สถิบันวิทยบริการ

สำนักหอสมุด

สมบัติต่างๆ ของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัว

Properties of Bio-briquette Charcoal with Cow Manure

นายศุภกร สมร่าง รหัส 55361588

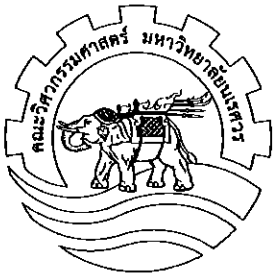
สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 27 ธ.ค. 2561
เลขทะเบียน 1723829
เลขเรียกหนังสือ ม
ส 175 ส
2559
1723829

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สมบัติต่างๆ ของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัว
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายศุภกร สมร่าง รหัส 55361588
ที่ปรึกษาโครงงาน	รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล)

.....กรรมการ
(ดร.สุชาดา อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สมบัติต่างๆ ของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัว
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายศุภกร สมร่าง รหัส 55361588
ที่ปรึกษาโครงงาน	รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2558

.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถ่านอัดแท่งจากชีวมวลผสมมูลวัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำชีวมวล 2 ชนิด คือ เมล็ดหูกวาง และกิ่งต้นสะเดาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งและทำการเปรียบเทียบ ซึ่งใช้มูลวัวเป็นตัวประสาน คือ มูลวัว อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านขนาด 250 ไมโครเมตร ต่อตัวประสานที่ใช้ในการศึกษาคือ ถ่าน (80) : มูลวัวและถ่านมูลวัว (20) และผสมน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมดในทุกๆ ตัวอย่างของถ่านอัดแท่ง ซึ่งน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งและเพิ่มการยึดเกาะของก้อนถ่านให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ความชื้น สารระเหย เถ้า ค่าความร้อน ความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงกด และสมบัติการเผาไหม้ ผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 6,954.39 แคลอรีต่อกรัม ใช้เวลาในการจุดติดไฟ 1.50 นาที และค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.8900 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านทางการค้าที่ใช้เวลาในการจุดติดไฟ 3 นาที มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.4621 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถให้ความร้อนประมาณ 3 ชั่วโมง 50 นาที ซึ่งถ่านอัดแท่งจากชีวมวลผสมมูลวัวนี้ จึงน่าจะสามารถพัฒนาให้เป็นถ่านทางการค้าได้เช่นเดียวกัน

Title	Properties of Bio-briquette Charcoal with Cow Manure
Author	Mr. Supakon Somrang ID. 55361588
Advisor	Associate Professor Dr. Samorn Hirunpraditkoon
Major	Chemical engineering
Department	Industrial engineering
Years	2015

Abstract

This research aimed to study the production of briquette charcoal from tropical almond seed and neem limb. Both briquette charcoals were used cow manure as a binder. The ratio of charcoal to the binder used was 80:20 and mixed with 10% used oil of total weight sample used. The vegetable used oil was mixed in order to increase the heating value and the compaction of the briquette charcoal. Obtained the briquette charcoal obtained was examined the following properties: proximate analysis, heating value, bulk density, compressive strength and burning characteristics which are ignition time and burning time. The results showed that charcoal from tropical almond seed with cow manure charcoal indicated highest heating value of 6,954.39 cal/g with 1.5 min ignition time, 3 h 50 min burning time, bulk density of 0.8930 g/cm^3. However, commercial briquette charcoal was ignited at 3 min. 3 h 50 min burning time and bulk density of 1.4621 g/cm^3. Therefore, this study revealed the potential of using tropical almond seed and neem limb as raw materials for commercial briquette charcoal is possible.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จลงได้โดยได้รับคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ รวมทั้งความช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้ามาโดยตลอดจากอาจารย์ทุกท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์, ดร.นพวรรณ โม้ทอง และ ดร.สุชาดา อยู่แก้ว ที่ได้กรุณามาเป็นกรรมการสอบโครงการ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

นอกจากนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่และครูช่างภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงงานนี้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเคมีและห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมวัสดุ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำการทดลองและวิธีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดาผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่งที่ให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา รวมถึงผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือสนับสนุนด้านต่างๆ ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย คุณค่าและประโยชน์อันพึงจะมีจากการศึกษาปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณความดีทั้งหมด ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจด้านการผลิตถ่านอัดแท่งจากเมล็ดหูกวางและกิ่งสะเดาไม่มากก็น้อย

ผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นาย ศุภกร สมร่าง
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

ใบรองรับปริญญา.....ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูปภาพ.....ญ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น
2.1 พลังงานจากชีวมวล.....4
2.1.1. ความหมายของพลังงานชีวมวล.....4
2.1.2 ความสำคัญของพลังงานชีวมวล.....4
2.1.3 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล.....5
2.1.4 กระบวนการแปรรูปชีวมวล.....5
2.2 ชีวมวลที่กี่ยวข้อง.....9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1 เมล็ดหูกวาง....9
2.2.2 กิ่งต้นสะเดา....10
2.2.3 มูลวัว....10
2.3 กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง....11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....14
2.4.1 งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของรายงาน....14
2.4.2 งานวิจัยด้านการศึกษาสมบัติการจุดติดไฟ....15
2.4.3 งานวิจัยที่ศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพและขนาดของถ่านอัดแท่ง....16
2.4.4 งานวิจัยที่ศึกษาด้านอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง....16
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....18
3.2 ขั้นตอนการทำถ่าน....23
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล....25
บทที่ 4 ผลการวิจัย
4.1 ค่าความร้อน....26
4.2. สมบัติทางเคมี (Proximate analysis)....27
4.3. อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้....29
4.4 ความหนาแน่น....34
4.5 ความต้านทานแรงกด....35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุป.....36
ข้อเสนอแนะ.....36
บรรณานุกรม.....37
ภาคผนวก.....42
ภาคผนวก ก วิเคราะห์ค่าความร้อน.....43
ภาคผนวก ข วิเคราะห์สมบัติทางเคมี.....45
ภาคผนวก ค ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง.....53
ประวัติผู้วิจัย.....56

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตจากกระบวนการ Pyrolysis (Dry basis) 8
ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดหูกวางทางโภชนาการ..... 10
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลวัว..... 11
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีที่อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวประสานเท่ากับ 80:20.....28
ตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (g/cm2) 35
ตาราง ก.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....44
ตาราง ก.2 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง..... 44
ตาราง ข.1 การหาค่าความชื้นของถ่านชีวมวลและชีวมวล.....47
ตาราง ข.2 การหาปริมาณสารระเหยของถ่านชีวมวลและชีวมวล 49
ตาราง ข.3 การหาปริมาณเถ้าของถ่านชีวมวลและชีวมวล..... 51
ตาราง ข.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านชีวมวลและชีวมวล..... 52
ตาราง ค.1 น้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (กรัม) 54
ตาราง ค.2 ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง 54
ตาราง ค.3 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง 55

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยกลวิธีทางความร้อน[22].....7

รูปที่ 2.2 ผลผลิตจากกระบวนการ Pyrolysis ที่ใช้เวลาในการ Pyrolysis ที่แตกต่างกัน [22].....7

รูปที่ 2.3 รูปแบบการจำลองกระบวนการไพโรไลซิสของการเผาไหม้ไม้ฟืน [23].....8

รูปที่ 2.4 รูปแบบการจำลองกระบวนการไพโรไลซิสของวัสดุชีวมวล [23].....9

รูปที่ 2.5 ต้นหูกวางและเมล็ดหูกวาง.....9

รูปที่ 2.6 ต้นสะเดา.....10

รูปที่ 2.7 มูลวัว 10

รูปที่ 3.1 เตาเผาถ่าน.....18

รูปที่ 3.2 เครื่องบด.....18

รูปที่ 3.3 เครื่องร่อน.....19

รูปที่ 3.4 เครื่องอัดระบบไฮโดรลิค.....19

รูปที่ 3.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง.....20

รูปที่ 3.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง.....20

รูปที่ 3.7 ตู้อบ.....21

รูปที่ 3.8 เตาเผา.....21

รูปที่ 3.9 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter).....21

รูปที่ 3.10 Data Logger ML23.....22

รูปที่ 3.11 เทอร์โมคัปเปิล Type-K รุ่น SKJB 30.....22

รูปที่ 3.12 Universal test รุ่น LR 10K Plus.....22

รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง.....24

รูปที่ 4.1 ค่าความร้อนของชีวมวลและถ่านชีวมวล.....27

รูปที่ 4.2 ค่าความร้อนของถ่านชีวมวล.....27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว (80:20).....30

รูปที่ 4.4 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว (80:20).....30

รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านชีวมวล (80:20) กับถ่านทางการค้า (ก). ถ่านเมล็ดหูกวาง (ข). ถ่านกิ่งสะเดา และ (ค). ถ่านเมล็ดหูกวางและถ่านกิ่งสะเดา.....32

รูปที่ 4.6 การให้ความร้อนแก่ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว ที่สภาวะความดันบรรยากาศ ในรางเดี่ยว (ก). ระยะเริ่มติดไฟ (ข). 40 นาที (ค). 60 นาที (ง). 80 นาที (จ). 100 นาที (ฉ). 120 นาที.....33

รูปที่ 4.7 การให้ความร้อนแก่ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวที่สภาวะความดันบรรยากาศ ในรางคู่ (ก). 30 นาที (ข). 60 นาที (ค). 90 นาที (ง). 120 นาที และ (จ). 150 นาที.....34

รูปที่ 4.8 ความต้านทานแรงกดของถ่านชีวมวลอัดแท่งผสมมูลวัว/ถ่านมูลวัว.....34

รูปที่ 4.9 ถ่านชีวมวลก่อนการทดสอบการต้านทานแรงกด.....36

รูปที่ 4.10 ถ่านชีวมวลหลังการทดสอบการต้านทานแรงกด.....36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

พลังงานเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในทุกภาคการผลิตโดยเฉพาะภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม และเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของการดำรงชีวิตในปัจจุบันโดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียม และถ่านหินที่มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการเลือกใช้พลังทางเลือกอื่นๆ ได้แก่พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม จัดเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถผลิตทดแทนได้รวมทั้งพลังงานจากชีวมวล จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีแหล่งพลังงานชีวมวลนี้อยู่เป็นจำนวนมาก และมีผลเสียต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมน้อย สามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อเนื่อง จึงน่าจะเป็นพลังงานหลักที่ยั่งยืนต่อไปในประเทศที่สามารถทำให้ลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลลงได้

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรและเลี้ยงสัตว์ควบคู่กันโดยเฉพาะโคและกระบือ พร้อมพรรณไม้เปลือกแข็งต่างๆ นานา มีผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการแปรรูปอยู่มากมาย สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อแปรรูปให้เป็นพลังงานหรือเชื้อเพลิง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติที่ดี คือให้ความร้อนที่สูง ซึ่งผู้ประกอบการผลิตถ่านอัดแท่งในประเทศไทยส่วนมากนิยมใช้ กะลามะพร้าวและกิ่งไม้ต่างๆ ได้แก่ กิ่งต้นกระถิน กิ่งต้นสะเดา เป็นต้น เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายทั่วไปในประเทศไทย

ดังนั้น โครงงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญทางด้านพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) จากชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถสร้างทดแทนได้ตลอดเวลาและไม่มีวันหมดสิ้น เพื่อให้เกิดการใช้วัตถุดิบอย่างคุ้มค่า จึงเป็นที่มาของโครงงานนี้ในการทำถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลสัตว์ เพื่อเพิ่มค่าการจับเกาะของถ่านอัดแท่งและค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง โดยเลือกทำการทดลองจากเมล็ดหูกวางและกิ่งต้นสะเดาผสมมูลวัว วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการเผาไหม้ของถ่าน จากถ่านเมล็ดหูกวางและถ่านกิ่งต้นสะเดาผสมมูลวัว และถ่านเมล็ดหูกวางและถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของก้อนถ่านหลังผสม รวมทั้งทำการทดลองเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของถ่านผสมมูลวัวที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมี สมบัติทางด้านการเผาไหม้ต่างๆ ของถ่านอัดแท่งจากถ่านเมล็ดหูกวางและถ่านกิ่งต้นสะเดา ได้แก่ สมบัติทางเคมี (Proximate analysis), ค่าความร้อน, ลักษณะการเผาไหม้, ความหนาแน่นรวม, สมบัติเชิงกล เป็นต้น

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้กับถ่านทางการค้า

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากชีวมวลคือ เมล็ดหูกวาง, กิ่งต้นสะเดา และมูลวัว โดยจำกัดขนาดอนุภาคเท่ากับ 250 ไมโครเมตร และโดยนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาเป็นตัวประสาน เพื่อเป็นการเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งที่ได้

1.3.2 ประเมินคุณภาพและสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยใช้องค์ประกอบที่สำคัญเป็นหลักในการประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่

- ค่าความร้อน (Heating value)
- การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) เพื่อหาค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon content)
- เวลาในการเผาไหม้ (Burning time)
- ความหนาแน่นรวม (Bulk density)
- สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำชีวมวลเหลือทิ้งมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน แทนการใช้ฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ

1.4.2 ลดปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงสำหรับครัวเรือน และมลภาวะขยะเหลือทิ้ง

1.4.3 ได้ถ่านอัดแท่งชีวมวลที่มีคุณภาพทางด้าน ค่าความร้อน (Heating value), (Fixed carbon content), เวลาในการเผาไหม้ (Burning time), ความหนาแน่นรวม (Bulk density), สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด) และช่วยลดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม

1.4.4 สามารถนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่งใช้ในภาคอุตสาหกรรมหรือภาคการเกษตรได้

1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ตัวแปรต้น

1.5.1.1 ชีวมวล 2 ชนิด คือ เมล็ดหูกวางกับกิ่งต้นสะเดา

1.5.1.2 ถ่านชีวมวลผสมมูลวัว และถ่านชีวมวลผสมถ่านมูลวัว

1.5.2 ตัวแปรตาม

1.5.2.1 ค่าความร้อนที่ได้จากถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัวและถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมถ่านมูลวัวในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.2 เวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัวและถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมถ่านมูลวัวในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.3 ค่าคาร์บอนเสถียรของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัวและถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมถ่านมูลวัวในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.4 ความหนาแน่นรวมของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัวและถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมถ่านมูลวัวในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.5 สมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมมูลวัวและถ่านอัดแท่งชีวมวลผสมถ่านมูลวัวในอัตราส่วน 80:20

1.5.3 ตัวแปรควบคุม

1.5.3.1 ขนาดของชีวมวล

- เมล็ดหูกวาง = ด้านยาว 3 – 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 5 เซนติเมตร
- กิ่งต้นสะเดา = ด้านยาว 10 – 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 – 8 เซนติเมตร

1.5.3.2 แหล่งที่มาของชีวมวล (มหาวิทยาลัยนเรศวร)

1.5.3.3 ระยะเวลาในการเผาโดยวิธีไพโรไลซิสในเครื่องเผาถ่านไร้อากาศ 45 นาที โดยจับเวลาตั้งแต่เครื่องเริ่มหมุน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแยกเป็นหัวข้อนำเสนอดังนี้

2.1 พลังงานจากชีวมวล

2.2 ชีวมวลที่เกี่ยวข้อง เมล็ดหูกวาง, กิ่งต้นสะเดาและมูลวัว

2.3 กระบวนการและเครื่องมือในการผลิตถ่านอัดแท่ง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานจากชีวมวล

2.1.1 ความหมายของพลังงานชีวมวล [1]

