

บทความวิจัย (Research Article)

การศึกษาถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย

กฤษฎา บุญชม*, นิรุบล ไชยสมปาน

Study of charcoal briquette from longan wood

Kritsada Boonchom*, Nirubol Chaisompan

Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Natural Resources, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai Province 50300

* Correspondence to: kritsada_boo@cmru.ac.th

Naresuan Phayao J. 2020;13(2):51-56.

Received: 4 May 2020; Revised: 16 August 2020; Accepted: 21 August 2020

บทคัดย่อ

การศึกษามุ่งหมายตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย โดยใช้เตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม อัตราส่วนผสมประกอบไปด้วยผงถ่านจากถ่านลำไย น้ำและแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 0.47:0.47:0.06 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไม้ลำไยที่พิจารณา ได้แก่ ปริมาณความชื้น คุณค่าความร้อน ถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐานการทดสอบและวัสดุของสังคมอเมริกัน (ASTM) และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนด้วยการทดสอบต้มน้ำ ผลลัพธ์ถ่านอัดแท่งไม้ลำไยมีความชื้นร้อยละ 6.65 ± 0.03 และค่าความร้อน $5,509.85 \pm 0.65$ แคลอรีต่อกรัม เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของไทย มผช. 238/2547 และประสิทธิภาพการใช้ความร้อนร้อยละ 17.69 ± 1.15

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่งไม้ลำไย, คุณค่าความร้อน, ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน

Abstract

The study is aimed to investigate the caloric value of longan wood charcoal briquette. The powder of charcoal was prepared by traditional charcoal kiln. Mixing ratios consist of charcoal powder from longan charcoal, water and cassava starch are 0.47:0.47:0.06. The properties of longan charcoal briquettes considered include moisture content, calorific value were analyzed based on American Society of Testing and Materials (ASTM) standard and heat utilization efficiency analyzed based on water boiling test. The results revealed that longan charcoal briquettes had moisture content of 6.65 ± 0.03 % and calorific value of $5,509.85 \pm 0.65$ cal/g accordance with the Thai Community Products Standards for Tcps. 238/2547 and heat utilization efficiency of 17.69 ± 1.15 .

Keywords: Longan charcoal briquettes, calorific value, heat utilization efficiency

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มนุษย์ใช้ในการดำรงชีวิต เป็นภาคส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ปัจจุบันการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) อย่างฟุ่มเฟือยกลายเป็นปัญหาซับซ้อนด้านพลังงานในหลายประเทศทั่วโลก ซึ่งจะมีบทบาทเชิงกลยุทธ์ในอนาคตของหลายประเทศในการพัฒนานวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานพร้อมกับการอนุรักษ์ทรัพยากรพลังงาน โดยการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงานฟอสซิล ของเหลือทิ้งในหลาย ๆ รูปแบบ หลาย ๆ ลักษณะ ถูกนำมาพิจารณาใช้เป็นเชื้อเพลิง [1] ประกอบด้วย ชีวมวล (biomass) เหลือทิ้งจากภาคการเกษตร ได้แก่ ไม้ไม่ใช้ประโยชน์ แกลบข้าว ฟางข้าว ชานอ้อย กะลามะพร้าว เปลือกปาล์ม และของเสีย ได้แก่ ขยะ น้ำทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม [2] แนวคิดของการใช้ประโยชน์จากชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ไม้ไม่ใช้ประโยชน์ ยังคงเป็นประเด็นที่สนใจของประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากในประเทศเหล่านี้มีวัตถุดิบอยู่มาก การผลิตเชื้อเพลิงแข็งในลักษณะของถ่าน (charcoal) เป็นตัวเลือกตัวหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากสิ่งที่มีอยู่ในการนำไปผลิตเป็นพลังงานทางเลือก [3] แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือถูกพิจารณาว่าเป็นเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ เผาไหม้รวดเร็ว และพลังงานที่ใช้งานมีความผันผวนไม่คงที่เพื่อให้ชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านี้กลายเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าดึงดูดยิ่งขึ้น พวกมันจะต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ [1] วิธีทรงประสิทธิภาพหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ วิธีการถ่านอัด

