

ชีวมวลอัดแท่งถ่านจากผักตบชวาและกะลาตาล
Biomass briquette carbonization from hyacinth and
palmyraplam shell



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ชีวมวลอัดแท่งถ่านจากผักตบชวาและกะลาตาล

Biomass briquette carbonization from water hyacinth and palmyra palm shell



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

Biomass briquette carbonization from water hyacinth and palmyra palm shell



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ชีวมวลอัดแท่งถ่านจากผักตบชวาและกะลาตาล
Biomass briquette carbonization from water hyacinth and palmyra
palm shell

นักศึกษาผู้จัดทำ นายสุสิน คุ่มทรัพย์ รหัสประจำตัว 54011439
นายอัครพงษ์ คงศรี รหัสประจำตัว 54011533
นายเอกสิทธิ์ สุขพันธุ์ถาวร รหัสประจำตัว 54011580

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า	รัชดาภรณ์ แก้วกล้า

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ชีวมวลอัดแห้งถ่านจากผักตบชวาและกะลาตาล		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสุสิน	คัมภีร์พัย	54011439
	นายอัครพงษ์	คงศรี	54011533
	นายเอกสิทธิ์	สุขพันธุ์ถาวร	54011580
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชทางน้ำ และกะลาตาลที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชีวมวลอัดแห้ง และเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับทางเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อมาทำเป็นพลังงานชีวมวล โดยการนำมาอัดแห้งแบบผ่านความร้อนที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและกะลาตาล 25:75, 50:50, 75:25 โดยผักตบชวาและกะลาตาลมีความชื้น 6.33% และ 9.67% ฐานเปียกตามลำดับ อัดด้วยเครื่องอัดแห้งชีวมวลที่ใช้มอเตอร์ขนาด 5 hp โดยกระบวนการอัดขึ้นรูปมีการให้ความร้อนกับกระบอกอัดที่อุณหภูมิ 300-450°C หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการนำไปวัดค่าความร้อน พบว่าค่าความร้อนที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น 3-7% จากนั้นนำชีวมวลอัดแห้งที่ได้มาวัดระยะการมอดดับและอุณหภูมิ ที่ปริมาณของชีวมวลแต่ละอัตราส่วน 500g พบว่าชีวมวลผสมระหว่างผักตบชวาและกะลาตาลที่อัตราส่วน 50:50 ให้ระยะเวลาในการติดไฟนานที่สุดและอุณหภูมิที่ได้มีค่าสูงสุดที่ 98°C นอกจากนี้ขณะทำการทดลองพบว่า ผักตบชวานั้นมีการก่อให้เกิด CO และ NO น้อยกว่ากะลาตาล

คำสำคัญ : ชีวมวล, กะลาตาล, ผักตบชวา, การอัดแห้งแบบให้ความร้อน

Thesis Title Biomass briquette carbonization from water hyacinth and palmyra palm shell

Authors Susin Kumsub
Akarpong kongsri
Ekkasit Sukphantaworn

Thesis Advisor Dr. Rachadaporn Kaewklum

Year 2014

Abstract

This study is intended to use a common weed water hyacinth and palmyra palm shell that is agricultural waste materials to used as raw material for the production of biomass briquettes. And use them for alternative to the selection of raw materials to make biomass briquette. By process blend of palmyra palm shell : water hyacinth is 25:75, 50:50, 75:25, with moisture 6.33% and 9.67% respectively wet base after bringing a biomass through the heat. Biomass briquette press with a 5hp motor by an extrusion process is to heat the cylinder compression temperature 300-450°C. After completing the process used to measure the heat. Found that the heat has increased 3-6%, then the biomass briquettes were duration extinguished and measure the temperature. The amount of biomass each 500g found that biomass ratio mixture of palmyra palm shell : water hyacinth at 50:50 is have the duration extinguished longest and most valuable addition 98°C .In addition during the experimental we know water hyacinth is causing CO and NO less than palmyra palm shell.

Key word : Biomass, palmyra palm shell, water hyacinth, process compress and heat up.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ดร. รัชดาภรณ์ แก้วกล้า อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายสุสิน	คัมทรัพย์	54011439
นายอัครพงษ์	คงศรี	54011533
นายเอกสิทธิ์	สุขพันธุ์ถาวร	54011580



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ชีวมวล.....	3
2.2 คุณสมบัติสำคัญต่างๆของเชื้อเพลิง.....	4
2.3 การวัดองค์ประกอบต่างๆในเชื้อเพลิง.....	6
2.4 กระบวนการคาร์บอนในเขชัน.....	7
2.5 ความแตกต่างระหว่างชีวมวลอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเขชันและแบบ.....	8
ธรรมดา.....	8
2.6 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่3 การออกแบบ การสร้าง และการวิจัย.....	23
3.1 แนวทางการออกแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบร้อน.....	23
3.1.1 การออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูป.....	24
3.1.2 การออกแบบห้องให้ความร้อน.....	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย.....	26
3.2.1 เครื่องอัดชีวมวล.....	26
3.2.2 เครื่องบดย่อย.....	27
3.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด.....	27
3.2.4 เครื่อง bomb calorimeter.....	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.5 เทอร์โมคัปเปิ้ล.....	28
3.2.6 เครื่องวัดมลพิษ (Testo 350XL).....	29
3.2.7 ผักตบชวา.....	29
3.2.8 กะลาตาล.....	30
3.2.9 ปีกเกอร์.....	30
3.2.10 แท่นพร้อมที่จับปีกเกอร์.....	31
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	31
3.4 ระยะเวลาการวิจัย.....	31
3.5 งบประมาณการวิจัย.....	32
3.6 การวางแผนการทดสอบหาค่าการผลิตรองเครื่องอัดแท่งชีวมวล.....	32
3.7 การวางแผนการทดสอบชีวมวลอัดแท่ง.....	33
3.7.1 การทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนอัด แท่งและหลังอัดแท่ง.....	33
3.7.2 การทดลองหาระยะเวลามอดดับ และ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น.....	34
3.7.3 การทดลองวัดค่า CO และ NO.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	35
4.1 องค์ประกอบของชีวมวล.....	35
4.2 ผลการทดลองหาค่าการผลิตรองเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน.....	35
4.3 ผลการทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนและหลัง อัดแท่ง.....	36
4.4 ผลการทดลองหาระยะเวลามอดดับอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น.....	37
4.5 การทดลองการหาค่ามลพิษ (NO,CO) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดแท่ง.....	38
4.5.1 ผลการเกิด CO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน.....	38
4.5.2 ผลการเกิด NO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งต่อไป.....	40
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	43

สารบัญ(ต่อ)

เอกสารอ้างอิง.....

หน้า

47



สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและพลังงาน.....	5
2.2	องค์ประกอบต่างๆในเชื้อเพลิงโดยการวิเคราะห์แบบ Proximate และ Ultimate analysis	7
2.3	แสดงกระบวนการการเกิดคาร์บอนเซชัน (Carbonization).....	8
2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขณะอัดกับความแข็งแรงในการรับแรงกด.....	9
2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการอัด.....	9
2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชีวมวลอัดแห้ง.....	10
2.7	ชีวมวลอัดแห้งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน.....	10
2.8	ชีวมวลอัดแห้งที่อัดแบบธรรมดา.....	11
2.9	เครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบเกลียว.....	13
2.10	เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม.....	14
2.11	การอัดตัวของเม็ดชีวมวลโดยใช้เครื่องอัดเม็ด.....	14
2.12	เครื่องอัดแบบกระบอกสูบ.....	15
2.13	ผลการทนแรงอัดของเม็ดเชื้อเพลิงตามอัตราส่วนในแนวตั้งและแนวนอน.....	16
2.14	กราฟความสัมพันธ์ของเวลากับอุณหภูมิต้มน้ำของเม็ดเชื้อเพลิง.....	17
2.15	เครื่องผลิตถ่านอัดแห้งต้นแบบ.....	18
2.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเกลียวอัดกับความสามารถในการผลิตถ่านอัดแห้งในแต่ละอัตราส่วนผสมของผงถ่านชนิดต่างๆ.....	19
2.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเกลียวอัดกับความหนาแน่นของถ่านอัดแห้งในแต่ละอัตราส่วนผสมของผงถ่านชนิดต่างๆ.....	20
2.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเกลียวอัดกับความแข็งแรงของถ่านอัดแห้งเมื่อกดตามแนวตั้งในอัตราส่วนผสมปริมาณผงถ่านชนิดต่างๆ.....	20
2.19	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนกับส่วนผสมที่ต่างกัน.....	21
2.20	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของถ่านอัดแห้งกับส่วนผสมที่ต่างกัน.....	21
2.21	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการมอดดับของถ่านอัดแห้งกับอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน.....	22
3.1	ขนาดการออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูป.....	24
3.2	แบบจำลอง 3 มิติ ของกระบอกอัดขึ้นรูป.....	24
3.3	ขนาดการออกแบบห้องให้ความร้อน.....	25

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	แบบจำลอง 3 มิติของห้องให้ความร้อน.....	25
3.5	เครื่องอัดชีวมวลแบบสกรู.....	26
3.6	เครื่องบดย่อย.....	27
3.7	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด.....	27
3.8	เครื่อง Bomb calorimeter.....	28
3.9	เทอร์โมคัปเปิ้ล.....	28
3.10	เครื่อง Testo 350XL.....	29
3.11	ผักตบชวาที่ผ่านการตัดและอบแห้งแล้ว.....	29
3.12	กะลาตาลที่ได้จากการที่เหลือทิ้งทางการเกษตร.....	30
3.13	บีกเกอร์ขนาด 300 ml.....	30
3.14	แท่นพร้อมที่จับบีกเกอร์.....	31
4.1	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการมอดดับและอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นของชีวมวลอัดแท่งในอัตราส่วนต่างๆ.....	37
4.2	แสดงค่าการเกิด CO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วน.....	38
4.3	แสดงค่าการเกิด NO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วน.....	38
4.4	ชีวมวลอัดแท่งผักตบชวาและกะลาตาล.....	39
ก-1	ปัญหาชีวมวลมีการติดกันเป็นก้อนแข็งในกระบอกลอด.....	41
ก-2	ออกแบบกระบอกลอดขึ้นรูปของโรงกลบ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา.....	41
ก-3	ชีวมวลอัดแท่งจากสวนจิตรลดา.....	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของชีวมวล.....	6
2.2 ค่าอัตราส่วนผสม.....	16
3.1 แนวทางการออกแบบเครื่องอัดชีวมวลแบบร้อน.....	23
3.2 ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย.....	32
4.1 คุณสมบัติของชีวมวล.....	35
4.2 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งชีวมวลของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน.....	35
4.3 ค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนและหลังอัดแท่ง.....	36
ข-1 ข้อมูลการทดลองหาค่าการเกิด NO Emission.....	43
ข-2 ข้อมูลการทดลองหาค่าการเกิด CO Emission.....	43
ข-3 แสดงการทดลองหาระยะเวลาการมอดดับของชีวมวลอัดแท่งและอุณหภูมิ.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานที่มาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และในหลายประเทศได้ศึกษาเกี่ยวกับชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากความนิยมในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทำให้ราคาของชีวมวลหลายประเภทได้ปรับตัวสูงขึ้น จึงต้องมีการหาวัตถุดิบชนิดใหม่ๆมาเพื่อเพิ่มทางเลือกในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ผักตบชวาเนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่ก่อให้เกิดปัญหาทางน้ำอย่างมาก และมีการแพร่พันธุ์ที่รวดเร็ว จากการศึกษาพบว่า ผักตบชวา 10 ตัน สามารถขยายพันธุ์ได้ถึง 600,000 ตัน ครอบคลุมพื้นที่น้ำ 2.5 ไร่ภายในเวลา 8 เดือน [1] และวัตถุดิบอีกตัว คือ กะลาตาล เนื่องจากมีคุณสมบัติที่คล้ายกับกะลามะพร้าวที่มีค่าความร้อนสูง ชี้น้อย[2] แต่ยังไม่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย จึงทำให้ราคาของเชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่สูงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น ทางผู้จัดทำคิดว่าควรนำชีวมวลทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยจากการศึกษาวิธีการผลิตที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ว่าจะเป็น การเก็บรักษาที่นานขึ้น ความแข็งแรงในการขนส่ง การเพิ่มค่าความร้อน ความสะดวกในการใช้ ฯลฯ โดยการใช้เครื่องอัดแท่งชีวมวล และให้ความร้อนขณะทำการอัดที่ 300-450 °C เนื่องจากวัตถุดิบที่เป็นชีวมวลนั้นมีลิกนิน (lignin) อยู่มากหากให้ความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าว จะสามารถทำให้ลิกนินละลายและกลายเป็นตัวประสานให้ชีวมวลเกาะตัวกันแน่นขึ้น [3] ทำให้ชีวมวลอัดแท่งที่ได้มีความแข็งแรงไม่แตกหักง่ายขณะขนส่ง และยังสามารถเก็บรักษาเอาไว้ได้ยาวนานมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 พัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรูโดยสามารถให้ความร้อนแก่ชีวมวลระหว่างการอัดแท่ง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการนำผักตบชวาและกะลาตาลมาเป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตชีวมวลอัดแท่ง
- 1.2.3 เพื่อหาอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและกะลาตาลที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 อัตราส่วนของส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและกะลาตาล 75:25 , 50:50 , 25:75
- 1.3.2 ขนาดของวัตถุดิบอยู่ในช่วง 5 – 10 mm.
- 1.3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้น รูปแท่งชีวมวล มากกว่าหรือเท่ากับ 300 °C
- 1.3.4 ค่าความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้อ้อยู่ระหว่าง 10 – 15 %
- 1.3.5 ใช้เครื่องชีวมวลอัดแท่งแบบสกรู



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ ซึ่งส่วนมากจะเป็น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัส กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด เป็นต้น ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้วเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้

เราสามารถนำพลังงานจากชีวมวลมาใช้ได้ โดยกระบวนการที่ใช้ความร้อนและกระบวนการชีวภาพ การใช้พลังงานชีวมวลโดยกระบวนการที่ใช้ความร้อน เราจะเห็นได้ทั่วไปในลักษณะของการนำถ่านไม้ หรือ ฟืนมาจุดไฟ เพื่อให้เกิดความร้อน สำหรับนำไปใช้ในการหุงต้มอาหาร หรือประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ การขาดทรัพยากรป่าไม้ ถ่าน และฟืน หาได้ยาก และมีราคาแพงขึ้น ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องพัฒนาการใช้พลังงานจากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และให้มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ให้น้อยที่สุด ได้มีการพัฒนาเพื่อผลิตชีวมวลอัดแท่ง (briquette) โดยวัสดุเหลือทิ้ง เช่น แกลบ ขานอ้อย มันสำปะหลัง มาใส่เครื่องสับ เพื่อสับให้ละเอียด ผสมคลุกเคล้ากันให้ได้สัดส่วน และมีความชื้นที่พอเหมาะ นำไปอัดเป็นแท่ง จากนั้นจึงนำไปตากแดด หรือเข้าตู้อบให้แห้ง แท่งอัดชีวมวลที่ได้จะมีรูพรุนมาก จึงมีพื้นที่ผิวสำหรับให้เผาไหม้มาก ทำให้จุดติดไฟได้ง่าย และให้ความร้อนได้ดี ซึ่งชีวมวลที่เราต้องการนำมาศึกษานั้น คือ

