รายงานการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรและปาล์มน้ำมัน

BRIQUETTE FUEL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL AND OIL PALM WASTE

โดย

นฤมล ภานุนำภา	(NARUMOL PANUNUMPA)
จิระพงษ์ คูหากาญจน์	(CHIRAPONG KUHAKAN)
ฐิติภรณ์ บุญแย้ม	(TITIPORN BOONYAM)
เฉลิมพล สุขสี	(CHALERMPOL SUKSI)
เบญจวรรณ จุลจุฬา	(BENJAWAN JUNJULA)
เพ็ญ อุรีรักษ์	(PEN UREERAK)

งานพัฒนาพลังงานจากไม้ กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

พ.ศ. 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยและทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมันมีวัตถุประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุทางการเกษตรและเป็นพลังงานทดแทนฟืนและถ่านแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์เศษไม้โตเร็วและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างยั่งยืน โครงการวิจัยดำเนินการระหว่างปีงบประมาณ 2551-2555 รวม 5 ปี ได้รับงบประมาณ เป็นเงินทั้งสิ้น 346,600 บาท ศึกษาทดลองในพื้นที่ศูนย์พัฒนาพลังงานจากไม้ จังหวัดสระบุรี ศูนย์ส่งเสริมและเผยแพร่เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ไม้ขนาดเล็กและของป่า จังหวัดขอนแก่น พื้นที่ปลูกปาล์มของเกษตรกร จังหวัดชุมพร และห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ผลการทดสอบเพื่อหาผลผลิตถ่านจากกาบและทางปาล์มด้วยเตาเผาถ่านสามประเภทสรุปได้ว่า เตาอิฐก่อให้ผลผลิตถ่านสูงสุด คือร้อยละ 30.34 รองลงมาคือเตาดินเหนียวก่อและเตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้ ให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 21.01 และ 18.69 ตามลำดับ เมื่อทดลองใช้ถ่านกาบปาล์ม ถ่านทางปาล์ม ใบปาล์มสด กาบปาล์มสด ทางปาล์มสด ผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ รวม 32 สูตรโดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานให้เชื้อเพลิงสามารถอัดเป็นแท่งได้ ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรถ่านกาบปาล์มผสมกับถ่านยูคาลิปตัส สูตรกาบปาล์มสดผสมขุยมะพร้าว สูตรใบปาล์มผสมขุยมะพร้าวและชานอ้อย สูตรงวงปาล์มผสมซังข้าวโพดและชานอ้อยหรือขี้เลื่อยมีคุณภาพพอใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีคุณภาพไม่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก ให้ไฟไม่แรง มีเขม่าและขี้เถ้ามาก

คำหลัก:// เชื้อเพลิงอัดแท่ง เศษวัสดุการเกษตร ปาล์มน้ำมัน

Abstract

The objective of briquette fuel production from agricultural and oil palm waste project is to find a suitable mixture proportion of briquette with higher quality and more efficiency usage. The project is aimed to promote fast growing tree and agri–residues for sustainable usage. it was launched 5 years ago during 2008–2012 with the budget of 346,600 Baht. Study sites are Wood Energy Research Center in Saraburi province, The Extension and Development Utilization of Small Timber and Non–Wood Forest Product Center in Khon Khan province, farmer's palm land in Chumporn province and Forest Product Research and Development Bureau. The results demonstrates that production of palm branch and palm sheath charcoal from brick beehive kiln has the highest compared to mud beehive kiln and single drum kiln with the percentage of 30.04, 21.01, 18.69, respectively. The efficiency of all briquettes with 32 formulas of mixtures from palm branch and palm sheath charcoal, palm leaves, palm branch, palm sheath, some agri–residues waste and glue from tapioca were different. The briquette with formula of palm sheath charcoal and Eucalyptus charcoal, palm sheath and coconut flake, palm leaves and coconut flake and bagasse, palm bunch and corncob with bagasse or sawdust can be used as fuel while the others cannot, due to the reasons of low heat as well as the abundance of smoke and ash.

Keywords: Briquetted fuel. Agricultural residues, Palm oil

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(2)
สารบัญ	(3)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(5)
บทนำ	1
วิธีการศึกษา	2
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	5
สรุป	16
บรรณานุกรม	17

สารบัญตาราง

Table 1 Compositions of Charcoal briquette from agricultural and oil palm wastes 3

Table 2 Compositions of green fuel briquettes from agricultural and oil palm wastes 4

Table 3 Average results of palm branch and palm sheath charcoal output of three kilns 8

Table 4 Average results of charcoal briquette quality from agricultural and oil palm wastes 11

Table 5 Average results of green fuel briquette quality from agricultural and oil palm wastes 12

Table 6 Heating Values of some biomass fuels and biomass briquetted fuels 14

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 เตาถังเดี่ยว เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐก่อของกรมป่าไม้ที่ใช้ในการทดลอง 7
ภาพที่ 2 เครื่องอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเย็น กาบปาล์ม และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากปาล์ม 9
ภาพที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการต้มน้ำ 10

