

**การเปรียบเทียบค่าความร้อนและความหนาแน่น
ของถ่านไม้อัดแท่งจากมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อน**
**A Comparison of the Heating Value and Density
of Charcoal Briquettes Manufactured by Electric Motor
and Bicycle-Powered Compressors**

ดวงกมล ดั่งโพนทอง^{1*} วสันต์ ปิ่นเต๋² และอดิศักดิ์ ฤาชา³

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม 44000
โทรศัพท์ : 043-742620, 043-754333 ต่อ 621, โทรสาร : 043-742620

E-mail: ob_kmitl@hotmail.com E-mail: kaapplied@hotmail.com

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม 44000

³สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

ถ่านไม้บดด้วยเครื่องบดในส่วนผสมถ่านบด 2,000 กรัม : แป้งมัน 500 กรัม (อัตราส่วน 4:1) และน้ำถูกนำมาอัดด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3.5 แรงม้า และจักรยานอัดแท่งทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการอัดแล้วนำถ่านอัดแท่งไปผึ่งแดดเพื่อกำจัดความชื้น และทดสอบหาค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้ยังหาระยะเวลาในการติดไฟและหาระยะเวลาในการเผาไหม้

ผลการวิจัย พบว่ามอเตอร์ไฟฟ้าใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.29 นาที และจักรยานอัดแท่งใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.50 นาที ค่าความร้อนมีค่า 22.68 MJ/kg และ 23.34 MJ/kg ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นมีค่า 907.43 kg/m³ และ 838.57 kg/m³ ตามลำดับ ระยะเวลาในการติดไฟเฉลี่ย 6 นาที และ 4.33 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้เฉลี่ย 5.17 ชั่วโมง และ 4.24 ชั่วโมง ตามลำดับ
คำสำคัญ : เครื่องอัดแท่ง, มอเตอร์ไฟฟ้า, จักรยานขับเคลื่อน, ถ่านไม้อัดแท่ง

Abstract

This study compares the heating value and density of charcoal briquettes manufactured by electric motor and bicycle-powered compressor. 2,000 grams of ground charcoal, 500 grams of tapioca flour (mixed at a ratio of 4:1) and water were mixed and compressed using a 3 hp electric motor and by using a bicycle-powered compressor.

The compression time was recorded and the briquettes were sun-dried to reduce moisture. The briquettes were tested for calorific value, density, the lighting and burning time.

The findings showed that the compression time of the electric motor was 4.29 minutes while the compression time of the bicycle-powered compressor was 4.50 minutes. The heating values of fuel from the electric motor were 22.68 MJ/kg while

those from the bicycle-powered compressor were 23.34 MJ/kg. The density was 907.43 kg/m³ and 838.57 kg/m³. The lighting periods were 6 minutes and 4.33 minutes. The burning periods were 5.17 hours and 4.24 hours, respectively.

Keywords : Extruder, Electrical Motor, Bicycle Drive, Charcoal Briquette

1. บทนำ

ปัญหาด้านพลังงานของไทยในปัจจุบัน เป็นปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องกับชีวิตการเป็นอยู่ของคนไทยไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านราคาพลังงานที่ใช้ในครัวเรือนแก๊สหุงต้มหรือน้ำมัน ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงแม้พลังงานต่าง ๆ จะมีราคาสูงขึ้นความต้องการในการใช้พลังงานของประชากรก็ยังคงสูงเช่นกัน จึงจำเป็นต้องมีการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนภายในประเทศให้เพียงพอับความต้องการของประชากรส่วนใหญ่ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงในการหุงต้ม ปิ้ง ย่าง ในครัวเรือน และร้านอาหารต่าง ๆ ในภาคอีสานยังคงใช้ฟืนและถ่านไม้อยู่ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก (กัญญา เม้ามัธยม, 2544) ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญของการทำลายทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อมในเขตภาคอีสาน จากปัญหาดังกล่าวและความต้องการในการใช้พลังงานทดแทนของประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีการนำวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้ง กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด มันสำปะหลัง แกลบ ฟางข้าว ชี้เลื่อย ชานอ้อย ผักตบชวา เศษไม้ต่าง ๆ เป็นต้น (จุฬารัตน์ ขาวกำแพง, 2554)

การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผ่านมาพบว่าเกษตรกรผลิตถ่านอัดแท่งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีต้นทุนด้านอุปกรณ์และต้นทุนพลังงานต่อหน่วยค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงได้นำจักรยานขับเคลื่อนที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำองค์ความรู้ทางด้านพลังงานวิศวกรรมมาบูรณาการปรับเปลี่ยนให้เกิดองค์ความรู้ทางด้าน การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ช่างพื้นฐานรวมกับการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และยังเป็นการผลิตปริมาณการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ พร้อมกันนี้ยังเป็นการสร้างมูลค่าให้แก่วัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้ให้มีมูลค่าและสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกรูปแบบหนึ่งในแบบถ่านอัดแท่ง โดยเครื่องปั่นจักรยานที่ใช้ในการอัดแท่งจะเป็นเครื่องจักรยานที่ไม่ใช้แล้วและจะถูกดัดแปลงให้มีลักษณะกลไกให้สามารถปั่นเพื่อมีแรงส่งไปยังเพลาลูกหมุนสกรูจากนั้นสกรูจะอัดผงถ่านและผลผลิตที่ได้คือ ถ่านอัดแท่งดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องปั่นจักรยานที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

ดังนั้นกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจึงมีความสำคัญเพื่อลดต้นทุนในการผลิตสามารถใช้ในระดับครัวเรือนและระดับชุมชนต่อไปได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมีการเปรียบเทียบค่าความร้อนและความหนาแน่นเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากับจักรยานขับเคลื่อนและเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากับจากจักรยานอัดแท่ง ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ผลที่ได้จากงานวิจัยจะแสดงถึงความแตกต่างที่ชัดเจนถึงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเครื่องมือทั้งสองชนิดนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกผลิตถ่านอัดแท่งของเกษตรกรต่อไป



ภาพที่ 2 แบบโครงสร้างจักรยานขับเคลื่อนเพื่อใช้ผลิตถ่านอัดแท่ง



ภาพที่ 3 เครื่องอัดแท่งมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อนเพื่อใช้ผลิตถ่านอัดแท่ง

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นของถ่านไม้อัดแท่งระหว่างเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากับจักรยานขับเคลื่อน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ตัวแปรสาธิตที่จะนำมาทำการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้แป้งมันสำปะหลังเท่านั้น โดยมีอัตราส่วนผสมถ่าน 2,000 กรัม ต่อแป้งมันสำปะหลัง 500 กรัม (4:1)

3.2 น้ำที่ใช้ในการผสมระหว่างผงถ่านและแป้งมันสำปะหลังผู้วิจัยไม่ได้กำหนดอัตราส่วนของน้ำ

3.3 ในการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งในครั้งนี้ผู้วิจัยจะศึกษาจาก ค่าพลังงานความร้อน ความหนาแน่น ระยะเวลาในการติดไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้เท่านั้น

3.4 ในการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งนั้นจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อนเท่านั้น

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ถ่านอัดแท่ง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ได้ให้ความหมายของ ถ่านอัดแท่ง หมายถึง “ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชังข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่านอาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ชี้อยู่ มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน ถ่านอัดแท่งได้รับความนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม โดยเฉพาะอาหารปิ้งย่าง เนื่องจากไม่มีควันเนื่องจากความชื้นน้อยมาก ให้ความร้อนสูงเนื่องจากเป็นถ่านที่ได้รับการเผาไหม้เต็มที่ ไม่แตกง่าย ไม่แตกประทุเหมือนอย่างถ่านไม้ทั่วไป ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอไม่วูบวาบเนื่องจากความหนาแน่นของถ่านเท่ากันทุกส่วน และไม่มีกลิ่นเพราะผลิตจากวัสดุธรรมชาติอีกทั้งยังเผาได้นานกว่าถ่านไม้ และราคาถูก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

4.2 ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือชีวมวลสามารถนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้ ซึ่งจากที่มีการรายงานไว้พบว่าถ่านอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตรบางชนิดให้ถ่านคุณภาพสูง เช่น ถ่านจากแกลบ ชี้อยู่ ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และเปลือกไม้ยางพารา นอกจากถ่านอัดแท่งจากวัสดุที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีรายงานถ่านอัดแท่งที่ทำจากวัสดุทางการเกษตรอื่น ๆ ได้แก่ ไม้ไผ่ ฟางข้าว ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น นอกจากวัสดุที่กล่าวมาแล้วยังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ อีกมากที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง (บุญจรัตน์ โจลานันท์ และคณะ, 2554)