1. ผักตบชวา เนื่องจากประเทศไทยประสบปัญหาเกี่ยวกับผักตบชวามานานมาก ซึ่งผักตบชวาเพียง 2 ตันสามารถขยายพันธุ์เพิ่มขึ้นได้ถึง 300 ตัน ภายในเวลา 20 วัน และหากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ผักตบชวา 10 ตัน สามารถขยายพันธุ์ได้ถึง 600,000 ตันครอบคลุมพื้นที่น้ำ 2.5 ไร่ภายในเวลา 8 เดือน[1] ปัญหาที่เกิดจากผักตบชวามีมากมาย เช่น

- ปัญหาด้านการชลประทาน ผักตบชวาทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำไม่ได้ผลตามเป้าหมายเนื่องจากผักตบชวาไปลดการไหลของน้ำลงประมาณ 40% ส่วนต่างๆ ของผักตบชวาก่อให้เกิดอุปสรรคกับการระบายน้ำของฝายหรือประตูระบายน้ำ การระเหยของน้ำในพื้นที่ที่มีผักตบชวาจะสูงกว่าในพื้นที่ที่ไม่มีผักตบชวาประมาณ 3-8 เท่า

- ปัญหาด้านการคมนาคมทางน้ำ ผักตบชวาเป็นอุปสรรคสำคัญที่กีดขวางการสัญจรทางน้ำ ทำให้การสัญจรทางเรือเป็นไปได้ยาก

- ปัญหาด้านการประมง ผักตบชวาที่ขึ้นหนาแน่นจะเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของปลาและการจับปลา ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน จึงไปลดที่อยู่อาศัยของปลา และปริมาณของผักตบชวาที่ลอยอยู่อย่างหนาแน่นบนผิวน้ำ ยังทำให้แสงสว่างในน้ำลดลง เป็นผลทำให้พืชอาหารปลาขนาดเล็กหรือไฟโตแพลงตอนมีปริมาณลดลง ซึ่งไฟโตแพลงตอนนี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนในน้ำ ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของปลาและสัตว์น้ำทุกชนิด

- ปัญหาด้านการกสิกรรม ผักตบชวานั้นจะแย่งน้ำ และอาหารจากพืชที่ปลูก ซึ่งควรจะได้รับผลผลิตมากขึ้นจากการชลประทานหากไม่มีผักตบชวาอยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งปัญหาเหล่านี้รัฐบาลต้องเสียงบประมาณในแต่ละปีในการกำจัดผักตบชวาเยอะมาก[2] และยังไม่มียุทธศาสตร์ที่จะนำผักตบชวามาใช้อย่างจริงจัง

2. กะลาตาล เนื่องจากกะลาตาลนั้น มีลักษณะคล้ายกับกะลามะพร้าว ซึ่งมีค่าความร้อนสูง ชี้นำน้อย[3] และยังไม่เป็นที่สนใจของคนทั่วไป จึงทำให้ราคายังถูกอยู่

2.2 คุณสมบัติสำคัญต่างๆของเชื้อเพลิง

2.2.1 ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value) คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่าความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของชีวมวลเกิดการควบแน่น

ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นการวัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้ชีวมวลที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในชีวมวลชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในชีวมวล

2.2.2 ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คือ องค์ประกอบในชีวมวลที่สามารถระเหยได้ ชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยสูงส่วนใหญ่จะมีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตามสารระเหยบางชนิด

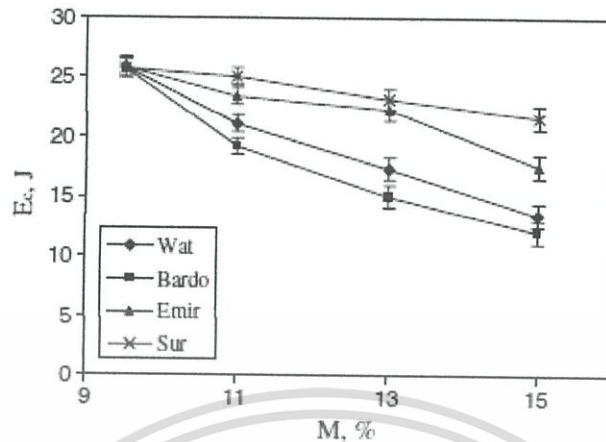


Fig. 2. Effect of material moisture content on the compression energy of ground lupine seeds.

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและพลังงานที่ใช้ในการอัด

ก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ (Alkali) ในทะเลลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในท้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง[4]

2.2.3 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลือหลังจากที่ตากแห้งหรือผ่านกระบวนการลดความชื้น ความชื้นของชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง หากชีวมวลมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ได้ค่าความร้อนที่ต่ำลง แต่หากชีวมวลที่จะนำมาอัดแห้งมีค่าความชื้นน้อยเกินไป จะทำให้ต้องใช้พลังงานในการอัดเพิ่มขึ้น[5] ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1

2.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยากโดยจะคงเหลืออยู่ในชีวมวล หลังจากเผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750°C โดยส่วนมากชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

2.2.5 เถ้า (Ash) คือ ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของชีวมวลซึ่งจะเหลืออยู่หลังจากที่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งหากขณะที่เถ้ามีเถ้าเป็นปริมาณมาก จะไปขัดขวางกระบวนการเผาไหม้ซึ่งมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงและยังก่อปัญหาในท้องเผาไหม้ด้วย ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลต่างๆ ซึ่งเราจะสามารถรู้อะไรประกอบต่างๆ นี้ได้โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วย 2 วิธีคือ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของชีวมวล

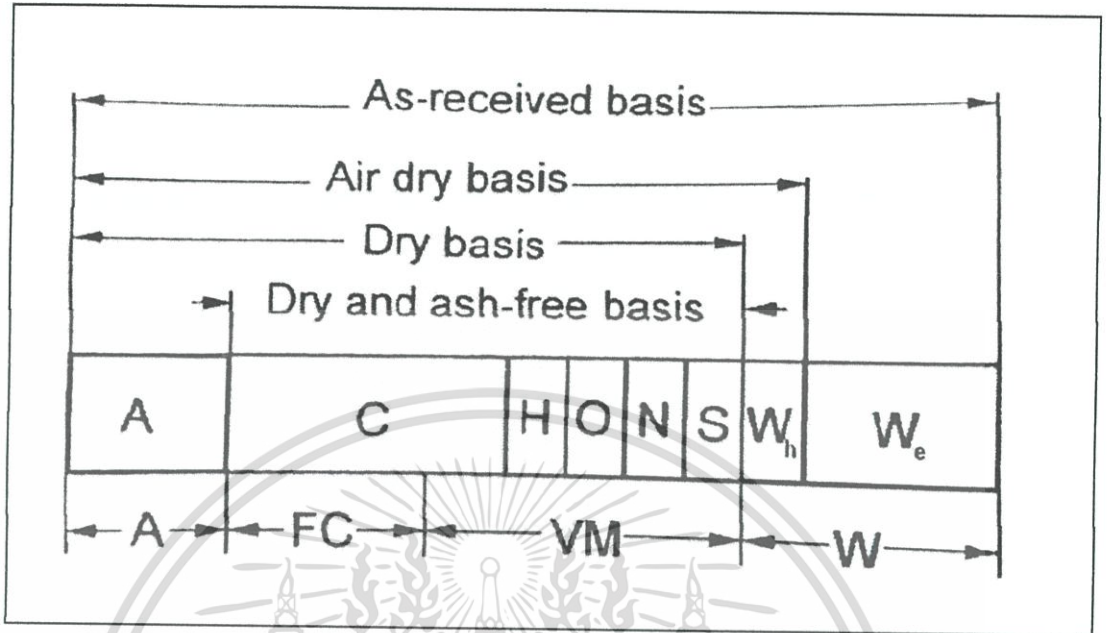
คุณสมบัติชีวมวลต่างๆ	Moisture %	Ash %	Volatile Matter %	Fixed Carbon %	Higher Heating Value kJ/kg	Lower Heating Value kJ/kg
แกลบ (Rice Husk)	12.00	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว (Rice Straw)	10.00	10.39	60.70	18.90	13,650	12,330
ชานอ้อย (Bagasse)	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ไม้อ้อย (Cane Trash)	9.20	6.10	67.80	16.90	16,794	15,479
ไม้ยางพารา (Parawood)	45.00	1.59	45.70	7.71	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม (Palm Fiber)	38.50	4.42	42.68	14.39	13,127	11,400
กะลาปาล์ม (Palm Shell)	12.00	3.50	68.20	16.30	18,267	16,900
ทะลายปาล์ม (Empty Fruit Bunch)	58.60	2.03	30.46	8.90	9,196	7,240
ต้นปาล์ม (Palm Trunk)	48.40	1.20	38.70	11.70	9,370	7,556
ทางปาล์ม (Palm Leaf)	78.40	0.70	16.30	4.60	3,908	1,760
ซังข้าวโพด (Cormcob)	40.00	0.90	45.42	13.68	11,298	9,615
ลำต้นข้าวโพด (Corn Stalk)	41.70	3.70	46.46	8.14	11,704	9,830
เหง้ามันสำปะหลัง (Tapioca Rhizome)	59.40	1.50	31.00	8.10	7,451	5,494
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus Bark)	60.00	2.44	28.00	9.56	6,811	4,917

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม

2.3 การวัดองค์ประกอบต่างๆในเชื้อเพลิง

2.3.1 Ultimate analysis เป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่างๆ 5 อย่างคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน(O) ไนโตรเจน(N) ซัลเฟอร์(S) รวมทั้งซีเฝ้ากับความชื้น ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณบนฐานที่แตกต่างกัน 4 ฐานตามลักษณะของเชื้อเพลิง ได้แก่ 1.as-received basis , 2.analytical (air dry) basis , 3.dry (moisture-free) basis , 4.combustible (dry and ash-free) basis [6] ซึ่งการคำนวณแต่ละฐานนั้นสามารถเปลี่ยนฐานไปมาได้ เนื่องจากเป็นชีวมวลตัวเดิมเพียงแต่เราจะเลือกคำนวณบนฐานใดเท่านั้นเอง ดังรูปที่ 2.2 แสดงค่าองค์ประกอบต่างๆในเชื้อเพลิง

2.3.2 Proximate analysis เป็นอีกวิธีที่จะแสดงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงออกมาเป็น 4 อย่างคือ 1.ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) , 2.ปริมาณความชื้น (Moisture Content) , 3.ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) , 4.เถ้า (Ash) ซึ่งการวิเคราะห์ proximate analysis นั้นส่วนมากเชื้อเพลิงจะถูกวิเคราะห์บนฐาน as-received [6]



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบต่างๆในเชื้อเพลิงโดยการวิเคราะห์แบบ Proximate และ Ultimate analysis.

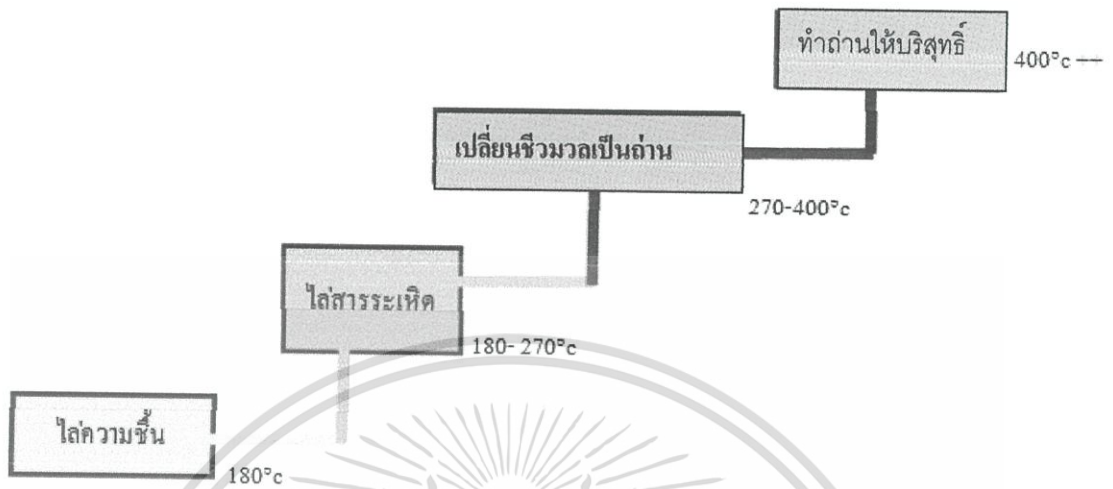
2.4 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

คาร์บอนไนเซชัน เป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการในการทำถ่าน ซึ่งเมื่อชีวมวลผ่านกระบวนการนี้จะทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่วนที่ผ่านกระบวนการจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เนื่องจากสารต่างๆในชีวมวล เช่น ลิกนิน (Lignin) เซลลูโลส (celluloses) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ได้ถูกความร้อนเผาไหม้จนเปลี่ยนสภาพ[7] กระบวนการนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.3 แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ

2.4.1 การไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180°C ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) คำนที่ออกมาจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่แสบตาและจุ่มก

2.4.2 การไล่สารระเหิด เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ $180 - 270^{\circ}\text{C}$ ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิประมาณ 270°C

2.4.3 การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ $270 - 400^{\circ}\text{C}$ ช่วงนี้ชีวมวลจะสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลส จะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275°C ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310°C จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400°C หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้ว



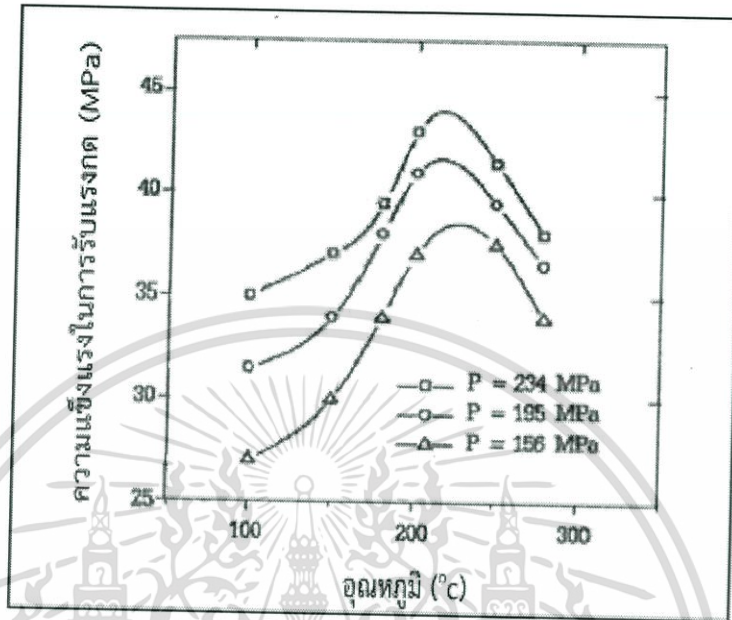
รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการเกิดคาร์บอนเซชัน (Carbonization)

2.4.4 การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400°C แต่ยังคงมีน้ำมันดินในปริมาณที่สูง เมื่อนำไปใช้ปิ้งย่าง น้ำมันดินที่เผาไหม้ในเตาถ่านจะเกิดเป็นสารประกอบเบนโซไพเร็น (Benzopyrene) และไดเบนซานทราเซน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านต่อไปที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 600°C ต่อกับอีกระยะหนึ่งเพื่อไล่ น้ำมันดินให้หมดไป