แท่ง ซึ่งเป็นกรรมวิธีในการแปลงวัตถุดิบแข็งเป็นรูปอัดแน่นและใช้งานง่าย [4] ชีวมวลผ่านกระบวนการเป็นถ่านอัดแท่ง (briquettes) สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก โดยมีข้อได้เปรียบเชิงเศรษฐกิจประกอบด้วยการผลิตไม่ยุ่งยาก คุณค่าความร้อน (calorific value) และจำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก รวมถึงทำให้สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นได้ [5] ชีวมวลจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่เหมาะสมพัฒนาในการพัฒนาใช้ในชุมชนชนบท ผ่านกระบวนการเป็นเชื้อเพลิงประดิษฐ์ในรูปถ่านอัดแท่ง [6]

การศึกษามุ่งหมายตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย โดยที่ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพด้านพลังงานของไม้ลำไยที่ไม่ใช้ประโยชน์ที่เกิดจากการตัดแต่งกิ่ง ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (เชียงใหม่ ลำพูน) โดยการนำไปผลิตถ่านอัดแท่งไม้ลำไย หากคุณค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้ความร้อน

วัสดุและวิธีการ

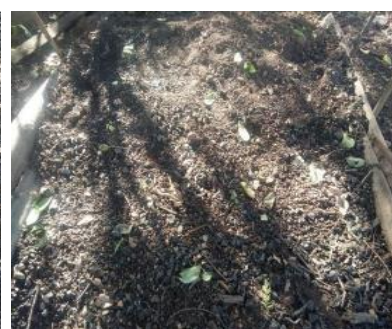
การผลิตถ่าน ใช้หลุมขนาด 1.5 เมตร x 1.5 เมตร ลึก 0.5 เมตร แต่ละหลุมใส่กิ่งไม้ลำไย 50 กิโลกรัม ก่อไฟจนไม้ลำไย 2 ถึง 3 กิ่งเล็กติดไฟ กลบด้วยขี้เลื่อยทั่วหลุม และกลบปิดหลุมด้วยดิน เหลือปล่องเจาะรูขนาดเล็ก ทั้งไว้นาน 3 ถึง 4 วัน หลังจากนั้นเก็บและชั่งมวลถ่าน โดยกิ่งไม้ลำไยก่อนเผาและหลุมเตาแสดงในภาพที่ 1



(ก) กิ่งไม้ลำไยก่อนเผา



(ข) หลุมเตา



(ค) หลุมเตาที่จุดไฟแล้วถูกกลบ

ภาพที่ 1 แสดงไม้ลำไยก่อนเผาและหลุมเตา

การผสมมวลถ่านกับตัวยึด บดละเอียดมวลถ่าน (ผงถ่านไม้ลำไย เศษถ่านที่เป็นชิ้นขนาดเล็ก และถ่านกิ่งไม้ลำไยขนาดเล็กที่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานเป็นถ่านไม้หุงต้ม) ผสมกับน้ำ และแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน เท่ากับ 0.47:0.47:0.06 คลุกให้เข้ากันเป็นมวลถ่านผสม ส่วนผสมดังกล่าวเกิดจากการทดลองและเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม ที่ทำให้ผงถ่านติดกันเป็นก้อนและส่วนผสมไม่เหลวจนเกินไป โดยที่

ใช้ตัวประสานในปริมาณที่ไม่มากเกินไปจนส่งผลถึงคุณค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง แสดงในภาพที่ 2

การอัดแท่ง ใส่และอัดมวลถ่านผสมในอุปกรณ์แม่พิมพ์ที่ทำจากเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride – PVC) ขนาด 1 นิ้ว (2.5 เซนติเมตร) นำถ่านอัดแท่งออกและตากแดดนาน 1 วัน แสดงในภาพที่ 2