4.3 การผลิตถ่านอัดแท่ง การผลิตถ่านอัดแท่ง แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ การอัดเย็น และการอัดร้อน (ธารินี มหายศนันท์, 2548)

1) การอัดเย็น การผลิตถ่านโดยวิธีการอัดเย็น นิยมใช้กับถ่านที่เผาเสร็จเรียบร้อยแล้ว มักนำไม้พินหรือท่อนไม้หรือวัสดุทางการเกษตรที่ต้องการนำมาทำเป็นถ่าน นำมาเผาให้เป็นถ่าน จากนั้น บดถ่านให้เป็นผง นำผงถ่านไปอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่ง โดยใช้วัสดุผสม เช่น แป้งเปียก หรือน้ำตาล เป็นตัวยึดประสานให้ผงถ่านยึดติดกันเป็นก้อนได้ แท่งถ่านที่ได้จะถูกตัดให้เป็นก้อนให้ได้ขนาดตามความต้องการ แล้วนำไปทำให้แห้งโดยการตากแดดหรือเข้าตู้อบ ก่อนนำไปใช้งาน



ภาพที่ 4 แสดงแท่งถ่านที่ได้จากการอัดเย็น

ที่มา : (ธารินี มหายศนันท์, 2548)

2) การอัดร้อน ถ่านจากการอัดร้อนผลิตได้โดยนำวัสดุอินทรีย์ หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น วัชพืช เศษไม้ ใบไม้ ชานอ้อย ฟาง ชังข้าวโพด แกลบ หรือขี้เลื่อย มาอัดให้เป็นแท่งก่อนการนำไปเผา ด้วยเครื่องอัดภายใต้ความร้อน โดยวัสดุทางการเกษตรที่จะนำมาอัดให้เป็นก้อนนั้นจะต้องแห้งสนิท เมื่อถูกอัดด้วยกำลังสูงในกระบอกอัดที่ร้อน ความร้อนจะทำให้สารลิกนินในสารอินทรีย์หรือเศษไม้นั้นละลาย ทำให้เนื้อไม้จับตัวกันเป็นก้อนได้ เมื่อเศษวัสดุเหล่านั้นถูกอัดจะถูกดันให้ไหลออกจากเครื่องอัด เป็นแท่งพิน ซึ่งแท่งนี้จะถูกตัดให้เป็นท่อน ๆ ให้ได้ขนาดตามความต้องการก่อนที่จะนำไปเผาเป็นถ่านต่อไป ข้อดีของวิธีการอัดร้อนคือ สามารถใช้ได้กับวัสดุอินทรีย์ได้ทุกชนิด แม้ว่าจะเป็นเศษวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ก็สามารถนำมาอัดให้เป็นแท่งได้ ซึ่งเป็นการลดปริมาณขยะจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 5 แสดงแท่งถ่านที่ได้จากการอัดร้อน

ที่มา : (จุฬารัตน์ ชวากำแพง, 2554)

4.4 การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง

สมบัติเชิงกลทางฟิสิกส์ (Mechanical Properties) คือ พฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุที่สามารถแสดงออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ หรือสิ่งที่บ่งบอกวัสดุนั้น ๆ สามารถที่จะรับหรือทนทานแรงหรือพลังงานเชิงกลภายนอกที่มากระทำได้ดีมากน้อยเพียงใดอัน (วานิช โสภาสพ, 2550) ได้แก่

1) ความหนาแน่น (Density) ของถ่านอัดแท่ง คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของแท่งถ่านต่อปริมาตรของแท่งอัดขึ้นรูปถ่าน มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) โดยหาได้จาก

$$\rho = \frac{m}{v}, (\text{kg/cm}^3) \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/cm^3)

m คือ มวลของถ่านอัดแท่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

v คือ ปริมาตรของแท่งอัดเมื่อขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (cm^3)

2) การทนทานแรงกดอัด (Compressive strength) ของถ่านอัดแท่ง การทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งไปวางในเครื่องทดสอบแรงกดอัดที่ผลิตขึ้น แล้วนำมวลมาเป็นแรงกดอัดโดยเพิ่มแรงกดอัดขึ้นเรื่อย ๆ ที่ใช้ในการกดอัดคือ 5, 10, 50, 100, 500 กรัม ตามลำดับ ทำการกด

เพื่อหาค่าการทนแรงกดอัดของถ่านอัดแท่งนั้น สังเกตผลจนกระทั่งก้อนถ่านแตกหรือหัก โดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ ความเครียดและความแข็ง ดังนี้

