

การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตรที่ส่งผลต่อ
ค่าพลังงานความร้อนและระยะเวลาการเผาไหม้ในการทำถ่านชีวมวล
Effects of Biomass Briquetting Recyclable Agriculture Waste Mixture Ratio
on Thermal Energy and Burning Time

ปิยณัฐ โตอ่อน¹ และจรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ²
Piyanat To-on¹ and Jarungrat Pansuwan²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
¹Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University
²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
²Faculty of Engineering, Eastern Asia University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำการแปรรูปให้เป็นก้อนพลังงานในรูปของถ่านชีวมวลที่ให้ค่าพลังงานและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด โดยคัดเลือกวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร ที่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่ำ มีปริมาณมาก และไม่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งประกอบไปด้วย แกลบ เหา ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลัง โดยออกแบบการทดลองแบบ Mixture Design และตรวจสอบผลด้วยการทดสอบค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ของก้อนถ่านชีวมวล พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าพลังงานและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุดคือ อัตราส่วนของ แกลบเหา: ชานอ้อย: ทะลายปาล์ม: เหง้ามันสำปะหลัง ที่ 66.38: 14.43: 5.0: 14.20 เมื่อนำไปขึ้นรูปถ่านชีวมวลที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และความยาว เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และนำไปทดสอบค่าพลังงานความร้อนและระยะเวลาการเผาไหม้ พบว่า ถ่านชีวมวลให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 15 MJ/kg และมีระยะเวลาการเผาไหม้นานถึง 20.024 นาที

คำสำคัญ: ชีวมวล, ค่าพลังงานความร้อน, ระยะเวลาการเผาไหม้

Abstract

The purpose of this research was to convert agriculture waste into energy in the form of biomass that gives highest thermal energy and burning time. It consists of a burned rice husk, bagasse, palms and cassava rhizomes. Design of experiment using Mixture Design Method. Testing including a thermal energy test and a burning time test. It was found that the suitable formula was the ratio of burned husk: Bagasse: Palm fruit bunch: Cassava rhizome as 66.38: 14.43: 5.0: 14.20. The biomass briquettes were fabricated according to this formula. The biomass briquette has a diameter of 50 millimeters and a length of 100 millimeters. They were carried out the thermal energy test and the burning time test. It was found that the biomass gave the highest thermal energy of 15 MJ/kg and the burning time of up to 20.024 minutes.

Keywords: biomass, thermal energy, burning time



บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีผลผลิตเหลือใช้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมสินค้าการเกษตรแปรรูป ยังมีของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่นกัน ซึ่งผลผลิตเหลือใช้ดังกล่าวยังมีศักยภาพในการนำมาเป็นพลังงานทดแทนได้ ที่ถือเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษยชาติ และเป็นความต้องการขั้นพื้นฐานต่อกระบวนการผลิตทั้งในภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม รัฐบาลจึงได้จัดหาแหล่งพลังงานให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการโดยคำนึงถึงคุณภาพ และปริมาณการใช้พลังงานของประเทศ แต่จากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ความต้องการในการใช้พลังงานมีแนวโน้มสูงมากขึ้น ส่งผลให้ราคาในตลาดโลกมีความผันผวน ประกอบกับ ปริมาณที่ใช้ที่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานทางเลือกมาช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม มาผลิตเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ จะมีส่วนช่วยให้ประเทศไทยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Ministry of Energy, 2014) พร้อมทั้งยังตอบสนองความต้องการใช้พลังงานอีกด้วย

ชีวมวล คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน จากธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์ เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ชานอ้อย มันสำปะหลัง แกลบ ทะลายปาล์ม และวัชพืชต่าง ๆ หรือ แม้แต่กระทั่งขยะ และมูลสัตว์ ในประเทศไทยอุดมไปด้วย แหล่งพลังงานชนิดนี้อยู่มาก และสามารถพัฒนานำมาใช้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานด้านอื่น ๆ พร้อมทั้งช่วยลดการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน รวมไปถึงการลดใช้ ทรัพยากรธรรมชาติ และช่วยลดการสูญเสียเงินตราของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง จึงได้ทำการคิดค้นและ พัฒนาการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบ ต่าง ๆ (Energy for Environment Foundation, 2014)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาถ่าน ชีวมวล ซึ่งเป็นเศษวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปผลผลิต ทางการเกษตร และอุตสาหกรรม คือแกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเห้ง้าสำปะหลัง มาเป็นส่วนผสม รวมถึงการปรับปรุงส่วนผสมให้ได้ค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ให้เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น โดย งานวิจัยนี้ได้กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

