

คุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเตาชีวมวลทรงกระบอก

Combustion characteristic and Performance of Cylindrical Biomass Stove

สุพิน จอดนอก¹ กุลเชษฐ์ เพียรทอง และจรัส ดินเขตชู

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

* Email: yongart@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบ สร้าง และ ทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลทรงกระบอก ที่มีการเผยแพร่ใช้งานในนาม “เตาเทวดา” โดยเตาที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความสูง 55 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 35 ซม. ทางอากาศเข้า และ ออก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ 3 ชนิด คือ แกลบ ชี้อ้อย ชานอ้อยอัดบรรจุ ในเตาทรงกระบอกด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ความดัน 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากการทดสอบเตาเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้และหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และ พบว่าเตาชีวมวลนี้ ให้การเผาไหม้แบบเผาชีวมวลโดยตรง ร่วมกับการเผาไหม้ของก๊าซโปรดิวเซอร์ ที่เกิดจากขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification process) ในขณะนั้น จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซโปรดิวเซอร์ พบว่าเกิดก๊าซโปรดิวเซอร์ H_2 , CH_4 และ CO ในปริมาณที่สูงกว่าเตาผลิตก๊าซชีวมวล (gasifier) ทั่วไป คือ เกิด H_2 2.3221, CH_4 13.2776, CO 27.324 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยเฉลี่ย เตาชีวมวลที่ให้ปริมาณก๊าซมากที่สุดคือชีวมวลแกลบที่บรรจุอัดด้วยแรงดัน 120 psi มีปริมาณก๊าซโปรดิวเซอร์ มากที่สุด ซึ่งจะได้ค่าความร้อนของก๊าซ 4.2848 MJ/m³ โดยทั่วไปการเผาไหม้ของเตาชีวมวลนี้ ให้การเผาไหม้ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และ มลพิษต่ำ และ ผลการวิเคราะห์มลพิษจากการเผาไหม้ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และ ต่ำกว่าการเผาไหม้ชีวมวลโดยทั่วไป

คำสำคัญ: เตาชีวมวล การเผาไหม้ของเตาชีวมวล ก๊าซโปรดิวเซอร์ กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

Abstract

This research paper presents the design and testing of the combustion performances of a cylindrical biomass stove widely known as “Dhevada Stove.” The stove used in this study was 55 cm in height and 35 cm in diameter. The air inlet and outlet ports were 10 cm in diameter. Three types of biomass, rice husk, sawdust, and sugarcane residue, were used in the study. These were packed in stoves by compressing with a hydraulic machine at a pressure of 80 psi and 120 psi. Investigations of the combustion behavior and thermal efficiency showed that the former resulted from a combination of the direct combustion of the biomass and producer gas obtained from the gasification process in the stove concurrently. Results indicated that there were higher amounts of producer gases (H_2 , CH_4 and CO) compared to those from a typical gasifier (H_2 2.3221%, CH_4 13.2776%, and CO 27.324% by volume). The rice husk stove, with 120 psi packing pressure, gave the highest heating value of producer gases of 4.2848 MJ/m³. Generally, this stove performed with relatively complete combustion and low emission. Emission analysis revealed that the pollutant gases were in the good practice range and lower than those of the typical biomass stoves.

Keywords: Biomass stove, Combustion of biomass stove, Producer gases, Gasification

1. บทนำ

พลังงานนับเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตในงานอุตสาหกรรมต่างๆ การขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และงานบริการอื่นๆ อีกหลายประเภท แหล่งที่มาของพลังงานของโลกในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล คิดเป็น 80% โดยประมาณ ในขณะที่อีกประมาณ 14% มาจากชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุดในขณะนี้ โดยประมาณ 3 ใน 4 ของพลังงานที่ใช้ในโลกใช้ในประเทศกำลังพัฒนา อีก 1 ใน 4 ใช้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว [6] ความต้องการใช้พลังงานของโลกเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีต ถึงมาตรฐานการดำรงชีวิตของมนุษย์ยิ่งสูงขึ้นเท่าใดความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกก็มากขึ้นเท่านั้น จึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัจจุบันนี้ราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นวิกฤติไปทั่วโลก หลายๆ ประเทศทั่วโลกจึงแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่เพื่อเป็นหลักประกันความมั่นคงด้านพลังงานในระยะยาว

เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งให้ความร้อนและแสงสว่างที่สำคัญแหล่งแรกที่มนุษย์ชาติได้ใช้ ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติ ชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือวงจรของพืชที่มีระยะสั้น ต่างจากน้ำมันหรือถ่านหินที่ต้องอาศัยการทับถมกันเป็นเวลาหลายล้านปี ชีวมวลสามารถผลิตได้ภายในประเทศ ช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้ ข้อดีต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือ การใช้พลังงานในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก ในกรณีที่เรามีการผลิตชีวมวลขึ้นมาเพื่อทดแทนชีวมวลที่ใช้ไป เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกหมุนเวียนมาใช้ในชีวมวลที่ผลิตใหม่เท่ากับปริมาณก๊าซที่ถูกผลิตจากการเผาไหม้นั้นๆ เนื่องจากพืชต้องหายใจเพื่อเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งชีวมวลยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก นั่นหมายถึง การใช้ชีวมวลจะลดโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ซึ่งตรงข้ามกับการใช้น้ำมันในภาคขนส่งหรือการใช้น้ำมันในโรงไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าพลังงานจากชีวมวลมีศักยภาพสูงมาก และได้มีงานวิจัยที่นำชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหลาย

