ME-NETT23
The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

TSF-004314

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

# อิทธิพลของครีบรูปตัววีในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ

# Effect of V-Rib in Fluidized-Bed Combustor on Burning Rice Husk

ณัฐวัฒน์ ชั่งชัย, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, ชินรักษ์ เธียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
* ติดต่อ: E-mail: kppongje@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198

***บทคัดย่อ***

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันจำนวนทั้งสิ้น 4 กรณี ได้แก่ กรณีพื้นผิวภายในห้องเผาไหม้เป็นแบบผิวเรียบและกรณีพื้นผิวภายในเป็นแบบผิวคลื่นที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 กรณี คือ พื้นผิวที่มีติดตั้งครีบรูปตัววีมุม 30° 45° และ 60° การทดลองโดยใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่ 8.5 kg/hr และทำการปรับปริมาณลม เข้าสู่ระบบเพื่อให้ อากาศส่วนเกินมีค่าเป็น 40%, 50%, 60% และ 70% ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่เกิดภายในเตา ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ จากผลการศึกษาทั้ง 4 กรณีที่ค่าอากาศส่วนเกินต่างๆ พบว่า ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยรวมในกรณี การติดตั้งครีบทั้ง 3 กรณีให้ผลการกระจายของอุณหภูมิที่สูงและสม่ำเสมอกว่ากรณีพื้นผิวเรียบ รวมทั้งให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่าเช่นกัน

***คำหลัก:*** การเผาไหม้, เชื้อเพลิงแกลบ, เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

***Abstract***

This paper presents the different characteristics of rice husk combustion in a rectangular fluidized bed combustor. The experiments were carried out in 4 types of the combustion chamber surface: the smooth surface and the surface with V-shaped rib angles of θ = 30° 45° and 60°. In the experiments, measurements are made by setting a constant mass flow rate of rice husk fuel at 8.5 kg/hr and by varying mass flow rate of supplied air to obtain excess airs of 40% 50% 60% and 70%. The experiments result shows the comparison of the temperature distributions inside the combustor, flue gas emission and combustion efficiency at different excess airs for 4 cases studied. From experimental results, the 3 cases of the bed with V-shaped ribs are found to be more stable of temperature distributions and higher combustion efficiency than the conventional fluidized bed case.

***Keywords:*** combustion, rice husk fuel, fluidized bed combustor

## 1. บทนำ

เนื่องด้วยความต้องการในการเปลี่ยนพลังงานในเชื้อเพลิงชีวมวลมาเป็นพลังงานความร้อนสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ทำการศึกษาถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อสำหรับเปลี่ยนพลังงานดังกล่าว [1, 2, 3] พบว่า เทคโนโลยีการเผาไหม้นั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยได้มีการศึกษาถึงเทคโนโลยีเตาเผาหลากหลายชนิด อาทิเช่น เตาเผาไซโคลน เตาวอร์เทค [4] เตาฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น

ทีมงานวิจัยได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด จากการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาและพัฒนาเตาเผาชนิดนี้มีวิวัฒนาการดังนี้ คือ มีการศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาที่มีลักษณะหอเป็นทรงกลมที่มีความสูงมาก ต่อจากนั้นได้มีการติดตั้งผิวคลื่นภายในห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มการคลุกเคล้าของอากาศกับเชื้อเพลิงให้ดีขึ้นและยังช่วยเพิ่มเวลาการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้นานขึ้นด้วย จากนั้นได้มีการศึกษาเตาเผาที่มีหอเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและได้อาศัยหลักการเดียวกัน คือ ทำการติดตั้งผิวคลื่น ผลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ลักษณะการเผาไหม้ภายในหอทั้งสองลักษณะให้ผลที่ดีใกล้เคียงกันและพบว่าการติดตั้งผิวคลื่นช่วยให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น งานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงลักษณะของผิวคลื่นที่ทำการติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ว่ามีผลต่อลักษณะการเผาไหม้อย่างไรเพื่อทำการพัฒนาให้ได้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีคุณลักษณะที่ดีและเหมาะสมที่สุดแก่การประยุกต์ใช้งาน