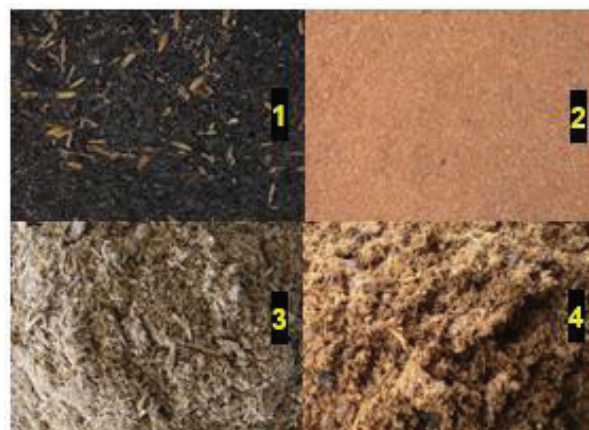
วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมา ทำการแปรรูปให้เป็นก้อนพลังงานในรูปของถ่านชีวมวล ที่ให้ค่าพลังงานความร้อนและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอน

1. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ใน การทดสอบ (แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์มและเห้ง้า มันสำปะหลัง) ดังภาพ 1



ภาพ 1 วัตถุดิบที่ใช้ทดสอบ (1) แกลบเผา (2) ชานอ้อย (3) ทะลายปาล์ม (4) เห้ง้ามันสำปะหลัง

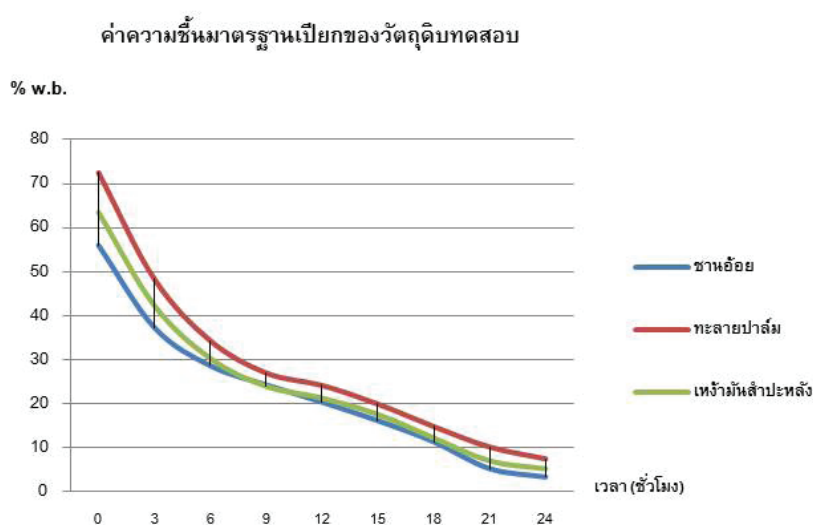
จากนั้นนำวัตถุดิบทดสอบทั้ง 4 ชนิด ทดสอบหาความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) ยกเว้นแกลบเผาไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากแกลบเผาที่ได้มาเป็นแกลบที่แห้งซึ่งมีความชื้นอยู่ที่ 2-3% ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพียง 3 ชนิด คือ ชานอ้อย ทะลายปาล์มและเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีขั้นตอนการเตรียมวัสดุทดสอบ ดังนี้

1.1 นำวัตถุดิบทดสอบทั้ง 3 ชนิด (ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลัง) ไปย่อยให้มีขนาดประมาณ 0.5-1 ซม. จากนั้นแยกชั่งน้ำหนักก่อนทำ

