

## การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม

### Production of Compressed Charcoal Fuel from the Waste Materials Collected after Processing Khao-Larm

กานต์ วิรุณพันธ์\* ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และ ภาคภูมิ ใจชมพู

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก  
41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

Kant Wirunphan\* Thanarak Saiplean and Pakpoom Jaichompoo

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak  
41/1 Paholayothin Road, Maingam, Muang District, Tak Province 63000

\*ผู้รับผิดชอบบทความ: kant\_wirunphan@hotmail.co.th เบอร์โทรศัพท์ 089-666-0301

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม ในการดำเนินงานวิจัยจะนำเศษวัสดุประกอบไปด้วยกะลามะพร้าวและไม้ไผ่มาเผาเป็นถ่านและผ่านการบดให้ได้เป็นผงถ่าน จากนั้นนำมาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและใช้แป้งมัน 0.5 กิโลกรัมผสมน้ำ 3 ลิตร เป็นตัวประสาน การดำเนินงานวิจัยจะกำหนดส่วนผสมออกเป็น 11 สูตร นำผงถ่านที่ผ่านการผสมมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องแบบเกลียวอัดผ่านแม่พิมพ์รูปทรงห้าเหลี่ยม นำแท่งถ่านไปอบลดความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) จากนั้นนำไปทดลองหาประสิทธิภาพทางความร้อนโดยทำการทดลองหาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าพลังงานความร้อน การรับแรงกดอัดและปริมาณการสิ้นเปลืองในการต้มน้ำ 3 ลิตร ให้เดือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับผลจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลามคือสูตรที่ 3 โดยมีส่วนผสมของผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม โดยมีค่าความชื้นที่ 6.07 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเถ้าที่ 10.42 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานความร้อนที่ 5,748.83 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถรับแรงกดอัดที่ 892.530 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้มน้ำเดือดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นปริมาณ 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสำคัญของงานวิจัยนี้คือการลดของเสียในการผลิตข้าวหลาม ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือสามารถนำเศษของเสียที่เหลือใช้ในการผลิตข้าวหลามกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานทดแทน

**คำสำคัญ** เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง ตัวประสาน กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ ค่าพลังงานความร้อน

#### Abstract

This research involves the production of compressed charcoal from the waste materials gathered in Khao-Larm processing. The implemented waste materials, including coconut shell and bamboo, were carbonized and ground before being mixed to the appropriate ratio. In the mixing process, the charcoal powder was combined with 0.5 kilograms of flour and 3 liters of water as a binder in order to produce compressed charcoal fuel. In this experiment there were 11 different formulas of the mixture to be tested. Each mixture was molded and formed into a hexagonal shape by a screw compress machine, and then dehumidified by 8% following the Community Product Standard (TCPS. 238/2547). The thermal efficiency of the compressed charcoal fuel was examined in order to identify the moisture content, thermal energy, compressive stress and fuel consumption quantity by boiling 3 liters of water at 80 degrees Celsius. The result found that the most appropriate ratio was on formula 3, (8.55 kilograms of coconut shell and 0.95 kilograms of bamboo powder). Formula 3 showed the highest efficiency amongst the 10 formulas, with a moisture content of 6.07 percent, an ash content of 10.42 percent, 5748.83 kilocalories per kilogram of thermal energy, 892.530 newton per square millimeters of compressive stress, and 1.917 kilogram per hours of fuel consumption. The key implications of this research are focused on the waste reduction from Khao-Larm processing and the benefits of recycling the bamboo waste into fuel and renewable energy.

**Keywords:** compressed charcoal fuel, binder, coconut shell, bamboo, thermal energy efficiency.

## 1. บทนำ

จากการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ชุมชนบ้านโป่งแค ตำบลวังประจวบ อำเภอเมือง จังหวัดตาก พบว่ามีชาวบ้านกลุ่มหนึ่งซึ่งทำการประกอบอาชีพเผาข้าวหลามขายเป็นงานประจำ โดยกลุ่มผู้ประกอบการจะทำการเผาข้าวหลามในทุกๆวัน และจะมีปริมาณการเผาข้าวหลามเป็นจำนวนมากในช่วงฤดูหนาว เทศกาลเข้าพรรษาและเทศกาลปีใหม่ ในการเผาข้าวหลามนั้นจะใช้วัสดุที่ สำคัญหลาย ๆ อย่างได้แก่ ข้าวเหนียว มะพร้าว ไม้ไผ่และ ถ่านไม้เบญจพรรณสำหรับเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในการเผาข้าวหลาม จากการผลิตจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ หลังจากการเผาข้าวหลามเช่น กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ ทางกลุ่มผู้ประกอบการจะทำการรวบรวมเศษวัสดุเหลือใช้ เหล่านั้นกองรวมไว้แล้วทำการเผาทำลายทิ้งในที่แจ้งดังรูปที่ 1 ซึ่งจากการจัดเก็บเศษวัสดุและการเผาทำลายทำให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ เช่นกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เป็นที่ อยู่อาศัยของสัตว์มีพิษ การเผาทำลายทำให้เกิดควันเขม่า ฝุ่นละออง ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกาย เป็นการทำลาย ชั้นบรรยากาศและเป็นการทำลายทัศนียภาพอีกด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือใช้ จากการผลิตข้าวหลาม

จากปัญหาข้างต้นคณะผู้ดำเนินงานวิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญ ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้เหล่านั้นและผลกระทบจากปัญหาต่างๆ จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำ เศษวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เป็นประโยชน์แล้วนำกลับมาใช้ ใหม่โดยการนำกะลามะพร้าว ไม้ไผ่มาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ถ่านอัดแท่งเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากถ่านไม้เบญจ พรรณอีกทางเลือกหนึ่งต่อไปในอนาคต จากการสำรวจ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า [1] เกศกนก จันทรมาศ จาก มหาวิทยาลัยมหาสารคามทำการศึกษาเรื่องการ เปรียบเทียบหาค่าความร้อนจากถ่านชีวภาพโดยศึกษา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำมาทำถ่านชีวภาพโดยใช้มูลสัตว์เป็นตัวประสานใน การทดลองนี้ได้ทำการทดลองประกอบด้วยชุดการทดลอง ดังนี้ชานอ้อยเพียงอย่างเดียว ชานอ้อยผสมกับกาบ

