

## การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ

### Briquette Ratio Investigation of Charcoal Briquette Produced from Brick-Burning-Process Residual Charcoal

ปฐมศก วิไลพล<sup>1\*</sup> ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ<sup>1</sup> นพรัตน์ สีหะวงษ์<sup>1</sup> จิรานูวัฒน์ เม่นเกิด<sup>1</sup> ปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์<sup>1</sup> และ ปิยะวัต คำบุญ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
99 หมู่ 9 ถนนพิษณุโลก-นครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Patomsok Wilaipon<sup>1\*</sup>, Piyapun Chareonsawan<sup>1</sup>, Nopparat Srihawong<sup>1</sup>, Chiranuwat Menkoed<sup>1</sup>, Prakorn Prakobkasikorn<sup>1</sup> and Piyawat Kumboon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Naresuan University  
99 Moo9, Phitsanulok-Nakonsawan Road, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

\*ผู้รับผิดชอบบทความ: Patomsok@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5596-4231

#### บทคัดย่อ

ผลการสำรวจภาคสนามจากโรงเผาอิฐขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่ามีเศษถ่านไม้เหลือหลังจากกระบวนการเผาอิฐเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเชื้อเพลิงจากการผลิต ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเศษถ่านดังกล่าวมาทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน ที่ความดัน 5 เมกกะปาสกาล โดยทำการศึกษาในอัตราส่วนผสมของผงถ่าน (42-51%) ต่อน้ำ (41-51%) และแป้งมันซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน (2-14%) โดยมวล จากการทดสอบการเผาไหม้โดยใช้การให้ความร้อนแก่น้ำ พบว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผงถ่าน 49% น้ำ 49% และแป้งมันสำปะหลัง 2% มีคุณสมบัติด้านระยะเวลาเริ่มติดไฟและระยะเวลาน้ำเดือดดีที่สุด โดยมีค่าความร้อนในช่วง 6726 แคลอรีต่อกรัม

**คำสำคัญ** ถ่านอัดแท่ง เศษถ่าน เผาอิฐ

#### Abstract

According to the survey of a SME brick factory, it was found that the brick burning process produces a large amount of charcoal residue. It seems that this kind of waste has high potential as the raw material for charcoal briquetting. In this study, the charcoal was mixed with water and starch. The compressed pressure was set to 5 MPa by using a universal testing machine. The percentage of charcoal : water : starch was varied between 42-51%, 41-51% and 2-14% respectively. The briquette burning test showed that 49:49:2% briquette has the shortest ignition and water boiling durations. In addition, the heating values of the briquettes were between 6726 cal/g.

**Keywords:** charcoal briquette, unburned charcoal, brick burning.

#### 1. บทนำ

การนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาพัฒนาปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้นั้น นอกจากจะเป็นการบริหารจัดการการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้มีความคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว ยังจะเป็นการลดปัญหาในเรื่องการจัดการขยะอีกด้วย ดังจะเห็นได้จากมีงานวิจัยหลายชิ้น ที่เกี่ยวเนื่องกับแนวคิด

ดังกล่าว เช่น การใช้ประโยชน์จากต้นถั่วเหลือง [1] กะลามะพร้าวและหางมันสำปะหลัง [2] ชี้อ้อยไม้ [3-4] ทางมะพร้าว [5] ชังและเปลือกข้าวโพด [6] ถ่าน [7-8] แกลบ [9] และฟางข้าว [10] เป็นต้น เศษเชื้อเพลิงที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของวัสดุเหลือใช้ที่ควรมีการพิจารณาความเป็นไปได้ และหากระบวนการเพื่อ

ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างนั้นจะมีการเผาอิฐเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้กับอิฐ ซึ่งการเผาดังกล่าวนิยมใช้เชื้อเพลิงไม้เนื้อแข็ง หลังจากกระบวนการเผาอิฐเสร็จสมบูรณ์จะมีของเหลือจากการเผาไหม้ในรูปของเศษถ่านปนกับขี้เถ้า ซึ่งอาจมองว่าเศษถ่านดังกล่าวเป็นขยะ เป็นถ่านที่แตกเป็นชิ้นเล็ก มีประสิทธิภาพต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการคัดแยกขี้เถ้าออก จะได้คาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้มีแนวคิดว่าจะนำเศษถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นยังสามารถนำไปต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าและเพิ่มคุณค่าในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงอีกครั้ง จึงตั้งวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้ มาเพิ่มมูลค่าและคุณค่าด้วยการนำมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง และทำการศึกษาคูณสมบัติทั้งด้านกายภาพและการเผาไหม้

