ถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่

Briquette Charcoal from Tropical almond seed with Chicken Manure

นายญาณภพ พูลผล รหัสนิสิต 57365553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่

ผู้ดำเนินโครงงาน นายญาณภพ พูลผล รหัส 57365553

ที่ปรึกษาโครงงาน รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

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

.....กรรมการ
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

.....กรรมการ
(ดร.สุชาดา อยู่แก้ว)

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่

ผู้ดำเนินโครงงาน นายญาณภพ พูลผล รหัส 57365553

ที่ปรึกษาโครงงาน รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

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

.....กรรมการ
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

.....กรรมการ
(ดร.สุชาดา อยู่แก้ว)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายญาณภพ พูลผล
ที่ปรึกษาโครงงาน	รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2560

.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งจากเมล็ดหูกวางและมูลไก่นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเมล็ดหูกวางและมูลไก่มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยใช้ตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่ใช้ในการศึกษาคือ 80:20 โดยน้ำหนัก และทำการผสมน้ำมันพืชถั่วเหลืองในทุกๆ ตัวอย่างของถ่านอัดแท่ง 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งดังนี้ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น สมบัติเชิงกล (ความต้านแรงกด) และลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้ ได้แก่ เวลาในการติดไฟ และเวลาในการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า ถ่านอัดแท่งจากถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 6,987.93 แคลอรี่ต่อกรัม ใช้เวลาในการจุดติดไฟ 6 นาที สามารถให้ความร้อนได้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 20 นาที และมีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.7128 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านทางการค้าที่ใช้เวลาจุดติดไฟ 11 นาที มีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.1101 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถให้ความร้อนได้ประมาณ 3 ชั่วโมง 40 นาที ซึ่งถ่านอัดแท่งจากชีวมวลผสมถ่านมูลไก่นี้ จึงน่าจะสามารถพัฒนาให้เป็นถ่านทางการค้าได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดย รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานนี้ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอด จนปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณ ดร.สุชาดา อยู่แก้ว และ ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม ที่ได้มาเป็นกรรมการการสอบโครงงานปริญญานิพนธ์นี้

นอกจากนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ ครูช่างและ นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ รวมทั้งอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ ผศ.ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ การแนะนำเกี่ยวกับเว็บไซด์ หนังสือเพื่อมาเป็นข้อมูลในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับงานปริญญานิพนธ์เล่มนี้และ ขอขอบคุณกำลังใจดีๆ จากพ่อแม่ ผู้ปกครองที่คอยให้กำลังใจในทุกๆ วัน

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายญาณภพ พูลผล

มิถุนายน 2562

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน....2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....2
1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง....3

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 ชีวมวลที่เกี่ยวข้อง....5
2.2.1 เมล็ดหูกวาง....5
2.2.2 มูลไก่....6
2.3 กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง....8
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....9
2.4.1 งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับการศึกษารายงาน....9
2.4.2 งานวิจัยด้านการศึกษาสมบัติจุดติดไฟ....10
2.4.3 งานวิจัยศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง....10
2.4.4 งานวิจัยที่ศึกษาด้านอัตราส่วนของถ่านอัดแท่ง....11

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....13
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือในการผลิตถ่าน....14
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือวิเคราะห์ผล....15

สารบัญ (ต่อ)

3.4 ขั้นตอนการเตรียม และผสมถ่าน....18
3.5 ขั้นตอนการทำถ่าน....22
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล....25

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ความหนาแน่น....28
4.2 ค่าความร้อน....39
4.3 ความต้านทานแรงกด....30
4.4 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างเผาไหม้....31

บทที่ 5 บทสรุป

บรรณานุกรม....35
ภาคผนวก....38
ภาคผนวก ก ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง....39
ภาคผนวก ข ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง....42
ภาคผนวก ค ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่ง....44
ภาคผนวก ง ข้อมูลเวลา และอุณหภูมิในการเผาไหม้....47
ภาคผนวก จ ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงของถ่านอัดแท่ง....49
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลน้ำหนักส่วนสูงชิ้วมวลก่อนเผา และหลังเผา....51
ภาคผนวก ช ข้อมูลความแข็ง และอุณหภูมิกับเวลาการเผาไหม้....53

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดหูกวางทางโภชนาการ.....6
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลไก่.....7
ตารางที่ 2.3 ปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาต่างชนิด.....9
ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง.....28
ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของถ่านอัดแท่ง.....38
ตารางที่ ก.2 ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง.....38
ตารางที่ ก.3 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง.....39
ตารางที่ ข.1 ค่าความร้อนของวัสดุ และถ่านอัดแท่ง.....41
ตารางที่ ค.1 การหาค่าความชื้นของถ่านชีวมวล และชีวมวล.....44
ตารางที่ ง.1 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระหว่างการเผาไหม้.....46
ตารางที่ จ.1 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่.....48
ตารางที่ จ.2 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่.....49
ตารางที่ จ.3 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงถ่านทางการค้า.....50
ตารางที่ ฉ.1 ข้อมูลน้ำหนักเมล็ดหูกวางก่อนเผา และหลังเผา.....52
ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลน้ำหนักมูลไก่ก่อนเผา และหลังเผา.....52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ต้นหูกวางและเมล็ดหูกวาง....6
รูปที่ 2.2 มูลไก่....7
รูปที่ 3.1 เตาเผาถ่าน....14
รูปที่ 3.2 เครื่องบด....14
รูปที่ 3.3 เครื่องร่อน....15
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดระบบไฮโดรลิค....15
รูปที่ 3.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง....16
รูปที่ 3.6 ตู้อบ....16
รูปที่ 3.7 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์....17
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดแรงกดของถ่าน....17
รูปที่ 3.9 เทอร์โมคัปเปิล....18
รูปที่ 3.10 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ....18
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง....19
รูปที่ 3.12 การผสม (ถ่านเมล็ดหูกวาง และมูลไก่)....20
รูปที่ 3.13 การผสม (ถ่านเมล็ดหูกวาง และถ่านมูลไก่)....21
รูปที่ 3.14 ชีวมวลเตรียมเผา....22
รูปที่ 3.15 การจุดไฟและเติมเชื้อเพลิง....22
รูปที่ 3.16 ถ่านเมล็ดหูกวาง....23
รูปที่ 3.17 ถ่านมูลไก่....23
รูปที่ 3.18 ผสมแป้งมันสำปะหลัง....23
รูปที่ 3.19 ผสมน้ำมันพืช....24
รูปที่ 3.20 ผงถ่านที่ผสมแล้วเตรียมอัดขึ้นรูป....24
รูปที่ 3.21 ถ่านอัดแท่ง....25
รูปที่ 3.22 ถ่านเริ่มติดไฟ....26
รูปที่ 3.23 ถ่านกลายเป็นเถ้า....27
รูปที่ 3.24 ถ่านชีวมวลก่อนการทดสอบการต้านแรงกด....27
รูปที่ 3.25 ถ่านชีวมวลหลังการทดสอบการต้านแรงกด....27
รูปที่ 4.1 ค่าความร้อนของถ่านชีวมวล....29
รูปที่ 4.2 ความต้านทานแรงกดถ่านชีวมวลผสมถ่านมูลไก่/มูลไก่และถ่านการค้า....30
รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ (80:20), ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ (80:20) และถ่านทางการค้า....31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าความแข็งของถ่านอัดแท่ง ชุดที่ 1 และชุดที่ 2..... 54

รูปที่ 4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับเวลาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง ชุดที่ 1 และชุดที่ 2.....54

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในปัจจุบันจะพบว่าประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งพลังงานในประเทศไทยมีอัตราการผลิตไม่เพียงพอกับอัตราการใช้ จึงจำเป็นต้องมีการผลิตพลังงานทดแทนทางธรรมชาติที่หาได้ง่าย และมีมากในประเทศ พลังงานชีวมวล จึงเป็นทางเลือกสำคัญที่ทำให้มีปริมาณเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม และในครัวเรือนได้ (สำนักงานนโยบาย และพลังงาน, 2556)

ปัจจุบันยังมีชีวมวลที่เหลือทิ้งอยู่มากมาย ที่สามารถเก็บเกี่ยวมาแปรรูปทำเป็นเชื้อเพลิงได้ เช่น เมล็ดหูกวาง มูลไก่ และชีวมวลที่ได้จากพืช และสัตว์อื่นอีกมากมาย ซึ่งเมล็ดหูกวางนั้นสามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงได้ เพราะในเมล็ดหูกวาง (1,000 กรัม) มีองค์ประกอบหลายอย่าง คือ มีน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์, โปรตีน 208 กรัม, ไขมัน 540 กรัม, คาร์โบไฮเดรต 192 กรัม, ใยอาหาร 23 กรัม และให้พลังความร้อนที่ 5,940 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (คลังข้อมูลวิจัยไทย, 2557) ส่วนมูลไก่ (1,000 กรัม) ก็มีองค์ประกอบหลายอย่างเช่นกัน คือ มีโปรตีน 18.2 เปอร์เซ็นต์, เส้นใย 9.75 เปอร์เซ็นต์, แคลเซียม 3.69 เปอร์เซ็นต์, ฟอสฟอรัสจะมี 4.36 เปอร์เซ็นต์ และให้พลังงานที่ 3,751 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (โครงงานการวิจัยมูลไก่เลี้ยง, 2557) องค์ประกอบเหล่านี้จะมีส่วนช่วยในการเพิ่มค่าความร้อน และเมื่อนำชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมาผสมเป็นถ่านอัดก้อน ในอัตราส่วน 80:20 โดยมีมูลไก่เป็นตัวประสาน จะได้พลังงานความร้อนที่ดี การนำชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงนอกจากจะเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสีย และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกรูปแบบหนึ่ง และยังส่งผลให้มนุษย์มีพลังงานที่ใช้ได้โดยไม่มีวันหมด และยังช่วยในการอนุรักษ์ธรรมชาติลดการตัดไม้ทำลายป่า

ดังนั้น โครงงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการใช้พลังงานหมุนเวียนจากชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้เรื่อยๆ เพื่อให้เกิดการใช้วัตถุดิบอย่างคุ้มค่าที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดลองจากเมล็ดหูกวางและมูลไก่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานสำหรับครัวเรือนได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถ่านอัดแท่งจากเมล็ดหูกวางให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น และเพื่อปรับปรุงเครื่องอัดถ่านแบบไฮโดรลิคแบบกดมือ โดยมีการปรับปรุงชุดอุปกรณ์เดิมด้วยการทำให้เหล็กในกระบอกสูบดันขึ้นมาได้สุดขอบกระบอกสูบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับถ่านอัดแท่งให้แน่นมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเมล็ดหูกวางและมูลไก่ด้วยชุดอุปกรณ์อัดแท่งด้วยมือ

1.2.2 เพื่อปรับปรุงกระบวนการอัดแท่งจากเครื่องอัดไฮโดรลิคเดิม ให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.3 เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง จากถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ และถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่อัตราส่วน 80:20