มะพร้าวในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 ชานอ้อยผสมลำต้น มันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 และนำวัสดุทั้ง สามชนิดมาผสมกันแล้วนำมาอัดเป็นแท่งวัดค่าความร้อน ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ตามลำดับ อัตราส่วนที่ ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยมากที่สุดคือชานอ้อยผสมลำต้นมัน สำปะหลังและอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุด คือชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลัง การหาอัตราส่วนที่ เหมาะสมในการผลิตเมื่อพิจารณาผลการทดลองจากค่า ความร้อนการต้มน้ำปริมาณวันและลักษณะของถ่าน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต คือ อัตราส่วน 2:1:1 ทั้งชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังและชานอ้อย ผสมกับมะพร้าว [2] วิไลพร ลักษณะวิภาณิษฐ์, กาญจนา สิริกุลรัตน์ และณัฐชนันญา บุญถึง จากมหาวิทยาลัยราช ภัฏเชียงใหม่ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการยอมรับถ่านอัด แท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบล ช่างเค็ง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ โดยการทนทาน แรงกดอัด(compressive strength) ของถ่านอัดแท่ง การ ทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งไปวางในเครื่อง ทดสอบแรงกดอัดที่ผลิตขึ้นแล้วนำมวลมาเป็นแรงกดอัด โดยเพิ่มแรงกดอัดขึ้นเรื่อย ๆ ที่ใช้ในการกดอัด คือ 5, 10, 50, 100, 500 กรัมตามลำดับ ทำการกดเพื่อหาค่าการทน แรงกดอัดของถ่านอัดแท่งนั้นสังเกตผลจนกระทั่งถ่าน แตกหรือหักโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ ความเครียด และความแข็ง [3] กิตติพงษ์ ลา ลูน สมโภชน์ สุดาจันทร์ และชัยยันต์ จันท์ศิริ จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่าน อัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัด ถ่านอัดแท่ง โดยความสามารถในการทำงานพบว่าอัตรา ส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านจากกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ความเร็วรอบเกลียวอัด 145 รอบต่อนาที มี ค่าความสามารถในการทำงานสูงสุดเฉลี่ย 131.5 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง เนื่องจากความหนาแน่นรวมเริ่มต้นของผงถ่าน แต่ละชนิดมีค่าต่างกัน โดยผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความ หนาแน่นมากกว่าผงถ่านไม้รวมและผงถ่านเหง้ามัน สำปะหลัง โดยความเร็วเกลียวอัดเพิ่มขึ้นจาก 115-145 รอบต่อนาที ทำให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นใน ทุกอัตราส่วนผสม มีค่าความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้น อย่างเป็นสัดส่วน พลังจำเพาะที่ใช้พบว่าเมื่อความเร็ว เกลียวอัดเพิ่มขึ้นจาก 115-145 รอบต่อนาที ทำให้ พลังงานจำเพาะที่ใช้ลดลงในทุกอัตราส่วนผสมมีค่า พลังงานจำเพาะที่ใช้ลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและความ หนาแน่นของถ่านอัดแท่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็ว เกลียวอัดเพิ่มจาก 115-145 รอบต่อนาที ค่าความ

หนาแน่นลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและในทิศทางเดียวกันทุกสัดส่วน โดยอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ที่ความเร็วเกลียวอัดคือ 115 รอบต่อนาทีและยังมีค่าความหนาแน่นมากที่สุดมีค่าเป็น 698.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าความสูงกว่าที่สัดส่วนอื่น ๆ สาเหตุเนื่องจากผงถ่านกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นมากกว่าผงถ่านชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแห้งพบว่าเมื่อความเร็วเกลียวอัดเพิ่มจาก 115-145 รอบต่อนาที ความแข็งแรงลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและในทิศทางเดียวกันทุกสัดส่วนผสมผงถ่าน โดยอัตราส่วนผสมผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ที่ความเร็วเกลียวอัด 115 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดมีค่า 0.235 เมกะปาสกาลและค่าความร้อนของถ่านอัดแห้งพบว่าความเร็วเกลียวอัดไม่มีผลทำให้ค่าความร้อนแตกต่างกันทางสถิติ แต่อัตราส่วนผสมที่ผสมผงถ่านกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความร้อนของผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนสูงโดยที่อัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว (0.50:0.50) มีค่าความร้อนมากที่สุดคือ 5,527.3 แคลอรีต่อกรัมรองลงมาเป็นอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมและผงของถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 75 เปอร์เซ็นต์:25 เปอร์เซ็นต์มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,240.8 แคลอรีต่อกรัมและผงถ่านแห้งมันสำปะหลังกับกะลามะพร้าวอัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์:50 เปอร์เซ็นต์มีค่าความร้อน คือ 5,041.22 แคลอรีต่อกรัมซึ่งได้ตามมาตรฐานของถ่านอัดแห้ง การทดสอบค่าความร้อนโดยทำการทดสอบความร้อนด้วยการต้มน้ำพบว่าประสิทธิภาพในการใช้งานจริงอยู่ที่ 27.79-29.56 เปอร์เซ็นต์ [4] อุกฤษฏ์ โชคดี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีถ่านอัดแห้ง ส่วนผสมของถ่านอัดแห้งผงถ่าน 10 กิโลกรัม แป้งมัน 0.5 กิโลกรัม น้ำ 3 ลิตร (ปริมาณน้ำสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุ) จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การนำดินเหนียวที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 มาผสมแทนแป้งมัน ไม่มีผลต่อคุณภาพถ่านมากนัก ซึ่งถือว่าเป็นการลดต้นทุนการผลิตลงได้มากและอัตราส่วนที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผงถ่าน

## 2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 พลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ [5]

2.1.1 พลังงานสวะหรือพลังงานชีวเป็นพลังงานหมุนเวียนที่เป็นสัดส่วนมากขึ้นเรื่อยๆ ในการใช้พลังงาน

ควรจะเป็นไม้พื้และถ่านจึงควรจะเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มาจากมูลสัตว์พลังงานที่ได้จากชีวมวลซึ่งได้จากเศษซากพืชต้นไม้ พืชไร่ต่าง ๆ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง แกลบ วัชพืช เช่น หญ้าไมยราบ ผักตบชวา รวมทั้งเศษขยะ โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวลนี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่ควรจะให้ความสนใจและพัฒนาอย่างจริงจังเนื่องจากเรามีทรัพยากรที่เหลือจากการประกอบอาชีพเผาข้าวหลามตามรูปที่ 2 ที่จะนำมาเป็นพลังงานได้อีกมากมายเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานชีวมวลนี้ง่ายราคาไม่แพง ซึ่งประชาชนทุกคนสามารถผลิตและทำขึ้นได้ด้วยตัวเองตัวอย่างวัตถุดิบที่มีการพัฒนาขึ้นมาและมีการนำไปใช้กันบ้างแล้วก็คือ การทำแท่งเชื้อเพลิงจากเศษสวะ เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา เศษหญ้าไมยราบ แกลบ เป็นต้น แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากเศษพืชเหล่านี้เทียบกันสามารถนำไปใช้หุงต้มทำอาหารในครัวเรือนรวมไปถึงนำไปใช้ในร้านอาหารหรืออุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ ได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เศษวัสดุที่เหลือใช้จากการเผาข้าวหลามสำหรับผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้ง

2.1.2 ถ่านไม้หรือเศษไม้ถ่านบริสุทธิ์ เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียม ไฮยาไนต์ ซิลิคอนคาร์ไบด์หรือถ่านกัมมันต์เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย เช่น ใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้าและมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง(แบบการอัดเปียก) เป็นการอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหรือสกรูซึ่งจะสามารถทำได้ทั้งกับวัสดุสดและแห้ง (แต่ถ้าวัสดุมีความชื้นปานกลางจะอัดได้สะดวก

