

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล

ทรงกระบอก

Investigation on Combustion Characteristics and Thermal Efficiency of Cylindrical Biomass Stove

พรพิทักษ์ ถมปัต¹ กุลเชษฐ์ เพียรทอง^{1*} จริง ดินเชิดชู²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ตำบลเมืองศรีไค วารินชำราบ
อุบลราชธานี 34190

²ห้างหุ้นส่วนจำกัด พลังเทวดา อ. เมือง จ. นครพนม 48000

Pornpitak Tompat¹ Kulachate Pianthong^{1*} Jing Dincherdchu²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, 85
Sathonlamark Road, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190

²Dhewada Power Limited Partnership, Muang District, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author Email: Kulachate.P@ubu.ac.th

(Received: April 24, 2023; Revised: May 11, 2023 ; Accepted: May 23, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอกด้วยวิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Water boiling test) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ตัวแปรในการบรรจุเชื้อเพลิงของเตาชนิดนี้ ได้แก่ แรงดันในการอัด และความชื้นของชีวมวล โดยชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง คือ ชี้อ้อย อัดบรรจุในเตาชีวมวลทรงกระบอก ด้วยความดันในการอัดบรรจุ 40 bar 80 bar และ 120 bar และความชื้นของชี้อ้อย คือ 10% 15% 20% และ 25% จากการทดลองพบว่าพฤติกรรมการเผาไหม้เตาชีวมวลทรงกระบอกที่แรงดันในการอัด 40 bar 80 bar และ 120 bar ให้ระยะในการเผาไหม้ต่อเนื่อง 4 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อใช้ชี้อ้อย 15% และอัดที่ความดัน 40 bar จะให้อุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเผาไหม้ที่ 703 °C และที่ความชื้นของชี้อ้อย 15% ของทุกแรงดันในการอัดให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่สุด คือ 16.24% 14.38% และ 20.26% ตามลำดับ ที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทำงานของเตา

คำสำคัญ: เตาชีวมวลทรงกระบอก การทดสอบโดยการต้มน้ำ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล

ABSTRACT

This research aims to investigate combustion characteristics and thermal efficiency of the cylindrical biomass stove by the water boiling test method. This is to find out the optimum condition for further application. Major parameters, which are the compression pressure and the moisture content of the biomass, are varied on the preparation of the stove. The biomass in the experiment is sawdust and is compressed in a cylindrical stove at pressure of 40 bar, 80 bar, and 120 bar, while the moisture

content of the sawdust are 10%, 15%, 20% and 25%. From the investigation, it is shown that the stove with compression pressures of 40 bar, 80 bar and 120 bar can operate continuously for 4 hours, 6 hours and 7 hours, respectively. The 15% moisture and 40 bar compression gives the highest flame temperature of 703 °C. While the 15% sawdust moisture of all compression pressures gives the highest thermal efficiency at 16.24%, 14.38 and 20.26% at the 2nd hour of the operation of the stove.

Keyword: Biomass stove, Water boiling test, Thermal efficiency of biomass stove.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในชนบทจะมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด ชี้อย และเปลือกกล้วย เป็นต้น จากการศึกษาศักยภาพเชิงปริมาณแล้ว สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้มาใช้เป็นพลังงานได้ไม่น้อยกว่า 62 ล้านตัน/ปี [1] จากต้นทุนของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้จึงเป็นที่น่าสนใจและพัฒนานำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนในครัวเรือน และในกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กได้เนื่องจากมีค่าความร้อนค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 12-16 MJ/kg สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวลหรือ เชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำชีวมวล (Biomass boiler) หรือ ใช้ในการผลิตก๊าซชีวมวล (Producer gas) ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การนำชีวมวลข้างต้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงยังมีข้อด้อยอยู่หลายประการ เช่น ความสม่ำเสมอของคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล การจัดการและการขนส่ง และราคาที่ไม่แน่นอน เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงและรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อเกิดประโยชน์สูงสุด

โดยในปี พ.ศ. 2553 สุพิน จอดนอก [2] ได้ศึกษาขบวนการเผาไหม้และสมรรถนะของเตาชีวมวลทรงกระบอก เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ และทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลทรงกระบอก ที่มีการเผยแพร่ใช้งานในนาม “เตาเทวดา” ชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ 3 ชนิด คือ แกลบ ชี้อย ชานอ้อย อัตราบรรจุในเตาทรงกระบอก

จากการทดสอบเตาเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้และหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดและพบว่าเตาชีวมวลนี้ ให้การเผาไหม้แบบเตาชีวมวลโดยตรง ร่วมกับการเผาไหม้ของก๊าซโปรดิวเซอร์ โดยทั่วไปการเผาไหม้ของเตาชีวมวลนี้ให้การเผาไหม้ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และมลพิษต่ำ และผลการวิเคราะห์มลพิษจากการเผาไหม้ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และต่ำกว่าการเผาไหม้ชีวมวลโดยทั่วไป

ธนศ ไชยชนะ และคณะ (พ.ศ. 2556) [3] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มระดับครัวเรือนที่ใช้ในพื้นที่ชนบทจำนวนเตา 6 ชนิด การศึกษาในครั้งนี้ทดสอบโดยวิธีการต้มน้ำ บรรจุน้ำในหม้อต้ม 0.72 กิโลกรัม โดยใช้ถ่านไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบพบว่าเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 30.54% รองลงมาคือเตาดำขนาดกลาง เตาอั้งโล่ธรรมดา เตาปากยื่น เตาดำขนาดเล็ก และเตาอั้งโล่ธรรมดาขนาดเล็ก ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 24.29% 21.70% 19.80% 18.46% และ 16.66% ตามลำดับ และเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงมีค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.86 องศาต่ออนาที ส่วนเตาอั้งโล่ธรรมดาขนาดเล็ก เป็นเตาที่มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.32 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

