

ผลกระทบของสัดส่วนการผสมฟางข้าวร่วมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้
ในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้น ต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Effect of Blending Ratios Between Rice Straw and Rice Husk Fuel Combustion in A Step
Grate-Fired Combustor on Heat Exchange Ability of Superheated Steam Tube

สรารุณ สวรรกาญจน์^{1*}, ฐานิตย์ เมธิยานนท์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10530

*ติดต่อ: E-mail: Sungworagan6@hotmail.com โทร 02-988-3655 ต่อ 3107

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการผสมฟางข้าวร่วมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันไดขนาดพิกัด 150 kW_{th} ที่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลอง โดยมีเงื่อนไขสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงแกลบ:ฟางข้าว ดังนี้ 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 35-40 kg/h ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% อุณหภูมิเหนือเบดมีค่าอยู่ในช่วง 850-900 °C และอุณหภูมิของแก๊สเผาไหม้ที่เข้าปะทะท่อไอน้ำจำลองอยู่ในช่วง 750-800 °C ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการรับความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดลงในช่วง 10-20 % เมื่อใช้สัดส่วนเชื้อเพลิงแกลบ:ฟางข้าว 60:40 และ 50:50 สำหรับการเกาะตัวของอนุภาคบริเวณท่อไอน้ำจำลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของฟางข้าวมีค่ามากขึ้น โดยอนุภาคที่เกาะคิดเป็นฟลักซ์ของการเกาะตัว (deposit flux) เท่ากับ 6, 38, 61 และ 75 g/m²h เมื่อมีสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงแกลบ:ฟางข้าว 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ นอกจากนี้ไม่พบการหลอมและจับตัวเป็นก้อนของถ่านในตะกรับ

คำหลัก: ฟางข้าว; แกลบ; เตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้น และ ชีวมวล

Abstract

This research presents the effects of rice straw-blending ratios in firing of the rice husk in a 150 kW_{th} step grate-fired combustor on the heat uptake and the formation of fouling on simulated superheater tube (probe). The ratios of the rice straw:rice husk are 80:20, 70:30, 60:40 and 50:50 by weight. The fuel feed rate and the excess air were 35-40 kg/h and 50% respectively. The combustion temperatures ranging 850-900 °C were controlled, corresponding the up-stream gas temperatures in the range 750-800 °C. The results shown that the heat uptake on the probe was reduced to 10-20% when the blending ratios were 60:40 and 50:50. The formation of fouling on the probe was increased when the rice straw increased. The deposition flux were 6, 38, 61 และ 75 g/m²h when the blending ratio were 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 respectively. Finally, the sintering and slagging problems were not found in the grate of the combustor.

Keywords: rice straw; rice husk; step grate-fired combustor and biomass

AEC-20

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลได้ส่งเสริมให้มีการใช้ชีวมวลเพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล จำพวกน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา หรือถ่านหินที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มของราคาที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้นั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบเช่น การเผาไหม้โดยตรง หรือ การผลิตเป็นไบโอแก๊ส และไบโอดีเซล แต่ส่วนใหญ่ก็นำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้โดยตรงเพราะสะดวกและมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรในประเทศไทยนั้นมีหลากหลายชนิดได้แก่ แกลบ ชี้อย่าง ฟางข้าว ทะลายปาล์ม และซังข้าวโพด ฯลฯ อย่างไรก็ตามชีวมวลที่กล่าวมาข้างต้นไม่ได้มีศักยภาพในการใช้งานเท่าเทียมกันทุกชนิด เพราะอาจมีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณที่เหลือในแต่ละฤดูกาล ฟางข้าวเป็นวัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าวประมาณ 15.69 ตัน/ปี มีค่าความร้อนสูงสุด 15.21 MJ/kg ซึ่งมีการนำไปใช้น้อยมาก[1] ดังนั้นจึงเป็นโอกาสดีหากจะนำฟางข้าวเหล่านี้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

จากงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ พบว่า ฟางข้าวชนิดต่างๆ มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เมื่อนำมาเผาไหม้จะประสบปัญหาทางด้านเทคนิคที่ตามมาจากการใช้ฟางข้าวอาจทำให้โรงงานต้องหยุดเดินระบบ (shut-down) ทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำซึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกเกาะชุดทำให้น้ำส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำต่ำลง (fouling) และปัญหาการติดขัดของชุดขับเคลื่อนเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ จากการหลอมตัวของเถ้าบนตะกรับ (sintering และ slagging) โดยปัญหาเหล่านี้เกิดจากสารประกอบบางส่วนในเชื้อเพลิงชีวมวลคือ Potassium (K) Chlorine (Cl) และ Sulfur (S) [2-3] เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้สารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 750 °C จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว

จากการวิจัยเบื้องต้น พบว่า การนำฟางข้าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเผาไหม้ฟางข้าวได้อย่างต่อเนื่อง จึงแก้ปัญหาโดยการนำฟางข้าวมาเผาไหม้ร่วมกับแกลบ เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนเชื้อเพลิง

และคาดว่าจะการเผาไหม้แกลบจะไม่ส่งผลกระทบต่อการเกาะตัวของอนุภาคบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลอง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการผสมฟางข้าวร่วมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้น ต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลอง และการเกาะตัวของอนุภาคบนผิวท่อ

2. วัตถุประสงค์ในการทดลองและการทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือฟางข้าวแห้งที่ใช้เลี้ยงสัตว์ โดยนำมาผ่านกระบวนการสับให้มีความยาวประมาณ 3-5 cm สำหรับแกลบที่ใช้นำมาจากโรงสีข้าวทั่วไป ดังรูปที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 1



(ก) ฟางข้าว



(ข) แกลบ

รูปที่ 1 ลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

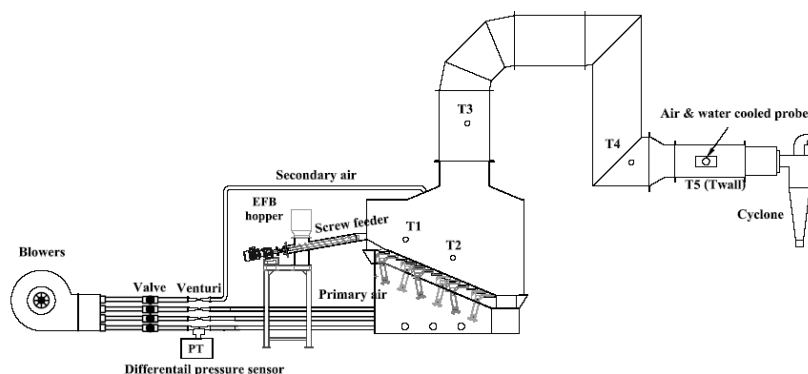
AEC-20

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

Parameter	Rice Husk	Rice Straw
Moisture(w.t%)	14.00	10.09
Proximate analysis	wt.% on dry basis	
Volatiles	55.60	69.49
Fixed Carbon	20.10	16.38
Ash	14.0	14.13
HHV (MJ/kg dry)	14.98	15.21
Ultimate analysis	wt.% on dry basis	
Carbon	38.00	28.62
Hydrogen	4.55	3.76
Oxygen	32.40	52.49
Nitrogen	0.06	0.89
Sulphur	0.69	0.09
Ash composition	wt.% on dry basis	
Si ₂ O	90.30	60.1
Al ₂ O ₃	0.17	0.00
TiO ₂	0.01	N/A
Fe ₂ O ₃	0.22	0.20
CaO	0.49	0.80
MgO	0.34	21.97
Na ₂ O	0.03	0.80
K ₂ O	2.68	10.57
P ₂ O ₅	0.54	2.45
SO ₃	0.34	N/A
Cl	N/A	0.02

