

## คุณภาพด้านพลังงานของไม้ไผ่บางสายพันธุ์

### The Energy Quality of Some Bamboo Varieties

ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก\*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Thanpisit Phuangchik\*

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

Received: August 16, 2021 ; Accepted: January 21, 2022

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาคุณภาพด้านพลังงานที่เหมาะสมของไม้ไผ่ 7 พันธุ์ คือ ไม้ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus* Munro) ไม้ชางหม่น (*Dendrocalamus sericeus* Munro) ไม้เปี๊ยะแม่ตะวอ (*Dendrocalamus copelandii*) ไม้มันหมู [*Dendrocalamus copelandii* (Gamble ex Brandis) N.H. Xia & C.M.A. Stapleton] ไม้ปักกิ่ง (*Dendrocalamus* sp.) ไม้รวก (*Thyrsostachys siamensis*) และไม้เลี้ยงใหญ่ (*Bambusa* sp.) ที่มีอายุลำ 3 ปีโดยนำไม้ไผ่ทั้ง 7 พันธุ์ไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันให้ได้ถ่านที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส นำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผงถ่าน ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีด้วยการวิเคราะห์หาค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณธาตุองค์ประกอบ ผลการทดสอบพบว่า ไม้มันหมูมีค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวมากที่สุดที่ 30.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และร้อยละ 53.07 ตามลำดับ ไม้ชางนวลพบปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุดที่ร้อยละ 8.58 และพบปริมาณสารระเหยที่น้อยที่สุดในไม้ปักกิ่งร้อยละ 25.45 ไม้ที่มีคุณภาพด้านพลังงานเหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความร้อนสูงและคาร์บอนคงตัว คือ ไม้มันหมู รองลงมาเป็น ไม้ชางนวลและไม้ปักกิ่งตามลำดับ

คำสำคัญ : ไม้; ถ่าน; ค่าความร้อน

#### Abstract

This study aimed to investigate the optimum energy quality of bamboo in 7 varieties: Sang Nuan bamboo (*Dendrocalamus membranaceus* Munro), Sang Mon bamboo (*Dendrocalamus sericeus* Munro), Pao Mae Tawo bamboo (*Dendrocalamus copelandii*1), Man Moo bamboo [*Dendrocalamus copelandii* (Gamble ex Brandis) N.H. Xia & C.M.A. Stapleton2], Beijing bamboo (*Dendrocalamus* sp.), Ruak bamboo (*Thyrsostachys siamensis*), and Liang Yai bamboo (*Bambusa* sp.) aged 3 y, at culm. A carbonization process was used to bring samples to a temperature of 600-700 °C. The residue was then ground to a fine powder, and thermal analysis, moisture, ash, volatile, fixed carbon, and element

mass fraction were determined. The results showed that *D.copelandii* 2 had the highest heat value and fixed carbon, 30.4 MJ/Kg and 53.07%, respectively. *D. membranaceus* showed the least ash content of 8.58%, and found the lowest volatile in *D. sp.* at 25.45%. Our results suggest that *D.copelandii* 2, *D. Membranaceus*, and *D. sp.* are leading candidates as the most suitable bamboo for energy quality based on heat value and fixed carbon.

**Keywords:** *Thyrsostachys siamensis* Gamble; chemical fertilizer; growth

## 1. บทนำ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สมบูรณ์มีอยู่ในธรรมชาติในรูปของไม้เชื้อเพลิงและถ่านไม้ถูกนำมาใช้แทนพลังงานจากฟอสซิลที่ไม่ถือว่าเป็นพลังงานทดแทน ส่งผลเสียต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมและกำลังจะหมดไป เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ (Khumsak et al., 2011) ซึ่งชีวมวลในประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้สูงสุดเมื่อเทียบกับพลังงานอื่น (Ministry of energy, 2018) เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีชีวมวลจำนวนมาก แหล่งวัตถุดิบชีวมวลหลากหลายแหล่งนั้นถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นพลังงานทดแทน เช่น กากอ้อย ฟางข้าว หญ้าเนเปียร์ และของเหลือจากการทำเกษตรกรรม เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัตถุดิบยังคงไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการผลิตเป็นพลังงานทดแทน อาจเนื่องมาจากภัยแล้งที่ไม่คาดคิด จึงทำให้เกิดการขาดแคลน แย่งชิง และกักตุนชีวมวล (The Secretariat of The House of Representatives, 2017) ดังนั้น จึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกที่มีคุณภาพมากเพียงพอ จากการศึกษาพบว่า ไม้ เป็นพืชที่เติบโตเร็วที่สุดในโลก บางชนิดโตได้เฉลี่ยถึง 120 ซม./วัน สะดวกในการตัดฟัน การขยายพันธุ์ทำได้ในเวลาอันสั้น สามารถเติบโตได้ดีในประเทศไทย (Vajrabukka, 2012) โดยในประเทศไทยมีการค้นพบไม้ประมาณ 15-17 สกุล 82-100 ชนิด สามารถพบได้ทั่วภูมิภาคของไทย

