

Received: September 9, 2022; Revised: October 15, 2022; Accepted: October 31, 2022

## การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่

### Study of the optimal ratios and properties of Charcoal briquettes from Bamboo

จุฑาพล จำปาแถม<sup>1</sup> ลำพูน เหลาราช<sup>1</sup> ภิตินันท์ อารยางกูร<sup>2</sup> และสุรสิงห์ อารยางกูร<sup>3\*</sup>  
Jutapol Jumpatam<sup>1</sup>, Lumpoon Laorach<sup>1</sup>, Pitinan Arayangkun<sup>2</sup> and Surasing Arayangkun<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

<sup>2</sup>โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์

<sup>3</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

\*Corresponding Author E-mail Address: p.sing1968@gmail.com

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ โดยการนำผงถ่านจากไม้ไผ่กับตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ) มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 5 อัตราส่วน (ผงถ่าน:แป้งมัน:น้ำ) ได้แก่ 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 และ 10.0:3.0:5.5 กิโลกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปอัดให้เป็นแท่งโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง นำถ่านอัดแท่งมาทดสอบหาสมบัติของถ่านอัดแท่ง และนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 238/2547 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0 และ 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ ผลการทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่ง พบว่า เมื่อสัดส่วนของตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความร้อน และปริมาณคาร์บอนคงตัว มีแนวโน้มลดลง ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด คือ 32.263 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ และผลการเปรียบเทียบกับ มาตรฐาน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งทั้ง 4 อัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 โดยอัตราส่วนของผงถ่านจากไม้ไผ่ต่อตัวประสานที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5

**คำสำคัญ:** ถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ สมบัติของถ่านอัดแท่ง

## Abstract

The objective of this research was to study the optimal ratio and properties of charcoal briquettes from bamboo. The bamboo charcoal powders were mixed with the binder in 5 different ratios, namely 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 and 10.0:3.0:5.5 kg per liter, respectively. Then, the mixed samples were compressed into a bar using a screw charcoal press. After the drying process, the charcoal briquette samples were employed to test the properties of charcoal briquettes and compared with the Thai Community Standard Product (TCSP) 238/2547 and to determine the optimal ratio in the produced bamboo charcoal briquettes. The research results found that the charcoal briquette ratios of 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0 and 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 can be molded. For testing the properties of charcoal briquettes, the results showed that density, moisture content, volatile matter content combustible volume and ash content tend to increase with increasing the binder contents. While, the heat and stable carbon content tend to decrease. The most efficient use of 32.263 percent for the charcoal briquette of 10.0:1.0:3.5 ratio was obtained. The smokes and flakes were not observed for the charcoal briquette in the ratio of 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 and 10.0:2.5:5.0. Comparing with the standard TCSP. 238/2547, the results found that all 4 charcoal briquettes passed the standard TCSP. 238/2547. The optimal ratio of the bamboo charcoal powder with binder to the was the ratio of 10.0:1.0:3.5.

**Keyword:** Charcoal briquettes from bamboo, Properties of charcoal briquettes

## บทนำ

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ที่หลายประเทศให้การยอมรับ และใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีปริมาณกักเก็บต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล และใช้แล้วไม่หมดไป ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น โดยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทน (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) ซึ่งให้ความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย และมีจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ให้อยู่ในรูปของพลังงานชีวมวลได้ เช่น ไม้พื้น แกลบ กากอ้อย มูลสัตว์ ฟางข้าว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เป็นต้น ในอดีตชีวมวลส่วนใหญ่จะถูกทิ้งซากให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ภายในพื้นที่การเพาะปลูก หรือบางครั้งเกษตรกรกำจัดโดยการเผาทำลาย ซึ่งเป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ทั้งที่ความจริงแล้วชีวมวลเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี และให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงทำให้มีการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ และปริมาณที่มากพอ (ชุดิมาภรณ์ และคณะ, 2561)

ถ่านอัดแท่ง (Charcoal Briquette) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ช้างข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ด แล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ชี้อ้อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ แล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ถ่านอัดแท่งเป็นสินค้า OTOP ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศ มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) เพื่อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ราคาของถ่านอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตถ่านอัดแท่ง

ราคาทั่วไปประมาณกิโลกรัมละ 15-20 บาท ซึ่งอาจจะดูแพงกว่าถ่านไม้ทั่วไป ราคา กิโลกรัมละไม่เกิน 10 บาท แต่ถ้าเปรียบเทียบกับคุณภาพ และระยะเวลาการเผาไหม้ ถือว่าถ่านอัดแท่งมีประสิทธิภาพคุ้มค่าง่าถ่านไม้

จากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน บ้านจิกแตก ตำบลจิกแตก อำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ ได้ส่งเสริมการปลูกไม้ไผ่เพิ่มรายได้ในชุมชนจะมีไผ่ที่นิยมปลูกในพื้นที่นี้ ประกอบไปด้วย ไผ่เลี้ยง ไผ่เก้าดาว ไผ่ขางหม่น ไผ่ดำ ไผ่บงใหญ่ ไผ่ข้าวหลามกาบแดง และไผ่กิมซุง ซึ่งทางศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน จะรับซื้อไม้ไผ่จากชาวบ้านเพื่อนำมาเผาเป็นถ่านไม้ไผ่ แล้วนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่งเพิ่มมูลค่าของถ่านมากขึ้น แต่ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งยังไม่มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่แน่ชัด โดยมีอัตราส่วนผสมถ่านต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ คือ 10:1.0:4.0 ซึ่งทางผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพื่อประโยชน์ของชุมชนที่อยู่ในพื้นที่การเพาะปลูกไม้ไผ่ จะได้นำไปเป็นแบบอย่าง ส่งเสริม และสนับสนุนให้มีการผลิตถ่านอัดแท่งใช้เองภายในครัวเรือน หรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เสริมแก่ชุมชนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการผลิตต่อไป

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษานี้ใช้เครื่องบดผสมย่อย เครื่องอัดถ่านอัดแท่งถ่าน และไม้ไผ่ ที่ได้จากการเผาถ่านจากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน บ้านจิกแตก ตำบลจิกแตก อำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ โดยมีรายละเอียดและวิธีการ ดังนี้



รูปที่ 1 เครื่องบดถ่านและผสม



รูปที่ 2 เครื่องอัดถ่านอัดแท่งถ่านแบบสกรูอัด

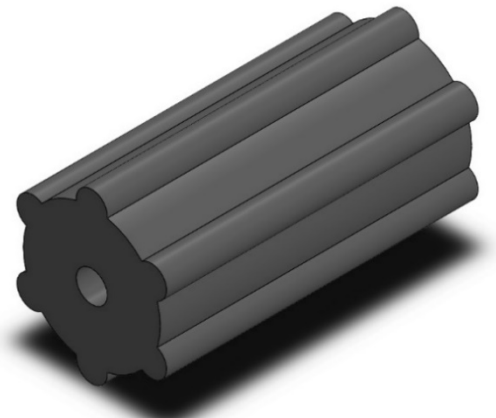
1. อัตราส่วน และขนาดของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ (ถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการอัดแท่งใช้เศษไม้ไผ่ทุกสายพันธุ์ที่ปลูก)

1.1 อัตราส่วน ผงถ่านต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ ทั้งหมด 5 อัตราส่วน มีดังนี้ 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10:2.5:5.0 และ 10:3.0:5.5 ผลวิเคราะห์ได้จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากอัตราส่วนละ 3 แท่ง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่

| สูตรที่ | อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ |                    |            |
|---------|----------------------------------|--------------------|------------|
|         | ถ่าน (กิโลกรัม)                  | แป้งมัน (กิโลกรัม) | น้ำ (ลิตร) |
| 1       | 10                               | 1.0                | 3.5        |
| 2       | 10                               | 1.5                | 4.0        |
| 3       | 10                               | 2.0                | 4.5        |
| 4       | 10                               | 2.5                | 5.0        |
| 5       | 10                               | 3.0                | 5.5        |

1.2 ขนาดถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ยาว 10 เซนติเมตร และความกว้าง 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3 ถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ขนาด ยาว 10 เซนติเมตร และความกว้าง 5 เซนติเมตร

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังนี้

2.1 กระบวนการทำแท่ง โดยวิธีการผึ่งในที่ร่มอุณหภูมิห้อง ชั่งมวลทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกว่ามวลของถ่านอัดแท่งจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง

2.2 ความหนาแน่น (Density) เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยทำการแทนที่ทรายออกตาวา

2.3 ดัชนีการแตกร่วน (Friability index) ทำการทดสอบโดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D440-86

2.4 ค่าความร้อน (Heating value) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3286

2.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173

2.6 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3175

2.7 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5373

2.8 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173

2.9 ปริมาณเถ้า (Ash content) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3174

2.10 ประสิทธิภาพการใช้งาน (Application efficiency) ทำการทดสอบ โดยการนำถ่านอัดแท่งมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้ม น้ำ

