตัวประสานยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ความต้านทานต่อความเค้นอัด การต้านทานแรงกระแทก รวมถึงสมบัติการต้านทานน้ำ ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูก หาได้ง่าย ไม่ดูดความชื้น ไม่สีกกร่อนง่าย ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือสารมลพิษขณะเผาไหม้ และถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรมีขี้เถ้าน้อยที่สุด มิฉะนั้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะลดลงไปด้วย

ชนิดของตัวประสาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (Bryand. 1985) คือ

1. ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Binder) ได้แก่ ทาร์ (Tar), แป้ง (Starch), สาหร่าย (Algae), มูลสัตว์ (Dung), เรซินตามธรรมชาติ (Natural Resins) และเรซินสังเคราะห์ (Synthetic Resins)
2. ตัวประสานที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustible Binder) ได้แก่ ดินเหนียว (Clay), โคลน (Mud), และซีเมนต์ (Cement) เป็นต้น

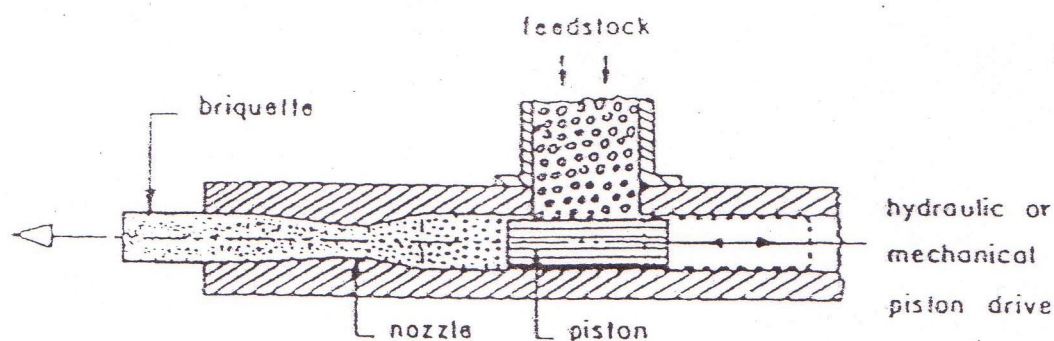
2.10 เครื่องอัดแท่ง

เครื่องอัดแท่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ (Karchesy and Koch. 1979) คือ

2.10.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocation Piston) เพื่อดันวัตถุดิบเข้าไปในกระบอกรูปเรียว (Tapered) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical Choke) หรือเป็นรูปเรียวทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการต้านรวมทั้งการขัดสีของวัสดุกับผนังท่อนี้ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง $150-300^{\circ}\text{C}$ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 kg/hr และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องอัดแบบลูกสูบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัด และการแตกของลูกสูบ (Bhattacharya, S.C. et al. 1988)

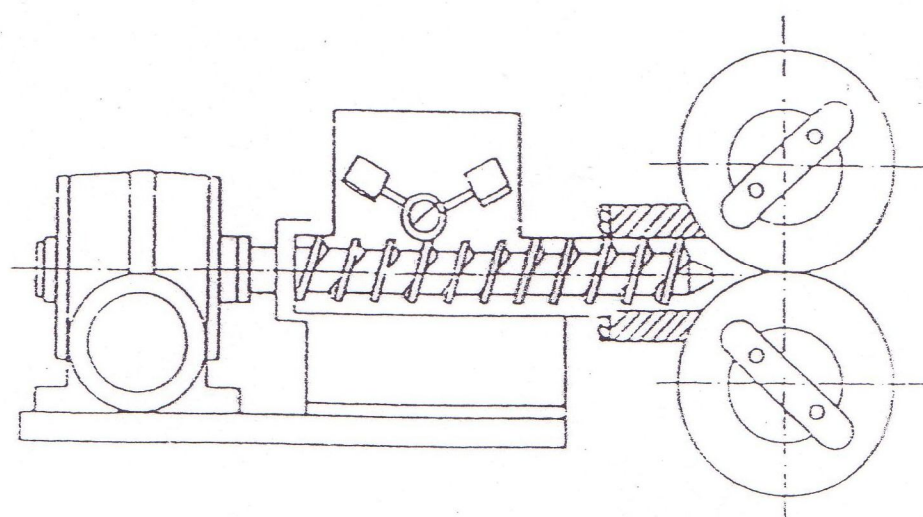
ภาพที่ 2.3

เครื่องอัดแบบลูกสูบ



2.10.2 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) หลักการทำงานคือ กระบวนการอัดจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องไว้ แล้วหมุนมาประกบกัน ได้เชื้อเพลิงอัดก้อนเป็นรูปหมอน (Pillow-Shaped Briquettes) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น โดยที่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความทนทานน้อยกว่าการอัดแบบอื่น เนื่องจากเวลาในการอัดสั้น ทำให้แรงอัดต่ำ และอุณหภูมิในกระบอกอัดไม่สูงพอที่จะหลอมละลายลิกนินเพื่อช่วยในการอัดตัวกันเป็นแท่ง

ภาพที่ 2.4
เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

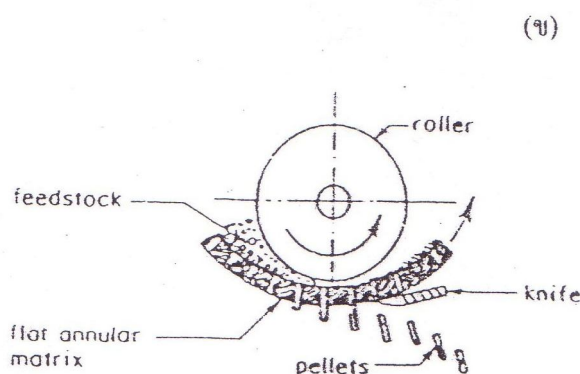
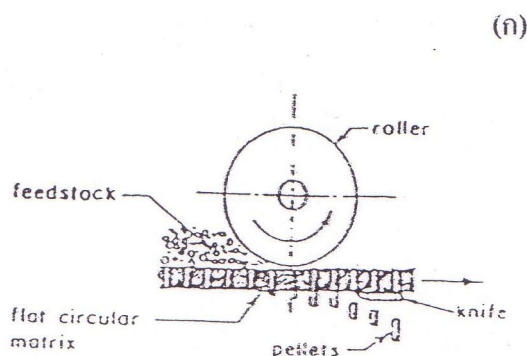


2.10.3 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing Press) ประกอบด้วยแม่พิมพ์ โดยที่แรงอัดระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) และแม่พิมพ์ (Matrix) ทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสี และทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู มี 2 แบบ คือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมา จะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้การอัดแบบเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเป็นเม็ด (Pelletizing)

ภาพที่ 2.5

เครื่องอัดเม็ด หรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ

(ก) แบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (ข) แบบแม่พิมพ์วงแหวน



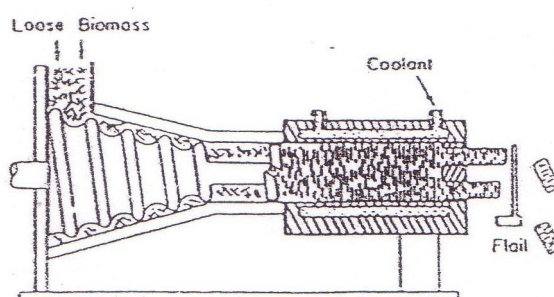
2.10.4 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ เป็นแท่งพื้นซึ่งนิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสะดวกหลายประการ ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้งาน และการขนส่ง โดยแบ่งเครื่องอัดออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพ้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 °C กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-

1,000 kg/hr อัตรากำลังของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 35-75 kW วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8-10

ภาพที่ 2.6

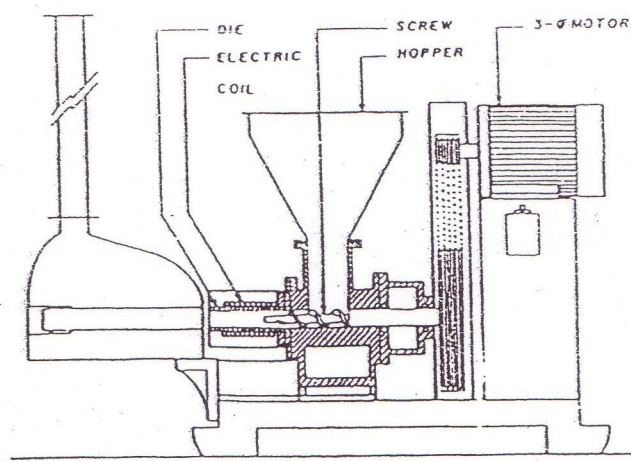
เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย



2. เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heat) มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนประมาณ $200-350^{\circ}\text{C}$ ความร้อนทำให้วัสดุพวกลิกนินและเซลลูโลสหลอมละลาย แล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดยึดเกาะตัวกันดี ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อนทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร มีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตอยู่ในช่วง 50-500 kg/hr (Karchesy and Koch. 1979) วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเม็ดละเอียด และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของกระบอกอัดและเกลียว

ภาพที่ 2.7

เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด



3. เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) ประกอบด้วยเกลียวอัด 2 อัน ต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัด และแรงเสียดสีสูงทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250°C จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป สามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องทำให้แห้งก่อน กำลังการผลิตของเครื่องอัดนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 kg/hr ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

2.11 ขั้นตอนการอัดแท่ง

วัสดุที่นำมาอัดแท่ง ทั้งที่ต้องใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสาน โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนในการอัดแท่งเชื้อเพลิง ดังต่อไปนี้

1. การบดย่อย (Grinding) เป็นการลดขนาดวัสดุให้มีความเหมาะสมต่อการคลุกเคล้าและการขึ้นรูป ทำได้โดยใช้เครื่องสับ และเครื่องป่นวัสดุ โดยขนาดของวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง

2. การผสม (Mixing) เป็นการผสมวัสดุกับตัวประสานเข้าด้วยกัน เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้ โดยเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป โดยทั่วไปชีวมวลต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน

3. การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัดแท่ง แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัด ดังนั้น คุณภาพของเชื้อเพลิงที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่อัด

4. การทำให้แห้ง (Drying) เพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งมีความชื้นเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ ควรใช้เวลาในการผึ่งแดดประมาณ 3-4 วัน หรือนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

2.12 การประเมินคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะใช้องค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ (Fitzgerald. 1980) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) โดยแบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความทนแรงอัด และค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นองค์ประกอบหลัก แต่มีปริมาณความชื้น เถ้า และสารระเหยได้ต่ำ อีกทั้งจะต้องมีค่าความร้อนสูงด้วย นอกจากนี้ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางด้านกายภาพด้วย โดยค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความทนแรงอัดจะต้องมีค่าสูง เนื่องจากแสดงถึงความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง รวมถึงค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจะต้องมีค่าสูงด้วยเช่นกัน เนื่องจากแสดงถึงการต้านทานต่อความชื้นโดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

คุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
คาร์บอนคงตัว	ไม่น้อยกว่า 75%
สารระเหยง่าย	ไม่เกิน 25%
ซีเถ้า	ไม่เกิน 8%
ความชื้น	ไม่เกิน 10%
ค่าความร้อน	ไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g