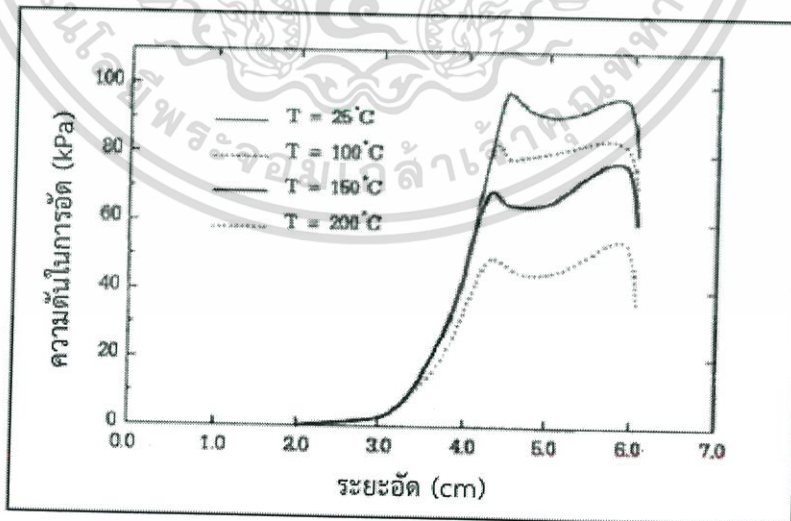
2.5 ความแตกต่างระหว่างชีวมวลอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันและแบบธรรมดา

2.5.1 มีความแข็งแรงกว่าเนื่องจากการอัดที่มีกระบวนการคาร์บอนเซชัน เป็นกระบวนการอัดที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ชีวมวลอัดแท่งที่ได้มีความแข็งแรง ดังที่แสดงในกราฟ รูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออัดด้วยความดัน 234 MPa ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 230°C เป็นต้นไปชีวมวลอัดแท่งที่ได้จะเริ่มมีค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น

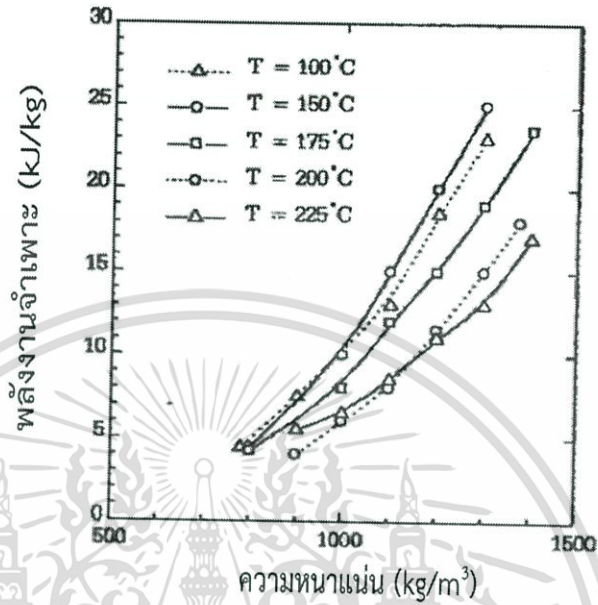
2.5.2 ใช้พลังงานในการอัดน้อยกว่า จากการศึกษา[8] ได้แสดงให้เห็นว่าหากวัตถุดิบที่นำมาอัดได้รับความร้อนขณะอัด จะทำให้ใช้พลังงานในการอัดน้อยลงดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิการอัดเป็น 200°C จะใช้ความดันในการอัดน้อยกว่าการอัดที่อุณหภูมิ 25, 100, 150°C ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานที่จะต้องใช้ในการอัดลงได้



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขณะอัดกับความแข็งแรงในการรับแรงกดเมื่อซีเมนต์ถูกนำไปอัดเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการอัด

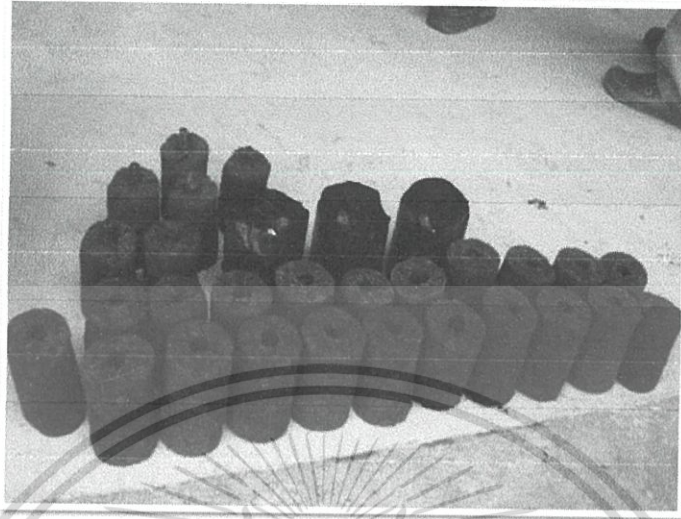


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชีวมวลอัดแท่งเมื่อใช้พลังงานในการอัดที่อุณหภูมิที่กำหนด

2.5.3 ความหนาแน่นต่อหน่วยปริมาตรของชีวมวลอัดแท่ง ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน จะมีค่ามากกว่าแบบธรรมดาเนื่องจากการอัดที่อุณหภูมิสูง แสดงในกราฟรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัดที่อุณหภูมิ 225°C จะได้ความหนาแน่นมากกว่าการอัดที่อุณหภูมิ 100°C เมื่ออัดที่พลังงานจำเพาะ 15 kJ/kg



รูปที่ 2.7 ชีวมวลอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน



รูปที่ 2.8 ชีวมวลอัดแท่งที่อัดแบบธรรมดา

2.5.4 สามารถเก็บไว้ได้นานกว่าเนื่องจากที่ผิวของชีวมวลอัดแท่งนั้นจะถูกเคลือบด้วย ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารประกอบต่างๆ ในชีวมวลที่สลายตัวขณะอัดที่อุณหภูมิสูงเคลือบผิวเอาไว้[9] สังเกตจากรูปที่ 2.7 ทำให้ความชื้นเข้าไปภายในได้ยาก หากเป็นการอัดธรรมดาที่อุณหภูมิต่ำ ผิวจะเป็นเหมือนชีวมวลธรรมดา ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งความชื้นสามารถเข้าไปสะสมได้ง่าย ทำให้เมื่อนำไปใช้งาน ค่าความร้อนที่ได้มีค่าต่ำลง

2.5.5 ขนส่งได้ง่าย และไม่เกิดการแตกหักหรือเสียหาย เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าการอัดแบบธรรมดา ปัญหาเรื่องการแตกหักขณะขนส่งนั้นถือเป็นเรื่องที่ถูกพิจารณา เนื่องจากหากเกิดการแตกหักนั้นถือเป็นความสูญเสียของผู้ซื้อซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ควรเกิดขึ้น

2.6 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

กระบวนการต่างๆที่ใช้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หรือเรียกว่าเทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล (Biomass Conversion) นั้นมีหลายอย่างด้วยกัน เช่น การบดละเอียด การเพิ่มความหนาแน่น การลดความชื้น ฯลฯ ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจึงจำเป็นต้องเข้าใจในกระบวนการการผลิตต่างๆ ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตสามารถนำเทคนิควิธีการต่างๆมาพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หลังจากที่เรารู้วัตถุดิบหรือชีวมวลมาเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการต่างๆก่อนที่จะออกมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

2.6.1 การบดละเอียด กระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่ทำให้ชีวมวลมีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะกับขนาดรูอัดของเครื่องอัดชีวมวลที่จะอัดออกมา เช่น หากรูของเครื่องอัดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm ขนาด

ของ ชีวมวลก็ไม่ควรเกิน 5 cm ยิ่งขนาดของชีวมวลที่จะนำมาอัดมีขนาดเล็กก็ทำให้การอัดมี ประสิทธิภาพมากขึ้น[9]

2.6.2 การอบลดความชื้น วัตถุดิบชีวมวลต่างๆที่เราได้มานั้นในตอนเริ่มต้นจะมีค่าความชื้นที่ไม่ เท่ากัน เช่น แกลบมีความชื้นประมาณ 12% ชานอ้อยมีความชื้นประมาณ 50.73% ไม้ยางพารามีความชื้น ประมาณ 45% เป็นต้น ซึ่งความชื้นนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการอัด ทำให้เมื่ออัดออกมาแล้ว แอ่งเชื้อเพลิงไม่สามารถเกาะตัวกันได้เนื่องจากความชื้นสูง ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องควบคุมวัตถุดิบให้มีค่า ความชื้นอยู่ระหว่าง 10-20% โดยอาจนำวัตถุดิบที่ได้ไปตากแดด หรือใช้เครื่องอบในการลดความชื้น

2.6.3 การอัดขึ้นรูป หรือ การเพิ่มความหนาแน่น การใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรหรือชีวมวลนั้นหากนำมาใช้โดยที่ไม่ผ่านกระบวนการใดเลย จะมีปัญหาค่อนข้างมากเนื่องด้วย ลักษณะของชีวมวลแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องรูปร่าง ความหนาแน่น ค่าความชื้น ฯลฯ ซึ่งสามารถ แก้ไขได้โดยการอัดชีวมวลเหล่านั้นให้เป็น แอ่ง (Briquette) หรือ เม็ด (Pellet) เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและ ให้มีรูปร่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานกระบวนการนี้เรียกว่า การเพิ่มความหนาแน่น (Densification) กระบวนการเพิ่มความหนาแน่นของชีวมวลเป็นที่สนใจของหลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะประเทศกำลัง พัฒนาทั้งหลาย เพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเศษวัสดุต่างๆได้ กระบวนการนี้ไม่ใช่กระบวนการใหม่แต่ อย่างใดมีหลักฐานแสดงถึงสิทธิบัตรของกระบวนการนี้ออกมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 ในครั้งแรกๆมีการนำ กระบวนการนี้ไปใช้กับการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ด การแปลงสภาพเศษวัสดุให้มีความหนาแน่นมากขึ้นและมี รูปร่างสม่ำเสมอมีข้อดีดังนี้

- ช่วยเพิ่มค่าความร้อนของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาและขนส่งได้สะดวก
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและขนาดรูปร่างที่สม่ำเสมอ
- ช่วยแก้ปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนลดการตัดทำลายป่าไม้

แต่ก็มีข้อเสียเช่น

- เป็นกระบวนการที่ใช้เงินลงทุนและพลังงานสูง
- มีปัญหาในการเผาไหม้บางประการ เช่น การเกิดควัน การจุดติดไฟยาก
- เชื้อเพลิงอัดแอ่งที่ได้มีแนวโน้มจะแตกตัวเมื่อถูกน้ำหรืออยู่ในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง

เทคนิคการเพิ่มความหนาแน่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ตามสภาวะการปฏิบัติงาน คือ 1.การอัดร้อนที่ความดันสูงหรือ 2.การอัดเย็นที่ความดันต่ำ หรือหากแบ่งประเภทตามวิธีการปฏิบัติงาน สามารถแบ่งได้เป็นแบบอัดต่อเนื่องหรือแบบอัดไม่ต่อเนื่อง ในทางปฏิบัติก็เป็นไปได้ทั้งสองแบบควบคู่กันไป แต่แบบที่นิยมที่สุดคือกระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูงแบบต่อเนื่อง [8]

การอัดร้อนที่ความดันสูงแบบต่อเนื่อง นั้นจะทำให้กลไกการเกาะตัวของซีวมวลเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการอัดเย็นที่ความดันต่ำเนื่องจากแนวคิดเรื่องการเกาะตัวกันของเนื้อวัสดุ (Self bonding) 3 ประการ คือ

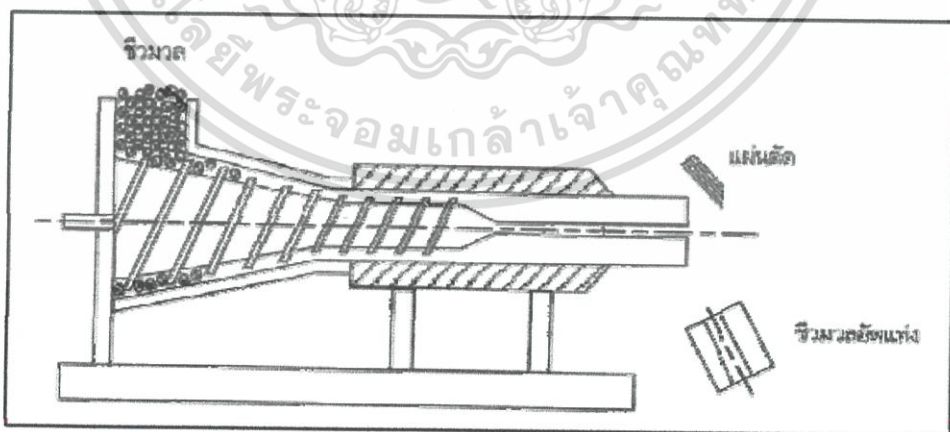
- อิทธิพลของแรงกดอัดที่จะทำให้เพกติน (Pectin) และสารโมเลกุลต่ำอื่นๆในเนื้อวัสดุซีวมวลถูกขับออกจากเซลล์และกลายเป็นตัวประสานระหว่างเนื้อวัสดุซีวมวล

- ลิกนิน (Lignin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของซีวมวลส่วนใหญ่ ซึ่งจะเกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิประมาณ 270-400°C เป็นต้นไป เป็นที่เชื่อกันว่าลิกนินจะเป็นตัวสร้างการยึดเกาะขึ้นภายในเนื้อวัสดุระหว่างการอัดแน่นซีวมวลและนำไปสู่การเกาะตัวกันทำให้ซีวมวลที่อัดแท่งออกมามีความคงทนไม่แตกหักง่าย

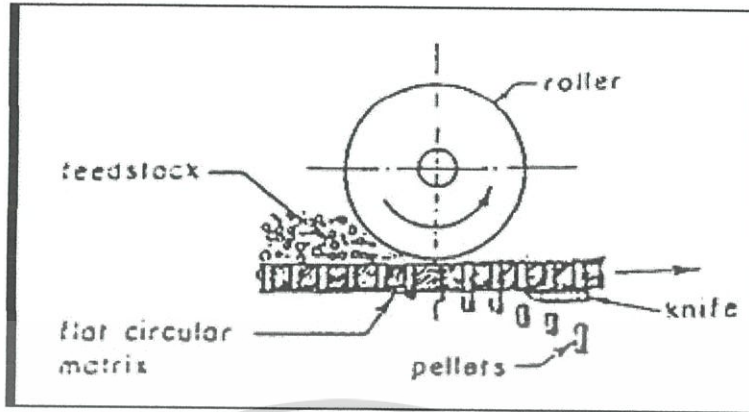
- เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นสารอีกตัวในซีวมวลที่จะทำให้กลไกการเกาะตัวเกิดได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเฮมิเซลลูโลสจะเกิดการอ่อนตัวในช่วงอุณหภูมิ 180-270°C

