

อิทธิพลของอากาศส่วนเกินต่อพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด Effect of Excess Air on Rice Husk Combustion Behaviors in a Fluidized-Bed

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹ อีรพัฒน์ ชมภูคำ² และพงษ์เจต พรหมวงศ์³

Panuwat Hoonpong¹ Teerapat Chompookhom² and Pongjet Promvongse³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-Mail : sompop2525@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

E-Mail: teerapat.c@msu.ac.th

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-Mail kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนออิทธิพลของอากาศส่วนเกินต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด โดยจะทำการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้จะทำการติดตั้งครีบริบตัววีมุม 45° ภายในห้องเผาไหม้ โดยมีระยะห่างระหว่างครีบริบเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบคิดเป็นร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%, 50%, 70% และ 90% ตามลำดับ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ คือ 8.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งครีบริบตัววีมุม 45° ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 30% จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 819 °C ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่นๆ

คำสำคัญ: เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด เชื้อเพลิงชีวมวล การเผาไหม้ ครีบริบ

Abstract

The research presents an effect of excess air on rice husk combustion behaviors in a fluidized bed combustor. The temperature distributions inside the bed and exhaust gas emissions are investigated in the present work. In the present work, rib configuration, namely, 45° V-shaped ribs are introduced and mounted in the combustion chamber. The gap between ribs is about 15 mm. Experiments are made by varying the percent excess air to be 30%, 50%, 70% and 90% at a constant mass flow rate of rice husk fuel of 8.7

kg/hr. The results show that the fluidized bed combustor with 45° V-shaped ribs at 30% percent excess air provides the highest mean temperature of 819°C

Keywords: Fluidized-bed combustor, Biomass fuel, Combustion, Ribs

1. บทนำ

เพราะเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะเป็นผลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อยและทะลายปาล์ม เป็นต้น ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะได้พลังงานออกมาแล้วยังเป็นการกำจัดวัสดุที่เหลือทิ้งเหล่านี้ด้วย จึงมีงานศึกษาวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษถึงกระบวนการการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานที่อยู่ในรูปแบบชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมและน่าเชื่อถือมีความสะดวกในการดำเนินการคือ กระบวนการการเผาไหม้โดยตรงภายในเตาเผาชนิดต่าง ๆ เช่น ระบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed) ระบบไซโคลน (Cyclone), ระบบวอร์เทก (Vortexing) หรือเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคโนโลยีฟลูอิดไคซ์เบดและวอร์เทก (Vortexing fluidized bed) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดเป็นอีกทางเลือกที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิงและสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลหลากหลายชนิด นอกจากนี้ยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานได้อย่าง

รวดเร็ว สามารถทำงานที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบอื่น ๆ ทำให้ลดการก่อตัวของกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และการหลอมตัวของเถ้าภายในเตาเผา ลดปัญหาของการเกิดตะกรัน แต่การใช้เตาเผาชนิดนี้ยังพบปัญหาบางประการ

Promvongse and Silipabanleng [1] ได้ทำการศึกษาโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านหินและรายงานว่ชี้เถ้าภายในเตามีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เนื่องจากแกลบมีปริมาณชี้เถ้าสูง

Wan และ Chyang [2] กล่าวว่าการใช้วิธีการของเทคนิคฟลูอิดเบตนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (พรีบอร์ค) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิง โดยอาจต้องมีความสูงรวมของพรีบอร์คมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเบต แต่อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเตาเผาชนิดนี้โดยพยายามกำจัดข้อด้อยนี้ออกไป เช่น การอาศัยหลักการอากาศหมุนวนภายในเตาเผาเข้ามาช่วยเพื่อลดขนาดความสูงของเตาเผา เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กในเตาเผาฟลูอิดเบตนี้จะมีลักษณะขึ้นลงในแนวดิ่งตามทิศทางลมที่จ่ายเข้าสู่ระบบ แต่หลักการอากาศหมุนวนจะเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เกิดการหมุนวนในแนวระดับไปพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง.

