

**อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดเซชันที่มีต่อสมรรถนะ
การเผาไหม้แกลบในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบดที่ใช้หัวฉีดกระจายอากาศ
Effect of Fluidizing Air Velocity on Combustion Performance for Firing Rice Husk in
a Vortex-Fluidized Bed Combustor (VFBC) Using Nozzle-Type Air Distributor**

ประสาน สถิตยเรือ่งศักดิ์^{1*} ฐานิตย์ เมธิยานนท์² และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์³

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 51 เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

³ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10400

*ผู้ติดต่อ: prasan_mut@yahoo.com, เบอร์โทรศัพท์: (662) 9883655 ext. 3107

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดเซชัน (U_f) ที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้แกลบในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นวัสดุเฉื่อยในเบดและใช้หัวฉีดกระจายอากาศ ในแง่ของปริมาณแก๊สมลพิษที่ทางออกเตาและประสิทธิภาพการเผาไหม้ (E_c) ตลอดจนได้ศึกษาลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเตา ในการทดลองได้ปรับเปลี่ยน U_f ที่ 0.8, 1.0, 1.1 และ 1.2 m/s ซึ่งคิดเป็นอากาศส่วนเกิน (EA) ในช่วง 48-90% ผลการวัดการกระจายอุณหภูมิและความเข้มข้นออกซิเจนภายในเตาบ่งชี้ว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นบริเวณใต้วงแหวนวอร์เทค ในขณะที่การเพิ่ม U_f ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาลดลง ในแง่ขององค์ประกอบแก๊สไอเสียพบว่า CO มีค่าเพิ่มขึ้นตาม U_f ที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าในช่วง 25-90 ppm (ที่ 6% O_2) ในขณะที่ NO_x ที่ระดับ O_2 ส่วนเกิน 6% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่ม U_f ซึ่งมีค่าในช่วง 332-397 ppm นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่ม U_f เป็นสาเหตุของการลดลงของ E_c ซึ่งส่วนใหญ่มีค่า>98% ตลอดจนพบว่า U_f ที่เหมาะสมในการศึกษานี้คือ 0.8 m/s ซึ่งคิดเป็น EA = 48%

คำหลัก: แกลบ/ แก๊สไอเสีย/ ฟลูอิดซ์เบด/ วอร์เทค

Abstract

This research presents the effect of the fluidizing air velocity (U_f) on combustion performance for firing rice husk, in terms of gas emissions and combustion efficiency (E_c), in a vortex-fluidized-bed combustor (VFBC) using sand as an inert bed material, and using a nozzle-type air distributor. The combustion behavior inside the VFBC was also presented. In this study, U_f was varied at 0.8, 1.0, 1.1 and 1.2 m/s, corresponding to excess air (EA) in the range of 48-90%. The temperature and O_2 profiles along the combustor height indicated that main combustion occurred beneath the vortex ring, while increasing U_f was responsible for a drop in temperature along the combustor height. In view of gas emissions at 6% O_2 , CO and NO_x emissions tended to increase as U_f increased, ranging 25-90 ppm for CO and 332-397 ppm for NO_x . Moreover, the U_f increment was accountable for E_c degradation, mostly >98%. The results concluded that the optimum U_f was 0.8 m/s, corresponding to EA = 48%.

Keywords: emissions/ fluidized-bed/ rice husk/ vortex

1. บทนำ

การนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอันมีปัจจัยมาจากการปรับราคาเพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งน้ำมันและถ่านหิน อีกทั้งการสนับสนุนให้มีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยภาครัฐบาลที่ได้ออกมาตรการจูงใจต่างๆ ตลอดจนการออกกฎหมายบังคับ เช่นการกำหนดนโยบายการเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนเป็น 8% ในปี 2554 [1] ทั้งนี้ชีวมวลต่างๆ อาจถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำหรือเตาเผาไหม้ต่างชนิดกันตามความเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นเตาตะกรับ เตาไซโคลน เตาเผาเชื้อเพลิงบด หรือเตาเผาฟลูอิดไธด์เบด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาเผาไหม้แต่ละชนิดข้างต้นพบว่าเตาเผาไหม้ฟลูอิดไธด์เบดเป็นเตาเผาที่มีประสิทธิภาพสูง [2-3] และกำลังเป็นที่นิยมอยู่ในปัจจุบันโดยเชื้อเพลิงที่มักถูกนำไปเผาไหม้ได้แก่ แกลบ [4-6] ชานอ้อย [7] และฟางข้าว [8] เป็นต้น ทั้งนี้ มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาแบบฟลูอิดไธด์เบด เช่น ความเร็วหรือปริมาณอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไธด์เซชัน ปริมาณอากาศส่วนที่สองที่จ่ายเหนือเบดเพื่อช่วยเผาไหม้สารระเหยของเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไธด์เซชันจะส่งผลมากต่อค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยน้อย [6] ในขณะที่ปริมาณอากาศส่วนที่สองนั้นจำเป็นต้องจ่ายในกรณีของการเผาไหม้ชีวมวล [9]

