การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

Charcoal and Wood Vinegar Products from Hedge Bamboo by Using 200 Liters Community Charcoal Kiln Working with Gasified Biomass Burner

สมมาส แก้วล้วน

Sommas Kaewluan

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University

ภรณี ศรีรมรื่น

Paranee Sriromreun

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี

Surachai Narrat Jansri

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Asian Development College for Community Energy and Technology,

Chiang Mai Rajabhat University

พิชัย อัษฎมงคล

Pichai Asadamongkon

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University

สินศุภา จุ้ยจุลเจิม

Sinsupha Chuichulcherm

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University

E-mail: sommas@g.swu.ac.th, paranee@g.swu.ac.th, jansrisnar@gmail.com,

pichaias@g.swu.ac.th and ajple@hotmail.com

(Received : September 28, 2020 Revised : January 9, 2021 Accepted : January 29, 2021)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาปริมาณและคุณภาพของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไผ่เลี้ยงที่มีความยาว 7.5 เซนติเมตร ความชื้นร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 โดยใช้เตาเผาถ่านแบบถังตั้งขนาด 200 ลิตร ส่วนฐานเชื่อมต่อกับชุดให้ความร้อนอุณหภูมิสูงจากเตาผลิตและหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยสามารถป้อนแก๊สร้อนที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับอุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ส่วนบนของเตาเผาเชื่อมต่อเข้ากับชุดควบแน่นแบบ Shell & Coil โดยมีอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนที่ 4 ลิตรต่อนาที แก๊สไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้และน้ำส้มควันไม้ดิบถูกแยกออกจากกันด้วยไซโคลน น้ำส้มควันไม้ดิบไหลเข้าสู่ถังเก็บในขณะที่แก๊สไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้ถูกส่งไปเผาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวล การทดลองเสร็จสิ้นเมื่อไม่มีน้ำส้มควันไม้ไหลออกจากเครื่องควบแน่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ไม้ไผ่ที่มีความชื้นร้อยละ 27.78 กระบวนการคาร์บอไนเซชันจะเสร็จสิ้นในเวลา 350 นาที โดยให้มวลถ่านร้อยละ 22.38 และมวลน้ำส้มควันไม้ร้อยละ 59.25 ไผ่ที่มีความชื้นสูงใช้เวลาในการเผาถ่านนาน ให้ผลผลิตถ่านต่ำ แต่ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่มาก ในทางตรงกันข้ามการผลิตถ่านด้วยไผ่ที่มีความชื้นต่ำใช้เวลาน้อยกว่า ให้ผลผลิตถ่านมาก และให้น้ำส้มควันไม้ในปริมาณน้อย คุณภาพของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) การผลิตถ่านจากไผ่เลี้ยงด้วยเทคโนโลยีนี้สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรได้มากถึงครั้งละ 1,729 บาท

คำสำคัญ: ถ่านไม้ไผ่ น้ำส้มควันไม้ ไม้ไผ่เลี้ยง เตาเผาถ่าน หัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

Abstract

The objective of the research was aimed to qualify and quantity the carbonization products from bamboo wood using new-design self-assembled kiln. The kiln comprised of a 200 liters cylindrical cabinet with an inlet heat source from a burner, an outlet for vapors passing through a condenser and a non-condensable gas burner. Heat source was 1000 °C oxygen-lean gas from a solid fuel burner, while the pyroligneous acid or “wood vinegar” was recovered in a condensing unit using tap water as a coolant at a flowrate of 4 liter per minute. The leftover, non-condensable gas was burn in a gas burner as a co-fuel and to reduce gas emission. Raw material was bamboo chunk chopped into a length of 7.5 cm and dried to abstain moisture contents of 27.78, 20.57 and 13.33% respectively. Three sets of experiment were conducted with altering bamboo moisture contents. The wood vinegar was collected every 5-minute intervals until no more wood vinegar was detected. The results show that using a 27.78% moisture content bamboo chunk, the carbonization

process completed after 350 minutes, with mass yields of 22.38% charcoal and 59.25% wood vinegar were obtained. However, yield of charcoal increased when bamboo moisture content decreased, contrariety to wood vinegar. The quality of the carbonization products obtained from this work were well represented according to Thai community product standard. The production of bamboo charcoal and wood vinegar using this kiln can generate income for farmers up to 1,729 baht per run.

Keywords: Charcoal bamboo, Wood vinegar, Hedge bamboo, Charcoal kiln, Gasified biomass burner

บทนำ

ไผ่เป็นพืชตระกูลหญ้าที่อยู่คู่วิถีชีวิตของคนไทย และชาวเอเชียมาช้านาน เนื่องด้วยประเทศไทยมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะกับการกระจายพันธุ์และการเจริญเติบโตของไผ่ จึงพบเห็นไผ่ได้จำนวนมากถึง 100 ชนิด ใน 17 สกุล Sungkaew, Teerawatananon & Jindawong, (2011) ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไผ่ธรรมชาติมากกว่า 28 ล้านไร่ พบมากที่สุดที่ภาคตะวันตก และภาคเหนือ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ป่าไผ่ที่เกิดจากการปลูก เช่น สวนไผ่ของชุมชน สวนไผ่ปลูกผสมผสานแบบวนเกษตร สวนไผ่ปลูกตามหัวไร่ปลายนา เป็นต้น Homkong (2014) ซึ่งไผ่ที่นิยมปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจคือ ไผ่ตง ไผ่รวก ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยง Thanurak (1996) ในช่วงปี พ.ศ. 2550-2553 มีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ประมาณ 441 ล้านบาท Aksornnaem & Niboontum (2011) ปัจจุบันมีผู้รับซื้อไม้ไผ่ประมาณ 40-50 ราย โดยปริมาณรวมในการซื้อขายสูงถึงปีละ 600,000 ตัน Homkong (2014)

ไผ่เลี้ยงเป็นไผ่ลูกผสมจากไผ่ต่างสกุลระหว่างไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) และไผ่ซางนวล (*Dendrocalamus membranaceus* Munro) Wei-limet al. (2018) ซึ่งนิยมนำมาใช้ประโยชน์เป็นไม้ประดับแนวรั้ว ลำที่ตันให้ความแข็งแรงใช้ทำคันเบ็ด บันได โป๊ะ ไม้หลักเลี้ยงหอยแมลงภู่ ทำชิ้นส่วนของเฟอร์นิเจอร์ และหน่อเป็นอาหาร Lausakul, Boonsermsuk & Sungkaew (2014) ส่วนโคน ปลาย และลำต้นที่คดงอถูกทิ้งไว้ที่สวนโดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ชาวสวนนิยมกำจัดส่วนนี้ทิ้งโดยการเผาทำลายซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่สำหรับพื้นที่ชนบทของประเทศไทย ไผ่นอกจากใช้หน่อเป็นอาหารแล้วยังมีการนำไผ่มาใช้เป็นไม้ฟืน และผลิตเป็นถ่านด้วย

