

การศึกษาทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอ  
THE STUDY ON THE PRODUCTION OF CHARCOAL BRIQUETTES  
FROM POMELO PEELS

สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์<sup>1</sup> และ จังหวัด เจริญสุข<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
รัตนโกสินทร์, 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170,  
sirichaiam@hotmail.com

<sup>2</sup>อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, 62/1 (ในเมือง) ถ.เกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000,  
changwatch@gmail.com

Sirichai Jirawongnusun<sup>1</sup> and Changwat Charoensuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of  
Technology Rattanakosin, 96/3 Phutthamonthon 5way Rd., Salaya, Phutthamonthon  
District, Nakhon Pathom Province 73170, Thailand, sirichaiam@hotmail.com

<sup>2</sup>Lecturer, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,  
Kalasin University, 62/1 Kasetsoomboon Rd., Kalasin, Muang District, Kalasin Province  
46000, Thailand, changwatch@gmail.com

บทคัดย่อ

จังหวัดนครปฐมมีเปลือกส้มโอมากซึ่งนิยมแปรรูปเป็นรูปหอมหรือสบู่เหลวและกลุ่มน้ำมันหอมระเหย เพื่อเพิ่มทางเลือกแปรรูป งานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาความเป็นไปได้การแปรรูปเปลือกส้มโอเป็นถ่านอัดแท่งโดยศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะในการอัดแท่ง ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนได้เองขณะอัดเทียบกับใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อน ศึกษาค่าความร้อน ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดตัวเป็นก้อนได้ดีที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานมีความชื้นร้อยละ 80 ในทางตรงข้ามพบว่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือต่ำกว่าดังกล่าวถ่านอัดเป็นก้อนได้ไม่ดี เปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองกับการอัดแบบใช้ฮีตเตอร์มีความแตกต่างกันไม่มากแต่เมื่อนำถ่านทั้ง 2 ชนิดไปตากแดด พบว่าสามารถแห้งตัวได้เหมือนกันในวันที่ 5 คุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอพบว่ามีค่าความร้อนเฉลี่ย 5,344 แคลอรีต่อกรัม ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 8.35 ถึง 11.14 ปริมาณสารระเหยอยู่ระหว่างร้อยละ

ละ 25.19 ถึง 29.22 ปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 19.43 ถึง 21.87 และปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 44.24 ถึง 48.91 จึงสรุปได้ว่าเปลือกส้มโอสามารถแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งได้  
คำสำคัญ: พลังงานทดแทน, ถ่านอัดแท่ง, เปลือกส้มโอ

### ABSTRACT

In the province Nakhon Pathom, there are a large number of pomelo peels. Their peels are processed into incense or liquid soap and aromatic oils to provide an alternative to processing pomelo peels. This research is about the possibility of processing pomelo peels into charcoal briquettes. In this study, the optimum blend ratio for briquettes is determined by comparing spontaneously heated compression and heater-heated compression, where the factors of heat, humidity, volatile content, ash and carbon constant were investigated. The results showed that the charcoal was well compacted at a binder mix ratio of about 80% moisture. On the other hand, it was found that the higher or lower the moisture content of the charcoal, the more imperfectly it was compacted. The results of the comparison between self-heating compression and heating compression were slightly different. However, when the two types of charcoal were dried in the sun, it was found that they dried equally well on the 5th day. The properties of charcoal briquettes made from pomelo peel show that the calorific value is more than 5,000 calories per gram. The moisture content is between 8 and 11 per cent. The volatile matter content is between 25 and 29 per cent. The ash content is between 19 and 21 per cent and the stable carbon content is between 44 and 48 per cent. In summary, pomelo peels can be made into charcoal briquettes.

**KEYWORDS:** renewable energy, charcoal briquette, pomelo peels

### 1. บทนำ

องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกส้มโอทั้งส่วนเขียวและขาว ส่วนใหญ่จะเป็นสารกลุ่มน้ำมันหอมระเหย ดังนั้นเปลือกส้มโอก็มักถูกนำไปทำรูปหอม รูปไล่ยุง หรือนำสีขาวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น สบู่เหลว โลชั่นบำรุงผิว [1] จังหวัดนครปฐมมีปริมาณเปลือกส้มโอเหลือทิ้งหลังจากปอกเพื่อเอาเนื้อส้มโอจำหน่ายเป็นจำนวนมาก บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูปเปลือกส้มโอเป็นถ่านอัดแท่งสำหรับเพิ่มทางเลือก ซึ่งจะศึกษาคุณสมบัติถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากเปลือกส้มโอเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะพิจารณาปัจจัยค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว รวมถึงสมการ

คณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาขนาดกำลังมอเตอร์ของเครื่องอัดถ่าน และวิธีคำนวณการหาค่าความร้อนถ่านอัดแห้งจากเปลือกส้มโอ เพราะการศึกษาที่พบในปัจจุบันเป็นการศึกษาถ่านอัดแห้งที่ทำมาจากถ่านไม้รวมผสมกับถ่านกะลามะพร้าว [2] ถ่านอัดแห้งที่ทำมาจากเปลือกกาแฟ [3] ถ่านอัดแห้งที่ทำมาจากเปลือกสัปะรด [4] เป็นต้น แต่ยังไม่พบการศึกษาถ่านอัดแห้งที่ทำมาจากเปลือกส้มโอซึ่งจะใช้แป้งมันสำปะหลังร่วมกับน้ำเป็นตัวประสาน รวมถึงบทความวิจัยที่เคยมีการศึกษาเครื่องอัดแบบลูกสูบ แบบเกลียวกรวย หรือแบบเกลียวคู่ ซึ่งบทความอภิปรายผลความร้อนที่กระบอกอัดอยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส และเครื่องอัดแบบเกลียวที่มีขนาดลดความร้อนที่กระบอกอัดโดยจะเกิดความร้อนขึ้นขณะอัดอยู่ระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส [5] แต่ยังไม่มีการศึกษาผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เอง ขณะอัดเทียบกับเครื่องอัดที่มีการให้ความร้อนจากภายนอก บทความวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประเด็นดังกล่าวเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้การทำถ่านอัดแห้งจากเปลือกส้มโอ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุในการทดลองวิจัยประกอบด้วยถ่านจาก ผักตบชวา กะลามะพร้าวและเปลือกส้มโอ วัสดุประสานประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลังและน้ำ เครื่องมืออุปกรณ์ประกอบการศึกษาประกอบด้วย เครื่องชั่งดิจิตอล เครื่องอัดถ่านขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1,492 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทดสอบเพิ่มแรงอัดด้วยมู่เล่เกลียวอัดแบบเกลียวหนอน ซึ่งในบทความวิจัยได้นำเสนอวิธีคำนวณหาแรงอัดในกระบอกอัดถ่านที่แปรผันตามกำลังมอเตอร์สมการที่ (5) เปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองเทียบกับการอัดที่มีการให้ความร้อนจากภายนอกโดยการติดฮีตเตอร์ที่กระบอกอัด เพื่อหาผลต่างของน้ำหนักเฉลี่ยตามสมการที่ (8) หาค่าความร้อนถ่านโดยบอมม์แคลอริมิเตอร์มาตรฐาน ASTM D240 D4809 แสดงการคำนวณหาค่าตามสมการที่ (10) วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแห้งที่ห้องปฏิบัติการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อหาค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณแถ้ และคาร์บอนคงตัว เปรียบเทียบค่าความร้อนกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแห้ง [6]

