

การศึกษาการเผาไหม้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบฟองอากาศโดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างขี้เลื่อย อัดเม็ดและแกลบอัดเม็ด

Combustion Study of Sawdust Pellet and Rice Husk Pellet Mixture in Bubbling Fluidized Bed

ศักตินันท์ โฉแก้ว¹, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา², ชยุต นันทกุลสิทธิ์³ และกิตตินันท์ มลิวรรณ^{4*}

^{1,2,3,4*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*ติดต่อ: kittinan.m@psu.ac.th, 0-7428-7206, 0-7421-2893

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบอัดเม็ดและขี้เลื่อยอัดเม็ดในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดฟองอากาศ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ 9.8 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ในการทดลองใช้ทรายปริมาณ 500 กรัมเป็นอนุภาคหลัก โดยทรายมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และยาว 1 เซนติเมตร อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักระหว่างขี้เลื่อยอัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดที่ศึกษาคือ 100:0 0:100 75:25 50:50 และ 25:75 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 4 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยกำหนดให้ความเร็วอากาศปฐมภูมิคงที่ที่ 1.7 เมตรต่อวินาที และอากาศทุติยภูมิถูกป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 100 ลิตรต่ออนาที จากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณแกลบอัดเม็ดในเชื้อเพลิงผสมจะทำให้การกระจายตัวอุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าสม่ำเสมอขึ้น ตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุดเปลี่ยนจากระยะเหนือตะแกรงที่ 25 เซนติเมตรเป็น 45 เซนติเมตร

คำหลัก: ขี้เลื่อยอัดเม็ด, แกลบอัดเม็ด, ฟลูอิดไดซ์เบดแบบฟองอากาศ

Abstract

This research aimed to investigate the combustion of sawdust pellet and rice husk pellet mixture in bubbling fluidized bed combustor. Size of combustion chamber is 9.8 cm diameter and 120 cm in height. Five hundred grams of sand was used as bed particles. Sand particles lie within a 3 to 5 mm diameter range and its density is 1760 kg/m³. The size of fuel pellets is about 6 mm diameter and 1 mm length. The studied mixture between sawdust pellet and rice husk pellet were 100:0 0:100 75:25 50:50 and 25:75 percent by weight. The feed velocities were 4 6 and 8 kg/hr. The primary air velocity was fixed at 1.7 m/s. And, the secondary air was introduced into the chamber at fuel feed point with the constant volume velocity of 100 l/m. The results shown that when amount of rice husk pellet in mixture increased, the combustion temperature distributed more uniform. The maximum temperature point changed from 25 cm to 45 cm above the combustor fluidizing grid.

Keywords: sawdust pellet, rice husk pellet, bubbling fluidized bed

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากรส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความวิตกกังวลต่อปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต มีการหาวิธีแก้ปัญหานี้โดยการใช้พลังงานทางเลือกเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่เป็นที่นิยมคือ พลังงานชีวมวล เนื่องจากการใช้พลังงานชีวมวลนั้น

เป็นพลังงานที่ไม่เพิ่มปริมาณของก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลให้เกิดปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน [1-4] อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นหาได้ง่ายเพราะเป็นส่วนที่เหลือจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้ เชื้อเพลิงชีวมวลต่างชนิดกันสามารถผสมกันได้ และสามารถผสมเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้นต่ำได้ แต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวมวลก็ยังมีข้อเสีย คือ

เชื้อเพลิงบางชนิดอาจจะมีโพแทสเซียมในปริมาณสูง ส่งผลให้เกิดเถ้าหลอมในห้องเผาไหม้ จึงได้มีการศึกษาการใช้ดินขาวลดปัญหาของการหลอมของเถ้าส่งผลให้เกิดตะกรัน[5] สำหรับเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่น่าสนใจสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล คือ ฟลูอิดไดซ์เบด เนื่องจากสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายได้ [6] และการเติมอากาศทุติยภูมิเข้าไปในระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดปริมาณก๊าซไอเสียได้ [7-8] สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรู อากาศทุติยภูมิสามารถเติมไปพร้อมกับเชื้อเพลิงเพื่อช่วยป้องกันการเกิดเปลวไฟย้อนกลับไปติดเชื้อเพลิงในถังเก็บได้ [9]