และรวดเร็ว) และสามารถทำได้กับวัสดุชนิดต่าง ๆ อย่างกว้างขวางแต่ในโรงงานนี้จะทดลองใช้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย สะดวก เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ดังนั้นโรงงานนี้จึงเป็นเทคโนโลยีการอัดแห้งแบบง่าย ๆ สะดวกและไม่สร้างความยุ่งยากซับซ้อนให้กับชาวบ้านในท้องถิ่นซึ่งเป็นความสมดุลและน่าทึ่งที่เหมาะสมสำหรับชาวบ้านที่จะผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแห้งเพื่อใช้ในการหุงต้มตลอดจนใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในครัวเรือนและรวมถึงในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก การอัดแห้งเชื้อเพลิงในลักษณะนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดแห้งถ่านเขียว (green charcoal) ของประเทศฟินแลนด์เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งค้นพบโดยมร. กอนซาโลคาแทน (Gonzalo O.Catan) และคณะโดยการนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกช่วย

## 2.2 เครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้ง

2.2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบเกลียวอัด ทำการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยการบรรจุเศษวัสดุเหลือใช้ที่ต้องการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งที่ในถัง (hopper) ที่มีทางออกไปสู่กระบอกอัด (extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีเกลียวสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนซึ่งหมุนด้วยความเร็วประมาณ 270 รอบต่อนาที การขับเคลื่อนสกรูใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที ทดรอบด้วยสายพานมู่และสามารถทำการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งได้ไม่ต่ำกว่า 25 เมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3

2.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งนั้นมีตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของแห้งเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งที่ได้แตกต่างกันคือ (1) ความชื้น ถ้าหากผงถ่านมีความชื้นมากเกินไปไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้แห้งเชื้อเพลิงถ่านระเบิดและแตกกรวน แต่ถ้าหากว่าความชื้นน้อยเกินไปทำให้ผงถ่านเกาะกันเป็นแท่งได้ยากผิวของแห้งมีรอยแตกกร้าว (2) อุณหภูมิ ถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ผิวหน้าของแห้งไหม้ถ่านเกรียมการเกาะตัวกันไม่เป็นเนื้อแน่นดีเท่าที่ควรและถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิต่ำความแข็งของแห้งถ่านที่ได้ก็จะต่ำด้วยเช่นกัน ที่สำคัญต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และการใช้เชื้อถ่านวนพันรอบเครื่องทำความร้อนจะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศได้ (3) ความดัน ความดันในกระบอกอัดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัดความเร็วของเกลียวความเร็วของสกรูตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรูเมื่อผงถ่านหมุนตันให้ติดกับกระบอกอัดซึ่งรับความร้อนมาจากเครื่องทำความร้อนจะ

ทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกอัดกับการเคลื่อนตัวของแห้งถ่าน ทำให้การอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น (4) การใช้และบำรุงรักษาเครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เครื่องอัดชนิดนี้ทำงานด้วยการอัด (pressure) หรือแรงดันจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรงม้า ที่ไปหมุนสกรูหรือเกลียว ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องที่ผลิตจากสแตนเลสแทนเหล็กทำให้มีความทนทานต่อการสึกกร่อนเพื่อขับวัสดุให้อัดแน่นเป็นแห้งโดยรีดออกมาจากกระบอกรีด (throat-ทำจากสแตนเลส)

2.2.3 วิธีการอัดแห้งเชื้อเพลิง [6] การอัดแห้งเชื้อเพลิงนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบเช่น การอัดเป็นเม็ด การอัดเป็นแท่งเล็ก การอัดเป็นลูกบาศก์ การอัดเป็นแท่งพิน ในอุตสาหกรรมนิยมใช้การอัดเกลียวหรืออัดสกรู (screw) การอัดแห้งด้วยเกลียวหรือสกรู (screw) สามารถอัดได้ 2 แบบคือ (1) การอัดแห้ง คือวัสดุก่อนอัดจะต้องได้รับการบดละเอียดสม่ำเสมอในการบดกรณีที่เครื่องอัดมีแรงอัดสูงมากก็อาจไม่จำเป็นต้องบดก่อนเพราะเครื่องอัดจะทำหน้าที่บดและอัดในตัว ความชื้นของวัสดุที่บดแล้วก่อนทำการอัดควรมีค่าอยู่ระหว่าง ประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์หากสูงกว่าหรือต่ำกว่าเกณฑ์อาจอัดไม่ได้ผลโดยใช้แรงอัดสูงตั้งแต่ 0.100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การบดอัดของวัสดุที่เกิดจากแรงขัดสีของวัสดุกับเกลียวโดยที่กระบอกเกลียวจะมีการถูกทำให้เรียบตามความเหมาะสมและจะต้องมีร่องหรือสันเพื่อป้องกันการหมุนของวัสดุไปตามเกลียวที่หมุน ส่วนใหญ่การอัดต้องใช้ความร้อนจากภายนอกช่วยเพื่อทำให้

ลิกนินของผนังเซลล์ละลายใช้เป็นตัวเชื่อมประสานขึ้นส่วนของวัสดุให้ถูกอัดเป็นแห้ง ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากแรงขัดสีระหว่างชิ้นส่วนของวัสดุสกรูและกระบอกเกลียวไม่เพียงพอที่จะทำให้ลิกนินที่อ่อนตัว ดังนั้นความร้อนที่ใช้เพื่อให้ลิกนินที่อ่อนตัวประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส แห้งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะเป็นแท่งพินบางที่เรียกว่า พินเทียม (extruded log) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มิลลิเมตร ความหนาแน่นประมาณ 100-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกอัดให้เป็นเนื้อเดียวกันทำให้มีลักษณะหนักแน่นและแข็งในบางกรณีอาจจะจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ตัวเชื่อมประสาน (binding materials) จากภายนอกช่วยโดยส่วนใหญ่จะใช้กาวหรือแป้งเปียก แห้งเชื้อเพลิงนั้นจุดติดไฟยากกว่าพินและมีควันมากจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการใช้ในครัวเรือนแต่เหมาะสมในงานอุตสาหกรรม (2) การอัดเปียก คือความชื้นก่อนอัดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุโดยทั่วไปจะมี

ความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ จะอัดได้ดีที่สุดแต่หากต่ำกว่านี้อาจจะอัดไม่ได้หรืออัดได้ไม่ดีเท่าที่ควรแต่สำหรับการลดความชื้นไปจนถึง 50 เปอร์เซ็นต์สำหรับวัสดุบางชนิดก็ยังอัดได้อยู่ การอัดเปียกใช้แรงอัดต่ำกว่าการอัดแบบอัดแห้งอย่างมาก การอัดอาศัยแรงและความเหนียวของวัสดุจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีการให้ความร้อนหรือระบายความร้อน วัสดุก้อนอัดจำเป็นต้องสับหรือบดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แต่ไม่ใช่ละเอียด เมื่อผ่านการอัดเป็นแท่งแล้วแท่งเชื้อเพลิงจะต้องนำไปตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้ แท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นระหว่าง 600-800 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื้อของแท่งเชื้อเพลิงจะถูกอัดเป็นเส้น ๆ หรือขึ้นการรวมตัวไม่แน่นหรือหลวมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างการอัดแห้ง บางกรณีอาจใช้ตัวประสาน (binding materials) จากภายนอกช่วย การอัดทำได้ง่ายกว่า ประหยัด กว่าและทำได้เกือบทุกอย่างกว้างขวางกว่าการอัดแห้งแบบใช้ความร้อน