การทดลองออกเป็น 5 ชุด ชุดหนึ่งมีน้ำหนักประมาณ 200 กรัม/ชุด

1.2 นำวัตถุดิบทดสอบทั้งหมด 20 ชุด ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำการชั่งน้ำหนักวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด (แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์มและเหง้ามันสำปะหลัง) ทุก ๆ 3 ชั่วโมงจากนั้นทำการบันทึกผล

ซึ่งผลของค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) ของวัตถุดิบที่ใช้ในทดสอบ ดังภาพ 2



ภาพ 2 ผลการวิเคราะห์ความชื้นมาตรฐานเปียก

จากภาพ 2 จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถทำให้แห้ง และใช้เป็นวัสดุทำเชื้อเพลิงได้ (Chawkumpang, 2011) หลังจากนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าพลังงานความร้อน

ของวัตถุดิบทดสอบทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่องทดสอบพลังงานความร้อน (bomb calorimeter) ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามตาราง 1

ตาราง 1

ผลการทดสอบการวัดค่าพลังงานความร้อนของวัตถุดิบทดสอบ

วัตถุดิบทดสอบ	ค่าพลังงานความร้อน (kJ/kg)
- แกลบเผา	3,880
- ชานอ้อย	7,368
- ทะลายปาล์ม	7,240
- เหง้ามันสำปะหลัง	5,494

จากตาราง 1 พบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการทดสอบของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด มีค่าสูงกว่า 3,500 kJ/kg นับว่าใช้เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี (Department of Industrial Works, 2012)

ดังนั้นจึงได้นำวัสดุทดสอบมาทำการผสมและทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อการทดสอบต่อไป

2. การออกแบบการทดลองใช้โปรแกรม Minitab Release 17 ที่มีลิขสิทธิ์ ซึ่งได้เลือกใช้ในการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Mixture Design สำหรับปัจจัยที่ทำ

การศึกษา คือ แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีผลตอบสนองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ ได้กำหนดจำนวนตัวอย่างทดสอบของถ่านชีวมวลจำนวน 3 ชิ้นงานต่อการทดสอบในแต่ละสูตร โดยสูตรการใช้วัตถุดิบแต่ละอันคือ แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเหง้ามัน สำปะหลัง ดังแสดงในตาราง 2 ในการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Mixture Design จะได้ทั้งหมด 15 สูตร (To-on, Wichayaphong & Pansuwan, 2016) ตามตาราง 2

ตาราง 2

สัดส่วนวัสดุทดสอบในการออกแบบการทดลอง

สูตรการทดสอบที่	วัสดุทดสอบ (ร้อยละ)			
	แกลบเผา	ชานอ้อย	ทะลายปาล์ม	เหง้ามันสำปะหลัง
1	58.75	13.75	13.75	13.75
2	50.00	22.50	5.00	22.50
3	85.00	5.00	5.00	5.00
4	50.00	16.67	16.67	16.67
5	61.67	16.67	16.67	5.00
6	61.67	16.67	5.00	16.67
7	50.00	5.00	22.50	22.50
8	50.00	40.00	5.00	5.00
9	67.50	22.50	5.00	5.00
10	50.00	22.50	22.50	5.00
11	67.50	5.00	22.50	5.00
12	67.50	5.00	5.00	22.50
13	61.67	5.00	16.67	16.67
14	50.00	5.00	5.00	40.00
15	50.00	5.00	40.00	5.00

3. การขึ้นรูปถ่านชีวมวล มีขั้นตอนดังนี้

3.1 เตรียมส่วนผสมที่จะขึ้นรูปตามสูตรต่าง ๆ ในตาราง 2

3.2 นำส่วนผสมต่าง ๆ คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติมแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานผสมให้เข้ากัน เพื่อให้วัตถุดิบยึดตัวกันได้ดียิ่งขึ้น

3.3 นำส่วนผสมข้อ 3.2 ไปขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องอัดถ่านชีวมวลที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนากระบวนการ ที่ได้รับการอุดหนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ดังภาพ 3