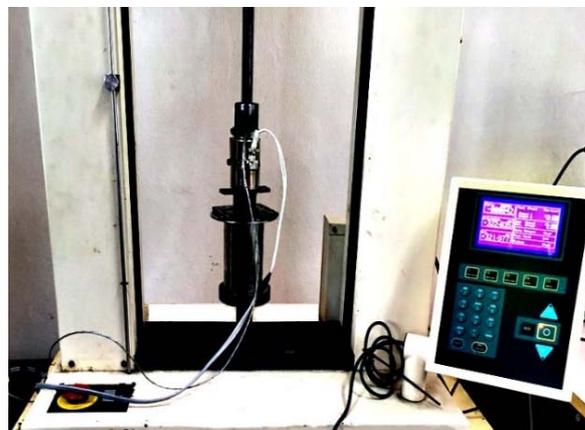
## 2. วัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัย

เศษขี้เถ้าปนกับเศษถ่านไม้เป็นของเหลือหลังจากกระบวนการเผาอิฐ ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการแยกเศษถ่านออกจากขี้เถ้า แล้วนำถ่านไม้ที่ได้ไปทำการบดด้วยเครื่องแอมเมอร์มิลล์ ขนาด 2 แรงม้า



รูปที่ 1 เศษถ่านจากการเผาอิฐ

ผงถ่านที่ผ่านกระบวนการบด จะถูกคัดกรองความละเอียดโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ก่อนนำมาผสมกับแป้งมันที่จะช่วยผสมให้ผงถ่านสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งโดยใช้เครื่อง UTM ที่ความดัน 5 เมกกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าความดันในช่วงปานกลางถึงต่ำ ใกล้เคียงกับการอัดแท่งแกลบ [11] ชุดกระบอกดอัดถ่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 36 มิลลิเมตร แกนอัดมีก้านยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร เพื่อให้ถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกรูปแบบมีรูกลวง กระบอกดอัดถ่านจะถูกควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส ผ่านการควบคุมอุณหภูมิของชุดลดความร้อนชนิดรีดท่อขนาด 450 วัตต์ เครื่องมือต่าง ๆ มีการจัดวางดังแสดงในรูปที่ 2

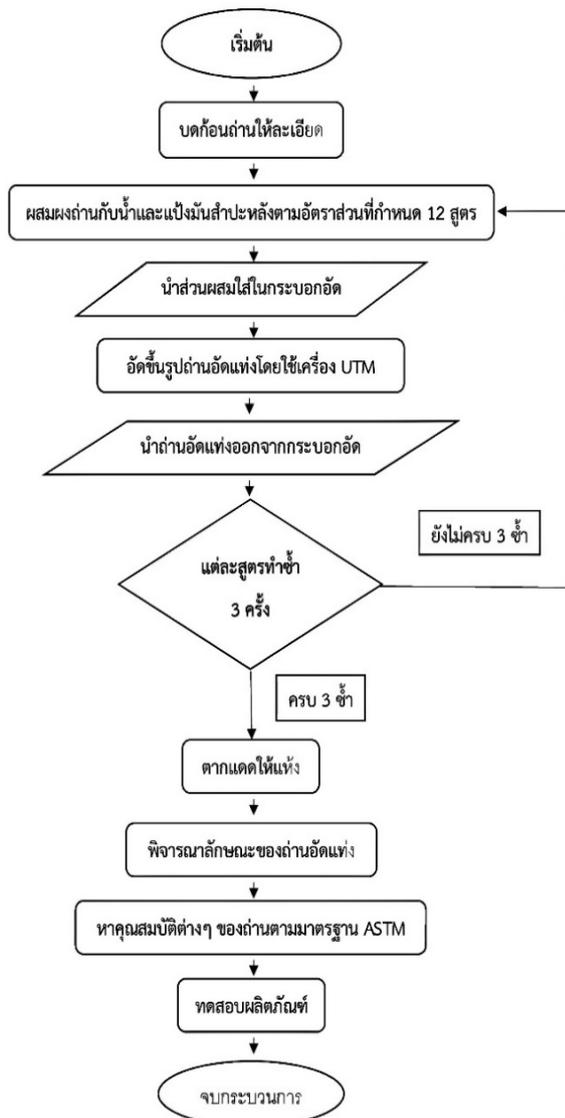


รูปที่ 2 การติดตั้งชุดกระบอกดอัดเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนการผสมของวัสดุในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง จะมีอัตราส่วนของผงถ่าน : น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่าน : น้ำ : และแป้งมันสำปะหลัง ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