ส่วนของไผ่ที่นำมาผลิตถ่านมีทั้งลำไผ่ และเศษที่เหลือทิ้ง เช่น ข้อ โคนต้น และส่วนปลาย โดยเมื่อนำมาเผาจนเป็นถ่านแล้วมักถูกบดอัดให้กลายเป็นถ่านอัดแท่งซึ่งมีจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ โดยราคาถ่านไม้ไผ่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน หากต้องการนำไปเพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ราคาอยู่ที่กิโลกรัมละ 20 บาท Phoochinda (2014) หากแต่เป็นถ่านไม้ไผ่ที่มีคุณภาพสูงเพื่อนำไปใช้เป็นถ่านเพื่อสุขภาพ ถ่านไม้ไผ่ประเภทนี้มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 500 บาท Pitaktunsakul (2014) ปัจจุบันถ่านไม้ไผ่

คุณภาพสูงยังเป็นที่ต้องการของตลาดมาก ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ส่งเสริมอาชีพให้กับชุมชนในการผลิตถ่านไม้ไผ่คุณภาพสูงเพิ่มมากขึ้น

การผลิตถ่านในชุมชนนิยมใช้เตาเผาถ่านที่ทำด้วยถังโลหะขนาด 200 ลิตร ทั้งเป็นแบบถังตั้งและแบบถังนอน ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้เวลาในการเผาถ่านมากกว่า 8 ชั่วโมง ถ่านที่ผลิตได้มีปริมาณและคุณภาพไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนเผาถ่าน การเลือกไม้วัตถุดิบ การป้อนเชื้อเพลิงหน้าเตา การปิดเตา เป็นต้น การผลิตถ่านในชุมชนอาจมีน้ำส้มควันไม้เป็นผลพลอยได้ โดยปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีปริมาณไม่แน่นอน โดยทั่วไปจะเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ 2 ลิตรต่อการเผาถ่านด้วยถัง 200 ลิตรหนึ่งครั้ง Maneechot et al. (2015) ได้พัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งด้วยเทคนิคแก๊สซิฟิเคชั่น สามารถลดเวลาในการเผาถ่านได้มากโดยใช้เวลาเพียง 5.5 ชั่วโมง ได้ถ่านเป็นผลผลิตประมาณ 7 กิโลกรัม แต่พบว่าเตาเผาถ่านของพิสิษฏ์ มณีโชติ ไม่สามารถรวบรวมน้ำส้มควันไม้ได้ และในบางช่วงมีการก่อมลพิษค่อนข้างสูง นอกจากปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้ในการเผาถ่านแล้วยังพบว่าเตาเผาถ่านบางประเภทมีประสิทธิภาพทางความร้อนค่อนข้างต่ำ Rakkarnngan et al. (2014) จึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาโดยใช้ฉนวนกันความร้อน ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดการสูญเสียความร้อนและลดระยะเวลาในการเผาถ่าน และที่สำคัญปัญหามลพิษจากการเผาถ่านที่ส่งผลประทบต่อสุขภาพประชาชนและสิ่งแวดล้อมนั้นยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรม

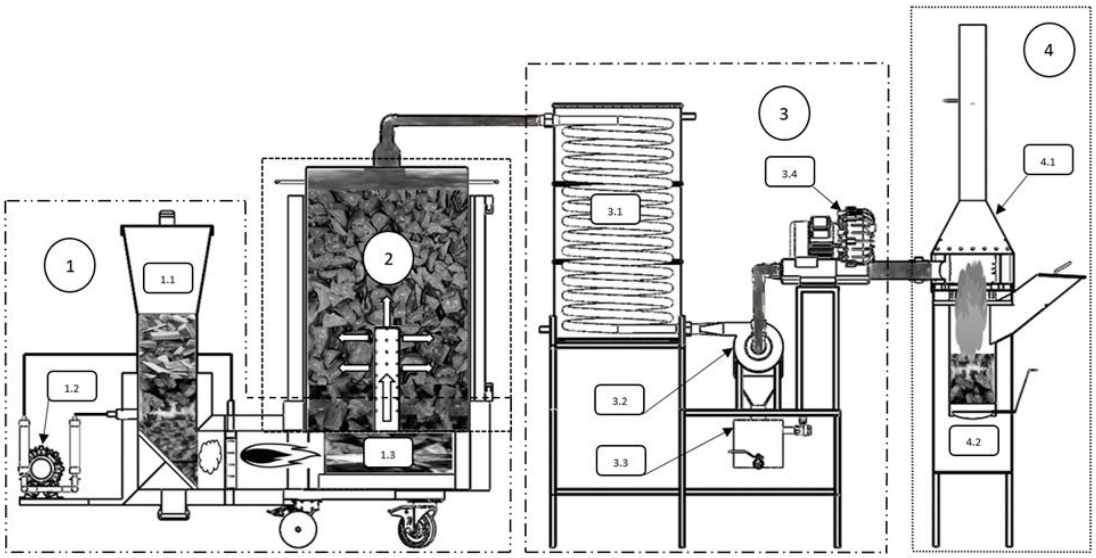
จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยใช้ไม้ไผ่เลี้ยงเป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มผลิตภาพการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ ช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ตลอดจนส่งเสริมให้ชุมชนสร้างรายได้และผลกำไรในการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่และน้ำส้มควันไม้

ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากพัฒนาเตาเผาถ่านชุมชน จากนั้นทำการทดลองการผลิตถ่านโดยใช้ไผ่เลี้ยงเป็นวัตถุดิบที่ได้รับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่และน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ได้รับการตรวจสอบคุณสมบัติ การประมาณการรายได้หลังจากที่ชุมชนนำเทคโนโลยีไปใช้งาน และในขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินการเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน

เตาเผาถ่านชุมชนที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

เตาเผาถ่านชุมชนที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้รับการพัฒนา ภายใต้โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานและนวัตกรรมสู่ชุมชน ซึ่งเป็นโครงการบริการวิชาการแก่ชุมชนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยเตาเผาถ่านมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ 1) ส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูง 2) ส่วนเตาเผาถ่าน 3) ส่วนควบแน่นน้ำส้มควันไม้ และ 4) ส่วนควบคุมมลพิษ ดังภาพที่ 1



1) ส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูง 2) ส่วนเตาเผาถ่าน 3) ส่วนควบแน่นน้ำส้มควันไม้ 4) ส่วนควบคุมพิษ
เตาเผาถ่านขนาดที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