ภาพ 3 การขึ้นรูปชิ้นงานถ่านชีวมวล

วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เศษวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ นั่นคือ แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์มและเหง้ามันสำปะหลังเนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

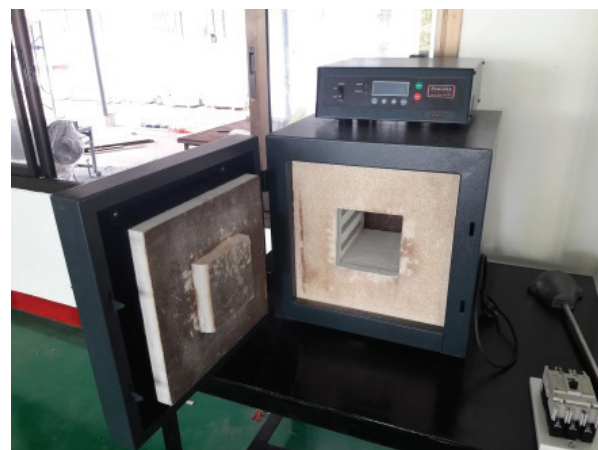
เครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในทดสอบก่อนและหลังการอบทั้ง 4 ชนิด เพื่อหาความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) ของวัสดุทดสอบ ซึ่งเครื่องชั่งน้ำหนักยอมรับค่าผิดพลาดที่ ± 0.01 กิโลกรัม ดังภาพ 4



ภาพ 4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

2. เตาอบไล่ความชื้น

เตาอบไล่ความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักวัสดุทดสอบทุก ๆ 3 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) ของวัตถุดิบทดสอบตามมาตรฐาน AOAC International (2000) ดังภาพ 5



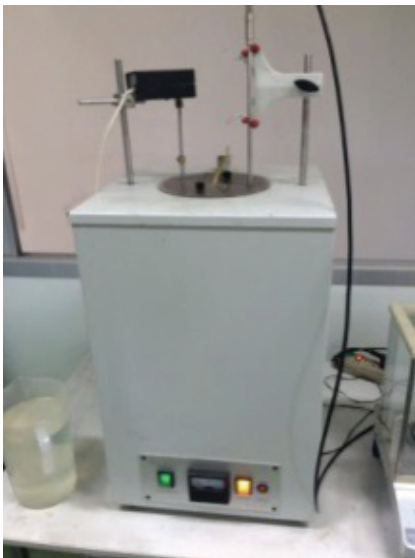
ภาพ 5 เตาอบไล่ความชื้น

3. เครื่องทดสอบค่าพลังงานความร้อน

เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบในการทดสอบ โดยการหาพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ (enthalpy of combustion) ดังภาพ 6

4. เตาถ่าน

ใช้ในการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของถ่านชีวมวล จากนั้นทำการจับเวลาแล้วบันทึกผลดังภาพ 7



ภาพ 6 เครื่องทดสอบค่าพลังงานความร้อน



ภาพ 7 เตาถ่าน

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน

นำชิ้นงานทั้ง 15 สูตร จำนวน 45 ชิ้น ทำการทดสอบวัดค่าพลังงานความร้อน ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามตาราง 3

ตาราง 3

ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน

สูตรการทดสอบที่	ค่าพลังงานความร้อน (kJ/kg)			ค่าเฉลี่ย (kJ/kg)
	1	2	3	
1	14,742.92	15,580.12	16,417.32	15,580.12
2	15,553.04	17,227.44	17,646.04	16,808.84
3	11,527.74	13,620.74	13,202.14	12,783.54
4	15,341.15	16,806.25	16,387.65	16,178.35
5	14,400.72	15,447.22	15,865.82	15,237.92
6	16,742.91	18,835.91	18,417.31	17,998.71
7	13,557.37	16,278.27	15,859.67	15,231.77
8	13,373.47	14,629.27	15,257.17	14,419.97
9	12,489.77	12,908.37	13,326.97	12,908.37
10	13,609.98	15,598.33	14,761.13	14,656.48

ตาราง 3

ผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน (ต่อ)