ชีเลื่อยซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เพราะมีความชื้นต่ำและค่าพลังงานความร้อนสูง [10] แต่เนื่องจากมีค่า bulk density ต่ำและปริมาณสารละลายสูง จึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้เร็ว [11] แต่การอัดเม็ดชีเลื่อยจะสามารถแก้ปัญหา bulk density ที่ต่ำได้ ส่วนเชื้อเพลิงที่น่าสนใจอีกชนิด คือ แกลบ [12-13] แต่เมื่อเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงเถ้าของแกลบซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบจะเกิดการรวมตัวเป็นก้อน จึงต้องใช้ทรายเป็นเบดเพื่อลดการเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน [14]

ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบฟองอากาศโดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างชีเลื่อยอัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเผาไหม้ เพราะเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดสามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เชื้อเพลิง

การศึกษากการเผาไหม้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบฟองอากาศใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างชีเลื่อยอัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และยาว 1 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนผสม ดังนี้ ชีเลื่อยอัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ แกลบอัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ ชีเลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ดที่สัดส่วน 75:25 50:50 และ 25:75 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงทั้ง 5 อัตราส่วน แสดงในรูปที่ 1 โดยในแต่ละอัตราส่วนจะป้อนที่อัตรา 4 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความหนาแน่นของชีเลื่อยอัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดมีค่าเป็น 1,171 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 1,040

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชีเลื่อยอัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนของชีเลื่อยอัดเม็ดสูงกว่าแกลบอัดเม็ด แต่เถ้าจะมีมากในแกลบอัดเม็ด



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเชื้อเพลิง 5 สัดส่วน (a. ชีเลื่อยอัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ b. แกลบอัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ c. ชีเลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 75:25 เปอร์เซ็นต์ d. ชีเลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 50:50 เปอร์เซ็นต์ e. ชีเลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 25:75 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบละเอียดของแกลบอัดเม็ดและชีเลื่อยอัดเม็ด (Ultimate Analysis)

	ชีเลื่อยอัดเม็ด	แกลบอัดเม็ด
Carbon	46.277	37.102
Hydrogen	5.524	5.137
Nitrogen	0.126	0.506
Oxygen	36.414	34.037
Sulfur	0.010	0.010
Ash	1.280	15.699
Moisture	10.37	7.510
HHV(MJ/kg)	17.99	14.89

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณของแกลบอัดเม็ดและชีเลื่อยอัดเม็ด (Proximate Analysis)

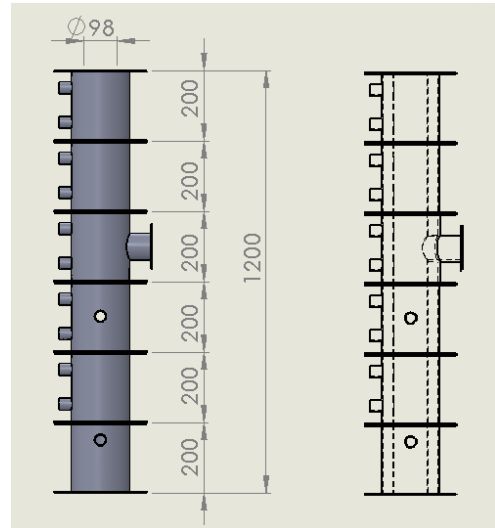
	ชีเลื่อยอัดเม็ด	แกลบอัดเม็ด
Volatile Matter	75.341	62.535