บทนำ

ในการปลูกปาล์มน้ำมันนั้นส่วนใหญ่จะมีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก เช่น กาบใบ, กะลาปาล์มน้ำมัน ตลอดจนลำต้น และตอรากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเศษวัสดุเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ได้เช่น การใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปฟืน การเพาะเห็ด การนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยการใช้เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อรักษาความชุ่มชื้น การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันมาพัฒนาและใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ปาล์มน้ำมันและเศษวัสดุของปาล์มน้ำมัน โดยจะเป็นการเพิ่มแหล่งผลิตพลังงานทดแทนฟืนและถ่าน ซึ่งทำให้ลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอีกทางหนึ่ง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการนำเศษวัสดุของปาล์มน้ำมันมาเผาเป็นถ่านโดยใช้วิธีการเผาด้วยเตาเผาถ่าน 3 ชนิด คือ เตาอิฐก่อ เตาดินเหนียวก่อและเตาถังน้ำมัน เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงสุด ทำการทดลองอัดเชื้อเพลิงโดยใช้วิธีการอัดแท่งแบบอัดเย็น โดยใช้ถ่านทางปาล์ม ถ่านกาบปาล์ม ส่วนต่าง ๆ ของปาล์มสด และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบ รวมถึงการหาส่วนผสมของตัวประสาน ที่จะทำให้เชื้อเพลิงจากปาล์มมีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้ประโยชน์ผลิตผลป่าไม้และเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

1. อุปกรณ์

1. ทางปาล์มและกาบปาล์ม ทั้งส่วนที่เป็นวัสดุการเกษตรสดและส่วนที่นำมาทำเป็นถ่าน
2. ใบปาล์ม งวงปาล์ม ซังข้าวโพด ถ่านซังข้าวโพด ขุยมะพร้าว ชานอ้อยเน่าเปื่อย ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านสบู่ดำ ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านแอนทราไซด์
3. แป้งมันสำปะหลัง
4. เตาเผาถ่านแบบเตาถังเดี่ยว
5. เตาดินเหนียวก่อขนาด 1 ลบ.ม.
6. เตาอิฐก่อขนาด 2 ลบ.ม.
7. เตาประสิทธิภาพสูงกรมป่าไม้ เตาถ่าน ปม.1 เตาฟืน ปม.2
8. เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb Calorimeter)
9. อุปกรณ์ทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิง ได้แก่ เครื่องชั่ง หม้ออลูมิเนียม เบอร์ 24 น้ำ เชื้อไฟ ไม้ขีดไฟ ที่คีบถ่าน ภาชนะใส่ถ่าน และเทอร์โมมิเตอร์

2. วิธีการทดลอง

1. การเผาเศษวัสดุปาล์มน้ำมันให้ได้ผลผลิตและคุณภาพถ่านที่ดีด้วยเตาเผาถ่าน 3 ชนิด คือ เตาถังเดี่ยว เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐก่อ โดยใช้ส่วนที่เป็นทางปาล์ม และกาบปาล์มเป็นวัตถุดิบ

2. การทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยแบ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสภาพเป็นถ่าน และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นเชื้อเพลิงสดหรือเชื้อเพลิงเขียว คือมีสภาพเทียบเท่าไม้ฟืน

2.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นถ่านใช้ส่วนผสมของถ่านจากวัสดุทางปาล์ม กาบปาล์ม ถ่านซังข้าวโพด ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านแอนทราไซด์ ถ่านสบู่ดำ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง

2.2 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เทียบเท่าไม้ฟืน ใช้เศษวัสดุทางการเกษตรจำนวน 9 ชนิด คือ ซังขนุน ซังข้าวโพด ชานอ้อยหรือกากอ้อย ขุยมะพร้าว เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกส้มโอ เปลือกกล้วย ขี้เลื่อยไม้ ยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์ ผสมกับเศษวัสดุจากปาล์มน้ำมันส่วนที่เป็นใบปาล์มและงวงปาล์มซึ่งก็คือ ช่อดอกตัวผู้ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและเศษวัสดุทางการเกษตรเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน รายละเอียดของส่วนผสมแต่ละสูตรดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

3. การทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานเพื่อการหุงต้มของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุปาล์มน้ำมันผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรแต่ละชนิดแต่ละสูตร โดยใช้มาตรฐานการทดสอบของกรมป่าไม้ตามเอกสารอ้างอิงของ Chomcharn *et al.* [1] (1984)

4. การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมันและจากเศษวัสดุทางการเกษตรที่ผลิตจากตัวประสานและส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยใช้มาตรฐานการทดสอบของกรมป่าไม้ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์รุ่น Parr 6300 รายละเอียดการหาค่าความร้อนปรากฏในคู่มือการหาค่าความร้อนตามเอกสารอ้างอิงของนฤมล (2553)

5. การส่งเสริมและเผยแพร่องค์ความรู้งานวิจัยนี้สู่เกษตรกรและชุมชนในรูปแบบการจัดโปสเตอร์และนิทรรศการ การบรรยายและการสาธิตในโอกาสต่าง ๆ ของการจัดกิจกรรมประชาสัมพันธ์ของกรมป่าไม้และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