## 2. วัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมายของการศึกษาวิจัยฉบับนี้เพื่อทำการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไดซ์ ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงลักษณะการเผาไหม้ที่เกิด โดยพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา ระดับและความเสถียรของอุณหภูมิ รวมทั้งองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละกรณีศึกษา

## 3. ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาทดลองในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ 4 ลักษณะ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ผิวเรียบ ห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบตัววีมุม 30° 45° และ 60°
2. ใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ 8.5 kg/hr ทุกกรณีศึกษา
3. ปรับอัตราการไหลของปริมาณอากาศคิดเป็นอากาศส่วนเกินที่ 40%, 50%, 60% และ 70%

## 4. ชุดอุปกรณ์การทดลอง

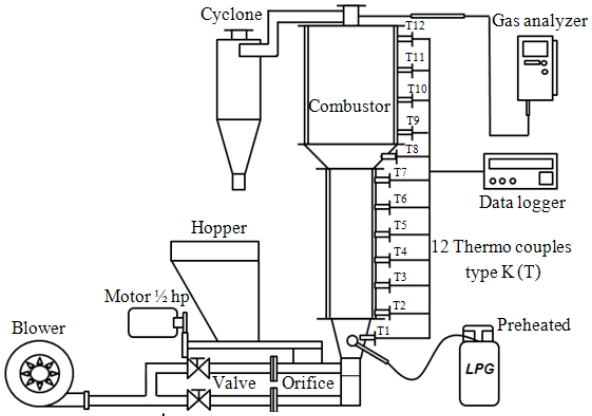
### 4.1 ลักษณะเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

เตาเผาที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็น เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความสูงทั้งสิ้น 2400 mm แบ่งเป็นส่วนห้องผสมสูง 300 mm ห้องเผาไหม้สูง 1100 mm ซึ่งมีพื้นที่ตัดขวางเป็น 300x100 $mm^2$ ส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 150 mm และส่วนของฟรีบอร์ดมีความสูง 850 mm ซึ่งมีพื้นที่ตัดขวางเป็น600x200 $mm^2$ และภายนอกเตาเผาทั้งหมดทำการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ

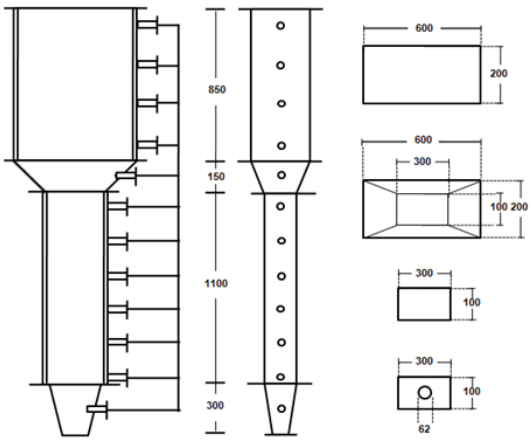
### 4.2 การติดตั้งและการทำงานของอุปกรณ์

ตำแหน่งของการติดครีบ ภายในเตาเผาบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ทั้ง 3 กรณี โดยจะทำการติดตั้งครีบตัวแรกที่บริเวณตำแหน่งวัดค่าอุณหภูมิจุดที่สอง (เหนือแผ่นกระจายลม 400 mm.) และครีบตัวที่สองติดเว้นระยะจากครีบตัวแรกขึ้นไป 50 mm.สำหรับทุกกรณีมุมครีบที่ทำการศึกษาจะใช้ครีบจำนวน 3 คู่ การติดตั้งชุดท ดลองเริ่มจากแหล่งจ่ายลมคือ Blower ซึ่งลมจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นลมที่ใช้สำหรับพยุงแกลบภายในห้องเผาไหม้ซึ่งมีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลมและอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยปริมาณอากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์ว โดยทำการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice จาก Manometer ส่วนเชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper โดย Screw Feed ซึ่งควบคุมปริมาณการ

