การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษี

Development of Compressed Biomass Fuel from *Typha angustifolia* L.

ชาญฉจิต วรรณนุรักษ์*
Chanchajit Wannurak*

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
Dhonburi Rajabhat University
*Corresponding author. E-mail: chanchajit.w@dru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีซึ่งเป็นส่วนผสมหลักมาผสมกับกะลามะพร้าวในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักที่ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 มีขั้นตอนคือจัดหาวัตถุดิบ เผาอบวัตถุดิบให้เป็นถ่าน บดให้ละเอียด โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในการผสมถ่าน จากนั้นนำผงถ่านเข้าเครื่องอัดแท่งและตากแดด โดยทำการอัดแท่งถ่านให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกลวง 1 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร ให้ถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกมี 6 ครีบรอบด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และมีการทดสอบคุณสมบัติค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) ทดสอบปริมาณค่าความชื้น ค่าคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารที่ระเหยได้ เถ้า และค่าความร้อน ผลการทดสอบพบว่าถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีผสมกับกะลามะพร้าวในอัตราส่วน 20:80 (ต้นธูปฤาษี 20% ต่อกะลามะพร้าว 80%) มีค่าความชื้นร้อยละ 2.70±0.28 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ที่ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อน 6,817.71±2.26 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม นอกจากนี้ยังมีค่าคาร์บอนคงตัวได้ร้อยละ 46.88±1.33 ปริมาณสารที่ระเหยได้ร้อยละ 27.76±0.87 และ เถ้าได้ร้อยละ 22.66±0.46 ที่วัดได้ ส่วนถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีในอัตราส่วนผสมในอัตราส่วนผสมอื่นๆ ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง ต้นธูปฤาษี กะลามะพร้าว.

Abstract

This research studied the production of charcoal briquette by mixing the coconut shell, which was a main ingredient with coconut shell at the mixing ration by mass of 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, and 20:80. There is a procedure that is to supply raw materials. Raw materials burning to charcoal. Finely grind, using tapioca starch as a binder in the charcoal mixture and sun drying. The charcoal briquette's hold diameter was 1 centimeter and its length was 12 centimeter. The shape of charcoal briquette was a cylinder with 6 fins. The diameter of charcoal briquette was 5 centimeter. The heating value of briquette were analyzed according to ASTM to be in accordance with thai community product standard as well as moisture content, fixed carbon, volatile matter, ash and the heating value were tested. The test result revealed that charcoal briquette from cattail mixed with coconut shell in a ratio by mass of 20:80 (20% cattail per 80% coconut shell) had a moisture content of 2.70±0.28 percent, meeting the charcoal thai community product standard, where moisture content must not exceed 8 percent by weight. And has a heating value of 6,817.71±2.26 cal/g which higher than thai community product standard defined as charcoal briquette must have calorific value of not less than 5,000 cal/g. There is also fixed carbon value 46.88±1.33 percent, volatile matter 27.76±0.87 percent and ash 22.66±0.46 percent measurable. Other ingredients ratio of Biomass fuel from Cattail does not in accordance with thai community product standard.

Keywords: Briquette Fuel, Cattail, Coconut Shell.

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศถึงร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันดิบ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพและพอเพียงต่อความต้องการ ซึ่งในขณะที่เกิดวิกฤติการณ์น้ำมันมีราคาสูง และก๊าซหุงต้มมีราคาที่แพงขึ้น การเลือกใช้พลังงานหมุนเวียน พลังงานทดแทน พลังงานชีวภาพหรือพลังงานชีวมวลก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ มีแหล่งพลังงานอยู่ภายในประเทศ มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อย สามารถพัฒนาให้มีศักยภาพสูง และสร้างความเชื่อมั่นกับการใช้พลังงานภายในประเทศได้ ซึ่งประเทศไทยถือได้ว่าประชากรส่วนใหญ่อยู่ในภาค

เกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิดในแต่ละพื้นที่ตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละภาคที่ในแต่ละปีจะมีเศษวัสดุเหลือจากการเก็บเกี่ยวหรือจากการแปรรูปทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เศษวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรนี้เรียกโดยรวมว่าชีวมวล ซึ่งพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ เช่น ต้นไม้ อ้อย มันสำปะหลัง ถ่านฟืนแกลบ วัชพืชต่างๆ แม้กระทั่ง ขยะและมูลสัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีแนวโน้มมาแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยข้อดีของความอุดมสมบูรณ์ การต่ออายุสิ่งแวดล้อม ความเป็นมิตร เป็นต้น สิ่งนี้ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีชีวมวลให้มีศักยภาพและน่าสนใจ (Gao et al., 2018) ชีวมวลแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป บางชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรง บางชนิดต้องนำมาย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ในการใช้พลังงานทดแทนในอนาคต ในขณะเดียวกันก็ต้องพยายามลดความสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน การใช้พลังงานชีวมวลโดยผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อน จะเห็นได้ทั่วไปในลักษณะของการนำถ่านไม้ หรือฟืนมาจุดไฟ เพื่อให้เกิดความร้อนสำหรับนำไปใช้ในการหุงต้มอาหาร หรือประโยชน์ในด้านอื่นๆ การผลิตพลังงานชีวมวลมีทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับชุมชนหรือครัวเรือน

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ มีพื้นที่ 268 ไร่ 1 งาน 40 ตารางวา ตั้งอยู่ที่ซอยเทศบาลบางปู 119 ถนนสุขุมวิท ตำบลบางปลา อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ จัดตั้งเป็นศูนย์อุดมศึกษาสมุทรปราการ โดยมีวัตถุประสงค์จะให้เป็นมหาวิทยาลัยของรัฐประจำจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งได้มีการพัฒนาพื้นที่ของมหาวิทยาลัยโดยการสร้างอาคารเรียนต่างๆ แต่ก็ยังคงเหลือในส่วนของพื้นที่ที่ยังรอการพัฒนาอยู่ ซึ่งในพื้นที่ส่วนนี้ได้มีต้นธูปฤาษี (กกช้าง) ขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งต้นธูปฤาษีถือเป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไปตามทุกภูมิภาคของไทย มีการขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ต้นธูปฤาษียอดอ่อนใช้รับประทานได้ ใบสามารถนำมามุงหลังคา นำมาใช้ผลิตเครื่องจักรสานได้ นำมาผลิตเป็นกระดาษได้ (สุทธิสาร อนันตรัตนชัย, 2556) ดอกธูปฤาษีสามารถใช้กำจัดคราบน้ำมันได้เป็นอย่างดี (รุ่งทิพย์ ลำดวล และคณะ, 2553) รวมถึงช่วยในการบำบัดน้ำเสียตามแหล่งน้ำต่างๆ ด้วย ต้นธูปฤาษีสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในแง่ของพลังงานทดแทนฟืนและถ่านได้ โดยเฉพาะเป็นพลังงานเชื้อเพลิงราคาถูก และเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำต้นธูปฤาษีมาพัฒนาเป็นถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิต โดยนำวัชพืชต้นธูปฤาษีนำไปตากแดด หรือเข้าตู้อบให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปเผาในเตาให้ออกมาเป็นถ่าน เข้าเครื่องบดละเอียดและผสมคลุกเคล้ากับแป้งมันสำปะหลังให้เข้ากันให้ได้สัดส่วน และมีความชื้นที่พอเหมาะ นำไปอัดเป็นถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิง ถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีรูพรุนมาก จึงมีพื้นผิวสำหรับให้เผาไหม้มาก ทำให้จุดติดไฟได้ง่าย และให้ความร้อนสูงและจากรายงานผลการวิจัยของสำนักวิจัยละพัฒนาเรื่องมวลชีวภาพ

ของธูปฤาษี และประสิทธิภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ (กรมชลประทาน, 2554) ต้นธูปฤาษีซึ่งเป็นวัชพืชสามารถนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงได้