วิลาวัลย์ คุ่มเหม และคณะ (พ.ศ. 2560) [4] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิดป้อนเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องระดับครัวเรือน ซึ่งเตาเผาชีวมวลที่ออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบไปด้วย ส่วนป้อน

เชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ และส่วนที่ใช้สำหรับ กักเก็บไถ่เตาที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นเตา ทรงกระบอกขนาดความสูง 80 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร เชื้อมวลที่ใช้ในการทดสอบ คือ ชิงช้าไฟโตะ การป้อนเชื้อเพลิงเป็นการป้อนแบบสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยใช้สกรูลำเลียง ใช้พัดลมในการเติมอากาศบริเวณห้อง เผาไหม้ และมีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดย Inverter การเผาไหม้เชื้อมวลในเตาเชื้อมวลเป็นการเผาไหม้ โดยตรง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง มีผลต่ออัตราความสิ้นเปลืองพลังงาน เชื้อเพลิง อุณหภูมิ น้ำ ร้อน อุณหภูมิเตา ระยะเวลาให้ความร้อน และประสิทธิภาพ เจริญความร้อนของเตา ซึ่งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 3.95 เตาเชื้อมวลมีความเหมาะสมในการใช้งานและให้ ประสิทธิภาพเจริญความร้อนสูงสุด 20%

เตาเชื้อมวลทรงกระบอก หรือ “เตาเทวดา” ถูกใช้อย่าง แพร่หลายในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เนื่องจากการลดต้นทุนในการผลิตและยังสามารถนำ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้ในงาน อุตสาหกรรมอีก ดังแสดงในรูปที่ 1 และส่วนใหญ่อุตสาหกรรม ที่ใช้เตาเชื้อมวลทรงกระบอกจะใช้ ชิงช้าไฟโตะ เป็นเชื้อเพลิง ซึ่ง งานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่ได้อธิบายถึงความเหมาะสมของ ความชื้นของ ชิงช้าไฟโตะที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง



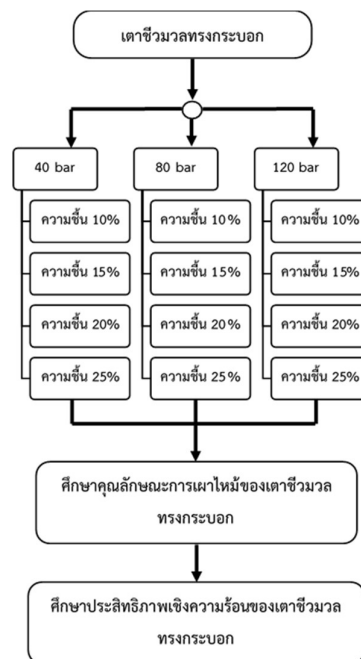
รูปที่ 1 เตาเชื้อมวลทรงกระบอก

ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษ าคูณการเผาไหม้เตาเชื้อมวลทรงกระบอก [5] และ ประสิทธิภาพเจริญความร้อนของเตาเชื้อมวลทรงกระบอกด้วย วิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Water boiling test) [6-10] ชีว

มวลที่ใช้ในการศึกษาคือชิงช้าไฟโตะที่มีความชื้น 10% 15% 20% และ 25% อัตราบรรจุเตาเชื้อมวลทรงกระบอกที่ความดันใน การบรรจุ 40 bar 80 bar และ 120 bar

2. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ และ ประสิทธิภาพเจริญความร้อนเตาเชื้อมวลทรงกระบอก ที่อัตรา บรรจุชิงช้าไฟโตะความชื้นในการอัดบรรจุ 40 bar 80 bar และ 120 bar และความชื้นของชิงช้าไฟโตะ คือ 10% 15% 20% และ 25% มีขั้นตอนในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังขั้นตอนการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือและอุปกรณ์หาประสิทธิภาพของเตาเชื้อมวล ทรงกระบอกประกอบด้วย

1) เตาเชื้อมวลทรงกระบอก มีโครงสร้างทำจากเหล็ก แผ่นบาง 1 มิลลิเมตร ม้วนขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร สูง 55 เซนติเมตร ทางเข้า อากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร ทางออกของ เปลวไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเตาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยรักษา สภาพของชีวมวลในเตาชีวมวลทรงกระบอกไม่ให้พังทลาย ขณะเผาไหม้และช่วยรักษารูปแบบการเผาไหม้ให้คงที่ ประกอบด้วย แผ่นเกือกม้า ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหาย บริเวณด้านล่างของเตา แผ่นคาคเตา ทำหน้าที่กั้นไม่ให้ เชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้ตกลงมา และฝาครอบด้านบนเตา ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยออกของแก๊สที่เกิดจาก กระบวนการเผาไหม้โดยบังคับให้แก๊สไหลออกตรงกลาง เพียงช่องทางเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3

2) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เลือกใช้ Type K ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาว โพรบ 17.5 มิลลิเมตร 6.3 มิลลิเมตร และ 2.5 มิลลิเมตร ย่านการวัดอุณหภูมิสูงสุด 1200 °C ซึ่งจะประกอบด้วย สายขั้วบวกและขั้วลบ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิเปลวไฟ อุณหภูมิภายในเตา และอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำข้อมูลไป วิเคราะห์พฤติกรรมของการเผาไหม้ และคำนวณหา ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

3) อุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูล (Data logger) ใช้ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิ ณ เวลาใด ๆ รุ่น Graphtec midi LOGGER GL 800 สามารถต่อโพรบเพื่อวัดอุณหภูมิ ได้ 20 ช่อง

