การศึกษาพันธุ์ไผ่ที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถ่านอัดแท่ง

สุชาดา ศรีบุญเรือง[1*] และ พุทธธินันทร์ จารุวัฒน์[2]

[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 กรมวิชาการเกษตร
[2]ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
*tum1515@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพันธุ์ไผ่ที่เหมาะสมในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถ่านอัดแท่ง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี กรมวิชาการเกษตร การทดลองโดยนำไม้ไผ่จำนวน 5 พันธุ์ คือ ไผ่ซางหม่น “ฟ้าหม่น” (*Dendrocalamus sericeus* cl. Phamon) ไผ่ซางหม่น “นวลราชินี” (*Dendrocalamus sericeus* cl. Nuan Rachini) ไผ่ปักกิ่ง (*Dendrocalamus* sp.) ไผ่ตงศรีปราจีน *(Dendrocalamus asper*) และไผ่ลำมะลอก (*Bambusa longispiculata*) ใช้ส่วนลำไผ่ อายุ 1 และ 2 ปี นำไปเผาเป็นถ่านและบดเป็นผง ส่วนผสมถ่านสำหรับนำไปขึ้นรูปประกอบด้วย ผงถ่าน แป้งมัน และน้ำ ปริมาณอัตราส่วนเท่ากับ 2 กิโลกรัม 150 กรัม และ 1 ลิตร ตามลำดับ นำไปอัดแท่ง และตากเพื่อลดความชื้น พบว่าค่าความร้อนของถ่านชีวมวลจากไผ่ตรงศรีปราจีน ที่อายุ 1 ปี และ 2 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 6,830 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม เท่ากัน

คำสำคัญ: ลำไผ่ ชีวมวล ถ่านอัดแท่ง ค่าความร้อน

Study of bamboo variety suitable for biomass production of Compressed Charcoal Fuel

Suchada Sreeboonruang[1 *] and Puttinun Jarruwat[2]

[1]Chanthaburi Agricutural Research and Development Center,
Agricultural Research and Development Region 6, Department of Agriculture
[2]Chanthaburi Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute
*tum1515@hotmail.com

Abstracts

This objective of the study was to identify suitable bamboo tree varieties for biomass production of compressed charcoal fuel. The research was conducted in the Chanthaburi Agriculture Research and Development Center, Department of Agriculture. Ther bamboo were 1) Shangmong bamboo Fah Mon (*Dendrocalamussericeus* cl. Phamon) , 2) Shangmon bamboo Nuan Rachini (*Dendrocalamus sericeus* cl. Nuan Rachini), 3) Peking bamboo (*Dendrocalamus* sp.), 4) Tongsri Prachin bamboo (*Dendrocalamus asper*), and 5) Lammalok bamboo (*Bambusa longispiculata*). The bamboo culms age for 1 and 2 years were carbonized and broken in to charcoal powder. The charcoal powder was mixed with cassava flour and water in the following proportions: 2 kilograms of charcoal powder, 150 grams of cassava flour, and 1 liter of water, respectively for producing compressed charcoal fuel. The findings revealed that the "Tongsri Prachin" bamboo, aged 1 and 2 years, exhibited the highest average heating value of 6,830 kcal/kg, which was consistent across both age groups.

Key words: Culm Biomass, Compressed charcoal fuel, Heat value

1. บทนำ

การปลูกไผ่เพื่อขายหน่อไม้ไผ่และขายลำไม้ไผ่เพื่อใช้ค้ำยันในส่วนไม้ผล ถือเป็นอีกอาชีพหนึ่งที่ น่าสนใจ เนื่องจากไผ่เป็นไม้โตเร็ว ปลูกง่าย การดูแลและการจัดการไม่ยุ่งยาก ทั้งยังเป็นพืชอเนกประสงค์ ทุกส่วนของไผ่สามารถใช้ได้ทั้งอุปโภคและบริโภค เช่น หน่อไม้ ใช้เป็นอาหาร ลำ ใช้ในการก่อสร้าง ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์ทะเล ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้ ใช้ทำกระดาษ ใช้ทำตะเกียบ ไม้จิ้มฟัน งานหัตถกรรม ใช้ทอเป็นเสื้อผ้า และใช้ทำเครื่องดนตรี เป็นต้น อีกทั้งลำไผ่ที่ได้จากการตัดสางลำทุกๆปียัง สามารถนำมาใช้ประโยชน์อื่นได้อีกด้วย เช่น ลำใช้ในการค้ำยันในสวนไม้ผลและผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น จึงนับได้ว่าเป็นพืชที่น่าสนใจ และทำรายได้ให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี หากมีการจัดการที่ดี นอกจากนี้ไผ่ยังเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงในด้านพลังงาน โดยสามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง อัดแท่งที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงได้ ในประเทศไทยเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะส่งเสริมการปลูกไผ่เพื่อใช้เป็น