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี (ค่าความร้อน, เวลาในการเผาไหม้ ความหนาแน่น, สมบัติเชิงกล) ของถ่านอัดแท่งที่ได้กับถ่านทางการค้า

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากชีวมวลคือ เมล็ดหูกวางและ มูลไก่ โดยขนาดอนุภาค (ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ และ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่) เท่ากับ 250 ไมโครเมตร จะใช้แป้ง และน้ำมันพืชถั่วเหลือง เป็นตัวประสานเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มการยึดติดกันและเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งที่ได้

1.3.2 การวัดคุณภาพและสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยใช้องค์ประกอบที่สำคัญเป็นหลักในการประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่

- ค่าความร้อน (Heating value) วัดโดยบอมบ์แคลอริมิเตอร์
- เวลาในการเผาไหม้ (Burning time) วัดโดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Datalogger)
- ความหนาแน่นรวม (Bulk density) วัดโดยมวลต่อปริมาตร
- สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด) วัดโดยเครื่อง Universal test

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำชีวมวลมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งที่ใช้ในครัวเรือนได้ แทนการใช้แก๊สหุงต้ม และฟืนจากธรรมชาติ

1.4.2 ได้ถ่านอัดแท่งชีวมวลที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะทางด้านค่าความร้อน, ความหนาแน่นรวม, สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด)

1.5 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ตัวแปรต้น

1.5.1.1 ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ (80:20)

1.5.1.2 ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ (80:20)

1.5.2 ตัวแปรตาม

1.5.2.1 ค่าความร้อนที่ได้จากถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่และถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.2 เวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่และถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.3 ความหนาแน่นรวมของถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่และถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ในอัตราส่วน 80:20

1.5.2.4 สมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่และถ่านอัดแท่งเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ในอัตราส่วน 80:20

1.5.3 ตัวแปรควบคุม

1.5.3.1 ขนาด และอายุของชีวมวล

- เก็บเมล็ดหูกวางที่แก่ โดยดูจากลักษณะสีภายนอกเมล็ดจะมีสีออกน้ำตาลดำ

1.5.3.2 แหล่งที่มาของเมล็ดหูกวาง (คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร)

1.5.3.3 แหล่งที่มาของมูลไก่ (เล้าไก่เลี้ยง)

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยแยกเป็นหัวข้อการนำเสนอดังนี้

2.1 พลังงานชีวมวล

2.2 ชีวมวลที่ใช้ คือ เมล็ดหูกวาง และมูลไก่

2.3 กระบวนการและเครื่องมือในการผลิตถ่านอัดแท่ง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานชีวมวล

2.1.1 ความหมายของพลังงานชีวมวล (บริษัท เอ็นเนอร์จีเซฟวิ่งโปรดักส์ จำกัด, 2558)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้หมายถึงสิ่งที่ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น มูลสัตว์ เศษไม้ ขยะ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานทำได้โดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น กระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทน พลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ในอนาคตอันใกล้

ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เศษวัสดุหรือของเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and wood residues) หรือ ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Industrial and municipal solid wastes)

2.1.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล (บริษัท เอ็นเนอร์จีเซฟวิ่งโปรดัก จำกัด, 2558)

ชีวมวลมีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ หากไม่มีการคิดค้น และพัฒนาพลังงานหมุนเวียนจากชีวมวล อาจส่งผลกระทบต่างๆ ในหลายๆ ด้าน ทั้งทางธรรมชาติ และสภาพแวดล้อม ซึ่งในด้านธรรมชาตินั้น จะส่งผลให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่า การนำไม้มาทำฟืน หรือเชื้อเพลิง ส่งผลให้ต้นไม้บนโลกมีจำนวนน้อยลง และเกิดภัยธรรมชาติ เช่น เกิดน้ำท่วม และยังส่งผลทางด้านสภาพแวดล้อม ทำให้สภาพแวดล้อมมีอากาศเป็นมลพิษอีกด้วย

2.1.3 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2557)

แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวลเกิดจากพืชและแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานในกระบวนการสร้างอาหาร เรียกว่า กระบวนการสังเคราะห์แสง ($6H_2O+6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6+6O_2$) โดยอาศัยสารคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) บนพืชสีเขียว ซึ่งจะดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอากาศและน้ำ (H_2O) จากดินมาทำปฏิกิริยากัน แล้วผลิตได้เป็นสารประกอบอยู่ในรูปแบบของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส เป็นต้น

2.1.4 กระบวนการแปรรูปชีวมวล (โครงงานบ้านวิทยาศาสตร์, 2557)

ชีวมวลชนิดต่างๆ ถูกแปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประโยชน์และความต้องการใช้งานการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานหลักๆ ได้แก่

2.1.4.1 การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เมื่อนำชีวมวลต่างๆแยกออกมาเผา จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวลนั้นๆ ซึ่งค่าความร้อนของชีวมวลจะแตกต่างกันออกไป ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม, เกษตรกรรม, ครัวเรือน ได้

2.1.4.2 การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็น กระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (Biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (Gas turbine)

2.1.4.3 การไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ กระบวนการที่ใช้ความร้อนเพื่อสลายโมเลกุลหรือวัตถุด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศแบบไร้ออกซิเจน โดยได้ผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด คือส่วนของแข็งส่วนนี้เป็นถ่านสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและทำถ่านกัมมันต์ ส่วนของเหลวสามารถนำมาพัฒนาเป็นน้ำมัน เชื้อเพลิง สารเคมี และสารปราบศัตรูพืชได้ และจะมีการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เป็นการนำขยะอินทรีย์ไปหมักย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้สารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

2.2 ชีวมวลที่เกี่ยวข้อง เมล็ดหูกวาง และมูลไก่

ชีวมวลที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ เมล็ดหูกวาง และมูลไก่ รายละเอียดมีดังต่อไปนี้คือ

2.2.1 วัสดุเหลือใช้จากต้นหูกวาง ส่วนที่จะนำมาศึกษาและทำเป็นถ่านอัดแท่ง คือ เมล็ดหูกวาง (Tropical almond seed, Sea almond seed, India almond seed) เป็นไม้ผลัดใบที่อยู่ในสปีชีส์ Combretaceae ชนิดที่พบในประเทศไทย *Terminalia catappa* Linn (ประโยชน์ต้นหูกวาง และสรรพคุณต้นหูกวาง, 2558)

2.2.1.1 ลักษณะทั่วไปของต้น และเมล็ดหูกวาง: เป็นไม้ยืนต้นประเภทผลัดใบ มีความสูงประมาณ 8-25 เมตร มีเปลือกเรียบเป็นรูปไข่ ปลายใบแหลมเป็นติ่งสั้นๆ โคนใบสอบแคบเว้าออกดอกเป็นช่อตามซอกใบขนาดเล็กมีสีขาวนวลออกดอกช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนของทุกปี ผลเป็นรูปไข่หรือรูปรีป้อมๆ และจะแบนเล็กน้อยคล้ายเมล็ดถั่วอัลมอนด์มีขนาดกว้างประมาณ 2-3 เซนติเมตร และยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร มีสีเขียว เมื่อแห้งมีสีดำคล้ำ

รูปที่ 2.1 ต้นหูกวาง (ซ้ายมือ) และเมล็ดหูกวาง (ขวามือ)
แหล่งที่มา: บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2.1.2 องค์ประกอบหลักๆ ทั่วไปของเมล็ดหูกวางจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และไขมัน ดังอ้างอิงในตาราง 2.1 (คลังข้อมูลวิจัยไทย, 2557) โดยพลังงานของเมล็ดหูกวาง 1 กิโลกรัมมีปริมาณสูงถึง 5,940 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดหูกวางทางโภชนาการ (คลังข้อมูลวิจัยไทย, 2557)

องค์ประกอบ (เมล็ดหูกวาง 1,000 กรัม)	
พลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	5,940
น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	40
โปรตีน (กรัม)	208
ไขมัน (กรัม)	540
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	192
ใยอาหาร (กรัม)	23
อื่นๆ (กรัม)	37

2.2.2 มูลไก่

มูลไก่เป็นชีวมวลเหลือทิ้งดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปนอกจากจะนำไปทำเป็นปุ๋ยแล้ว ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ที่ถูกมองข้าม คือ การนำไปผสมเพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแท่งชีวมวล

ตาราง 2.2 (โครงงานการวิจัยมูลไก่เลี้ยง, 2556) แสดงคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลไก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ของแหล่งไขมัน และ เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยจะเป็นส่วนช่วยในการจับตัวกันของถ่านอัดแท่ง จึงนำมูลไก่มาศึกษาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการจับตัวของถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.2 มูลไก่

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลไก่ (โครงงานการวิจัยมูลไก่เลี้ยง, 2556)

	เปอร์เซ็นต์ อากาศแห้ง
โปรตีน	18.20
สารสกัดจากอีเทอร์	1.52
เส้นใย	9.75
เถ้า	29.10
สารสกัดจากไนโตรเจน	30.73
แคลเซียม	3.69
ฟอสฟอรัส	4.36
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	3751

2.3 กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง (กนกพร, 2554)

วัสดุเหลือใช้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ควรต้องผ่านกระบวนการแปรรูปให้เหมาะสม โดยมีกระบวนการแปรรูปหลักๆ ดังต่อไปนี้ คือ การผลิตถ่าน การบดย่อย การผสม และการอัดเป็นแท่ง

2.3.1 การผลิตถ่าน โดยทั่วไปสามารถแยกขั้นตอนได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการไล่ความชื้น (Dehydration) จะใช้ความร้อนอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20-270 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไม้ฟืนเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ขั้นตอนที่สองเป็นการเปลี่ยนไม้เป็นถ่านหรือคาร์บอน (Carbonization) ต้องให้ความร้อนอยู่ที่ 270-400 องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่านจะสังเกตเห็นควันที่ออกมา ขั้นตอนที่สามเป็นการทำให้ก้อนถ่านบริสุทธิ์ (Refinement) จากขั้นตอนที่สองการเปลี่ยนไม้เป็นถ่านจะสมบูรณ์อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนที่ยังไม่เสถียร (Fixed carbon) และยังมีน้ำมันดิน (Tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หากนำถ่านไปใช้จะเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ขั้นตอนที่สี่เป็นการทำให้เย็น (Cooling) โดยการปล่อยทิ้งไว้ให้เตาเย็นจึงจะนำถ่านไม้มาใช้ได้

2.3.2 การบดย่อย คือ การนำถ่านที่ทำการเผาแล้วมาบดให้เป็นผงเพื่อที่จะนำมาใช้ในการอัดแท่ง ถ่านที่บดต้องละเอียดพอที่จะสามารถนำมาขึ้นรูปได้ ขนาดของผงถ่านที่ใช้บดขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านส่วนการบดก็สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตำให้ละเอียดด้วยครกและสาก และการใช้เครื่องบด ปัจจุบันวิธีตำด้วยครกกับสากจะใช้เวลาในการบดนานจึงนิยมใช้เครื่องบดแทน