Biomass เป็นการผสมคำระหว่าง Bio หมายถึงสิ่งมีชีวิตกับ mass ซึ่งหมายถึงปริมาณหรือมวลที่มีปริมาณมาก เมื่อนำมารวมกันจึงหมายถึง “พลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ต่างๆ โดยที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้”

ชีวมวลจัดเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานตามธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ เช่นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตรนอกจากนี้ ชีวมวลยังสามารถจัดหาได้จากสสารทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นชีวมวลแปรสภาพไปเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลแล้ว) ซึ่งรวมถึงการผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ ของเสียจากสัตว์ เช่นมูลสัตว์และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร ขยะและน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

พลังงานชีวมวลจึงเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้ความร้อนหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์ พลังงานที่ได้มาจากชีวมวลอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา

2.1.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล [2]

การนำชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานจึงยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น บางชนิดใช้ได้ทั้งเป็นอาหารและพลังงานได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ถ้าจะนำมาใช้เป็นพลังงานต้องไม่ทำให้อาหารขาดแคลนโดยอาจใช้กากและส่วนที่เหลือของวัตถุดิบเหล่านี้มาทำประโยชน์ด้านพลังงาน หรือปลูกพืชเหล่านี้ให้มากขึ้น การนำไม้ในป่ามาเป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตพลังงานย่อมทำให้ป่าไม้หมดไปเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ จึงควรปลูกไม้โตเร็วเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานโดยตรงเพื่อลดปัญหาการทำลายป่าลง

2.1.3 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล [2]

ชีวมวลได้มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ พืชจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มาสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ (แป้ง+น้ำตาล) และออกซิเจน มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารประกอบอินทรีย์ที่สร้างขึ้นพืชจะใช้ในการดำรงชีวิตบางส่วนที่เหลือจะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ได้แก่ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด เช่นมันสำปะหลังเก็บสะสมแป้งไว้ที่ราก อ้อยสะสมน้ำตาลไว้ที่ลำต้นเป็นต้น ดังนั้นถ้านำอินทรีย์สารที่พืชสะสมไว้มาทำให้แตกตัวออกก็จะได้พลังงานมาใช้ต่อไป แหล่งพลังงานที่ได้จากพืชที่สำคัญมีทั้งพืชบกและพืชน้ำ

2.1.4 กระบวนการแปรรูปชีวมวล [3]

ชีวมวลชนิดต่างๆ ถูกแปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประโยชน์และความต้องการใช้งานการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานหลักๆ ได้แก่

2.1.4.1 การเผาไม้โดยตรง (Combustion) เป็นการนำชีวมวลมาเผาทำให้ความร้อนที่ได้ออกมาตามค่าความร้อนของชีวมวลนั้นๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นไอน้ำจึงถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือเศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

การเผาไหม้หรือการสันดาป เป็นวิธีการเก่าแก่และง่ายที่สุดในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน การเผาไหม้ ส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบที่เป็นไม้หรือเปลือกไม้ชนิดต่างๆ ในรูปของฟืน พลังงานที่ได้มีค่าประสิทธิภาพความร้อน (Heating value ซึ่งหมายถึงค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อค่าพลังงานที่ให้) ประ-มาณ 35 – 40 % ซึ่งถือว่า เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานน้อยที่สุด ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการเผาไหม้โดยการเพิ่มความดันในการเผาไหม้และการจำกัดออกซิเจนในเตาเผา

นอกจากการเผาไหม้แล้ว ยังมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้พลังงาน โดยเริ่มจากการนำชีวมวลชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติเช่น แกลบ ฟางข้าว กาบมะพร้าว ใยมะพร้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพด รวมทั้งขี้เลื่อยมาทำให้แห้งก่อน แล้วจึงนำชีวมวลนั้นมาเผาซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยตรง แต่เนื่องจากชีวมวลเหล่านั้นมีความชื้นมากและมีความหนาแน่นน้อยทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพความร้อนต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรง และทำให้เกิดความไม่สะดวกในด้านต่างๆ เช่น การขนส่งและการจัดเก็บ ซึ่งต้องใช้พื้นที่มาก ดังนั้นจึงได้มีการนำชีวมวลมาอัดเป็นก้อนเพื่อเพิ่มความหนาแน่นและประสิทธิภาพด้านความร้อนให้สูงขึ้น โดยการนำชีวมวลไปบดแล้วอัดเป็นก้อน ผลที่ได้คือ มีประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการพัฒนาโดยใช้ชีวมวลตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปนำมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนต่างๆ แล้วใส่ตัวประสานเข้าไปเพื่อช่วยให้ชีวมวลยึดติดกันมากขึ้น

เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนให้สูงขึ้น โดยประสิทธิภาพความร้อนที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณของการผสมวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของตัวประสาน ขนาดของก้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น

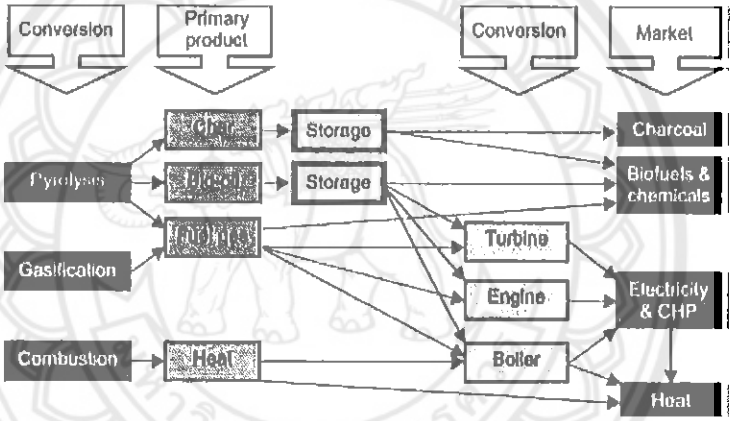
2.1.4.2 การผลิตแก๊ส (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สชีวภาพมีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนแก๊สไฮโดรเจนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสาหรับกังหันแก๊ส (Gas turbine) เครื่องยนต์สาหรับผลิตไฟฟ้ารถยนต์การหุงต้มอาหาร

กระบวนการทำให้เกิดก๊าซ (Gasification) เป็นการย่อยสลายชีวมวลโดยการให้ความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลโดยใช้กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) โดยใช้ตัวออกซิไดซ์ ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ ในกรณีที่ใช้อากาศ เป็นตัวออกซิไดซ์จนกระทั่งเกิดผลิตภัณฑ์เป็น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซที่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นเล็กน้อย เช่น ก๊าซอีเทน (Ethane) ก๊าซอีทีน (Ethene) ตลอดจนน้ำ เขม่า เถ้าและน้ำมันดินการให้ความร้อนกับชีวมวลโดยไม่เกิดการออกซิไดซ์จะเรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) แต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสไปทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ (ปกติเป็นอากาศ) จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ (CO_2) และอื่นๆ การเกิดถ่านด้วยกระบวนการทำให้เกิดก๊าซ (Char gasification) เป็นการรวมตัวกันของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซและของแข็ง และปฏิกิริยาระหว่าง ก๊าซและก๊าซหลายๆ ปฏิกิริยารวมกันเพื่อที่จะเปลี่ยนถ่านไปเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) โดยผ่านปฏิกิริยา Water-gas shift ซึ่งเป็นการออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนจากก๊าซไปเป็นของแข็งโดยปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดช้าที่สุด และเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการทำให้เกิดก๊าซ (Gasification) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะเป็นก๊าซผสมโดยสัดส่วนของ ก๊าซแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและระยะเวลาในการออกซิไดซ์

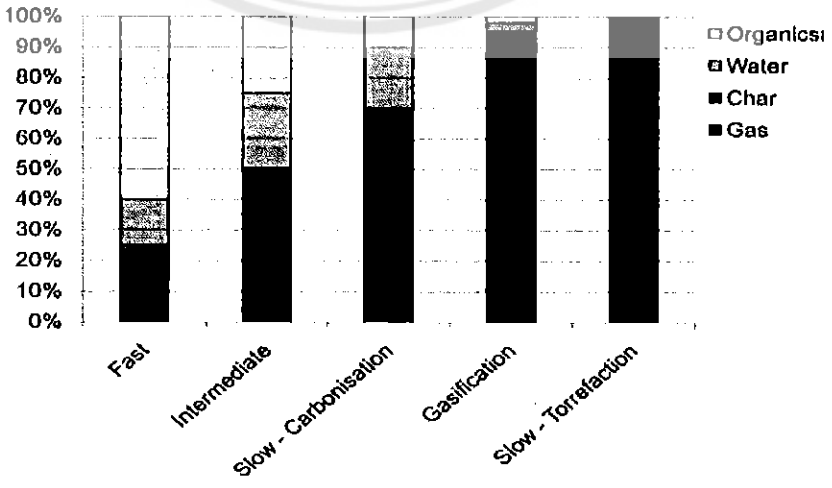
2.1.4.3 ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน ในสภาวะไร้อากาศ โดยเกิดการแตกของพันธะโมเลกุลในองค์ประกอบ จากสายโซ่พันธะเคมียาวๆ กลายเป็นสายโซ่สั้นๆ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนระเหยได้ ก็กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง บางส่วนที่ถูกควบแน่น ก็กลายเป็นของเหลว (น้ำมัน)

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือ การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจน เป็นการสลายวัตถุดิบที่มีองค์ประ- กอบของ คาร์บอนโดยใช้อุณหภูมิสูงระหว่าง 400 – 800 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการออกซิไดซ์ ซึ่งชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ พืชที่มีเซลลูโลส หรือไม้ยืนต้นต่างๆ เศษไม้ ฟาง ฯลฯ วิธีการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานเริ่มจากการลำเลียงและการทำให้ชีวมวลแห้ง เมื่อชีวมวลแห้งดี

แล้วจึงนำไปหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปใส่ในส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปแยกส่วนที่เป็นของแข็งและเถ้าออกจากของเหลว จากนั้นจึงนำส่วนที่เป็นของเหลวไปเก็บไว้ในถังเก็บ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในปฏิกิริยาไพโรไลซิสเป็นความร้อนแบบทางตรงและทางอ้อม ความร้อนทางอ้อมหมายถึงการให้ความร้อนภายนอก ได้แก่การเผาด้วยก๊าซ ส่วนความร้อนทางตรงคือการใช้ลมร้อนจากเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะเป็นของผสมระหว่างก๊าซ ของเหลวและถ่าน สัดส่วนของก๊าซ ของเหลว และถ่านนั้นจะขึ้น ซึ่งสมการการเผาไพโรไลซิสของเซลลูโลส (Cellulose pyrolysis) เป็นดังนี้ $3(C_6H_{10}O_5)$ $8H_2O + C_6H_8O + 2CO + 2CO_2 + CH_4 + H_2 + 7C$ อยู่กับวิธีและรูปแบบของปฏิกิริยาไพโรไลซิส และ ปัจจัยต่างๆ รายละเอียดแสดงดัง รูปที่ 2.1, 2.2 และตารางที่ 2.1



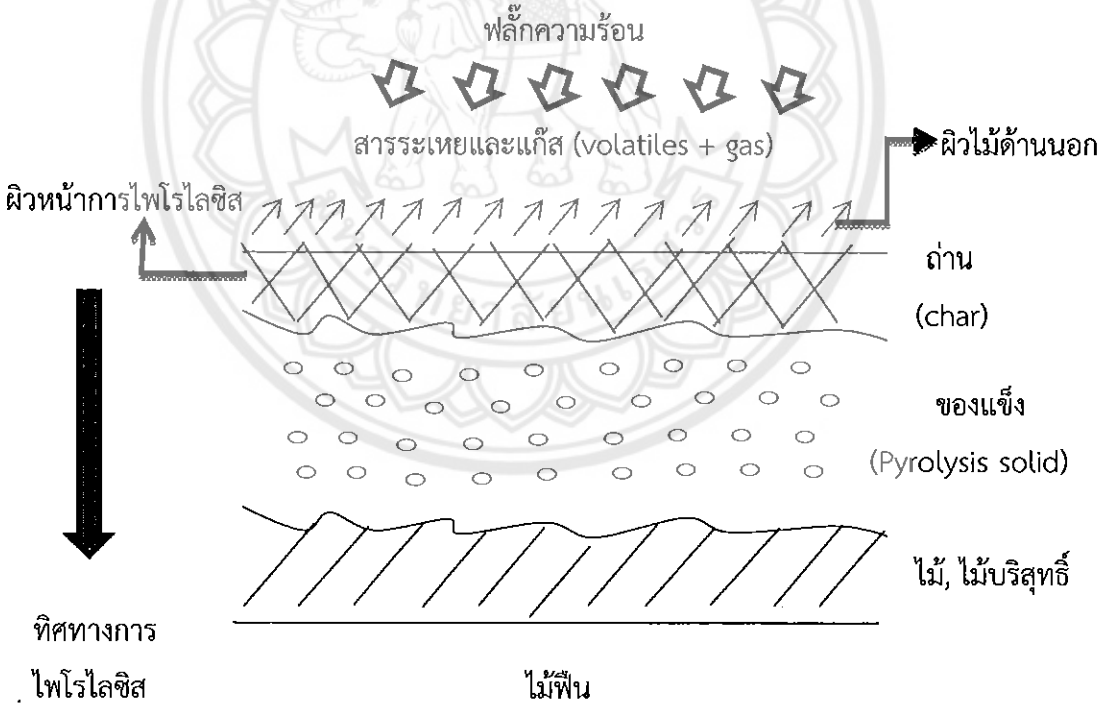
รูปที่ 2.1 กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยกลวิธีทางความร้อน[22]



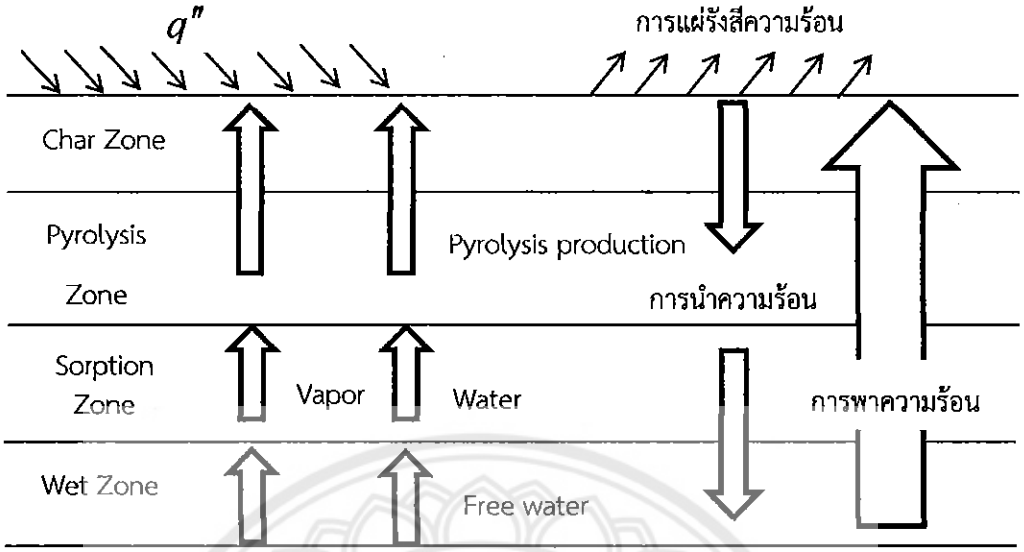
รูปที่ 2.2 ผลผลิตจากกระบวนการ Pyrolysis ที่ใช้เวลาในการ Pyrolysis ที่แตกต่างกัน [22]

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตจากกระบวนการ Pyrolysis (Dry basis) [22]