2.1) ความเครียด (Strain) เป็นความเครียดที่ปรากฏภายใต้แรงที่มากระทำต่อเนื้อของวัสดุจนวัสดุเกิดรับแรงไม่ไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางของแรงที่มากระทำ (เกิดความเค้น) ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของวัสดุ เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

(1) การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำอะตอม ซึ่งเคลื่อนไหวยเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ เช่น ยางยืด, สปริง ถ้าดึงแล้วปล่อย วัสดุกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

(2) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูป ถึงแม้ปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ว วัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไป โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

2.2) ความแข็งแรง (Strength) เป็นความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงกดหรือแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength) ซึ่งสังเกตได้จาก Stress – Strain Curve ซึ่งตรงจุดแตกหัก (Breaking Point) เรียกว่าเป็นจุดความแข็งแรงที่จุดแตกหัก การทดสอบความแข็งแรงที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธี คือ

(1) การทดสอบความแข็งแรงแบบบริเนล (Brinell Hardness Test) วิธีการ คือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm กดลงบนผิวเรียบของวัสดุ ที่จะวัดโดยใช้แรง 3,000 กิโลกรัม สำหรับวัสดุแข็ง 500 กิโลกรัม สำหรับวัสดุอ่อนโดยใช้แรง 30 – 20 วินาที เป็นมาตรฐานวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) นำค่าที่ได้ไปคำนวณ จะได้ค่าความแข็งแรงแบบบริเนล (Brinell Hardness Number) การทดสอบแบบนี้ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็ง เนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มาก ไม่เหมาะสมกับขั้นตอนทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

(2) การทดสอบความแข็งแรงแบบร็อคเวล (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนล แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิดหรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ ขึ้นกับสเกลของความแข็งแรงแบบร็อคเวล เลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ อ่านค่าความแข็งแรงโดยตรงจากเครื่อง ถ้าความลึกของรอยกดลงไปตื้น ค่าของตัวเลขจะสูง แสดงว่าวัสดุมีความแข็งแรงมาก วิธีการทดสอบให้แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 กิโลกรัม เพิ่มแรงกระทำขึ้น ซึ่งอาจค่าตั้งแต่ 60 -100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของหัวกด หัวกดที่ใช้ อาจเป็นลูกบอลเหล็กหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบร็อคเวลให้อย่างกว้างขวางเพราะสามารถใช้วัดความแข็งแรงของวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่า การใช้งานสะดวกอ่านค่าได้รวดเร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่อง และเนื่องจากรอยบุ๋มมีขนาดเล็กจึงไม่ทำลายผิวของชิ้นทดสอบ (วานิช โสภาสพ, 2550)

(3) การทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้คล้ายกับบริเนลในแง่ที่ว่า ค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกด

แตกต่างกันที่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปปิรามิด แรงที่ใช้มีตั้งแต่ 5 – 120 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติพงษ์ ลาลูน (2554) ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนของเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งต้นแบบ เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งมีส่วนประกอบหลักคือ ถังผสมเกลียวลำเลียง ถังป้อน ชุดเกลียวอัด ชุดส่งกำลัง และโครงหลัก การทดสอบกระทำโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง ได้แก่ อัตราการป้อน (80, 100 และ 120 กิโลกรัม/ชั่วโมง) ปริมาณผงถ่านเหง้ามันสำปะหลังต่อแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผสม (3:0.30, 3:0.45 และ 3:0.60 กิโลกรัม) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม (3.5, 4.0 และ 4.5 กิโลกรัม) และความเร็วเกลียวอัด (90, 105, 120 และ 135 รอบต่อนาที) ผลการศึกษารูปได้ดังนี้

1. เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่น และความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น อัตราการป้อนที่เหมาะสมในการทำงาน 120 กิโลกรัม/ชั่วโมง
2. เมื่อปริมาณแป้งผสมมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่น และความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าความร้อนลดลง ปริมาณแป้งผสมที่ใช้ในการทำงาน 0.45 กิโลกรัม
3. เมื่อใช้ปริมาณน้ำผสม 4.00 กิโลกรัม ได้ถ่านอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น และความแข็งแรงที่เหมาะสม
4. ความเร็วเกลียวอัดที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ในช่วง 110-125 รอบต่อนาที การทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งที่ความเร็วเกลียวอัด 120 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 120 กิโลกรัม/ชั่วโมง ผสมผงถ่านเหง้ามันกับแป้งและน้ำในสัดส่วน 3.00 : 0.45 : 4.00 กิโลกรัม ได้ความสามารถในการทำงาน 100.6 - 111.9 กิโลกรัม/ชั่วโมง (704.2 - 783.3 กิโลกรัม/วัน) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 2001 - 2411 W พลังงานจำเพาะ 10.4 - 13.6 W-hr/kg และถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่น 500.3 - 535.9 kg/m³