งานวิจัยที่ผ่านมาของคณะผู้วิจัยที่ได้ศึกษาการเผาไหม้แกลบและการเผาไหม้แกลบร่วมกับถ่านหินบิทูมินัสในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไธด์เบด (VFBC) ซึ่งไม่ใช้วัสดุเนื้อเยื่อเป็นเบดและติดตั้งใบกวานภายในเบดเพื่อป้องกันการเกาะตัวของเชื้อเพลิง [4,10] ซึ่งผลการศึกษาพบว่าเตา VFBC สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบหรือเชื้อเพลิงร่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (>97%) และปลดปล่อยแก๊สมลพิษ (CO และ SO₂) อยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน เว้นแต่ปริมาณ NO_x ที่ต้องควบคุมอุณหภูมิเบดให้ต่ำประมาณ 800°C จึงจะสามารถจำกัดได้ แต่อย่างไรก็ตาม การไม่ผสมวัสดุเนื้อเยื่อในเบดของเตา VFBC ส่งผลให้เกิดขีดจำกัดในการนำเตาเผาไหม้ตัวนี้ไปประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไธด์เซชันได้เช่นเดียวกับแกลบ จึงได้ปรับเปลี่ยนการศึกษามาเป็นการใช้ทรายเป็นเบดปริมาณ 2.5 kg ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในเตาเผาไหม้ VFBC ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของการทำงานที่แปรเปลี่ยนไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาผลกระทบความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไธด์เซชันที่มีต่อสมรรถนะการเผาไหม้แกลบของเตาเผาไหม้ VFBC ที่ใช้ทรายเป็นเบด ซึ่งจะพิจารณาถึงลักษณะการเผาไหม้ องค์ประกอบของแก๊สไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยในทุกเงื่อนไขการทดลองจะปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและความเร็วอากาศในส่วนอื่นๆ ไว้คงที่แต่จะปรับเปลี่ยนเพียงความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไธด์เซชันเท่านั้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไธด์เบด (VFBC)

รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไธด์เบด (VFBC) โดยเตาเผาไหม้ VFBC ที่ใช้ในการทดลองนั้นถูกออกแบบโดยรวมเอาลักษณะเด่นของเตาเผาแบบไซโคลนคือการเผาไหม้แบบหมุนวนหรือวอร์เทคและการเผาไหม้ขณะแขวนลอยในกระแสอากาศของเตาเผาแบบฟลูอิดไธด์เบดเข้าด้วยกันจึงทำให้เตาเผาตัวนี้มีประสิทธิภาพสูงขนาดของเตา VFBC คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเผาเท่ากับ 40 cm และสูง 165 cm โดยลักษณะของเตาเผาไหม้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 2 คือ ส่วนหนึ่งเป็นรูปร่างทรงกระบอกสูง 140 cm และส่วนที่สองคือเป็นทรงกรวยหงายตัดยอดสูง 30 cm โดยที่ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกจะมีการติดตั้งวงแหวนวอร์เทคซึ่งมี

