

ผลของเชื้อเพลิงผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อน ของเตาเผาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้น

Effects of Mixed Fuels on the Thermal Efficiencies of an Updraft Gasifier

คณศ อินตะ และ สุธินันท์ ศรีสัตยวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

E-mail: khante_l@hotmail.com, Sutthinan.sr@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลของเชื้อเพลิงผสมที่มีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้แบบแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้น เชื้อเพลิงชีวมวลผสมระหว่างถ่าน 4 ชนิด (#1 #2 #3 และ #4) และแกลบจะถูกนำมาศึกษา โดยนำเชื้อเพลิงถ่านแต่ละชนิดและแกลบมาผสมกันในอัตราส่วน 100:0 70:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยมีน้ำหนักสุทธิของเชื้อเพลิงผสม 0.5 กิโลกรัม และปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 30 45 60 และ 75 ลิตรต่อนาที เพื่อสังเกตค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้แก๊สผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผา และแรงดันสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงถ่านที่มีขนาดต่างกันส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพแตกต่างกัน โดยถ่าน #2 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงที่สุดคือ 47.9% และเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านและแกลบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนผสมระหว่างถ่าน #2 กับแกลบในอัตราส่วน 75:25 โดยมวล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นที่ 49.5%

คำสำคัญ: แก๊สซิไฟเออร์; ถ่าน; แกลบ; ชีวมวล

Abstract

This research presents the effects of the mixed fuels on the combustion characteristics of an updraft gasifier. The mixed fuels of biomass between the charcoals (#1, #2, #3 and #4) and the rice husk were studied. The charcoal and the rice husk were mixed at the ratio of 100:0, 70:25, 50:50, 25:75 and 0:100 by net weight of the mixed fuels at 0.5 kilograms per batch. Then the flow rate of air was varied of 30, 45, 60 and 75 LPM. The heat value obtained from the combustion of the product gas and the temperature in the combustion zone of the furnace and the pressure drop of air flowing through the fuel layer were investigated.

The experimental results show that the charcoal at different sizes cause different efficiency values. The charcoal #2 illustrates the highest combustion efficiency, which is 47.9%. The mixed fuel biomass between charcoal and rice husk can significantly increase

the efficiency of an updraft gasifier. The mixture of the charcoal #2 and the rice husk at the ratio of 75:25 by weight can improve the combustion efficiency of 49.5%.

Keywords:  gasifier; coal; rice husk; biomass

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสมัยใหม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีพลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนเทคโนโลยีให้ก้าวไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งความต้องการพลังงานสะอาดเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกัน เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีแนวโน้มว่ากำลังจะหมดลงในอีกไม่เกิน 50 ปี [1] การวิจัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกด้วยการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาแทนที่เชื้อเพลิงจากฟอสซิลจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ จากข้อมูลเชิงสถิติชี้ให้เห็นว่าเชื้อเพลิงชีวมวลถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงปี พ.ศ.2551 ถึง พ.ศ.2560 พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลได้ถูกนำมาใช้เพิ่มขึ้นถึง 2.9 เท่า [2] อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวมวลยังไม่เป็นที่นิยมใช้และแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่อนข้างต่ำ และไม่สะดวกต่อการใช้งานเหมือนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล

การแปรสภาพจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแก๊สด้วยเทคโนโลยีที่เรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นเทคนิคการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีค่าความร้อนประมาณ 4-5 MJ/m³ ด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายใต้อุณหภูมิสูงในช่วง 600-950 oC แบบจำกัดอากาศ [3] โดยทั่วไปแล้วกระบวนการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบหลัก คือ แบบฟิक्ซ์เบด (Fixed bed) และแบบฟลูอิดไซ์ (Fluidized bed) ทั้งนี้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชัน จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ควรมีค่าความร้อนสูงแต่น้ำมันดินต่ำ [4] จากข้อมูลการวิจัยพบว่า