กิตติพงษ์ ลาลูน และคณะ (2555) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล ชุดผลิตถ่านอัดแท่งที่ใช้ในการทดสอบมีส่วนประกอบได้แก่ ถังผสม เกลียวลำเลียง ถังป้อน ชุดเกลียวอัด ชุดส่งกำลัง และโครงหลัก ในการศึกษาได้นำชนิดผงถ่านมาทดสอบ 3 ชนิด (ผงถ่านเหง้ามันสำปะหลัง ผงถ่านไม้รวบ และผงถ่านกะลามะพร้าว) และความเร็วเกลียวอัด 3 ระดับ (115, 130 และ 145 rpm) ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบทำงานได้เหมาะสมที่อัตราการป้อน 140 กิโลกรัม/ชั่วโมง และความเร็วเกลียวอัด 145 rpm เมื่อใช้ส่วนผสมไม้รวบ ผงถ่านกะลามะพร้าว แป้งมันสำปะหลัง และน้ำในสัดส่วน 0.5:0.5:0.15:1 โดยน้ำหนัก ทำให้เครื่องต้นแบบมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 131.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง พลังงานจำเพาะที่ใช้เฉลี่ย 16.16 W-ชั่วโมง/กิโลกรัม ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่น 676.0 kg/m³ ความแข็งแรง 0.235 MPa ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง 5527.3 cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งานร้อยละ 27.79-29.56 ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีความยาวเส้น

ผ่านศูนย์กลาง ภายนอก และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอยู่ที่ 15.01 cm, 1.62 cm, 4.12 cm, 0.05 cm และ 1.23 cm, 0.12 cm ตามลำดับ และความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 7.13 (d.b.)

นิวิธ เจริญใจ และประสงค์ หน่อแก้ว (2553) ได้ศึกษาการปรับปรุงเตาอบถ่านอัดแท่ง และการหาสมรรถนะการอบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการอบลดความชื้นของถ่านอัดแท่ง โดยออกแบบ และสร้างเตาอบระบบลมร้อน เตาอบที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1.60 x 2.30 x 1.50 เมตร เตาอบ มีระบบ

ควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติภายในเตาอบขณะทำการทดลองอบลดความชื้นถ่านอัดแท่ง วิธีการทดลองอบลดความชื้นของถ่านอัดแท่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบที่หนึ่งอบลดความชื้นของถ่านอัดแท่งจำนวน 1,500 แท่ง แบบที่สองอบลดความชื้นของถ่านอัดแท่งจำนวน 3,000 แท่ง ทั้งสองแบบใช้อุณหภูมิในการอบลดความชื้นที่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความชื้นของถ่านอัดแท่งที่ลดลงและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ต่อหน่วยของถ่านอัดแท่งจากการอบลดความชื้นด้วยเตาอบถ่านอัดแท่งที่สร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่าในการอบถ่านอัดแท่งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 โดยการวิเคราะห์เส้นโค้งการอบแห้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบลดความชื้นลดลง และพบว่าในช่วงแรกของการให้ความร้อน อัตราการลดลงของความชื้นต่ำแต่เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอบเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อัตราการลดความชื้นสูงตามไปด้วยและในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของการอบแห้งแบบที่ 2 จะใช้ต้นทุน ด้านเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด คิดเป็น 0.44 บาทต่อกิโลกรัม

งานวิจัยส่วนใหญ่ในขั้นตอนของการอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงจะใช้เครื่องอัดพลังงานไฟฟ้า กำลังสูงซึ่งจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากแต่สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้จักรยานขับเคลื่อน ในขั้นตอนการอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก

6. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมวัตถุดิบ

หาซื้อถ่านไม้และแยมันสำหรับปาดที่ขายตามท้องตลาดมาเตรียมไว้และเตรียมน้ำที่สะอาดใส่ภาชนะไว้ ให้เตรียมไว้ให้มากกว่าจำนวนที่เราจะใช้จริง เนื่องจากอาจจะมีการสูญเสีย ในระหว่างกระบวนการผลิตได้

ขั้นที่ 2 ขั้นการอัดแท่ง

1. นำถ่านไม้ที่เตรียมไว้นำมาบด โดยนำเข้าเครื่องบด เพื่อให้ได้ผงถ่านที่มีอนุภาคที่เล็กละเอียดสม่ำเสมอเพื่อง่ายต่อการอัดเป็นแท่ง
2. นำถ่านที่บดแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2,000 กรัม และแยมันสำหรับปาด 500 กรัม
3. นำผงถ่านที่ได้จากการบดมาผสมกับแยมันสำหรับปาดที่มีอัตราส่วน 4 : 1 คือถ่านบด 2,000 กรัม : แยมันสำหรับปาด 500 กรัม และน้ำสะอาดไม่ได้กำหนด ผสมถ่านบดและแยมันสำหรับปาดให้เข้ากันก่อนจากนั้นค่อยผสมน้ำลงไป เนื่องจากถ้าเราใส่น้ำลงไปทันทีจะทำให้แยมันสำหรับปาดจับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้แยมันสำหรับปาดไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับถ่านบด โดยการใส่น้ำให้ใส่พอประมาณอย่าให้ถ่านบดที่ผสมกับแยมันแล้วแฉะหรือแห้งจนเกินไป

4. การอัดขึ้นรูป นำผงถ่านที่ผสมเข้ากับตัวประสานมาทำการทดสอบกับเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและทดสอบกับจักรยานอัดแท่งโดยการทดสอบอย่างละ 3 ครั้ง แต่ละครั้งจะทำการทดสอบต่อผงถ่าน 2,000 กรัม ที่ผสมตัวประสานแล้ว

5. ถ่านอัดแท่งที่ได้จากการทดสอบด้วยอุปกรณ์ทั้ง 2 จะมีลักษณะรูปร่างที่เหมือนกัน คือเป็นทรงกระบอกมีรูกลวงตรงกลาง

6. การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง นำถ่านอัดแท่งที่ได้มาคัดเลือกที่สมบูรณ์ที่สุดและทำการชั่งน้ำหนักให้ได้ 1 กิโลกรัม

7. นำถ่านอัดแท่งกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาทำการผึ่งแดดเพื่อกำจัดความชื้นโดยวิธีกำจัดความชื้นนั้นจะนำถ่านอัดแท่งที่ได้มาผึ่งแดดไปเรื่อย ๆ จนให้น้ำหนักของถ่านคงที่โดยทำการชั่งน้ำหนักในเวลา 10.00 น. และเวลา 16.00 น. ของทุก ๆ วัน และทำการบันทึกผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อนำถ่านอัดแท่งไปผึ่งแดดเป็นเวลา 3 - 4 วัน สามารถกำจัดความชื้นที่อยู่ในถ่านอัดแท่งหมดไปได้

ขั้นที่ 3 ขั้นการเปรียบเทียบคุณลักษณะ

1. ทำต่อเนื่องจากข้อที่ 4 ในขั้นที่ 2 นำถ่านบดที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังมาทำการขึ้นรูป เมื่อเริ่มทำการทดสอบกับเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าก็เริ่มจับเวลาเมื่อเครื่องเริ่มทำงานจนผงถ่านที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังหมด แล้วบันทึกเวลาในการทำงานตั้งแต่การเริ่มบรรจุผงถ่านจนถึงการนำถ่านอัดแท่งออกจากเครื่องทั้งหมด การทดสอบประสิทธิภาพของจักรยานทำเช่นเดียวกันกับการทดสอบกับเครื่อง

2. นำผลการทดลองจากทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) (ธารินี มหายศนันท์, 2548)

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

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง มีหน่วย เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/cm^3)

m คือ มวลของถ่านอัดแท่ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (Kg)

v คือ ปริมาตรของแท่งอัดเมื่อขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (cm^3)