ที่มา : พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546 ; มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาภรณ์และอภิชัย (2532) ศึกษาการใช้เกลบข้าวที่ถูกคาร์บอนไนซ์แล้วเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน โดยนำถ่านเกลบมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในสัดส่วน 10, 15 และ 20 wt.% จากนั้นนำไปอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบคันโยกอย่างง่าย จากผลการทดลองพบว่า สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ใช้ในการอัดแท่งถ่านเกลบคือ 10 wt.% โดยถ่านเกลบอัดแท่งที่ได้จากการผสมแป้งมันสำปะหลังในสัดส่วนนี้จะมีค่าความทนแรงอัด 6.52 kg/cm^2 ซึ่งเพียงพอต่อการต้านทานการแตกในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา

จุฑามาศ (2547) ศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเห้งน้ำมันสำปะหลัง โดยอ้างอิงแหล่งที่มาของวัตถุดิบ 3 แหล่ง คือ โรงงานมันเส้น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง และแปลงปลูก อัตราส่วนตัวประสานโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำ 3 อัตราส่วน ดังนี้ 0.1:0.9, 0.2:0.8 และ 0.3:0.7 และขนาดผงผ่านตะแกรง 3 ขนาด คือ 5, 10 และ 15 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลังจากโรงงานมันเส้น ขนาดผง 10 มิลลิเมตร เมื่อผสมตัวประสานอัตราส่วน 0.1:0.9 มีสมบัติดีที่สุด โดยมีค่าความร้อน 6,281.08 แคลอรีต่อกรัม และสามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 4.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

วนิดา (2548) ศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ วิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น ขนาดกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง และสัดส่วนของการผสมแป้งมันสำปะหลังซึ่งใช้เป็นตัวประสานในอัตราส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า วิธีการอัดแบบเย็นดีกว่าวิธีการอัดแบบร้อน ขนาดของกากชาเขียวแบบบดละเอียดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 12-35 เมช ให้ผลดีกว่ากากชาแบบไม่บดในด้านคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และอัตราส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมคือ 0.95:0.05

สงวนศักดิ์ (2550) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการอัดรีดชีวมวลผสมระหว่างถ่านชาร์กะลามะพร้าว หรือถ่านชาร์ซีเลื้อย กับถ่านชาร์กากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการแยกสลายความร้อน โดยอัตราส่วนผสมชาร์ชีวมวลต่อถ่านชาร์กากตะกอน คือ 0:1, 0.25:0.75, 0.50:0.50, 0.75:0.25 และ 1:0 โดยน้ำหนัก และเติมแป้งมันร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นตัวประสาน จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกลและกายภาพ

Ulker Gurbuz Beker (1997) ศึกษาการอัดแท่งลิกไนต์โดยใช้ซีลี้อยากของเสียจากโรงงานกระดาษ กากสาเหล้ม และเปลือกเมล็ดทานตะวันเป็นตัวประสาน ผสมในสัดส่วนระหว่าง 5-20 wt.% แล้วใช้แรงดันในช่วง 400-800 MPa ในการอัดแท่ง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สัดส่วนตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าทนแรงอัด ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยเมื่อใช้กากสาเหล้มเป็นตัวประสานในสัดส่วน 20 wt.% จะได้ค่าทนแรงอัดสูงสุด ในขณะที่ค่าดัชนีการแตกร่วนและค่าความร้อนจะสูงสุดเมื่อใช้ซีลี้อยากเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 wt.%

S. Yaman และคณะ (2000) ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากมะกอก และกากของเสียจากโรงงานกระดาษ โดยในขั้นแรกของการวิจัยทำการลดขนาดของวัตถุดิบที่ใช้ จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm แล้วจึงนำไปอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 150-250 MPa จากผลการทดลองพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกากมะกอก มีค่าความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ในขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกากของเสียจากโรงงานกระดาษและที่ได้จากการนำของเสียทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน มีค่าความแข็งแรงมากเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

S. Yaman และคณะ (2001) ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยนำลิกไนต์มาผสมกับตัวประสาน 6 ชนิดคือ กากน้ำตาล แคนสับปะรด กากมะกอก ซีลี้อยากของเสียจากโรงงานกระดาษ และกากฝ้าย สัดส่วนตัวประสานที่ใช้มีค่าระหว่าง 0-30 wt.% จากนั้นนำไปอัดแท่งที่ความดัน 50-250 MPa ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อนำลิกไนต์มาผสมกับกากของเสียจากโรงงานกระดาษ ค่าดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อนำไปผสมกับซีลี้อยากและกากของเสียจากโรงงานกระดาษ ค่าความทนแรงอัดสูงขึ้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ กากมะกอก กากฝ้าย แคนสับปะรด หรือกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษขังข้าวโพด ส่วนที่สอง สาม และสี่ เป็นการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขังข้าวโพดมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ ตามลำดับ ส่วนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขังข้าวโพด ซึ่งรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย เป็นดังนี้

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 เศษขังข้าวโพด ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ชินเจนทา ซีดส์ จำกัด
- 3.1.2 แป้งมันสำปะหลัง เกรดเอ ตราหมีแพนด้าคู่เหยียบลูกโลก ใช้เป็นตัวประสาน
- 3.1.3 กากน้ำตาล ใช้เป็นตัวประสาน
- 3.1.4 กากของเสียจากโรงงานกระดาษ ใช้เป็นตัวประสาน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ปัญจพลเปเปอร์ อินดัสตรี จำกัด
- 3.1.5 น้ำมันเครื่องใช้แล้ว ใช้เป็นตัวประสาน
- 3.1.6 กรดเบนโซอิกอัดเม็ด (Benzoic Acid)
- 3.1.7 แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2)
- 3.1.8 กรดเกลือ (HCl)
- 3.1.9 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- 3.1.10 ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3)
- 3.1.11 เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange)
- 3.1.12 แอลกอฮอล์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียว ดังแสดงในภาพที่ 3.1
- 3.2.2 เครื่องบด ยี่ห้อ KASSEL รุ่น JC-2023 ดังแสดงในภาพที่ 3.2
- 3.2.3 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ WTC Binder รุ่น TRE 3 ดังแสดงในภาพที่ 3.3
- 3.2.4 เตาเผาไฟฟ้าแบบ Muffle ยี่ห้อ STUART SCIENTIFIC รุ่น 508 ดังแสดงในภาพที่ 3.4
- 3.2.5 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) แบบ ISOPERIBOL ยี่ห้อ PARR รุ่น 1261 ดังแสดงในภาพที่ 3.5
- 3.2.6 เครื่องทดสอบความทนแรงอัด (Servohydraulic Testing Machine) ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 8801 ดังแสดงในภาพที่ 3.6
- 3.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Digital ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น AB204 รับน้ำหนักได้สูงสุด 210 g และมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สี่
- 3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Digital ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PB303 รับน้ำหนักได้สูงสุด 310 g และมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม
- 3.2.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Digital ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PB3002 รับน้ำหนักได้สูงสุด 3100 g และมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง
- 3.2.10 เตาอังไล่
- 3.2.11 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
- 3.2.12 ตู้น้ำหนัก
- 3.2.13 เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์, ขวดรูปชมพู่, บิวเรต และกรวยกรอง เป็นต้น
- 3.2.14 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.15 คุชชีเบิ้ล พร้อมฝาปิด
- 3.2.16 เครื่องดูดความชื้น
- 3.2.17 กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 2 และเบอร์ 42
- 3.2.18 แผ่นอะลูมิเนียมบาง
- 3.2.19 ถุงพลาสติก
- 3.2.20 ตะแกรงร่อนขนาด 20 มิลลิเมตร
- 3.2.21 ซ้อนดักสารเคมี
- 3.2.22 ขวดน้ำกลั่น
- 3.2.23 อุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นในการทดลอง เช่น ไฟแช็ค พัด เป็นต้น

ภาพที่ 3.1
เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียว



ภาพที่ 3.2
เครื่องบด ยี่ห้อ KASSEL รุ่น JC-2023



ภาพที่ 3.3
ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ WTC Binder รุ่น TRE 3



ภาพที่ 3.4

เตาเผาไฟฟ้าแบบ Muffle ยี่ห้อ STUART SCIENTIFIC รุ่น 508



ภาพที่ 3.5

เครื่องบดบดแคลอริมิเตอร์แบบ ISOPERIBOL ยี่ห้อ PARR รุ่น 1261



ภาพที่ 3.6

เครื่อง Servohydraulic Testing Machine ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 8801



3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษซังข้าวโพด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก ได้แก่

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
- ปริมาณเถ้า (Ash Content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174
- ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
- ค่าความร้อน (Heating Value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286

3.3.2 การอัดแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ทำการบดเศษซังข้าวโพดเพื่อลดขนาด
2. นำเศษซังข้าวโพดที่บดแล้วไปผสมกับตัวประสาน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่อง ในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยในขั้นนี้จะมีการผสมน้ำ เพราะความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป
3. ทำการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียว ดังแสดงในภาพที่ 3.7
4. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้เข้าสู่อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.7
การอัดแท่งเชื้อเพลิง



ภาพที่ 3.8
การอบเชื้อเพลิงอัดแท่ง



3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน

3.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

3.3.4.1 การหาค่าความหนาแน่น

วิธีการทดสอบ

1. วัดความสูงและความกว้างรูปทรงหกเหลี่ยมแต่ละด้านของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 2. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 3. คำนวณหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้จากสมการที่ 3.1
- ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้เป็นรูปทรงหกเหลี่ยม จึงใช้สูตรการหาปริมาตรของรูปทรงหกเหลี่ยม

$$\rho = \frac{m}{2.598s^2h} \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
 m คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม)
 s คือ ความกว้างรูปทรงหกเหลี่ยมแต่ละด้าน (เซนติเมตร)
 h คือ ความสูงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (เซนติเมตร)

3.3.4.2 การทดสอบค่าความทนแรงอัด

วิธีการทดสอบ

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปวางบนเครื่อง Servohydraulic Testing Machine ในแนวตั้ง
2. ทำการกดอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง จนกระทั่งแท่งเริ่มเสียสภาพ คือ มีการแตกร้าวเกิดขึ้น บันทึกค่าของแรงที่ทำให้เสียสภาพ โดยลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งก่อนและหลังทดสอบแสดงดังภาพที่ 3.9 และ 3.10

3. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. คำนวณหาค่าความทนแรงอัด ได้จากสมการที่ 3.2

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อ σ_c คือ ค่าความทนแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

F คือ แรงอัดที่ทำกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจนกระทั่งแตก (กิโลกรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ตารางเซนติเมตร)

ภาพที่ 3.9

เชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบความทนแรงอัด



ภาพที่ 3.10

เชื้อเพลิงอัดแท่งหลังทดสอบความทนแรงอัด



3.3.4.3 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน

วิธีการทดสอบ

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ในถุงพลาสติก
2. ปลดปล่อยถุงลงจากที่สูง 180 เซนติเมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำๆ กัน 3 ครั้ง
3. จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร
4. นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณค่าดัชนีการแตกร่วน ได้จากสมการที่ 3.3

$$R = \frac{W_f}{W_i} \quad (3.3)$$

เมื่อ R คือ ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

W_i คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ (กรัม)