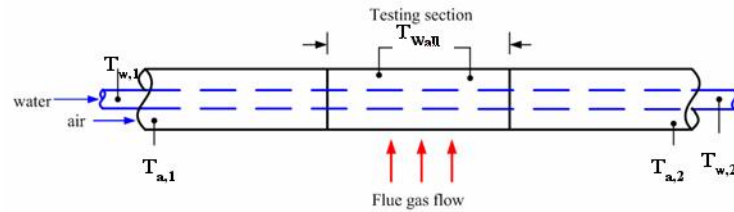
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาไหม้ตะกรับแบบชั้น เตาเผาไหม้ตะกรับแบบชั้นมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง ประมาณ 1.15×2.35×4.40 เมตร โดยมีลักษณะเป็นแบบชั้นบันได ซึ่งมีบันไดจำนวนทั้งหมด 13 ชั้นและมีใบกวาดจำนวน 12 ชุด อยู่ระหว่างชั้นบันไดแต่ละชั้น ซึ่งใบกวาดจะทำหน้าที่กวาดเชื้อเพลิงให้ตกไปยังบันไดชั้นถัดไปซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า สำหรับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาไหม้จะใช้สกรูลำเลียงจำนวน 2 ชุด ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ การจ่ายอากาศแบ่งอากาศเป็น 2 ส่วน อากาศส่วนที่ 1 (Primary air) เป็นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงบนบันได ซึ่งจะทำการแบ่งเป็น 3 ท่อ เพื่อที่จะให้ลักษณะการกระจายอากาศ เต็มพื้นที่หน้าตัดของบันไดและใบกวาด โดยอากาศเข้าห้องเผาไหม้ทางช่องระหว่างบันไดและใบกวาด และอากาศส่วนที่ 2 (Secondary air) เป็นอากาศที่เข้าไปช่วยเผาไหม้สารระเหยที่ออกจากเชื้อเพลิง ซึ่งการทำการจ่ายอากาศส่วนที่ 2 เข้าทางหลังคาห้องเผาไหม้ ส่วนนี้ถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกลำเลียงออกโดยใช้สกรูลำเลียง นอกจากนี้ ถ้าลอยที่ติดมากับแก๊สเผาไหม้นั้นจะถูกดักโดยใช้ไซโคลนในการวัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ ได้ใช้เซนเซอร์ที่ทำการสอบเทียบแล้วร่วมกับเซนเซอร์วัดความดันแตกต่าง (differential pressure transmitter) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน $\pm 3\%$ ของย่านการวัด เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ ส่วนการวัดอุณหภูมิในการทดลองจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K คู่กับอุปกรณ์แสดงผลซึ่งมีความละเอียด $\pm 1\%$ ซึ่งทำการวัด 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาไหม้ตะกรับแบบชั้น

AEC-20



รูปที่ 3 ลักษณะของ air & water cooled probe

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไข แกลบ : ฟางข้าว	อุณหภูมิ เหนือเบต (°C)	อัตราการ ป้อน (kg/h)	อากาศ ส่วนเกิน (% EA)
100:0 (อ้างอิง)	878.2 ± 26	34	50
80:20	851 ± 13	35	50
70:30	890 ± 13	37.5	50
60:40	904 ± 9	35	50
50:50	873 ± 9	35	50

ในการศึกษาความสามารถในการรับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการเกาะตัวบนผิวท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheater) จากการเผาไหม้ฟางข้าวในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้น โดยการจำลองชุดท่อรับความร้อนด้วยอากาศร่วมกับน้ำ (air & water Cooled probe) ซึ่งเป็นแบบท่อซ้อน 2 ชั้น (double pipe) ดังรูปที่ 3 โดยอากาศจะไหลในท่อชั้นนอก (ขนาด 25 มิลลิเมตร) ส่วนน้ำจะไหลในท่อชั้นในขนาด (16 มิลลิเมตร) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิผิวท่อ (T_{wall}) อยู่ในช่วง 350-400°C สำหรับท่อที่ใช้เป็นท่อไอน้ำ Sch40 ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกับท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งในหม้อไอน้ำทั่วไป การทำงานของ probe แก๊สไอเสียไหลผ่าน probe ก็จะทำให้ความร้อนไปยังอากาศและน้ำที่ไหลอยู่ภายใน สำหรับการควบคุมอุณหภูมิผิว probe จะทำโดยการควบคุมอัตราการไหลอากาศและน้ำโดยใช้วาล์วและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลด้วยโรตاميเตอร์ (Rota meter) อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงความร้อนแปลงความสามารถในการรับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะทำการวัดอุณหภูมิทางเข้า-ออก ของอากาศและน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการสมดุลพลังงานดังสมการ (1) และ (2)

ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเพื่ออุ่นเตาให้อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 800-900°C แล้วเริ่ม