2) ร้อยละที่แตกต่างกัน (วานิช โสภาสพ, 2550)

$$(1) \text{ การทดสอบความหนาแน่น} = \frac{\text{ค่าความหนาแน่นของเครื่อง} - \text{ค่าความหนาแน่นของจักรยาน}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

$$(2) \text{ การทดสอบค่าพลังงานความร้อน} = \frac{\text{ค่าพลังงานความร้อนของเครื่อง} - \text{ค่าพลังงานความร้อนของจักรยาน}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

$$(3) \text{ การทดสอบระยะเวลาในการติดไฟ} = \frac{\text{เวลาติดไฟของถ่านจากเครื่อง} - \text{เวลาติดไฟของถ่านจากจักรยาน}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

$$(4) \text{ การทดสอบระยะเวลาในการเผาไหม้} = \frac{\text{เวลาเผาไหม้ของถ่านจากเครื่อง} - \text{เวลาเผาไหม้ของถ่านจากจักรยาน}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

7. สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบค่าความร้อนและความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากับจักรยานขับเคลื่อน เป็นการแสดงถึงความแตกต่างที่ชัดเจนถึงประสิทธิภาพการทำงานและคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเครื่องมือทั้งสองชนิดนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกผลิตถ่านอัดแท่งของเกษตรกร ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอัดถ่านอัดแท่งด้วยจักรยานสามารถอัดถ่านได้เฉลี่ย 0.964 กิโลกรัมต่อนาที ซึ่งหากพิจารณาการผลิตใน 1 วัน ที่วันละ 6 ชั่วโมง จะสามารถผลิตได้ 347.04 กิโลกรัมต่อวัน ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องอัดถ่านอัดแท่งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถอัดถ่านได้เฉลี่ย 1.206 กิโลกรัมต่อนาที ซึ่งหากพิจารณาการผลิตใน 1 วัน ที่วันละ 6 ชั่วโมง จะสามารถผลิตได้ 434.16 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยในส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

7.1 การเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่อง

จากการนำเศษไม้หรือปลายไม้เมื่อเผาให้เป็นถ่านและนำมาบดเป็นผงถ่านในอัตราส่วนผงถ่าน 2,000 กรัม : แป้งมัน 500 กรัม (อัตราส่วน 4 : 1) แล้วนำมาอัด โดยใช้เครื่องในการอัดเพื่อช่วยเพิ่มความหนาแน่นใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.24 นาที ส่วนการใช้จักรยานในการอัดเพื่อช่วยเพิ่มความหนาแน่นใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.50 นาที ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอัดแตกต่างกัน 29 วินาที ร้อยละของระยะเวลาที่ใช้ในการอัดมีค่าแตกต่างกันร้อยละ 4.79 ได้แสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 6

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานอัดแท่ง

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ	การทดสอบ ครั้งที่ 1 (นาที)	การทดสอบ ครั้งที่ 2 (นาที)	การทดสอบ ครั้งที่ 3 (นาที)	ค่าเฉลี่ย (นาที)
1. เครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้า	4.20	3.47	4.00	4.24
2. จักรยานอัดแท่ง	4.45	4.55	4.50	4.50



ภาพที่ 6 ถ่านอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานอัดแท่ง

7.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนาแน่น

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องและจักรยานในการอัดพบว่าเครื่องให้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 907.43 kg/m^3 และใช้จักรยานในการอัดให้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 838.57 kg/m^3 การใช้เครื่องในการอัดและการใช้จักรยานในการอัดนั้นมีค่าร้อยละความหนาแน่นแตกต่างกันร้อยละ 7.89 ได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนาแน่นของเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานอัดแท่ง

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
1. เครื่องอัดแท่งมอเตอร์ไฟฟ้า	907.43
2. จักรยานอัดแท่ง	838.57

7.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าพลังงานความร้อน

เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องและจักรยานในการอัดพบว่าเครื่องให้ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 22.68 MJ/kg และใช้จักรยานในการอัดให้ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 23.34 MJ/kg การใช้เครื่องในการอัดและการใช้จักรยานในการอัดนั้นมีค่าร้อยละของพลังงานความร้อนที่ต่างกันร้อยละ 2.87 ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานอัดแท่ง

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าพลังงานความร้อน (MJ/kg)
1. เครื่องอัดแท่งมอเตอร์ไฟฟ้า	22.68
2. จักรยานอัดแท่ง	23.34



ภาพที่ 7 เครื่องหาค่าพลังงาน Cal 2k e2k (Bomb Calorimeter)

7.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการติดไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการติดไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องอัดแท่งแบบมอเตอร์ไฟฟ้าในการอัดพบว่าใช้ระยะเวลาในการติดไฟเฉลี่ย 6 นาที และใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้

