

ผลการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงในเตาเผาเชื้อเพลิงระบบหัวเผาจากการอัดอากาศ ของพัดลมหอยโข่ง

The Direct Effect Combustion of Biomass in Burner System by Compressed Air from the Centrifugal Blower

วัชรกร ใจตรง^{1*} และมนตรี วงศ์ศิริวิทยา¹

Wacharakron Jaitong^{1*} and Montree Wongsiriwittaya¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอุณหภูมิการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหัวเผา โดยอาศัยหลักการอัดอากาศเข้าสู่ระบบจากพัดลมหอยโข่งเพื่อสร้างสมรรถนะทางความร้อนของเปลวไฟ จากการทดลองใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดได้แก่ ขี้เลื่อยอัดแท่ง เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟจากการเผาไหม้ขี้เลื่อยอัดแท่งวัดได้เป็น 910 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อนคงที่ 300 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนเศษถ่านไม้กับซังข้าวโพดวัดอุณหภูมิเปลวไฟได้ 855 และ 651 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และทั้ง 2 ตัวอย่างใช้อัตราการป้อนคงที่ 500 กรัมต่อชั่วโมง จากผลการทดลองนี้ทราบว่าเชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดแท่งให้อุณหภูมิสูงสุดและอัตราการป้อนน้อยกว่าเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดถึงร้อยละ 40 โดยปริมาตร และเตาเผาเชื้อเพลิงในระบบหัวเผานี้เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอบแห้ง หรือ ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้

คำสำคัญ: เตาเผาเชื้อเพลิง ระบบหัวเผา พัดลมหอยโข่ง ชีวมวล เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Abstract

This research aims to investigating the temperature for combustion from biomass in a burner system, with on the principle of compressed air into the system from the centrifugal blower to the flame of thermal performance. The results showed sample three types were tested: sawdust pellets, charcoal flakes and corn cobs. It was found that the combustion flame of sawdust to temperature was 910 °C, and feed rate of 300 g/hr. The charcoal flakes measured 855 °C and 651 °C, at flame temperature respectively and both samples used feed rate of 500 g/hr. The result of this study sawdust has the highest temperature for combustion, and feed rate is less than the two types of biomass to 40 % by volume. The furnace is suitable for using for applying in drying systems, or heat generator system.

Keywords: Furnace, Burner, Blower, Biomass, Generator

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

¹ Lecturers, Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author Tel.: 055-282792, E-mail address : wjaitong@gmail.com

บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงาน ซึ่งมีความสำคัญควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ดังนั้นพลังงานเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐาน และมีความสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน จึงต้องมีการจัดหาและพัฒนาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีความเหมาะสมและมีคุณภาพที่ดีตามความต้องการ [1] ปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลือง และพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานสิ้นเปลืองเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งรวมถึงถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ส่วนพลังงานหมุนเวียน คือพลังงานที่ได้อย่างต่อเนื่องและเกิดซ้ำบนโลก เช่น พลังงานน้ำที่ได้จากการสร้างเขื่อนแล้วใช้น้ำในการขับเคลื่อนกังหันผลิตไฟฟ้า พลังงานจากแสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า พลังงานจากคลื่นทะเล และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่น่าสนใจ

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่กักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์และยังเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน การใช้พลังงานชีวมวลเผาไหม้เพื่อสร้างความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด [2] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลโดยใช้กระบวนการความร้อนทางเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กระบวนการทอริเฟลกชัน คือ การนำชีวมวลมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการนี้เพิ่มค่าพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นกว่าเดิม [3] กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) คือ กระบวนการย่อยสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส เพื่อแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว เรียกว่า “ไบโอออยล์ (Bio-oil)” ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนแก๊สที่ได้จากกระบวนการสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สได้ ส่วนของแข็งที่ได้เป็นถ่านชาร์สามารถเผาไหม้ให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำหรือนำมาใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน [4] และเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงเกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อนออกมา ซึ่งการเผาไหม้จำเป็นต้องใช้อากาศ และอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร [5] ซึ่งการเพิ่มอากาศให้กับระบบการเผาไหม้สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น

เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงจากการอัดอากาศ เป็นกระบวนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้ และใช้การป้อนอากาศช่วยในการทำปฏิกิริยาเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยมีระบบอัดอากาศเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น [6] และมีขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก ทำให้สามารถพัฒนาขยายรูปแบบใหญ่ขึ้นได้ในระดับชุมชนได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเผาไหม้โดยตรงของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหั่วเตาและใช้พัดลมหย่องช่วยในการป้อนอากาศ และมีขั้นตอนการทดลองโดยเลือกใช้เชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมเศษถ่านไม้ ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในเขตจังหวัดพิษณุโลก จากการทดลองเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงร่วมกับการป้อนอากาศเข้าในระบบของเตาเผา รวมทั้งศึกษาการเผาไหม้ และทดลองหาอุณหภูมิจากปลวไฟต่อระยะเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงจากเตาเผาชีวมวลในระบบหั่วเตาให้เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าของชีวมวลเหลือทิ้งให้กลับมาใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ และระบบการเผาไหม้โดยตรงระบบหั่วเตาโดยการอัดอากาศนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อในกลุ่มสร้างอาชีพชุมชน เช่นการใช้เป็นเตาเผาขยะชุมชนร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากขยะ หรือการเผาไหม้ให้เกิดความร้อนที่สามารถนำมาใช้กับกระบวนการอบแห้งอาหาร เสื้อผ้า ห้องปฏิบัติการที่ต้องการใช้ความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

วัตถุดิบเชื้อเพลิงแข็ง

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงแข็ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด ซึ่งนำมาใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟในการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงในระบบหั่วเผาโดยการป้อนอากาศของพัดลมหอยโข่ง ดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 1 ขี้เลื่อยอัดแท่ง เป็นการนำเอาชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำการบดและอัดแท่ง ซึ่งสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึง 20 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [7] และที่สำคัญคือการนำวัสดุทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สะดวกต่อการขนส่ง และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [8]



ภาพที่ 1 เชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดเม็ด

จากภาพที่ 2 เศษถ่านไม้ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนจนความชื้น และสารระเหยสลายตัวออกไปจากเนื้อไม้ ซึ่งจะเหลือแต่ส่วนที่เป็นคาร์บอนที่สามารถใช้งานเป็นเชื้อเพลิง [9] และมีงานวิจัยที่ทำการทดลองค่าความร้อนของถ่านอยู่ระหว่าง 17 ถึง 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [10] รวมทั้งมีคุณสมบัติพิเศษในการใช้งาน คือการเผาไหม้ที่ให้อุณหภูมิสูง ซึ่งเหมาะต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนได้ดี



ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงแข็งเศษถ่านไม้

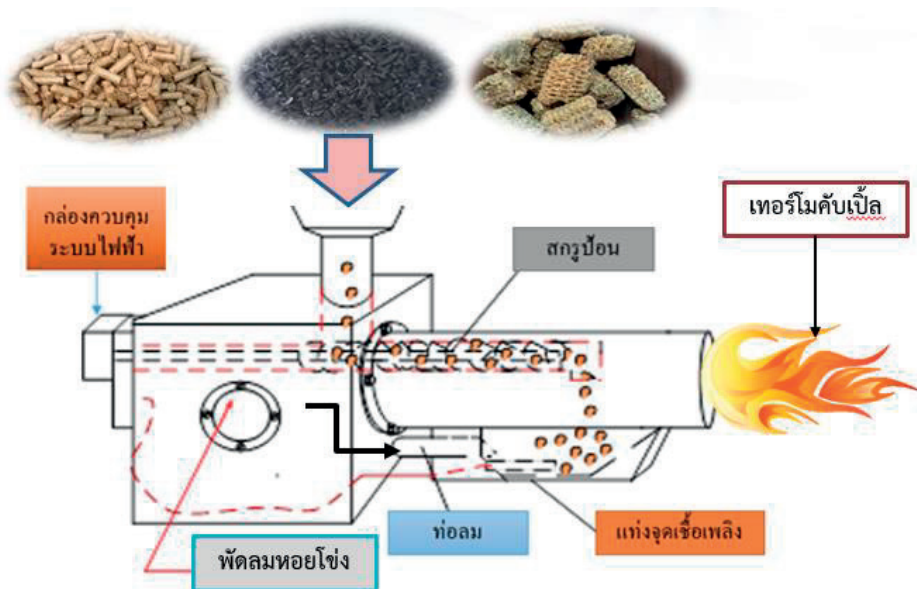
จากภาพที่ 3 ซังข้าวโพดเป็นผลผลิตชนิดหนึ่งจากเกษตรกรรม ซึ่งเหลือจากการสีเมล็ดข้าวโพดออกเสร็จแล้ว จากนั้นเกษตรกรไม่ได้ใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพด และมีการปล่อยทิ้งไว้ให้ย่อยสลายไปเอง บางรายก็เผาทิ้งไปเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกใหม่ ซึ่งทำให้เกิดมลพิษจากการเผาทิ้ง และที่ผ่านมามีงานวิจัยพบว่าค่าความร้อนของซังข้าวโพดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [11] ทำให้ซังข้าวโพดมีมูลค่าขึ้นมาจากเดิมที่ต้องทำลายโดยการเผาทิ้ง และเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ด้านความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงแข็งชีวะข้าวโพด

อุปกรณ์เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชีวมวล

เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหัวเผาโดยการอัดอากาศจากพัดลมหอยโข่ง ซึ่งมีอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย ถังป้อนเชื้อเพลิงที่มีขนาดความกว้าง 20 ซม. และสูง 20 เซนติเมตร มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 750 วัตต์ สกรูลำเรียงชีวมวลทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร เครื่องเป่าลมกำลังไฟ 600 วัตต์ แท่งจุดเชื้อเพลิงทำจากลวดความร้อน และห้องเผาไหม้ที่มีขนาดความกว้าง 15 ซม. และสูง 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงในระบบหัวเผา

หลักการทำงานของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชีวมวล

เริ่มจากการป้อนเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้ข้าวโพด เข้าสู่กระบวนการของเตาเผาไหม้ในตำแหน่งถังป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัม จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับสกรูลำเรียงเพื่อป้อนชีวมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง จากนั้นเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ของแท่งจุดเชื้อเพลิงด้วยลวดความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจุดเชื้อเพลิงแข็งให้ติดไฟ ให้เกิดการเผาไหม้โดยเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลกับอากาศทำปฏิกิริยากัน [12] และเวลาเดียวกันจะป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยเครื่องเป่าลมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งในเวลาเดียวกันยังมีแก๊สเกิดขึ้นบริเวณห้องเผาไหม้ด้วย [13] ซึ่งแก๊สเหล่านี้สามารถนำไปใช้ให้ความร้อนในขั้นตอนเริ่มต้นจุดไฟ