W_f คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือหลังทดสอบ (กรัม)

3.3.4.4 การทดสอบค่าความต้านทานน้ำ

วิธีการทดสอบ

1. วัดปริมาตรน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ขนาดใหญ่

2. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้แช่น้ำในปิกเกอร์
3. บันทึกเวลาตั้งแต่แช่เชื้อเพลิงอัดแท่งลงในน้ำจนกระทั่งเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มบวม

และกระจายตัว

3.3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

3.3.5.1 การหาเวลาในการจุดติดไฟ

วิธีการทดสอบ

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าเตาเผาแบบ Muffle ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
2. เปิดเตาเผาตามเวลาที่เหมาะสม
3. บันทึกเวลาที่สังเกตเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มติดไฟ ดังแสดงในภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11

ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่จุดติดไฟแล้ว



3.3.5.2 การหาความคงตัวของเถ้า

วิธีการทดสอบ

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาเผาในเตาอังโล่ที่จุดไฟด้วยฟืนน้ำหนักประมาณ 20 กรัม
2. รอจนเถ้าเย็น ดังแสดงในภาพที่ 3.12
3. วางแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ลงบนเถ้า จากนั้นวางตุ้มเหล็กลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยเริ่มจากน้ำหนักเบา ก่อนแล้วจึงเพิ่มน้ำหนักของตุ้มเหล็กไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเถ้าแตก ดังแสดงในภาพที่ 3.13

4. บันทึกน้ำหนักดัมเบลิกที่ทำให้เก้าแตก

ภาพที่ 3.12
ลักษณะเก้าที่ได้



ภาพที่ 3.13
ลักษณะเก้าที่แตกแล้ว



3.3.5.3 การหาระยะเวลาการเผาไหม้

วิธีการทดสอบ

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปจุดไฟในเตาอั้งโล่ โดยใช้แอลกอฮอล์ประมาณ 20 มิลลิลิตร ต่อครั้ง ในการจุดไฟ
2. เปิดพัดลมเป่าเข้าที่ช่องหน้าต่างของเตาอั้งโล่ เพื่อให้เหมือนกับสภาวะการเผาไหม้จริง
3. ทำการจับเวลาตั้งแต่เชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มติดไฟจนกระทั่งเชื้อเพลิงอัดแท่งเผาไหม้จนหมด

3.3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด.

การประเมินโครงการลงทุนเป็นการนำกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่ายมาทำการประเมินเพื่อตัดสินใจว่าควรลงทุนในโครงการนั้นๆ หรือไม่ โดยวิธีการที่จะใช้สำหรับการประเมินโครงการมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่สำคัญมี 4 วิธี คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

3.3.6.1 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ โดยสามารถคำนวณหาค่า NPV ได้จากสมการที่ 3.4 และ 3.5

$$NPV = PVB - PVC \quad (3.4)$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (3.5)$$

โดยที่	n	คือ	อายุของโครงการ (ปี)
	t	คือ	ระยะเวลาของโครงการ (ปี) เมื่อ $t = 1, 2, 3, \dots, n$
	B_t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C_t	คือ	ต้นทุนของโครงการในปีที่ t
	i	คือ	อัตราดอกเบี้ย
	PVB	คือ	ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์
	PVC	คือ	ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

เกณฑ์ในการตัดสินใจ

$NPV > 0$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่คุ้มค่า

$NPV = 0$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการพอมีความเป็นไปได้

$NPV < 0$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่ไม่คุ้มค่า

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หรือ IRR หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก หรือหาอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยสามารถคำนวณหาค่า IRR ได้จากสมการที่ 3.6

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (3.6)$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจ

$IRR > \text{อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน}$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่า

$IRR = \text{อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน}$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการยังพอเป็นไปได้

$IRR < \text{อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน}$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการไม่คุ้มค่า

3. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน หรือ B/C คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด โดยสามารถคำนวณหาค่า B/C ได้จากสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$\frac{B}{C} = \frac{PVB}{PVC} \quad (3.7)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (3.8)$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจ

$B/C > 1$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

$B/C = 1$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการยังพอมีความเป็นไปได้

$B/C < 1$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน หรือ PB คือ ระยะเวลาที่กระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับเงินที่ลงทุนไป เป็นเครื่องมือที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้น จะมีสภาพคล่องสูงและความเสี่ยงต่ำ โดยสามารถคำนวณหาค่า PB ได้จากสมการที่ 3.9

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุนเริ่มแรก} / \text{ผลตอบแทนจากการลงทุนต่อปี} \quad (3.9)$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจ

$PB < \text{ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ}$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่คุ้มค่า

$PB > \text{ระยะเวลาดำเนินงานของโครงการ}$ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลไม่คุ้มค่า

โดยข้อกำหนดในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซึ่งข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ข้อกำหนด	อัตรา
1. อายุของโครงการ	15 ปี
2. อัตราภาษีเงินได้นิติบุคคล	ร้อยละ 30 ของกำไรสุทธิ
3. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ร้อยละ 6.8750 ต่อปี
4. ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	3.1 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพดก่อนอัดแท่งและศึกษาผลของชนิดและสัดส่วนของตัวประสาน ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด อีกทั้งทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด ซึ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลสามารถแสดงและอธิบายได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพด

จากผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเศษชังข้าวโพด พบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12%, ปริมาณเถ้า 3.19%, ปริมาณสารระเหยได้ 71.03%, และปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66% นอกจากนี้จากการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเศษชังข้าวโพด พบว่า เศษชังข้าวโพดมีค่าความร้อนเท่ากับ 4054.56 แคลอรีต่อกรัม ทั้งนี้เมื่อนำผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษชังข้าวโพดมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของชังข้าวโพดซึ่งโดยปกติทางโรงงานจะใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อน้ำ พบว่า เศษชังข้าวโพดมีคุณสมบัติทางด้านเคมีไม่แตกต่างจากชังข้าวโพดมากนัก สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพดและชังข้าวโพด

ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหยได้ (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
เศษชังข้าวโพด	8.12	3.19	71.03	17.66	4054.56
ชังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4187.00

4.2 ผลการวิเคราะห์จากการอัดแท่งเศษชังข้าวโพด

เมื่อใช้ตัวประสานชนิดต่างๆ ในการอัดแท่งเศษชังข้าวโพด พบว่า น้ำมันเครื่องใช้แล้ว ไม่เหมาะสมกับการเป็นตัวประสาน เนื่องจากไม่สามารถอัดแท่งเศษชังข้าวโพดได้ อีกทั้งการอัดแท่งที่สัดส่วน 10% แป้งมันสำปะหลัง ไม่สามารถทำได้เช่นกัน นอกจากนี้การใช้กากน้ำตาล และกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานเพียงอย่างเดียว ก็ไม่สามารถอัดแท่งได้ จึงต้องมีการใส่แป้งมันสำปะหลังลงไปผสมประมาณ 250 กรัม ถึงจะสามารถอัดแท่งได้ โดยลักษณะของเศษชังข้าวโพดทั้งก่อนและหลังอัดแท่งแสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2

ภาพที่ 4.1

เศษชังข้าวโพดก่อนอัดแท่ง



ภาพที่ 4.2

เศษชังข้าวโพดหลังอัดแท่ง



4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

จากการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และกากของเสียจากโรงงานกระดาษ เป็นตัวประสาน พบว่า ให้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ ปริมาณความชื้นผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งกำหนดไว้ว่า ปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 10%, ปริมาณเถ้าผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งกำหนดไว้ว่า ปริมาณเถ้าต้องไม่เกิน 8%, ปริมาณสารระเหยได้ไม่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งกำหนดไว้ว่าปริมาณสารระเหยได้ต้องไม่เกิน 25% และปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งกำหนดไว้ว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวต้องไม่น้อยกว่า 75% ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของซังข้าวโพดก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน

ตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

สัดส่วนแป้งมัน สำปะหลัง (%)	ความชื้น (%)	สารระเหยได้ (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
20	4.4165	75.8016	3.3502	16.4317
30	4.5982	75.6981	3.4855	16.2182
40	4.8033	75.5027	3.5742	16.1198
50	4.9517	75.3149	3.7013	16.0321

ตารางที่ 4.3

ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน

สัดส่วน กากน้ำตาล (%)	ความชื้น (%)	สารระเหยได้ (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
10	5.8145	74.0945	3.9012	16.1898
20	5.8621	73.8519	3.9549	16.3311
30	5.9062	73.7025	4.0124	16.3709
40	5.9480	73.5481	4.0594	16.4445
50	5.9973	73.3247	4.1335	16.5445

ตารางที่ 4.4

ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษ
เป็นตัวประสาน

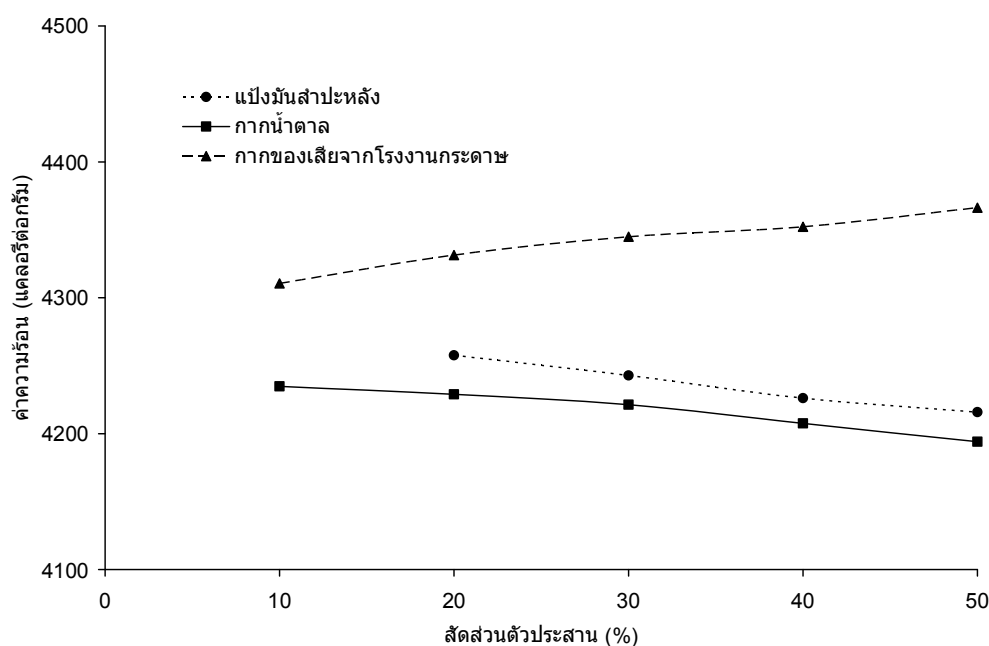
สัดส่วนกากของ เสียจากโรงงาน กระดาษ (%)	ความชื้น (%)	สารระเหยได้ (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
10	5.0184	75.3035	3.2854	16.3927
20	5.2750	75.0982	3.2077	16.4191
30	5.5139	74.8541	3.1470	16.4850
40	5.6941	74.4210	3.0354	16.8495
50	5.8023	74.1544	2.9036	17.1397

