

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช
THE STUDY OF BIOMASS PELLET PRODUCTION FROM WEED



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช
THE STUDY OF BIOMASS PELLET PRODUCTION FROM WEED



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF BIOMASS PELLET PRODUCTION FROM WEED



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 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกันตวิษณุ พรหมทอง	59010084	
	นางสาวชนกจิต น้อยคำ	59010261	
	นางสาวธนาภรณ์ บัญชาดิฐ	59010580	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นารัตระพี นาคะวังชนะ		
	ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ		
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืชจากองค์ประกอบเชิงประมาณ และค่าความร้อนของวัชพืช 4 ชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ หญ้าคา ธูปฤาษี และผักกระเฉด จากการศึกษาพบว่า ไมยราบยักษ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณความชื้นและเถ้าต่ำคือ 3.07% และ 2.68% อีกทั้งมีปริมาณคาร์บอนคงที่และปริมาณไอระเหยสูงคือ 14.13% และ 80.12% และมีค่าความร้อนต่ำที่สูงคือ 18,334.08 J/g ดังนั้นจึงถูกนำมาเป็นตัวอย่างในการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จากผลการศึกษาองค์ประกอบเชิงประมาณ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแต่ละอัตราส่วน พบว่าปริมาณน้ำส่งผลให้ ปริมาณความชื้น ปริมาณคาร์บอนคงที่ ปริมาณไอระเหย ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนต่ำ ในแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่สูงเกินไปส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณไอระเหยและปริมาณคาร์บอนคงที่ลดต่ำลง และจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และปริมาณเศษผงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ได้ผลสรุปว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างไมยราบยักษ์และน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณน้ำ 8% โดยมวลของวัชพืช ซึ่งมีผลปริมาณความชื้น ปริมาณคาร์บอนคงที่ ปริมาณไอระเหย และปริมาณเถ้าร้อยละ 7.83, 10.92, 78.77 และ 2.48 ตามลำดับ และมีค่าความร้อนต่ำ 18747.46 J/g สำหรับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด พบว่ามีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 8.29 มิลลิเมตร ค่าความยาวเฉลี่ย 29.68 มิลลิเมตร ค่าความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตรร้อยละ 0.93 ปริมาณเศษผงร้อยละ 3.65 และค่าความหนาแน่นรวม 649.19 kg/m³ และผลของค่าองค์ประกอบธาตุพบว่ามีปริมาณคาร์บอน (C) ปริมาณไฮโดรเจน (H) ปริมาณกำมะถัน (S) ปริมาณไนโตรเจน (N) และปริมาณออกซิเจน (O) ร้อยละ 44.51, 6.20, 0.20, 0.47 และ 46.14 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นมาตรฐานแล้วพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์จัดอยู่ในขั้นมาตรฐานที่ 3 ซึ่งอยู่ในระดับขั้นที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดเม็ด, วัชพืช, ไมยราบยักษ์

Thesis Title	The study of biomass pellet production from weed		
Authors	Kantawit	Promthong	59010084
	Chanokchit	Noikham	59010261
	Thanaphon	Banchadit	59010580
Thesis Advisor	Asst. Prof. Natrapee Nakawajana, D.Eng. Asst. Prof. Prasan Chumjaihan, Ph.D.		
Year	2019		

Abstract

The objective of this research was to study the production of biomass pellet from weeds. Four weed types were used in this research, including Giant sensitive plant, Cogon grass, Cattail, and Neptunia for the study of proximate analysis and heating value. The results were Giant sensitive plant the most appropriate qualifications, there were low moisture content and ash of 3.07% and 2.68% and high fixed carbon and volatile matter of 14.13% and 80.12% and high lower heating value of 18,334.08 J/g. Thus, it was selected to study the suitable ratio of plants and water in biomass pellet. From the results of proximate analysis and heating value of each ratio of biomass pellet, water content had different effects on moisture content, fixed carbon, volatile matter, ash and lower heating value in each ratio. The results were shown excessive water content leads to the higher of moisture content and ash while the lower of volatile matter and fixed carbon. From the study of physical properties, the higher amount of water results in the higher diameter, length and fines of biomass pellets. The results of comparing various properties showed that biomass pellet from Giant sensitive plant had the most suitable ratio between Giant sensitive plant and water which of water content 8% by mass of weed. Moisture content, fixed carbon, volatile matter and ash of this biomass pellets were 7.83%, 10.92%, 78.77% and 2.48% respectively and lower heating value was 18,747.46 J/g. For physical properties, the average diameter was 8.29 mm, the average length was 29.68 mm, the amount of pellets longer than 40 mm was 0.93%, the fines was 3.65% and bulk density was 649.19 kg/m³. And elemental composition including Carbon, Hydrogen, Sulfur, Nitrogen and Oxygen of this biomass pellets were 44.51%, 6.20%, 0.20%, 0.47% and 46.14% respectively. When compared with standard classes of biomass pellet, biomass pellet from Giant sensitive plant was classified in class 3. The results obtained could be used as a fuel for industrial factory.

Keywords: Biomass pellet, weed, Giant sensitive plant

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นารณะพินาคะวัจนะ และผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ ที่ช่วยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการจัดทำโครงการ รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักวิจัยของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆชาววิศวกรรมเกษตร ที่สละเวลาให้คำปรึกษาให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทดลองเสมอ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำงานและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา

นายกันตวิษณุ	พรหมทอง	59010084
นางสาวชนกจิต	น้อยคำ	59010261
นางสาวธนาภรณ์	บัญชาดิฐ	59010580

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชีวมวล.....	4
2.1.1 พลังงานชีวมวล	4
2.1.2 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล	4
2.1.3 สมบัติของชีวมวล	6
2.2 วัชพืชที่ศึกษา.....	6
2.2.1 ผักกระฉูด.....	6
2.2.2 หญ้าคา	7
2.2.3 รุปลากษี.....	8
2.2.4 ไมยราบยักษ์	9
2.3 ค่าความร้อน.....	11
2.3.1 ค่าความร้อน (CALORIFIC VALUE).....	11
2.3.2 ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูง-ต่ำ.....	11
2.3.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อน.....	12
2.3.4 หลักการทำงานของ เครื่อง BOMB CALORIMETER.....	13
2.4 ความชื้นในพืช	13
2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ.....	14
2.5.1 รายละเอียดขององค์ประกอบโดยประมาณ	14
2.5.2 หลักการทำงานของเครื่อง FURNACE.....	15
2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ.....	16
2.6.1 องค์ประกอบธาตุ	16
2.6.2 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ธาตุ.....	16
2.6.3 หลักการทำงานของเครื่อง SULFUR ADD-ON MODULE	17
2.7 คุณสมบัติทางกายภาพ	18
2.7.1 การทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	18
2.7.2 การทดสอบปริมาณเศษผง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 การทดสอบความหนาแน่นรวม	18
2.8 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด	19
2.8.1 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	19
2.8.2 มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด	19
2.8.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	21
2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความร้อนของพืช.....	22
2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นที่มีผลต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	22
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	24
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 แผนผังการทดลอง	24
3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง.....	25
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ด.....	25
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล.....	26
3.3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลหลังอัดเม็ด.....	26
3.4 การทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	26
3.4.1 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง BOMB CALORIMETER.....	26
3.4.2 การวัดค่าความชื้น.....	28
3.4.3 การวัดปริมาณไอระเหย.....	28
3.4.4 การวัดปริมาณเถ้า.....	29
3.4.5 การวัดปริมาณคาร์บอนคงที่.....	30
3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	30
3.6 การอัดเม็ดชีวมวล.....	30
3.7 การทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	31
3.7.1 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	31
3.7.2 การหาปริมาณร้อยละเศษผง.....	32
3.7.3 การหาความหนาแน่นรวม.....	32
3.8 การทดลองเพื่อหาองค์ประกอบธาตุ.....	33
3.8.1 วิธีการหาค่าคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N)	33
3.8.2 วิธีการหาค่าซัลเฟอร์ (S).....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของพืชแต่ละชนิด.....	36
4.2 ค่าน้ำหนักสดต่อน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละชนิด.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ ในแต่ละอัตราส่วน	38
4.4 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน	39
4.5 ค่าองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในอัตราส่วนที่ดีที่สุด	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	57
ภาคผนวก ค.....	60
ภาคผนวก ง.....	68
ภาคผนวก จ.....	85
ภาคผนวก ช.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม 19

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของพีชแต่ละชนิด 36

ตารางที่ 4.2 ค่าน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของพีชแต่ละชนิด 37

ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ 38

ตารางที่ 4.4 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ 39

ตารางที่ 4.5 ค่าองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ 41

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพีชแต่ละชนิด 49

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพีชแต่ละชนิด 50

ตารางที่ ก.3 ค่าปริมาณไอระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพีชแต่ละชนิด 51

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพีชแต่ละชนิด 52

ตารางที่ ก.5 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน 53

ตารางที่ ก.6 ค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน 54

ตารางที่ ก.7 ค่าปริมาณไอระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน 55

ตารางที่ ก.8 ค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน 56

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของวัชพีชแต่ละชนิด 58

ตารางที่ ข.2 ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแต่ละอัตราส่วน 59

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน 61

ตารางที่ ค.2 ค่าความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน 62

ตารางที่ ค.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตรของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน 65

ตารางที่ ค.4 ค่าเปอร์เซ็นต์เศษผงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน 66

ตารางที่ ค.5 ค่าความหนาแน่นโดยรวมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการศึกษา	3
--	---

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของสารชีวมวล.....	5
รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกระฉูด.....	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าคา.....	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของธูปฤาษี.....	9
รูปที่ 2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไมยราบยักษ์.....	10
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล.....	12
รูปที่ 2.7 ISOPERIBOL CALORIMETER.....	12
รูปที่ 2.8 ADIABATIC CALORIMETER.....	13
รูปที่ 2.9 แผนผังการวัดของ CHN-628.....	17
รูปที่ 2.10 แผนผังการวัดของ SULFUR ADD-ON MODULE.....	17
รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	21

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง.....	24
รูปที่ 3.2 ธูปฤาษี (A), ผักกระฉูด (B), หญ้าคา (C), ไมยราบยักษ์ (D).....	25
รูปที่ 3.3 เครื่องบด (PULVER-SETTE14, FRITSCH, GERMANY).....	25
รูปที่ 3.4 เครื่องบดเตรียมตัวอย่าง (ROTARY MILL, BRA BENDER, GERMANY).....	26
รูปที่ 3.5 โกร่งบดยา (PORCELAIN PESTLE).....	26
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างวัชพืชที่นำมาอัดเม็ด.....	27
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวัชพืชที่ได้หลังจากการอัดเม็ด.....	27
รูปที่ 3.8 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล (PELLET PRESS).....	27
รูปที่ 3.9 เครื่อง BOMB CALORIMETER (C200, IKA, GERMANY).....	28
รูปที่ 3.10 ตู้อบลมร้อน (ULM 500, MEMMERT, GERMANY).....	28
รูปที่ 3.11 เตาเผาความร้อนสูง (JSMF-45T, JSR, KOREA).....	29
รูปที่ 3.12 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล (PELLET MAKING MACHINE, THAISUMI, THAILAND).....	30
รูปที่ 3.13 การหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	31
รูปที่ 3.14 การหาค่าความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด.....	31
รูปที่ 3.15 การหาปริมาณร้อยละเศษผง.....	32
รูปที่ 3.16 การหาความหนาแน่นรวม.....	32
รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ (CHNS-628 MANUAL, LECO, AMERICA).....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งในด้านการอำนวยความสะดวก ความปลอดภัย การรักษาพยาบาล การขนส่ง โดยพลังงานที่นำมาใช้จะอยู่ในรูปของแสงสว่าง ความร้อน และไฟฟ้า เป็นต้น และด้วยจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ความต้องการในการใช้พลังงานก็ยิ่งเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันทั้งภาคอุตสาหกรรม และครัวเรือนส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานที่ผลิตได้จากก๊าซธรรมชาติ ปิโตรเลียมและถ่านหิน ซึ่งเป็นพลังงานฟอสซิลที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำลายชั้นบรรยากาศโลก นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย อีกทั้งพลังงานจากฟอสซิลยังเป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปจึงเกิดภาวะถดถอยของแหล่งพลังงาน จึงได้มีการเสาะหาพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพและปริมาณที่มากพอ ซึ่งก็คือพลังงานจากชีวมวล (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2561)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ซึ่งได้แก่พืชที่มีการเจริญเติบโตหรือสังเคราะห์แสงโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาลแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปชีวมวลจึงได้พลังงานจากชีวมวลรูปแบบต่างๆ ที่สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทน ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงานมีด้วยกันหลายแหล่ง ได้แก่ จากแหล่งทรัพยากรเชื้อเพลิงชีวมวล จากของเสียจากกระบวนการผลิตเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และจากพืชที่ปลูกขึ้นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานชีวมวลอยู่มากเนื่องจากเป็นประเทศที่ภาคอุตสาหกรรมทางการเกษตรเป็นหลัก และมีศักยภาพสูงที่จะสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนได้ ซึ่งศักยภาพของการผลิตชีวมวลภายในประเทศนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย (คู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2551) โดยในแต่ละปีมีแนวโน้มในการผลิตที่คงที่ ซึ่งผลผลิตเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งชีวมวลเดิมที่มีการใช้อยู่แล้วเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตอย่างต่อเนื่อง และในขณะที่ความต้องการพลังงานชีวมวลนั้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการการใช้พลังงานทดแทนของประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เกิดความสนใจที่จะหาแหล่งชีวมวลชนิดใหม่ที่มีศักยภาพและมีปริมาณมากเพียงพอในการนำมาผลิตเป็นพลังงานชีวมวล นั่นก็คือวัชพืช

วัชพืช คือ พืชที่เป็นโทษในทางใดทางหนึ่ง อาทิเช่น เป็นโทษแก่พืชที่เราปลูกไว้ คอยแย่งอาหาร น้ำ และแสงแดด ทำให้พืชที่ปลูกไว้ไม่เจริญเติบโต ให้ผลผลิตน้อยลง และเนื่องจากวัชพืชเป็นพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ บางชนิดมีความทนต่อสภาพแวดล้อมสูง สามารถเจริญเติบโตและขยายอาณาเขตได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เราต้องเสียเงินและแรงงานเพื่อกำจัดวัชพืชเป็นจำนวนมาก แต่นอกจากโทษแล้วยังมีการใช้ประโยชน์จากวัชพืช ในด้านการนำมาเป็นยาสมุนไพร หรือวัสดุสำหรับห่ออาหาร และได้มีงานที่นำวัชพืชมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ การนำผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่มีอยู่จำนวนมากมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และอัดเม็ดได้ค่าความร้อนมากถึง 16.03 MJ/kg (นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร, 2559) มีการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นกระถินยักษ์ ต้นไมยราบยักษ์ และผักตบชวา โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 31.30 MJ/kg 28.72 MJ/kg และ 13.01 MJ/kg ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(พิมพ์นรดา จินดาธรานันท์ และคณะ, 2550) มีการศึกษาคุณสมบัติของหญ้าคาเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิง ได้ค่าความร้อนสูง 17.03 MJ/kg ได้ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไอรระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ 8.47%, 4.04%, 73.22% และ 14.27% ตามลำดับ (Kamaroddin et al., 2013) มีการศึกษาพัฒนาเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์ โดยใช้กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ได้ปริมาณถ่านไมยราบยักษ์ร้อยละ 20 โดยมวล ให้พลังงานงานความร้อนสูงถึง 15-36% มีค่าอยู่ในช่วง 3,900-5,500 cal/g (บุญจรรย์ โจลานันท์ และคณะ, 2554) และงานที่นำไมยราบยักษ์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยไมยราบยักษ์มีค่าความร้อนสูงถึง 17.5 MJ/kg (Wongsiriamnuay and Tippayawong, 2010)

จากข้อมูลดังกล่าวจึงทำให้เกิดความสนใจที่จะนำวัชพืชมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เนื่องจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนที่สูง (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) โดยมีลักษณะของวัชพืชที่ใช้ศึกษา คือ มีอยู่ทั่วไป สามารถนำมาเพาะปลูกได้ง่าย เจริญเติบโตเร็ว และทนต่อความแห้งแล้ง จึงให้ผลผลิตต่อไร่สูงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น ไม่ว่าจะเป็นไม้ ชี้เลื่อย หรือแกลบ จึงทำให้วัชพืชเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับใช้ในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ที่มีความต้องการเชื้อเพลิงจำนวนมาก และต้องการค่าความร้อนสูง เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ และรอบในการเก็บเกี่ยวผลผลิตสั้น ซึ่งวัชพืชที่นำมาศึกษามีด้วยกัน 4 ชนิด ได้แก่ ผักกระฉูด ไมยราบยักษ์ ฐปฤาษี และหญ้าคา โดยนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดระหว่างพืชและน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ และนำไปศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ค่าความชื้น ปริมาณคาร์บอนคงที่ และคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาคุณสมบัติชีวมวลของวัชพืช 4 ชนิด ได้แก่ ผักกระฉูด ฐปฤาษี ไมยราบยักษ์ และหญ้าคา เพื่อเลือกวัชพืชที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด
2. หาอัตราส่วนระหว่างวัชพืชและน้ำที่เหมาะสม ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช
3. ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืชที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัชพืชทั้ง 4 ชนิดที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง เช่น คุณสมบัติของชีวมวล การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช ค่าความร้อนของวัชพืช เป็นต้น

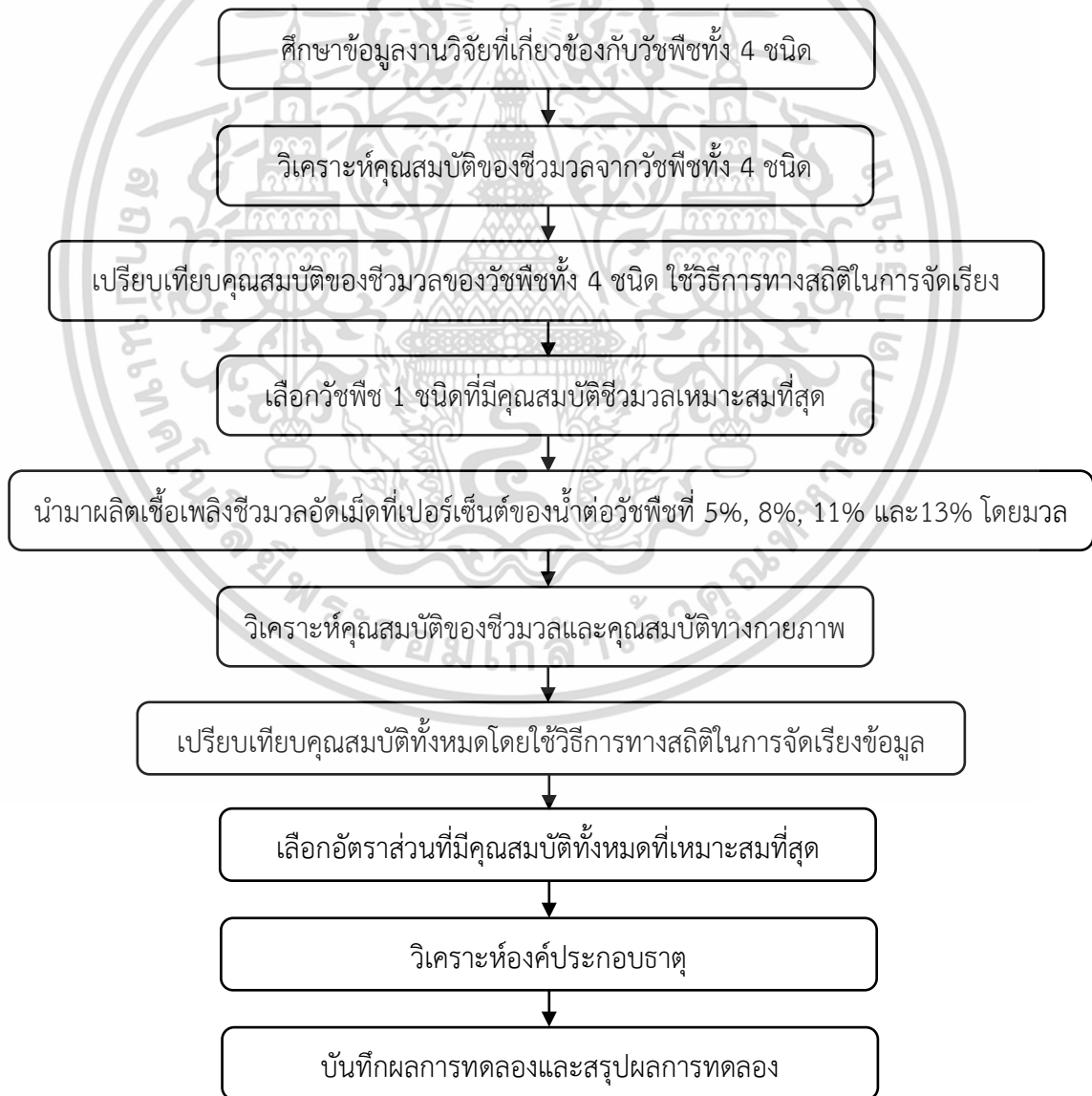
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการทดลองกับวัชพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ ฐปถาซี หญ้าคา และผักกระเฉด ชนิดละ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 12 ซ้ำ โดยนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวล ได้แก่ วิเคราะห์ค่าความร้อนโดยใช้ Bomb calorimeter วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณโดยใช้ เตาเผาความร้อนสูง (Furnace) และตู้อบลมร้อน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลต่างๆ และคัดเลือกวัชพืช 1 ชนิดที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีการทางสถิติในการจัดเรียงข้อมูล และช่วยในการตัดสินใจ

3. นำวัชพืชที่เลือก 1 ชนิด ไปทำการอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยทดลองอัดเม็ดที่อัตราส่วนระหว่างวัชพืชและน้ำในอัตราส่วนต่างๆโดยมวล นำไปวิเคราะห์ค่าความร้อนโดยใช้ Bomb calorimeter วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณโดยใช้ เตาเผาความร้อนสูง (Furnace) และตู้อบลมร้อน และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ความยาวเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาแน่นรวม และปริมาณเศษผง คัดเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด

4. ทำการทดลองกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ รุ่น CHNS-628

5. บันทึกผลการทดลอง และสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 1.1** แผนผังการดำเนินการศึกษา เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

2.1.1 พลังงานชีวมวล

ชีวมวล หรือ มวลชีวภาพ (Biomass) หมายถึง สารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ โดยไม่นับการกลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลไปแล้ว โดยมากมาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย น้ำเสียจากโรงงาน หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ต่างๆ สามารถแบ่งชีวมวลตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

1. พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงาน
2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง
3. ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระจินณรงค์ กระจินเทพา กระจินยักษ์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste Streams) เช่น กากน้ำตาล และชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบ ชี้อ้อย เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

นอกจากนี้ การใช้พลังงานชีวมวลถือเป็นการลดปัญหาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่ออุณหภูมิของโลกที่กำลังเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการเพาะปลูกพืชหรือชีวมวลทดแทนในอัตราที่เท่ากัน พืชเหล่านั้นก็จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเพื่อการเจริญเติบโตของตนเอง ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้น การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลถือว่าการใช้พลังงานที่ไม่ทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไซด์ของโลกเพิ่มขึ้น

2.1.2 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล (คู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2551)

2.1.2.1 เซลลูโลส

โพลีแซคคาไรด์ที่ดิกลูโคสถูกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้ากลูโคซิดิกซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{12}O_6)_n$ n คือดีกรีของโพลีเมอร์ไรเซชันซึ่งมีความกว้างตั้งแต่หลายพันจนถึงหลายหมื่นจำนวนผลลัพธ์ของการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ ดิกลูโคส (โมโนแซคคาไรด์) แต่บางส่วนให้ผลลัพธ์เป็นไดแซคคาไรด์ และโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีลำดับ $n=3$ ถึง 10 เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นผลึกและต้านทานต่อกรดและด่าง รูป 2.1-a แสดงโครงสร้างสูตรของเซลลูโลส

2.1.2.2 เฮมิเซลลูโลส

โพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีจำนวนยูนิตคาร์บอนเท่ากับ 5 โมโนแซคคาไรด์รวมถึง ดีไซโลส และดีอะราไบโนส และคาร์บอนเท่ากับ 6 โมโนแซคคาไรด์ รวมถึงดีแมนโนส กาแลคโตส และดิกลูโคสโมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 5 มีจำนวนมากกว่า โมดโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 6 สูตรโมเลกุลโดยเฉลี่ยคือ $(C_5H_8O_4)_n$ เนื่องจากดีกรีโพลีเมอร์ไรเซชันของเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 50-200 โดยมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเซลลูโลสจึงสามารถสลายพันธะได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นจำนวนมากสามารถละลายได้ในสารละลายเบสเฮมิเซลลูโลสทั่วไป คือ โซลันซึ่งประกอบด้วยโซลิตด้วยพันธะ 1,4 รูป 2.1-c แสดงสูตรโครงสร้างของโซลัน เฮมิเซลลูโลสอื่นๆ ได้แก่ กลูโคแมนแนน อย่างไรก็ตามเซลลูโลสทั้งหมดขึ้นกับชนิดและส่วนของพืช

2.1.2.3 ลิกนิน

สารประกอบที่ประกอบด้วย ยูนิตฟินิลโพรเพนและอนุพันธ์ ซึ่งเชื่อมกันเป็นสามมิติ โครงสร้างนั้นซับซ้อนและยังไม่มีผลเข้าใจอย่างแท้จริง รูป 2.1-d แสดงยูนิตที่ประกอบกันเป็นลิกนิน โครงสร้างสามมิตินั้นยากที่จะสลายโดยจุลชีพและสารเคมี นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรงทางกล และการป้องกันร่วมกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินถูกพบอย่างสากลในสารชีวมวลชนิดต่าง ๆ และแหล่งคาร์บอนธรรมชาติจำนวนมากมาย