### 2.1 วัสดุและเครื่องมือวิจัย

#### 2.1.1 วัสดุในการทดลอง

การศึกษาจะใช้เปลือกส้มโอ ผักตบชวา และกะลามะพร้าวเผาในถัง 200 ลิตร เพื่อให้เป็นถ่านดังรูปที่ 1



(ก) ถ่านผักตบชวา



(ข) ถ่านกะลามะพร้าว



(ค) ถ่านเปลือกส้มโอ

### รูปที่ 1 ถ่านที่ได้จากการทดลอง

#### 2.1.2 เครื่องมือ

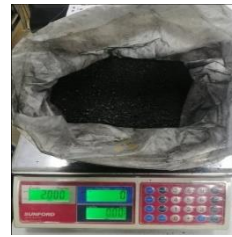
ถ่านทั้ง 3 ชนิดผ่านการบดและร่อนด้วยตะแกรง ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิทัลในการหาปริมาณผงถ่านและวัสดุประสานประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังและน้ำ ดังรูปที่ 2



(ก) บีกเกอร์สำหรับตวง



(ข) ชั่งน้ำหนักวัสดุประสาน



(ค) ชั่งน้ำหนักผงถ่านผ่านการร่อน

### รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

บทความวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณกำลังมอเตอร์ ซึ่งส่งผลต่อค่าความเค้นอัดในกระบอกอัด ค่าความเค้นอัดนี้คือค่าความแข็งของถ่าน โดยจัดรูปสมการความเค้นอัดกับสมการโมเมนต์บิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น [7] สมการความเค้นอัดตามสมการที่ (1) พิจารณารูปที่ 3 และ 4 ประกอบ

$$P = \frac{F}{A_r} \quad (1)$$

โดยที่

$P$  = ความเค้นอัดในกระบอกอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

$F$  = แรงจากมอเตอร์ส่งผ่านสายพาน (นิวตัน)

$A_r$  = พื้นที่ส่วนที่เป็นเกลียวอัดแสดงในสมการที่ (4) (ตารางมิลลิเมตร)  
 สมการกำลังไฟฟ้ามอเตอร์ซึ่งแปรผันตามความเร็วรอบและโมเมนต์บิดตามสมการที่ (2)  
 พิจารณารูปที่ 4 ประกอบ

$$W_p = 2\pi n_r T \quad (2)$$

โดยที่

$W_p$  = กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ (วัตต์)

$n_r$  = ความเร็วรอบมู่เล่ขับ (รอบต่อนาที)

$T$  = โมเมนต์บิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้นหรือ  $F \cdot r$  (นิวตันเมตร)

สมการหาอัตราทดผ่านมู่เล่ เพื่อทอดความเร็วรอบและเพิ่มโมเมนต์บิดตามสมการที่ (3)  
 พิจารณารูปที่ 4 ประกอบ

$$n_2 = \left( \frac{\pi n_r}{10,800} \right) \left( \frac{D_1}{D_2} \right) \quad (3)$$

โดยที่

$n_2$  = ความเร็วรอบมู่เล่ตาม (เรเดียนต่อวินาที)

$n_r$  = ความเร็วรอบมู่เล่ขับ (รอบต่อนาที)

$D_1$  = เส้นผ่านศูนย์กลางมู่เล่ขับ (มิลลิเมตร)

$D_2$  = เส้นผ่านศูนย์กลางมู่เล่ตาม (มิลลิเมตร)

ลักษณะเกลียวอัดประกอบด้วยส่วนที่เป็นโคนเกลียวอัดและส่วนที่เป็นยอดเกลียวอัด การหาพื้นที่ส่วนที่ทำให้เกิดความเค้นอัด จึงพิจารณาเฉพาะบริเวณส่วนที่เป็นยอดเกลียวอัด หาได้ตามสมการที่ (4)

$$A_r = \frac{\pi}{4} (D_4^2 - D_3^2) \quad (4)$$

โดยที่

$A_r$  = พื้นที่ส่วนที่เป็นเกลียวอัด (ตารางมิลลิเมตร)

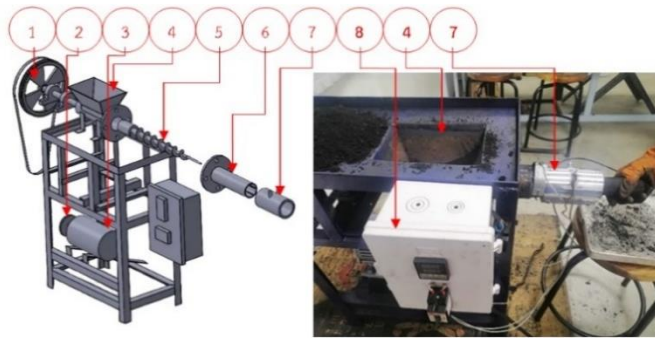
$D_3$  = เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

