

## การพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล Developing a Fluidized Bed Combustor Used Biomass Fuel

สุริยา โชคเพิ่มพูน<sup>1</sup>, ธีรพัฒน์ ชมภูคำ<sup>2</sup>, ชินรัช ธีรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 02 3298351 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

<sup>2</sup>ห้องวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์: 043-754321-40 E-mail: teerapat.c@msu.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงแนวทางการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้ได้เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีความเหมาะสม สะดวกและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยทำการติดตั้งครีบบรูตัววีคว่าท่ามุม 45° จัดวางครีบลักษณะวางขวางในแนวแยมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ปรับเปลี่ยนจำนวนครีบบรูเป็น 2, 3 และ 4 ครีบ และปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 4 ค่า คือ 10%, 20%, 30% และ 40% โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เชื้อเพลิงแกลบ ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบระดับคงที่ 7.4 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิองค์ประกอบก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ของแต่ละกรณีศึกษา พบว่ากรณีการศึกษาโดยการติดตั้งครีบบรูจำนวน 3 ครีบ ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาสูงที่สุด ที่ 97.6 % และระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด 740°C

**คำสำคัญ:** เตาเผาฟลูอิดไชน์เบด, เชื้อเพลิงแกลบ, ชีวมวล, การเผาไหม้

### Abstract

This research was presented to the development fluidized bed combustor is used the biomass fuels. For the purpose of it is appropriate, easy implementation application and effectiveness. In a case study conducted by the installation  $\Lambda$ -shaped triangular ribs inserted diagonally in the upper part of the combustion chamber. Effects of the key parameters of the ribs such as the attack angle is 45°, and the rib numbers set to 2, 3 and 4 ribs for each run on combustion behaviors were experimentally examined. Experiments were made by varying different percent excess airs between 10%, 20%, 30% and 40% at a constant mass flow rate of rice husk fuel of 7.4 kg/hr. The temperature distributions inside the bed, exhaust gas emissions and combustion efficiency were taken into account in the present work. The fluidized bed combustor with 3 ribs for percent excess 20% showed the maximum combustion efficiency 97.6 % and the highest mean temperature 740°C.

**Keywords:** fluidized-bed; rice husk; biomass; combustion

### 1. บทนำ

การนำพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์นับได้ว่าเป็นความเหมาะสมและกำลังได้รับความนิยมในการศึกษาวิจัยในปัจจุบัน โดยเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะเป็นผลพลอยได้จากผลผลิตหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย และทะลายปาล์ม เป็นต้น การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานที่อยู่ในชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ มีวิธีการอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีการที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน คือ การผ่านกระบวนการการเผาไหม้ภายในเตาเผาโดยตรง (Direct combustion) สามารถทำได้ในหลายระบบไม่ว่าจะเป็น ระบบไซโคลน (Cyclone) [1], ระบบวอร์เทค (Vortexing) และระบบฟลูอิดไชน์เบด (Fluidized Bed) [2] หรือเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคโนโลยีฟลูอิดไชน์เบดและวอร์เทค (Vortexing fluidized bed) โดยทุกเทคโนโลยีที่กล่าวมาทั้งหมดได้รับการทดสอบมาแล้วว่าสามารถใช้ได้กับชีวมวลแทบทุกชนิด ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็มีทั้งข้อได้เปรียบและข้อจำกัดแตกต่างกัน ดังนั้นการใช้งานจึงควรเลือกระบบหรือเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่มีความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