ตัวอย่างของการเพิ่มความหนาแน่นด้วยเครื่องอัดแบบต่างๆ

- เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press) ลักษณะการทำงานคือ จะมีช่องป้อนวัตถุดิบสำหรับใส่ซีวมวลเข้ามาแล้วมีเกลียวคอยลำเลียงวัตถุดิบไปเพื่ออัดผ่านท่อขึ้นรูป โดยระหว่างอัดซีวมวลจะมีการเสียดสีกับผนังท่อทำให้เกิดความร้อนในระดับหนึ่งดังรูปที่ 2.9 มีบางเครื่องที่ดัดแปลงโดยการเพิ่มขดลวดความร้อนหรือเตาให้ความร้อนกับซีวมวล[10]เข้าไปเพื่อให้อุณหภูมิระหว่างอัดสูงขึ้นอีก เพื่อให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวแล้วทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ซีวมวลเกาะกันดียิ่งขึ้น



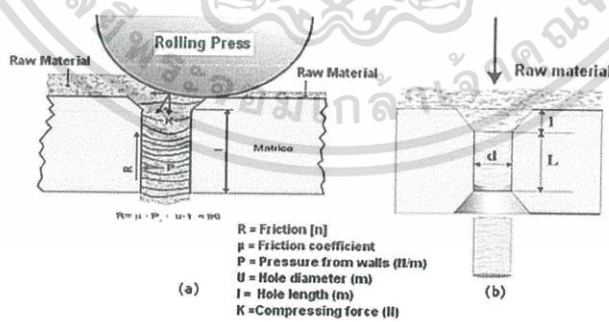
รูปที่ 2.9 เครื่องอัดแท่งซีวมวลแบบเกลียว



รูปที่ 2.10 เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม

-เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing press) เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ดังรูปที่ 2.10 โดยลูกกลิ้งจะกลิ้งไปบนแม่พิมพ์ เมื่อชีวมวลตกลงมาบนแม่พิมพ์ก็จะถูกลูกกลิ้งกดทับลงไปเรื่อยๆ จนออกมาเป็นแท่งเล็กๆเมื่อมีความยาวประมาณ 3cm ก็หลุดออกมาดังที่แสดงในรูป 2.11

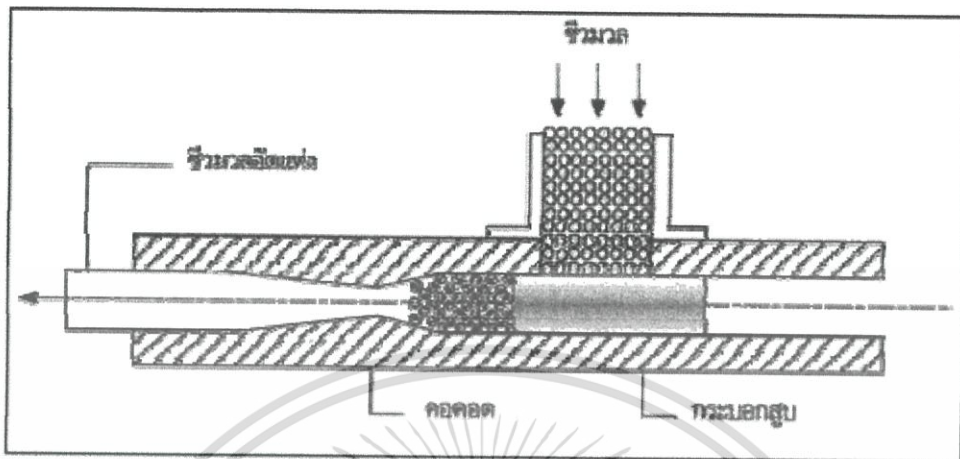
-เครื่องอัดด้วยแท่งกระบอกสูบ (Piston Press) แสดงในรูปที่ 2.12 ประกอบด้วยกลไกลูกสูบและกระบอกสูบที่ออกแรงกดวัสดุจากช่องป้อนลงในเบ้า ที่มีการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลงทำให้ชีวมวลที่ผ่านช่องนี้ไปเกิดการบีบอัดตัว ซึ่งผู้ผลิตเครื่องจักรประเภทนี้ส่วนมากจะจำกัดเฉพาะในแถบยุโรปตะวันตก ปัญหาที่มักเกิดกับเครื่องอัดประเภทนี้คือ การแตกร้าวของกระบอกสูบ และการสึกหรอของเบ้าและแม่พิมพ์ [1]



(a) การก่อตัวของเม็ดชีวมวล (Pellet Formation).

(b) อัตราส่วนการอัดเม็ด (Compression ratio) = $d/(L+2 \cdot l)$

รูปที่ 2.11 การอัดตัวของเม็ดชีวมวลโดยใช้เครื่องอัดเม็ด



รูปที่ 2.12 เครื่องอัดแบบกระบอกสูบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- กิตติลดา วรฉันทน์ และ ชัชวาล อัยยชาติ. (2012).[11] เรื่อง Application potential of waste water treatment plant sludge of a paper factory as biomass fuel. ทำการศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากถังตกตะกอนขั้นต้น ของโรงงานผลิตกระดาษ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือเยื่อกระดาษกับเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ คือเปลือกยูคาลิปตัสและเศษฟ่อนไม้ มาผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล(Biomass pellet) โดยทำการทดลองอัดเม็ด (pelletization) ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง โดยการนำวัสดุดิบต่างๆ มาผสมกันที่อัตราส่วนตามตารางที่ 2.2 หลังจากนั้นนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งหลังจากอัดพบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสียเพียงอย่างเดียว (1:0:0) สามารถอัดเป็นเม็ดได้ดีที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนผสมกากตะกอนน้ำเสียกับเปลือกยูคาลิปตัสที่อัตราส่วน 5:1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่างๆ มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 37.62-86.34% ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนของเสียกับเปลือกยูคาลิปตัสและเศษฟ่อนไม้มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด 21.1 g/cm³ ที่อัตราส่วน 1:1:1 ผลการวิเคราะห์การทนแรงอัด พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียเพียงอย่างเดียวสามารถทนแรงอัดได้ดีที่สุด แต่การนำกากตะกอนมาผสมกับเศษฟ่อนไม้จะพบว่าสามารถรับแรงอัดได้ค่อนข้างคงที่ประมาณ 5-6 kg ที่ทุกอัตราส่วนดังในรูปที่ 2.13

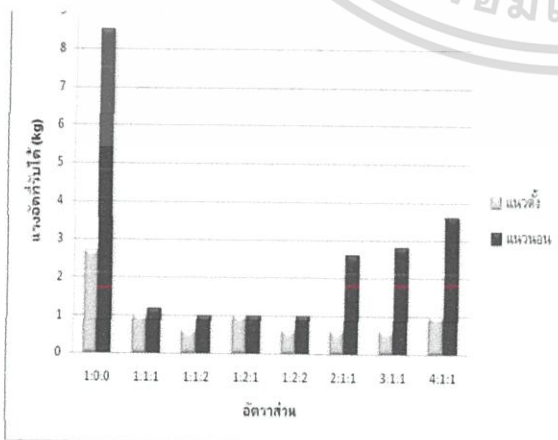
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าอัตราส่วนผสม

ภาคตะกอน:เปลือกยูคาลิปตัส	ภาคตะกอน:เศษฟืนไม้	ภาคตะกอน:เปลือกยูคาลิปตัส:เศษฟืนไม้
1:0	1:0	1:0:0
1:1	1:1	1:1:1
1:2	1:2	1:1:2
1:3	1:3	1:2:1
1:4	1:4	1:2:2
1:5	1:5	2:1:1
2:1	2:1	3:1:1
3:1	3:1	4:1:1
4:1	4:1
5:1	5:1



ก

ข



ค

รูปที่ 2.13 ผลการทนแรงอัดของเม็ดเชื้อเพลิงตาม

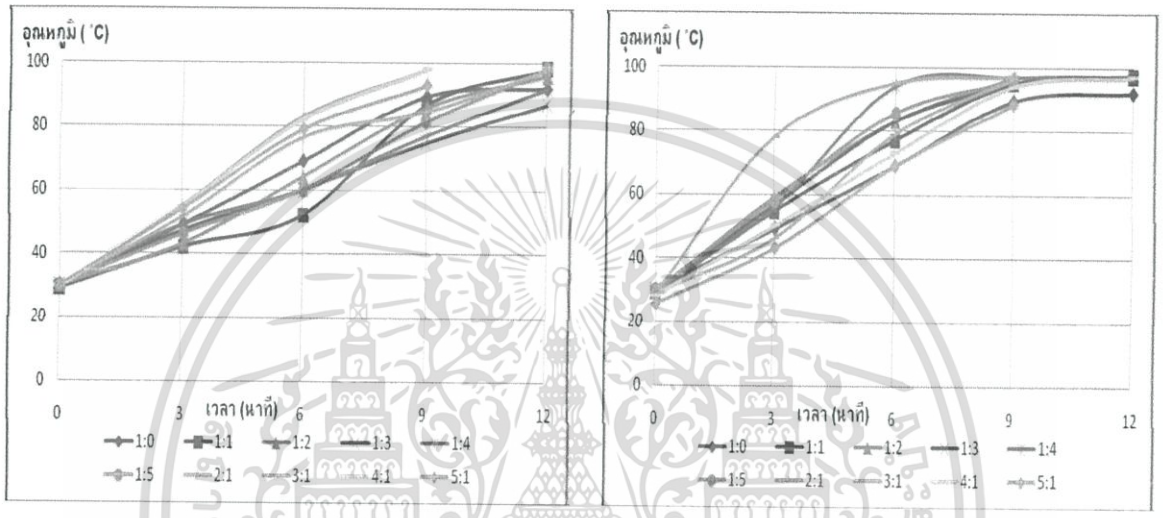
อัตราส่วนๆในแนวตั้งและแนวนอน

(ก) อัตราส่วนภาคตะกอน : เปลือกยูคาลิปตัส

(ข) อัตราส่วนภาคตะกอน : เศษฟืนไม้

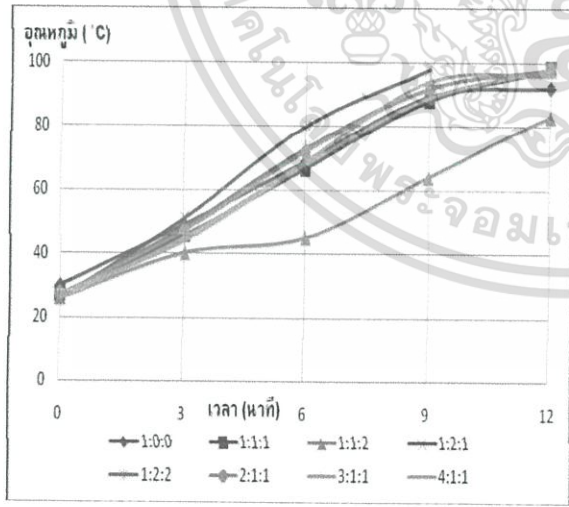
(ค) อัตราส่วนภาคตะกอน: เปลือกยูคาลิปตัส : เศษฟืนไม้

ผลการทดสอบการติดไฟและการให้ความร้อนของเชื้อเพลิง พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับเปลือกยูคาลิปตัสและเศษฟืนไม้ที่อัตราส่วน 1:2:1 ให้พลังงานความร้อนแก่น้ำมากที่สุด 71.91 kcal และทำให้อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มได้สูงสุดคือ 98°C ตามรูปที่ 2.14 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเม็ดเชื้อเพลิงส่วนผสมดังกล่าวให้ค่าความร้อนดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงส่วนผสมอื่นๆ



ก

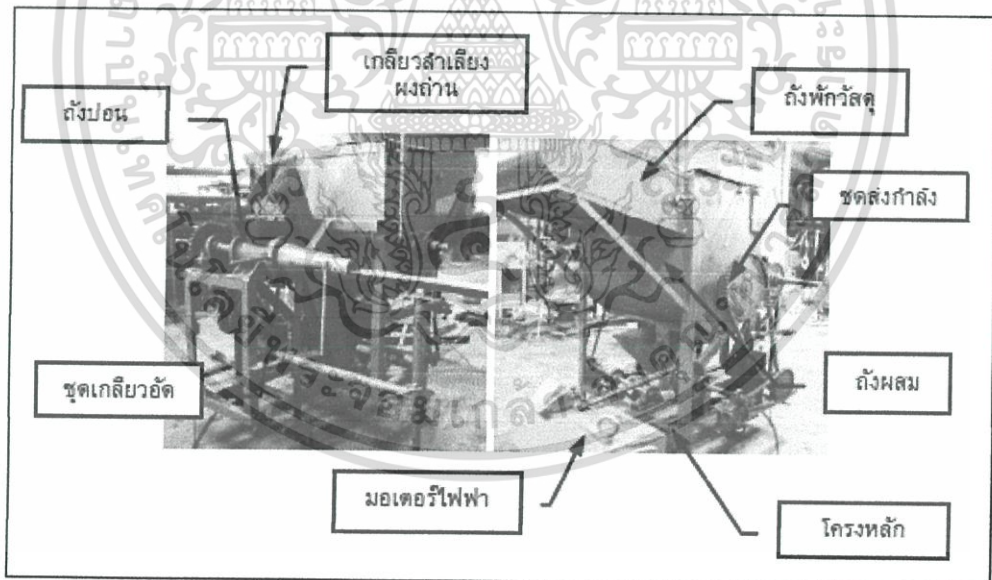
ข



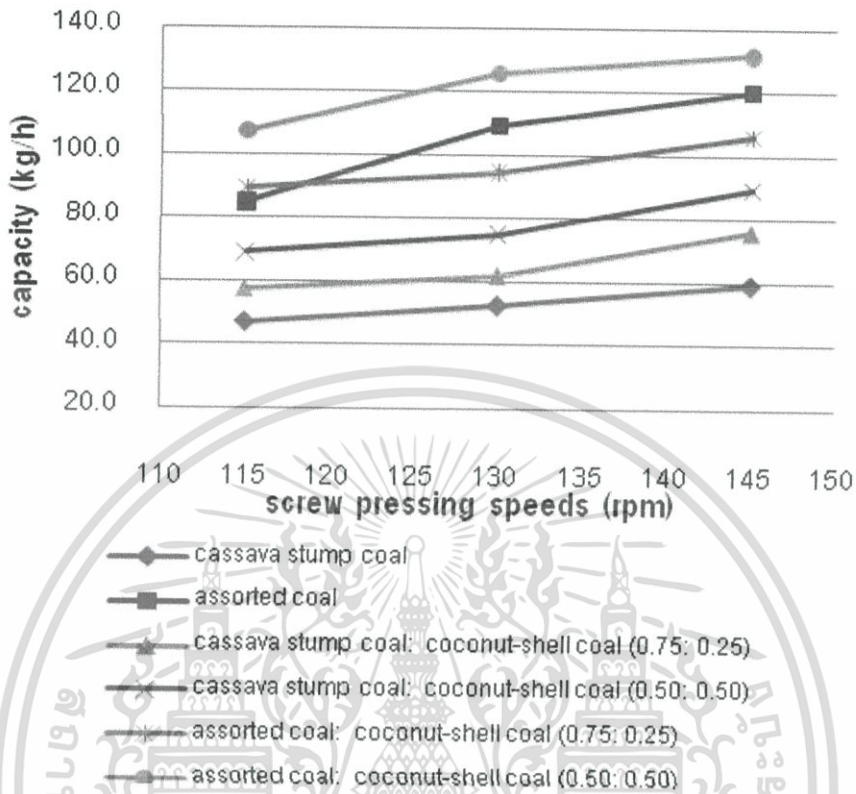
ค

รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ของเวลากับอุณหภูมิต้นน้ำของเม็ดเชื้อเพลิง
 (ก) อัตราส่วนกากตะกอน : เปลือกยูคาลิปตัส
 (ข) อัตราส่วนกากตะกอน : เศษฟืนไม้
 (ค) อัตราส่วนกากตะกอน : เปลือกยูคาลิปตัส : เศษฟืนไม้