ภัทรพันธุ์ และคณะ [3] ได้ทำการทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดเบตที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัว ซึ่งผลการทดลองพบว่าการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำ-หงายแบบแยกตัวทำมุม 45° ให้การเผาไหม้ที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบริบและกรณีติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัวนั้นยังช่วยให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่ากรณีอื่นๆ

ภัทรพันธุ์ และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดวางครีบริบในเตาเผาแกลบฟลูอิดเบตต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ โดยการติดตั้งครีบริบลักษณะต่างๆ จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ ครีบริบตัววีคว่ำ ครีบริบตัววีหงายและวางเอียงซึ่ง 3 รูปแบบนี้จะทำมุม 30° โดยพบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกันในส่วนห้องเผาไหม้แต่ในส่วนของพรีบอร์ค จะพบว่าที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำนั้นจะให้ค่าสูงกว่ากรณีอื่นๆและการเผาไหม้อยู่ในระดับที่สูง อีกทั้งแก๊สไอเสียก็อยู่ในช่วงปริมาณที่ต่ำเช่นกัน

2. วัตถุประสงค์

ทำการศึกษาเปรียบเทียบอากาศส่วนเกินและพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดเบตเพื่อเป็นแนวทางในการหาอัตราการเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดเบตที่สมบูรณ์และนำทรัพยากรเหลือใช้มาเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานความร้อน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดเบตที่ภายในห้องเผาไหม้ทำการติดตั้งครีบริบตัววีหงายทำมุม 45° และจัดวางครีบริบลักษณะวางแนวระนาบบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้
2. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ คือ 8.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
3. ปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่ 64-93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%, 50%, 70% และ 90% ตามลำดับ
4. พฤติกรรมการเผาไหม้ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบได้แก่ การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาและปริมาณองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

4. การติดตั้งอุปกรณ์

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับศึกษาทดลอง แสดงในรูปที่ 1 เตาเผาฟลูอิดเบตลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งถูกหุ้มฉนวนภายนอกเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ขนาดหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.2×0.2 ตารางเมตร และสูงเท่ากับ 1.05 เมตร ในขณะที่ขนาดหน้าตัดของพรีบอร์คเท่ากับ 0.3×0.3 ตารางเมตร และสูง 0.80 เมตร ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 0.25 เมตรและ 0.20 เมตร ตามลำดับ ลักษณะของครีบริบที่ใช้ในการทดลองทำจากเหล็กฉากเชื่อมติดกันเป็นรูปตัววี ตัววีคว่ำและครีบริบวางเอียง ซึ่งจะถูกติดตั้งเข้ามาในแนวทแยงขวางไว้ในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2 อุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศกับระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลม คือ Blower โดยอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นอากาศที่ใช้สำหรับพองแกลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม และอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วจากการวัดและอ่านค่าความดันตก

โครมผ่านแผ่น Orifice จาก Manometer ซึ่งปริมาณอากาศแต่ละส่วนนั้นจะทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (Flow Meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณการไหลของอากาศอากาศ เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper ไหลลงสู่รางของ Screw Feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบให้ตกลงสู่ท่อลมที่สำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมผ่านความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ Screw Feeder โดยมี Inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ อนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผาลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของเฟรียบอร์ดเข้าสู่ไซโคลน เถ้าลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกคัดออกทางด้านล่างของไซโคลน การวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ส่วนองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของเฟรียบอร์ดนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย TESTO 350M XL ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA) สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์นี้

$$EA = \left[\frac{(A/F)_A}{(A/F)_S} - 1 \right] \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ EA คือ ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน

A/F_A คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

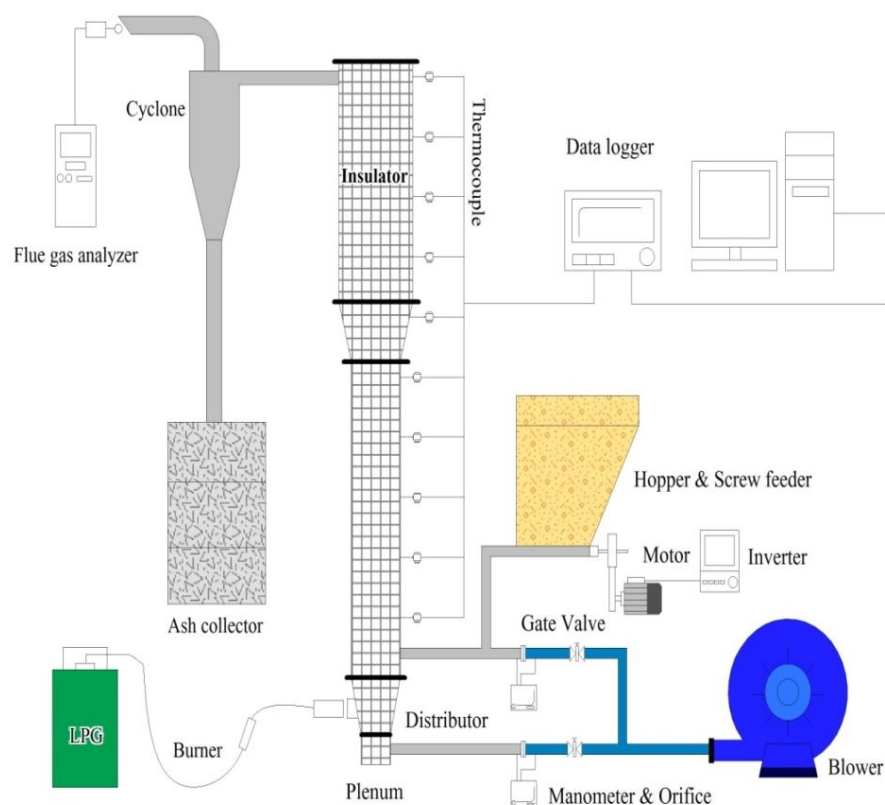
A/F_S คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

