



ผลของอากาศป้อนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทาง

การเกษตร

Effect of Inlet Air Flow on Thermal Efficiency of Bio-Char Stove from Agricultural Waste

กันยาพร ไชยวงศ์^{1*} ณัฐพล วิชาญ¹ อาริยะ แสนทวีสุข¹ จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล² และธัญศิรินทร์ จันทร์หอม³

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นาน

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดาก

³ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาวิชาการการเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*ผู้รับผิดชอบบทความ: drccrmutl@gmail.com โทรศัพท์ 054-711601

บทคัดย่อ

เตาถ่านชีวภาพในระดับครัวเรือนเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีถ่านชีวภาพที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้เกิดการถ่ายทอดและนำผลงานไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริงในชุมชน การศึกษาถึงประสิทธิภาพของเตาที่ออกแบบโดยทดสอบเปรียบเทียบผลการใช้งานเตา ที่มีการบังคับการป้อนอากาศเข้าสู่เตาเทียบกับการปล่อยให้มีการไหลของอากาศเข้าสู่เตาโดยธรรมชาติ กับวัตถุประสงค์ทดสอบที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชังข้าวโพด กะลากาแฟ และเมล็ดมะไฟจีน เป็นเป้าหมายหลักของการศึกษาในงานนี้ การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยวิธีการต้มเดือดเป็นวิธีการที่ถุกนำมาใช้ทดสอบเตาถ่านชีวภาพ ซึ่งทำการออกแบบในรูปแบบ Rocket Stove หรือเป็นเตารูปทรงกระบอก 2 ชั้นที่มีแกนกลางของตัวเตาใช้สำหรับการเผาไหม้ และมีการส่งผ่านความร้อนให้กับบริเวณของการควบคุมสภาวะอากาศเพื่อให้เกิดการย่อยสลายเชิงความร้อนของชีวมวลที่บรรจุอยู่บริเวณเปลือกเตา ผลการศึกษาพบว่าการใช้งานเตาในรูปแบบการบังคับการป้อนอากาศเข้าสู่เตาจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาที่ปล่อยให้มีการไหลเวียนอากาศเข้าสู่เตาแบบธรรมชาติ ซึ่งจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 16.58 และ 14.51 ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้งานเตาเพื่อผลิตถ่านชีวภาพด้วยกะลากาแฟจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า ชังข้าวโพด และเมล็ดมะไฟจีน คือ ร้อยละ 20.93 18.39 และ 10.42 ตามลำดับ และหากพิจารณาผลด้านสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ พบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากเตาถ่านที่ออกแบบจะให้ค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านชีวภาพจากการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ และถ่านชีวภาพที่ได้จากการใช้งานเตาแบบบังคับการป้อนของอากาศจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าการปล่อยให้มีการไหลเวียนของอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านชีวภาพ เท่ากับ 4,206.43 และ 3,347.02 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพดจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านชีวภาพที่ได้จาก กะลากาแฟ และเมล็ดมะไฟจีน โดยให้ค่า 6,939.07 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ทั้งนี้หากทำการเปรียบเทียบผลการใช้งานเตาที่ทำการออกแบบกับเตาถ่านชีวภาพที่เคยมีการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า เตาถ่านชีวภาพที่ออกแบบให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างสูง โดยจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 16.51 และ 14.51 เมื่อมีการป้อนและไม่ป้อนอากาศเข้าสู่เตา ทั้งนี้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดในการผลิต

คำสำคัญ เตาถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ทดสอบแบบต้มเดือด

Abstract

The biochar stove for a household is one of biochar technology that is research and development for transfer technology to using in the community based. Thermal efficiency study of the bio-char stove by comparison testing between using the stove under fan force condition and natural force together with biochar production from agricultural waste as corncob, parchment coffee and wampee seed are targeted in this work. Thermal efficiency via Water Boiling Testing (WBT) is using for testing bio-stove that is designed in the type of Rocket Stove or double layer of the cylinder. In the center of the stove used for combustion and heat source of the control zone to degradation a biomass that contain inside the shell of the stove. The results show that average thermal efficiency of the stove under fan force condition is higher than that natural force of 16.58% and 14.51% respectively. The biochar production of parchment coffee via biochar stove shown to higher thermal efficiency than corncob and wampee seed as 20.93%, 18.39% and 10.42% respectively. The property of biochar that produce by the stove in term of heating value are lower the bio-char from laboratory and in the condition of fan force could produce the higher



heating value of biochar than that of the natural force of 4,206.43 kJ/kg and 3,347.02 kJ/kg respectively. The heating value of biochar from corncob is higher than parchment coffee and wampee seed of 6,939.07 kJ/kg. The comparison of thermal efficiency between biochar stove on this work with the result from another research found that this biochar stove give the relatively high thermal efficiency, thermal efficiency of the stove as 16.51% and 14.51% in the condition of fan force and natural force on the average of 3 types of agricultural waste on the production.