$D_4$  = เส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

จัดรูปสมการที่ (1) (2) (3) และ (4) ได้สมการความเค้นอัดในกระบอกอัดตามสมการที่ (5)

$$P = \frac{(4776)W_p}{\pi n_2 r_T A_T} \quad (5)$$

โดยที่  $r_T$  = รัศมีเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

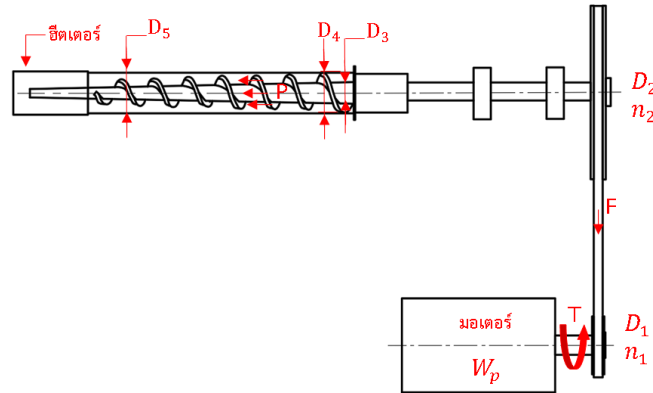


(ก) เครื่องอัดถ่านออกแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข) เครื่องอัดถ่านทดสอบจริง

### รูปที่ 3 อุปกรณ์เครื่องอัดถ่าน

#### ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์เครื่องอัดถ่าน

หมายเลข	ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
1	$D_2, n_2$	มู่เล่ตามสำหรับขั้วเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 225
2	$D_1, n_1$	มู่เล่ขั้วสายพาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5
3	$W_p$	มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์	1,492 วัตต์ รอบ 1,450 รอบต่อนาที
4		ช่องป้อนถ่าน	กxยxส 155x228x95
5	$D_4$	ยอดเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียว 45
5	$D_3$	โคนเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว 25
6	$D_5$	กระบอกอัด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 46 ยาว 240
7		ฮีตเตอร์ให้ความร้อนถ่าน	600 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 70
8		กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าฮีตเตอร์	



รูปที่ 4 ระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ผ่านอัตราทดเพื่อสร้างความเค้นอัดในกระบอกอัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองกับการอัด โดยให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ เพื่อดึงมวลน้ำออกจากถ่านซึ่งเกิดขึ้นขณะอัดจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลา การแห้งของถ่าน ในการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ฮีตเตอร์แบบบริดท์ทอ ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจาก แผ่นไมก้าและลวดฮีตเตอร์เป็นแบบขนาดกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เนื่องจากมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถสวมกระบอกอัดได้ดังรูปที่ 3 หมายเลข 7 การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าทำได้ หลายวิธี เช่นกรณีที่ใช้ทราบแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานขดลวดฮีตเตอร์ [8] ค่าคำนวณได้ตาม สมการที่ (6)

$$P_w = \frac{E^2}{R} \quad (6)$$

โดยที่

$P_w$  = กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์ผลิตขึ้น (วัตต์)

$E$  = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

$R$  = ความต้านทานขดลวดฮีตเตอร์ (โอห์ม)

ค่าความร้อนถ่านอัดแห้งได้จากบอมม์แคลอริมิเตอร์รูปที่ 5 โดยนำผงถ่านอัดแห้งทั้ง 3 ชนิด ไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความดันในบอมม์แคลอริมิเตอร์ หลักการทำงานเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้ว จะให้พลังงาน ความร้อนออกมาหน่วยที่วัดได้ คือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือ กิโลจูลต่อกิโลกรัม



รูปที่ 5 บอมบ์แคลอริมิเตอร์

## 2.2 ขั้นตอนการทดลอง

### 2.2.1 หาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

ซึ่งนำหนักผงถ่านผ่านการร่อน 2 กิโลกรัม บันทึกลงเป็นตัวอย่าง B ตามสมการที่ (7) ซึ่งนำหนักวัสดุประสานประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม และน้ำ 750 กรัม ผสมผงถ่านกับวัสดุประสานดังรูปที่ 6 บันทึกลงเป็นตัวอย่าง A จำนวนหาร้อยละความชื้น ทดสอบอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดดังรูปที่ 6 พิจารณาโครงสร้างทางกายภาพภายนอก ทดลองซ้ำโดยคงที่ผงถ่าน 2 กิโลกรัม แต่เพิ่มวัสดุประสานโดยแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 กรัม และน้ำเพิ่มขึ้นครั้งละ 250 กรัม



(ก) ผงถ่านผสมวัสดุประสาน



(ข) ทดสอบอัดขึ้นรูป

รูปที่ 6 การทดลองอัดขึ้นรูป

### 2.2.2 ทดสอบอัดแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

การทดสอบนี้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองเทียบกับการให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์โดยใช้อัตราส่วนผสมที่พอเหมาะตามหัวข้อ 2.2.1 อัดถ่านทั้ง 3 ชนิด โดยไม่เปิดฮีตเตอร์ (อุณหภูมิบรรยากาศ 27 องศาเซลเซียส) จำนวน 3 การทดลอง และแบบเปิดฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส จำนวนชนิดละ 3 การทดลอง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยตามสมการที่ (8) และคำนวณหาผลต่างเฉลี่ยตามสมการที่ (9)



### 2.2.3 หาค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

นำถ่านตวงด้วยตาชั่งละเอียดให้ได้ 1 กรัม ตั้งรูปที่ 7 นำถ้วยใส่ลงในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ผูก ลวดบอมบ์ยาวประมาณ 12 เซนติเมตร ให้ถึงถ่านตั้งรูปที่ 7 เติมน้ำในบอมบ์ประมาณ 1 มิลลิลิตร ปิดฝาบอมบ์แล้วบรรจุก๊าซออกซิเจนนำเข้าแช่น้ำเพื่อวัดอุณหภูมิเมื่อเกิดการเผาไหม้ตั้งรูปที่ 7 ทำ การทดลองซ้ำกับถ่านชนิดละ 3 ครั้ง เพื่อนำผลการทดสอบหาค่าความร้อนตามสมการที่ (10)



