

นิพนธ์ต้นฉบับ

คุณสมบัติถ่านไม้จากไม้พื้นที่สูงต่างถิ่น 5 สายพันธุ์
โดยกระบวนการเผาถ่านแบบสองขั้นตอนดัดแปลง

Properties of Charcoal from Five Exotic High Land Tree Species
Using a Modified Two-Step Carbonization Method

กฤติน สุทธิวารินกุล¹Kritin Suttiwarinkul¹พงษ์ศักดิ์ เฮงนิรันดร์^{1*}Pongsuk Hengniran^{1*}ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ¹Trairat Neimsuwan¹¹ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900¹Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: fforpsh@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 19 พฤษภาคม 2564

รับแก้ไข 23 มิถุนายน 2564

รับลงพิมพ์ 29 มิถุนายน 2564

ABSTRACT

This research focused on the properties of high-quality charcoal derived from High Land Exotic tree species (HETS) planted under a reforestation program in the Angkhang Royal Agricultural Station. Five potential species namely, *Cinnamomum camphora* (L.) Presl, *Prunus cerasoides* D.Don, *Liquidambar formosana* Hance, *Fraxinus griffithii* C.B. Clarke, and *Acacia confusa* Merr. were selected. These trees were carbonized by applying a new technique (called the two-step carbonization) through modified 200-liter charcoal kilns (KP1 and KP2), made in our previous works. After carbonization, the charcoal properties were studied by comparing their fuel and adsorption properties. This included Proximate Analysis, Ultimate Analysis, Calorific Value, and Iodine Number. The results indicated that both types of charcoal kilns had no significant difference with regards to the means of fuel and adsorption properties. The moisture content of *A. confusa* had the lowest mean and the highest mean *C. camphora* at 4.70% and 6.81%, respectively. The volatile compound value of *C. camphora* had the lowest mean and *A. confusa* had the highest mean at 6.22% and 12.35%, respectively. The mean ash value of *A. confusa* was the lowest at 2.33%, while *C. camphora* had the highest means at 5.86%. Fixed carbon values of *L. formosana* and *C. camphora* had the lowest and highest mean at 77.00% and 81.11%, respectively, which is consistent with the ultimate analysis of carbon element percentage. The

mean calorific value of *L. formosana* was the lowest at 6,942.2 cal/g and *A. confusa* had the highest mean at 7,458.9 cal/g. The Iodine adsorption number was between 472.26 - 689.31 $\text{mg}_{\text{Iodine}}/\text{g}_{\text{charcoal}}$, which was higher than the average Iodine adsorption number of typical wood charcoal and close to the minimum activated carbon of 600 $\text{mg}_{\text{Iodine}}/\text{g}_{\text{charcoal}}$.

Keyword: Charcoal, Exotic species, Carbonization, Kiln, Adsorption

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้จากไม้ปลุกบนพื้นที่สูงเพื่อฟื้นฟูป่า ณ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ที่มีศักยภาพจำนวน 5 ชนิด คือ การบูร นางพญาเสือโคร่ง เมเปิ้ลหอม จันทร์ทองเทศ และกระถินดอย โดยประยุกต์ใช้การเผาถ่านแบบสองขั้นตอนที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ร่วมกับเตาเผาถ่านดัดแปลงจากถังน้ำมันสองร้อยลิตร คือ เตา KP1 และ KP2 ที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ ถ่านไม้ที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้เปรียบเทียบกับ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ การวิเคราะห์ค่าความร้อน และการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน ผลการศึกษาพบว่าเตาเผาถ่านทั้งสองชนิด ให้ค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์ด้านเชื้อเพลิงและด้านการดูดซับมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยพบว่าร้อยละความชื้นของกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 4.70 และ 6.81 ตามลำดับ ร้อยละสารระเหยการบูรมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 6.22 และ 12.35 ตามลำดับ ร้อยละขี้เถ้ากระถินดอยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรสูงสุด ที่ 2.33 และ 5.86 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนเสถียรของเมเปิ้ลหอมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ร้อยละ 77.00 และ 81.11 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ร้อยละธาตุคาร์บอน ขณะที่ค่าความร้อน เมเปิ้ลหอม มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 6,942.2 cal/g และ 7,458.9 cal/g ตามลำดับ โดยที่ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าอยู่ระหว่าง 472.26 - 689.31 $\text{mg}_{\text{Iodine}}/\text{g}_{\text{charcoal}}$ ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับเฉลี่ยของถ่านไม้โดยทั่วไปและใกล้เคียงกับค่าขั้นต่ำของถ่านกัมมันต์ที่ 600 $\text{mg}_{\text{Iodine}}/\text{g}_{\text{charcoal}}$