จากเทคนิคการเผาไหม้แบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น เทคนิคฟลูอิดไชน์เบดเป็นอีกทางเลือกที่ดูมากที่สุดอย่างหนึ่ง เพราะมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิงและใช้ได้กับชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลที่หลากหลาย (Fuel flexibility) นอกจากนี้ยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะได้เร็ว ทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบอื่น ทำให้ลดการก่อตัวของกลุ่มก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) และเมื่อใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าต่ำอยู่แล้วก็จะช่วยลดการหลอมตัว (อุณหภูมิอ่อนตัวของเถ้า) ที่อุณหภูมิต่ำ ลดปัญหาของการเกิดตะกรัน ความร้อนสะสมจำนวนมากที่อยู่ในวัสดุเบดทำให้เตาเผาชนิดนี้สามารถเผาไหม้กับชีวมวลที่หลากหลายช่วงของความชื้นที่แตกต่างกันได้ แต่การใช้เตาเผาชนิดนี้ยังพบปัญหาบางประการ เช่น รายงานของ Wan และ Chyang [3] กล่าวว่าการใช้วิธีการของเทคนิคฟลูอิดไชน์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (ฟรีบอร์ด) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิง โดยอาจต้องมีความสูงรวมของฟรีบอร์ดมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการอากาศหมุนวน Sowards [4] การสร้างการหมุนวนทำได้โดยการฉีดอากาศทุติยภูมิในแนวสัมผัสเข้าสู่ฟรีบอร์ด เพื่อเพิ่มระยะเวลาของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้และช่วยลดการหลุดลอยของอนุภาค Korenberg [5] ได้ศึกษาการฉีดอากาศทุติยภูมิเข้าไปในฟรีบอร์ดเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดเป็นแบบฟลูอิดไชน์เบดแบบอากาศหมุนวนและเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดเป็นแบบธรรมดา Chyang, Wu and Lin [6] ได้ทำการศึกษาถึงผลของชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน ของ

เตาเผาฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน จากการศึกษาพบว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิของเบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อัตราการไหลของอากาศ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน รุติวัจน์ ผุนลาวงษ์ [7] ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดซ์เบดและการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบ และมีปริมาตรขนาดใหญ่ โดยนำไฮโดรเจนไสไว้ด้านใน วิศิษฐ์ สีสมาติกุล [8] ได้ศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุกขุมต่อพฤติกรรมของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดพบว่า มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในทำให้เกิดความปั่นป่วนและการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

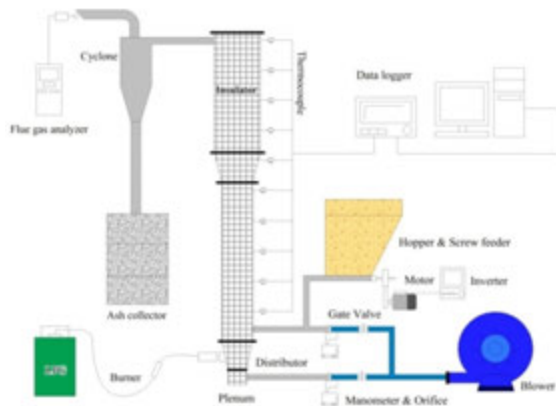
จากงานวิจัยจำนวนมากที่พยายามศึกษาและพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงการออกแบบห้องเผาไหม้ [9, 10] หรือการเตรียมส่วนผสมของเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อมโดยเลือกใช้วิธีการปรับปรุงการออกแบบห้องเผาไหม้ด้วยการติดตั้งครีบล้อมเหลี่ยมรูปตัววีคว่า จัดวางครีบลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการไหลแบบหมุนวนของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้นและการผสมคลุกเคล้าที่ดีขึ้นระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ก่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดในประยุกต์ใช้งาน

## 2.วัตถุประสงค์

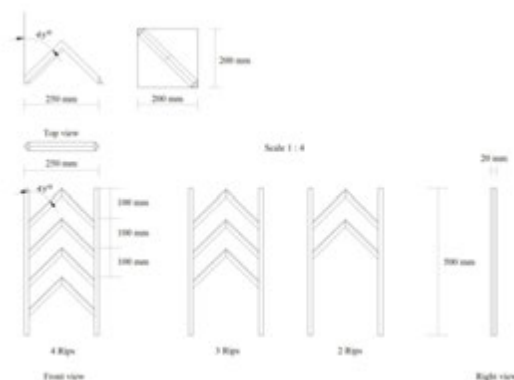
ทำการศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ) ในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดขนาดเล็ก เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดขนาดเล็ก ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานความร้อนในชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อมที่ก่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