2.1.2.4 แป้ง

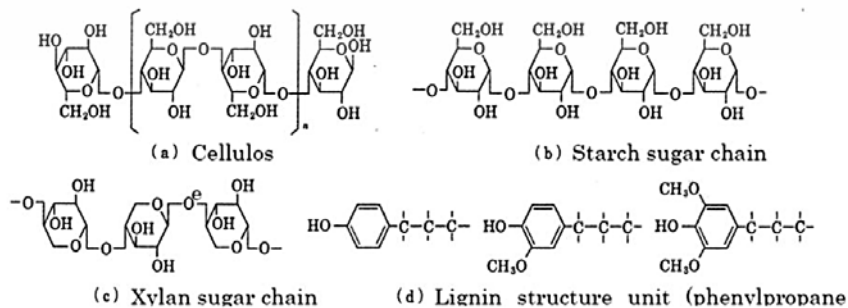
คล้ายเซลลูโลส แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยยูนิตของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟาไกลูโคไซด์ เนื่องจากความต่างของโครงสร้างพันธะ เซลลูโลสละลายน้ำแต่บางส่วนของแป้ง ดังรูป 2.1-b จะละลายในน้ำร้อน (อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 จนถึง 50,000 ประมาณ 10% - 20% ของแป้ง) และบางส่วนที่ไม่ละลาย (อะไมโล-18-เพกซิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000 ถึง 100,000 ประมาณ 80%-90% ของแป้ง) แป้งถูกพบใน เมล็ด รากและลำต้น

2.1.2.5 โปรตีน

เป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลิเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโน และอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโน และลำดับของโพลิเมอร์ไรเซชัน โปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวล และมีสัดส่วนน้อยกว่าสารอื่น

2.1.2.6 สารอื่น ๆ (อินทรีย์และอนินทรีย์)

ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ มีได้หลากหลายขึ้นกับชนิด สารอินทรีย์ที่มีจำนวนมาก ได้แก่ กลีเซอรอล (ตัวอย่าง เช่น น้ำมันผักกาดก้านขาว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันจากพืชชนิดต่าง ๆ) และซูโครสในอ้อยและต้นบีท ตัวอย่างอื่นๆ เช่น อัลคาลอยด์ รังควัตถุ เทอร์ปีน และซีดีง ถึงแม้ว่าจะพบสารเหล่านี้ได้น้อยแต่คุณค่ามากเนื่องจากใช้เป็นส่วนผสมของยา สารชีวมวลนั้นประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ แต่ยังคงประกอบด้วยสารอนินทรีย์เช่นซีดีงในจำนวนน้อย ธาตุโลหะพื้นฐาน ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็กและโซเดียม สารและปริมาณขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบตั้งต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักของสารชีวมวล

ที่มา: คู่มือสารชีวมวลเอเชีย (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมบัติของชีวมวล

สมบัติที่สำคัญของชีวมวล (Properties of Biomass Sources) ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ ที่สนใจในการนำชีวมวลที่ตนมีมาแปลงเป็นพลังงาน เนื่องจากสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการเลือก กระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงาน (Conversion process) และบ่งบอกความยากง่ายของการนำ ชีวมวลที่มีมาแปลงเป็นพลังงานในแต่ละกระบวนการ เพื่อเลือกกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานให้ เหมาะสมที่สุด

ซึ่งสมบัติที่สำคัญของชีวมวล ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture Content) ในชีวมวล ค่าความร้อน (Calorific Value) สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และไอระเหย (Proportion of Fixed Carbon and Volatile) สัดส่วนเถ้า (Ash/Residue Content) สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal), อัตราส่วน เซลลูโลสกับลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio) ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density)

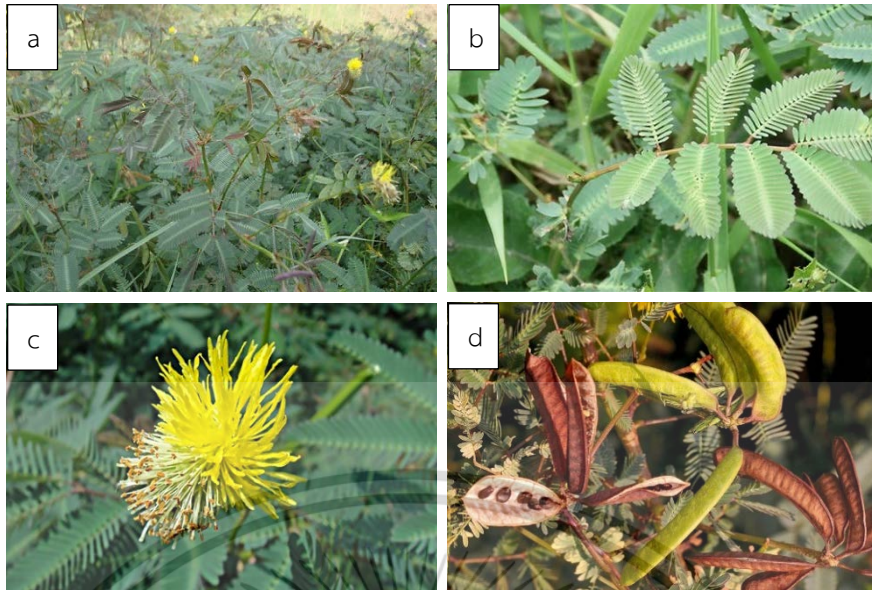
ชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้แตกต่างกันตามลักษณะองค์ประกอบต่าง ๆ ของชีวมวลแต่ละชนิด และสัดส่วนความชื้นที่สะสมอยู่ในชีวมวล

2.2 วัชพืชที่ศึกษา

2.2.1 ผักกระฉูด

ชื่ออื่นๆ : กาสเตโคค (อุตรธานี) ผักกระเฉดโคค (ทั่วไป) เหี่ยวระบาด (ปราจีนบุรี)
 ชื่อสามัญ : Water mimosa, Water sensitive plant
 ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Neptunia javanica* Miq.
 วงศ์ : MIMOSACEAE

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ : ผักกระฉูดเป็นไม้ล้มลุก ทอดเลื้อย ยาวได้ถึง 1 เมตร ดังรูป 2.1-a หูใบรูปหัวใจ ยาว 2-3 มิลลิเมตร ใบประกอบมี 1-3 ใบประกอบย่อย แขนกลางใบประกอบยาว 1-3 เซนติเมตร ต่อมไม้ชัดเจน ก้านใบยาว 0.5-1.5 เซนติเมตร ใบย่อยมี 7-20 คู่ รูปขอบขนาน เบี้ยว ยาว 0.2-0.8 เซนติเมตร ดังรูป 2.1-b ดอกเป็นช่อกลมสีเหลืองสดอยู่บนก้านดอก ออกดอกตรงซอกใบ ก้าน ดอกยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ดอกแต่ละดอกมีกลีบดอก 5 แฉกประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก ดอกที่เกิดบริเวณปลายช่อเป็นดอกตัวผู้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้จะเกิดช่วงกลางของช่อดอก ส่วน ล่างสุดเป็นดอกไม่มีเพศ ดังรูป 2.1-c ผลมีลักษณะเป็นฝักเกิดเป็นกลุ่ม แต่ละฝักโค้งงอเล็กน้อย มี 4-10 เมล็ด เมล็ดมีสีน้ำตาล ผิวเมล็ดมันและแข็ง ดังรูป 2.1-d การขยายพันธุ์โดยเมล็ด และเถาแก่ที่มีราก (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2562)



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฝักระชูด

ลำต้นของฝักระชูด (a), ใบของฝักระชูด (b), ดอกของฝักระชูด (c), ฝักและเมล็ดของฝักระชูด (d)

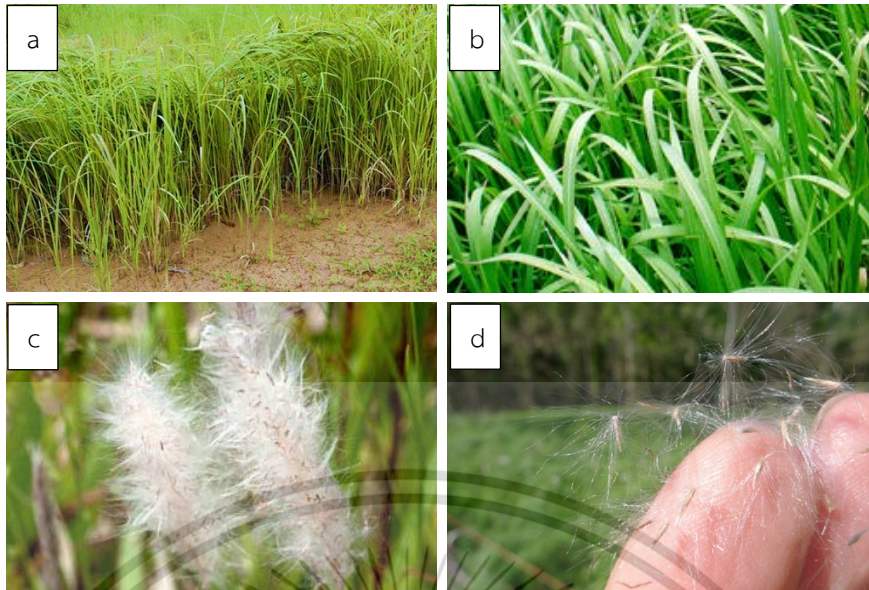
พบที่พม่า ภูมิภาคอินโดจีน ชวา และติมอร์ ในไทยพบทุกภาค ขึ้นตามที่โล่ง แห้งแล้งหรือชื้น และความสูงไม่เกิน 200 เมตร ฝักระชูดสามารถนำไปทำอาหารได้เหมือนฝักระเช็ด แต่มีความต่างกันเมื่อนำไปปรุงอาหารฝักระชูดจะเหนียว แข็งกระด้างต่างจากฝักระเช็ดที่จะกรอบ โดยฝักระชูดสามารถนำไปใช้ได้เฉพาะส่วนยอดอ่อนที่มีใบไม่เกิน 2-3 ใบจากปลายยอดเท่านั้น ถ้ายาวไปกว่านั้นจะเหนียว และในด้านการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ฝักระชูดมีค่าความร้อนสูงถึง 16,047 MJ/kg

2.2.2 หญ้าคา

ชื่ออื่นๆ : เก้อฮี ลาลาง แฝกคา คา
 ชื่อสามัญ : Cogon grass, Alang-alang, Lalang
 ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.
 วงศ์ : POACEAE (GRAMINEAE)

ลักษณะพฤกษศาสตร์ : เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวล้มลุกมีอายุข้ามฤดูนานหลายปี สูงประมาณ 50-100 เซนติเมตร มีเหง้าใต้ดินรูปร่างยาวสีขาวและแข็งมาก มีข้อชัดเจน ผิวเรียบ หรืออาจมีขนอยู่บ้างเล็กน้อย สามารถแตกกิ่งก้านสาขาเลื้อยแผ่และงอกไปเป็นกอใหม่ๆ ได้มากมายหลายกอดังรูป 3-a ใบหญ้าคา เป็นใบเดี่ยวแทงออกจากเหง้ารูปแถบยาว ปลายแหลม โคนสอบเรียว กว้าง 1-2 เซนติเมตร ยาวได้ถึง 1 เมตร ขอบใบคม ผิวใบมีขนสั้นแข็งเกาะติดจำนวนมาก ตอนแรกใบอ่อนใหม่ ๆ จะมีปลอกหุ้มแหลมแข็งที่ยืดยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร งอกแทงขึ้นมาจากดินดังรูป 3-b ดอกออกเป็นช่อรูปทรงกระบอก มีความยาวประมาณ 5-20 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-3 เซนติเมตร โดยก้านช่อดอกออกจากเหง้าสูงเสมอปลายใบ ดอกย่อยเกาะเวียนรอบปลายช่อ ดอกย่อยเล็กมีขนสีขาวฟูรอบๆ ดอกดังรูป 3-c ผลหญ้าคา หรือเมล็ดหญ้าคา เมล็ดเป็นผลแห้ง ไม่แตก มีลักษณะเป็นรูปรี เมล็ดมีสีเหลืองดังรูป 3-d เมล็ดแก่จะหลุดปลิวไปตามลม สามารถแพร่ขยายพันธุ์ไปได้ไกล และในหนึ่งต้นสามารถผลิตเมล็ดได้มากถึง 3,000 เมล็ด (ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าคา

ลำต้นของหญ้าคา (a), ใบของหญ้าคา (b), ดอกของหญ้าคา (c), เมล็ดของหญ้าคา (d)

หญ้าคาจัดเป็นวัชพืชที่ชอบแสงแดดและความทนทานสูงมาก เผลอกำจัดหรือทำลายได้ยาก จึงกลายเป็นวัชพืชที่ลุกลามไปตามท้องไร่หรือพื้นที่ต่างๆ และกำจัดได้ยากชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นวัชพืชที่แก่งแย่งธาตุอาหารและน้ำกับพืชที่ปลูก และยังปลดปล่อยสารธรรมชาติบางชนิดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถพบได้ตามท้องทุ่งทั่วไป ตามพื้นที่กร้างว่างเปล่า ตามหุบเขา และตามริมทางทั่วไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพืชชนิดนี้จะขยายพันธุ์ด้วยวิธีการใช้เมล็ด แต่ก็ยังสามารถขยายพันธุ์ด้วยลำต้นใต้ดินได้ด้วยเช่นกัน หญ้าคาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ราก มีรสหวานเย็น ขับปัสสาวะ ขับระดูขาว แก้อ่อนในกระหายน้ำ แก้กิดชาน บำรุงไต แก้กบวมน้ำ ใบ มีรสจืด ต้มน้ำอาบ แก้อลมพิษ ผื่นคัน แก้อั่วคุดเมื่อถนอมภายหลังสตรีคลอดบุตร ดอกแก่ มีรสจืด ขับปัสสาวะ แก้อุจจาระเป็นเลือด แก้อืดก่ำเตาไหล ช่วยห้ามเลือด ตำพอกแผลอักเสบ เป็นต้น และในด้านการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หญ้าคาได้ค่าความร้อนสูงที่ 17.03 MJ/kg และค่าความร้อนต่ำที่ 15.50 MJ/kg

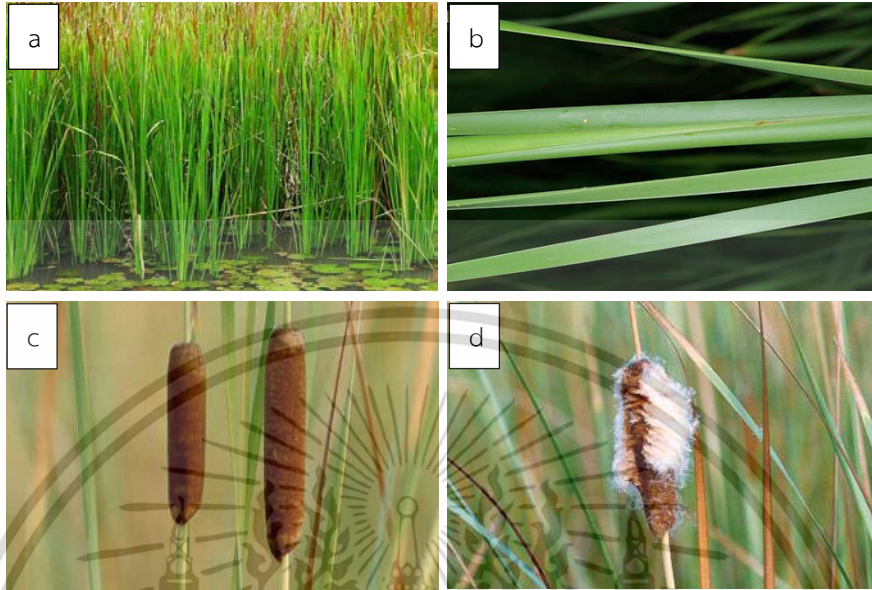
2.2.3 รูปถ่าย

- ชื่ออื่นๆ : กกช้าง กกรูป เฟือง หญ้ากกช้าง หญ้าปรีอ หญ้าเฟืองเฟือ หญ้าสลาบลวง
 ชื่อสามัญ : Cat-tail, Elephant grass, Lesser reedmace, Narrow-leaved Cat-tail
 ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Typha angustifolia* L.
 วงศ์ : TYPHACEAE

ลักษณะพฤกษศาสตร์ : รูปถ่ายเป็นวัชพืชล้มลุก อายุประมาณ 2 ปี สูงประมาณ 1.5 - 2 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ เหง้ากลมแข็งแทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้นๆ ดังรูป 4-a ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับระนาบเดียว แฉกกว้าง 1.2-1.8 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2 เมตร แผ่นใบด้านบนโค้งขึ้นเล็กน้อย เพราะมีเซลล์หุ้มตัวคล้ายฟองน้ำหมูนอยู่กลางใบส่วนด้านล่างแบน ดังรูป 4-b ดอก มีสีน้ำตาลออกเป็นช่อ แบบช่อเชิงลดจำนวนมากติดกันแน่นลักษณะคล้ายรูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอกกลมและแข็ง ดอกเพศผู้เป็นกลุ่มหลวมๆ ที่ปลายช่อยาว 15-30 เซนติเมตร ดอกย่อยมีเกสรเพศผู้ 2-3 ตัว และมีขนรูปช้อน 3 เส้น ดอกเพศเมียอยู่ด้านล่าง ดอกย่อยอัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอกยาว 28 เซนติเมตร เส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร มีใบประดับย่อย (bracteole) เป็นเส้นปลายสีน้ำตาลมากมายแซมดอกโคนก้านชูเกสรเพศเมีย (Gynophore) รังไข่มีก้านยาวและขนสีขาวจำนวนมาก ดังรูป 4-c ผลหรือเมล็ดเมื่อแก่แตกตามยาวมีขนาดเล็กมาก ดังรูป 4-d (สุชาติ ศรีเพ็ญ, 2530)



รูปที่ 2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของธูปฤาษี

ลำต้นของธูปฤาษี (a), ใบของธูปฤาษี (b), ดอกของธูปฤาษี (c), เมล็ดของธูปฤาษี (d)

ธูปฤาษีมีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ ทวีปยุโรป และอเมริกา ธูปฤาษีมีระบบรากที่ตีช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้นสวนไม้ผลต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ใบเหนียวนิ่มใช้มุงหลังคาใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า เชือก ยอดอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กิโลกรัมต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กิโลกรัมต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต ลำต้นไต่ดิน และรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (pulp) ของต้นกกข้างนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fiber) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ และในด้านการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ธูปฤาษีมีค่าความร้อนสูงถึง 17.20 MJ/kg

2.2.4 ไมยราบยักษ์

ชื่ออื่นๆ : ไมยราบน้ำ ชีแฮด ไมยราบต้น ฝีมอบใหญ่ ไมยราบหลวง จีโยบหลวง

ชื่อสามัญ : Giant sensitive plant

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Mimosa pigra* L.

วงศ์ : MIMOSACEAE

ลักษณะพฤกษศาสตร์ : ไมยราบยักษ์เป็นไม้พุ่มขนาดกลาง แตกกิ่งตั้งแต่ด้านล่างของลำต้น ลำ

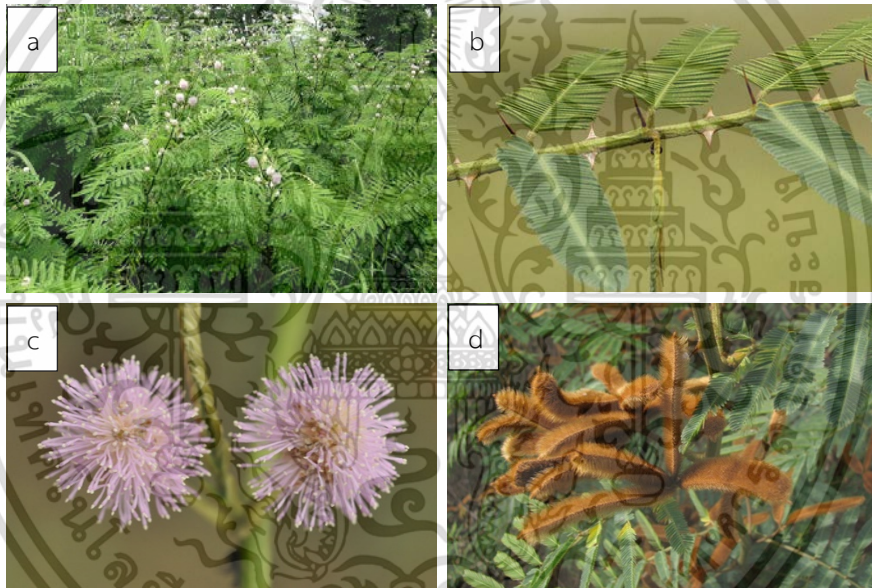
ต้นมีขนาดประมาณ 1-4 เซนติเมตร หรือมากกว่าตามอายุ เปลือกลำต้นอ่อนมีสีเขียว เมื่อโตเต็มที่จะมีสี

น้ำตาล เปลือกกิ่งมีสีน้ำตาล ปลายกิ่งมีสีเขียว และกิ่งมีหนามแหลมส่วนเนื้อไม้มีลักษณะแข็ง และเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้นมีอายุได้ประมาณ 1 ปี จะมีความสูงเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 1.5 เมตร ต้นไมยราบยักษ์ที่เจริญเติบโตเต็มที่ จะมีความสูงประมาณ 3-4 เมตร ดังรูป 5-a ใบไมยราบยักษ์ เป็นใบประกอบ 3 ชั้น ก้านใบยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร มีใบประกอบประมาณ 6-14 คู่ แต่ละใบประกอบมีใบประกอบย่อย 15-40 คู่ ลักษณะเป็นรูปขอบขนาน ปลายใบมน โคนใบมน มีขนปกคลุมที่หลังใบ ส่วนท้องใบเรียบ และมีหนามแหลมในแนวตั้งระหว่างคู่ของใบย่อย คู่ละ 1 อัน และมีหนามขนาดเล็กอยู่ในช่วงใบย่อย ช่วงละ 2 อัน ใบมีขนสีเหลืองอ่อนปกคลุมห่างๆ ดังรูป 5-b ดอกไมยราบยักษ์จะออกดอกเป็นช่อ บริเวณปลายกิ่งตามซอกใบ ช่อดอกเป็นกระจุกกลม มีสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แต่ละช่อดอกประกอบด้วยดอกประมาณ 100 ดอก แต่ละดอกมีกลีบเลี้ยง 4 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 8 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน ภายในมีรังไข่เรียงเป็นแถว 16-24 อัน แต่ละกิ่งจะออกดอกประมาณ 11 ช่อดอก ดังรูป 5-c ผลของไมยราบยักษ์มีลักษณะเป็นฝัก ออกเป็นกลุ่มประมาณ 5-13 ฝักต่อดอก ฝักมีลักษณะแบน ยาวประมาณ 3.5-7.5 เซนติเมตร กว้าง 1-1.2 เซนติเมตร มีขนหยาบ และยาวปกคลุม ฝักอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่จัดจะมีสีดำ ฝักมีลักษณะเป็นปล้องๆ ด้านในแต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 10-24 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะกลม สีน้ำตาล มีปลายเมล็ดด้านหนึ่งแหลมสำหรับงอกของต้นอ่อน ดังรูปที่ 5-d (วัชพืชที่สำคัญในประเทศไทย, 2548)



รูปที่ 2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไมยราบยักษ์

ลำต้นของไมยราบยักษ์ (a), ใบของไมยราบยักษ์ (b), ดอกของไมยราบยักษ์ (c), ผลของไมยราบยักษ์ (d)

ไมยราบยักษ์มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศอเมริกากลาง และทางเหนือของทวีปอเมริกาใต้บริเวณประเทศโคลัมเบีย และเวเนซุเอล่า โดยเชื่อว่าถูกนำมาปลูกในประเทศอินโดนีเซียจากแอฟริกาหรืออเมริกาใต้มานานแล้ว หลังจากนั้นมีการแพร่กระจายสู่ประเทศต่างๆ ในแถบอินโดจีน และทางตอนเหนือของออสเตรเลีย เพื่อใช้เป็นพืชบำรุงดิน ไมยราบยักษ์มีความสามารถในการแพร่กระจายได้ดีมาก โดยเฉพาะบริเวณแหล่งน้ำไหลต่างๆ เนื่องจากเมล็ดที่ร่วงจะลอยไปกับน้ำ และเมล็ดจะงอกเมื่อน้ำแห้ง ไมยราบยักษ์เป็นวัชพืชร้ายแรงในเขตที่ลุ่มและที่ขายน้ำทางภาคเหนือ เพราะขยายพันธุ์โดยเมล็ดได้ดี ประกอบกับเมล็ดของไมยราบยักษ์สามารถพักตัวได้เป็นระยะเวลาหลายปีเพื่อรอสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการงอก จึงทำให้วัชพืชชนิดนี้แพร่กระจายไปได้ในหลายๆพื้นที่ แต่ไมยราบยักษ์ยังมีข้อดีในด้านอื่น เช่น ช่วยป้องกันการพังทลายของดิน และช่วยในการบำรุงดิน เนื่องจากเป็นพืชในตระกูลถั่ว นอกจากนี้ยังใช้ต้มกับน้ำต้มเป็นยาบำรุงร่างกาย และรักษาอาการเจ็บป่วยต่างๆ และใช้แปรรูปเป็นเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานทดแทนอัดแท่ง เป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยการนำไมยราบยักษ์ที่เป็นวัชพืชมาอัดเป็นแท่งถ่าน โดยเมื่อทำเป็นถ่านแท่งที่นำมาบดให้เป็นผงถ่าน แล้วผสมตัวประสานเพื่อให้เป็นถ่านอัดแท่งขึ้นมา ซึ่งในรูปแบบนี้จะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองลดลงและประหยัดกว่า ซึ่งจากการทดสอบพบว่าประหยัดกว่าถ่านทั่วไปถึง 3 ส่วน (ถ่านอัดแท่งไมยราบยักษ์ จากวัชพืชสู่พลังงานทดแทน, 2557) และในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ไมยราบยักษ์มีค่าความร้อนสูงถึง 17.5 MJ/kg (Wongsiriamnuay and Tippayawong, 2010)

2.3 ค่าความร้อน

2.3.1 ค่าความร้อน (Calorific Value) (นิรนาม, 2560a)

เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยอากาศ (Combustion) ของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น MJ/kg สำหรับของแข็ง, MJ/CM (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับของเหลว และ MU/N.CM (ลูกบาศก์เมตรปกติ, Normal Cubic meter) สำหรับก๊าซ (อ้างอิงที่อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1.01325 bar) เป็นต้น

2.3.2 ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูง-ต่ำ

สารชีวมวลประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้จะมีปริมาณความร้อนแฝงมากและความร้อนจะถูกปล่อยออกเมื่อเกิดการควบแน่น ค่าความร้อนสามารถแบ่งได้เป็นค่าความร้อนสูง (Higher heating value: HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value: LHV)

