ISSN 3027-6357 (Print)
ISSN 3027-6365 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : *http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj*
ปีที่ 32 ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2567) หน้า [35-45]

การหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Central Composite Design (CCD) เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวา

Optimization using Central Composite Design (CCD) for Fuel Briquette Production from Water Hyacinth

สุนทรียา กาละวงศ์[1], อุมาภรณ์ ศรีเพชร[1], ประภามาศ พูนเจริญ[1], เกศศิรินทร์ แสงมณี[2], ภุชงค์ จันทร์จิระ[3], พรชัย พรหฤทัย[4], อภิรดี เสียงสืบชาติ[5], นวพร หงส์พันธุ์[6], เพ็ญแข รุ่งเรือง[1,*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

[3] ภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

[4] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

[5] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

[6] สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

Soontreeya Kalawong[1], Umaporn Sriphet[1], Prapamat Phooncharoen[1], Katsirin Sangmanee[2], Puchong Chanjira[3], Pornchai Pornharuthai[4], Apiradee Siangsuepchart[5], Nawaporn Hongpan[6] Penkhae Rungrueng[1,*]

[1] Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600

[2] Department of Modern Agriculture Technology Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

[3] Department of Industrial Education, Faculty of Education, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

[4] Engineering Program in Electrical Engineering and Automation Control Systems, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600

[5] Department of Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

[6] Department of Food Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600

Received 2 April 2023; Received in revised 17 July 2024; Accepted 26 July 2024

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** penkhae.ru@bsru.ac.th

Science32-N6_1.indd 35 12/12/2567 BE 13:51

บทคัดย่อ

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) จัดเป็นวัชพืชน้ำที่ร้ายแรงซึ่งมีปริมาณมากและควบคุมได้ยาก ปัจจุบันมีการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์มากมายตั้งแต่นำมาทำกระดาษ บอร์ด อาหารสัตว์ ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยหมัก และเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อให้ความร้อนช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้าและวัสดุการเกษตรได้ การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ของโปรแกรม Design-Expert สามารถช่วยสร้างโมเดลทำนาย และเลือกจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด รวมถึงสามารถสร้างกราฟสามมิติของวิธีพื้นที่ผิวการตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ทำให้เห็นภาพอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์สองตัวแปร งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการใช้ CCD ในการออกแบบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเส้นใยผักตบชวา โดยตัวแปรของวัสดุประสานที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวแปร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง (A) และ ถ่านไม้ (B) นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ CCD ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7.0.0 การประมวลผลข้อมูลทำให้ได้แผนการทดลองทั้ง 12 แผนการทดลอง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง แล้วนำค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้ในการทดลองมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยกำลังสอง ได้สมการ คือ $Y = 19,412.00+690.25A+218.46B-1,546.00AB-5,269.88A^2-1,828.37B^2$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9870 โดยสภาวะที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดได้จากสมการถดถอยกำลังสอง คือ ใช้ส่วนผสมเป็นแป้งมันร้อยละ 30 และผงถ่านไม้ร้อยละ 90 ให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 19,632.00 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาที่ได้มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนทดแทนฟืนและถ่านจากป่าธรรมชาติ

คำสำคัญ: เส้นใยผักตบชวา; แป้งมัน; ผงถ่านไม้; วิธีพื้นที่ผิวการตอบสนอง

Abstract

Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is considered a serious aquatic weed that is abundant and difficult to control. However, several useful applications for the plant have been found, including the production of paper, boards, animal feed, biogas, compost, and fuel briquettes. Production fuel briquettes from agricultural waste can enhance the value of agricultural goods and materials. The central composite design (CCD) in a Design-Expert software can help generate predicted model, optimize processes, and plot the three-dimensional response surface methodology (RSM) graphs, providing a clear visualization of the relationship between variables. The objective of this research was to optimize the use of CCD for producing fuel briquettes water hyacinth fiber. The two independent variables considered were the bonding materials: cassava flour (A) and wood charcoal powder (B). The CCD approach, processed using Design-Expert version 7.0.0, suggested that 12 experiments were appropriate for studying the optimum conditions for the fuel briquettes. The calorific value was used construct a second-order regression equation, as follows: $Y = 19,412.00+690.25A+218.46B-1,546.00AB-5,269.88A^2-1,828.37B^2$ with a correlation coefficient (R^2) of 0.9870. The optimal conditions derived from the equation were 30% cassava flour and 90% wood charcoal powder, resulting in a calorific value of 19,632.00 cal/g. The advantages of these briquettes include their potential feasibility as substitutes for firewood and charcoal from natural forests for heating buildings.