Keywords: Bio-char stove, Bio-char, Thermal efficiency, Agricultural waste, Water Boiling Testing

1. บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีถ่านชีวภาพมีการศึกษาในวงกว้าง โดยมีการส่งเสริมการผลิตในหลายรูปแบบ ได้แก่ การผลิตในครัวเรือน การผลิตเพื่อชุมชนในระดับกลาง รวมถึงการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เตาเผาถ่านชีวภาพจะถูกออกแบบให้สามารถผลิตถ่านชีวภาพในสภาวะการเกิดไพโรไลซิส(pyrolysis) ซึ่งถือเป็นกระบวนการทางด้านเคมีความร้อนที่นิยมใช้ในการเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุด้วยความร้อน ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก ประมาณ 400 - 600°C ภายใต้สภาวะการทำงานที่ปราศจากอากาศ หรือออกซิเจน ด้วยกระบวนการดังกล่าวจะทำให้สามารถผลิตเชื้อเพลิงพลังงานใน 3 กลุ่ม ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ หรือไบโอออย แก๊ส ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบแก๊สเชื้อเพลิงรวมทั้งถ่านชีวภาพที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานในรูปแบบเชื้อเพลิงแข็ง ได้เช่นกัน โดยทั่วไปไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis) และไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast Pyrolysis) มีลักษณะความแตกต่างตามอัตราการให้ความร้อน และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ [1] ในการผลิตถ่านชีวภาพส่วนใหญ่มักนิยมใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า หรือการควบคุมอัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ (น้อยกว่า 50°C/min) และจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ในรูปแบบเชื้อเพลิงแข็ง หรือถ่านชีวภาพ (ประมาณ 30-35%) [2] เตาถ่านชีวภาพที่ใช้ในการส่งเสริมการผลิตถ่านชีวภาพส่วนใหญ่ เป็นรูปแบบเตาถ่านอย่างง่าย ที่มีลักษณะของการให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้โดยตรง ทั้งในรูปแบบเตาที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากทางด้านบนลงด้านล่าง (downdrafts) และเตาที่มีการจุดติดเชื้อเพลิงจากทางด้านล่างขึ้นด้านบน(updrafts) ปัจจุบันการส่งเสริมการใช้เตาถ่านชีวภาพระดับครัวเรือนพบได้มากในเขตประเทศกำลังพัฒนาที่ยังมีการใช้ฟืน หรือสิ่งของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงหลัก เช่น ในการศึกษาของ Torres-Rojas et al.[3] ได้ทำการศึกษถึงการปรับปรุงเตาถ่านชีวภาพ เพื่อใช้งานทดแทนเตาหุงต้มในครัวเรือน สำหรับใช้จริงในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 ครัวเรือน ในประเทศเคนยา ผลการศึกษพบว่าเตามีประสิทธิภาพสูง ลดปริมาณการใช้ฟืน และเศษไม้ ได้ถึง 27% เมื่อเทียบกับเตาหุงต้มปกติ สามารถใช้ร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ และสามารถผลิตถ่านชีวภาพได้ประมาณ 0.46 Mg ha⁻¹ต่อปี และถ่านชีวภาพดังกล่าว