(ก) ถ่าน 1 กรัม



(ข) ใส่ลวดบอมบ์



ค) แช่ห้องบอมบ์ในน้ำเพื่อ วัดอุณหภูมิขณะเผาไหม้

### รูปที่ 7 การทดลองหาค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

### 2.2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

เพื่อวิเคราะห์หาความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัว ที่ห้องปฏิบัติการ ทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและ อุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อเทียบกับเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

## 2.3 สมการประเมินผล

### 2.3.1 หาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

การประเมินความพอเหมาะวัสดุประสาน พิจารณาจากร้อยละความชื้นที่เพิ่มขึ้นหลังผ่าน การผสมวัสดุประสาน ตามสมการที่ (7)

$$H = \left( \frac{A-B}{B} \right) \times 100 \quad (7)$$

โดยที่

$H$  = ความชื้นถ่านหลังผสมวัสดุประสาน (ร้อยละ)

$A$  = น้ำหนักถ่านหลังผสมวัสดุประสาน (กิโลกรัม)

$B$  = น้ำหนักผงถ่านก่อนผสมวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 2 (กิโลกรัม)

### 2.3.2 ทดสอบอัดแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

สมการคำนวณค่าน้ำหนักเฉลี่ยจากการทดสอบแบบไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับจำนวนชนิดละ 3 การทดลองตามสมการที่ (8)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i}{3} \quad (8)$$

โดยที่

$\bar{X}$  = ค่าน้ำหนักเฉลี่ยถ่านอัดแห้ง (กรัม)

$X_i$  = ผลรวมค่าน้ำหนักถ่านอัดแห้งที่อ่านจากเครื่องชั่งแบบดิจิตอลจากการทดลองที่  $i$  เท่ากับ 1 ถึง 3

ค่าเฉลี่ยจากสมการที่ (8) นำมาคำนวณหาผลต่างเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างการไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ ตามสมการที่ (9)

$$\Delta\delta = W_N - W_H \quad (9)$$

โดยที่

$\Delta\delta$  = ผลต่างน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)

$W_N$  = น้ำหนักเฉลี่ยแบบไม่เปิดฮีตเตอร์แต่ละชนิดตามตัวก a ในตารางที่ 2 (กรัม)

$W_H$  = น้ำหนักเฉลี่ยถ่านแบบเปิดฮีตเตอร์แต่ละชนิดตามตัวก b, c, d ในตารางที่ 2 (กรัม)

### 2.3.3 หาค่าความร้อนถ่านอัดแห้ง

ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านทั้ง 3 ชนิดจะถ่ายเทให้กับตัวบอมบ์ ถ้วยใส่เชื้อเพลิง ถังบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ น้ำหล่อเย็นพร้อมอุปกรณ์กวน ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิหน้าด้วยเทอร์โมมิเตอร์ [9] คำนวณค่าความร้อนเชื้อเพลิงตามสมการที่ (10)

$$Q = \left( \frac{W \times \Delta t}{g} \right) - e_1 - e_2 - e_3 \quad (10)$$

โดยที่

$Q$  = ค่าความร้อนถ่าน (เมกะจูลต่อกรัม)

$W$  = ค่าความร้อนจำเพาะแคลอรีมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 2,620.62 (เมกะจูลต่อองศาเซลเซียส)

$g$  = ปริมาณมวลเชื้อเพลิงเท่ากับ 1 (กรัม)

$\Delta t$  = อุณหภูมิหน้าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) หาค่าได้ตามสมการที่ (11)

$e_1$  คือ ค่าความร้อนขณะจุดเชื้อเพลิงทดสอบในบรรยากาศ การรวมตัวของไนโตรเจนและออกซิเจนกับไอน้ำกลายเป็นกรดไนตริก หาค่าได้จากจำนวนมิลลิลิตรของน้ำยา NaOH มาตรฐาน (0.0866 N) ที่ใช้ในการ Titration  $\times 5(10)^{-6}$

$e_2$  คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากกรดกำมะถัน จะเกิดกับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมัน หาค่าได้จากร้อยละ 58.64 กำมะถันในเชื้อเพลิง  $\times$  ปริมาณเชื้อเพลิงในตัวอย่าง  $\times (10)^{-6}$

โดยปกติค่า  $e_1$  และ  $e_2$  มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนเชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก สามารถตัด  $e_1, e_2$  ทั้งได้ หน่วยเป็น(เมกะจูล)

$e_3$  คือ ค่าความร้อนเกิดจากการเผาไหม้ลวดชนวนหาค่าได้จาก  $1.13 \times$  ความยาวลวดชนวนที่เผาไหม้ (มิลลิเมตร)  $\times (10)^{-6}$  ความยาวลวดชนวนเผาไหม้ 120 มิลลิเมตร ดังนั้น  $e_3 = 1.13 \times 120 \times (10)^{-6} = 0.0001356$  (เมกะจูล)

$$\Delta t = t_c - t_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (11)$$

โดยที่

$a$  = เวลาก่อนการเผาไหม้(นาที)

$b$  = เวลาก่อนการเผาไหม้ถึงร้อยละ 60 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิสูงสุดกับต่ำสุด (นาที)

$c$  = เวลาก่อนการเผาไหม้ถึงอุณหภูมิช่วงการเผาไหม้เริ่มมีค่าคงที่ (นาที)

$t_a$  = อุณหภูมิขณะจุดลวดชนวน (องศาเซลเซียส)

$t_c$  = อุณหภูมิที่ช่วงการเผาไหม้เริ่มคงที่ (องศาเซลเซียส)

$r_1$  = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิช่วง 5 นาที ก่อนการเผาไหม้ (องศาเซลเซียสต่อนาที)

$r_2$  = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิหลังเผาไหม้ถ้าอุณหภูมิลดลงค่าเป็นลบ (องศาเซลเซียสต่อ นาที)

### 2.3.4 คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง กำหนดคุณลักษณะความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่พบข้อกำหนด