ลำดับที่	สัดส่วนขององค์ประกอบ		
	ผงถ่าน	น้ำ	แป้งมัน
1.	0.51	0.46	0.03
2.	0.50	0.45	0.05
3.	0.48	0.43	0.09
4.	0.45	0.41	0.14
5.	0.49	0.49	0.02
6.	0.48	0.48	0.04
7.	0.45	0.45	0.10
8.	0.43	0.43	0.14
9.	0.47	0.51	0.02
10.	0.45	0.50	0.05
11.	0.43	0.48	0.09
12.	0.42	0.46	0.12



รูปที่ 3 ผังงานการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากเศษถ่าน

เมื่อทำการอัดแท่งเสร็จ จะนำชิ้นงานไปตากแดดเพื่อลดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะทำการคัดเลือกถ่านอัดแท่งที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว นำไปวิเคราะห์ค่าความร้อน ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ Isoperibol bomb calorimeter model 1261 (Parr instrument company, USA) โดยนำตัวอย่างผงถ่านบรรจุในลูกบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ตัดลวดฟิวส์ยาว 10 เซนติเมตร ติดตั้งโดยจัดลวดให้สัมผัสกับตัวอย่างผงถ่าน จัดการกระจายตัว ให้ผงถ่านกลบลวดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลวดและผงถ่าน จากนั้นนำไปอัดออกซิเจนที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำไปวางในถังบรรจุ ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียส ปริมาณ 2 ลิตร ลงในถัง ติดตั้งสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด ทำการจุดระเบิดเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุ และน้ำที่อยู่ใน

ตัวหุ้มมีค่าใกล้เคียงกัน วัดความยาวลวดที่เหลือแล้วป้อนค่าเข้าสู่เครื่องเพื่อคำนวณค่าความร้อนของผงถ่าน



รูปที่ 4 Isoperibol bomb calorimeter model 1261

นำผงถ่าน และตัวอย่างถ่านไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้ ตู้อบลมร้อน ความจุ 749 ลิตร ขนาด 1040x720x600 มิลลิเมตร โดยนำถ่านเผาอุณหภูมิสูงที่สะอาดไปอบ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำออกมาปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที ซึ่งน้ำหนักแล้วนำผงถ่านบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ่านนำไปชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง นำออกมาปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น



รูปที่ 5 ตู้อบ

การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยจะใช้ เตาเผาซึ่งมี อุณหภูมิการใช้งาน 100-1,100 องศาเซลเซียส โดยนำถ้วย เพล่าไปอบก่อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำถ้วยเปล่าไป ใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ในถ้วยออก ให้หมด ก่อนที่จะทำการเผาตัวอย่าง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เริ่มต้นของถ้วยเผาอุณหภูมิสูง จากนั้น ชั่งผงถ่านบดละเอียด ปริมาณ 1 กรัม ที่ผ่านการลดความชื้นใส่ลงในถ้วยเปล่า กระจายผงถ่านออกให้ทั่วเพื่อให้ผงถ่านรับความร้อนอย่าง ทั่วถึง แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 7 นาที โดยปิดฝาเพื่อจำกัดปริมาณ ออกซิเจน เมื่อเผาตัวอย่างเสร็จปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก สุดท้ายเพื่อคำนวณหาปริมาณสารระเหย