- 2.11 การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน (Smoke and Fire flakes) ทำการทดสอบ โดยการจุดตัวอย่างแล้วตรวจพินิจ
3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์แบบเป็นกลุ่มโดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's multiple range test)
4. ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547)

## ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ และทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง ด้วยการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง จำนวน 5 อัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน ได้ผลการขึ้นรูป ดังนี้

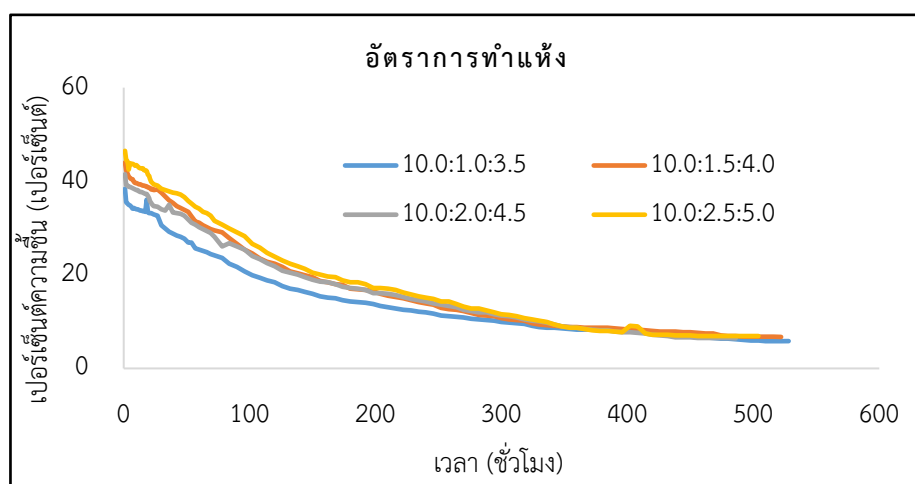
ตารางที่ 2 ผลการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ผลการขึ้นรูป        |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                | สามารถขึ้นรูปได้    |
| 10.0:1.5:4.0                                                | สามารถขึ้นรูปได้    |
| 10.0:2.0:4.5                                                | สามารถขึ้นรูปได้    |
| 10.0:2.5:5.0                                                | สามารถขึ้นรูปได้    |
| 10.0:3.0:5.5                                                | ไม่สามารถขึ้นรูปได้ |

จากตารางที่ 2 พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:3.0:5.5 ขึ้นรูปไม่ได้เนื่องจากมีอัตราส่วนของน้ำมากทำให้มีลักษณะเหลว ขึ้นรูปไม่ได้ตามแบบพิมพ์ และถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ตามแบบพิมพ์จึงนำไปศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่งต่อไป

### การศึกษากระบวนการทำแห้งของถ่านอัดแท่ง

จากการศึกษาอัตราการทำแห้งของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัดแท่งนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งในที่ร่ม ซึ่งมีผลทุก ๆ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิแวดล้อมปกติ (ไม่มีฝน) จนกว่ามวลของถ่านอัดแท่งคงที่ เพื่อทราบปริมาณความชื้น และระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง พบว่าเวลาเป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง

## การศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง

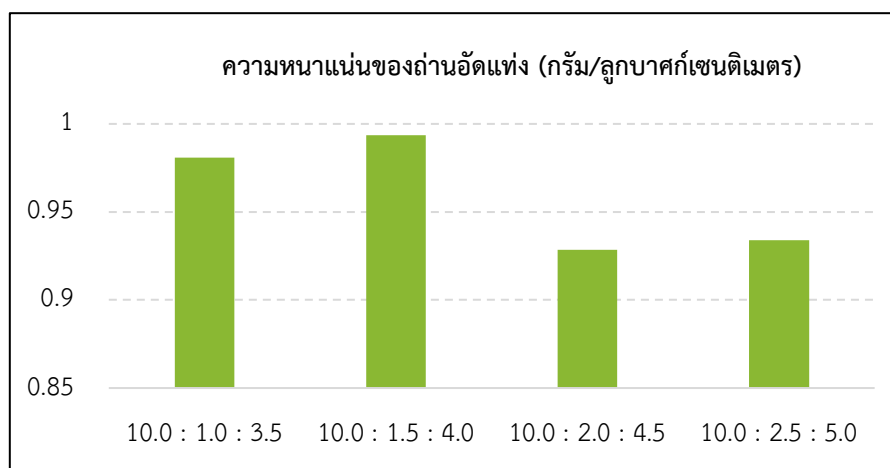
## ความหนาแน่น

การศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง โดยการวัดมวลจากการชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล หาปริมาตรของถ่านโดยการแทนที่ทรายออกดิวา และคำนวณหาความหนาแน่น ได้ผลการทดสอบความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนผสม

