การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเหลือจากไม้ไผ่

Feasibility study of biogas production from bamboo's residue

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์[1] **(LAKSAMEE SUTTHIWILAIRATANA)**
ประภัสสร ภาคอรรถ[2] **(PRAPASSORN PAKART)**
ขวัญรพี สิทตรีสะอาด[2] **(KHWANRAPEE SITTHEESAARD)**
วัชรินทร์ แซ่ฟุ้ง[3] **(WATCHARIN SAEFUNG)**

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเหลือจากไม้ไผ่ โดยใช้ส่วนใบของไม้ไผ่เลือกเฉพาะส่วนนิ่มป้อนเข้าเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพวันละ 5 กิโลกรัม พบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยวันละ 26.43 ลิตร มีองค์ประกอบก๊าซคือ มีเทน 43.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 53.2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 0.3 เปอร์เซ็นต์ การทำถ่านอัดแท่งจากถ่านเศษกิ่งไม้ไผ่บด 2,000 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50 100 150 และ 200 กรัม อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม โดยมีค่างานที่ได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.47 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 6.12 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 25.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,837.41 แคลอรีต่อกรัม และถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม โดยมีค่างานที่ได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.50 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 5.09 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 24.71 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,829.53 แคลอรีต่อกรัม

คำหลัก: ไม้ไผ่ เศษเหลือจากไม้ไผ่ พลังงาน ก๊าซชีวภาพ ถ่านอัดแท่ง

---

[1] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
[2] นักวิชาการเผยแพร่ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
[3] เจ้าพนักงานการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ

ABSTRACT

The feasibility study of biogas production from bamboo's residue was done by using soft part of bamboo leaf feed in biogas production machine 5 kg/day. The result found that leaf of bamboo could provide biogas about 26.43 l/day. The biogas components are methane 43.7%, carbondioxide 53.2 % and oxygen 0.3 %. Charcoal briquettes from bamboo residue were made by combining 2,000 g of fine charcoal with tapioca starch at 50, 100, 150 and 200 g. The suitable combination were using of 2,000 g fine charcoal mixed with 100 g tapioca starch which provided a work done value of 1.47, a burning rate value of 6.12 g/min, a heat utilization efficiency of 25.21 % and a calorific value of 5,837.41 cal/g, and also the combination of 2,000 g fine charcoal mixed with 150 g tapioca starch which provided a work done value of 1.50, a burning rate value of 5.09 g/min, a heat utilization efficiency of 24.71 % and a calorific value of 5,829.53 Cal/g.

Keywords: Bamboo, Bamboo residue, energy, biogas, charcoal briquette

คำนำ

ปัจจุบันโลกมีการพัฒนาขึ้นจากเดิมหลายๆ ด้าน ทั้งเทคโนโลยีการคมนาคม อุตสาหกรรม เครื่องใช้และอุปกรณ์ ซึ่งเป็นไปสำหรับความสะดวกในชีวิตประจำวันให้แก่มนุษย์ทำให้สังคมในยุคปัจจุบันมีความต้องการที่จะใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันแหล่งของพลังงานที่ใช้กลับมีปริมาณจำกัด และลดปริมาณลงเรื่อยๆ ไม่สามารถผลิตให้เพียงพอกับความต้องการในการใช้งานได้ ทางเลือกหนึ่งของการแก้ปัญหาเรื่องการใช้พลังงานของชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด คือการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทน ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ น่าจะก่อประโยชน์อย่างมหาศาลทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากเศษวัสดุเหลือใช้หรือเศษวัสดุชีวมวลสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม และสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทนในรูปต่างๆ ได้ ซึ่งหากสามารถนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนพลังงานได้มากขึ้นเท่าใด ก็จะเป็นการช่วยลดการจัดซื้อและจัดหาแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองได้มากขึ้น และเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนารูปแบบการใช้พลังงานจากไม้และเศษวัสดุเหลือใช้แบบอื่นๆ ที่มีมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจมากขึ้นอีกต่อไป

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์

1. เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
2. เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ
3. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ
4. ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ
5. เศษใบไผ่และเศษกิ่งไม้ไผ่
6. เตาถังเดี่ยว
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. ตู้อบความชื้น
9. เครื่องชั่ง
10. โถดูดความชื้น
11. เครื่องอัดถ่านแท่ง
12. แป้งมันสำปะหลัง
13. เครื่องบดย่อย
14. เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้
15. หม้ออลูมิเนียมเบอร์ 24