คำสำคัญ: ถ่านไม้ ไม้ต่างถิ่น คาร์บอนในเขชัน เตาเผาถ่าน การดูดซับ

คำนำ

พื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นต้นน้ำที่สำคัญได้ถูกบุกรุกและลักลอบตัดไม้เป็นจำนวนมากจนส่งผลกระทบต่อพื้นที่ป่าไม้และสภาพแวดล้อมของประเทศเป็นอย่างมาก โดยการบุกรุกพื้นที่ป่าส่วนใหญ่จะเป็นการบุกรุกเพื่อทำเกษตรกรรม เช่น การปลูกพืชไร่/พืชหมุนเวียน การปลูกฝิ่น และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น จนกระทั่งพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพล

อดุลยเดชมหาราช (รัชกาลที่ 9) ได้เสด็จผ่านบริเวณดอยอ่างขาง ทอดพระเนตรเห็นว่าชาวบ้านทำการปลูกฝิ่นแต่ยังยากจน ทั้งยังทำลายทรัพยากรป่าไม้ต้นน้ำลำธารที่เป็นแหล่งสำคัญต่อระบบนิเวศของประเทศ จึงได้ทำการหาทางแก้ไข โดยการจัดตั้งสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ อันเป็นโครงการส่วนพระองค์ขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2514 ประเทศได้หันมาจัดส่งผู้เชี่ยวชาญมาศึกษาสภาพพื้นที่และความเหมาะสมในการปลูกพันธุ์ไม้ต่างถิ่น เพื่อส่งเสริมอาชีพ

ปลูกป่าให้กับชาวบ้าน อันจะลดปัญหาการปลูกฝิ่นเพิ่มพื้นที่ป่า และรักษาระบบนิเวศต้นน้ำลำธารให้กับประเทศไทย (Pathpanth, 2003; Phankham, 2004; Terasuwan, 2017)

การปลูกไม้ท้องถิ่นและปลูกไม้ต่างถิ่นภายในสถานีฯ อย่างยั่งยืนนั้น ชาวบ้านควรมีรายได้ในการปลูกป่าควบคู่ไปด้วย ทางสถานีฯ จึงได้นำเสนอการใช้ประโยชน์ไม้อย่างครบวงจรขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีไม้เศษเหลือที่ไม่สามารถแปรรูปได้โดยง่าย เช่น กิ่งไม้ ปลายไม้ รากไม้ หรือส่วนของลำต้นที่ไม่ได้ขนาด ทางสถานีฯ จึงได้เสนอให้ทางคณะผู้วิจัยเข้ามาช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตถ่านคุณภาพสูงจากเศษเหลือเหล่านี้ โดยเน้นการใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงเป็นหลัก หรือถ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงกว่าก็จะเป็นเรื่องที่ดี ทางคณะผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกไม้ที่คาดว่าเมื่อนำมาผลิตเป็นถ่านแล้วก็จะได้ถ่านไม้คุณภาพดีโดยอาศัยผลการวิจัยก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัย เมื่อคำนึงถึงศักยภาพของชนิดไม้แล้วจึงได้ตกลงเลือกใช้ไม้ต่างถิ่นสำหรับปลูกบนพื้นที่สูงห้าชนิด คือ เมเปิ้ลหอม กระถินดอย จันทร์ทองเทศ การบูร และนางพญาเสือโคร่ง ตามลำดับ (Pathpanth, 2003; Phankham, 2004; Terasuwan, 2017)

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้จากไม้ปลูกบนพื้นที่สูงเพื่อพื้นที่ฟูป่า โดยกระบวนการผลิตถ่าน (carbonization process) ที่ดีจะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอนคือ 1) การไล่ความชื้น (dehydration) 2) การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (carbonization) 3) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) และ 4) การทำให้เย็น (cooling) (Phuymoontree, 2005; Kuhakan, 2007; Junkaw, 2010; Tippayawong, 2010; Madhiyanon, 2015) โดยปรับให้แต่ละขั้นตอนมีการควบคุมอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตัวเตาเผาถ่าน