2.3.3 การผสม คือ เป็นขั้นตอนการเอาผงถ่านที่บดย่อยแล้วผสมกับสารที่ช่วยประสานผงถ่าน ตัวประสานต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูง เช่น แป้งเปียก และกากน้ำตาล ตัวประสานโดยทั่วไปมีคุณสมบัติและความสามารถที่แตกต่างกันไป เช่น ถ้าใช้ตัวประสานเป็นกากน้ำตาลจะมีค่าความร้อนสูง และราคาสูงกว่าแป้งเปียก และปริมาณเถ้าก็จะออกมาน้อยกว่าแป้งเปียก เป็นต้น

2.3.4 การอัดแท่ง เป็นขั้นตอนการอัดส่วนผสมให้เป็นแท่ง การกำหนดขนาดรูปร่างและความหนาแน่นของเนื้อถ่านอัดแท่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานและความต้องการของผู้ใช้ การอัดแท่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 รูปแบบ คือ กระบวนการอัดแบบร้อน และกระบวนการอัดแบบเย็น กระบวนการอัดร้อน (Hot press process) เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดช่วงเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน ในกระบวนการอัดเย็น (Cold press process) เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มีสองวิธี คือ วิธีแรกอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เช่น นำวัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะใช้แป้งมันสำปะหลัง วิธีที่สองการอัดเย็นระบบที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่จะต้องใช้แรงดันในการอัดสูง เพื่อให้โมเลกุลของถ่านเกิดการอัดตัวแน่นจนจับกันเป็นก้อนได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของโครงงานนี้

Teixeira และ Miguel (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการทำถ่านหินจากเถ้าลอยอ้อยซึ่งจะมีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน เพื่อที่จะนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยมีจุดประสงค์หลักๆ สามข้อ คือ 1. เพื่อหาค่าความร้อนจากถ่านอัดแท่ง 2. เพื่อหาความหนาแน่นจากถ่านอัดแท่ง และ 3. เพื่อหาค่าความต้านทานแรงกดของถ่านอัดแท่ง โดยพบว่า ค่าความร้อนที่ได้จากถ่านอัดแท่ง คือ 25.551 กิโลจูลต่อกิโลกรัม, ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง 1.12 กรัมต่อเซนติเมตร และค่าความต้านทานการกดของถ่านอัดแท่ง คือ 7 เมกะปาสคาล

Ndindeng และ Mbassi (2558) ศึกษาเกี่ยวกับการนำรำผสมแกลบมาใช้ในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยใช้เครื่องอัดหลายลูกสูบ (9 ลูกสูบ) อัตราส่วนที่ใช้ รำผสมแกลบ คือ 0:1, 1:2, 1:1, 1:0 และ 2:1 และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิห้องและตากแดดประมาณ 21 วันโดยใช้กระบวนการอัดก้อนด้วยการอัดแท่งที่ 120 ถึง 600 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยการทดลองแรก เพื่อหาค่าความแข็งของก้อนถ่านอัดแท่ง การทดลองที่สอง เพื่อหาค่าความหนาแน่นของก้อนถ่านอัดแท่ง จากการทดลองพบว่าการทดลองแรกจะได้ค่าความแข็งของก้อนถ่านที่ 132, 89, 76, 62, และ 31 นิวตัน ส่วนการทดลองที่สองจะพบว่าถ่านที่ได้มีค่าความหนาแน่นที่ 1245, 1065, 935, 725, และ 605 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Njenga และ Jamnadass (2556) เปรียบเทียบเตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูง (เตาดินเผา) กับ เตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพต่ำ (เตาอิฐ) โดยมีวัตถุดิบเป็นถ่านที่ได้จากการรีไซเคิลถ่านหินเป็นก้อนถ่านหินอัดแท่ง จากการทดลองจะพบได้ว่า เตาดินเผาที่มีประสิทธิภาพสูง จะมีค่าการปล่อยก๊าซที่น้อยกว่าเตาเผาที่มีประสิทธิภาพต่ำ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาต่างชนิดกัน (Njenga และ Jamnadass, 2556)

	ปริมาณก๊าซที่ปล่อย (g pollutant/kg charcoal produced)				
ลักษณะ	CO_2	CO	CH_4	NO_2	N_2O
เตาดินเผา	1103	169	47	0.033	0.076
เตาอิฐ	2510	270	40.7	0.109	0.21

2.4.2 งานวิจัยด้านการศึกษาสมบัติการจุดติดไฟ

ธเนศ และจอมภพ (2552) ศึกษาสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกมังคุดและถ่านเปลือกมังคุดโดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ปริมาณขี้เถ้า อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ ค่าความร้อนของ เชื้อเพลิง องค์ประกอบของธาตุและโครงสร้าง ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเปลือกมังคุดและ ถ่านเปลือกมังคุด มีค่าเฉลี่ย 0.71±0.30 และ 0.50±0.05 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการเกิดขี้เถ้าของเปลือกมังคุดและ ถ่านเปลือกมังคุด มีค่าอยู่ในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 2.67-3.04 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ และพบว่าเปลือกมังคุดมีค่าความร้อน 19,583.50±111.25 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

พงษ์ศักดิ์ และณัฐศักดิ์ (2557) ศึกษาทดลองเกี่ยวกับการลุกไหม้ได้เองของกากอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อไม่ทำให้เกิดการจุดติดไฟด้วยตัวเองของกองกากอ้อย จากการทดลองการจุดติดไฟได้เองของชิ้นทดสอบกากอ้อยรูปทรงลูกบาศก์ที่มีความยาวด้าน 8, 9, และ 10 เซนติเมตร คำนวณค่าคุณสมบัติการจุดติดไฟเฉลี่ยด้วยตัวเอง เท่ากับ 75.6 องศาเซลเซียส

2.4.3 งานวิจัยที่ศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพและขนาดของถ่านอัดแท่ง

รุ่งโรจน์ (2553) ทดลองการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อน ผลการทดลอง สรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด เท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุด เท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

สังเวย (2555) ทดลองการนำเปลือกมังคุดที่เป็นของเหลือทิ้งจากครัวเรือนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อ ใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยมีกาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่า มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,920 แคลอรี่ต่อกรัม (24,864 กิโลจูลต่อกิโลกรัม) มีอัตราการเผาไหม้ 11.80 กรัมต่อนาที ปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 61.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7 และการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่มีการแตกปะทุติดไฟได้ดี ไม่มีเขม่า ไม่มีควัน และไม่มีกลิ่นรบกวน

2.4.4 งานวิจัยที่ศึกษาด้านอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่ง

ศิริชัย และกณุฑล (2555) ทดลองการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวที่เป็นส่วนผสมหลักมาผสมกับกะลามะพร้าวขี้เลื่อยถ่านไม้เบญจพรรณ ในอัตราส่วนผสมที่ 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 โดยทำการอัดแท่งถ่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และมีรูกลวง 1 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร พบว่าถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวกับถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมขี้เลื่อยมีปริมาณความชื้นต่ำ ส่วนกากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณที่อัตราส่วน 70:30 จะมีความชื้นที่สูงกว่า ซึ่งกากมะพร้าวผสมขี้เลื่อย และกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่ากากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณ

ดวงกมล และวสันต์ (2559) ทดลองถ่านไม้บดด้วยเครื่องบดในส่วนผสมถ่านบด 2,000 กรัม : แป้งมัน 500 กรัม (อัตราส่วน 4:1) ผสมกับน้ำนำมาอัดด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3.5 แรงม้า ทดลองศึกษาหาค่าความร้อน ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง และหาระยะเวลาในการติดไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้ ผลการทดลองพบว่า มอเตอร์ไฟฟ้าใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.29 นาที ค่าความร้อนมีค่า 22.68 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 23.34 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นมีค่า 907.43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 838.57 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ระยะเวลาในการติดไฟเฉลี่ย 6 นาที และ 4.33 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้เฉลี่ย 5.17 ชั่วโมง และ 4.24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Prasityousil และ Muenjina (2556) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับการอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตโดยการอัดขึ้นรูปของวัสดุเหลือทิ้งในการทำปุ๋ยหมัก และ ขี้เลื่อย การทดลองดำเนินการ โดยนำถ่านอัดก้อนที่ทำจากอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำกากส่าที่ 10% 15% และ 20% เป็นสารยึดเกาะ ในการอัดก้อนเชื้อเพลิงจะอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.8 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร และมีความยาว 15 เซนติเมตร ถ่านอัดก้อนได้รับการประเมินสมบัติในด้านความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงที่ กำมะถัน ค่าความร้อนเผาไหม้และความหนาแน่น ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนเผาไหม้ และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของขี้เลื่อยถ่านและอัตราร้อยละที่สูงขึ้นของสารยึดเกาะ พบว่าสัดส่วนของปุ๋ยหมักต่อขี้เลื่อย 80:20 มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปุ๋ยหมักสามารถนำมาเป็นพลังงานทางเลือก สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

ลดาวัลย์ และณรงค์ศักดิ์ (2554) ศึกษาการผลิตก้อนเชื้อเพลิงที่ใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และใช้การอัดแบบเปียกด้วยแรงอัดต่ำ 50 และ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดลองที่อัตราส่วนของเศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ดังนี้ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก จากนั้นตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของก้อนเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต คือการใช้เศษฟางข้าวต่อเศษลำไยเหลือทิ้งที่อัตราส่วน 20:80 โดยน้ำหนัก และ มีแป้งเปียกร้อยละ 6 เป็นตัวประสานใช้แรงอัดที่ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ก้อนเชื้อเพลิง

ที่ได้มีค่าความหนาแน่น 0.33 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหยได้ และค่าคาร์บอนคงตัว ของก้อนเชื้อเพลิงมีค่าร้อยละ 7.39, 5.00, 85.73 และ 1.88 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความร้อนของก้อนถ่านอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 3,698.46 แคลอรี่ต่อกรัม และก้อนเชื้อเพลิงมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน เท่ากับร้อยละ 10.64

จากผลการวิจัยข้างต้น ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง อัตราส่วนที่ใช้ รวมไปถึงอัตราส่วนที่ดีที่สุดระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน 80:20 งานวิจัยนี้จึงได้นำอัตราส่วนนี้มาประยุกต์ใช้กับการทำโครงงานวิจัยนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์การทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนในการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เตาเผาถ่านถังแนวตั้ง 200 ลิตร โดยได้รับการอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ใช้สำหรับการเผาวัตถุดิบให้กลายเป็นถ่าน ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เตาเผาถ่าน

3.1.2 เครื่องบดละเอียด ใช้สำหรับบดวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมถ่านอัดแท่ง ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องบด

3.1.3 เครื่องร่อนแยก (Sieves) ใช้สำหรับแยกผงถ่านตามขนาดที่ต้องการ (ใช้ที่ขนาด 250 ไมโครเมตร) ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่องร่อน

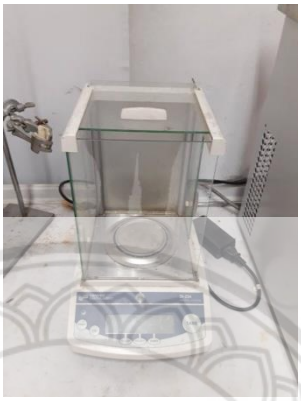
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่าน