แบบและหลายประเภท เช่น เตาอั้งโล่ชนิดต่างๆ เตา Gasifier แบบต่างๆ ซึ่งมีการศึกษาและออกแบบเตาชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน มีการทำงานวิจัยเกี่ยวกับเตาที่ใช้ในครัวเรือนโดยงานวิจัยได้เปรียบเทียบเตาชนิดต่างๆ 24 ชนิด โดยศึกษาประสิทธิภาพด้วยวิธี water boiling ผลการทดลองที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ เตา Indian "Harsha" cookstove มีประสิทธิภาพ 25.2 % ส่วนเตาที่มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือ เตา Malaysian traditional มีประสิทธิภาพ 9.5 % โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มีฟืนและถ่าน พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยมลพิษคือ CO, CO₂, CH₄, TNMOC, NO_x ของเตาแต่ละประเภท [3]

Bhattacharya [2] ได้ศึกษาการพัฒนาการใช้เตาชีวมวลโดยใช้แท่งเชื้อเพลิงจากแกลบและแท่งเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55-60 mm ยาว 20-30 cm เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดลองมีขนาดของปล่องสูง 60 cm และ 80 cm ผลการทดลองประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 15.76% ที่ปล่องสูง 60 cm และต่ำสุด 9.60% ที่ปล่องสูง 80 cm ของเชื้อเพลิงขี้เลื่อย

Kuti [5] ศึกษาส่วนประกอบของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยในเตาชีวมวลภายใต้การจำลองสภาวะต่างๆ โดยใช้ขี้เลื่อยและเมล็ดปาล์มที่อัตราส่วน 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ใช้เจลผสมแล้วอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชั้น คือ intermediate phase (เริ่มต้นทดลอง) high power phase (15 นาทีหลังจากชั้นแรก) และ low power phase (30 นาทีหลัง high power phase) ทดสอบประสิทธิภาพโดยวิธี water boiling test จะได้ว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นจาก intermediate phase ไป low power phase การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะลดลง intermediate phase ไป low power phase และหาอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลงจาก intermediate phase ไป low power phase ของแต่ละเชื้อเพลิง

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่ามีการวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลชนิดต่างๆ แต่ยังไม่มีการวิจัยเตาชีวมวลชนิดนี้เลย นี่จึงเป็นงานวิจัยเริ่มต้นของการศึกษาเตาชีวมวลทรงกระบอกที่มีชื่อว่า "เตาเทวดา" ซึ่งเป็นเตาที่ให้ประสิทธิภาพสูงเพราะมีการเกิดก๊าซชีวมวลขึ้นด้วยขณะเผาไหม้ทำให้มีอุณหภูมิสูง และมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เพราะไม่มีการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ ดังนั้นการวิจัยนี้จึง

เห็นความสำคัญของเศษชีวมวลที่เหลือใช้จึงได้นำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ ช่วยเพิ่มทางเลือกของพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงได้อย่างมาก รวมถึงการนำวัสดุเหลือใช้มาประยุกต์ใช้ทางด้านพลังงานด้านโดยไม่สูญเสีย ซึ่งการวิจัยจะศึกษาเตาชีวมวลทรงกระบอกโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด คือ ชานอ้อย แกลบ และขี้เลื่อย โดยเตาชีวมวลที่ใช้ในการทดลองคือ เตาชีวมวลทรงกระบอก เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกบรรจุเข้าไปในเตาทรงกระบอกด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ที่ความดันต่างกัน ซึ่งความดันที่ใช้ในการทดลองคือ 80 psi และ 120 psi จุดสำคัญของการทดลองคือจะทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลแต่ละชนิดเชื้อเพลิงที่ความดันดังกล่าว และวิเคราะห์การเกิดปริมาณก๊าซชีวมวล รวมทั้งเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซมลพิษเปรียบเทียบกับเตาที่ใช้ในครัวเรือนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

เตาชีวมวลทรงกระบอกเป็นเตาชีวมวลแบบใหม่ที่เพิ่งได้ทำการศึกษาลักษณะเด่นของเตาคือใช้เหล็กเป็นโครงสร้างสามารถใช้งานได้หลายครั้ง เพียงแค่ นำเชื้อเพลิงเข้าไปอัดในเตาด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกก็สามารถนำเตากลับมาใช้ได้ อีก และสามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิด แต่เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องบดค่อนข้างละเอียด

2. ทฤษฎี

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การทดลองการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอก ให้วิธี water boiling test [1] โดยทำการทดลองการเผาเชื้อเพลิงให้เกิดพลังงานความร้อนถ่ายเทไปยังน้ำที่ต้มให้เดือดและปริมาณไอน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ ให้นำสามารถระเหยกลายเป็นไอได้อย่างอิสระ คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จากสมการที่ (1)

สมการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

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

- η_{th} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, %
- M = น้ำหนักของน้ำทั้งหมด, กรัม
- C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, cal/g (1kcal/kg-°C)

- M_1 = น้ำหนักของน้ำที่หายไป, กรัม
- mf = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่หายไป, กรัม
- T1 = อุณหภูมิก่อนการทดลอง, องศาเซลเซียส
- T2 = อุณหภูมิน้ำเดือด, องศาเซลเซียส
- L = ความร้อนแฝงของน้ำ, 540 kcal/kg
- H = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง, kcal/kg

2.2 กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification Process)

ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) [7] เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารเชื้อเพลิงให้กลายเป็นก๊าซที่เรียกว่า ก๊าซโปรดิวเซอร์ (Producer Gas) ซึ่งยังคงมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอยู่และมีคุณค่าพลังงานความร้อนสูงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล เป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ธาตุคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ (ก๊าซที่สามารถจุดติดไฟได้) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ที่มีอากาศจำกัด (หรือ ออกซิเจนจำกัด) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องกลายเป็น ก๊าซชีวมวล หรือ ก๊าซโปรดิวเซอร์ (producer gas) ก๊าซชีวมวลนี้มีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ดังแสดงในภาพที่ 1 การจะเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงนั้นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า “เตาผลิตก๊าซชีวมวล (Gasifier)” ซึ่งการเกิดปฏิกิริยา ทางเคมีของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง [4] ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของ CO, H₂, CH₄ ที่เผาไหม้และค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$H_{ig} = \frac{12,680V_{CO} + 10,800V_{H_2} + 35,900V_{CH_4}}{1 + 2.38V_{CO} + 2.38V_{H_2} + 9.52V_{CH_4}} \quad (2)$$

H_{ig} = ค่าพลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงผสมตามปริมาณสารสัมพันธ์กับอากาศ (kJ/m³)

V_{CO} = สัดส่วนปริมาตรของ CO ในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

V_{H_2} = สัดส่วนปริมาตรของ H_2 ในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

V_{CH_4} = สัดส่วนปริมาตรของ CH_4 ในก๊าซ (ก่อนผสมกับอากาศ)

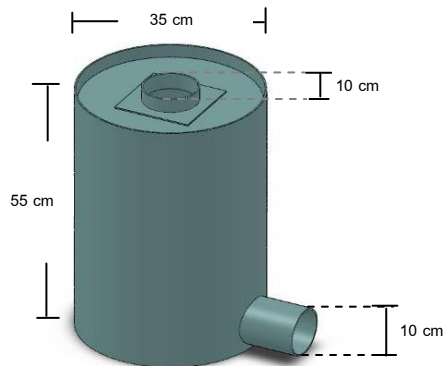
3. การออกแบบและหลักการทำงานของเตาชีวมวลทรงกระบอก

3.1 การออกแบบเตาชีวมวลทรงกระบอก

เตาชีวมวลทรงกระบอก เป็นเตาที่ทำจากเหล็ก ส่วนประกอบหลักของตัวเตาชีวมวลจะประกอบด้วยตัวเตาชีวมวลและโครงสร้างภายในเตาชีวมวล ดังนี้

3.1.1 ตัวเตา

เตาชีวมวลทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร สูง 55 เซนติเมตร ทางเข้าอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร ทางออกของเปลวไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขนาดเตาชีวมวลทรงกระบอก

3.1.2 อุปกรณ์ประกอบโครงสร้างภายในของเตาชีวมวลทรงกระบอก

คือ อุปกรณ์ที่ช่วยรักษาสภาพเตาชีวมวลทรงกระบอกไม่ให้พังทลายขณะเผาไหม้ จะประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 3 และที่มีคุณสมบัติการใช้ที่แตกต่างกันดังนี้

3.1.2.1 ที่กั้นทางเข้าอากาศ หรือ เกือกม้า

คือ อุปกรณ์ที่วางกั้นภายในเตา ดังภาพที่ 3 (a) ตรงทางอากาศเข้าทำหน้าที่กั้นการเผาไหม้ไม่ให้รวดเร็ว ตรงฐานล่างภายในเตา และป้องกันการพังของชีวมวลในขณะที่

เตากำลังเผาไหม้ มีลักษณะโค้งตามขนาดความโค้งของเตามีขนาด $\frac{1}{2}$ เท่าของเตา

3.1.2.2 ที่กั้นตัวเตา หรือ ที่คาด

คือ อุปกรณ์ที่กั้นระหว่างเตาตามแนวรัศมีของเตา ดังภาพที่ 3 (b) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตา ทำหน้าที่กั้นไม่ให้เชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้พังลงมา และให้เตาคงสภาพดั้งเดิมจนกระทั่งการเผาไหม้สิ้นสุดลง

3.1.2.3 ฝาปิดเตา

คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปิดเตาชีวมวล ดังภาพที่ 3 (c) หลังการอัดเชื้อเพลิงเข้าเตา

3.1.2.4 ฝาครอบชั้นบน

คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปิดฝาปิดเตา ดังภาพที่ 3 (d) มีขนาดเท่ากับทางเข้าของปล่องอากาศ