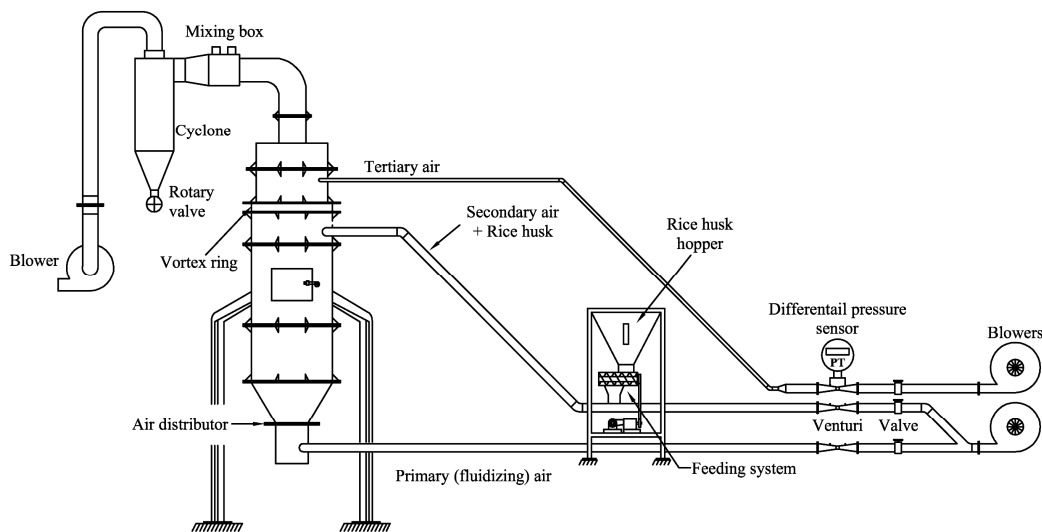
ขนาดช่องเปิดของรูเท่ากับ 24 cm โดยวงแหวนวอร์เทคนี้จะช่วยในการดักอนุภาคเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดให้ตกกลับมายังเบดซึ่งจะสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ ส่วนด้านล่างของเตาเผาที่เป็นทรงกรวยหยางนั้นจะเป็นส่วนรองรับอนุภาคเบดและเชื้อเพลิงในขณะเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด ซึ่งมีการติดตั้งตัวกระจายอากาศแบบหัวฉีดไว้ด้านล่างสุด สำหรับการจ่ายอากาศเข้าเตาเผาไหม้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ อากาศส่วนที่หนึ่งเป็นอากาศที่เป่าให้เชื้อเพลิงเกิดฟลูอิดไคซ์ซึ่งถูกจ่ายเข้าบริเวณด้านล่างเตาผ่านตัวกระจายอากาศแบบหัวฉีด อากาศส่วนที่สองถูกจ่ายในแนวสัมผัสกับผนังเตาพร้อมกับแกลบที่ตำแหน่งใต้วงแหวนวอร์เทค และอากาศส่วนที่สามเป็นส่วนที่ช่วยในการเผาไหม้ซึ่งได้จ่ายที่ตำแหน่งเหนือวงแหวนวอร์เทคในลักษณะสัมผัสกับผนังห้องเผาไหม้เช่นเดียวกับอากาศส่วนที่สอง นอกจากนี้ ในการทดลองได้ใช้ทรายขนาด 300 ไมครอน ปริมาณ 2.5 kg ซึ่งคิดเป็นความสูงเบดประมาณ 6 cm เป็นอนุภาคเบดเพื่อให้เกิดฟลูอิดไคซ์

2.3 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

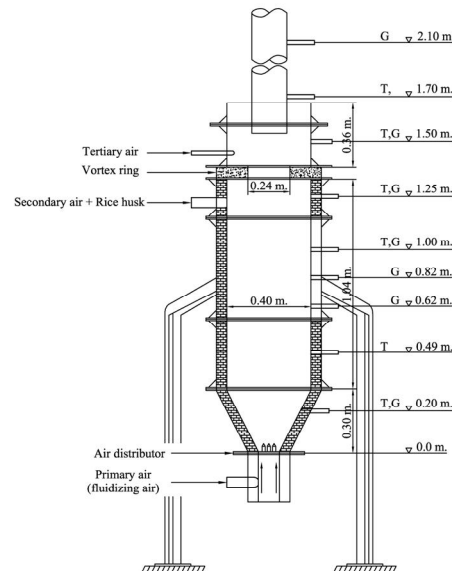
เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือแกลบซึ่งมีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ (as received)