3.2.1 เครื่องอัดถ่านระบบไฮโดรลิค ใช้แม่แรง 10 ตัน (ระบบมือกด) มีจำนวนช่องบรรจุถ่าน 16 กระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และภายนอกเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และ 60 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องอัดระบบไฮโดรลิค (ชัยบดินทร์ และพีระศักดิ์, 2554)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

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



รูปที่ 3.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.3.2 ตู้อบ เพื่ออบวิเคราะห์ความชื้น ยี่ห้อ Oven รุ่น OP 100 **ดังรูปที่ 3.6**

รูปที่ 3.6 ตู้อบ

3.3.3 บอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ยี่ห้อ IKA รุ่น C500 ใช้สำหรับหาค่าความร้อนของวัตถุดิบ และถ่านอัดแท่ง (แคลอรี่ต่อกรัม) ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

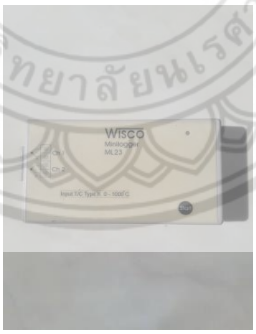
3.3.4 เครื่องวัดแรงกดของถ่าน ยี่ห้อ Lloyds LR10K Plus 5kN ใช้ได้กับ Load-cell ได้ 3 ขนาด คือ 500 N, 5 kN และ 10kN ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดแรงกดของถ่าน

3.3.5 เทอร์โมคัปเปิล Type-K ใช้วัดอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 3.9 เทอร์โมคัปเปิล Type-K

3.3.6 Data Logger รุ่น ML23 ยี่ห้อ Wisco ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลในระหว่างการเผาไหม้ของ ถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.10 Data Logger ML23

3.4 ขั้นตอนการเตรียม และผสมถ่าน

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมผงถ่าน (ถ่านเมล็ดหูกวาง และถ่านมูลไก่)

1) นำเมล็ดหูกวางในปริมาณ 9 กิโลกรัม และมูลไก่ 1 กิโลกรัม มาตากให้แห้งประมาณ 3-5 วัน
2) นำไปเผาในเตาเผาถังแนวตั้ง 200 ลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
3) นำถ่านทั้ง 2 ชนิดที่เผามาบด และร่อนให้ได้ขนาดอนุภาค 250 ไมโครเมตร

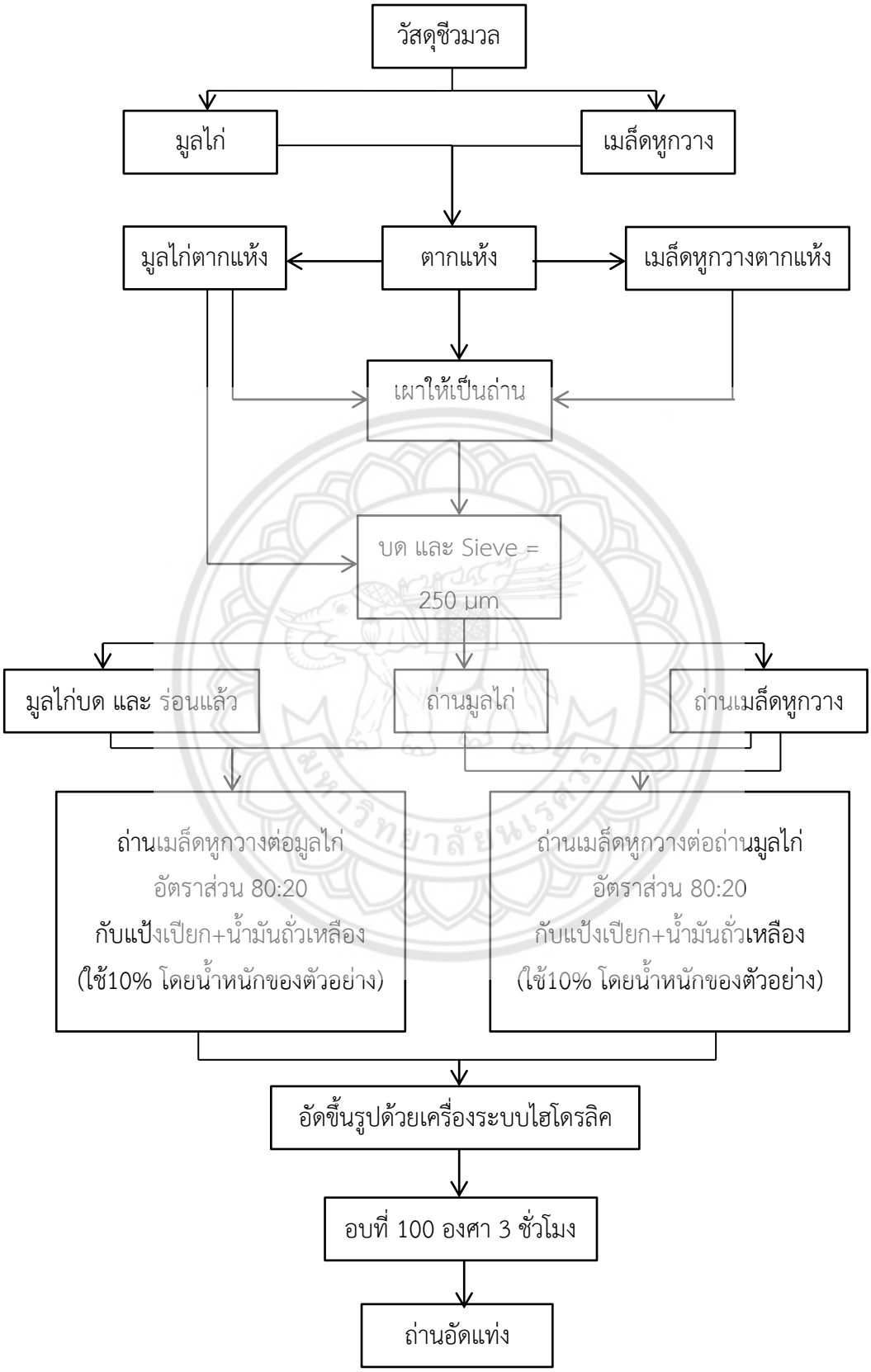
การเตรียมมูลไก่

1) นำมูลไก่ (2.5 กิโลกรัม) ไปตากแห้งประมาณ 3-5 วัน
2) นำมูลไก่มาบด และร่อนให้ได้อนุภาคเท่ากับ 250 ไมโครเมตร

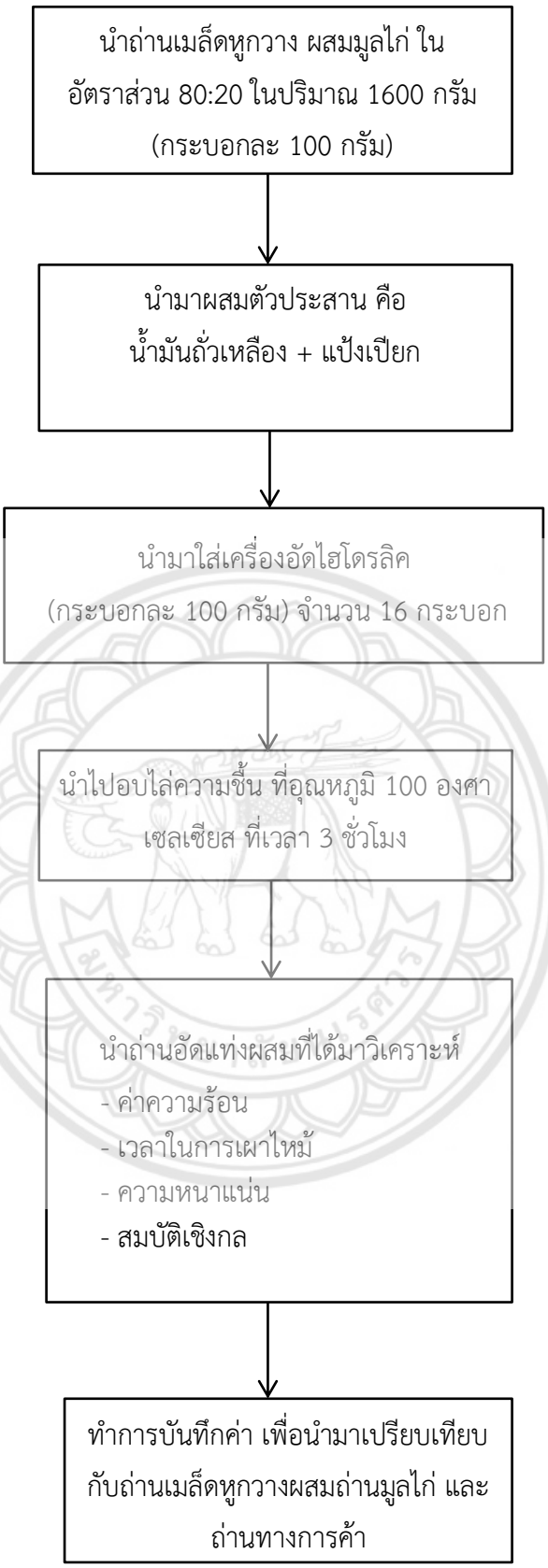
การผสม และอัดแท่ง (ถ่านเมล็ดหูกวาง และมูลไก่)

1) นำถ่านเมล็ดหูกวางมาผสมกับมูลไก่ในอัตราส่วน 80:20 เครื่องอัดมี 16 กระบอก (กระบอกละ 100 กรัม) จะต้องเตรียม 1600 กรัม
2) นำตัวประสาน คือ น้ำมันร้อน และแป้งเปียกอย่างละ 160 กรัม (ใช้โดย 10% ของน้ำหนักตัวอย่าง) มาผสมกับผงถ่านเมล็ดหูกวาง และมูลไก่
3) นำผงถ่านที่ผสมแล้วไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดระบบไฮโดรลิค (กระบอกละ 100 กรัม) และนำไปอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4) นำถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่มาวัดหาค่าความร้อน, เวลาการเผาไหม้, ความหนาแน่น, สมบัติเชิงกล เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่
5) ส่วนการผสม ถ่านเมล็ดหูกวางกับถ่านมูลไก่ (ทำเช่นเดียวกันเพียงเปลี่ยนแค่วัตถุดิบ)