Keywords: Water hyacinth fiber; Cassava flour; Wood charcoal powder; Response surface methodology

Science32-N6_1.indd 36 12/12/2567 BE 13:51

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเชื้อเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความจำเป็นใช้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่แหล่งพลังงานหลักจากฟอสซิลมีปริมาณจำกัด เช่น ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน อีกทั้งยังปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจกที่เป็นปัญหาโลกร้อน การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งมาเป็นพลังงานจากวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติทดแทนแทนเชื้อเพลิงจากไม้ฟื้นหรือถ่านไม้ โดยการทำถ่านไม้ส่วนใหญ่เป็นไม้ที่ถูกนำไปเผาบางส่วนด้วยความร้อนเพียงเล็กน้อยเพื่อให้มันกลายสภาพเป็นคาร์บอน ขณะเผาไหม้ส่วนประกอบของแร่ธาตุและสารต่างๆ จะระเหยออกมา ในรูปของไอร้อน และควันซึ่งถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่านสมบูรณ์ที่สุด [1] แต่ในปัจจุบันป่าไม้หรือไม้มีปริมาณลดลง จึงมีการนำวัตถุดิบหรือวัสดุทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ได้แก่ กะลามะพร้าว เศษไม้ยางพารา ข้อไม้ไผ่ กะลาปาล์ม ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เศษไม้ต่างๆ และต้นไมยราบยักษ์ [2] เป็นต้น แนวทางในการนำผักตบชวาที่จัดเป็นวัชพืชร้ายแรงและมีปริมาณมากในแม่น้ำลำคลองมาใช้เป็นวัสดุในการทำเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากผักตบและเป็นการทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผักตบชวามีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักโดยผักตบชวาปริมาณ 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักของกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผักตบชวาประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 25 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 33 และลิกนินร้อยละ 10 [3] การนำผักตบชวามาเป็นเชื้อเพลิงแบบอัดแท่ง (Briquetted Fuel) ช่วยทำให้สะดวกต่อการใช้และให้พลังงานได้นานกว่าการใช้ในรูปแบบอื่นๆ โดยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทำได้ทั้งแบบใช้ความร้อน (อัดร้อน) หรือแบบไม่ใช้ความร้อน (อัดเย็น) คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตออกมาต้องมีควันน้อยลงและความชื้นน้อย รวมถึงมีค่าความร้อนสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุและตัวประสาน เช่น การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าว [4] กากกาแฟผสมกากมะพร้าว [5] เปลือกเมล็ดกระบก [6] เปลือกส้มโอ [7] และตะกอนน้ำเสียผสมถ่านกะลามะพร้าว [8] เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบ Central Composite Design (CCD) ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์และการคำนวณทางสถิติมาสร้างสมการถอยกำลังสอง (second order regression equation) ซึ่งนำไปสู่การทำนายข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการทดลอง เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นหลายตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม ทำให้สามารถทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นหลายตัวแปรในเวลาเดียวกันได้ ช่วยลดความผิดพลาด ลดจำนวนการทดลองจากการศึกษาที่ละตัวแปรของวิธีการดั้งเดิม [9] มีรายงานการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมผักตบชวาและเปลือกถั่วลิสงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ CCD พบว่า หลังจากการออกแบบได้สมการถดถอยกำลังสองและได้แบบจำลอง โดยได้ดำเนินการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอีกครั้งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการทำนายสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และพบว่าถ่านอัดแท่งที่ปรับให้เหมาะสมให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 24.41 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ให้มีความหนาแน่นรวม 0.548 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความทนทานร้อยละ 97.55 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R2) ใกล้กับ 1 มากที่สุดจากสมการถดถอยกำลังสอง [10] แนวทางการนำเส้นใยผักตบชวามาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวัสดุประสาน คือ ผงถ่านไม้ร่วมกับแป้งมันที่มีผลต่อการประสานยึดเกาะขึ้นรูปและการติดไฟของแท่งถ่านที่ทำมาจากเส้นใยได้ดีขึ้น รวมไปถึงวัสดุประสานเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยให้แท่งเชื้อเพลิงไม่แตกหักง่ายและลักษณะแท่งที่แข็งมากยิ่งขึ้น ในกรณีศึกษาในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมผักตบชวาและเปลือกถั่วลิสงให้แป้งมันเป็นวัสดุประสานร้อยละ 15 ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมี

Science32-N6_1.indd 37 12/12/2567 BE 13:51

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาส่วนผสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเส้นใยผักตบชวาด้วยการออกแบบการทดลองแบบ CCD วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design-Expert version 7.0.0 ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานระหว่างผงถ่านไม้และแป้งมันที่ให้ค่าความร้อนดีที่สุดหรือนำไปสู่การใช้ประโยชน์ของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัสดุพืช

ผักตบชวาเก็บจากบริเวณคลองเจ๊ก ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี และแม่น้ำท่าจีน ตำบลไร่ขิง อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยนำผักตบชวามาล้างทำความสะอาด แล้วย่อยด้วยเครื่องย่อยผักตบชวา (พัฒนาโดย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ) ให้เป็นเส้นใยหรือชิ้นเล็ก จากนั้นนำไปตากแดด 4-7 วัน หรือจนกว่าวัสดุแห้ง

2.1.1 การศึกษาการออกแบบการทดลองแบบ CCD ของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหาค่าคุณสมบัติเชิงเพลิงของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเส้นใยผักตบชวาแห้งและวัสดุประสาน (ผงถ่านไม้และแป้งมัน) กำหนดให้เส้นใยผักตบชวาคิดร้อยละ 100 เติมวัสดุประสานประมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากสัดส่วนของวัสดุประสานแบ่งออกเป็นผงถ่านไม้ร้อยละ 90 และแป้งมันร้อยละ 30 เป็นค่ากลาง (center point) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Design-Expert version 7.0.0 ของบริษัท Stat-Ease

การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง เริ่มจากการนำส่วนผสมมาคลุกเคล้ากันตามส่วนผสมจากการออกแบบการทดลองแบบ CCD จนส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน แล้วนำวัสดุที่ได้เข้าเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวอัดรีดขึ้นรูปแท่ง ตัดแท่นให้ได้ความยาวแท่งละ 10 เซนติเมตร ในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งหมด 12 สิ่งทดลอง กำหนดค่ากลาง (center point) คือ การเติมผงถ่านร้อยละ 90 และแป้งมันร้อยละ 30 (สัดส่วนของวัสดุประสานร้อยละ 15 ต่อเส้นใยผักตบชวาโดยปริมาตร) ตัวอย่างวัสดุอัดแท่งเริ่มจากการเตรียมเส้นใยผักตบชวา 85 กิโลกรัม (ควบคุมให้เท่ากันทุกสิ่งทดลอง) เติมผงถ่านร่วมกันแป้งมันร้อยละ 15 เช่นการเติมถ่านร้อยละ 90 (13.5 กรัม) และแป้งมันร้อยละ 40 (4.5 กรัม) เป็นต้น ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 แท่ง จากนั้นนำถ่านที่อัดได้ไปอบในตู้อบรมร้อนเพื่อไล่ความชื้นให้ถ่านแห้ง และนำถ่านที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการนำค่าความร้อนที่ได้จากการออกแบบของโปรแกรม CCD แล้วนำเสนอผลการทดลองด้วยวิธี RSM เพื่อหาสัดส่วนผสมของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการให้ค่าความร้อนที่ดีที่สุดจากการสร้างสมการถดถอยกำลังสอง (second order regression analysis)

Table 1 Experimental ranges and levels of the independent variables used in central composite design.