สูตรการทดสอบที่	ค่าพลังงานความร้อน (kJ/kg)			ค่าเฉลี่ย (kJ/kg)
	1	2	3	
11	13,325.71	14,162.91	14,372.21	13,953.61
12	12,994.77	11,906.41	12,701.75	12,534.31
13	15,028.62	14,610.02	13,877.47	14,505.37
14	12,719.71	13,808.07	14,645.27	13,724.35
15	15,116.78	13,651.68	14,698.18	14,488.88

จากตาราง 3 จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 6 ตามอัตราส่วน 61.67: 16.67: 5: 16.67 (แกลบเผา: ชานอ้อย: ทะลายปาล์ม: เหน้ามันสำปะหลัง) มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 17,998.71 kJ/kg

2. ผลการทดสอบระยะเวลาเผาไหม้

หลังจากการทดสอบค่าพลังงานความร้อน ได้นำชิ้นงานทั้ง 15 สูตร จำนวน 45 ชิ้น ไปทำการทดสอบ

การเผาไหม้ ณ อุณหภูมิห้องที่ 27 °C (อุณหภูมิเริ่มต้นการเผาไหม้และสิ้นสุดเป็นอุณหภูมิเดียวกัน) เพื่อวัดระยะเวลาการเผาไหม้ โดยที่ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และความยาว 100 มิลลิเมตร และถ่านชีวมวลแต่ละสูตรมีน้ำหนัก 120 ± 5 กรัม ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามตาราง 4

ตาราง 4

ผลการทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้

สูตรการทดสอบที่	ระยะเวลาการเผาไหม้ (นาที)			ค่าเฉลี่ย (นาที)
	1	2	3	
1	17.27	17.09	17.36	17.24
2	16.32	16.22	16.35	16.30
3	25.16	26.24	25.52	25.51
4	15.33	15.29	15.40	15.34
5	18.45	18.21	18.35	18.34
6	19.04	18.55	18.43	18.54
7	17.01	16.54	16.49	16.55
8	14.56	15.17	15.06	15.07
9	20.31	19.46	20.15	20.11

ตาราง 4

ผลการทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้ (ต่อ)

สูตรการทดสอบที่	ระยะเวลาการเผาไหม้ (นาทิจ)			ค่าเฉลี่ย (นาทิจ)
	1	2	3	
9	20.31	19.46	20.15	20.11
10	16.13	16.07	16.29	16.17
11	20.53	20.33	20.39	20.42
12	21.18	20.57	21.27	21.14
13	19.46	19.32	19.08	19.29
14	15.55	15.42	15.45	15.48
15	15.14	15.09	15.23	15.16

จากตาราง 4 จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 3 ตามอัตราส่วน 85: 5: 5: 5 (แกลบเผา: ชานอ้อย: ทะลายปาล์ม: เหม้ามันสำหรับหลัง) ระยะเวลาการเผาไหม้นานสุดอยู่ที่ 25.51 นาทิจ

3. การวิเคราะห์หาส่วนผสมของวัสดุทดสอบในรูปของถ่านชีวมวลที่มีผลต่อค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาเผาไหม้

3.1 การวิเคราะห์หาส่วนผสมของวัสดุทดสอบในรูปของถ่านชีวมวลที่มีผลต่อค่าพลังงานความร้อน

นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าพลังงานความร้อนดังภาพ 8 และภาพ 9

Estimated Regression Coefficients for Heat (Kj/Kg) (component proportions)					
Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Husk Rice	10460	1920	*	*	39.265
Bagasse	-2920	12632	*	*	137.672
Palm fruit bunch	4869	12632	*	*	137.672
Cassava Rhizome	-46	12632	*	*	137.672
Husk Rice*Bagasse	29103	24593	1.18	0.245	157.035
Husk Rice*Palm fruit bunch	24415	24593	0.99	0.328	157.035
Husk Rice*Cassava Rhizome	17814	24593	0.72	0.474	157.035
Bagasse*Palm fruit bunch	16503	24593	0.67	0.507	7.166
Bagasse*Cassava Rhizome	126528	24593	5.14	0.000	7.166
Palm fruit bunch*Cassava Rhizome	36213	24593	1.47	0.150	7.166
S = 1225.03 PRESS = 84978716					
R-Sq = 76.49% R-Sq(pred) = 69.60% R-Sq(adj) = 75.30%					