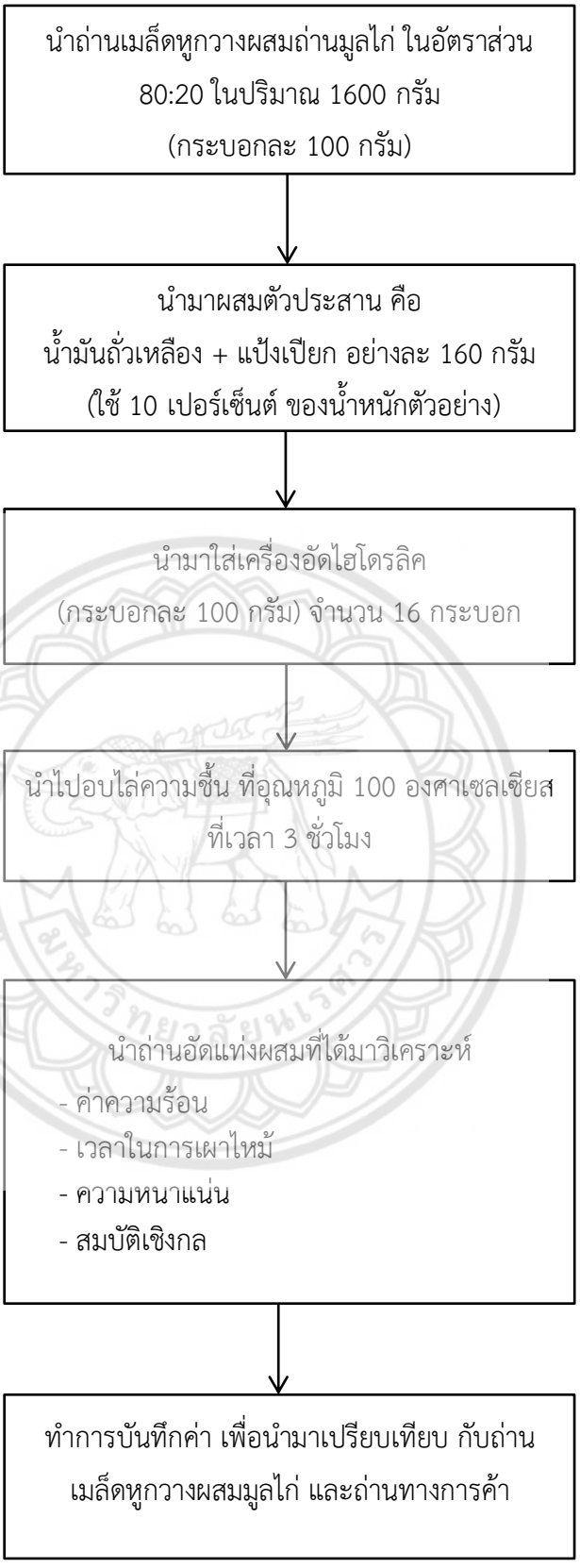
ขั้นตอนการดำเนินการทดลองทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.11 และขั้นตอนการทำการผสมถ่านเมล็ดหูกวางและ มูลไก่ และการผสมถ่านเมล็ดหูกวาง และถ่านมูลไก่ แสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.12 การผสมถ่านเมล็ดหูกวาง และมูลไก่



รูปที่ 3.13 การผสมถ่านเมล็ดหูกวาง และถ่านมูลไก่

3.5 ขั้นตอนการทำถ่าน

3.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

เมื่อได้ทำการเตรียมเมล็ดหูกวาง และมูลไก่ที่แห้งจากการตากแดดเป็นเวลา 3 วัน ตั้งแต่เวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. แล้วจะนำมาเผา โดยทำการเผาทีละตัวอย่าง เผาด้วยวิธีการเผาให้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส โดยจะนำวัสดุที่เตรียมไว้ใส่เตาเผาในแนวตั้ง 200 ลิตร ดังรูป 3.14 ทำการปิดฝาถังให้สนิทเพื่อเตรียมการเผา จากนั้นจะทำการจุดไฟให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ด้วยตัวเองโดยการเติมใบไม้แห้ง และฟืนในอุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส ดังรูป 3.15 และจะใช้เวลาในการเผาประมาณ 1 ชั่วโมง ถึง 1 ชั่วโมงครึ่ง แล้วจึงนำถ่านออกมา ถ่านที่ได้ออกมา แสดงดังรูป 3.16 และ 3.17 เพื่อที่จะนำไปบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ดังรูป 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ จึงจะได้ผงถ่านสำหรับการผสมในขั้นต่อไป

รูปที่ 3.14 เมล็ดหูกวางเตรียมเผา

รูปที่ 3.15 การจุดไฟและ เติมเชื้อเพลิง

รูปที่ 3.16 ถ่านเมล็ดหูกวาง

รูปที่ 3.17 ถ่านมูลไก่

3.5.2 การผสมผงถ่านกับตัวประสาน

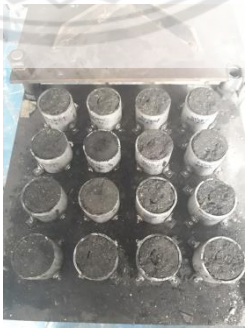
นำผงถ่านมาผสมกับตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) และจะผสมน้ำมันถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่าน การผสมถ่านให้เข้ากันดังรูป 3.18 และ3.19 โดยการผสมแบบให้ความร้อนที่อุณภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผงถ่านจับตัวกันได้มากขึ้น และง่ายต่อการผสม หลังจากผสมสัดส่วนเสร็จแล้วจากนั้นก็ตักถ่านใส่ถ้วย เพื่อที่จะนำถ่านมาใส่ในแต่ละกระบอกประมาณ 100 กรัมจนครบจำนวน 16 กระบอก

รูปที่ 3.18 ผสมแป้งมันสำปะหลัง

รูปที่ 3.19 ผสมน้ำมันพืช

3.5.3 การอัดขึ้นรูป

นำผงถ่านที่ผสมกับตัวประสานที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาใส่ลงกระบอก ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งจะใส่ลงในแต่ละกระบอกประมาณ 100 กรัม จากนั้นจะทำการปิดฝาเครื่องอัด โดยใช้แรงยกจากไฮโดรลิคอัดถ่านขึ้นมาจนแม่แรงฝืด หรือยกไม่ขึ้น และจะปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้ถ่านได้จับตัวกันแน่นขึ้น จากนั้นเปิดฝาออกแล้วใช้แรงยกจากไฮโดรลิคดันถ่านขึ้นมาจากกระบอก ใช้เวลาในการอัด 15-20 นาทีต่อครั้ง ถ่านที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และภายในเท่ากับ 6 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความสูงประมาณ 5.2-6 เซนติเมตร ดังรูป 3.21 เมื่อได้ถ่านอัดแท่งออกมาจะนำไปอบในตู้อบ ดังรูปที่ 3.6 จะเป็นการอบเพื่อไล่น้ำหรือความชื้น



รูปที่ 3.20 ผงถ่านที่ผสมแล้วเตรียมอัดขึ้นรูป

รูปที่ 3.21 ถ่านอัดแท่ง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองนี้ จะทำการวิเคราะห์ค่าความร้อน, หาความหนาแน่น, วัดสมบัติเชิงกล (ความแข็งของถ่าน) และวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง มีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 การหาค่าความร้อน

การหาค่าความร้อน จะหาค่าโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์วัดค่า ค่าที่วัดได้จะเป็น Higher- heating value ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี่ต่อกรัม ในการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นตอนการเติมก๊าซออกซิเจน ใช้เวลาประมาณ 1-3 นาที

2) ขั้นตอนการทดสอบเชื้อเพลิง ใช้เวลาประมาณ 3-6 นาที

3.6.2 การวัดความชื้น

ความชื้น (Moisture content) การหาค่าความชื้นจะดำเนินการโดยวิธีการอบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณได้จากสมการ 3.1 ดังนี้

$$\%\text{Moisture} = \frac{(M_1 - M) - (M_2 - M)}{(M_1 - M)} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ M คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่า (กรัม)

M_1 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

3.6.3 การหาความหนาแน่น

การหาค่าความหนาแน่น จะทำการชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง เพื่อทราบมวลของถ่านอัดแท่ง จากนั้นจะคำนวณปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของถ่านอัดแท่ง เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่น จากสมการ 3.3 ดังนี้

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (3.3)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

V คือ ปริมาตรของวัตถุ (cm^3)

3.6.4 การวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้

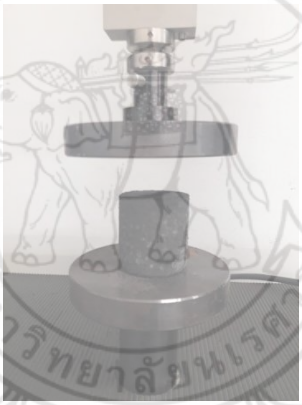
การวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้ โดยจะทำการวัดตั้งแต่ถ่านเริ่มติดไฟ ดังรูป 3.22 จนกระทั่งกลายเป็นเถ้า ดังรูป 3.23 โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลสอดเข้าไปวัดอุณหภูมิที่รูตรงกลางของถ่าน และอ่านข้อมูลโดยการต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

รูปที่ 3.22 ถ่านเริ่มติดไฟ

รูปที่ 3.23 ถ่านกลายเป็นเถ้า

3.6.5 การวัดค่าความต้านทานแรงกด (Compressive strength)

การวัดค่าความต้านทานแรงกด วัดได้โดยใช้เครื่อง Universal tensile testing-machine เวลาวัดเครื่องจะให้ค่า load กับ เวลาที่ดำเนินไป ดังรูป 3.24 , 3.25



รูปที่ 3.24 ถ่านชีวมวลก่อนการทดสอบการต้านทานแรงกด

รูปที่ 3.25 ถ่านชีวมวลหลังการทดสอบการต้านทานแรงกด

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบในด้านต่างๆ ของสมบัติของถ่านอัดแท่ง คือ ค่าความร้อน (Heating value), ความหนาแน่น, อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเผาไหม้, และค่าความต้านทานแรงกดของถ่านชีวมวลผสมถ่านมูลไก่กับถ่านชีวมวลผสมมูลไก่ เพื่อทำการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ความหนาแน่น

การหาค่าความหนาแน่น จะทำการชั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง เพื่อให้ทราบมวลของถ่านอัดแท่ง และทำการคำนวณปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของถ่านอัดแท่ง เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่น ดังนั้นเมื่อความหนาแน่นของถ่านมีมากก็ย่อมสะดวกต่อการจัดเก็บ และการขนส่ง