2.3.2.1 ค่าความร้อนสูง (HHV)

เป็นค่าความร้อนสูงสุดของชีวมวลนั้น ๆ เป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้และรวมกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้น ๆ ฉะนั้นค่า HHV นั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ซึ่งค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังสมการที่ 2.1

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9\text{H}+\text{M}) \quad (2.1)$$

โดย	HHV	คือ ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)
	LHV	คือ ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)
	H	คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล (%)
	M	คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล (%)

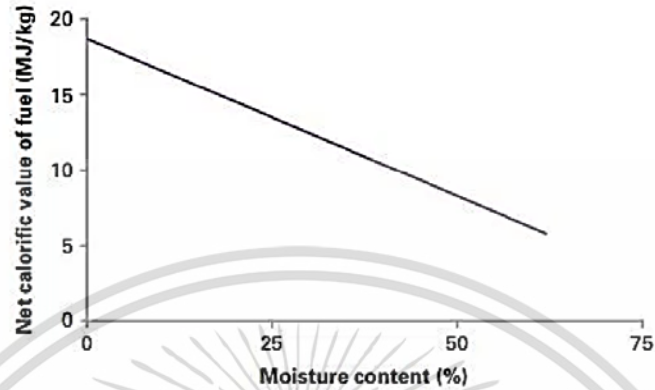
2.3.2.2 ค่าความร้อนต่ำ (LHV)

เป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงกับค่า LHV นี้ (หรือก็คือ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ที่รวมค่าความร้อนแฝงคือ ค่าความร้อนสูง ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ที่หักค่าความร้อนแฝงออกคือ ค่าความร้อนต่ำ นั่นเอง) โดยค่าความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ คือ ปริมาณความร้อนหนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถคำนวณดังสมการที่ 2.2

$$\text{LHV} = \text{HHV} - m_w h_{fg} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย LHV คือ ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)
 m_w คือ ปริมาณน้ำในรูปของไอ (kg)
 h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำกลายเป็นไอ (kJ/kg)
 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนของชีวมวล และค่าความชื้นของชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 2.6



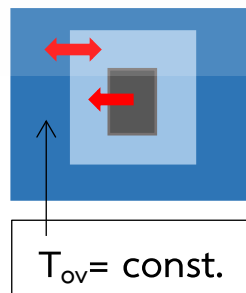
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล
 ที่มา: The carbon trust (2012)

2.3.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimeter เป็นการวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดค่าความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนที่ได้จึงเป็นค่าความร้อนสูง ซึ่งค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimeter แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.3.3.1 Isoperibol Calorimeter

ในการวัดแบบ Isoperibol Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซล (Vessel) ด้านนอกจะถูกทำให้คงที่ตลอดการทดลอง ถึงแม้อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะถูกทำให้คงที่แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบจะถูกแยกออกอย่างสมบูรณ์ ยังคงมีอุณหภูมิเล็กน้อยแลกเปลี่ยนกันระหว่างเวสเซลด้านในและด้านนอก ควรรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปัจจัยการคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลอง ดังรูปที่ 2.7



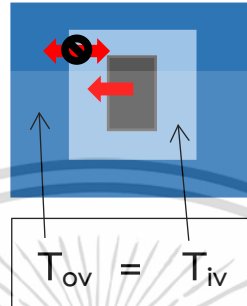
รูปที่ 2.7 Isoperibol Calorimeter

ที่มา: ยุทธภักดิ์ และคณะ (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 Adiabatic Calorimeter

ในการวัดแบบ Adiabatic Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะมีอุณหภูมิเดียวกับเวสเซลด้านในตลอดการทดลอง จึงทำให้ใกล้เคียงกับการแยกระบบออกจากสิ่งแวดล้อมได้สมบูรณ์ ถึงอย่างไรก็ตามยังต้องรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ไม่มีปัจจัยการคลาดเคลื่อนที่ถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลอง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Adiabatic Calorimeter
ที่มา: ยุทธภักดิ์ และคณะ (2560)

2.3.4 หลักการทำงานของเครื่อง Bomb Calorimeter

การทำงานของ Bomb Calorimeter จะใช้หลักการของ direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการผลาญชีวมวลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ชีวมวลจะถูกบรรจุใน Chamber และ charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (high pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนผ่าน fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของชีวมวลและออกซิเจน (biomass-Oxygen mixture) เนื่องจาก calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกัน ไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากชีวมวล สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนโดยใช้สูตรดังสมการที่ 2.3

$$Q = mC_p\Delta t \quad (2.3)$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ)
m คือ มวลของสาร (kg)
 C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)
 Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)

เนื่องจากการคำนวณปริมาณความร้อนนี้เป็นปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับและค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น 4.187 kJ/kg K

2.4 ความชื้นในพืช (นิรนาม, 2560b)

นำวัตถุดิบที่ต้องการหาค่าความชื้นมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างแห้งแล้ว โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้น โดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน สามารถคำนวณหาได้โดยสมการที่ 2.4

$$\% \text{ความชื้นฐานเปียก} = (\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} \quad (2.4)$$

2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวกซึ่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างจะคงที่ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$\% \text{ความชื้นฐานแห้ง} = (\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \quad (2.5)$$

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

องค์ประกอบโดยประมาณของเชื้อเพลิงชีวมวล (Proximate Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการเผาชีวมวลภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน เพื่อหาองค์ประกอบของชีวมวล องค์ประกอบโดยประมาณของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร หากต้องการนำชีวมวลไปใช้ในการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50%

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter (VM) และ Fixed Carbon (FC) ซึ่ง Volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณ 1-3% ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนเถ้าประมาณ 10-20% ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัด

2.5.1 รายละเอียดขององค์ประกอบโดยประมาณ

2.5.1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content, MC)

ปริมาณความชื้นในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่แล้วความชื้นของชีวมวลจะสูงมากแต่ชีวมวลที่เหมาะสมนำมาทำเชื้อเพลิง ควรมีความชื้นไม่เกิน 50% ถ้าชีวมวลมีปริมาณความชื้นมากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงเป็นอย่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในชีวมวลจึงมีความสำคัญมาก สำหรับการหาปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัตโนมัติจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18134-3 โดยสามารถคำนวณหาค่าความชื้นจากสมการที่ 2.6

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (2.6)$$

โดย	M_{ad}	คือ ปริมาณความชื้น (%)
	m_1	คือ น้ำหนักของถ้วยเปล่าพร้อมฝา (g)
	m_2	คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนอบ (g)
	m_3	คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างหลังอบ (g)

2.5.1.2 ปริมาณไอระเหย (Volatile Matter, VM)

ปริมาณไอระเหยในชีวมวลเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวลภายใต้สภาวะที่กำหนด คือ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 นาที หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยไม่ให้ชีวมวลสัมผัสกับอากาศ (O_2) ไอระเหยจะเกิดขึ้นจากการกลั่นสลายด้วยความร้อน หรือไพโรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Pyrolysis) ชีวมวลที่มีปริมาณไอร่ะเหยสูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย สำหรับการหาปริมาณไอร่ะเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18123 สามารถคำนวณหาปริมาณไอร่ะเหยจากสมการที่ 2.7

$$V = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2.7)$$

โดย V คือ ปริมาณไอร่ะเหย (%)
 m_1 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือก (g)
 m_2 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือกและตัวอย่างก่อนให้ความร้อน (g)
 m_3 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือกและตัวอย่างหลังให้ความร้อน (g)
 M_{ad} คือ ความชื้นซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวลที่ได้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 18134-3

2.5.1.3 ปริมาณเถ้า (Ash, A)

ปริมาณเถ้าในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เพราะเถ้า คือ ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของชีวมวล ซึ่งเศษเหลือบางชนิดจะอยู่ในรูปของเมือกเหนียวๆ (Slug form) โดยส่วนใหญ่แล้วเถ้าของชีวมวลจะอยู่ที่ไม่เกิน 3% ยกเว้นแกลบที่มีปริมาณเถ้าอยู่ที่ 15-16% เนื่องจากแกลบมีปริมาณซิลิกาเป็นจำนวนมาก ซึ่งซิลิกานี้ จะไปทำให้ท่อไอร่ะเหยในห้องเผาไหม้ของหม้อไอร่ะเหยเกิดการฉีกขาดและผุกร่อนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในชีวมวลจึงมีความจำเป็นและสำคัญมาก การหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18122 สามารถคำนวณปริมาณเถ้าได้จากสมการที่ 2.8

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2.8)$$

โดย A_d คือ ปริมาณเถ้า (%)
 m_1 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือก (g)
 m_2 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือกและตัวอย่าง (g)
 m_3 คือ น้ำหนักของถั่วเปลือกและเถ้า (g)
 M_{ad} คือ ความชื้นซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวลที่ได้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 18134-3

2.5.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon, FC)

ปริมาณคาร์บอนคงที่เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างชีวมวลหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงจะมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นานไปด้วยปริมาณคาร์บอนคงที่คำนวณได้จากผลต่างดังสมการที่ 2.9

$$\%FC = 100 - (\%M + \%Ash + \%VM) \quad (2.9)$$

2.5.2 หลักการทำงานของเครื่อง Furnace (ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ, 2555)

เครื่อง Furnace เป็นเตาเผาอุณหภูมิสูงใช้ในการเผาวัสดุใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้แท่งวัสดุให้ความร้อน (Heating Element) เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นความร้อน ทำให้วัสดุร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบที่ไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ โดยสามารถปรับบรรยากาศภายในเตาเผาได้ สามารถเผาได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในชีวมวล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ ออกแบบ และวางแผน การใช้งาน โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละ ของธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นสารนั้น ๆ

2.6.1 องค์ประกอบธาตุ

ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน รวมถึง ค่าความชื้น (Moisture) และปริมาณของเถ้า (Ash) แสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

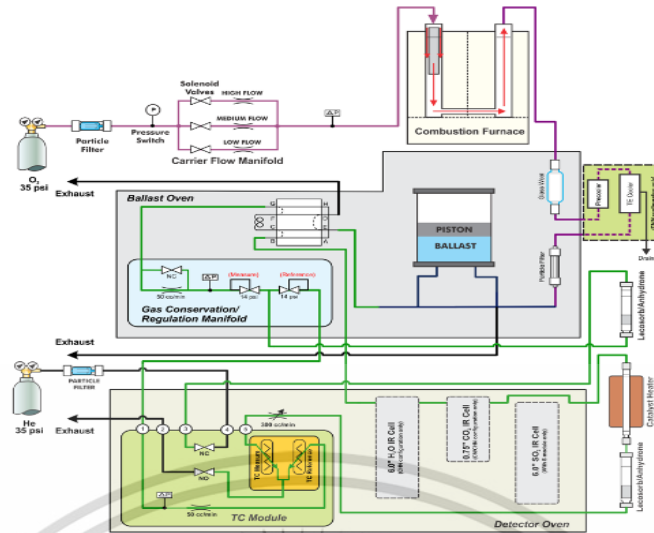
$$C + H + O + N + S + M + A = 100\% \text{ โดยมวล} \quad (2.10)$$

ซึ่งการวิเคราะห์จะวิเคราะห์ตามมาตรฐาน International standard โดยจะระบุปริมาณธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างเชื้อเพลิงในลักษณะหลักอ้างอิงแห้งและไม่คิดเถ้า ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะถูกกำหนดด้วยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิง จากนั้นวัดค่าองค์ประกอบของไอเสียเพื่อคำนวณย้อนกลับไปหาปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น ไนโตรเจนและกำมะถันจะถูกกำหนดด้วยวิธีการทางเคมี ส่วนค่าออกซิเจนจะถูกระบุโดยใช้ค่า 100 ลบด้วยปริมาณของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนไนโตรเจน และกำมะถัน

2.6.2 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ

เครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ รุ่น CHN-628 เป็นเครื่องสำหรับวิเคราะห์ ไนโตรเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน ในเมทริกซ์สารอินทรีย์ เครื่องใช้เทคนิคการเผาไหม้ที่ให้ผลภายใน 4.5 นาที ในการวิเคราะห์ทุกธาตุ เครื่องจะทำงานด้วยซอฟต์แวร์ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการปฏิบัติงานและการจัดการข้อมูล โดยจะนำมาตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ไว้ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่องซึ่งจะเป็นจุดที่จะนำตัวอย่างเข้า Purge chamber ที่อยู่เหนือเตาเผาโดยตรงเพื่อกำจัดก๊าซบรรยากาศที่เกิดจากกระบวนการขนย้าย จากนั้นตัวอย่างจะถูกนำเข้าสู่เตาเผาส่วนแรกที่มีแต่ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์เป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์อย่างรวดเร็วของตัวอย่าง (ออกซิเดชัน) คาร์บอนไฮโดรเจน และไนโตรเจนที่อยู่ในตัวอย่างจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนตริกออกไซด์ ตามลำดับ และก๊าซเหล่านี้จะถูกพาไปยังเตาเผาลำดับสองโดยการพาของก๊าซออกซิเจนเพื่อทำการออกซิเดชันต่อ และกำจัดอนุภาคในรุ่น FP และ CN628 ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้จะผ่านเข้าไปยังตัวทำความเย็นเพื่อกำจัดไอน้ำ ก๊าซจะถูกนำมารวมเก็บไว้ในบัลลาสต์เพื่อรออยู่ในสภาวะสมดุล ก๊าซที่เป็นเนื้อเดียวกันจากบัลลาสต์จะถูกพาเข้ามาใน Aliquot loop ขนาด 10 มล. และจากนั้นก็ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา ในการตรวจวัดจะใช้ NDIR cell ที่เหมาะสมสำหรับของ H₂O และ CO₂ เพื่อให้มั่นใจว่าระยะเวลาในการวิเคราะห์ของระบบมีความรวดเร็ว ส่วนก๊าซ NO จะนำไปผ่านทอริดิกซ์ชั้นที่บรรจุคอปเปอร์ในการรีดิวซ์ก๊าซให้เป็นไนโตรเจน และกำจัดออกซิเจนที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ ก๊าซที่อยู่ใน Aliquot จะถูกนำมาผ่าน Lecosorb และแอนไฮโดรเจนเพื่อกำจัด CO และน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างที่ CO ถูกจับ และส่งเข้าไปยัง Thermal conductivity cell (TC) เพื่อใช้ในการตรวจวัด N ดังรูปที่ 2.9 โดยผลจะแสดงในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

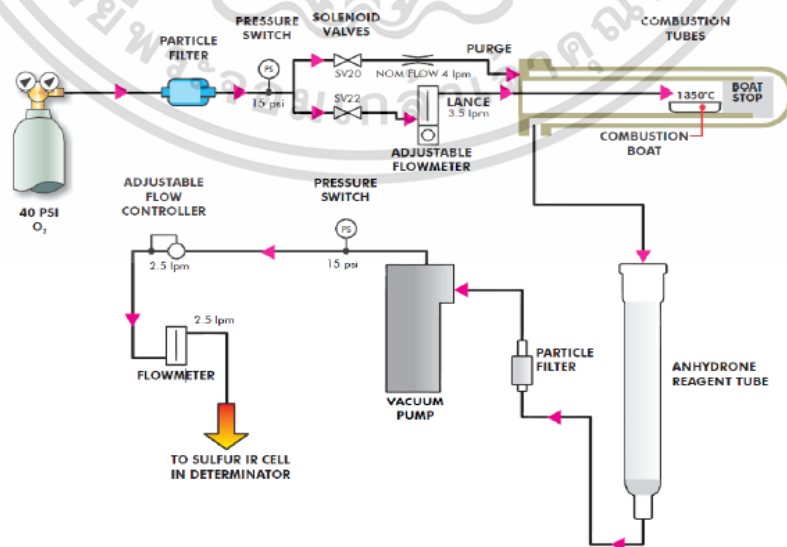
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แผนผังการวัดของ CHN-628

2.6.3 หลักการทำงานของเครื่อง Sulfur Add-on Module

เครื่อง CHN-628 กับ Sulfur Add-on module ถูกออกแบบมาสำหรับวัดปริมาณซัลเฟอร์ในตัวอย่างอินทรีย์โดยมีโมดูลที่เพิ่มมาสำหรับการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ การวิเคราะห์จะเริ่มจากตัวอย่างจะถูกชั่งน้ำหนักลงในถ้วยเผาตัวอย่าง และนำเข้าสู่เตาเผาที่มีก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 1350 °C ซัลเฟอร์ในตัวอย่างจะระเหยออกมาอยู่ในรูป SO₂ ตัวอย่างก๊าซจะออกจากเตาเผาโดยผ่าน Boat Stop เข้าไปยังด้านหลังของหลอดเผาไหม้ภายในแล้วส่งต่อระหว่างหลอดเผาไหม้ภายในและภายนอก ทำให้ตัวอย่างก๊าซยังคงอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิส่งต่อระหว่างหลอดเผาไหม้ภายในและภายนอก ทำให้ตัวอย่างก๊าซยังคงอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้น และทำให้เกิดประสิทธิภาพในการออกซิเดชัน จากระบบการเผาไหม้ก๊าซจะไหลผ่านหลอดแอนไฮโดรเนตเพื่อกำจัดความชื้น และไหลผ่านตัวควบคุมที่ตั้งค่าของการไหลของตัวอย่างผ่านเข้าไปยังเซลล์ตรวจวัดซัลเฟอร์แบบอินฟราเรดที่อยู่ภายในเครื่อง CHN-628 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนผังการวัดของ Sulfur add-on module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.7.1 การทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

สำหรับการหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 17829 โดยความยาวและขนาดของเชื้อเพลิงเป็นค่าที่บ่งบอกสัญญาณของเชื้อเพลิงซึ่งสามารถคาดเดาปริมาณของเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ขนาดและความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดยังช่วยป้องกันการเบียดซ้อน (Jamming) ขณะดำเนินการผลิตและบรรจุเคลื่อนย้าย โดยสามารถหาปริมาณความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตร ได้จากสมการที่ 2.11

$$\text{ความยาวเชื้อเพลิง} > 40 \text{ มิลลิเมตร (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่มีความยาวมากกว่า 40 มิลลิเมตร}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ทดสอบค่าความยาวทั้งหมด}} \times 100 \quad (2.11)$$

2.7.2 การทดสอบปริมาณเศษผง

สำหรับการหาค่าร้อยละของเศษผงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18846 โดยมีวิธีการกำหนดไว้ดังนี้

1. เก็บรักษาตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด 1 ถุง ขนาด 40 ปอนด์ และแบ่งมาสำหรับการทดสอบอย่างน้อย 2.5 ปอนด์ (1,133 กรัม)
2. ชั่งน้ำหนักตะแกรงด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.1 กรัม และบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น (BW)
3. นำตัวอย่างใส่บนตะแกรงร้อนที่มีขนาดรูตะแกรง 1/8 นิ้ว (3.17 มิลลิเมตร) แล้วชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกค่าน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและตะแกรงร้อน (IW)
4. ร้อนตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดด้วยตะแกรงร้อนโดยส่ายไปซ้ายและขวาจำนวน 10 ครั้ง
5. นำตะแกรงร้อนและตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดออก แล้วนำภาชนะรองรับเศษผงไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม และบันทึกค่าน้ำหนักของภาชนะรองรับและเศษผง (CFW)
6. ชั่งน้ำหนักภาชนะรองรับและบันทึกด้วยค่าความละเอียด 0.1 กรัม (CW) จากนั้นดำเนินการคำนวณหาค่าร้อยละของเศษผงดังสมการที่ 2.12

$$\text{ร้อยละของเศษผง (\%)} = \frac{(CFW-CW)}{(IW-BW)} \times 100 \quad (2.12)$$

2.7.3 การทดสอบความหนาแน่นรวม

1. คัดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้มีการกระจายขนาดอยู่ในช่วงเดียวกัน
 2. บรรจุตัวอย่างลงในกล่องขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความสูง 150 มิลลิเมตร โดยปล่อยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดลงในกล่อง จากนั้นทำการเคาะกล่องที่บรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยการปล่อยกล่องกระแทกพื้นจากความสูง 150 มิลลิเมตร จำนวน 5 ครั้ง พร้อมกับเติมเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจนกว่าจะพอดีปากกล่องด้านบนตลอดการทดสอบ
 3. ชั่งและบันทึกค่าน้ำหนักของกล่องที่บรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด
- คำนวณความหนาแน่นรวมดังสมการที่ 2.13

$$\text{ความหนาแน่นรวม (kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{น้ำหนักของกล่องและเชื้อเพลิง} - \text{น้ำหนักกล่องเปล่า})}{\text{ปริมาตรกล่อง}} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

2.8.1 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (wood pellets) หรือเชื้อเพลิงอัดแท่งมีรูปแบบเป็นแท่งเล็กๆ น้ำหนักและความยาวเท่ากัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงประเภทที่มาจากไม้ส่วนใหญ่ผลิตจากขี้เลื่อย เศษวัสดุจากไม้แปรรูป เศษไม้เหลือจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ซังข้าวโพดรวมถึงพืชล้มลุกต่างๆ วัสดุเหล่านี้มีความหนาแน่นต่ำ ความชื้นแตกต่างกันทำให้การนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตไม่สะดวก เนื่องจากการควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนให้แก่ระบบไม่สม่ำเสมอทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง รวมไปถึงปัญหาการจัดการวัตถุดิบที่ยุ่งยาก เช่น การจัดเก็บ การขนส่ง เป็นต้น ดังนั้นการนำวัสดุดังกล่าวมาขึ้นรูปโดยการอัดเป็นเม็ดหรือแท่ง เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและลดความชื้นของวัตถุดิบทำให้ง่ายต่อการควบคุมปริมาณน้ำหนักและขนาดให้มีความสม่ำเสมอ ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไม้ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงขึ้น

2.8.2 มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

การกำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นการควบคุมให้เม็ดเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพทั้งในด้านการให้ความร้อน ปริมาณเถ้า และก๊าซพิษที่ได้จากการเผาไหม้ และเพื่อเป็นการแข่งขันกันผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีคุณภาพมากขึ้นของผู้ผลิต ในประเทศไทยมีการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้ จากการศึกษาเรื่องโครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอนาคต (International standard ISO 17225-2, 2014) พบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผู้ต้องการในอุตสาหกรรมมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

คุณสมบัติ	มาตรฐาน	หน่วย	คุณภาพชั้น 1	คุณภาพชั้น 2	คุณภาพชั้น 3
เส้นผ่านศูนย์กลาง (D)	ISO 17829	mm	D08, 8 ± 1	D08, 8 ± 1	D08, 8 ± 1
ความยาวเฉลี่ย (L)	ISO 17829	mm	$3.15 < L \leq 40$	$3.15 < L \leq 40$	$3.15 < L \leq 40$
ความยาวที่เกิน 40 mm	ISO 17829	w-%	≤ 1	≤ 1	≤ 1
ความชื้น (M)	ISO 18134-3	w-%, wb	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$
ปริมาณเถ้า (A)	ISO 18122	w-%	$A1.0 \leq 1.0$	$A1.5 \leq 1.5$	$A3.0 \leq 3.0$
ปริมาณเศษผง (F)	ISO 18846	w-%	$F4.0 \leq 4.0$	$F5.0 \leq 5.0$	$F6.0 \leq 6.0$
ค่าความร้อนต่ำ (Q)	ISO 18125	MJ/kg	$Q16.5 \geq 16.5$	$Q16.5 \geq 16.5$	$Q16.5 \geq 16.5$
ความหนาแน่นรวม (BD)	ISO 17828	kg/m ³	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$	$BD600 \geq 600$
ปริมาณไนโตรเจน (N)	ASTM D5373-16	w-% dry	$N0.3 \leq 0.3$	$N0.3 \leq 0.3$	$N0.6 \leq 0.6$
ปริมาณกำมะถัน (S)	ASTM D4239-17	w-% dry	$S0.05 \leq 0.08$	$S0.05 \leq 0.08$	$S0.05 \leq 0.20$

ที่มา : ISO 17225-2:2014(E) และ ASTM D5373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

การผลิตชีวมวลเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้พัฒนามาจากการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะประกอบไปด้วย การรวบรวมชีวมวลจากแหล่งชีวมวลต่างๆ การอบไล่ความชื้น การบดย่อยลดขนาดชีวมวล การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล การผึ่งเย็น การร่อนคัดแยก และการบรรจุเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ซึ่งแต่ละกระบวนการมีความสำคัญเทียบเท่ากัน เนื่องจากกระบวนการผลิตจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสามารถอธิบายรายละเอียดการดำเนินการของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้ดังนี้

1. การรวบรวมชีวมวลจากแหล่งชีวมวลต่างๆ คือ การนำวัสดุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เช่น เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและกิ่งไม้ ลำต้นหรือใบไม้จากพืช มาจัดเก็บและรวบรวม

2. การอบไล่ความชื้น เป็นการนำเอาปริมาณของน้ำออกจากชีวมวลที่จะนำมาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยจะควบคุมความชื้นของชีวมวลอยู่ที่ 10-15% โดยมวล ซึ่งการอบไล่ความชื้นจะใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส เครื่องอบแห้งชีวมวล เช่น เครื่องอบแห้งแบบทอหมุน (Rotary drum dryer) เครื่องอบแห้งแบบพ่น (Spouted bed dryer) และเครื่องอบแห้ง Flash dryer เป็นต้น

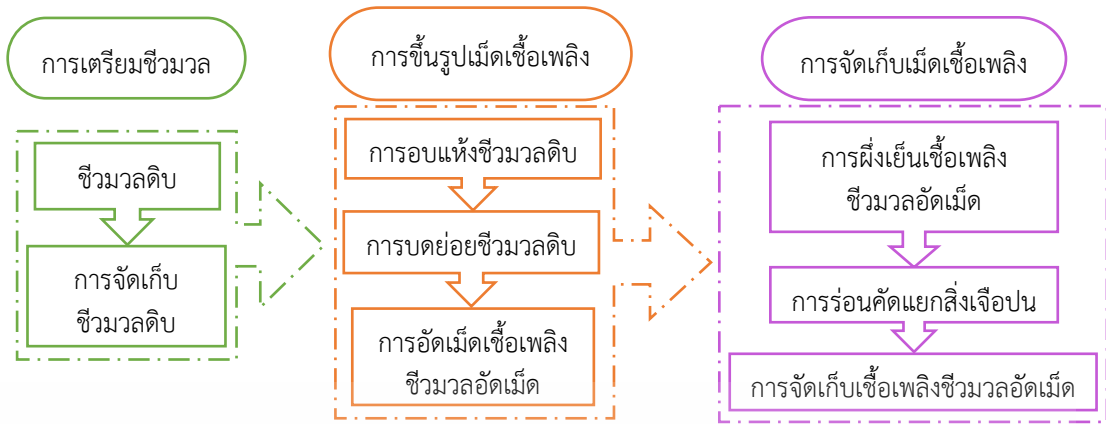
3. การบดย่อยลดขนาดชีวมวลเป็นการลดขนาดของชีวมวลให้เล็กลงด้วยเครื่องบดย่อยที่มีขนาดช่องตะแกรงประมาณ 3 - 10 มิลลิเมตร ขนาดของชีวมวลที่ผ่านการบดย่อยแล้วจะต้องมีขนาดไม่โตกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

4. การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการนำชีวมวลที่ผ่านการบดย่อยแล้วมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบตะเกียบ โดยเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีทั้งรูปแบบหัวอัดแนวนอน (Flat-die) และรูปแบบหัวอัดแนวตั้ง (Vertical mounted ring-die) ก่อนการอัดเม็ดจำเป็นต้องมีการเติมน้ำลงไปเพื่อกระตุ้นให้ลิกนินในชีวมวลดูดซึมน้ำเข้าไป เมื่อลิกนินดูดซึมน้ำเข้าไปแล้วจะทำหน้าที่ประสานระหว่างอนุภาคเล็กๆ ของชีวมวลเข้าด้วยกัน ในขณะที่ทำการอัดชีวมวลเป็นเม็ดต้องอาศัยแรงกดระหว่างลูกหมุนอัด (Roller) กับแผ่นรังผึ้งอัด (Pellet mill die) เพื่อสามารถขึ้นรูปได้

5. การผึ่งเย็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นการลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ได้จากการอัดขึ้นรูปเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการอัดขึ้นรูปจะมีความร้อนและความอ่อนตัวสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจะต้องลดอุณหภูมิลงเพื่อให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีความแข็งและทนทานต่อการเคลื่อนย้าย สำหรับการลดอุณหภูมิจะลดลงจากอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส จนเหลืออุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส

6. การร่อนคัดแยกแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นการแยกเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลออกจากเศษผง โดยเศษผงที่แยกออกมาจะนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดอีกครั้ง ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่แยกออกมาจะถูกลำเลียงไปสู่รถเก็บพักเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณภาพจะต้องมีเศษผงเจือปนอยู่ไม่เกิน 3 - 4 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

7. การบรรจุเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะทำการเก็บบรรจุด้วยระบบอัตโนมัติ จากนั้นก็จะนำไปจำหน่ายต่อผู้ใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงซีวมวลอัดเม็ด

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงซีวมวลอัดเม็ด

Kamaroddin et al. (2013) ทำการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของหญ้าคา (*Imperata cylindrica*) โดยการนำหญ้าคาไปบดย่อยแยกขนาดแล้วนำไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C จากนั้นนำไปหาค่าความร้อนด้วย bomb calorimeter ได้ค่าความร้อนสูงที่ 17.03 MJ/kg และค่าความร้อนต่ำที่ 15.50 MJ/kg วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณได้ค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไฮโดรเจน และปริมาณคาร์บอนคงที่คือ 8.47%, 4.04%, 73.22% และ 14.27% ตามลำดับ และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ปริมาณคาร์บอนที่ 34.06%

Munjeri et al. (2016) งานวิจัยนี้ใช้ใบผักตบชวาและใบต้วอย่างอื่นมาบดย่อย แยกขนาดแล้วนำมาผสมกากน้ำตาลที่เป็นตัวประสานแล้วนำมาอัดเม็ด มีการทดสอบการเผาไหม้โดยใช้เครื่อง bomb calorimeter เพื่อวัดค่าความร้อน ผักตบชวาที่อัดเม็ดแล้วมีค่าความร้อนสูงสุด 14.55 MJ/kg มีค่าความร้อนสูงประมาณ 70% ของค่าความร้อนสูงของถ่านหินชนิดต่ำสุด มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 7.8% ปริมาณเถ้า 12.4% ปริมาณไฮโดรเจน 65.7% ปริมาณคาร์บอนคงที่ 21.9% และมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 20% แสดงว่าผักตบชวาสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

นิพนธ์ ต้นไผบูลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร (2559) ศึกษาความแตกต่างของวิธีการขึ้นรูปที่มีต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งและอัดเม็ดจากผักตบชวา การศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงซีวมวลอัดเม็ดและอัดแท่งจากผักตบชวาที่มีกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 3:3 มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงที่สุด 73.3% มีค่าความหนาแน่นระหว่าง 0.247-0.443 g/cm³ มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 3,831.98 cal/g และมีค่าดัชนีการแตกร่วนระหว่าง 0.90-0.99% และเชื้อเพลิงอัตราส่วน 3:7 จากการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานมีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงที่สุด 79.4% มีความหนาแน่นระหว่าง 0.763-0.790 g/cm³ มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 3,678.1 cal/g และมีค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 0.96-0.97%

พิมพ์ณรรดา จินดารานันท์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นกระถินยักษ์ ต้นไมยราบยักษ์ และผักตบชวา ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นกระถินยักษ์มีค่าเฉลี่ย 31.3 MJ/kg ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นไมยราบยักษ์ มีค่าเฉลี่ย 28.72 MJ/kg และประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา มีค่าเฉลี่ย 13.01 MJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นกระถินยักษ์ จึงสูงกว่าประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นไมยราบยักษ์ และฝึกตบขวาตามลำดับ

2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความร้อนของวัชพืช

Gravalos et al. (2010) ทำการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของชีวมวลที่เหลือ ตัวอย่างที่ใช้นำมาจากชีวมวลที่เหลือของพืชผลทางการเกษตร (ฝ้าย, คาร์ตูน) อาหารสัตว์ (ธูปฤๅษี, อ้อเล็ก) และป่าไม้ (ป้อปลาร์, สน, เฟอร์, บีช) นำตัวอย่างที่ได้มาผ่านกระบวนการลดขนาดผ่านเครื่อง Hammer mill แล้วนำไปหาพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ค่าที่ได้จากเครื่องเป็นค่าความร้อนสูงโดยตัวอย่างที่ใช้มีค่าความร้อนสูงดังนี้ ฝ้ายมีค่า 17.731 kJ/g คาร์ตูน มีค่า 14.986 kJ/g อ้อเล็ก มีค่า 16.943 kJ/g ธูปฤๅษี มีค่า 17.230 kJ/g ป้อปลาร์ มีค่า 14.432 kJ/g บีช มีค่า 16.202 kJ/g สนมีค่า 14.589 kJ/g และ เฟอร์ผสมสน (50%+50%) มีค่า 15.684 kJ/g

Yengkhom et al. (2017) รายงานยลักษณะชีวมวล 5 ชนิด (*Impereta cylindrica*, *Eragrostis airoides*, *Typha angustifolia* L., *Arundinella khasiana* and *Echinochloa stagnina*) ด้วยวิธี proximate analysis ultimate analysis และ compositional analysis โดยชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดคือ *Typha angustifolia* L. มีค่า 13.95% ต่ำสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 8.28% ชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงสุดคือ *Arundinella khasiana* มีค่า 8.12% ต่ำสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 3.66% ชีวมวลที่มีปริมาณไอรระเหยสูงสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 86.84% ต่ำสุดคือ *Typha angustifolia* L. มีค่า 80.06% ชีวมวลที่มีค่าคาร์บอนคงที่สูงสุดคือ *Typha angustifolia* L. มีค่า 2.18% ต่ำสุดคือ *Impereta cylindrica* มีค่า 0.36% และชีวมวลที่มีปริมาณของแข็งสูงสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 91.73% ต่ำสุดคือ *Typha angustifolia* L. มีค่า 86.05% ส่วนวิธี ultimate analysis บอกถึงองค์ประกอบของชีวมวลโดยชีวมวลที่มีคาร์บอนสูงสุดคือ *Typha angustifolia* L. มีค่า 52.90% ต่ำสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 41.02% และวิธี compositional analysis บอกถึงสัดส่วนของพอลิแซคคาไรด์โดยชีวมวลที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุดคือ *Eragrostis airoides* มีค่า 43.17% ต่ำสุดคือ *Echinochloa stagnina* มีค่า 24.90%

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวยการ และนคร ทิพยาวงศ์ (2553) ศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อนของไมยราบยักษ์ (*Mimosa pigra* L.) ภายใต้สภาวะที่เกิดออกซิเดชัน โดยใช้เครื่อง TGA/SDTA 851e โดยได้ข้อมูลดังนี้ ไมยราบยักษ์ มีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 1.6%w/w มีปริมาณไอรระเหย 71.1%w/w มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 23.6%w/w มีปริมาณเถ้า 3.7%w/w มีค่าความร้อนสูง 17.5 MJ/kg และมีค่าองค์ประกอบธาตุดังนี้ คาร์บอน 43.9% ไฮโดรเจน 6.0% ไนโตรเจน 1.4% และออกซิเจน 48.7%

2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นที่มีผลต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

Huang et al. (2017) การศึกษาผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อคุณสมบัติของการอัดเม็ดพืชที่ใช้ในการศึกษา คือ เบิร์ช (*Betula pendula*), ต้นสน (*Picea abies*) และ หญ้าคานารี่ริด (*Phalaris arundinacea*) ทำการปรับสภาพให้มีความชื้นประมาณ 2-10% โดยการเติมน้ำและเก็บตัวอย่างใน environmental chamber ที่อุณหภูมิ 25 °c ความชื้นสัมพัทธ์ 20% และวัดความชื้นด้วย Mettler toledo halogen moisture analyzer เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดให้มีความแข็งแรงและความหนาแน่นที่ดีที่สุดโดยผลิตที่ปัจจัยต่างกัน ได้ผลว่าความชื้นและอุณหภูมิส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงชีวมวลอัดเม็ดสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นเป็น

เอกสาร
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังอัดที่ใช้ในการผลิต โดยเบียร์ที่มีความชื้น 6.1% มีความหนาแน่นและความแข็งแรงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสูงสุด หญ้าคานารีรีดที่มีความชื้น 5.2% มีความหนาแน่นของเม็ดสูงสุดที่มีความชื้น 8.5% มีความแข็งแรงของเม็ดสูงสุดและใช้ความดันในการผลิต 300 MPa และ 400 MPa สำหรับต้นสนที่มีความชื้น 5.1% มีความหนาแน่นของเม็ดสูงสุดที่มีความชื้น 8.3% มีความแข็งแรงสูงสุดและใช้ความดันในการผลิต 300 MPa และ 400 MPa และความชื้น 10.7% สำหรับ 200 MPa

สนธิ วาราชนนท์ (2555) ศึกษาผลของอนุภาคและความชื้นที่มีต่อการยอมรับได้มาตรฐานเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ ชีวมวลตัวอย่าง คือแห้งมันสำปะหลังโดยผ่านการบดย่อยที่ขนาดรูตะแกรง คือ 1 mm 4 mm และ 10 mm ได้ขนาดอนุภาค 1.78 mm 2.10 mm และ 2.65 mm ตามลำดับ ชีวมวลตัวอย่างมีความชื้น 10.6%wb ผสมน้ำเพิ่มเข้าไป 10% 20% และ 30% โดยมวลของชีวมวล ทำให้ชีวมวลตัวอย่างมีความชื้น 20.6%wb 30.6%wb และ 40.6%wb ตามลำดับ เมื่ออัดแท่งเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบได้ผลว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบที่ขนาดอนุภาคและความชื้นไม่ส่งผลต่อค่าความทนทาน ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของแท่งเชื้อเพลิง ค่าร้อยละผลได้เชิงมวลจะลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่ และความชื้นไม่มีผลต่อค่าร้อยละผลได้เชิงมวล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

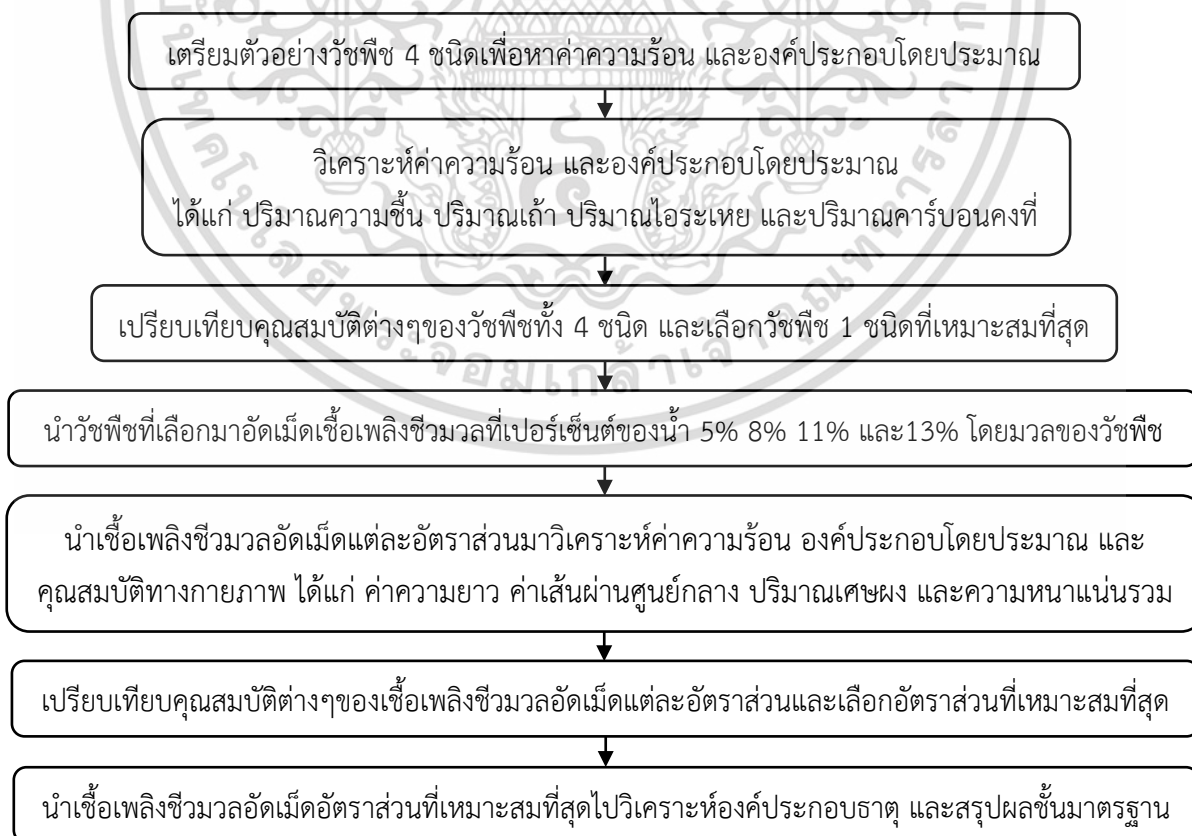
บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องหั่นย่อยซากพืชปฏิพงษ์ (Patipong agriculture machinery, Thailand)
2. เครื่องบด (Pulver-issette14, Fritsch, Germany)
3. เครื่องบดเตรียมตัวอย่าง (Rotary Mill, Bra bender, Germany)
4. โกร่งบดยาเซรามิค (Porcelain Pestle)
5. เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve Shaker)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (AR2140 Adventure, OHAUSS, ความละเอียด 0.0001 g)
7. เครื่องอัดเม็ดชีวมวล (Pellet press)
8. เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (Pellet making machine 10HP, Thaisumi, Thailand)
9. ตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany)
10. เครื่องวัดค่าความร้อนสูง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)
11. เตาเผาความร้อนสูง Furnace (Electric Muffle Furnace, JSMF-45T, JSR, Korea)
12. เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (CHNS-628 Manual, LECO, America)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.1** แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ด

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผักกระฉูด ธูปฤาษี ไมยราบยักษ์ หญ้าคา (รูปที่ 3.2) ตัวอย่างชีวมวลทั้งหมดนี้ถูกนำมาล้างห้องปฏิบัติการสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากนั้นนำชีวมวลมาทำการสับย่อยให้มีขนาดเล็กลงและบดย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการด้วยเครื่องบด (Pulver-issette14, Fritsch, Germany) (รูปที่ 3.3) เป็นเวลา 5 นาทีผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm ตัวอย่างที่บดเรียบร้อยแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อเป็นการเตรียมตัวอย่าง เก็บใส่ถุงซิปล็อกเพื่อรอทำการทดลองต่อไป คือ การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany) การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณโดยใช้เตาเผาความร้อนสูง Furnace (JSMF-45T, JSR, Korea) และตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลต่างๆ และคัดเลือกว่าพืช 1 ชนิดที่มีคุณสมบัติ คือ มีค่าความร้อนสูง ความชื้นต่ำ ปริมาณเถ้าต่ำ ปริมาณไอระเหยสูง และปริมาณคาร์บอนคงที่สูง



รูปที่ 3.2 ธูปฤาษี (a), ผักกระฉูด (b), หญ้าคา (c), ไมยราบยักษ์ (d)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 3.3 เครื่องบด (Pulver-issette14, Fritsch, Germany)** ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

นำตัวอย่างที่ได้มาเข้าเครื่องสับ ให้มีขนาด 1-2 เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องบดเตรียมตัวอย่าง (Rotary Mill, Bra bender – Germany) ที่มีตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.4) ได้ขนาดตัวอย่าง 1-2 มิลลิเมตร พักตัวอย่างให้เย็นและนำตัวอย่างมาผสมน้ำที่ปริมาณน้ำ 5% 8% 11% และ 13% โดยมวลของวัชพืช จากนั้นนำตัวอย่างที่ผสมแล้วไปเข้าเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลต่อไป



รูปที่ 3.4 เครื่องบดเตรียมตัวอย่าง (Rotary Mill, Bra bender, Germany)

3.3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลหลังอัดเม็ด

นำตัวอย่างที่ได้หลังจากการอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วนมาบดละเอียดโดยใช้โกร่งบดยา (Porcelain Pestle) (รูปที่ 3.5) ให้ได้ขนาด 1 มิลลิเมตร ในการหาค่าประกอบโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น เถ้า และไอระเหย และนำตัวอย่างที่ได้หลังจากการอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วนโดยใช้เป็นเม็ด Pellet ในการหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความร้อนและคุณสมบัติทางกายภาพ



รูปที่ 3.5 โกร่งบดยา (Porcelain Pestle)

3.4 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

3.4.1 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)

หลังจากตัวอย่างผ่านการเตรียมให้มีขนาดตามที่ต้องการแล้ว นำแต่ละตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 0.5-1 กรัม (รูปที่ 3.6) มาอัดให้เป็น Pellet น้ำหนัก 0.5-1 กรัม (รูปที่ 3.7) โดยใช้เครื่องอัดเม็ดชีวมวล (Pellet press) (รูปที่ 3.8) จากนั้นนำตัวอย่างวางลงใน Crucible แล้วนำ Crucible ใส่ใน Crucible hold แล้วผูกด้วยฝ้าย (Cotton thread) ที่ตำแหน่งศูนย์กลางลวด เมื่อผูกด้วยฝ้ายเสร็จแล้ว นำตัวอย่างวางทับปลายทั้งสองของด้ายฝ้ายโดย ขั้นตอนนี้ควรระวังอย่าให้ด้ายถูกตรงบริเวณขอบของ Crucible เพื่อให้เผาด้วยหมต่ออย่างสมบูรณ์และไม่ให้ด้ายหลุดไปนอก Crucible และต้องให้ตัวอย่างวางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนปลายเส้นด้ายฝ้าย จากนั้นนำ Bomb head ใส่ลงใน Oxygen bomb ปิดฝา เติมออกซิเจนลงใน Vessel โดยการเปิด วาล์วของถังแก๊สออกซิเจน ตั้ง Pressure gauge ไว้ที่ 30 bar จากนั้นกด O₂ Fill Key เครื่องจะทำการ เติมออกซิเจนให้อัตโนมัติโดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาที จากนั้นนำชุด oxygen bomb วางลงในเครื่อง Bomb calorimeter (รูปที่ 3.9) โดยวางลงให้ตรงตำแหน่งพอดี หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในเครื่องโดยให้น้ำกลั่นมีอุณหภูมิในช่วง 22 ± 3 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงระดับน้ำที่กำหนด ปรับค่าการวัดเป็นแบบ isoperibol ใส่ค่าน้ำหนักของตัวอย่างแล้วกด Start รอประมาณ 15 - 20 นาที เครื่องจะแสดงค่าความร้อนออกมาในหน่วย J/g



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างวัชพืชที่นำมาอัดเม็ด



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวัชพืชที่ได้หลังจากการอัดเม็ด



รูปที่ 3.8 เครื่องอัดเม็ดซีมวล (Pellet press)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เครื่อง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)

3.4.2 การวัดค่าความชื้น

ชีวมวลที่จะนำไปหาคุณสมบัติของชีวมวลต่างๆ จะถูกแบ่งไปวัดค่าความชื้น ตามมาตรฐาน ISO 18134-3 โดยนำถั่วพร้อมฝาปิดอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส ในตู้อบจนกว่ามวลคงที่ (รูปที่ 3.10) โดยเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.001 กรัม ในระยะเวลา 60 นาที แล้วนำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถั่วและชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถั่ว จากนั้นชั่งน้ำหนักด้วยค่าความละเอียด 0.001 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำถั่วออกจากตู้อบ ปิดฝาทันทีทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก บันทึกผล และคำนวณหาค่าความชื้นดังสมการที่ 3.1

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย M_{ad} คือ ปริมาณความชื้น (%)
 m_1 คือ น้ำหนักของถั่วเปล่าพร้อมฝา (g)
 m_2 คือ น้ำหนักของถั่วพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนอบ (g)
 m_3 คือ น้ำหนักของถั่วพร้อมฝาและตัวอย่างหลังอบ (g)



รูปที่ 3.10 ตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany)

3.4.3 การวัดปริมาณไธระเหย

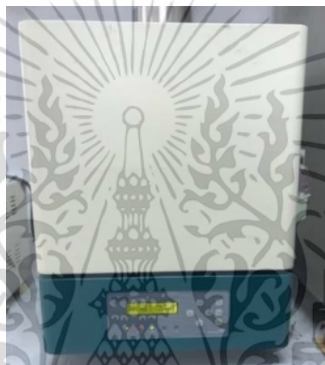
การหาปริมาณไธระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18123 โดยนำถั่วพร้อมฝาปิดเข้าเตาเผา Furnace (JSMF-45T, JSR, Korea) ดังรูปที่ 3.11 ที่อุณหภูมิ 900 ± 10 องศาเซลเซียส จนกว่ามวลคงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.001 กรัม ในระยะเวลา 7 นาที ± 5 วินาที แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องบนแผ่นวัสดุทนความร้อน และเก็บเข้าโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้งานด้านการศึกษา
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วย และชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยจากนั้นชั่งน้ำหนักทั้งตัวอย่างและถ้วย พร้อมฝาปิด ความละเอียด 0.001 กรัม นำถ้วยพร้อมฝาปิดเข้าเตาเผา Furnace ที่อุณหภูมิ 900 ± 10 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 7 นาที ± 5 วินาที นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็น และเก็บเข้าโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก บันทึกผล และคำนวณหาปริมาณไอระเหยดังสมการที่ 3.2

$$V = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] \times \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right) \quad (3.2)$$

โดย	V	คือ ปริมาณไอระเหย (%)
	m_1	คือ น้ำหนักของถ้วยเปล่าพร้อมฝา (g)
	m_2	คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนให้ความร้อน (g)
	m_3	คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างหลังให้ความร้อน (g)
	M_{ad}	คือ ความชื้นซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวลที่ได้ตามมาตรฐาน ISO 18134-3



รูปที่ 3.11 เตาเผาความร้อนสูง (JSMF-45T, JSR, Korea)

3.4.4 การวัดปริมาณเถ้า

การหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 18122 โดยนำถ้วยพร้อมฝาปิดเข้าเตาเผา Furnace (รูปที่ 3.11) ที่อุณหภูมิ 550 ± 10 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 60 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องบนแผ่นวัสดุทนความร้อน และเก็บเข้าโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วย และชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ด้วยค่าความละเอียด 0.001 กรัม ใส่ถ้วยแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างและถ้วยพร้อมฝาปิด นำเข้าเตาเผาแล้วให้ความร้อนตามโปรแกรม โดยเพิ่มอุณหภูมิเตาเป็น 250 องศาเซลเซียส รักษาอุณหภูมิที่ระดับนี้เป็นเวลา 60 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเตาอย่างต่อเนื่องเป็น 550 ± 10 องศาเซลเซียส รักษาอุณหภูมิที่ระดับนี้เป็นเวลาอย่างน้อย 120 นาที จากนั้นนำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็น และเก็บเข้าโถดูดความชื้นให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนักด้วยค่าความละเอียด 0.001 กรัม บันทึกผล และคำนวณปริมาณเถ้าดังสมการที่ 3.3

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3.3)$$

โดย	A_d	คือ ปริมาณเถ้า (%)
	m_1	คือ น้ำหนักของถ้วยเปล่า (g)
	m_2	คือ น้ำหนักของถ้วยและตัวอย่าง (g)
	m_3	คือ น้ำหนักของถ้วยและเถ้า (g)
	M_{ad}	คือ ความชื้นซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวลที่ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 18134-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวัดปริมาณคาร์บอนคงที่

จากการที่ได้หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณไอระเหย จะต้องนำค่าดังกล่าวเพื่อมาหาปริมาณคาร์บอนคงที่โดยคำนวณได้จากผลต่าง ดังสมการที่ 3.4

$$\%FC = 100 - (\%M + \%Ash + \%VM) \quad (3.4)$$

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลต่างๆ ของวัชพืชทั้ง 4 ชนิด เพื่อเลือกวัชพืชที่เหมาะสมที่สุดเพียง 1 ชนิดที่จะนำไปอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยใช้วิธีการทางสถิติในการจัดเรียงข้อมูล วิธีการทางสถิติที่นำมาวิเคราะห์เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และทำการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลเป็นคู่ โดยใช้วิธีการในการทดสอบ ได้แก่ วิธี Least significant difference (LSD) เป็นวิธีการเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด โดยใช้หลักการทดสอบ t-test หากผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ใดมีค่ามากกว่าค่า LSD แสดงว่าค่าเฉลี่ยคู่นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α โดยหา LSD ได้ดังสมการที่ 3.5

$$LSD = \bar{X}_i - \bar{X}_j = t_{\alpha, df} \sqrt{MSW \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (3.5)$$