Figure 1 Charcoal furnaces that work with synthetic fuel gas burners
(Source: Sommas Kaewluan et al., 2021)

ส่วนที่ 1 ส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูง ส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูง ประกอบด้วย เตาผลิตและเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (1.1) พัดลมป้อนอากาศสำหรับช่วยผลิตและเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (1.2) และห้องเผาไม้ฟืนสำรอง (1.3) ส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูงทำหน้าที่จ่ายแก๊สอุณหภูมิสูงที่ออกซิเจนต่ำให้กับเตาเผาถ่านเพื่อไล่ความชื้น และสารระเหยออกจากวัตถุดิบในกระบวนการเผาถ่านอย่างรวดเร็วซึ่งสามารถป้องกันการสูญเสียคาร์บอนคงตัว ทำให้ได้ถ่านที่มีปริมาณสูงและมีคุณภาพดี โดยมีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาดังนี้ ช่วงที่1 เป็นช่วงเวลาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากห้องเชื้อเพลิงหลัก โดยการจุดเตาห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงหลักให้เกิดการลุกไหม้แล้วเปิดวาล์วควบคุมลมจากพัดลมป้อนอากาศที่อัตราการไหล 14 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เข้าห้องเชื้อเพลิงหลัก ขณะที่วาล์วควบคุมอากาศที่ป้อนให้ชุดหัวเผาถูกปิดอยู่ จากนั้นเมื่อหัวเผามีอุณหูมิไม่น้อยกว่า 400 องศาเซลเซียส ให้เปิดวาล์วควบคุมการป้อนอากาศเข้าไปยังหัวเผาที่อัตราการไหล 7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้แก๊สร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปใช้ในกระบวนการเผาถ่าน ช่วงที่ 2 เมื่อไม้ที่ห้องเชื้อเพลิงหลักกลายเป็นถ่าน และถ่านลดปริมาณลงมาต่ำกว่าช่องป้อนอากาศ วาล์วควบคุมลมจากพัดลมป้อนอากาศถูกปรับเพื่อให้มีอัตราการไหลของอากาศลดลงเหลือ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนที่หัวเผาเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเป็น 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิของส่วนนี้ลดต่ำลงจนอุณหภูมิเริ่มคงที่ประมาณ 600 องศาเซลเซียส อากาศที่ป้อนไปที่หัวเผาไปเผาไหม้ถ่านที่ห้องไม้ฟืนสำรองทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส จนเสร็จสิ้นกระบวนการเผาถ่าน

ส่วนที่ 2 ส่วนเตาเผาถ่าน เตาเผาถ่านเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงสำรองทำมาจากถังโลหะ 200 ลิตร ห่อหุ้มด้วยฉนวนเซรามิคที่มีความหนาประมาณ 50 มิลลิเมตร ด้านบนเชื่อมต่อกับส่วนควบแน่นน้ำส้มควันไม้ ความร้อนจากแก๊สร้อนที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนให้ความร้อนไหลผ่านด้านล่างของเตาเผาถ่านที่มีรูขนาดเล็กเพื่อให้ความร้อนผ่านไปด้านในของเตาเผาถ่านและมีท่อส่งผ่านความร้อนที่ช่วยกระจายความร้อนในเตาให้ทั่วถึงในระหว่างการเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น ช่วงแรกของการเผาถ่านเป็นการไล่ความชื้นและสารระเหยในเนื้อไม้ ช่วงนี้สามารถเก็บผลผลิตน้ำส้มควันไม้ได้ในปริมาณมาก ช่วงที่สองเป็นช่วงของการไล่สารระเหยที่อยู่ในไม้และทำให้ถ่านบริสุทธิ์ อุณหภูมิในเตาเผาถ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้ลดลงจนไปถึงช่วงสุดท้ายไม้ได้กลายเป็นถ่านและไม่สามารถเก็บผลผลิตน้ำส้มควันไม้ได้ อุณหภูมิในเตาเผามีอุณหภูมิสูงไม่น้อยกว่า 300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสิ้นสุดกระบวนการเผาถ่าน

ส่วนที่ 3 ส่วนควบแน่นน้ำส้มควันไม้ ส่วนควบแน่นน้ำส้มควันไม้เป็นส่วนที่ต่อจากส่วนบนของเตาเผา ซึ่งประกอบด้วย ชุดควบแน่น (3.1) แบบ Shell & Coil ที่ใช้น้ำระบายความร้อนที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที ไซโคลน (3.2) สำหรับแยกน้ำส้มควันไม้กับแก๊สไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้ ถังเก็บน้ำส้มควันไม้ (3.3) และพัดลมดูดแก๊สที่ควบแน่น (3.4) แก๊สร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านที่ประกอบไปด้วยแก๊สที่ควบแน่นได้และแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ ถูกส่งมาที่ส่วนนี้เพื่อควบแน่นน้ำส้มควันไม้ ผ่านชุดคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน แก๊สที่ควบแน่นได้ควบแน่นเป็นน้ำส้มควันไม้ไหลมาพร้อมกับแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้มายังไซโคลนดักจับน้ำส้มควันไม้ น้ำส้มควันไม้ถูกคัดแยกออกจากแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ไหลลงมาที่ถังเก็บน้ำส้มควันไม้และถูกระบายออกทุก ๆ 5 นาที เพื่อเก็บในแกลลอนพลาสติกแบบทึบแสง ส่วนแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ซึ่งบางส่วนของแก๊สเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ถูกส่งไปใช้เป็นพลังงานร่วมกับเตาชีวมวล

ส่วนที่ 4 ส่วนควบคุมมลพิษ ส่วนควบคุมมลพิษเป็นส่วนที่เผาแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ แก๊สเหล่านี้ไหลผ่านเข้ามาที่ปล่องเผาแก๊ส (4.1) โดยที่ปล่องเผาแก๊สมีช่องอากาศใช้สำหรับป้อนอากาศให้กับแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการเผาไหม้ โดยแก๊สได้รับความร้อนจากเตาชีวมวล (4.2) ในการเผาแก๊สที่ติดไฟได้ให้เป็นแก๊ส CO_2 และ H_2O ก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