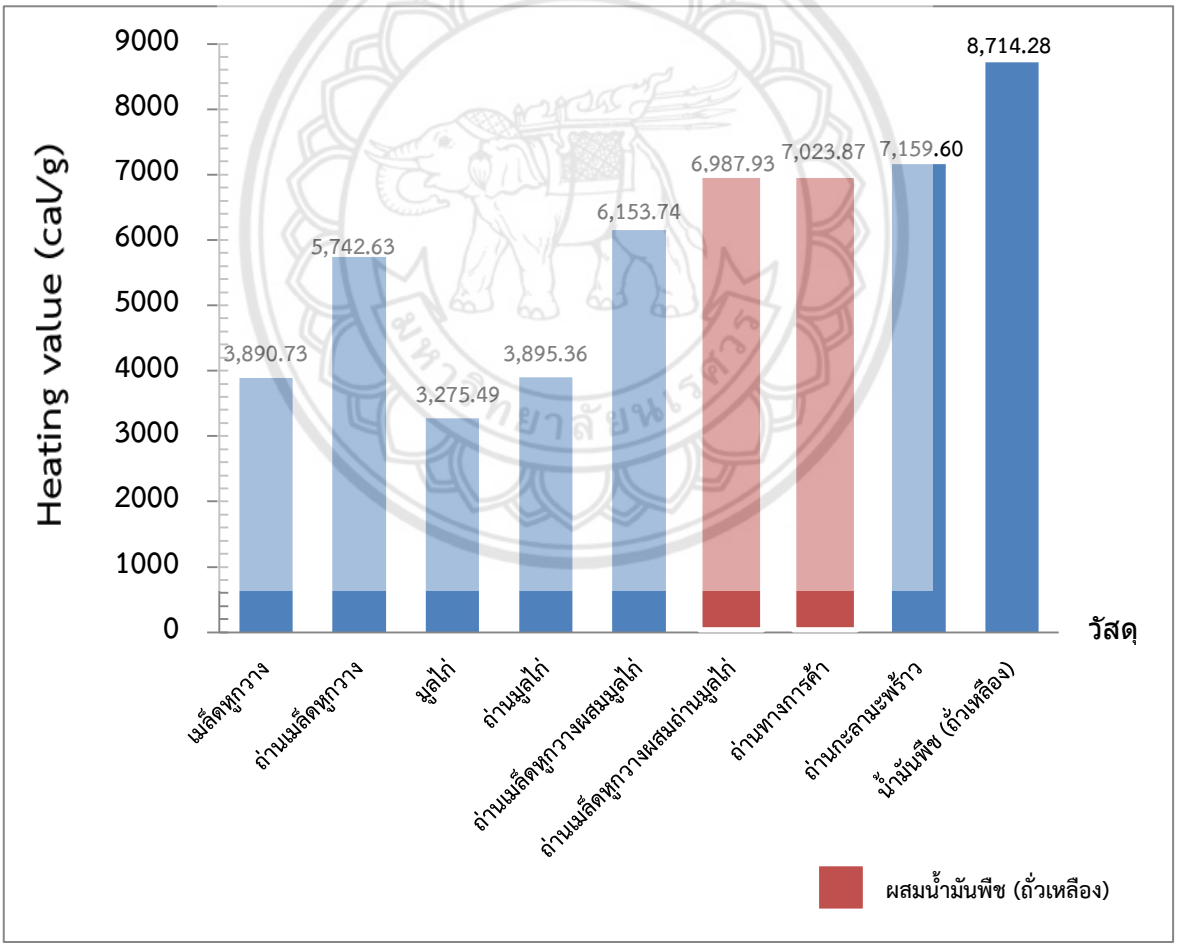
จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่จะมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.7128 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ที่มีความหนาแน่นอยู่ที่ 0.7045 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการสังเกตถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่นั้นมีความยืดหยุ่นจึงส่งผลให้หลังอัดมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าและส่งผลทำให้ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่า ส่วนถ่านทางการค้าจะมีความหนาแน่นที่สูงที่สุด เพราะว่าท่านทางการค้าจะมีมวลที่มาก และพื้นที่หน้าตัดที่น้อยกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ และถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ และถ่านทางการค้าที่ใช้นั้นยังเป็นการอัดแบบไฟฟ้าด้วยระบบสกรู (Extruder) จะมีแรงอัดที่สูงมากจึงมีผลต่อค่าความหนาแน่น (ข้อมูลเครื่องอัดถ่านไฟฟ้า, 2559)

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (g/cm^3)

ถ่านอัดแท่ง	อัตราส่วน	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	80:20	0.7012	0.7259	0.7084	0.7128
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่		0.7159	0.7102	0.6874	0.7045
ถ่านทางการค้า	-	1.1172	1.1047	1.1086	1.1101

4.2 ค่าความร้อน

ผลการทดลองด้านค่าความร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดเจนว่าวัสดุที่ผ่านการเผาทำให้เป็นถ่านแล้วจะมีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น เพราะมีคุณสมบัติเป็นคาร์บอนมากขึ้น สารระเหยต่างๆ และความชื้นลดลง เมล็ดหูกวางเดิมมีค่าความร้อน 3,890.73 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อได้รับการเผาแล้วค่าความร้อนที่ได้จะเพิ่มขึ้นเป็น 5,742.63 แคลอรี่ต่อกรัม และมูลไก่กับถ่านมูลไก่ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่จะมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ เพราะว่ามูลไก่ที่เป็นชีวมวลนั้นมีค่าความร้อนต่ำกว่ามูลไก่ที่ได้รับการเผาแล้ว ซึ่งถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่จะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านทางการค้า เพราะว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่นั้น มีส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลือง ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (ข้อมูลค่าความร้อนสำหรับชีวมวลต่างๆ. 2559)

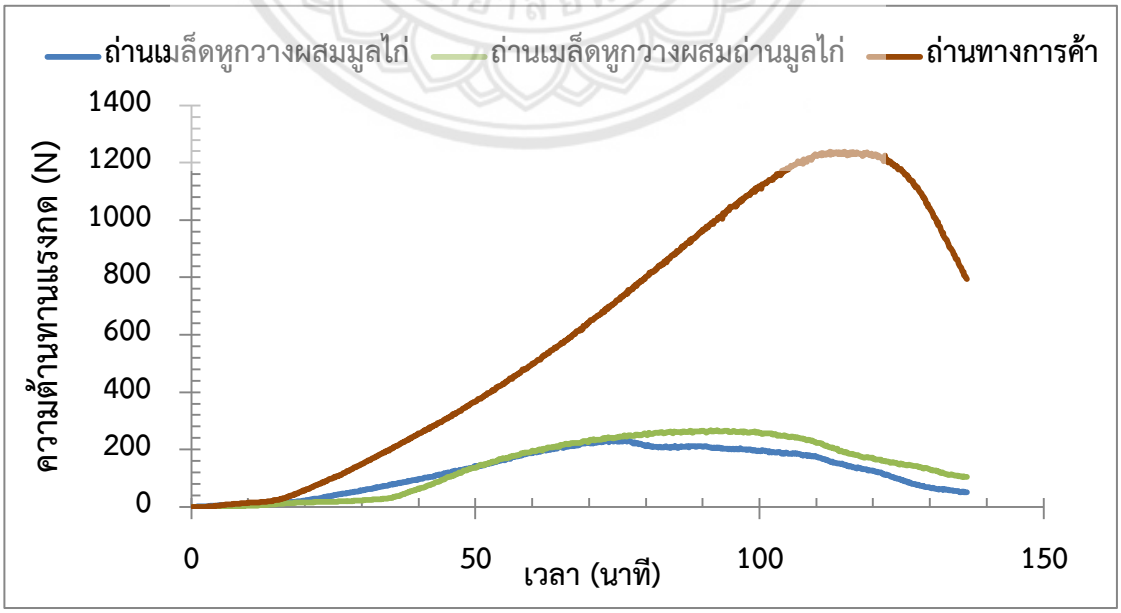


รูปที่ 4.1 ค่าความร้อนของถ่านชีวมวล

4.3 ความต้านทานแรงกด

ค่าความต้านทานแรงกดของถ่านแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยเฉพาะเพื่อช่วยด้านการจัดเก็บ และการขนส่ง ถ้าถ่านมีค่าความต้านทานแรงกดมากพอก็จะรับน้ำหนักได้มากหรือมีความแข็งแรงมากด้วยเช่นกัน ดังนั้น การศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพในด้านความทนทานต่อแรงกดจึงเป็นขั้นตอนการทดสอบแบบง่ายรวดเร็ว สามารถช่วยนำมาใช้จริงได้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าถ่านทางการค้ามีค่าความต้านทานแรงกดสูงสุด 1,237.8 นิว-ตัน คือถ่านทางการค้ามีความต้านแรงกดที่สูงสุด น่าจะมีสาเหตุมาจากถ่านทางการค้าใช้เครื่องอัดแบบไฟฟ้า จึงส่งผลให้ถ่านมีความหนาแน่นมากที่สุด เนื่องจากมีการอัดผงถ่านด้วยแรงอัดที่สูงกว่าเครื่องอัดไฮโดรลิคที่ใช้อยู่หลายเท่าตัวจึงทำให้อนุภาคของถ่านอัดตัวได้แน่น (ข้อมูลเครื่องอัดถ่านไฟฟ้า, 2559) ส่วนถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่จะมีค่าความต้านทานแรงกด 265.52 นิวตัน สูงกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ที่มีค่า 230.03 นิวตัน เพียงเล็กน้อย น่าจะมีสาเหตุมาจากก้อนถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่หยิบสุ่มมานั้นอาจจะอยู่ตรงกลางของเครื่องอัดไฮโดรลิค จึงทำให้ได้รับแรงอัดที่สูงกว่า ส่วนก้อนถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่นั้นอาจสุ่มหยิบได้ก้อนถ่านที่อยู่ริมเครื่องอัดไฮโดรลิค โดยทำให้ได้รับแรงอัดที่ต่ำกว่าจึงส่งผลให้มีค่าความต้านทานแรงกดที่ต่ำกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่เพียงเล็กน้อย

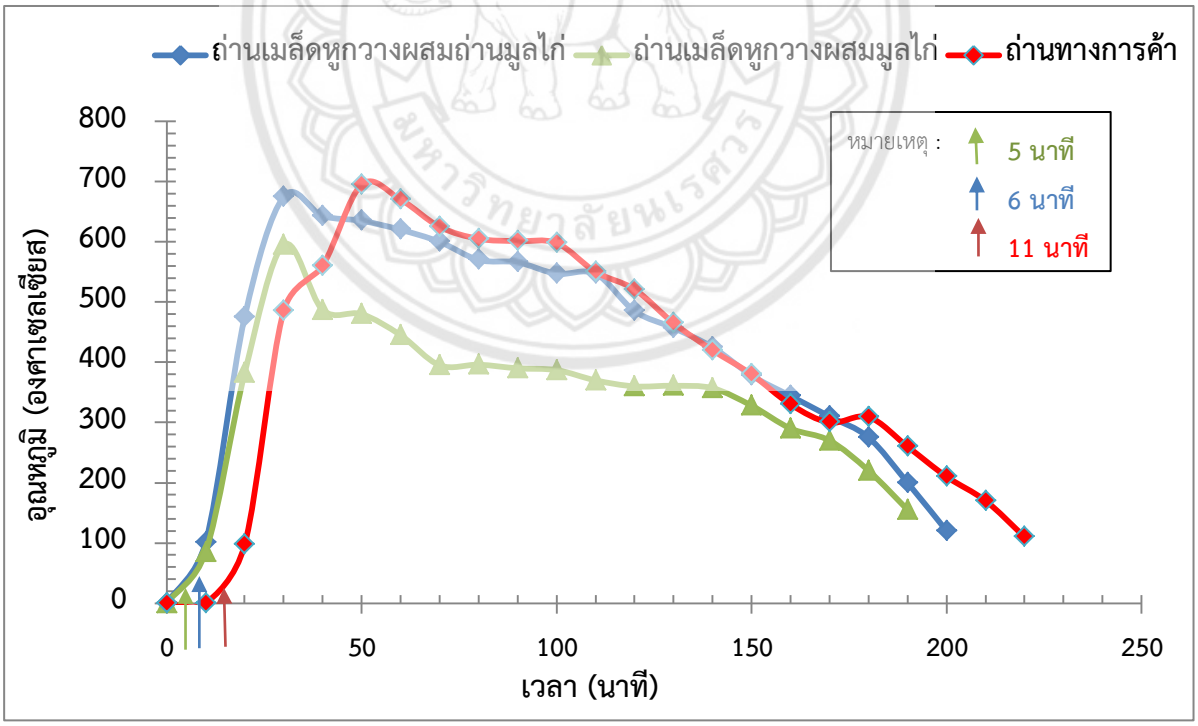


รูปที่ 4.2 ความต้านทานแรงกดถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่/มูลไก่ และถ่านทางการค้า