Typical product weight yields (dry wood basis) obtained by different modes of pyrolysis of wood				
Mode	Conditions	Liquid	Solid	Gas
Fast	≈500 °C, short hot vapor residence time ≈ 1 s	75%	12% char	13%
Intermediate	≈500 °C, hot vapor residence time ≈ 10–30 s	50% in 2 phases	25% char	25%
Carbonization (slow)	≈400 °C, long vapor residence hours ≈ days	30%	35% char	35%
Gasification	≈750–900 °C	5%	10% char	85%
Torrefaction (slow)	≈290 °C, solid residence time ≈ 10–60 s	0% unless condensed, then up to 5%	80% solid	20%



รูปที่ 2.3 รูปแบบการจำลองกระบวนการไพโรไลซิสของการเผาไหม้ไม้ฟืน [23]



รูปที่ 2.4 รูปแบบการจำลองกระบวนการไพโรไลซิสของวัสดุชีวมวล [23]

2.2 ชีวมวลที่เกี่ยวข้อง เมล็ดหูกวาง, กิ่งต้นสะเดาและมูลวัว

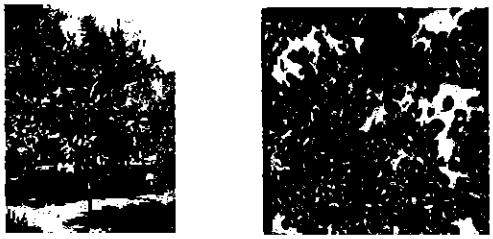
ชีวมวลที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ เมล็ดหูกวาง, กิ่งต้นสะเดาและมูลวัว **รายละเอียดมีดังต่อไปนี้คือ**

2.2.1 **วัสดุเหลือใช้จากต้นหูกวาง ส่วนที่จะนำมาใช้ศึกษาและทำเป็นถ่านอัดแท่ง คือ เมล็ดหูกวาง**

2.2.1.1 ลักษณะทั่วไป: เมล็ดหูกวาง ผลมีลักษณะเป็นรูปไข่หรือรูปรีป้อม และ**แบนเล็กน้อย ความกว้างประมาณ** 2 – 5 **เซนติเมตร** ยาวประมาณ 3 – 7 เซนติเมตร มีสีเปลือกผลสี**เขียว เมื่อแก่จะมีสีเหลือง**ออกน้ำตาล แห้งจะเป็นสีดำคล้ำ เนื้อเปลือกหลุดออกจะเห็นเป็นเส้นใยกระจุก**ตัวแน่นทั่วผล ผล** 1 **ผล** จะประกอบด้วยเมล็ดเพียง 1 เมล็ด ลักษณะเป็นรูปไข่เรียวยาว คล้ายเมล็ดอัล**มอนด์**

2.2.1.2 แหล่งที่มา: บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2.1.3 **ให้ค่าความร้อน: เมล็ดหูกวางมีค่าการเผาไหม้อยู่ที่** 3,434.5 แคลอรี่**ต่อกรัม** [28]



รูปที่ 2.5 **ต้นหูกวางและเมล็ดหูกวาง**

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดหูกวางทางโภชนาการ [24]

องค์ประกอบ (เมล็ดหูกวาง 100 กรัม)	
พลังงาน (แคลอรี่)	594
น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	4
โปรตีน (กรัม)	20.8
ไขมัน (กรัม)	54
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	19.2
ใยอาหาร (กรัม)	2.3
อื่นๆ (กรัม)	3.7

2.2.2 ชีวมวลเหลือใช้จากต้นสะเดา สิ่งที่จะนำมาใช้ศึกษาและทำเป็นถ่านอัดแท่งคือกิ่งไม้

2.2.2.1 ลักษณะทั่วไป: ลักษณะของต้นเป็นทรงเรือนยอดเป็นพุ่มหนาทึบ เปลือกของลำต้นค่อนข้างหนา มีสีน้ำตาลเทาหรือสีเทาปนดำ

2.2.2.2 แหล่งที่นำวัตถุดิบมาใช้: บริเวณอ่างเก็บน้ำ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2.2.3 ให้ค่าความร้อน: มีค่าการเผาไหม้อยู่ที่ 4,244 – 5,043 แคลอรี่ต่อกรัม [4]

รูปที่ 2.6 ต้นสะเดา

2.2.3 มูลวัว [5]

ตารางที่ 2.3 ที่แสดงคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลวัว ค่า % ของแหล่งไขมัน และ % ของเส้นใย จะเป็นส่วนช่วยในการจับตัวกันของถ่านอัดแท่ง [5] จึงนำมูลวัวมาศึกษาในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการจับตัวของถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.7 มูลวัว

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลวัว [5]

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%)
ค่าความเป็นกรด-เบส	7.10
ปริมาณความชื้น	18.55
ปริมาณเถ้า	10.10
ปริมาณเส้นใย	40.20
แหล่งโปรตีน	6.80
แหล่งน้ำมัน	4.00
สารระเหยคาร์บอน	20.35

2.3 กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง [13]

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ต้องผ่านการแปรรูปให้เหมาะสมก่อน โดยมีกระบวนการแปรรูปดังนี้ การผลิตถ่าน การบดย่อย การผสม การอัดเป็นแท่ง และการทำให้แห้ง

การผลิตถ่าน [13] คือ ไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในบริเวณที่มีอากาศอยู่เบาบางหรือกระบวนการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสภาวะที่มีอากาศน้อยมาก เมื่อไม้ได้รับความร้อนเป็นการช่วยกำจัดน้ำ น้ำมันดิน และสารประกอบอื่นๆออกจากไม้ซึ่งถ่านที่ได้หลังการผลิตมีปริมาณของคาร์บอนสูง และไม่มีความชื้น ทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูง โดยมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาณพลังงานในไม้แห้ง สำหรับกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่า "Carbonization" ซึ่งสามารถแยกกระบวนการดังกล่าวออกได้เป็น 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกคือการเผาไหม้ (Combustion) เป็นกระบวนการที่ต้องการปริมาณออกซิเจนจำนวนมากระหว่างการเกิดคาร์บอนไนเซชัน โดยให้ความร้อนกับวัสดุภายในเตาเผาถ่าน ขั้นตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาประเภทดูดความร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อวัสดุในขั้นตอนนี้มีอุณหภูมิสูงถึง 270 °C ทำให้ความชื้นค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหมดไป ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณไอน้ำสีขาวที่เกิดขึ้นจนหนาทึบ ขั้นตอนที่ 3 ของกระบวนการเป็นปฏิกิริยาประเภทคายความร้อน โดยเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 250 – 300 °C ในระหว่างปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้ยังเกิดกรดอะซิติก เมทิลแอลกฮอล์ และสารพวกน้ำมันดิน ในขั้นตอนนี้องค์ประกอบที่ระเหยได้ที่ยังคงอยู่ในกระบวนการจะถูกขับออกไปทำให้ปริมาณคาร์บอนของถ่านเพิ่มขึ้นขั้นตอนที่ 4 เป็นการนำผลิตภัณฑ์ถ่านมาทำให้เย็นซึ่งใช้เวลาหลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของเตาเผาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของถ่านที่ผู้ใช้ยอมรับได้ต้องมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 70 สารระเหยได้ต้องน้อยกว่าร้อยละ 25 ขี้เถ้าประมาณร้อยละ 5 และความหนาแน่นประมาณ 0.35 – 0.80 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ มีลักษณะเปราะปานกลาง

การบดย่อย [13] คือ การนำถ่านที่สุกมีสีดำสนิททั้งก้อนมาบดให้เป็นผงถ่านที่นำมาใช้ในการอัดแท่ง ถ่านที่บดต้องละเอียดพอที่จะนำไปขึ้นรูป ขนาดของผงถ่านที่ใช้นั้นอยู่กับชนิดของถ่านและวิธีการทำผงถ่านให้เป็นแท่ง วิธีการบดย่อยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เครื่องบดเครื่องสับ หรือเครื่องเป่าวัสดุ โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการบดด้วยมือโดยใช้ครกและสากเป็นอุปกรณ์ วิธีนี้ต้องใช้แรงงานมากและใช้เวลานาน จากการอัดขึ้นรูปผงถ่านขนาดต่างๆ พบว่าในปริมาณตัวประสานที่เท่ากัน ผงถ่านที่มีขนาดเล็กสามารถอัดขึ้นรูปและสามารถรับน้ำหนักที่กดทับได้ดีกว่าผงถ่านขนาดใหญ่

การผสม [13] เป็นการผสมผงถ่านที่ผ่านการบดย่อยแล้วกับสารที่ช่วยประสานผงถ่านให้ติดกันง่ายขึ้น ลักษณะของตัวประสานที่ดีต้องมีความชื้นมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงและสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของถ่านได้ทั่วถึง พบว่ากากน้ำตาลและแป้งเปียกเป็นตัวประสานที่ดีถ่านอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนสูงกว่า ปริมาณเถ้าน้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานแต่ข้อเสียของการใช้กากน้ำตาลคือต้องใช้ปริมาณมากกว่าและเมื่อทิ้งไว้ในอากาศชื้นๆ จะดูดความชื้นทำให้อ่อนตัวลงตัว ตัวประสานที่ดีควรมีราคาถูกมีแรงยึดเกาะที่ดีไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นขณะเผาไหม้สามารถหาได้ง่ายส่วนถ่านอัดแท่งที่ไม่ใช้ตัวประสานเมื่ออัดขึ้นรูปเสร็จต้องนำไปใช้เลยเพราะมีความเปราะสูงทำให้หักเป็นท่อนและป่นกระจายได้ง่ายไม่สามารถเก็บรักษาไว้นานๆ

การอัดแท่ง [13] เป็นขั้นตอนการอัดส่วนผสมให้เป็นแท่งการกำหนดขนาดรูปร่างและความแน่นของเนื้อถ่านอัดแท่ง ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งานและความต้องการของผู้ใช้วิธีที่ง่ายสุดก็คือการใช้มือปั้นและการอัดส่วนผสมให้เป็นแท่ง โดยแรงอัดพบว่าถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.35 – 0.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ติดไฟง่ายและไฟไม่มอดเมื่อเติมเชื้อเพลิงสำหรับถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.50 – 0.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การติดไฟค่อนข้างยากและไฟอาจมอดเมื่อเติมเชื้อเพลิงส่วนถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.60 – 0.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ติดไฟยากและไฟมอดง่ายเมื่อเติมเชื้อเพลิงดังนั้นเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นเหมาะสมช่วยทำให้เกิดการลุกไหม้ให้ความร้อนนาน ส่วนเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นน้อยเกินไปเกิดการลุกไหม้และมอดเร็วไม่สะดวกต่อการใช้งานเพราะต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อยๆ แต่เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้เกิดการลุกไหม้ยากและอาจทำให้ไฟที่ติดเชื้อเพลิงดับ

2.3.1 สมบัติและการทดสอบคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง [13]

ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพดีถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุดแต่ต้องมีสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่นๆองค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นหลักในการประเมินคุณภาพคือ

2.3.1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นต่อปริมาณเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งอบแห้งความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงและทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย

2.3.1.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงซึ่งประกอบด้วยซิลิกาแคลเซียมออกไซด์

2.3.1.3 สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหยที่ได้คือส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนออกซิเจนและไฮโดรเจน

2.3.1.4 คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) คือมวลคาร์บอนที่เหลือในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 °C

2.3.1.5 กำมะถันรวม (Total Sulfur)

2.3.1.6 ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) ค่าความร้อนของการสันดาปขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงมีปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูงแต่มีสารที่ระเหยได้ในปริมาณต่างดังนั้นถ่านอัดแท่งที่มีค่าความชื้นสูงมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีรวมทั้งต้องมีสมบัติที่ดีทางด้านอื่นๆ ด้วยคือ

2.3.1.6.1 การแตกปะทุขณะติดไฟถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพดีไม่มีการแตกปะทุหรือมีการแตกปะทุบ้างเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ

2.3.1.6.2 น้ำหนักถ่านอัดแท่งที่มีน้ำหนักพอดีสามารถลุกไหม้ติดไฟได้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน

2.3.1.6.3 ควันถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพดีไม่ควรมีควันหรือกลิ่นฉุนในขณะลุกไหม้ติดไฟ

2.3.1.6.4 ความแข็งและการป่นถ่านอัดแท่งที่มีความแข็งสูง จะช่วยลดอัตราการแตกหัก

สมบัติทางความร้อนทางเชื้อเพลิง (Heating value) คือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นสมบูรณ์ในระบบโดยปกติการสันดาป (Combustion) ของเชื้อเพลิงจากพวกไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจนผลของการสันดาปได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้เป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัวค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงเป็นค่าความร้อนต่ำ การทดสอบหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงด้วยบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ เป็นเครื่องมืออาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วให้พลังงานความร้อนออกมา โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดมาเผาไหม้

กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายในบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ ซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น บีทียูต่อปอนด์ กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และกิโลจูลต่อกิโลกรัม [13]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของรายงาน

ทองทิพย์ พูลเกษม (2542) [6] ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็นเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดการทดลองได้ นำเปลือกทุเรียน 2 พันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี ที่มีความชื้นร้อยละ 75 – 80 สับเป็นชิ้นเล็กๆตากแดดให้เหลือความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 45 จากนั้น นำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น 2 วิธี คือ อัดโดยใช้ตัวประสาน (น้ำหมักชีวภาพและโมลาส) และอัดโดยไม่ใช้ตัวประสานผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่ง และคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบอัดโดยใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสานให้ค่าความร้อนประมาณ 3,600 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3,800 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็นคือ 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2551) [7] การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion) โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน โดยมีสัดส่วนการผสมอยู่ที่ 30:70, 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ สัดส่วนการผสมแป้งมันต่อน้ำหนักวัตถุดิบเท่ากับ 1:10 จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงกด จะแปรผันตามสัดส่วนการผสมของผงซังข้าวโพดและผงกะลามะพร้าว แต่แตกต่างกันไม่มาก การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6,000 – 6,900 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน ความชื้นอยู่ระหว่าง 5.7 – 5.8% โดยน้ำหนัก อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5 กิโลกรัมต่อนาที ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 – 830 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 1.0 – 1.2 เมกะปาสคัล ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ จุดคุ้มทุนของการผลิตถ่านเชื้อเพลิงประมาณ 9,500 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในครัวเรือนหรือผลิตภัณฑ์จำหน่าย

ปรีชา เกียรติกระจาย (2545) [8] ศึกษาการทำถ่านอัดก้อนจากไม้ต่างถิ่นที่มีอายุ 10 ปี ปลูกในเชิงพาณิชย์ บริเวณสถานีเกษตรอ่างขางจังหวัดเชียงใหม่ คือ Acacia confuse, Cinnamomum camphora, Fraxinusgiffithil และLiquidambar Fomosanar โดยศึกษา คือประเมินคุณสมบัติของกิ่งไม้ดิบและกิ่งไม้อบเป็นถ่านที่ 450 °C จากงานวิจัยนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยของสมบัติด้านพลังงานของกิ่งไม้มีปริมาณสารระเหยร้อยละ 81 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 12 ปริมาณขี้เถ้าร้อยละ 0.5 และค่าความร้อนของสันดาป 4,400 แคลอรี่ต่อกรัม และผงถ่านมีปริมาณสารระเหยร้อยละ 19 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 67 ปริมาณขี้เถ้าร้อยละ 2.0 และค่าความร้อนของการสันดาป 6,500 แคลอรี่ต่อกรัม