ดังนั้นจากสถานการณ์ในปัจจุบันและรายงานการวิจัยข้างต้นผู้วิจัยมองเห็นถึงการใช้ประโยชน์จากศักยภาพของต้นธูปฤาษีและลดปัญหาที่เกิดจากวัชพืช โดยเฉพาะต้นธูปฤาษีที่มีจำนวนมากในมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ จึงมีความสนใจที่จะแปรรูปต้นธูปฤาษีในรูปแบบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง แต่จากข้อเสนอแนะในงานวิจัยกล่าวว่าต้นธูปฤาษีเป็นพืชที่ไม่มีเนื้อไม้เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงต้องใช้มวลจำนวนมาก ต้องใช้แรงงานในการช่วยเก็บเกี่ยว และเก็บเกี่ยวยากโดยเฉพาะในส่วนที่อยู่ในน้ำ ขั้นตอนในการผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงหลายขั้นตอนเก็บรวบรวม ตากแห้ง บด และต้องใช้ตัวประสานในปริมาณมาก เนื่องจากธูปฤาษีมีเส้นใยหยาบและค่อนข้างแข็ง เมื่อนำไปใช้งานระยะเวลาติดไฟสั้นไม่ถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุน ลักษณะเช่นนี้ ควรนำต้นธูปฤาษีไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ น่าจะเหมาะสมกว่า (กรมชลประทาน, 2554) จากข้อเสนอแนะผู้วิจัยเห็นว่าควรมีชีวมวลอื่นๆ มาทำการผสมกับต้นธูปฤาษี เช่น มะพร้าวที่เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สามารถนำส่วนต่างๆ มาทำประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ไม่ว่าจะเป็นลำต้นนำมาสร้างที่อยู่อาศัย ยอดมะพร้าวนำมาปรุงอาหาร ใบนำมาทำของใช้เปลือกนอกผลมะพร้าวนำมาใช้ในด้านการเกษตร เนื้อมะพร้าวใช้รับประทาน รวมถึงกะลามะพร้าวนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองคุณภาพอย่างเป็นทางการและมีคุณสมบัติดีกว่าถ่านไม้ทั่วไป โดยสามารถให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอและสูงกว่าถ่านไม้ถึง 2 เท่า มีขี้เถ้าน้อย ไม่มีประกายไฟปะทุ ไม่มีควัน ไม่ก่อสารพิษจากการเผาไหม้ จึงช่วยประหยัด ค่าใช้จ่าย สร้างรายได้ที่ดีให้กับชุมชน รวมถึงเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยลดปริมาณขยะให้น้อยลงด้วย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยมีความคิดที่จะนำกะลามะพร้าวมาเป็นส่วนผสมกับต้นธูปฤาษีโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ซึ่งกะลามะพร้าวถือเป็นวัตถุดิบที่สำคัญนิยมนำมาผลิตถ่านอัดแท่งกันมาก (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559 และ Yerizam, et al., 2013) เพื่อให้ได้ค่าเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) และนำมาอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมสำหรับหุงต้ม ซึ่งการนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลมาผสมกับเชื้อเพลิงอื่น (Biomass Mixing) เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลด้วย (Arun et al., 1998)

วิธีดำเนินการวิจัย

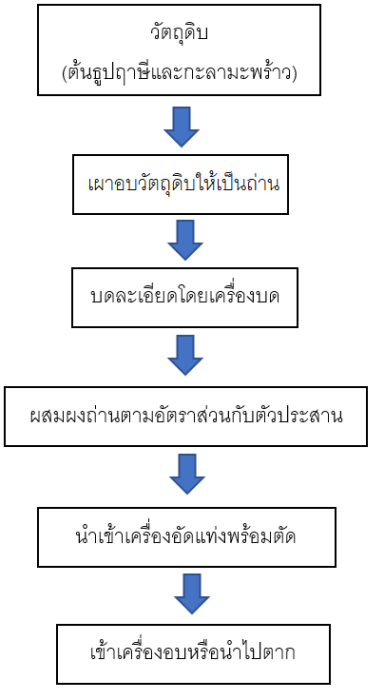
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นธูปาษี โดยมีต้นธูปฤาษีเป็นส่วนประกอบหลัก มีกะลามะพร้าวเป็นส่วนผสม ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ ก็เพื่อพัฒนาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีและหาประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีที่

สร้างขึ้น รวมถึงเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี
2. การหาประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี
3. การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลต้นธูปฤาษีกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี

การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี เป็นการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถ่านชีวมวล อัตราส่วนผสมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล โดยมีรายละเอียดขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตถ่านอัดแท่งชีวมวลต้นธูปฤาษีดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตถ่านอัดแท่งชีวมวลต้นธูปฤาษี

1. เตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ต้นธูปฤาษี โดยต้นธูปฤาษีเป็นวัชพืชที่ขึ้นเองตามธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ ถอน ตัดและทำการคลี่กระจายต้นธูปฤาษีออกเพื่อให้แห้งทั่วทั้งลำต้น นำมาตากให้แห้งที่ลานอเนกประสงค์ของทางมหาวิทยาลัย 3-4 วัน