ภาพที่ 3 อุปกรณ์ประกอบโครงสร้างภายในของเตาชีวมวลทรงกระบอก

3.2 การบรรจุเตาชีวมวลทรงกระบอก

โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการนี้ ได้ทดลองเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และชานอ้อย ทำการอัดเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคดังภาพที่ 4



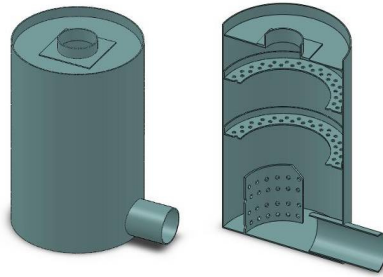
ภาพที่ 4 เครื่องอัดไฮดรอลิคที่ใช้บรรจุเตาชีวมวล

ขั้นตอนในการอัดเตาชีวมวลทรงกระบอกดังภาพที่ 5 ก่อนอื่นต้องจัดเตรียมชีวมวลที่ค่อนข้างละเอียดก่อนทำการอัดเตา ซึ่งชีวมวลที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และขานอ้อย มีลักษณะที่ค่อนข้างละเอียดอยู่แล้ว สามารถนำมาบรรจุอัดเตาชีวมวลทรงกระบอกได้เลย ขั้นตอนการอัดบรรจุเตาชีวมวลมีดังนี้

1. เตรียมเครื่องอัดไฮดรอลิก พร้อมใช้งาน
2. เตรียมชีวมวลบดให้ละเอียด และแห้ง
3. ผสมขี้เถ้ากับน้ำพอมหาดไว้สำหรับปิดด้านบนของเตา อาจเติมปูนซีเมนต์เล็กน้อย
4. วางเตาชีวมวลตรงเครื่องอัด และวางแกนเหล็กตรงกลาง และทางเข้าอากาศ เป็นช่องทางเข้าอากาศเพื่อการเผาไหม้จนถึงปล่องทางออกของเตา
5. วางที่กั้นทางเข้าอากาศ หรือเกือกม้าในแนวตั้งระหว่างแกนกลางและช่องของเตา เกือกม้าจะโค้งตามลักษณะของเตา
6. ใส่ชีวมวลลงไปในเตาทำการอัดเตาด้วยความดันที่ต้องการให้สูงประมาณ 1/3 ของเตา
7. หลังจากนั้นใส่ที่กั้นในเตา หรือที่คาด ให้อยู่บนชีวมวลที่อัด หลังจากนั้นใส่ชีวมวลแล้วอัดให้สูงประมาณ 2/3 ของเตาใส่ที่คาดอีกอัน ทำการอัดให้เต็ม
8. ปิดด้านบนของเตาด้วยฝาปิดเตาใส่ขี้เถ้าที่ผสมเล็กน้อยตามด้วยฝาครอบชั้นบนใส่ขี้เถ้าผสมน้ำพอมหาดให้เต็มโดยรอบทำการอัดด้วยแรงดันเพียงเล็กน้อย
9. ดึงแกนเหล็กด้านบนและด้านล่างออก ก็สามารถนำเตามาใช้งานได้ซึ่งเมื่ออัดเตาชีวมวลเรียบร้อยแล้ว ส่วนประกอบทุกส่วนจะอยู่ในเตาดังภาพที่ 6 โครงสร้างภายในของเตาชีวมวลจะช่วยรักษาโครงสร้างชีวมวลขณะเผาไหม้ไม่ให้ทรุดตัวหรือพังลงมาทำให้เตาชีวมวลสามารถใช้งานได้นาน



ภาพที่ 5 แสดงวิธีการบรรจุเตาชีวมวล



ภาพที่ 6 โครงสร้างภายในของเตาชีวมวล

3.3 หลักการทำงานของเตาชีวมวลทรงกระบอก

หลังจากผ่านการอัดบรรจุชีวมวล เตาสสามารถใช้งานได้เลย โดยทำการจุดที่ปล่องทางเข้าของอากาศด้านล่างของเตาและจะเผาไหม้ชีวมวลตลอดทางเดินของอากาศ จนถึงปล่องทางออกของเตาอุณหภูมิของการเผาไหม้เตาชีวมวลทรงกระบอกจะสูงมากเพราะมีก๊าซโปรตีนเซอร์เกิดขึ้นขณะที่เผาไหม้ การศึกษาจึงได้ทำการปิดทางเข้าของอากาศวิเคราะห์การจุดก๊าซที่เกิดขึ้นจากเตาดัง ภาพที่ 7



(a) แสดงเปลวไฟจากเตาชีวมวล (b) แสดงก๊าซที่เกิดขึ้นจากเตาชีวมวล (c) แสดงเปลวไฟจากการจุดก๊าซ

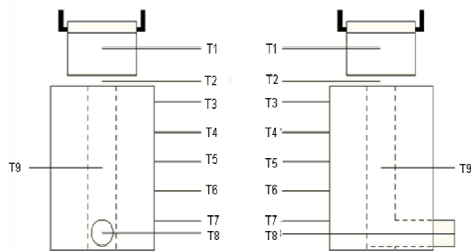
ภาพที่ 7 แสดงเปลวไฟที่เกิดจากการจุดก๊าซจากเตาชีวมวลทรงกระบอก