วิธีการทดลอง

การทดลองผลิตถ่านด้วยเตาเผาถ่านขนาดที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เริ่มจากการบรรจุเชื้อเพลิงลงในส่วนให้ความร้อนอุณหภูมิสูง และห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงสำรองจำนวน 11 และ 4 กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นนำไม้ไผ่เลี้ยงขนาด 7.5 เซนติเมตร ใส่ผลิตถ่านในเตาเผาถ่าน ดังภาพที่ 2 โดยแต่ละการทดลองใช้วัตถุดิบเป็นไม้ไผ่เลี้ยงส่วนโคนและส่วนปลายที่ผ่านการตากแดดจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 ตามลำดับ จากนั้นดำเนินการเผาถ่านเพื่อผลิตถ่าน และเก็บรวบรวมน้ำส้มควันไม้ดิบทุก 5 นาที พร้อมชั่งน้ำหนักน้ำส้มควันไม้ที่ได้ สำหรับแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ได้รับการวิเคราะห์องค์ประกอบทุก 30 นาที วัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที และแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ร่วมกับเตาชีวมวลก็ได้รับการวิเคราะห์องค์ประกอบเช่นกัน จากนั้นปิดเตาเผาถ่านทิ้งไว้ให้เย็นและนำถ่านออกมาชั่ง

น้ำหนักและสุ่มตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ และทำการวิเคราะห์สมบัติน้ำส้มควันไม้ที่ถูกทิ้งไว้เป็นเวลา 3 เดือนจนแยกชั้นจากน้ำมันดิน

วัตถุดิบ ชุดอุปกรณ์เตาเผาถ่าน ผลิตภัณฑ์ถ่าน น้ำส้มควันไม้ดิบและเตาเผาแก๊สมลพิษ

Figure 2 Raw materials and equipment for the charcoal furnace charcoal products Raw wood vinegar and polluted gas incinerators (Source: Sommas Kaewluan et al., 2021)

การวิเคราะห์วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ และแก๊ส

ไผ่เลี้ยงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตถ่านไม้ไผ่ ความชื้นของไผ่เลี้ยงถูกวิเคราะห์แบบรวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือด้วยวิธีการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบไมโครเวฟตามมาตรฐาน ASTM E1358-97 (microwave oven drying) ทั้งวัตถุดิบแห้งและถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากการทดลองถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM D5373 และ D4239) วิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM D3172-3175) และวิเคราะห์หาค่าความร้อน (Heating Value: HV) ตามมาตรฐาน ASTM D5865 ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม และศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการที่ถูกจัดเก็บไว้ในแกลลอนทึบแสงเป็นเวลา 3 เดือน ได้รับการวิเคราะห์ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.659/2553 สำหรับแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ซึ่งมีส่วนผสมของแก๊สที่เผาไหม้ได้ส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวล โดยวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (แก๊สคาร์บอนมอนอกไซค์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซค์ (CO_2) และแก๊สมีเทน (CH_4)) ที่มีอยู่ในแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ ด้วยเทคนิค Non dispersive Infrared (NDIR) ส่วนปริมาณแก๊สออกซิเจน (O_2) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ได้รับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemcal cell: EC) และเทคนิค Thermal conductivity (TCD) ตามลำดับ

หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวล แก๊สไอเสียจะได้รับการติดตามความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ และการปลดปล่อยมลพิษ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Gas Analyzer ยี่ห้อ Testo รุ่น 350XL)

ผลการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

จากการนำไผ่เลี้ยงสดที่ตัดได้ขนาดมาตากแดดเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับและนำตัวอย่างไม้ไผ่มาหาค่าความชื้นก่อนนำเข้าเตาเผาถ่านพบว่าไผ่เลียงมีค่าความชื้นร้อยละ 27.78 20.73 และ 13.33 ตามลำดับ ไผ่เลี้ยงในสภาพแห้งถูกวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและเคมี ผลการวิเคราะห์พบว่ามีค่าสารระเหยร้อยละ 78.34 มีค่าถ่านคงตัวร้อยละ 19.70 มีค่าเถ้าร้อยละ 1.96 เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบแบบแยกธาตุพบว่ามีค่าคาร์บอนร้อยละ 51.15 มีไฮโดรเจนร้อยละ 6.03 มีออกซิเจนร้อยละ 40.86 และผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนต่ำ (LHV) พบว่ามีค่า 17.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg)

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

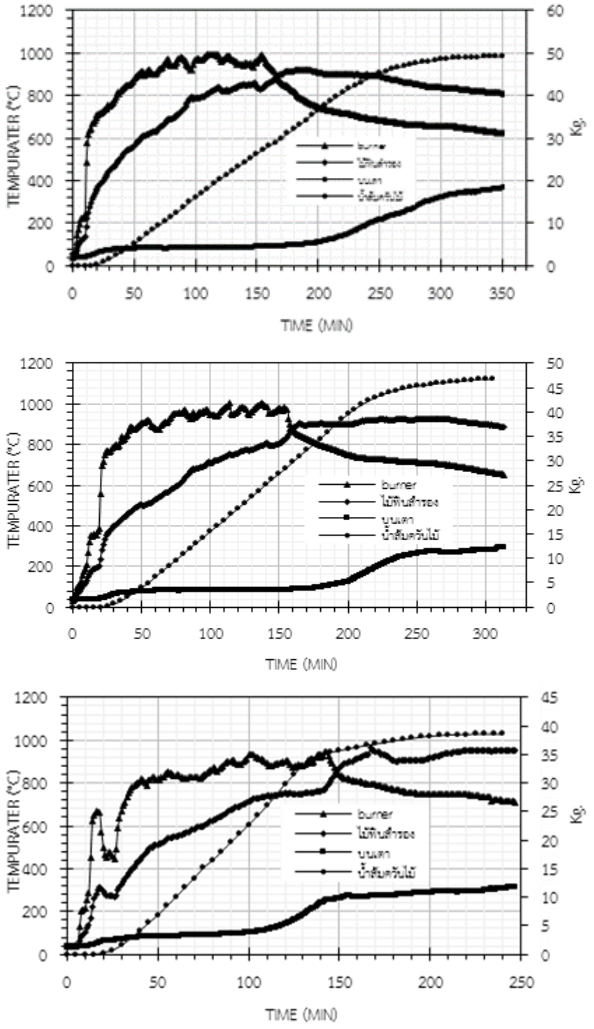
การเผาถ่านจากไม้ไผ่เลี้ยงที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 ต้องใช้ไม้ไผ่เลี้ยงเพื่อผลิตถ่านปริมาณ 83.07, 78.24 และ 72.51 กิโลกรัม ตามลำดับ การผลิตถ่านจากไม้ไผ่เลี้ยงแต่ละความชื้นใช้ไม้เชื้อเพลิงคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 18.06, 20.05 และ 20.68 ของน้ำหนักไม้เผาถ่าน

ระยะเวลาในการเผาถ่าน

ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาถ่านไม้ไผ่เลี้ยงแปรผันความชื้นของวัตุดิบเริ่มต้น การเผาถ่านที่ความชื้นร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 ใช้เวลาในการเผาถ่าน 350, 310 และ 240 นาที ตามลำดับ การทดลองแสดงให้เห็นว่าไม้ไผ่ที่มีความชื้นสูงใช้เวลาในการเผามากกว่าไม้ไผ่ที่มีความชื้นต่ำประมาณ 110 นาที