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 การหาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

จากรูปที่ 8 พิจารณาที่ความชื้นร้อยละ 80 ได้จากนำผลการทดลองแทนค่าในสมการที่ (7) โดยตัวแปร A คือผลรวมระหว่างผงถ่านเปลือกส้มโอ 2 กิโลกรัม กับวัสดุประสานคือ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำรวม 1.6 กิโลกรัม และ B คือผงถ่านเปลือกส้มโอก่อนผสมวัสดุประสาน 2 กิโลกรัม

$$H = \left( \frac{(2 + 1.6) - 2}{2} \right) \times 100 = 80\%$$

พบว่า ที่ความชื้นร้อยละ 80 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพจับตัวกันแน่นไม่มีรอยแตกร้าว ดังรูปที่ 9 ในทางตรงข้ามพบว่า ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 80 ถ่านไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนเนื่องจากวัสดุประสานมีค่าต่ำทำให้ถ่านแห้ง และยังพบว่าที่ความชื้นสูงกว่าร้อยละ 80 ถ่านไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้เนื่องจากวัสดุประสานมีค่าสูงทำให้ถ่านเปียก เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนผงถ่านเปลือกส้มโอต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังและน้ำคือ 2:0.1:1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ

น้ำหนักรวม	0.8	1.05	1.1	1.35	1.6	1.65
ความชื้น	40%	53%	55%	68%	80%	83%
แป้ง	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.15
น้ำ	0.75	1	1	1.25	1.5	1.5

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่แปรผันตามวัสดุประสานโดยคงที่ผงถ่าน 2 กิโลกรัม



รูปที่ 9 ลักษณะถ่านจากเปลือกส้มโอผ่านการอัดที่ความชื้นร้อยละ 80

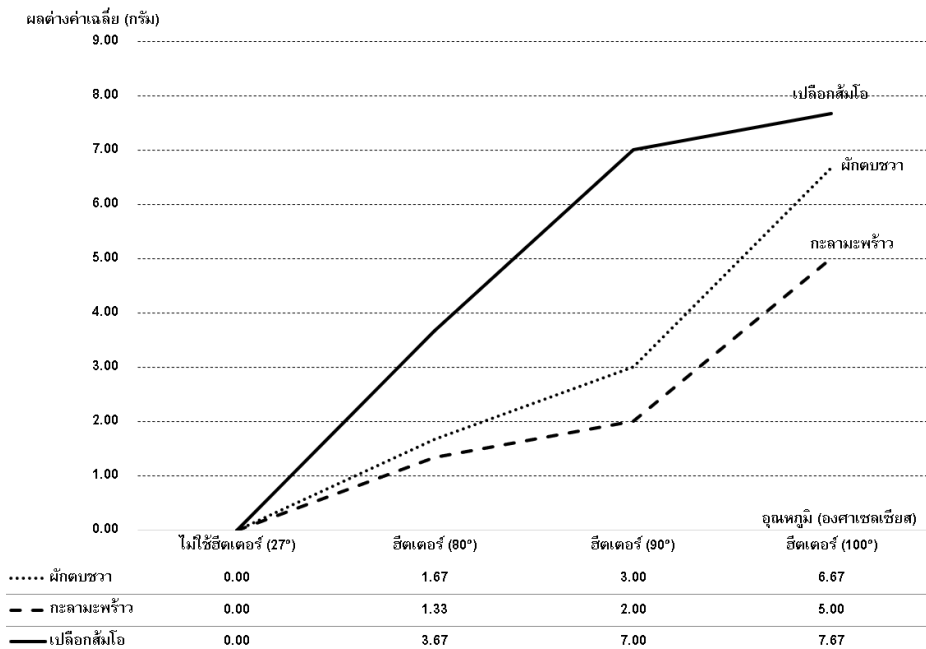
### 3.2 ผลการทดสอบระหว่างไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 3 คอลัมน์มีลักษณะในทิศทางเดียวกัน คือตัวเลขน้ำหนักถ่านมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิฮีตเตอร์สูงขึ้น ซึ่งหมายความว่าทำให้ความร้อนทำให้มวลของน้ำในถ่านระเหยออกได้ แต่มีความแตกต่างไม่มากนัก

ตารางที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยถ่านแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์(กรัม)

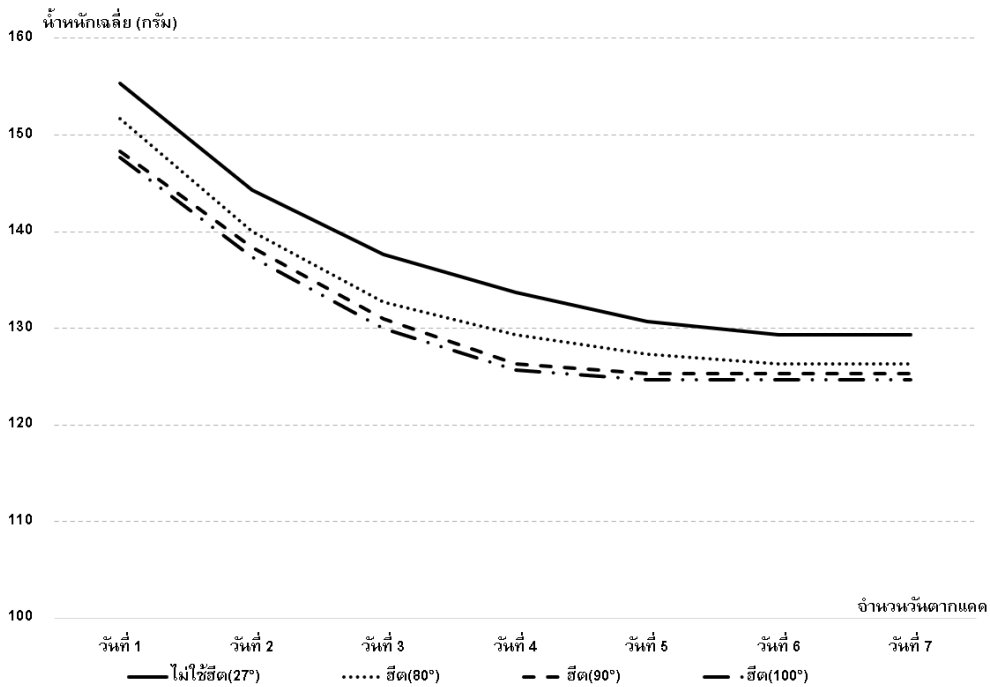
	ผักตบชวา	กะลามะพร้าว	เปลือกส้มโอ
ไม่เปิดฮีต (27°)	149.33	153.33	155.33
ฮีตเตอร์ (80°)	147.67	151.67	151.67
ฮีตเตอร์ (90°)	146.33	151.33	148.33
ฮีตเตอร์ (100°)	142.67	148.33	147.67