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ<br>(กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง<br>(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                   | 0.98093±0.000272 <sup>c</sup>                         |
| 10.0:1.5:4.0                                                   | 0.99362±0.000214 <sup>d</sup>                         |
| 10.0:2.0:4.5                                                   | 0.92860±0.000036 <sup>a</sup>                         |
| 10.0:2.5:5.0                                                   | 0.93387±0.000067 <sup>b</sup>                         |

หมายเหตุ: <sup>a b c d</sup> ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 5 ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งของแต่ละอัตราส่วนผสม

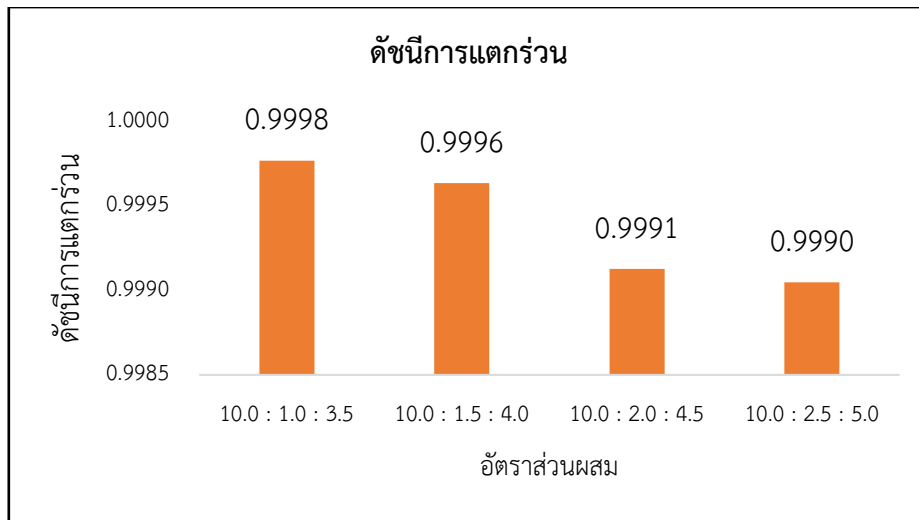
## ดัชนีการแตกร่วน

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาความคงทนของถ่านอัดแท่งซึ่งเป็นวิธี ทดสอบดัดแปลงจาก ASTM D440-86 โดยการเปรียบเทียบมวลของถ่านก่อนกระแทกกับมวลของ ถ่านที่สามารถคงรูปได้หลังกระแทก จากนั้นหาค่าดัชนีการแตกร่วน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                | 0.9998±0.00006 <sup>b</sup>   |
| 10.0:1.5:4.0                                                | 0.9996±0.00005 <sup>b</sup>   |
| 10.0:2.0:4.5                                                | 0.9991±0.00008 <sup>a</sup>   |
| 10.0:2.5:5.0                                                | 0.9990±0.00027 <sup>a</sup>   |

หมายเหตุ: <sup>a b c d</sup> ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 6 ดัชนีการแทรก่วนของถ่านอัดแท่ง

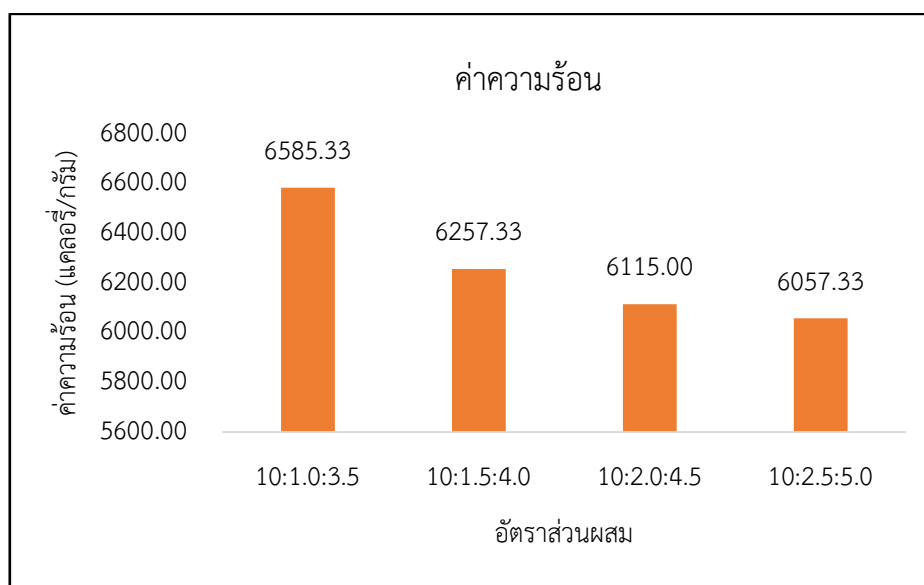
### ค่าความร้อน

การศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง ตามมาตรฐาน ASTM D3286 โดยนำถ่านอัดแท่งทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และวิเคราะห์หาค่าความร้อน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และรูปที่ 7

