

**คุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์โดยใช้ใบไม้และ
กิ่งไม้แห้งเป็นเชื้อเพลิง**

**Characteristics of Heat Energy of Gasifier using Leaves and
Dry Twigs as Fuel**

วิชาวุธ มนูญผล, ณัฐวิทย์ พรหมมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

ติดต่อ: โทรศัพท์: 053-944-146 ต่อ 981, โทรสาร: 053-944-145

E-mail: neojeng@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการศึกษาเบื้องต้นของคุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์ที่สามารถประยุกต์ใช้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อออกแบบและสร้างเตาผลิตแก๊สชีฟเออร์แบบฟิกส์เบด (Fixed bed gasifier) ชนิดไหลลง (Downdraft) และประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาดังกล่าวด้วยวิธี Water Boiling Test พร้อมกับวิเคราะห์หาอัตราการเกิดแก๊สที่ได้จากเตา

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลอัตราการป้อนอากาศและเชื้อเพลิง เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้และอัตราส่วนอากาศเข้าที่เหมาะสม เพื่อเทียบกับปริมาณอากาศทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ (Equivalent Ratio; ER) เตาที่ออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนบนเป็นถังป้อนวัสดุเชื้อเพลิง ส่วนกลางเป็นถังปฏิกรณ์ และส่วนล่างสำหรับเก็บแก๊ส เบื้องต้นใช้เตาที่มีอยู่นำมาทดลอง เพื่อคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาและเก็บข้อมูลที่สำคัญ นำมาปรับปรุงและออกแบบเตาแก๊สชีฟเออร์ที่ประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลคือ ใบไม้และกิ่งไม้แห้งที่ได้จากป่าเต็งรังทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยหั่นย่อยให้มีขนาด 0.5-1 cm โดยประมาณ ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 6 kg/h และใช้พัดลมดูดแก๊สออกที่ความเร็ว 0.8 m/s ผลการทดลองเบื้องต้นนั้นพบว่าแก๊สที่ออกมาสามารถต้มน้ำ 1 kg ให้มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 81°C และเตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 7.2 เปอร์เซ็น

คำสำคัญ: เตาผลิตก๊าซชนิดไหลลง/ Water Boiling Test/การหาค่าความร้อน

Abstract

This research presents characteristics of heat energy of gasifier using leaves and dry twigs as fuel. The objective of this research is to design and construct the optimal downdraft/fixed bed gasifier and to investigate the thermal efficiency of the stove. Thermal efficiency of the stove is determined by Water Boiling Tests and rate of produced gas is analyzed.

Rate of feed Air and fuel data is the obvious choice for determining the Air-Fuel ratio relating with Equivalent Ratio (ER) using for combustion zone. The downdraft/fixed bed gasifier consists of 3 main parts, the upper tanks used to feed the fuel (biomass), the middle is the reactor and the lower is the ash collector. The existing stove is firstly used to calculate the stove efficiency and obtain an important data using for the new design. Leaves and dry twigs in deciduous forest in northern Thailand are chosen as the fuels. They are chopped with size of 0.5 to 1 cm. approximately. The stove is operated with fuel feed rate at 6 kg/h and outlet the gas speed of 0.8 m/s. It was found that 1 kg of water can be heat up to the maximum temperature of 81 °C. The thermal efficiency is 0.072.

Keywords: downdraft/fixed bed gasifier/ Water Boiling Test/ High Heating Value

1. บทนำ

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์โดยใช้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีที่เรียกว่าเตาแก๊สชีฟเออร์ (Gasifier) [1] ซึ่งการผลิตแก๊สจะใช้ปฏิกิริยาที่เรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งเป็นระบบการเผาไหม้ในเตาแก๊สชีฟเออร์ โดยควบคุมอากาศไหลเข้าในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้แก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน เป็นหลัก และเกิดมีเทนเล็กน้อย โดยประโยชน์ของแก๊สที่ได้นั้น สามารถนำไปให้ความร้อนโดยตรง หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า [1] ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบนี้มีความหลากหลายอยู่ระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับเทคโนโลยีการออกแบบ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้

เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งที่ได้จากป่าเต็งรัง เนื่องจากป่าชนิดนี้ครอบคลุมในเขตทางภาคเหนือของไทย โดยมีการผลัดใบในหน้าแล้งซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดเพลิงไหม้อย่างไม่ทราบสาเหตุ เป็นการสิ้นพลังงานโดยใช้เหตุ อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษทางอากาศอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า น่าจะนำเอามาเป็นเชื้อเพลิงตัวอย่าง

โดยในปัจจุบัน การใช้พลังงานจากเตาแก๊สชีฟเออร์ถือว่าเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ ถึงแม้ว่าองค์ความรู้ดังกล่าวได้เกิดขึ้นมานานก็ตาม ซึ่งในปัจจุบันมีหลายองค์กรหรือหน่วยงานทางด้านวิจัยได้ประยุกต์ใช้

เตาแก๊สชีฟเออร์ผลิตพลังงานความร้อนและนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน แต่ยังขาดการวิเคราะห์ถึงปัจจัยของขนาดเตาและปัจจัยของปริมาณอากาศที่เข้าไปทำปฏิกิริยาในเตาเพื่อให้ได้พลังงานความร้อนที่เกิดจากแก๊สมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึง การออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีฟเออร์ที่ใช้ใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดเป็นเชื้อเพลิง โดยให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุดซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Water Boiling Test [2] โดยผลการวิจัยที่แสดงในครั้งนี้เป็นเพียงผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเท่านั้น

2. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน(Gasification)

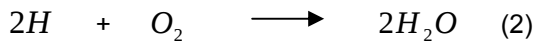
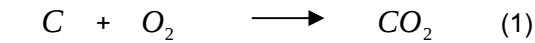
2.1 หลักการของแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนชีวมวลซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ให้กลายเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน กระบวนการดังกล่าวเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์แบบจำกัดปริมาณออกซิเจน

2.2 ปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวล

ปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลภายในเตาเผา สามารถแบ่งบริเวณการเกิดแก๊สตามปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญ ๆ ได้ 4 บริเวณ ดังนี้

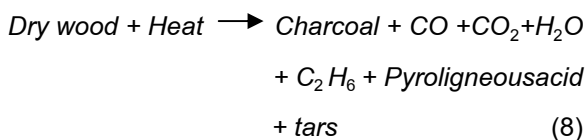
1. ชั้นเผาไหม้ (Combustion zone) คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัด (Partial combustion) ด้วยปฏิกิริยาดังสมการ



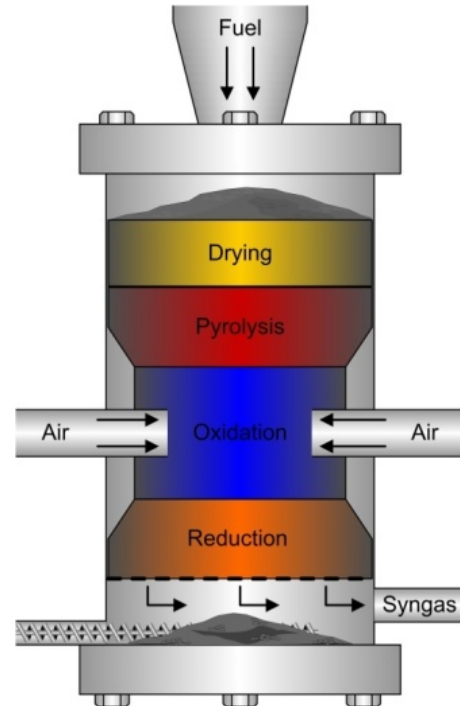
2. ชั้นรีดักชัน (Reduction zone or gasification zone) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้จะทำปฏิกิริยาโดยเปลี่ยนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังสมการ