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าความร้อน แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากของเสียจากโรงงาน กระดาษเป็นตัวประสาน ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความร้อนเท่ากับ 4310.59, 4331.38, 4344.86, 4352.28 และ 4366 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แบริ่งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความร้อนเท่ากับ 4257.70, 4242.83, 4226.11 และ 4215.87 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความร้อนเท่ากับ 4234.78, 4228.86, 4221.32, 4207.53 และ 4194.07 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า การใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โดยประมาณกล่าวคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะมีปริมาณเถ้าต่ำ จึงส่งผลให้มีค่าความร้อนสูง

ภาพที่ 4.3

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความร้อน



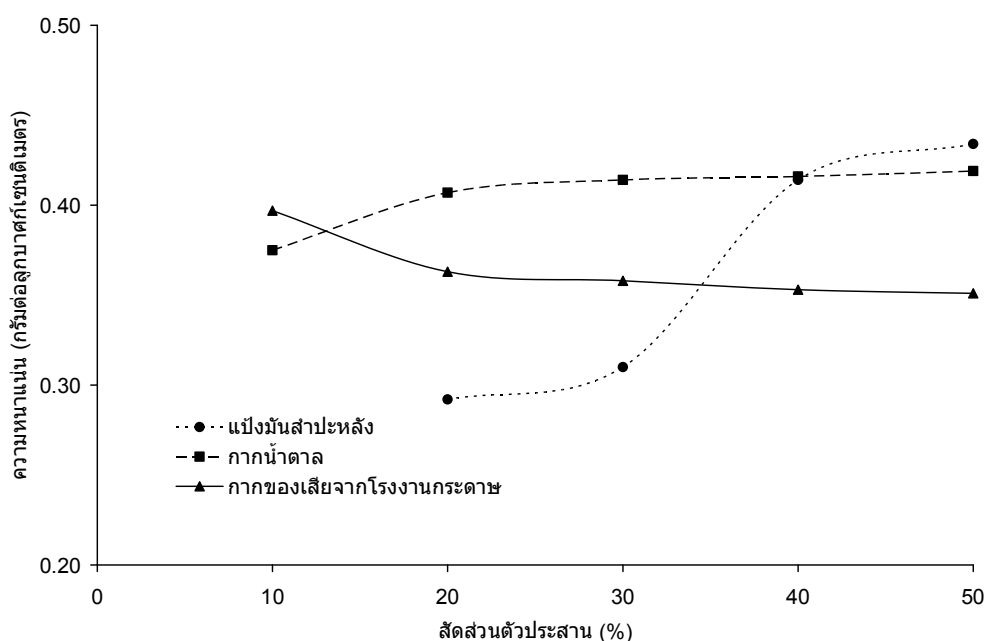
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขังข้าวโพด

4.4.1 การหาค่าความหนาแน่น

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าความหนาแน่น แสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลมีความหนืดค่อนข้างสูง จึงทำให้อนุภาคของเศษขังข้าวโพดเกาะตัวกันได้ดี ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.292, 0.310, 0.414 และ 0.434 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.375, 0.407, 0.414, 0.416 และ 0.419 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.397, 0.363, 0.358, 0.353 และ 0.351 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

ภาพที่ 4.4

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความหนาแน่น

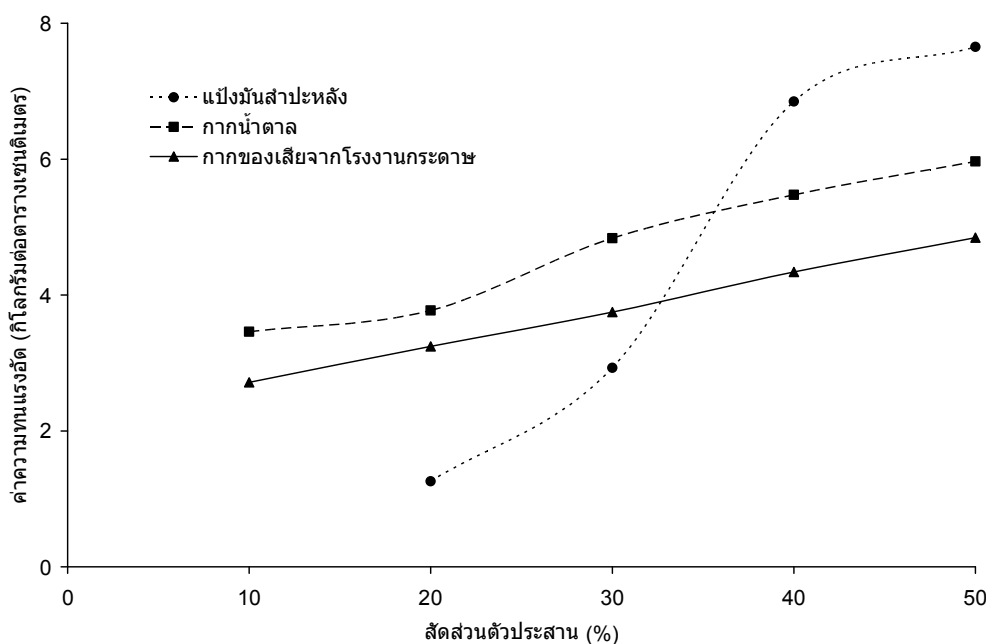


4.4.2 การทดสอบค่าความทนแรงอัด

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าความทนแรงอัด แสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน ค่าความทนแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความทนแรงอัดเท่ากับ 1.2592, 2.9275, 6.8482 และ 7.6529 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความทนแรงอัดเท่ากับ 3.4601, 3.7734, 4.8363, 5.4742 และ 5.9671 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความทนแรงอัดเท่ากับ 2.7160, 3.2449, 3.7478, 4.3387 และ 4.8440 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติและไพลิน (2548) ที่ศึกษาการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงก้อนโดยใช้ถ่านชาร์ที่ละเอียดเพียงอย่างเดียว มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในสัดส่วน 5, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความทนแรงอัดของเชื้อเพลิงแท่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่เติมลงไปเป็นตัวประสาน

ภาพที่ 4.5

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความทนแรงอัด

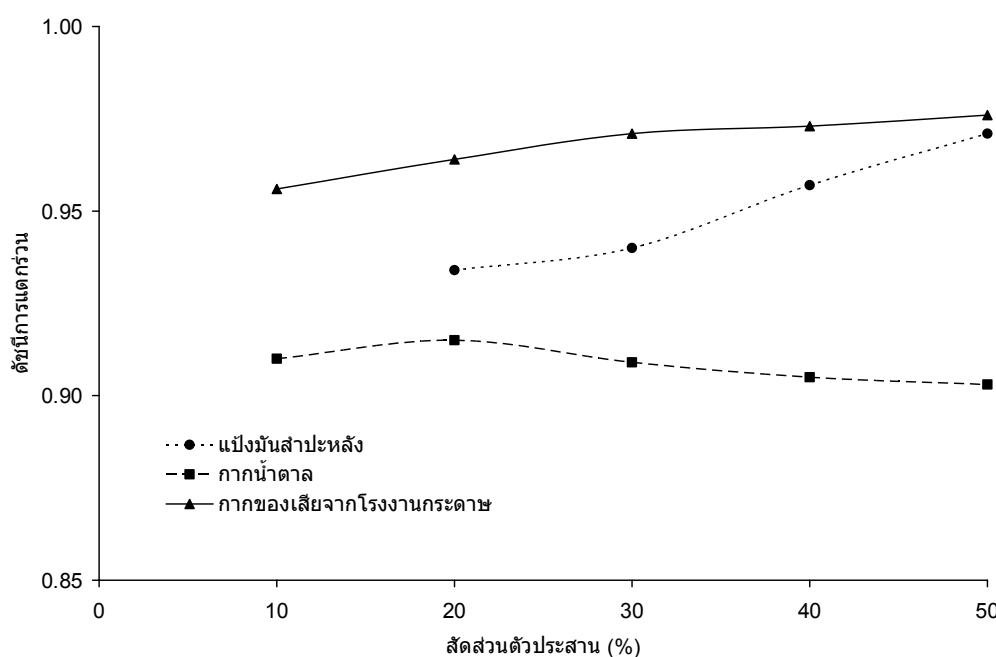


4.4.3 การทดสอบค่าดัชนีการแตกร่วน

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าดัชนีการแตกร่วน แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลัง และกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน ค่าดัชนีการแตกร่วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.934, 0.940, 0.957 และ 0.971 ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.956, 0.964, 0.971, 0.973 และ 0.976 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าดัชนีการแตกร่วนมีแนวโน้มลดลง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.910, 0.915, 0.909, 0.905 และ 0.903 ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 แสดงว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้ที่ทุกชนิดและสัดส่วนของตัวประสานมีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้ไปใช้งานได้

ภาพที่ 4.6

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าดัชนีการแตกร่วน

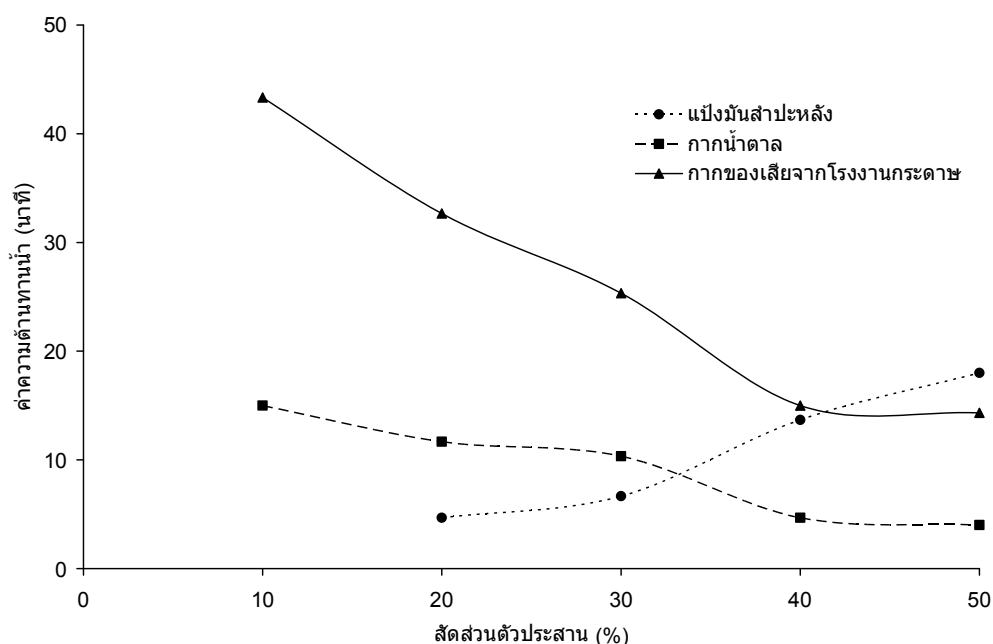


4.4.4 การทดสอบค่าความต้านทานน้ำ

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าความต้านทานน้ำ แสดงดังภาพที่ 4.7 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ค่าความต้านทานน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความต้านทานน้ำเท่ากับ 4.67, 6.67, 13.67 และ 18.00 นาที่ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลและกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความต้านทานน้ำมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกากน้ำตาลดูดความชื้นได้ง่าย จึงส่งผลให้มีค่าความต้านทานน้ำต่ำ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความต้านทานน้ำเท่ากับ 15.00, 11.67, 10.33, 4.67 และ 4.00 นาที่ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความต้านทานน้ำเท่ากับ 43.33, 32.67, 25.33, 15.00 และ 14.33 นาที่ ตามลำดับ