โดย t คือ ค่า t ที่เปิดจากตาราง t (2-tailed) ที่ df ของ Within group คือ N-K
 MSW คือ ค่า Mean square ภายในกลุ่มจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน
 n_i คือ จำนวนตัวอย่างของกลุ่มข้อมูลที่ i
 n_j คือ จำนวนตัวอย่างของกลุ่มข้อมูลที่ j

3.6 การอัดเม็ดชีวมวล

นำวัชพืชที่เลือก 1 ชนิด ไปทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดชีวมวล (Pellet making machine, Thaisumi, Thailand) ดังรูปที่ 3.12 โดยทดลองอัดเม็ดที่อัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่ปริมาณน้ำ 5% 8% 11% และ 13% โดยมวลของวัชพืชที่อัตราส่วนละประมาณ 5 กิโลกรัม นำไปหาค่าความร้อน และวิเคราะห์หองค์ประกอบโดยประมาณของชีวมวล ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไอระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความยาวเฉลี่ย ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ความหนาแน่นรวม และปริมาณเศษผง คัดเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการทางสถิติในการจัดเรียงข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.12 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล (Pellet making machine, Thaisumi, Thailand) เป็นการคำนวณค่า
 ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

3.7.1 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

สำหรับการหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะหาค่าตามที่มีมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของ International standard ได้กำหนดไว้ดังนี้

1. การหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมา 10 ชิ้น โดยสุ่มจากตัวอย่าง และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแต่ละอันด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิงแต่ละชิ้นด้วยความละเอียด 0.01 เซนติเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด แล้วบันทึกผลดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

2. การหาค่าความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เริ่มจากการสุ่มเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และตัดแยกเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีความยาวมากกว่า 40 มิลลิเมตร (เป็นความยาวเฉพาะมากที่สุดที่สามารถรับได้) โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์หรือบล็อกสำหรับการวัดที่ผ่านการรับรองความถูกต้องเพื่อตรวจสอบความยาวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ดังรูปที่ 3.14 ถ้าแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ถูกวัดมีค่าความยาวมากกว่าความยาวเฉพาะจะได้รับการตัดแยกไว้ จากนั้นค่าความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะแสดงเป็นค่าร้อยละของมวลของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีความยาวมากกว่าความยาวเฉพาะจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่นำมาทดสอบค่าความยาวทั้งหมด ดังสมการที่ 3.6

$$\text{ความยาวเชื้อเพลิง} > 40 \text{ มิลลิเมตร (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่มีความยาวมากกว่า 40 มิลลิเมตร}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ทดสอบค่าความยาวทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.14 การหาค่าความยาวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การหาปริมาณร้อยละเศษผง

สำหรับการหาค่าร้อยละของเศษผงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จะเป็นไปตามที่มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของ International standard ได้กำหนดไว้ดังนี้

นำชีวมวลมาทดสอบอย่างน้อย 2.5 ปอนด์ (1,133 กรัม) ซึ่งน้ำหนักตะแกรง ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.1 กรัม และบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น (BW) นำตัวอย่างใส่บนตะแกรงร้อนที่มีขนาดรูตะแกรง 1/8 นิ้ว (3.17 มิลลิเมตร) แล้วชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกค่าน้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงและตะแกรงร้อน (IW) ร้อนตัวอย่างแห้งเชื้อเพลิงด้วยตะแกรงร้อน จำนวน 10 ครั้ง นำภาชนะรองรับเศษผงไปชั่งด้วย และบันทึกค่าน้ำหนักของภาชนะรองรับและ เศษผง (CFW) ชั่งน้ำหนักภาชนะรองรับและบันทึกค่า (CW) ดังรูปที่ 3.15 จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละของเศษผงดังสมการที่ 3.7

$$\text{ร้อยละของเศษผง (\%)} = \frac{(CFW-CW)}{(IW-BW)} \times 100 \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.15 การหาปริมาณร้อยละเศษผง

3.7.3 การหาความหนาแน่นรวม

ทำการตัดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งตะเกียบให้มีการกระจายขนาดอยู่ในช่วงเดียวกัน บรรจุตัวอย่างลงในกล่องขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความสูง 150 มิลลิเมตร โดยปล่อยเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งตะเกียบลงในกล่อง จากนั้นทำการเคาะกล่องที่บรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งตะเกียบโดยการปล่อยกล่องกระแทกพื้นจากความสูง 150 มิลลิเมตร จำนวน 5 ครั้ง พร้อมเติมแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจนกว่าจะพอดีปากกล่องด้านบนตลอดการทดสอบ ซึ่งและบันทึกค่าน้ำหนักของกล่องที่บรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลแห้งตะเกียบ ดังรูปที่ 3.16 และคำนวณความหนาแน่นรวมดังสมการที่ 3.8

$$\text{ความหนาแน่นรวม (kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{น้ำหนักของกล่องและเชื้อเพลิง} - \text{น้ำหนักกล่องเปล่า})}{\text{ปริมาตรกล่อง}} \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.16 การหาความหนาแน่นรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การทดลองเพื่อหาองค์ประกอบธาตุ

ทำการทดลองกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีอัตราส่วนที่ดีที่สุดของวัชพืชที่เลือกมา โดยนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทำได้โดยการหา C H N จาก ASTM D5373-16 และหา S จาก ASTM D4239-17 แยกต่างหากโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ (CHNS-628 Manual, LECO, America) ดังรูปที่ 3.17 และสามารถหาธาตุได้ดังวิธีการต่อไปนี้



รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ (CHNS-628 Manual, LECO, America)

3.8.1 วิธีการหาค่าคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N)

จะใช้การทดสอบแบบ A ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิในช่วง 900 องศาเซลเซียส ถึง 1,150 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนมีความเกี่ยวข้องกัน (CO_2 , H_2O และ NO_x) จะเกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ของตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงภายในบรรยากาศของออกซิเจน ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้สามารถส่งผลการวิเคราะห์ก๊าซในภายหลังได้จึงต้องนำออกก่อนการทดสอบ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะลดลงเป็น N_2 ก่อนการหาค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและธาตุไนโตรเจนในแก๊สจะถูกหาโดยเครื่องมือทดสอบที่เหมาะสม ในการสอบเทียบวัสดุและค่าทางทฤษฎีของคาร์บอน ไฮโดรเจนและ ไนโตรเจน ใช้ EDTA มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลคือ $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ มี C = 41.1% H = 5.5% และ N = 9.6% โดยตัวอย่างวิเคราะห์ที่เตรียมไว้ให้มีขนาดไม่เกิน 250 μm มีขั้นตอนในการทำดังนี้

1. ดำเนินการหาค่าความชื้นของแต่ละตัวอย่างโดยการวิเคราะห์หรือวัสดุอ้างอิงแต่ละชนิดหรือทั้งสองอย่างตามวิธีการทดสอบ D3173 หรือวิธีทดสอบ D7582 ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมงในการวิเคราะห์คาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนในแต่ละตัวอย่างการวิเคราะห์
2. ดำเนินการพิจารณาโดยการชั่งน้ำหนักส่วนการทดสอบของแต่ละตัวอย่างการวิเคราะห์ภายในช่วงมวลที่ผู้ผลิตแนะนำ ดำเนินการกำหนดส่วนการทดสอบที่ต่อเนื่องของตัวอย่างการวิเคราะห์ตามที่จำเป็นเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพ
3. ตรวจสอบการสอบเทียบเมื่อเสร็จสิ้นการตรวจวัดทั้งหมดและตามที่จำเป็นเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพ
4. ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบใด ๆ เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบการกำหนดทั้งหมด และตามที่จำเป็นเพื่อตอบสนองความต้องการการควบคุมคุณภาพการดำเนินการกำหนดในส่วนการทดสอบต่อเนื่องของวัสดุอ้างอิง (RM) ตรวจสอบรับผลสำหรับ RM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บันทึกปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวล รายงานผลแบบฐานแห้งเป็น 0.1% ที่ใกล้ที่สุดสำหรับคาร์บอน 0.01% สำหรับไฮโดรเจนและ 0.01% ที่ใกล้ที่สุดสำหรับไนโตรเจน

6. ใช้สมการต่อไปนี้สำหรับการคำนวณแบบฐานแห้ง
สมการสำหรับปริมาณคาร์บอน

$$C_d = C_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3.9)$$

สมการสำหรับปริมาณไนโตรเจน

$$N_d = N_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3.10)$$

สมการสำหรับปริมาณไฮโดรเจน

$$H_d = (H_{ad} - 0.1119 \times M_{ad}) \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3.11)$$

เมื่อ	d	=	ฐานแห้ง
	ad	=	ค่าที่กำหนด
	C	=	ปริมาณของคาร์บอน (%)
	N	=	ปริมาณของไนโตรเจน (%)
	H	=	ปริมาณของไฮโดรเจน (%)
	M _{ad}	=	ความชื้นของตัวอย่างที่วิเคราะห์ (%)

3.8.2 วิธีการหาค่าซัลเฟอร์ (S)

ในการหาปริมาณซัลเฟอร์ใช้วิธีการเผาไหม้ A (1350 องศาเซลเซียส) ในการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ทดสอบ ตัวอย่างจะถูกนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิต่ำสุดของท่อเผาไหม้ที่ 1350 องศาเซลเซียส ในสถานะของออกซิเจน ในระหว่างการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,350 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์และสารประกอบซัลเฟอร์ ที่อยู่ในตัวอย่างจะถูกแยกออกและออกซิไดซ์ โดยเฉพาะแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ความชื้นและอนุภาคจะถูกกำจัดออกจากก๊าซโดยตัวกรอง ก๊าซจะไหลผ่านเซลล์ที่เป็นตัววัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยเครื่องตรวจจับการดูดกลืนอินฟราเรด (IR) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะดูดซับพลังงานอินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่นที่แม่นยำภายในสเปกตรัมอินฟราเรด โดยปริมาณกำมะถันทั้งหมดจะเท่ากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจพบ โดยสำหรับวิธี A ใช้วัสดุอ้างอิงเป็นถ่านหินหรือถ่านโค้ก ในการสอบเทียบการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ และใช้สารบริสุทธิ์ BBOT สอบเทียบเครื่องวิเคราะห์ซัลเฟอร์ โดยต้องบดตัวอย่างให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 60 (250 ไมโครเมตร) โดยทำการทดลอง ดังนี้

1. วิเคราะห์ส่วนที่แยกต่างหากของตัวอย่าง การวิเคราะห์สำหรับปริมาณความชื้นตามวิธีทดสอบ D3173 หรือ D7582 หรือ ISO 11722 สำหรับการคำนวณอื่น ๆ

2. เพิ่มอุณหภูมิเตาเผาอย่างน้อย 1350 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ไม่เกินมวลสูงสุดของวัสดุอ้างอิงที่ใช้ในการสอบเทียบ วิเคราะห์ตัวอย่างทดสอบโดยใช้เงื่อนไขอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบ

3. ใช้มวลของวัสดุและอุปกรณ์ที่แนะนำจากผู้ผลิต ดำเนินการกำหนดสภาพอุปกรณ์อย่างน้อยสามสภาพก่อนการสอบเทียบ ใช้วัสดุที่มีค่าซัลเฟอร์ใกล้กับจุดกึ่งกลางของช่วงการสอบเทียบที่คาดหวัง

4. วางตำแหน่งตัวอย่างใน hot zone ของเตาเผาจนกว่าเครื่องมือจะกลับไปเป็นค่าพื้นฐานตามที่ระบุตามการตั้งค่า หากเวลาวิเคราะห์เกินเวลาที่วิเคราะห์สูงสุดที่ผู้ผลิตแนะนำให้ดำเนินการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสอบเทียบด้วย BBOT เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดความแม่นยำของวิธีการนี้จำเป็นต้องมีจุดสอบเทียบหกจุดสำหรับตามระยะเวลาให้พอดีและจำเป็นต้องมีการสอบเทียบแปดจุดสำหรับไม่ตามระยะเวลาพอดี จุดสอบเทียบประกอบด้วยกำหนดส่วนทดสอบเดียวของการสอบเทียบวัสดุ เลือกส่วนทดสอบของวัสดุอ้างอิงที่อย่างน้อยมีซิลเฟอร์มากที่สุดที่ระดับสูงสุดของซิลเฟอร์ที่คาดไว้ ส่วนการทดสอบของวัสดุอ้างอิงที่มีซิลเฟอร์มากที่สุดเท่าที่ระดับต่ำสุดของซิลเฟอร์ที่คาดไว้และส่วนการทดสอบระยะกว้างอย่างสม่ำเสมอในระหว่างสูงสุดและต่ำสุดของระดับของซิลเฟอร์

6. มวลของการทดสอบที่ต้องการสามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$M_C = \frac{(M_T \times S_{AD})}{S_C} \quad (3.12)$$

เมื่อ M_C คือ มวลของวัสดุอ้างอิง

M_T คือ มวลปกติใช้ในการทดสอบตัวอย่าง

S_{AD} คือ เปอร์เซ็นต์ซิลเฟอร์ (ตามที่กำหนด) ในการทดสอบตัวอย่าง

S_C คือ เปอร์เซ็นต์ซิลเฟอร์ในวัสดุอ้างอิงบริสุทธิ์

หมายเหตุ ในห้องปฏิบัติการระหว่างการศึกษา มวลของ BBOT ที่ใช้สำหรับการสอบเทียบอยู่ระหว่างประมาณ 15 มก. ถึง 80 มก. นักวิเคราะห์บางคนอาจใช้จำนวนที่มากขึ้นในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของพืชแต่ละชนิด

การทดลองนี้ทดลองขึ้นเพื่อใช้พิจารณาคุณสมบัติของชีวมวลในการคัดเลือกวัชพืชเพียง 1 ชนิดที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณสมบัติของชีวมวลดีที่สุด โดยเทียบตามมาตรฐานการคัดเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่ใช้พิจารณา ได้แก่ ค่าความร้อน โดยต้องมีค่าความร้อนอย่างน้อย 16.5 MJ/kg, ค่าความชื้น โดยควรมีค่าความชื้นต่ำกว่า 10% ฐานเปียก, ปริมาณเถ้า โดยควรมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า 3% โดยมวล, มีปริมาณไอระเหยสูง และมีปริมาณคาร์บอนคงที่สูง

ชีวมวลที่นำมาทำการทดลองมี 4 ชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ ผักกระฉูด หญ้าคา และธูปฤๅษี โดยนำไปทดสอบหาค่าความร้อนต่ำด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter และนำไปหาค่าองค์ประกอบโดยประมาณ โดยหาปริมาณเถ้า ปริมาณไอระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ ด้วยเตาเผาความร้อนสูง และหาปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ได้ผลค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของพืชแต่ละชนิด

Biomass	MC (%)	Ash (%)	VM (%)	FC (%)	LHV (J/g)
ไมยราบยักษ์ (Giant sensitive plant)	3.07 ± 0.31 ^a	2.68 ± 0.11 ^d	80.12 ± 0.35 ^a	14.13 ± 0.47 ^a	18,334.08 ± 93.26 ^a
ผักกระฉูด (Neptunia)	3.40 ± 0.35 ^a	7.52 ± 0.06 ^b	73.91 ± 0.23 ^d	15.17 ± 0.35 ^a	17,423.46 ± 61.19 ^c
หญ้าคา (Cogon grass)	3.20 ± 0.61 ^a	6.85 ± 0.09 ^c	78.27 ± 0.40 ^b	11.68 ± 0.81 ^a	17,597.51 ± 115.84 ^b
ธูปฤๅษี (Cattail)	3.60 ± 0.10 ^a	10.30 ± 0.18 ^a	76.31 ± 0.17 ^c	9.79 ± 0.04 ^b	17,297.88 ± 67.28 ^c

ค่าที่มีตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

หมายเหตุ : MC คือ ปริมาณความชื้น, Ash คือ ปริมาณเถ้า, VM คือ ปริมาณไอระเหย, FC คือ ปริมาณคาร์บอนคงที่ และ LHV คือ ค่าความร้อนต่ำ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของวัชพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ ผักกระฉูด หญ้าคา ธูปฤๅษี มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 3.07 3.40 3.20 และ 3.60 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10% จึงสามารถใช้ได้ทั้งหมด

ปริมาณเถ้าของวัชพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ ผักกระฉูด หญ้าคา ธูปฤๅษี มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 2.68 7.52 6.85 และ 10.30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA วัชพืชที่มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ และวัชพืชที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด ได้แก่ ธูปฤๅษี โดยปริมาณเถ้าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้โดยส่วนใหญ่ ไม่ควรเกิน 3% ยกเว้นแกลบหรือฟางข้าวที่มีปริมาณเถ้าอยู่ที่ 15-16% เนื่องจากเถ้าเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของชีวมวล ซึ่งมีผลต่อค่าความร้อนที่ได้จะน้อยลง และอาจเกิดผลเสียต่อห้องเผาไหม้ และจำเป็นต้องมีกระบวนการในการกำจัดเถ้าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไอร่หะเหยของว้ชพีชท้ั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ ผ้กกระฉูด หล้้าค่า รู่ปถ่าชี มี ปริมาณไอร่หะเหยเท่่ากัับ 80.12 73.91 78.27 และ 76.31 เปอร์เซ้นต์ตามล้้าดัับ โดยผ้กกระฉูดและหล้้า ค่าไม่มีความแตกต่างกันอย่่างมีนัยสำคั้ญทางสถิติต้ี่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้ว้วิธี one-way ANOVA ว้ชพีชท้ี่มีปริมาณไอร่หะเหยน้อยท้ี่สุด ได้แก่ ผ้กกระฉูด และว้ชพีชท้ี่มีปริมาณเ่้า่มากท้ี่สุด ได้แก่ ไมยร่าบ ย้กัษ์ ซึ่งปริมาณไอร่หะเหยเกิดจ่าการกลั่นสลายด้ว้ความร้อน ช้วมวลท้ี่มีปริมาณไอร่หะเหยสูงจะมี แนวน้้อมท้ี่จะมีค่าความร้อนสูงด้ว้

ส่วนปริมาณคาร์บอนคงท้ี่ของว้ชพีชท้ั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ ผ้กกระฉูด หล้้าค่า รู่ปถ่าชี มีปริมาณคาร์บอนคงท้ี่เท่่ากัับ 14.13 15.17 11.68 และ 9.79 เปอร์เซ้นต์ตามล้้าดัับ โดยจ่ากัทั้ง 4 พี้ชมี แ่รู่ปถ่าชีท้ี่มีความแตกต่างกันอย่่างมีนัยสำคั้ญทางสถิติต้ี่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้ว้วิธี one-way ANOVA ว้ชพีชท้ี่มีปริมาณคาร์บอนคงท้ี่น้อยท้ี่สุด ได้แก่ รู่ปถ่าชี และว้ชพีชท้ี่มีปริมาณคาร์บอนคงท้ี่มาก ท้ี่สุด ได้แก่ ผ้กกระฉูดและร่องมาค้ือไมยร่าบย้กัษ์ โดยปริมาณคาร์บอนคงท้ี่เป็นส่วนท้ี่เสถียรของ โครงสร้างช้วมวลหล้้าจ่าการให้ความร้อนแก่ช้วมวลท้ี่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่จะ ประกอบไปด้ว้ธาตุคาร์บอน ช้วมวลท้ี่มีปริมาณคาร์บอนคงท้ี่สูง จะมีช้่วงเวลาในการลुकหม้่านานไปด้ว้

และค่าความร้อนต่ำของว้ชพีชท้ั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ ผ้กกระฉูด หล้้าค่า รู่ปถ่าชี มีค่า ความร้อนต่ำเท่่ากัับ 18,334.08 17,423.46 17,597.51 และ 17,297.88 J/g ตามล้้าดัับ โดยผ้กกระฉูด และรู่ปถ่าชี ไม่มีความแตกต่างกันอย่่างมีนัยสำคั้ญทางสถิติต้ี่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้ว้วิธี one-way ANOVA ว้ชพีชท้ี่มีค่าความร้อนต่ำท้ี่สูงท้ี่สุด ได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ และว้ชท้ี่มีค่าความร้อนต่ำท้ี่ต่ำท้ี่สุด ได้แก่ รู่ปถ่าชี โดยค่าความร้อนของช้วมวล จะเป็นตัวบ่งบอกความสามารถและปริมาณของช้วมวลใน การน้้าไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่้อให้ได้ความร้อนได้ตามท้ี่ต้องการในกระบวนการผลิต

จ่ากัผลการทดลองข้างต้น สรุปล้้าได้ว้ว้ชพีชท้ี่มีความเหมาะสมท้ี่จะน้้าไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงช้วมวลอัดเม็ดได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ เนื่องจ่ากัมีค่าความร้อนท้ี่สูงท้ี่สุด มีค่าความชื้นต่ำกว่า 10% ฐานเปี้ยก มี ปริมาณเ่้าต่ำ มีปริมาณไอร่หะเหยสูง และมีปริมาณคาร์บอนคงท้ี่สูงเมื่้อเทียบกับว้ชพีชชนิดอื่น

4.2 ค่าน้้าหนักสต่อ่น้้าหนักแห้งของพีชแต่ละชนิด

ช้วมวลท้ี่น้้ามาทำการทดลองมีจ่านวน 4 ชนิด ได้แก่ ไมยร่าบย้กัษ์ ผ้กกระฉูด หล้้าค่า และ รู่ปถ่าชี โดยน้้าไปหาค่าน้้าหนักแห้งต่อ่น้้าหนักสต่อของพีชได้ผลดังตารางท้ี่ 4.2

ตารางท้ี่ 4.2 ค่าน้้าหนักแห้งต่อ่น้้าหนักสต่อของพีชแต่ละชนิด

Biomass	Wet weight (g)	Dry weight (g)	Dry weight/Wet weight (%)
ไมยร่าบย้กัษ์ (Giant sensitive plant)	200.00	112.36	56.18
ผ้กกระฉูด (Neptunia)	200.00	96.50	48.25
หล้้าค่า (Cogon grass)	200.00	70.87	35.44
รู่ปถ่าชี (Cattail)	200.00	42.71	21.35

จ่ากัตารางท้ี่ 4.2 จะเห็นได้ว้ว้ ไมยร่าบย้กัษ์มีค่าน้้าหนักแห้งต่อ่น้้าหนักสต่อสูงท้ี่สุด ค้ือ 56.18% และ รู่ปถ่าชีค่าน้้าหนักแห้งต่อ่น้้าหนักสต่อต่ำท้ี่สุด ค้ือ 21.35% โดยค่าน้้าหนักแห้งต่อ่น้้าหนักสต่อเป็นค่า เปอร์เซ้นต์น้้าหนักท้ี่ได้หล้้าจ่ากัตากแห้ง แสดงให้เห็นถึงปริมาณช้วมวลท้ี่เหลืออยู่ท้ี่สามารถน้้าไปใช้เป็น เชื้อเพลิงช้วมวลได้

และจากหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าไมยราบยักษ์มีค่าต่างๆ ที่ดีที่สุดจึงเลือกไมยราบยักษ์เป็นพืชที่จะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดต่อไป ซึ่งหลังจากนำไปอัดเม็ดแล้วก็จะมี การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ต่อไป

4.3 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่นำมาทำการทดลองมีจำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่ปริมาณน้ำ 5% 8% 11% และ 13% โดยมวลของวัชพืช เนื่องจากการอัดขึ้นรูปของชีวมวลได้ดีจะอยู่ในช่วงความชื้นที่ 5-15% จึงทดลองในช่วงอัตราส่วนดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วน โดยนำไปทดสอบหาค่าความร้อนต่ำด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter จากนั้นนำไปหาค่าองค์ประกอบโดยประมาณ ด้วยเตาเผาความร้อนสูง ได้แก่ ปริมาณเถ้า ปริมาณไอรระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ และหาปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ได้ผลค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์แต่ละอัตราส่วน

Percent of water	MC (%)	Ash (%)	VM (%)	FC (%)	LHV (J/g)
5%	7.52 ± 0.17 ^c	2.98 ± 0.16 ^b	77.65 ± 0.57 ^b	11.85 ± 0.52 ^a	18,847.42 ± 31.18 ^a
8%	7.83 ± 0.19 ^c	2.48 ± 0.01 ^c	78.77 ± 0.24 ^a	10.92 ± 0.24 ^{ab}	18,747.46 ± 8.23 ^a
11%	8.44 ± 0.20 ^b	3.00 ± 0.12 ^b	77.98 ± 0.59 ^{ab}	10.59 ± 0.69 ^b	18,192.84 ± 104.45 ^b
13%	9.16 ± 0.31 ^a	3.65 ± 0.30 ^a	77.12 ± 0.56 ^b	10.06 ± 0.45 ^b	17,549.21 ± 5.12 ^c

ค่าที่มีตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.52 7.83 8.44 และ 9.17 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ยกเว้นที่ 5% และ 8% จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

ปริมาณเถ้าของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 2.98 2.48 3.00 และ 3.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ยกเว้นที่ 5% และ 11% โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด ได้แก่ 8% และอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด ได้แก่ 13%

ปริมาณไอรระเหยของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีปริมาณไอรระเหยเท่ากับ 77.65 78.77 77.98 และ 77.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดย 8% และ 11% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ 5% 11% และ 13% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA อัตราส่วนที่มีปริมาณไอรระเหยมากที่สุด ได้แก่ 8%

ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่ของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีปริมาณคาร์บอนคงที่เท่ากับ 11.85 10.92 10.59 และ 10.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดย 5% และ 8% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ 8% 11% และ 13% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญทางสถิติ ที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA อัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคองที่มากที่สุด ได้แก่ 5% รองลงมาคือ 8%

และค่าความร้อนต่ำของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีค่าความร้อนต่ำเท่ากับ 18,847.42 18,747.46 18,192.84 และ 17,549.21 J/g ตามลำดับ โดย 5% และ 8% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลง

ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ที่มีอัตราส่วนของปริมาณน้ำ 8% โดยมวลของวัชพืช จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีปริมาณความชื้นที่ 7.83% ปริมาณเถ้าที่ 2.48% ปริมาณไอรระเหย 78.77% ปริมาณคาร์บอนคองที่ 10.92% และมีค่าความร้อนต่ำที่ 18,747 J/g ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดตามคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ได้กล่าวไว้