4) อุปกรณ์วัดค่าน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 100 kg ใช้สำหรับเก็บค่าน้ำหนักที่ลดลงของเตาชีวมวล ทรงกระบอกขณะทำการทดลอง โดยจะทำการบันทึก น้ำหนักที่ลดลงทุกชั่วโมง เพื่อหาอัตราการใช้ชีวมวล ซึ่งจะ ประกอบอุปกรณ์วัดค่าน้ำหนัก (Load cell) เข้ากับ ฐานรองเตาและเข้ากับ data logger เพื่อเก็บข้อมูล

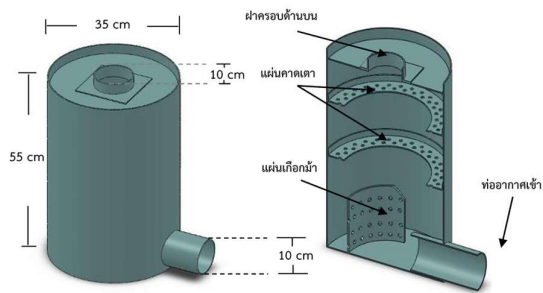
5) เครื่องวัดความชื้น Moisture meter TK 100W ช่วงการวัดความชื้น 0 ถึง 80% ความถูกต้องแม่นยำ $\pm 0.5\%$ ความละเอียด 0.1 ใช้สำหรับวัดความชื้นของชี้อยู่

6) หม้อออลูมิเนียม ขนาดหม้อออลูมิเนียมเบอร์ 28 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร)

7) เครื่องชั่งน้ำหนักใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของน้ำ ก่อนทำการทดลอง และหลังทำการทดลอง เพื่อคำนวณหา

ปริมาณน้ำที่หายไป โดยเครื่องชั่งน้ำหนักจะเป็นเครื่องชั่ง แบบสปริง ขนาด 15 kg

8) ชี้อยู่ที่ใช้ในการทดสอบเป็นชี้อยู่จากโรงงาน ทำบ้านน็อคดาวน์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้เนื้อแข็ง ชี้อยู่มี ลักษณะเป็นผง มีรูปร่างไม่แน่นอน



รูปที่ 3 ขนาดเตาชีวมวลทรงกระบอกและโครงสร้างด้าน ในเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเตาชีวมวลทรงกระบอก คือชี้อยู่ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ สำหรับทำบ้านน็อคดาวน์ มี ลักษณะเป็นผง ค่อนข้างหยาบ ดังแสดงในรูปที่ 4 คุณสมบัติ ของชี้อยู่ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแฮทราตุ (Ultimate analysis) มีค่าความร้อน 17,518 kJ/kg ปริมาณไนโตรเจน 0.31 g/100g ปริมาณคาร์บอน 41.78 g/100g ปริมาณ ไฮโดรเจน 5.69 g/100g และความชื้น 11.40% ดังแสดงใน ตารางที่ 1



รูปที่ 4 ชี้อยู่ที่ใช้ในการทดสอบเตาชีวมวลทรงกระบอก

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของซีลี้อยู่จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	วิธีการทดสอบ
พลังงานความร้อน	17,518	kJ/kg	เครื่องมือทดสอบ Bomb calorimeter
ปริมาณไนโตรเจน	0.31	g/100g	Application note No.203-821-462 according to LECO method. เครื่องมือทดสอบ : CHNS analyzer ยี่ห้อ LECO รุ่น CHNS628
ปริมาณคาร์บอน	41.78	g/100g	
ปริมาณไฮโดรเจน	5.69	g/100g	
ความชื้น	11.40	%	ASTM D 2016-74 (Reapproved 1983) Standard Testing Method for Moisture Content of Wood

2.2 ขั้นตอนการอัดและจุดเตาชีวมวลทรงกระบอก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุเตาประกอบไปด้วย เครื่องอัดไฮดรอลิก ดังรูปที่ 5 ท่อแนวตั้งสำหรับทำแบบปล่องอากาศทางออกแกนกลางเตา ท่อแนวนอนสำหรับทำแบบปล่องอากาศทางเข้าปากเตา เมื่อเตรียมความชื้นของซีลี้อยู่และเตรียมอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการบรรจุซีลี้อยู่ โดยเริ่มจากนำตัวเตมาวางที่ด้านล่างของแท่นอัด ไฮดรอลิก ดังรูปที่ 6 วางเกือกม้าที่ตำแหน่งกลางเตา วางท่อแนวนอนเข้าทางปากเตาและท่อแนวตั้งสำหรับทำปล่องอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางเตา จากบรรจุซีลี้อยู่ลงไปในเตาแล้วอัดให้ได้ความดันในการอัดตามขอบเขตของงานวิจัย โดยให้ระดับของซีลี้อยู่ที่อัดแล้วอยู่ที่ประมาณ 1/3 ของเตา ในขั้นตอนนี้ควรระวังไม่ให้กระบอกอัดไฮดรอลิกชนกับแผ่นเกือกม้าของเตา เมื่ออัดจนซีลี้อยู่ได้ระดับที่ 1/3 ของเตาแล้ว ให้วางแผ่นคาคเตาแผ่นแรกไว้ที่ระดับนี้ จากนั้นอัดซีลี้อยู่จนได้ระดับที่ 2/3 ของเตา แล้ววางแผ่นคาคเตาแผ่นที่สองไว้ที่ระดับนี้ จากนั้นอัดซีลี้อยู่จนเกือบเต็ม ให้ระดับของซีลี้อยู่อยู่ที่ 1 นิ้วก่อนถึงขอบเตาด้านบน วางฝาครอบด้านบนเตา 2 ชิ้นลงไป โดยให้วางแผ่นฝาครอบกลมลงมาก่อน จากนั้นวางปล่องไฟตามไป สุดท้ายนำถ้ำกลบผสมดินและน้ำหมาด ๆ ใส่ที่ด้านบนให้ถึงระดับขอบเตา และอัดด้วยไฮดรอลิกสให้แน่น จะได้เตาชีวมวลทรงกระบอก