ภาพที่ 4.7

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและค่าความต้านทานน้ำ



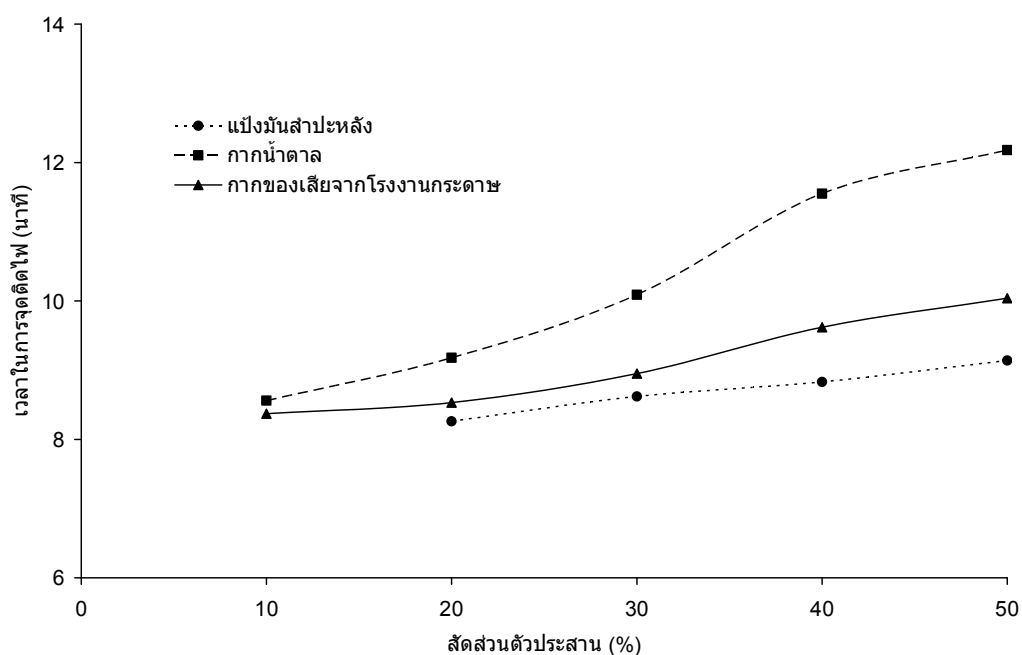
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

4.5.1 การหาเวลาในการจุดติดไฟ

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อเวลาในการจุดติดไฟ แสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แ่งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน เวลาในการจุดติดไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ ใช้เวลาในการจุดติดไฟเท่ากับ 8.26, 8.62, 8.83 และ 9.14 นาที ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ ใช้เวลาในการจุดติดไฟเท่ากับ 8.56, 9.18, 10.09, 11.55 และ 12.18 นาที ตามลำดับ และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ ใช้เวลาในการจุดติดไฟเท่ากับ 8.37, 8.53, 8.95, 9.62 และ 10.04 นาที ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า การใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จะใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โดยประมาณกล่าวคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จะมีปริมาณสารระเหยได้สูง จึงมีความสามารถในการจุดติดไฟได้ดีที่สุด

ภาพที่ 4.8

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและเวลาในการจุดติดไฟ

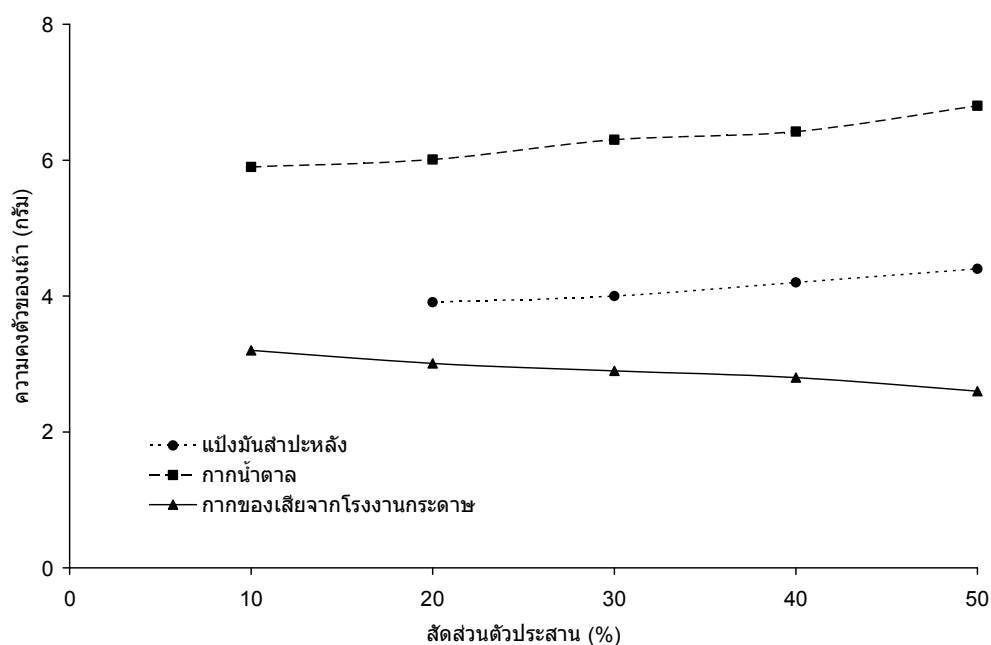


4.5.2 การหาค่าความคงตัวของเถ้า

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อค่าความคงตัวของเถ้า แสดงดังภาพที่ 4.9 พบว่า สัดส่วนของตัวประสานแต่ละชนิดไม่ได้ทำให้ค่าความคงตัวของเถ้าแตกต่างกันมากนัก โดยเมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แบริ่งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ค่าความคงตัวของเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความคงตัวของเถ้าเท่ากับ 3.91, 4.00, 4.20 และ 4.40 กรัม ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความคงตัวของเถ้าเท่ากับ 5.90, 6.01, 6.30, 6.42 และ 6.80 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความคงตัวของเถ้ามีแนวโน้มลดลง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ มีค่าความคงตัวของเถ้าเท่ากับ 3.20, 3.01, 2.90, 2.80 และ 2.60 กรัม ตามลำดับ

ภาพที่ 4.9

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและความคงตัวของเถ้า

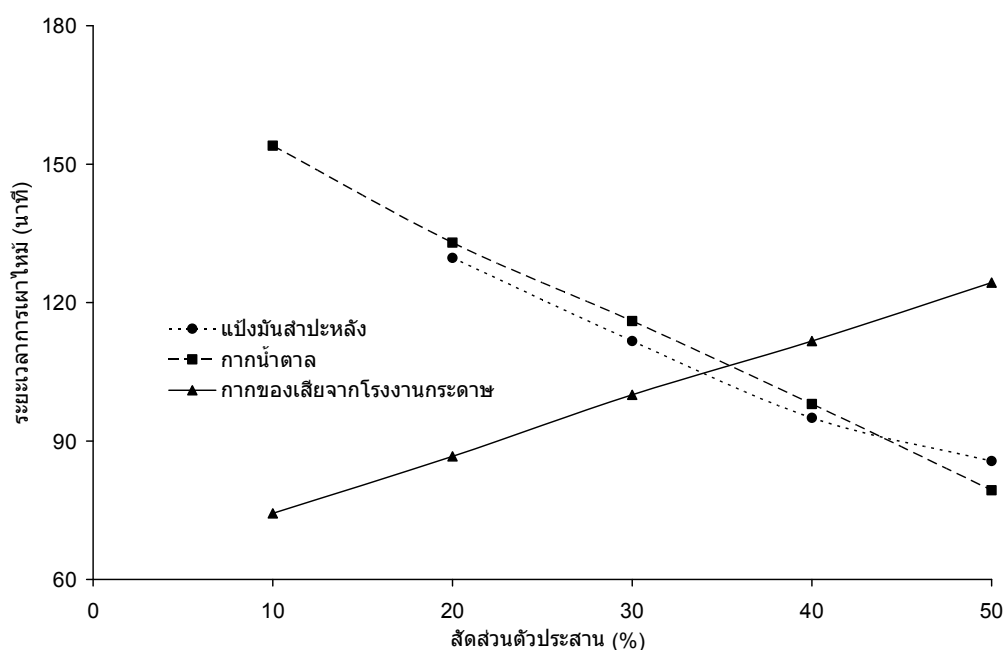


4.5.3 การหาระยะเวลาการเผาไหม้

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของตัวประสานชนิดต่างๆ ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่มีต่อระยะเวลาการเผาไหม้ แสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน ระยะเวลาการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ จะมีระยะเวลาการเผาไหม้เท่ากับ 74.33, 86.67, 100.00, 111.67 และ 124.33 นาที ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้แยมันสำปะหลังและกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน พบว่า ระยะเวลาการเผาไหม้มีแนวโน้มลดลง โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวยึดประสานที่สัดส่วนต่างๆ จะมีระยะเวลาการเผาไหม้เท่ากับ 129.67, 111.67, 95.00 และ 85.67 นาที ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วนต่างๆ จะมีระยะเวลาการเผาไหม้เท่ากับ 154.00, 133.00, 116.00, 98.00 และ 79.33 นาที ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จะมีระยะเวลาการเผาไหม้นานที่สุด ตามด้วยการใช้แยมันสำปะหลัง และกากของเสียจากโรงงานกระดาษ

ภาพที่ 4.10

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประสานและระยะเวลาการเผาไหม้



4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง มาคิดในการคำนวณ เนื่องจากอัดง่าย มีผิวเรียบน่าใช้ มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดต่ำ โดยทำการศึกษาปริมาณของเศษซังข้าวโพดที่ใช้ในการอัดแท่ง มีผลต่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างไร ปริมาณเศษซังข้าวโพดที่ใช้ในการอัดแท่งในช่วง 1-60 ตัน จะใช้ 1 สายการผลิต และปริมาณเศษซังข้าวโพดที่ใช้ในการอัดแท่งในช่วง 80-120 ตัน จะใช้ 2 สายการผลิต เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิต ในแต่ละสายการผลิตจะใช้เครื่องจักร 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยเครื่องบดขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง, เครื่องผสมขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง และเครื่องอัดแท่งขนาด 7.5 แรงม้า 1 เครื่อง เงินลงทุนที่ใช้ในการซื้อเครื่องจักร 1 ชุด เท่ากับ 300,000 บาท ดังนั้น ที่ 1 สายการผลิตจะใช้เงินลงทุนทั้งหมด 300,000 บาท และที่ 2 สายการผลิต จะใช้เงินลงทุนทั้งหมด 600,000 บาท จากการคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ใช้ 1 สายการผลิต

ปริมาณ เศษซังข้าวโพด (ตัน)	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C	PB (ปี)
1	-349,390.98	-	0.41	-
5	-136,180.33	-	0.89	-
10	-40,408.86	4.93	1.00	11.87
20	240,179.03	17.31	1.10	5.37
40	712,666.50	35.48	1.14	2.80
50	990,360.69	45.73	1.16	2.18
60	892,891.18	42.15	1.11	2.36