รูปที่ 6 เตาเผา

การวิเคราะห์ปริมาณแฉะทำโดยการ นำถ้วยเผาอุณหภูมิ สูงไปกำจัดความชื้นที่แฝงอยู่ ตามขั้นตอนข้างต้นของการ วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย แล้วนำถ้วยไปชั่งน้ำหนัก เริ่มต้น ชั่งผงถ่านบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม ที่ผ่าน กระบวนการกำจัดสารระเหยลงในถ้วย กระจายผงถ่านออก ให้ทั่วเพื่อให้ผงถ่านรับความร้อนอย่างทั่วถึง นำไปเผาที่ อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียสใน 1 ชั่วโมงแรก เผาต่อที่ อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียสในชั่วโมงที่ 2 จากนั้นอุ่นต่อ ที่อุณหภูมิสุดท้าย 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาด้วยเผาอุณหภูมิสูง เพื่อให้เชื้อเพลิงสัมผัสกับออกซิเจน ปล่อยให้เย็นลงที่ อุณหภูมิห้อง นำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที ชั่งน้ำหนัก สุดท้ายเพื่อคำนวณหาปริมาณแฉะ โดยคาร์บอนคงตัวคำนวณ

ได้จากสัดส่วนที่คงเหลือหลังการวิเคราะห์ความชื้น สารระเหย และปริมาณแฉะ

คัดเลือกถ่านอัดแท่งที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว นำไป วิเคราะห์ค่าความร้อนโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ Isoperibol bomb calorimeter model 1261 (Parr instrument company, USA) จากนั้นนำถ่านอัดแท่ง 200 กรัม ไปทดสอบอัตราการเผาไหม้ โดยการต้มน้ำปริมาณ 200 กรัม ในหม้อต้มน้ำกับเตาหุงต้มทั่วไป ทำการทดลองที่ อุณหภูมิห้องปกติไม่มีลมพัด สังเกตการแตกปะทุของเชื้อเพลิง ปริมาณควันทองของเชื้อเพลิงขณะติดไฟ จับเวลาจนกระทั่งน้ำ เดือด และถ่านอัดแท่งมอดดับ บันทึกเวลาแต่ละขั้นตอน

ทดสอบแรงกดที่ทำให้ถ่านอัดแท่งเสียรูป โดยการ ใช้ เครื่อง UTM ทำการกดตามแนวแกนโดยใช้ความเร็วต่ำ ทำ การคำนวณหาจำนวนชั้นของกล่องบรรจุถ่านอัดแท่งโดยตั้ง สมมุติฐานจากกล่องมาตรฐานบรรจุสินค้าเกรด A กว้าง 30x40x24 เซนติเมตร คำนวณปริมาณบรรจุถ่านอัดแท่งจาก ปริมาตรของถ่านอัดแท่งที่ผลิต เปรียบเทียบน้ำหนัก จำนวน ชั้นของกล่องที่สามารถวางซ้อนได้ กับแรงกดสูงสุดที่ถ่านอัด แท่งไม่เกิดการเสียรูป

### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการทดลองอัดแท่งเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการ เผาอิฐจำนวน 12 อัตราส่วน พบว่าถ่านอัดแท่งบางส่วนมีการ ยึดเกาะกันดี มีผิวเรียบหลังจากกระบวนการอัด แต่เกิดรอย แตกที่พื้นผิวหลังจากการตากแดดเพื่อลดความชื้น ดังแสดงใน รูปที่ 7



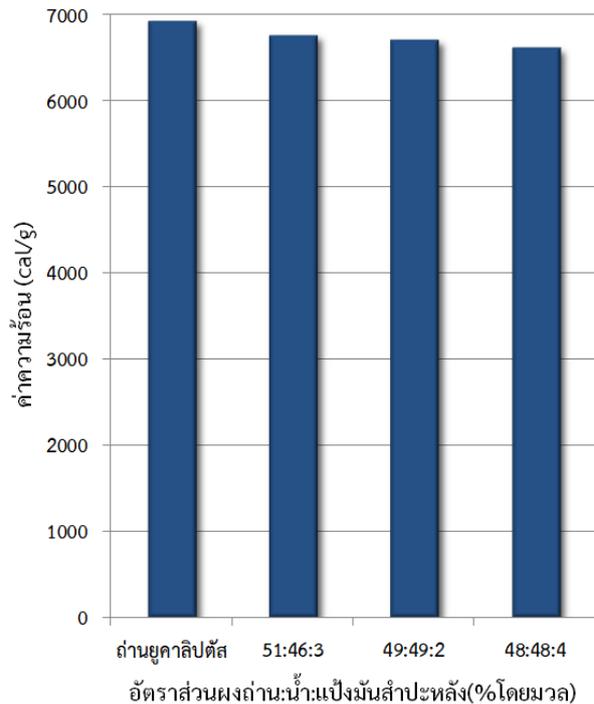
รูปที่ 7 ตัวอย่างถ่านอัดแท่ง ผิวเรียบ และมีรอยแตก