สำหรับขั้นตอนที่ 1-3 ร่วมกับการเปิดให้อากาศเข้าเต็มที่แล้วใช้เชื้อเพลิงสมทรายกลบตันที่ในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยขอเรียกว่าเป็น “กรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน” และนำมาประยุกต์ใช้กับเตาเผาถ่านที่ดัดแปลงจากถังน้ำมันสองร้อยลิตรของคณะผู้วิจัยที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้ คือ เต่า KP1 และ เต่า KP2 นั้นเอง (Sajjakul, 2016)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ในการทดลองศึกษาการผลิตถ่านไม้จากไม้ต่างถิ่น 5 ชนิด คือ การบูร (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl) นางพญาเสือโคร่ง (*Prunus cerasoides* D.Don) เมเปิ้ลหอม (*Liquidambar formosana* Hance) จันทร์ทองเทศ (*Fraxinus griffithii* C.B. Clarke) และ กระถินดอย (*Acacia confusa* Merr.) เนื่องจากไม้ต่างถิ่นสำหรับปลูกบนพื้นที่สูงทั้งห้าชนิดนี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกับชนิดพันธุ์ไม้ท้องถิ่น มีลักษณะเนื้อไม้ที่ดี เหมาะสมกับการนำมาปลูกในเชิงเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยไม้ทั้ง 5 ชนิดนี้ได้รับการสนับสนุนจากทางรัฐบาลได้ทั้งสิ้น

วิธีการ

ทำการผลิตถ่านไม้โดยการเปรียบเทียบอิทธิพลของเตาเผาถ่านชั่วคราวแบบแนวนอนที่ดัดแปลงจากถังน้ำมัน 200 ลิตร จำนวนสองประเภท คือ เต่าเผาถ่าน KP1 และ KP2 และชนิดของไม้ต่างถิ่นทั้ง 5 ชนิด ดังรายละเอียดข้างต้น ต่อคุณสมบัติของถ่านไม้ที่ผลิตได้โดยใช้กรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน (two-step carbonization)

จาก Figure 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเต่า KP1 และ KP2 คือ ห้องเผาไหม้ ส่วนผลิตถ่าน ปล่องควัน ช่องเก็บน้ำส้มควันไม้ และท่อตกน้ำส้มควันไม้ โดยส่วนผลิตถ่านจะเป็นท่อซ้อนท่อเพื่อให้สามารถดึง

เอาถ่านไม้ที่กำลังลุกโชนออกมากระตุ้นด้วยอากาศได้ (activation by air) โดย KP2 จะแตกต่างจาก KP1

ตรงที่ส่วนผลิตถ่านทำจากถัง 200 ลิตรจำนวนสองถัง มาเชื่อมต่อกัน ส่วน KP1 จะใช้เพียงถังเดียว

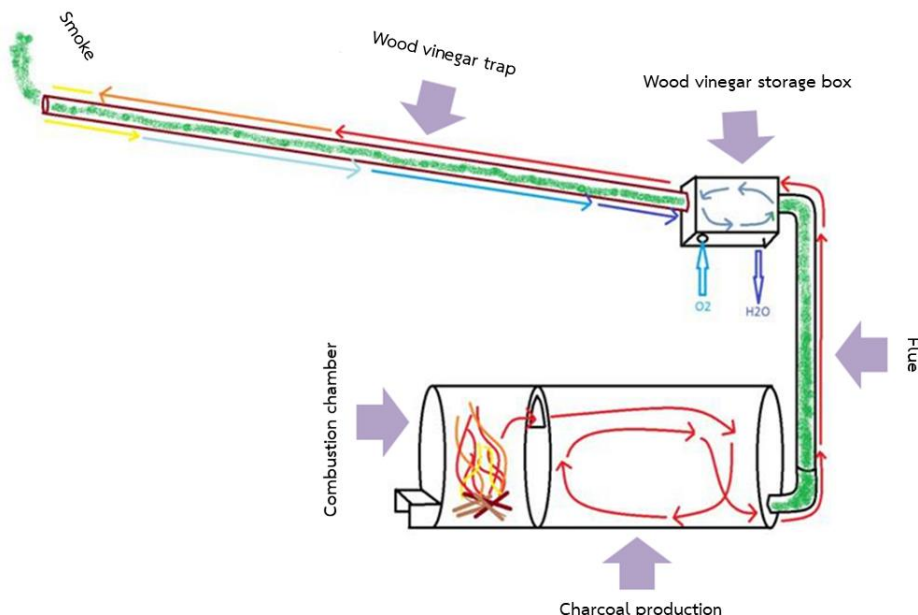


Figure 1 The main components of the new modified charcoal kilns (KP1 and KP2) constructed from 200 litter oil drums.