โดยมากพบในป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง (Sungkaew et al., 2011) สามารถปลูกได้ง่าย ปลูกครั้งหนึ่งสามารถอยู่ได้ถึง 70-80 ปี โดยไม่ต้องปลูกใหม่ มีความหนาแน่นสูง ทนต่อสภาพแล้ง และให้ค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ ไม้จึงเป็นพืชหลักที่จะนำไปใช้ในการผลิตพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Scurlock et al., 2000; Sritong et al., 2012; Truong and Le, 2014)

การสร้างพลังงานชีวมวลจากไม้เนื้อแข็งได้มีการนำไม้เข้าสู่กระบวนการเผาจนได้เป็นถ่านไม้ไฟออกมาได้มีการศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านพลังงานของถ่านไม้ไฟมากมายโดยไม่ค่อยมีการคำนึงถึงสายพันธุ์ของถ่านไม้ไฟที่นำไปใช้มากนักจะมีไม้ไม่กี่เพียงสายพันธุ์ที่ถูกนำไปใช้ในการวิจัย เช่น Liu et al. (2013) ได้ทำการศึกษารายละเอียดในด้านอุณหภูมิและเวลาการเผาถ่านของไฟโมโซ (*Phyllostachys edulis*) เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านพลังงานของเม็ดเชื้อเพลิงจากไฟ Lin et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลจากการเผาไหม้ 3 ช่วงของไฟโมโซที่ส่งผลต่อคุณภาพของถ่านไม้ไฟ เป็นต้น แต่ยังไม่ค่อยมีการศึกษาสายพันธุ์ของไม้ไฟที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นถ่านไม้ไฟ ซึ่งถ่านไม้ไฟแต่ละสายพันธุ์จะให้คุณภาพได้ไม่เท่ากัน จากการศึกษาของ Suluh et al. (2019) ได้ทำการศึกษาค่าความร้อนของไฟสายพันธุ์ท้องถิ่น 3 สายพันธุ์ คือ *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa atroviolacea* และ *Gigantochloa apus* Kurz เขาได้นำไปผสมกับดิน

เหนียวและแข็งสาकुอย่างละ 75 กรัม โดยใช้ไฟแต่ ละสายพันธุ์ 850 กรัม พบว่าไฟสายพันธุ์ *Dendrocalamus asper* ให้ค่าความร้อนดีที่สุดอยู่ที่ 5,176 แคลอรีต่อกรัม รองลงมาเป็น *Gigantochloa apus* Kurz 5,025 แคลอรีต่อกรัม และ *Gigantochloa atroviolacea* 4,873 แคลอรีต่อกรัม จากรายงานการศึกษาของ Sajjaku et al. (2016) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการใช้ไฟ 4 ชนิด คือ ไฟตงดำ ไฟหวานอ่างขาว ไฟหยก และ ไฟமாகินอย เพื่อเป็นถ่านกัมมันต์ โดยเผาถ่านด้วย เตาเผาถ่านที่พัฒนาจากถังน้ำมัน 200 ลิตร พบว่า ชนิดไม้ไฟมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซีเถ้าของถ่านไม้ไฟที่ ได้ โดยไม้ไฟตงดำให้ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 4.74 และค่าความร้อนของถ่านไม้ไฟที่ได้จากไฟตงดำมีค่าสูงกว่าถ่านไม้ไฟமாகินอยอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7,402.04 และ 7,105.80 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาค่า พลังงานในไฟแต่ละสายพันธุ์ยังมีไม่มากนัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์ทำการศึกษาคคุณภาพ ด้านพลังงาน เช่น ปริมาณองค์ประกอบของธาตุ ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน ค่าการดูดซับ ความเป็น กรดต่าง และสภาพถ่านรูพรุน ในสายพันธุ์ไฟ 7 พันธุ์ ที่มีคุณสมบัติที่ดี

## 2. วิธีการ

### 2.1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ Completely randomize design (CRD) จำนวน 7 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย

สิ่งทดลองที่ 1 ไฟขางนวล (*Dendrocalamus membranaceus* Munro)

สิ่งทดลองที่ 2 ไฟขางหม่น (*Dendrocalamus sericeus* Munro)

สิ่งทดลองที่ 3 ไฟเปาะแม่ตะวอ (*Dendrocalamus copelandii* Gamble ex Brandis) N.H. Xia & C.M.A. Stapleton1)

สิ่งทดลองที่ 4 ไฟมันหมู [*Dendrocalamus copelandii* (Gamble ex Brandis) N.H. Xia & C.M.A. Stapleton2]

สิ่งทดลองที่ 5 ไฟปักกิ่ง (*Dendrocalamus* sp.)

สิ่งทดลองที่ 6 ไฟรวก (*Thyrsostachys siamensis*)

สิ่งทดลองที่ 7 ไฟเลี้ยงใหญ่ (*Bambusa* sp.)