Fixed Carbon	13.009	14.256
Ash	1.280	15.699
Moisture	10.37	7.510

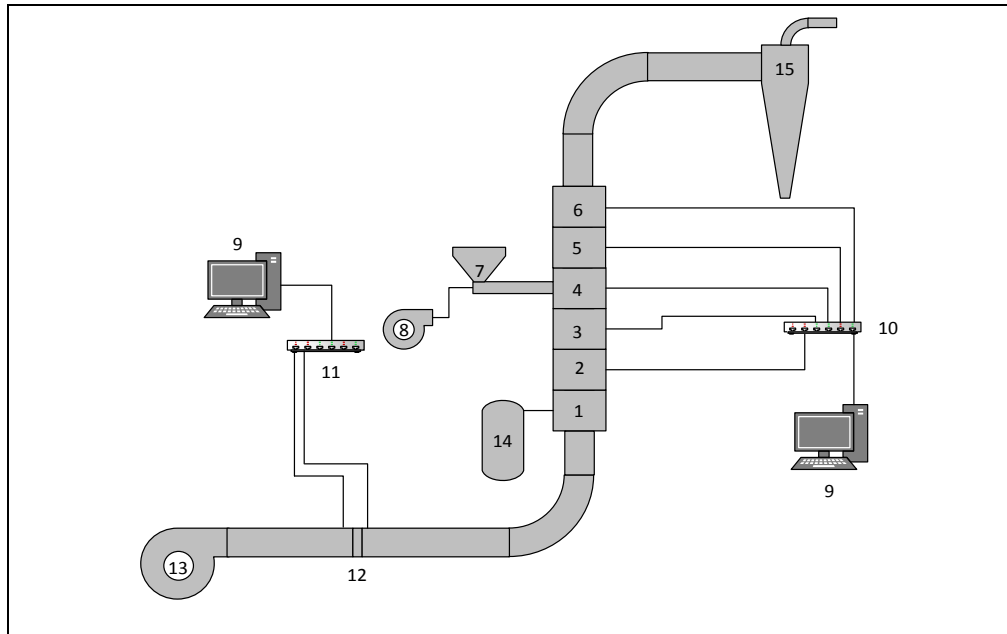
2.2 ชุดทดลอง

ส่วนประกอบของชุดทดลองเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบพองอากาศแสดงดังรูปที่ 2

ลักษณะของห้องเผาไหม้แสดงดังในรูปที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.8 เซนติเมตร และสูง 120 เซนติเมตร โดยแบ่งเป็น 6 ชั้น แต่ละชั้นมีความสูงชั้นละ 20 เซนติเมตร ซึ่งห้องเผาไหม้นั้นจะถูกออกแบบให้มีช่องว่างระหว่างผนังท่อด้านในกับผนังท่อด้านนอกกว้าง 2.54 เซนติเมตร และภายในช่องว่างบรรจุเซรามิกไฟเบอร์เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน



รูปที่ 3 แสดงลักษณะห้องเผาไหม้



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ชุดทดลองฟลูอิดไดซ์เบดแบบพองอากาศ (1,2,3,4,5,6 bed 7. Feeder 8. Blower 9. Computer 10. Data logger 11. Pressure Sensor 12. Orifice 13. High pressure blower 14. Burner 15. Cyclone)

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มจากการอุ่นเบดที่มีทราย 500 กรัม (ทรายมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และเชื้อเพลิง 500 กรัมอยู่ภายในให้มีอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการป้อนเชื้อเพลิงและเปิดพัดลมเป่าอากาศ

(High pressure blower) โดยค่อยๆเพิ่มความเร็วของอากาศ ที่ไหลผ่านตะแกรงเบดขนาด 2 มิลลิเมตร จนมีความเร็วอากาศปฐมภูมิที่ 1.7 เมตรต่อวินาที เพื่อให้ทรายและเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้อยู่ในสภาวะการเคลื่อนที่แบบพองอากาศ และป้อนอากาศทุติยภูมิไปพร้อมกับเชื้อเพลิงที่อัตราการไหล 100 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าคงที่ในทุกการทดลอง

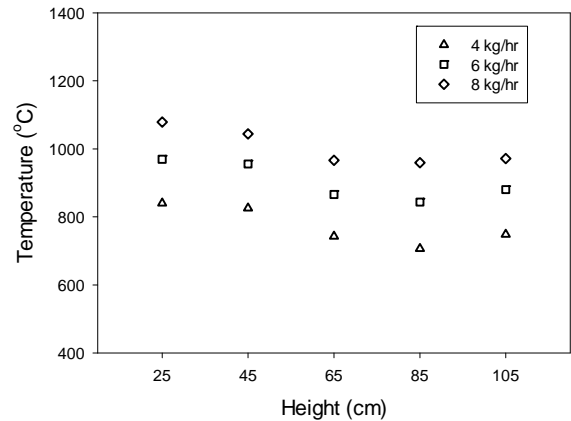
อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณต่างๆและเก็บค่า ประกอบไปด้วย Pressure Sensor รุ่น MPXV5004DP 3.92 kPa (0-400 mm H₂O) 1-4.9 volt output สำหรับวัดค่าความดันตกคล่อม orifice โดยใช้ USB DAQ 6008 National Instrument เป็นตัวรับค่าและแปลงสัญญาณ โดยมีโปรแกรม Labview SignalExpress 2013 เป็นตัวแสดงผลและบันทึกผลสำหรับอุณหภูมิ อ่านค่าด้วย thermocouple ชนิด k และบันทึกผลด้วย Data logger รุ่น WISCO 210L ส่วนอุณหภูมิไอเสีย ปริมาณก๊าซ CO NO_x และ SO₂ ใช้เครื่อง Testo 350 xl บันทึกผล