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของเทคโนโลยีแต่ละจุดดังภาพที่ 3 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไปจนถึงอุณภูมิที่ต้องการใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความชื้นของไม้ไผ่ที่ใช้ในการเผา พบว่า ไม้ไผ่เลี้ยงที่ความชื้นร้อยละ 20.70 สามารถสามารถทำอุณหภูมิหัวเผาเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้สูงสุดมากถึง 1004.5 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอุณหภูมิตำแหน่งด้านล่างเตาเผาและด้านบนเตาเผา พบว่า การเผาถ่านไม้ไผ่ที่ความชื้นร้อยละ 13.33 สามารถทำให้ด้านล่างเตาเผามีอุณหภูมิสูงสุดมากถึง 963.9 องศาเซลเซียส แต่การเผาถ่านไม้ไผ่ที่ความชื้นร้อยละ 27.78 นั้นสามารถทำให้ อุณหภูมิด้านบนเตาเผามีค่ามากถึง 382 องศาเซลเซียส



(ก) ไม้เผาถ่านมีความชื้นร้อยละ 27.78

(ข) ไม้เผาถ่านมีความชื้นร้อยละ 20.73

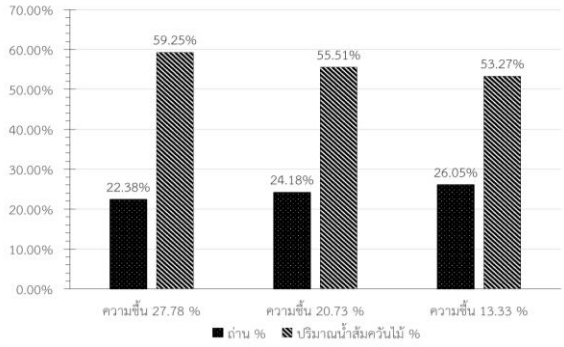
(ค) ไม้เผาถ่านมีความชื้นร้อยละ 13.33

กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลากับอุณหภูมิและปริมาณน้ำส้มควันไม้ของการเผาถ่านโดยที่ (ก) ไม้เผาถ่านมีความชื้นร้อยละ 27.78 20.73 และ 13.33 ตามลำดับ

Figure 3 Time-Temperature and Wood Vinegar Volume Comparison Graph of Charcoal Burning (Source: Sommas Kaewluan et al., 2021)

ปริมาณผลิตภัณฑ์

การเผาถ่านจากไม้ไผ่เลี้ยงที่ความชื้นร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 ได้ปริมาณของถ่านร้อยละ 22.38, 24.18 และ 26.05 เทียบกับน้ำหนักไม้เผาถ่านแห้งเริ่มต้น ซึ่งปริมาณของถ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความชื้นของไม้ไผ่ที่ลดลง เมื่อพิจารณาน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากการเผาถ่าน พบว่า เมื่อความชื้นของไม้ไผ่ลดลงส่งผลให้น้ำหนักไม้เผาถ่านเริ่มต้นลดลงทำให้ได้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้มีปริมาณลดลงด้วย โดยปริมาณของน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีปริมาณร้อยละ 59.25, 55.51 และ 53.27 เทียบกับน้ำหนักไม้เผาถ่านเริ่มต้น ตามลำดับ ดังภาพที่ 4



ร้อยละของมวลผลิตภัณฑ์ถ่านและน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้จากมวลวัตถุดิบไม้ไผ่ที่ความชื้น 3 ระดับ

Figure 4 Percentage of charcoal product mass and raw wood vinegar from bamboo material mass at 3 humidity levels Burning (Source: Sommas Kaewluan et al., 2021)

คุณสมบัติผลิตภัณฑ์

ถ่านไม้ไผ่

ผลการทดลองดังตารางที่ 1 พบว่า ถ่านที่ได้จากไม้ไผ่เลี้ยงที่มีความชื้นร้อยละ 27.78 ให้ผลผลิตที่ต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นตามความชื้นของไม้ไผ่ที่ลดลง ถ่านที่ผลิตได้จากไม้ไผ่เลี้ยงแต่ละความชื้นมีค่าความร้อนค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 31.30 - 31.56 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนของถ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของไม้เผาถ่านเริ่มต้นประมาณร้อยละ 81.5 -83.0

องค์ประกอบของถ่านดังตารางที่ 2 พบว่า ไม้ไผ่เลี้ยงที่ความชื้นร้อยละ 27.78 มีค่าของคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) และเถ้า (ash) สูงที่สุด และค่าทั้งสองลดลงตามความชื้นของไม้ไผ่เลี้ยง แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีความชื้นสูงได้ถ่านที่มีค่าความชื้น (moisture content) และปริมาณสารระเหย (volatile matter) น้อยกว่าวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีความชื้นต่ำกว่าเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเผาถ่านนานกว่า

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิต

คุณสมบัติ	27.78%	20.73%	13.33%
น้ำหนักของไม้ผลิตถ่าน (kg)	83.07	79.92	72.51
น้ำหนักแห้งของไม้ผลิตถ่าน (kg)	59.99	62.02	62.84
ค่าความร้อนของไม้แห้ง (MJ/kg)	17.25	17.25	17.25
พลังงานความร้อนของวัตถุดิบ (MJ)	1,034	1,069	1,083
น้ำหนักผลิตภัณฑ์ถ่าน (kg)	13.43	15.00	16.36
ค่าความร้อนของถ่าน (MJ/kg)	31.56	31.45	31.30
พลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ (MJ)	424	472	512
ผลผลิตถ่าน (%)	22.34	24.18	26.05
ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (%)	39.13	43.58	48.10

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของถ่าน

ความชื้นของไม้ (%)	ถ่าน (kg)	Moisture Content (%)	Fixed Carbon (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)
27.7	13.43	4.49	82.18	5.72	7.64
20.73	15.00	4.56	81.59	5.67	8.19
13.33	16.36	4.65	80.84	5.62	8.91

น้ำส้มควันไม้

ไม้ไผ่เลี้ยงที่ความชื้นร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 เมื่อผ่านกระบวนการผลิตถ่านสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ดิบได้ 49.22, 46.73 และ 38.63 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 59.25, 55.51 และ 53.27 เทียบกับน้ำหนักไม้เผาถ่านเริ่มต้น น้ำส้มควันไม้ซึ่งมีสัดส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบถูกวิเคราะห์สมบัติและแสดงผลดังตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำส้มควันไม้ พบว่า น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรดที่ 2.9, 2.7 และ 2.6 และค่าความถ่วงจำเพาะจะมีแนวโน้มลดลงตามความชื้นของไม้เผาถ่านที่สูงขึ้นคือ 1.005, 1.010 และ 1.020 ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ มผช. 659/2553