5. ขั้นตอนการทดลอง

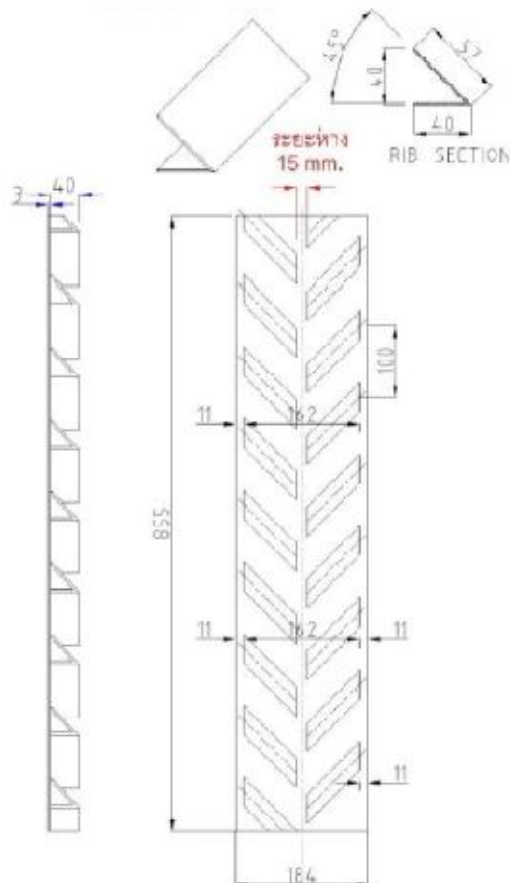
การศึกษาทดลองนี้มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ 500–550 องศาเซลเซียส

2. เริ่มทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบพร้อมกับอากาศสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 650–700 องศาเซลเซียส จึงหยุดการอุ่นเตาและเอาชุดอุ่นเตาออก



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิดไรเซชัน



รูปที่ 2 การจัดวางครีบกภายในห้องเผาไหม้

3. ปรับอัตราการไหลของอากาศ 64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%) และปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 8.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามีค่าเสถียรอุณหภูมิ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาและวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสีย

5. ทำการปรับตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวระดับที่กำหนดไว้ในตำแหน่งที่ 2 จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามวามใหม่ขั้นตอนในข้อ 3

6. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 71, 80 และ 93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่ 50%, 70% และ 90% ตามลำดับ) แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3-4 ตามลำดับ

6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการกระจายของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาที่ระดับความสูงต่างๆ เปรียบเทียบแต่ละกรณี ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%, 50%, 70% และ 90% ตามลำดับ พบว่า ระดับอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงอย่างมากเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายหน้าตัดในส่วนของฟร็อบอร์ระดับอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิในส่วนขยายหน้าตัด

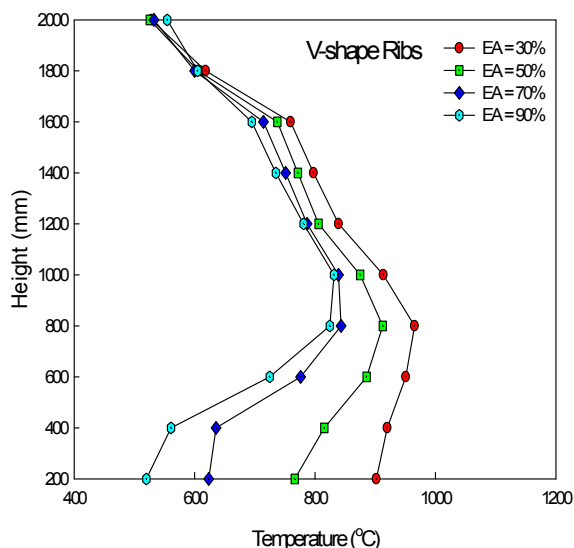
เมื่อเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเผา กรณีการติดตั้งครีบกพบว่าที่ร้อยละอากาศส่วนเกิน 30% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงที่สุด ในขณะที่ร้อยละอากาศส่วนเกิน 90% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อความเร็วของอากาศภายในเตาเผาที่มากขึ้น