วัตถุดิบหลักในการผลิตไฟฟ้าชีวมวลทดแทนการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ และหรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทดแทนพลังงานที่ได้จาก ถ่านหิน และเป็นการสร้างพื้นที่ป่าไม้ให้เพิ่มมากขึ้นและยังเป็นการสนับสนุนให้คนสามารถอยู่กับป่าได้และมีรายได้อย่างยั่งยืน

ปัจจุบันนี้เชื้อเพลิงชีวมวลจากพืชเป็นที่ต้องการของตลาดโลกเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงจากธรรมชาติใต้ดิน มีราคาสูงขึ้นอย่างมาก และเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ มีต้นทุนที่สูงยากต่อการลงทุน เชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่งจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตความร้อนตามบ้านเรือนในประเทศเขตหนาวใช้ในการผลิตไฟฟ้า สำหรับโรงไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีข้อดีคือให้ความร้อนสูงกว่าชีวมวลอย่างอื่น ขนส่งได้สะดวก เนื่องจากมีความหนาแน่นมาก มีเถ้าน้อย รวมทั้งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก โดยเฉพาะแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากไม้ไผ่ Thanpisit [4] เนื่องจากไผ่เป็นพืชตระกูลหญ้า ที่มีขนาดลำใหญ่โต ให้น้ำหนักชีวมวลต่อไร่ในระยะเวลาที่เท่ากันสูงกว่าพืชชนิดอื่น Thanpisit [3] และเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้อย่างดี อีกทั้งมีพันธุ์ไผ่จำนวนมากมาย สามารถเลือกให้เหมาะสมกับในแต่ละสภาพพื้นที่ได้ การตัดลำไผ่ไปใช้ประโยชน์เฉพาะลำที่แก่อายุ 3 ปีขึ้นไป ส่วนลำอ่อนและหน่อที่เกิดขึ้นมาใหม่จะปล่อยให้เลี้ยงกอต่อไป สามารถตัดหมุนเวียนได้ทุกปี จนกว่าต้นไผ่จะออกดอกตายขุย อีกทั้งต้นไผ่เป็นหนึ่งในตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในโลก สามารถกักเก็บหรือดูดซับคาร์บอนได้มากกว่าต้นไม้ทั่วไปถึง 4 เท่า และปล่อยก๊าซออกซิเจนมากกว่าถึงร้อยละ 35 จึงจัดได้ว่าไผ่มีศักยภาพเชิงการค้าสามารถที่จะพัฒนาให้เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี Thanpisit et al. [2] ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาพันธุ์ไผ่ที่เหมาะสมในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถ่านอัดแท่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ไผ่ที่เหมาะสมในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล แบบถ่านอัดแท่ง เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประกอบอาชีพในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีวิจัย

วิธีดำเนินการ :

อุปกรณ์

1. ไผ่ 5 พันธุ์ ได้แก่
   - พันธุ์ซางหม่น (ฟ้าหม่น) (*Dendrocalamus sericeus* cl. Phamon)
   - พันธุ์ซางหม่น (นวลราชินี) (*Dendrocalamus sericeus* cl. Nuan Rachini)
   - พันธุ์ปักกิ่ง (*Dendrocalamus* sp.)
   - พันธุ์ตงศรีปราจีน (*Dendrocalamus asper*)
   - พันธุ์ลำมะลอก (*Bambusa longispiculata*)
2. อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับเก็บเตรียมตัวอย่าง
   - เตาถังน้ำมัน 200 ลิตร แบบเตาไร้ควันของกรมป่าไม้
   - เครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง
   - แป้งมันสำปะหลัง
   - เครื่องบดย่อย
   - เครื่องชั่ง
   - สายวัด