ตารางที่ 5 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม) |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                | 6585.33±8.386 <sup>d</sup>  |
| 10.0:1.5:4.0                                                | 6257.33±8.327 <sup>c</sup>  |
| 10.0:2.0:4.5                                                | 6115.00±2.646 <sup>b</sup>  |
| 10.0:2.5:5.0                                                | 6057.33±9.504 <sup>a</sup>  |

หมายเหตุ: <sup>a b c d</sup> ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



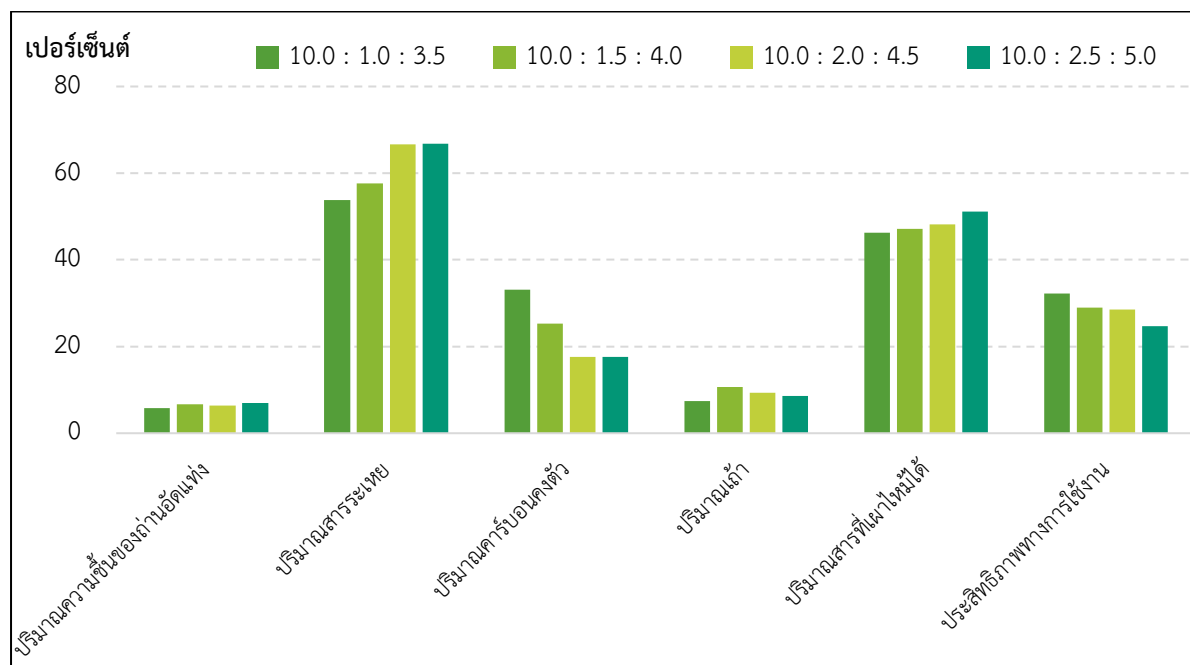
รูปที่ 7 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

## การวิเคราะห์รวมด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์รวมด้านต่าง ๆ

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อ<br>น้ำมัน<br>(กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ของถ่านอัดแท่ง<br>(เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณสารระเหย<br>(เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณ<br>คาร์บอนคงตัว<br>(เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณเถ้า<br>(เปอร์เซ็นต์) | ปริมาณสาร<br>ที่เผาไหม้ได้<br>(เปอร์เซ็นต์) | ประสิทธิภาพ<br>ทางการใช้งาน<br>(เปอร์เซ็นต์) |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                | 5.84±0.029 <sup>a</sup>                           | 53.84±3.567 <sup>a</sup>        | 33.19±3.969 <sup>b</sup>                | 7.36±0.431 <sup>a</sup>     | 46.29±5.071 <sup>a</sup>                    | 32.263                                       |
| 10.0:1.5:4.0                                                | 6.73±0.392 <sup>c</sup>                           | 57.71±5.630 <sup>a</sup>        | 25.26±6.212 <sup>ab</sup>               | 10.61±1.016 <sup>c</sup>    | 47.17±3.503 <sup>a</sup>                    | 29.001                                       |
| 10.0:2.0:4.5                                                | 6.44±0.187 <sup>b</sup>                           | 66.60±4.251 <sup>b</sup>        | 17.67±4.363 <sup>a</sup>                | 9.35±0.175 <sup>bc</sup>    | 48.24±1.687 <sup>a</sup>                    | 28.476                                       |
| 10.0:2.5:5.0                                                | 6.92±0.194 <sup>c</sup>                           | 66.77±4.315 <sup>b</sup>        | 17.57±4.778 <sup>a</sup>                | 8.55±0.412 <sup>b</sup>     | 51.15±0.954 <sup>a</sup>                    | 24.695                                       |