อัตราส่วนการผสมที่ทำให้ลักษณะของถ่าน มีผิวเรียบ สมบูรณ์ ทั้งก่อนและหลังการตากแดด มีจำนวน 3 อัตราส่วน ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะภายนอกและรอยแตกของถ่านอัดแท่ง

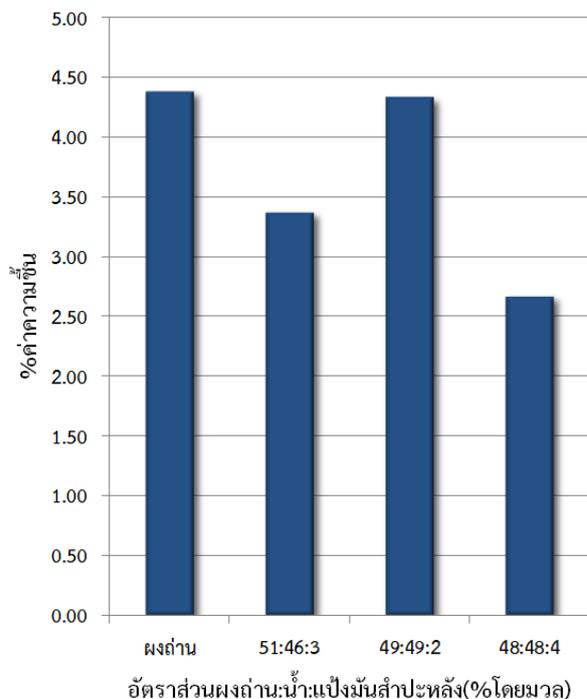
ลำดับ	การยึดเกาะ
1	ยึดเกาะกันดี ผิวเรียบ
2	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
3	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
4	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
5	ยึดเกาะกันดี ผิวเรียบ
6	ยึดเกาะกันดี ผิวเรียบ
7	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
8	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
9	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
10	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
11	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก
12	ยึดเกาะปานกลาง มีรอยแตก

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตด้วยอัตราส่วน 51:46:3 49:49:2 และ 48:48:4 ซึ่งเป็นถ่านอัดแท่งที่ไม่มีรอยแตกบริเวณผิว หลังจากการตากแดดเพื่อลดความชื้น มีค่าในช่วง 6609-6755 แคลอรีต่อกรัม ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยอัตราส่วน 48:48:4 มีค่าความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ  $6609 \pm 27$  แคลอรีต่อกรัม อย่างไรก็ตามจากกราฟข้อมูลจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ได้จากทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันเพียง 2.16% เท่านั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านชนิดอื่น พบว่า มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง ที่มีค่าประมาณ 5087 แคลอรีต่อกรัม [1] และถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมเหง้ามันสำปะหลัง ที่มีค่าระหว่าง 4514-6588 แคลอรีต่อกรัม [2] แต่มีค่าต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่มีการเผาถ่านเพื่อทำการอัดแท่งโดยตรง เช่น ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 6921 แคลอรีต่อกรัม [1] และเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 อัตราส่วนผสม พบว่ามีค่าความร้อนมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ซึ่งกำหนดเกณฑ์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเท่ากับ 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม



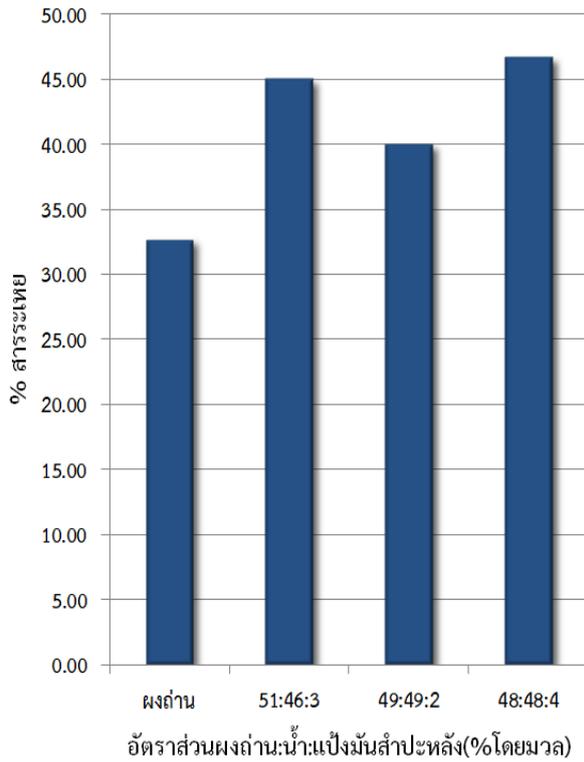
รูปที่ 8 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