ป้อนเชื้อเพลิงผสมสู่ห้องเผาไหม้ซึ่งทำการปรับอัตราการป้อนด้วยอินเวอร์เตอร์ เมื่อสภาวะการทำงานของเตาเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 60 นาที จากนั้นทำการติดตั้งท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลองการควบคุมอัตราการไหลอากาศและน้ำโดยใช้วาล์วและวัดอัตราการไหลด้วยโรตاميเตอร์ (Rota meter) แล้วเริ่มวัดค่าต่างๆ ดังนี้คือ อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของเตาเผาไหม้และอุณหภูมิเข้า-ออกของน้ำและอากาศ เพื่อนำไปคำนวณหาความสามารถในการรับความร้อน (Heat uptake) ดังสมการที่ 2 และคำนวณการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับความร้อนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ % ดังสมการที่ 3

สมการที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการรับความร้อน

$$Q_{th} = Q_w + Q_a \quad (1)$$

$$Q_{th} = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{w,out} - T_{w,in}) + \dot{m}_a c_{p,a} (T_{a,out} - T_{a,in}) \quad (2)$$

ความสามารถในการรับความร้อนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ %

$$Relative\ heatuptake(\%) = \left[\frac{Q_t}{Q_{Max}} \right] \times 100\% \quad (3)$$

กำหนดให้

Q_{th} = อัตราการรับความร้อนรวม

Q_a = อัตราการรับความร้อนของอากาศ

Q_w = อัตราการรับความร้อนของน้ำ

Q_t = อัตราการรับความร้อนรวมที่เวลาใดๆ

Q_{Max} = อัตราการรับความร้อนรวมสูงสุด

$\dot{m}_a, \dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำและอากาศ

$c_{p,a}, c_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำและอากาศ

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการผสมฟางข้าวร่วมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้น ต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไอน้ำ

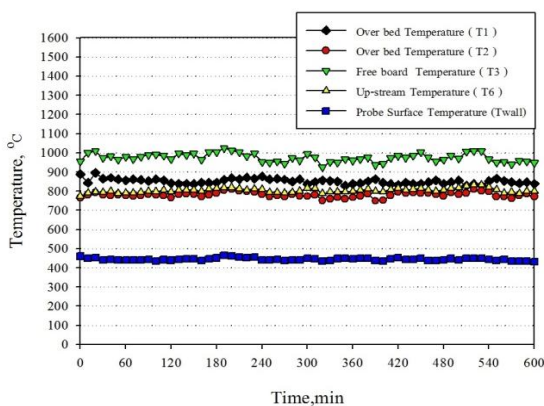
AEC-20

ร้อนยวดยิ่ง ซึ่งได้พิจารณาพฤติกรรมการเผาไหม้ด้วยการสังเกตพฤติกรรมและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ส่วนผลกระทบต่อการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พิจารณาจากความสามารถการรับความร้อนและลักษณะทางกายภาพของอนุภาคที่เกาะ air & water Cooled probe ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง 10-12 ชั่วโมง ได้แสดงผลการทดลองดังหัวข้อต่อไปนี้

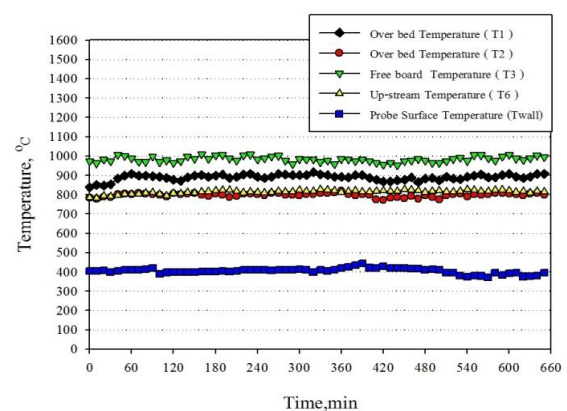
4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้น

ในการเตาเผาไหม้แกลบร่วมกับฟางข้าวในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขึ้นบันได ในสัดส่วนการผสมแกลบ:ฟางข้าว 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ภายใต้อัตราการป้อน 35-40 Kg/h อากาศส่วนเกิน 50% ใกล้เคียงกันในทุกสัดส่วน จากการสังเกตพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้พบว่า การเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ตั้งแต่บริเวณช่องป้อนเชื้อเพลิง ซึ่งมีความรุนแรงจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าว นั้นคาดว่าจากลักษณะของฟางข้าวที่ฟูทำให้อากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้สารระเหยในฟางข้าวได้รวดเร็วสามารถสังเกตจากลักษณะความรุนแรงของเปลวไฟ จากการบันทึกการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาไหม้ดังแสดงในรูปที่ 4 มีตำแหน่งการวัดดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าอุณหภูมิบริเวณสูงสุดในทุกสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงคือตำแหน่ง T3 มีค่าประมาณ 950-1000°C เนื่องจากใน