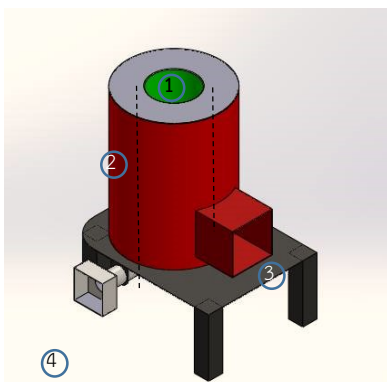
สามารถนำมาใช้ช่วยในการปรับปรุงดินทางการเกษตรทำให้มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากขึ้น การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ และความสามารถในการใช้งานเตาถ่านชีวภาพแต่ละประเภทโดยพิจารณาตามค่าการทดสอบต่างๆ เช่น Water Boiling Test (WBT), Controlled Cooking Test (CCT), Kitchen Performance Test (KPT) รวมไปถึงค่า Combustion Efficiency ผลการทดสอบสามารถนำมาปรับปรุงลักษณะของเตาถ่านชีวภาพ ดังในการศึกษาของ Kumar et al. [4] ได้สรุปรวบรวมงานวิจัยที่ทำการออกแบบ พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเตาเผาชีวมวลในระดับครัวเรือน และได้แบ่งประเภทของเตาชีวมวลตามลักษณะพื้นฐานของตัวเตา เช่น วัสดุในการจัดสร้าง รูปแบบของการป้อนอากาศเข้าภายในเตา รวมถึงการแยกชนิดของเตาตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง

เพื่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีเตาถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่อง และมีความเหมาะสมต่อการปรับใช้กับพื้นที่การวิจัยในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง เตาถ่านชีวภาพในระดับครัวเรือน ที่สามารถใช้งานในการหุงต้มควบคู่กับการผลิตถ่านชีวภาพ โดยทำการศึกษเปรียบเทียบผลด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาถ่านชีวภาพขณะที่มีการใช้งานในสภาพการป้อน และไม่ป้อนอากาศผ่านช่องเผาไหม้นอกจากนั้นจะทำการศึกษาถึงผลการเปลี่ยนวัตถุดิบ รวมถึงผลที่เกิดกับคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ร่วมด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานวิจัย

เตาถ่านชีวภาพที่เลือกใช้ในการศึกษา และออกแบบในงานวิจัยนี้มีรูปแบบ และลักษณะเตา แบบ Rocket Stove [5] ซึ่งนอกจากจะเป็นเตาที่สามารถให้ความร้อนในการหุงต้มปกติแล้ว ยังสามารถใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพร่วมด้วย และเตาลักษณะดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ลดการปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ และฝุ่นได้ มากกว่าเตาประเภทอื่นๆ เพราะสามารถควบคุมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ และสามารถนำแก๊สที่เกิดระหว่างปฏิกิริยาไพโรไลซิสของผลิตภัณฑ์ถ่านชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในช่องการเผาไหม้(บริเวณแกนกลางเตา) จึงเป็นส่วนสำคัญของการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเตาที่ทำการออกแบบ แสดงลักษณะของเตาที่ได้ทำการออกแบบดังรูปที่ 1 แสดงถึงเตาทดสอบในรูปแบบ Rocket Stove ซึ่งมีลักษณะเตารูปทรงกระบอก 2 ชั้น บริเวณ

แกนกลางของเตาเชื่อมติดกับช่องป้อนอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้ และให้ความร้อนกับตัวเตา บริเวณเปลือกเตาใช้สำหรับบรรจุขี้มวลเพื่อใช้ผลิตถ่านชีวภาพ บริเวณดังกล่าวจะถูกควบคุมให้อยู่ในสภาวะปราศจากอากาศ และทำให้เกิดการย่อยสลายเชิงความร้อน หรือเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับจากผนังของบริเวณเผาไหม้ ขณะได้รับความร้อนสารระเหย (volatile matter) ที่ได้จากการย่อยสลายเชิงความร้อนถูกระบายออกผ่านท่อเพื่อดักจับด้วยน้ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบน้ำส้มควันไม้ สำหรับถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะถูกนำมาใช้ภายหลังการได้รับความร้อน และเกิดการย่อยสลายเชิงความร้อนอย่างสมบูรณ์



① บริเวณช่องเผาไหม้ ② บริเวณผลิตถ่านชีวภาพ
③ ช่องเติมเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ④ ช่องป้อนอากาศ

รูปที่ 1 เตาทดสอบแบบ Rocket stove

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ภายหลังการออกแบบและจัดสร้างเตาทดสอบ แบบ Rocket Stove ได้ดำเนินการทดสอบเตาถ่านชีวภาพด้วยมาตรฐานการทดสอบเตา โดยวิธีการทดสอบ แบบ Water Boiling Test (WBT) กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชังข้าวโพด เพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของเตาใน 3 รูปแบบ ได้แก่ เตาที่มีระบบการไหลเวียนธรรมชาติ (Natural Draft) และ เตาที่มีการควบคุมการป้อนอากาศ (fan force) ซึ่งมีขั้นตอนของการทดสอบที่สำคัญดังนี้