ป้อนเชื้อเพลิงด้วย Motor และ Inverter ต่อจากนั้นจะเป็นเตาเผาที่ทำการหุ้มฉนวน และที่ทางออกเตาเผาจะต่อกับไซโคลนสำหรับดักอนุภาคขี้เถ้าลอย มีชุดหัวเผาและก๊าซ LPG สำหรับเป็นชุดอุ่นเตา ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดภายในเตาเป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกค่าองค์ประกอบของก๊าซไอเสียผ่านเครื่อง TESTO 350M XL




รูปที่ 1 แผนผังชุดอุปกรณ์การทดลอง




รูปที่ 2 ลักษณะเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

**5. ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล**

- ทำการอุ่นเตา โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิ ภายในเตา ณ ตำแหน่งห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ 700ºC - 750ºC จากนั้นเริ่มป้อนเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 800ºC - 850ºC แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก

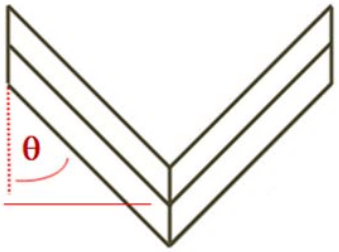
- ปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 8.5 kg/hr อัตราการไหลของอากาศ 65 kg/hr (ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%)

- สังเกตุลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งหากพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงบันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตามตำแหน่งความสูง ) จำนวน 12 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิ สังเกตลักษณะขี้เถ้าและวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

- ทำการขยับเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวแกนที่กำหนดไว้ตำแหน่งที่ 2 ทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3 จากนั้นทำการขยับเทอร์โมคัปเปิลตามตำแหน่งในแนวแกนไปตำแหน่งที่ 3 ทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3 ตามลำดับ

- ปรับอัตราการไหลของอากาศที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 50, 60 และ 70% แล้วทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3-4 ตามลำดับ

- ทำการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบที่ติดตั้งภายในเตาเผา ฟลูอิดไดซ์เบด จากนั้นทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 1-5 ตามลำดับ