คุณภาพของแก๊สผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวล (ขนาด ความหนาแน่น และส่วนประกอบย่อยของเชื้อเพลิงชีวมวล) และปัจจัยในกระบวนการเผาไหม้ เช่น ปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศ อุณหภูมิ เตาที่ใช้เผา และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง [5,6]

ประเทศไทยมีเชื้อเพลิงแกลบเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อนำมาเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชัน จะได้น้ำมันดินเป็นส่วนประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง [7] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เตาเผาแบบฟิक्ซ์เบดแบบไหลขึ้น ในขณะที่เชื้อเพลิงถ่านจะให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และมีปริมาณน้ำมันดินต่ำ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงถ่านจะให้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่น้อยเมื่อถ่านมีขนาดใหญ่ [8] ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแกลบและถ่านจะพบว่ามีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 การนำเชื้อเพลิงถ่านและแกลบมาผสมกัน อาจช่วยให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชันดีขึ้น ดังนั้น การศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านและแกลบเพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงถ่านและแกลบที่ส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีคุณภาพดี และปริมาณมาก จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและท้าทาย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงถ่านและแกลบ [7,8]

รายละเอียด	ถ่าน	แกลบ
Ash	0.57	17.6
Moisture	2.30	8.5
LHV (MJ/kg)	25.9	13.6
Carbon	91.60	36.0
Oxygen	-	41.0
Hydrogen	2.68	5.0
Nitrogen	0.38	0.31
Sulphur	0.02	0.05



2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

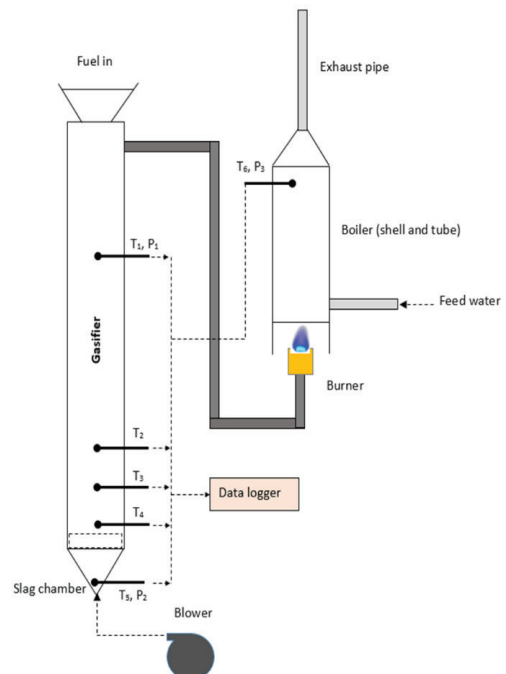
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

จากข้อมูลองค์ประกอบและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงถ่านและแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่า แกลบจะมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง ดังนั้นการเผาไหม้แบบ แก๊สซิฟิเออร์แบบไหลขึ้นจะถูกเลือกใช้ในการศึกษาและสังเกตพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมระหว่าง ถ่านและแกลบ เนื่องจากสามารถผลิตแก๊สผลิตภัณฑ์ ได้มาก และใช้ได้กับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงได้สูงถึง 30% [5] ภาพที่ 1 แสดงแผนผังส่วนประกอบของ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยออกแบบห้องเผาไหม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิอยู่ 5 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 เป็นจุดที่อยู่สูงจากตะแกรง 30 ซม. ตำแหน่งนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนอบแห้ง ตำแหน่งที่ 2 เป็นจุดที่อยู่สูงจากตะแกรง 12 ซม. ตำแหน่งนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนไฟโรไลซิส ตำแหน่งที่ 3 เป็นจุดที่อยู่สูงจากตะแกรง 8 ซม. ตำแหน่งนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนรีดักชัน ตำแหน่งที่ 4 เป็นจุดที่อยู่สูงจากตะแกรง 5 ซม. ตำแหน่งนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ และตำแหน่งที่ 5 เป็นจุดที่อยู่ด้านล่างของตะแกรง 10 ซม. ตำแหน่งนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าโซนเผาไหม้ โดยในส่วนที่ 5 จะใช้พัดลมเป็นอุปกรณ์ควบคุมปริมาณอากาศสำหรับป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยจะควบคุมให้มีอัตราการไหลอยู่ที่ 30 45 60 และ 75 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะส่งผลให้เกิดค่าแรงดันสูญเสียในเชื้อเพลิงผสมแต่ละชุดที่แตกต่างกัน ซึ่งทำการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ มาโนมิเตอร์สำหรับอ่านค่าแรงดันตำแหน่งที่ P1 และ P2 และส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้ในการประเมินหาค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแก๊สผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วยหม้อไอน้ำ หัวเผา และอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและแรงดัน

ซึ่งอุปกรณ์หม้อต้มน้ำจะใช้น้ำปริมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อประเมินหาค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จากสมการที่ (1) นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ระหว่างทำการทดลอง เช่น ชุดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

ตารางที่ 2 รายละเอียดข้อมูลที่บันทึก

สัญลักษณ์	ตำแหน่งการวัด
T_1	ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนอบแห้ง
T_2	ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนไฟโรไลซิส
T_3	ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนรีดักชัน
T_4	ตรวจวัดอุณหภูมิในโซนเผาไหม้
T_5	ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าโซนเผาไหม้
P_1	ตรวจวัดแรงดันอากาศทางออกเตา
P_2	ตรวจวัดแรงดันอากาศทางเข้าเตา
P_3	ตรวจวัดแรงดันในหม้อต้มน้ำ



ภาพที่ 1 แสดงชุดทดสอบเตาเผาแบบแก๊สซิฟิเออร์

2.2 การประเมินประสิทธิภาพทางความร้อน

ประสิทธิภาพความร้อนของการเผาไหม้แบบ แก๊สไฟเออร์ สามารถประเมินได้จากการเผาไหม้แก๊ส ผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการการต้มน้ำ (Water Boiling Test, WBT) [9] เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงาน ความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดย คำนวณจากปริมาณน้ำที่หายไปในหม้อต้ม และความร้อนที่จะประเมินจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (1)

$$\eta = \frac{M_{w,i} \times C_p \times (T_b - T_i) + M_{w,vap} \times H_i}{M_f \times H_f} \times 100 \quad (1)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้
 $M_{w,i}$ คือ น้ำหนักของน้ำก่อนต้ม (kg)
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ
 4.186 kJ/kg-(°C)
 $M_{w,vap}$ คือ น้ำหนักของน้ำที่หายไป (kg)
 M_f คือ น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)
 T_b คือ อุณหภูมิขณะน้ำเดือด (°C)
 T คือ อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม (°C)
 H_i คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ
 2,257 kJ/kg
 H_f คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงถ่าน
 25,985 kJ/kg และค่าความร้อน
 เชื้อเพลิงแกลบ 13,640 kJ/kg

เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพของเตาแก๊สไฟเออร์ได้โดยตรง เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับอุปกรณ์การวัดแก๊ส ดังนั้นค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณข้างต้นจะรวมประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำไปด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบหาประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำ โดยใช้แก๊สทุ้งต้มให้ความร้อนแทน พบว่าค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำคือ 67.5% ดังนั้นค่าประสิทธิภาพที่สูญเสียในหม้อต้มน้ำคือ 32.5%

ตารางที่ 3 การแบ่งขนาดถ่านที่ใช้ในการทดสอบ [มาตรฐาน ASTM E:11]

ชนิดเชื้อเพลิง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
ถ่าน #1	0.01 ถึง 6.30	360
ถ่าน #2	6.30 ถึง 12.50	330
ถ่าน #3	12.50 ถึง 25.00	290
ถ่าน #4	25.00 ถึง 50.00	220
แกลบ	2.00 ถึง 3.00	150