ภาพ 8 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของค่าความพลังงานความร้อน

Analysis of Variance for Heat (Kj/Kg) (component proportions)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	68185872	68185872	7576208	5.05	0.000
Linear	3	23538242	5222125	1740708	1.16	0.339
Quadratic	6	44647630	44647630	7441272	4.96	0.001
Husk Ric*Bagasse	1	1055090	2101707	2101707	1.40	0.245
Husk Ric*Palm fru	1	1332733	1479124	1479124	0.99	0.328
Husk Ric*Cassava	1	227953	787445	787445	0.52	0.474
Bagasse*Palm fru	1	164614	675799	675799	0.45	0.507
Bagasse*Cassava	1	38613233	39724409	39724409	26.47	0.000
Palm fru*Cassava	1	3254006	3254006	3254006	2.17	0.150
Residual Error	35	52524818	52524818	1500709		
Lack-of-Fit	5	28079044	28079044	5615809	6.89	0.000
Pure Error	30	24445774	24445774	814859		
Total	44	120710689				

ภาพ 9 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าความพลังงานความร้อน

จากภาพ 7 จะเห็นได้ว่าค่า R^2 (adjust R^2) ของการทดลองครั้งนี้อยู่ที่ 76.49% (75.30%) ต่อมาใน ภาพ 8 ค่า p-value อยู่ที่ 0.000 ซึ่งมีความน้อยกว่า 0.05 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Haaland (1989) ที่ได้กล่าวไว้ว่า ในการทดลองที่สมบรูณ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้จะต้องมีค่า R^2 (adjust R^2) มากกว่า 70% พร้อมทั้งการตรวจสอบ Lack of Fit ค่า p-value < 0.05 (α) แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความเพียงพอในการฟิตข้อมูล และ

ถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบแทนที่ดีที่สุดต่อไป

3.2 การวิเคราะห์หาส่วนผสมของวัสดุทดสอบในรูปของถ่านชีวมวลที่มีผลต่อระยะเวลาการเผาไหม้

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของระยะเวลาการเผาไหม้ดังภาพ 10 และภาพ 11

Estimated Regression Coefficients for Time (Mins) (component proportions)						
Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF	
Husk Rice	31.08	0.7973	*	*	39.265	
Bagasse	10.20	5.2438	*	*	137.672	
Palm fruit bunch	3.19	5.2438	*	*	137.672	
Cassava Rhizome	-3.21	5.2438	*	*	137.672	
Husk Rice*Bagasse	-24.38	10.2092	-2.39	0.022	157.035	
Husk Rice*Palm fruit bunch	-10.41	10.2092	-1.02	0.315	157.035	
Husk Rice*Cassava Rhizome	4.22	10.2092	0.41	0.682	157.035	
Bagasse*Palm fruit bunch	12.19	10.2092	1.19	0.240	7.166	
Bagasse*Cassava Rhizome	11.91	10.2092	1.17	0.251	7.166	
Palm fruit bunch*Cassava Rhizome	23.92	10.2092	2.34	0.025	7.166	
S = 0.508549 PRESS = 14.2694						
R-Sq = 97.48% R-Sq(pred) = 96.02% R-Sq(adj) = 96.83%						

ภาพ 10 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการระยะเวลาการเผาไหม้

Analysis of Variance for Time (Mins) (component proportions)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	349.831	349.8309	38.8701	150.30	0.000
Linear	3	345.930	40.1201	13.3734	51.71	0.000
Quadratic	6	3.901	3.9007	0.6501	2.51	0.040
Husk Ric*Bagasse	1	1.542	1.4747	1.4747	5.70	0.022
Husk Ric*Palm fru	1	0.376	0.2688	0.2688	1.04	0.315
Husk Ric*Cassava	1	0.016	0.0442	0.0442	0.17	0.682
Bagasse*Palm fru	1	0.267	0.3687	0.3687	1.43	0.240
Bagasse*Cassava	1	0.280	0.3519	0.3519	1.36	0.251
Palm fru*Cassava	1	1.420	1.4197	1.4197	5.49	0.025
Residual Error	35	9.052	9.0518	0.2586		
Lack-of-Fit	5	6.941	6.9415	1.3883	19.74	0.000
Pure Error	30	2.110	2.1103	0.0703		
Total	44	358.883				