6. การจัดทำรายงานและสื่อเผยแพร่ ได้แก่การทำแผ่นพับ การจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าผลิตผลป่าไม้

Table 1 Compositions of Charcoal briquette from agricultural and oil palm wastes

Sample	Compositions	Mixing ratio
1	palm branch charcoal:flour	1 kg : 100 g
2	palm branch and palm sheath charcoal:flour	1 kg : 1 kg : 200 g
3	palm branch charcoal:coconut shell charcoal:flour	1 kg : 1 kg : 100 g
4	palm branch charcoal:anthracite charcoal:flour	300 g : 300 g : 100 g
5	palm branch charcoal:corncob charcoal:flour	300 g : 300 g : 100 g
6	palm branch charcoal:Jatropha charcoal:flour	300 g : 300 g : 100 g
7	palm branch charcoal:Eucalyptus charcoal:flour	300 g : 300 g : 100 g
8	palm sheath charcoal:flour	1 kg : 50 g
9	palm sheath charcoal:coconut shell charcoal:flour	1 kg : 500 g : 50 g
10	palm sheath charcoal:anthracite charcoal:flour	500 g : 500 gm : 50 g
11	palm sheath charcoal:corncob charcoal:flour	500 g : 500 g : 50 g
12	palm sheath charcoal:Eucalyptus charcoal:flour	500 g : 500 g : 50 g
13	Anthracite charcoal:flour	1 k : 50 g
Note:	Flour: is glue from tapioca flour/palm branch = ทางปาล์ม	palm sheath = กาบปาล์ม

Table 2 Compositions of green fuel briquettes from agricultural and oil palm wastes

Sample	Compositions	Mixing ratio
14	palm leaves:bagasse	1 kg : 1 kg
15	palm leaves:corncob:bagasse	1 kg : 1 kg. : 500 g
16	palm leaves:corncob	1 kg : 1 kg
17	palm leaves:coconut flake:bagasse	1 kg : 1 kg : 500 g
18	palm leaves:coconut flake:anthracite charcoal	1 kg : 1 kg : 500 g
19	palm leaves:corncob:anthracite charcoal	1 kg : 1 kg : 500 g
20	palm bunch:bagasse	1 kg : 1 kg
21	palm bunch:corncob:bagasse	1 kg : 1 kg : 500 g
22	palm bunch:corncob:sawdust	1 kg : 1 kg : 500 g
23	palm bunch:coconut flake:bagasse	500 g : 500 g : 500 g
24	palm bunch:coconut flake:anthracite charcoal	500 g : 500 g : 500 g
25	palm bunch:corncob:anthracite charcoal	500 g : 500 g : 500 g
26	palm sheath:bagasse	1 kg : 1 kg
27	palm sheath:coconut flake:bagasse	1 kg : 500 g : 500 g
28	palm sheath:coconut flake:cassava	500 g : 500 g : 500 g
29	palm sheath:coconut flake:jackfruit fibre	500 g : 500 g : 500 g
30	palm sheath charcoal:pomelo bark	1 kg : 500 g
31	palm sheath charcoal:banana bark	1 kg : 500 g
32	palm sheath charcoal:sawdust from Leucaena	500 g : 500 g

Note: All samples composed of 100 g glue from tapioca

palm leave = ใบปาล์ม ; palm bunch = งวงปาล์ม ; palm sheath = กาบปาล์ม

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การหาผลผลิตถ่านทางปาล์มและกาบปาล์มด้วยเตาเผา 3 ชนิด

งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ส่วนที่เป็นกาบปาล์มซึ่งเป็นส่วนที่ลอกหลุดออกจากลำต้น มีขนาดใหญ่ และทางปาล์มซึ่งเป็นก้านใบที่มีขนาดเล็กกว่ากาบปาล์ม เผาเป็นถ่านด้วยเตาเผาถ่าน 3 แบบ ของกรมป่าไม้ตามวิธีการเผาของ chomcham *et al.*[2] (1984) เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ ระยะเวลาในการเผาด้วยเตาแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป แต่การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture content) น้ำหนักแห้ง (Oven dried weight) ผลผลิตถ่านสุทธิ (Yield) อัตราผลผลิตถ่าน (Production rate) และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ (Conversion efficiency) จะใช้หลักการเดียวกัน โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}} \times 100$$

น้ำหนักของไม้อบแห้ง คือ การนำไม้ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของไม้ไม่เปลี่ยนแปลง คือ แห้งสนิท (Oven dry weight; O.D.)

$$\text{ผลผลิตถ่านสุทธิ (Yield, \%)} = \frac{\text{น้ำหนักถ่านปาล์ม}}{\text{น้ำหนักอบแห้งของปาล์ม} - \text{น้ำหนักส้นถ่าน}} \times 100$$

โดยที่น้ำหนักของปาล์มที่ใช้เผาถ่านทั้งหมดจะรวมถึงไม้หน้าเตา ซึ่งน้ำหนักทั้งหมดนี้จะถูกแปลงเป็นค่าอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณกลับไปมาได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักอบแห้งของปาล์ม} = \frac{\text{น้ำหนักสดของปาล์ม}}{(\text{ปริมาณความชื้น} / 100) + 1}$$