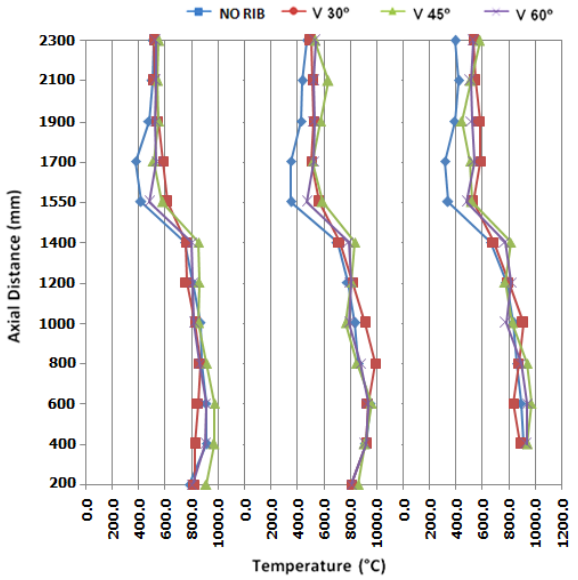

รูปที่ 3 ลักษณะครีบที่ติดตั้งในการทดลอง

**6. ผลการศึกษาทดลอง**

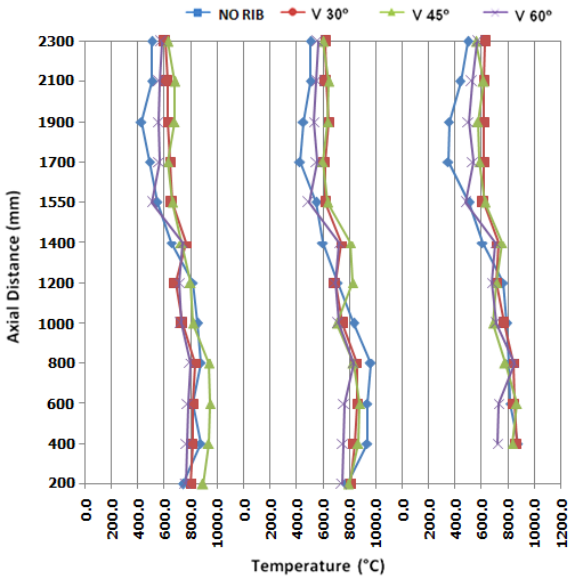
ผลการทดลองที่ทำการพิจารณาประกอบด้วยการกระจายตัวของอุณหภูมิ และปล่อยก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพ การนำเสนอผลการทดลองเป็นการแสดงค่าเปรียบเทียบของผลที่เกิดขึ้นของแต่ละกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ โดยมีผลการทดลองเป็นดังนี้

### 6.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิ

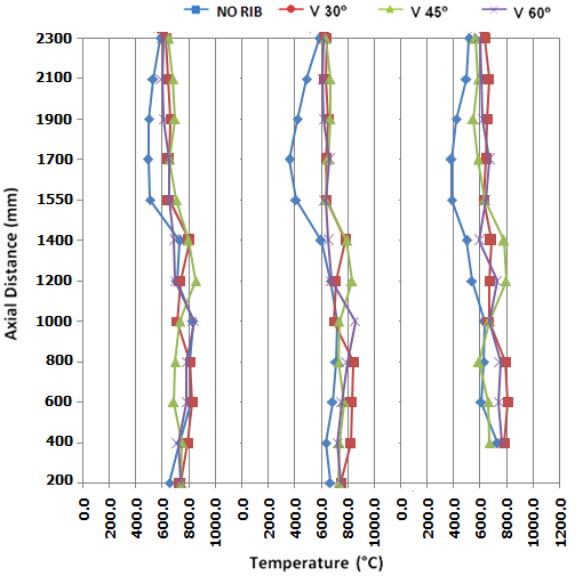
จากการผลของการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิจากส่วนของห้องเผาไหม้ไปสู่ส่วนฟรีบอร์ดจะมีค่าลดลงทุกกรณีที่ทำการศึกษา และจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่ทุกค่าปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นผลของระดับอุณหภูมิที่บริเวณฟรีบอร์ดสำหรับกรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบมีค่าต่ำกว่าทุกกรณีที่มีการติดตั้งครีบเนื่องจากการติดตั้งครีบจะช่วยให้เกิดการคลุกเคล้ากันที่ดีขึ้นระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มากขึ้นจึงให้ค่าระดับอุณภูมิที่สูงกว่าการไม่ติดตั้งครีบ การกระจายตัวและความเสถียรของอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ นับแต่ละกรณีนั้นจะให้ค่าที่ดีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ ซึ่งปริมาณอากาศส่วนเกินนี้จะส่งผลถึงความเร็วของกระแสของไหลภายในเตาตามแต่ละกรณีของลักษณะครีบ