(ง) เศษถ่านไม้ลำไยที่ถูกบด

(จ) ผสมถ่านและตัวประสาน

(ฉ) อัดแท่งถ่าน

(ช) นำแท่งถ่านไปตาก

ภาพที่ 2 การเตรียมถ่านอัดแท่ง

คุณค่าความร้อนของถ่าน (Calorific value of Charcoal) ถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ถูกดำเนินการโดยให้ความร้อน ให้ถ่านตัวอย่าง (ประมาณ 0.5 กรัม) แต่ละตัวอย่างถูกเผาไหม้ในจันทนาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ถูกใช้เพื่อคำนวณค่าความร้อนรวมของวัสดุชีวมวล

ค่าความชื้น (Moisture content %) ถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำสารตัวอย่างไปร่อนให้มีขนาด 250 ไมโครเมตร และนำไป

อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที นำถั่วและฝานที่สะอาดไปอบ ที่สภาวะเดียวกับสารตัวอย่าง จากนั้นนำไปชั่งมวล (W_1) ใส่สารตัวอย่าง 1 กรัมในถั่ว จากนั้นนำไปชั่งมวลพร้อมฝาน (W_2) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งมวลพร้อมฝาน (W_3) และนำไปคำนวณค่าร้อยละความชื้น ตามสมการ (1)

$$MC(\%) = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} \times 100 \quad (1)$$

ปริมาณเถ้า (Ash%) ถูกวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 นำถั่วและฝานที่สะอาดไปอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งมวล (W_1) ใส่สารตัวอย่าง 1 กรัมในถั่ว จากนั้นนำไปชั่งมวลพร้อมฝาน (W_2) แล้วอุ่นในเตาเป็นเวลา

1 ชั่วโมง โดยเพิ่มอุณหภูมิค่อยๆ จาก 450 °C ถึง 600 °C จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บไว้ในเตาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้นจนถึงที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (W_4) และนำไปคำนวณค่าร้อยละความชื้น ตามสมการ (2)

$$AC(\%) = \frac{(W_4 - W_1)}{(W_2 - W_1)} \times 100 \quad (2)$$



(ซ) Bomb Calorimeter

(ญ) เครื่องชั่ง ถ้วยและฝาปิด

(ฏ) เตาอบ

(ฐ) เตาเผา

ภาพที่ 3 เครื่องมือสำหรับการศึกษาค่าความร้อน ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า

ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (Heat utilization efficiency %) หาได้จากการทดสอบแบบวิธีการต้มเดือด (Water boiling test, WBT) โดยกำหนดมวลของน้ำและมวลของถ่านคงที่ และนำมาคำนวณตามสมการที่ 3

$$HU(\%) = \frac{M_w c_p (T_b - T_i) + M_c L}{M_f H_f} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ M_w คือ มวลของน้ำ (kg) c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg-°C) T_b คือ อุณหภูมิน้ำเดือด (°C) T_i คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C) M_c คือ มวลของน้ำที่ระเหย (kg) L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg) M_f คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg) และ H_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ทั้งสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนทำการวัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา

จากการเผาไม้ลำไยหลุมละ 50 กิโลกรัม 2 หลุม ผลผลิตของถ่านไม้ลำไยเฉลี่ยที่ได้คือ 19.33±0.29 กิโลกรัม ถ่านไม้ลำไยมีค่าความชื้นเฉลี่ยและปริมาณเถ้าเฉลี่ยที่ได้จากกระบวนการตามมาตรฐาน ASTM คือ 9.81±0.38 % และ 2.87±0.07 % ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน มผช.657/2547 คือ ค่าความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และปริมาณเถ้าต้องไม่เกิน

ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สำหรับถ่านอัดแท่งไม้ลำไย มีร้อยละความชื้นเฉลี่ย 6.65±0.03 เป็นไปตามมาตรฐาน มผช.238/2547 คือ ค่าความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ร้อยละปริมาณเถ้าเฉลี่ยคือ 16.03±1.53 สำหรับถ่านอัดแท่งปริมาณเถ้าไม่มีกำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คุณค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่าน

ชนิด	คุณค่าความร้อน (cal/g)	ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (%)
ถ่านไม้ลำไย	6,530.77±1.02	16.53±0.36
ถ่านอัดแท่งไม้ลำไย	5,509.85±0.65	17.69±1.15