ดังนั้นที่ความเร็วมากเกินความพอดีจะทำให้เกิดการพัดพาเอาเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่เต็มที่หลุดลอยออกไป และยังทำให้อากาศเย็นที่จ่ายเข้าสู่ระบบเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่เกิดจากกระบวนการไหม้เร็วกว่ากรณีศึกษาอื่น ๆ ทำให้ระดับอุณหภูมิที่วัดได้จึงมีค่าต่ำ กรณีการติดตั้งครีบริบตัววิหยาที่อากาศส่วนเกินต่างๆ พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงสุด 965.3°C และระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด 819.4°C ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 30%

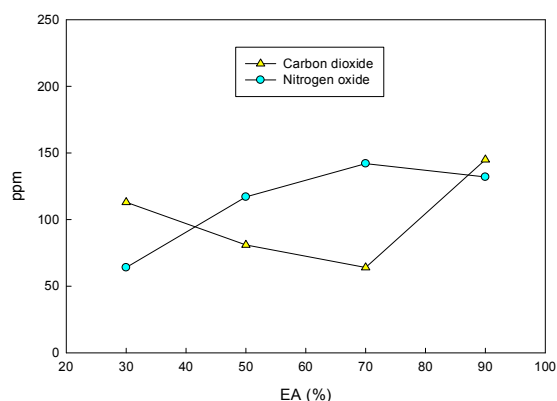
6.2 ปริมาณแก๊สไอเสีย

ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ตามกรณีศึกษาที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินต่างๆ แสดงในรูปที่ 4 จากรูปจะพบว่า ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลแกลบมีค่าอยู่ระหว่าง 64-145 ppm สำหรับกรณีการติดตั้งครีบริบลักษณะเดียวกัน ที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 70% จะให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินอื่น ๆ ในขณะที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่ 90% จะให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุด เนื่องจากกระแสฟลูอิดเซชันมีความเร็วสูงเกินไปจึงนำเอาอนุภาคเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หลุดลอยมาด้วย ส่วนปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนเปรียบเทียบกับกรณีลักษณะต่าง ๆ ที่ร้อยละปริมาณอากาศส่วนเกินใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า กรณีที่ติดตั้งครีบริบทั้งหมดมีปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 64-142 ppm

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียทั้ง 2 ชนิดกับค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณแก๊สไอเสียจากโรงงาน [5] (ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าไม่เกิน 690 ppm และปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าไม่เกิน 200 ppm) จากผลการทดลองพบว่ากรณีที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล นั้น ผลที่เกิดจากการศึกษาวิจัยมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่กำหนด



รูปที่ 3 ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิ



รูปที่ 4 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน

7. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิหยา โดยจัดวางในลักษณะบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวอุณหภูมิที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินต่างกันมีความคล้ายคลึงกันและมีค่าใกล้เคียงกันภายในส่วนของห้องเผาไหม้ แต่เมื่อเข้าสู่ส่วนของพรีบอร์ด จะพบว่าระดับอุณหภูมิที่เกิดจากการติดตั้งครีบริบตัววิหยาที่อากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% จะให้ค่าที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ อย่างชัดเจน หากพิจารณาค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตา โดยพบว่ากรณีการติดตั้งครีบริบตัววิหยาที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 30% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ย

สูงที่สุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้ที่ค่าประมาณ 819.4 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่น ๆ เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สไอเสียพบว่าแต่ละกรณีศึกษามีปริมาณใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดน่าจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบ เนื่องจากให้ระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงและปล่อยแก๊สไอเสียในปริมาณที่ต่ำ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Promvong and K. Silapabanleng, "Experimental Study of Combustion Characteristics in a Rice Husk Fired Vortex Combustor," Proceedings of the 36th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Savannah, Georgia, paper no. 2001-RE-17, 2001.
- [2] Wan, H.P. and Chyang, C.S. (1998) Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed, *J.of Chemical Engineering of Japan*, vol. 13(6), pp. 977-986. 1998.
- [3] ภัทรพันธุ์ ทองยศ และคณะ พฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีครีบริบตัววีแบบแยกตัว, การประชุมวิชาการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 12, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556.
- [4] ภัทรพันธุ์ ทองยศ และคณะ อิทธิพลของการจัดวางครีบริบในเตาเผาแกลบฟลูอิดไชน์เบดต่อพฤติกรรมการเผาไหม้, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม, 2555.
- [5] มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณแก๊สไอเสียจากโรงงาน กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แหล่งที่มา <http://www.pcd.go.th> ประกาศ ณ วันที่ 12/10/2554.