ในการทดลองหาปริมาณความชื้นของปาล์มสดจะได้จากการสุ่มชิ้นทางปาล์มและกาบปาล์ม 10 ชิ้น มาชั่งหาน้ำหนักสด แล้วนำไปอบแห้งจนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงนำมาคำนวณตามสูตรข้างบนดังกล่าว

$$\text{อัตราผลผลิตถ่าน, กก./ชั่วโมง} = \frac{\text{น้ำหนักถ่านที่ได้}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการเผาถ่าน}}$$

โดยจำนวนชั่วโมงที่ใช้เผาทั้งหมดเริ่มนับตั้งแต่การจุดไฟจนถึงการปิดหน้าเตา และน้ำหนักถ่านที่ได้ไม่รวมส้นถ่าน

$$\text{ประสิทธิภาพของการเผาไหม้} = \frac{\text{ค่าความร้อนของถ่าน} \times \text{น้ำหนักถ่านที่ได้}}{\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} \times (\text{น้ำหนักเชื้อเพลิงสด} - \text{ส้นถ่าน})} \times 100$$

การเผาถ่านกาบปาล์มและถ่านทางปาล์มใช้เตาเผาถ่าน 3 ชนิด คือ เตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้ (Single Drum) เตาดินเหนียวก่อ (Mud beehive) และเตาอิฐก่อ (Brick beehive) รายละเอียดของเตาแต่ละชนิดมีดังนี้

1.1 เตาถังเดี่ยว

เตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้เป็นเตาโลหะที่สามารถเคลื่อนย้ายไปทำการเผาถ่านในที่ต่างๆ ได้ ใช้เวลาในการเผารวมเวลาที่รอให้เตาเย็นเพื่อนำถ่านออกเพียง 1–2 วัน มีอายุการใช้งาน 2–3 ปี ปริมาณไม้ที่นำเข้าเผาต่อครั้งไม่เกิน 100 กก. ได้ปริมาณถ่าน 12–20 กก. ไม่สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ มีข้อดีคือราคาถูกเคลื่อนย้ายสะดวกและสามารถทำใช้เองได้ ราคาค่าใช้จ่ายต่อลูกประมาณ 1,000 – 1,500 บาท

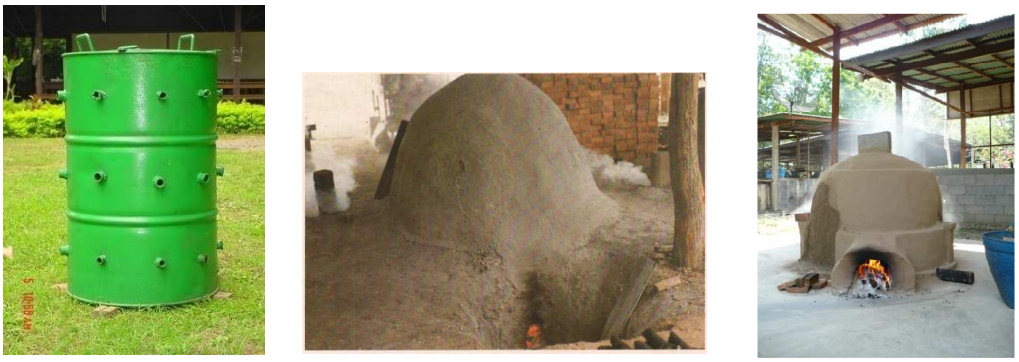
1.2 เตาดินเหนียวก่อ

เตาดินเหนียวก่อกรมป่าไม้ เป็นเตาเผาถ่านพัฒนาที่ออกแบบมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 การวิจัยครั้งนี้ใช้เตาดินเหนียวก่อขนาดบรรจุ 1.5 ลบ.ม. หน้าเตาสำหรับการจุดไม้ฟืนเพื่อเผาไม้ในเตาให้เป็นถ่านและภายในเตาสำหรับใส่ไม้ฟืนอยู่ลึกลงไปใต้ระดับผิวดินประมาณ 0.5 ม. ใช้เวลาในการเผาและนำถ่านออกได้ประมาณ 3–4 วัน มีอายุการใช้งาน 2–5 ปี ปริมาณไม้ที่นำเข้าเผาต่อครั้งไม่เกิน 400 กก. ได้ปริมาณถ่าน150–200 กก. สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ มีข้อดีคือราคาถูก ก่อสร้างไม่ยาก ซ่อมแซมเองได้ ข้อเสียคือไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ต้องสร้างในที่ดอนและต้องให้มีหลังคากันฝน ราคาค่าใช้จ่ายต่อลูกประมาณ 2,000 – 2,500 บาท