การทดสอบแบบวิธีการต้มเดือด (water boiling test, WBT) เป็นการทดสอบที่วัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการทำน้ำให้เดือด (water boiling test, WBT) [4] ตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการออกแบบเตาโดยพิจารณาจากความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำ และการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งข้อดีของการเลือกใช้วิธีการทดสอบวิธีการนี้คือ เป็นวิธีการที่ง่าย สามารถเปรียบเทียบค่าการทดสอบระหว่างเตาในลักษณะต่างๆ รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเตาขณะพัฒนา และลด

ข้อผิดพลาดในการจัดสร้าง วิธีการทดสอบตามมาตรฐานด้วยวิธีการต้มเดือดซึ่งใช้ในการศึกษานี้จะดำเนินการทดสอบตามขั้นตอน ในทุกการทดสอบ โดยจะทำการศึกษาและทดสอบผลที่เกี่ยวข้องจากการป้อน และไม่ป้อนอากาศเข้าสู่เตา รวมถึงการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ได้แก่ ชังข้าวโพด กะลาเผา และเมล็ดมะไฟจีน ทั้งนี้ขั้นตอนในการทดสอบดำเนินการตามลำดับดังนี้

- 1) เติมน้ำลงในภาชนะ ซึ่งเป็นหม้อสแตนเลสแบบมีฝาปิดที่มีช่องสำหรับติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ ปริมาณ 3,000 กรัม
- 2) ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ให้สูงจากก้นภาชนะประมาณ 5 เซนติเมตรเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนการทดสอบชั่งข้าวโพดสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเป็นกอง กองละ 1 กิโลกรัม ขณะให้ความร้อนค่อยๆ ป้อนชังข้าวโพดที่ละกอง บริเวณช่องป้อนเชื้อเพลิงพร้อมบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดการทดสอบ
- 3) บรรจุวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ต้องการทดสอบการผลิตถ่านชีวภาพ จำนวน 2 กิโลกรัม ได้แก่ ชังข้าวโพด กะลาเผา และเมล็ดมะไฟจีน ในบริเวณเปลือกเตา (ตามรูปที่ 1 คือบริเวณเตาหมายเลข ②) จากนั้นทำการปิดฝาเตาให้สนิท
- 4) นำชังข้าวโพดบรรจุบริเวณตรงกลางของเตา พร้อมจุดเตาเมื่อหัวเผาสามารถทำงานได้ให้ติดเตาทิ้งไว้ 5 นาที นำภาชนะที่เตรียมไว้แล้ววางบนเตาและบันทึกอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของน้ำทุกๆ 1 นาทีตั้งแต่ น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนอุณหภูมิของน้ำมีค่าประมาณ 95 องศาเซลเซียสจากนั้นทำการบันทึกเวลาขณะนั้นแล้วทำการเติมน้ำต่อไปอีก 5 นาทีจึงทำการดับเตาพร้อมกับหยุดเวลาและอุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
- 5) ชั่งน้ำหนักของน้ำในภาชนะที่เหลือเชื้อเพลิงที่ใช้ถ่านชีวภาพที่ได้ค่าที่ได้ทั้งหมดถูกนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 1

$$\eta_{th} = \frac{(C_{p,water} \times W_{water} \times \Delta T) + (h_{fg,vapour} \times W_{vapour})}{\dot{m}_{fuel} \times LHV_{fuel} \times \Delta t} \quad (1)$$

เมื่อ

- η_{th} = Thermal efficiency, %
 W_{water} = น้ำหนักน้ำที่ใช้ทดสอบ, g
 W_{vapour} = น้ำหนักไอน้ำที่ระเหย, g
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ได้จากการทดสอบ, °C



$h_{fg, vapour}$ = Latent Heat of Vaporizer, 2260, J/g
 $C_{p, water}$ = Specific Heat of Water, 4.178 J/g °C
 $\dot{m}_{fuel}$ = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้, g
 LHV_{fuel} = Lower Heating Value of fuel, J/g
 Δt = เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำในช่วง 40 - 95 °C