เมื่อนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน รวมถึงผงถ่านจากโรงงานเผาอิฐ ไปทดสอบหาค่าความชื้น พบว่ามีค่าความชื้นที่ได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่ได้กำหนดไว้ว่าความชื้นของถ่านอัดแท่งควรมีค่าไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก



รูปที่ 9 เปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์ทดสอบปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐเป็นการบอกถึงคุณสมบัติของการจุดติดไฟได้ง่าย ถ้ามีปริมาณสารระเหยที่มากจะทำให้การจุดติดไฟได้ง่าย จากผลการวิจัยพบว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตด้วยอัตราส่วน 48:48:4 มีเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยสูงสุด เท่ากับ 46.67 เปอร์เซ็นต์ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53

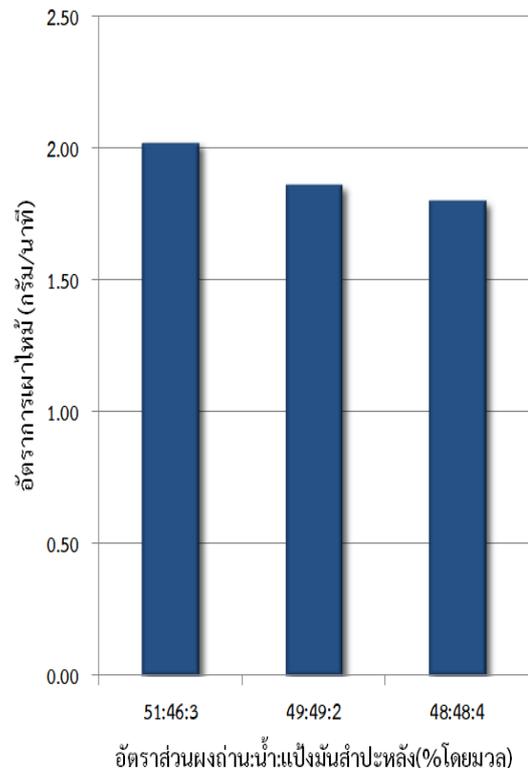


รูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์สารระเหยของถ่านอัดแท่ง

ในด้านความแข็งแรงทนทาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแรงกดสูงสุดที่กระทำในแนวแกนของถ่านอัดแท่งโดยไม่เกิดการแตกหัก จากการทดสอบพบว่า แรงกดของถ่านอัดแท่งสามอัตราส่วน มีค่าในช่วง 1427-2802 นิวตัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกล่องมาตรฐานบรรจุสินค้าเกรด A กว้าง 30 ซม. ยาว 40 ซม. สูง 24 ซม. โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านอัดแท่ง 3.6 ซม. ยาว 12 ซม. หนักเฉลี่ย 50 กรัม/แท่ง จึงสามารถบรรจุถ่านอัดแท่งได้ 2 ชั้นต่อกล่องขนาดดังกล่าวรวมแล้วสามารถบรรจุถ่านอัดแท่งได้จำนวน 176 แท่งต่อกล่อง คิดเป็นน้ำหนัก 8.8 กิโลกรัม/กล่อง หรือ 86.328 นิวตัน น้ำหนักของกล่องลูกฟูกห้าชั้นสำหรับขนาดบรรจุดังกล่าวคือ 580 กรัม/กล่อง หรือ 5.690 นิวตัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากแรงกดต่ำสุดที่กระทำในแนวแกนต่อถ่านอัดแท่ง