ตารางที่ 4 รายละเอียดสัดส่วนของเชื้อเพลิงผสม

รายละเอียดส่วนผสม	ถ่าน (kg)	แกลบ (kg)
เชื้อเพลิงผสม 1	0.375	0.125
เชื้อเพลิงผสม 2	0.250	0.250
เชื้อเพลิงผสม 3	0.125	0.375

2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการเตรียมชุดทดลองดังแสดงในภาพที่ 1 และเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบดังต่อไปนี้
 - แบ่งขนาดของถ่านเป็น 4 ขนาด ตามเบอร์ดังแสดงในตารางที่ 3
 - ชั่งน้ำหนักของถ่านแต่ละเบอร์จำนวน 0.5 กิโลกรัม
2. ทำการนำเชื้อเพลิงถ่าน #1 ป้อนเข้าด้านบนของเตาเผาและเริ่มบันทึกข้อมูลแรงดัน และอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ
3. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ป้อน 30 ลิตรต่อนาที
4. เริ่มจุดเตาและรอจนกระทั่งเชื้อเพลิงไหม้จนหมด จึงทำการตรวจวัดปริมาณน้ำในหม้อต้มที่หายไป และนำค่าที่ได้ไปใช้คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงการเผาไหม้ ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (1)
5. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 แต่เปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านเป็น #2 #3 และ #4 และทดสอบเชื้อเพลิงผสม 1 2 และ 3 ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

6. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 แต่ปรับอัตราการไหลของอากาศป้อนเป็น 45 60 และ 75 ลิตรต่อนาที

เพื่อควบคุมคุณลักษณะของถ่านที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้เชื้อเพลิงถ่านได้จากการนำไม้ลำไยแห้งมาเผาด้วยเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ตามกรรมวิธีการผลิตถ่านของกระทรวงพลังงาน [10]

3. ผลการศึกษา

การทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านที่ใช้ในการทดสอบด้วยกระบวนการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคอร์ โดยนำเชื้อเพลิงถ่านมาคัดแยกแต่ละขนาดดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าถ่านที่มีขนาดเล็กคือ #1 นั้น ไม่มีความเหมาะสมในการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคอร์ เนื่องจากมีขนาดเล็กเกินไป ส่งผลให้เกิดแรงดันสูญเสียสูงที่สุด อากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงได้ยาก การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้เกิดแก๊สผลิตภัณฑ์น้อย นอกจากนั้นยังพบว่ามีฝุ่นละอองของเชื้อเพลิงไหลมากับแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้มาก และเมื่อพิจารณาค่าแรงดันสูญเสียของถ่าน #3 และ #4 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากขนาดของถ่านทั้งสองเบอร์มีขนาดใหญ่ อากาศจึงไหลผ่านได้ง่าย ในขณะที่ถ่าน #2 จะเกิดแรงดันสูญเสียที่ 1-2 cmH_2O สำหรับอัตราการไหล 30-75 LPM ทั้งนี้ค่าแรงดันสูญเสียของถ่านจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3