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 1-10 ตัน ให้ผลการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า เนื่องจากคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เป็นลบ ในขณะที่การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 20-60 ตัน ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่า เนื่องจากคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เป็นบวก โดยการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 50 ตัน จะให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากสามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุนได้มากที่สุด อีกทั้งยังใช้เวลาในการคืนทุนน้อยที่สุด ทั้งนี้ การที่การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 50 ตัน ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่ากว่าการอัดแท่งที่ปริมาณ 60 ตัน เนื่องจากการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 60 ตัน มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าบำรุงรักษามากกว่าการอัดแท่งที่ปริมาณ 50 ตัน ดังนั้น เมื่อคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ออกมาแล้ว จึงพบว่า การลงทุนอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 50 ตัน ให้ผลที่คุ้มค่ากว่าที่ปริมาณ 60 ตัน

ตารางที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ใช้ 2 สายการผลิต

ปริมาณ เศษซังข้าวโพด (ตัน)	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C	PB (ปี)
80	1,425,332.94	35.48	1.14	2.80
100	1,980,721.32	45.73	1.16	2.18
120	1,785,782.36	42.15	1.11	2.36

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 80-120 ตัน ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่า เนื่องจากคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เป็นบวก โดยการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตัน จะให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากสามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุนได้มากที่สุด อีกทั้งยังใช้เวลาในการคืนทุนน้อยที่สุด ทั้งนี้ การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตัน ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่ากว่าการอัดแท่งที่ปริมาณ 120 ตัน เนื่องจากการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 120 ตัน มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าบำรุงรักษามากกว่าการอัดแท่งที่ปริมาณ 100 ตัน ดังนั้น เมื่อคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ออกมาแล้ว จึงพบว่า การลงทุนอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตัน ให้ผลคุ้มค่ากว่าที่ปริมาณ 120 ตัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพด และผลของชนิดและสัดส่วนตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด รวมทั้งผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของเศษชังข้าวโพด พบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12%, ปริมาณเถ้า 3.19%, ปริมาณสารระเหยได้ 71.03%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66% และค่าความร้อน 4054.56 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเศษชังข้าวโพดมีคุณสมบัติสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้
2. น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวประสาน เนื่องจากไม่สามารถอัดแท่งเศษชังข้าวโพดได้
3. ผลของชนิดและสัดส่วนตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงดังตารางที่ 5.1
4. ในทางปฏิบัติ การอัดแท่งเศษชังข้าวโพดที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลังเหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัดง่าย มีผิวเรียบน่าใช้ มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ
5. จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การอัดแท่งเศษชังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตัน โดยใช้ 2 สายการผลิต ให้ผลที่คุ้มค่าที่สุด โดยคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value: NPV) ได้เท่ากับ 1,980,721.32 บาท, อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 45.73%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) เท่ากับ 1.16, และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) เท่ากับ 2.18 ปี

ตารางที่ 5.1

ผลของชนิดและสัดส่วนตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ชนิด ตัวประสาน	สัดส่วน ตัวประสาน	คุณสมบัติที่ดีที่สุดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
แป้งมันสำปะหลัง	10%	เวลาในการจุดติดไฟต่ำสุด = 8.26 นาที
	50%	ค่าความหนาแน่นสูงสุด = 0.434 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความทนแรงอัดสูงสุด = 7.6529 กก./ตร.ซม.
กากน้ำตาล	10%	ระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด = 154 นาที
	50%	ค่าความคงตัวของเถ้าสูงสุด = 6.80 กรัม
กากของเสียจากโรงงาน กระดาษ	10%	ค่าความต้านทานน้ำสูงสุด = 43.33 นาที
	50%	ค่าความร้อนสูงสุด = 4,366 แคลอรี/กรัม ค่าดัชนีการแตกร่วนสูงสุด = 0.976

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษากการปล่อยก๊าซมลพิษจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพดเพิ่มเติม
2. ควรมีการทดลองใช้ตัวประสานชนิดอื่นที่สามารถลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพดให้ต่ำลง
3. ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เศษชังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว หากมีการนำวัตถุดิบอย่างอื่นมาผสมอาจทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดีขึ้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

กัญจนา บุญยเกียรติ (2544). *เชื้อเพลิงและการเผาไหม้*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร

บทความวารสาร

ประลอง ดำรงค์ไทย (2547). *แท่งเชื้อเพลิงชีวะทดแทนฟืนและถ่าน*. วารสาร ปีที่ 57, ฉบับที่ 1, หน้า 53-60

พุดินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ (2546). *ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้*. กรุงเทพฯ : ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2535)

วิทยานิพนธ์

กิตติ ยิ่งโยชน์ และไพลิน โลโท (2548). *รายงานปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)*. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จิรพล จารุชาติธาดา และกฤติยา พรใหม่ (2548). *การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์แบบประมาณและการวิเคราะห์แบบละเอียด และระหว่างการวิเคราะห์แบบประมาณกับค่าความร้อนสำหรับชีวมวล*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รายการอ้างอิง (ต่อ)

จุฑามาศ บุษราคัมวดี (2547). สมบัติของถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลังโดยอ้างอิงถึง แหล่ง
วัตถุดิบ ขนาดผง และอัตราส่วนตัวประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุติพร อินทะนิน (2552). การศึกษาสมบัติของเถ้าลอยจากกระบวนการแปรรูปแคลเซียม
คาร์บอเนตเป็นปูนขาวเพื่อนำไปทำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา
โทบริหาร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, นภัตตวงศ์ โอสสถิลป์ และสุธีรา งานชูกิจ (2548). การศึกษาความเป็นไปได้
ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากขี้ข้าวโพดผสมถ่านจากกะลามะพร้าว. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ปฐมศก วิไลพล, วีระศักดิ์ เกิดแสง และณรงค์ มั่นคงเกิด (2548). การผลิตถ่านอัดจากขี้ข้าวโพด
แบบเดิมกลั่น. มหาวิทยาลัยนเรศวร

วนิดา จาดดำ (2548). การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัด
แบบเกลียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุภาภรณ์ มานะรังสรรค์ และนายอภิชัย เทอดเทียนวงศ์ (2532). การใช้แกลบข้าวที่ถูกคาร์บอนไนซ์
แล้วเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สงวนศักดิ์ ศรีพลัง (2550). การผลิตเชื้อเพลิงแท่งโดยการอัดรีดชีวมวลผสมถ่านชาร์จากกาก
ตะกอนน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Articles

ASTM Standards, D3172 (1997). *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D3173 (1997). *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D3174 (1997). *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D3175 (1997). *Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D3177 (1997). *Standard Test Method for Total Sulphur in the Analysis Sample of Coal and Coke*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D3286 (1997). *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isoperibol Bomb Calorimeter*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- A. Demirbas (1999). *Physical properties of briquettes from waste paper and wheat straw mixtures*. Energy Conversion & Management, 40, 437-445.
- Bhattacharya, S.C., Ram M. Sivasakthy, S and Shrestha, S. (1988). *State of the Art for Biocoal Technology*. Biocoal Project, AIT-GTZ. Thailand.
- Bryand, B. (1985). *Understanding Briquetting*. Volunteers in Technical Assistance (VITA).
- 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
- Karchesy, J. and Koch, P. (1979). *Energy Production from Hard Woods Growing on Southern Pine Sites*. General Technical Report SO-24. USDA Forest Service.
- Mishra, L.K. and Grover P.D. (1996). *Biomass Briquetting*. Technology and Practices. Bangkok : Food and Agriculture Organization the United Nations Bangkok.
- 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.
- S. Yaman, M. Sahan, H. Haykiri-acma, K. Sesen and S. Kucukbayrak (2000). *Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste*. Fuel Processing Technology, 68, 23-31.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

S. Yaman, M. Sahan, H. Haykiri-acma, K. Sesen and S. Kucukbayrak (2001). *Fuel briquettes from biomass-lignite blends*. Fuel Processing Technology, 72, 1-8.

Ulker Gurbuz Beker (1997). *Briquetting of Afsin-Elbistan lignite of Turkey using different waste materials*. Fuel Processing Technology, 51, 137-144.

Wayne Coates (2000). *Using cotton plant residue to produce briquettes*. Biomass & Bioenergy, 18, 201-208

Electronic Media

[http://aphinant.aru.ac.th/wp-content/uploads/2008/10/chapt8-investment-analysis.ppt#256,1,Chapter 8 : Investment Analysis](http://aphinant.aru.ac.th/wp-content/uploads/2008/10/chapt8-investment-analysis.ppt#256,1,Chapter%208%20Investment%20Analysis), access date: 16 October 2009

<http://businessfinance.site50.net/Capital%20Budgeting/3.htm>, access date: 16 October 2009

<http://www.bot.or.th>, access date: 19 February 2009

<http://www.charcoal.snmcenter.com>, access date: 5 March 2009

<http://www.coal-thailandbest.com/tprocess.html>, access date: 5 March 2009

<http://www.dede.go.th>, access date: 7 March 2009

รายการอ้างอิง (ต่อ)

<http://www.diw.go.th>, access date: 11 March 2009

<http://www.efc.or.th>, access date: 28 April 2006

http://www.eppo.go.th/retail_prices.html, access date: 25 February 2010

<http://www.rd.go.th>, access date: 18 February 2010

<http://www.rsu.ac.th>, access date: 18 February 2010

<http://www.sema.go.th>, access date: 9 March 2009

<http://www.thaiceotokyo.jp>, access date: 18 February 2010

<http://122.155.0.114/RDPB/Upload/Document/Economics.ppt#256,1>, การวิเคราะห์ความ
คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์, access date: 16 October 2009

learners.in.th/file/siwaporn_p/IRR.doc, access date: 16 October 2009

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ASTM D3172

ก.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content, M), ASTM D3173

เครื่องมือ ตู้อบ (Oven), Crucible, Desiccator

วิธีการทดลอง

1. อบ Crucible ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 15 นาที นำเข้า Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน crucible ชั่งน้ำหนัก
3. นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 1 ชั่วโมง
4. นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

โดยที่ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนัก Crucible และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก Crucible และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash, A), ASTM D3174

เครื่องมือ เตาเผาแบบ Muffle, Quartz Crucible, Desiccator

วิธีการทดลอง

1. อบ Quartz Crucible ที่อุณหภูมิ 105 °C ในตู้อบ ประมาณ 15 นาที นำเข้า Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Quartz Crucible ชั่งน้ำหนัก แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C นาน 3 ชั่วโมง
3. นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = \frac{W_6 - W_5}{W} \times 100$$

- โดยที่ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า
 W_5 = น้ำหนักของ Quartz Crucible ก่อนเผา (กรัม)
 W_6 = น้ำหนัก Quartz Crucible และตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
 W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matter, VM), ASTM D3175

เครื่องมือ เตาเผาแบบ Muffle, Quartz Crucible พร้อมฝา, Desiccator

วิธีการทดลอง

1. อบ Quartz Crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 105 °C ในตู้อบ ประมาณ 15 นาที นำเข้า Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Quartz Crucible ชั่งน้ำหนัก
3. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 900 °C นาน 6 นาที
4. นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$VM = \left[\frac{W_3 - W_4}{W} \times 100 \right] - M$$