3. ชั้นกลั่นสลาย (Distillation zone or pyrolysis zone) ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นรีดักชันเพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงทำให้ได้สารระเหย (Volatile matter) ต่าง ๆ ออกมาซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน แก๊สที่เผาไหม้ได้ และที่เผาไหม้ไม่ได้ ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed carbon) หรือถ่าน ดังสมการ



4. ชั้นลดความชื้น (Drying zone) บริเวณนี้ อุณหภูมิจะลดลงมาก ทำให้มีอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่าง ๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้นกลั่นสลายจะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ



รูปที่ 1 ลักษณะของ Downdraft gasifier [3]

2.3 ค่า Equivalent ratio (ER)

ค่า ER มีผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของ Producer gas โดยปกติขึ้นกับพารามิเตอร์ 3 อย่าง คือ อุณหภูมิเปลวไฟ ค่า ER และอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานเคมีและ Sensible energy ของ Producer gas ค่า ER ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สที่สภาวะ Steady state อยู่ระหว่าง 0.2-0.4 [4] ซึ่งจะทำให้เกิด Partial combustion กรณีที่ค่า ER = 1 จะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดความผิดปกติขึ้นในเตาผลิตแก๊ส ค่า ER สามารถหาได้จากสมการ

$$ER = \frac{\text{Weight of oxidation} / \text{Weight of dry fuel}}{\text{Oxidation} / \text{Fuel stoichiometric weight}} \quad (9)$$

2.4. การหาค่าประสิทธิภาพของเตา

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาสามารถหาได้ด้วยวิธี water boiling tests โดยใช้สมการ

$$\eta = \frac{m_{wi} C_{pw} (T_e - T_i) + m_{w, \text{evap}} H_l}{m_f H_f} \quad (10)$$

เมื่อ

- m_{wi} = มวลของน้ำที่ใช้ในการต้ม (kg)
 C_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)
 $m_{w, \text{evap}}$ = มวลของน้ำที่ระเหย (kg)
 m_f = มวลของเชื้อเพลิง (kg)
 T = อุณหภูมิในการต้มน้ำ °C
 T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ °C
 H_l = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของการระเหย ที่ 100 °C (kJ/kg)
 H_f = ค่าความร้อนสูงสุดของเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้ง (kJ/kg)

อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง (Fuel consumption rate) มีหน่วยเป็น kJ/hr

$$FCR = \frac{\text{Weight of Fuel Used (kg)}}{\text{Operating Time (hr)}} \quad (11)$$

เมื่อ

Weight of Fuel Used = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)

Operating Time = เวลา (hr)

อัตราการเกิดก๊าซ (Specific Gasification Rate) มีหน่วยเป็น kg/m²h

$$SGR = \frac{\text{Weight of Fuel Used (kg)}}{\text{Reactor area (m}^2\text{)} \times \text{Operating Time (hr)}} \quad (12)$$

เมื่อ

Weight of Fuel Used = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)

Reactor area = ขนาดพื้นที่ของเตา (m²)

Operating Time = เวลา (hr)

เวลาที่เชื้อเพลิงใช้ในโซน (Combustion Zone rate) มีหน่วยเป็น m/hr

$$CZR = \frac{\text{Length of the Reactor (m)}}{\text{Operating Time (hr)}} \quad (13)$$

เมื่อ

Length of the Reactor = ความสูงของเตา (m)

Operating Time = เวลา (hr)

พลังงานที่ใช้ (Power Input) พลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ มีหน่วยเป็น kW

$$Pi = 0.0012 \times FCR \times H_f \text{ (kW)} \quad (14)$$

เมื่อ

H_f = ค่าความร้อนสูงสุดของเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้ง (kJ/kg)

FCR = อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง (kg/hr)

พลังงานที่ปล่อยโดยเตา (Power Output) มีหน่วยเป็น kW

$$Po = \frac{Pi \times \eta}{100} \text{ (kW)} \quad (15)$$

เมื่อ

P_i = พลังงานที่ใช้ (kW)