ธีรพจน์ พุทธิกีกฎวีวงศ์ (2549) [9] ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง ซึ่งเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในรูปของเชื้อเพลิงโดยนำเอาต้นถั่วเหลืองไปเผาให้เป็นถ่านมาบดอัดเป็นแท่ง และใช้มันสำปะหลังสดเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนตัวประสานต่อถ่านที่ดีที่สุดคืออัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อน 21.30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสประมาณร้อยละ 26 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรและสารระเหยน้อยกว่า แต่มีปริมาณเถ้ามากกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านอัดแท่งจากถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนทดแทนการใช้ฟืนและถ่านได้

2.4.2 งานวิจัยด้านการศึกษาสมบัติการจุดติดไฟ

กิตติเชษฐ์ เกียรตินัยดิษกุล และเกียง วงษ์ล้วนงาม [10] ได้ทำการศึกษาถ่านอัดแท่งชีวมวลจากเปลือกผลสบู่ดำใช้อัตราส่วนผงถ่านต่อตัวประสานที่ 70:30 โดยศึกษาสมบัติด้านการเผาไหม้จากผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกผลสบู่ดำ ใช้เวลาในการจุดติดไฟประมาณ 10 นาที สามารถให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 5 นาที ถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อนประมาณ 4,912 แคลอรี่ต่อกรัม

Phonphuak และ Thiansem (2555) [11] ได้ทำการศึกษาการทดสอบถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจุดติดไฟของถ่านอัดแท่ง โดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของถ่านอัดแท่ง ที่ประกอบด้วย สารเติมแต่ง 2.5% ถ่านที่มีขนาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ผสมกับดินหางดง ในการศึกษานี้ทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิ 900 – 1,100 องศาเซลเซียส และผลที่ดีที่สุดคือ การจุดติดไฟที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส จะมีผลเป็นไปตามที่ต้องการอย่างมาก ซึ่งคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของการทดสอบการจุดติดไฟถ่านอัดแท่งจะทำให้มีความทนทานมากขึ้นและมีรูพรุนแข็งแรง เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านทางการค้าในปัจจุบันที่ได้รับการทดสอบ

2.4.3 งานวิจัยที่ศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพและขนาดของถ่านอัดแท่ง

ธฤต สวัสดิ์พิพัฒน์ และ ปิยะ โกศัลวิตร (2555) [12] ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อชุมชน ด้วยวิธีการอัดแบบไฮดรอลิค ใช้อัตราส่วนระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่ 80 : 20 โดยนำเอาเศษไม้กระถินยักษ์มาทำเป็นถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งระบบไฮดรอลิค ที่ไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งใช้เวลาเพียง 12 นาที สามารถอัดแท่งถ่านได้จำนวน 16 แท่ง และถ่านที่ได้จะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายใน เท่ากับ 60 และ 18 มิลลิเมตร มีความยาวปประมาณ 60 มิลลิเมตร ถ่านอัดแท่งที่ทำการผลิตใช้อัตราส่วนผสมผงถ่านไม้กระถินยักษ์ต่อน้ำแป้ง เท่ากับ 80 ต่อ 20 และมีการผสมน้ำมันพืชที่ใช้แล้วอีก 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อน ถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อนประมาณ 7,486 แคลอรี่ต่อกรัม

Nuriana, Anisa และ Martana (2552) [13] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์เบื้องต้นของเปลือกทุเรียนเป็นถ่านอัดแท่งชีวภาพสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือก โดยทำการพัฒนาและทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพจะทดสอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่ามีความชื้น 0.01% สารระเหย 3.94% เถ้า 18.18% และคาร์บอนคงตัว 77.87% ส่วนการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี จะพบ ปริมาณความชื้น 0.09% ความหนาแน่น 0.99 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่าความร้อนของถ่านมีค่าเท่ากับ 6,274.29 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งในการอัดแท่งจะใช้แรงดันขนาด 15.10 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ถ่านที่ได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร และมีความสูง 6.5 เซนติเมตร

Nyakuma และคณะ (2555) [14] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงจากเศษผลไม้เหลือทิ้ง และการอัดก้อน โดยการวิเคราะห์ความร้อนได้ดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส โดยกำหนดอัตราความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เช่น ความชื้น และผลของวัสดุประสานต่ออัตราความร้อนและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แล้วนำถ่านอัดก้อนมาไพโรไลซิส จะทำให้ถ่านอัดก้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณความชื้นที่ลดลง

2.4.4 งานวิจัยที่ศึกษาด้านอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง

Prasityousil และ Muenjina (2556) [15] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดก้อนจากขยะเหลือทิ้งของวัสดุทำปุ๋ยหมัก โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสมเชื้อเพลิงอัดก้อนระหว่างขยะเหลือทิ้งของวัสดุทำปุ๋ยหมัก และถ่านขี้เลื่อย ในการอัดก้อนทำจากอัตราส่วนต่างๆ ของวัสดุเหลือทิ้งต่อถ่านขี้เลื่อย : 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราส่วน 20:80 จะมีค่าความร้อนสูงสุดแรงอัดสูงสุดต้านทานน้ำ และมีความหนาแน่นเหมาะสมที่สุด

สำหรับการผลิตของเชื้อเพลิงอัดก้อน การอัดก้อนเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นเป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายใน 3.8 และ 1.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความสูง 15 เซนติเมตร

สุพรรณ ยั่งยืน และจักรมาส เลาหวณิช (2555) [16] ได้ทำการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น โดยนำเอาแกลบเผามาผสมกับผักตบชวาบด และแกลบเผาผสมกับกากอ้อย ใช้แป้งมันเป็นตัวประสาน ทำการศึกษาที่อัตราส่วน 50:37.5:12.5, 62.5:25:12.5 และ 75:12.5:12.5 ซึ่งแกลบเผาผสมกับกากอ้อยที่อัตราส่วน 75:12.5:12.5 จะให้พลังงานความร้อนมากที่สุด อีกทั้งยังใช้เวลาในการเผาไหม้นานที่สุด

พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคณะ (2552) [17] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของแป้งมันต่อการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากตะเกียบไม้ไผ่ที่ใช้แล้วโดยใช้น้ำและแป้งมันเป็นตัวประสาน ด้วยการนำเอาตะเกียบไม้ไผ่ที่ใช้แล้วมาเผาแบบอับอากาศ จนกลายเป็นถ่าน นำมาผสมกับแป้งมันและน้ำแล้วนำไปอัดแท่ง จากอัตราส่วนผสมของผงถ่าน 1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 0.25 กิโลกรัม ต่อแป้งมัน 0.1, 0.125, 0.15, 0.17 และ0.19 กิโลกรัม ซึ่งอัตราส่วนผงถ่าน 1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 0.25 กิโลกรัม ต่อแป้งมัน 0.17 กิโลกรัม จะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ชุลีพร ไชยโยชน์ (2549) [18] ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหญ้านวลน้อย โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้ ได้แก่ ใบอ้อย ยอดอ้อย ซังข้าวโพด ก้านทางปาล์มน้ำมัน ต้นมันสำปะหลัง และฟางข้าว ซึ่งจะใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบกับตัวประสานที่ 50:40:10 30:60:10 20:70:10 20:60:10 และ 10:80:10 ซึ่งอัตราส่วน 50:40:10 จะมีค่าความร้อนสูงสุด แต่อัตราส่วน 20:70:10 จะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน

จากผลการวิจัยข้างต้น ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง อัตราส่วนที่ใช้ รวมไปถึงอัตราส่วนที่ดีที่สุดระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน ซึ่งผลการวิจัยข้างต้นส่วนใหญ่ใช้อัตราส่วนระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่ 80 : 20 งานวิจัยนี้จึงได้นำอัตราส่วนนี้มาประยุกต์ใช้กับการทำโครงงาน

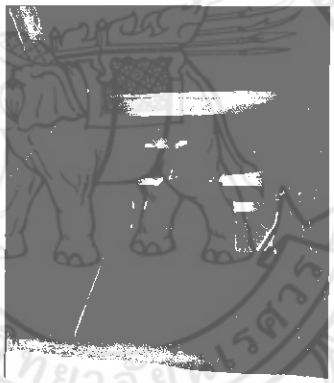
บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

บทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำถ่านอัดแท่งและการทดลอง ขั้นตอนการทำถ่าน รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

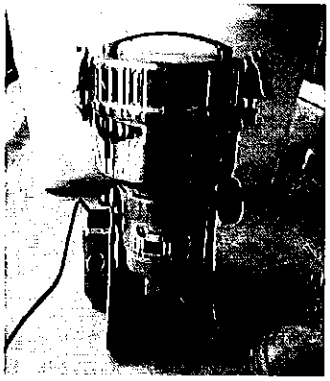
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมถ่าน

3.1.1.1 เตาเผาถ่าน [29] สำหรับเผาวัตถุดิบให้กลายเป็นถ่าน โดยใช้วิธีการเผาแบบอับอากาศ มีระบบมอเตอร์เพื่อทำการหมุนให้ขี้วมวลมีการเผาไหม้ที่ทั่วถึงและเกิดการเผาไหม้กลายเป็นถ่านได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เตาเผาถ่าน [29]

3.1.1.2 เครื่องบดละเอียด สำหรับบดละเอียดวัตถุดิบที่จะใช้เป็นส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง เป็นเครื่องปั่นความเร็วสูง (Universal high-speed grinder) จากประเทศจีน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องบด

3.1.1.3 เครื่องร่อน สำหรับคัดขนาดผงถ่านตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.3 เครื่องร่อนมีทั้งหมด 5 ขนาด คือ 425, 250, 180, 150 และ 45 ไมโครเมตร แต่ขนาดที่นำมาใช้คัดผงถ่านคือ 250 ไมโครเมตร

รูปที่ 3.3 เครื่องร่อน

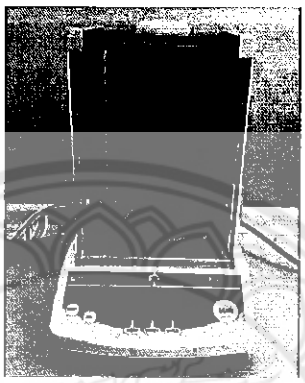
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่าน

3.1.2.1 เครื่องอัดถ่านระบบไฮโดรลิค ใช้แม่แรงขนาด 10 ตัน เป็นระบบอัดไฮโดรลิคโดยใช้มือโยก มีจำนวนทั้งหมด 16 กระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 60 mm และ เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 20 mm [19] ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องอัดระบบไฮโดรลิค [19]

3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

3.1.3.1 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Summit Balances รุ่น SI-234 ดังรูปที่ 3.5

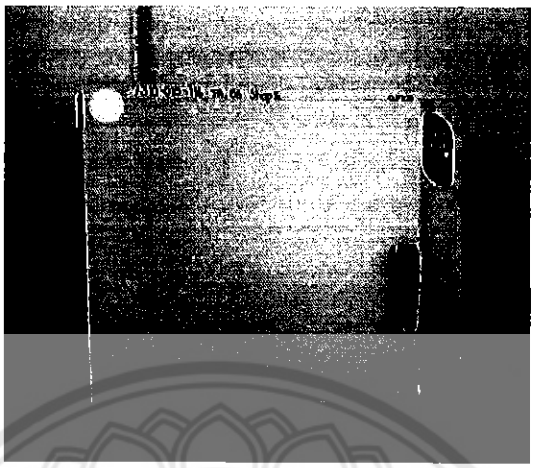


รูปที่ 3.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.1.3.2 เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS ดังรูปที่ 3.6 ใช้ในการชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่งเพื่อใช้หาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 3.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.1.3.3 ตู้อบ เพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้น รุ่น OP 100 ดังรูปที่ 3.7

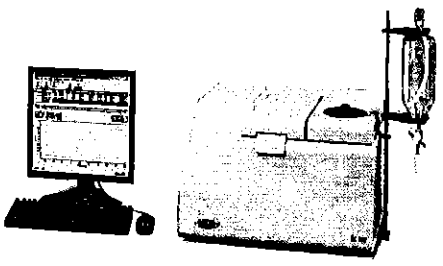


รูปที่ 3.7 ตู้อบ

3.1.3.4 เตาเผา เพื่อหาค่า Proximate analysis ดังรูปที่ 3.8

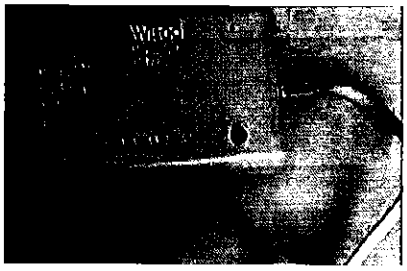
รูปที่ 3.8 เตาเผา

3.1.3.5 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ยี่ห้อ Bomb Calorimeter Leco AC500 เพื่อหาค่าความร้อนของวัตถุดิบ และถ่านอัดแท่ง ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น (แคลอรี่ต่อกรัม) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ (Bomb calorimeter)

3.1.3.6 Data Logger ML23 ยี่ห้อ mini Wisco ML23 ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลในระหว่างการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง ดังรูปที่ 3.10 โดยเชื่อมกับคอมพิวเตอร์

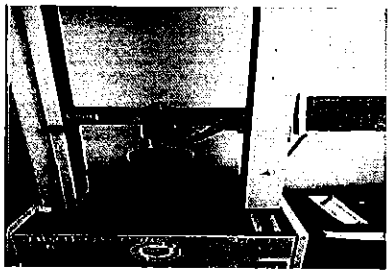


รูปที่ 3.10 Data Logger ML23

3.1.3.7 เทอร์โมคัปเปิล Type-K รุ่น SKJB 30 ใช้วัดอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง โดยจะนำเอาหัวเทอร์โมคัปเปิลเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm สอดเข้าไปวัดอุณหภูมิที่รูตรงกลางของถ่าน ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เทอร์โมคัปเปิล Type-K รุ่น SKJB 30

3.1.3.8 Universal test ยี่ห้อ Lloyds LR10K Plus 10kN Advanced Universal Testing System รุ่น LR 10K Plus ใช้กับ lord cell ได้ 3 ขนาด คือ 500 N, 5 kN และ 10 kN ซึ่งเป็นเครื่องวัดแรงกดของถ่าน



รูปที่ 3.12 Universal test รุ่น LR 10K Plus

3.2 ขั้นตอนการทำถ่าน

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมผงถ่าน

1) นำเมล็ดหูกวาง และกิ่งต้นสะเดามาตากให้แห้ง นาน 3-5 วัน และน้ำหนักหายไป 50-60% โดยน้ำหนักเดิม
2) นำเมล็ดหูกวางและกิ่งต้นสะเดาที่ได้มาเผาให้เป็นถ่าน ในเตาเผาถ่าน แสดงในรูปที่ 3.1
3) นำถ่านเมล็ดหูกวางและกิ่งต้นสะเดาไปบด และร่อนแยกให้ได้ขนาดประมาณ 250 ไมโครเมตร