ภาพ 11 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของระยะเวลาการเผาไหม้

จากภาพ 10 ค่า R^2 (adjust R^2) ของการทดลองครั้งนี้อยู่ที่ 97.48% (96.83%) ในภาพ 11 ค่า p-value อยู่ที่ 0.000 เป็นไปตามทฤษฎีของ Haaland (1989) ที่ได้กล่าวไว้ว่า ในการทดลองที่สมบูรณ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้จะต้องมีค่า R^2 (adjust R^2) มากกว่า 70% พร้อมทั้งตรวจสอบที่ Lack of Fit ค่า p-value < 0.05 (α) แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความเพียงพอในการฟิตข้อมูล และถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบที่ดีที่สุด (Haaland, 1989)

โดยมีสมการทำนายของการทดสอบครั้งนี้ตามสมการ ดังนี้

$$Y_1 = 104.602 (\text{Husk Rice}) - 29.2025 (\text{Bagasse}) + 48.6940 (\text{Palm fruit bunch}) - 0.458267 (\text{Cassava Rhizome}) + 2.91034 (\text{Husk Rice*Bagasse}) + 2.44152 (\text{Husk Rice*Palm fruit bunch}) + 1.78142 (\text{Husk Rice*Cassava Rhizome}) + 1.65031 (\text{Bagasse*Palm fruit bunch}) + 12.6528 (\text{Bagasse*Cassava Rhizome}) + 3.62132 (\text{Palm fruit bunch*Cassava Rhizome}) \quad (1)$$

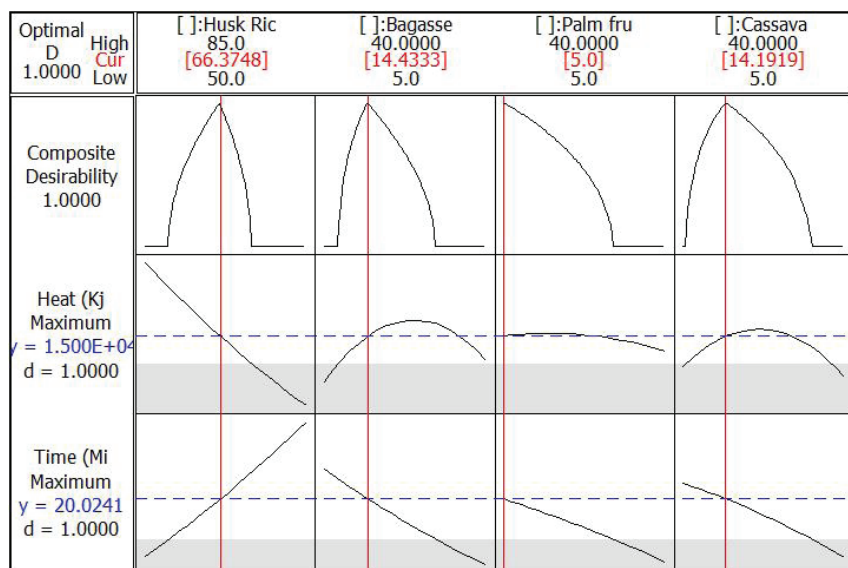
$$Y_2 = 0.310810 (\text{Husk Rice}) + 0.101971 (\text{Bagasse}) + 0.0318822 (\text{Palm fruit bunch}) - 0.0320955 (\text{Cassava Rhizome}) - 0.00243783 (\text{Husk Rice*Bagasse}) - 0.00104077 (\text{Husk Rice*Palm fruit bunch}) + 0.000422177 (\text{Husk Rice*Cassava Rhizome}) + 0.00121903 (\text{Bagasse*Palm fruit bunch}) + 0.00119081 (\text{Bagasse*Cassava Rhizome}) + 0.00239196 (\text{Palm fruit bunch*Cassava Rhizome}) \quad (2)$$