- Kittipong Laloon and Somposh Sudajan and Chaiyan Jansiri. (2012). [12] เรื่อง effects of Charcoal Type and Screw Pressing Speed on the Performance of Screw Press Unit and Quality of Charcoal Block. ทำการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับถ่านอัดแท่งจากผงถ่าน 3 ชนิดคือ เหง้ามันสำปะหลัง เศษไม้ และกะลามะพร้าว โดยใช้ความเร็วเกลียวอัด 3 ระดับที่ 115 130 และ 145 rpm ใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งต้นแบบ ในรูปที่ 2.15 โดยทำการป้อนวัตถุดิบด้วยอัตราการป้อน 140 kg/h ในแต่ละครั้งสู่มั้ยเวลา 3 ครั้งจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาตากแดดลดความชื้นจนมีค่าความชื้นลดลงไม่เกิน 8 % (d.b.) แล้วนำไปทดสอบหาค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ทดสอบค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ตามมาตรฐานของ ASTM D 240 และประสิทธิภาพการใช้งานจริงโดยการต้มน้ำ ซึ่งในรูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเกลียวอัดกับความสามารถการผลิตถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนผสมของผงถ่านชนิดต่างๆ จะเห็นว่ายิ่งมีความเร็วรอบสูงกำลังการผลิตก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษถ่านไม้กับกะลามะพร้าวที่ 50:50 มีกำลังการผลิตสูงสุดที่ 131.5 kg/h ที่ความเร็วรอบ 145 rpm



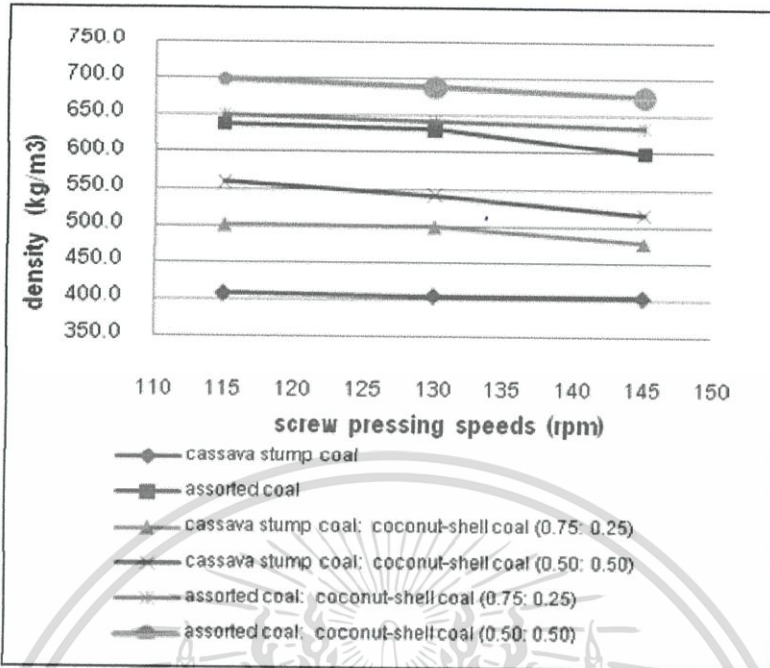
รูปที่ 2.15 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งต้นแบบ



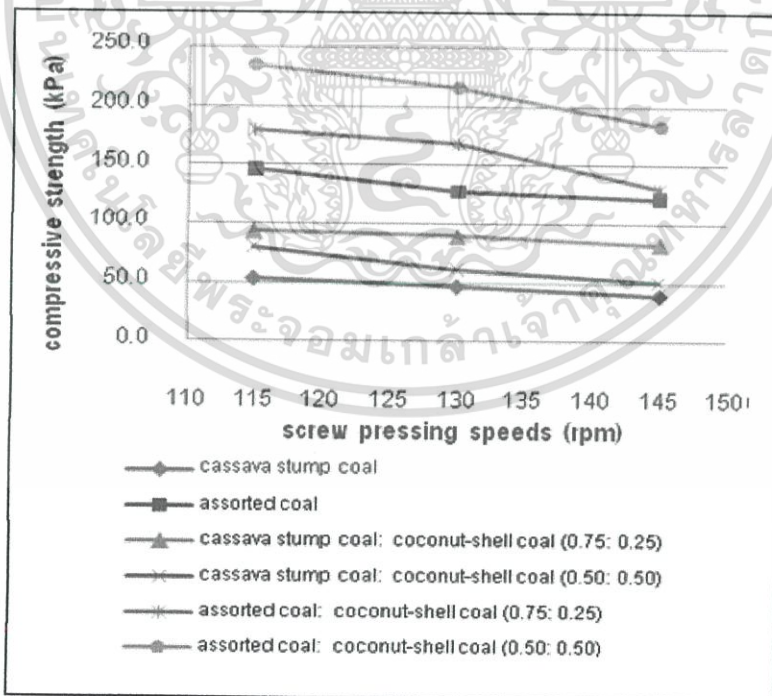
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเกสียวอัดกับความสามารถการผลิต ถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนผสมของผงถ่านชนิดต่างๆ

ในรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเกสียวอัดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นลดลงในทุกๆ อัตราส่วนเป็นทิศทางเดียวกัน และที่อัตราส่วนผสมผงถ่านไม่รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว 0.50: 0.50 ที่ความเร็วเกสียวอัด 115 rpm มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดมีค่า 698.7 kg/m^3 อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าผงถ่านชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบ

ในการวัดค่าความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งพบว่า จากรูปที่ 2.18 เมื่อเพิ่มความเร็วเกสียวอัดนั้นค่าความแข็งแรงลดลงเป็นสัดส่วน ในทิศทางเดียวกันทุกอัตราส่วน ซึ่งอัตราส่วนผสมผงถ่านไม่รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว 0.50: 0.50 ที่ความเร็วเกสียวอัด 115 rpm มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดมีค่า 0.235 MPa

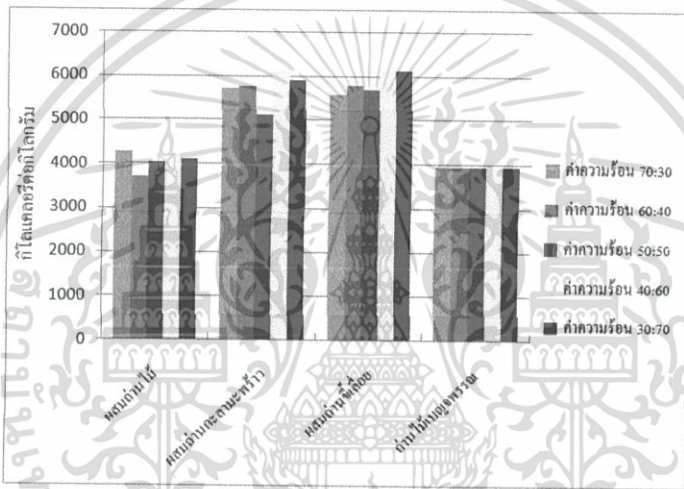


รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกลีวยัดกับความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนผสมของผงถ่านชนิดต่างๆ

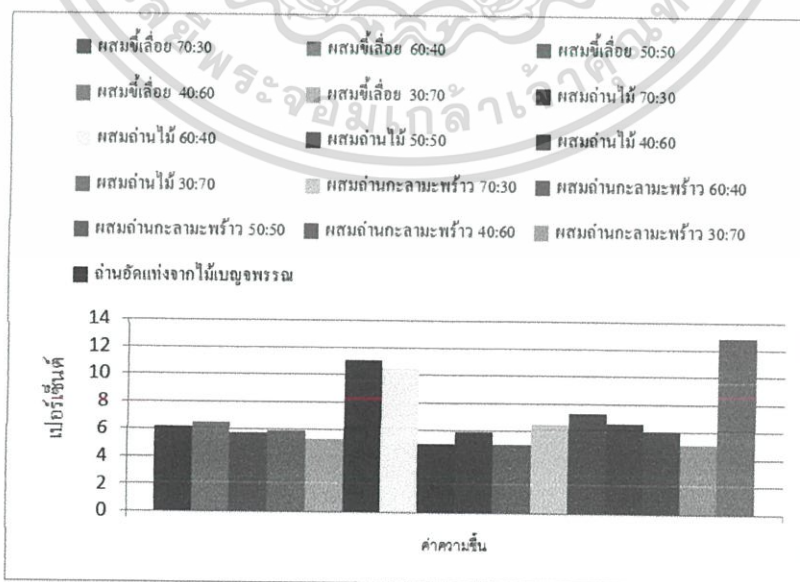


รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกลีวยัดกับความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งเมื่อกดตามแนวตั้งในแต่ละอัตราส่วนผสมปริมาณผงถ่านชนิดต่างๆ

- Sirichai Torsakul and Kunthon Thongsri and Chongkol Supharattana. (2012). [13] เรื่อง Development of Charcoal Briquette from Scrapped Coconut for Alternative Energy. งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวที่เป็นส่วนผสมหลักมาผสมกับกะลามะพร้าว ชี้เลื่อย ถ่านไม้เบญจพรรณ ในอัตราส่วนผสมที่ 70:30 ,60:40 ,50:50 , 40:60 และ 30:70 ครั้งละ 10 กก. จากนั้นใส่แป้งมัน 1 กิโลกรัม + น้ำ 0.5-0.8 ลิตร แล้วนำไปอัดขึ้นรูป หลังจากได้ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยมี กากมะพร้าวเป็นส่วนผสมหลัก นำไปวัดค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ซึ่งได้ค่าตามรูปที่ 2.19 พบว่า กากมะพร้าวผสมกับกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน40:60 ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ประมาณ 6000 kcal/kg ใกล้เคียงกับ กากมะพร้าวผสมกับชี้เลื่อยที่อัตราส่วน 40:60 และ 30:70



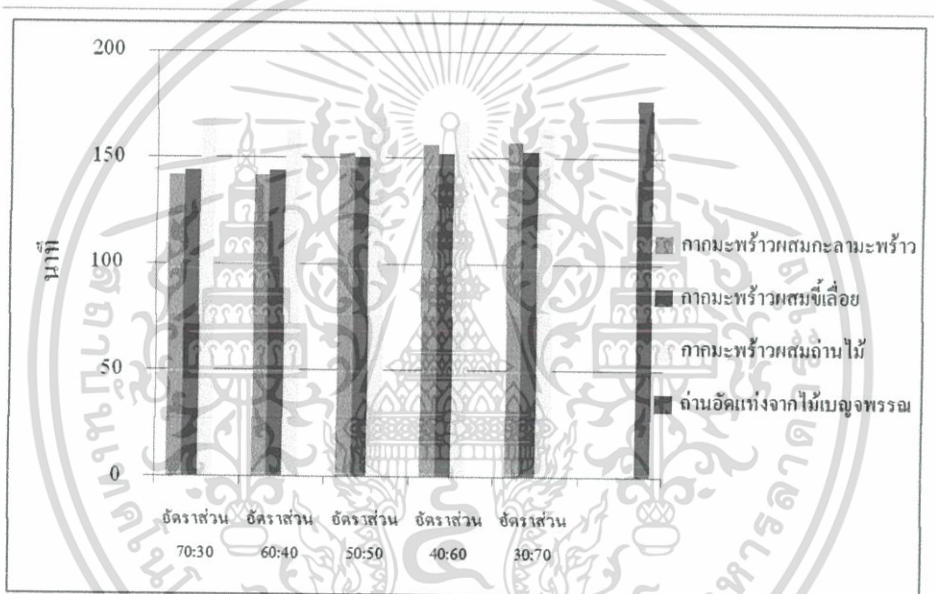
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนกับส่วนผสมที่ต่างกัน



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งกับส่วนผสมที่ต่างกัน

ในรูปที่ 2.20 แสดงค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่าถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณ นั้นมีค่าความชื้นสูงที่สุด และถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมถ่านไม้ที่อัตราส่วน 70:30 และ 60:40 ซึ่งทั้ง 3 อัตราส่วนผสมนั้นมีค่าความชื้นเกินกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มผช.) ที่กำหนดไว้ที่ 8%

การเปรียบเทียบระยะเวลาในการมอดดับของถ่านอัดแท่งกับอัตราส่วนผสมที่ต่างๆจากรูปที่ 2.21 พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมซีลี้อยจะมีระยะเวลาในการมอดดับที่ใกล้เคียงกัน ส่วนถ่านอัดแท่งจากไม้เบญจพรรณ และถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมถ่านไม้ จะมีระยะเวลาในการมอดดับนานที่สุด



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการมอดดับของถ่านอัดแท่งกับอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการวิจัย

3.1. แนวทางการออกแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบร้อน

จากการทดสอบเครื่องอัดชีวมวลแบบเย็น พบว่าเครื่องอัดชีวมวลไม่สามารถอัดแท่งชีวมวลได้ เนื่องจากเกิดปัญหาชีวมวลมีการติดกันเป็นก้อนแข็งในกระบอกอัด ทำให้ไม่สามารถถอดกระบอกอัดขึ้นรูป และ ส่งผลให้มอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งแสดงภาพในภาคผนวก ก ในรูปที่ 1 จากการศึกษาดูงานที่ โรงแกลบ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรดา พบว่าในการออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูปควรมีระยะในการอัดที่ค่อนข้างสั้น แต่มีระยะเรียงตัวของชีวมวลอัดที่ยาวจะช่วยในการแก้ปัญหา เรื่องการที่ชีวมวลติดกันเป็นก้อนแข็งในกระบอกอัดขึ้นรูป ได้แสดงขนาดการออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูปของ โรงแกลบ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรดา ในภาคผนวก ก ในรูปที่ 2 จากปัญหาข้างต้น จึงทำการสรุปปัญหา แนวทางการออกแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบร้อน และ แนวทางการแก้ปัญหา ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แนวทางการออกแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบร้อน และ แนวทางการแก้ปัญหา