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมซีลี้อยัดเม็ดและแกลบอัดเม็ดในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบพองอากาศ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ไอเสีย และปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

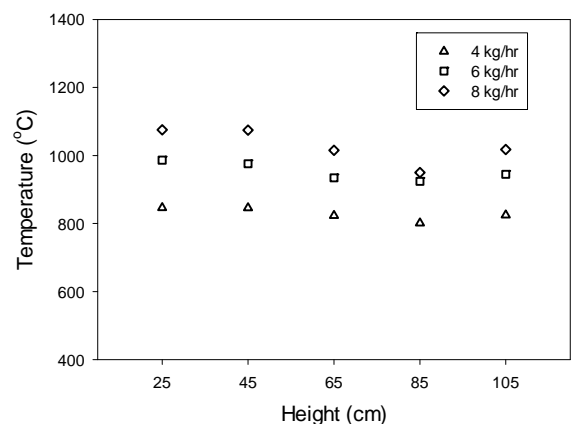
3.1 อุณหภูมิ

การกระจายตัวอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสม 5 อัตราส่วน ที่อัตราการป้อน 4 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4-7 จากรูปที่ 4 ซีลี้อยัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อน 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิเผาไหม้สูงสุด 840 องศาเซลเซียส ที่ระดับความสูงเหนือตะแกรง 25 เซนติเมตรและลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศทุติยภูมิถูกป้อนไปพร้อมกับเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งเหนือตะแกรง 50 เซนติเมตร จึงทำให้ที่บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลง และจะเพิ่มขึ้นช่วงปลายของห้องเผาไหม้ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเป็น 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 970 และ 1,080 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความสูงของห้องเผาไหม้เหมือนกับอัตราการป้อน 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



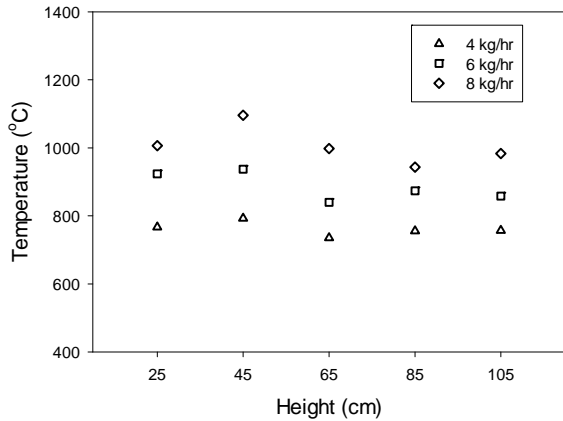
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากตะแกรงของเชื้อเพลิงซีลี้อยัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์

กรณีซีลี้อยัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ดที่อัตราส่วนผสม 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อมีแกลบอัดเม็ดเป็นส่วนผสมส่งผลให้ตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 5 สำหรับอัตราการป้อน 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดย อุณหภูมิสูงสุดเท่ากันคือ 846 องศาเซลเซียส ที่ระดับความสูงเหนือตะแกรง 25 และ 45 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความสูงเหนือตะแกรง 25 และ 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิ 986 และ 976 องศาเซลเซียส และ 1075 และ 1074 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ การกระจายตัวของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งใกล้เคียงกันยกเว้นบริเวณที่มีการใส่อากาศทุติยภูมิที่มีอุณหภูมิลดลงเล็กน้อย