- โดยที่ VM = ร้อยละของปริมาณสารระเหยได้
 M = ร้อยละของปริมาณความชื้น
 W_3 = น้ำหนักของ Quartz Crucible พร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
 W_4 = น้ำหนักของ Quartz Crucible พร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
 W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\%FC = 100 - (\%M + \%VM + \%A)$$

ก.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value), ASTM D3286

เครื่องมือ Bomb Calorimeter แบบ Isoperibol พร้อมชุดทดลองบอมป์แคลอริมิเตอร์, ปีกเกอร์ ปิเปต, บิวเรต, ขวดรูปชมพู่, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง (เบอร์ 2 และ 42 ชนิดไร้เถ้า), เตาเผา แบบ Muffle, ตู้อบ (Dry Oven), Ceramic Crucible, Desiccators

สารเคมี

- สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) 100 กรัม/ลิตร
- สารละลายกรดเกลือ (HCl) 1:9
- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.0709 โมล/ลิตร
- สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด (AgNO_3) 4.3 กรัม/ลิตร
- เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange)

วิธีการวิเคราะห์

ก.2.1 การหาค่ามาตรฐานของเครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์ (Water Equivalent)

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเผาไหม้ (Combustion Capsule) แล้วใส่กรดเบนโซอิกอัดเม็ดน้ำหนักประมาณ 1 g ลงในถ้วยเผาไหม้ ชั่งน้ำหนักให้แยกธาตุถึง 1 มิลลิกรัม
2. ตัดลวดยาวประมาณ 10 cm และวัดความยาว ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งอิเล็กโทรดของฝาบอมป์
3. วางถ้วยเผาไหม้ที่ใส่กรดเบนโซอิกอัดเม็ดบนห่วงอิเล็กโทรดที่ติดอยู่ด้านในของฝาบอมป์ จัดลวดให้อยู่ที่บริเวณผิวหน้าของกรดเบนโซอิกอัดเม็ด (ระวังอย่าให้ลวดแตะกับถ้วยเผาไหม้)
4. ชั่งน้ำหนักน้ำ ให้ได้ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร ให้แยกธาตุถึง ± 0.01 กรัม ใส่ลงในถังบรรจุบอมป์ (Bucket)
5. ใส่น้ำกลั่นลงในตัวบอมป์ 1 มิลลิลิตร จากนั้นประกอบฝาบอมป์เข้ากับตัวบอมป์ นำไปอัดก๊าซออกซิเจนที่ความดัน 450 ปอนด์/ตารางนิ้ว นำไปวางในถังบรรจุบอมป์ เสียบสายอิเล็กโทรดเข้ากับขั้วทั้งสองของตัวบอมป์และปิดฝาเครื่อง
6. เปิดสวิตช์ แล้วกดปุ่ม F1 รอประมาณ 15 นาที จนกระทั่งหน้าจอขึ้นคำว่า "stand by"
7. กดปุ่ม Start และเมื่อหน้าจอขึ้นคำว่า "sample ID" ให้พิมพ์ sample ID ที่ต้องการลงไป กดปุ่ม Enter เมื่อหน้าจอขึ้นคำว่า "sample wt." ให้ใส่น้ำหนักของกรดเบนโซอิกอัดเม็ด (ตามที่ได้ชั่งมา) แล้วกดปุ่ม Enter จากนั้นเครื่องจะเริ่มทำงาน โดยเครื่องจะมีเสียงสัญญาณสั้นๆ หลายครั้ง เมื่อมีการจุระเบิด
8. รอจนกระทั่งมีเสียงสัญญาณครั้งที่สอง (ซึ่งเป็นเสียงยาว) กดปุ่ม done เครื่องจะพิมพ์ผลการทดลองออกมา

9. เปิดฝาเครื่อง นำบอมบ์ออกจากถังบรรจุบอมบ์ ปลดปล่อยก๊าซออกจากตัวบอมบ์อย่างช้าๆ จนกระทั่งหมด

10. ล้างฝาและตัวบอมบ์ พร้อมด้วยถ้วยเผาไหม้ด้วยสารละลาย Methyl Orange (ซึ่งจะได้สารละลายสีแดง) จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองจึงหยุดล้าง นำน้ำล้างที่ได้มาไตเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0709 โมล/ลิตร สังเกตจุดยุติจากการที่สารละลายเปลี่ยนสีจากสีแดงไปเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไป

11. วัดความยาวหลอดที่เหลือ บันทึกค่า

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$W = \frac{[(H)g + e_1 + e_2]}{t}$$

โดยที่ W = ค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (แคลอรี/องศาเซลเซียส)
 H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิก (แคลอรี/กรัม)
 (ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6315.2 แคลอรี/กรัม)
 g = น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (กรัม)
 e₁ = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)
 = (จำนวน ml ของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0709 โมล/ลิตร)
 e₂ = การแก้ค่าความร้อนของหลอด (แคลอรี)
 = (2.3 × ความยาวของหลอดที่ใช้เป็นเซนติเมตร)
 t = อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้แก้ค่าเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (องศาเซลเซียส)

ก.2.2 การหาค่าความร้อนของตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเผาไหม้ (Combustion Capsule) แล้วเติมตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยเผาไหม้ ชั่งน้ำหนักให้แยกธาตุถึง 1 มิลลิกรัม
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ตามข้อ 2-11

ก.2.3 การหาปริมาณกำมะถันในตัวอย่างด้วยวิธี Bomb Washing Method, ASTM

D3177

1. นำน้ำล้างบอมบ์ที่ได้หลังการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตแล้ว มากรองขณะร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดเกลือ (HCl) 1:9 ซึ่งสังเกตได้จากการที่สีของสารละลายกลายเป็นสีแดง

2. ต้มสารละลายที่ได้จากข้อ 1 ให้เดือด และเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร ขณะเดือด ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนหรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง

3. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบได้ด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

4. นำกระดาษกรองที่ได้พร้อมกับตะกอน ใส่ใน Ceramic Crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ $104-110^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$Q = \frac{[t(W) - e_1 - e_2 - e_3]}{g}$$

- โดยที่ Q = ค่าความร้อนของสารตัวอย่าง (แคลอรี/กรัม)
- t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงขึ้นได้แก่ค่าเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (องศาเซลเซียส)
- W = ค่ามาตรฐานของเครื่องบอมป์แคลอริมิเตอร์ (แคลอรี/องศาเซลเซียส)
- e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)
- = (จำนวน ml ของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0709 โมล/ลิตร)
- e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก (แคลอรี)
- = $(13.7 \times \text{ร้อยละกำมะถันรวม})$
- e_3 = การแก้ค่าความร้อนของหลอด (แคลอรี)
- = $(2.3 \times \text{ความยาวของหลอดที่ใช้เป็นเซนติเมตร})$
- e_4 = การแก้ค่าความร้อนของถ้วย = 0
- g = น้ำหนักของถ่านหิน (กรัม)

$$\text{ร้อยละกำมะถันรวม} = \frac{13.738 \times (A - B)}{g}$$

- โดยที่ A = น้ำหนักของตะกอนของ BaSO_4 ในตัวอย่าง (กรัม)
- B = น้ำหนักของตะกอนของ BaSO_4 ใน blank (กรัม) (มีค่าเท่ากับ 0)
- C = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

ข.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข.1

ปริมาณความชื้น

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษขี้ข้าวโพด	8.1267	8.1084	8.1176	8.1176
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	4.4037	4.4259	4.4199	4.4165
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	4.5811	4.5992	4.6143	4.5982
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	4.8105	4.8001	4.7993	4.8033
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	4.9481	4.9591	4.9479	4.9517
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากน้ำตาล	5.8243	5.8113	5.8079	5.8145
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากน้ำตาล	5.8489	5.8637	5.8737	5.8621
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากน้ำตาล	5.9015	5.9124	5.9047	5.9062
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากน้ำตาล	5.9369	5.9577	5.9494	5.9480
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากน้ำตาล	5.9856	5.9984	6.0079	5.9973
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	5.0241	5.0139	5.0172	5.0184
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	5.2840	5.2615	5.2795	5.2750

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	5.5038	5.5189	5.5190	5.5139
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	5.6995	5.6894	5.6934	5.6941
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	5.8007	5.8104	5.7958	5.8023

ตารางที่ ๗.2
ปริมาณเก่า

ตัวอย่าง	เก่า (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษขี้ข้าวโพด	3.1923	3.1897	3.1990	3.1937
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	3.3456	3.3622	3.3428	3.3502
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	3.4911	3.4785	3.4869	3.4855
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	3.5671	3.5803	3.5752	3.5742
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	3.7101	3.7012	3.6926	3.7013
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากน้ำตาล	3.9021	3.9103	3.8912	3.9012
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากน้ำตาล	3.9427	3.9681	3.9539	3.9549
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากน้ำตาล	4.0087	4.0181	4.0104	4.0124
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากน้ำตาล	4.0483	4.0659	4.0640	4.0594
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากน้ำตาล	4.1243	4.1433	4.1329	4.1335
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.2759	3.2832	3.2971	3.2854
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.2104	3.2031	3.2096	3.2077
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.1382	3.1527	3.1501	3.1470
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.0287	3.0418	3.0357	3.0354
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	2.9064	2.9101	2.8943	2.9036

ตารางที่ ๗.3
ปริมาณสารระเหยได้

ตัวอย่าง	สารระเหยได้ (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษขี้ข้าวโพด	71.0275	71.0312	71.0230	71.0272
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	75.7989	75.8052	75.8007	75.8016
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	75.6842	75.7088	75.7013	75.6981
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	75.5001	75.4992	75.5088	75.5027
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	75.3081	75.3224	75.3142	75.3149
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากน้ำตาล	74.0876	74.0961	74.0998	74.0945
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากน้ำตาล	73.8453	73.8532	73.8572	73.8519
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากน้ำตาล	73.7092	73.7102	73.6881	73.7025
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากน้ำตาล	73.5340	73.5422	73.5681	73.5481
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากน้ำตาล	73.3172	73.3351	73.3218	73.3247
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	75.2991	75.3084	75.3030	75.3035
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	75.0872	75.0955	75.1119	75.0982
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	74.8405	74.8621	74.8597	74.8541
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	74.4160	74.4371	74.4099	74.4210
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	74.1435	74.1584	74.1613	74.1544

ตารางที่ ข.4
ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ตัวอย่าง	คาร์บอนคงตัว (%)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษขี้ข้าวโพด	17.6535	17.6707	17.6604	17.6615
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	16.4211	16.4339	16.4401	16.4317
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	16.2068	16.2179	16.2299	16.2182
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	16.1345	16.1182	16.1067	16.1198
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	16.0225	16.0414	16.0324	16.0321
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากน้ำตาล	16.1782	16.1890	16.2022	16.1898
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากน้ำตาล	16.3215	16.3403	16.3315	16.3311
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากน้ำตาล	16.3675	16.3701	16.3751	16.3709
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากน้ำตาล	16.4347	16.4425	16.4563	16.4445
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากน้ำตาล	16.5342	16.5419	16.5574	16.5445
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	16.3831	16.3918	16.4032	16.3927
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	16.4088	16.4178	16.4307	16.4191
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	16.4730	16.4829	16.4991	16.4850
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	16.8389	16.8499	16.8597	16.8495
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	17.1291	17.1378	17.1522	17.1397