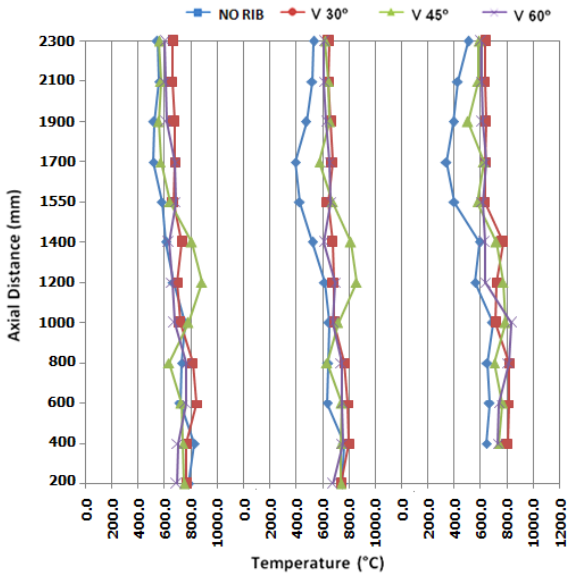

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่อากาศส่วนเกิน 40%




รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่อากาศส่วนเกิน 50%




รูปที่ 6 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่อากาศส่วนเกิน 60%

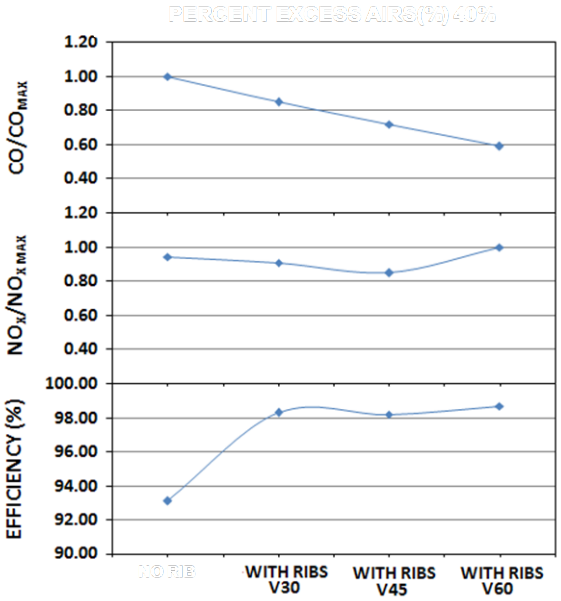



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่อากาศส่วนเกิน 70%

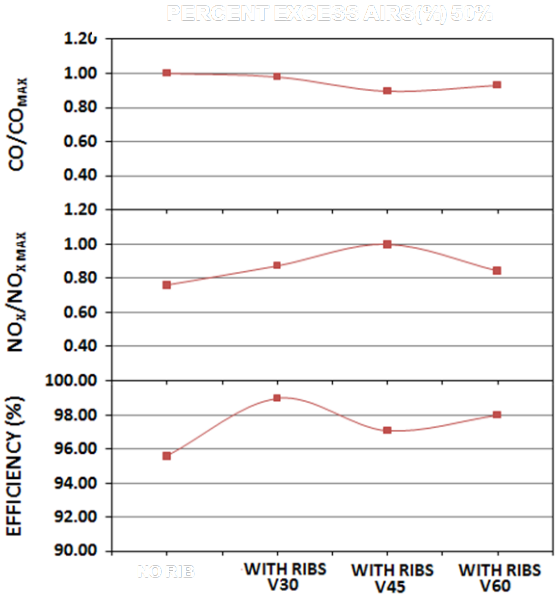
**6.2 องค์ประกอบก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้**

การแสดงผลปริมาณก๊าซไอเสียนั้นจะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนของค่าที่เกิดขึ้นของกรณีศึกษาใดๆ ต่อค่าที่เกิดขึ้นมากที่สุดที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเดียวกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษาพบว่าในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบจะมีปริมาณก๊าซที่มากที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมของครีบที่ติดตั้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณการปล่อยปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ($NO_x$) ของแต่ละกรณีศึกษาจะให้ค่าที่แตกต่างกันตามปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้