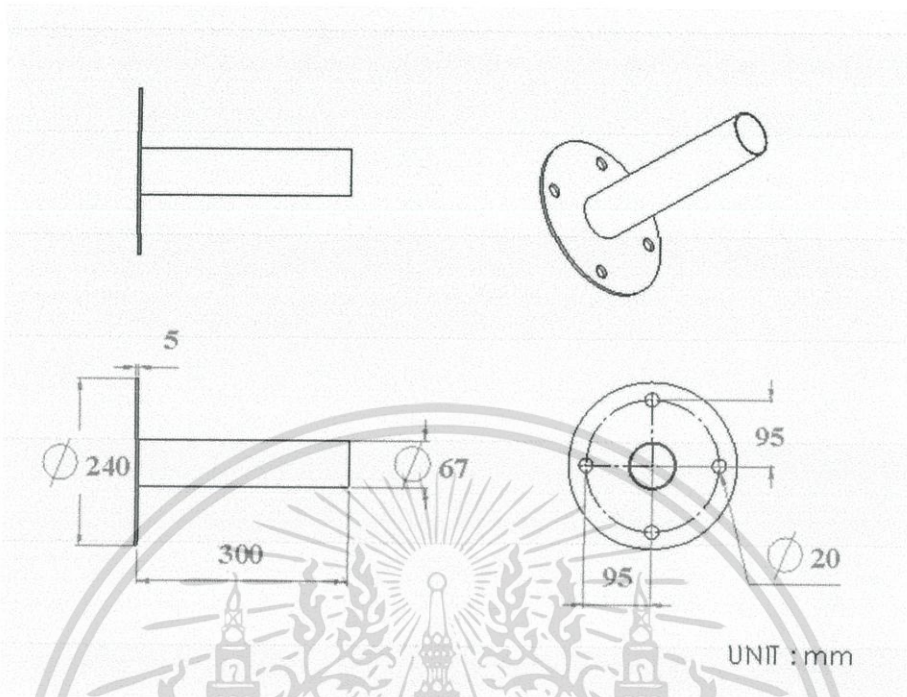
ปัญหาที่พบจากการทดสอบเครื่องอัดชีวมวลแบบเย็น	แนวทางการออกแบบ และ แนวทางการแก้ปัญหา
1.ชีวมวลมีการติดกันเป็นก้อนแข็งในกระบอกอัด	ทำการกลึงล้างในกระบอกอัด เพื่อลดความเสียดทานในระหว่างอัด ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ ชีวมวลแข็งเป็นก้อนในกระบอกอัด
2.พัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเย็นเป็นแบบร้อน	ทำการเพิ่มกระบอกอัดขึ้นรูปชีวมวลเป็นส่วนที่รับความร้อนในระหว่างการอัดแท่งชีวมวล
3.มอเตอร์หยุดทำงานในระหว่างการทำงาน	ทำการกลึงขยายกระบอกอัดจากเดิมที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 63 mm

สำหรับการพัฒนาเครื่องอัดชีวมวลแบบเย็นเป็นเครื่องอัดชีวมวลแบบร้อนได้ทำการออกแบบขึ้นส่วนเพิ่มเติมเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1.1. การออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูป

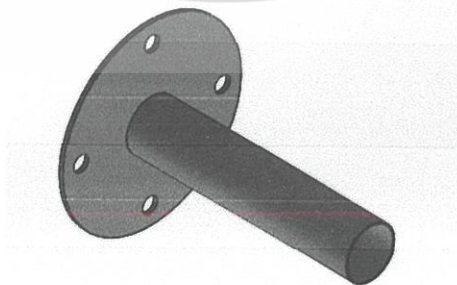
3.1.2. การออกแบบห้องให้ความร้อน

3.1.1. การออกแบบกระบอบอกอัดขึ้นรูป



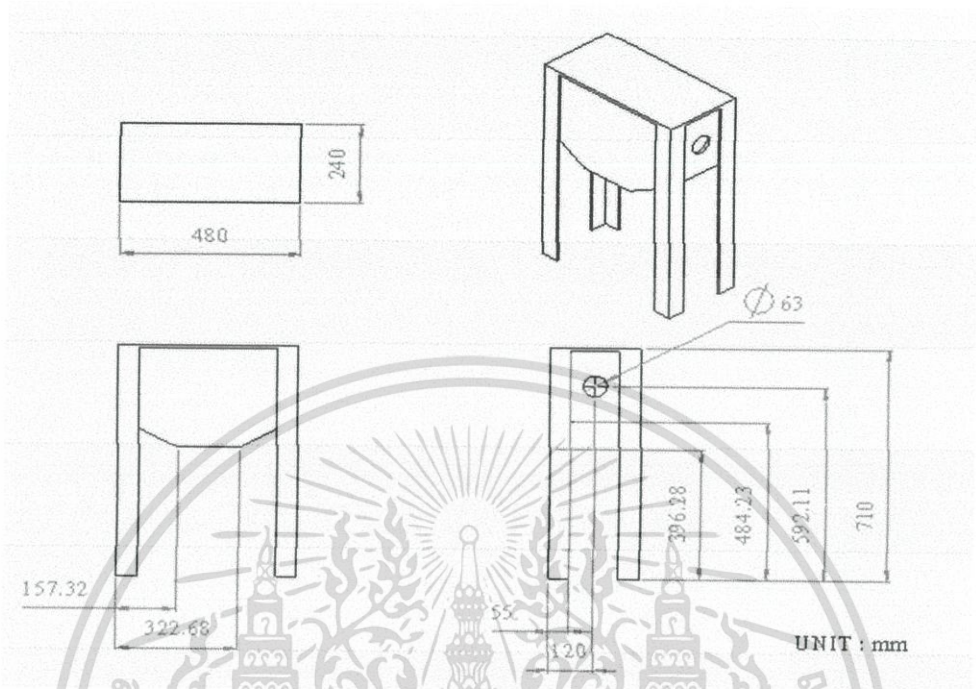
รูปที่ 3.1 ขนาดการออกแบบกระบอบอกอัดขึ้นรูป

ได้ทำการออกแบบโดยใช้ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 63 mm ความยาว 300 mm เชื่อมติดกับหน้าแปลนขนาด 240 mm หนา 5 mm โดยใช้เหล็กหล่อเป็นวัสดุ ชิ้นส่วนนี้จะได้รับความร้อนมากกว่า 300 °C โดยกระบอบอกอัดขึ้นรูปจะมีหน้าที่ ทำให้ชีวมวลอัดมีการเรียงตัวและเกิดขบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ได้แสดงขนาดของการออกแบบกระบอบอกอัดขึ้นรูป ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลอง 3 มิติของกระบอบอกอัดขึ้นรูปที่ได้ทำการออกแบบ โดยการสร้างจะต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ



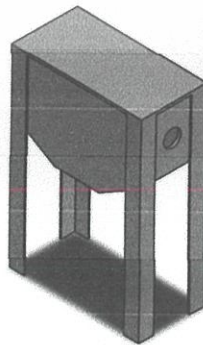
รูปที่ 3.2 แบบจำลอง 3 มิติ ของกระบอบอกอัดขึ้นรูป

3.1.2. การออกแบบห้องให้ความร้อน



รูปที่ 3.3 ขนาดการออกแบบห้องให้ความร้อน

ห้องความร้อนได้ทำการออกแบบให้มีความกว้างเท่ากับ 240 mm ยาวเท่ากับ 480 mm และสูงจากพื้น 700 mm มีช่องระบายซีเมนต์เป็นขนาด 165x165 mm ระยะลาดเอียงเท่ากับ 87 mm เพื่อให้ซีเมนต์จากการเผาถ่านให้ความร้อน ตกลงมาที่ช่องระบายซีเมนต์ และทำการเจาะรูขนาด 63 mm เพื่อให้กระบอกอัดขึ้นรูปสามารถผ่านได้ โดยใช้เหล็กหล่อเป็นวัสดุในการสร้าง ได้แสดงขนาดของการออกแบบระบบให้ความร้อน ในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองแบบ 3 มิติห้องให้ความร้อน ที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.4 แบบจำลองแบบ 3 มิติห้องให้ความร้อน

สำหรับในการวิจัยเรื่อง ค่าพลังงานความร้อนก่อนและหลังอัดแท่งจากการผสมผักตบชวา กับ กะลาตาล ระยะเวลาการมอดดับและวัดค่ามลพิษ NO และ CO มีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย ดังนี้

- 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย
- 3.2 สถานที่ทำการทดลอง
- 3.3 ระยะเวลาการทดลอง
- 3.4 งบประมาณการวิจัย
- 3.5 การวางแผนการทดสอบหากำลังการผลิตของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน
- 3.6 การวางแผนการทดสอบชีวมวลอัดแท่ง

3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

3.2.1. เครื่องอัดชีวมวล



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดชีวมวลแบบสกรู

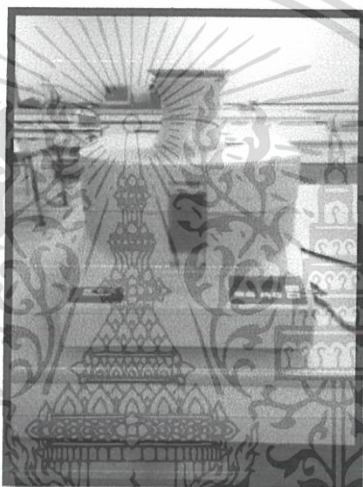
เครื่องอัดชีวมวลแบบสกรู ขนาดมอเตอร์ 5 hp ชนิดแบบอัดเย็น เป็นเครื่องที่ได้นำมาพัฒนาให้สามารถอัดแท่งชีวมวลแบบร้อนได้ โดยเครื่องอัดชีวมวลแบบสกรู ตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงในรูปที่ 3.5

3.2.2. เครื่องบดย่อย

เครื่องบดย่อย fritsch pulverisette 14 บดย่อยชีวมวลให้มีขนาด 2 – 4 mm ที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที โดยทำการบดกะลาตาล และ ผักตบชวา อย่างละ 50 kg เครื่องมืออยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แสดงในรูปที่ 3.6

3.2.3. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ของกระบอกอัดขึ้นรูป โดยใช้วัดที่ผิวของกระบอกอัดขึ้นรูป หลังจากการให้ความร้อนโดยใช้ถ่านไม้ ให้อุณหภูมิที่ผิวของกระบอกอัดขึ้นรูปมีอุณหภูมิมากกว่า 300 °C แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 เครื่องบดย่อย



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

3.2.4. เครื่อง bomb calorimeter

bomb calorimeter ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลก่อนและหลังอัดแท่ง ในอัตราส่วนผสม ผักตบชวา และ กะลาตาล ที่ 25 : 75 50 : 50 และ 75 : 25 แสดงในรูปที่ 3.8

3.2.5. เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ใช้ในการวัดอุณหภูมิของชีวมวลอัดแท่งให้อัตราส่วนผสม ผักตบชวาต่อกะลาตาล โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เครื่อง bomb calorimeter



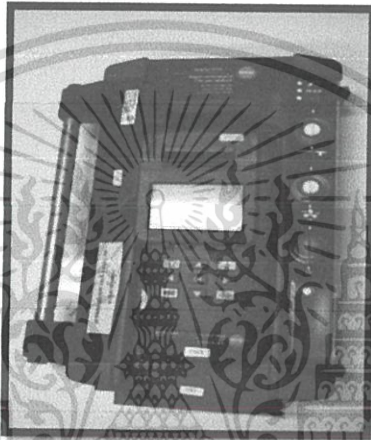
รูปที่ 3.9 เทอร์โมคัปเปิ้ล

3.2.6. เครื่องวัดมลพิษ (Testo 350XL)

รูปที่ 3.10 แสดง Testo 350XL ใช้สำหรับวัดค่าก๊าซไอเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมหลังจากการให้ความร้อน ในการวิจัยจะใช้วัดก๊าซ CO และ NO ที่บริเวณจากขอบเตาอังโล่

3.2.7. ผักตบชวา

รูปที่ 3.11 แสดง ผักตบชวาที่ผ่านการตัดและอบแห้งแล้ว นำไปบดย่อยให้มีขนาด 2 – 4 mm



รูปที่ 3.10 Testo 350XL



รูปที่ 3.11 ผักตบชวาที่ผ่านการตัดและอบแห้งแล้ว

3.2.10. กะลาตาล

รูปที่ 3.12 แสดง กะลาตาลที่ได้จากการที่เหลือทิ้งทางการเกษตร ที่ผ่านการบดย่อยให้มีขนาด 2 – 4 mm

3.2.11. บีกเกอร์

รูปที่ 3.13 แสดง บีกเกอร์ ขนาด 300 ml ใช้ในการใส่ตัวอย่างน้ำในการทดลอง



รูปที่ 3.12 กะลาตาลที่ได้จากการที่เหลือทิ้งทางการเกษตร



รูปที่ 3.13 บีกเกอร์ขนาด 300 ml

3.2.12. แท่นพร้อมที่จับปีกเกอร์

รูปที่ 3.14 แสดง แท่นพร้อมที่จับปีกเกอร์ ใช้ในการจับปีกเกอร์ และ ยึดสาย เทอร์โมคัปเปิ้ล ในการทดลองการวัดค่าระยะเวลาการมอดดับ



รูปที่ 3.14 แท่นพร้อมที่จับปีกเกอร์

3.3. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4. ระยะเวลาการวิจัย

เริ่มการทดลองเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2557 ถึงเดือนมกราคม 2558 และการสรุปผลการทดลองพร้อมเขียนรายงานการวิจัยจะแล้วเสร็จภายในเดือนพฤษภาคม 2558 ซึ่งการดำเนินการตลอดระยะเวลาการวิจัยสามารถเขียนเป็นตาราง ที่ 3.2.