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการเผาถ่าน

ความชื้นของไม้เผาถ่าน (%)	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบ (kg)	น้ำส้มควันไม้ (L)	ค่าความเป็นกรด	ค่าความถ่วงจำเพาะ
27.78	49.22	39	2.9	1.005
20.73	46.73	37	2.7	1.010
13.33	38.63	31	2.6	1.020

แก๊สที่ควบแน่นไม่ได้

แก๊สที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แก๊สที่สามารถควบแน่นได้ (Condensable Gases: CG) และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non-Condensable Gases: NCG) ซึ่งแก๊สที่สามารถควบแน่นได้หลังจากควบแน่นได้ผลผลิตเป็นน้ำส้มควันไม้ ส่วนแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้นั้นถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีมวล

จากกระบวนการเผาถ่านพบว่าแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ (Non-Condensable gases: NCG) ที่สามารถติดไฟได้ (Combustible gas) จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาที่ความชื้นไม้เผาถ่าน 3 ระดับ พบว่าสัดส่วนเชิงปริมาตรของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีปริมาณสูงเป็นอันดับหนึ่งโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.80-9.60 ไฮโดรเจน (H_2) มีปริมาณสูงเป็นอันดับที่สองโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5.76-6.26 และมีเทน (CH_4) มีปริมาณเป็นอันดับที่ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.16-4.44 เมื่อนำแก๊สที่สามารถติดไฟได้ (Combustible gas) มา

หาค่าความร้อนพบว่ามีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 2.98-3.77 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร (MJ/Nm^3) โดยที่ความชื้นไม้เผาถ่านร้อยละ 13.33 ค่าสัดส่วนเชิงปริมาตรของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) มีเทน (CH_4) และค่าความร้อนเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดและมีแนวโน้มลดลงตามความชื้นไม้เผาถ่านที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าสัดส่วนเชิงปริมาตรและค่าความร้อนของแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ส่วนที่สามารถติดไฟได้ (Combustible gas)

ความชื้นไม้เผาถ่าน (%)	Avg. Combustible Gas			**ค่าความร้อนของแก๊ส (MJ/Nm^3)**
	CO (%)	H_2 (%)	CH_4 (%)	
27.78	7.80±1.33	5.76±1.75	3.16±0.97	2.98±0.66
20.73	7.97±1.37	6.26±1.50	3.29±0.91	3.12±0.73
13.33	9.60±1.57	6.18±1.38	4.44±0.72	3.77±0.78

แก๊สไอเสีย

จากการนำแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้มาเผาที่ส่วนควบคุมมลพิษ ผลการวัดการปลดปล่อยแก๊สมลพิษที่ออกจากส่วนควบคุมมลพิษพบว่ามีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียเฉลี่ยในช่วง 400 -2,400 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนเข้าสู่ส่วนควบคุมมลพิษที่ 78,000-96,000 ppm ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สู่สิ่งแวดล้อมได้สูงถึงร้อยละ 99.5

การประมาณรายได้และรายจ่าย

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาถ่านซึ่งประกอบไปด้วย ถ่าน และน้ำส้มควันไม้ สามารถนำไปจำหน่ายตามชุมชนหรือส่งขายตามร้านค้าซึ่งจะเป็นรายรับ โดยราคาถ่านที่ขายตามท้องตลาดและทางออนไลน์ ราคาโดยประมาณจะอยู่ที่ 20 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำส้มควันไม้ราคาโดยประมาณจะอยู่ที่ 60 บาทต่อลิตร ส่วนค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านนอกเหนือจากการสร้างชุดเตาเผาถ่านแล้วจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการเผาถ่านแต่ละครั้งโดยจะแบ่งออกเป็นค่าแรงงาน 37.5 บาทต่อชั่วโมง ค่าไฟฟ้า 4.642 บาทต่อชั่วโมง และค่าน้ำปะปา 2.45 บาทต่อชั่วโมง เมื่อนำรายรับที่ได้มาหักกับค่าใช้จ่ายในการเผาถ่าน จะพบว่าความชื้นไม้เผาถ่านจะส่งผลต่อรายรับและรายจ่ายในการเผาถ่านแต่ละครั้ง ดังตารางที่ 5

ค่าลงทุนที่ใช้ในการสร้างเตาเผาถ่าน ชุดควบแน่น และเตาเผาชีวมวลเป็นเงินทั้งสิ้นโดยประมาณ 28,490 บาท เมื่อนำมาเทียบกับกำไรสุทธิพบว่าที่ความชื้นไม้เผาถ่านร้อยละ 27.78 สามารถสร้างผลกำไรจากการเผาถ่านได้สูงสุดที่ 1,729 บาทต่อครั้ง ซึ่งสามารถคืนทุนได้เร็วโดยคืนทุนที่จำนวนการเผาถ่านเพียง 17 ครั้ง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบระยะเวลาความคุ้มทุน

รายการ	ความชื้นไม้เผาถ่าน			หมายเหตุ
	27.78%	20.73%	13.33%	
รวมรายจ่าย	871	819	699	
ค่าแรง ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำ	260	230	178	
ค่าไม้ไผ่	100	100	100	ไม้ไผ่ 100 บาทต่อ 200 ลิตร
ค่าไม้ฟืน	15	15	15	ไม้ฟืน 1 บาทต่อกิโลกรัม
ค่าบรรจุภัณฑ์ถ่าน	28	30	34	2 บาทต่อกิโลกรัม
ค่าบรรจุภัณฑ์น้ำส้มควันไม้	468	444	372	12 บาทต่อลิตร
รวมรายรับ	2,600	2,520	2,180	
ขายถ่าน	260	300	320	20 บาทต่อกิโลกรัม
ขายน้ำส้มควันไม้	2,340	2,220	1,860	60 บาทต่อลิตร
กำไรสุทธิ	1,729	1,401	1,161	
เงินลงทุนชุดเตาเผาถ่าน	28,490	28,490	28,490	
จำนวนครั้งที่เผาเพื่อคืนทุน	17	21	25	