Factorss (%)	Levels				
	-1.41 (axial point)	-1 (lower point)	0 (center point)	1 (upper point)	1.41 (axial point)
Charcoal powder (A)	70.86	80	90	100	104.14
Cassava flour (B)	15.86	20	30	40	44.14

Science32-N6_1.indd 38 12/12/2567 BE 13:51

Table 2 Experimental design used in response surface methodology of 2 independent variables, charcoal powder (A) and cassava flour (B).

Treatments	Charcoal powder (A)	Cassava flour (B)
1	80 (-1)	20 (-1)
2	100 (1)	20 (-1)
3	80 (-1)	40 (1)
4	100 (1)	40 (1)
5	75.86 (-1.414)	30 (0)
6	104.14 (1.414)	30 (0)
7	90 (0)	14.86 (-1.414)
8	90 (0)	44.14 (1.414)
9	90 (0)	30 (0)
10	90 (0)	30 (0)
11	90 (0)	30 (0)
12	90 (0)	30 (0)

2.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการออกแบบ CCD ทั้งหมด 12 สิ่งทดลอง คือการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน เป็นต้น จากห้องปฏิบัติการทางเคมีภายใต้ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยมีการวิเคราะห์ดังนี้ การหาปริมาณความชื้น (moisture content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Binder รุ่น FBD 240) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง การหาค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง การหาปริมาณเถ้า (ash content) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาไปให้ได้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยกับน้ำหนักเถ้าที่เหลือจึงนำมาชั่งน้ำหนัก การหาปริมาณสารระเหย (volatile metter) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ได้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3176 ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณ และการหาค่าความร้อน (heating value) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286 โดยนำตัวอย่างของสารมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่อง Bomb calorimeter IKA รุ่น C1 ที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอ ความร้อนของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิของ Jacket สูงขึ้น และสามารถคำนวณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นได้และทำการหาค่าที่ได้ โดยมีเครื่องพิมพ์ผลออกมาให้ในหน้ากระดาษ และสามารถนำเถ้าที่เหลือจากการหาค่าความร้อนไปหาค่าปริมาณเถ้าได้