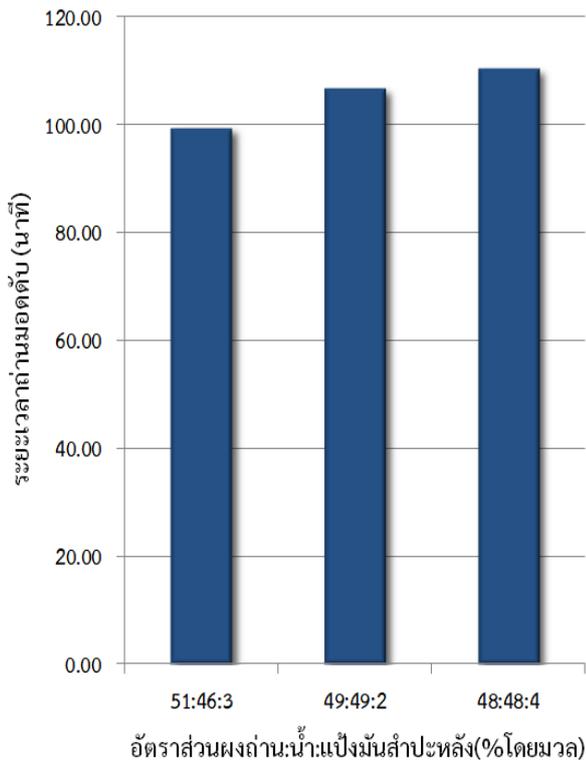
โดยไม่เกิดการเสียรูป คือ 1427 นิวตัน ซึ่งสามารถรับแรงในการวางซ้อนกล่องได้ทั้งหมด 15 กล่อง

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน ไปทดสอบการเผาไหม้โดยการต้มน้ำ พบว่ามีระยะเวลาการเริ่มติดไฟ น้ำเดือด และถ่านมอดดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 12-14 เมื่อนำน้ำหนักของถ่านอัดแท่งมาหารด้วยระยะเวลาที่ใช้ไป จะพบว่าที่อัตราส่วนผสม 48:48:4 มีค่าอัตราการเผาไหม้ต่ำที่สุด (1.78 กรัม/นาที) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ส่งผลให้มีการเผาไหม้อย่างช้าๆ จึงมีระยะเวลาในการมอดดับที่นานกว่า โดยมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม่ยางพาราผสมกับมูลสัตว์ [3]