การอภิปรายผล

ชุดหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์สามารถผลิตแก๊สร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูง โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นแหล่งความร้อนสำหรับกระบวนการเผาถ่าน โดยความร้อนไหลผ่านห้องเชื้อเพลิงสำรองและเตาเผาถ่าน ซึ่งแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงนี้ช่วยให้กระบวนการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่านมีระยะเวลาเพียง 4-6 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นของไม้เผาถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (Lin, 2006) ที่ใช้ชุดแก๊สซิไฟเออร์เป็นแหล่งความร้อนป้อนให้กับเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิมทำให้ลดระยะเวลาการเผาถ่านจาก 7 วัน เหลือ 4 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาถึงความชื้นวัตถุดิบสำหรับเผาถ่านพบว่าเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ทำให้เวลาในการเผาถ่านเพิ่มขึ้นประมาณ 1 ชั่วโมง ผลผลิตถ่านมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามความชื้นของไม้เผาถ่านที่เพิ่มขึ้น คุณภาพถ่านเมื่อพิจารณาที่ค่าความร้อน (พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักถ่าน) พบว่าถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากไม้ไผ่ที่ความชื้นต่างๆให้ค่าความร้อนที่ค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการแปลงรูปพลังงานจากพลังงานในไม้เป็นพลังงานในถ่านพบว่าค่าประสิทธิภาพการแปลงรูปพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 39.13-48.10 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นของไม้เผาถ่านและเวลาในการเผาถ่านที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ

Sangsuk et al. (2018) ที่เผาถ่านไม้ไผ่ที่ค่าความชื้นร้อยละ 30 ด้วยระยะเวลาในการเผาถ่าน 27 ชั่วโมง ได้ประสิทธิภาพการแปลงรูปพลังงานร้อยละ 40.59

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบโดยประมาณของถ่านที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ถ่านชุมชน ถ่านหุงต้ม (มผช.657/2547) แต่เนื่องด้วยในถ่านไม้ไผ่มีเถ้าสูงถึงร้อยละ 5.62-5.72 ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ถ่านปิ้งย่าง (มผช.658/2547) ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตถ่านที่ได้จากการทดลองของ (Tippayawong et al., 2010) ที่พบว่ามีเถ้าร้อยละ 7.0-9.8 ซึ่งมีเถ้าสูงกว่าค่ามาตรฐานของเถ้าในถ่านปิ้งย่างเช่นกัน ขณะที่น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการควบแน่นไอเสียที่ออกจากเตาเผาถ่านซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านโดยทั่วไปแก๊สไอเสียนี้จะถูกปล่อยทิ้งไปพร้อมกับแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ทำให้ส่งผลให้กระบวนการเผาถ่านแบบเดิมปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมสูง การควบแน่นสารที่ควบแน่นได้ออกจากแก๊สไอเสียจากการเผาถ่านจะได้น้ำส้มควันไม้ดิบ (Raw wood vinegar) โดยปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้จากการควบแน่นมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามความชื้นของไม้เผาถ่าน น้ำส้มควันไม้ถูกบ่มไว้ในที่มืด 3 เดือน จากนั้นแยกเฉพาะส่วนของน้ำส้มควันไม้ออกมาวัดคุณภาพ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 2.6-2.9 และค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 1.005-1.020 โดยมีแนวโน้มค่าความเป็นกรดและค่าความถ่วงจำเพาะลดลงตามความชื้นของไม้เผาถ่านที่เพิ่มสูงขึ้น โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ไผ่เลี้ยงที่ค่าความชื้น 3 ระดับมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ (มผช.659/2553) ส่วนแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้มีบางส่วนที่สามารถติดไฟได้ซึ่งจะถูกเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยใช้เตาชีวมวลช่วยในการเผาเพื่อลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองของ (Adam, 2009; Sparrevik et al., 2015) ที่ได้นำแก๊สที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านที่มีสารประกอบบางส่วนสามารถติดไฟได้ย้อนกลับมาเผาให้ความร้อนกับเตาเผาถ่านซึ่งผลที่ได้ก็สามารถลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการเผาถ่านไม้ไผ่เลี้ยงที่น้ำหนักไม้แห้งประมาณ 62 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้น 3 ระดับ คือร้อยละ 13.33, 20.73 และ 27.78 (ความชื้นมาตรฐานเปียก) ด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ พบว่าร้อยละของถ่านที่ได้มีแนวโน้มลดลงจาก 26.05, 24.18 และ 22.34 ตามลำดับ เมื่อความชื้นของไม้เผาถ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการเผาถ่านไม้ที่มีค่าความชื้นมากมีระยะเวลานานกว่าการเผาถ่านที่มีค่าความชื้นน้อยซึ่งระยะเวลาการเผาถ่านที่เพิ่มขึ้นจาก 240, 310 และ 350 นาทีตามลำดับ

ถ่านที่ได้จากการเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์เป็นถ่านที่มีค่าความชื้น ค่าความร้อน เถ้า และสารระเหย ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านหุงต้ม (มผช.657/2547) และหากพิจารณาตามมาตรฐานถ่านปิ้งย่าง (มผช.658/2547) พบว่ามีเพียงค่าของเถ้าที่ไม่ผ่านเกณฑ์เนื่องจากไม้ไผ่แห้งมีเถ้าสูงถึงร้อยละ 1.96 ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์ถ่านไม้ไผ่ มีค่าร้อยละ 5.62 - 5.72 ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานถ่านปิ้งย่างที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 3

น้ำส้มควันไม้ดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่าน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 53.27, 55.51 และ 59.25 ตามลำดับ เมื่อความชื้นของไม้เผาถ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นในไม้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ควบแน่นได้มีปริมาณมากขึ้น

คุณภาพน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านไม้ไผ่เลี้ยงที่ความชื้นร้อยละ 13.33, 20.73 และ 27.78 มีค่าความเป็นกรด 2.6, 2.7 และ 2.9 ตามลำดับ และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.020, 1.010และ 1.005 ตามลำดับ โดยมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ (มผช. 659/2553)

มลพิษที่ปล่อยสู่บรรยากาศมีแนวโน้มที่ลดลงหลังจากนำแก๊สที่ควบแน่นไม้ได้เข้าสู่ส่วนควบคุมมลพิษ โดยพบว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 400 -2,400 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งส่วนควบคุมมลพิษนี้สามารถลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สู่สิ่งแวดล้อมได้สูงถึงร้อยละ 99.5

ข้อเสนอแนะ

การใช้ไม้ไผ่ที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 28 มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้คุณภาพน้ำส้มควันไม้ไม่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 659/2553) อีกทั้งปริมาณถ่านที่ได้มีแนวโน้มลดลง และต้องใช้เวลาในการเผาถ่านเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้มีค่าใช้จ่ายในการเผาถ่านเพิ่มขึ้นซึ่งประกอบด้วยค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ เป็นต้น