รูปที่ 10 แผนภาพมีเส้นแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิ พิจารณาเปลือกส้มโอมีความต่างน้ำหนักเฉลี่ย 7.67 กรัม จะเห็นว่าการอัดถ่านแบบเปิดฮีตเตอร์มีความแตกต่างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่เปิดฮีตเตอร์ เนื่องด้วยขณะอัดความร้อนจะเกิดขึ้นได้เองจากการเสียดสีในกระบอกอัด



รูปที่ 10 ผลต่างน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

จากรูปที่ 11 ผลจากการนำถ่านจากเปลือกส้มโอที่ไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ทั้งหมดตากแดด เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการแห้ง พบว่ากราฟเริ่มเป็นเส้นตรงวันที่ 5 ซึ่งหมายถึงมีความแตกต่างน้อยมากระหว่างถ่านไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ เพราะทั้ง 2 ชนิดสามารถแห้งตัวได้โดยการตากแดดตั้งแต่วันที่ 5 ขึ้นไป



รูปที่ 11 เทียบเวลาถ่านแห้งโดยตากแดดระหว่างการอัดแบบไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์

### 3.3 ค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 3 คืออุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะบอมบ์โดยแปรผันตามเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ก่อนเผาไหม้ ช่วงเผาไหม้ และหลังเผาไหม้ โดยข้อมูลนี้เป็นตัวอย่างการบอมบ์ถ่านเปลือกส้มโอ เพื่อแสดงวิธีการคำนวณหาค่าความร้อนตามสมการที่ (10) และ (11) โดย 1 แคลอรีเท่ากับ 4.1868 จูล

ตารางที่ 3 อุณหภูมิหน้าที่เปลี่ยนแปลงขณะบอมบ์เปลือกส้มโอ

ก่อนเผาไหม้		ช่วงเผาไหม้										หลังเผาไหม้	
บันทึกทุก 1 นาที		บันทึกทุก 10 วินาที อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)										บันทึกทุก 1 นาที	
เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
1	29.16 <sup>a, r1</sup>	10	29.24	170	30.55	330	31.11	490	31.26	650	31.30	1	31.30 <sup>r2</sup>
2	29.20	20	29.26	180	30.60	340	31.11	500	31.26	660	31.30	2	31.29
3	29.22	30	29.29	190	30.65	350	31.13	510	31.26	670	31.30	3	31.29
4	29.23	40	29.35	200	30.70	360	31.15	520	31.27	680	31.30	4	31.29
5	29.24 <sup>a, t<sub>a</sub>, r1</sup>	50	29.44	210	30.76	370	31.17	530	31.28	690	31.30	5	31.29 <sup>r2</sup>
		60	29.52	220	30.80	380	31.18	540	31.28	700	31.30		
		70	29.62	230	30.84	390	31.19	550	31.28	710	31.30		
		80	29.74	240	30.88	400	31.19	560	31.29	720	31.30		
		90	29.84	250	30.91	410	31.20	570	31.30	730	31.30		
		100	29.95	260	30.94	420	31.21	580	31.31	740	31.30		
		110	30.05	270	30.97	430	31.22	590	31.30	750	31.30		
		120	30.15	280	31.00	440	31.23	600	31.30	760	31.30		
		130	30.22	290	31.02	450	31.24	610	31.30	770	31.30		
		140	30.32	300	31.04	460	31.25	620	31.30	780	31.30		
		150	30.40	310	31.07	470	31.25	630	31.31	790	31.30		
		160	30.48 <sup>b</sup>	320	31.09	480	31.25	640	31.30	800	31.30		
										810	31.30 <sup>c</sup>		

หมายเหตุ: - อักษร a, t<sub>a</sub>, r<sub>1</sub>, c, t<sub>c</sub>, r<sub>2</sub> หมายถึง จุดที่นำไปคำนวณหาค่าตามสมการที่ (11)

- อักษร b หมายถึง เวลาก่อนการเผาไหม้ร้อยละ 60 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิสูงสุดกับต่ำสุดหาได้จาก  $((31.30 - 29.16) \times 0.6) + 29.24 = 30.48$  (องศาเซลเซียส)

จากตารางที่ 3 คำนวณหาอุณหภูมิหน้าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หาค่าได้ตามสมการที่ (11) โดยพิจารณารูปที่ 12 ประกอบ

a = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 29.24 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา 5 (นาที)

b = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 30.48 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา  $5 + \left(\frac{160}{60}\right) = 7.67$ (นาที)

c = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 810 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา  $5 + \left(\frac{810}{60}\right) = 18.50$ (นาที)