ถ่าน #1



ถ่าน #2

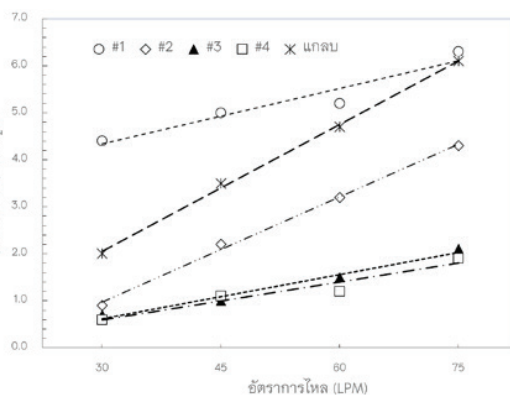


ถ่าน #3

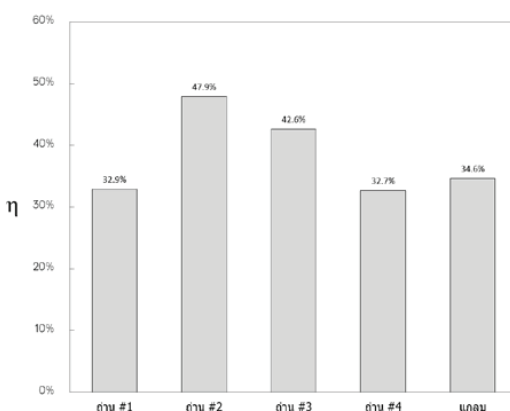


ถ่าน #4

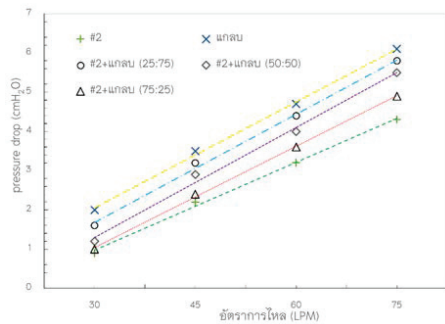
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของถ่านที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E:11



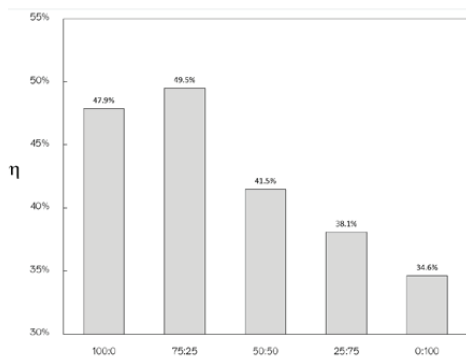
ภาพที่ 3 แสดงแรงดันสูญเสียในถ่านแต่ละเบอร์และแกลบที่อัตราการไหลต่างกัน



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเตาเผาแก๊สซิฟิเคอร์แบบไหลขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถ่านมีขนาดต่างกัน และแกลบ



ภาพที่ 5 แสดงแรงดันสูญเสียในเชื้อเพลิงผสมระหว่าง ถ่าน #2 และแก้วที่อัตราการไหลต่างกัน



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านกับแก้ว (ถ่าน : แก้ว)

ภาพที่ 4 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่าน #1 #2 #3 #4 และ แก้ว โดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศคงที่ 75 ลิตรต่อนาที จะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพของการเผา ไหม้แบบแก๊สซิไฟเออร์ของถ่านเบอร์ 2 สูงที่สุดคือ 47.9% ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ที่เหมาะสม จะส่งผลให้การไหลผ่านของอากาศที่เกิดขึ้น บริเวณเผาไหม้มีปริมาณอากาศที่จำกัด ซึ่งจะสังเกต ได้จากถ่าน #3 และ #4 มีขนาดของถ่านที่ใหญ่กว่า จะมีช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงมาก ทำให้อากาศสามารถ

ไหลผ่านได้ง่าย เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในห้องเผา ไหม้ ส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นน้อย จึงส่งผลให้ แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามไปด้วย ขณะที่ถ่าน #2 จะมีความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่พอเหมาะ คือ 330 kg/m³ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ และค่าแรงดันสูญเสียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่าน #2 และแก้วในสัดส่วน (100:0) (75:25) (50:50) (25:75) และ (0:100) ที่อัตราการไหล 30 45 60 และ 75 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าถ่าน #2 ที่ผสมกับแก้วจะมีค่าแรงดันสูญเสียเพิ่มขึ้นตาม สัดส่วนของปริมาณแก้วที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 และพบว่าเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วน 75:25 ที่อัตรา การไหลของอากาศคงที่ 75 ลิตรต่อนาที ส่งผลให้ค่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้แบบแก๊สซิไฟเออร์สูงที่สุดคือ 49.5% ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาเชื้อเพลิงแก้วอย่างเดียวจะมีค่าประสิทธิภาพเพียง 2.1% หรือ กรณีที่เผาเชื้อเพลิงถ่าน #2 อย่างเดียวจะมี ประสิทธิภาพที่น้อยกว่าคือ 47.9% และเมื่อพิจารณา อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในโซนเผาไหม้จะพบว่าปริมาณถ่านจะ ช่วยให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ส่วนเชื้อเพลิงแก้ว จะให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำ และมีระยะเวลาการเกิด แก๊สที่น้อย ดังแสดงในตารางที่ 5

ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการผสมเชื้อ เพลิงระหว่างถ่านและแก้วในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการ เผาไหม้แบบแก๊สซิไฟเออร์ได้ นอกจากนั้นยังสามารถ ลดต้นทุนของเชื้อเพลิงลงได้ เนื่องจากแก้วและถ่าน มีราคา ที่ต่างกัน โดยแก้วจะมีราคาถูก ส่วนถ่านจะ มีราคาที่ค่อนข้างแพง



ตารางที่ 5 ระยะเวลาการเผาไหม้ และอุณหภูมิเฉลี่ย ณ โซนเผาไหม้

ชนิดเชื้อเพลิง	T_1 (°C)	ระยะเวลาเผาไหม้ (นาท)
ถ่าน #2	817.3	45
ถ่าน #2 (75%)	727.3	30
ถ่าน #2 (50%)	774.4	27
ถ่าน #2 (25%)	668.7	19
แกลบ	654.9	5

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านและแกลบสำหรับการเผาไหม้แบบแก๊สซิไฟเออร์ ซึ่งให้เห็นว่าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนขึ้นได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เชื้อเพลิงถ่าน #2 ที่มีขนาดเฉลี่ย 9.4 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบแก๊สซิไฟเออร์ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ 75 ลิตรต่อนาที

2. เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่าน #2 และแกลบ ในสัดส่วน 75:25 มีค่าแรงดันสูญเสีย 4.9 cmH₂O มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาสูงที่สุดคือ 49.5% ซึ่งสูงกว่ากรณีของเชื้อเพลิงแกลบหรือเชื้อเพลิงถ่านโดยลำพัง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณบุคคลากรที่เกี่ยวข้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กษิต ศ. เสนะวงศ์ (2561). รู้ไว้ให้เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลง“พลังงาน”. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2561, จาก <http://www.pea-encom.com/index.php?mo=3&art=42138833>.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (2561) (2559). รู้ข้อมูลตัววัด “ปริมาณการใช้พลังงานทดแทน”. สืบค้น 22 มีนาคม 2562, จาก http://www.onep.go.th/env_data/2016/01_22/

[3] A. Kaupp and J.R. Goss (1981). State of the art report for small scale (to 50 kW) gas producer- engine systems, 53: 286.

[4] R. Yin, R. Liu, J. Wu, X. Wu, C. Sun, C. Wu. (2012). Influence of particle size on performance of a pilot-scale fixed-bed gasification system. Bioresour Technol, 119: 15–21.

[5] A.A.P. Susastriawana, H. Saptodib, Purnomo (2017). Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76: 989-1003.

[6] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2558 กระทรวงพลังงาน

[7] ภูสิฐ อิศระญาณพงศ์ (2543). การศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบและถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.



- [8] A. Babich, D. Senk, M. Fernandez (2010). Charcoal behaviour by its injection into the modern blast furnace. *ISIJ international* 50, 1: 81.
- [9] M. Kumar, S. Kumar, S.K. Tyagi (2013). Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26: 265-285.
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน “โครงการพัฒนาการผลิตและการใช้เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร” สืบค้น 22 เมษายน 2562, จาก http://www.dede.go.th/article_attach/op3_2.pdf
- [11] กันยาพร ไชยวงศ์ และคณะ (2560). การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สซีฟิเออร์ควบคู่กับการผลิตถ่านชีวภาพระดับครัวเรือน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่