1.3 เตาอิฐก่อพัฒนาของกรมป่าไม้

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เตาอิฐก่อขนาดบรรจุ 1 ลบ.ม. ก่อสร้างด้วยอิฐมอญ ดินเหนียว และทราย ช่องใส่ไม้ฟืนและช่องใส่ไฟไม่อยู่ที่เดียวกัน ใช้เวลาในการเผาและนำถ่านออกได้ประมาณ 2–3 วัน มีอายุการใช้งาน 5–10 ปี ปริมาณไม้ที่นำเข้าเตาเผาต่อครั้งไม่เกิน 300 กก. ได้ปริมาณถ่าน 80–150 กก. สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ มีข้อดีคือแข็งแรง มีอายุการใช้งานนาน ซ่อมแซมเองได้ ข้อเสียคือ

ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ต้องสร้างในที่ดอนและต้องให้มีหลังคากันฝน ราคาค่าใช้จ่ายต่อลูกประมาณ 3,000 – 5,000 บาท



ภาพที่ 1 เตาถังเดี่ยว เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐก่อของกรมป่าไม้ที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดสอบเพื่อหาผลผลิตถ่านจากกาบและทางปาล์มด้วยเตาเผาถ่านทั้งสามประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3 สรุปได้ว่า เตาอิฐก่อให้ผลผลิตถ่านสูงสุด คือร้อยละ 30.34 รองลงมา คือ เตาดินเหนียวและเตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้ ให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 21.01 และ 18.69 ตามลำดับ แต่เตาอิฐก่อต้องใช้เวลาที่ใช้ในการเผาถ่านนานกว่าเตาดินและเตาถังเดี่ยว ปริมาณส้นถ่านเมื่อเผาด้วยถังเดี่ยวจะค่อนข้างมากในขณะที่เตาอิฐก่อมีปริมาณส้นถ่านเพียงเล็กน้อยและเตาดินเหนียวไม่มีส้นถ่านเลย

Table 3 Average results of palm branch and palm sheath charcoal output of three kilns

Items	Kiln types		
	Single drum	Mud beehive	Brick beehive
Wood weight, kg	80	66.5	163
Moisture content, %	326	10	326
Calculated O.D.weight, kg	18.78	60.45	38.26
Firewood used, kg	0	10	47
Operating time, hr	8	18	28
Max kiln temp., °C	–	449	508
Max smoke temp., °C	–	120	142
Charcoal output			
– lump, kg	1	12.7	11
– brand, kg	14.5	0	2
Yield, %	18.69	21.01	30.34
Production rate , kg/hr	0.13	0.7	0.39

Note: During operation of the Single Drum, the combustion will cease if the lid is covered, and will continue if the lid is left opened. As a result of the former, palm branch and palm sheath will be burnt to ashes.

2. การหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมัน

จากตารางที่ 1 แสดงถึงอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านทางปาล์ม ถ่านกาบปาล์ม กับถ่านกะลามะพร้าว ถ่านซังข้าวโพด ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านแอนทราไซด์ กับกาวแป้งมันสำปะหลัง คุณภาพของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งทางกายภาพคือน้ำหนัก ความแข็ง และความแน่นของเชื้อเพลิงคือไม่หลุดหรือยุ่ยออกจากกันขณะหยิบจับใช้งาน มีคุณภาพใกล้เคียงกันทุกสูตรถ้าใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยถ่านทางปาล์มจะต้องใช้กาวแป้งมันมากกว่าถ่านกาบปาล์ม แสดงว่าถ่านกาบปาล์มมีความหนาแน่นและสามารถเป็นตัวประสานเชื้อเพลิงได้ดีกว่าถ่านทางปาล์ม สำหรับถ่านแอนทราไซด์ก็เป็นตัวประสานเชื้อเพลิงได้ดีเช่นกัน

จากตารางที่ 2 แสดงถึงอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งสดที่ประกอบด้วยเศษวัสดุจากปาล์มและเศษวัสดุทางการเกษตร โดยทุกสูตรมีกาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ผลการทดสอบการอัดแท่ง พบว่าทุกสูตรสามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวได้โดยไม่หลุดยุ่ยออกจากกัน ยกเว้นใบปาล์มต้องใช้ถ่านเป็นตัวประสานช่วยจึงจะสามารถอัดเป็นแท่งได้ และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งสดทุกสูตรมาทดสอบหาประสิทธิภาพการต้มน้ำด้วยเตาฟืนประสิทธิภาพสูง ปม.2 จะให้ผลการทดสอบแตกต่างกัน

ลักษณะของเครื่องอัดเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านและเชื้อเพลิงสด ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 เครื่องอัดเชื้อเพลิงแบบอัดเย็น กาบปาล์ม และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากปาล์ม

3. การหาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากปาล์มและเศษวัสดุทางการเกษตร

ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 แสดงถึงผลการทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นถ่านด้วยวิธีการทดสอบการต้มน้ำโดยใช้เตาถ่านประสิทธิภาพสูงปม.1 และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นเชื้อเพลิงเขียวด้วยเตาฟืนประสิทธิภาพสูง ปม.2 เพื่อหาค่าระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด ค่างานที่ได้ อัตราการเผาไหม้กรัมต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายของการทดลอง ลักษณะการติดไฟ เขม่า ขี้เถ้า และค่าประสิทธิภาพการใช้งาน (Heat Utilization) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านสูตรกาบปาล์มผสมกับถ่านยูคาลิปตัส สูตรกาบปาล์มสดผสมขุยมะพร้าว และสูตรใบปาล์มผสมขุยมะพร้าวและชานอ้อย สูตรงวงปาล์มผสมซังข้าวโพดและชานอ้อยหรือขี้เลื่อยมีคุณภาพพอใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีคุณภาพไม่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก ให้ไฟไม่แรง มีเขม่าและ ขี้เถ้ามาก จากการสังเกตการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านยูคาลิปตัส ขี้เลื่อยจากไม้และขุยมะพร้าว ทุกสูตรจะให้ผลการทดลองค่อนข้างดีกว่าสูตรอื่น ทั้งนี้เนื่องจากถ่านยูคาลิปตัส ขี้เลื่อย และขุยมะพร้าวมีค่าความร้อนสูงกว่าเศษวัสดุทางการเกษตรอื่น ๆ สภาวะในขณะทดสอบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการต้มน้ำ

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาเป็นรายคู่ระหว่างใบปาล์มกับงวงปาล์มเมื่อนำมาผสมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดเดียวกัน เช่น ใบปาล์ม + ชานอ้อย กับ งวงปาล์ม + ชานอ้อย หรือ ใบปาล์ม + ขุยมะพร้าว + ชานอ้อย กับงวงปาล์ม + ขุยมะพร้าว+ ชานอ้อย ฯลฯ จะพบว่าสูตรของใบปาล์มผสมกับเศษวัสดุการเกษตรเกือบทุกสูตรดีกว่าสูตรงวงปาล์มผสมกับเศษวัสดุการเกษตร คือทำให้น้ำเดือดได้ดีกว่า ให้ไฟแรงกว่า อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำก็จะสูงกว่า รวมถึงค่าความร้อนของใบปาล์มก็สูงกว่างวงปาล์ม (ตารางที่ 6) แสดงว่าใบปาล์มมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงดีกว่างวงปาล์ม สำหรับเศษวัสดุทางการเกษตรพบว่า ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ซังข้าวโพด และชานอ้อย มีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงจากดีมากถึงดีน้อยเรียงตามลำดับ และกาบปาล์ม

ทางปาล์ม ใบปาล์ม งวงปาล์ม มีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงจากดีมากถึงดีน้อยเรียงตามลำดับเช่นกัน

Table 4 Average results of charcoal briquette quality from agricultural and oil palm wastes

Samples	Boiling time	Work done	Burning rate	Last temp.	Heat utilization
	min [1]	g H_2O/g fuel [2]	g/min	°C	%
1. palm branches charcoal	non	0.14	4.33	78.50	13.68
2. palm branches and palm sheath charcoal	non	0.51	3.57	83.50	13.12
3. palm branches charcoal:coconut shell charcoal	non	0.58	3.03	92.50	14.04
4. palm branches charcoal:anthracite charcoal	non	0.09	3.37	66.50	19.37
5. palm branches charcoal:corncob charcoal	non	0.42	3.52	90.00	20.32
6. palm branches charcoal:Jatropha charcoal	non	0.11	3.04	68.50	25.09
7. palm branches charcoal:Eucalyptus charcoal	50	0.80	4.32	75.00	16.86
8. palm sheath charcoal	non	0.14	4.33	80.70	14.93
9. palm sheath charcoal:coconut shell charcoal	non	0.10	4.17	78.00	14.74
10. palm sheath charcoal:anthracite charcoal	60	0.68	5.01	86.00	19.13
11. palm sheath charcoal:corncob charcoal	non	0.31	3.71	92.00	19.46
12. palm sheath charcoal:Eucalyptus charcoal	40	0.82	5.31	76.50	15.71
13. Anthracite charcoal	non	0.00	2.50	64.00	19.99

Table 5 Average results of green fuel briquette quality from agricultural and oil palm wastes

Samples	Boiling time	Work done	Burning rate	Last temp.	Heat utilization
	min [1]	g H_2O/g fuel [2]	g/min	°C	%
14. palm leaves:bagasse	45	0.34	9.40	80.00	15.56
15. palm leaves:corncob:bagasse	34.5	0.51	10.07	75.50	14.09
16. palm leaves:corncob	50	0.43	11.29	73.00	13.88
17. palm leaves:coconut flake:bagasse	33.5	0.47	11.03	77.00	15.62
18. palm leaves:coconut flake:anthracite charcoal	68	0.44	6.89	61.00	14.03
19. palm leaves:corncob:anthracite charcoal	48	0.49	10.45	74.00	12.32
20. palm bunch:bagasse	49	0.40	10.11	78.00	13.29
21. palm bunch:corncob:bagasse	50	0.35	9.38	74.00	17.77
22. palm bunch:corncob:sawdust	36	0.49	9.85	76.00	15.08
23. palm bunch:coconut flake:bagasse	47	0.49	7.69	70.50	17.03
24. palm bunch:coconut flake:anthracite charcoal	52	0.71	7.39	87.00	17.52
25. palm bunch:corncob:anthracite charcoal	69	0.37	8.83	81.50	11.03
26. palm sheath:bagasse	56.5	0.36	7.52	80.00	12.45
27. palm sheath:coconut flake	24.0	0.75	13.33	90.00	17.25
28. palm sheath:coconut flake:cassava	25.5	0.63	8.94	86.00	16.61
29. palm sheath:coconut flake:jackfruit fibre	30.7	0.67	10.64	88.70	15.17
30. palm sheath charcoal:pomelo bark	34.5	0.52	12.31	90.50	12.57
31. palm sheath charcoal:banana bark	59	0.23	15.45	82.50	7.27
32. palm sheath charcoal:sawdust from Leucaena	non	0.23	10.13	75.00	8.82