## 3.ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่อยู่ในห้องเผาไหม้จะทำการติดตั้งครีบล้อมเหลี่ยมตัววีคว่าทำมุม  $45^\circ$  จัดวางครีบลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ ที่จำนวนครีบล้อมเหลี่ยมเป็น 2, 3 และ 4 ครีบล้อมเหลี่ยม
2. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ศึกษาทดลอง คือ แกลบ ที่ได้จากการกระบวนการการสีข้าวจากโรงสีโดยไม่ผ่านกระบวนการใด อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีระดับคงที่ คือ 7.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
3. ทำการปรับปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ
4. พฤติกรรมของการเผาไหม้ที่ทำการศึกษา ได้แก่ การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวความสูงของเตาเผาจำนวน 10 ตำแหน่ง ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ทดลองของเตาเผาแกลบฟลูอิดซ์เบด



ภาพที่ 2 ลักษณะครีบล้อมเหลี่ยมที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้มุมวีคว่า  $45^\circ$

#### 4.การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการศึกษาทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 6 ชุดหลัก ๆ ดังนี้

1. เตาเผาฟลูอิดซ์เบด
2. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ
3. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ
4. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา
5. ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคแกลบลอย
6. ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับศึกษาทดลอง แสดงในภาพที่ 1 เตาเผาฟลูอิดซ์เบดทำมาจากเหล็กซึ่งถูกหุ้มฉนวนภายนอก ลักษณะรูปทรงของเตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูงของเตาทั้งหมดเท่ากับ 2.38 m ขนาดหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ  $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$  และสูงเท่ากับ 1.05 m ในขณะที่ขนาดหน้าตัดของฟร็อบอร์ดเท่ากับ  $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$  และสูง 0.80 m ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 0.25 m และ 0.20 m ตามลำดับ ลักษณะของครีปที่ใช้ในการทดลองทำจากเหล็กฉากเชื่อมติดกันเป็นรูปตัววีความีขนาดความกว้างเท่ากับ 0.25 m ซึ่งจะถูกติดตั้งเข้ามุมในแนวทแยงขวางไว้ภายในห้องเผาไหม้ ดังภาพที่ 2

ชุดอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศกับระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลม คือ Blower โดยอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นอากาศที่ใช้สำหรับพวยแกลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม และอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วจากการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น Orifice จาก Manometer ซึ่งปริมาณอากาศแต่ละส่วนนั้นจะทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (Flow Meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณอากาศส่วนเกิน

เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper ไหลลงสู่รางของ Screw Feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบให้ตกลงสู่ท่อลมที่สำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผาปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ Screw Feeder โดยมี Inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ ประกอบด้วยเชื้อเพลิง LPG และหัวเผา โดยที่หัวเผาจะถูกต่อเข้ากับบริเวณส่วนห้องผสมของเตาเผา

กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบจะเกิดอนุภาคของแกลบขึ้น โดยอนุภาคของแกลบที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผา ลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของฟร็อบอร์ด และเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคของแกลบไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจึงต้องมีการติดตั้งไซโคลนโดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนควง (Vortex) แกลบลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกปล่อยออกทางด้านล่างของไซโคลน

การวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ส่วนองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของฟร็อบอร์ดนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA) สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์นี้

$$EA = \left[ \frac{(A/F)_{\text{Actual}}}{(A/F)_{\text{Stoic}}} - 1 \right] \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ EA คือ ร้อยละอากาศส่วนเกิน (%)  
 $(A/F)_{\text{Actual}}$  คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ  
 $(A/F)_{\text{Stoic}}$  คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$\eta_{\text{com}} [\%] = 100 - \text{loss} [\%] \quad (2)$$

เมื่อ  $\eta_{\text{com}}$  คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)  
loss [%] คือ การสูญเสียจากองค์ประกอบก๊าซไอเสีย (%)

#### 5.ขั้นตอนการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

เมื่อทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเริ่มดำเนินการทดลองตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ  $500^\circ\text{C} - 550^\circ\text{C}$  จากนั้นเริ่มทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบพร้อมกับอากาศป้อนลมสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ  $700^\circ\text{C} - 750^\circ\text{C}$  จึงหยุดการอุ่นเตาและเอาชุดอุ่นเตาเผาออก