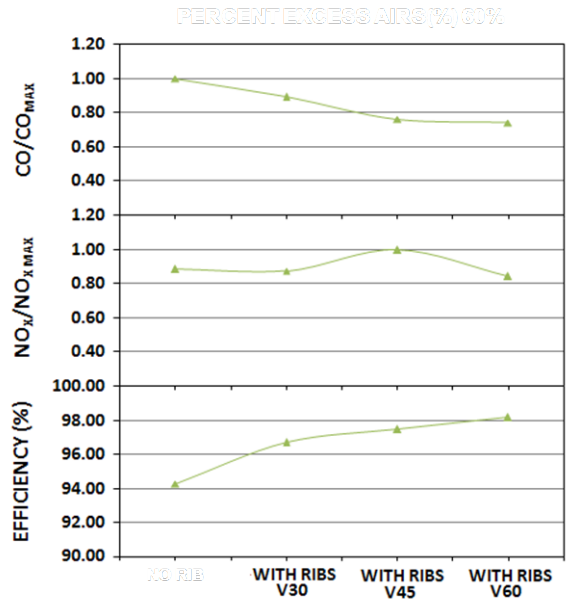
การแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นค่าที่นำมาแสดงจะเป็นค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ทำการคิดจากองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น ณ กรณีศึกษานั้น ๆ มิได้ทำการพิจารณาองค์ประกอบของเถ้า พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ชัดเจนว่า กรณีที่มีการติดตั้งครีบจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีไม่มีการติดตั้งครีบ เนื่องมาจากการติดตั้งครีบช่วยให้เกิดการคลุกเคล้ากันที่ดีระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง นอกจากนั้นการติดครีบจะทำให้เกิดลักษณะการกรหมุนวนของกระแสของไหล จึงทำให้ช่วยเพิ่มทั้งการคลุกเคล้าและเวลาในการเผาไหม้ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่อิทธิพลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ดังนั้นประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงสูงกว่า ส่วนกรณีที่ติดตั้งครีบทั้ง 3 กรณีจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน



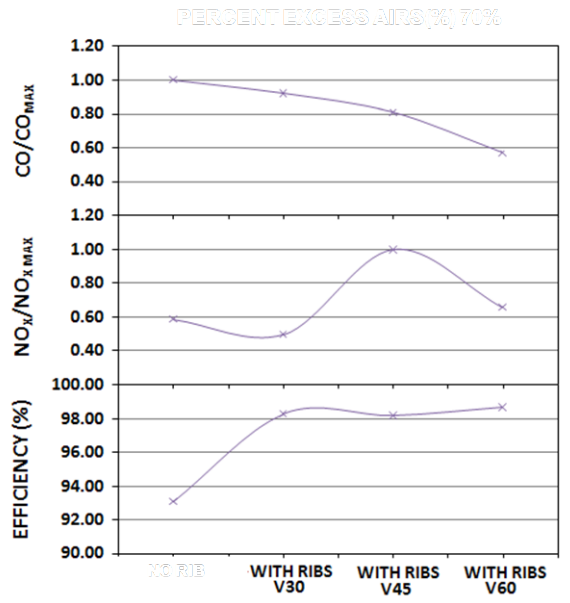

รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อากาศส่วนเกิน 40%




รูปที่ 9 ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อากาศส่วนเกิน 50%




รูปที่ 10 ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อากาศส่วนเกิน 60%




รูปที่ 11 ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อากาศส่วนเกิน 70%

## 7. สรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ทำการศึกษาทดลองถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยศึกษาถึงอิทธิพลของมุมครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ พบว่าจากข้อมูลของผลการศึกษาทดลองที่เกิดขึ้นสามารถสรุปในภาพรวมได้ว่า ลักษณะของมุมครีบที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ นอกจากนั้นแล้วพบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่ให้นั้นส่งผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เช่นกัน และงานวิจัยนี้ยังเป็นการสนับสนุนผลของงานวิจัยที่ผ่านมาว่าการติดตั้งครีบภายในเตาฟลูอิดไดซ์สำหรับเชื้อเพลิงแกลบนั้นช่วยให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีกว่าการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ภายในเป็นผิวเรียบ

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Fang a, L.Yang, G. Chen, Z. Shi, Z. Luo, K. Cen. (2004). Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed. *Fuel Processing Technology* ,85, 1273– 1282

[2] Werther J, Saenger M, Hartge EU, Ogada T, Siagi Z. (2000). Combustion of agricultural residues. *Prog Energy Combust Sci*, 26, pp. 1-27.

[3] M.Muthukrishnan, (1995). International *Conference on Fluidized Bed Combustion,* 1, pp. 609.

[4] S. Eiamsa-ard, Y. Kaewkohkiat, W. Leelaphatikul, C. Thianpong, P. Promvonge. (2008). “Experimental investigation of combustion characteristics in a multi-staging vortex combustor firing rice husk”. *International Communications in Heat and Mass Transfer* ,35,pp. 139–148