

ผลของอัตราการป้อนแกลบต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีครีบบนเฉียงทำมุมจัดเรียงแบบสลับกัน

Effect of Feed Rate of Rice Husk on Combustion Behavior in a Square-Duct Fluidized-bed Combustor with Staggered Angled Ribs

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์², สุริยา โชคเพิ่มพูน³, พงษ์เจต พรหมวงศ์^{4,*}

Panuwat Hoonpong¹, Supattarachai Suwannapan², Suriya Chokphoemphun³, Pongjet Promvong^{4,*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอถึงผลของปริมาณเชื้อเพลิงแกลบที่มีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบบนเฉียงทำมุมจัดเรียงแบบสลับกัน โดยจะทำการติดตั้งครีบบนที่ผนังด้านในสองด้านของห้องเผาไหม้มีมุมปะทะเท่ากับ 45 องศา ในการทดลองจะใช้ค่าอัตราการป้อนอากาศคงที่เท่ากับ 71 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบสี่ค่าคือ 8.2, 8.7, 10.8 และ 12.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง (เทียบเท่ากับค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับร้อยละ 62, 51, 23 และ 3 ตามลำดับ) ในการศึกษาจะทำการวัดค่าระดับของอุณหภูมิ ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่า เตาเผาที่มีการติดตั้งครีบบนจะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบบน กรณีที่ติดตั้งครีบบนเฉียงทำมุมที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง เท่ากับ 12.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากรณีอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 827.6 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบพบว่า ทุก ๆ กรณีที่ได้ทำการศึกษามีปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียที่ต่ำมากและให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงกว่าร้อยละ 97

คำสำคัญ: เตาเผาฟลูอิดไรซ์เบด ครีบบนเฉียงทำมุม แกลบ การเผาไหม้

Abstract

This research presents the effect of feed rate of rice husk on combustion behavior in a square-duct fluidized bed combustor inserted with staggered angled ribs. The angled ribs were placed on the inside of two walls of combustion chamber with the attack angle 45°. In the experiment, a feeding rate of air at 71 kg/hr was kept constant throughout where the four of feed rates of rice husk were varied to be 8.2, 8.7, 10.8 and 12.8 kg/hr (equivalent to excess air of 62%, 51%, 23% and 3%, respectively). The temperature distributions, combustion emissions and efficiency from its

¹ อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 321 ถ.นารายณ์มหาราช ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000

² อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น, 150 หมู่ 6 ถ. ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000

³ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร, 199 หมู่ 3 ถ.พังโคน-วาริชภูมิ ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160

⁴ รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ Lecturer, 3Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, 321 Naraimaharat Road, Talaychubsorn, Lopburi, 15000, Thailand

² Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus, 150 Srchan Road, Muang, Khonkaen, 40000, Thailand

³ Lecturer, Major of Mechanical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonnakhon Campus, 193 Phangkhon-Waritchaphum Road, Phangkhon, Sakonnakhon, 47160, Thailand

⁴ Assoc.Prof., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

* Corresponding author: Assoc.Prof., Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, E-mail : kppongje@kmitl.ac.th



flue gases were measured and observed. From experiment results, the fluidized bed combustor with angled ribs are found to be higher of temperature than the without rib. The experimental results reveals that the angled ribs with feed rate of rice husk at 12.8 kg/h. provides the average temperature higher than others at about 827.6 °C. From the analysis of flue gases of fluidized bed rice husk combustor for all case studies, there are visible that the low emissions and show an excellent efficiency more than 97%