2.2. การทดสอบคุณสมบัติถ่านชีวภาพ

ภายหลังการทดสอบการผลิต ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะได้รับการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อน เพื่อให้ทราบถึงผลของอากาศป้อน ต่อการผลิตถ่านชีวภาพชนิดต่างๆ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM D 240 โดยการทดสอบค่าความร้อนจากตัวอย่างเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ทำการเผาไหม้ตัวอย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ และให้กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้จนหมดจะสามารถนำผลการเปลี่ยนอุณหภูมิ มาใช้ในการคำนวณค่าความร้อนในหน่วย แคลอรีต่อกรัม [6]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพเตาถ่านชีวภาพในรูปแบบ Rocket Stove ในการใช้งานเตาและผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ช้างข้าวโพด กะลากาแฟ และเมล็ดมะไฟจีน กับเตาที่มีระบบการไหลเวียนธรรมชาติ (natural draft) และ เตาที่มีการควบคุมการป้อนอากาศ (fan force) ซึ่งให้ผลการศึกษาดังนี้

3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การทดสอบเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของอากาศป้อนต่อการผลิตถ่านชีวภาพ จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ช้างข้าวโพด กะลากาแฟ และเมล็ดมะไฟจีน โดยอาศัยเตาประเภท Rocket Stove ที่มีรูปแบบการควบคุมอากาศโดยธรรมชาติ (natural draft) และมีการป้อนของอากาศ (fan forced) ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบเต็มเต็ดดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการป้อนอากาศเข้าสู่ตัวเตา จะใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่ต่ำกว่าการปล่อยให้มีการไหลอากาศป้อนโดยวิธีการธรรมชาติ และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเฉลี่ยของการใช้เตาแบบสูงกว่า ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะมีค่าแตกต่างกัน หากใช้เตาในการผลิตถ่านชีวภาพกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างชนิดกัน ซึ่งพบว่าในกรณีใช้ กะลากาแฟ เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า เมล็ดมะไฟจีน และช้างข้าวโพด

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทดสอบกับการผลิตถ่านชีวภาพชนิดต่างๆ

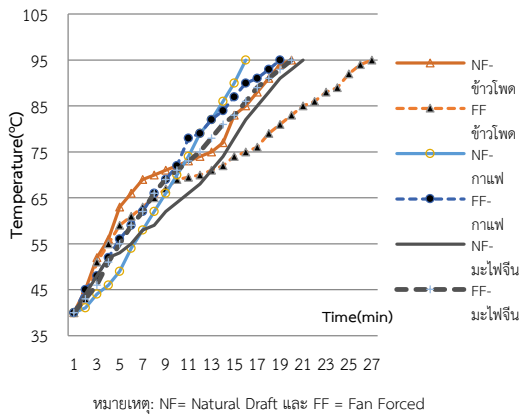
ทดสอบ ชนิดวัตถุดิบ	อุณหภูมิ น้ำ		เวลา ณ. 95°C (นาท)	น้ำหนัก เชื้อเพลิงที่ ใช้ (กรัม)	η_{th} %
	ก่อน ต้ม	หลัง ต้ม			
เตาที่มีระบบการไหลเวียนอากาศโดยธรรมชาติ(Natural Draft)					
ข้าวโพด	35	100	19	2100	7.88
กะลากาแฟ	40	100	15	900	19.41
เมล็ดมะไฟจีน	40	99	21	1000	16.23
เตาที่มีการป้อนอากาศ (Fan Forced)					
ข้าวโพด	40	99	26	1500	10.42
กะลากาแฟ	31	97	18	800	20.93
เมล็ดมะไฟจีน	40	100	19	900	18.39

ทั้งนี้เป็เพราะความละเอียดของกะลากาแฟ และลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะคล้ายถ่านความร้อน ซึ่งหากบรรจุลงบริเวณเปลือกเตาจึงคล้ายถ่านที่หุ้มเตา ที่สามารถลดการสูญเสียความร้อนรอบเตาได้มากกว่าเตาที่บรรจุ เมล็ดมะไฟจีน และช้างข้าวโพด และหากพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะให้ความร้อนจะสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบเตาในสองลักษณะได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแต่ละการทดสอบมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของการใช้งานเตา ที่มีการควบคุมการไหลของอากาศแบบไหลเวียนของธรรมชาติ หรือแบบควบคุม ซึ่งผลการศึกษาพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในกรณีที่ใช้เตาในแบบการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติจะให้ค่าสูงกว่าการควบคุมการไหลของอากาศ แต่มีช่วงของการรักษาช่วงอุณหภูมิให้กับน้ำที่สั้นกว่า และใช้เชื้อเพลิงในขณะทำการเผาไหม้ในปริมาณที่มากกว่าซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้เตาแบบไม่มีการบังคับการป้อนของอากาศ หรือการให้มีการไหลเวียนแบบธรรมชาติ มีสัดส่วนการป้อนของอากาศต่อเชื้อเพลิงในปฏิกิริยาเผาไหม้เหมาะสมน้อยกว่าการใช้เตาแบบบังคับการป้อนอากาศ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ที่จะทำให้เกิดเป็นความร้อนและแสง ทั้งนี้หากมีการป้อนอากาศอย่างเหมาะสม หรือมากเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และได้ความร้อนในปริมาณสมดุลเทียบเท่ากับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