3.4 การออกแบบวิธีการทดลอง

การออกแบบการทดลองประสิทธิภาพของเตาชีวมวลทรงกระบอกโดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการนี้เราจะทดลองเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด แกลบ ขี้เลื่อย และขานอ้อย ทำการอัดเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ ความดัน 80 psi และ 120 psi มาทดลองโดยการวิเคราะห์การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

3.4.1 หาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

การทดลองจุดเตาชีวมวลทรงกระบอกด้านทางอากาศเข้าของเตาชีวมวลเริ่มเผาไหม้ตามแนวแกนจากด้านล่างจนถึงบนสุดจนถึงทางออกด้านบน อากาศไหลเข้าทางปล่องด้านล่างเตาแบบธรรมชาติ เตาจะจุดติดต่อเนื่องจนกว่าชีวมวลจะหมด เมื่อชีวมวลเริ่มเผาไหม้ ทำการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอก ใช้วิธี water boiling test ใช้ภาชนะบรรจุน้ำโดยไม่มีฝาปิด เพื่อให้สามารถระเหยกลายเป็นไอได้อย่างอิสระ บันทึกปริมาณน้ำที่หายไปจากการถ่ายเทความร้อนจากเตามาทำให้น้ำเดือดและระเหยกลายเป็นไอ ทำการบันทึกทุกๆ ชั่วโมง และหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทุกชั่วโมงเช่นกัน วัดอุณหภูมิ โดยใช้ thermocouple วัดอุณหภูมิของน้ำ และใช้ thermocouple type K วัดอุณหภูมิที่เปลวไฟ ทำการวัดอุณหภูมิทุกตำแหน่งดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิ

นำข้อมูลการทดลองมาหาประสิทธิภาพเชิงความใช้ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของเชื้อเพลิงคำนวณทุกชั่วโมงที่ทำการทดลองของทุกชนิด

3.4.2 วิเคราะห์กระบวนการเผาไหม้ของก๊าซโปรคิวเซอร์ ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

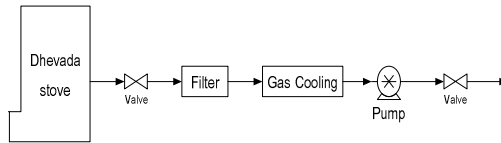
การวิเคราะห์การเผาไหม้ การทดลองทำการสร้างชุดเก็บก๊าซเชื้อเพลิงดังภาพที่ 9 เพื่อนำก๊าซไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) สภาวะมีดังนี้

column : stainless steel pack column WG -100 SUS COLUMN เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก ¼ นิ้ว ความยาวคอลัมน์ 18 เมตร

carrier gas : Helium / Flow rate 40 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิแบบคงที่ 50 องศาเซลเซียส

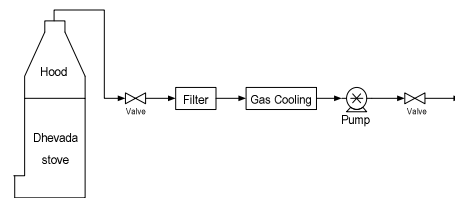
detector : Thermal Conductivity Detector , TCD

วิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธี standard calibration curve โดยใช้สารมาตรฐานก๊าซ CO, H₂, CH₄ โดยต่อท่อก๊าซจากเตา เมื่อทำการจุดเตาเป็นระยะเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ทำการปิดทางเข้าอากาศและทางออกของปล่องไฟเปิดวาล์วเพื่อเก็บก๊าซไปวิเคราะห์



ภาพที่ 9 การติดตั้งชุดเก็บก๊าซ

3.4.3 วิเคราะห์ก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ การทดลองได้สร้างชุดทดลองโดยใช้ hood ครอบเตาชีวมวลทรงกระบอกดังภาพที่ 10 และทำการทดลองเปรียบเทียบกับเตาที่ใช้ในครัวเรือน คือ เตาแก๊ส เตาถ่าน และเตาฟืน โดยดูดก๊าซไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)



ภาพที่ 10 การติดตั้งชุดวัดก๊าซมลพิษ

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ต้องเตรียมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ทดสอบประสิทธิภาพเตา และส่วนการวิเคราะห์ก๊าซโปรคิวเซอร์และก๊าซมลพิษ

เตรียมเตาชีวมวลทรงกระบอก เครื่องอัดไฮดรอลิก ที่ใช้อัดบรรจุชีวมวลทั้ง 3 ชนิด คือ แกลบ ชี้อ้อย ชานอ้อย เมื่อทำการอัดบรรจุเตาชีวมวลเรียบร้อยแล้วตามวิธีการอัดบรรจุตั้งหัวข้อที่ 3.2 แล้ว ทำการจุดเตาชีวมวลทรงกระบอกเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้วิธี water boiling test ใช้ thermocouple type K วัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ดังภาพที่ 8 เก็บข้อมูลโดยใช้ Data logger แบบ 12 Channel ยี่ห้อ SUPCON ทำการวิเคราะห์ทุกชั่วโมงจนกว่าเชื้อเพลิงจะหมด