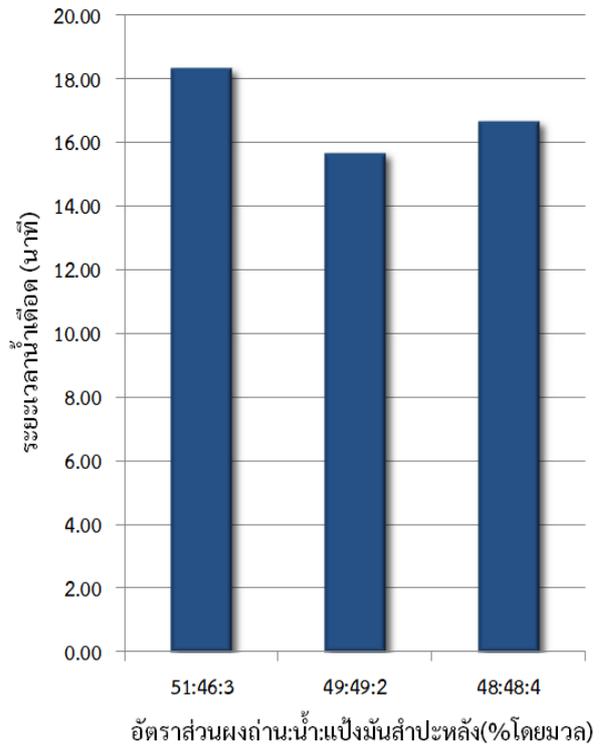


รูปที่ 11 อัตราส่วนการเผาไหม้

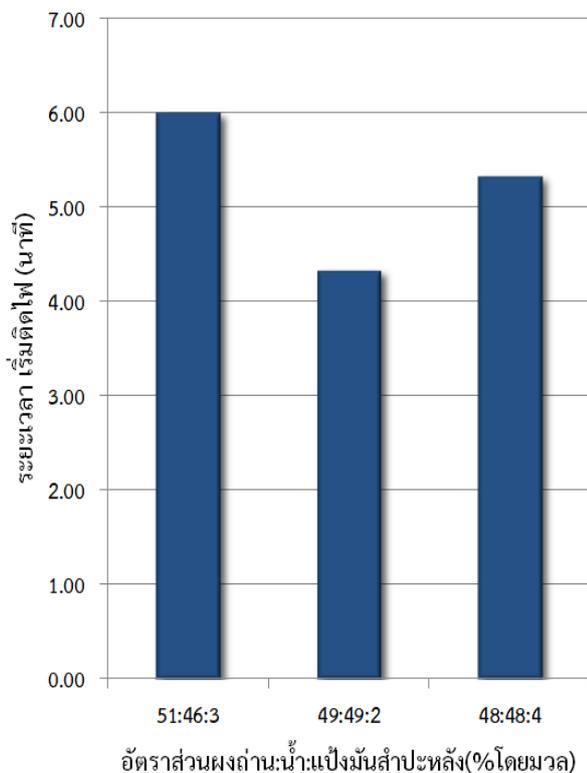
ในส่วนของระยะเวลาเริ่มติดไฟและระยะเวลาน้ำเดือด อัตราส่วน 49:49:2 มีค่าระยะเวลาทั้ง 2 ดีที่สุด ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในกราฟรูปที่ 13-14 โดยระยะเวลาเริ่มติดไฟของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 49:49:2 มีค่าต่ำกว่าระยะเวลาเริ่มติดไฟของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม่ยางพาราผสมมูลสัตว์ ที่มีช่วงระยะเวลาเริ่มติดไฟประมาณ 6.3-11.7 นาที [3]



รูปที่ 12 ระยะเวลามอดดับ



รูปที่ 14 ระยะเวลาให้น้ำเดือด



รูปที่ 13 ระยะเวลาเริ่มติดไฟ

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การใช้เศษถ่านจากกระบวนการเผาอิฐมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน สามารถผลิตถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพดี มีลักษณะการยึดจับที่ดีไม่แตกร้าว ที่อัตราส่วนผสม(%โดยมวล) ของผงถ่าน : น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง 51:46:3 49:49:2 และ 48:48:4 ถ่านอัดแท่งที่ได้มีค่าความร้อนในช่วง 6609-6755 แคลอรีต่อกรัม และมีอัตราการเผาไหม้ 1.78-2.03 กรัมต่อนาที โดยที่อัตราส่วนผสม 49:49:2 จะมีระยะในการเริ่มติดไฟและระยะเวลาทำให้น้ำเดือดดีที่สุด (ต่ำที่สุด)

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอำนวยความสะดวกต่างๆ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Puthikitakawiwong T, Wiangnon J, Sriboonsom P. การผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง. Naresuan University Journal. 2006;14(3):11-18.



- [2] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, อุปวิทย์ สุวคันธกุล, อัมพร กุญชรรัตน์. การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งงำมันสำปะหลัง. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. 2553:4(2):18-28.
- [3] ปราณีย์ วุ่นศรี, วรารุณี ดวงศิริ, นุชลี ทิพย์มณฑา. การศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารากับมูลสัตว์. วารสารวิจัยมทร.กรุงเทพ. 2018:12(2):17-25.
- [4] Antwi-Boasiako C, Acheampong B.B. Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. Biomass and Bioenergy 2016:85:144-152.
- [5] Tantisattayakul T, Phongsasem S, Phooyar P. Taibangury P. Community-based renewable energy from biomass briquettes fuel from coconut leaf. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558:3:418-431.
- [6] Sasujit K, Sanpinit W, Wongrin N, Dussadee N. Study of process densification of corn cob and corn husk briquettes by cold extrusion technique using starch with lime mixed as binder. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2558:18:5-12.
- [7] Teixeira S.R, Pena A.F.V, Miguel A.G. Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. Waste Management 2010:30(5):804-807.
- [8] Massaro M.M, Son S.F, Groven L.J. Mechanical, pyrolysis, and combustion characterization of briquetted coal fines with municipal solid waste plastic (MSW) binders. Fuel 2014:115:62-69.
- [9] Ndindeng S.A, Mbassi J.E.G, Mbacham W.F, Manful J, Acquah S.G, Moreira J, Dossou J, Futakuchi K. Quality optimization in briquettes made from rice milling by-products. Energy for Sustainable Development 2015:29:24-31.
- [10] Jittabut P. Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. Energy Procedia 2015:79:2-9.
- [11] Yank A, Ngadi M, Kok R. Physical properties of rice husk and bran briquette under low pressure densification for rural applicaton. Biomass and Bioenergy. 2016:84:22-30.