Note: 1: Boiling time means the time in which the water in the pot remained boiling prior to the heat energy becoming exhausted.

2: Work done means gram of water evaporated per gram of fuel used.

3: Non: means water has not been boiled.

4. การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนผสมของเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านจะมีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงที่เป็นไม้หรือเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ยังมิได้ถูกเผาเป็นถ่านหรือที่เรียกกันว่าเชื้อเพลิงเขียว เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมของไม้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงที่เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรล้วน ๆ เนื่องจากไม้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรมากกว่าพืชเกษตรและมีปริมาณขี้เถ้าน้อยกว่าพืชเกษตร ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้แก่ ปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ขนาดและผิวหน้าของเชื้อเพลิงในขณะเผาไหม้ และถ้าเป็นเชื้อเพลิงถ่านจะขึ้นอยู่กับวิธีการเผาเชื้อเพลิงให้เป็นถ่านและชนิดของเตาเผาถ่านด้วย

ถ่านที่มีค่าความร้อนของการสันดาปสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือน ไม่จำเป็นต้องใช้ถ่านที่มีค่าความร้อนของการสันดาปสูงสุด ตัวอย่างเช่นถ่านไม้โกงกางที่นิยมใช้ในการหุงต้มอาหารมีค่าความร้อนของสันดาปเพียง 6,000–6,500 แคลอรี/กรัม ในขณะที่ถ่านไม้ยางพาราและไม้ยูคาลิปตัส มีค่าความร้อนของสันดาปสูงถึง 7,200–7,500 แคลอรี/กรัม แต่ไม่เป็นที่นิยมแม้ว่าราคาจะถูกกว่าถ่านไม้โกงกางมาก การเผาถ่านให้มีค่าความร้อนของสันดาปสูงจึงไม่จำเป็นในกรณีที่ต้องการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้ม เพราะการเผาถ่านให้ได้ค่าความร้อนสูงๆจะทำให้ได้ผลผลิตถ่านต่ำ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เป็นถ่านจะมีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ยังสดหรือเป็นเชื้อเพลิงเขียว และมีค่าต่ำกว่าค่าความร้อนของถ่านและไม้มากเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรรวมถึงปาล์มน้ำมันน้อยกว่าไม้มาก อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสองแบบก็สามารถนำมาใช้ในการหุงต้มอาหารได้แต่ต้องเลือกประเภทของอาหารที่จะทำให้สุก การทำอาหารที่เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมันได้แก่ อาหารประเภทปิ้ง ย่าง ตุ๋น เคี่ยว ซึ่งการทำอาหารเหล่านี้ไม่ต้องการใช้ไฟแรงเหมือนการผัด การต้ม

จากตารางที่ 6 แสดงถึงปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละสูตร จะพบว่าเศษวัสดุการเกษตรที่มาจากไม้ เช่น ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์ จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าเศษวัสดุทางการเกษตรเช่นซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ชานอ้อยหรือกากอ้อย ซังขนุน เปลือกส้มโอ ยกเว้นขุยมะพร้าวและกะลามะพร้าวและส่วนต่าง ๆ ของปาล์ม ที่มีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไม้ แต่เมื่อนำมาเผาใช้งาน ไม้จะมีปริมาณขี้เถ้าและเขม่าน้อยกว่า จึงเป็นเหตุผลที่กาบปาล์ม ทางปาล์ม งวงปาล์มและใบปาล์ม เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงให้ค่าประสิทธิภาพการหุงต้มไม่ดี เว้นเสียแต่จะมีส่วนผสมของขี้เลื่อยไม้และขุยมะพร้าวอยู่ด้วย เชื้อเพลิงที่เผาไหม้แล้ว

เกิดขี้เถ้ามาก ขี้เถ้าจะจับอยู่ที่ตัวเชื้อเพลิงทำให้ความร้อนไม่สามารถส่งผ่านให้ภาชานะหุงต้มได้เต็มที่ ค่างานที่ได้และประสิทธิภาพการหุงต้มน้ำจึงต่ำแม้ว่าตัวเชื้อเพลิงจะมีค่าความร้อนสูงก็ตาม

การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงใช้เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น Parr 6300 ซึ่งใช้งานประจำที่สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ตัวอย่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดังแสดงในตารางที่ 6