Science32-N6_1.indd 39 12/12/2567 BE 13:51

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการออกแบบการทดลองแบบ CCD ของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวา โดยการออกแบบการทดลองแบบ CCD วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design กำหนดค่าตอบสนอง (response : Y) ได้แก่ Y1 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง Y2 ปัจจัยตัวแปรอิสระ (factor of independent variable : A and B) ได้แก่ ผงถ่านไม้ (A) และแป้งมัน (B) ในการประมวลผลได้ปัจจัยค่าแกน (ระดับของตัวแปร) 5 ระดับ (-1.414, -1, 0, 1 และ 1.414) เมื่อนำปัจจัยค่าแกนทั้ง 5 ระดับ มาใช้ในการกำหนดเป็นค่าของตัวแปรอิสระ โดยค่า -1.414 และ 1.414 เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุด มาออกแบบการทดลองของแต่ละตัวแปรตามลำดับ (Table 1) ส่วนค่าอื่นๆ (-1, 0 และ 1) โปรแกรมจะทำการประมวลผล พบว่า จากการประมวลผลข้อมูลทำให้ได้แผนการทดลองทั้ง 12 สิ่งทดลอง (Table 2) หลังจากการนำแท่งถ่านมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า ทุกสิ่งทดลองให้ค่าความชื้นร้อยละ 0 ถึง 14.65 ค่าความเป็นเถ้าร้อยละ 9.00 ถึง 11.50 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 87.04-91.60 ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ -2.37 ถึง 9.66 และค่าความร้อน 9,105 ถึง 19,632 แคลอรี่ต่อกรัม (Table 3) นอกจากนี้พบว่าลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีลักษะเหนียวแน่นแต่มีสีและรูปทรงที่แตกต่างกันดังนี้ สูตรที่มีส่วนประกอบผงถ่านร้อยละ 80 รวมกับแป้งมันร้อยละ 20 สีของแท่งเชื้อเพลิงออกสีขาวจากแป้งมัน (Figure 1a) เมื่อใช้แป้งมันลดลงเหลือร้อยละ 15.68 ทำการเกาะตัวให้แท่งเชื้อเพลิงลดลง คือแท่งมีรอยแตกผิวไม่เรียบแต่ไม่หักออกจากกัน (Figure 1b) อย่างไรก็ตามการเพิ่มแป้งมันมากขึ้น คือร้อยละ 44.14 ถ่านมีความเหนียวแน่นเพิ่มมากขึ้นทำให้ลักษณะของแท่งที่อัดไม่ขึ้นตามรูปทรงของกระบอกเครื่องอัดถ่าน (Figure 1c) สำหรับแท่งเชื้อเพลิงสูตรถ่านไม้ร้อยละ 90 ผสมแป้งมันร้อย 30 (ค่ากลาง) ได้รูปทรงของแท่งตามรูปทรงกระบอกอัด คือมีรูปทรง 6 เหลี่ยม สีเป็นสีน้ำตาลเข้มและผิวด้านนอกมีความแตกร้าวน้อย (Figure 1b) เมื่อมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ถ่านอัดแท่งต้องมีลักษณะรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะอาจแตกได้บ้าง การใช้งานต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณคาร์บอนร้อยละ 70 สารระเหยได้ต้องน้อยกว่าร้อยละ 25 และขี้เถ้าประมาณร้อยละ 5 [11] ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษานี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นถ่านสำหรับหุงต้มในครัวเรือน เนื่องจากปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวามีค่าสูง (ปริมาณสารระเหยร้อยละ 87.04-91.60) ทำให้เกิดควันในการเผาไหม้มีปริมาณมาก หากแท่งเชื้อเพลิงมีเส้นใยปริมาณมากส่งผลทำให้มีสารระเหยที่มาจากสารประกอบคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนปริมาณมากขึ้น รวมไปถึงทำให้ค่าความเป็นเถ้าของถ่านแท่งจากเส้นใยผักตบชวาสูง (ค่าความเป็นเถ้าร้อยละ 9.00-11.50) เถ้าจะมาจากส่วนที่เหลือจากการเผาที่ความร้อนสูง คือ สารอนินทรีย์ ประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด โดยสารอนินทรีย์จะสลายตัวกลายเป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เหลือเถ้าค่อนข้างมากตามปริมาณเส้นใยที่อัดแน่นในก้อนเชื้อเพลิง ส่วนระยะเวลาในการมอดดับของเชื้อเพลิงค่อนข้างเร็ว เนื่องจากค่าคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงต่ำมาก (ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ -2.37 ถึง 9.66) ทำให้ระยะเวลาการติดไฟของแท่งเชื้อเพลิงสั้นมากส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานแท่งเชื้อเพลิงได้ไม่นาน มีรายงานการศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาในอัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อกะลามะพร้าว 50:50 โดยน้ำหนัก โดยมีวัสดุประสานคือแป้งมันร้อยละ 15 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยมีค่าความร้อน 5,659.45 แคลอรี่ต่อกรัม ค่าความหนาแน่น 0.701 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าดัชนีการแตกร่วนร้อยละ 0.92 ค่าความชื้นร้อยละ 47

Science32-N6_1.indd 40 12/12/2567 BE 13:51

และค่าอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 1.21 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนและอัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวากับถ่านไม้จะมีค่าใกล้เคียงกัน [10] ดังนั้นจากการศึกษานี้มีจุดประสงค์หลักในการใช้เส้นใยผักตบชวาในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มากที่สุดและมีการใช้ส่วนผสมอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุประสานเท่านั้น จึงมีแนวทางการนำมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวในการทำพลังงานชีวมวล เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวามีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 9,105 ถึง 19,632 แคลอรี่ต่อกรัม

สำหรับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยการออกแบบ CCD โดยการนำค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากผลของการประมวลของโปรแกรมเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวแปร ได้อัตราส่วนของถ่านไม้และแป้งมันที่แตกต่างกัน การประมวลผลในการทดลองที่ 9-12 ซึ่งเป็นการประมวลผล ณ บริเวณจุดกลาง (center points) ที่ใช้สภาวะเดียวกันได้ เมื่อนำข้อมูลจากแผนการทดลองที่ได้มาใช้ในการสร้างสมการถดถอยกำลังสอง พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้ในการทดลองมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยกำลังสอง ได้สมการ คือ $Y = 19,412.00+690.25A+218.46B-1,546.00AB-5,269.88A^2-1,828.37B^2$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9870 (Table 5) และการนำเสนอผลการทดลองด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) ได้กราฟพื้นที่ผิวการตอบสนอง (response surface plot) เป็นรูปสามมิติที่มีกราฟฟิกที่แสดงผลการเพิ่มปริมาณถ่านไม้เข้าไปในวัสดุประสานมากขึ้นจะเห็นแนวโน้มของค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่การใส่แป้งมันที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความร้อนที่ลดลงได้ (Figure 2a) และจุดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่จุดกลางสีแดง คือ ค่าที่มีความร้อนสูงสุด (Figure 2b) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Y) ได้แก่ ถ่านไม้ (A) และแป้งมัน (B) และสภาวะที่เหมาะสมในการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ ถ่านไม้ร้อยละ 90 (A) ต่อแป้งมันร้อยละ 30 (B) จากสัดส่วนร้อยละ 15 ต่อผักตบชวาร้อยละ 85 ได้ค่าความร้อนเฉลี่ย 19,632.00 ± 8.49 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาที่ได้มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป

4. สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยและวัสดุประสานระหว่างผงถ่านและแป้งมันโดยการออกแบบ CCD พบว่าการทำวัสดุอัดแท่งจากการเส้นใยผักตบชวา 85 กิโลกรัม เติมผงถ่านร่วมกันแป้งมันประมาณร้อยละ 15 คือการเติมถ่านร้อยละ 90 (13.5 กรัม) และแป้งมันร้อยละ 40 (4.5 กรัม) ให้สภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือให้ค่าความชื้นร้อยละ 8.32 ค่าความเป็นเถ้าร้อยละ 8.00 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 86.42 ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 2.44 และค่าความร้อน 19,632.00 แคลอรี่ต่อกรัม และจากการทดสอบการทดลองแบบ CCD จะได้สมการที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Y) ได้แก่ ถ่านไม้ (A) และแป้งมัน (B) และได้สมการถดถอยกำลังสอง คือ $Y = 19412.00+690.25A+218.46B-1546.00AB-5269.88A^2-1828.37B^2$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9870 และผลการศึกษาในครั้งนี้นำไปสู่การใช้ประโยชน์ในการเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

Science32-N6_1.indd 41 12/12/2567 BE 13:51

Table 3 Effect of briquette charcoals compositions on moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon.

Treatments	Charcoal/ cassava flour (%)	Moisture content (%)	Ash content (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)
T1	80(-1.00)/20(-1.00)	0.00	13.50	88.89	9.66
T2	100(1.00)/20(-1.00)	14.65	9.50	87.04	-2.16
T3	80(-1.00)/40(1.00)	9.55	10.00	89.04	1.12
T4	100(1.00)/40(1.00)	9.55	11.50	88.17	1.02
T5	75.86(-1.41)/30(0.00)	4.17	10.50	89.87	4.49
T6	104.14(1.41)/30(0.00)	14.17	11.50	88.83	-4.09
T7	104.14(1.41)/30(0.00)	10.00	10.50	88.00	1.00
T8	90(0.00)/44.14(1.41)	10.56	9.50	88.83	-0.33
T9	90(0.00)/30(0.00)	9.00	9.00	86.42	-2.37
T10	90(0.00)/30(0.00)	8.32	9.00	90.14	2.44
T11	90(0.00)/30(0.00)	8.88	9.50	89.80	0.36
T12	90(0.00)/30(0.00)	8.59	8.00	91.60	-1.30

Table 4 Experimental design used in response surface methodology of 2 independent variables, charcoal (A) and cassava flour (B), with four center points with the observed and predicted heating value.