หมายเหตุ: คุณค่าความร้อนเป็น ค่า Gross Calorific Value ที่ได้ เครื่อง Bomb Calorimeter คุณค่าความร้อนจึงเป็นค่า High Heating Value (HHV)

คุณค่าความร้อนของถ่านไม้ลำไย เป็นไปตามมาตรฐาน มผช.657/2547 คือ ไม่น้อยกว่า 6,000 cal/g และมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลคุณค่าความร้อนของถ่านไม้ลำไยจากไต้หวัน คือ 6,689.20 cal/g จากงานวิจัยของ Yu และคณะที่ศึกษามูลพิษทางอากาศกับองค์ประกอบของถ่านไม้จากผลการหยดของน้ำมันจากการย่างบาบีคิว [7] และคุณค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งไม้ลำไย ที่ผลิตขึ้นเป็นไปตามมาตรฐาน มผช.238/2547 มีคุณค่าความร้อน ไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g สำหรับการใช้งาน ถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย ทำให้น้ำเดือดในเวลาเฉลี่ย 10.33 ± 0.29 นาที มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 7.73 ± 0.06 กรัม/นาที สามารถติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ ไม่มีเขม่าและไม่มีควัน ขณะใช้งาน ส่วนถ่านจากไม้ลำไยพบว่า สามารถทำให้น้ำเดือดในเวลาเฉลี่ย 12.83 ± 0.29 นาที มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 6.27 ± 0.06 กรัม/นาที สามารถติดไฟได้ดี ไม่มีเขม่า มีควันเล็กน้อยและมีการแตกปะทุของถ่าน

วิจารณ์

ถ่านไม้ลำไยมีคุณค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งไม้ลำไย เนื่องจากในเนื้อสารมวล 1 กรัม เป็นถ่านทั้งหมดแต่ในถ่านอัดแท่งมวล 1 กรัม เป็นมวลของผสมระหว่างถ่านและตัวประสาน สอดคล้องกับผลการศึกษาถ่านอัดแท่งจากผงถ่านตาลโตนดกับตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง โดยผงถ่านตาลโตนด แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง [8] มีคุณค่าความร้อน 5,962 cal/g 3,496 cal/g และ 3,616 cal/g และเมื่อนำมาเป็นถ่านอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ได้คุณค่าความร้อนสูงสุด 5,690 cal/g ที่อัตราส่วน 3:2 และใช้กากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ได้คุณค่าความร้อนสูงสุด 5,690 cal/g ที่อัตราส่วน 3:0.5 โดยในส่วนถ่านอัดแท่งที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน สอดคล้องกับการสัดส่วนของตัวประสานของถ่านอัดแท่งจากกิ่งดินเป็ดทราย (Cerberamanghas twigs) พบว่าคุณค่าความร้อนจะลดลงเมื่อสัดส่วนของตัวประสานสูงขึ้น [9]

ถ่านอัดแท่งไม้ลำไยมีประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูงกว่าถ่านไม้ลำไยแม้ว่าจะมีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่า เมื่อนำมาพิจารณากับงานวิจัยถ่าน

อัดแท่งจากไม้มะดันมีค่าความร้อน 6,622 cal/g มีประสิทธิภาพการใช้ความร้อน 21.95% และถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีค่าความร้อน 6,310 cal/g มีประสิทธิภาพการใช้ความร้อน 37.50% [10] จะเห็นว่าแม้ว่าคุณค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจะสูงแต่ค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนต่ำ สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความหนาแน่นของเนื้อถ่านที่ส่งผลต่อการให้พลังงาน และในส่วนของอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถ่านอัดแท่งไม้ลำไยมีรูตรงกลางทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นเป็นผลให้มีอัตราการเผาไหม้ที่ดีกว่า ทำให้เวลาในการทำให้น้ำเดือดสั้นกว่า เชื้อเพลิงที่เหลืออยู่สามารถระเหยน้ำได้มากกว่า ทำให้สัดส่วนพลังงานที่ถ่านถ่ายเทให้กับน้ำกับพลังงานที่ทำให้ให้น้ำเดือดของถ่านอัดแท่งไม้ลำไยมีสัดส่วนที่สูงกว่าถ่านไม้ลำไย เมื่อนำคุณค่าความร้อนและค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งไม้ลำไยเปรียบเทียบกับคุณค่าความร้อนและค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงถ่านตาลโตนดกับตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง คือ 5,690 cal/g และ 5,241 cal/g และ 24.60% และ 23.26% ตามลำดับ [8] ถ่านอัดแท่งจากไม้มะดันและถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว พบว่าค่าประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของถ่านอัดแท่งนอกจากแปรตามคุณค่าความร้อนยังเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของสารอีกด้วย และจากการเปรียบเทียบถ่านไม้ลำไยและถ่านอัดแท่งไม้ลำไยตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการให้ความร้อนก็คือความชื้น ถ้าเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงก็จะทำให้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง

ในท้องตลาดถ่านไม้ลำไยมีราคาประมาณ 12 บาทต่อกิโลกรัม ถ่านอัดแท่งราคา 20 บาทต่อกิโลกรัม และต้นทุนการผลิตถ่านไม้ลำไย 3 – 10 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งไม้ลำไย 4 – 11 บาทต่อกิโลกรัมขึ้นอยู่กับความสามารถในการพึ่งพาตนเอง จากข้อมูลเกษตรกรเจ้าของสวนลำไยที่ผลิตถ่านจากกิ่งลำไยใช้ในครัวเรือนสามารถประหยัดค่าแก๊สหุงต้มในครัวเรือนลงได้ร้อยละ 50 ต่อเดือน นอกจากการผลิตถ่านไม้ ถ่านอัดแท่ง ในกระบวนการผลิตถ่านยังสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ด้วยแต่ต้องมีการทำ

เตาเผาที่เหมาะสม ซึ่งเป็นทางเลือกของการเพิ่มมูลค่า ในอนาคตนอกจากการผลิตถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงยังสามารถพัฒนาเป็นถ่านที่ประยุกต์ใช้ในการเกษตร และสิ่งแวดล้อมได้อีกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณแก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Djuanda S, Msndra MAS. Characteristics of charcoal briquettes from agriculture waste with compaction pressure and practical size variation as alternative fuel. *Int Energy J*. 2019;19:139-148.
2. Werther JS, Hartagr M, Ogada T, Siagi Z. Combustion of Agricultural Residues. *Energy Combust Sci*. 2009;26(1):1-27.
3. Sotannde OA, Oluyege OA, Abah GB. Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica*. *J For Res*. 2010;21(1):63-7.
4. Tamilvanan A. Preparation of biomass briquettes using various agro residues and waste papers. *J Biofuel*. 2013;4(2):47-55
5. Wilaipon P. Physical characteristic of maize cob briquettes under moderate die pressure. *Am J Appl Sci*. 2007;4(12):995-8.
6. Susanto A, Yantom T. Biocharcoal briquettes from palm empty shells and bunches. *J Teknol Hasil Pertanian*. 2013;6 (2):68-81.
7. Yu KP, Chen YC, Miao YJ, Siregar S, Tsai YW, Grace Lee WM. Effects of Oil Drops and the Charcoal's Proximate Composition on the Air Pollution Emitted from Charcoal Barbecues. *Aerosol and Air Quality Research* 2020; 20(6):1480-1494.
8. Sukaranandana K, Tanpaiboonkul N. Utilization of Cassava Residue from Agro-Industry as Binder with Powder of Palmyra Palm fruit Peel Charcoal for Briquettes Fuel Production. *Veridian E- Journal, Science and Technology Silpakorn University*. 2019;6(5): 48-65
9. Anggono W, Fandi D. Suprianto FD, Sutrisno, Gotama GJ, Evander J, Kasrun AW. Investegation on biomass briquette from *Cerbera manghas* waste twigs as renewable source. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2019;13(3):1080-1084.
10. Kongprasert N, Wangphanich P, Jutilarptavorn A. Charcoal Briquettes from Madan Wood Waste as an Alternative Energy in Thailand. *Procedia Manufacturing*. 2019; 30:128–135.