เชื้อเพลิงมีสารระเหย 55-70 %w.t ในตำแหน่งนี้มีการเผาไหม้สารระเหยที่หลุดมากับแก๊สเผาไหม้มาเผาไหม้ต่อด้วยอากาศส่วนที่สองที่จ่ายเข้าบริเวณเหนือห้องเผาไหม้[2] ส่วนอุณหภูมิเหนือเบดตำแหน่งที่ T1 มีค่าประมาณ 880-920°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ควบคุมตามเงื่อนไขอุณหภูมิเผาไหม้ โดยตำแหน่งนี้ที่การเผาไหม้ทั้งคาร์บอนเสถียรด้วยอากาศส่วนที่ 1 ที่จ่ายเข้าได้ตะกรับและสารระเหยในบางส่วน[2] และคาร์บอนเสถียรที่เหลือยังสามารถเผาไหม้ต่อด้วยอากาศส่วนที่ 1 ที่จ่ายเข้าได้ตะกรับกระจายทั่วทั้งหน้าตัดอุณหภูมิตำแหน่ง T2 ลดลงเหลือประมาณ 800°C ส่วนอุณหภูมิที่เข้าปะทะท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 800°C ซึ่งสามารถควบคุมได้ตามเงื่อนไขกำหนด และอุณหภูมิผิวท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 380-400°C จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวตลอดช่วงการทดลองประมาณ 10-11 ชม.พบว่า การเผาไหม้ที่สัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงฟางข้าวร้อยละ 80:20 และ 70:30 อุณหภูมิผิวลดลงประมาณ 40°C นั้นคาดว่าถ้าที่เกาะบริเวณผิวท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลองน้อย และในสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงฟางข้าว 40 และ 50% ใช้เวลาประมาณ 10-12 ชม. อุณหภูมิผิวลดลงถึง 100°C อย่างไรก็ตาม ในทุกสัดส่วนของเชื้อเพลิงยังไม่พบการเกาะตัวของเถ้าบนตะกรับ นั้นคาดว่าเวลาที่เถ้าของฟางข้าวอยู่ในเตาเผาไหม้อาจจะน้อยเกินไป หรือปริมาณ K_2O ที่อยู่เหลือในเถ้าบนตะกรับน้อย โอกาสที่จะเกิดสารประกอบที่หลอมตัวก็อาจน้อยลงไปด้วย



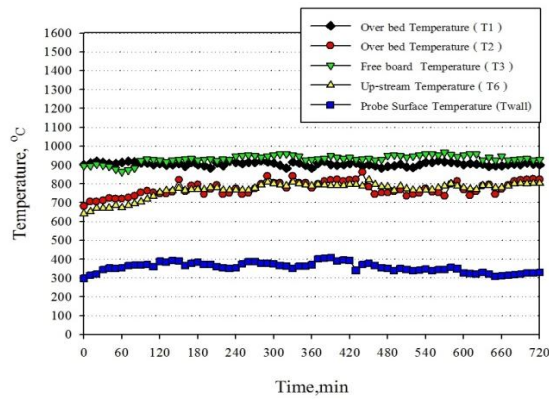
(ก) แกลบ:ฟางข้าว = 80:20



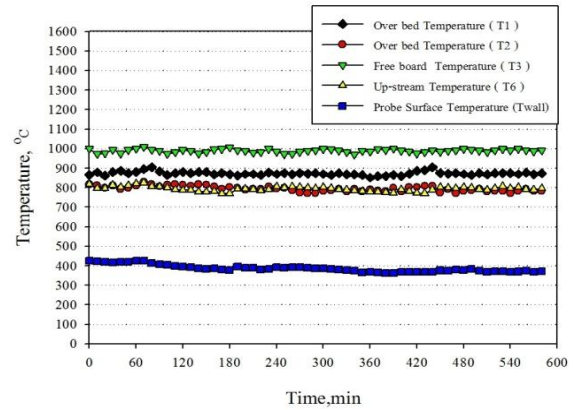
(ข) แกลบ:ฟางข้าว = 70:30

รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ

AEC-20



(ค) แกลบ:ฟางข้าว = 60:40



(ง) แกลบ:ฟางข้าว = 50:50

รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ(ต่อ)