เฉลี่ย 5.17 ชั่วโมง ส่วนการใช้จักรยานอัดแท่งในการอัดใช้ระยะเวลาในการตีไฟเฉลี่ย 4.33 นาที และระยะเวลาในการเผาไหม้เฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง การใช้เครื่องอัดแท่งในการอัด และการใช้จักรยานอัดแท่งในการอัดนั้น มีระยะเวลาในการตีไฟที่แตกต่างกัน 1.67 นาที มีร้อยละที่ต่างกันร้อยละ 32.33 ส่วนระยะเวลาในการเผาไหม้แตกต่างกัน 1.33 ชั่วโมง มีร้อยละที่ต่างกัน 19.76 ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการตีไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง

การทดสอบ	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	เวลาที่ตีไฟ (นาท)	เวลาที่เผาไหม้ (ชั่วโมง)	เวลาที่ตีไฟ (นาท)	เวลาที่เผาไหม้ (ชั่วโมง)	เวลาที่ตีไฟ (นาท)	เวลาที่เผาไหม้ (ชั่วโมง)
1. เครื่องอัดแท่งมอเตอร์ไฟฟ้า	6	5.11	7	5.23	5	5.18
2. จักรยานอัดแท่ง	3	4.18	4	4.35	6	4.20



ภาพที่ 8 ถ่านที่ตีไฟแล้วและเผาไหม้หมดแล้ว

8. สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานอัดแท่งและเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่งแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและจากจักรยานขับเคลื่อน สามารถสรุปได้ว่า

8.1 ผลการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานระหว่างเครื่องและจักรยานโดยใช้เครื่องและจักรยานช่วยเพิ่มความหนาแน่นมีร้อยละของระยะเวลาที่ใช้ในการอัดแตกต่างกันร้อยละ 4.79

8.2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องและจักรยานในการอัดพบว่ามีความหนาแน่นแตกต่างกันร้อยละ 7.89

8.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องและจักรยานในการอัดพบว่ามีความหนาแน่นของพลังงานความร้อนที่แตกต่างกันร้อยละ 2.87

8.4 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการตีไฟของถ่านไม้ที่ใช้เครื่องและจักรยานในการอัดมีร้อยละที่ต่างกันร้อยละ 32.33 และระยะเวลาในการเผาไหม้มีร้อยละที่ต่างกันร้อยละ 19.76

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย แก่คณะผู้วิจัย และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการทำงานด้วยความเอาใจใส่ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงด้วย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ขอมอบแด่บิดามารดาและบุคลากรที่กล่าวมาข้างต้น

10. เอกสารอ้างอิง

กัญญา แม่มิทรัพย์. (2544). การผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากชีวมวลและกระบวนการ Pyrolysis.

วารสารประสิทธิภาพพลังงาน ; 11(52): 42-48.

กิตติพงษ์ ลาลูน. (2554). การศึกษาและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งจากเห้มน้ำมันลำปะหลัง.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตรและอาหาร).

บัณฑิตวิทยาลัย : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กิตติพงษ์ ลาลูน สมโภชน์ สุตาจันทร์ และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2555). การศึกษาการผลิต

ถ่านอัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัดถ่านอัดแท่ง.

วิทยาศาสตร์.ภษ. 43:3 (พิเศษ) : 87-90.

จุฬารัตน์ ชาวกำแพง. (2554). การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม
ในครัวเรือน. การศึกษาอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน).

มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิวิธ เจริญใจ และประสงค์ หน่อแก้ว. (2553). การปรับปรุงเตาอบถ่านอัดแท่งและการหาสมรรถนะ
การอบ. วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 2
ฉบับที่ 2 ตุลาคม 2552 – มีนาคม 2553, หน้า 74-80.

บุญจรัตน์ โจลานันท์ อาทิตย์ พุทธรักษาติ และจันสุตา คำด้อย. (มกราคม ,2554). ผลงาน

ทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์. วิจัย มช : 16 (1)

ธารินี มหายศนันท์. (2548). การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิต

ในระดับครัวเรือน.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร). กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วานิช โสภาสพ, บุญยิ่ง อินทรบุตร และสมพล พวงดอกไม้. (2550). การผลิตถ่านอัดแท่งด้วย

เศษวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นพลังงานทดแทน. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วิทยาศาสตร์

มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่าน

อัดแท่ง. มผช.238/2547.