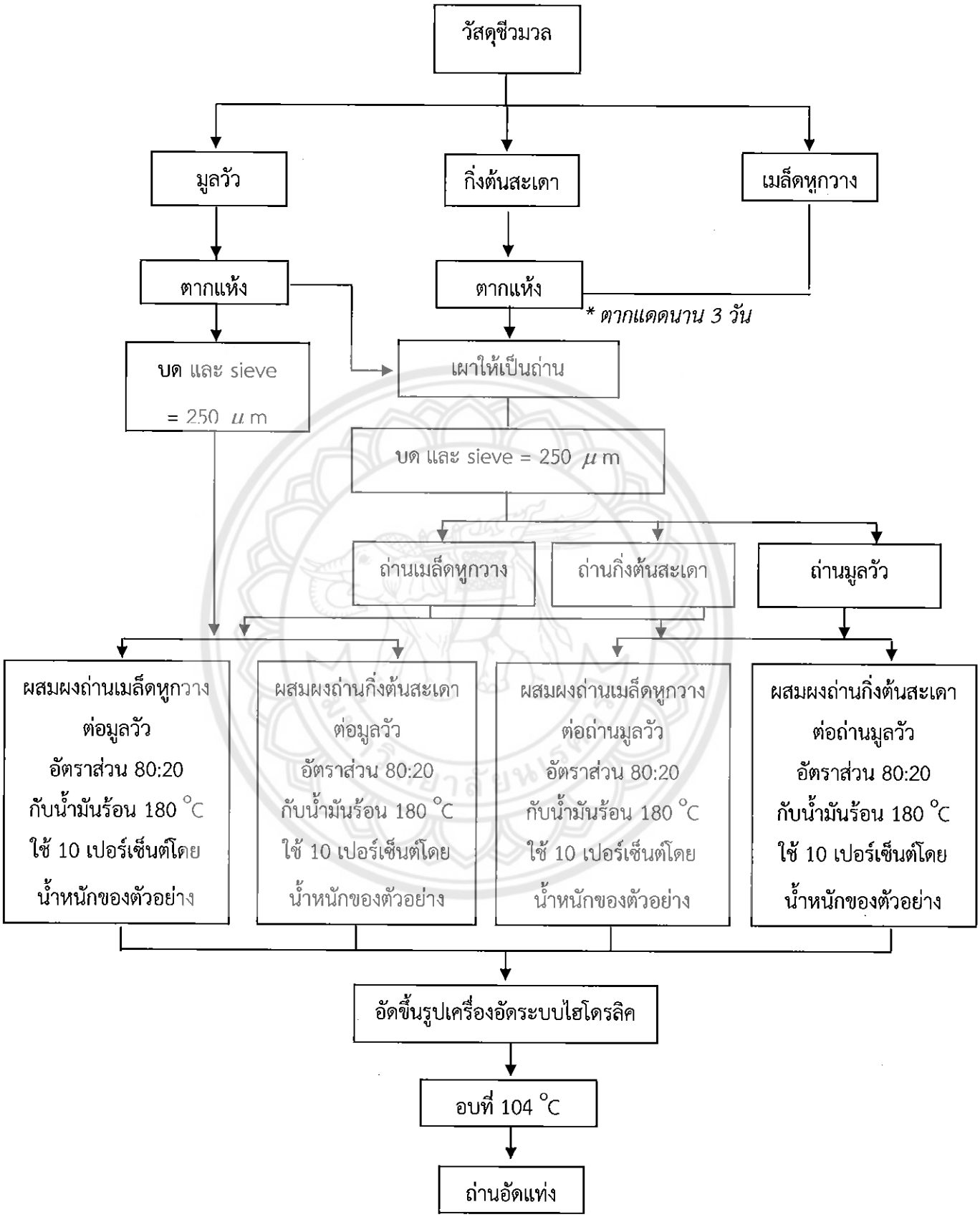
การเตรียมมูลวัว

1) นำมูลวัวมาตากให้แห้ง
2) นำมูลวัวแห้งมาบดละเอียดด้วยเครื่องบด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.2 การผสม และอัดแท่ง

การผสมผงถ่านคือ นำมูลวัวและถ่านมูลวัวส่วนหนึ่งมาผสมกับถ่านชีวมวลในอัตราส่วน 20:80

หลังจากทำการผสมสัดส่วน จะนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาต้มที่อุณหภูมิ 180 ^{o}C ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างมาผสม เพื่อเป็นการเพิ่มค่าความร้อน และเป็นตัวประสานให้กับถ่านอัดแท่ง ก่อนจะทำการอัดถ่านด้วยเครื่องอัดระบบไฮโดรลิค แม่แรงขนาด 10 ตัน จากนั้นนำผงถ่านใส่ลงในเครื่องอัดแล้วโยกแม่แรง เมื่อได้ถ่านอัดแท่งให้นำไปอบในตู้อบ ดังรูปที่ 3.7 เพื่อเป็นการอบไล่น้ำ ดังนั้นกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง

25
1723290
สำนักหอสมุด
27 มี.ค. 2561

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล [12, 24]

การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองนี้ จะทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อน วิเคราะห์สมบัติของถ่าน หาค่าความหนาแน่น และวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้ ตามมาตรฐาน มผช.238/2547 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 238/2547) มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การหาค่าความร้อน

การหาค่าความร้อน จะหาค่าโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ค่าที่วัดได้จะเป็น higher heating value ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี่ต่อกรัม (แคลอรี่ต่อกรัม) ในการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอริ-มิเตอร์

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของถ่าน

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านจะวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate analysis โดยวิธีนี้จะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว

1) ความชื้น (Moisture content) การหาค่าความชื้นจะดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D 3173 [10]
2) สารระเหย (Volatile matter) การหาค่าสารระเหยจะดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D 3175 [10]
3) เถ้า (Ash content) การหาเถ้าจะดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D 3174 [10]
4) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon content) จะคำนวณค่าความต่างจากค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า

3.3.3 การหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density)

การหาค่าความหนาแน่น จะทำการชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง เพื่อทราบมวลถ่านอัดแท่ง จากนั้นจะคำนวณปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของถ่านอัดแท่ง เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่น

3.3.4 การวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้

การวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้ จะทำการวัดตั้งแต่เริ่มจุดไฟจนกระทั่งถ่านกลายเป็นเถ้า โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สอดเข้าไปวัดอุณหภูมิที่รูตรงกลางของถ่านและต่อเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

3.3.5 การวัดค่าความต้านทานแรงกด (Compressive strength)

วัดโดยใช้เครื่อง Universal tensile testing machine จะได้วัดค่า lode กับ เวลาที่ดำเนินไป

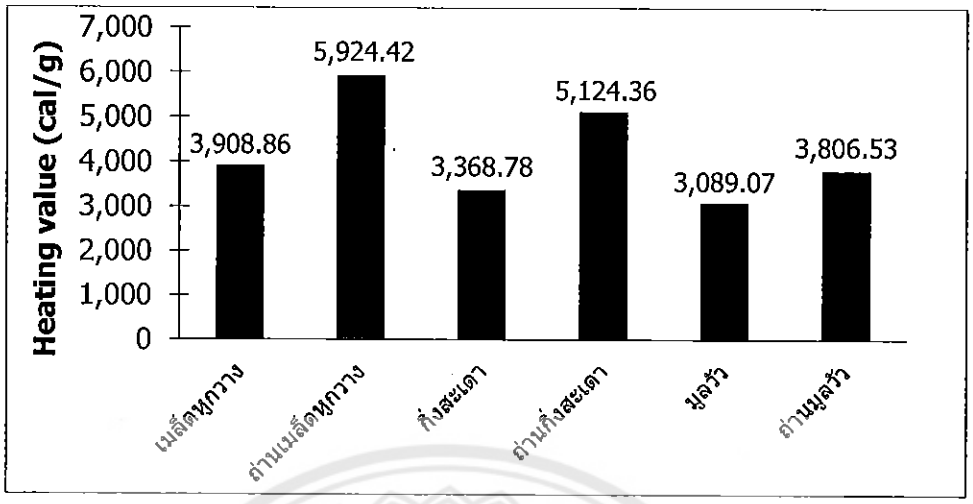
บทที่ 4
ผลการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองในด้านต่างๆของสมบัติของถ่านอัดแท่ง คือ ค่าความร้อน (Heating value), การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (Proximate analysis), อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้, ความหนาแน่น และค่าความต้านทานแรงกดของถ่านชีวมวลผสมมูลวัวกับถ่านชีวมวลผสมถ่านมูลวัว เพื่อทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล

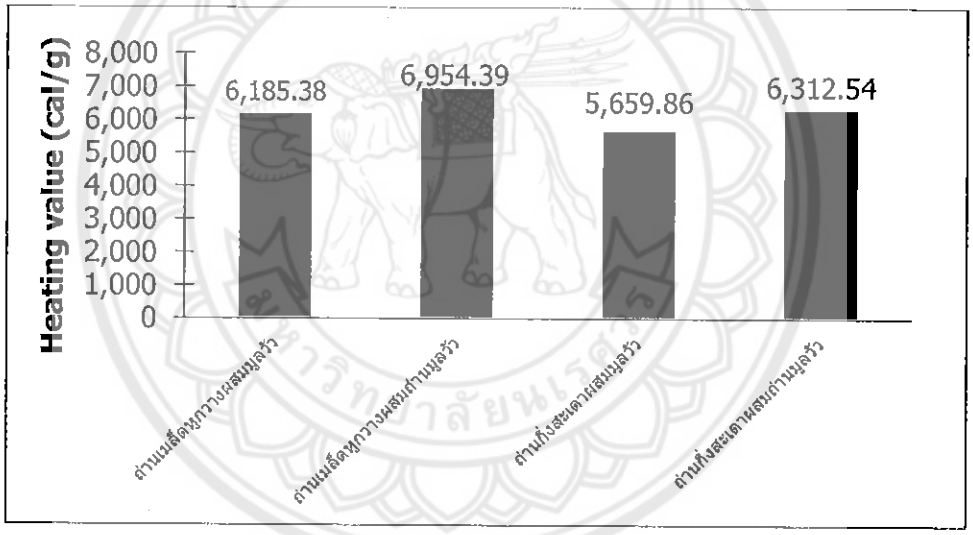
4.1 ค่าความร้อน

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าความร้อนของชีวมวล และถ่านชีวมวล จากการทดลองพบว่า ค่าของความร้อน (Heating value) ของถ่านอัดแท่งแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันออกไปซึ่งเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว > ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว > ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว > ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากค่าความร้อนของชีวมวลและถ่านชีวมวลจากมากไปน้อย สอดคล้องกับการผลิตถ่านอัดแท่งเรียงจากมากไปน้อยกล่าวคือ ถ่านเมล็ดหูกวาง ถ่านกิ่งสะเดา เมล็ดหูกวาง ถ่านมูลวัว กิ่งสะเดา และ มูลวัว พบว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวให้ค่าความร้อนสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับถ่านทางการค้า ประมาณ 7,000 แคลอรี่ต่อกรัม [27]

ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเป็นชีวมวลค่าของปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหย, และปริมาณเถ้าที่สูงจึงทำให้ค่าของคาร์บอนคงตัวมีค่าน้อย ต่อมาเมื่อนำชีวมวลมาเผาผ่านกระบวนการของไพโรไลซิสทำให้ได้ถ่านชีวมวล เป็นผลให้ค่าของปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้า มีค่าลดลงทำให้ได้ค่าของคาร์บอนคงตัวสูงขึ้น จึงทำให้ถ่านชีวมวลมีค่าความร้อนสูงกว่าชีวมวล ดังนั้นเมื่อนำถ่านชีวมวลมาผสมกับถ่านมูลวัว จึงส่งผลให้ค่าของความร้อนสูงขึ้นกว่าการนำถ่านชีวมวลผสมกับมูลวัว และเนื่องจากถ่านเมล็ดหูกวางมีแหล่งของน้ำมัน 54 กรัม : 100 กรัม [24] และเป็นเมล็ดเปลือกแข็งจึงส่งผลให้ค่าของความร้อนของถ่านชีวมวลที่ได้สูงสุด



รูปที่ 4.1 ค่าความร้อนของชีวมวลและด่านชีวมวล



รูปที่ 4.2 ค่าความร้อนของด่านชีวมวล

4.2 สมบัติทางเคมี (Proximate analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า ส่วนค่าคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการนำค่าที่วิเคราะห์มาได้ทั้งสามค่ารวมกัน แล้วนำไปหักล้างกับ 100 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวล ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ครั้ง คิดผลเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อให้ข้อมูลมีความแม่นยำ และทำการเปรียบเทียบกับค่าของสมบัติทางเคมีกับงานวิจัยอื่น โดยกิ่งสะเดาในงานวิจัยนี้ มีปริมาณเถ้า 7.92%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 28.52% เทียบกับงานวิจัยอื่น [20] กิ่งสะเดามีปริมาณเถ้า 5.60%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 35.00% พบว่าจะมีค่าสอดคล้องกัน และเมล็ดหูกวางในงานวิจัยนี้ มีค่าปริมาณสารระเหย 37.83%, ปริมาณเถ้า 15.26%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 39.47% ซึ่งสอดคล้องกับกับงานวิจัยอื่นที่มี ค่าปริมาณสารระเหย 39.47%, ปริมาณเถ้า 19.30%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 39.30% [28]

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีที่อัตราส่วนชีวมวลต่อตัวประสานเท่ากับ 80:20

ถ่านอัดแท่งชีวมวล	ตัวประสาน	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
มูลวัว	-	7.44	37.83	15.26	39.47
ถ่านเมล็ดหูกวาง	-	5.98	13.18	9.77	71.07
ถ่านกิ่งสะเดา	-	4.43	26.03	7.68	61.86
ถ่านมูลวัว	-	3.56	23.64	10.07	62.73
ถ่านเมล็ดหูกวาง	มูลวัว	6.42	22.97	14.24	56.37
ถ่านกิ่งสะเดา	มูลวัว	7.30	23.85	17.58	51.27
ถ่านเมล็ดหูกวาง	ถ่านมูลวัว	7.51	18.01	12.85	61.63
ถ่านกิ่งสะเดา	ถ่านมูลวัว	4.49	19.27	15.00	61.24

การวิเคราะห์หาค่าปริมาณของสารระเหยในงานวิจัยนี้ อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากทำการวิเคราะห์ไม่ได้ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 เนื่องจากเตาเผาที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีข้อจำกัด คือ การตั้งค่าของเครื่องมีความคลาดเคลื่อน เมื่อตั้งค่าความร้อนให้สูงถึงกำหนด เครื่องจะตัดระบบการเพิ่มความร้อนและความร้อนจะลดลง ผู้ทำการวิจัยจึงตั้งค่าอุณหภูมิสูงกว่ากำหนดและรออุณหภูมิลดลงใกล้ตามอุณหภูมิที่กำหนดจึงนำเอาตัวอย่างใส่ลงไปในเตาเผาเพื่อวัดค่า และระหว่างการทดลองมีการยกวัสดุทดสอบเข้าและออกอาจทำให้มีอากาศเข้ามาทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ ไม่ได้ทำการเติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในตัวเตาและถ่าน อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ จึงน่าจะทำให้ผลการวิเคราะห์ยังคงเป็นไปตามทฤษฎี