2. ปรับอัตราการไหลของอากาศ 44 kg/hr (การดำเนินการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%) และปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 7.4 kg/hr

3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามความสูง จำนวน 10 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิ และวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้สังเกตลักษณะแกลบลอย

4. ทำการปรับตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวระดับที่กำหนดไว้ในตำแหน่งที่ 2 (สำหรับเฉลี่ยค่าอุณหภูมิที่แนวระดับเดียวกัน จำนวน 2 ตำแหน่ง) จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3

5. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 48, 52 และ 56 kg/hr (คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ) แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3 - 4 ตามลำดับ

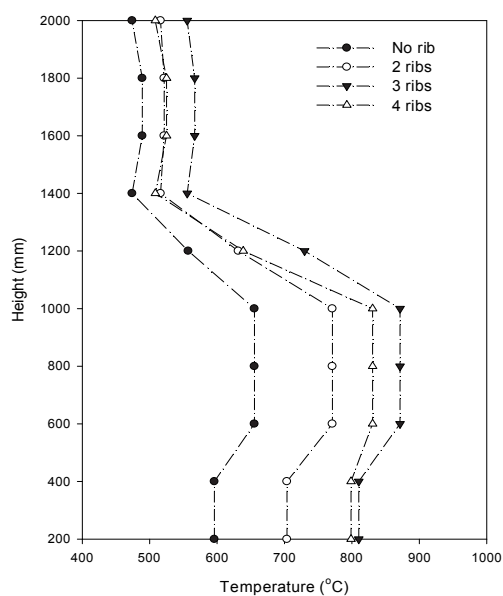
6. ทำการปรับเปลี่ยนจำนวนครีปภายในห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดซ์เบด ตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1 - 5 ตามลำดับ

#### 6.ผลการทดลองและการวิเคราะห์

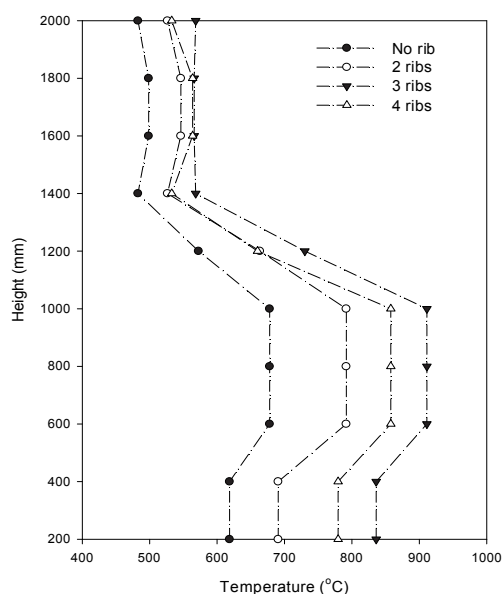
##### 6.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ภาพที่ 3 - 6 แสดงลักษณะการกระจายของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาที่ระดับความสูงต่าง ๆ เปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีดักจับและกรณีที่ติดตั้งทั้ง 3 กรณี ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ

พบว่า ระดับอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงอย่างมากเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายหน้าตัด ในส่วนของปริมาตรระดับอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิในส่วนขยายหน้าตัด เมื่อพิจารณาที่ร้อยละอากาศส่วนเกินเดียวกันจะเห็นได้ว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยจะเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ กรณีติดครีบกจำนวน 3 ครีบ, 4 ครีบ, 2 ครีบ และกรณีไม่ติดครีบที่ทุกค่าร้อยละอากาศส่วนเกิน เนื่องจากเมื่อติดตั้งครีบจะทำให้เกิดกระแสหมุนวนภายในเตาเผา และเพิ่มความรุนแรงของการปั่นป่วน จึงส่งผลให้เกิดการคลุกเคล้าที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ช่วยเพิ่มเวลาให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น กระบวนการการเผาไหม้จึงเกิดได้ดีกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบ

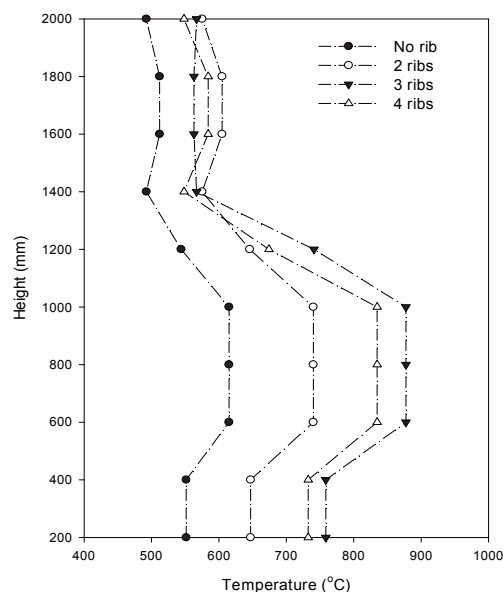


ภาพที่ 3 ลักษณะการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิที่ EA=10%

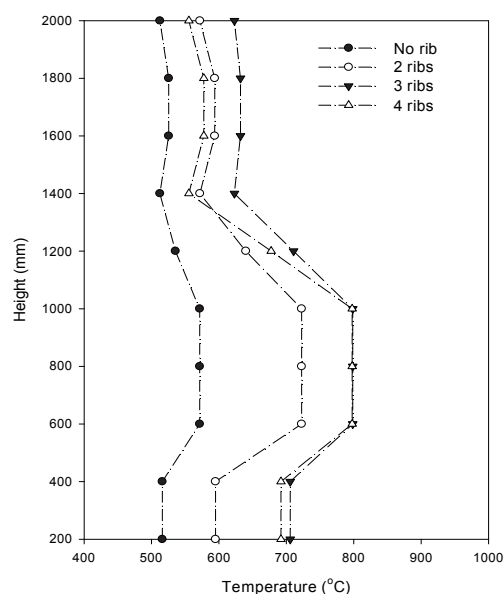


ภาพที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิที่ EA=20%

กรณีการติดครีบจำนวน 3 ครีบ พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้ที่มีการติดครีบบีค่าสูงสุด  $881^{\circ}\text{C}$  และระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด  $740^{\circ}\text{C}$  ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% เนื่องจากจำนวนการติดครีบบีค่าสูงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองครั้งนี้ โดยกรณีการติดครีบจำนวน 2 ครีบอาจจะเหนียวทำให้เกิดกระแสหมุนวนและความปั่นป่วนของอากาศภายในเตาเผาที่ไม่ดีพอ ส่วนกรณีการติดครีบจำนวน 4 ครีบนั้นอาจเกิดการขัดขวางการไหลภายในเตาเผาเนื่องจากเตาเผาที่ใช้มีขนาดเล็ก



ภาพที่ 5 ลักษณะการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิที่ EA=30%



ภาพที่ 6 ลักษณะการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิที่ EA=40%

เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบที่กรณีการติดครีบจำนวนที่เท่ากันที่ร้อยละอากาศส่วนเกินต่าง ๆ พบว่า ที่ปริมาณร้อยละอากาศ

## 6.2 ปริมาณก๊าซไอเสีย

| EA (%) | No rib (ppm) | 2 ribs (ppm) | 3 ribs (ppm) | 4 ribs (ppm) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 10     | 690          | 250          | 240          | 230          |
| 20     | 700          | 240          | 220          | 230          |
| 30     | 760          | 250          | 240          | 230          |
| 40     | 800          | 260          | 240          | 230          |

ปริมาณกลุ่มก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดครีบน้ำมันต่าง ๆ และกรณีที่ไมเกิดครีบน้ำมันที่ร้อยละปริมาณอากาศส่วนเกินใด ๆ ดังแสดงในภาพที่ 9 พบว่า กรณีที่เกิดครีบน้ำมันมีปริมาณก๊าซกลุ่มก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่ามากกว่ากรณีที่ไมเกิดครีบน้ำมัน เนื่องจากกระบวนการการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นของกรณีที่มีการเกิดครีบน้ำมันมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่า ระดับอุณหภูมิที่สูงเป็นปัจจัยก่อให้เกิดกลุ่มก๊าซดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 124 - 155 ppm