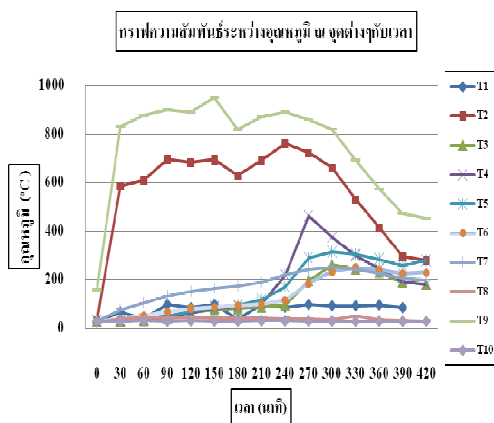
เตรียมชุดอุปกรณ์ในการเก็บก๊าซโปรตีนเซอร์และก๊าซมลพิษ ดังภาพที่ 8 และ ภาพที่ 9 เพื่อทำการเก็บก๊าซโปรตีนเซอร์และก๊าซมลพิษใส่ถุงเก็บก๊าซเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Gas chromatography (GC)

4. ผลการทดสอบเตาชีวมวลทรงกระบอก

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลทรงกระบอกออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา การทดสอบก๊าซโปรตีนเซอร์ และการทดสอบการปล่อยมลพิษจากเตาชีวมวลทรงกระบอกเปรียบเทียบกับเตาที่ใช้ในครัวเรือน

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากกราฟแสดงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของเตาชีวมวล จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ตรงกลางจะสูงมากโดยเฉลี่ยประมาณ 900°C และที่เปลวไฟจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 650°C ดังแสดงในภาพที่ 11 อุณหภูมิที่สูงของเตาชีวมวลจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเตาสูงด้วยและที่สำคัญคือ เตาชีวมวลขณะจุดเตาเกิดก๊าซโปรตีนเซอร์ ร่วมด้วย เนื่องจากการเกิดก๊าซโปรตีนเซอร์ กระบวนการเกิดจะเกิดที่สภาวะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 650 - 800°C สภาวะนี้จะดำรงอยู่ได้ [7]



ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ กับเวลาของชี้อยู่ที่อัดด้วยความดัน 120 psi

ผลการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด คือ แกลบ ชี้อยู่ และ ชานอ้อย ที่ความดัน 80 psi และ 120 psi แสดงในตารางที่ 1 – 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ แกลบ 80 psi

| ชั่วโมงที่ | มวลน้ำที่หายไป (g) | มวลเชื้อเพลิงที่หายไป (g) | อุณหภูมิหน้าเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------|
| 1 | 1750 | 1800 | 69.62 | 16.56 |
| 2 | 1900 | 1500 | 98.72 | 22.65 |
| 3 | 2000 | 1450 | 95.89 | 24.55 |
| 4 | 2400 | 1700 | 94.17 | 25.05 |
| 5 | 1800 | 1500 | 91.6 | 21.21 |
| 6 | 2050 | 1550 | 85.84 | 23.15 |
| 7 | 2180 | 1750 | 96.13 | 22.18 |
| 8 | 1100 | 850 | 89.8 | 22.80 |
| η _{av} | | | | 22.27 |

ตารางที่ 2 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ แกลบ 120 psi

| ชั่วโมงที่ | มวลน้ำที่หายไป (g) | มวลเชื้อเพลิงที่หายไป (g) | อุณหภูมิหน้าเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|-----------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------|
| 1 | 1800 | 2100 | 66.19 | 14.51 |
| 2 | 2220 | 1200 | 99.38 | 33.11 |
| 3 | 2100 | 1400 | 97.52 | 26.77 |
| 4 | 2320 | 1200 | 95.02 | 34.36 |
| 5 | 2000 | 900 | 95.33 | 39.51 |
| 6 | 2280 | 1050 | 89.45 | 38.24 |
| 7 | 2180 | 750 | 93.9 | 51.56 |
| 8 | 2140 | 1000 | 97.02 | 38.16 |
| 9 | 2200 | 700 | 96.62 | 56.00 |
| 10 | 1900 | 800 | 95.47 | 42.24 |
| 11 | 1050 | 500 | 90.01 | 37.01 |
| η _{av} | | | | 37.41 |

ตารางที่ 3 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ
ซีลี้อย 80 psi

| ชั่วโมง ที่ | มวลน้ำที่ หายไป (g) | มวล เชื้อเพลิงที่ หายไป (g) | อุณหภูมิ น้ำเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 3650 | 2200 | 87.4 | 38.47 |
| 2 | 4350 | 2900 | 99.37 | 35.15 |
| 3 | 4450 | 3200 | 95.22 | 32.66 |
| 4 | 5250 | 3300 | 99.25 | 37.61 |
| 5 | 2700 | 1800 | 95.88 | 35.27 |
| η_{av} | | | | 35.83 |