การจุดเตาชีวมวลทรงกระบอกทำได้โดยง่าย เพียงแค่นำเชื้อไฟ เช่นกระดาษ, ไม้ หรือวัสดุติดไฟอื่น วางไว้ที่ปากเตา เปลวไฟจะวิ่งไปตามรูอากาศภายในเตา ชีวมวล

ภายในเตาจะเริ่มติดไฟ โดยไม่ต้องมีการใช้แรงภายนอกเข้าช่วย ข้อควรระวังคือ ควรเช็ยซีลี้อยู่ที่ร่วงลงมาออกก่อน จะทำให้จุดติดได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 5 เครื่องอัดไฮดรอลิก



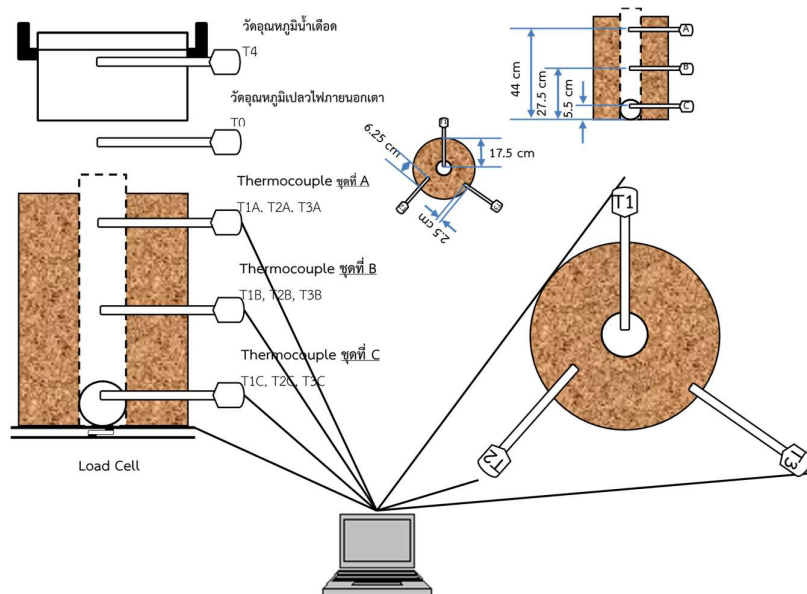
รูปที่ 6 การอัดเตาชีวมวลทรงกระบอก

2.3 ขั้นตอนการศึกษา

เตรียมเตาชีวมวลสำหรับการทดลองโดยจะอัดเตาชีวมวลที่ความชื้นของซีลี้อยู่ 10%, 15%, 20% และ 25%

อัดบรรจุลงในเตาซีมวลทรงกระบอกความดัน 40 bar 80 bar และ 120 bar ในแต่ละความดัน การทดลองการหาพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาซีมวลทรงกระบอก และหาประสิทธิภาพของเตาซีมวลทรงกระบอก จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งในรูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในเตา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชุด ชุดละ 3 ตัว (ชุด A, ชุด B, และ

ชุด C) รวมเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ทั้งหมด 9 ตัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดอุณหภูมิในแต่ละระดับความสูงภายในเตา โดยมีการวัดอุณหภูมิเปลวไฟภายในเตา (T1A, T1B และ T1C) และเพื่อวัดอุณหภูมิในชั้นของเชื้อเพลิงที่ระยะความลึกต่าง ๆ จากกลางเตาถึงขอบเตาที่เวลาต่าง ๆ (T2A, T2B, T2C, T3A, T3B และ T3C) ซึ่งค่าที่วัดได้จะสามารถนำไปวิเคราะห์หาพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในเตา



รูปที่ 7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิในเตาซีมวลทรงกระบอก

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่นิยมใช้และเป็นมาตรฐานคือ วิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Water Boiling Test) ซึ่งประยุกต์ใช้ตามมาตรฐานอ้างอิง DIN EN 203-2 ในการทดสอบ โดยการทดลองได้เตรียมน้ำใส่หม้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 cm บรรจุน้ำ 7.8 kg แล้วบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น นอกจากนั้นยังมีการวัดอุณหภูมิเปลวไฟภายนอกเตา (T0) และอุณหภูมิน้ำเดือด (T2) จากนั้นเริ่มจุดเตาบันทึกผล อุณหภูมิจุดต่าง ๆ ภายในเตาทุก 30 นาที โดยใช้ Data logger บันทึกผลปริมาณเชื้อเพลิงที่หายไปทุก 1 ชั่วโมง บันทึกอุณหภูมิน้ำเดือด และบันทึกปริมาณน้ำที่หายไปทุก 1 ชั่วโมง เพื่อไปคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซีมวล ด้วยวิธีการ

ทดสอบมาตรฐานแบบวิธีการต้มเดือดของน้ำ (Water boiling test, WBT) ดังสมการ (1) [5]

$$\eta_{th} = \frac{(MC_p(T_2 - T_1) + (M_1)L) \times 100}{M_f H} \quad (1)$$

เมื่อ η_{th} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, %

M, M_1 = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ทดสอบและน้ำหนักน้ำที่หายไป, kg

C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, 4.184 kJ/kg.K

M_f = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่หายไป, kg

T_1 = อุณหภูมิก่อนการทดลอง, °C

T_2 = อุณหภูมิน้ำเดือด, °C

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ,
2676.1 kJ/kg

H = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง, kJ/kg

เมื่อเริ่มชั่วโมงที่ 2 ก็นำหม้อใส่ น้ำอุณหภูมิปกติใส่ หม้อใบใหม่ (Cold start) ขนาดหม้อและปริมาณน้ำที่ใส่ เข้าไปในหม้อเท่ากับชั่วโมงเริ่มต้น แล้วบันทึกข้อมูล เพื่อไปคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนชั่วโมงที่ 2 การ ทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยวิธีการ Water boiling test ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การติดตั้งเครื่องมือทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยวิธีการ Water boiling test