การทดลองอุณหภูมิเปลวไฟ

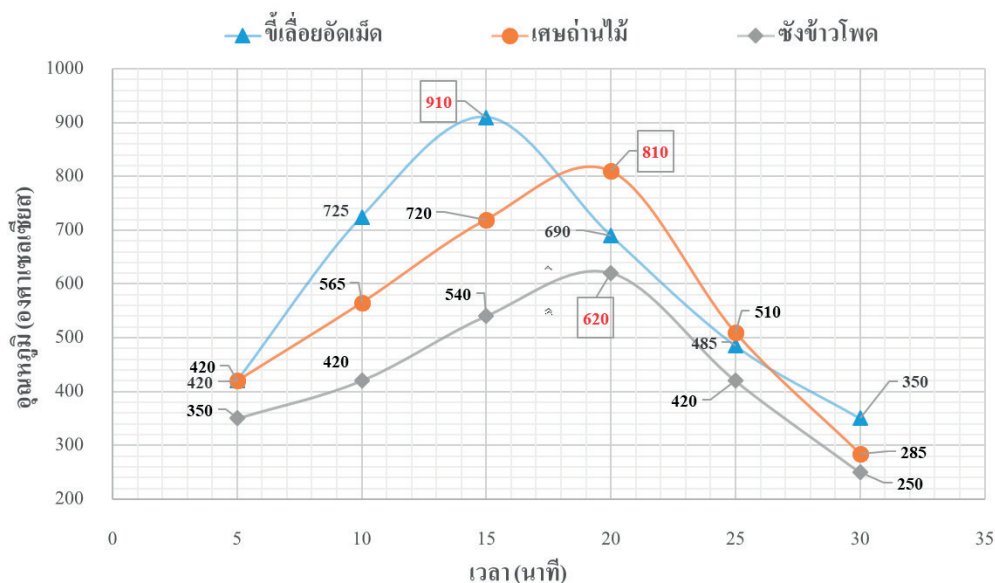
การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้ข้าวโพด เริ่มต้นเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงและจากนั้นถ้าเกิดเปลวไฟแล้วจะนำอุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิลมาวัดค่าความร้อน

ที่เปลวไฟสามารถทำได้และบันทึกค่า เพื่อศึกษาผลการเผาไหม้ของกระบวนการและเปรียบเทียบข้อมูลของชนิดเชื้อเพลิง
แข็งชีวมวล โดยอัตราการป้อนต่อระยะเวลา

ผลการวิจัย

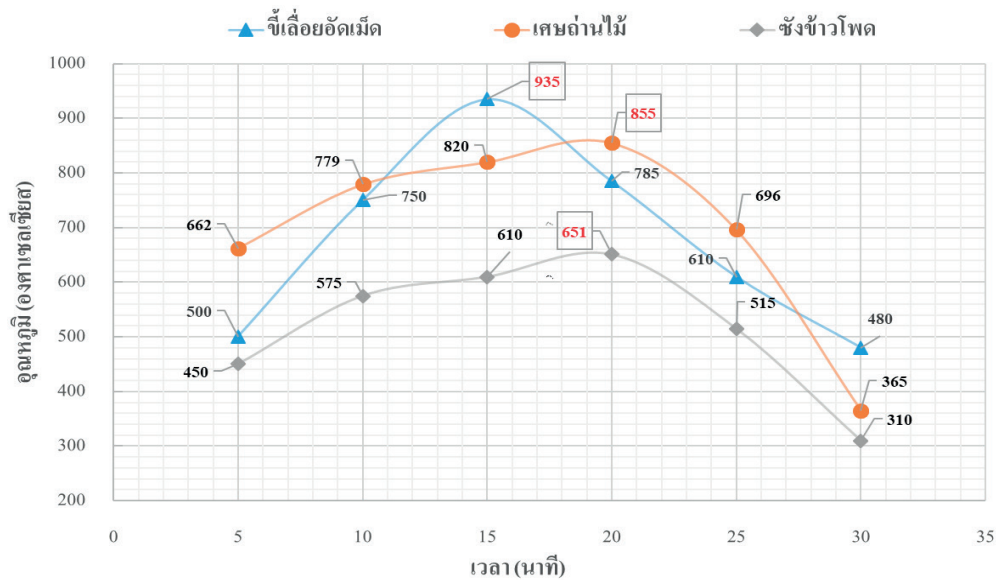
งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง โดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชี้อย่างเม็ด เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด
ที่อัตราการป้อนเป็น 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิที่เปลวไฟจากการเผาไหม้ของเตาเทียบกับ
กับระยะเวลา การทดลองแต่ละการทดลองใช้วิธีทำซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 การทดลอง และมีแผนการทดลองทั้งหมดรวมกันแล้ว
เป็น 9 การทดลอง