4.4 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่นำมาทำการทดลองมีจำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่ปริมาณน้ำ 5% 8% 11% และ 13% โดยมวลของวัชพืช เมื่อนำไปทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้ผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์

Percent of water	Diameter (mm)	Length (mm)	Length > 40mm (%)	Fines (w-%)	Bulk density (kg/m ³)
5%	8.09 ± 0.04 ^c	28.22 ± 2.64 ^a	0.92 ± 3.75 ^b	3.69 ± 1.09 ^b	638.98 ± 6.05 ^c
8%	8.29 ± 0.06 ^b	29.68 ± 2.05 ^a	0.93 ± 0.88 ^b	3.21 ± 1.15 ^b	649.19 ± 3.33 ^b
11%	8.29 ± 0.06 ^b	29.58 ± 2.22 ^a	0.99 ± 1.61 ^b	3.43 ± 0.26 ^b	613.83 ± 4.60 ^d
13%	8.41 ± 0.06 ^a	31.96 ± 3.34 ^a	5.73 ± 0.80 ^a	5.96 ± 0.28 ^a	664.08 ± 4.15 ^a

ค่าที่มีตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

หมายเหตุ : Diameter คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, Length คือ ความยาวเฉลี่ย, Length > 40mm คือ ปริมาณความยาวที่เกิน 40 มิลลิเมตร, Fines คือ ปริมาณเศษผง และ Bulk density คือ ความหนาแน่นรวม

จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 8.09 8.29 8.29 และ 8.41 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA และอัตราส่วนที่ปริมาณน้ำ 13% โดยมวลของวัชพืชมีปริมาณน้ำสูงทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดไม่เกิดการเกาะกันของอนุภาค ทำให้เกิดการปริแตกและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

ความยาวเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 28.22 29.68 29.58 และ 31.96 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA อัตราส่วนที่ 5% มีความยาวเฉลี่ยน้อยที่สุด และอัตราส่วนที่ 13% มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งอัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำสูงเกินไปอาจจะ

ทำให้เชื้อเพลิงที่อัดได้อ่อนตัว ไม่เป็นแท่งที่ตรงสมบูรณ์ และปริมาณน้ำที่ต่ำเกินไปอาจจะทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดไม่เกิดการเกาะกันของอนุภาค

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีความยาวมากกว่า 40 มิลลิเมตร ของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีค่าเท่ากับ 0.92 0.93 0.99 และ 5.73 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ยกเว้นอัตราส่วนที่ 13% ซึ่งมีปริมาณความยาวมากกว่า 40 มิลลิเมตรที่สูงเกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดการเปื่อยช่อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดขณะเผาไหม้ได้

ส่วนปริมาณเศษผงของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีปริมาณเศษผงเท่ากับ 3.69 3.21 3.43 และ 5.96 มิลลิเมตร ตามลำดับจะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ยกเว้นอัตราส่วนที่ 13% ซึ่งมีปริมาณเศษผงที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่สูงทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเกิดการปริแตก ไม่ทนทาน

และความหนาแน่นรวมของแต่ละอัตราส่วน ได้แก่ 5% 8% 11% และ 13% มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 638.98 649.19 613.83 และ 664.08 มิลลิเมตร ตามลำดับจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ซึ่งอัตราส่วนที่ 13% มีค่าความหนาแน่นรวมมากที่สุด และอัตราส่วนที่ 8% มีค่าความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้ความหนาแน่นสูง แต่หากสูงเกินไปอาจเกินมาตรฐานได้

สรุปได้ว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำต่อวัชพืชที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ค่าความยาวเฉลี่ย และค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่หากปริมาณน้ำสูงเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดไม่เกิดการเกาะกันของอนุภาค เกิดการปริแตก หรือเกิดรูปร่างที่โค้งงอได้ ซึ่งจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตร และปริมาณเศษผงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังอัตราส่วนที่ 13% ที่มีค่าดังกล่าวเกินมาตรฐาน ส่วนอัตราส่วนที่ 5% 8% 11% มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆใกล้เคียงกัน

และจากหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ อัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำ 8% โดยมวลของวัชพืชเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถจัดอยู่ในคุณภาพชั้น 3 ตามคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมในตารางที่ 2.1 โดยได้นำไปทดสอบต่อเพื่อหาค่าองค์ประกอบธาตุ ดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.5 ต่อไป

4.5 ค่าองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในอัตราส่วนที่ดีที่สุด

ทำการทดสอบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนที่ปริมาณน้ำ 8% โดยมวลของวัชพืช นำไปทดสอบหาค่าองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ชุดธาตุ รุ่น CHNS-628 ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้ผลค่าเฉลี่ยของแต่ละธาตุ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์

Element	Test condition	Test results (%)
Carbon (C)	as determined	44.51
Hydrogen (H)	as determined	6.20
Nitrogen (N)	as determined	0.47
Sulfur (S)	as determined	0.20
Oxygen (O)	as determined	46.14

หมายเหตุ : Carbon คือ คาร์บอน, Hydrogen คือ ไฮโดรเจน, Nitrogen คือ ไนโตรเจน, Sulfur คือ กำมะถัน และ Oxygen คือ ออกซิเจน

จากการทดลอง คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ถูกประเมินโดยการเผาไหม้ตัวอย่างด้วยออกซิเจนในระบบปิด และวัดผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ในเชิงปริมาณ โดยปริมาณคาร์บอนคงที่ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนค่าจึงมีค่าสูงสอดคล้องกัน ส่วนไฮโดรเจนประกอบด้วยไฮโดรเจนของอินทรีย์สารในชีวมวลรวมไปถึงไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของความชื้นของชีวมวล โดยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นธาตุหลักในกระบวนการเผาไหม้ และกำมะถันถูกวิเคราะห์แยกด้วย Sulfur Add-on module ที่ต่อเข้ากับเครื่อง CHN-628 ซึ่งกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้จะให้ความร้อนไม่มากเมื่อเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ก่อให้เกิดก๊าซพิษที่ทำให้มีปัญหามลพิษในอากาศ และยังกีดร้อนขึ้นส่วนหรืออุปกรณ์เช่นเดียวกับไนโตรเจน ในอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจึงมีการควบคุมปริมาณไนโตรเจนให้ไม่เกิน 0.3 - 0.6% และปริมาณกำมะถันให้ไม่เกิน 0.08-0.2% ส่วนออกซิเจนวิเคราะห์โดยผลต่างของสารประกอบทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ลบกับผลรวมของเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งออกซิเจนบางส่วนจะช่วยในกระบวนการเผาไหม้ และบางส่วนเป็นองค์ประกอบของความชื้นของชีวมวล

และจากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ที่ปริมาณน้ำ 8% โดยมีมวลของวัชพืชมีปริมาณไนโตรเจน (N) เท่ากับ 0.47% และปริมาณกำมะถัน (S) เท่ากับ 0.20% ซึ่งสามารถจัดอยู่ในคุณภาพชั้นที่ 3 ตามคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมในตารางที่ 2.1 ซึ่งอยู่ในระดับขั้นที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช โดยเริ่มศึกษาจากปัจจัยทางด้านความชื้น ค่าความร้อน องค์ประกอบโดยประมาณของวัชพืช และได้เลือกวัชพืชเพื่อนำไปศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืชต่อ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัชพืช และได้ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความร้อน องค์ประกอบโดยประมาณ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบธาตุ ซึ่งสามารถทดลองตามกรอบเวลาที่ได้กำหนดไว้ ผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์เพื่อหาค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของพืชแต่ละชนิด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ หญ้าคา ผักกระเฉด และธูปฤาษี เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ โดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ในการจัดเรียงข้อมูล สรุปได้ว่าพืชที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปศึกษาการอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ไมยราบยักษ์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) ร้อยละ 14.13 และมีปริมาณไอระเหย (volatile matter) ร้อยละ 80.12 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูง มีปริมาณความชื้น (moisture content) ร้อยละ 3.07 และมีปริมาณเถ้า (ash) ร้อยละ 2.68 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย และมีค่าความร้อนต่ำประมาณ $18,334.08 \pm 93.26$ J/g เมื่อนำไปเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ แล้วพบว่าไมยราบยักษ์มีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นไมยราบยักษ์จึงเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนในการเผาไหม้ (combustion) ได้เนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูงและมีคุณสมบัติอื่นๆเหมาะสมทำให้ไมยราบยักษ์มีศักยภาพดีในกระบวนการเผาไหม้และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

2. ได้นำไมยราบยักษ์บางส่วนไปทดสอบการอัดเม็ด เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างไมยราบยักษ์และน้ำที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยมีอัตราส่วนระหว่างพืชและน้ำที่ปริมาณน้ำ 5% 8% 11% และ 13% โดยมวลของวัชพืช และได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในช่วงอัตราส่วนดังกล่าว เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำที่ผสมกับชีวมวลก่อนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ที่มีผลต่อการยอมรับได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

3. ได้ดำเนินการศึกษากับไมยราบยักษ์ที่ขนาดอนุภาคต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้ จากการทดสอบเพื่อหาค่าองค์ประกอบโดยประมาณ และค่าความร้อนต่ำของแต่ละอัตราส่วน โดยปริมาณน้ำส่งผลให้ ปริมาณความชื้น (moisture content) ปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) ปริมาณไอระเหย (volatile matter) ปริมาณเถ้า (ash) และค่าความร้อนต่ำ ในแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกัน โดยปริมาณน้ำที่สูงเกินไปส่งผลให้ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้า สูงขึ้นด้วยซึ่งไม่เป็นผลดีต่อกระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากจะทำให้ได้ค่าความร้อนที่ต่ำลง และยิ่งก่อให้เกิดเถ้าสูงซึ่งจะส่งผลต่อห้องเผาไหม้ได้ และปริมาณน้ำที่สูงยังส่งผลให้ ปริมาณไอระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน และจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน พบว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวเฉลี่ย ปริมาณเศษผงของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้น ซึ่งหากสูงเกินไปอาจเกิดปัญหาการเปื่อยค่อนของเม็ด

เอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะบรรจุ ในการขนส่ง และการเผาไหม้ได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ โดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ในการจัดเรียงข้อมูลสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างไมยราบยักษ์และน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำ 8% โดยมวลของวัชพืช พบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) ร้อยละ 10.92 และมีปริมาณไอระเหย (volatile matter) ร้อยละ 78.77 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูง มีปริมาณความชื้น (moisture content) ร้อยละ 7.83 และมีปริมาณเถ้า (ash) ร้อยละ 2.48 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย และมีค่าความร้อนต่ำประมาณ $18,747.46 \pm 8.23$ J/g สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 8.29 มิลลิเมตร ค่าความยาวเฉลี่ย 29.68 มิลลิเมตร ค่าความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตร ร้อยละ 0.93 ปริมาณเศษผงร้อยละ 3.65 และค่าความหนาแน่นรวม 649.19 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีค่าองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน (C) ร้อยละ 44.51 ปริมาณไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 6.20 ปริมาณกำมะถัน (S) ร้อยละ 0.20 ปริมาณไนโตรเจน (N) ร้อยละ 0.47 และปริมาณออกซิเจน (O) ร้อยละ 46.14 เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นมาตรฐานแล้วพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์จัดอยู่ในชั้นมาตรฐานที่ 3 ซึ่งอยู่ในระดับชั้นที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดเม็ดมีค่าความร้อนและความหนาแน่นรวมมากกว่าชีวมวลดิบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีประสิทธิภาพทางความร้อนดีกว่าชีวมวลดิบ และช่วยลดพื้นที่การจัดเก็บดีกว่าชีวมวลดิบ อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวลในการขนส่ง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดเม็ดจึงเป็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงชีวมวลดิบเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพดีอีกวิธีหนึ่ง
2. จากงานวิจัยนี้เนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่มีน้อยทำให้ผลการทดลองในแต่ละอัตราส่วนยังไม่มี ความแตกต่างกันมากนัก จึงควรมีจำนวนตัวอย่างที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง
3. หากมีการศึกษางานวิจัยต่อไป ควรศึกษาองค์ประกอบของชีวมวลที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเพิ่มขึ้น และศึกษาขนาดของอนุภาคชีวมวลที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด รวมถึงขั้นตอนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตั้งแต่การรวบรวมชีวมวล การลดความชื้น ความร้อนในกระบวนการผลิต และแรงดันของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของชีวมวลจากงานวิจัยนี้ ที่เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากไมยราบยักษ์จัดอยู่ในชั้นมาตรฐานที่ 3 ให้สามารถมีคุณภาพที่สูงขึ้นตรงตามมาตรฐานชั้นที่ 1 และ 2 ต่อไป

บรรณานุกรม

- ASTM International. (2017). "D4239-17: Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion" DOI: 10.1520/D4239-17
- ASTM International. (2016). "D5373-16: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke" DOI: 10.1520/D5373-16
- International Organization for Standardization. (2014). "ISO 17225-2:2014 Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2 : Graded wood pellets" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.10.
- International Organization for Standardization. (2015). "ISO 17828:2015 Solid biofuels - Determination of bulk density" ISO International Standard, ICS 75.160.10; 27.190.
- International Organization for Standardization. (2015). "ISO 18122:2015 Solid biofuels- Determination of ash content" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.10.
- International Organization for Standardization. (2015). "ISO 18123:2015 Solid biofuels- Determination of the content of volatile matter" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.10.
- International Organization for Standardization. (2015). "ISO 18134-3:2015 Solid biofuels- Determination of moisture content-Oven dry method-Part 3: Moisture in general analysis sample" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.10.
- International Organization for Standardization. (2015). "ISO 17829:2015 Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.10.
- International Organization for Standardization. (2017). "ISO 18125:2017 Solid biofuels - Determination of calorific value" ISO International Standard, ICS 27.190; 75.160.40.
- Gravalos, Kateris, Xyradakis, Gialamas, Loutridis, Augousti, Georgiades and Tsiropoulos. (2010). *A study on calorific energy values of biomass residue pellets for heating purposes*. FORMEC 2010, 1-9.
- Huang, Finell, Larsson, Wang, Zhang, Wei and Liu. (2017). *Biofuel pellets made at low moisture content e Influence of water in the binding mechanism of densified biomass*. Biomass and Bioenergy, 98, 8-14.
- Kamaroddin, Nyakuma, Oladokun, Abdullah and Amin. (2013). *Characterization of the fuel properties of Imperata cylindrica grass for thermal applications*. 4th IGCESH, 590-593.

Munjeri, Ziuku, Maganga, Siachingoma and Ndlovu. (2016). *On the potential of water hyacinth as a biomass briquette for heating applications*. Int J Energy Environ Eng, 7, 37–43. DOI no.: 10.1007/s40095-015-0195-8.

Wongsiriamnuay and Tippayawong. (2010). *Thermogravimetric analysis of giant sensitive plants under air atmosphere*. Bioresource Technology, 101, 9314–9320.

Singh, Mahanta and Bora. (2017). *Comprehensive characterization of lignocellulosic biomass through proximate, ultimate and compositional analysis for bioenergy production*. Renewable Energy, 103, 490-500.

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. (2561). *เคล็ดลับการประหยัดพลังงาน*. เข้าถึงได้จาก กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน: <https://dmf.go.th/public/list/data/index/menu/643/mainmenu/643/> (5 สิงหาคม 2562)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและมหาวิทยาลัยศิลปากร. (2555). *รายงานฉบับผู้บริหาร โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต*. เข้าถึงได้จาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน : http://e-lib.dede.go.th/mmdata/Bib15106_%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A2.pdf (19 สิงหาคม 2562)

กระทรวงเกษตร, ป่าไม้และประมง. (2551). *คู่มือสารชีวมวลเอเชียแนวทางสำหรับการผลิตและการใช้ชีวมวล*. เข้าถึงได้จาก โครงการสนับสนุนเอเชียพันธมิตรเพื่อการเกษตรใส่ใจสิ่งแวดล้อม : <https://www.jie.or.jp/relays/download/492/1098/236/735/?file=/files/libs/735//201708300903166037.pdf> (10 สิงหาคม 2562)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด*. เข้าถึงได้จาก กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ : <https://www.mhesi.go.th/main/th/165-knowledge/practical-rad/7497-wood-pellets> (13 สิงหาคม 2562)

คู่มือสารชีวมวลเอเชีย.(2551). *องค์ประกอบของชีวมวล*. เข้าถึงได้จาก : [http://e-book.ram.edu/ebook/f/FY473\(51\)/FY473-13.pdf](http://e-book.ram.edu/ebook/f/FY473(51)/FY473-13.pdf) (13 สิงหาคม 2562)

จินตนา ลีกิจวัฒน์. (2543). *การประยุกต์ใช้เครื่อง Elemental Analyzer*. เข้าถึงได้จาก วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2543_48_152_p23-25.pdf (25 สิงหาคม 2562)

นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559). *ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา*. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University Volume 3 (2016). ISSN 2408 – 1248.

นิรนาม. 2561a. *การหาค่าพลังงานสะสมในอาหารและวิธีการใช้เครื่อง Bomb calorimeter*. เข้าถึงได้จาก : [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-13.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-13.pdf) (16 สิงหาคม 2562)

- นิรนาม. 2561b. *การหาปริมาณความชื้น*. เข้าถึงได้จาก : <http://www.engineerthailand.com/moisture.html> (11 สิงหาคม 2562)
- บัญญัติร์น โจลานันท์, อาทิตย์ พุทธรักษาติ และ จันสุตา คำ. (2554). *พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์*. วิศวกรรมสาร มข., 16(1), 20-31.
- พิมพ์ณรดา จินดารานันท์. (2551). *การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากต้นกระถินยักษ์ ต้นไมยราบยักษ์ และผักตบชวา* (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- วิชพีชที่สำคัญในประเทศไทย. (2548). *ไมยราบยักษ์ (Mimosa pigra L.)*. เข้าถึงได้จาก ศัตรูพืชในประเทศไทย : <http://ippc.acfs.go.th/pest/G001/T010/WEED051> (2 กันยายน 2562)
- ศุภชัย วัฒนกรรมวิสด. (2555). *เตาเผาอุณหภูมิลสูง*. เข้าถึงได้จาก ศูนย์นวัตกรรมวิสด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=43&id=52 (25 สิงหาคม 2562)
- สนธิ วาราชนนท์. (2555). *ผลของอุณหภูมิและความชื้นที่มีต่อการยอมรับได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, วิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สาขาวิศวกรรมพลังงาน.
- ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้. (2544). *ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2544*. ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). พิมพ์ที่ บริษัทประชาชน จำกัด.
- สุชาดา ศรีเพ็ญ. (2530). *พรรณไม้น้ำ*. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). (2562). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งอัดเม็ด*. เข้าถึงได้จาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2772-2560.pdf (5 กันยายน 2562)
- สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2562). *ผักกระเฉดโคก*. เข้าถึงได้จาก กลุ่มงานพฤกษศาสตร์ป่าไม้: <http://www.dnp.go.th/botany/mindexdictdetail.aspx?runno=3595> (10 สิงหาคม 2562)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพืชแต่ละชนิด

Biomass	Sample No.	Weight of moisture can (g)	Weight of sample (g)	Weight of moisture can and sample (g)	Weight of moisture can and sample after drying (g)	sample after drying (g)	Moisture (%)
Giant sensitive plant	1	14.944	1.000	15.944	15.910	0.966	3.40
	2	16.298	1.000	17.298	17.268	0.970	3.00
	3	15.245	1.000	16.245	16.217	0.972	2.80
Neptunia	1	15.635	1.000	16.635	16.597	0.962	3.80
	2	15.062	1.000	16.062	16.030	0.968	3.20
	3	17.797	1.000	18.797	18.765	0.968	3.20
Cogon grass	1	15.076	1.000	16.076	16.037	0.961	3.90
	2	14.788	1.000	15.788	15.759	0.971	2.90
	3	15.472	1.000	16.472	16.444	0.972	2.80
Cattail	1	14.893	1.000	15.893	15.857	0.964	3.60
	2	16.605	1.000	17.605	17.570	0.965	3.50
	3	15.404	1.000	16.404	16.367	0.963	3.70

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพืชแต่ละชนิด

Biomass	Sample No.	Weight of crucible (g)	Weight of sample (g)	Weight of crucible and sample (g)	Weight of crucible and contents after heating (g)	contents after heating (g)	Moisture (%)	Ash (%)
Giant sensitive plant	1	26.537	1.500	28.037	26.578	0.041	1.60	2.78
	2	26.539	1.500	28.039	26.577	0.038	1.30	2.57
	3	26.542	1.500	28.042	26.582	0.040	1.20	2.70
Neptunia	1	27.194	1.500	28.694	27.305	0.111	2.40	7.58
	2	27.201	1.500	28.701	27.310	0.109	2.50	7.45
	3	27.200	1.500	28.700	27.310	0.110	2.60	7.53
Cogon grass	1	29.286	1.500	30.786	29.387	0.101	1.90	6.86
	2	27.202	1.500	28.702	27.304	0.102	1.80	6.92
	3	27.203	1.500	28.703	27.303	0.100	1.30	6.75
Cattail	1	29.334	1.500	30.834	29.487	0.153	2.80	10.49
	2	29.342	1.500	30.842	29.492	0.150	2.60	10.27
	3	29.333	1.500	30.833	29.481	0.148	2.70	10.14

ตารางที่ ก.3 ค่าปริมาณไอรระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพืชแต่ละชนิด

Biomass	Sample No.	Weight of crucible (g)	Weight of sample (g)	Weight of crucible and sample (g)	Weight of crucible and contents after heating (g)	contents after heating (g)	Moisture (%)	Volatile matter (%)
Giant sensitive plant	1	40.721	1.000	41.721	40.914	0.193	3.40	80.02
	2	40.723	1.000	41.723	40.912	0.189	3.00	80.52
	3	40.724	1.000	41.724	40.920	0.196	2.80	79.84
Neptunia	1	40.334	1.000	41.334	40.586	0.252	3.80	73.80
	2	40.582	1.000	41.582	40.832	0.250	3.20	74.17
	3	40.584	1.000	41.584	40.838	0.254	3.20	73.76
Cogon grass	1	44.475	1.000	45.475	44.684	0.209	3.90	78.25
	2	44.476	1.000	45.476	44.683	0.207	2.90	78.68
	3	44.478	1.000	45.478	44.693	0.215	2.80	77.88
Cattail	1	39.614	1.000	40.614	39.844	0.230	3.60	76.14
	2	39.617	1.000	40.617	39.844	0.227	3.50	76.48
	3	39.617	1.000	40.617	39.845	0.228	3.70	76.32

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของพืชแต่ละชนิด

Biomass	Sample No.	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fix carbon (%)
Giant sensitive plant	1	3.40	2.78	80.02	13.80
	2	3.00	2.57	80.52	13.92
	3	2.80	2.70	79.84	14.67
Neptunia	1	3.80	7.58	73.80	14.81
	2	3.20	7.45	74.17	15.17
	3	3.20	7.53	73.76	15.51
Cogon grass	1	3.90	6.86	78.25	10.98
	2	2.90	6.92	78.68	11.49
	3	2.80	6.75	77.88	12.56
Cattail	1	3.60	10.49	76.14	9.77
	2	3.50	10.27	76.48	9.76
	3	3.70	10.14	76.32	9.84

ตารางที่ ก.5 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of moisture can (g)	Weight of sample (g)	Weight of moisture can and sample (g)	Weight of moisture can and sample after drying (g)	sample after drying (g)	Moisture (%)
5	1	14.895	1.000	15.895	15.822	0.927	7.32
	2	16.608	1.000	17.608	17.532	0.924	7.62
	3	15.405	1.000	16.405	16.329	0.924	7.61
8	1	15.633	1.000	16.633	16.556	0.923	7.72
	2	15.065	1.000	16.065	15.988	0.923	7.72
	3	17.800	1.000	18.800	18.719	0.920	8.05
11	1	14.944	1.000	15.944	15.858	0.914	8.64
	2	16.300	1.000	17.300	17.217	0.918	8.25
	3	15.246	1.000	16.246	16.162	0.916	8.43
13	1	15.078	1.000	16.078	15.983	0.905	9.46
	2	14.790	1.000	15.790	15.702	0.912	8.84
	3	15.474	1.000	16.474	16.382	0.908	9.19

ตารางที่ ก.6 ค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of crucible (g)	Weight of sample (g)	Weight of crucible and sample (g)	Weight of crucible and contents after heating (g)	contents after heating (g)	Moisture (%)	Ash (%)
5	1	39.080	1.009	40.089	39.109	0.029	7.32	3.10
	2	41.035	1.001	42.036	41.063	0.028	7.62	3.03
	3	41.038	1.005	42.043	41.064	0.026	7.61	2.80
8	1	44.523	1.006	45.529	44.546	0.023	7.72	2.48
	2	39.737	1.007	40.744	39.760	0.023	7.72	2.48
	3	39.738	1.001	40.739	39.761	0.023	8.05	2.50
11	1	40.345	1.013	41.358	40.372	0.027	8.64	2.92
	2	44.523	1.007	45.53	44.552	0.029	8.25	3.14
	3	44.525	1.002	45.527	44.552	0.027	8.43	2.94
13	1	41.034	1.007	42.041	41.069	0.035	9.44	3.84
	2	39.692	1.010	40.702	39.727	0.035	8.84	3.80
	3	39.694	1.001	40.695	39.724	0.030	9.23	3.30

ตารางที่ ก.7 ค่าปริมาณไอระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไมยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of crucible (g)	Weight of sample (g)	Weight of crucible and sample (g)	Weight of crucible and contents after heating (g)	contents after heating (g)	Moisture (%)	Volatile matter (%)
5	1	44.530	1.000	45.530	44.731	0.201	7.32	78.31
	2	44.524	1.003	45.527	44.734	0.210	7.62	77.34
	3	44.524	1.002	45.526	44.734	0.210	7.61	77.32
8	1	39.741	1.003	40.744	39.939	0.198	7.72	78.61
	2	39.738	1.003	40.741	39.932	0.194	7.72	79.04
	3	39.738	1.004	40.742	39.935	0.197	8.05	78.66
11	1	39.696	1.005	40.701	39.892	0.196	8.64	78.65
	2	39.693	1.002	40.695	39.898	0.205	8.25	77.70
	3	39.693	1.003	40.696	39.899	0.206	8.43	77.57
13	1	41.041	1.004	42.045	41.252	0.211	9.44	76.79
	2	41.038	1.007	42.045	41.251	0.213	8.84	76.80
	3	41.039	1.001	42.040	41.241	0.202	9.23	77.77