η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

3.ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ก. นำเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งที่ได้จากป่าเต็งรัง ย่อยในเครื่องย่อยให้มีขนาดประมาณ 0.5-1 cm เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งมีค่า High Heating Value เท่ากับ 17,813.36 kJ/kg ทดสอบโดยใช้ Bomb calorimeter

ข. นำเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบรรจุลงในเตา 6 kg และปิดฝาหลังจากนั้นจุดไฟบริเวณช่องจุดไฟ เมื่อไฟติดแล้วทำการเปิดวาล์วอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยการปรับปริมาณอากาศตามค่า ER (Equilibrium Ratio) ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊ส อยู่ระหว่าง 0.2-0.4

ค. วัดอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สชีวมวลตามช่วงที่ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลไว้ทั้ง 4 ช่วง คือ Reduction Zone, Combustion Zone Pyrolysis Zone และ Drying Zone เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาผลิตแก๊สชีวมวล

ง. ในช่วงแรกทำการเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อดูดแก๊สออกทางด้านบน ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการแบบอากาศไหลขึ้น โดยแก๊สนั้นจะมีปริมาณฝุ่นและน้ำมันดินปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก แก๊สที่ได้จะถูกดูดด้วยเครื่องดูดอากาศ ผ่านเครื่องควบแน่น และถูกกลั่นตัวเป็นน้ำส้มควันไม้ ซึ่งมีอีกส่วนหนึ่งถูกปล่อยออกสู่ปล่องไฟระบายออกสู่บรรยากาศ

จ. เมื่ออุณหภูมิในชั้นเผาไหม้สูงขึ้นประมาณ 800 °C [5] แสดงว่าเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นเปลี่ยนกระบวนการอากาศเป็นแบบไหลลง โดยเปิดเครื่องดูดอากาศแบบไหลลงให้แก๊สที่ได้ไหลลงด้านล่าง จากนั้นก็ปิดเครื่องดูดอากาศแบบไหลขึ้น

ฉ. ทดสอบหาค่าความร้อนของเตาด้วยวิธี Boiling water test โดยการต้มน้ำแล้วรอให้อุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงสุด (อุณหภูมิคงที่) ใช้น้ำ 1 kg ในการทดสอบ จากนั้นชั่งปริมาณน้ำเริ่มต้นและปริมาณน้ำสุดท้าย และบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้าย สังเกตปริมาณการระเหยของน้ำเทียบกับเวลาจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเตาได้จากสมการที่ 10



รูปที่ 2 เตาที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้น

4. วิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น คือ ปริมาณการใช้อากาศและอัตราส่วนอากาศต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

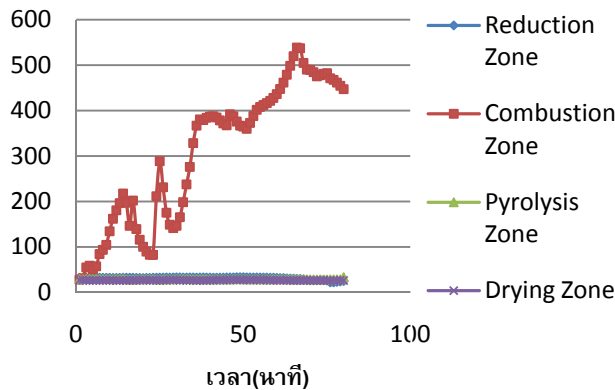
ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ตัวแปรควบคุม คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง อุณหภูมิในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และความชื้นของเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้ง