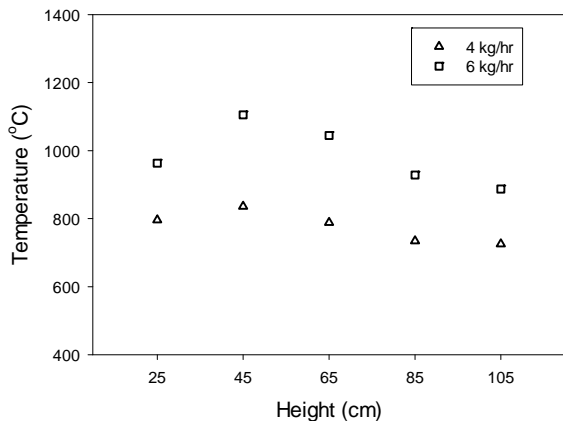


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากตะแกรงของเชื้อเพลิงซีลี้อยัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 75:25 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบอัดเม็ดเป็นอัตราส่วน 50:50 และ 25:75 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ตำแหน่งของอุณหภูมิสูงสุดเปลี่ยนไป โดยอุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงที่ระยะ 25 เซนติเมตรเหนือตะแกรง และเพิ่มขึ้นที่ระยะ 45 และ 65 เซนติเมตรเหนือตะแกรง



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากตะแกรงของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 50:50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากตะแกรงของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 25:75 เปอร์เซ็นต์

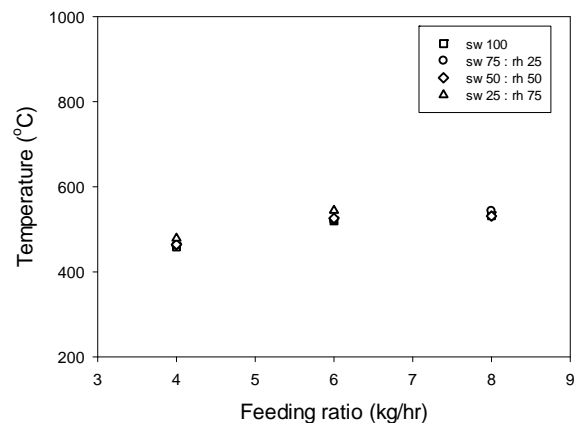
เนื่องจาก bulk density ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน โดยขี้เลื่อยอัดเม็ดมีค่า bulk density ที่มากกว่า ทำให้เมื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะตกลงเหนือตะแกรงและเกิดการเผาไหม้บริเวณนั้น ส่งผลให้อุณหภูมิเผาไหม้มีค่าสูงที่ตำแหน่งแรกซึ่งอยู่เหนือตะแกรง 25 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4 เมื่อผสมขี้เลื่อยอัดเม็ดกับแกลบอัดเม็ดที่มีค่า bulk density ที่ต่ำกว่า มีขนาดแท่งที่สั้นกว่า และแตกหักได้ง่ายกว่า ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้แกลบอัดเม็ดได้ง่ายกว่าขี้เลื่อยอัดเม็ด จึงทำให้มีการ

กระจายตัวของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันตลอดระยะตั้งแต่ตะแกรงจนถึงตำแหน่งที่มีการป้อนเชื้อเพลิง ทำให้ตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุดเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 5 ถึง 7

สำหรับการทดลองที่อัตราการป้อน 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ไม่สามารถบันทึกผลการทดลองได้เนื่องจากปัญหาการรวมตัวเป็นก้อนของเถ้าจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการอุดตันภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 13

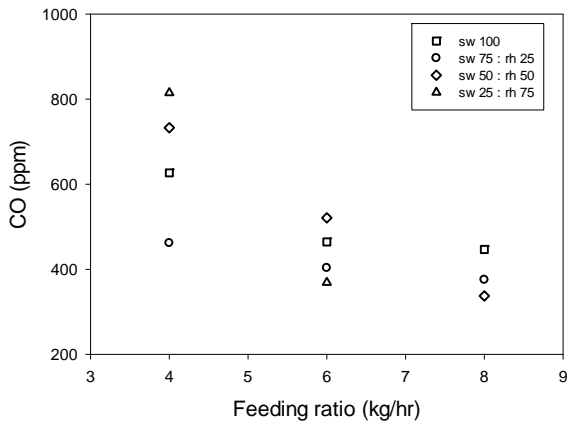
3.2 ไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแกลบอัดเม็ดและอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 8 อุณหภูมิไอเสียอยู่ระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนจาก 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็น 6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันที่อัตราการป้อน 6 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