โดยไฟทุกพันธุ์มีอายุลำ 3 ปี จากแปลงปลูก ของ สวนเกษตรกร ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

### 2.2. การเตรียมตัวอย่าง

นำลำไม้ไฟตามสิ่งทดลองที่กำหนด มาสับให้ เป็นแผ่นขนาด 2.5×1.5 เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนัก แห่ง 1 กิโลกรัม นำไปลดความชื้นโดยการผึ่งไว้ในที่ ร่มเป็นเวลา 1-2 เดือน ให้มีความชื้นเหลือประมาณ ร้อยละ 12 จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะแห้งที่ปิดสนิท

### 2.3. การวิเคราะห์คุณภาพด้านพลังงาน

2.3.1 สภาพการเตรียมถ่านเพื่อใช้ในการวิจัย

นำตัวอย่างน้ำหนัก 1,000 กรัมใส่ในกระบอก ใส่ตัวอย่าง แล้วไปเผาในเตาเผา 200 ลิตร ที่ อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิ ที่ปราศจากสารก่อมะเร็งและให้คุณภาพถ่านที่ดี นำไปบันทึกน้ำหนักถ่านหลังเผา จากนั้นนำตัวอย่าง มาบดให้ละเอียดและกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 18 เพื่อคัดกรองถ่านที่มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM International โดย ลักษณะที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย

### 2.3.2 การวัดค่าความร้อน

ทำการหาค่า HHV (High Heating Value) ด้วย Oxygen Bomb Calorimeters รุ่น 6400 ยี่ห้อ Parr เพื่อหาค่าความร้อนของถ่าน

### 2.3.3 การวัดปริมาณความชื้น

ทำการทดสอบปริมาณความชื้นโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1762-84 มีวิธีการดังนี้

2.3.3.1 อบด้วยครุชชีเบลล์ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนัก

2.3.3.2 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยด้วยครุชชีเบลล์ที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2.3.3.3 นำถ้วยด้วยครุชชีเบลล์ที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง นำเอามาใส่ในเดสซิเคเตอร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

การคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตรปริมาณความชื้น (ร้อยละ) =  $[(A - B)/A] \times 100$

A = น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็น กรัม

B = น้ำหนักที่ผ่านการอบที่ 105 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น กรัม

### 2.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ทำการทดสอบปริมาณเถ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1762-84 มีวิธีการดังนี้

2.3.4.1 นำตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในถ้วยครุชชีเบลล์ที่ทราบน้ำหนักแล้ว

2.3.4.2 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.3.4.3 นำไปไว้ในเดสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น

2.3.4.4 ชั่ง น้ำหนักที่ได้ และคำนวณหาปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (ร้อยละ) =  $D \times 100$

B = น้ำหนักที่ผ่านการอบที่ 105 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น กรัม

D = ปริมาณน้ำหนักคงเหลือ มีหน่วยเป็น กรัม

### 2.3.4 การวิเคราะห์สารระเหย

ทำการทดสอบปริมาณสารระเหยโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1762-84 มีวิธีการดังนี้

2.3.4.1 ทำการอุ่นเตาโดยนำถ้วยครุชชีเบลล์ที่ทราบน้ำหนักแล้วปิดฝาบรรจุตัวอย่าง 1 กรัม ไปวางไว้บริเวณข้างหน้าเตาโดยเปิดเตาให้มีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

2.3.4.2 จากนั้นนำถ้วยครุชชีเบลล์พร้อมตัวอย่างไปวางไว้บริเวณข้างในเตาส่วนด้านหน้าอีกครั้ง โดยเปิดเตามีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทำในขณะเปิดฝาเตา

2.3.4.3 หลังจากนั้นนำถ้วยครุชชีเบลล์พร้อมตัวอย่างใส่ในส่วนด้านในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส และปิดฝาเตาเป็นเวลา 6 นาที

2.3.4.4 นำตัวอย่างมาทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนัก

2.3.4.5 ทำการทำซ้ำโดยเพื่อตรวจสอบการเกิดเปลวไฟ ถ้าไม่เกิดเปลวไฟขึ้นตัวอย่างจะมีน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ  $\pm 0.5$

2.3.4.6 ชั่ง น้ำหนักที่ได้ และคำนวณหาปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ) =  $[(A - B)/B] \times 100$

A = น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

B = น้ำหนักที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

### 2.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณและอัตรา การดูดซับเมทิลีนบลู

2.3.5.1 นำตัวอย่าง 0.05 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์

2.3.5.2 นำสารละลายเมทิลินบลู ที่มี ความเข้มข้น 5 ppm ปริมาณ 20 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีตัวอย่าง

2.3.5.3 นำไปเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 5-45 นาที 150 rpm ทำการวัดทุก 5 นาที โดย ใฝ่แต่ละพันธุ์จะมีจุดอิ่มตัวที่ไม่เท่ากัน ทำการวัดจนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัวของแต่ละพันธุ์ คือ ค่าที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นหรือเริ่มมีค่าที่ลดลง

2.3.5.4 จากนั้นกรองถ่านด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่า UV – Visible Spectrometer ที่ความยาวคลื่น 662 และนำไปคำนวณหาร้อยละการดูดซับและอัตราการดูดซับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับ} = [(A_0 - A) / A_0] \times 100$$

$A_0$  = ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น

$A$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่นานั้นๆ

อัตราการดูดซับสีของเมทิลินบลูได้ถูกศึกษาภายใต้โมเดลของแลงเมียร์ (Langmuir-Hinshelwood kinetics model) โดยอาศัยความสัมพันธ์  $\ln(A/A_0) = -kt$  ปฏิกริยาอันดับหนึ่ง โดยค่าความชันของ  $\ln(A/A_0)$  ต่อเวลาถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคงที่อัตรา ( $k$ ) ในหน่วยรอบต่อนาที ( $\text{min}^{-1}$ )