1.2 กะลามะพร้าว ขัดทำความสะอาดให้แห้งและนำมาตากที่ลานอเนกประสงค์ของทางมหาวิทยาลัย 1-2 วัน

1.3 แป้งมันสำปะหลัง ใช้ตราปลาไทย 5 ดาว ผลิตโดยบริษัท อ.ที.ซี. เอี๊ยบตงจั่น จำกัด เลขที่ 88 หมู่ 7 ต.อัจฉริยะประสิทธิ์ อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

1.4 น้ำประปา ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ

1.5 เครื่องอัดถ่านแท่ง มีขนาด 3 แรงม้า ความยาวกระบอกอัด 15 เซนติเมตรโดยประมาณ

1.6 เตา 200 ลิตรและ50 ลิตร ที่มีฝาปิด

ภาพที่ 2 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2. การเผาอบวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

2.1 นำต้นธูปฤาษีที่ได้ทำการตากแห้งสนิทแล้วมาใส่เตาเผา 200 ลิตรเพื่อทำการเผาอบ ที่อุณหภูมิระหว่าง 600-750 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเผาประมาณ 15-20 นาที ให้ต้นธูปฤาษีเป็น

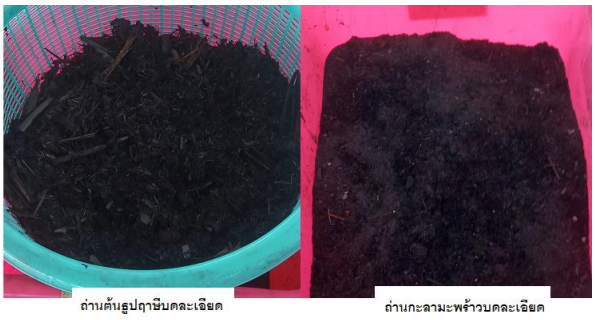
ถ่าน และทำการดับไฟเพื่อป้องกันไม่ให้ถ่านเป็นขี้เถ้า ถ่านจากต้นธูปฤาษีจะสามารถใช้มือบดให้ละเอียดได้

ภาพที่ 3 ต้นธูปฤาษีก่อนทำการเผาอบและหลังเผาอบในเตา 200 ลิตร

2.2 นำกะลามะพร้าวที่ได้ทำการตากแห้งสนิทแล้วมาใส่เตาเผา 50 ลิตรเพื่อทำการเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 400-650 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเผาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ให้กะลามะพร้าวเป็นถ่าน และหยุดให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิง และปล่อยไว้ให้เย็นลงตามธรรมชาติ

ภาพที่ 4 กะลามะพร้าวก่อนทำการเผาอบและหลังเผาอบในเตา 50 ลิตร

3. การบดละเอียดโดยเครื่องบด



ภาพที่ 5 ต้นธูปฤาษีและกะลามะพร้าวบดละเอียด

4. การผสมผงถ่านตามอัตราส่วนกับตัวประสาน การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของต้นธูปฤาษีร่วมกับกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน (ต้นธูปฤาษี: กะลามะพร้าว) 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 โดยน้ำหนักตามลำดับ (ศิริชัย ต่อสกุลและคณะ, 2555) และผสมผสานกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนผงถ่านบดละเอียดต้นธูปฤาษีและกะลามะพร้าวตามอัตราส่วนที่กำหนด 5 กิโลกรัมต่อแป้งมัน 250 กรัมและน้ำ 2 ลิตร โดยประมาณ

ภาพที่ 6 การผสมอัตราส่วนผงถ่านบดละเอียด แป้งมันและน้ำ

5. นำเข้าเครื่องอัดแท่งพร้อมตัด รูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นไปตามมาตราฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง โดยมีลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ อาจแตกหกได้บ้าง การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและ

กลิ่น ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งต้นธูปฤาษีมีขนาดความยาว 12 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตร ลักษณะของถ่านเป็นครีบ 6 เหลี่ยม

ภาพที่ 7 นำผงถ่านที่ผ่านการผสมมาเข้าเครื่องอัดแท่งพร้อมตัด

6. นำไปตากแดดที่ลานอเนกประสงค์ของทางมหาวิทยาลัย 2 วัน

ภาพที่ 8 ถ่านอัดแท่งที่ได้นำไปตากแดดให้แห้ง

การหาประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี

การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการทดลองนั้น จะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ต่างๆ ที่พิจารณาสำหรับการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งตัวอย่างด้วยวัตถุดิบชีวมวล โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้น (MOISTURE CONTENT) ค่าคาร์บอนคงตัว (FIXED CARBON)