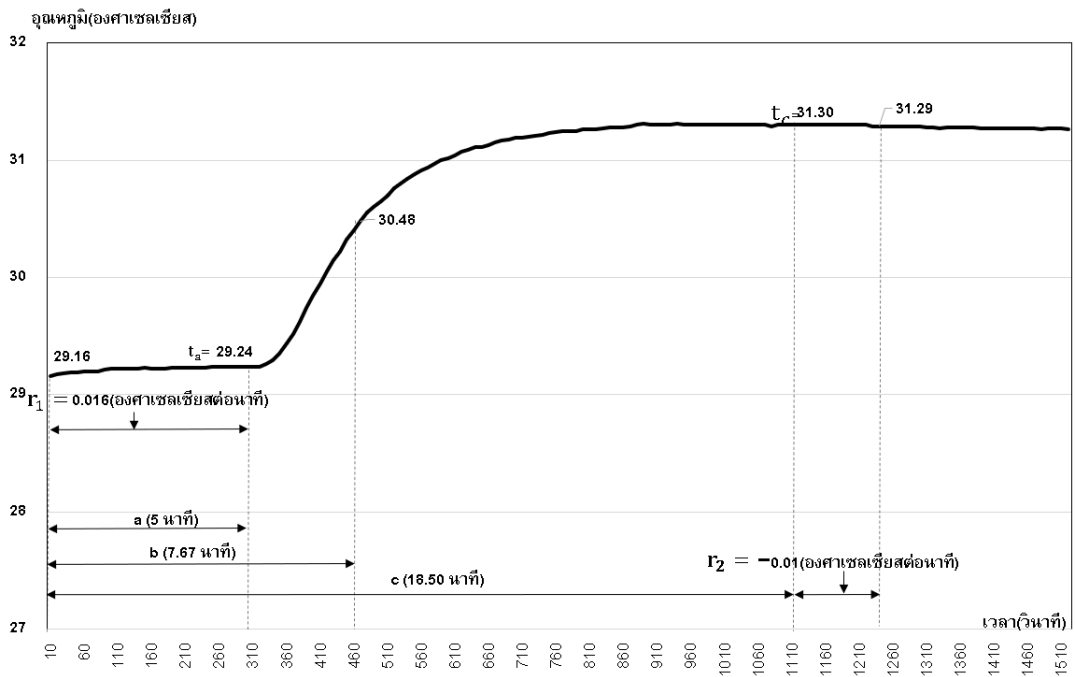
$$t_a = 29.4 \text{ (องศาเซลเซียส)}$$

$$t_c = 31.3 \text{ (องศาเซลเซียส)}$$

$$r_1 = \frac{(29.24 - 29.16)}{5} = 0.016 \text{ (องศาเซลเซียสต่อนาที)}$$

$$r_2 = \frac{(31.29 - 31.30)}{5} = -0.01 \text{ (องศาเซลเซียสต่อนาที)}$$

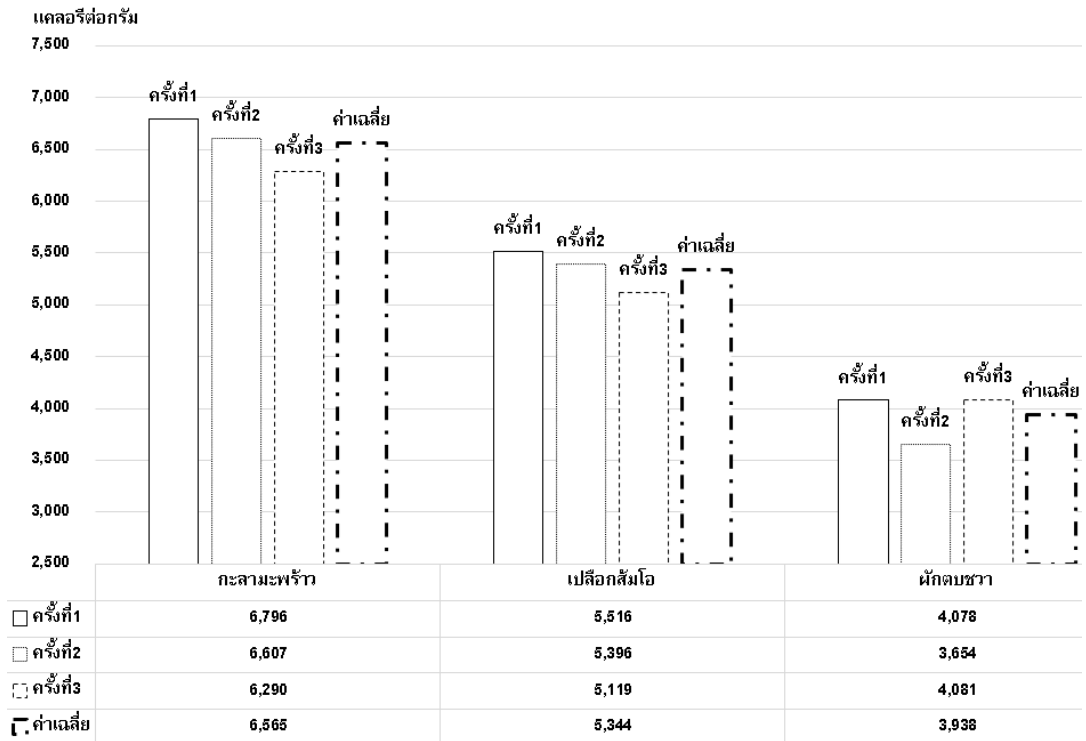
จากตารางที่ 3 เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเพื่อแสดงตำแหน่งตัวแปรตามสมการที่ 11



รูปที่ 12 อุณหภูมิหน้าเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเพื่อแสดงจุดต่างๆตามสมการที่ 11

บอมบ์ถ่านทั้ง 3 ชนิด ตามขั้นตอนดังกล่าวซ้ำชนิดละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าความร้อนและค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 13 โดยใช้อัตราส่วนผสมตามหัวข้อ 3.1





รูปที่ 13 ค่าความร้อนเฉลี่ยถ่านอัดแท่ง 3 ชนิด

พิจารณาถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,565 แคลอรีต่อกรัม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล [10] รายงานไว้ว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่ยังไม่อัดแท่งมีค่าความร้อน 7,760 แคลอรีต่อกรัม จากการสังเกตพบว่า ภายในถั่วหลังการบอมบ์มีเศษเหลือจากการเผาไหม้คือแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ผสมเป็นวัสดุประสานดังรูปที่ 14 จึงสรุปได้ว่าการใช้วัสดุประสานผสมในผงถ่านมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอมีค่าความร้อนเฉลี่ย 5,344 แคลอรีต่อกรัม เทียบกับกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และถ่านผักตบชวามีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,938 แคลอรีต่อกรัมซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์



รูปที่ 14 ถั่วบอมบ์หลังการเผาไหม้พบวัสดุประสานคือแป้งมันสำปะหลังไม่เกิดการเผาไหม้