### 2.3.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ C H และ N โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบอัตโนมัติ (CHNS/O Analyzer)

### 2.3.7 การวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนที่กำลังขยาย 1,000x

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านไม้ใฝ่แสดงใน Table 1 ค่าความ

ร้อนสูงของไม้ใฝ่ทั้ง 7 พันธุ์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยใฝ่มันหมู มีค่าความร้อนสูงที่สุด 27.30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ ใฝ่เลี้ยงใหญ่ มีค่าความร้อนต่ำที่สุด 24.36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เนื่องมาจากองค์ประกอบธาตุคาร์บอนในถ่านไม้ใฝ่มันหมูมีปริมาณมากที่สุดที่ร้อยละ 78.18 และใฝ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณน้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 62.26 ซึ่งปริมาณองค์ประกอบธาตุต่างๆ ส่งผลต่อค่าความร้อนที่ได้ เช่นเดียวกับ Ibrahim et al. (2013) ที่ได้ทำการศึกษากถ่านไม้จากต้นหลิว ยูคาลิปตัส ไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน พบว่า องค์ประกอบธาตุส่งผลต่อค่าความร้อนของถ่านไม้ และค่าความร้อนที่ได้ของถ่านไม้ใฝ่ชางนวล ใฝ่ชางหม่น ใฝ่เปาะแมตตะวอ ใฝ่มันหมู ใฝ่ปักกิ่ง และใฝ่รวก มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมผช. ที่มีอยู่ที่ 6,000 แคลอรีต่อกรัม หรือ 25.12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2004)

### 3.2. องค์ประกอบแบบประมาณ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณถ่าน (Table 1) พบว่า ถ่านไม้ใฝ่ชางนวลมีปริมาณถ่านน้อยที่สุดที่ร้อยละ 8.58 และถ่านไม้ใฝ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณถ่านมากที่สุดที่ร้อยละ 25.10 โดยไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านหุงต้มมผช. ที่กำหนดไว้ว่าจะต้องปริมาณถ่านไม้เกินร้อยละ 8 ซึ่งจากการที่ใฝ่พันธุ์ต่าง ๆ มีปริมาณถ่านมากอาจเกิดจากในขณะเผาไม้ไม่ได้มีการควบคุมปริมาณออกซิเจน จากผลการวิเคราะห์สารระเหย พบว่า ถ่านไม้ใฝ่ปักกิ่งมีปริมาณสารระเหยน้อยที่สุดที่ร้อยละ 25.45 ซึ่งไม่แตกต่างกับถ่านไม้ใฝ่ชางหม่นที่มีค่าร้อยละ 26.47 และถ่านไม้ใฝ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณสารระเหยมากที่สุดที่ร้อยละ 37.98 โดยการปริมาณสารระเหยที่แตกต่างกันอาจเกิดจากองค์ประกอบภายในไม้ใฝ่แต่ละพันธุ์ ซึ่งพันธุ์ใฝ่ที่มีน้ำและแป้งเป็นองค์ประกอบมากอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยสาร

ระเหยออกมาได้มากกว่า อีกทั้งถ่านไม้ไผ่ทุกพันธุ์มีปริมาณสารระเหยสูงกว่ามาตรฐานถ่านหุงต้มผช. ที่ควรมีสารระเหยไม่เกินร้อยละ 25 ซึ่งจากการที่มีปริมาณสารระเหยออกมามากนั้นเพราะใช้อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยออกมามาก จากผลการวิเคราะห์ความชื้นพบว่า ถ่านไม้ไผ่ทุกพันธุ์มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ

4.84-6.03 โดยมีความชื้นตามเกณฑ์มาตรฐานถ่านหุงต้มผช.ที่กำหนดไว้ว่าจะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และจากผลการวิเคราะห์คาร์บอนคงตัว ไผ่มันหมีมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุดที่ร้อยละ 53.07 และไผ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณน้อยที่สุดที่ร้อยละ 33.43 เนื่องมาจากปริมาณถ่าน

**Table 1** Physical and chemical properties of bamboo charcoal.

Varieties	HHV (MJ/Kg)	Moisture (%)	Proximate analysis (wt%)			Ultimate analysis (wt%)		
			ash	VM	FC	C	H	N
<i>D. membranaceus</i>	27.20±0.06 <sup>1/ab</sup>	4.84±0.91	8.58±1.55 <sup>a</sup>	33.70±3.90 <sup>ab</sup>	51.55±6.24 <sup>a</sup>	77.38	1.04	8.19
<i>D. sericeus</i>	25.41±0.40 <sup>cd</sup>	6.03±0.62	16.69±1.63 <sup>b</sup>	26.47±0.32 <sup>a</sup>	50.81±2.06 <sup>ab</sup>	73.49	0.79	7.79
<i>D. copelandii1</i>	26.01±0.52 <sup>bc</sup>	5.19±1.07	13.33±2.01 <sup>b</sup>	36.40±7.19 <sup>b</sup>	45.09±4.14 <sup>bc</sup>	75.86	1.96	8.46
<i>D. copelandii2</i>	27.30±0.73 <sup>a</sup>	4.99±0.97	13.30±3.44 <sup>b</sup>	30.55±5.78 <sup>ab</sup>	53.07±2.60 <sup>a</sup>	78.18	1.17	6.78
<i>D. sp.</i>	26.29±0.01 <sup>abc</sup>	5.21±0.17	14.61±0.60 <sup>b</sup>	25.45±7.51 <sup>a</sup>	51.63±6.37 <sup>ab</sup>	74.98	1.20	6.38
<i>T. siamensis</i>	25.87±0.30 <sup>c</sup>	5.46±1.11	14.92±0.79 <sup>b</sup>	36.84±1.77 <sup>b</sup>	42.77±1.20 <sup>c</sup>	73.30	2.01	10.27
<i>B. sp.</i>	24.36±0.60 <sup>d</sup>	5.95±1.19	25.10±4.31 <sup>c</sup>	37.98±4.55 <sup>b</sup>	33.43±0.89 <sup>d</sup>	62.26	0.59	16.26
F-test <sup>2/</sup>	**	ns	**	*	*	-		
CV (%)	2.28	0.62	14.4	15.64	8.44	-		