ตารางที่ ก.8 ค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของไม้ยราบยักษ์ในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fix carbon (%)
5	1	7.32	3.10	78.31	11.27
	2	7.62	3.03	77.34	12.02
	3	7.61	2.80	77.32	12.27
8	1	7.72	2.48	78.61	11.19
	2	7.72	2.48	79.04	10.77
	3	8.05	2.50	78.66	10.79
11	1	8.64	2.92	78.65	9.79
	2	8.25	3.14	77.70	10.91
	3	8.43	2.94	77.57	11.06
13	1	9.44	3.84	76.79	9.93
	2	8.84	3.80	76.80	10.56
	3	9.23	3.30	77.77	9.70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนอัดเม็ดของวัชพืชแต่ละชนิด

Biomass	Sample No.	Moisture (%)	Weight (g)	Weight of water (1 g)	HHV (J/g)	hfg (30 bar)	Latent heat	LHV (J/g)
Giant sensitive plant	1	7.32	0.65	0.07	18,570.00	1794.90	131.39	18,438.61
	2	7.62	0.65	0.08	18,441.00	1794.90	136.77	18,304.23
	3	7.61	0.62	0.08	18,396.00	1794.90	136.59	18,259.41
Neptunia	1	7.72	0.60	0.08	17,519.00	1794.90	138.57	17,380.43
	2	7.72	0.67	0.08	17,535.00	1794.90	138.57	17,396.43
	3	8.05	0.69	0.08	17,638.00	1794.90	144.49	17,493.51
Cogon grass	1	8.64	0.56	0.09	17,670.00	1794.90	155.08	17,514.92
	2	8.25	0.68	0.08	17,878.00	1794.90	148.08	17,729.92
	3	8.43	0.52	0.08	17,699.00	1794.90	151.31	17,547.69
Cattail	1	9.66	0.58	0.10	17,521.00	1794.90	173.39	17,347.61
	2	8.84	0.69	0.09	17,380.00	1794.90	158.67	17,221.33
	3	9.99	0.75	0.10	17,504.00	1794.90	179.31	17,324.69

ตารางที่ ข.2 ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Moisture (%)	Weight (g)	Weight of water (1 g)	HHV (J/g)	hfg (30 bar)	latent heat	LHV (J/g)
5	1	7.32	0.65	0.07	18,997.00	1794.90	131.39	18,865.61
	2	7.62	0.65	0.08	19,002.00	1794.90	136.77	18,865.23
	3	7.61	0.62	0.08	18,948.00	1794.90	136.59	18,811.41
8	1	7.72	0.60	0.08	18,879.00	1794.90	138.57	18,740.43
	2	7.72	0.67	0.08	18,884.00	1794.90	138.57	18,745.43
	3	8.05	0.69	0.08	18,901.00	1794.90	144.49	18,756.51
11	1	8.64	0.56	0.09	18,231.00	1794.90	155.08	18,075.92
	2	8.25	0.68	0.08	18,425.00	1794.90	148.08	18,276.92
	3	8.43	0.52	0.08	18,377.00	1794.90	151.31	18,225.69
13	1	9.66	0.58	0.10	17,725.00	1794.90	173.39	17,551.61
	2	8.84	0.69	0.09	17,702.00	1794.90	158.67	17,543.33
	3	9.99	0.75	0.10	17,732.00	1794.90	179.31	17,552.69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Diameter (mm)											
	5			8			11			13		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8.10	8.05	8.30	8.25	8.30	8.30	8.10	8.05	8.50	8.30	8.45	8.30
2	8.20	8.10	8.00	8.35	8.20	8.55	8.55	8.25	8.20	8.30	8.65	8.35
3	8.20	8.05	8.00	8.35	8.30	8.20	8.10	8.10	8.10	8.30	8.20	8.45
4	8.00	8.10	8.00	8.35	8.10	8.40	8.50	8.35	8.30	8.40	8.30	8.50
5	8.10	8.10	7.95	8.35	8.10	8.15	8.15	8.45	8.30	8.30	8.35	8.55
6	8.20	8.05	7.95	8.25	8.30	8.40	8.45	8.45	8.75	8.10	8.35	8.60
7	8.00	8.20	8.15	8.20	8.10	8.20	8.60	8.10	8.30	8.45	8.60	8.45
8	8.30	8.05	8.00	8.45	8.25	8.35	8.50	8.15	8.15	8.30	8.80	8.55
9	8.20	8.10	8.05	8.25	8.10	8.35	8.10	8.25	8.25	8.30	8.35	8.55
10	8.00	8.10	8.15	8.35	8.45	8.35	8.10	8.10	8.45	8.75	8.10	8.35
Average	8.13	8.09	8.06	8.32	8.22	8.33	8.32	8.23	8.33	8.35	8.42	8.47

ตารางที่ ค.2 ค่าความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Diameter (mm)											
	5			8			11			13		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	32.70	34.35	31.70	23.80	29.50	36.00	42.50	39.20	10.70	20.70	31.50	28.95
2	24.25	28.55	29.80	35.25	26.95	30.80	37.00	30.30	25.70	23.35	31.35	30.65
3	39.05	44.00	26.50	37.25	39.35	28.05	29.10	42.70	26.30	16.30	28.90	30.95
4	35.65	33.80	39.40	21.00	30.00	48.30	27.00	28.20	20.95	21.10	27.70	30.95
5	39.00	29.00	16.70	28.60	34.60	30.65	35.00	35.00	35.95	28.55	37.60	30.00
6	19.65	21.50	27.20	24.65	43.80	12.00	28.30	19.35	27.00	29.30	28.40	29.00
7	37.70	29.00	19.40	36.35	22.20	30.00	39.00	25.00	59.20	32.30	28.70	30.60
8	34.80	32.20	37.70	40.00	27.65	29.40	32.00	32.40	25.50	28.35	38.00	35.75
9	30.67	34.25	17.70	28.00	29.20	32.70	40.00	32.90	31.50	21.30	27.90	32.70
10	29.00	28.70	21.30	28.30	31.35	42.95	30.90	37.00	26.80	30.00	21.80	23.95
11	36.15	20.65	32.00	36.00	31.15	23.25	37.60	39.30	28.30	28.55	32.00	26.70
12	27.60	29.65	27.45	23.30	33.15	17.40	28.00	40.70	45.55	28.65	23.70	31.75
13	38.20	28.25	30.75	40.00	35.50	21.15	38.10	25.70	37.45	33.60	32.30	29.40
14	34.90	8.85	26.35	27.10	27.40	27.30	29.00	27.00	43.00	31.30	32.20	33.60
15	40.40	28.30	16.35	26.00	22.05	39.45	30.10	21.30	31.60	32.20	24.50	26.70
16	33.00	38.95	28.20	35.00	35.15	36.70	29.00	27.00	38.00	38.05	28.20	32.85

ตารางที่ ค.3 ค่าความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

Percent of water	Diameter (mm)											
	5			8			11			13		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
17	23.30	34.25	25.65	23.40	44.65	36.50	37.95	24.80	29.70	36.30	29.75	27.70
18	33.35	21.60	31.00	44.40	29.20	30.25	33.40	25.30	21.00	23.80	28.05	25.80
19	29.65	33.65	34.75	23.20	21.35	33.95	39.65	28.00	34.30	23.40	28.40	30.55
20	33.75	35.10	31.50	27.50	23.55	30.50	30.00	25.00	25.00	37.15	31.60	26.30
21	25.25	31.85	39.55	33.65	30.95	37.45	15.50	22.30	19.65	34.25	36.60	32.20
22	28.50	38.00	37.95	15.00	21.55	36.55	24.70	25.00	19.60	39.30	28.80	29.50
23	18.80	32.80	23.65	28.70	32.10	23.45	30.55	30.00	10.70	31.80	30.75	24.40
24	25.40	30.95	16.30	33.00	25.25	33.80	34.00	21.35	27.80	24.70	38.60	32.65
25	35.00	35.95	23.15	30.00	25.00	40.00	34.00	23.00	59.40	26.35	37.60	29.75
26	25.50	36.25	34.40	36.40	23.25	11.00	33.00	33.70	12.60	28.95	35.00	33.30
27	28.40	31.60	25.20	32.60	37.05	19.80	37.00	33.00	17.70	35.80	37.20	28.30
28	21.65	28.80	26.15	33.00	43.30	20.45	21.35	32.45	19.65	31.75	24.00	21.75
29	37.70	35.55	12.00	34.80	32.25	23.30	31.90	24.80	13.60	34.40	37.90	21.20
30	27.10	30.00	16.00	31.30	25.35	39.70	32.90	25.30	19.30	26.10	33.05	27.70
31	34.95	25.30	18.50	38.35	33.45	29.00	30.80	34.60	20.45	38.55	25.00	24.50
32	22.65	36.05	26.30	26.00	31.40	439.45	26.00	29.00	14.40	36.85	32.65	34.20
33	39.35	21.55	38.15	25.80	23.90	37.30	23.65	34.80	17.30	32.85	34.40	28.95
34	17.50	37.00	28.00	24.60	32.70	33.40	22.30	29.40	20.55	31.70	29.05	27.20
35	33.50	28.95	31.45	40.00	22.15	23.30	28.30	38.40	31.30	24.75	30.00	23.30

ตารางที่ ค.4 ค่าความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

Percent of water	Diameter (mm)											
	5			8			11			13		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
36	21.20	24.35	19.20	29.50	35.25	16.35	38.60	32.00	16.10	32.60	39.95	22.20
37	27.10	36.00	31.25	29.25	28.45	15.65	25.30	31.95	26.20	29.30	30.70	30.50
38	29.25	30.00	12.20	37.80	23.00	15.00	32.40	27.80	25.80	38.70	37.70	25.70
39	40.00	36.90	18.80	28.60	31.40	19.65	30.00	28.45	56.85	26.35	24.90	26.00
40	15.35	29.55	17.25	17.85	30.75	21.20	36.00	28.55	39.15	28.00	28.40	25.80
41	23.30	27.45	12.25	21.20	36.30	35.30	36.10	31.00	30.55	29.35	30.70	23.20
42	32.35	29.65	20.10	34.60	24.00	29.00	21.95	26.25	13.55	44.10	31.55	22.70
43	30.00	30.30	20.95	29.00	29.00	33.65	21.60	26.60	28.70	25.00	26.30	23.45
44	16.60	24.90	15.40	38.00	24.55	17.00	38.20	38.65	48.55	26.70	37.40	21.65
45	30.90	28.25	21.15	28.40	39.60	12.75	33.00	25.00	11.50	29.30	29.55	25.15
46	36.70	22.85	18.80	17.45	41.10	18.40	28.00	36.00	19.65	31.60	37.35	18.00
47	30.90	29.45	29.65	37.00	31.00	40.50	33.45	37.00	26.30	30.80	36.85	26.65
48	23.20	26.65	15.25	18.00	20.25	25.00	25.40	36.60	31.70	37.15	33.40	24.00
49	20.95	27.85	33.30	20.50	30.30	10.00	39.40	34.00	10.80	31.95	33.70	20.80
50	23.20	19.55	25.55	39.10	21.65	16.00	25.10	36.90	20.70	29.30	28.00	20.70
Average	29.50	29.98	25.19	29.97	30.08	35.81	31.281	30.40	27.07	30.25	31.39	27.41

ตารางที่ ค.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความยาวที่เกินกว่า 40 มิลลิเมตรของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of pellets (g)	Weight of pellets longer than 40 mm (g)	Pellets longer than 40 mm (%)	Average
5	1	88.712	1.121	1.264	0.92
	2	91.748	1.365	1.488	
	3	77.349	0.000	0.000	
8	1	100.060	2.100	2.099	5.73
	2	102.507	9.820	9.580	
	3	96.645	5.324	5.509	
11	1	100.886	1.712	1.697	0.99
	2	96.941	1.240	1.279	
	3	97.542	0.000	0.000	
13	1	98.643	2.757	2.795	0.93
	2	88.198	0.000	0.000	
	3	93.790	0.000	0.000	

ตารางที่ ค.6 ค่าเปอร์เซ็นต์เศษผงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of sieved and pellets (IW) (g)	Weight of pan and fines (CFW) (g)	Fines (%)	Average
5	1	1569.51	336.37	4.65	3.69
	2	1569.10	311.72	2.50	
	3	1567.11	327.97	3.93	
8	1	1562.74	331.67	4.27	3.21
	2	1568.08	305.86	1.99	
	3	1568.42	321.66	3.37	
11	1	1571.11	319.46	3.17	3.43
	2	1567.54	325.27	3.69	
	3	1569.87	322.21	3.42	
13	1	1568.17	354.84	6.27	5.96
	2	1569.83	348.91	5.75	
	3	1569.92	350.04	5.85	
Weight of pan (CW) (g)		283.09			
Weight of sieved (BW) (g)		424.62			

ตารางที่ ค.7 ค่าความหนาแน่นโดยรวมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในแต่ละอัตราส่วน

Percent of water	Sample No.	Weight of box and pellets (kg)	Weight of box (kg)	Volume of box (m ³)	Bulk density (kg/m ³)	Average
5	1	2.7616	0.626	0.0034	632.7793	638.98
	2	2.7836	0.626	0.0034	639.3007	
	3	2.8024	0.626	0.0034	644.8593	
8	1	2.8191	0.626	0.0034	649.8193	649.19
	2	2.8049	0.626	0.0034	645.5970	
	3	2.8271	0.626	0.0034	652.1659	
11	1	2.6804	0.626	0.0034	608.7081	613.83
	2	2.7022	0.626	0.0034	615.1644	
	3	2.7105	0.626	0.0034	617.6237	
13	1	2.8828	0.626	0.0034	668.6904	664.08
	2	2.8633	0.626	0.0034	662.9096	
	3	2.8557	0.626	0.0034	660.6519	



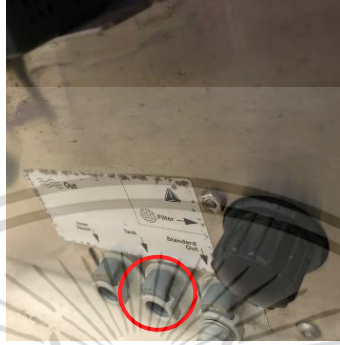
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Bomb Calorimeter

การคาร์บริเบตเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

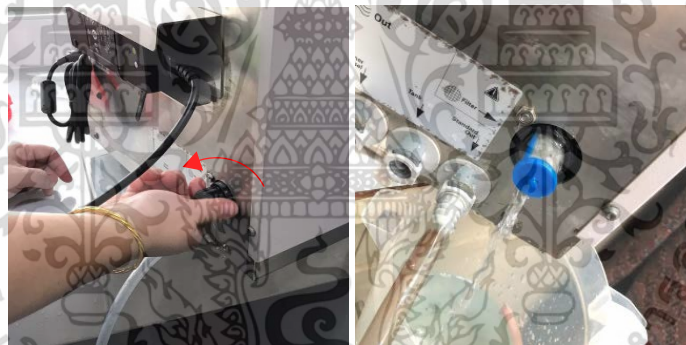
1. นำน้ำในเครื่องออก และทำความสะอาด

1.1 ทำการเปลี่ยนสายยางไปที่ช่องที่ 2 (Tank) เพื่อนำน้ำออกให้หมด ดังรูปที่ 1



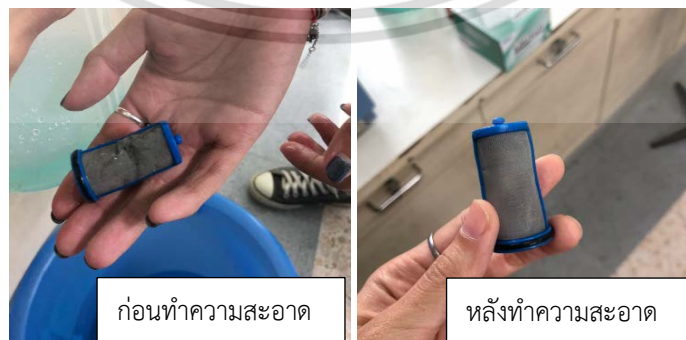
รูปที่ 1

1.2 เปิดฝา Filter โดยหมุนไปในทิศทางเข็มนาฬิกาเพื่อเปิดออก และรอให้น้ำไหลออกจนหมด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

1.3 ดึง Filter ออกและนำไปทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า และใส่กลับในช่องเดิมปิดฝาให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 3



ก่อนทำความสะอาด

หลังทำความสะอาด

รูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทำความสะอาดบริเวณที่ใส่น้ำให้สะอาด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

2. ผสมน้ำคาร์เบตใสในถังน้ำสะอาดโดยน้ำ AQUA-PRO 2 มิลลิลิตร : น้ำกลั่น 1 ลิตร ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5

3. นำน้ำที่ผสมแล้วไปแช่เย็นจนมีอุณหภูมิ 22 ± 3 องศาเซลเซียส

4. เมื่อน้ำมีอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วนำไปคาร์เบตที่เครื่อง

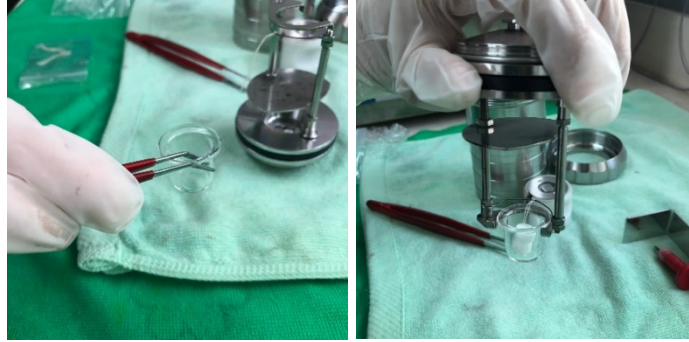
4.1 ผูกด้ายกับลวดจุดฉนวนโดยด้ายต้องอยู่กึ่งกลางลวดและมีความยาวเท่ากันดังรูปที่ 6



รูปที่ 6

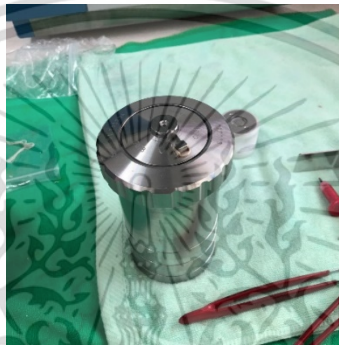
4.2 นำถ้วย crucible สำหรับคาร์เบตวางลงบนชุดและนำเม็ด Benzoic acid จำนวน 2 เม็ด (เม็ดละ 0.5 กรัม) ใส่ในถ้วย โดยวางอยู่บนปลายทั้ง 2 ของเส้นด้าย ดังรูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7

4.3 นำทั้งชุดใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อยดังรูปที่ 8



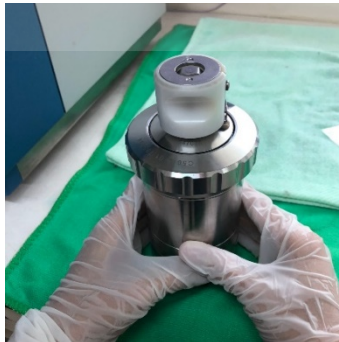
รูปที่ 8

4.4 นำเวสเซลไปอัดแก๊สออกซิเจน 30 bar เป็นเวลา 30 วินาที ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9

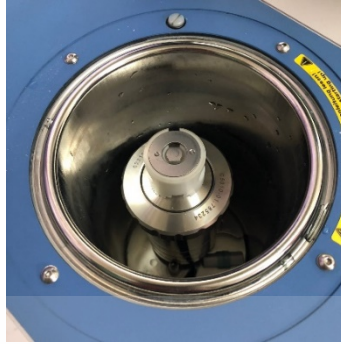
4.5 ปิดฝาจุดฉนวนดังรูปที่ 10



รูปที่ 10

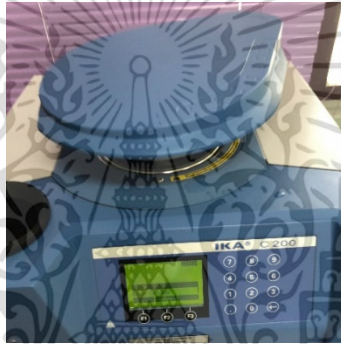
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 นำเวสเซลเข้าเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11

4.7 ปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12

4.8 นำน้ำที่มีการผสมไวส์ลงไปในเครื่อง ในครั้งแรกต้องมีการเติมน้ำให้มากเพื่อน้ำจะได้มีน้ำหล่ออยู่ในเครื่อง (ต้องรักษาอุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 กด F3 (Menu) เพื่อตั้งค่าดังรูปที่ 14



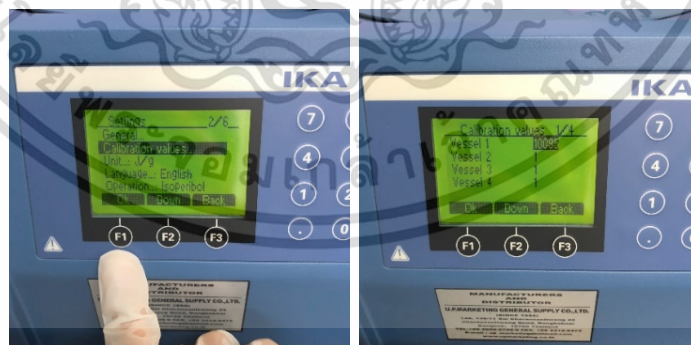
รูปที่ 14

4.9.1 กด F1 General = 26461 J/g (ค่าความร้อนของ Benzoic acid อยู่ทางด้านหลังของแผงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15

4.9.2 Calibration values : Vessel 1 ให้ตั้งเป็นค่าเดิมที่เครื่องมี เมื่อการเบตเสร็จให้นำค่าใหม่มาใส่ และเลือก Unit = J/g ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 Operation = isoperibo ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17

4.10 กด F2 (Prepare) เพื่อตั้งค่าต่างๆ ดังรูปที่ 18

4.10.1 Weight = 1 g

4.10.2 Calibration = 1

4.10.3 Vessel = 1

4.10.4 QExt1 = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)

4.10.5 QExt2 = 0



รูปที่ 18

4.11 กด F1 เพื่อ Ok

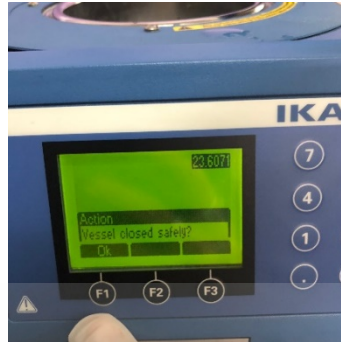
4.12 เครื่องจะถามว่า Storage filled? ให้กด F1 เพื่อ Continue ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.13 เมื่อกด Continue เครื่องจะถามว่า Vessel closed safety? กด F1 เพื่อดำเนินการต่อ ดังรูปที่ 20



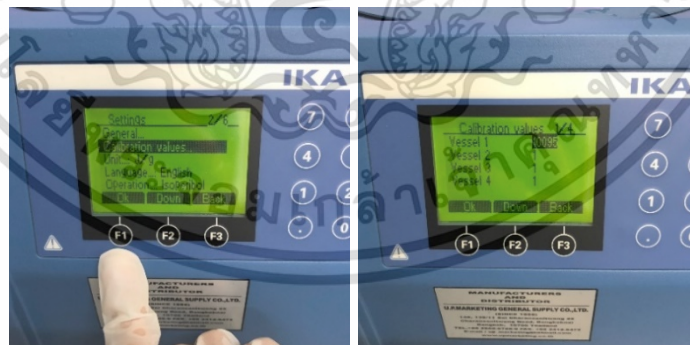
รูปที่ 20

- 4.14 เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนของเวสเซลออกมาเป็นหน่วย J/k ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21

- 4.15 ให้ทำซ้ำข้อ 4.1 – 4.14 เพื่อดูค่าความร้อนว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ถ้าหากใกล้เคียงกันแล้วให้ใช้ค่าเฉลี่ยเมื่อได้ค่าความร้อนแล้วให้นำไปใส่ในข้อ 4.9.3 ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าความร้อนของวัสดุด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

1. ผูกด้ายกับหลอดจุดฉนวนโดยด้ายต้องอยู่กึ่งกลางหลอดและมีความยาวเท่ากันดังรูปที่ 23



รูปที่ 23

2. ชั่งชีวมวลที่ต้องการดังรูปที่ 24



รูปที่ 24

3. นำถ้วย crucible วางลงบนชั่งและนำเม็ดชีวมวลที่ต้องการใส่ในถ้วยโดยเม็ดชีวมวลต้องทับอยู่บนปลายทั้ง 2 ของเส้นด้ายดังรูปที่ 25



รูปที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำวัสดุใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อยดังรูปที่ 26



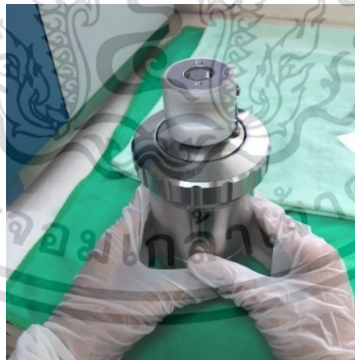
รูปที่ 26

5. นำไปเวสเซลไปอัดแก๊สออกซิเจน 30 bar เป็นเวลา 30 วินาที ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27

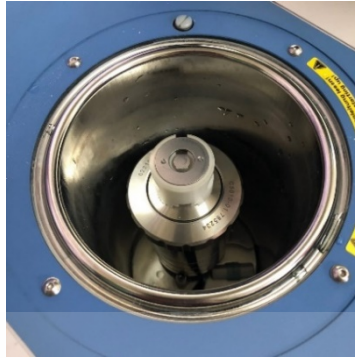
6. ปิดฝาจุดฉนวนดังรูปที่ 28



รูปที่ 28

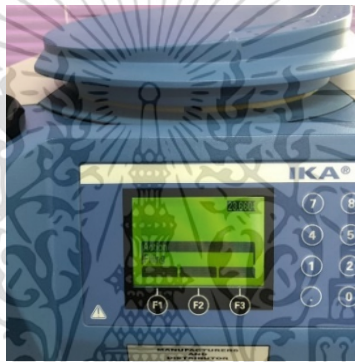
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำเวสเซลเข้าเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ 29