3.2 การผลิตถ่านชีวภาพ และคุณสมบัติถ่านชีวภาพ

การศึกษากการผลิตถ่านชีวภาพควบคู่กับการทดสอบประสิทธิภาพเตา ทำให้ทราบว่าเตาที่ทำการออกแบบสามารถผลิตถ่านชีวภาพ ควบคู่ไปกับการให้ความร้อน ซึ่งคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแตกต่างกันจะให้ผลที่แตกต่างกัน ดังผลการทดสอบค่าความ

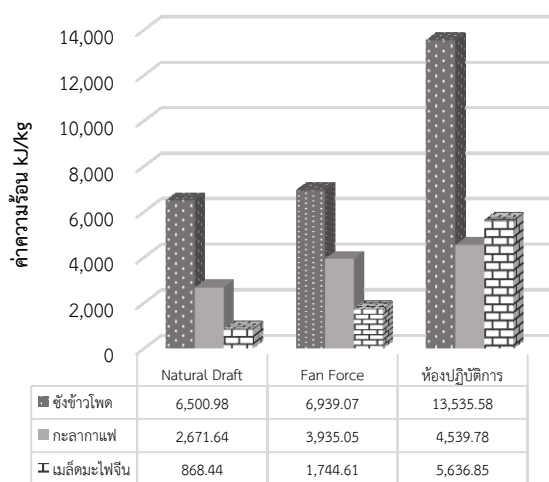
ร้อนของถ่านชีวภาพที่ได้จากวัตถุดิบทั้ง 3 โดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (bomb calorimeter) ทดสอบและศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของถ่านชีวภาพที่ได้แสดงลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้แสดงดังรูปที่ 3 และผลการทดสอบแสดงค่าดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบ



รูปที่ 3 ถ่านชีวภาพที่ได้จากการ ชั่งข้าวโพด เมล็ดมะไฟจีน และกะลากาแฟ

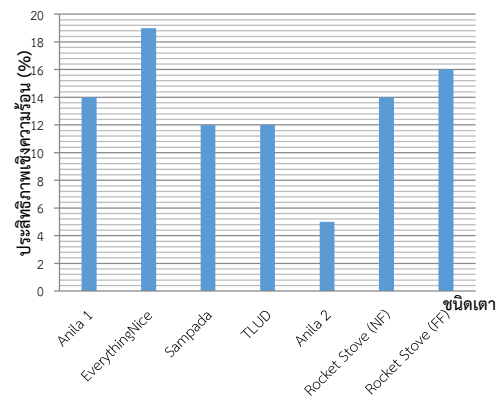


รูปที่ 4 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

จากรูปที่ 4 พบว่าค่าความร้อนที่ได้จากถ่านชีวภาพซึ่งได้จากวัสดุต่างชนิดกันให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน โดยถ่านชีวภาพที่ได้จากเตาทดสอบจะให้ค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จากห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการมีการควบคุมการเปลี่ยนสถานะของชีวมวลที่สมบูรณ์ และทั่วถึงกว่า อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าหากพิจารณาเฉพาะสมบัติด้านค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ได้จากเตาแบบไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ จะให้ถ่านที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่มีการป้อนอากาศ ในทุกวัสดุทดสอบ และถ่านชีวภาพจากชั่งข้าวโพดให้ค่าความร้อนมากกว่าถ่านชีวภาพจากกะลากาแฟ และเมล็ดมะไฟจีน

3.3 การเปรียบเทียบลักษณะเตาจากผลการทดสอบ

จากผลการศึกษาเตาถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดสอบตาม หากทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้โดยอาศัยค่าเฉลี่ยจากการใช้งานเตากับวัสดุทั้ง 3 ชนิด กับผลการทดสอบกับเตาประเภทอื่นๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำการสรุปผลการศึกษาโดย Carter and Shackle, [7] ทำให้ได้ข้อมูลของการเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาถ่านชีวภาพที่ทำการออกแบบ กับที่เคยพัฒนาแล้วก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการทดสอบเตา (Carter and Shackle, 2011)