<sup>1/</sup>Means in a column followed by different letters are significantly different at  $p < 0.05$  (Duncan's Multiple Range Test, DMRT).

<sup>2/</sup>differ significantly at  $p < 0.05$  (\*) (ANOVA); differ significantly at  $p < 0.01$  (\*\*); NS, not significant at the 5% level.

VM: volatiles matter, FC: fixed carbon

*D. membranaceus* (Sang Nuan), *D. sericeus* (Sang Mon), *D. copelandii1* (Pao Mae Tawo), *D. copelandii2* (Man Moo) *D. sp.* (Beijing) *T. siamensis* (Ruak). and *B. sp.* (Liang Yai)

สารระเหยและความชื้นของไผ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณมากซึ่งจะส่งผลต่อค่าคาร์บอนคงตัว โดยคาร์บอนคงตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนที่ระเหยได้ยาก และ

จะคงเหลืออยู่ในถ่านหลังจากทำการเผาสารระเหยออกไปแล้ว ยังมีปริมาณถ่าน สารระเหย และความชื้นมากก็จะส่งผลให้ค่าคาร์บอนคงตัวมี

ปริมาณที่ลดลง ในทางกลับกันถ้าปริมาณแถ้ สารระเหย และความชื้นมีปริมาณที่ลดลงก็จะทำให้คาร์บอนคงตัวมีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้น ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะทำให้มีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับ Siritheerasas et al. (2011) และ Uttamaprakrom and Vitidsant. (2011) ที่พบว่า การที่ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและสารระเหยลดลงทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น

### 3.3 ปริมาณและอัตราการดูดซับ

ในการทดสอบปริมาณและอัตราการดูดซับจะมีไผ่ทุกพันธุ์เพียงพันธุ์ละ 1 ตัวอย่างจึงไม่ได้มีการคำนวณหาค่าทางสถิติ พิจารณาการดูดซับสีของเมทิ

ลินบลูโดยติดตามการเปลี่ยนแปลงสีที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร ของไผ่ 7 พันธุ์ (Figure 1) พบว่า ไผ่ขางหวลมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 66.16 ที่เวลา 20 นาที ไผ่ขางหม่นมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 59.70 ที่เวลา 35 นาที ไผ่เปี๊ยะแมตะวอมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 56.65 ที่เวลา 45 นาที ไผ่มันหมูมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 48.67 ที่เวลา 40 นาที ไผ่ปักกิ่งมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 77.57 ที่เวลา 15 นาที ไผ่รวกมีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 74.90 ที่เวลา 15 นาที และ ไผ่เลี้ยงใหญ่มีปริมาณการดูดซับสูงสุดร้อยละ 71.48 ที่เวลา 25 นาที

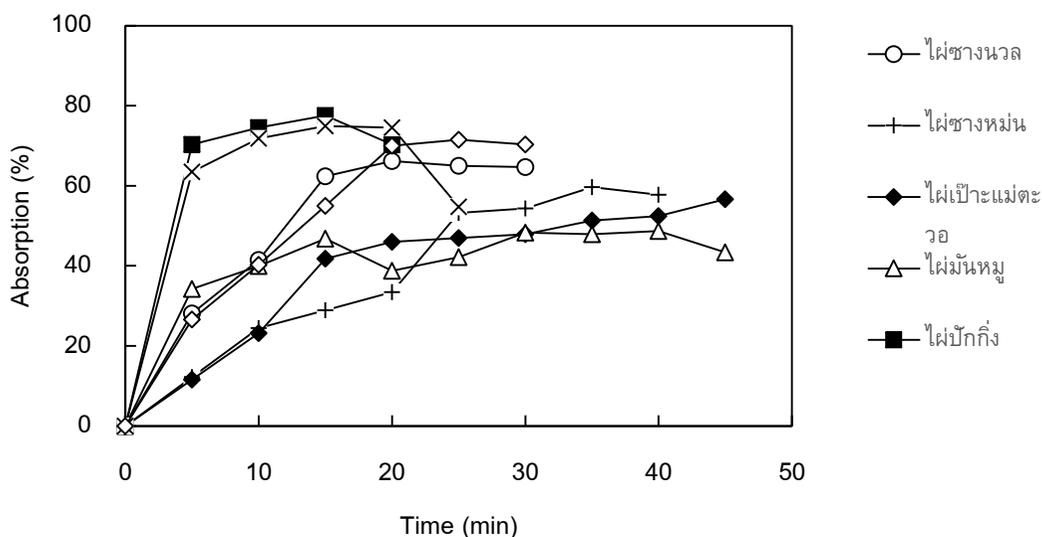


Figure 1 Absorption content in bamboo charcoal of 7 varieties.