วิธีวิจัย

นำลำไผ่ อายุ 1 และ 2 ปี (อายุ กอ 3 ปี) ที่ได้จากการตัดสางลำ จำนวน 5 พันธุ์ แยกตามอายุ สายพันธุ์ และ วิธีการแปรรูปไม้หรือชีวมวลให้เป็นพลังงาน

2.1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

นำลำไม้ไผ่สำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลมาเลื่อยเป็นท่อนๆ ขนาดประมาณ 10-15 เซนติเมตร (ขนาดของชิ้นไม้ ควรมีขนาดใกล้เคียงกัน) (ภาพที่ 1) มาเผาให้เป็นถ่านด้วยเตาถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบเตาไร้ควันของกรม ป่าไม้ (ภาพที่ 2) โดยควบคุมอุณหภูมิให้เกิน 600 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุด 900-1000 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และค่อยๆลดลงจนเตาเย็นใช้เวลา 6 ชั่วโมง นำเชื้อเพลิงที่เผาได้มาคัดแยกส่วนที่เป็นถ่าน คัดแยกออกจากส่วนที่เป็น ถ่านแบบไม่ร้อยเปอร์เซ็นต์ คือ ยังไม่เป็นถ่านโดยสมบูรณ์ออก (เป็นส้นถ่าน) (ภาพที่ 3) จากนั้นนำถ่านที่ได้จากการเผาไปบด ให้ละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย (ภาพที่ 4) จากนั้นนำไปอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง (ภาพที่ 6) โดยใช้อัตราส่วนผสมผงถ่านไผ่บด (ผงถ่านไผ่จะต้องแห้ง) 2,000 กรัม **ผสมแห้ง** ให้เข้ากันกับแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 150 กรัม เพื่อเป็นตัวประสาน ตามวิธีการอ้างอิงของ Laksamee et al. [6] โดยอ้างว่าส่วนผสมของถ่านบด 2,000 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำถ่านอัดแท่งจากเศษไม้ไผ่ 4 ชนิด ซึ่งถ่านอัดแท่งที่ได้มีค่างานที่ได้และประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยสูงกว่า และมีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยต่ำกว่าส่วนผสมอื่น ในภาชนะสำหรับผสมที่เตรียมไว้ เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วให้เติมน้ำ อัตราส่วน 1 ลิตร จากนั้นตรวจเช็คความชื้นโดยใช้มือกำผงถ่านไผ่ที่ผสมดีแล้ว กำให้แน่นแล้วแบมือออก ถ้าผงถ่านไผ่แตกหมดแสดงว่าแห้งเกินไปให้เติมน้ำเพิ่มทีละน้อย **ถ้ากำผงถ่านไผ่แล้วเป็นก้อนไม่มีน้ำไหลออกจากง่ามมือแสดงว่าความชื้นเหมาะสม** ถ้าผงถ่านไผ่จับกันเป็นก้อนและมีน้ำไหลออกจากง่ามมือแสดงว่ามีความชื้นมากเกินไป **เมื่อความชื้นของผงถ่านไผ่ที่ผสมดีแล้วให้นำเข้าเครื่องทำถ่านอัดแท่ง** (ภาพที่ 5) โดยใช้วิธีค่อยๆ ป้อนผงถ่านลงในหลุมอัด เพื่ออัดเป็น **ถ่านอัดแท่ง** ตามกรรมวิธีต่อไป (ภาพที่ 6) (แยกตามอายุและชนิดพันธุ์) จากนั้นนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งให้แห้งเพื่อเตรียมตัวอย่างส่งทดสอบหา ความชื้น (%) สารระเหย (%) ความคงทน (%) เถ้า (%) และค่าพลังงานความร้อน ต่อไป ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี

ภาพที่ 1 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “นำลำไผ่มาเลื่อยเป็นท่อนๆขนาด 10-15 เซนติเมตร”

ภาพที่ 2 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “เผาให้เป็นถ่านด้วยเตาถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบเตาไร้ควันของกรมป่าไม้”

ภาพที่ 3 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “แยกส่วนที่เป็นถ่านออกจากส่วนที่ยังไม่เป็นถ่านโดยสมบูรณ์ (เป็นส้นถ่าน)”