ตารางที่ ๗.5

ค่าความร้อน

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เศษขี้ข้าวโพด	4060.55	4012.34	4090.80	4054.56
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	4261.66	4250.85	4260.59	4257.70
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	4246.83	4239.02	4242.64	4242.83
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	4235.67	4220.54	4222.12	4226.11
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	4219.08	4207.03	4221.50	4215.87
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากน้ำตาล	4230.43	4235.14	4238..77	4234.78
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากน้ำตาล	4229.05	4228.11	4229.42	4228.86
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากน้ำตาล	4220.73	4218.64	4224.59	4221.32
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากน้ำตาล	4213.56	4203.31	4205.72	4207.53
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากน้ำตาล	4198.72	4187.98	4195.51	4194.07
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4302.78	4318.66	4310.33	4310.59
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4325.43	4329.80	4338.91	4331.38
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4340.35	4346.57	4347.66	4344.86
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4350.11	4357.91	4348.82	4352.28
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัดส่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4367.00	4359.72	4372.06	4366.26

ข.2 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข.6

ความหนาแน่น

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	0.287	0.290	0.299	0.292
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	0.310	0.311	0.310	0.310
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	0.412	0.417	0.413	0.414
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	0.437	0.432	0.433	0.434
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 10% กากน้ำตาล	0.374	0.378	0.373	0.375
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 20% กากน้ำตาล	0.408	0.404	0.409	0.407
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 30% กากน้ำตาล	0.414	0.413	0.415	0.414
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 40% กากน้ำตาล	0.418	0.414	0.416	0.416
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 50% กากน้ำตาล	0.416	0.420	0.421	0.419
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.399	0.394	0.398	0.397
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.362	0.367	0.360	0.363
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.358	0.359	0.357	0.358
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.354	0.353	0.351	0.353
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่ลัดส่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.351	0.350	0.352	0.351

ตารางที่ ๗.7
ความทนแรงอัด

ตัวอย่าง	ค่าความทนแรงอัด (kg/cm ²)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	1.2231	1.2649	1.2896	1.2592
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	2.9030	2.9249	2.9547	2.9275
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	6.8156	6.8806	6.8485	6.8482
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	7.6526	7.6970	7.6090	7.6529
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	3.4273	3.4712	3.4818	3.4601
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	3.7981	3.7656	3.7564	3.7734
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	4.8576	4.8357	4.8156	4.8363
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	5.4950	5.4440	5.4837	5.4742
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	5.9192	5.9771	6.0050	5.9671
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	2.7530	2.7151	2.6800	2.7160
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.2008	3.2516	3.2823	3.2449
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.7682	3.7220	3.7531	3.7478
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4.3116	4.3668	4.3378	4.3387
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	4.8491	4.8793	4.8035	4.8440

ตารางที่ ๗.8
ดัชนีการแตก่วน

ตัวอย่าง	ค่าดัชนีการแตก่วน			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	0.933	0.937	0.932	0.934
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	0.940	0.941	0.939	0.940
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	0.957	0.955	0.959	0.957
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	0.972	0.970	0.971	0.971
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	0.909	0.908	0.913	0.910
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	0.913	0.917	0.915	0.915
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	0.910	0.908	0.909	0.909
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	0.904	0.905	0.906	0.905
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	0.903	0.902	0.903	0.903
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.958	0.954	0.956	0.956
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.964	0.968	0.960	0.964
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.970	0.971	0.972	0.971
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.974	0.973	0.972	0.973
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	0.975	0.979	0.974	0.976

ตารางที่ ๗.9
ความต้านทานน้ำ

ตัวอย่าง	ค่าความต้านทานน้ำ (mins)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	5	5	4	4.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	7	6	7	6.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	10	15	16	13.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	18	16	20	18.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	15	13	17	15.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	12	10	13	11.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	11	11	9	10.33
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	6	3	5	4.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	5	3	4	4.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	47	40	43	43.33
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	35	33	30	32.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	25	27	24	25.33
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	17	14	14	15.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	14	15	14	14.33

ข.3 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางที่ ข.10

เวลาในการจุดติดไฟ

ตัวอย่าง	เวลาในการจุดติดไฟ (mins)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	8.23	8.25	8.30	8.26
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	8.55	8.68	8.63	8.62
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	8.78	8.89	8.82	8.83
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	9.10	9.18	9.14	9.14
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	8.48	8.63	8.57	8.56
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	9.17	9.25	9.12	9.18
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	10.13	10.10	10.03	10.09
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	11.57	11.48	11.60	11.55
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	12.25	12.17	12.13	12.18
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	8.30	8.38	8.42	8.37
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	8.52	8.50	8.57	8.53
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	8.90	8.94	9.01	8.95
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	9.60	9.68	9.58	9.62
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	10.03	10.11	9.98	10.04

ตารางที่ ข.11
ค่าความคงตัวของเถ้า

ตัวอย่าง	ค่าความคงตัวของเถ้า (g)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	3.92	3.90	3.91	3.91
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	4.02	4.00	3.99	4.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	4.22	4.18	4.19	4.20
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	4.42	4.39	4.40	4.40
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	5.92	5.89	5.90	5.90
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	6.02	6.01	6.00	6.01
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	6.32	6.30	6.29	6.30
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	6.42	6.41	6.42	6.42
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	6.82	6.80	6.78	6.80
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.22	3.20	3.18	3.20
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	3.02	3.02	2.99	3.01
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	2.92	2.91	2.88	2.90
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	2.82	2.80	2.79	2.80
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	2.62	2.59	2.58	2.60

ตารางที่ ข.12
ค่าระยะเวลาการเผาไหม้

ตัวอย่าง	ระยะเวลาการเผาไหม้ (mins)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% แป้งมันสำปะหลัง	130	127	132	129.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% แป้งมันสำปะหลัง	110	111	114	111.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% แป้งมันสำปะหลัง	93	97	95	95.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง	86	88	83	85.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากน้ำตาล	155	150	157	154.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากน้ำตาล	137	130	132	133.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากน้ำตาล	114	116	118	116.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากน้ำตาล	96	98	100	98.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากน้ำตาล	81	80	77	79.33
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 10% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	76	71	76	74.33
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 20% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	89	84	87	86.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 30% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	98	100	102	100.00
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 40% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	109	112	114	111.67
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขี้ข้าวโพด ที่สัสด่วน 50% กากของเสียจากโรงงานกระดาษ	121	125	127	124.33

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง มาคิดในการคำนวณ เนื่องจากอัดง่าย มีผิวเรียบน่าใช้ มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด มีดังต่อไปนี้

1. อายุของโครงการ 15 ปี
2. อัตราภาษีเงินได้นิติบุคคล เท่ากับ ร้อยละ 30 ของกำไรสุทธิ
3. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ เท่ากับ ร้อยละ 6.8750 ต่อปี
4. ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย เท่ากับ 3.1 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
5. เวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 250 วันต่อปี
6. อัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อ 1 นาที

เงินลงทุนของโครงการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด ก็คือ เงินที่ใช้ในการซื้อเครื่องจักร 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยเครื่องบดขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง, เครื่องผสมขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง และเครื่องอัดแท่งขนาด 7.5 แรงม้า 1 เครื่อง ราคาเท่ากับ 300,000 บาท ดังนั้น สำหรับการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ใช้ 1 สายการผลิต จะใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 300,000 บาท และที่ใช้ 2 สายการผลิต จะใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 600,000 บาท

มูลค่าซากที่กำหนด ณ ปีที่สิ้นสุดอายุโครงการคิดเป็น 25% ของมูลค่าการลงทุนทั้งหมด (คิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง) ดังนั้น สำหรับการอัดแท่งที่ใช้ 1 สายการผลิต จะมีมูลค่าซากเท่ากับ $0.25 \times 300,000 = 75,000$ บาท ในขณะที่การอัดแท่งที่ใช้ 2 สายการผลิต จะมีมูลค่าซากเท่ากับ $0.25 \times 600,000 = 150,000$ บาท

รายรับของโครงการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพด จะพิจารณาจากผลประหยัดจากการลดการใช้ น้ำมันดีเซล โดยตัวอย่างการคำนวณหาผลประหยัดจากการลดการใช้ น้ำมันดีเซล สำหรับการอัดแท่งเศษซังข้าวโพดปริมาณ 1 ตัน โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานอีก 1 ตัน มีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง = 17.50 MJ/kg

ดังนั้น ค่าความร้อนที่จะได้รับทั้งหมด = $\frac{17.50 \text{ MJ}}{1 \text{ kg}} \times 2000 \text{ kg} = 35,000 \text{ MJ}$

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง = 75%

ดังนั้น ค่าความร้อนที่จะได้รับจริง = $35,000 \times 0.75 = 26,250 \text{ MJ}$

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล = 44.209 MJ/kg

คิดพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดีเซล = $\frac{26,250 \text{ MJ}}{44.209 \text{ MJ/kg}} = 593.77 \text{ kg} = 702.69 \text{ L}$

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล = 85%

ดังนั้น จำนวนน้ำมันดีเซลที่เทียบเท่าจริง = $\frac{702.69}{0.85} = 826.69 \text{ L}$

ราคาน้ำมันดีเซลลิตรละ 28.79 บาท

ดังนั้น ผลประหยัดจากการลดการใช้ น้ำมันดีเซล = $826.69 \times 28.79 = 23,800.40$

บาท

ค่าใช้จ่ายของโครงการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษชังข้าวโพด มีรายละเอียดต่างๆ

ดังต่อไปนี้

1. ค่าบำรุงรักษา ซึ่งประกอบด้วย

1.1 การแก้ไขสกรู ต้องเชื่อมพอกหน้าสกรูทุก 2,000 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่าย

ประมาณ 50 บาทต่อวัน

1.2 ค่าน้ำมันเกียร์ 900 บาทต่อปี

1.3 ค่าสายพาน 6 เส้น เท่ากับ 1,080 บาทต่อปี

1.4 ค่าใบตี 60 ใบ เท่ากับ 1,500 บาทต่อปี

2. ค่าไฟฟ้า คิดจากกำลังรวมของเครื่องบด เครื่องผสม และเครื่องอัดแท่ง ซึ่งเท่ากับ

13.5 แอมป์ หรือ 10.0669 กิโลวัตต์ โดยเปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่องเท่ากับ 60%

3. ค่าจ้างคนงาน 7,000 บาทต่อเดือน โดยจะใช้คนงาน 2 คนต่อ 1 สายการผลิต

4. ค่าแป้งมันสำปะหลัง ราคา กิโลกรัมละ 13 บาท

5. ค่าเสียโอกาส จะคิดจากการที่โรงงานต้องสูญเสียรายได้จากการนำเศษชังข้าวโพด

ไปขายโดยตรง

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นางสาวชมธิดา ชื่นนิยม
วันเดือนปีเกิด	16 ธันวาคม พ.ศ.2526
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	นำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมระดับชาติของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนและ มหาวิทยาลัยรังสิต ในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาการเพิ่มมูลค่า ของเศษขี้ข้าวโพดโดยการทำให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง” พ.ศ.2552