ปริมาณสารที่ระเหยได้ (VOLATILE MATTER) เถ้า (ASH) และค่าความร้อน (HEATING VALUE) โดยแสดงวิธีการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ความชื้น (MOISTURE CONTENT)	ASTM D 3173
คาร์บอนคงตัว (FIXED CARBON)	ASTM D 3172
เถ้า (ASH)	ASTM D 3174
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (VOLATILE MATTER)	ASTM D 3175
ค่าความร้อน (HEATING VALUE)	ASTM D 5865

ที่มา: (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลต้นธูปฤาษีกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้น (MOISTURE CONTENT) ค่าคาร์บอนคงตัว (FIXED CARBON) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (VOLATILE MATTER) เถ้า (ASH) และค่าความร้อน (HEATING VALUE) แล้ว นำมาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนตามอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล แสดงเป็นกราฟแท่งออกมาและอธิบายเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547)

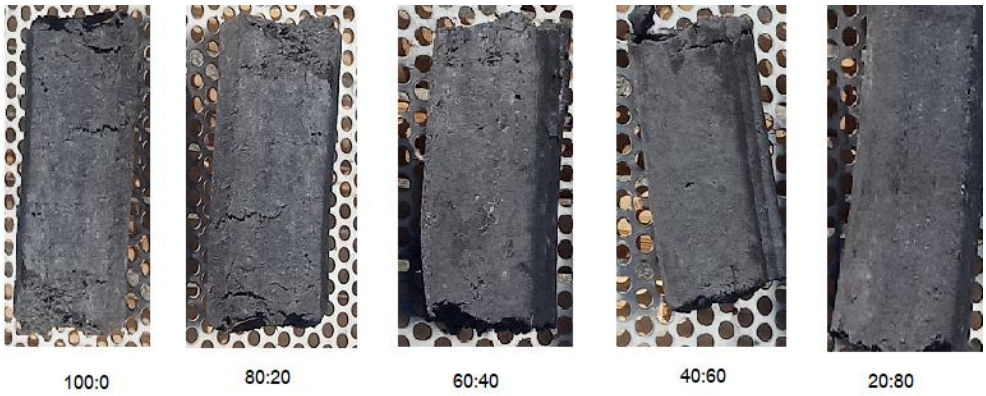
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนผสมกับกะลามะพร้าว 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 (ต้นธูปฤาษี:กะลามะพร้าว) โดยน้ำหนักตามลำดับ และวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนผสมที่สร้างขึ้น รวมถึงเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ซึ่งผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

การผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนผสม

การผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนผสมกับกะลามะพร้าว 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 (ต้นธูปฤาษี:กะลามะพร้าว) โดยน้ำหนักตามลำดับ มีขั้นตอนการทำโดยวิธีการเผาอบในเตาขนาด 200 ลิตรและ 50 ลิตร หลังจากเผาอบให้ได้ถ่านต้นธูปฤาษีและถ่านกะลามะพร้าวแล้ว จะนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดคือ 100:0 คือ ถ่านต้นธูปฤาษี 100%, 80:20 คือ ถ่านต้นธูปฤาษี 80% ถ่านกะลามะพร้าว 20%, 60:40 คือ ถ่านต้นธูปฤาษี

60% ถ่านกะลามะพร้าว 40%, 40:60 คือ ถ่านต้นธูปฤาษี 40% ถ่านกะลามะพร้าว 60% และ 20:80 คือ ถ่านต้นธูปฤาษี 20% ถ่านกะลามะพร้าว 80% จากนั้นนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำ โดยมีอัตราส่วนผงถ่าน 5 กิโลกรัมต่อน้ำ 2 ลิตรต่อแป้งมัน 250 กรัม นำผงถ่านบดละเอียดที่ผ่านการผสมตามอัตราส่วนตามที่กำหนดเข้าเครื่องอัดแท่งขนาด 3 แรงม้า ทำเป็นถ่านอัดแท่งขนาดความยาว 12 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตร ลักษณะของถ่านเป็นครีบ 6 เหลี่ยมออกมา จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 9 ถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 0:80