Treatments	Block	Charcoal	Cassava flour	Heating value (cal/g)
1	1	80 (-1)	20 (-1)	9,105.00 ± 146.37
2	1	100 (1)	20 (-1)	13,693.00 ± 127.99
3	1	80 (-1)	40 (1)	12,998.00 ± 171.12
4	1	100 (1)	40 (1)	11,402.00 ± 239.00
5	1	75.86 (-1.414)	30 (0)	8,492.00 ± 131.52
6	1	104.14 (1.414)	30 (0)	10,281.00 ± 352.85
7	1	90 (0)	14.86 (-1.414)	16,218.00 ± 149.91
8	1	90 (0)	44.14 (1.414)	16,321.00 ± 137.89
9	1	90 (0)	30 (0)	19,184.00 ± 400.22
10	1	90 (0)	30 (0)	19,239.00 ± 91.22
11	1	90 (0)	30 (0)	19,632.00 ± 8.49
12	1	90 (0)	30 (0)	19,593.00 ± 63.64

Science32-N6_1.indd 42 12/12/2567 BE 13:51

Table 5 The second-order polynomial equation on heat value of Briquette Charcoals from water hyacinth

The second-order polynomial equation	R^2
$Y = 19{,}412.00+690.25A+218.46B-1{,}546.00AB-5{,}269.88A^2-1{,}828.37B^2$	0.9870

Remark: Y = heating value; A = charcoal; B = cassava flour

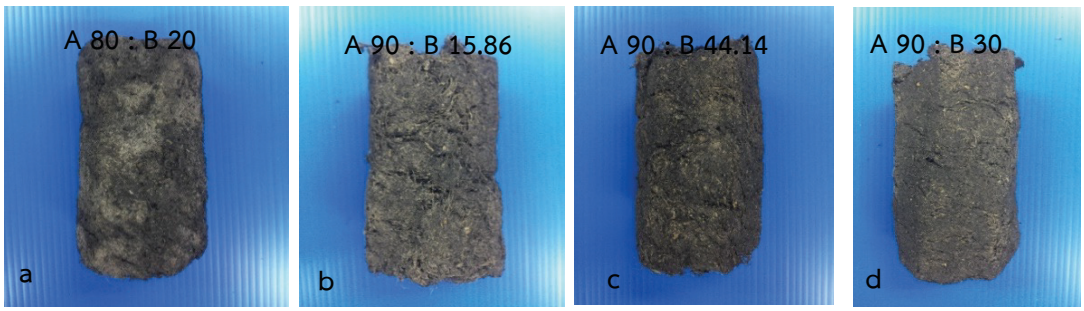

Figure 1 The characteristic of briquette charcoals from water hyacinth using Central Composite Design. a) Water hyacinth with binding material as 80% charcoal and 20% cassava flour (A 80 : B 20). b) Water hyacinth with binding material as 90% charcoal and 15.86% cassava flour (A 90 : B 15.86). c) Water hyacinth with binding material as 90% charcoal and 44.14% cassava flour (A 90 : B 44.14). a) Water hyacinth with binding material as 90% charcoal and 30% cassava flour (A 90 : B 30)