วิธีการ

1. การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษใบไผ่

นำเศษใบไผ่ (Figure 1) มาสับย่อยให้มีขนาดเล็กลง เลือกส่วนที่เป็นกิ่งหรือส่วนที่แข็งออก จากนั้นนำไปแช่น้ำไว้ให้อ่อนนิ่มเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ (Figure 2) นำใบไผ่ป้อนเข้าเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพวันละ 5 กิโลกรัม หมุนแกนกวนทุกวันเพื่อลำเลียงให้เศษใบไผ่เข้าสู่ถังหมักและผลักดันเศษใบไผ่ที่ถูกย่อยแล้วออกมา บันทึกปริมาณของก๊าซที่ได้ในแต่ละวันด้วยเครื่องวัดปริมาตรก๊าซเป็นเวลา 25 วัน เริ่มจากวันที่เติมวัตถุดิบลงไปและเครื่องสามารถผลิตก๊าซได้แบบคงที่ วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ เก็บก๊าซที่เกิดขึ้นไว้ในถุงเก็บก๊าซเพื่อเตรียมไว้ทดลองใช้งานโดยเชื่อมต่อกับเตาหุงต้มเพื่อประกอบอาหาร

Figure 1. Leaf of bamboo prepared for biogas production

Figure 2. Biogas production machine

2. การทำถ่านอัดแท่งจากเศษเหลือไม้ไผ่

เป็นการทดลองศึกษาเพิ่มเติมจากในแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีเศษเหลือไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบอยู่แล้ว โดยนำเศษกิ่งไม้ไผ่ขนาดเล็ก (Figure 3) มาเผาให้เป็นถ่านด้วยเตาถังเดี่ยว (Figure 4) นำถ่านที่ได้จากการเผามาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย จากนั้นนำไปทดลองอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดถ่านแท่ง โดยใช้ผงถ่าน 2,000 กรัม ผสมกับตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ กัน (Table 1) จับเวลาและวัดความยาวของแท่งถ่านที่อัดได้จากส่วนผสมแต่ละ

อัตราส่วน นำแท่งถ่านไปผึ่งให้แห้งเพื่อเตรียมนำไปทดสอบค่าพลังงานความร้อนและทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานต่อไป

Table 1. The combination between fine charcoal of bamboo residue twig and tapioca starch in different level

fine charcoal of bamboo recidue (g)	Tapioca starch (g)
2,000	50
2,000	100
2,000	150
2,000	200

จากนั้นนำถ่านอัดแท่งไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนโดยใช้ Adiabatic oxygen bomb calorimeter ตามวิธีการของ ASTM D 3172 and D 5865 และทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานโดยการต้มน้ำด้วยเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้ เติมน้ำในหม้อต้มน้ำอลูมิเนียมเบอร์ 24 น้ำหนักน้ำเท่ากับ 3,700 กรัม (ปริมาตร ¾ ของปริมาตรหม้อ) ปิดฝาหม้อ ต้มน้ำ โดยใช้ถ่านอัดแท่งจำนวน 400 กรัม เป็นเชื้อเพลิง สังเกตการแตกปะทุของถ่าน ปริมาณควันขณะติดไฟ บันทึกอุณหภูมิของน้ำตลอดเวลาจนกระทั่งน้ำเดือด บันทึกเวลาที่ใช้ไป จากนั้นเปิดฝาหม้อแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้น้ำเดือดต่ออีก 30 นาที บันทึกน้ำหนักน้ำและถ่านที่เหลือ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหางานที่ได้ อัตราการเผาไหม้และประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านจากสูตร

$$\text{งานที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ}}$$

$$\text{อัตราการเผาไหม้} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้งาน (\%)} = \frac{MCp\,(T_2-T_1) + (M-MI)\,L \times 100}{M_fH_1+M_kH_2}$$

เมื่อ M = น้ำหนักน้ำที่ใช้ทดลอง (กรัม)

MI = น้ำหนักน้ำที่เหลือหลังการเดือด (กรัม)

L = ความร้อนแฝงของน้ำเท่ากับ 540 แคลอรี/กรัม

Cp = ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 แคลอรี/กรัม

T_1 = อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

M_f = น้ำหนักของเชื้อเพลิง (กรัม)

M_k = น้ำหนักของเชื้อไฟ (กรัม)

H_1 = ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

H_2 = ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อไฟ (แคลอรีต่อกรัม)