ตารางที่ 4 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ
ซีลี้อย 120 psi

| ชั่วโมง ที่ | มวลน้ำที่ หายไป (g) | มวล เชื้อเพลิงที่ หายไป (g) | อุณหภูมิ น้ำเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 2150 | 1800 | 89.59 | 27.80 |
| 2 | 4450 | 2500 | 92.9 | 41.65 |
| 3 | 4250 | 2500 | 93.42 | 39.82 |
| 4 | 5900 | 3800 | 91.48 | 36.25 |
| 5 | 3600 | 2600 | 95.52 | 32.54 |
| 6 | 1150 | 700 | 90.25 | 38.28 |
| 7 | 900 | 500 | 87.58 | 41.75 |
| η_{av} | | | | 36.87 |

ตารางที่ 5 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ
ซานอ้อย 80 psi

| ชั่วโมง ที่ | มวลน้ำที่ หายไป (g) | มวล เชื้อเพลิงที่ หายไป (g) | อุณหภูมิ น้ำเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 2500 | 1500 | 89.64 | 30.14 |
| 2 | 3450 | 2200 | 98.23 | 28.76 |
| 3 | 3650 | 1900 | 96.91 | 35.16 |
| 4 | 3100 | 1800 | 98.03 | 31.58 |
| 5 | 3100 | 1500 | 91.48 | 37.49 |
| 6 | 2550 | 1400 | 97.52 | 33.37 |
| 7 | 1100 | 900 | 94.58 | 22.29 |
| η_{av} | | | | 31.26 |

ตารางที่ 6 ตารางแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ
ซานอ้อย 120 psi

| ชั่วโมง ที่ | มวลน้ำที่ หายไป (g) | มวล เชื้อเพลิงที่ หายไป (g) | อุณหภูมิ น้ำเฉลี่ย (°C) | η (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 1 | 1700 | 2750 | 69.87 | 10.81 |
| 2 | 1500 | 1450 | 99.02 | 19.00 |
| 3 | 1300 | 1400 | 96.19 | 16.98 |
| 4 | 1100 | 1200 | 94.47 | 16.71 |
| 5 | 2000 | 1500 | 91.9 | 24.20 |
| 6 | 1600 | 1300 | 86.14 | 22.13 |
| 7 | 1500 | 1100 | 96.43 | 24.94 |
| 8 | 1400 | 950 | 90.1 | 26.67 |
| 9 | 900 | 750 | 81.89 | 21.42 |
| η_{av} | | | | 20.32 |

เนื่องจากการทดลองทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงจนกว่าเชื้อเพลิงจะหมด ใช้ค่าความร้อนต่ำ(LHV) ของเชื้อเพลิง ในการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล ทรงกระบอก จากตารางแสดงผลจะเห็นได้ว่าเวลาที่ทำการเผาไหม้ไม่เท่ากัน เพราะความดันการอัดบรรจุเตาต่างกัน ปริมาณเชื้อเพลิงที่อัดบรรจุจะไม่เท่ากัน ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงบรรจุในเตาชีวมวลแต่ละความดันไม่เท่ากัน เตาที่อัดด้วยแรงดันที่สูงจะมีปริมาณเชื้อเพลิงที่มากกว่าเตาที่อัดด้วยแรงดันต่ำและใช้งานได้นานกว่า อย่างไรก็ตาม เตาที่อัดด้วยแรงดันสูงไม่ใช่จะมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วยเสมอไป เนื่องจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีคุณลักษณะในการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน (ปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจน ในเนื้อชีวมวล ที่แตกต่างกัน) ถ้าเชื้อเพลิงถูกอัดแน่นมากเกินไป ทำให้อากาศเข้าไปทำการเผาไหม้ และเกิดกระบวนการ gasification ไม่ได้สะดวก ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงได้ ดังนั้นเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจึงมีความเหมาะสมต่อแรงอัดแตกต่างกันจึงทำให้ประสิทธิภาพต่างกันด้วย

4.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์การเกิดก๊าซโปรตีนเซอร์

การทดลองหาปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดจากเตาชีวมวลทรงกระบอก หลังจากการจุดเตาชีวมวลทรงกระบอกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการดูดก๊าซเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ปริมาณก๊าซโปรตีนเซอร์ ที่ความดัน 80 psi

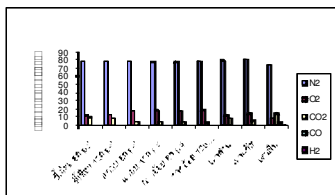
| ชนิดเชื้อเพลิง | ร้อยละโดยปริมาตร | | | Calorific value (MJ/m ³) |
|----------------|------------------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| | H ₂ | CO | CH ₄ | |
| แกลบ | 1.9619 | 22.576 | 11.129 | 4.2757 |
| ขี้เลื่อย | 2.303 | 17.3875 | 13.1508 | 4.1458 |
| ขานอ้อย | 1.9333 | 16.6778 | 10.9806 | 4.1818 |

ตารางที่ 8 ปริมาณก๊าซโปรตีนเซอร์ ที่ความดัน 120 psi

| ชนิดเชื้อเพลิง | ร้อยละโดยปริมาตร | | | Calorific value (MJ/m ³) |
|----------------|------------------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| | H ₂ | CO | CH ₄ | |
| แกลบ | 2.3221 | 27.324 | 13.2776 | 4.2848 |
| ขี้เลื่อย | 1.650 | 12.4859 | 9.294 | 4.1406 |
| ขานอ้อย | 2.4304 | 24.6557 | 13.9278 | 4.2356 |