Keywords: fluidized bed combustor, angled rib, rice husk, combustion

บทนำ

ในประเทศไทย ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลที่ได้นอกเหนือจากผลผลิตทางการเกษตรก็คือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลายปาล์ม เป็นต้น สิ่งเหล่านี้สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานได้ เรียกว่า พลังงานชีวมวล จากการศึกษาที่มีรายงานมากมายที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีต่างๆ กับเตาเผาโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ฟลูอิดไรซ์เบดเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งเพราะนอกจากจะช่วยทำให้สมรรถนะในการเผาไหม้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยลดปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิเผาไหม้ต่ำ Duan *et al.*¹ ได้ศึกษาผลของอากาศส่วนเกินต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ปริมาณการปล่อยก๊าซพิษและสมรรถนะการเผาไหม้พบว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินลดลง Madhiyanon *et al.*² ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดพบว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินและความเร็วของของไหลลดลง Chyang *et al.*³ ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยของไนโตรเจนออกไซด์ในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบด พบว่าอากาศส่วนเกินเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างมากต่อปริมาณการปล่อยของไนโตรเจนออกไซด์ Fang *et al.*⁴ ได้ทำการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรายและความเร็วของของไหลต่อการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดและได้แนะนำว่าแกลบจะสามารถผสมได้ดีที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทราย 0.3–0.8 มิลลิเมตร และความเร็วก๊าซ 0.8–2.0 เมตร/วินาที Armesto และ คณะ⁵ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบด โดยการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วของของไหลที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้และปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากการศึกษาพบว่าค่าสมรรถนะการเผาไหม้ที่ได้มีค่าสูงกว่าร้อยละ 97 สำหรับทุกกรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่มีผลต่อพฤติกรรมของการเผาไหม้ภายในเตาเผา

ฟลูอิดไรซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการพัฒนาห้องเผาไหม้ใหม่ โดยการติดตั้งครีบบนเชิงทำมุมภายในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการหมุนควงของเชื้อเพลิงและเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษหลุดลอยออกไปได้โดยง่ายเนื่องจากแกลบเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบาสามารถรวมทั้งยังเป็นการเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้นอีกด้วย จากที่กล่าวจะเป็นการช่วยให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ดี มีปริมาณการปล่อยก๊าซพิษที่ต่ำและให้ค่าสมรรถนะการเผาไหม้ที่สูง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ส่วนประกอบของชุดเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไรซ์เบดขนาดและตำแหน่งวัดอุณหภูมิ แสดงใน Figure 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งเตาเผาแกลบฟลูอิดไรซ์เบดทำจากเหล็กมีการหุ้มฉนวนภายนอกความหนา 35 มิลลิเมตร อย่างดีอีกชั้นหนึ่ง เตาเผาประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สองส่วน : ส่วนล่างของเตา (ห้องเผาไหม้) และส่วนบนของเตา (พรีเบิร์ด) ลักษณะรูปทรงของห้องเผาไหม้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยเตาเผามีความสูงทั้งหมด 2400 มิลลิเมตร และมีจุดวัดอุณหภูมิ 10 จุดซึ่งอยู่ด้านข้างผนังเตา โดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 200 มิลลิเมตร หน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 200x200 มิลลิเมตร และสูง 1000 มิลลิเมตร และขนาดหน้าตัดของพรีเบิร์ดเท่ากับ 300x300 มิลลิเมตร และสูง 800 มิลลิเมตร ในขณะที่ส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 250 มิลลิเมตร ลักษณะของครีบบนเชิงใช้ในการทดลองทำจากเหล็กแผ่นความหนา 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดยึดติดกับแผ่นเพลทเป็นครีบบนเชิงตัววี ทำมุม 45 องศา จะถูกยึดติดที่ผนังด้านใน 2 ด้านของห้องเผาไหม้ ลักษณะและขนาดของครีบบนเชิงใช้ในการทดลอง แสดงไว้ใน Figure 3 ในการทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิดไรซ์เบดนี้จะมีหลักการทำงานโดยจะใช้พัดลม (blower) ทำหน้าที่จ่ายอากาศให้กับเตาเผาแกลบเพื่อใช้สำหรับพยุแกลบภายในห้องเผาไหม้โดยลมนี้จะมีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม ปริมาณอากาศจะถูกควบคุมด้วยวาล์วด้วยการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่นออริฟิต (orifice plate) จะวัดจากมานอมิเตอร์