การเตรียมวัตถุดิบและการเผาถ่าน

1. นำไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2-6 นิ้ว ความยาว 1-1.2 เมตร ผึ่งในกระแสดวงอากาศระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อลดความชื้นในไม้สดลง โดยมีความชื้นในไม้ประมาณ 25-35% ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการผึ่งในกระแสดวงอากาศ

2. เริ่มกระบวนการเผาถ่านตามหลักวิชาการ (4 steps) ร่วมกับกรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน คือ 1) การไล่ความชื้น (dehydration) 2) การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (carbonization) 3) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) และ 4) การทำให้เย็น (cooling) โดยแบ่งออกเป็น เตาเผาถ่านจำนวน 2 ชนิด และชนิดไม้ จำนวน 5 ชนิด

การทดสอบคุณสมบัติของถ่านไม้

1. การวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) ประกอบไปด้วย

1.1 ค่าความชื้น (moisture content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 2867-04

1.2 ค่าปริมาณ สารระเหย (volatile matter) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 5832-98

1.3 ค่าปริมาณขี้เถ้า (ash) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM 2866-94

1.4 ค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนเสถียร (%) = 100 - (ปริมาณความชื้น (%) + ปริมาณสารระเหย (%) +

ปริมาณซีเถ้า (%)) โดยใช้เตาเผา Muffle Furnace (MF-05) เตาเผา Lenton Thermal (AWF 13/25) และเตาอบ Memmert (รุ่น UF160)

2. การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ CHNS Elemental Analyzer (CHNS 2400 series II ของ PerkinElmer)

3. การวิเคราะห์ค่าความร้อน (calorific value) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน Bomb Calorimeter (รุ่น AC-500 ของ LECO)

4. การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน (iodine number) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94

ผลและวิจารณ์

ในงานวิจัยการผลิตถ่านไม้คุณภาพสูงเลือกการใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยศึกษาจาก 2 ปัจจัย คือชนิดไม้แบ่งออกเป็น 5 ชนิด และชนิดเตาเผา

2 ชนิด เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของถ่านที่ได้ โดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติของถ่านดังนี้

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในงานวิจัยการผลิตถ่านไม้คุณภาพสูงเลือกการใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากอิทธิพลของสองปัจจัยหลัก คือชนิดไม้จำนวน 5 ชนิด และชนิดเตาเผาถ่านจำนวน 2 ชนิด เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและด้านการดูดซับของถ่านไม้ที่ได้ โดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านตาม Table 1 ดังนี้

Table 1 Influence of charcoal kiln and tree species on the main properties of the researched charcoals.

Factors	Moisture Content (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)	C (%)	HHV (cal/g)	Iodine Number (mg/g)
Species	0.0348	0.1021	0.0001	0.2404	0.0093	0.0042	0.0443
Kiln	0.3320	0.0846	0.6093	0.0565	0.0408	0.5071	0.8919
Species*Kiln	0.5689	0.1490	0.6400	0.2176	0.1553	0.5783	0.0028

จาก Table 1 แสดงถึงค่าการวิเคราะห์ทางสถิติ F โดยศึกษาอิทธิพลหลักคือ ชนิดไม้ ชนิดเตาเผา ถ่าน และอิทธิพลร่วมของชนิดไม้กับชนิดเตาเผา ถ่าน ต่อคุณสมบัติถ่านไม้ที่สำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากพบว่าค่าไคที่วิเคราะห์ได้ในตารางต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติถ่านไม้ในคอลัมน์ดังกล่าวโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยหลักทั้งสองจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเฉพาะค่าเฉลี่ยของอิทธิพลหลัก คือ ชนิดไม้ และชนิดเตาเผา ถ่าน ต่อคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้ต่อไปใน Table 2