4.3 ผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้

การทดสอบมลพิษการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับการเผาไหม้ของเตาชีวมวลที่ใช้ในครัวเรือน โดยสร้างชุดทดลองสร้าง hood ครอบ ดูดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ผลการทดลองดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ก๊าซมลพิษ

5. สรุป และข้อเสนอแนะการทดลอง

จากการทดลองเตาชีวมวลทรงกระบอกเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้เลื่อย และขานอ้อย ความดันที่ใช้จัดบรรจุเชื้อเพลิงที่ความดัน 80 และ 120 psi จะมีผลกับระยะเวลาในการเผาไหม้ คือที่ความดัน 120 psi เวลาในการเผาไหม้จะยาวนานกว่าความดัน 80 psi เมื่อนำค่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า แกลบที่อัดด้วยความดัน 120 psi และขี้เลื่อยที่อัดด้วยความดัน 80 psi จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 35.86 % และ 35.76 % ตามลำดับ ดังนั้นแรงดันจะมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแต่ละชนิดเชื้อเพลิงเนื่องจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีความเหมาะสมต่อแรงอัดที่ต่างกัน ความดันที่สูงเกินไปไม่เหมาะกับทุกชนิดเชื้อเพลิง เพราะทำให้อากาศไม่สามารถเข้าไปทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ทั่วถึง ดังนั้นแรงดันของแต่ละชนิดเชื้อเพลิงจึงมีความเหมาะสมที่ต่างกัน

การทดลองเกิดก๊าซโปรตีนเซอร์ร่วมด้วย ดังนั้นในการเผาไหม้ จึงเป็นการเผาไหม้โดยตรงของชีวมวลนั้นๆ และ ก๊าซโปรตีนเซอร์จะเกิดขึ้น ในทุกแรงอัดและทุกชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง จะเห็นได้ว่า ชีวมวลแกลบที่อัดแน่นด้วยความดัน 120 psi จะให้ปริมาณก๊าซโปรตีนเซอร์มากที่สุด คือ H₂ 2.8103%, CH₄ 15.9830%, และ CO 30.3680% โดยปริมาตร โดยเฉลี่ย และค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงของทุกเชื้อเพลิงทุกความดันจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่แกลบที่ความดัน 120 psi จะมีค่ามากที่สุด คือ 4.2848 MJ/m³ ส่วนการปล่อยมลพิษทางอากาศพบว่าเตาชีวมวลทรงกระบอกมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เมื่อเทียบกับเตาชีวมวลชนิดอื่นๆ

จากการทดลองจะเห็นว่าเตาชีวมวลทรงกระบอกมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงเมื่อเทียบกับเตาชีวมวลแบบอื่นที่ได้มีการวิจัยซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนกับเครื่องผลิตความร้อนในการอบแห้ง เช่น อบแห้งลำไย อบแห้งพืช สมุนไพร หรือผลไม้ หรือแม้แต่ใช้งานกับหม้อไอน้ำชีวมวลได้

ความชื้นของเชื้อเพลิงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของเตาชีวมวลทรงกระบอก การวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาว่าความชื้นของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา การวิจัยได้ใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นคงที่ หรือ ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงประมาณ 15-20% ถ้าความชื้นของเชื้อเพลิงที่อยู่นอกช่วงนี้ อาจจะมีผลกระทบต่อเกิดการเกิดเผาไหม้ และ ผลต่อการเกิดกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ได้ คือ ถ้าชื้นเกินไป จะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่รุนแรงเพราะต้องสูญเสียพลังงานในการทำให้เชื้อเพลิงแห้ง (drying) แต่หากเชื้อเพลิงแห้งเกินไป จะเกิดกระบวนการ gasification ไม่ดีเพราะในการเกิด gasification ที่ดี ต้องการไอน้ำในปริมาณที่เหมาะสมด้วย

คณะผู้วิจัยหวังว่าเตาชีวมวลทรงกระบอกรจะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนแบบใหม่ที่จะเป็นพลังงานทดแทน แทนพลังงานฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bailis, Ogle, Maccarty, Smith, Edwards, and Still. 2007. **Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the household energy and health project.** Yale School of Forestry and Environmental Studies.
- [2] Bhattacharya, Siddique, Leon, Pham and Mahandari. 2001. **A study on improved institutional biomass stove.** Energy Program, Asian Institute of Technology.
- [3] Bhattacharya, Albina, and Salam. 2002. **Emission factors of wood and charcoal-fred cookstoves.** Energy Program, School of Environment, Resources, and Development, Asian Institute of Technology.
- [4] FAO Forestry Department. 1986. **Wood Gas as Engine Fuel.** Mechanical Wood Products Branch Forest Industries Division. United Nations.
- [5] Kuti. 2009. **Performance of Composite Sawdust Briquette Fuel in a Biomass Stove under Simulated Condition.** Department of Mechanical Engineering, University of Hiroshima Hiroshima, Japan.
- [6] Parikka. 2004. "Global biomass fuel resources". **Biomass and Bioenergy** 27: 613-620.
- [7] Rajvanshi. 1986. "Biomass gasification". **Alternative Energy in Agriculture.** 4: 83-102.