### 2.3 ตัวประสานที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตัวประสาน คือ สารที่ผสมลงไปในวัตถุดิบเพื่อทำให้วัตถุดิบนั้นเกาะติดกันได้ดีมากยิ่งขึ้นในการพิจารณาที่จะทำการอัดแท่งโดยใช้ตัวประสานนั้นจะต้องคำนึงถึง (1)ราคาต้องไม่แพงมากนัก (2) ต้องใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดแต่ยังคงให้แท่งเชื้อเพลิงมีคุณภาพดี (3)จะต้องทนน้ำ (4)จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงและสามารถจะปกคลุมพื้นที่ของวัตถุดิบที่บดได้ทั่วถึงเพื่อให้การยึดเหนี่ยวเป็นไปได้อย่างดี



รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแห้งแบบเกลียววัด

### 2.4 การใช้ประโยชน์จากผลผลิตเชื้อเพลิงถ่าน

2.4.1 การใช้ประโยชน์จากผลผลิตถ่านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าที่เข้าใจกันเพียงแต่นำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนเท่านั้น ในประเทศจีน เกาหลี และญี่ปุ่น ซึ่งมีเทคโนโลยีการผลิตถ่านอย่างล้ำหน้าจะสามารถผลิตถ่านขาว (white charcoal) เพื่อใช้ถ่านขาวในเชิงเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะ เช่น ใช้ถ่านขาวใส่ลงในกาต้มน้ำร้อนเพื่อทำน้ำแร่เพราะถ่านชนิดนี้จะละลายแร่ธาตุ

ต่าง ๆ ออกมาเพิ่มคุณภาพและรสชาติของน้ำร้อนใช้ชงกาแฟหรือจะใช้ผสมเหล้าวิสกี้ก็จะได้รับรสชาติที่นุ่มละมุนนี้เป็นตัวอย่างการใช้ถ่านแบบพิเศษในต่างประเทศ ในบ้านเราผลผลิตถ่านส่วนใหญ่จะเป็นถ่านดำที่ผลิตภายใต้อุณหภูมิต่ำซึ่งไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงปิ้งย่างอาหาร แต่ถ่านดำได้เปรียบกว่าถ่านบริสุทธิ์ตรงที่ผลิตได้จำนวนมากกว่า ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่ไม่เป็นการประกอบอาหารโดยตรง เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิง ถ่านหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมักจะมีค่ามลพิษที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตามถ่านดำที่ผลิตด้วยอุณหภูมิสูงที่เราเรียกว่า ถ่านบริสุทธิ์ นั้นหากมีปริมาณผลผลิตที่มากพอและคงที่ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายทั้งในครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมได้ตามรายงานของชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานไม้คือ (1)การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียมไซยาไนด์ ซิลิคอนคาร์ไบด์หรือถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านที่มีคาร์บอนเสถียรสูง ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลายอาทิใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้ซีเมนต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้าและมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น

2.4.2 การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน คุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่านเป็นที่รับรู้กันดีแล้ว แต่ในต่างประเทศอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับจากถ่านเพื่อใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนได้รับความนิยมมาก คนญี่ปุ่นเป็นตัวอย่างของผู้ที่มองเห็นคุณประโยชน์ของถ่านอย่างชัดเจนการใช้ถ่านเพื่อทำหน้าที่ลดกลิ่นในห้องปรับอากาศ มีประสิทธิภาพที่ดีมากในห้องแอร์ที่ทำงานหรือในรถโดยเฉพาะที่มีผู้สูบบุหรี่หรืออาจจะมีการจุนทรีย์ควรนำถ่านไม้ไปวางดักไว้ที่ช่องดูดอากาศกับของเครื่องดูดอากาศฟรอนและจุนทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่าง ๆ เอาไว้ช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้อย่างดีหรือจะใช้ถ่านเพื่อการบำบัดน้ำ

2.4.3 การใช้ประโยชน์ในการเกษตร ในภาคการผลิตเชิงเกษตรการนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์นับว่ามีคุณค่าที่น่าสนใจไม่น้อยเนื่องจากว่าถ่านมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีราคาแพงได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพไม่แพ้กันทีเดียว ใช้เป็นสารปรับปรุงดินถ่านไม้จะมีรูพรุนมากมายเพื่อใส่ถ่านปนลงในดินจะช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุยอุ้มน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้ราก

พืชขยายตัวอย่างรวดเร็วช่วยลดการใช้ปุ๋ย เพราะสมบัติต่าง ๆ ของจุลธาตุที่มีอยู่หลายชนิดในแห้งถ่านจะเป็นประโยชน์ให้แก่พืชที่ปลูกถ่านไม้ที่นำมาปรับปรุงดินควรเป็นเศษถ่านขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยอาจจะเป็นถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อยแต่ควรระวังเชื้อราซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างสูงเพราะพืชก็ไม่ชอบดินที่มีค่าเป็นด่างสูงควรรักษาความเป็นกรด-ด่างของดินไว้ที่ PH 6.0-6.8 ช่วยรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้น ผักและผลไม้จะมีกลิ่นปกติก๊าซเอธิลีน (ethylene) เพื่อทำให้ตัวเองสุกเราสามารถรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้นโดยใส่ผงถ่านลงในกล่องบรรจุเพื่อดูดซับก๊าซดังกล่าวไว้ไม่ให้ออกฤทธิ์ผักผลไม้จะยังคงสดอยู่ได้ยาวนานถึง 17 วันโดยไม่เสียหายหรือสุกงอม ปัจจุบันได้มีการนำผง ถ่านกัมมันต์ผสมลงในกระดาษที่ใช้ทำกล่องบรรจุผลผลิตถ่านแกลบใช้ทดแทนแกลบรองพื้นคอกสัตว์ซึ่งราคาสูงและหาง่ายพอ ๆ กันเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนและก๊าซต่าง ๆ อันเป็นสาเหตุหนึ่งของอาการเครียดในสัตว์ส่งผลให้สุขภาพและผลผลิตจากปศุสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น ใช้ผสมอาหารสัตว์นำผงถ่านผสมในอาหารสัตว์อัตราส่วนเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ถ่านจะช่วยดูดซับก๊าซในกระเพาะและลำไส้ช่วยลดอาการท้องอืดเนื่องจากปริมาณน้ำในอาหารสูงเกินไปโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำนำถ่านไม้ใส่กระสอบ (ในปริมาณที่สอดคล้องกับปริมาณแหล่งน้ำ) ไว้ที่ก้นบ่อและจัดให้มีการไหลเวียนน้ำบริเวณกระสอบถ่านน้ำเศษอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปของถ่านช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหรือกุ้งได้เช่นกันจากแหล่งเดียวกัน

ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ประโยชน์จากถ่านไม้อย่างกว้างขวางเป็นลำเป็นสันจนถือว่าถ่านเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ดีเยี่ยมมีปริมาณการใช้ในภาคเกษตรไม่น้อยกว่าปีละ 50,000 ตัน

### 2.5 หลักการตรวจสอบเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Auto Bomb Calorimeter และตัวอย่างการวิเคราะห์

การทดสอบค่าความร้อนค่าคงตัวค่าของสารละลายของวัสดุ (1) การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะบรรจุให้ตรวจสอบและพิจารณาความสมบูรณ์ของภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุต้องสะอาดแห้งและป้องกันเสียหายที่เกิดขึ้นกับถ่านได้และภาชนะบรรจุหรือ

ฉลากอย่างน้อยต้องมีเลขอักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดเช่น ชื่อเรียก ผลิตภัณฑ์น้ำหนักสุทธิ เดือนที่ ทำ ช้อแนะนำในการใช้และการบำรุงรักษา (2) การทดสอบการใช้งาน ให้ทดสอบโดยการจัดตัวอย่างถ่านอัดแท่งแล้วตรวจพินิจ (3) การทดสอบความชื้นค่า ความชื้นของถ่านวิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 โดยให้ความร้อน

กับถ่าน 1 กรัมที่อุณหภูมิ 103-110 องศาเซลเซียสและคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป คำนี้อาจสำคัญมากโดยเฉพาะในด้านการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพของถ่านที่แห้งดังนั้นจึงต้องจำเป็นใช้ค่าความชื้นนี้ไปคำนวณกับค่าอื่น ๆ ของถ่านให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง (4) การทดสอบการวิเคราะห์ ปริมาณ ถ้าตาม ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่าง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสและคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่ (5) การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสมจากข้อมูลเชิงลึกที่ได้ติดตามกันมาทำให้เราให้เห็นถึงประโยชน์อันมากมายของถ่านไม้ที่เคยดูเหมือนจะมีค่าแค่เพียงเป็นฟืนหุงข้าวของคนโบราณ แต่หากเรารู้จักการนำมาใช้อย่างสร้างสรรค์และเข้าใจถึงคุณประโยชน์ของถ่านไม้ที่ได้จากไม้พื้นที่มีอยู่มากมายในประเทศไทยก็จะเป็นประโยชน์ต่อระบบการผลิตในหลายแขนง ดังตารางที่ 1

### 2.6. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ ในการเตรียมวัตถุดิบ สามารถดำเนินการตามขั้นตอนคือ (1) นำเศษกะลามะพร้าวและไม้ผุแล้วนำมาทำการเผาให้เป็นถ่านดังรูปที่ 5 (2) นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านไม้ผุมาตีย่อยด้วยเครื่องให้มีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะสามารถนำไปอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งได้ (3) ใช้ตะแกรงร่อนคัดแยกขนาดผงถ่านเมื่อทำการตีถ่านเสร็จให้นำถ่านที่ผ่านการตีไปร่อนในตะแกรง (4) นำผงถ่านที่ผ่านการร่อนคัดแยกจากตะแกรงไปชั่งน้ำหนักตามที่กำหนดทั้ง 11 สูตร (5) ผสมผงถ่านกะลามะพร้าว ผงถ่านไม้ผุกับตัวประสานแต่ละสูตรที่ได้กำหนดทั้ง 11 สูตร เพื่อทำการคลุกเคล้าส่วนผสมวัตถุดิบให้เข้ากันดังรูปที่ 4 (6) นำผงถ่านที่ผ่านการผสมและคลุกเคล้ากันแล้วไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวอัดผ่านแม่พิมพ์รูปทรงหน้าตัดห้าเหลี่ยม ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าของสารระเหย ถ่านคองตัว ปริมาณเถ้า กำมะถัน พลังงานความร้อน

ตัวอย่าง	สารระเหย (เปอร์เซ็นต์)	ถ่านคองตัว (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	กำมะถัน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานความร้อน (แคลอรี/กรัม)
ซีลี้อย	71.30	27.20	1.50	-	4,990
ซีบก	72.40	25.10	2.50	-	4,990
กากอ้อย	73.90	17.60	8.50	-	4,440
ชานอ้อย	71.80	23.40	4.80	-	4,510
แกลบ	62.70	17.40	20.00	-	3,860
ฟางข้าว	74.40	18.90	7.30	-	4,300
ต้นมันสำปะหลัง	76.20	19.10	4.70	1.30	4,300
ซังข้าวโพด	76.10	21.80	2.10	-	4,540
กะลามะพร้าว	73.70	25.59	0.70	0.03	4,830
เส้นใยปาล์ม	71.50	23.10	5.40	-	4,820
ถ่านหิน	42.80	49.50	7.70	1.73	5,860
ถ่านโค้ก	1.20	90.60	8.20	0.48	7,150
ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.10	-	4,560
ไมยราบยักษ์	71.20	25.10	3.70	-	4,460
น้ำมันเตา*	-	-	-	2.43	10,450
ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.40	-	7,650

หมายเหตุ : คือพลังงานความร้อนที่สูงสุด



(ก) ถ่านกะลามะพร้าว



(ข) ถ่านไม้ไฟ

รูปที่ 4 ลักษณะถ่านกะลามะพร้าวและถ่านไม้ไฟ



รูปที่ 5 การผสมผงถ่านกับตัวประสาน



รูปที่ 6 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

## 2.6.2 เงื่อนไขการทดลอง

1) ผสมอัตราส่วนผสมกับตัวประสาน คือ แป้งมันและน้ำที่อัตราส่วน 9.5:0.5:3 (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)

2) น้ำหนักของน้ำที่ใช้เป็นเพียงตัวผสมระหว่างผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไฟกับแป้งมันเข้าด้วยกันเท่านั้น (ปริมาณน้ำสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบที่เตรียมไว้) โดยไม่รวมน้ำหนักของน้ำในการคำนวณลดค่าความชื้น

3) ทำการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไฟ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 (ตัวอย่างสูตรที่ 3) จากการคำนวณอัตราส่วน 100 เปอร์เซ็นต์โดยการแบ่งสัดส่วนทั้งสองให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ผงถ่านกะลามะพร้าว 90 เปอร์เซ็นต์

$$\frac{9.5 \times 90}{100} = 8.55 \text{ กิโลกรัม}$$

ผงถ่านไม้ไฟ 10 เปอร์เซ็นต์

$$\frac{9.5 \times 10}{100} = 0.95 \text{ กิโลกรัม}$$

4) ตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งโดยการสังเกตลักษณะที่ได้ตรงตามที่ต้องการหรือไม่

5) เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งทั้งหมดคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งทั้งหมดมาลดความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามมาตรฐาน มพข.238/2547 [8]

7) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไฟ นำมาทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพด้วยเครื่อง oxygen bomb calorimeter ซึ่งจะบอกค่าพลังงานความร้อน และปริมาณเถ้า

8) เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อให้ทราบว่อัตราส่วนผสมใดเหมาะสมที่สุด