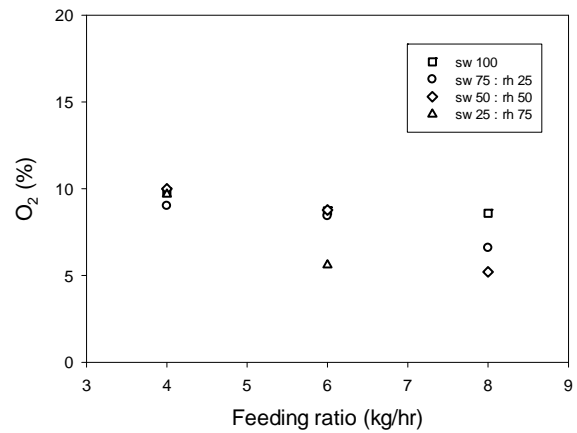


รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมต่างๆ

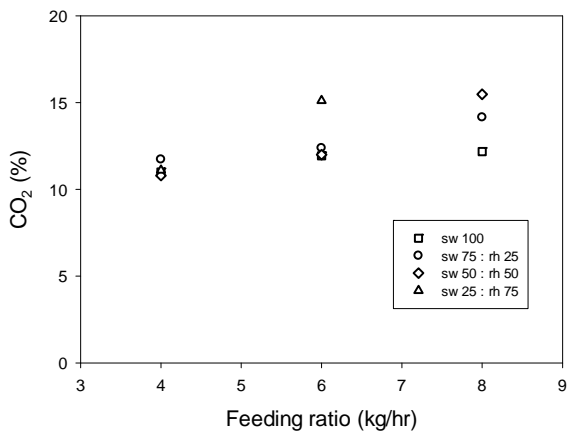
จากรูปที่ 9-12 พบว่าเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น จากผลของปริมาณ CO₂ ที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณ CO และ O₂ ลดลง สำหรับการทดลอง อากาศส่วนเกินอยู่ในช่วง 100-300% ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศส่วนเกินก็ลดลง การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นจะทำอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นและค่า NO_x ก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ปริมาณ CO และ NO_x ในไอเสียเพิ่มขึ้นเมื่อผสมแกลบอัดเม็ดมากขึ้น



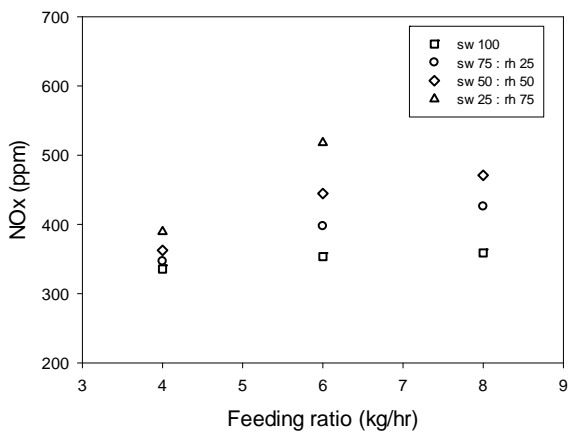
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ O₂ และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ CO₂ และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ NO_x และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมต่างๆ

3.3 เถ้า

จากการศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซีลี้อยัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 5 อัตราส่วนผสม พบว่าปริมาณของเถ้าจะเพิ่มขึ้นจาก 2 กรณี คือเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อน และเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแกลบ ดังตารางที่ 3 ที่อัตราการป้อนเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบ เป็น 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณของเถ้ามีค่าใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 2 พบว่าในองค์ประกอบทางเคมีของแกลบอัดเม็ดจะพบเถ้าสูงถึง 15.699 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างจากซีลี้อยัดเม็ดที่มีปริมาณเถ้าเพียง 1.280 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแกลบอัดเม็ดจึงเป็นตัวกำหนดปริมาณของเถ้าที่พบ

ตารางที่ 3 ปริมาณของเถ้า

เชื้อเพลิง (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณเถ้า (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	
ซีลี้อยัดเม็ด	100	4 kg/hr	0.2100
		6 kg/hr	0.3400
		8 kg/hr	0.4596
ซีลี้อยัดเม็ด : แกลบอัดเม็ด	75:25	4 kg/hr	0.4260
		6 kg/hr	0.9348
		8 kg/hr	1.1640
	50:50	4 kg/hr	0.6085
		6 kg/hr	0.8328
		8 kg/hr	1.1568
	25:75	4 kg/hr	0.5064