และเมื่อพิจารณาอัตราการดูดซับสีเมทิลินบลูของไผ่ทั้ง 7 พันธุ์ ที่หาโดยใช้ โมเดลแลงเมียร์ (Langmuir-Hinshelwood kinetics model) และกราฟแสดงการดูดกลืนแบบค่าคงที่ปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่ง (pseudo-first order rate constant (K)) ซึ่งแสดงค่าคงที่อัตราไว้ใน Table 2 ไผ่ขางหม่น ไผ่เปี๊ยะแมตะวอ ไผ่มันหมู และ ไผ่เลี้ยงใหญ่ มีค่าคงที่อัตรา

การดูดซับสีต่ำกว่าไผ่พันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.0337-0.0413 รอบต่อนาที และหากพิจารณา ลักษณะของรูพรุนพบว่า มีขนาดเล็ก (1-9 ไมโครเมตร) ในขณะที่ไผ่ปักกิ่งมีอัตราการดูดกลืนสีได้ดีที่สุด อาจเนื่องจากขนาดรูพรุนของไผ่ปักกิ่งมีค่าเหมาะสม (4-20 ไมโครเมตร) กับเมทิลินบลูได้ดีกว่าไผ่ชนิดอื่นๆ

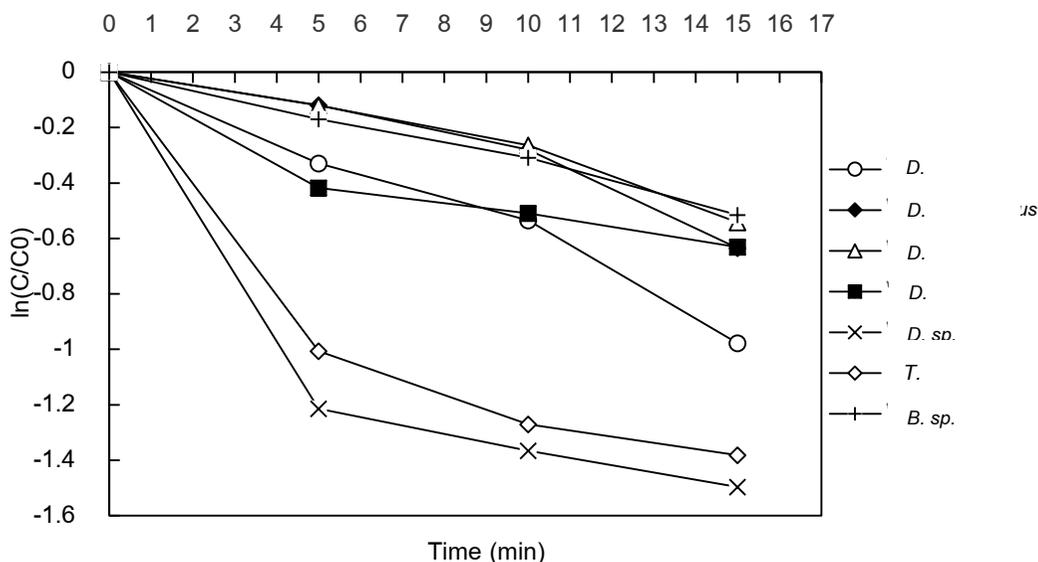


Figure 2 Absorption rate in bamboo charcoal of 7 varieties.

Table 2 Constants of absorption rater in bamboo charcoal of 7 varieties.

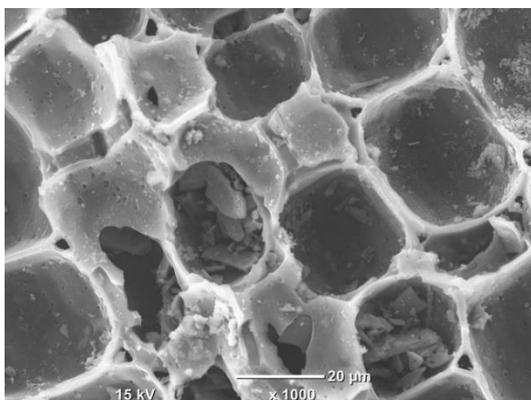
Varieties	K	R <sup>2</sup>
<i>D. membranaceus</i>	0.0628	0.9804
<i>D. sericeus</i>	0.0413	0.9340
<i>D. copelandii1</i>	0.0353	0.9586
<i>D. copelandii2</i>	0.0397	0.8743
<i>D. sp.</i>	0.0928	0.7558
<i>T. siamensis</i>	0.0882	0.8169
<i>B. sp.</i>	0.0337	0.9943

*D. membranaceus* (Sang Nuan), *D. sericeus* (Sang Mon), *D. copelandii1* (Pao Mae Tawo), *D. copelandii2* (Man Moo) *D. sp.* (Beijing) *T. siamensis* (Ruak). and *B. sp.* (Liang Yai)