## 2.6.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพและคุณภาพของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

1) การทดสอบหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อตรวจวัดค่าพลังงานความร้อนในเชื้อเพลิงของถ่านแต่ละสูตรโดยวิธีการต้มน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยการทำให้ในบริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเท และในขนาดที่ต้มน้ำควรปิดฝาหม้อให้สนิทเพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลองสามารถทำได้ โดย (1) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านการลดความชื้นไม่

เกิน 8 เปอร์เซ็นต์มาซึ่งให้ได้ 1 กิโลกรัมตั้งรูปที่ 7 (2) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ซึ่งแล้วไปก่อไฟเพื่อทำการต้มน้ำ โดยใช้น้ำปริมาณ 1.5 ลิตร (3) ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นตั้งหม้อต้มน้ำจนกระทั่งน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป (4) นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิและทำการหยุดเวลา (5) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการต้มน้ำเดือดมาทำการชั่ง เพื่อหาปริมาณคงเหลือหลังการต้มน้ำและทำการบันทึกผลการทดลอง

2) การทดสอบหาค่าปริมาณเถ้า ตั้งรูปที่ 8 โดยการนำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งไปทำการจุดไฟโดยใช้เตาแก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน ทำการเผาเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเป็นเวลา 3 นาที ที่ความร้อนเท่ากันและปล่อยให้ไหม้ให้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเผาไหม้จนเหลือแต่เถ้าถ่าน ทำการจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง

3) การทดสอบหาค่าความแข็งตั้งรูปที่ 9 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกด (ยี่ห้อ HOUNSFIELD) เมื่อทำการอัดแท่งวัตถุดิบเสร็จเรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกดเพื่อตรวจวัดค่าความแข็งในเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกผล

4) การทดสอบหาค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่อง oxygen bomb calorimeter ตั้งรูปที่ 10



รูปที่ 7 การลดความชื้นแก่เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 8 การทดสอบหาค่าปริมาณเถ้า



รูปที่ 9 การทดสอบหาค่าความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกด (ยี่ห้อ HOUNSFIELD)



รูปที่ 10 ชุดเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter

ตารางที่ 2 สูตรในการหาอัตราส่วนผสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

สูตรที่	ส่วนผสมของวัตถุดิบ(กิโลกรัม)	
	ถ่านกะลามะพร้าว	ถ่านไม้ไผ่
1	9.50	-
2	-	9.50
3	8.55	0.95
4	7.60	1.90
5	6.65	2.85
6	5.70	3.80
7	4.75	4.75
8	3.80	5.70
9	2.85	6.65
10	1.90	7.60
11	0.95	8.55

### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

#### 3.1 ตารางแสดงผลการวิจัย

ตารางที่ 3 ผลการวิจัยการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		จำนวนวัน	ค่าความชื้น(เปอร์เซ็นต์)					ค่าเฉลี่ย
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
9.50	0.00	1	16.67	16.25	17.64	18.57	17.33	17.29
		2	13.33	13.43	14.28	14.03	12.90	13.59
		3	7.69	5.17	6.66	8.16	7.40	6.42
		4	5.00	4.54	5.35	5.55	6.38	5.36
0.00	9.5	1	15.00	13.75	14.12	12.75	13.25	13.77
		2	13.23	10.14	10.95	10.81	11.43	11.31
		3	6.78	8.06	7.69	7.57	9.68	7.95
		4	3.63	3.51	3.33	4.92	3.57	3.79



ตารางที่ 3 ผลการวิจัยการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ (ต่อ)

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		จำนวนวัน	ค่าความชื้น(เปอร์เซ็นต์)					ค่าเฉลี่ย
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่		ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 4	ครั้ง 5	
8.55	0.95	1	15.44	15.29	15.71	16.47	16.66	15.91
		2	11.84	11.11	11.86	11.26	12.80	11.77
		3	8.95	7.81	9.61	7.93	9.17	8.69
		4	4.91	5.08	6.38	6.89	7.07	6.07
7.60	1.90	1	14.67	15.49	14.86	15.71	16.00	15.35
		2	12.50	13.33	12.69	13.56	14.87	13.39
		3	10.71	11.54	10.91	11.76	12.65	11.51
		4	4.00	6.52	6.12	4.76	4.57	5.19
6.65	2.85	1	16.47	16.25	17.33	15.55	17.14	16.55
		2	12.67	13.43	12.90	14.47	13.79	13.45
		3	9.67	10.34	7.40	8.46	7.90	8.75
		4	7.14	8.65	6.50	7.56	6.51	7.27
5.70	3.80	1	14.44	13.97	14.58	13.68	14.55	14.24
		2	12.99	11.25	12.19	10.97	12.14	11.91
		3	7.46	9.86	8.33	8.22	7.23	8.22
		4	3.23	4.69	4.55	4.47	3.01	3.99
4.75	4.75	1	14.98	15.01	14.51	14.84	15.18	14.89
		2	11.21	12.72	11.92	11.57	12.58	12.00
		3	8.95	9.58	8.77	9.02	8.61	8.99
		4	4.71	5.86	4.23	4.59	5.11	4.90
3.80	5.70	1	13.75	14.92	13.98	14.54	14.67	14.37
		2	10.14	12.97	11.57	11.30	12.22	11.64
		3	8.06	8.96	9.06	9.41	9.17	8.93
		4	3.51	5.01	4.92	5.05	4.83	4.66
2.85	6.65	1	17.09	16.29	17.53	16.00	17.61	16.90
		2	15.98	13.36	15.07	13.42	14.28	14.42
		3	8.15	11.03	10.71	9.54	8.53	9.59
		4	6.23	6.51	5.86	5.37	5.97	5.99
1.90	7.60	1	14.12	15.32	14.63	15.11	14.48	14.73
		2	12.33	13.15	11.29	12.75	11.51	12.21
		3	9.38	10.98	9.78	11.35	9.16	10.13
		4	3.45	4.74	5.09	4.82	5.20	4.66
0.95	8.55	1	15.72	16.37	16.87	16.90	15.66	16.30
		2	13.20	12.99	12.72	12.43	12.80	12.83
		3	9.96	10.21	10.56	10.77	10.28	10.36
		4	4.55	5.34	5.24	5.48	4.91	5.10



ตารางที่ 4 ผลการทดลองการหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนผสม (กิโลกรัม)		มวลที่เหลือ (กิโลกรัม)	สิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (กิโลกรัม)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัด แท่งเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
ผงถ่าน กะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่				
9.50	0.00	0.677	0.323	00:11:09	1.745
0.00	9.50	0.623	0.377	00:14:00	1.618
8.55	0.95	0.697	0.303	00:09:45	1.917
7.60	1.90	0.647	0.353	00:08:67	2.434
6.65	2.85	0.670	0.330	00:06:10	3.235
5.70	3.80	0.677	0.323	00:07:25	2.669
4.75	4.75	0.680	0.320	00:08:26	2.318
3.80	5.70	0.687	0.318	00:07:16	2.672
2.85	6.65	0.680	0.320	00:09:47	2.025
1.90	7.60	0.633	0.367	00:06:36	3.462
0.95	8.55	0.617	0.383	00:07:63	3.015