### 3.4 วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

รายงานการวิเคราะห์ (%)	ถ่านกะลามะพร้าว			ถ่านเปลือกส้มโอ			ถ่านผักตบชวา		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ปริมาณความชื้น	8.64	8.47 <sup>a</sup>	-	11.14	8.35 <sup>a</sup>	-	9.36	8.14 <sup>a</sup>	-
ปริมาณสารระเหย <sup>a</sup>	18.06	18.10	20.15	25.19	25.98	29.22	21.30	21.59	24.09
ปริมาณเถ้า <sup>a</sup>	7.55	7.56	8.26	19.43	20.04	21.87	51.73	52.43	57.07
ปริมาณคาร์บอนคงตัว <sup>a</sup>	65.75	65.87	71.59	44.24	45.63	48.91	17.61	17.84	18.84

หมายเหตุ: อักษร a หมายถึง ห้องปฏิบัติการทดสอบยังไม่ได้รับการรับรองในขอบข่ายที่แสดงเครื่องหมาย

- 1 = As received คือ ค่าที่คำนวณจากสภาพตัวอย่างที่ได้รับ
- 2 = As determined คือ ค่าที่คำนวณจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและความชื้นเหลืออยู่เท่ากับขณะทดสอบ
- 3 = As dry คือ ค่าที่คำนวณจากตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นถ่านทั้ง 3 ชนิด เมื่อผ่านการตากแดดมากกว่า 5 วัน มีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 11 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปริมาณสารระเหยถ่านเปลือกส้มโอและถ่านผักตบชวามีค่าสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าว เนื่องจากกะลามะพร้าวมีองค์ประกอบของคาร์บอนมากกว่า ปริมาณเถ้าผักตบชวามีค่าสูงมากที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัวถ่านกะลามะพร้าวมีค่ามากที่สุด

### 4. สรุป

- ผลการหาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด ควรมีความชื้นหลังผสมวัสดุประสานร้อยละ 80 ในทางตรงกันข้าม หากความชื้นมีค่าต่ำหรือมีค่าสูง หมายถึงส่วนผสมแห้งหรือเปียก กรณีนี้เป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้

- ผลการทดสอบแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์ พบว่าสามารถทำให้น้ำในถ่านระเหยได้ไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาที่ผลการตากแดด พบว่าใช้เวลาในการตากแดดเพื่อให้แห้งเท่ากันประมาณ 5 วัน ทั้งแบบไม่เปิดฮีตเตอร์และเปิดฮีตเตอร์ จึงสรุปได้ว่า ไม่ควรใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนขณะอัด เพราะความร้อนจะเกิดขึ้นได้เองจากการเสียดสีผสม

- เปลือกส้มโอสามารถทำถ่านอัดแท่งได้ โดยพบว่าค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คือสูงกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และพบว่าวัสดุประสานคือแป้งมันสำปะหลัง จะไม่เกิดการเผาไหม้และทำให้ค่าความร้อนลดต่ำลงตามไปด้วย

- ผลวิเคราะห์ค่าความชื้นหลังผ่านการตากแดดมากกว่า 5 วัน พบว่ามีลักษณะคล้ายกับถ่านกะลามะพร้าวและฝักตบชวา คือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 11

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบวิจัย เงินรายได้ประจำปี 2563 รหัสทุน C-71/2563 เครื่องอัดถ่านผสมจากเปลือกส้มโอแบบไล่ความชื้น โดยอัตโนมัติและห้องปฏิบัติการทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Disthai. Properties and research information of pomelo. [Article]. 2017 [cited 2021 Aug 31]. Available from: <https://www.disthai.com/17066273/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD> (In Thai)
- [2] Lalun K, Sudachan S, Chansiri C. Effects of charcoal type and screw pressing speed on the performance of screw press unit and quality of charcoal block. Proceeding of 13th International Thai Society of Agricultural Engineering (TSAE); 2020. p. 284-90. (In Thai)
- [3] Yumon P. Development of a cold production biomass charcoal briquette machine to use waste from coffee bean processing. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal 2016;9(1):34-48. (In Thai)
- [4] Tantisattayakul T. Saidam K. Phusongsri S. Feasibility Study of Biomass Briquettes Production from Pineapple Peel. Thai Science and Technology Journal 2015;23(5 Suppl);754-73. (In Thai)
- [5] Taungtip P. A study of fuel briquette form durian peel substitute for firewood and charcoal in household uses [Master's degree] [Internet]. Bangkok: Chulalongkorn University; 1999. 1999 [cited 2021 Sep 17] Available from: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=44120> (In Thai)
- [6] Thai industrial standard institute ministry of industry. [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 9]. Available from: [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238\\_47.pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf) (In Thai)

- [7] Ungphakorn V. Thanadngarn C. Machine design vol1. Bangkok: SE-Education; 2013. (In Thai)
- [8] Technology Instruments Co., Ltd. I want to order a heater [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 16]. Available from: <http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=201> (In Thai)
- [9] ESSOM Co., Ltd. Manual to using the fuel calorimeter tester vol 1. Bangkok: ESSOM; 2009. (In Thai)
- [10] Department of Science Service. Heating value of biomass and charcoal [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 9]. Available from: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2515\\_70\\_9.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2515_70_9.pdf) (In Thai)

#### ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์ อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 ถนน พุทธมณฑลสาย 5 ตำบล ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล นครปฐม 73170 เบอร์โทรศัพท์ 0957673353 E-Mail: [sirichai.jir@rmutr.ac.th](mailto:sirichai.jir@rmutr.ac.th)  
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทางเลือก การลดมลพิษของเครื่องสันดาป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จังหวัด เจริญสุข อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 62/1 (ในเมือง) ถนนเกษตรสมบูรณ์ ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง กาฬสินธุ์ 46000 เบอร์โทรศัพท์ 0807712919 E-Mail: [changwatch@gmail.com](mailto:changwatch@gmail.com)  
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทางเลือก

---

#### Article History:

Received: December 19, 2021

Revised: April 23, 2022

Accepted: April 29, 2022