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้จะพิจารณาค่าความสูญเสียที่เกิดจากจากองค์ประกอบของก๊าซไอเสียเท่านั้นพบว่า สำหรับทุกระณีสึกษาที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ส่วนที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำสุด หากเปรียบเทียบที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเดียวกันจากภาพที่ 10 จะเห็นว่าที่กรณีติดครีบทั้งหมดจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ติดครีบ โดยกรณีการติดครีบจำนวน 3 ครีบให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดตามด้วย 4 ครีบและ 2 ครีบ ตามลำดับ โดยการติดครีบ 3 ครีบ ที่

| EA (%) | No rib (ppm) | 2 ribs (ppm) | 3 ribs (ppm) | 4 ribs (ppm) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 10     | 118          | 125          | 150          | 145          |
| 20     | 125          | 128          | 155          | 152          |
| 30     | 128          | 135          | 145          | 148          |
| 40     | 128          | 132          | 142          | 142          |

| EA (%) | No rib (%) | 2 ribs (%) | 3 ribs (%) | 4 ribs (%) |
|--------|------------|------------|------------|------------|
| 10     | 93.5       | 95.0       | 96.5       | 96.8       |
| 20     | 93.8       | 95.2       | 96.8       | 97.2       |
| 30     | 92.0       | 94.8       | 96.5       | 97.0       |
| 40     | 91.8       | 94.5       | 96.2       | 96.5       |

จากการศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดโดยการติดรีบบรูปตัววีคว่ำทึม 45° จัดวางในลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้พบว่า ให้ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยจากกระบวนการการเผาไหม้และให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีเตาเผาทั่วไปที่ไม่ติดรีบ กรณีการศึกษาโดยการติดรีบจำนวน 3 รีบ ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาสูงที่สุด ที่ 97.6 % และระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด 740°C ซึ่งระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นถือว่ามีความสูงพอสำหรับนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อมได้ รวมทั้งเตาเผาฟลูอิดซ์ที่ใช้มีขนาดเล็กกว่าจึงสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

- [1] O. Ohlsson, "Results of performance and emission testing when co-firing blends of dRDF/coal in a 440 MWe cyclone fired combustor", Alternate fuels IV conference, New Orleans, LA, USA; 8-9 February 1994.
- [2] S. Chokphoemphun, S. Eiamsa-ard and P. Promvonge, "Rice Husk Combustion Behavior in a Fluidized Wave"

- Surfaced Bed”. 5<sup>th</sup> International Conference on “Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i-CIPEC 2008), Chiang Mai, Thailand, 2008
- [3] H.P. Wan and C.S Chyang, “Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed., J.of Chemical Engineering of Japan, 1998, 13(6), 977-986.
- [4] N. K. Sowards, U.S. Patent 4,075,935, 1978.
- [5] J. Korenberg, U.S. Patent 4,457,285, 1984.
- [6] C.S. Chyang, K.T. Wu and C.S. Lin, “Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor”, Fuel.86, 2007, 234 – 243.
- [7] ฐิติวัฒน์ ฝุ่นลาวงษ์, “พฤติกรรมเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17 – 19 ตุลาคม 2550.
- [8] วิศิษฐ์ สีสมาติกุล, “การศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิในเตาเผาแกลบลูอิดไดซ์เบด”, งานประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23 – 25 พฤษภาคม 2550.
- [9] สุรียา โชคเพิ่มพูน, ฐิติวัฒน์ ฝุ่นลาวงษ์, ชินรัชย์ เอียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, “พฤติกรรมเผาไหม้แกลบลูอิดไดซ์เบดฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” The 2<sup>nd</sup> Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008), 2008.
- [10] สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, ชินรัชย์ เอียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, “อิทธิพลของครีบน้ำมันเคลือบภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดต่อการเผาไหม้แกลบลู”, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2552.