		6 kg/hr	0.8496
		-	-
แกลบอัดเม็ด	100	-	-
		-	-
		-	-

สำหรับเชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 25:75 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อน 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเชื้อเพลิงแกลบอัดเม็ด 100 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการป้อน 4 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ไม่สามารถบันทึกผลการทดลอง ได้เนื่องจากเกิดการจับตัวเป็นก้อนของเถ้า ส่งผลทำให้ห้องเผาไหม้เกิดการอุดตัน โดยลักษณะของการรวมตัวเป็นก้อนของเถ้าแสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงลักษณะการรวมตัวเป็นก้อนของเถ้า

4. สรุป

จากการศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมแกลบอัดเม็ด 5 อัตราส่วนผสม ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์แบบบดผงอากาศโดยใช้ อัตราการป้อน 4 6 และ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเร็วการไหลอากาศปฐมภูมิ 1.7 เมตรต่อวินาที เมื่อเพิ่มปริมาณของแกลบอัดเม็ดเป็น 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุดเปลี่ยนจากระยะเหนือตะแกรงที่ 25 เซนติเมตรเป็น 45 เซนติเมตร และอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลอง และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ประจำภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำปรึกษาแนะนำ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.O. Hall, F. Rosillo-Calle, R.H. Williams, J. Woods, Biomass for Energy : Supply Prospects. Washington DC, 1993.
- [2] J. Golddemberg, T.B. Johanson, World Energy Assessment. Overview 2004 Update, United Nation Development Programme, New York, USA,2004
- [3] M. Junginer, E. de Visser, K. Hjort-Gregersen, J. Koornneef, R. Raven, A. Faaji, et al., Technological learning in bioenergy systems, *Energy Policy* 34 (18) (2006) 4024-4041.
- [4] C.N. Hamelinck, R. A. A. Suurs, A. P. C. Faaij, International bioenergy transport costs and energy balance, *Biomass and Bioenergy* 29 (2005) 114-134.
- [5] สุขสวัสดิ์ คิงกล้า และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์, ผลกระทบและแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดฟาว์ลิงบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากเผาไหม้วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้นบันได,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
- [6] A. A. Khan, W. de Jong, P. J. Jansens, H. Spliethoff. Biomass Combustion in Fluidized bed Boilers : Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology* 90 (2009) 21-50.
- [7] Presto, F., J. Anthony, E. D. L. Desai and F. D. Friedrich. Combustion trials of rice hulls in a pilot-scale fluidized bed, *Proc. Int. Conf. Fluid. Bed Combust.* (1987) 1123-1127.
- [8] Bhattacharya, S. C. and Wu, W. Fluidized-bed combustion of rice husk for disposal and energy recovery. *Energy from Biomass and Wastes XII.* (1989).
- [9] เรืออากาศเอกธีรชัย สายแก้ว (2552). ผลของชนิดชีวมวลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์แบบหมุนเวียน
- [10] Feng Duan, Jian Liu, Chien-Song Chyang, Chun-Hsuan Hu, Jim Tso. Combustion behavior and pollutant emission characteristics of RDF

(refuse derived fuel) and sawdust in a vortexing fluidized bed combustor. *Energy*. (2013) 421-426.

[11] J. Werther, M. Saenger, E.-U. Hartge, T. Ogada, Z. Siagi. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science* 26 (2000) 1–27.

[12] L. Armesto, A. Bahillo, K. Veijonen, A. Cabanillas, J. Otero. Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed. *Biomass and Bioenergy* 23 (2002) 171 – 179.

[13] Feng Duan, Chien-Song Chyang, Chien-Wei Lin, Jim Tso. Experimental study on rice husk combustion in a vortexing fluidized-bed with flue gas recirculation (FGR). *Bioresource Technology* 134 (2013) 204–211.

[14] Bartels M, Vermeer B, Nijenhuis N, van Ommen R, Kapteijn F. Towards selective agglomeration detection in fluidized beds using advanced signal analysis methods. In: Bi X, Berruti F, Pugsley T, editors. *Fluidization XII, engineering conferences international*; 2007. p. 441–8.