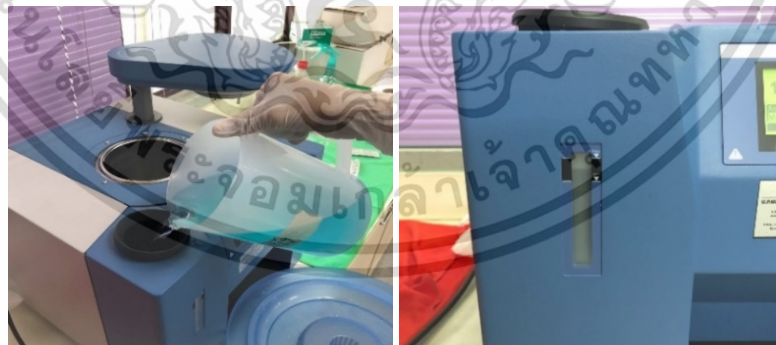
รูปที่ 29

8. ปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30

9. นำน้ำที่ได้มีการคาร์บริเบตแล้วใส่ลงไปในเครื่องให้ระดับอยู่ระหว่างขีด MAX และ MIN (ต้องรักษาอุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กด F2 เพื่อทำการ Prepare และตั้งค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32

10.1 Weight = 0.5372 g (ตามที่ชี้ไว้ในข้อ 2)

10.2 Calibration = 0

10.3 Vessel = 1

10.4 QExt1 = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)

10.5 QExt2 = 0

11. กด F1 เพื่อ Ok ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33

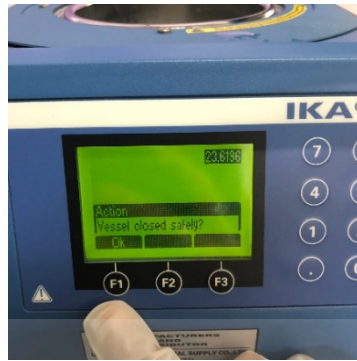
12. เครื่องจะถามเราว่า Storage filled? ให้กด F1 เพื่อ Continue ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เครื่องจะถามเราอีกว่า Vessel closed safety? กด F1 เพื่อดำเนินการต่อดังรูปที่ 35



รูปที่ 35

14. เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนสูงของชีวมวลออกมาเป็นหน่วย J/g ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36

ขั้นตอนการดูแลทำความสะอาดเวสเซล

เมื่อทำการ Bomb หาค่าความร้อนเรียบร้อยแล้วให้ทำความสะอาดเวสเซลทุกครั้งและต้องเช็ดให้แห้งสนิทก่อนนำกลับเข้ากล่องทุกครั้ง

1. เปิดฝาเครื่องออกเพื่อให้น้ำไหลเข้าถังคาร์ิบเตตดังรูปที่ 37



รูปที่ 37

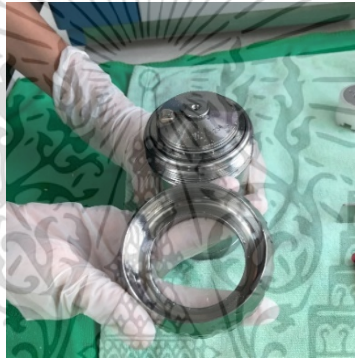
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้หัวกดเพื่อทำการกดแก๊สออกดังรูปที่ 38



รูปที่ 38

3. หมุนฝาปิดเวสเซลออกดังรูปที่ 39



รูปที่ 39

4. ใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการจับชุดจุดฉนวนออกดังรูปที่ 40



รูปที่ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ให้สะอาดดังรูปที่ 41



รูปที่ 41

- ต้องมั่นใจว่าอุปกรณ์แห้งสนิทจึงสามารถนำไปเก็บในกล่องได้ ถ้าหากไม่มั่นใจให้ตากไว้ข้างนอก ประมาณ 1-2 วันเพื่อรอให้แห้งสนิท

การ Drain น้ำออกจากเครื่องให้หมดในกรณีที่หยุดใช้เครื่องเป็นระยะเวลานาน

- กด Menu ดังรูปที่ 42a ตามด้วย กด Service ดังรูปที่ 42b



รูปที่ 42

- เลื่อนหาเมนู outer vessel จากนั้นจะพบว่าด้านหลัง outer vessel ตามด้วย off ให้กด ok 1 ครั้ง เพื่อเปลี่ยนเป็น on และรอให้น้ำไหลออกจากเครื่องให้หมด (สามารถนำน้ำที่ออกไปกรองด้วยผ้าขาวบางและนำไปใช้ได้) ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อน้ำออกจนหมดให้กด Ok อีก 1 ครั้งเพื่อเปลี่ยนเป็น off ดังรูปที่ 44



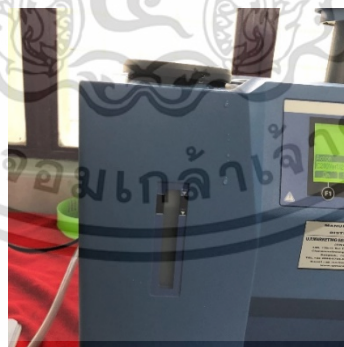
รูปที่ 44

4. กด Back ออกไปยังหน้าปกติและปิดเครื่องได้
 5. เมื่อกลับมาใช้เครื่องใหม่จะต้องมีการนำน้ำกลับเข้าไปโดยทำการเปิดเครื่อง Bomb Calorimeter จากนั้นจะพบหน้าจอตั้งรูปที่ 45



รูปที่ 45

6. เติมน้ำคาร์เบตในช่องเติมน้ำให้อยู่ระหว่างขีด min และ max ดังรูปที่ 46



รูปที่ 46

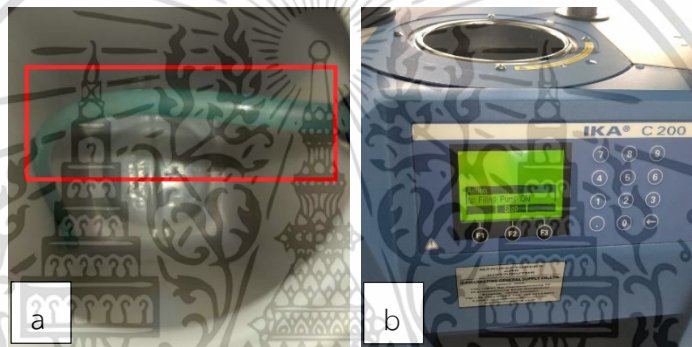
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กด F2 (1st fill) ดังรูปที่ 47



รูปที่ 47

8. หลังจากนั้นน้ำจะถูกเติมเข้าไปภายในเครื่อง ให้สังเกตสายยางที่อยู่ในห้องเติมน้ำดังรูปที่ 48a ถ้าหากน้ำไหลออกจากสายยางแล้วให้กด F2 (Stop) ดังรูปที่ 48b



รูปที่ 48

9. หลังจากนั้นให้กด Ok เพื่อกลับไปยังหน้าแรก ก็สามารถใช้งานได้ตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล wood pellet

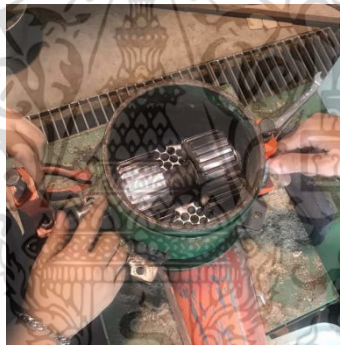
การเตรียมเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล wood pellet

1. นำชีวมวล น้ำมันเครื่อง และทราย ที่อัตราส่วน 1:1:1 โดยรวมประมาณ 1 กิโลกรัม มาผสมให้เข้ากันดังรูปที่ 49



รูปที่ 49

2. ประกอบจานหมุน แกน และช่องใส่ชีวมวล เข้าในตัวเครื่อง ดังรูปที่ 50



รูปที่ 50

3. เปิดเครื่องโดยการกดปุ่ม start ดังรูปที่ 51



รูปที่ 51

4. นำชีวมวลที่ผสมไว้ใส่เข้าเครื่องทางด้านบน เพื่อทำการล้างเครื่องและเดินเครื่องเพื่อให้ความร้อนประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส ทำโดยการหมุนเวียนชีวมวลที่ผสมไว้เข้าเครื่องอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ดังรูปที่ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 52

5. รอให้เครื่องทำงานจนกว่าส่วนผสมที่ใช้ล่างเครื่องจะหมด จากนั้นจึงเริ่มใส่ชีวมวลที่จะใช้ในการทดสอบเพื่ออัดเม็ด

การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุพืชด้วยเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล wood pellet

1. นำชีวมวลที่ผ่านการลดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร มาผสมน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ให้เข้ากัน ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53

2. หลังจากเครื่องได้อุ่นทงุมิให้นำชีวมวลที่ผสมน้ำไว้ตามอัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสมเข้าเครื่องอย่างต่อเนื่องทางด้านบน ทีละอัตราส่วน ดังรูปที่ 54



รูปที่ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำภาชนะมารองรับชีวมวลอัดเม็ดที่ออกจากเครื่อง ซึ่งยังมีความร้อนอยู่ดังรูปที่ 55



รูปที่ 55

4. ปิดเครื่องโดยการกดปุ่ม stop ดังรูปที่ 56



รูปที่ 56

5. นำชีวมวลอัดเม็ดมาผึ่งลดความร้อนเพื่อให้เย็นตัว ทำให้ไม่แตกหักง่าย ดังรูปที่ 57



รูปที่ 57

6. นำชีวมวลอัดเม็ดที่เย็นตัวแล้วใส่ถุงซิปล็อคเพื่อเก็บรักษาชีวมวลอัดเม็ด ดังรูปที่ 58



รูปที่ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Furnace

การใช้เครื่อง Furnace ในการหาปริมาณเถ้า

1. เปิดเบรกเกอร์เพื่อเปิดปล่องดูดอากาศ ดังรูปที่ 59



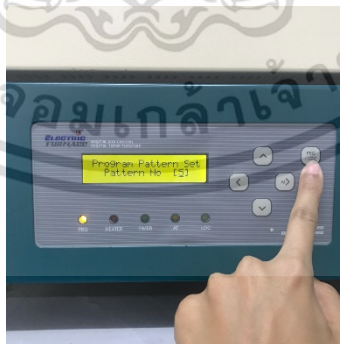
รูปที่ 59

2. เสียบปลั๊กเครื่อง Furnace และเปิดสวิตช์เครื่อง Furnace ดังรูปที่ 60



รูปที่ 60

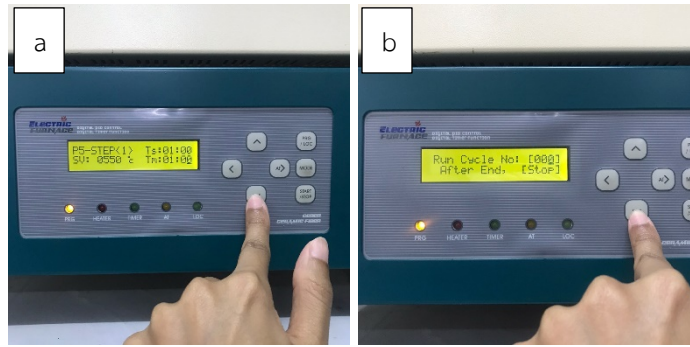
3. กดปุ่ม PRG/LOC เพื่อตั้งโปรแกรมหาเถ้า โดยกำหนดให้เป็นโปรแกรมที่ 5 และกดปุ่ม PRG/LOC อีกครั้งเพื่อกลับมาโปรแกรม ดังรูปที่ 61



รูปที่ 61

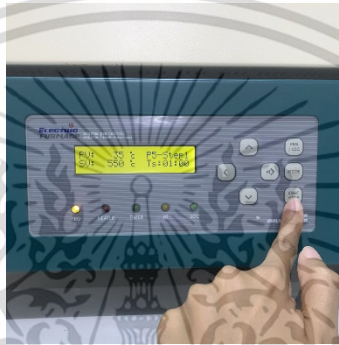
4. กดปุ่ม mode เพื่อตั้งโปรแกรมสำหรับเผาด้วยครุชีเบิลพร้อมฝา
 - 4.1. ตั้งให้อุณหภูมิถึง 550 องศาเซลเซียส (T_s) ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงดังรูปที่ 62a
 - 4.2. ตั้งให้อุณหภูมิค้างไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส (T_m) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงดังรูปที่ 62a
 - 4.3. ตั้ง Run Cycle No: เป็น 0 ดังรูปที่ 62b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 62

5. กดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 63



รูปที่ 63

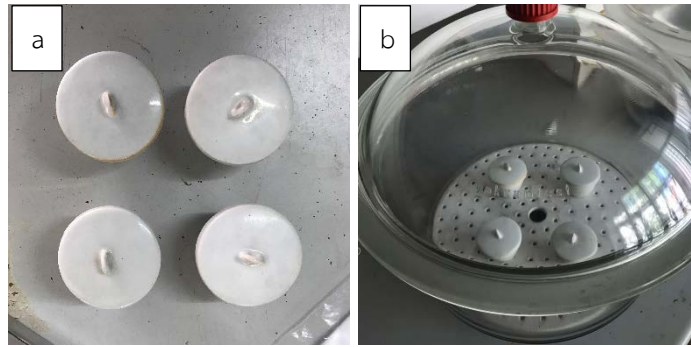
6. เมื่ออุณหภูมิถึง 550 องศาเซลเซียส นำถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาเข้าเผาเพื่อเป็นการคาร์บริเบตถ้วย เป็นเวลา (Tm) 1 ชั่วโมงดังรูปที่ 64



รูปที่ 64

7. เมื่อจบโปรแกรม กดปุ่ม stop นำถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝามาตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องประมาณ 5-10 นาที แล้วนำเข้าโถดูดความชื้น ดังรูปที่ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



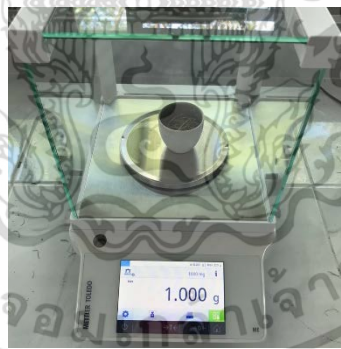
รูปที่ 65

8. ทิ้งไว้ในโถตุความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำด้วยครุชิเบิลออกมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าดังรูปที่ 66



รูปที่ 66

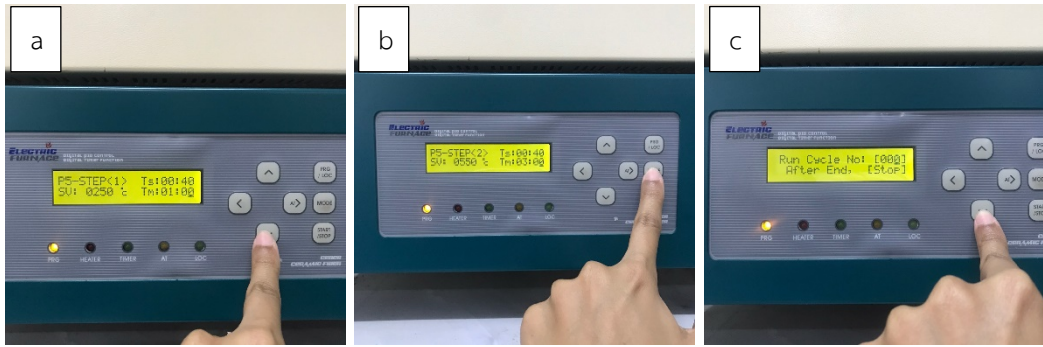
9. นำตัวอย่างชีวมวลมาชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ดังรูปที่ 67



รูปที่ 67

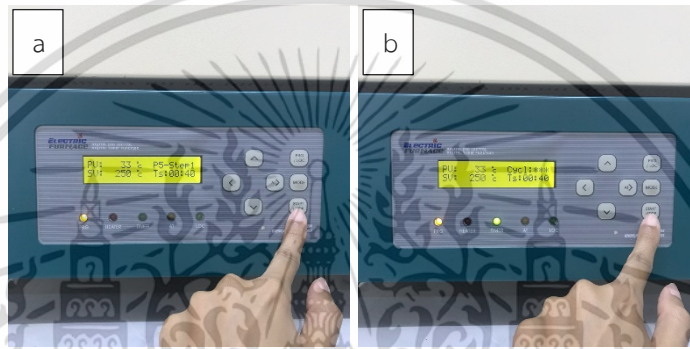
10. กดปุ่ม mode เพื่อตั้งโปรแกรมสำหรับเผาตัวอย่างชีวมวล
- 10.1. ตั้งให้อุณหภูมิถึง 250 องศาเซลเซียส (Ts) ในช่วงเวลา 40 นาที รูปหน้าจอที่ตั้งอุณหภูมิ 550 ดังรูปที่ 68a
 - 10.2. ตั้งให้อุณหภูมิค้างไว้ที่ 250 องศาเซลเซียส (Tm) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ไอระเหยระเหยออกดังรูปที่ 68a
 - 10.3. ตั้งให้อุณหภูมิถึง 550 องศาเซลเซียส (Ts) ในช่วงเวลา 40 นาที ดังรูปที่ 69b
 - 10.4. ตั้งให้อุณหภูมิค้างไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส (Tm) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเผาชีวมวลให้เป็นเถ้า ดังรูปที่ 68b

10.5. ตั้ง Run Cycle No: เป็น 0 ดังรูปที่ 68c เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



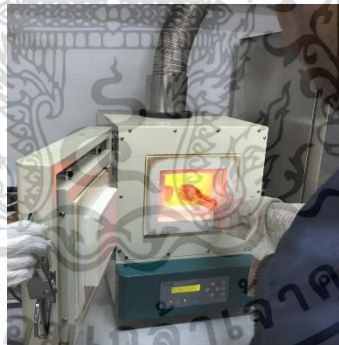
รูปที่ 68

11. กดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 69



รูปที่ 69

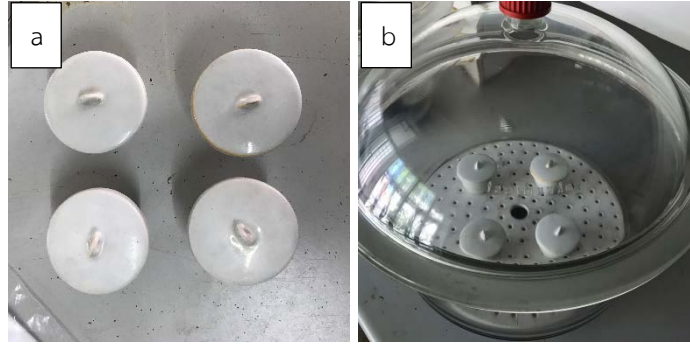
12. เมื่ออุณหภูมิถึง 250 องศาเซลเซียส นำถ้วยครุชชีเบลที่มีตัวอย่างพร้อมฝาเข้าเผา ดังรูปที่ 70



รูปที่ 70

13. เมื่อจบโปรแกรม กดปุ่ม stop นำถ้วยครุชชีเบลที่มีเถ้าพร้อมฝาทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องประมาณ 5 - 10 นาทีดังรูปที่ 71a แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นดังรูปที่ 71b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 71

14. ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำถ้วยครุชชีเบลที่มีเถ้าออกมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า ดังรูปที่ 72



รูปที่ 72

**เมื่อนำถ้วยออกจากเครื่อง furnace หรือจบการทำงาน ปล่อยให้อุณหภูมิของเครื่องลดลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส จึงปิดเครื่องและปล่อยให้เย็นตัวได้

การใช้เครื่อง Furnace ในการหาปริมาณไอระเหย

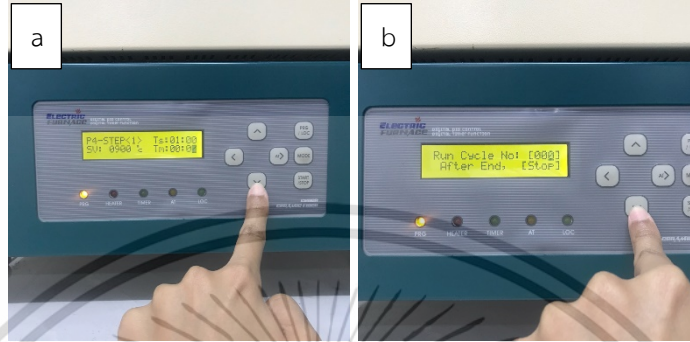
1. เปิดเบรกเกอร์เพื่อเปิดปล่องดูดอากาศ
2. เสียบปลั๊กเครื่อง Furnace และเปิดสวิตช์เครื่อง Furnace
3. กดปุ่ม PRG/LOC เพื่อตั้งโปรแกรมหาไอระเหย โดยกำหนดให้เป็นโปรแกรมที่ 5 และกดปุ่ม PRG/LOC อีกครั้งเพื่อกลับหน้าโปรแกรม ดังรูปที่ 73



รูปที่ 73

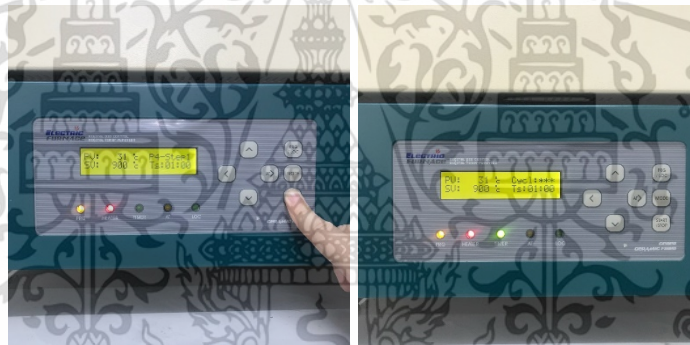
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม mode เพื่อตั้งโปรแกรมสำหรับเผาด้วยครุชชีเบลพร้อมฝา
 - 4.1. ตั้งให้อุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส (Ts) ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง รูปภาพที่ได้อุณหภูมิ 550 เวลา 40 นาที ดังรูปที่ 74a
 - 4.2. ตั้งให้อุณหภูมิค้างไว้ที่ 900 องศาเซลเซียส (Tm) เป็นเวลา 7 นาทีดังรูปที่ 74a
 - 4.3. ตั้ง Run Cycle No: เป็น 0 ดังรูปที่ 74b



รูปที่ 74

5. กดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรกดังรูปที่ 75



รูปที่ 75

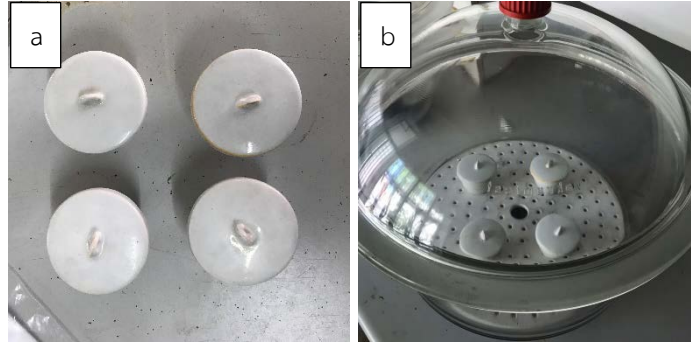
6. เมื่ออุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส นำถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาเข้าเผาเพื่อเป็นการคาร์บेटถ้วย เป็นเวลา (Tm) 7 นาที ดังรูปที่ 76



รูปที่ 76

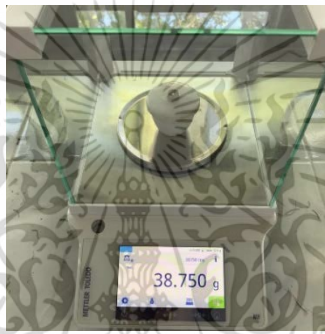
7. เมื่อจบโปรแกรม กดปุ่ม stop นำถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝามาตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องประมาณ 5-10 นาที ดังรูปที่ 77a แล้วนำเข้าโถดูดความชื้น ดังรูปที่ 77b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



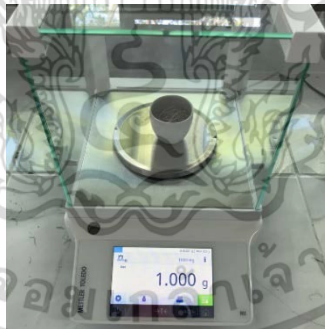
รูปที่ 77

8. ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำด้วยครูชีเบลออกมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าดังรูปที่ 78



รูปที่ 78

9. นำตัวอย่างชีวมวลมาชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ดังรูปที่ 79



รูปที่ 79

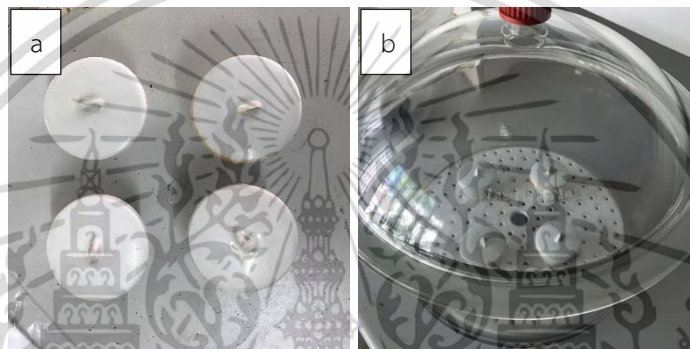
10. กดปุ่ม mode เพื่อตั้งโปรแกรมสำหรับเผาตัวอย่างชีวมวล
 10.1. ตั้งให้อุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส (Ts) ในช่วงเวลา 1.30 ชั่วโมง
 10.2. ตั้งให้อุณหภูมิต่างไว้ที่ 900 องศาเซลเซียส (Tm) เป็นเวลา 7 นาที
 11. กดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม
 12. เมื่ออุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส นำด้วยครูชีเบลที่มีตัวอย่างพร้อมฝาเข้าเผา ดังรูปที่ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



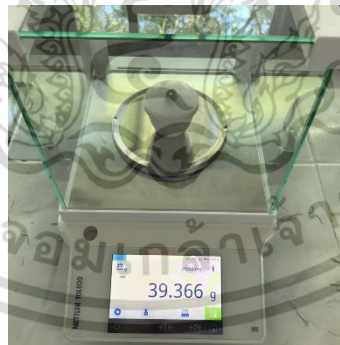
รูปที่ 80

13. เมื่อจบโปรแกรม กดปุ่ม stop นำถ้วยครุชเชิลที่มีเถ้าพร้อมฝาออกมาตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องประมาณ 5 – 10 นาทีดังรูปที่ 81a แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นดังรูปที่ 81b



รูปที่ 81

14. ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำถ้วยครุชเชิลที่มีเถ้าออกมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า ดังรูปที่ 82



รูปที่ 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้