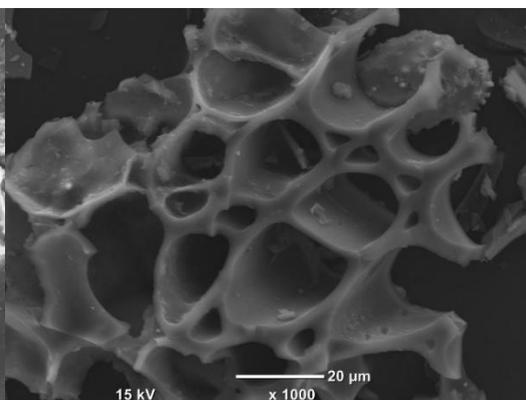
### 3.4. ผลการศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากผลการศึกษาภาพถ่านรูปพรุนที่กำลังขยาย 1,000x พบว่า ไม้เลียงใหญ่ (Figure 9) ไม้ซางหวล (Figure 3) ไม้ซางหม่น (Figure 4) และไม้ปักกิ่ง (Figure 7) เป็นกลุ่มที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ส่วนไม้เป๊าะแม่ตะวอ (Figure 5) ไม้มันหมู (Figure 6) และ

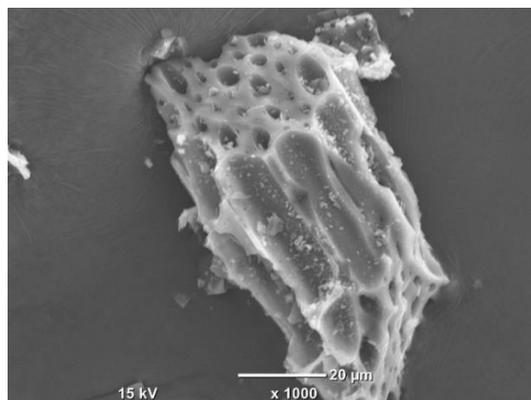
ไม้รวก (Figure 8) เป็นกลุ่มที่มีรูพรุนขนาดเล็ก โดยกลุ่มที่มีรูพรุนขนาดใหญ่มีแนวโน้มในการดูดซับเมทิลินบลูได้ดีกว่ากลุ่มที่มีรูพรุนขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากขนาดรูพรุนของถ่านไม้ไผ่แต่ละพันธุ์จะมีขนาดคละกันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก จึงอาจทำให้ไม้รวกและไม้ปักกิ่ง ซึ่งมีขนาดรูพรุนช่วง 4-12 และ 4-20 ไมโครเมตร มีความสามารถในการดูดซับสีได้ดีกว่าไม้ชนิดอื่นๆ



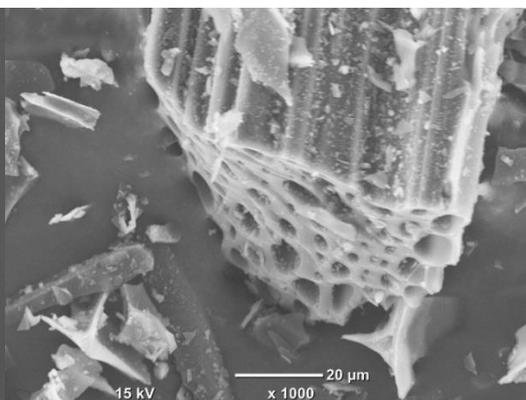
**Figure 3** *D. membranaceus* charcoal  
(pore size 12-29  $\mu\text{m}$ )



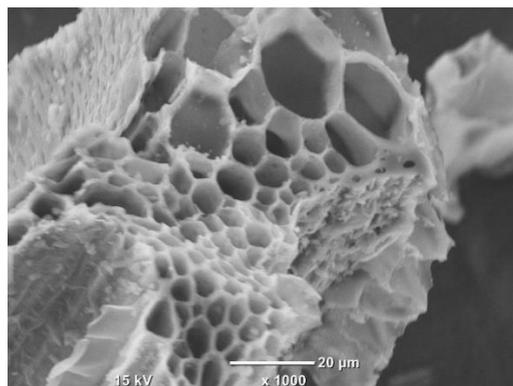
**Figure 4** *D. sericeus* charcoal  
(pore size 4-29  $\mu\text{m}$ )



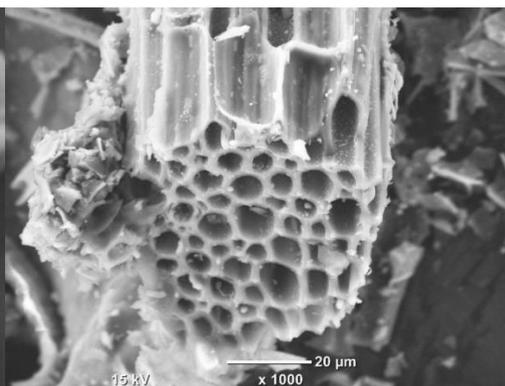
**Figure 5** *D. copelandii*1 charcoal  
(pore size 1-5  $\mu\text{m}$ )