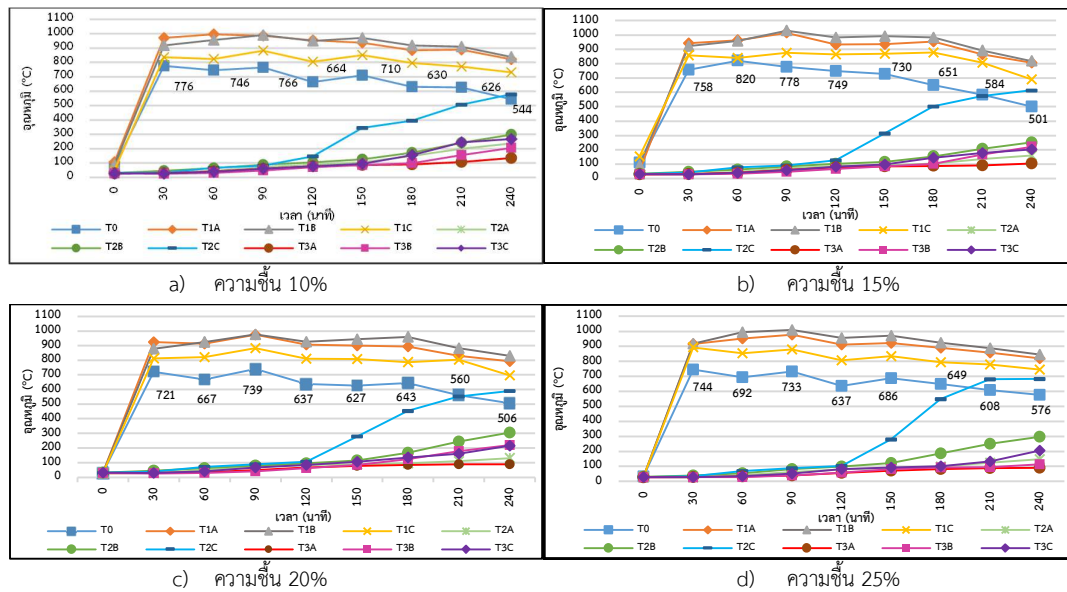
3. ผลการศึกษา

3.1 พฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอก

พฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอก เป็น การศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของชีวมวล (ขี้เลื่อย) ในเตา ชีวมวลทรงกระบอก โดยการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ของเตา ชีวมวลทรงกระบอก ในขณะที่เริ่มจุดเตา จนกระทั่งดับเตา ซึ่ง อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ที่บันทึกได้จะบ่งบอกถึงพฤติกรรมการ เผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอก เมื่อนำข้อมูลที่บันทึก ได้มาทำเป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่จุด ต่าง ๆ กับเวลา จากการทดลองพบว่าพฤติกรรมการเผาไหม้ ของเตาชีวมวลทรงกระบอกที่แรงดันในการอัดเตา 40 bar 80 bar และ 120 bar ทุกความดันจะมีลักษณะของกราฟ

พฤติกรรมการเผาไหม้คล้ายคลึงกันคือ เมื่อเริ่มจุดเตา บริเวณปล่องอากาศเข้าด้านล่างของเตา เปลวไฟจะวิ่งเข้าไป ตามช่องทางเดินอากาศภายในเตา ตามกระแสของอากาศทำให้ ขี้เลื่อยในเตาเกิดการติดไฟ การเผาไหม้ในช่วงแรกจะ เกิดขึ้นบริเวณผิวแกนกลางของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นลักษณะการ เผาไหม้แบบตรง (Direct combustion) ทำให้บริเวณ อุณหภูมิ T1A T1B และ T1C มีอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิที่สูง ที่สุดจะเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางเตา (T1B) มีอุณหภูมิ 1000- 1200°C ส่วนอุณหภูมิของขี้เลื่อยบริเวณกึ่งกลางและขอบ เตา (T2A, T2B, T2C, T1A, T1B และ T1C) เมื่อเริ่มจุดเตา อุณหภูมิบริเวณนี้จะมียังไม่สูงมากประมาณ 25-100°C ใน บริเวณโซนนี้อุณหภูมิไม่สูงแต่ความชื้นในขี้เลื่อยจะลดลง เนื่องจากถูกความร้อนจากโซนการเผาไหม้ทำให้ระเหย ออกมาในรูปของไอน้ำในช่วงแรกของการจุดเตาโซนนี้จะ เป็นโซนการอบแห้ง (Drying Zone) เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลองโซนการเผาไหม้ของขี้เลื่อยจะค่อย ๆ ขยับไป บริเวณกึ่งกลางของขี้เลื่อยเป็นแนวรัศมี โดยสังเกตได้จาก อุณหภูมิ T2A, T2B และ T2C จะเพิ่มขึ้นโดยการเผาไหม้ใน โซนนี้จะเริ่มเผาไหม้บริเวณปล่องทางเข้าของอากาศ (ด้านล่างเตา) ขึ้นไปข้างบนสังเกตจากอุณหภูมิ T2C มากกว่า T2A และ T2B จากรูปที่ 9-11 ที่อุณหภูมิ T2C เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากบริเวณด้านล่างเตาเป็น บริเวณปล่องทางเข้าของอากาศจึงทำให้บริเวณด้านล่างเตา เกิดเป็นโซนการเผาไหม้ทำให้มีอุณหภูมิบริเวณนี้สูง เมื่อเข้า สู่ชั่วโมงที่ 3 ของการทดลองจนกระทั่งเตาดับ โซนการเผา ไหม้จะขยับมาบริเวณขอบเตา (T3A, T3B และ T3C) ซึ่งการ เผาไหม้ของขี้เลื่อยในโซนนี้จะเผาไหม้บริเวณปล่องทางเข้า ของอากาศ (ด้านล่างเตา) ขึ้นไปด้านบนสังเกตจากอุณหภูมิ T3C มากกว่า T3A และ T3B จนกระทั่งบริเวณปล่องไฟ ด้านบนของเตาไม่มีเปลวไฟออกมานั้นคือเตาเริ่มดับ