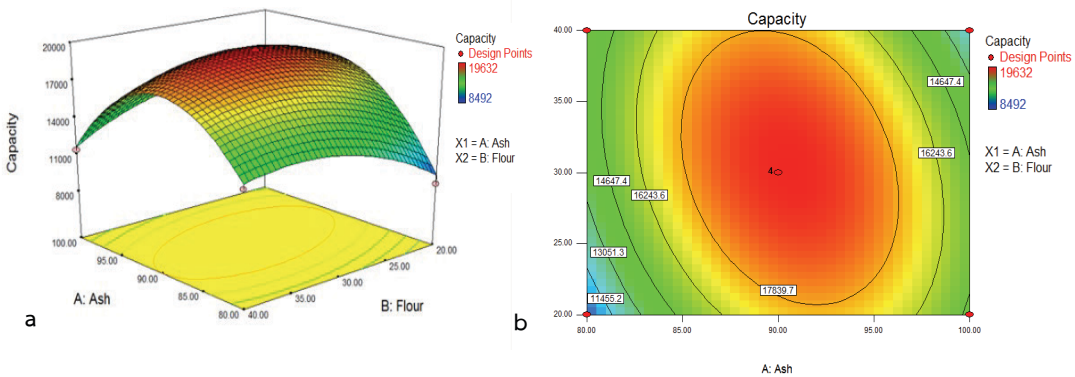

Figure 2 a) The 3-dimensional response surface graph which indicates that the highest heating value in mathematical relation (cassava flour and charcoal). b) The 2-dimensional contour graphs are the alternate representative of 3D response surface graph.

Science32-N6_1.indd 43 12/12/2567 BE 13:51

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบการทดลองแบบ CCD สามารถลดความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นหลายตัวแปรในเวลาเดียวกันได้ และช่วยลดความผิดพลาด และได้สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเส้นใยผักตบชวาได้ แต่อย่างไรก็ตามแท่งเชื้อเพลิงนี้อาจไม่สามารถนำไปใช้เป็นถ่านหุงต้มได้ เนื่องจากมีปริมาณควันที่สูง และมีระยะเวลาการติดไฟค่อนข้างสั้น ถึงแม้จะมีค่าความร้อนที่สูง ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้นี้อาจพัฒนาต่อยอดในการผลิตก๊าซด้วยกระบวนการgasification ที่เป็นถ่านเขียวนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือการประยุกต์การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ CCD ต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร ที่ได้อำนวยสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัยและการวิเคราะห์ในครั้งนี้

7. References

[1] Hongkangwarn, P., 2022, The development of activated charcoal production from fire dragon 84 charcoal klin, Master Thesis, Naresuan University, Pisanulok, 1p. (in Thai)

[2] Saueprasearsit, P., Sarasartbuncha, N. and Yaso, A., 2021, Bio-coal Production from Mimosa pigra L., SCIMSU., 410-418. (in Thai)

[3] Setyaningsih, L., Satria, E., Khoironi, H., Dwisari, M., Setyowati, G., Rachmawati, N., Kusuma, R. and Anggraeni, J., 2019, GELS, 767(8): 1-18.

[4] Nunkong, W. and Mekkaew, K., 2023, Charcoal briquettes from coconut coir. SCIDRU, 1(1): 1-11. (in Thai)

[5] Thongchuchuay, S., Pattaraprakorn, W. and Yamsangsung, W., 2022, The properties of fuel briquette from coffee grounds and copra meal. STOU J., 2(2): 55-56. (in Thai)

[6] Rajaneekronkrilas, M., Naknual, E. and Arayangkul, S., 2023, Developing appropriate charcoal briquette from agricultural residues of wild almond rind, Thepsatri I-TECH 18(2): 183-192. (in Thai)

[7] Jirawongnuson, S. and Charoensuk, C., 2022, The study on the production of charcoal briquettes from pomelo peels, KBEJ, 12(1): 55-74. (in Thai)

Science32-N6_1.indd 44 12/12/2567 BE 13:51

[8] Detsuttikorn, P., Ouppawongsapat, D., Chotigawin, R., Sa-ngiamsak, T., Tamru, A., Ruttanaprasert, J., Tenprakone, T., Bunlengsup, S. and Namueang, S., 2024, Charcoal briquette production from wastewater sludge from the seasoning production process and coconut shell charcoal, ECH J., 9(3): 538-547. (in Thai)

[9] Srivichai, P. and Rodsrida, C., 2021, The use of design expert program to study the relationship between two variables, PBRU Sci. J. 18(2): 34-43. (in Thai)

[10] Wubalem, A., Fasil, A. and Destaw, F., 2024, Characterization of briquettes developed from water hyacinth and groundnut shell blends-The case of Lake Tana, Research square. 1-26.

[11] Thai Industrial Standards Institute, Standard values for community products, briquettes (MPC.238/2004), Available Source: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf, August 4, 2016. (in Thai)

Science32-N6_1.indd 45 12/12/2567 BE 13:51