4.4 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้

ในการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งผสมมูลไก่ และถ่านมูลไก่ อัตราส่วน 80:20 เปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งทางการค้า โดยการเผาถ่านจนกลายเป็นเถ้า

จากรูป 4.3 จะสังเกตเห็นได้ว่าถ่านทางการค้าจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดที่ 695 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมากกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่มีค่า 675 องศาเซลเซียส กับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ที่มีค่า 595 องศาเซลเซียส เพราะว่าถ่านทางการค้ามีค่าความร้อนที่มากกว่าจึงส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิสูง และจะสังเกตเห็นได้อีกว่าถ่านทางการค้าจะมีการจุดติดไฟอยู่ที่ 11 นาที ช้ากว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่ใช้เวลา 6 นาที กับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ที่ใช้เวลา 5 นาที เพราะว่าถ่านทางการค้ามีความหนาแน่นที่มาก และความหนาแน่นที่มากนั้นก็จะส่งผลต่อระยะเวลาในการจุดติดไฟ และการเผาไหม้ จะเห็นได้ว่าถ่านทางการค้าจะมีระยะเวลาในการเผาไหม้อยู่ที่ 220 นาที ซึ่งจะมากกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ที่ใช้เวลา 200 นาที กับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ที่ใช้เวลา 190 นาที



รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ (80:20), ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ (80:20) และถ่านทางการค้า

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณภาพ และสมบัติของถ่านอัดแท่งได้แก่ ค่าความร้อน, ความหนาแน่น, เวลาในการเผาไหม้, สมบัติเชิงกล (ความต้านทานแรงกด) และเปรียบเทียบเวลาในการเผาไหม้ และความต้านทานแรงกดของถ่านอัดแท่งชีวมวลกับถ่านทางการค้า ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าตามลำดับน้อยไปมากดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ 6,153.74 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ 6,987.93 แคลอรี่ต่อกรัม

- ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าตามลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ 0.7045 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ 0.7128 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านทางการค้า 1.1101 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

- ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่มีการเผาไหม้ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 675 องศาเซลเซียส กับ 595 องศาเซลเซียสตามลำดับ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่มีค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดค่อนข้างใกล้เคียงกับถ่านทางการค้า คือ 675 องศาเซลเซียส กับ 695 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนระยะเวลาในการเผาไหม้นั้นถ่านทางการค้าจะเผาไหม้นานกว่าถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ และมีค่าการจุดติดไฟอยู่ที่ 11 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ

- ความต้านทานแรงกดของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีดังนี้ ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ 265.52 นิวตัน ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ 230.03 นิวตัน และถ่านทางการค้า 1,238.1 นิวตัน

ข้อเสนอแนะ

ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านทางการค้า แต่ระยะเวลาเผาไหม้นั้นมีน้อยกว่าจึงทำให้เวลาใช้งานของถ่านทางการค้าดีกว่า ดังนั้นเราจึงควรเพิ่มแรงอัดให้มากขึ้น

ความหนาแน่นของถ่านชีวมวลนั้น มีค่าน้อยกว่าถ่านทางการค้า จึงควรจะทำการศึกษาขนาดของผงถ่านที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และมีระยะเวลาเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

กนกพร เนียมศรี. (2554). **กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง.** สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2560 http://lib3.dss.go.th/fulltext/techno_file/CF61/CF%2061%20(A1).pdf

ข้อมูลเครื่องอัดถ่านไฟฟ้า. (2559). สำหรับอัดท่านแท่งให้เป็นก้อน สืบค้นเมื่อ 30 เมษายน 2561 https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/technoloye.php

ข้อมูลค่าความร้อนสำหรับพลังงานชีวมวลต่างๆ (น้ำมันพืชถั่วเหลือง). (2559). สืบค้นเมื่อ 30 เมษายน 2561 http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues.

คลังข้อมูลวิจัยไทย. (2557). **องค์ประกอบของเมล็ดหูกวางทางโภชนาการ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2560 http://www.tnrr.in.th/?page=result_search&record_id=204367

โครงงานการวิจัยมูลไก่เลี้ยง. (2556). **ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีของมูลไก่.** สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2560 http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/3851/5/ch2.pdf

โครงงานบ้านวิทยาศาสตร์. (2557). **กระบวนการแปรรูปชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2560 https://www.baanjomyut.com/library_3/extension5/energy.htl

ชัยบดินทร์ หิตะวัฒนกุล และ พีระศักดิ์ หยกศิลา. (2556). **การพัฒนาเครื่องถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและชังข้าวโพดด้วยระบบไฮโดรลิค**. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

ดวงกมล ดังโพนทอง และ วสันต์ ปินะเต. (2559). **การเปรียบเทียบค่าความร้อน และความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง**. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2560 https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Frn7mykwG_4J

บรรณานุกรม (ต่อ)

ธเนศ ไชยชนะ และจอมภพ แววศักดิ์. (2552). **ศึกษาสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกมังคุดและถ่านเปลือกมังคุดโดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ**. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2560 http://www.annualconference.ku.ac.th/cd53/08_004_O25.pdf

บริษัท เอ็นเนอร์จีเซฟวิ่งโปรดักส์ จำกัด. (2558). **พลังงานชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2560 http://www.espthailand.com/article/definition-of-biomass.html

บริษัท เอ็นเนอร์จีเซฟวิ่งโปรดักส์ จำกัด. (2558). **ความสำคัญพลังงานจากชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2560 http://www.espthailand.com/article/benefits-of-biomass.html

ประโยชน์ต้นหูกวาง และสรรพคุณหูกวาง. (2558). สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2562 https://puechkaset.com/

พงษ์ศักดิ์ พงษ์สัมณะ และณัฐศักดิ์ บุญมี. (2557). **การลุกไหม้ได้เองของกากอ้อย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน https://archives.tcithaijo.org/index.php/tsujournal/article/viewFile/43633/

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553). **ถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังโดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อน**. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2560 http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Ind_Ed/Rung-Roj_P.pdf

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ และณรงค์ศักดิ์ ราบัน. (2554). **ผลิตก้อนถ่านที่ใช้อัตราส่วนผสมของเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้ง.** สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2560 https://digital.lib.kmutt.ac.th/journal/loadfile.php?A_ID=802

ศิริชัย ต่อสกล และกณุฑล ทองศรี. (2555). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวที่เป็นส่วนผสมหลักมาผสมกับกะลามะพร้าวขี้เลื่อยถ่านไม้เบญจพรรณ.** สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2560. http://webcache.googleusercontent.com

บรรณานุกรม (ต่อ)

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2557). **แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2560 http://www.green-energy-th.com/biomass/

สำนักนโยบาย และแผนพลังงาน. (2556). **รายงานเกี่ยวกับเรื่องสถิติพลังงานของประเทศไทย.** (2013),กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 335 น, สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2560 http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079

สังเวย เสวกวิหาร. (2555). **ถ่านเปลือกมังคุด และงานวิจัยวิทยาศาสตร์**. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2560 https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle /123456789/1206/SCI_55_07.pdf?sequ ence=1

Ndindeng S.A., Mbassi J.E., (2015), Quality optimization in briquettes made from rice milling by-products, **Energy for Sustainable Development**, 29, 24-31.

Njenga M., Jamnadass R., (2014), Additional cooking fuel supply and reduced global warming potential from recycling charcoal dust into charcoal briquette in Kenya, **Journal of Cleaner Production**, 81, 81-88.

Jitthep P., Akarawit M., (2013), Properties of solid fuel briquettes produced from rejected material of municipal waste composting, **Procedia Environmental Sciences,** 17, 603-610.

Teixeira S., Miguel A., (2010), Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (SCBFA) as an alternative fuel, **Waste Management**, 30, 804-807.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

การหาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง จะสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

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

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

V คือ ปริมาตรของวัตถุ (cm^3)

ตารางที่ ก.1 น้ำหนัก (m) ของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่3	เฉลี่ย
80:20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	105.6781	105.7723	104.9842	105.4782
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่	104.2993	106.1231	105.3329	105.2517

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

เมื่อ R คือ รัศมีภายนอก

r คือ รัศมีภายใน

h คือ ความสูง

ตาราง ก.2 ปริมาตร (V) ของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่3	เฉลี่ย
80:20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	150.7201	145.6961	148.208	148.2081
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่	145.6962	149.4641	153.2321	149.4643

ตาราง ก.3 ค่าความหนาแน่น (ρ) ของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่3	เฉลี่ย
80:20	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	0.7012	0.7259	0.7084	0.7128
	ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่	0.7159	0.7102	0.6874	0.7045

ภาคผนวก ข

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

การหาค่าความร้อน จะหาค่าโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ ค่าที่วัดได้จะเป็น Higher-heating value ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี่ต่อกรัม (cal/g) รายละเอียดค่าความร้อนแสดงดัง ตาราง ข.1

ตาราง ข.1 ค่าความร้อนของวัสดุ และถ่านอัดแท่ง (80:20)

วัสดุ	ค่าความร้อน (cal/g)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
เมล็ดหูกวาง	3,890.73	16,341.07
มูลไก่	3,275.49	13,757.06
ถ่านเมล็ดหูกวาง	5,742.63	24,119.05
ถ่านมูลไก่	3,895.36	16,360.51
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	6,987.93	29,349.31
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่	6,153.74	25,845.71
กะลามะพร้าว	7,159.60	32,218.20
น้ำมันพืช (ถั่วเหลือง)*	8,714.28	39,214.26
ถ่านทางการค้า	7,023.87	29,500.25

* อ้างอิงจาก http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues.