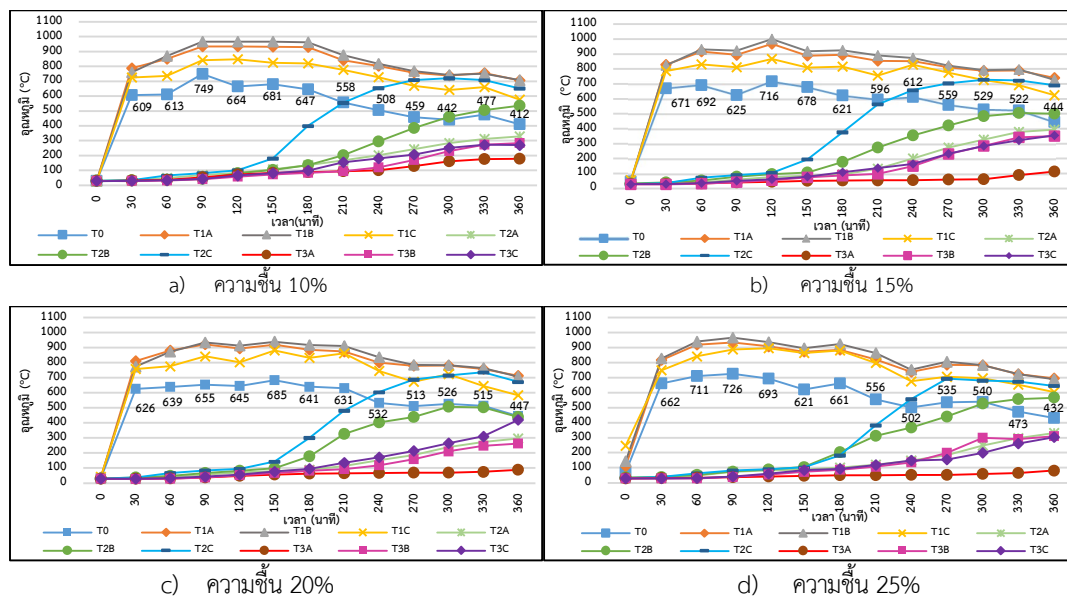
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาใน แต่ละความดันที่แรงดันในการอัดเตา 40 bar จากการทดลอง พบว่ามีระยะเวลาในการเผาไหม้ 4 ชั่วโมง และจากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ย T0 ที่ความชื้น 10% 15% 20% และ 25% เท่ากับ 615°C 703°C 661°C และ 662°C



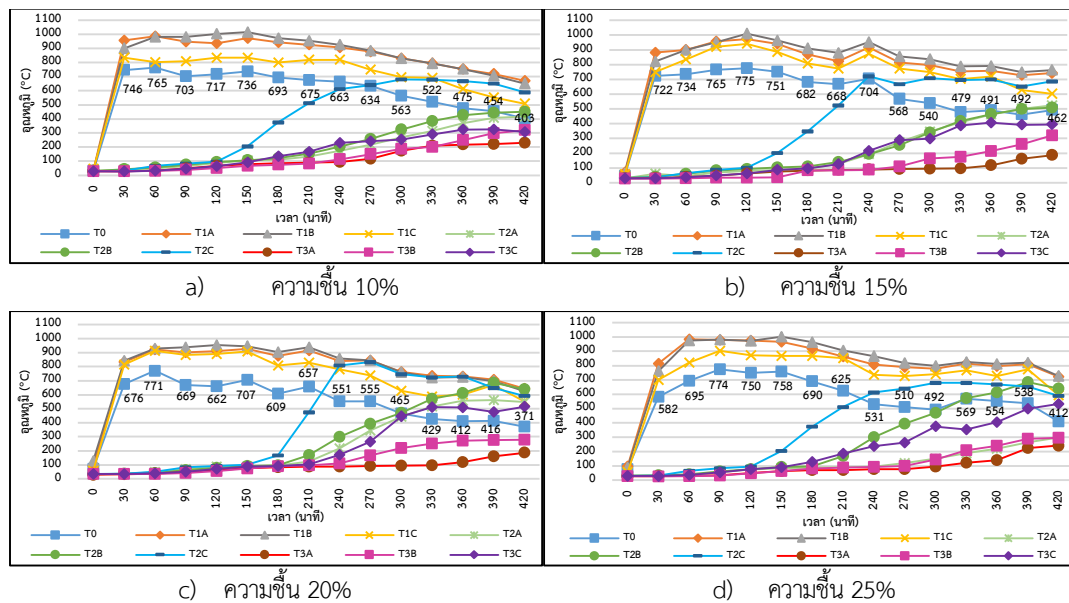
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แรงดันการอัด 40 bar

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในแต่ละความชื้นที่แรงดันในการอัดเตา 80 bar จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเผาไหม้ 6 ชั่วโมง และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ย T0 ที่ความชื้น 10% 15% 20% และ 25% เท่ากับ 570°C 620°C 585°C และ 596°C

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในแต่ละความชื้นที่แรงดันในการอัดเตา 120 bar จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเผาไหม้ 7 ชั่วโมง และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ย T0 ที่ความชื้น 10% 15% 20% และ 25% เท่ากับ 605°C 606°C 588°C และ 597°C