**Figure 6** *D. copelandii*2 charcoal  
(pore size 1-9  $\mu\text{m}$ )



**Figure 7** *D. sp.* charcoal (pore size 4-20  $\mu\text{m}$ )



**Figure 8** *T. siamensis* charcoal  
(pore size 4-12  $\mu\text{m}$ )

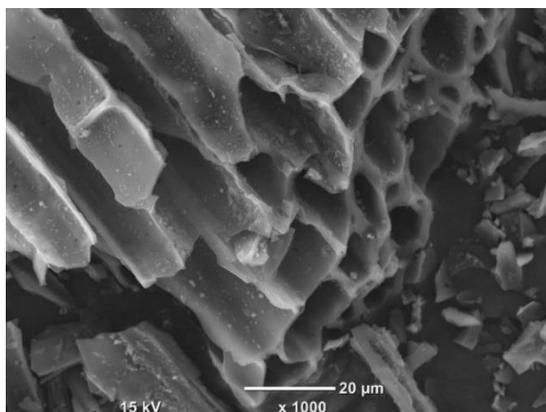


Figure 9 B. sp. charcoal (pore size 5-31 μm)

#### 4. สรุป

4.1. ใผ้หม้้นหมีมีค่าความร้อน และปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด 27.30 MJ/Kg และ 53.07% ตามลำดับ

4.2. ใผ้ชางนวลพบปริมาณเถ้าต่ำสุด และใผ้ปักกิ่งพบปริมาณสารระเหยต่ำสุด

4.3. ใผ้ปักกิ่งมีปริมาณการดูดซับและอัตราการดูดซับสูงที่สุด และค่าการดูดซับเหมาะสมกับเมทิลีนบลู

4.4. ใผ้ที่มีคุณภาพด้านพลังงานเหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความร้อนสูงและคาร์บอนคงตัว คือใผ้หม้้นหมี รองลงมาเป็นใผ้ชางนวลและใผ้ปักกิ่งตามลำดับ

#### 5. References

ASTM International. 2007 . Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. ASTM D 1762-84

Ibrahim, R. H.H., Darvell, L. I., Jones, J. M. and Williams, A. 2013. Physicochemical characterization of torrefied biomass. JAAP. 103: 21-30.

Khumsak, O. , Wattananoi, W. and Worasuwannarak, N. 2011. Effect of Torrefaction Temperatures on Bio- Oil Properties from *Leucaena leucocephala*. KMUTT Research and Development Journal. 34: 341-355. (In Thai)

Lin, S. H., Hsu, L. Y., Chuen, S. C., hang, J. W. and Wu, P. 2014. Carbonization process of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) charcoal and its governing thermodynamics. JAAP. 107: 9-16.

Liu, Z., Jiang, Z., Cai, Z., Fei, B., Y, Liu, X. 2013. Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets. J. Renew. Energy. 51: 1-6.

Ministry of energy. 2018. percentage of alternative energy consumption. energy statistics & information. database: [www.dede.go.th/](http://www.dede.go.th/)

ewt\_news.php?nid=42079, June 12, 2020. (In Thai)

Sajjaku, K., Hengniran, P., Neimsuwan, T. and Laemsak, N. 2016. A production of high quality bamboo charcoals as activated

- charcoal based materials using 200liters oil drum modified charcoal kiln. pp. 116-123. *In: The 20<sup>th</sup> Forest Research on Eco-Economy of Forest Conference.* 1-4 May 2016. Kasetsart university, Bangkok. (In Thai)
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. and Hames, B. 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource. *Biomass Bioenergy.* 19(4): 229-244.
- Siritherasas, P., Changkarn, N. and Chanovit, S. 2011. Quality improvement of coal-mixed biomass by microwave pyrolysis. Tee012. *In: The 21<sup>th</sup> Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference.* 10-11 November 2011. The 60<sup>th</sup> Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Hatyai, Songkhla. (In Thai)
- Sritong, C., Kunavongkrit, A., Piumsombun, C. 2012. Bamboo: an innovative alternative raw material for biomass power plant. *Int. J. Innov. Manag.* 3: 759-762.
- Suluh, S., Sampelawang, P. and Sirande, N. 2019. An analysis of the use of local bamboo as an alternative energy source, pp. 44-48. *In: The 5th International Symposium on Material Mechatronics and Energy.* 6 – 8 November 2018, IOP Conference Series, Gowa, South Sulawesi, Indonesia.
- Sungkaew, S., Teerawatananon, A. and Jindawong, K. 2011. *Bamboo of Thailand.* Baanlaesuan publishing. Bangkok. 263 p. (In Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. 2004. Community product standards of cooking charcoal. database: <https://www.tisi.go.th/>, May 26, 2020. (In Thai)
- The Secretariat of The House of Representatives. 2017. Power development from fast growing biomass for local economy and energy security supplement. National reform steering assembly, Bangkok. (In Thai)
- Truong, A. H. and Le, T. M. A. 2014. Overview of bamboo biomass for energy production. M.S. Thesis., University of sciences and technologies of Hanoi.
- Uttamaprakrom, W. and Vitidsant, T. 2011. Production of briquette charcoals from wet cake waste of ethanol industry from chipped cassava. *Journal of Energy Research.* 8: 1-19 (In Thai)
- Vajrabukka, C. 2012. native land. bamboo. database: <https://sites.google.com/site/bamjitra761/thin-ka-he-nid>, May 26, 2020. (In Thai)