ตารางที่ 3.2. ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	2557					2558				
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เมย	พค
1.ศึกษาข้อมูลวัสดุ ทราย ผักตบชวา และกะลาตาล	←→									
2.เก็บรวบรวมวัสดุ		←→→→								
3.เตรียมวัสดุสำหรับทดลอง			←→→→							
4.ทดลองเผาผักตบชวาและกะลาตาล				←→→→						
5.วิเคราะห์และสรุปผล						←→→→				
6.เขียนรายงานการวิจัย								←→→→		

3.5. งบประมาณการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้งบประมาณเพื่อดำเนินการศึกษาและวิจัยเป็นจำนวนเงินโดยประมาณ 5000 บาทใช้ในการซื้อชีวมวลต่างมาใช้ในการทดลองและอุปกรณ์ต่างๆในการทำการทดลอง (ห้าพันบาทถ้วน)

3.6. การวางแผนการทดสอบหากล้างการผลิตของเครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบอัดร้อน

วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- เครื่องอัดชีวมวลแบบอัดร้อน
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- นาฬิกาจับเวลา
- ผักตบชวา และ กะลาตาล

วิธีการทดสอบหากล้างการผลิตของเครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบร้อน

1. เตรียมเครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบอัดร้อน เพื่อทำการอัดแห้งชีวมวล
2. เตรียมชีวมวลปริมาณ 4 กิโลกรัม
3. ทำการอัดแห้งชีวมวล โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำการอัดแห้งชีวมวล จนกระทั่งปริมาณชีวมวลที่เตรียมไว้หมด
4. นำชีวมวลอัดแห้งที่ได้ จากเครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบอัดร้อน มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ และ บันทึกผลการทดลอง

5. นำค่าที่ได้จากการทดลอง ไปคำนวณในสมการ

3.7. การวางแผนการทดสอบชีวมวลอัดแท่ง

3.7.1. การทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนอัดแท่งและหลังอัดแท่ง

วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- bomb calorimeter
- เครื่องบดย่อย

วิธีการทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนอัดแท่งและหลังอัดแท่ง

1. นำฝักตบชวา และ กะลาตาล มาบดย่อยให้มีขนาด 2 – 4 mm
2. ทำการผสมในอัตราส่วนผสมฝักตบชวาต่อกะลาตาล 25 : 75 50 : 50 และ 75 : 25 ตัวอย่างละ 0.5 g
3. นำชีวมวลที่อัดแท่งที่ได้ตามอัตราส่วนผสม 25:75, 50:50, 75:25 มาบดย่อยให้มีขนาด 2 – 4 mm ตัวอย่างละ 0.5 g
4. วิเคราะห์ค่าความร้อนโดยใช้ bomb calorimeter เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของฝักตบชวาและกะลาตาล ระหว่างก่อนอัดแท่งและหลังอัดแท่ง โดยทำการทดลองแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ และ บันทึกผลการทดลอง

3.7.2. การทดลองหาระยะเวลามอดดับ และ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น

วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- เตาอังโล่
- บีกเกอร์ขนาด 400 ml
- เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K
- แท่นพร้อมที่จับบีกเกอร์
- นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลองหาระยะเวลามอดดับ และ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น

1. นำชีวมวลอัดแท่งในอัตราส่วนผสมผักตบชวาต่อกะลาตาล 25:75, 50:50, 75:25 และชีวมวลอัดแท่งจากโครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา ตัวอย่างละ 500 g มาเผาในเตาอังโล่เพื่อให้ความร้อนน้ำ
2. ทำการเผาชีวมวลอัดแท่ง ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำที่มีปริมาตร 300 ml โดยใช้ thermocouple วัดอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที g ทดลองแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ และ บันทึกผลการทดลอง
3. จับเวลาเพื่อหาระยะเวลาการมอดดับ โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ชีวมวลอัดแท่งติดไฟจนกลายเป็นเถ้า ทดลองแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ และ บันทึกผลการทดลอง

3.7.3. การทดลองวัดค่ามลพิษ CO และ NO

วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- เตาอังโล่
- เครื่อง Testo 350XL

วิธีการทดลองวัดค่ามลพิษ CO และ NO

1. นำชีวมวลอัดแท่งในอัตราส่วนผสมผักตบชวาต่อกะลาตาล 25:75, 50:50, 75:25 และชีวมวลอัดแท่งจากโครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา ตัวอย่างละ 500 g มาเผาในเตาอังโล่เพื่อให้ความร้อนน้ำ
2. ทำการเผาชีวมวลอัดแท่ง แล้วทำการวัดค่า CO และ NO โดยใช้เครื่อง Testo 350XL ที่ระดับความสูงทุกๆ 10 cm. จนถึงความสูง 50 cm. โดยเริ่มวัดจากขอบเตาอังโล่

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบของชีวมวล

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติของชีวมวล (As-received basis)

Analysis	Material	Water hyacinth	Palmyra palm shell
Ultimate analysis	C	27.79	47.14
	H	4.55	6.26
	O	34.39	44.42
	N	0.93	0.20
	S	0.32	0.08
Proximate analysis	Moisture	6.33	9.67
	Ash	32.02	1.83
	Volatile matter	57.31	71.68
	Fixed carbon	2.42	16.81
Low heating value (J/g)		9,710.4	16,690.8

4.2. ผลการทดลองหาค่าพลังงานผลิตของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน

ตารางที่ 4.2 แสดง ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งชีวมวลของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน

น้ำหนักวัตถุดิบ (กก.)	เวลาที่ใช้ในการอัด (นาที)	น้ำหนักเชื้อเพลิงที่ได้ (กก.)	% loss
4	10.31	3.71	7.25
4	12.11	3.68	8
4	8.05	3.66	8.5
4	10.04	3.82	4.5
4	9.54	3.75	6.25
ค่า SD	1.46	0.06	1.59
เฉลี่ย	10.01	3.72	6.9

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการอัดแท่งชีวมวลของเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบอัดร้อน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องอัดชีวมวลแบบอัดร้อนที่ผู้ทำงานวิจัยได้ทำการพัฒนา โดยกำลังการผลิตชีวมวลอัดแท่ง = 22.3 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.3. ผลการทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนและหลังอัดแท่ง

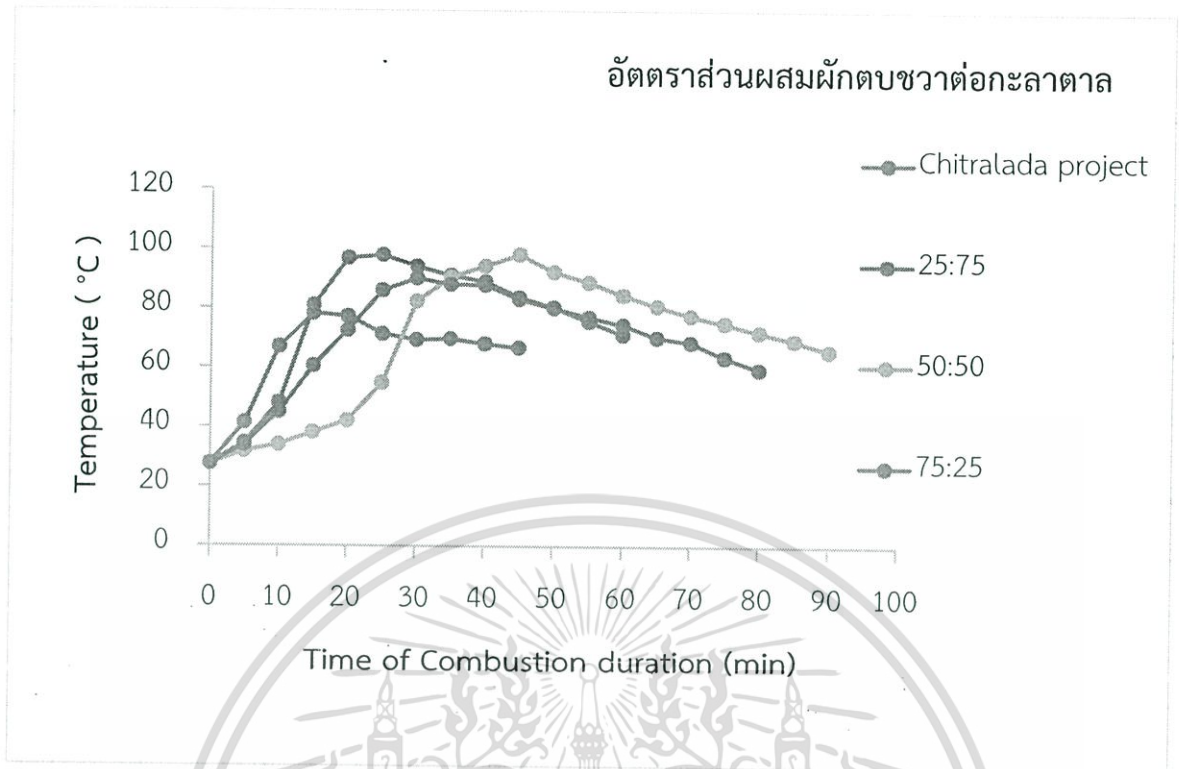
ตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อทำการอัดแท่งชีวมวลแล้วค่า High Heating Value มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากขณะทำการอัดแท่งชีวมวลโดยการให้ความร้อนสารประกอบในชีวมวลเช่น ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ได้ถูกเผาไหม้จนทำให้ปริมาณ Fixed carbon ในชีวมวลอัดแท่งเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ Fixed carbon มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มของค่า High Heating Value

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลง High Heating Value ของชีวมวลก่อนและหลังอัดแท่ง

อัตราส่วน ผักตบชวา : กะลาตาล	High Heating Value (j/g)		เปอร์เซ็นต์การ เปลี่ยนแปลง
	ชีวมวล	ชีวมวลอัดแท่ง	
25:75	16794±61.53	17292±43.50	2.96±0.49
50:50	15300±40.63	15874±85.34	3.75±0.74
75:25	14038±59.18	14889±36.61	6.06±0.36

4.4. ผลการทดลองหาระยะเวลาการมอดดับอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.1 พบว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 50:50 สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้มีอุณหภูมิสูงสุด เมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ และระยะเวลาในการมอดดับของชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 50:50 ก็ยังนานที่สุด (มอดช้า) เมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ แต่ชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วน 50:50 ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นช้ากว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วน 50:50 จุดติดไฟได้ยากกว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ และชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 25:75 สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วน 50:50 แต่ระยะเวลาการมอดดับเร็วกว่า(มอดเร็ว) ส่วนชีวมวลอัดแท่งจากแกลบของสวนจิตรลดาทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเร็วกว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าชีวมวลอัดแท่งจากแกลบของสวนจิตรลดาจุดติดไฟได้ง่ายกว่าชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ

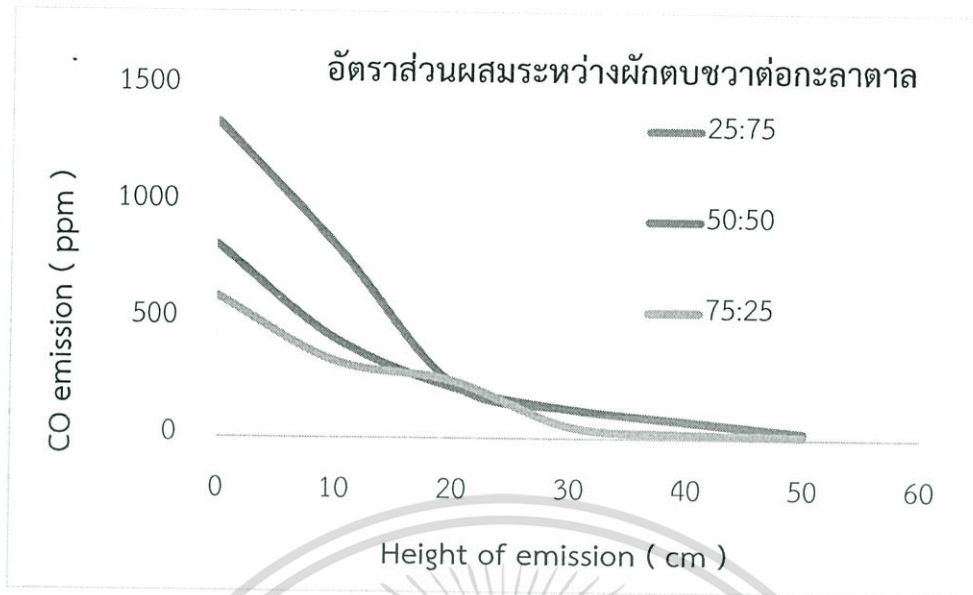


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการมอดดับและอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นของชีวมวลอัดแท่งในอัตราส่วนต่างๆ

4.5. การทดลองการหาค่ามลพิษ (NO,CO) จากการเผาไหม้ชีวมวลอัดแท่ง

4.5.1. ผลการเกิด CO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

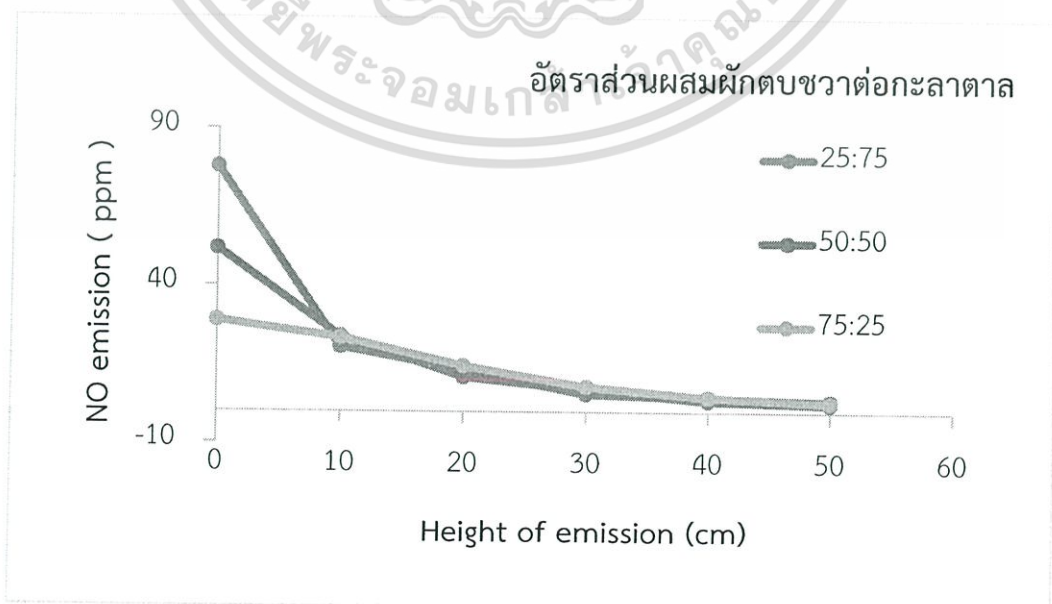
รูปที่ 4.2 พบว่าค่า CO มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยที่เริ่มต้นชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 25:75 มีค่า CO มากที่สุดเมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งชีวมวลอัดแท่งจากแกลบของสวนจิตรลดา มีค่า CO ใกล้เคียงกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วน 25:75 และชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 75:25 มีค่า CO น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าชีวมวลอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผสมของกะลาตาลมากจะมีค่า CO มากด้วยเช่นกัน นั่นเป็นเพราะกะลาตาลมีค่าคาร์บอนสูง ซึ่ง CO เกิดจากคาร์บอนในชีวมวลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ



รูปที่ 4.2 แสดงค่าการเกิด CO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

4.5.2. ผลการเกิด NO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน

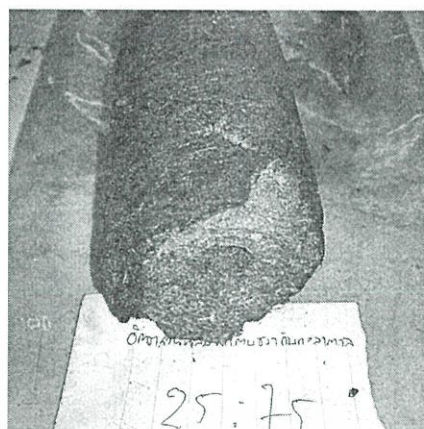
รูปที่ 4.3 พบว่าค่า NO มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยที่เริ่มต้นชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 25:75 มีค่า NO มากที่สุดเมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ และชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับกะลาตาล 75:25 มีค่า NO น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชีวมวลอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าชีวมวลอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผสมของกะลาตาลมากจะมีค่า NO มากด้วยเช่นกัน นั่นเป็นเพราะกะลาตาลมีความชื้นสูง ซึ่ง NO เกิดจากความชื้นในชีวมวลทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศ



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการเกิด NO จากการเผาไหม้ของชีวมวลอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน



ก



ข



ค

รูปที่ 4.4 ชีวมวลอัดแท่งผักตบชวาและกะลาตาล

ก.อัตราส่วนผักตบชวาและกะลาตาล 75:25

ข.อัตราส่วนผักตบชวาและกะลาตาล 25:75

ค.อัตราส่วนผักตบชวาและกะลาตาล 50:50

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นชีวมวลอัดแท่งที่ผ่านการอัดแบบให้ความร้อนโดยใช้เครื่องอัดที่ทางกลุ่มผู้จัดทำพัฒนาขึ้นมา พบว่าที่อัตราส่วน 50:50 นั้นชีวมวลที่อัดได้มีการแตกหักน้อยกว่าอัตราส่วนอื่นโดยใช้การสังเกตด้วยตา