ภาคผนวก ค

ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content) มีรายละเอียดดังนี้

ค.1 การหาปริมาณความชื้น

ค.1.1 ขั้นตอนการหาค่าความชื้น

1) นำถ้วย (Crucible) และฝาปิด เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วย (Crucible) และฝาปิดไปเก็บในหม้อดูดความชื้น เป็นเวลา 15 นาที หรือมากกว่านั้น และชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (M)
2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยเปล่า พร้อมชั่งน้ำหนัก (M_1)
3) นำถ้วยในข้อ 2 ไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างต่ำ 12 ชั่วโมง หรือมากกว่าจนน้ำหนักคงที่
4) นำถ้วยในข้อ 3 ออกจากเตาและปิดฝา ไปเก็บในหม้อดูดความชื้น จนกว่าถ้วยจะเย็น ชั่งน้ำหนัก (M_2)

ค.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 น้ำหนักมวลถ้วยเปล่าและสารตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ (กรัม)

ตาราง ค.1 การหาค่าความชื้นของถ่านชีวมวล และชีวมวล

วัตถุดิบ	ครั้งที่	น้ำหนักวัสดุ			ความชื้น	
		M	M_1	M_2	%ความชื้น	เฉลี่ย
เมล็ดหูกวาง	1	40.7921	41.7934	41.7481	4.524	3.26
	2	39.7514	40.7532	40.7323	2.086	
	3	33.6174	34.6180	34.5882	3.178	
มูลไก่	1	40.7921	41.7920	41.7532	3.881	3.82
	2	39.7514	40.7523	40.7120	4.026	
	3	33.6174	34.6175	34.5821	3.539	
ถ่านเมล็ดหูกวาง	1	40.7921	41.7924	41.7601	3.229	3.04
	2	39.7514	40.7516	40.7209	3.069	
	3	33.6174	34.6175	34.5894	2.810	
ถ่านมูลไก่	1	40.7921	41.7921	41.7598	3.231	3.03
	2	39.7514	40.7517	40.7197	3.199	
	3	33.6174	34.6173	34.5902	2.701	
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่ (80:20)	1	40.7921	41.7930	41.7545	3.847	3.98
	2	39.7514	40.7518	40.7106	4.128	
	3	33.6174	34.6180	34.5799	3.808	
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่ (80:20)	1	40.7921	41.7925	41.7522	4.028	4.03
	2	39.7514	40.7513	40.7102	4.112	
	3	33.6174	34.6178	34.5784	3.938	

ภาคผนวก ง

ข้อมูลเวลาและอุณหภูมิในการเผาไหม้

ตาราง ง.1 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระหว่างการเผาไหม้

ถ่านหูกวางผสมถ่านมูลไก่		ถ่านหูกวางผสมมูลไก่		ถ่านทางการค้า	
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (℃)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (℃)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (℃)
0	0	0	0	0	0
10	101	10	85	10	75
20	475	20	382	20	398
30	675	30	595	30	485
40	643	40	487	40	560
50	635	50	480	50	695
60	620	60	445	60	670
70	600	70	395	70	625
80	570	80	396	80	605
90	566	90	390	90	601
100	547	100	387	100	598
110	547	110	370	110	550
120	485	120	360	120	521
130	457	130	361	130	465
140	425	140	357	140	420
150	378	150	328	150	380
160	344	160	290	160	330
170	310	170	270	170	300
180	275	180	220	180	309
190	200	190	155	190	260
200	120	200		200	210
210		210		210	170
220		220		220	110

ภาคผนวก จ

ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงของถ่านอัดแท่ง

ตาราง จ.1 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงของถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่

ถ่านอัดแท่ง	อัตราส่วน	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)	สูง (cm)
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมถ่านมูลไก่	80 : 20	1	105.6781	6.0
		2	105.7723	5.8
		3	104.9842	5.9
		4	105.4321	5.9
		5	105.3922	6.0
		6	105.8121	6.1
		7	104.9791	5.9
		8	105.4533	5.9
		9	105.3462	5.8
		10	104.9923	5.8
		11	105.8102	5.9
		12	105.1391	6.0
		13	105.5962	6.0
		14	105.6123	6.0
		15	104.8942	5.9
		16	105.7031	5.9

ตาราง จ.2 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงของถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่

ถ่านอัดแท่ง	อัตราส่วน	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)	สูง (cm)
ถ่านเมล็ดหูกวางผสมมูลไก่	80 : 20	1	106.1231	5.95
		2	105.3325	6.10
		3	104.2993	5.80
		4	105.2391	5.90
		5	105.1988	5.95
		6	105.8324	6.10
		7	105.7720	6.10
		8	104.9732	5.95
		9	105.1880	5.90
		10	105.2352	6.00
		11	105.4398	6.10
		12	105.8359	6.00
		13	105.7746	6.10
		14	105.3844	6.00
		15	105.3378	5.95
		16	105.4466	5.85

ตาราง จ.3 ข้อมูลน้ำหนัก และส่วนสูงของถ่านทางการค้า

ถ่านอัดแท่ง	ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)	สูง (cm)
ถ่านทางการค้า	1	109.7230	6.50
	2	110.2179	6.50
	3	109.2239	6.50
	4	109.2870	6.47
	5	110.3872	6.50
	6	110.1042	6.48
	7	110.2749	6.50
	8	109.4831	6.49
	9	109.7488	6.50
	10	109.9490	6.50
	11	110.2780	6.45
	12	110.8803	6.55
	13	110.1358	6.50
	14	110.0321	6.48
	15	109.7481	6.50
	16	109.9941	6.50

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลน้ำหนักชีวมวลก่อนเผาและหลังเผา

ตาราง ฉ.1 ข้อมูลน้ำหนักเมล็ดหูกวางก่อนเผา และหลังเผา

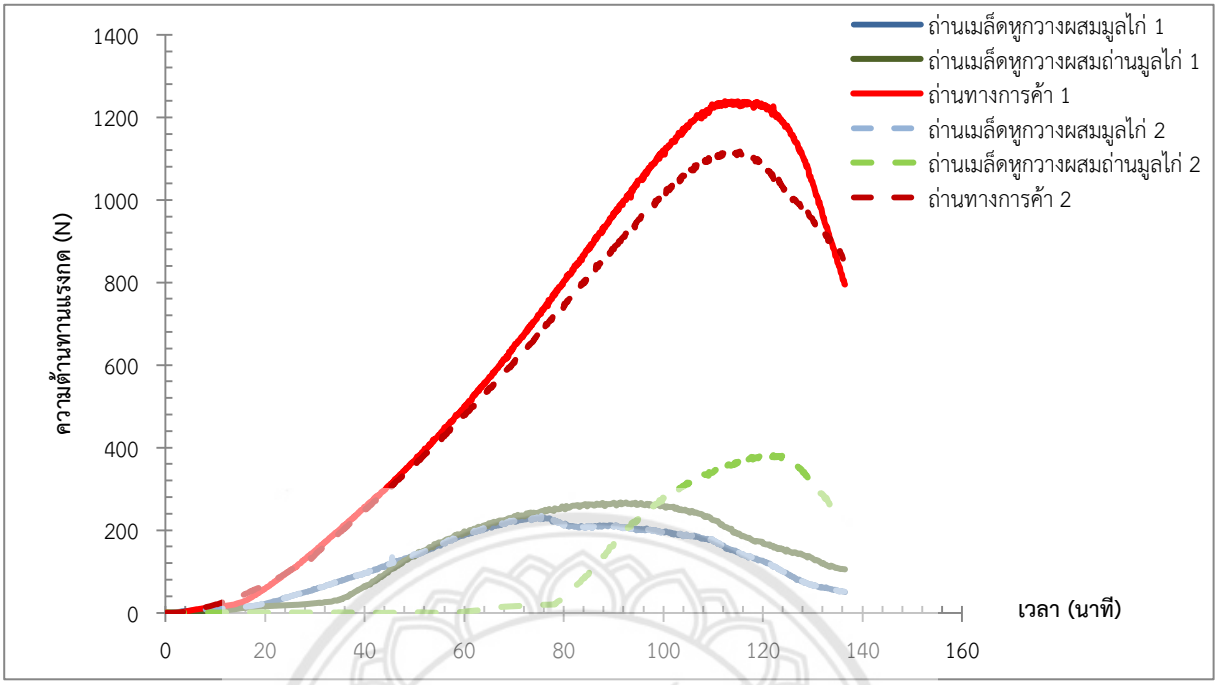
ชีวมวล	ครั้งที่	ก่อนเผา (กิโลกรัม)	หลังเผา (กิโลกรัม)
เมล็ดหูกวาง	1	10	3.12
	2	10	2.98
	3	10	3.26
			เฉลี่ย = 3.12

ตาราง ฉ.2 ข้อมูลน้ำหนักมูลไก่ก่อนเผา และหลังเผา

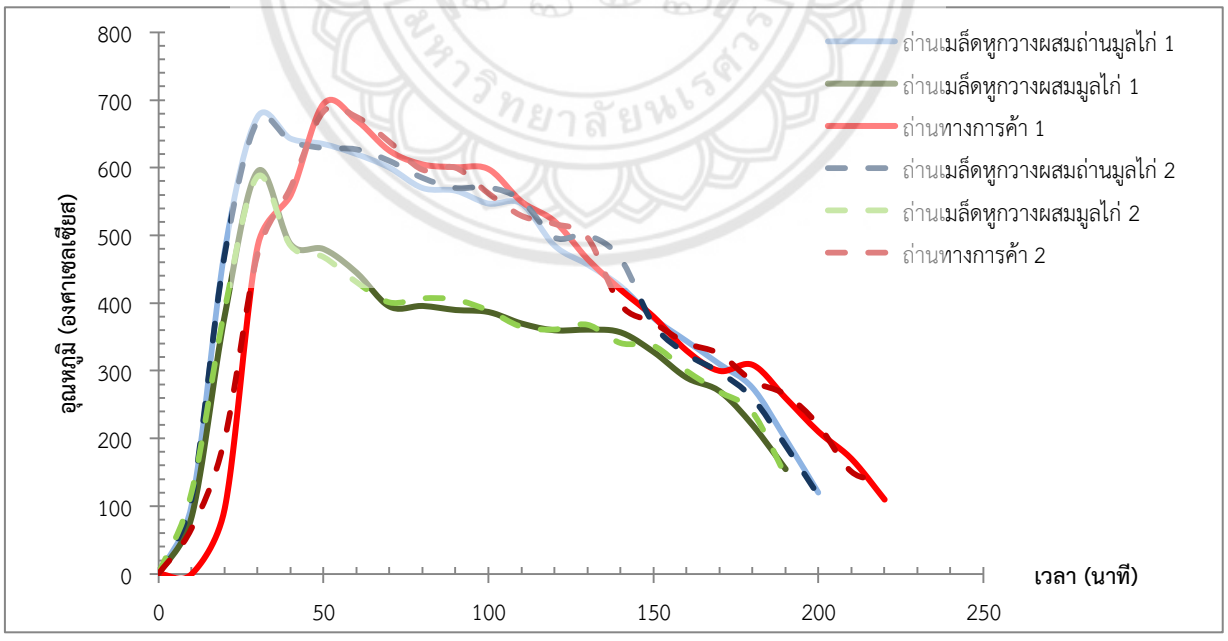
ชีวมวล	ครั้งที่	ก่อนเผา (กิโลกรัม)	หลังเผา (กิโลกรัม)
มูลไก่	1	8.5	2.56

ภาคผนวก ช

ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าความแข็ง และค่าอุณหภูมิกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าความแข็งของถ่านอัดแท่ง ชุดที่ 1 และชุดที่ 2



รูปที่ 4.5 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับเวลาการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง ชุดที่ 1 และชุดที่ 2