การทดลองที่ 1 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง
ทำการเผาไหม้ของเตาเผา และใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือวัดและแบ่งช่วงบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที จากระยะเวลาทั้งหมด
30 นาที จากภาพที่ 5 ผลการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อย่างเม็ดเป็น 725 องศาเซลเซียส
เศษถ่านไม้เป็น 565 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 420 องศาเซลเซียส และช่วงเวลานาทีที่ 15 ของการทดลองทราบว่า
อุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อย่างเม็ดเป็น 910 องศาเซลเซียส เศษถ่านไม้เป็น 720 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 540
องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าชี้อย่างเม็ดจากการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงให้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุด จากนั้นค่าของ
อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ



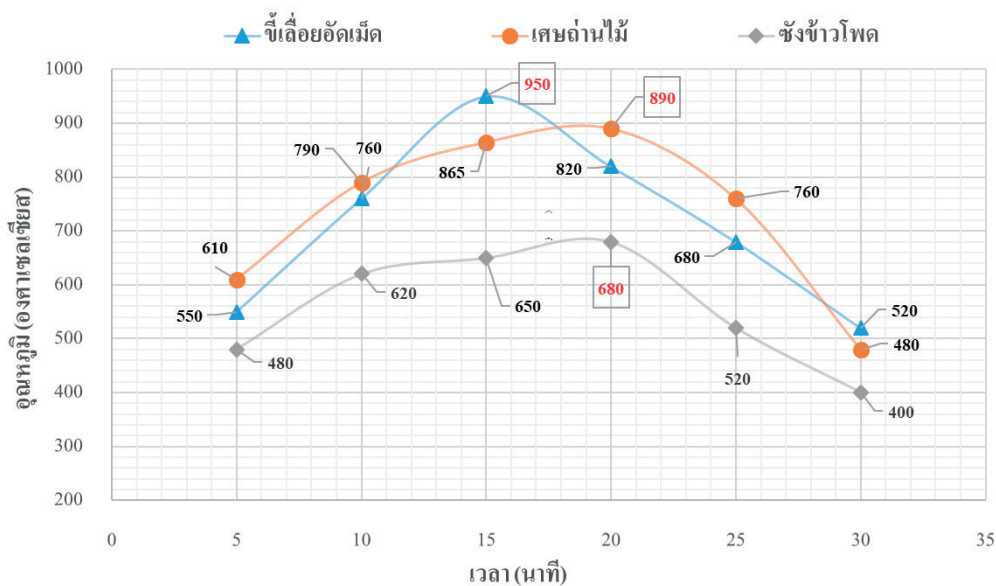
ภาพที่ 5 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 2 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 500 กรัมต่อชั่วโมง
โดยการทดลองใช้ระยะเวลาทั้งหมด 30 นาที จากภาพที่ 6 ช่วงเวลานาทีที่ 15 ทราบว่าอุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อย่างเม็ด
เป็น 935 องศาเซลเซียส และที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟของเศษถ่านไม้เป็น 855 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น
651 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าชี้อย่างเม็ดจากการเผาไหม้สามารถให้ค่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด



ภาพที่ 6 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 500 กรัมต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 3 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 700 กรัมต่อชั่วโมง จากภาพที่ 7 ช่วงเวลานาทีที่ 15 ทราบว่าอุณหภูมิที่เปลวไฟของซีเลื่อยอัดเม็ดเป็น 950 องศาเซลเซียส และที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟเสียด้านไม้เป็น 890 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 680 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าซีเลื่อยอัดเม็ดจากการเผาไหม้ยังให้ค่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด



ภาพที่ 7 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 700 กรัมต่อชั่วโมง

จากการทดลองการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเปลวไฟของชีวมวลทั้ง 3 ได้แก่ ซีเลื่อยอัดเม็ด เสียด้านไม้ และซังข้าวโพด ทราบว่าซีเลื่อยอัดเม็ดสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 910 935 และ 950 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองขั้นต้นพบว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งชีเอ็ลยัดเม็ดสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 910 935 และ 950 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่เศษถ่านไม้สามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 810 855 และ 890 องศาเซลเซียสตามลำดับ และขี้เถ้าสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 620 651 และ 680 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าชีเอ็ลยัดแท่งคุ้มค่าต่อการใช้งานด้านให้ความร้อนของเปลวไฟเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในระบบหัวเผา และเหมาะสมต่อการใช้เชื้อเพลิงในเชิงปริมาณเมื่อเทียบกับอัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง ที่ 910 องศาเซลเซียส และผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการอบแห้ง หรือ ระบบให้ความร้อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arteaga-Perez, L.E., Gomez-Capiro, O., Karelavic, A. and Jimenez, R. (2016). "A Modelling Approach to the Techno-Economics of Biomass-to-SNG/Methanol Systems: Standalone vs Integrated Topologies", **Chemical Engineering Journal**. 286, 663-678.
- [2] Haegel, M.T. and Arjhar, W. (2017). "The Effects of Cultivation Methods and Planting Season on Biomass Yield of Napier Grass (Pennisetum Purpureum Schumach.) under Rainfed Conditions in the Northeast Region of Thailand", **Field Crops Research**. 214, 359-364.
- [3] Proskurina, S., Heinimo, J., Schipfer, F. and Vakkilainen, E. (2017). "Biomass for Industrial Applications: The Role of Torrefaction", **Renewable Energy**. 111, 265-274.
- [4] Pattiya, A., Titiloye, J.O. and Bridgwater, A.V. (2008). "Fast Pyrolysis of Cassava Rhizome in the Presence of Catalysts", **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 81(1), 72-79.
- [5] Quispe, I., Navia, R. and Kahhat, R. (2017). "Energy Potential from Rice Husk Through Direct Combustion and Fast Pyrolysis: A Review", **Waste Management**. 59, 200-210.
- [6] Wang, Q., Chen, J., Han, K., Wang, J. and Lu, C. (2017). "Influence of BaCO₃ on Chlorine Fixation, Combustion Characteristics and KCl Conversion during Biomass Combustion", **Fuel**. 208, 82-90.
- [7] Telmo, C. and Lousada, J. (2011). "Heating Values of Wood Pellets from Different Species", **Biomass and Bioenergy**. 35(7), 2634-2639.
- [8] Maschei, M., Puig-Arnavat, M., Wadenback, J., Clausen, S., Jensen, P.A. and Ahrenfeldt, J. (2018). "Wood Pellet Milling Tests in a Suspension-Fired Power Plant", **Fuel Processing Technology**. 173, 89-102.
- [9] Uemura, Y., Sellappah, V., Trinh, T.H., Hassan, S. and Tanoue, K.I. (2017). "Torrefaction of Empty Fruit Bunches under Biomass Combustion Gas Atmosphere", **Bioresourc Technology**. 243, 107-117.

- [10] Li, S.X., Chen, C.Z., Li, M.F. and Xiao, X. (2016). "Torrefaction of Corn cob to Produce Charcoal under Nitrogen and Carbon Dioxide Atmospheres", **Bioresource Technology**. 249, 348-353.
- [11] Ravikumar, C., Senthil-Kumar, P., Subhashni, S.K., Tejaswini, P.V. and Varshini, V. (2017). "Microwave Assisted Fast Pyrolysis of Corn Cob, Corn Stover, Saw Dust and Rice Straw: Experimental Investigation on Bio-Oil Yield and High Heating Values.", **Sustainable Materials and Technologies**. 11, 19-27.
- [12] Lamberg, H., Sippula, O., Joutsensaari, J., Ihalainen, M., Tissari, J. and Lahde, A. (2018). "Analysis of High-Temperature Oxidation of Wood Combustion Particles using Tandem-DMA Technique", **Combustion and Flame**. 191, 76-85.
- [13] Moreno, A.I., Font, R. and Conesa, J.A. (2017). "Combustion of Furniture Wood Waste and Solid Wood: Kinetic Study and Evolution of Pollutants", **Fuel**. 192, 169-177.