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

การทดสอบในระยะแรกจะพบว่า อุณหภูมิในช่วง Combustion Zone มีแนวโน้มไม่คงที่ขึ้นและลงตลอดเวลา เนื่องจากเผาไหม้วัสดุที่ใช้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเกินไป จึงทำให้เกิดโพรงใน Combustion Zone ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถไหลลงมาที่ Combustion Zone ได้ ต้องทำการกระทุ้งเศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งจากด้านบน เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้ง และใน Reduction Zone, Pyrolysis Zone, Drying Zone มีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากการอัดแน่นของเชื้อเพลิงทำให้ถ่ายเทความร้อนมาในโซนดังกล่าวได้น้อย อุณหภูมิในโซนต่างๆแสดงในรูปที่ 3

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3 กราฟแสดงอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ

จากการใช้ความร้อนของแก๊สที่ได้จากเตาแก๊สซีไฟเออร์ต้มน้ำตามวิธี Water Boiling Test พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำเท่ากับ 81 °C โดยใช้เวลา 25 นาที เนื่องจากแก๊สที่ได้ให้ค่าความร้อนไม่สูงพอที่จะทำให้น้ำเดือด สีของเปลวไฟที่ได้การกระบวนการผลิตมีสีฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5

มีน้ำมันดินที่ได้จากการผลิตแก๊ส 0.54 L ได้จากเครื่องดักน้ำมันดิน น้ำส้มควันไม้ 0.95 L ได้จากคอนเดนเซอร์ วัดโดยใช้บีกเกอร์ตวงวัดปริมาตรที่ได้



รูปที่ 4 สีของเปลวไฟ



รูปที่ 5 สีของเปลวไฟ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้จะพบว่าเตาที่ใช้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดที่ได้จากป่าเต็งรัง มีประสิทธิภาพ 7.2 %, มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 3 kJ/hr, มีอัตราการเกิดก๊าซเท่ากับ 18.87 kg/m²h มี Combustion zone rate เท่ากับ 0.58 m/hr, Power input เท่ากับ 64.128 kW, Power output เท่ากับ 4.63 kW โดยการทดลองที่ได้จะได้น้ำมันดิน 0.54 L และน้ำส้มควันไม้ 0.95 L

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงลักษณะของเตาซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังนี้

1) ลักษณะของมุมคอคอดในส่วน Combustion Zone ให้มีค่ามุมเอียงมากขึ้น (จากเดิมใช้ที่ 55 องศา) เพื่อให้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งสามารถไหลลงมาที่ Combustion Zone ได้โดยไม่ติดขัด

2) การเกิดโพรงอากาศของเชื้อเพลิงภายในเตาผลิตแก๊สระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดช่องว่างเชื้อเพลิงไม่สามารถตกลงสู่ชั้นเผาไหม้ ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์ช่วยในการกวาดภายในตัวเตาเผา เพื่อช่วยให้

เชื้อเพลิงไม่เกิดการเกาะติดกันและมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ

การใช้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดแสดงให้เห็นว่าสามารถให้พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แต่การทดลองนี้ได้ใช้เครื่องมืออยู่แล้วเพื่อเป็นแนวทางของการวิจัยระยะแรกและเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อนำเอาประยุกต์และออกแบบเตาให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุตร จำลองกุล. 2541. พลังงานทดแทน 1. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก. ปทุมธานี.
- [2] Pitaksa et al. 2006. Biomass cooking stove for sustainable energy and environment.
- [3] Alexis T. Belonio. 2005. Rice Husk Gas Stove. The Department of Agricultural Engineering and Environmental Management of the college of Agriculture, central Philippine University, Iloilo city, Philippines.
- [4] สุรีย์ จรูญศักดิ์. 2543. การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิก. สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ
- [5] Z.A. Zainal et al. 1997. Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. School of Mechanical Engineering, University Sains Malaysia. Energy Conversion and Management 42(2001): 1499-1515.
- [6] Bhattacharya, S.C., Leon, M.A. and Khaing, A.M. (2003). Design and Performance of a Natural Draft Gasifier Stove for Institutional and Industrial Application. International Seminar on Appropriate Technology for Fuel Production from Biomass, 1-3 October, Yogyakarta, Indonesia.