(manometer) ซึ่งความเร็วอากาศจะวัดโดยใช้มิเตอร์วัดความเร็ว (velocity meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณการไหลของอากาศ เชื้อเพลิงแกลบจะถูกบรรจุไว้ในถังบรรจุเชื้อเพลิง (fuel storage) จะถูกป้อนจากตัวสกรูป้อน (screw feeder) เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมผ่านความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับตัวสกรูป้อน โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (motor) อนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผา ลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของฟริบอร์ตเข้าสู่ไซโคลน

(cyclone) เถ้าลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกดักออกทางด้านล่างของไซโคลน การวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ส่วนองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของฟริบอร์ตและประสิทธิภาพการเผาไหม้จะวัดค่าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

จากงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไธซ์เบดใส่ถังรับเถ้า 45 องศา

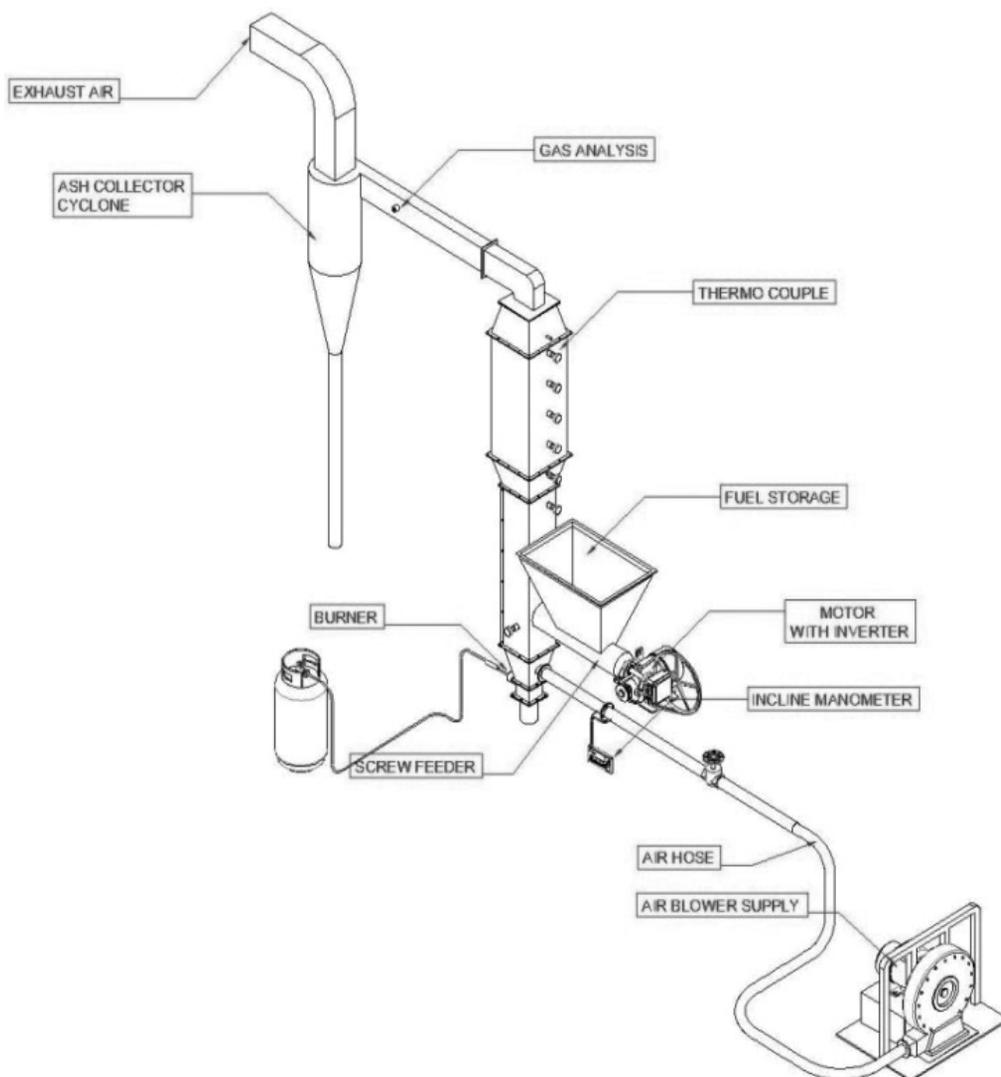


Figure 1 fluidized-bed combustor

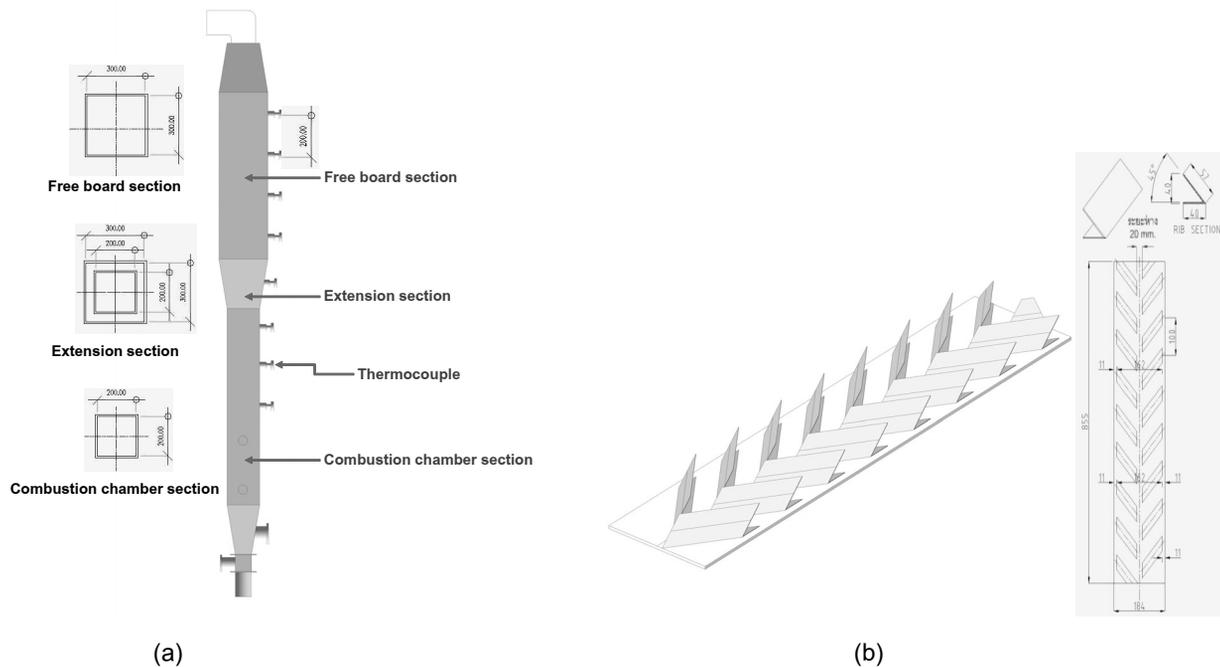


Figure 2 (a) Size of combustion chamber and Position of temperature (b) Size and installation of ribs

สมการและการคำนวณ

ในกระบวนการเผาไหม้ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้จริงมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณอากาศที่ใช้จริงน้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงจึงได้มีการกำหนดให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio, Φ) แสดงได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{(A/F)_{\text{Stoic}}}{(A/F)_{\text{Actual}}} \quad (1)$$