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แรงดันการอัด 80 bar

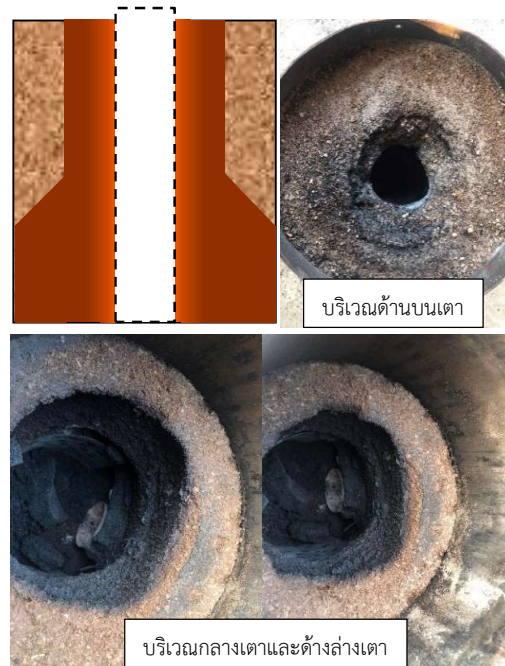


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แรงดันการอัด 120 bar

เมื่อเตาชีวมวลทรงกระบอกดับ ไม่มีเปลวไฟออก บริเวณปล่องไฟด้านบน จึงได้ปิดทางเข้าของอากาศบริเวณ ด้านล่างเตาและปล่องอากาศบริเวณด้านบนเตาให้สนิท เพื่อให้เตาดับสนิทเพื่อทำการวิเคราะห์การเผาไหม้ของ ชีเลื้อยในเตา พบว่ารูปทรงของชีเลื้อยที่เผาไหม้แล้วภายในเตา จะยังคงสภาพเดิมไม่พังทลาย มีลักษณะเป็นถ้ำดำ และยังมีชี เลื้อยบางส่วนที่ยังไม่ได้ถูกทำการเผาไหม้ (Unburn Biomass) ซึ่งเหลือประมาณ 10% ของชีเลื้อยทั้งหมด ดังรูปที่ 12

3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล ทรงกระบอก

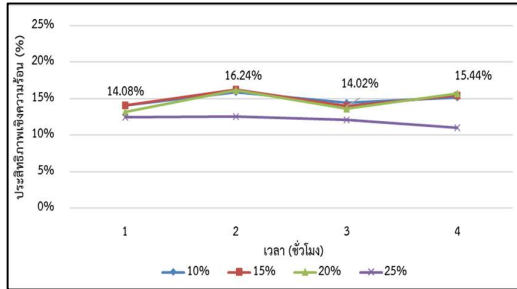
รูปที่ 13 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแต่ละ ความชื้นของชีเลื้อยเทียบกับในแต่ละชั่วโมง ที่แรงดัน 40 bar พบว่าที่ ความชื้นของชี เลื้อย 15% จะมีค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด โดยมีค่าร้อยละ 16.24 ที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่ความชื้น 15% เท่ากับร้อยละ 14.95 ที่ ความชื้นของชีเลื้อย 25% จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด



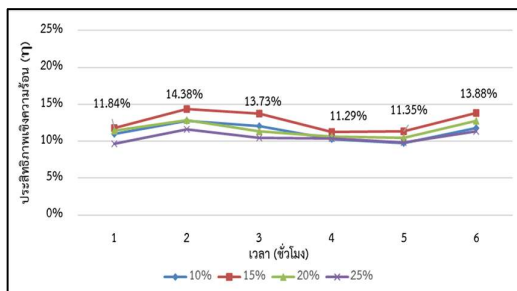
รูปที่ 12 แสดงชีเลื้อยในแต่ละจุดหลังจากเผาไหม้แล้ว

รูปที่ 14 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแต่ละ ความชื้นของชีเลื้อยเทียบกับในแต่ละชั่วโมง ที่แรงดัน 80 bar พบว่าที่ ความชื้นของชี เลื้อย 15% จะให้ค่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด โดยมีค่าร้อยละ 14.38 ที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่ความชื้น 15% เท่ากับร้อยละ 12.74 ที่ความชื้นของชี้เลี้ยง 25% จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด



รูปที่ 13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แรงดันการอัด
40 bar

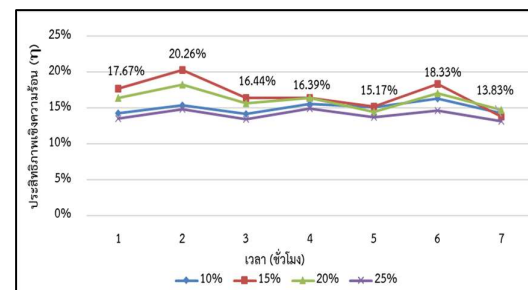


รูปที่ 14 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แรงดันการอัด
80 bar

รูปที่ 15 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแต่ละความชื้นของชี้เลี้ยงเทียบกับในแต่ละชั่วโมง ที่แรงดัน 120 bar พบว่าที่ความชื้นของชี้เลี้ยง 15% จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด โดยมีค่าร้อยละ 20.26 ที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่ความชื้น 15% เท่ากับร้อยละ 16.87 ที่ความชื้นของชี้เลี้ยง 25% จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด

จากรูปที่ 13-15 ความชื้นของชี้เลี้ยงส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอก โดยที่ความชื้นของชี้เลี้ยง 15% มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

รองลงมาคือ ความชื้น 20% ความชื้น 10% และความชื้น 25% ตามลำดับ ดังนั้นความชื้นของชี้เลี้ยงที่เหมาะสมกับเตาชีวมวลทรงกระบอกนี้จะอยู่ในช่วง 15%-20% ซึ่งถ้ามีความชื้นมากกว่า 25% คาดว่าการเผาไหม้อาจจะสูญเสียความร้อนให้กับการระเหยน้ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ และถ้าความชื้นของชี้เลี้ยงต่ำกว่า 10% ส่วนใหญ่จะเป็นการเผาตรง (Direct combustion) ซึ่งชี้เลี้ยงที่มีความชื้นต่ำกว่า 10% อาจจะไม่เหมาะสมต่อกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification process) ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ



รูปที่ 15 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แรงดันการอัด
120 bar

อนึ่ง การทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอกด้วยวิธีการ Water boiling test ในครั้งนี้ อาจมีความคลาดเคลื่อนและทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าที่ควรจะเป็นในทางทฤษฎี ซึ่งในทางทฤษฎี ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอกที่ทดลองด้วยวิธีการ Water boiling test ในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 35% [2] แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงหรือสภาวะทั่วไปในบรรยากาศเปิด ไม่ได้ควบคุมความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้คงที่ เนื่องจากสภาพแวดล้อม เช่น ความแรงลม ทิศทางลม อาจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม ในทุกการทดลองได้ดำเนินการในสภาวะที่ใกล้เคียง ผลการทดลองจึงเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอก การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอกทุกแรงดันในการอัดและทุกความชื้นจะมีพฤติกรรมในการเผาไหม้คล้ายคลึงกัน คือ เมื่อเริ่มจุดเตาการเผาไหม้จะเริ่มบริเวณแกนกลางปล่องอากาศอุณหภูมิสูงที่สุดจะเกิดขึ้นบริเวณปล่องอากาศกึ่งกลางเตา อุณหภูมิ 1000 -1200 °C ชั่วโมงที่ 2 การเผาไหม้จะขยับเข้าไปในภายในชี้เลื่อยเป็นแนวรัศมี โดยการสันดาปจะเริ่มจากบริเวณด้านล่างของเตา และชั่วโมงที่ 3 จนกระทั่งเตาดับ โชนการเผาไหม้จะขยับมาบริเวณขอบเตา ซึ่งการเผาไหม้ของเตานั้นจะเผาไหม้บริเวณปล่องทางเข้าของอากาศ (ด้านล่างเตา) เท่านั้น ลักษณะการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอกจะคล้ายรูปประฆังคว่ำ

2. แรงดันในการอัดชี้เลื่อยในเตาชีวมวลทรงกระบอกจะแปรผันตามระยะเวลาในการเผาไหม้ ยังมีแรงดันในการอัดมากยิ่งทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ต่อเนื่องนาน ที่แรงดันในการอัด 40 bar 80 bar และ 120 bar มีระยะเวลาในการเผาไหม้ต่อเนื่องที่ 4 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมง

3. อุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ยสูงที่สุดที่ความชื้นของชี้เลื่อย 15% โดยพบว่าแรงดันในการอัด 40 bar อุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 703°C แรงดันในการอัด 80 bar อุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 620°C และแรงดันในการอัด 120 bar อุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 606°C

4. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาชีวมวลทรงกระบอกที่ความชื้นของชี้เลื่อย 15% จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง โดยที่แรงดัน 40 bar มีค่าร้อยละ 16.24 แรงดัน 80 bar มีค่าร้อยละ 14.38 และแรงดัน 120 bar มีค่าร้อยละ 20.26

5. แรงดันในการอัดแปรผันตรงต่อระยะเวลาการเผาไหม้ของเตาชีวมวลทรงกระบอก ยังมีแรงดันในการอัดมาก ระยะเวลาการเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้น และความชื้นของชี้เลื่อยมีผลต่ออุณหภูมิของเปลวไฟ เนื่องจากการเผาไหม้

ในเตาชีวมวลทรงกระบอกมีทั้งการเผาไหม้แบบตรง (Direct combustion) และเกิดการเผาไหม้ก๊าซผลิตภัณฑ์ (Gasification process) ซึ่งความชื้นของชี้เลื่อยที่เหมาะสมและทำให้มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 15%

สรุปว่า เงื่อนไขที่ดีที่สุดในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในการใช้เตาชีวมวลทรงกระบอก คือ ควรใช้ชี้เลื่อยที่มีความชื้น 15% อัดที่ 120 bar ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอกสูงสุดและมีระยะเวลาในการไหม้ต่อเนื่องนาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. Biomass Potential in Thailand [online] . Available: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=486
- [2] S. Jodnok, "Operating Characteristics Validation of a Novel Cylindrical Compression Biomass Stove", in *6TH CONFERENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND (E-NETT)*, Bangkok, 2010.
- [3] T. Chaichana, "The Study of Thermal Efficiency of Household Cooking Stove", *Science and Technology Journal Mahasarakham University*, vol. 32, pp. 626-630, 2013.
- [4] W. Khumhem, " The Study of Thermal Efficiency of biomass stove under continuous fuelfeeding" , in *13TH CONFERENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND (E-NETT)*, Chiangmai, 2017, pp. 251-256.
- [5] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. Development and transfer of production technology and utilization of cylindrical biomass stoves [online] . Available: <http://e-lib.dede.go.th/mmd-data/Bib13842-รายงานฉบับสมบูรณ์.pdf>

- [6] T. Jain and P. N. Sheth, “Design of energy utilization test for a biomass cook stove : Formulation of an optimum air flow recipe,” *Energy*, vol. 166, no. 1 pp. 1097-1105, 2019
- [7] A. Hosungnoen and Y. Thanwongsa, “ Rice husk Cooking Stove for Household”, in *The National Graduate Research Conference* , Khon Kaen, 2011, pp. 574-578
- [8] F. Khlaayacchng, T. Chorchong and P. Maneechot, “ The performance test of a small biomass gas stove using centrifugal blower for combustion”, in *7th Thailand Renewable Energy for Community Coference*, Nakhon Pathom, 2014, pp. 171-176.
- [9] P. Khaonuan, S. Prasongchan and S. Bordeepong “Performance development of household biomass TLUD cookstove”, *UTK research journal*, vol.14, no.1, pp. 52-62, 2020.
- [10] S. Kaewluan, D. Junthosi , S. Jansri and W. Piyarat “Performance testing of the 20 kW Biomass Gas Stove”, *SWU Engineering Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 24-33, 2013