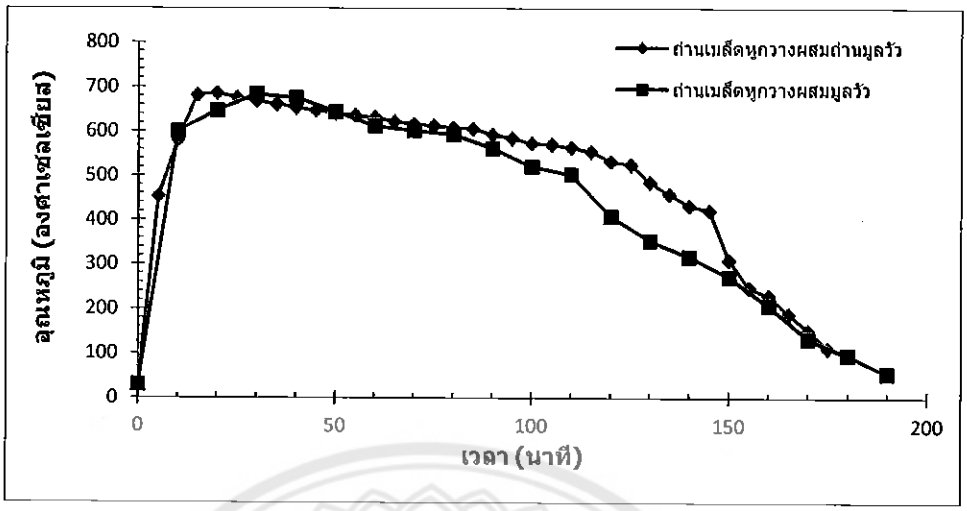
ในส่วนของการวิเคราะห์หาค่าการเป็นเถ้า อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องมาจากไม่สามารถทำตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ได้เช่นเดียวกัน เตาเผาที่ใช้มีข้อจำกัดเรื่องของค่าอุณหภูมิในการเผาสูงสุดอยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส จึงต้องทำการเผานานกว่าปรกติจาก 6 ชั่วโมง เป็น 12 ชั่วโมง หรือจนกว่าถ่านมีลักษณะเป็นสีขาวทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ จึงน่าจะทำให้ผลการวิเคราะห์ยังคงเป็นไปตามทฤษฎีเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ พบว่าเมื่อไม่ได้ทำการผสมมูลวัวหรือถ่านมูลวัว ส่งผลให้ถ่านมีความหนาแน่นรวมที่ต่ำ เปราะ แตกได้ง่าย จึงทำการผสมผงถ่านชีวมวล ขนาด 250 ไมโครเมตรกับผงมูลวัว ขนาด 250 ไมโครเมตร และทำการผสมผงถ่านชีวมวล ขนาด 250 ไมโครเมตรกับผงถ่านมูลวัว ขนาด 250 ไมโครเมตร ทำให้ค่าของความหนาแน่นดีขึ้นและค่าของคาร์บอนคงตัวไม่ได้เปลี่ยนไปมากจึงเลือกใช้ถ่านชีวมวลผสมมูลและถ่านชีวมวลผสมถ่านมูล ซึ่งจากตารางที่ 4.1 ค่าคาร์บอนเสถียรหรือคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งผสมมูลวัวและถ่านมูลวัวเรียงลำดับจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว 61.63% ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว 61.24% ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว 56.37% และถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว 51.27% และคาร์บอนคงตัวของชีวมวลเรียงจากลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวาง 71.07% ถ่านมูลวัว 62.73% ถ่านกิ่งสะเดา 61.86% และ มูลวัว 39.47%

4.3 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้

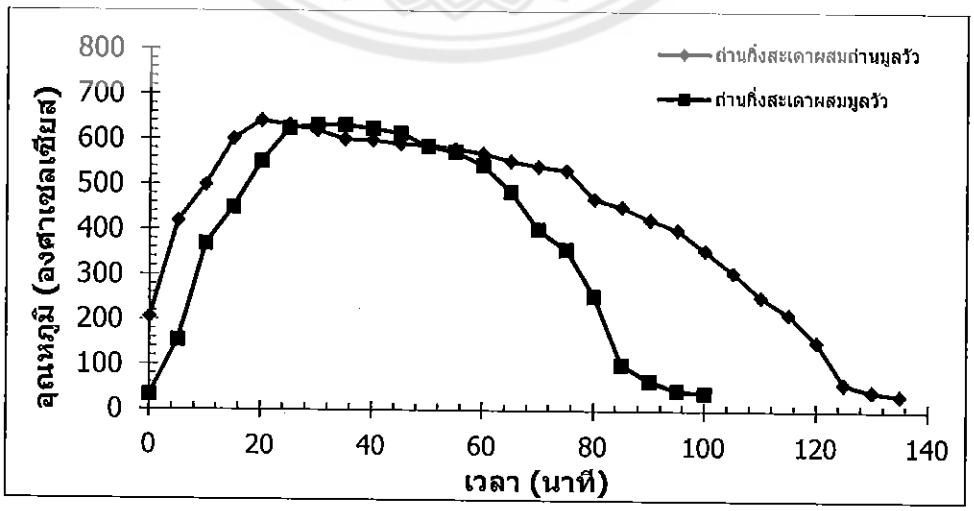
ในการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งผสมมูลวัวและถ่านมูลวัว อัตราส่วน 80:20 เปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งทางการค้า โดยเผาถ่านจนกลายเป็นเถ้า

จากรูปที่ 4.3 สังเกตเห็นได้ว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวให้ค่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 685 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 683 องศาเซลเซียส โดยค่าความร้อนของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว ให้ค่าความร้อนที่สม่ำเสมอและคงที่มากกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว สังเกตจากกราฟที่ช่วงเวลาที่ 50 ถึง 150 นาที ซึ่งสามารถอภิปรายได้ว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีค่าของการเผาไหม้ที่ดีกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว เนื่องด้วยถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีค่าความร้อนที่สูงกว่า และค่าของความหนาแน่นรวมสูงกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว



รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว (80:20)

จากรูปที่ 4.4 สังเกตเห็นได้ว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัวให้ค่าการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 642 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 633 องศาเซลเซียส โดยค่าความร้อนของถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว มีการให้ค่าความร้อนที่สม่ำเสมอและใช้เวลาในการเผาไหม้นานมากกว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว สังเกตจากกราฟที่ช่วงเวลาที่ 20 ถึง 100 นาที ซึ่งสามารถอภิปรายได้ว่า ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัวมีค่าของการเผาไหม้ที่ดีถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว และให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ที่นานกว่า โดยถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัวใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานถึง 120 นาที ส่วนถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัวมีระยะเวลาในการเผาไหม้เพียง 80 นาที



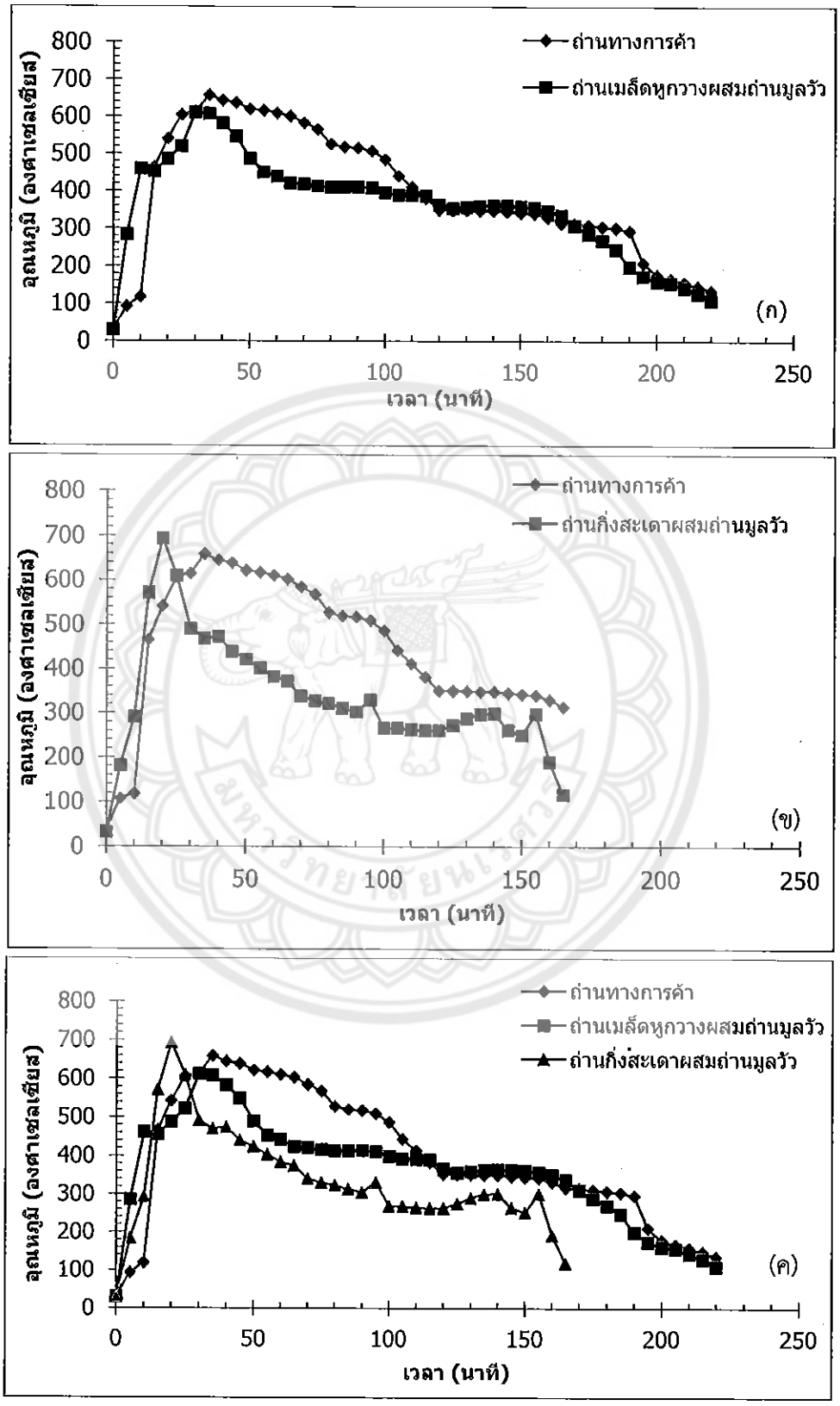
รูปที่ 4.4 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว (80:20)

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 สามารถสรุปได้ว่า ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีระยะเวลาในการเผาไหม้ดีที่สุด โดยมีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว เพราะมีค่าของคาร์บอนคงตัวมากกว่า

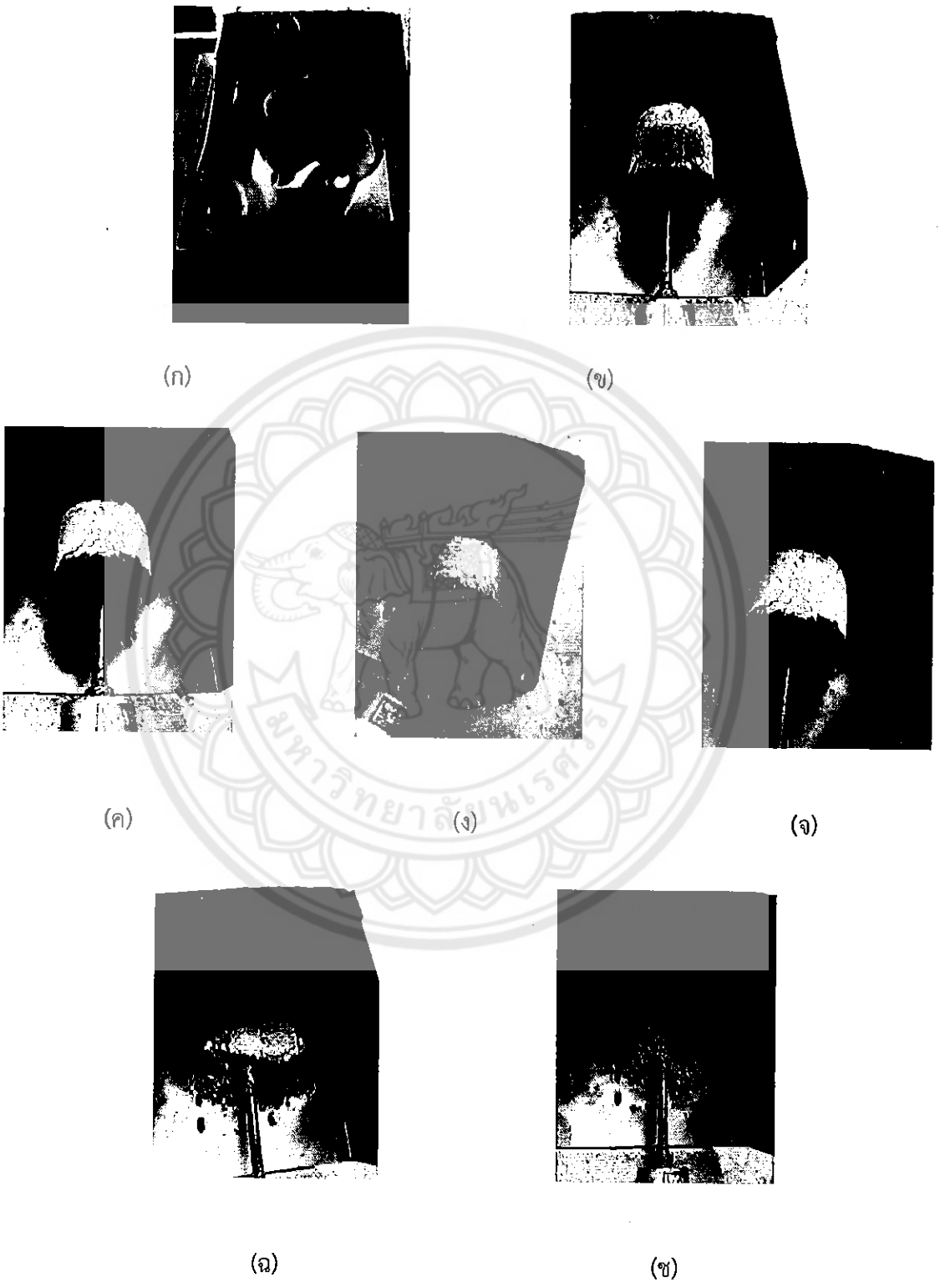
รูปที่ 4.5 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านทางการค้า ถ่านทางการค้ามีค่าการให้ความร้อนได้ดีกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว และมีค่าความร้อนต่อเวลาที่ค่อนข้างคงที่ แต่ทว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวใช้เวลาในการเผาไหม้ที่เทียบเท่ากับถ่านทางการค้า และจะเห็นได้ว่าช่วง 0-20 นาทีของกราฟถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีการเผาติดไฟได้ดีกว่าถ่านทางการค้า ซึ่งเราได้ทำการทดลองพร้อมกันในรางเดียวค่าของการเผาไหม้แล้วให้ความร้อนของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวสูงสุดอยู่ที่ 612 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3 ได้ค่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 683 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าไม่ต่างกันมากเพราะด้วยขนาดและช่องว่างของกล่องเผาถ่านต่างกันทำให้อากาศที่เข้าไปช่วยในการเผาไหม้ต่างกันด้วย และเนื่องด้วยเราได้มีการป้องกันโดยนำแผ่นฉนวนกันความร้อนมากั้นระหว่างถ่านทั้งสองก้อนเรียบร้อยแล้วจึงทำให้ค่าไม่ได้ต่างกันมากเท่าไหร่

รูป 4.5 (ข) แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว (80:20) กับถ่านทางการค้า ถ่านทางการค้ามีค่าการให้ความร้อนได้ดีกว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว และมีค่าความร้อนต่อเวลาที่ค่อนข้างคงที่ สังเกตได้ชัดว่าที่เวลา 170 นาที ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัวค่าความร้อนตกมาอยู่ที่ 105 °C ใช้เวลาในการเผาไหม้น้อยกว่าถ่านทางการค้า และและจะเห็นได้ว่าช่วง 0-20 นาทีของกราฟ ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว มีการเผาติดไฟได้ดีกว่าถ่านทางการค้า ซึ่งเราได้ทำการทดลองพร้อมกันในรางเดียวค่าของการเผาไหม้แล้วให้ความร้อนของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวสูงสุดอยู่ที่ 693 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4 ได้ค่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 642 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าไม่ต่างกันมากเพราะด้วยขนาดและช่องว่างของกล่องเผาถ่านต่างกันทำให้อากาศที่เข้าไปช่วยในการเผาไหม้ต่างกันด้วย และเนื่องด้วยเราได้มีการป้องกันโดยนำแผ่นฉนวนกันความร้อนมากั้นระหว่างถ่านทั้งสองก้อนเรียบร้อยแล้วจึงทำให้ค่าไม่ได้ต่างกันมากเท่าไหร่