หมายเหตุ: เกณฑ์มาตรฐาน มพช. 238/2547 ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8

a b c d ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งโดยรวม

## การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน

การศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควันจากการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่งของแต่ละอัตราส่วนผสมแล้วตรวจพินิจตามการทดสอบของมาตรฐาน มพช. 238/2547 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควันของถ่านอัดแท่ง

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | สะเก็ดไฟ | ควัน  |
|---------------------------------------------------------------|----------|-------|
| 10.0:1.0:3.5                                                  | ไม่มี    | ไม่มี |
| 10.0:1.5:4.0                                                  | ไม่มี    | ไม่มี |
| 10.0:2.0:4.5                                                  | ไม่มี    | ไม่มี |
| 10.0:2.5:5.0                                                  | ไม่มี    | ไม่มี |

**ผลการเปรียบเทียบสมบัติของถ่านอัดแท่งกับมาตรฐาน มผช. 238/2547**

จากการทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง ผู้วิจัยได้นำผลการทดสอบในบางส่วนที่ตรงกับคุณลักษณะที่ต้องการของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่เกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น การเกิดควัน และสะเก็ดไฟ ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพกับมาตรฐาน มผช. 238/2547

| อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร) | ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม) | ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) | การเกิดสะเก็ดไฟ | การเกิดควัน |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|-------------|
| 10.0:1.0:3.5                                                  | 6585.33                   | 5.84                         | ผ่าน            | ผ่าน        |
| 10.0:1.5:4.0                                                  | 6257.33                   | 6.73                         | ผ่าน            | ผ่าน        |
| 10.0:2.0:4.5                                                  | 6115.00                   | 6.44                         | ผ่าน            | ผ่าน        |
| 10.0:2.5:5.0                                                  | 6057.33                   | 6.92                         | ผ่าน            | ผ่าน        |
| มาตรฐาน มผช. 238/2547                                         | ≥5,000                    | <8                           | ไม่มี           | ไม่มี       |

**การอภิปรายผล**

จากผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนมีสมบัติของถ่านอัดแท่งแตกต่างกัน ซึ่งในการวิจัยสามารถอภิปรายตามหัวข้อได้ดังนี้

การศึกษ้อัตราการทำแห้งของถ่านอัดแท่ง ดังภาพที่ 4 พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงตามเวลา และจากการวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่ออัตราการแห้งของถ่านอัดแท่ง ซึ่งสอดคล้องกับ จูฬรัตน์ (2554) โดยเวลาที่ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้านความชื้น คือ 402, 420, 390 และ 390 ชั่วโมง หลังตาก ตามลำดับ

การศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 5 พบว่า ถ่านอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นน้อยลง เมื่อสัดส่วนของตัวประสานที่ประกอบด้วยอัตราส่วนของ น้ำและแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้มวลรวมของถ่านอัดแท่งมีค่าน้อย ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสม 10.0:1.5:4.0 และถ่านอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสม 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 เพราะผงถ่านเป็นคาร์บอนซึ่งมี

ลักษณะโครงสร้างเป็นเหลี่ยมทำให้เมื่อเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูปจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งไม่เสถียร

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 6 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 เพราะในอัตราส่วนผสมนี้มีปริมาณตัวประสานน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เมื่อเทียบกับปริมาณตัวประสาน ทำให้ผงถ่านจับกันได้ไม่ดี จึงทำให้ดัชนีการแตกร่วนมีค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่า ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมนี้มีความคงทนของถ่านอัดแท่งน้อยที่สุด เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากดัชนีการแตกร่วนที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า มีการจับตัวกันอย่างดี ทำให้มีการแตกร่วนน้อยที่สุด ซึ่งอัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 โดยแนวโน้มของดัชนีการแตกร่วนมีค่าลดลงตามสัดส่วนของตัวประสานที่เพิ่มขึ้นโดยสัดส่วนของปริมาณผงถ่านคงที่

การศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 7 พบว่า ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวประสานลดลง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 คือ  $6585.33 \pm 8.386$  แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและถ่านเห้งไม้สำหรับปศุสัตว์ (รุ่งโรจน์, 2553) เพราะเป็นอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด จึงมีการสูญเสียความร้อนระหว่างการเผาไหม้น้อย และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุด คือ 10.0:2.5:5.0 เพราะเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณตัวประสานมากที่สุด ปริมาณความชื้นมากที่สุด ทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง จึงทำให้ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมนี้ให้ค่าความร้อนน้อยที่สุด โดยจากการศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ในด้านค่าความร้อนคือต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

การศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งหลังการทำแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนของตัวประสานลดลง เนื่องจากสัดส่วนของตัวประสานที่ลดลง จึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นน้อยลง ซึ่งอัตราส่วนที่มีความชื้นมากที่สุด คือ 10.0:2.5:5.0 เนื่องจาก มีปริมาณตัวประสานมากจึงส่งผลให้ความชื้นมากไปด้วย และอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 โดยจากการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านความชื้นคือ ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

การศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณของสารระเหยมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากทุกอัตราส่วนผสมมีส่วนผสมตัวประสานในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสารระเหยที่ได้จากการเผาไหม้จะกลายเป็นควันได้ หากมีปริมาณสารระเหยได้สูงจะทำให้คุณสมบัติในการติดไฟง่ายและมีควันมาก เมื่อนำไปใช้งานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกลักษณ์ (2556) อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณสารระเหยน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากตัวประสานมีสัดส่วนต่อปริมาณผงถ่านที่น้อยที่สุด

การศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดคือ 10.0:2.5:5.0 ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัว สามารถบ่งบอกได้ถึงระยะเวลาในการมอดดับ และคุณภาพของถ่านอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง จะทำให้ถ่านอัดแท่งมีคุณภาพดี เผาไหม้ได้นาน และมีค่าความร้อนสูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกลักษณ์ (2556) อัตราส่วนที่มีตัวประสานมากจะมีค่าคาร์บอนคงตัวน้อย และอัตราส่วนที่มีตัวประสานน้อยจะมีค่าคาร์บอนคงตัวมาก

การศึกษาปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งมีแนวโน้มของปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของผงถ่านที่เพิ่มขึ้น โดยถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 เนื่องจากส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของถ่านอัดแท่งนั้นได้มาจากตัวประสานเมื่อปริมาณตัวประสานมากขึ้น ปริมาณเถ้ามากขึ้น ซึ่งปริมาณเถ้าจะแปรผกผันกับปริมาณตัวประสานของถ่านอัดแท่ง ปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ของถ่านอัดแท่ง ซึ่งปริมาณเถ้าเป็น

ตัวบ่งบอกคุณภาพของถ่านอัดแท่ง แต่อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 มีปริมาณปริมาณเถ้ามากกว่าอัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 เป็นประเด็นที่ควรศึกษาวิเคราะห์ต่อไป

การศึกษาปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของตัวประมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของตัวประมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้การยึดเกาะของถ่านอัดแท่งมากขึ้น ซึ่งปริมาณสารที่เผาไหม้ได้นั้น บ่งบอกถึงองค์ประกอบโดยรวมของถ่านอัดแท่งในส่วนที่เผาไหม้ได้ ประกอบไปด้วย ความชื้น สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ดังนั้นปริมาณสารที่เผาไหม้ได้จะมากขึ้นหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสัดส่วนของผงถ่านและตัวประมาณ ซึ่งพบว่าอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีค่าปริมาณการเผาไหม้ได้น้อยและอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เผาไหม้ได้มากที่สุด คือ 10:2.5:5.0

การศึกษาประสิทธิภาพทางการใช้งานของถ่านอัดแท่ง ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพทางการใช้งานมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 เพราะในอัตราส่วนนี้เป็นถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณตัวประมาณน้อย ส่งผลทำให้ ปริมาณคาร์บอนคงตัวมาก ค่าความร้อนสูง จึงมีประสิทธิภาพทางการเผาไหม้และให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ดีที่สุด และถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพทางการใช้งานน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:2.5:5.0 เพราะในอัตราส่วนนี้เป็นถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณผงถ่านน้อย ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อย ค่าความร้อนต่ำ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้น้อย จะเห็นว่าถ่านอัดแท่งที่ดีนั้นนอกจากจะเป็นถ่านอัดแท่งที่ได้มาตรฐาน จะต้องมียุทธศาสตร์ทางการใช้งานที่ดีด้วย โดยเฉพาะการให้ประสิทธิภาพทางการใช้งาน ดังนั้นพบว่า อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง โดยพบว่าเมื่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณถ่านเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย

การศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน ดังตารางที่ 7 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ถ่านอัดแท่งที่ผ่านมาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านการไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0

การเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่กับมาตรฐาน มผช. 238/2547 ดังตารางที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผ่านมาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านความชื้น ด้านค่าความร้อน ด้านความคงทน การไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 จะเห็นว่า ถ่านอัดแท่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ทั้ง 4 โดยอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณผงถ่านร้อยละ 90 ปริมาณตัวประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากตัวประมาณที่น้อยส่งผลให้ค่าคาร์บอนคงตัว ค่าความร้อนมากที่สุด ค่าปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางการใช้งานดีที่สุด จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและนำไปใช้งานในส่วนครัวเรือน และพัฒนาไปถึงภาคอุตสาหกรรมต่อไป

## บทสรุป

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า อัตราส่วนผสม ของถ่านอัดแท่งที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติของถ่านอัดแท่งแตกต่างกัน ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุป ได้ ดังนี้

ในการศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง 5 อัตราส่วน โดยผู้วิจัยทำการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งตัวอย่าง ตามขั้นตอนที่เตรียมไว้ และผลการขึ้นรูปพบว่า อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ อัตราส่วน 10.0 :3.0:5.5 ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงตามเวลา โดยมีอัตราความชื้น 5.84, 6.73, 6.44 และ 6.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

ความชื้นกับเวลา พบว่าหลังการทำแห้ง ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 โดยเวลาที่ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. ด้านความชื้น คือ 402, 420, 390 และ 390 ชั่วโมง หลังฝังในที่ร่มตามลำดับ

ผลการศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $0.99 \pm 0.00$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $0.93 \pm 0.00$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ผลการศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาความคงทนของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ  $0.9998 \pm 0.00006$  และถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ  $0.9990 \pm 0.00027$

ผลการศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 ให้ค่าความร้อน  $6585.33 \pm 8.386$  แคลอรีต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุดคืออัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 ให้ค่าความร้อน  $6057.33 \pm 9.504$  แคลอรีต่อกรัม ซึ่งจากถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมเหล่านี้พบว่า อัตราส่วนผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547

ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณความชื้นร้อยละ  $6.92 \pm 0.194$  และอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณความชื้นร้อยละ  $5.84 \pm 0.029$  ซึ่งถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสม พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547

ผลการศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณสารระเหย  $53.84 \pm 3.567$ ,  $57.71 \pm 5.630$ ,  $66.60 \pm 4.251$  และ  $66.77 \pm 4.315$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารระเหยของแต่ละอัตราส่วนความแตกต่างกัน โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานในอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว  $33.19 \pm 3.969$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว  $17.57 \pm 4.778$  เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาปริมาณเถ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบของถ่านอัดแท่งที่เผาไหม้ไม่ได้ พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 มีปริมาณเถ้า  $10.61 \pm 1.016$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณเถ้า  $8.55 \pm 0.412$  เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ เพื่อหาปริมาณของสารที่เผาไหม้ได้ของถ่านอัดแท่ง โดยส่วนของสารที่เผาไหม้ได้นั้นประกอบด้วย สารระเหย และคาร์บอนคงตัว จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้  $51.15 \pm 0.954$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้น้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้  $46.29 \pm 5.071$  เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุดคือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งาน  $32.263$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีประสิทธิภาพการใช้งาน  $24.695$  เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0

ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 โดยอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพราะ มีอัตราส่วนของตัวประสานที่น้อย ทำให้มีค่าความร้อนสูง ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวมาก ค่าปริมาณเถ้าต่ำ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดี

## เอกสารอ้างอิง

- จุฬารัตน์ ขาวกำแพง. (2554). การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชุติมาภรณ์ อินตา, ธนพล เจาะดี และอรุณ บวรนคร. (2561). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงถ่านจากหญ้าเนเปียร์กับตัวประสานในการผลิตถ่านอัดแท่ง. รายงานการวิจัยครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. (2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). รายชื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ประกาศใช้. ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564. [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238\\_47.Pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.Pdf)
- เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เอทานอลและซีเมนต์. วารสารวิจัยพลังงาน. 10(3): 9-17.