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการหาปริมาณเถ้า

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ปริมาณเถ้า(เปอร์เซ็นต์)
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่	
9.50	0.00	9.75
0.00	9.50	13.92
8.55	0.95	10.42
7.60	1.90	10.64
6.65	2.85	10.95
5.70	3.80	11.24
4.75	4.75	11.85
3.80	5.70	12.37
2.85	6.65	12.95
1.90	7.60	13.42
0.95	8.55	13.87

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อน

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ค่าพลังงานความร้อน(แคลอรีต่อกรัม )
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่	
9.50	0.00	6,388.05
0.00	9.50	6,041.00
8.55	0.95	5,748.83
7.60	1.90	5,699.97
6.65	2.85	5,624.34
5.70	3.80	5,813.98
4.75	4.75	5,677.81
3.80	5.70	5,630.47
2.85	6.65	5,576.46
1.90	7.60	5,446.69
0.95	8.55	5,363.08

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547)

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ค่าต่าง ๆ จากผลการทดลอง					
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ปริมาณถ่าน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานความร้อน (แคลอรี/กรัม)	การรับแรงกด (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
9.50	0.00	5.36	1.745	9.75	6,388.05	1,427.333	696.39
0.00	9.50	3.79	1.618	13.92	6,041.00	541.430	794.28
8.55	0.95	6.07	1.917	10.42	5,748.83	892.530	737.14
7.60	1.90	5.19	2.434	10.64	5,699.97	969.460	639.25
6.65	2.85	7.27	3.235	10.95	5,624.34	310.430	754.28
5.70	3.80	3.99	2.669	11.24	5,813.98	288.760	888.57
4.75	4.75	4.90	2.318	11.85	5,677.81	385.730	894.28
3.80	5.70	4.66	2.672	12.37	5,630.47	71.130	817.14
2.85	6.65	5.99	2.025	12.95	5,576.46	385.560	751.43
1.90	7.60	4.66	3.462	13.42	5,446.69	188.560	854.28
0.95	8.55	5.10	3.015	13.87	5,363.08	601.400	753.54
ถ่านไม้เบญจพรรณ (นิภาพรรณ นัน-ตา วงศ์:2553)		3.692	2.25	3.86	6,748.97	-	-
มาตรฐานถ่าน-อัดแท่ง (มผช.238/2547)		ไม่เกินเกิน 8 เปอร์เซ็นต์	-	-	ไม่น้อยกว่า 5,000	-	-

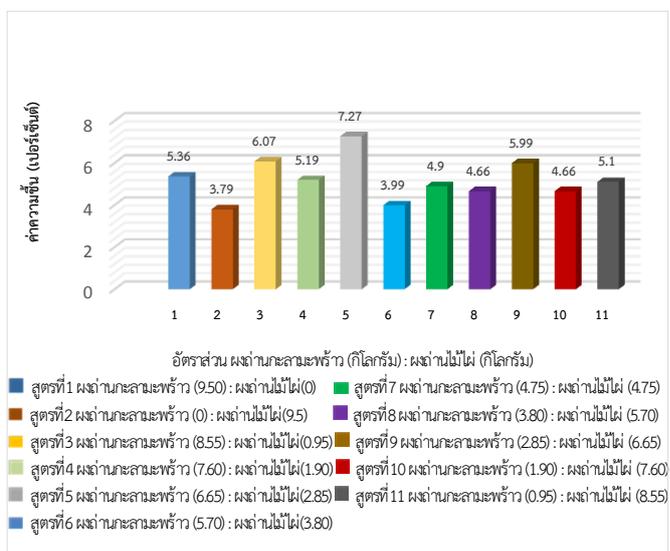
### 3.2 ผลการวิจัย

#### 3.2.1 ผลการลดค่าความชื้น

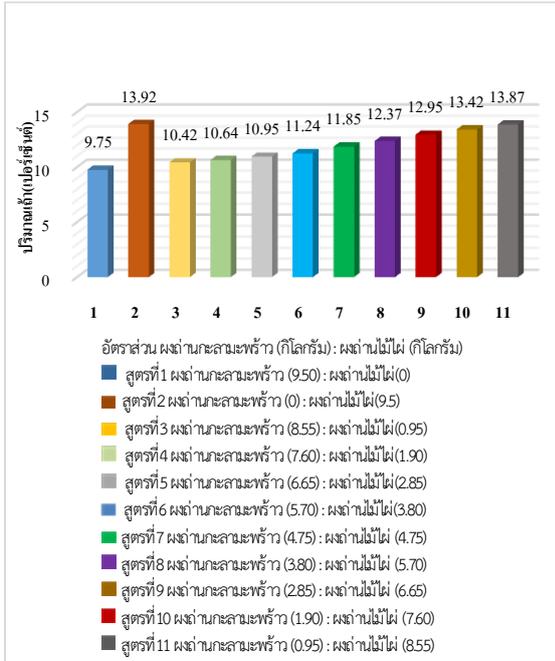
ผลการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งค่าความชื้นเริ่มต้น 100 เปอร์เซ็นต์ บันทึกผลการทดลองหลังการอบทุก 24 ชั่วโมง โดยการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสระยะเวลา 4 วัน ดังรูปที่ 11

#### 3.2.2 ผลการทดลองหาค่าอัตราการสิ้นเปลือง

ผลการทดลองหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งมวลที่ใช้ในการทดลอง 1 กิโลกรัมโดยการต้มน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 12



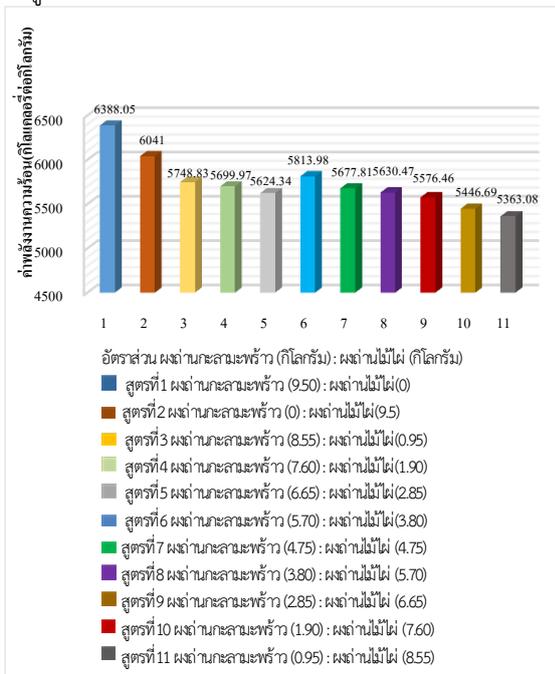
รูปที่ 11 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 12 อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