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

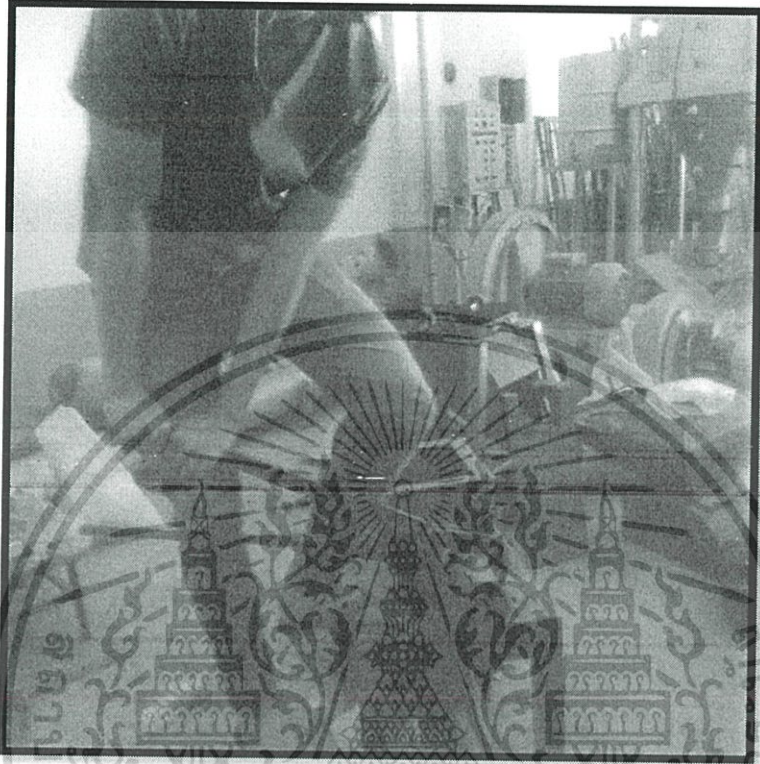
5.1. สรุปผลการวิจัย

เครื่องอัดชีวมวลอัดแห้งที่ได้ทำการพัฒนาสามารถอัดชีวมวลได้ โดยการใส่ระบบให้ความร้อนขณะทำการอัดแห้ง ความร้อนนั้นจะสามารถทำให้ลิกนินในชีวมวลละลายจนกลายเป็นตัวประสานและส่งผลให้การลำเลียงชีวมวลลำเลียงง่ายขึ้นขณะทำการอัดแห้ง ซึ่งมีกำลังการผลิต 22.3 กิโลกรัม/ชั่วโมง หลังจากอัดแบบให้ความร้อนแล้ว ชีวมวลอัดแห้งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น 2.96 - 6.06% ซึ่งสามารถนำผักตบชวาและกะลาตาลมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตชีวมวลอัดแห้งได้ และถ้าหากมีปริมาณกะลาตาลในอัตราส่วนผสมมากจะทำให้เกิดค่า CO และ NO ที่มากขึ้นตาม และชีวมวลอัดแห้งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อกะลาตาลที่ 50:50 มีระยะเวลาหมอดัดบนาน(หมอดข้า)ที่สุดที่ 90 นาทีและมีการให้ความร้อนกับน้ำจนได้อุณหภูมิสูงสุด 98°C เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลอัดแห้งที่อัตราส่วนอื่น และมีค่า High heating value = 15874±85.3 (J/g) โดยที่ชีวมวลอัดแห้งที่อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อกะลาตาล 25:75 สามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นถึง 97.8°C ซึ่งใกล้เคียงกับชีวมวลอัดแห้งที่อัตราส่วน 50:50 แต่มีระยะเวลาในการหมอดัดบน้อยกว่า(หมอดเร็ว)

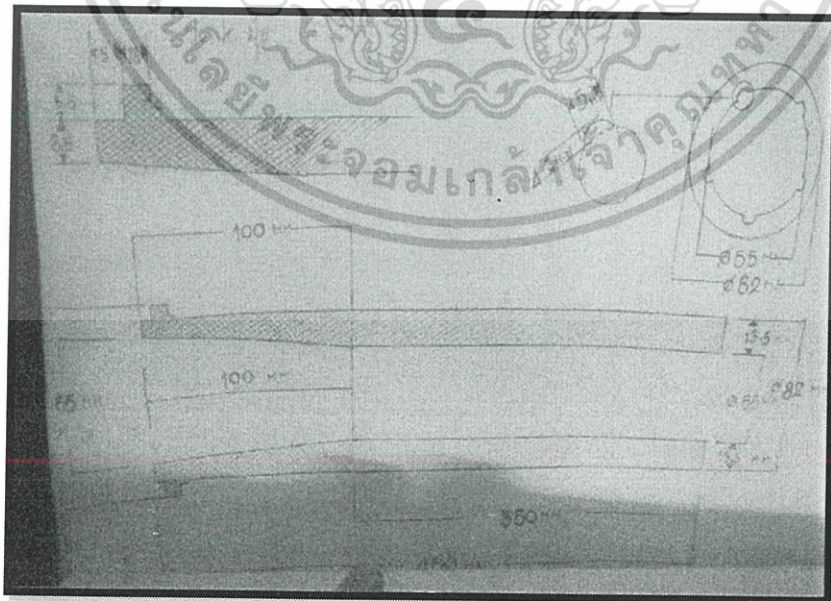
5.2. ข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งต่อไป

1. ในกระบวนการอัดแห้งชีวมวลโดยใช้เครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบอัดร้อนยังคงมีความอันตรายในการบรรจุวัตถุดิบลงในช่องลำเลียงวัตถุดิบของเครื่องอัดแห้งชีวมวลแบบอัดร้อนเนื่องจากต้องคอยกดหรือดันวัตถุดิบลงไปเพื่อให้ลำเลียงต่อเนื่องผู้ใช้เครื่องควรมีความชำนาญและความระมัดระวังในการใช้เครื่อง
2. ในการอัดแห้งชีวมวลบางครั้งเครื่องอัดชีวมวลมีกำลังในการอัดไม่พอ ควรเพิ่มขนาดมอเตอร์ขนาดมอเตอร์ที่แนะนำ 15-20 hp

ภาคผนวก ก



รูปที่ 1 ปัญหาชีวมวลมีการติดกันเป็นก้อนแข็งในกระบอกอัด



รูปที่ 2 ออกแบบกระบอกอัดขึ้นรูปของ โรงกลบ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรดา



รูปที่ 3 ซิวมวลัดแตงจากสวนจิตรลดา



ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองหาค่าการเกิด NO Emission ของรูปที่ 4.5.2

ตัวอย่าง ความสูง	อัตราส่วนผักตบชวาและกะลาตาล			
	75:25	50:50	25:75	Chitralada
0	28.8	51.75	77.71	57.0
10	23.4	23.8	20.5	19.4
20	14.5	11.0	13.3	7.33
30	8.0	7.0	5.5	4.0
40	4.8	3.5	4.5	1.0
50	3.0	2.5	3.5	0

ตารางที่ 2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองหาค่าการเกิด CO Emission ของรูปที่ 4.5.1

ตัวอย่าง ความสูง	อัตราส่วนผักตบชวาและกะลาตาล			
	75:25	50:50	25:75	Chitralada
0	600.8	821.6	1348.2	1305.6
10	325.0	421.7	821.6	1013.5
20	243.4	215.4	232.0	434.5
30	47.6	123.3	123.4	52.0
40	19.0	71.0	73.9	21.0
50	10.2	20.8	25.3	3.5

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการทดลองหาระยะเวลาการมอดดับของชีวมวลอัดแห้ง และอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นของรูปที่ 4.4

ระยะเวลาติดไฟ	อัตราส่วนผักตบชวากับกะลาตาล			
	Chitralada	25/75	50/50	75/25
0	27.5	27.5	27.5	27.5
5	41.3	34.4	31.7	33.9
10	66.9	48	33.9	44.9
15	78.1	80.9	38.1	60.5
20	77.1	96.7	42	72.5
25	71.3	97.8	54.8	86
30	69.3	94	82.3	90
35	69.7	91	90.5	88
40	68	88.9	94.2	87.8
45	66.7	83.6	98	83
50		80.3	92.2	80.1
55		75.6	88.8	77
60		71.2	84.4	74.5
65			80.8	70.2
70			77.5	68.6
75			75	63.6
80			72	59.5
85			69.3	
90			65.8	

LF - 044

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

TEST REPORT

FOR PROXIMATE ANALYSIS

Report No. C.029/58

Page 1 of 2

CUSTOMER : นางสาวจรรยา เวชพาดินย์

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LAB NO.				58X0029	58X0030
SAMPLE NAME				กะลาตลบค	ผักคชขาวค
SAMPLE DESCRIPTION				-	-
SAMPLE CONDITION				normal	normal
SAMPLED DATE				-	-
RECEIVED DATE				24/01/2015	24/01/2015
ANALYSED DATE				28/01/2015-05/02/2015	28/01/2015-05/02/2015
AS RECEIVED BASIS	PARAMETER	UNIT	METHOD	RESULT	
	MOISTURE	% by weight	ASTM D3302 M-10	9.67	9.24
	ASH	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	1.83	31.02
	VOLATILE MATTER	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	71.68	57.31
	FIXED CARBON	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	16.81	2.42
	SULPHUR	% by weight	ASTM D4239-12	0.08	0.31
	GROSS CALORIFIC VALUE	MJ/Kg Kcal/Kg	ASTM D5865-11a	18.01 4306	10.70 2557
	* NET CALORIFIC VALUE	MJ/Kg Kcal/Kg	ASTM D5865-11a	16.63 3974	9.67 2312
DRY BASIS	ASH	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	2.03	34.18
	VOLATILE MATTER	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	79.36	63.15
	FIXED CARBON	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	18.61	2.67
	SULPHUR	% by weight	ASTM D4239-12	0.09	0.34
	GROSS CALORIFIC VALUE	MJ/Kg Kcal/Kg	ASTM D5865-11a	19.04 4767	11.79 2817
	* NET CALORIFIC VALUE	MJ/Kg Kcal/Kg	ASTM D5865-11a	18.67 4461	10.90 2606
AIR DRY BASIS	INHERENT MOISTURE	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	6.21	6.33
	ASH	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	1.90	32.02
	VOLATILE MATTER	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	74.35	59.15
	FIXED CARBON	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	17.44	2.50
	SULPHUR	% by weight	ASTM D4239-12	0.08	0.32
	GROSS CALORIFIC VALUE	MJ/Kg Kcal/Kg	ASTM D5865-11a	18.69 4466	11.04 2639
	* RELATIVE DENSITY		AS 1038.21.1.1-2002	-	-

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Chemist :

(Ms. Wiruchana Akkarut)

...../...../.....

LF - 112

Report No.C.029/58

Page 2 of 2

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND
TEST REPORT
FOR ULTIMATE ANALYSIS

CUSTOMER : นางสาวจรรยา เวชพาดินท์

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LAB NO.				58X0029	58X0030
SAMPLE NAME				กะลาเคลือบ	ผักคตขวามด
SAMPLE DESCRIPTION				-	-
SAMPLE CONDITION				normal	normal
SAMPLED DATE				-	-
RECEIVED DATE				24/01/2015	24/01/2015
ANALYSED DATE				28/01/2015-05/02/2015	28/01/2015-05/02/2015
AS DETERMINED (AIR DRY) BASIS	ULTIMATE ANALYSIS	UNIT	METHOD	RESULT	
		MOISTURE	% by weight	ASTM D7582-10 ^{e1}	6.31
	ASH	%	ASTM D7582-10 ^{e1}	1.90	32.02
	CARBON	%	ASTM D5373-08	47.14	27.79
	HYDROGEN	%	ASTM D5373-08	6.26	4.55
	NITROGEN	%	ASTM D5373-08	0.20	0.93
	TOTAL SULPHUR	%	ASTM D4239-12	0.08	0.32
	* OXYGEN	%	(plus errors)	44.42	34.39
DRY BASIS	ASH	%	ASTM D7582-10 ^{e1}	2.03	34.16
	CARBON	%	ASTM D5373-08	50.34	29.67
	HYDROGEN	%	ASTM D5373-08	5.93	4.10
	NITROGEN	%	ASTM D5373-08	0.24	0.99
	TOTAL SULPHUR	%	ASTM D4239-12	0.09	0.34
	* OXYGEN	%	(plus errors)	41.43	30.71
DRY ASH-FREE BASIS	CARBON	%	ASTM D5373-08	51.36	45.08
	HYDROGEN	%	ASTM D5373-08	6.05	6.23
	NITROGEN	%	ASTM D5373-08	0.22	1.51
	TOTAL SULPHUR	%	ASTM D4239-12	0.09	0.52
	* OXYGEN	%	(plus errors)	42.29	46.66

Remark : The results relate only to the sample(s) tested. This document shall not be reproduced except in full.

Chemist :

(Dr.Kanitta Wongyai)

...../...../.....

เอกสารอ้างอิง

- [1] นางศุภฤกษ์ ดวงขวัญ. การกำจัดผักตบชวา, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.google.co.th/การจัดการผักตบชวา>. (วันที่ค้นข้อมูล : 15 พฤศจิกายน 2557).
- [2] มหาวิทยาลัยรังสิต. ผักตบชวา...วัชพืชร้ายคู่สายน้ำ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.jr-rsu.net/article/202>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 พฤศจิกายน 2557).
- [3] Chanphen Chumsang and Pitak Upan. "Production of Charcoal Briquettes from Palmyra Palm", *Applied Environmental Research.*, P:29-38. [June 2014].
- [4] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. "คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน" หน้า:21-24. [February 2555].
- [5] D. Andrejko and J. Grochowicz. 2007. Effect of the moisture content on compression energy and strength characteristic of lupine briquettes. *Journal of food engineering.* P:116-120.
- [6] ดร.รัชดาภรณ์ แก้วกล้า. การเผาไหม้ถ่านหิน. การเผาไหม้. 2014. หน้า:2-7
- [7] โครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อมสถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม. การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization). [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <http://measwatch.org/news/1460>. (วันที่ค้นข้อมูล : 10 พฤศจิกายน 2557).
- [8] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาห่วงโซ่อุปทาน" หน้า:51-52. [January 2014].
- [9] Nalladurai Kaliyan and R. Vance Morey 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. 1st : *Biomass & Bioenergy.* P:337-359
- [10] Md. Ahiduzzaman and A.K.M. Sadrul Islam. 2013. Development of biomass stove for heating up die barrel of rice husk briquette machine. 5th : *Procedia Engineering.* P:777-781
- [11] กิตติลดา วรฉันท และ ชัชวาล อัยยาริทธิ. 2555. ศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 8. จังหวัดมหาสารคาม

[12] Kittipong Laloon , Somposh Sudajan and Chaiyan Jansiri. 2012. Effects of Charcoal

Type and Screw Pressing Speed on the Performance of Screw Press Unit and Quality of Charcoal Block. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 13. จังหวัดเชียงใหม่. หน้า : 284-290

[13] Sirichai Torsakul , Kunthon Thongsri and Chongkol Supharattana. 2012.

Development of Charcoal Briquette from Scrapped Coconut for Alternative Energy. การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม .จังหวัดเพชรบุรี. หน้า:1381-1386