โดยใน Table 2 จะทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านไม้ที่ผลิตได้ แบ่งออกเป็น การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง ประกอบด้วย การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ และการวิเคราะห์ค่าความร้อน ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านดูดซับจะใช้การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นค่าอ้างอิง โดยมีการนำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547) ถ่านดูดกลิ่น (มผช. 180/2560) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) มาช่วยในการเปรียบเทียบ พบว่าคุณสมบัติของถ่านไม้ ที่ได้จากการศึกษา สามารถมีค่าคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนทั้งสองมาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะคุณสมบัติด้านการดูดซับตามมาตรฐานของถ่านกัมมันต์นั้นมีเพียงไม้กระถินดอย และไม้จันทร์ทองเทศเท่านั้นที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) ซึ่งสามารถสรุปค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง และคุณสมบัติทางด้านการดูดซับใน Table 2 ดังต่อไปนี้

จาก Table 2 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าสถิติโดยเฉลี่ยของปัจจัยหลักแบ่งออกเป็น ชนิดไม้ และชนิดเตา และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547) ถ่านดูดกลิ่น (มผช. 180/2560) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติของถ่านดังนี้

การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย

1. ปริมาณความชื้น (moisture content, MC)

ปริมาณความชื้นภายในถ่านไม้จะทำให้การค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้มีค่าต่ำลง เพราะต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไประเหยความชื้นจากถ่านไม้ออกก่อน ดังนั้นถ่านไม้ที่ดีจึงควรมีความชื้นไม่สูงมาก จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 5.82% ต่ำกว่าเตา KP2 ที่มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 6.23% และพบว่าชนิดของไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้กระถินดอยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยต่ำสุด 4.70% ขณะที่ถ่านไม้การบูรมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 6.81%

2. ค่าปริมาณสารระเหย (volatile organic compounds, VOCs)

เพื่อศึกษาถึงปริมาณสารระเหยที่ไม่ควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากสัดส่วนร้อยละของสารระเหยได้จะส่งผลต่อคุณภาพของถ่านไม้โดยตรง โดยปริมาณสารระเหยที่ปลดปล่อยเมื่อได้รับความร้อนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ได้รับจากการใช้ถ่านเป็นแหล่งความร้อนโดยเฉพาะในการปิ้งย่างเนื่องจาก

มีสารก่อมะเร็งปนเปื้อน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) อยู่ในสารระเหยได้เหล่านี้ ดังนั้นค่านี้จึงไม่ควรสูงมาก จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 8.48% ต่ำกว่าเตา KP2 มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 11.02% ซึ่งต่างจากอิทธิพลของชนิดไม้โดยพบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้การบูรมีค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยต่ำสุด 6.22% ขณะที่ไม้กระถินดอยมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยสารระเหยสูงสุด 12.35%

3. ค่าปริมาณขี้เถ้า (ash)

ปริมาณขี้เถ้าหมายถึงปริมาณของสารอนินทรีย์ในเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำลงเนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ให้ความร้อนได้ จากการวิเคราะห์แยกอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ย 4.88% สูงกว่าเตา KP2 มีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ย 4.66% แต่กลับพบว่าชนิดไม้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณขี้เถ้าในถ่านไม้โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าไม้กระถินดอยมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 2.33% และไม้การบูรมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยสูงสุด 5.86%

4. ค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon, FC)

คาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สามารถเผาไหม้ให้พลังงานได้ ยังมีร้อยละคาร์บอนเสถียรที่สูงถ่านไม้ยิ่งเผาไหม้ให้ความร้อนได้ยาวนานและสม่ำเสมอ ในการวิเคราะห์นั้นหลังจากหักปริมาณ

ความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณขี้เถ้าออกจากถ่านไม้แล้ว สัดส่วนที่เหลือก็คือปริมาณคาร์บอนเสถียรนั่นเอง จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ย 80.83% สูงกว่าเตา KP2 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ย 78.32% และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยไม้เมเปิ้ลมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ยต่ำสุด 77.01% และไม้การบูรมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ยสูงสุด 80.63%

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

เพื่อศึกษาปริมาณธาตุ C H N S และ O ในถ่าน โดยในงานนี้จะเน้นที่การวิเคราะห์ร้อยละคาร์บอนเป็นหลักเพราะเป็นค่าที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของถ่านไม้ แต่กรณีของถ่านหินอาจจำเป็นต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบร้อยละของซัลเฟอร์อีกหนึ่งตัว ผลการเปรียบเทียบร้อยละคาร์บอนและร้อยละคาร์บอนเสถียรของถ่านไม้พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตา KP1 มีร้อยละคาร์บอนเฉลี่ย 84.50 สูงกว่าเตา KP2 ที่มีร้อยละคาร์บอนอยู่ที่ 78.71 และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้กระถินดอย และไม้นางพญาเสือโคร่งมีร้อยละคาร์บอนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 84.74 และไม้เมเปิ้ลมีร้อยละคาร์บอนต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 80.18

Table 2 Effect of kiln type and tree species on the Proximate analysis, Ultimate Analysis (C %), Calorific Value, and Iodine Number of charcoals derived.