จากการทดสอบด้วยวิธีการแบบ WBT พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทดสอบที่มีการไหลแบบธรรมชาติ และการบังคับการป้อนอากาศ เทียบกับเตาชนิดอื่นๆ [7] พบว่าเตาชนิดดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างสูง โดยพิจารณาค่าประสิทธิภาพเตาตามการใช้งานโดยเฉลี่ยกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทุกชนิด ข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าทางเลือกพัฒนาเตาถ่านชีวภาพจากรูปแบบเตา ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของเตาในรูปแบบเตาทรงกระบอกสองชั้น ที่สามารถใช้ในการเผาไหม้สำหรับให้



ความร้อนจากบริเวณส่วนกลาง และการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้การย่อยสลายเชิงความร้อนโดยปราศจากอากาศ บริเวณเปลือกเตานั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาได้เพิ่มมากขึ้น

4. สรุป

ผลการเปรียบเทียบการใช้งานเตาที่มีการป้อนอากาศเข้าสู่เตาแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ ของเตาถ่านชีวภาพในรูปแบบ Rocket Stove ที่ทำการออกแบบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่มีการป้อนอากาศแบบบังคับ หรือ Fan Force จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าการให้อากาศไหลเวียนเข้าสู่เตาโดยธรรมชาติ ในช่วงร้อยละ 7.26 – 24.38 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ป้อน ทั้งนี้การใช้งานเตากับการผลิตถ่านชีวภาพด้วยกะลาเผาจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้ซังข้าวโพด และเมล็ดมะไฟจีน ผลทางด้านคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้พบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากการใช้งานเตาแบบมีบังคับการป้อนอากาศจะให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพสูงกว่าแบบไหลเวียนอากาศโดยธรรมชาติ ซึ่งถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากชีวมวลชนิดอื่น ด้วยค่าความร้อน 6,939.07 กิโลจูลต่อกิโลกรัมกรัม นอกจากนั้นหากนำผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบเตาที่ทำการออกแบบด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนมาทำการเปรียบเทียบกับเตาถ่านชีวภาพในลักษณะใกล้เคียงกันซึ่งทำการศึกษามาแล้วก่อนหน้านี้ จะพบว่าเตาถ่านชีวภาพที่ทำการออกแบบให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างสูงทั้งในกรณีใช้งานแบบมีการป้อน และไม่ป้อนอากาศเข้าสู่เตา

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สวทช.ภาคเหนือ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ผู้สนับสนุนโครงการวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นานาให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์สถานที่ และบุคลากร ในการศึกษาโครงการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaiwong, K., Kiatsirirot, T., Vorayos, N. and Thararax, C. (2013). Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis. *Biomass and bioenergy*, vol. 56, 2013, pp.600 – 606.
- [2] Maschio, G., Koufopoulos, C. and Lucchesi, A. (1992). Pyrolysis, a promising route for

biomass utilization. *Bioresource Technology*, vol. 42, 1992, pp.219–231.

- [3] Torres-Rojas, D., Lehmann, J., Hobbs, P., Joseph, S. and Neufeldt, H. (2011). Biomass availability. Energy consumption and biochar production in rural households of Western Kenya. *biomass and bioenergy*, vol. 35, 2011, pp.3537 – 3546.
- [4] Kumar, M., Kumar, S., and Tyagi, S.K., (2013). Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, 2013, pp.265-285.
- [5] MacCarty, N., Still, D. and Ogle, D., (2010). Fuel use and emissions performance of fifty cooking stoves in the laboratory and related benchmarks of performance. *Energy for Sustainable Development*, vol. 14, 2010, pp.161-171.
- [6] โปรตปราน สิริวิศาสน์, ณัฐพล ช่างการ และ ศรัณย์ ชโนวิทย์ (2554). การปรับปรุงคุณภาพของของผสมชีวมวลและถ่านหินด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ, *การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*. อำเภอหาดใหญ่. จังหวัดสงขลา
- [7] Carter, K and Shackle, S. (2011). *Biochar Stoves: an innovation studies perspective*, UK Biochar Research Center (UKBRC), School of Geo- Science, University of Edinburgh.