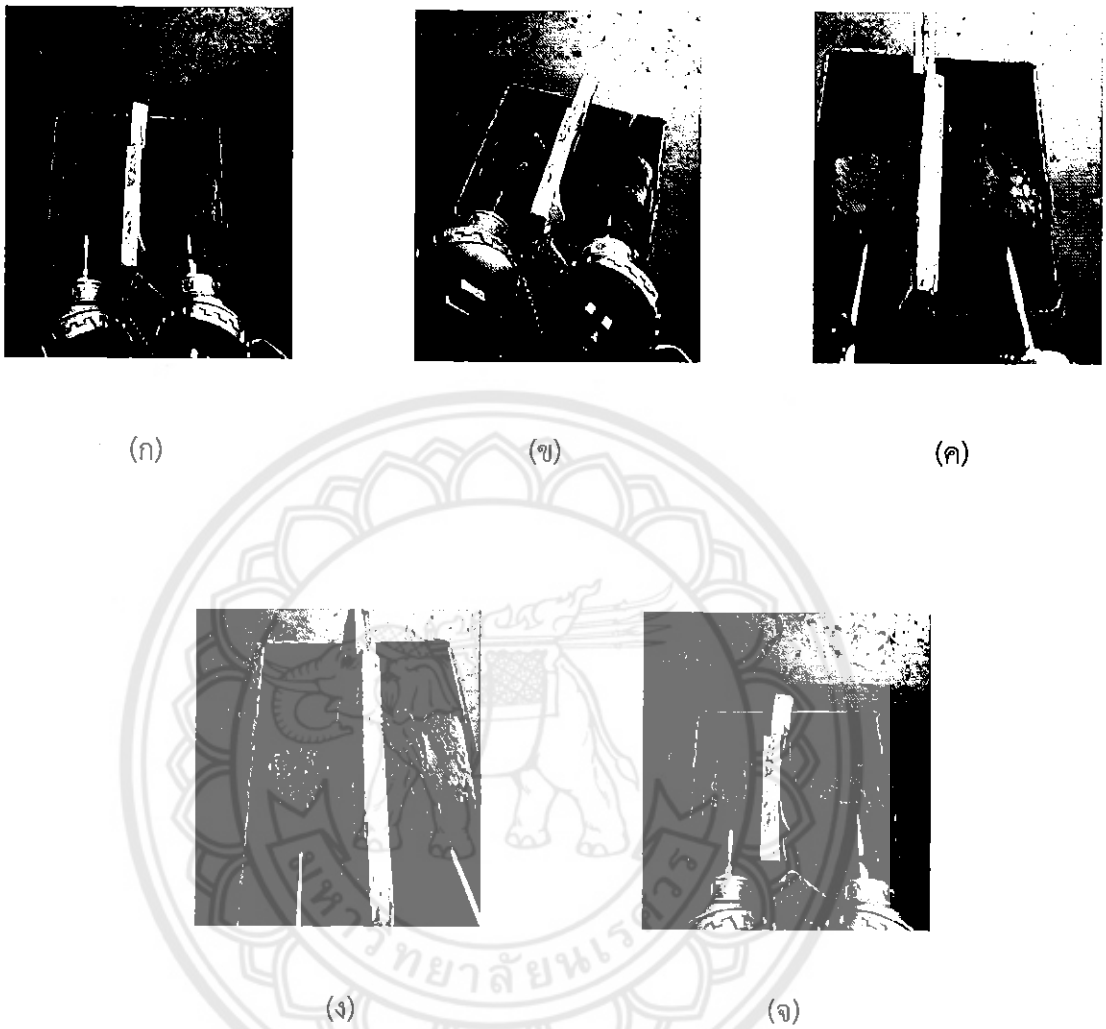
ดังนั้นจากรูปที่ 4.5 (ค) ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีค่าการเผาไหม้ค่อนข้างใกล้ เคียงกับถ่านทางการค้า และยังมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เท่าๆ กันโดยใช้เวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง 40 นาที แต่ถ่านทางการค้าให้ความร้อนที่คงที่และมากกว่า ดังนั้นเราควรมีการปรับปรุงถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวในด้านของค่าความหนาแน่นรวมเพราะเมื่อเผาไปเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นว่าถ่านอัดแท่งผสมมูลวัวของเรามีการแตกเนื่องจากมีพวกความชื้นหรือสารระเหยหลงเหลืออยู่นั้น



รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านชีวมวล (80:20) กับถ่านทางการค้า (ก). ถ่านเมล็ดหูกวาง (ข). ถ่านกิ่งสะเดา และ (ค). ถ่านเมล็ดหูกวางและถ่านกิ่งสะเดา



รูปที่ 4.6 การให้ความร้อนแก่ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว ที่สภาวะความดันบรรยากาศ ในรางเดี่ยว (ก). ระยะเริ่มติดไฟ (ข). 40 นาที (ค). 60 นาที (ง). 80 นาที (จ). 100 นาที (ฉ). 120 นาที



รูปที่ 4.7 การให้ความร้อนแก่ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวที่สภาวะความดันบรรยากาศ ในรางคู่ (ก). 30 นาที (ข). 60 นาที (ค). 90 นาที (ง). 120 นาที และ (จ). 150 นาที

4.4 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นคำนวณได้จากน้ำหนักของวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุ ในน้ำหนักที่เท่ากัน ถ้าวัสดุมีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาตรน้อยกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก ดังนั้นเมื่อความหนาแน่นของถ่านมีมากย่อมสะดวกต่อการจัดเก็บและการขนส่ง ถ้าถ่านมีค่าอัตราความหนาแน่นที่พอดีจะทำให้ถ่านมีการจุดติดไฟที่ดีอีกด้วย

จากตารางที่ 4.2 ถ้าเปรียบเทียบความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีค่าของความหนาแน่นรวมมากที่สุดคือ 0.8930 g/cm^2 และถ่านทางการค้ามีค่าของความหนาแน่นรวมอยู่ที่ 1.4621 g/cm^2 ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลของการทำให้เกิดการจุดติดไฟที่ช้าลง

ทั้งนี้การเผาไหม้หรือการจุดติดไฟในสภาวะบรรยากาศทั่วไปนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ปัจจัยคือ 1. ค่าความร้อนหรืออุณหภูมิ 2. อากาศ (ปริมาณแก๊สออกซิเจน) และ 3. วัสดุหรือเชื้อเพลิง จะสังเกตได้ว่า ถ้าให้ค่าความร้อนที่เท่ากัน แต่ถ่านทางการค้ามีความหนาแน่นรวมมากกว่า จึงทำให้อากาศแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างหรือการพาความร้อน (Convection) ได้น้อยกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว ส่งผลให้การนำความร้อน (Conduction) มีค่าลดลงด้วยเช่นเดียวกัน และถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวที่ได้ มีการเพิ่มน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผสม จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ติดไฟได้ง่ายกว่าถ่านทางการค้า

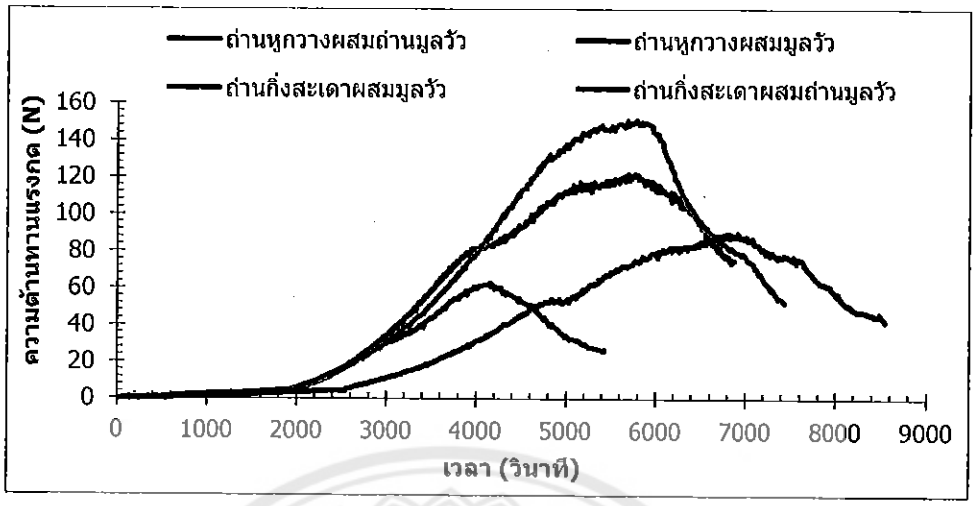
ตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (g/cm^2)

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
80:20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว	0.91	0.84	0.81	0.85
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว	0.87	0.84	0.87	0.86
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว	0.83	0.94	0.92	0.89
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว	0.84	0.73	0.69	0.75
-	ถ่านทางการค้า	1.43	1.53	1.42	1.46

4.5 ความต้านทานแรงกด

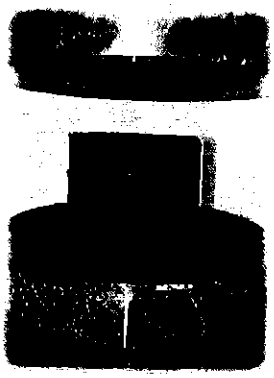
ค่าความต้านทานแรงกดของถ่านแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยเฉพาะในช่วงของการจัดเก็บ และการขนส่ง ถ้าถ่านมีค่าความต้านทานแรงกดมากพอก็จะรับน้ำหนักได้มากหรือมีความแข็งแรงมากด้วยเช่นกัน ดังนั้น การศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพในด้านความทนทานต่อแรงกดจึงเป็นขั้นตอนการทดสอบแบบง่าย รวดเร็ว และสามารถช่วยในการตอบโจทย์ด้านการทดสอบความแข็งแรงของถ่านที่ได้เป็นอย่างดีในอีกแนวทางหนึ่ง

จากรูปที่ 4.8 พบว่าถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัวมีค่าความต้านทานแรงกด 151.19 นิวตัน นั่นคือถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัวมีความต้านทานแรงกดสูงที่สุด น่าจะมีสาเหตุมาจากมูลวัวมีเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยมากกว่าถ่านมูลวัว จึงทำให้ถ่านที่ผสมด้วยมูลวัวมีความต้านทานแรงกดมากกว่าถ่านที่ผสมถ่านมูลวัว ดังนั้นหากสามารถที่จะปรับคุณภาพของถ่านมูลวัวให้มีค่าการต้านทานแรงกดได้มาก ก็จะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งที่ได้ง่ายต่อการขนส่งและการจัดเก็บได้ดี



รูปที่ 4.8 ความต้านทานแรงกดของถ่านชีวมวลอัดแท่งผสมมูลวัว/ถ่านมูลวัว

รูปที่ 4.9 ถ่านชีวมวลก่อนการทดสอบการต้านทานแรงกด



รูปที่ 4.10 ถ่านชีวมวลหลังการทดสอบการต้านทานแรงกด

บทที่ 5
บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณภาพและสมบัติของถ่านอัดแท่งได้แก่ ค่าความร้อน, การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, เวลาในการเผาไหม้, ความหนาแน่นรวม, สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด) และเปรียบเทียบสมบัติการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งชีวมวลกับถ่านทางการค้า ผลสรุปที่ได้มีดังนี้

คาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าตามลำดับดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว 61.63 % ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว 61.24 % ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว 56.37 % และ ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว 51.27 %

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าตามลำดับดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว 6,954.39 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว 6,312.54 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว 6,185.38 แคลอรี่ต่อกรัม และ ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว 5,659.86 แคลอรี่ต่อกรัม

ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีการเผาไหม้ที่ดีที่สุด ความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 685 ℃ และใช้เวลาในการเผานานถึง 3 ชั่วโมง 50 นาที ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวมีค่าการเผาไหม้ค่อนข้างใกล้เคียงกับถ่านทางการค้า และยังมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เท่าๆ กัน อยู่ที่ 3 ชั่วโมง 50 นาที แต่ถ่านทางการค้าให้ความร้อนที่คงที่และมากกว่า

ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าตามลำดับดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว 0.8930 g/cm^2 ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว 0.8585 g/cm^2 ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว 0.8506 g/cm^2 และ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว 0.7495 g/cm^2

ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัวมีความต้านทานแรงกดสูงที่สุดอยู่ที่ 151.19 N

จากผลการทดลองของถ่านอัดแท่งที่ได้ทั้งหมดนี้เน้นผลผลิตของผลิตภัณฑ์ ในด้านการให้ความร้อนและเวลาในการเผาไหม้ที่ดี ซึ่งถ่านอัดแท่งจากชีวมวลผสมมูลวัวนี้ จึงน่าจะสามารถพัฒนาให้เป็นถ่านทางการค้าได้เช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัวให้ค่าความร้อนที่สูงที่สุดแต่ก็มีความต้านทานแรงกดน้อยที่สุด จึงทำให้ยากต่อการขนส่งหรือจัดเก็บ การปรับอัตราส่วนโดยใช้ ถ่านชีวมวล : ถ่านมูลวัว : มูลวัว เ 80 : 10 : 10 น่าจะทำให้ค่าความร้อน และค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้น

การนำชีวมวลมาทำการไพโรไลซิสใช้เวลาในการเผาไพโรไลซิสนาน 45 นาที ดังนั้นการทำให้ชีวมวลมีขนาดเล็ก จะทำให้การเผาไหม้เกิดเร็วขึ้นและได้ปริมาณถ่านเพิ่มมากขึ้น

ความหนาแน่นของถ่านที่ได้ยังไม่แน่นพอ ควรจะทำการศึกษาขนาดของผงถ่านที่เหมาะสมเพื่อทำให้ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่นมากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] บริษัท เอ็นเนอร์จี เซฟวิ่ง โปรดักส์ จำกัด. (2558). **พลังงานชีวมวล.** สืบค้นข้อมูลได้จาก http://www.espthailand.com/article/definition-of-biomass.html, (13 ธันวาคม 2558)

[2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2558). **ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวลและแหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2558, สืบค้นข้อมูลได้จาก http://www.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html

[3] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้. (มีนาคม 2553). พลังงานจากชีวมวล (Biomass energy). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[4] ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์ และคณะ. (2555). ค่าปริมาณการให้ความร้อนของต้นสะเดา. เอกสารงานวิจัยของสำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้.

[5] American Journal of Biochemistry. (2556). **คุณสมบัติทางทางกายภาพทางเคมีของมูลวัว**. สืบค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2558, สืบค้นข้อมูลได้จาก article.sapub.org/10.5923.j.ajb.20130304.02.html

[6] ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.

[7] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ. (2551). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพมหานคร.