Figure 3. Characteristic of bamboo residue before making charcoal briquette

Figure 4. Charcoaling of Bamboo residue twig by single drum kiln

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษใบไผ่

การทดลองนำเศษใบไผ่มาทดลองผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า สามารถผลิตก๊าซได้คงที่หลังจากเติมวัตถุดิบลงในเครื่องผลิตก๊าซวันละ 5 กิโลกรัมเป็นเวลา 8 วัน เมื่อเริ่มวัดปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นเวลาติดต่อกัน 25 วัน พบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยวันละ 26.43 ลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซพบว่า มีองค์ประกอบก๊าซ คือ มีเทน 43.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 53.2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 0.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบการใช้งานด้วยการประกอบอาหารสามารถใช้ประกอบอาหารได้ (Figure 5) แต่ต้องใช้เวลาหลายวันในการเก็บก๊าซเพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อการหุงต้มแต่ละครั้ง

Figure 5. Food cooking by using biogas from biogas production machine

2. การทำถ่านอัดแท่งจากเศษเหลือไม้ไผ่

การทดลองทำถ่านอัดแท่งจากเศษกิ่งไม้ไผ่ โดยใช้ถ่านบด 2,000 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 50 100 150 และ 200 กรัม อัดให้เป็นแท่งถ่านด้วยเครื่องอัดถ่านแท่งพบว่าสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ โดยได้ความยาวถ่านอัดแท่งเท่ากับ 310 294 288 และ 255 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม ให้ความยาวแท่งถ่านมากที่สุดเท่ากับ 310 เซนติเมตร และมีอัตราการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.81 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม ให้ความยาวแท่งถ่านน้อยที่สุดเท่ากับ 255 เซนติเมตร และมีอัตราการผลิตต่ำสุดเท่ากับ 0.64 เซนติเมตรต่อวินาที

Table 2. Length of charcoal briquettes of bamboo residue which made by 2,000 g of fine charcoal mixed with tapioca starch in different combination

tapioca starch (g)	time (s)	length (cm)	production rate (cm/s)
50	381	310	0.81
100	392	294	0.75
150	398	288	0.72
200	401	255	0.64

เมื่อนำถ่านอัดแท่งที่ได้ (Figure 6) ไปทดสอบการใช้งานด้วยเตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงของกรมป่าไม้ เพื่อหาค่างานที่ได้ อัตราการเผาไหม้ และประสิทธิภาพการใช้งานพบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม มีค่างานที่ได้เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.50 มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 5.09 กรัมต่อนาที และมีประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 24.71 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม มีค่างานที่ได้เฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.30 มีค่าอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 6.75 กรัมต่อนาที และมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานต่ำที่สุดเท่ากับ 23.35 เปอร์เซ็นต์

Figure 6. Charcoal briquette from bamboo residue

ถ่านอัดแท่งที่มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม โดยมีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,845.21 แคลอรีต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 150 และ 200 กรัม มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,837.41 5,829.33 และ 5,822.74 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ

Table 3. The work done, burning rate, heat utilization efficiency and calorific value of charcoal briquettes from bamboo residue which made by 2,000 g of fine charcoal mixed with tapioca starch in different combination

Tapioca starch (g)	50	100	150	200
average work done	1.30	1.47	1.50	1.43
average burning rate (g/min)	6.75	6.12	5.09	4.79
average heat utilization efficientcy (%)	23.35	25.21	24.71	24.15
average calorific value (cal/g)	5,845.21	5,837.41	5,829.53	5,822.74

คุณภาพและประสิทธิภาพการใช้งานของถ่าน สามารถเปรียบเทียบจากค่างานที่ได้อัตราการเผาไหม้ ประสิทธิภาพการใช้งาน และพลังงานความร้อนเฉลี่ย ถ่านที่มีคุณภาพดีกว่าจะมีค่างานที่ได้ประสิทธิภาพการใช้งาน และพลังงานความร้อนสูงกว่า แต่มีค่าอัตราการเผาไหม้ต่ำ ถ่านที่มีอัตราการเผาไหม้สูงเมื่อนำไปใช้งานจะทำให้น้ำเดือดเร็ว แต่ถ่านจะเผาไหม้หมดไปเร็ว และจะสิ้นเปลืองถ่านมากกว่าถ่านที่มีอัตราการเผาไหม้ต่ำ หรือถ่านที่มีอัตราการเผาไหม้ต่ำกว่าถือว่ามีลักษณะดีกว่าถ่านที่มีอัตราการเผาไหม้สูง เนื่องจากถ่านที่มีอัตราการเผาไหม้สูงจะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่า เชื้อเพลิงจะหมดเร็วกว่า ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการใช้งานต่ำกว่าด้วยนั่นเอง