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของการเกาะของอนุภาคบนท่อไอความร้อนยวดยิ่ง

การทดลอง	ลักษณะการเกาะ ด้านหน้า	ลักษณะการเกาะ ด้านข้าง	ลักษณะการเกาะ ด้านหลัง	Deposit flux (g/m ² .h)
แกลบ:ฟางข้าว 80:20				6.36
แกลบ:ฟางข้าว 70:30				37.90
แกลบ:ฟางข้าว 60:40				61.16
แกลบ:ฟางข้าว 50:50				75.02

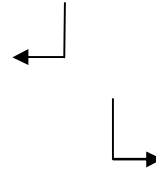
4.2 ลักษณะการเกาะตัวที่ probe

ในตารางที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของอนุภาคที่เกาะบนท่อไอความร้อนยวดยิ่งจำลองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟางข้าวร่วมกับแกลบ ซึ่งแสดงลักษณะของอนุภาคบริเวณด้านหน้าที่ปะทะกับแก๊สเผาไหม้ ด้านข้าง และด้านหลัง ที่ถอยออกจากท่อแก๊สเผาไหม้หลังจากทำการทดลองประมาณ 10-12 ซม. จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของอนุภาคบนผิว พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่

เกาะบริเวณผิวที่ด้านหน้าที่ปะทะกับแก๊สเผาไหม้ปกคลุมผิวที่อ้อมไปทางด้านข้างประมาณ 70% ของพื้นที่ผิวทรงกระบอก ส่วนบริเวณผิวที่ด้านหลังมีลักษณะเป็นขุยทำความสะอาดออกง่าย ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะทางกายภาพออกได้ 2 ส่วนคือ 1. เป็นสีขาวจะเป็นชั้นของอนุภาคที่ติดกับผิวและเป็นครีบบ่อมาทางด้านข้างท่อชั้นนี้เป็นชั้นของ KCl ที่มีคุณสมบัติเป็นกาวควบแน่นบนผิวท่อไอความร้อนยวดยิ่งจำลอง[5-7] และ 2. เป็นชั้นสีเทา

AEC-20

ส่วนใหญ่อยู่บริเวณด้านที่ปะทะกับแก๊สเผาไหม้มีลักษณะคล้ายถั่วลอมปอกซ์มากับแก๊สเผาไหม้มาเกาะกับชั้น KCI สีขาวที่ควบแน่นบนผิวท่อ[8] ในทุกสัดส่วนมีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกันเฉพาะความหนาของชั้นอนุภาคที่เกาะบนผิวจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสมฟางข้าว ในสัดส่วน แกลบ:ฟางข้าว 60:40 และ 50:50 ชั้นอนุภาคที่เกาะบนผิวท่อมีความหนาดัง 3-5 mm. ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถถ่ายเทความร้อนลดลงถึง 20% จากน้ำหนักของอนุภาคที่เกาะคิดเป็นฟลักซ์ของการเกาะตัว(deposit flux) มีค่า 6, 38, 61, 75 g/m²h ในสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 ตามลำดับ



4.3 ความสามารถในการรับความร้อนของ probe

ในการพิจารณาความสามารถการรับความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากรูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของความสามารถการรับความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจำลองจากการเผาไหม้ แกลบ 100%(Ref.) ใช้สำหรับอ้างอิงผลการทดลอง และการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ในส่วนการผสม แกลบ:ฟางข้าว 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ภายใต้เงื่อนไขการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน ใช้เวลาประมาณ 10 ชม. พบว่าในการเผาไหม้แกลบล้วน(Ref.) ความสามารถไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทดลองคาดว่าองค์ประกอบของธาตุ K₂O ในถั่วแกลบมีค่าเพียง 2.68%wt ทำให้ไม่พบการเกาะตัวบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากการเผาไหม้ฟางข้าวล้วน[9] ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่าการผสมแกลบไม่ส่งผลต่อการเกาะตัวบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และในส่วนของผลการทดลองในงานวิจัยที่มีการผสมฟางข้าว พบว่าความสามารถการรับความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดลงในทุกสัดส่วนการผสม โดยสัดส่วนการผสม 80:20 และ 70:30 ความสามารถลดลงประมาณ 5-10% ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนฟางข้าว 60:40 และ 50:40 ความสามารถในการรับความร้อนลดลงถึง 20% นั้นคาดว่าเกิดจากการเกาะตัวของอนุภาคบนท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นชั้นฉนวนความร้อนระหว่างแก๊สเผาไหม้กับตัวกลางที่ใช้รับความร้อน สาเหตุจากธาตุ K₂O [2]ที่อยู่ในฟางข้าวมีค่าสูงถึง 10.57%wt ส่งผลให้ความรุนแรงของการเกาะตัวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม

รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความสามารถการรับความร้อนและอุณหภูมิแก๊สเผาไหม้ปะทะท่อไอน้ำ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวร่วมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบชั้น ต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มเปล่าในเตาเผาไหม้ได้เกิดขึ้นบริเวณเหนือบันไดอุณหภูมิเหนือเบดอยู่ในช่วง 850-900°C สารระเหยบางส่วนจะเผาไหม้กับอากาศส่วนที่ 2 เหนือห้องเผาไหม้ซึ่งเห็นได้จากอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่เพิ่มขึ้นที่เงื่อนไขอุณหภูมิเหนือเบดสูง
2. การเกาะตัวของอนุภาคเกิดขึ้นมากในทิศทางที่สัมผัสโดยตรงกับการไหลของแก๊สไอเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวมีความหนาประมาณ 3-5 mm. ภายในเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ในสัดส่วนการผสม 50:50 ลักษณะทางกายภาพเป็นชั้นแข็ง
3. การเกาะของอนุภาคคิดเป็นฟลักซ์ของการเกาะตัว (Deposit Flux) มีค่า 6, 38, 61, 75 g/m²h ในสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการรับความร้อนของ probe ลดลงประมาณ 10-20% ภายในเวลา 10 ชั่วโมง
4. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบร่วมกับฟางข้าวในทุกสัดส่วน ไม่พบการเกาะของถั่วในเบด อาจเกิดจากประมาณ K₂O ที่เหลือในถั่วปริมาณน้อย

AEC-20

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics ; 2543-2545
- [2] T. Madhiyanon., P. Sathitruangsak., S. Sungworagarn., S. Pipatmanomai., S. Tia., (2012), "A pilot-scale investigation of ash and deposition formation during oil-palm empty-fruit-bunch (EFB) combustion", *Fuel Processing Technology*, vol.96, pp. 250-264.
- [3] Frandsen, F., Hansen, J., Jensen, P., Dam-Johansen, K., Horlyck, S. and Karlsson, A., (2003), "Ash and deposit formation in the biomass co-fired Masnedo combined heat and power production plant", *IFRR combustion journal*, Article number 200304, pp. 1-17.
- [4] Michelsen H.P., Frandsen, F., Dam-Johansen, K., Larsen, O.H., (1998), "Deposition and high temperature corrosion in a 10 MW straw fired boiler", *Fuel processing technology*, vol. 54, pp. 95-108.
- [5] Y. Zheng, P.A. Jensen, et al., (2007), "Ash transformation during co-firing coal and straw." *Fuel*, vol. 86 , pp.1008-1020.
- [6] S. Jimenez, J. Ballester.,(2006) "Formation of alkali sulphate aerosols in biomass combustion." *Fuel*, vol.86, pp.486-493.
- [7] M. Theis, B.J. Skrifvars, et al.,(2006), "Fouling tendency of ash resulting from burning mixtures of biofuels." Part2: Deposit chemistry. *Fuel*, vol. 85, pp. 1992-2001.
- [8] A.A. Khan, W. de Jong, et al., (2006), "Biomass combustion in fluidized bed boiler: Potential problems and remedies." *Fuel*, vol.85, pp.1992-2001.
- [9] Pawin Chaivatamaset., Panchan Sricharoon., Suvit Tia., Bilitewski., (2014), "The characteristics of bed agglomeration/defluidization in fluidized bed firing palm fruit bunch and rice straw", *Applied Thermal Engineering*, vol.70, pp.737-747.