[8] ปรีชา เกียรติกระจาย. (2545). **การผลิตถ่านอัดก้อนจากกิ่งไม้ต่างถิ่นสี่ชนิด.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

[9] ธีรพจน์ พุทธิกีกฎวีวงศ์. (2549). **ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลืองซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงได้นาเอาต้นถั่วเหลืองไปเผาให้เป็นถ่านมาบดอัดเป็นแท่งและใช้มันสาปะหลังสดเป็นตัวประสาน.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

[10] กิตติเชษฐ์ เกียรตินัยดิษกุล และ เกียง วงษ์ล้วนงาม. (2551). **ถ่านอัดแท่งชีวมวลจากเปลือกผลสบู่ดำ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] Phonphuak และ Thiansem. (2555). Using charcoal to increase properties and durability of fired test briquettes. **Construction and Building Materials 29** (2012) 612–618

[12] ธฤต สวัสดิ์พิพัฒน์ และ ปิยะ โกศัลวิตร. (2555). **การผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อชุมชน ด้วยวิธีการอัดแบบไฮดรอลิค**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

[13] Nuriana, Anisa และ Martana. (2552). Synthesis Preliminary Studies Durian Peel Bio Briquettes as an Alternative Fuels, **Energy Procedia 47, 2014** (295 – 302)

[14] Nyakuma และ คณะ. (2555). Comparative analysis of the calorific fuel properties of Empty Fruit Bunch Fiber and Briquette, **Energy Procedia 52, 2014** (466 – 473)

[15] Prasityousil และ Muenjina. (2556). **การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดก้อน.** สืบค้นข้อมูลได้จาก https://www.researchgate.net/publication/257728926_Properties_of_Solid_Fuel_Briquettes_Produced_from_Rejected_Material_of_Municipal_Waste_Composting. (13 ธันวาคม 2558)

[16] สุพรรณ ยั่งยืน และ จักรมาส เลาหวณิช. (2555). การหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น

[17] พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคณะ. (2552). ผลกระทบของแป้งมันต่อการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากตะเกียบไม้ไผ่ที่ใช้แล้วโดยใช้น้ำและแป้งมันเป็นตัวประสาน

[18] ชุลีพร ไชยโยชน์. การผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหญ้านวลน้อย. มหาวิทยาลัยนเรศวร

[19] ชัยบดินทร์ หิตะวัฒนกุล และ พีรศักดิ์ หยกศิลา. (2556). การพัฒนาเครื่องถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและชังข้าวโพดด้วยระบบไฮโดรลิค. ปริญญานพนธ์ ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

[20] J. J. Pérez-Arévalo, A. J. Callejón-Ferre, B. Velázquez-Martí, and M. D. Suárez-Medina. Prediction models based on higher heating value from the elemental analysis of neem, mango, avocado, banana, and carob trees in Guayas (Ecuador). **Journal of Renewable and Sustainable Energy 7, 053122 (2015)**; doi: 10.1063/1.4934593

บรรณานุกรม (ต่อ)

[21] Krist-Spit and Wentink. (1985). **the ultimate analysis and the proximate analysis of some typical briquettes.** สืบค้นข้อมูลได้จาก http://www.cookstove.net /local-resource/argicultural-waste.html

[22] A.V. Bridgwater. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. AstonUniversity Bioenergy Research Group, Aston Triangle, Birmingham UK , **biomass** and bioenergy 38 (2012), 68 – 94

[23] Prabir Basu. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction Practical Design and Theory. 2 Ed. **Dalhousee University and Greenfield Research Incorporated (2013),** 147 – 315

[24] ฟรินน์.com. **หูกวางและสรรพคุณของหูกวาง.** สืบค้นข้อมูลได้จาก http://frynn.com /%E0%B8%AB%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%87/

[25] **การผลิตถ่านอัดแท่ง.** สืบค้นข้อมูลได้จาก http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/Bitstream /handle/123456789/383/Chapter%203.pdf?sequence=6

[26] Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood **Charcoal ASTM D1762-84.** สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2558, จาก http://terrapreta.bioenergylists.org/taxonomy /term/292

[27] **ค่าความร้อนของถ่านทางการค้า.** สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2559, จาก http://Thais umi.com/index.php/45-uncategorised/49-briquette-from-charcoal-and-biomass

[28] Tropical almond. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2559, จาก http://www. stuartxchange.com/Talisay.html

[29] อนุกูล ศุภกีรติโรจน์ และ วสันต์ ก่อเกียรติสกุลชัย. (2547). **การถ่ายเทความจากถ่านชีวมวล.** ปริญญานิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยพระจอมพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิเคราะห์ค่าความร้อน

การหาค่าความร้อน จะหาค่าโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ค่าที่วัดได้จะเป็น higher heating value ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี่ต่อกรัม (แคลอรี่ต่อกรัม) รายละเอียดค่าความร้อนแสดงดังตารางที่ ก.1

ตาราง ก.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

วัสดุ	Heating value (แคลอรี่ต่อกรัม)		Heating value (kJ/kg)
	งานวิจัยนี้	งานวิจัยอื่น	
ถ่านเมล็ดหูกวาง	5,924.42		24,787.77
เมล็ดหูกวาง	3,908.86	3,990 [24]	16,354.67
ถ่านกิ่งสะเดา	5,124.36		21,440.32
กิ่งสะเดา	N/A	3,368.78 [20]	14,094.97
ถ่านมูลวัว	3,806.53		15,926.52
มูลวัว	3,089.07	2,724.66 [5]	12,924.66

- N/A = No analysis

ตาราง ก.2 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ตัวประสาน	ถ่านอัดแท่ง	Heating value (แคลอรี่ต่อกรัม)	Heating value (kJ/kg)
80 : 20	มูลวัว	ถ่านเมล็ดหูกวาง	6,185.38	25,879.62
		ถ่านกิ่งสะเดา	5,659.86	23,680.85
	ถ่านมูลวัว	ถ่านเมล็ดหูกวาง	6,954.39	29,097.16
		ถ่านกิ่งสะเดา	6,312.54	26,411.66
		ถ่านทางการค้า	7,000 [27]	29,288 [27]

ภาคผนวก ข
วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (Proximate analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D 1762-84 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

ข.1 การหาปริมาณความชื้น

ข.1.1 ขั้นตอนการหาค่าความชื้น

1) นำถ้วย (Crucible) และฝาปิด เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วย (Crucible) และฝาปิดไปเก็บในหม้อดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 15 นาที หรือมากกว่านั้น และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (M)

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยเปล่า พร้อมกับชั่งน้ำหนัก (M_1)

3) นำถ้วยในข้อ 2 ไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างต่ำ 12 ชั่วโมง หรือมากกว่าจนน้ำหนักคงที่

4) นำถ้วยในข้อ 3 ออกจากเตาและปิดฝา ไปเก็บในหม้อดูดความชื้น จนกว่าถ้วยจะเย็น ชั่งน้ำหนัก (M_2)

ข.1.2 การคำนวณหาค่าความชื้น

$$\%\text{Moisture} = \frac{(M_1 - M) - (M_2 - M)}{(M_1 - M)} \times 100$$

เมื่อ M คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่า (กรัม)

M_1 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างหลังเข้าเตาอบ (กรัม)

ตาราง ข.1 การหาค่าความชื้นของถ่านชีวมวลและชีวมวล

วัตถุดิบ	ครั้งที่	น้ำหนักของวัสดุ			ความชื้น	
		M	M_1	M_2	%ความชื้น	%ความชื้นเฉลี่ย
ถ่านหูกวาง	1	26.7812	27.7932	27.7323	6.01	5.98
	2	24.3724	25.3797	25.3199	5.94	
ถ่านกิ่งสะเดา	1	48.5293	49.5344	49.4982	3.60	4.43
	2	45.7905	46.8567	46.8007	5.25	
ถ่านมูลวัว	1	46.6623	47.7398	47.7010	3.60	3.56
	2	34.3839	35.7409	35.6931	3.52	
มูลวัว	1	23.0498	24.0530	23.9670	8.57	7.44
	2	36.9529	37.9687	37.9046	6.31	
ถ่านหูกวางผสมมูลวัว (80:20)	1	34.8476	35.8484	35.7896	5.87	6.42
	2	33.6776	34.6905	34.6199	6.97	
ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว(80:20)	1	32.6019	33.7027	33.6233	7.21	7.30
	2	29.0567	30.1627	30.0811	7.38	
ถ่านหูกวาง ผสมถ่านมูลวัว(80:20)	1	36.8985	37.9502	37.8828	6.4086	7.51
	2	26.7266	27.7752	27.6848	8.6210	
ถ่านกิ่งสะเดา ผสมถ่านมูลวัว(80:20)	1	35.7302	37.0576	36.9576	4.52	4.49
	2	39.2179	40.4519	40.4168	4.46	

ข.2 การหาปริมาณสารระเหย

ข.2.1 ขั้นตอนการหาปริมาณสารระเหย

1) นำถ้วย (Crucible) และฝาปิด เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วย (Crucible) และฝาปิดไปเก็บในหม้อดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 15 นาที หรือมากกว่านั้น และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (M)

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยเปล่า พร้อมกับชั่งน้ำหนัก (M_1)

3) ฉีดก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เข้าไปในเตาอบเพื่อลดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในเตาอบ

4) นำถ้วยในข้อ 2 ออกจากหม้อดูดความชื้นและเปิดฝาขณะอบ และนำหนักถ้วยเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที

5) นำถ้วยในข้อ 3 ออกจากเตาและเปิดฝา ไปเก็บในหม้อดูดความชื้น จนกว่าถ้วยจะเย็นและเปิดฝาออกชั่งน้ำหนัก (M_2)

ข.2.2 การคำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\%\text{Volatile} = \left[\frac{(M^1 - M) - (M^2 - M)}{(M^1 - M)} \times 100\right] - (\%\text{Moisture})$$

เมื่อ M คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่า (กรัม)

M_1 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างหลังเข้าเตาอบ (กรัม)

ตาราง ข.2 การหาปริมาณสารระเหยของถ่านชีวมวลและชีวมวล

วัตถุดิบ	ครั้งที่	น้ำหนักของวัสดุ			ปริมาณสารระเหย	
		M	M_1	M_2	%สารระเหย	%สารระเหยเฉลี่ย
ถ่านหูกวาง	1	36.89	38.00	37.78	13.41	13.18
	2	33.63	34.73	34.52	12.95	
ถ่านกิ่งสะเดา	1	31.15	32.26	31.97	21.72	26.03
	2	32.25	33.36	32.97	30.34	
ถ่านมูลวัว	1	25.40	26.50	26.19	24.96	23.64
	2	29.37	30.47	30.19	22.32	
มูลวัว	1	34.79	35.90	35.39	38.63	37.38
	2	39.75	40.85	40.37	36.12	
ถ่านหูกวางผสมมูลวัว (80:20)	1	28.10	29.21	28.89	22.23	22.97
	2	28.72	29.83	29.49	23.70	
ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว(80:20)	1	33.37	34.48	34.12	24.49	23.85
	2	37.89	39.00	38.66	23.21	
ถ่านหูกวางผสมถ่านมูลวัว(80:20)	1	30.68	31.78	31.50	18.27	18.01
	2	34.29	35.40	35.12	17.75	
ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว(80:20)	1	36.90	38.00	37.75	18.71	19.27
	2	34.78	35.89	35.62	19.84	

ข.3 การหาปริมาณเถ้า

ข.3.1 ขั้นตอนการหาปริมาณเถ้า

1) นำถ้วย (Crucible) และฝาปิด เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วย (Crucible) และฝาปิดไปเก็บในหม้อดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 15 นาที หรือมากกว่านั้น และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (M)

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยเปล่า พร้อมกับชั่งน้ำหนัก (M_1)

3) นำถ้วยในข้อ 2 เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยเปิดฝาขณะที่อบอยู่ หลังจากได้เวลากำหนดให้ปิดฝา (สังเกตวัสดุควรเปลี่ยนสีเทาหากยังเป็นสีดำอยู่จะต้องนำเข้าไปอบต่อจนวัสดุเป็นสีเทา)

4) นำถ้วยในข้อ 3 ออกจากเตาและเปิดฝา ไปเก็บในหม้อดูดความชื้น จนกว่าถ้วยจะเย็นและเปิดฝาออกชั่งน้ำหนัก (M_2)

ข.3.2 การคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\%\text{Ash} = \frac{A_2 - A}{A_1 - A} \times 100$$

เมื่อ %Ash คือ ปริมาณเถ้า (%)

A คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่า (กรัม)

A_1 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

A_2 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างหลังเข้าเตาอบ (กรัม)

ตาราง ข.3 การหาปริมาณเถ้าของถ่านชีวมวลและชีวมวล

วัตถุดิบ	ครั้งที่	น้ำหนักของวัสดุ			เถ้า	
		A	A_1	A_2	%เถ้า	%เถ้าเฉลี่ย
ถ่านเมล็ดหูกวาง	1	26.77	27.79	26.87	9.59	9.77
	2	24.37	25.37	24.47	9.94	
ถ่านกิ่งสะเดา	1	24.32	25.37	24.40	7.67	7.68
	2	26.73	27.75	26.81	7.68	
ถ่านมูลวัว	1	23.00	24.07	23.10	9.63	10.07
	2	36.90	37.92	37.08	10.51	
มูลวัว	1	23.04	24.05	23.22	17.22	15.26
	2	36.95	37.96	37.19	13.31	
ถ่านหูกวางผสมมูลวัว (80:20)	1	34.84	35.91	34.90	14.12	14.24
	2	33.67	34.68	33.82	14.35	
ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว (80:20)	1	33.63	34.66	33.79	16.30	17.58
	2	34.80	35.84	34.99	18.87	
ถ่านหูกวางผสมถ่านมูลวัว (80:20)	1	36.18	37.38	36.34	12.81	12.85
	2	35.49	36.61	35.63	12.89	
ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว (80:20)	1	38.07	39.23	38.26	16.08	15.00
	2	46.17	47.28	46.33	13.93	

ข.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

การหาคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จะคำนวณค่าความต่างจากค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า จะคำนวณได้จากสมการดังนี้

% คาร์บอนคงตัว = 100 – (%ความชื้น + %สารระเหย + %เถ้า)

ตาราง ข.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านชีวมวลและชีวมวล

อัตราส่วน	ตัวประสาน	ถ่านอัดแท่ง/ชีวมวล	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
80 : 20	มูลวัว	ถ่านเมล็ดหูกวาง	6.42	22.97	14.24	56.37
		ถ่านกิ่งสะเดา	7.30	23.85	17.58	51.27
	ถ่านมูลวัว	ถ่านเมล็ดหูกวาง	7.51	18.01	12.85	61.63
		ถ่านกิ่งสะเดา	4.49	19.27	15.00	61.24
		มูลวัว	7.44	37.83	15.26	39.47
		ถ่านเมล็ดหูกวาง	5.98	13.18	9.77	71.07
		ถ่านกิ่งสะเดา	4.43	26.03	7.68	61.86
		ถ่านมูลวัว	3.56	23.64	10.07	62.73

ภาคผนวก ค

ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

การหาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง จะสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\rho = \frac{m}{v}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (g/cm^3)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (g)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (cm^3)

ตาราง ค.1 น้ำหนักของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
80 : 20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว	105.1926	104.9170	101.7340	103.9479
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว	104.6195	102.4918	110.5965	105.9026
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว	104.3239	94.7237	103.6832	100.9103
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว	105.6482	104.2732	102.4974	104.1396

คำนวณปริมาตรของถ่านอัดแท่งจาก $\pi*(R^2-r^2)*h$

เมื่อ R คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

r คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

h คือ ความสูง

ตาราง ค.2 ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
80 : 20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว	115.5126	125.5571	125.5571	122.2089
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว	120.5349	138.1129	150.6686	136.4388
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว	125.5571	100.4457	113.0014	113.0014
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว	125.5571	143.1351	148.1574	138.9499

ตาราง ค.3 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
80 : 20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลวัว	0.9107	0.8356	0.8103	0.8506
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมมูลวัว	0.8680	0.8356	0.8103	0.7762
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลวัว	0.8309	0.9430	0.9175	0.8930
	ถ่านกิ่งสะเดาผสมถ่านมูลวัว	0.8414	0.7285	0.6918	0.7495

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นายศุภกร สมร่าง

วัน-เดือน-ปีเกิด 26 สิงหาคม 2536

ที่อยู่ปัจจุบัน 173 หมู่ 7 ตำบลบ้านเหล่า อำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่ 54130

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2558	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
พ.ศ. 2552-2554	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์ ตำบลดอนมูล อำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่
พ.ศ. 2549-2551	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์ ตำบลดอนมูล อำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่

E-mail Address wine_supakon@hotmail.co.th