จากการทดลองเห็นได้ว่า ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 50 100 150 และ 200 กรัม มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น โดยเท่ากับ 5,845.21 5,837.41 5,829.53 และ 5,822.74 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับการทดลองทำถ่านอัดแท่งจากถ่านเศษตอรากไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ถ่านบด 3,000 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 100 200 300 และ 400 กรัม โดยถ่านอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 3,118.12 3,100.04 3,047.80 และ 3,026.82 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ (ลักษมี และจิระพงษ์, 2548) การทดลองทำถ่านอัดแท่งจากเศษไม้สะเดาของลักษมี และคณะ (2557) พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 4,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 200 300 และ 400 กรัม มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,816.12 5,748.85 5,678.55 และ 5,577.66 แคลอรีต่อกรัม และค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านเศษไม้สะเดาบด 4,000 กรัม กับกาวแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 5 8 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,710.71 5,638.59 5,520.41 และ 5,514.72 แคลอรีต่อกรัม นอกจากนี้การทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วยที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านเปลือกกล้วยบด 2,000 กรัม กับกาว

แป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 5 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 6,104.26 5,765.62 และ 5,718.25 แคลอรีต่อกรัม (ลักษมี, 2554)

จากการทดลองนี้ ถ้าจะพิจารณาว่าส่วนผสมใดมีความเหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่งจากเศษเหลือไม้ไผ่มากที่สุด สามารถพิจารณาได้ 2 ส่วนผสมด้วยกันคือ ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ซึ่งมีค่างานที่ได้เฉลี่ย 1.47 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 6.12 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ย 25.21 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานความร้อนเฉลี่ย 5,837.41 แคลอรีต่อกรัม และถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ซึ่งมีค่างานที่ได้เฉลี่ย 1.50 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 5.09 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ย 24.71 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานความร้อนเฉลี่ย 5,829.53 แคลอรีต่อกรัม ทั้ง 2 ส่วนผสมมีค่างานที่ได้ อัตราการเผาไหม้ และประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่ส่วนผสมที่มีผงถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าส่วนผสมที่มีถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ดังนั้น หากต้องเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดน่าจะเลือกส่วนผสมที่มีถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม เนื่องจากมีค่าต่างๆ ใกล้เคียงกัน แต่ให้ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าและสิ้นเปลืองแป้งมันสำปะหลังน้อยกว่านั่นเอง และสามารถสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานและค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งจากเศษเหลือต่างๆ ได้ตามที่แสดงใน Table 4

Table 4. The comparison of heat utilization efficientcy and calorific value between charcoal briquette of defined charcoal 2,000 g mixed with tapioca 100 g from different residue

Type of residue	heat utilization efficientcy (%)	calorific value (cal/g)
twig of *Azadirachta siamensis*	26.63	5,748.85
bark of *Azadirachta siamensis*	24.71	4,936.70
twig of *Eucalyptus urophylla*	28.21	6,388.65
slap of *Eucalyptus urophylla*	29.70	6,685.29
residue of *Hevea sp*	27.54	6,870.00
Dendrocalamus brandisii	25.28	6,215.29
Dendrocalamus latiflorus	24.06	6,183.43
Bambusa sp.	25.29	5,893.19
Dendrocalamus sericeus	21.18	5,754.86

สรุปผล

1. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษใบไม้ไผ่ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยวันละ 26.43 ลิตร มีองค์ประกอบก๊าซ คือ มีเทน 43.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 53.2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 0.3 เปอร์เซ็นต์

2. การทำถ่านอัดแท่งจากถ่านเศษเหลือไม้ไผ่โดยใช้ผงถ่านบด 2,000 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50 100 150 และ 200 กรัม สามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ทุกอัตราส่วน อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ซึ่งมีค่างานที่ได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.47 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 6.12 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 25.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,837.41 แคลอรีต่อกรัม และถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ซึ่งมีค่างานที่ได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.50 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 5.09 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ย เท่ากับ 24.71 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5,829.53 แคลอรีต่อกรัม

เอกสารอ้างอิง

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์ ประภัสสร ภาคอรรถ ขวัญรพี สิทตรีสอาด และ วัชรินทร์ แซ่ฟุ้ง. 2557. พลังงานจากไม้สะเดา. เอกสารทางวิชาการ. งานพัฒนาพลังงานจากไม้, กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, กรมป่าไม้. 14 หน้า.

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์. 2554. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล. เอกสารทางวิชาการ. งานพัฒนาพลังงานจากไม้, กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, กรมป่าไม้. 11 หน้า.

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์. และ จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2548. พลังงานจากตอรากไม้ยูคาลิปตัส. เอกสารทางวิชาการ. กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้, สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, กรมป่าไม้. 22 หน้า.