จากภาพที่ 9 เมื่อนำถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80ออกจากบล็อก พบว่าถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนทุกอัตราส่วน สามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ แสดงว่าความสามารถในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในเกณฑ์ดี แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไม่ร่อนหรือสึกกร่อน ผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนทุกอัตราส่วน มีผิวสม่ำเสมอกันตลอดแท่งถือว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ดี มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ และนำมาทดสอบโดยการเผาพบว่าเมื่อติดไฟค่อนข้างง่าย ไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนผสมที่สร้างขึ้น

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามอัตราส่วนที่สร้าง ผู้จัยได้นำไปวิเคราะห์และทดสอบที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยวิเคราะห์และทดสอบหาค่าความชื้น (MOISTURE CONTENT) ค่าคาร์บอนคงตัว (FIXED CARBON) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (VOLATILE MATTER) เถ้า (ASH) และค่าความร้อน (HEATING VALUE) โดยเครื่องมือวิเคราะห์/ทดสอบ ได้แก่ 1. เตาเผา TUBULAR FURNACE MODEL

CTF12/75/700/201, 2. Tube furnace MODEL CTF ยี่ห้อ CARBOLITE และ 3. ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ BINDER model –FD115

สภาวะการวิเคราะห์ : อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3172-3175 (Proximate Analysis) มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ : อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3172-3175 (Proximate Analysis) ได้ผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์และทดสอบถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ค่า HEATING VALUE (cal/g)	ค่า PROXIMATE ANALYSIS			
		%M	%ASH	%VM	%FC
ถ่านจากต้นธูปฤาษี 100%	4,088.29±31.98	5.27±0.36	18.38±0.10	43.82±2.76	32.53±2.66
ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20%	3,277.50±59.69	3.08±0.03	37.46±0.18	32.77±0.08	26.69±0.09
ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40%	4,639.58±92.02	7.89±0.21	13.75±0.23	36.41±0.79	41.95±1.02
ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 60%	4,699.13±20.10	6.86±0.31	15.41±0.34	33.68±0.66	44.05±1.00
ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80%	6,817.71±2.26	2.70±0.28	22.66±0.46	27.76±0.87	46.88±1.33

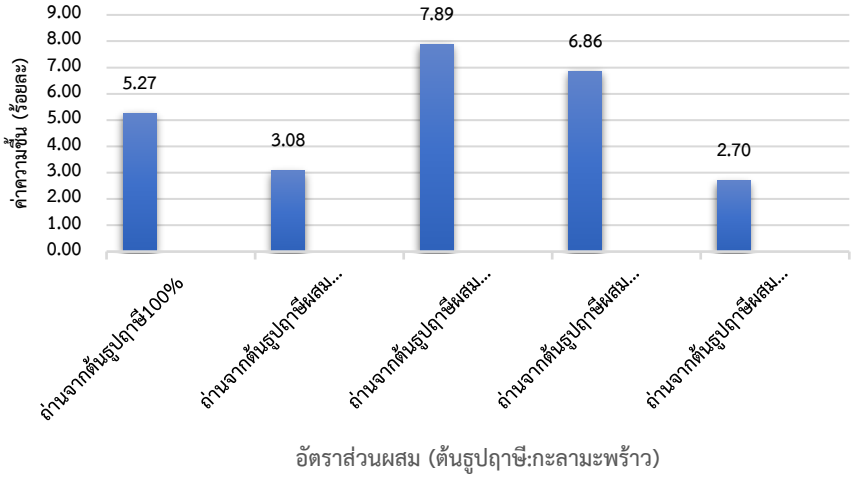
จากตารางที่ 2 พบว่าถ่านจากต้นธูปฤาษี 100% (100:0) มีค่าความชื้น (MOISTURE CONTENT) เท่ากับร้อยละ 5.27±0.36 ค่าคาร์บอนคงตัว (FIXED CARBON) เท่ากับร้อยละ 32.53±2.66 ปริมาณสารที่ระเหยได้ (VOLATILE MATTER) เท่ากับร้อยละ 43.82±2.76 เถ้า (ASH) เท่ากับร้อยละ 18.38±0.10 และค่าความร้อน (HEATING VALUE) เท่ากับ 4,088.29±31.98 cal/g ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% (80:20) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 3.08±0.03 ค่าคาร์บอนคงตัว เท่ากับร้อยละ 26.69±0.09 ปริมาณสารที่ระเหยได้ เท่ากับร้อยละ 32.77±0.08 เถ้า (ASH) เท่ากับร้อยละ 37.46±0.18 และค่าความร้อน เท่ากับ 3,277.50±59.69 cal/g ถ่านจากต้น

ธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40% (60:40) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 7.89±0.21 ค่าคาร์บอนคงตัว เท่ากับร้อยละ 41.95±1.02 ปริมาณสารที่ระเหยได้ เท่ากับร้อยละ 36.41±0.79 เถ้า เท่ากับร้อยละ 13.75±0.23 และค่าความร้อน เท่ากับ 4,639.58±92.02 cal/g ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 60% (40:60) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 6.86±0.31 ค่าคาร์บอนคงตัว เท่ากับร้อยละ 44.05±1.00 ปริมาณสารที่ระเหยได้ เท่ากับร้อยละ 33.68±0.66 เถ้า เท่ากับร้อยละ 15.41±0.34 และค่าความร้อน เท่ากับ 4,699.13±20.10 cal/g ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% (20:80) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 2.70±0.28 ค่าคาร์บอนคงตัว เท่ากับร้อยละ 46.88±1.33 ปริมาณสารที่ระเหยได้ เท่ากับร้อยละ 27.76±0.87 เถ้า เท่ากับร้อยละ 22.66±0.46 และค่าความร้อน เท่ากับ 6,817.71±2.26 cal/g

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% มีค่าความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 2.70±0.28 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40% มีค่าความชื้นมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.89±0.21 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% มีค่าคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 26.69±0.09 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% มีค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 46.88±1.33 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% มีปริมาณสารที่ระเหยได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 27.76±0.87 ถ่านจากต้นธูปฤาษี 100% มีปริมาณสารที่ระเหยได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 43.82±2.76 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40% มีเถ้าน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 13.75±0.23 ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% มีเถ้ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 37.46±0.18 และถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% มีค่าความร้อนน้อยที่สุด เท่ากับ 3,277.50±59.69 cal/g ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% มีค่าความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 6,817.71±2.26 cal/g ค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทนที่มีส่วนผสมของกะลามะพร้าวรวมอยู่ด้วยในการทำถ่านอัดแท่งทำให้มีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดลอง (ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ, 2555)

การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

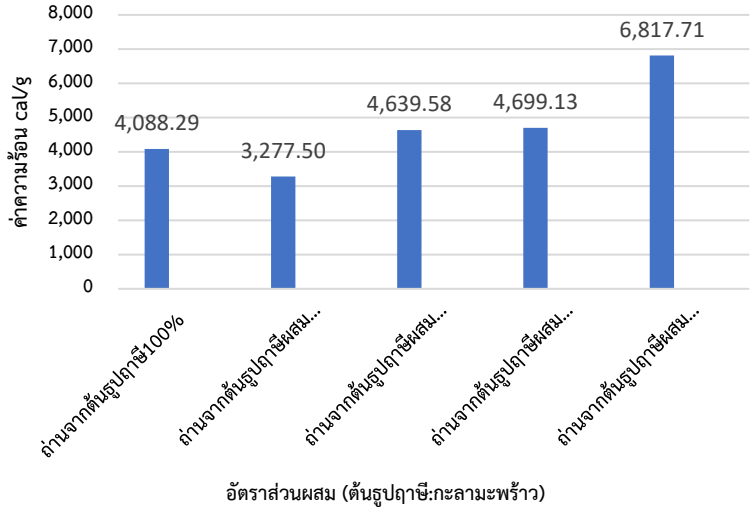
เปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ระบุว่าถ่านอัดแท่งคุณลักษณะที่ต้องการคือ ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก และ ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งค่าความชื้นและค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ค่าความชื้นของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีที่อัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 10 พบว่าถ่านจากต้นธูปฤาษี 100% (100:0) มีค่าความชื้น (MOISTURE CONTENT) เท่ากับร้อยละ 5.27±0.36 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% (80:20) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 3.08±0.03 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40% (60:40) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 7.89±0.21 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 60% (40:60) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 6.86±0.31 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% (20:80) มีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 2.70±0.28 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

จากภาพที่ 11 พบว่าถ่านจากต้นธูปฤาษี 100% (100:0) มีค่าความร้อน (HEATING VALUE) เท่ากับ 4,088.29±31.98 cal/g ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 20% (80:20) มีค่าความร้อน เท่ากับ 3,277.50±59.69 cal/g ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 40% (60:40) มีค่าความร้อน เท่ากับ 4,639.58±92.02 cal/g ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 60% (40:60) มีค่าความร้อน เท่ากับ 4,699.13±20.10 cal/g ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ถ่านจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าว 80% (20:80) ค่าความร้อน เท่ากับ 6,817.71±2.26 cal/g เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง



ภาพที่ 11 ค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีที่อัตราส่วนต่างๆ

สรุปผลและเสนอแนะ

การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากต้นธูปฤาษีพบว่าขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตมีด้วยกัน 6 ขั้นตอนคือการเตรียมวัตถุดิบ การเผาอบ การบด การผสมตามอัตราส่วน การอัดแท่งขึ้นรูปและการตากแห้ง ซึ่งขั้นตอนในการเผาอบต้นธูปฤาษีนั้นต้องควบคุมเวลาในการเผาอบด้วยเนื่องจาก ถ้าเผาอบนานเกินไปทำให้ต้นธูปฤาษีเป็นขี้เถ้าได้ดังนั้นเวลาเผาต้องคอยควบคุมและตรวจสอบดูอยู่ตลอดเวลา เมื่อตรวจสอบว่าต้นธูปฤาษีเป็นถ่านแล้วให้รีบนำออกมาจากเตาแล้วทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อเป็นการลดความร้อน และขั้นตอนการอัดถ่านแท่งควรใช้เครื่องอัดถ่านแท่งที่มีกำลังมอเตอร์ 10 แรงม้าเพื่อให้ง่ายต่อการผลิต จากการทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากต้นธูปฤาษีผสมกะลามะพร้าวในอัตราส่วน (20:80) โดยน้ำหนักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง โดยมีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 2.70±0.28 และค่าความร้อน เท่ากับ 6,817.71±2.26 cal/g สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มอาหารได้ รวมถึงนำไปต่อยอดในงานวิจัยการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยน้ำเก็บความร้อนสำหรับชุมชนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรีที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตรจารย์ธวัชชัย สอนสนาม ที่ช่วยในการแนะนำการส่งบทความตีพิมพ์ในครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2554). *มวลชีวภาพของธูปฤาษีและประสิทธิภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง*. กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา สวพ.39/2554. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์, ปิติพร มโนคุ้น, ภัทรมาศ เทียมเงิน, และ ฐนียา รังษีสุริยะชัย. (2563). การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวและกากไขมันเหลือทิ้งจากมะพร้าว. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์*, 31(4).

รุ่งทิพย์ ลำดวล, จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, และ เชาวยุทธ พรพิมลเทพ. (2553). ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงอาหารโดยใช้ดอกธูปฤาษีใบแคบ. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 6(1), 42-51.

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน, วิภาวดี ชัชวาลย์, อานันท์ ธัญญเจริญ, และ ภาคภูมิ รักร่วม. (2559). การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ,* 39(2).

ศิริชัย ต่อสกุล, กุณฑล ทองศรี, และ จงกล สุภารัตน์. (2555) การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน. *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555*, ชะอำ เพชรบุรี.

สุทธิสาร อนันตรัตนชัย. (2556). *การผลิตกระดาษจากต้นธูปฤาษีด้วยเครื่องอัตโนมัติ*. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง มผช 238-2547*. กรุงเทพฯ : ม.ป.พ

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *การพัฒนาคุณภาพถ่านอัดแท่ง*. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

Gao, X., Zhang, Y., Li, B., Xie, G., & Zhao, W. (2018). Experimental Investigation Into the Characteristics of Chars Obtained From Fast Pyrolysis of Different Biomass Fuels. *Journal of Energy Resources Technology*, 140, 044501-1 - 044501-5.

Tripathi, A., Lyer, P., & Kandpal, T. (1998). A Thchno-economic evaluation of biomass briquetting in India. *Biomass and bioenergy Journal*, 14(5/6), 479-488.

The Bangkok Insight. (2564). “ชีวมวล” พลังงานสีเขียวเป็นมิตรต่อโลก. [Online]. Available from https://www.thebangkokinsight.com/news/environmental-sustainability/558298/

Yerizam, M., Faizal, F., Marsi, M., & Novia, N. (2013). Characteristics of Composite Rice Straw and Coconut Shell as Biomass Energy Resources (Briquette)(Case study: Muara Telang Village, Banyuasin of South Sumatra). International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol.3 No.3, pp. 42-48.