Factors	Moisture Content (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)	C (%)	HHV (cal/g)	Iodine Number (mg/g)
Standard for Charcoal Utilization							
TCPS. 657/2547	< 10%	< 25%	< 8%	> 57%		6,000 < cal/g	
TCPS. 180/2560	< 8%						> 150
TIS. 900 – 2547	< 8%						> 600
Kiln							
KP1	5.82±1.36 ^A	8.48±4.25 ^A	4.88±1.75 ^A	80.83±3.44 ^A	84.50± 2.88 ^A	7215.17±283.77 ^A	576.94±143.69 ^A
KP2	6.23A ± 1.23 ^A	11.02±4.71 ^A	4.66±1.68 ^A	78.32±3.84 ^A	82.71±2.79 ^B	7193.65±275.03 ^A	582.66±155.08 ^A
Species							
<i>L. formosana</i>	6.62±2.03 ^{AB}	11.30±2.87 ^A	5.65±2.19 ^A	77.00±2.66 ^A	80.18±2.19 ^B	6942.2±356.11 ^B	553.17±204.07 ^{AB}
<i>A. confusa</i>	4.70±0.89 ^B	12.35±5.59 ^A	2.33±0.44 ^B	80.63±5.15 ^A	84.74±2.33 ^A	7458.9±130.13 ^A	689.31±176.94 ^A
<i>C. camphora</i>	6.81±1.13 ^A	6.22±3.03 ^A	5.86±0.24 ^A	81.11±2.06 ^A	83.92±2.17 ^{AB}	7423.5±214.59 ^A	616.37±90.00 ^{AB}
<i>F.griffithii</i>	5.84±0.14 ^{AB}	9.26±2.62 ^A	4.49±0.32 ^A	80.42±2.58 ^A	84.43±1.31 ^A	7204.7±149.93 ^{AB}	567.91±110.34 ^{AB}
<i>P. cerasoides</i>	6.17±0.22 ^{AB}	9.61±5.95 ^A	5.51±0.83 ^A	78.71±5.05 ^A	84.74±3.97 ^A	7082.8±205.44 ^{AB}	472.26±138.60 ^B

Remark: * Values are represented as mean±SD and values followed by the same letter(s) in each column are not significantly different (p≥0.05).

** TCPS. 657/2547 (Charcoal for cooking), TCPS. 180/2560 (Charcoal for Deodorizer), TIS. 900 – 2547 (for Activated Charcoal)

การวิเคราะห์ค่าความร้อน (calorific value, CV)

ค่าพลังงานความร้อนในที่นี้หมายถึงพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนมีความสัมพันธ์กับโดยตรงกับร้อยละของคาร์บอนเสถียร โดยงานวิจัยนี้จะหมายถึงค่าความร้อนสูง (high heating value, HHV) อันเป็นค่าความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ของเชื้อเพลิงที่ทำการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตาชนิด KP1 มีค่าความร้อนเฉลี่ย 7,215.17 cal/g สูงกว่าเตา KP2 มีค่าความร้อนเฉลี่ย อยู่ที่ 7,193.65 cal/g และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้เมเปิ้ลหอมมีค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด 6,942.2 cal/g ขณะที่ไม้กระถินดอยมีค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงสุด 7,458.9 cal/g

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน (iodine number)

การวิเคราะห์ Iodine Number ใช้ในการประยุกต์เพื่อทดสอบ/ศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้ โดยประยุกต์ใช้สายละลายไอโอดีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในระดับเดียวกับโมเลกุลของก๊าซในการวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนหรือพื้นที่ผิวของของถ่านไม้จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันในการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับ ส่งผลให้เตาเผาถ่านมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับของถ่านไม้จากไม้แต่ละชนิด และเมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยจาก Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตาชนิด KP1 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 576.94 mg_{Iodine}/g_{Scharcoal} ต่ำกว่าเตา KP2 มีค่าความร้อนเฉลี่ย 582.66 mg_{Iodine}/g_{Scharcoal} และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดย

ไม้นางพญาเสือโคร่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยต่ำสุด 472.26 mg_{Iodine}/g_{Scharcoal} และไม้กระถินดอยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยสูงสุด 689.31 mg_{Iodine}/g_{Scharcoal}

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติของถ่านไม้ โดยแบ่งการวิเคราะห์ถ่านออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ทางด้านเชื้อเพลิง ประกอบด้วยการวิเคราะห์โดยประมาณ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ และการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าปัจจัยของชนิดเตาเผาถ่านไม้ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านไม้ที่ได้ แต่ชนิดของไม้วัตถุดิบที่เลือกใช้ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของถ่านไม้ที่ผลิตได้ โดยเตาชนิด KP1 และไม้กระถินดอยเหมาะสมจะผลิตถ่านไม้ที่คำนึงถึงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง เนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยที่ต่ำ มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง และมีค่าความร้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านและไม้ชนิดอื่น ซึ่งคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของชนิดไม้และชนิดเตาทุกชนิดผ่านมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.๖๕๗/๒๕๔๗) และจัดอยู่ในกลุ่มถ่านคุณภาพสูง สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านการดูดซับของถ่านไม้ พบว่าปัจจัยของชนิดเตาเผาถ่านส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้แต่ละชนิด โดยเตา KP2 ให้ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าเตา KP1 จึงเหมาะสมในการผลิตถ่านไม้เพื่อการดูดซับมากกว่า ทั้งนี้ถ่านไม้จากไม้กระถินดอยและไม้การบูรเหมาะสมในการผลิตถ่านไม้ที่คำนึงถึงคุณสมบัติด้านการดูดซับมากที่สุดโดยสามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของถ่านกัมมันต์ได้ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาไปส่งเสริมผลิตเป็นถ่านดูดกลิ่นตามมาตรฐาน มผช. 180/2560 พบว่าถ่านทุกตัวสามารถนำไปต่อยอดส่งเสริมกับชุมชนได้ทั้งหมด เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนที่สูงกว่าถ่านไม้

ที่ผลิตจากกรรมวิธีโดยทั่วไปและผ่านเกณฑ์ มผช. 180/2560 ที่ 150 $\text{mg}_{\text{iodine}}/\text{g}_{\text{charcoal}}$ ดังนั้นการเลือกใช้เตาผลิตถ่านในงานวิจัยนี้ ถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะของการใช้ประโยชน์ คือการใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงและการใช้ประโยชน์ด้านการดูดซับ เพื่อเลือกใช้เตาและชนิดไม้แต่ละชนิดให้ถูกต้องเหมาะสม และยังเป็นที่ยืนยันด้วยว่ากรรมวิธีการผลิตถ่านก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตถ่านไม่ให้ตรงกับวัตถุประสงค์และคุณภาพตามเกณฑ์ของการนำไปใช้งาน

REFERENCES

- Junkaw, P. 2010. Technology transfer on construction and charcoal burning technique from 200 liters charcoal kiln. *RMUTP sci.J.* 4(1): 129-140. (in Thai)
- Kuhakan, J. 2007. *Charcoal and Wood Vinegar*. Kasetthammachart. Bangkok. (in Thai)
- Madhiyanon, T. 2015. *Biomass Combustion*. CDMK printing, Bangkok. (in Thai)
- Pathpanth, K. 2003. *Effect of Exotic Trees Thinning on Intercepted Water at the Royal Angkhang Agricultural Station, Changwat Chiang Mai*. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Phankham, K. 2004. *Effect of Thinning on Growth, Water Use and Some Soil Properties of Exotic Trees Plantation on High Land*. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Phuymontree, J. 2005. Making a charcoal and wood vinegar collection by kiln 200 liter. *Appropriate Technology Association* 6(6): 35-39. (in Thai)
- Sajakul, K. 2016. *A Production of Bamboo Activated Charcoal Using Modified Charcoal Kilns: KP1 and KP2*. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Terasuwan, S. 2017. *Soil Properties and Carbon Storage of Exotic Fast-growing-tree Plantations at the Royal Agricultural Station Angkhang, Chiang Mai Province*. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Tippayawong, N. 2010. *Biomass Conversion*. Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (in Thai)