ภาพที่ 4 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “นำถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากการคัดแยกไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย”

ภาพที่ 5 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “เมื่อความชื้นของผงถ่านไผ่ที่ผสมดีแล้ว ให้นำเข้าเครื่องทำถ่านอัดแท่ง”

ภาพที่ 6 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างชีวมวลอัดแท่ง “นำไปอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง”

2.2 การทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากนั้นนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งที่ได้ไปส่งวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture) สารระเหย (Volatile matter) และเถ้า (Ash) ด้วยวิธี Proximate Analysis ตามวิธีการอ้างอิงตามมาตรฐานของ ASTM D7582-15 ASTM INTERNATIONAL [6] (ภาพที่ 7) และหาค่าพลังงานความร้อนแบบกรอส (High heating value) ตามวิธีการอ้างอิงตามมาตรฐานของ ASTM D5865-19 ASTM INTERNATIONAL [7] (ภาพที่ 8) ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

ภาพที่ 7 วิเคราะห์ Proximate Analysis ด้วยเครื่อง TGA รุ่น TGA-701

ภาพที่ 8 วิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนแบบกรอส ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น PARR-6300

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

นำลำไม้ไผ่ อายุ 1 และ 2 ปี (อายุ กอ 3 ปี) ที่ได้จากการตัดสางลำ จำนวน 5 พันธุ์ มาเผาเป็นถ่านและบดให้เป็นผงถ่านผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ใช้อัตราส่วนผสมผงถ่านไม้ไผ่ 2 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อแป้งมัน 150 กรัม ตามวิธีการตามวิธีการอ้างอิงของ Laksamee et al. [6] นำผงถ่านที่ผ่านการผสมมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดถ่านแท่งไปอัดเป็น **ถ่านอัดแท่ง** ตามกรรมวิธี (แยกตามอายุ และชนิดพันธุ์) ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งชีวมวลจากไผ่ตงศรีปราจีนอายุลำ 1 ปี และ 2 ปี มีค่าความร้อนเฉลี่ยสูงสุด 6,830 kcal/kg เท่ากัน รองลงมาคือไผ่ซางหม่น “ฟ้าหม่น” อายุลำ 1 ปี มีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,750 kcal/kg และไผ่ ซางหม่น “นวลราชินี” อายุลำ 1 ปี มีค่าความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด 6,400 kcal/kg (ตารางที่ 1) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านไม้ไผ่ซางหม่นแต่ละสายต้นจากการทดลองของ Thanpisit et al. [5] พบว่าไผ่ซางหม่นที่มีช่วงอายุ 3 ปีขึ้นไป จำนวนทั้งหมด 211 สายต้น ที่นำมาศึกษาให้ค่าพลังงานความร้อนและปริมาณเถ้าแตกต่างกันทางสถิติ พบว่าค่าความร้อนของไผ่ในแต่ละสายต้นมีค่าความร้อนอยู่ในระดับที่สูง (6,100-7,000 cal/g) แต่ค่าความร้อนของไผ่ซางหม่นสายต้นที่ 44 มีค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด 6,963.7 cal/g แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสายต้นที่ 120 (6,957.6 cal/g) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของ ไผ่กิมซุงจากการทดลองของ Sirin et al. [8] พบว่าที่ไผ่กิมซุงที่อายุ 9 เดือน ให้ค่าพลังงานความร้อนที่ดีที่สุดเฉลี่ยเพียง 3,555.27 cal/g ทั้งนี้ค่าความร้อนที่ต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากส่วนประกอบภายในเนื้อไม้ของไม้ไผ่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งรวมกันเรียกว่าโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) เป็นองค์ประกอบอยู่ 61-71 % มีเพนโทแซน (pentosan) เป็นองค์ประกอบ 16-21 % และมีลิกนิลเป็นองค์ประกอบ (lignin) 20-30 % Kriangkrai [1] องค์ประกอบเหล่านี้ให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกันไป อีกทั้ง ค่าความร้อนที่ได้มีความแตกต่างกันตามแต่ละสายต้น และอายุของการปลูก เมื่อพิจารณาการเลือกพันธุ์ไผ่ที่เหมาะสมในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลของไผ่ทั้ง 5 พันธุ์ที่ให้ความร้อนที่เหมาะสมนั้น โดยวัดจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง Thai Industrial Standards Institute [7] (มผช 238/2547) ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g ซึ่งจากผลศึกษาพบว่าไผ่ตงศรีปราจีนมีค่า ความร้อนเฉลี่ยสูงสุดเหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นชีวมวล (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายงานผลวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลแบบถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ อายุกอ 3 ปี ตามคุณสมบัติสภาพนำส่ง