องค์ความรู้ใหม่และผลที่เกิดต่อสังคม ชุมชน ท้องถิ่น

เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เป็นองค์ความรู้ใหม่ในการเผาถ่านและผลิตน้ำส้มควันไม้ที่สามารถลดเวลาในการเผาถ่านและผลิตน้ำส้มควันไม้ จาก 8 ชั่วโมงเหลือ 4-6 ชั่วโมง ให้ผลผลิตถ่านที่สูงและมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานชุมชน (ถ่านหุงต้มและถ่านดูดกลิ่น) และให้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้ที่สูงและมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานชุมชน (น้ำส้มควันไม้) ที่ความชื้นของไม้ไผ่สูงไม่เกินร้อยละ 30 นอกจากนั้นแก๊สที่ออกจากถังควบแน่นน้ำส้มควันไม้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวลเพื่อผลิตความร้อนและลดการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

เพื่อให้เกิดผลที่เป็นรูปธรรมต่อสังคม ชุมชน และท้องถิ่น จึงมีการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชนผ่านโครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานและนวัตกรรมเพื่อชุมชน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผ่านกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการและถ่ายทอดเทคโนโลยีเตาเผาถ่านและผลิตน้ำส้มควันไม้ ให้กับชุมชนตำบลหนองแสง อำเภอปากพลี จังหวัดนครนายก ระหว่างวันที่ 18 พฤษภาคม 2562 ถึง 19 พฤษภาคม 2562 มีเกษตรกรผู้ปลูกไผ่ในตำบลหนองแสง และผู้สนใจเข้าร่วมโครงการรวม 90 คน โดยมีรายละเอียดกิจกรรมย่อยประกอบด้วย 1. การถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการการเผาถ่านและผลิตน้ำส้มควันไม้ 2. การถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ไผ่, ถ่านไม้ไผ่, น้ำส้มควันไม้ และแก๊สจากการเผาถ่าน 3. การถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ผลผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ 4. การถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับมลพิษจากการเผาถ่านและความคุ้มค่าทาง

เศรษฐกิจของกระบวนการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ และ 5. การถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการการทำสบู่จากถ่านไม้ไผ่

ผลิตภัณฑ์ผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้จากเตาเผาถ่านไม้ไผ่ขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์สามารถนำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์จากชุมชน ดังต่อไปนี้

1. ถ่านหุงต้ม และถ่านปิ้งย่างชุมชนสามารถผลิตถ่านหุงต้มและถ่านปิ้งย่างเพื่อใช้ประโยชน์และจำหน่ายให้สมาชิกในชุมชนและจำหน่ายเป็นของฝากนักท่องเที่ยว โดยมีกำลังการผลิตถ่านวันละ 15 กิโลกรัม จำหน่ายกิโลกรัมละ 20 บาท

2. น้ำส้มควันไม้ และผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มควันไม้ มีกำลังการผลิตน้ำส้มควันไม้วันละ 30 ลิตร จำหน่ายลิตรละ 50 บาท วิสาหกิจชุมชนกลุ่มรักษ์ดิน ถิ่นพลังงานยั่งยืน ตำบลเขาพระ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก มีการนำน้ำส้มควันไม้ดิบมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เร่งการออกดอกของมะยงชิด (ผลไม้ประจำจังหวัดนครนายก) และสารบำรุง ปัจจุบันอยู่ในช่วงทดลองผลิตภัณฑ์ในสวนผลไม้ของสมาชิก คาดว่าจะจำหน่ายในราคาลิตรละ 100 บาท

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากโครงการบริการวิชาการแก่ชุมชน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2562

References

Adam, J. C. (2009). Improved and more environmentally friendly charcoal production system using a low-cost retort–kiln (Eco-charcoal). *Renewable Energy, 34*(8), 1923-1925. DOI:10.1016/j.renene.2008.12.009

Aksornnaem, K., & Niboontum, P. (2011). Bamboo plants create the world. *Kehakaset Magazine*, *35*(11), 76-99. (In Thai)

Homkong, K. (2014). *Bamboo marketing system and trends in Thailand, Bamboo and Thai way of life, Local knowledge and management models*. Bangkok: Domybest. (In Thai)

Lausakul, L., Boonsermsuk, S., & Sungkaew, S. (2014). *Bamboo (Mai Pai) in Queen Sirikit's park. Bangkok: Forest research and development office*. Royal forest department. (In Thai)

Lin, J.-C. M. (2006). Development of a high yield and low cycle time biomass char production system. *Fuel Processing Technology, 87*(6), 487-495. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.07.009

Maneechot, P., Thanarak, PR., Thongsan, S., Prasit, B., Wansungnern, W., Ninwichian, P., Phetcharee. A., & Akhphin, A. (2015). *Development of charcoal kiln vertical power size 200 liters by gasification techniques*. The 8th Thailand renewable energy for community conference, 114-117. (In Thai)

Phoochinda, W. (2014). *Environmental impact and social return of the use of biomass in community and household levels*. National Institute of Development Administration (NIDA). (In Thai)

Pitaktunsakul, P. (2014). *Bamboo and Livelihoods in Thailand: Local Knowledge and Management [Economic bamboo plants from the forest that are important of Thai people].* Bangkok: Domybest. (In Thai)

Rakkarn-ngan, P., Sagulpongmalee, K., Intanin, J., & Moonsri, P. (2014). *Development of thermal efficiency of the 200 liters charcoal kiln by using insulate enveloped*. The 7th Thailand renewable energy for community conference, 266-271. (In Thai)

Sangsuk, S., Suebsiri, S., & Puakhom, P. (2018). The metal kiln with heat distribution pipes for high quality charcoal and wood vinegar production. *Energy for Sustainable Development, 47*(1), 149-157. (In Thai)

Sparrevik, M., Adam, C., Martinsen, V., Jubaedah, & Cornelissen, G. (2015). Emissions of gases and particles from charcoal/biochar production in rural areas using medium-sized traditional and improved “retort” kilns. *Biomass and Bioenergy, 72*(1), 65-73. DOI:10.1016/j.biombioe.2014.11.016

Sungkaew, S., Teerawatananon, A., & Jindawong, K. (2011). *Bamboos in Thailand. Center of Excellent for Bamboos Kasetsart University*. Bangkok. (In Thai)

Thanurak, S. (1996). *Economic bamboo. Industrial wood group*. Division of Horticulture Promotion, Department of Agricultural Extension. Bangkok. (In Thai)

Tippayawong, N., Saengow, N., Chaiya, E., & Srisang, N. (2010). Production of charcoal from woods and bamboo in a small natural draft carbonizer. International Journal of Energy and Environment, *1*(5), 911-918. www.IJEE.IEEFoundation.org

Wei-lim, G., Sungkaew, S., Teerawatananon, A., Dieter, O., Xia, N., Chan, K., How, Y., & WONG, K. (2018). The hybrid origin of Phai Liang, a bamboo of recent introduction into horticulture in Southeast Asia, and a new nothogenus, ×Thyrsocalamus (Bambuseae: Bambusinae). *Phytotaxa, 362*(3), 271-281. doi:10.11646/phytotaxa.362.3.3