Table 6 Heating Values of some biomass fuels and biomass briquetted fuels

Samples	Heating value (Kcal/kg)	Sources
cassava or tapioca	1,780	Energy for Environment Foundation
corncob	2,700	Energy for Environment Foundation
coconut flake or fuzz	4,380	Wood Energy Development Section
bagasse	3,172	Wood Energy Development Section
saw dust	4,461	Wood Energy Development Section
palm bunch	4,104	Wood Energy Development Section
palm leaves	4,151	Wood Energy Development Section
palm branch	4,125	Wood Energy Development Section
palm sheath	4,163	Wood Energy Development Section
sawdust of *Leucaena leucocephala*	3,870	Wood Energy Development Section
sawdust of *Eucalyptus camaldulensis*	4,500	Wood Energy Development Section
physic nut *Jatropha curcas*	3,763	Applied Scientific Research Corporation of Thailand
Anthracite charcoal	4,631	Wood Energy Development Section
cassava charcoal	4,050	Applied Scientific Research Corporation of Thailand
corncob charcoal	4,351	Applied Scientific Research Corporation of Thailand
coconut shell charcoal	7,760	Wood Energy Development Section
palm branchs charcoal	6,650	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal	6,532	Wood Energy Development Section
palm branches and palm sheath	6,590	Wood Energy Development Section
palm branches charcoal:coconut shell	7,205	Wood Energy Development Section
palm branches charcoal:anthracite	5,977	Wood Energy Development Section

Table 6 (Continued)

Samples	Heating value (Kcal/kg)	Sources
palm branches charcoal:corncob	5,500	Wood Energy Development Section
palm branches charcoal:Jatropha	5,207	Wood Energy Development Section
palm branches charcoal:Eucalyptus	7,000	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:coconut shell	6,941	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:anthracite	5,582	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:corncob charcoal	5,442	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:Eucalyptus	6,941	Wood Energy Development Section
palm leaves:bagasse	3,498	Wood Energy Development Section
palm leaves:corncob	4,251	Wood Energy Development Section
palm leaves:coconut flake:bagasse	3,719	Wood Energy Development Section
palm leaves:coconut flake:anthracite	4,339	Wood Energy Development Section
palm leaves:corncob:anthracite	4,707	Wood Energy Development Section
palm bunch:bagasse	3,638	Wood Energy Development Section
palm bunch:corncob:bagasse	3,700	Wood Energy Development Section
palm bunch:corncob:sawdust	4,305	Wood Energy Development Section
palm bunch:coconut flake:bagasse	3,577	Wood Energy Development Section
palm bunch:coconut flake:anthracite	4,372	Wood Energy Development Section
palm bunch:corncob:anthracite charcoal	4,362	Wood Energy Development Section
palm sheath:bagasse	4,247	Wood Energy Development Section
palm sheath:coconut flake	4,272	Wood Energy Development Section
palm sheath:coconut flake:cassava	4,875	Wood Energy Development Section
palm sheath:coconut flake:jackfruit fibre	4,790	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:pomelo bark	4,643	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:banana bark	4,577	Wood Energy Development Section
palm sheath charcoal:sawdust from	5,201	Wood Energy Development Section

สรุป

งานวิจัยและทดลองทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและปาล์มน้ำมัน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุทางการเกษตรและเป็นพลังงานทดแทนฟืนและถ่านแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์เศษไม้โตเร็วและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างยั่งยืน ผลการทดสอบเพื่อหาผลผลิตถ่านจากกาบและทางปาล์มด้วยเตาเผาถ่านสามประเภทสรุปได้ว่า เตาอิฐก่อให้ผลผลิตถ่านสูงสุด คือร้อยละ 30.34 รองลงมาคือเตาดินเหนียวและเตาถังเดี่ยวกรมป่าไม้ ให้ผลผลิตถ่านร้อยละ 21.01 และ 18.69 ตามลำดับ เมื่อทดลองใช้ถ่านกาบปาล์ม ถ่านทางปาล์ม ใบปาล์มสด กาบปาล์มสด ทางปาล์มสด ผสมกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ รวม 32 สูตรโดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานให้เชื้อเพลิงสามารถอัดเป็นแท่งได้ ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสูตรถ่านกาบปาล์มผสมกับถ่านยูคาลิปตัส สูตรกาบปาล์มสดผสมขุยมะพร้าว สูตรใบปาล์มผสมขุยมะพร้าวและชานอ้อย สูตรงวงปาล์มผสมซังข้าวโพดและชานอ้อยหรือขี้เลื่อยมีคุณภาพพอใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีคุณภาพไม่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากเผาไหม้แล้วเกิดควันมาก ให้ไฟไม่แรง มีเขม่าและขี้เถ้ามาก

บรรณานุกรม

นฤมล ภานุนำภา. 2553. การหาค่าความร้อนของไม้และถ่าน. การจัดการความรู้ในองค์กร สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 56 น.

Chomcharn, A. and staff [1]. 1984. Improved Biomass Cooking Stove for Household Use. Forest Products Research Division. Royal Forest Department. 323 p.

Chomcharn, A. and staff [2]. 1984. Charcoal Production Improvement for Rural Development in Thailand. Forest Products Research Division. Royal Forest Department. 163 p.