ชนิดตัวอย่าง	คุณสมบัติตามสภาพนำส่ง				
	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	สารระเหย (เปอร์เซ็นต์)	ถ่านคงตัว (เปอร์เซ็นต์)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความร้อนสูง (kcal/kg)
ไผ่ฟ้าหม่น 1 ปี	7.7	16.7	70.1	5.5	6,750
ไผ่ฟ้าหม่น 2 ปี	8.6	13.4	73.4	4.6	6,730
ไผ่นวลราชินี 1 ปี	9.4	14.2	69.6	6.8	6,400
ไผ่นวลราชินี 2 ปี	7.5	15.6	70.4	6.5	6,680
ไผ่ปักกิ่ง 1 ปี	7.3	18.3	65.9	8.5	6,490
ไผ่ปักกิ่ง 2 ปี	6.8	21.9	65.4	5.9	6,560
ไผ่ศรีปราจีน 1 ปี	8.6	15.1	71.7	4.6	6,830
ไผ่ศรีปราจีน 2 ปี	6.7	20.2	69.3	3.8	6,830
ไผ่ลำมะลอก 1 ปี	9.1	16.7	68.2	6	6,480
ไผ่ลำมะลอก 2 ปี	8.7	14	70.5	6.8	6,490

4. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

4.1 ค่าความร้อนของไผ่ตงศรีปราจีนมีพลังงานความร้อนสูงที่สุดและมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็น ถ่านอัดแท่ง

4.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ที่อายุการเติบโตต่างกัน การดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ ขนาดรูพรุน พื้นที่ผิวของถ่านไผ่ และการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากแปลงไผ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่า เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Kriangkrai Rakmit. (2000). Bamboo. https://www.baanjomyut.com/ library_2/ extension-2/ bamboo/ 02.html (In Thai)

[2] Thanpisit Phuangchik, Jidapa Ratchawong & Yaowapha Jirakiattikul. (2012). Effect of indole-3-butyric acid (IBM) and wood vinegar on cutting of Bambusa beecheyana. *Journal of Forest Management (Thailand)*, *6*(12), 50-57. (In Thai)

[3] Thanpisit Phungchik. (2014). Bamboo: Energy Plant in the Future. *Thai Science and Technology Journal, 22*(1), 130-136. (In Thai)

[4] Thanpisit Phungchik. (2015). Wood Pellets from Bamboo: Renewable Energy Enormous Value. *Thai Science and Technology Journal, 23*(1), 35-42. (In Thai)

[5] Thanpisit Phuangchik, Bhornchai Harakotr & Kunrarat Buachum. (2019). Selection of Bamboo (Dendrocalamus sericeus Cl. Sang Mon) for Biomass Production. *Thai Journal of Science and*

Technology, *9*(4), 512-520. (In Thai)

[6] Laksamee Sutthiwilairatana, Prapassorn Pakart, Khwanrapee Sittheesaard, Watcharin Saefung & Saksiri Chalearnet. (n.d.). THE CHARCOAL BRIQUETTED FROM BAMBOO RESIDUE. http://forprod.forest.go.th/forprod/forprod2017/energy/PDF (In Thai)

[7] Thai Industrial Standards Institute. (2004). Community product stsndards : charcoal briquettes. http://www.tisi.go.th

[8] Sirin Bunnag, Thanpisit Phuangchik & Supakorn Boonyuen. (2019). The Energy Quality of Kim Sung Bamboo (Bambusa beecheyana) at Different Growing Ages. *Thai Science and Technology Journal, 8*(3), 250-257. (In Thai)

[9] ASTM International. (2015). *ASTM* D7582-15. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis.

[10] ASTM International. (2019). *ASTM D5865-19*. *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*.