เมื่อ

Φ = อัตราส่วนสมมูล

$(A/F)_{\text{Actual}}$ = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

$(A/F)_{\text{Stoic}}$ = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณอากาศขึ้นจนเพียงพอ ซึ่งอากาศที่เกินจะเรียกว่า ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air, EA) แสดงได้ดังนี้

$$EA = \left[\frac{1 - \Phi}{\Phi} \right] \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ EA = ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (TESTO 350XL) ถ้าเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 แต่ถ้าเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะถูกลบออกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Eff[\%] = 100\% - loss[\%] \quad (3)$$

เมื่อ Eff = ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)

loss[%] = การสูญเสีย (%)

ผลการทดลอง

การกระจายตัวของอุณหภูมิ

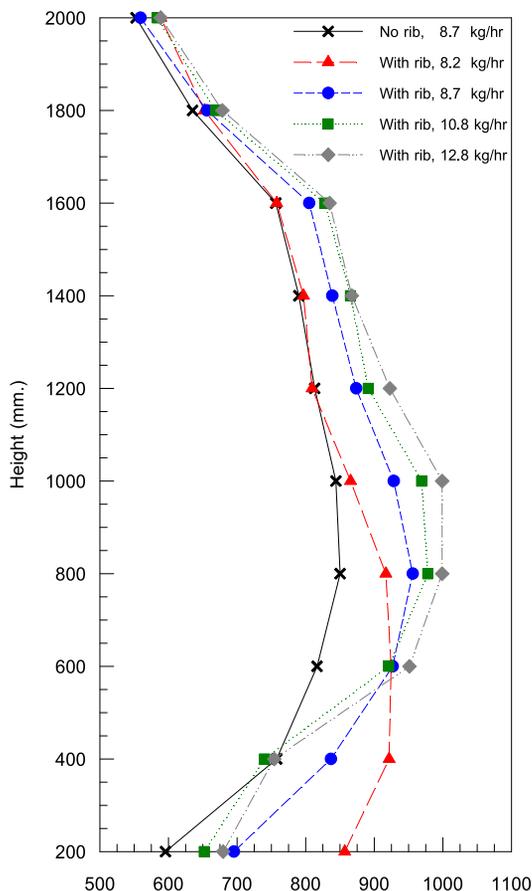


Figure 3 Temperature distribution

Figure 3 แสดงระดับอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบด จากรูปแสดงในจะเห็นว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบและติดตั้งครีบ ระดับของอุณหภูมิจะมีค่าสูงบริเวณห้องเผาไหม้ และจะลดลงในส่วนของฟริบอร์ต เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับอุณหภูมิ พบว่า กรณีที่มีการติดตั้งครีบจะให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบเมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ จะสังเกตเห็นว่า ในช่วงการวัดระดับอุณหภูมิที่ระยะความสูงของเตาเผา 800-1200 มิลลิเมตร (ช่วงที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง) ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ค่า 12.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงกว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงอื่น ๆ และที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงกว่า 8.7 และ 8.2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบมีค่าเท่ากับ 741.2 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีที่มีการติดตั้งครีบจะให้ค่า

ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 809.1, 807.7, 809.6 และ 827.6 องศาเซลเซียส สำหรับค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 8.2, 8.7, 10.8 และ 12.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ

ปริมาณก๊าซไอเสีย

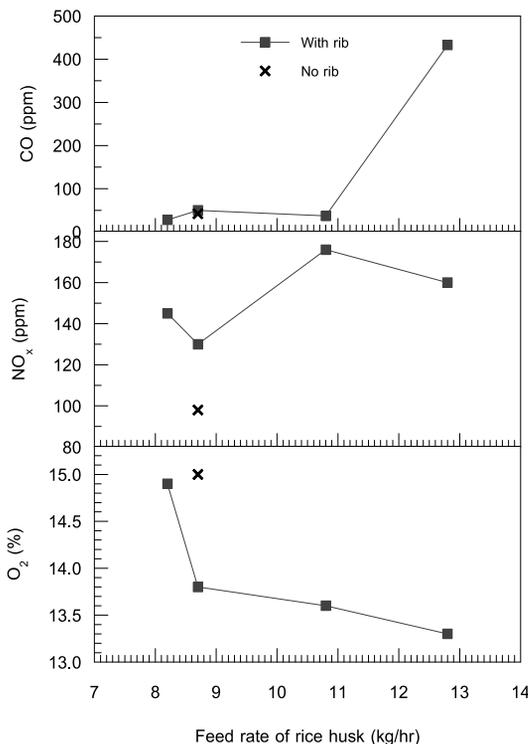


Figure 4 Exhaust gas quantity

ส่วนประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้จะวัดค่าโดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (TESTO MX350XL) Figure 4 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ทุก ๆ กรณีที่ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซพิษที่ต่ำมาก พบว่ามีค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อยู่ในช่วง 30-430 ppm. ส่วนปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าอยู่ระหว่าง 100-180 ppm. โดยที่ค่ามาตรฐานของอากาศได้กำหนดให้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์จะต้องไม่เกิน 690 ppm และ 200 ppm ตามลำดับ ก่อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียอ้างอิงโดย⁶ ในส่วนของค่าออกซิเจน (O₂) พบว่า จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั่นเอง

ประสิทธิภาพการเผาไหม้

การหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ สามารถหาได้จากสมการที่ 3 โดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิของก๊าซไอเสียและความชื้น Figure 5 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเผา



ไหม้จะแปรผกผันกับคาร์บอนนอกไซด์ที่แสดงใน Figure 4 โดยเมื่อปริมาณคาร์บอนนอกไซด์สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ต่ำเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ทำได้ สำหรับทุก ๆ กรณีที่ศึกษาพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 97-99%

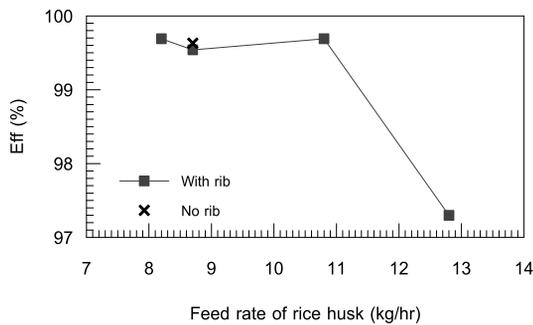


Figure 5 Combustion efficiency

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบบนเตียงทำมุม พบว่าการติดตั้งครีบบนเตียงช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบได้ดีกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบบนเตียง จะเห็นได้จากค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในกรณีที่มีการติดตั้งครีบบนเตียงมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบบนเตียง จากการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบพบว่า ในกรณีที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ เท่ากับ 12.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากรณีอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 827.6 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดและในส่วนของคุณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้พบว่า มีค่าสูงกว่าร้อยละ 97 สำหรับทุก ๆ กรณีที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. Duan F, Chyang C.S, Lin C.W, Tso J. Experimental study on rice husk combustion in a vortexing fluidized-bed with flue gas recirculation (FGR). *Bioresource Technology* 2013; 134: 204-211.
2. adhiyanon T, Sathitruangsak P, Soponronnarit S. Combustion characteristics of rice-husk in a short-combustion-chamber fluidized-bed combustor (SFBC). *Applied Thermal Engineering* 2010; 30: 347-353.
3. Chyang C.S, Wu K.T, Lin C.S. Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor. *Fuel* 2007; 86: 234-243.

4. Fang M, Yang L, Chen G, Shi Z, Luo Z, Cen K. Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed. *Fuel Processing Technology* 2004; 85: 1273-1282.
5. Armestoa L, Bahilloa A, Veijonenb K, Cabanillasa A, Oteroa J. Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidized bed. *Biomass and Bioenergy* 2002; 23: 171-179.
6. มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงาน กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แหล่งที่มา <http://www.pcd.go.th> ประกาศ ณ วันที่ 12/10/2554.