### 3.2.3 จากผลการทดลองหาปริมาณเถ้า

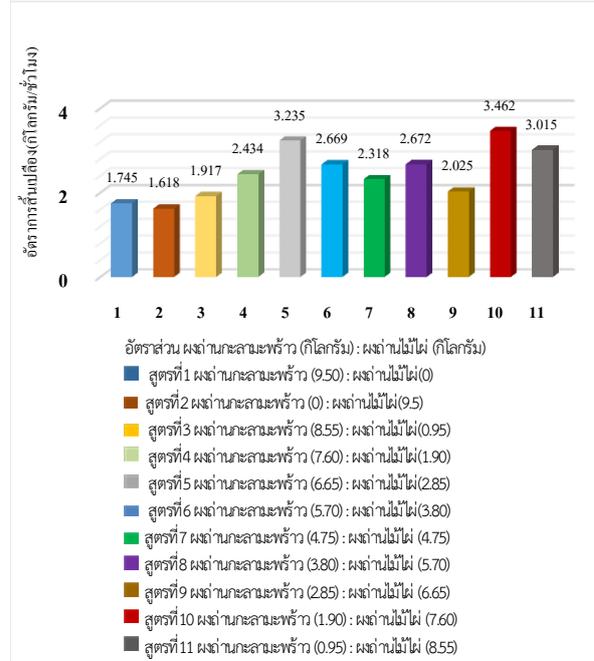
การทดลองหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง  
ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

### 3.2.4 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อน

จากผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อนของ  
เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Oxygen Bomb  
Calorimeter ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง  
ด้วยเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter

### 3.3. อภิปรายผลการวิจัย

3.3.1 จากตารางที่ 3 และรูปที่ 11 ผลการทดลองการลด  
ค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง  
จากผงถ่านกลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไฟโดยการอบที่  
อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 วัน ตาม  
มาตรฐาน ASTM D 3173 จากนั้นทำการเปรียบเทียบ  
ตามคุณลักษณะที่ต้องการของ มผช.238/2547 พบว่า  
เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกลามะพร้าวและผงถ่าน  
ไม้ไฟในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความชื้นเฉลี่ยไม่เกิน 8  
เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นในส่วนผสมของเชื้อเพลิง  
ถ่านอัดแท่งสามารถระเหยออกสู่บรรยากาศจากการได้รับความ  
ร้อนในการอบและได้ค่าตรงตามคุณลักษณะที่  
ต้องการของ มผช.238/2547 กำหนดไว้

3.3.2 จากตารางที่ 4 และรูปที่ 12 ผลการทดลองการหา  
ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่าน  
กลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไฟจะแสดงถึงประสิทธิภาพใน  
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่เผาไหม้ได้ดีติดไฟ  
ได้ยากแต่เมื่อติดอยู่ได้นานจนกลายเป็นเถ้าใช้ระยะเวลา  
ในการเผาไหม้นาน และการเผาไหม้ได้ไม่ดีหรือเผาไหม้ไม่  
หมดจะติดไฟง่ายแต่ดับไวใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้น้อย  
ตาม จะว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเฉลี่ย  
มากที่สุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 10 ผงถ่าน  
กลามะพร้าว 1.90 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไฟ 7.60  
กิโลกรัม มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 3.462

กิโลกรัมต่อชั่วโมงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากผงถ่านจากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงและทนทานต่อการใช้งานที่ดีกว่า

3.3.3 จากตารางที่ 5 และรูปที่ 13 ผลการทดลองหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ ซึ่งปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เมื่อมีปริมาณเถ้ามากค่าพลังงานความร้อนก็ลดลงแต่ถ้ามีปริมาณเถ้าน้อยค่าพลังงานความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นและเป็นภาระในการขจัดจะพบว่าปริมาณเถ้าสูงสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 11 ผงถ่านกะลามะพร้าว 0.95 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 8.55 กิโลกรัม มีปริมาณเถ้า 13.87 เปอร์เซ็นต์และปริมาณต่ำสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์

3.3.4 จากตารางที่ 6 และรูปที่ 14 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ ซึ่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ได้ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอและทนทานใช้งานได้ในแต่ละสูตรมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้แตกต่างกัน จะพบว่าค่าพลังงานความร้อนสูงสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 6 ผงถ่านกะลามะพร้าว 5.70 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 3.80 กิโลกรัม มีค่าพลังงานความร้อน 5,813.98 แคลอรีต่อกรัมและค่าพลังงานต่ำสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 11 ผงถ่านกะลามะพร้าว 0.95 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 8.55 กิโลกรัม มีค่าพลังงานความร้อน 5,363.08 แคลอรีต่อกรัม

3.3.5 จากผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและไม้ไผ่กับมาตรฐานถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) จากตารางที่ 7 พบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการเผาข้าวหลามที่ค่าต่างๆ ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีค่าความชื้น 6.07 เปอร์เซ็นต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมงปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อน 5,748.83 แคลอรีต่อกรัม ค่าความแข็ง 892.530 นิวตัน และ 737.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### 4. บทสรุป

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการเผาข้าวหลาม คือ สูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้ 00:09:45 ชั่วโมง การลดความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 6.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อน 5,748.83 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามค่าพลังงานความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ค่าความหนาแน่น 737.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความแข็ง คือ 892.530 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าผงถ่านกะลามะพร้าวมากกว่าผงถ่านไม้ไผ่ เมื่อติดไฟแล้วจะดับได้ยากจะเผาไหม้จนกว่าจะกลายเป็นขี้เถ้าทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งน้อยสุดใช้งานได้นานและประหยัด เนื่องจากเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งมีความแข็งแรงมากจึงทำให้ไม่เปราะและไม่แตกหักได้ง่าย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้การดำเนินงานวิจัยขอขอบคุณคุณคุณธีรพัฒน์ อำพาศ คุณบุษยมาศ นันใจยะ คุณชินานาง ชื่นหมี่ และคุณภัทรา จันทร์กระจ่าง สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ช่วยสืบค้นและจัดหาข้อมูล

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เกศกนก จันทรมาศ. (2546). การศึกษาเรื่องการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเผาข้าวหลาม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [2] วิไลพร ลักขมีวณิชย์, กาญจนนา สิริกุลรัตน์และณัฐชนันญา บุญถึง. (2554). พฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบลช่างเคิ่ง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ โดย การทนทานแรงกดอัด (Compressive Strength) ของถ่านอัดแท่ง.สาขาวิชาฟิสิกส์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่.
- [3] กิตติพงษ์ ลาลูน, สมโภชน์ สุตาจันทร์และชัยยันต์ จันทร์ศิริ.(2555) การผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัดถ่านอัดแท่ง. ภาควิชา



- วิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] อุกฤษฏ์ โชคศรี. (2554). เทคโนโลยีถ่านอัดแท่ง.  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต  
สกลนคร.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,  
กระทรวงพลังงาน (2552). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:  
[http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com\\_content&view=article&id=130%3A2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68&lang=th](http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=130%3A2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68&lang=th),
- [6] กระทรวงพลังงาน (2555). แผนพัฒนาพลังงาน  
ทดแทนและพลังงานทางเลือก. [ระบบออนไลน์],  
แหล่งที่มา:<http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- [7] ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงาน  
และสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:<http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/hot.php>.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.) เลขที่ 238/2547.  
(2547). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:[http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps238\\_47.pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps238_47.pdf)