โดยที่ Y_1 คือ ค่าพลังงานความร้อน

Y_2 คือ ระยะเวลาการเผาไหม้

4. ค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสมการทำถ่านชีวมวล

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของอัตราส่วนผสมที่มีผลต่อค่าความพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของอัตราส่วนผสมที่มีผลต่อค่าความพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ โดยการกำหนดค่าสูงสุด (maximum) ของค่าพลังงานความร้อนและระยะเวลาการเผาไหม้ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังภาพ 12



ภาพ 12 ผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนและระยะเวลาการเผาไหม้

จากภาพ 12 อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนผสมที่ 66.38: 14.43: 5.0: 14.20 (แกลบเผา: ชานอ้อย: ทะลายปาล์ม: เหน้กมันสำปะหลัง) โดยให้ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 15 MJ/kg และระยะเวลาการเผาไหม้เท่ากับ 20.024 นาที ที่ระดับความพึงพอใจโดยรวม (D) มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบสนองนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ถ่านชีวมวลที่ได้จากการทดสอบเป็นการปรับปรุงและพัฒนาให้นำเอาเศษวัสดุเหลือทางการเกษตรมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมสำหรับการนำเอาไปใช้ทดแทนฟืน และถ่านไม้ ในอนาคตต่อไป

การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำการแปรรูปให้เป็นก้อนพลังงาน ในรูปของถ่านชีวมวล โดยเลือกใช้วัสดุที่ปลูกกันมากในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์มาทำการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย แกลบเผา ชานอ้อย ทะลายปาล์ม และเหน้กมันสำปะหลัง แล้วทำการทดสอบความชื้นมาตรฐานเปียก ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าวัสดุทดสอบทั้ง 4 ชนิด มีความสามารถทำให้แห้งได้ดีและใช้เป็นวัสดุทำเชื้อเพลิงได้

จากนั้นทำการออกแบบการทดลองโดยการใช้โปรแกรมทางสถิติ จะได้สูตรส่วนผสมทั้งหมด 15 สูตร แล้วทำการผสมวัสดุทดสอบตามสูตรและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ แล้วนำไปทำการทดสอบทางกายภาพ ด้วยการทดสอบค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ ค่า R^2 (adjust R^2) มีค่ามากกว่าร้อยละ 70 และทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้ ซึ่งมีค่า p-value อยู่ที่ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลคำตอบที่ดีที่สุด (optimization) โดยได้ทำการกำหนดค่าที่สูงสุดของค่าพลังงานความร้อน และระยะเวลาการเผาไหม้

ผลจากการวิเคราะห์ส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด และระยะเวลาการเผาไหม้นานที่สุด อยู่ที่อัตราส่วน 66.38: 14.43: 5.0: 14.20 (แกลบเผา: ชานอ้อย: ทะลายปาล์ม: เหน้กมันสำปะหลัง) จะทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 15 MJ/kg และมีระยะเวลาการเผาไหม้นานถึง 20.024 นาที

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย ขอขอบคุณ
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สนับสนุน
ทุนอุดหนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย



References

- AOAC International. (2000). *Official method of analysis*. Washington, D.C.: Author.
- Chawkumpang, J. (2011). *A study and development of bio-coal in household industry*. An Independent Study Report for Master Degree of Engineering (Energy Engineering), Khon Kaen University. (in Thai)
- Department of Industrial Works. (2012). *Waste properties guide for transform fuel rod and interlocking block*. Bangkok: Author. (in Thai)
- Energy for Environment Foundation. (2014). *Biomass*. Retrieved from <http://www.efe.or.th> (in Thai)
- Haaland, P. D. (1989). *Experimental design in biotechnology*. New York: Marcel Dekker.
- Ministry of Energy. (2014). *Energy annual report 2014*. Retrieved from <http://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/energy-annual-report-2557.pdf> (in Thai)
- To-on, P., Wichayaphong, P., & Pansuwan, J. (2016). A Study of the Properties of Bagasse Ash for the Possibility in Making Light Weight Block. *RMUTI Journal*, 9(3), 1-10. (in Thai)