Proximate analysis (wt.%)	
Fixed carbon	20.1
Volatile matter	55.6
Moisture	10.3
Ash	14.0
Ultimate analysis (wt.%)	
Carbon	38.0
Hydrogen	4.55
Oxygen	32.4
Nitrogen	0.69
Sulphur	0.06
Moisture	10.3
Ash	14.0
Higher heating value (MJ/kg)	14.98



รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบด



รูปที่ 2 ขนาดเตาเผาไหม้ VFBC ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและแก๊สเสียในการทดลอง

2.2 การวัดและขั้นตอนการทดลอง

การวัดปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ใช้เวนจูรีที่ทำการสอบเทียบแล้วร่วมกับเซนเซอร์วัดความดันแตกต่างซึ่งมีความคลาดเคลื่อน $\pm 3\%$ ของย่านการวัด การควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับสกรูป้อนเชื้อเพลิง ส่วนการวัดอุณหภูมิในการทดลองจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K คู่กับอุปกรณ์แสดงผลซึ่งมีความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$ ซึ่งทำการวัดจำนวน 6 ตำแหน่งคือ 0.20, 0.49, 1.0, 1.25, 1.50m เหนือแผ่นกระจายอากาศ และที่ท่อทางออกเตาเผาไหม้ (ระดับ 1.70 m) ดังรูปที่ 2 สำหรับในการวัดความเข้มข้นของ O_2 ที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 0.20, 0.62, 0.82, 1.0, 1.25, 1.50m และที่ท่อทางออกเตา (2.10m) นั้นได้ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สเสีย Testo 350XL ซึ่งสามารถวัดแก๊ส O_2 , CO และ NO_x ส่วน CO_2 ที่แสดงนั้นได้มาจากการคำนวณย้อนกลับจากปริมาณ O_2 ของเครื่องวัด สำหรับประสิทธิภาพการเผาไหม้นั้นหาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ภายในถ้ำที่ตักได้จากไซโคลน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุ LECO CHNS 932 ร่วมกับปริมาณ CO ที่วัดได้จากแก๊สไอเสีย

ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการปรับความเร็วลมที่ใช้ของอากาศส่วนต่างๆ ให้ได้ตามเงื่อนไขการทดลองตามตารางที่ 2 จากนั้นทำการจุดเตาเผาไหม้ โดยจะเริ่มใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเพื่ออุ่นให้เตาอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ $700-800^\circ\text{C}$ แล้วจึงเริ่มป้อนทรายปริมาณ 2.5 kg เข้าสู่เตาเผาไหม้ เมื่อสภาวะการทำงานของเตาเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 60-90 นาทีแล้วจึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้คือ อุณหภูมิแนวกึ่งกลางเตาและความเข้มข้นของ O_2 ที่ระดับความสูงต่างๆ (ดังรูปที่ 2) รวมถึงการวัดปริมาณถ้ำที่ตักได้จากไซโคลน (เก็บทุก 30 นาที เป็นเวลา 15 นาที) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ (E_c) ได้ตามสมการที่ (1) [4-10]

$$E_c = \left[\frac{(E_F - E_a - E_{fg})}{E_F} \right] \times 100 \% \quad (1)$$

โดย

E_F = ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเตาเผาไหม้ (MJ/kg)

E_a = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ในเตา (MJ/kg)

E_{CO} = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ในแก๊สไอเสียซึ่งคำนวณได้จากปริมาณ COX ค่าความร้อนของ CO (MJ/kg)

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลองผลกระทบของความเร็วอากาศส่วนที่สองในตัววงแหวนวอร์เทค

Testing conditions	Run number			
	1	2	3	4
Fluidizing air velocity (m/s)	0.8	1.0	1.1	1.2
Mass fraction (-)	0.57	0.62	0.64	0.66
2 nd air velocity (m/s)	13	13	13	13
Mass fraction (-)	0.35	0.31	0.29	0.28
Tertiary air velocity (m/s)	10	10	10	10
Mass fraction (-)	0.08	0.07	0.07	0.06
Excess air (%)	48	70	80	90
Rice husk feed rate (kg/h)	32.7	32.7	32.7	32.7

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลกระทบของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไอเซชันในการเผาไหม้แบบของเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบด (VFBC) ที่ใช้ทราบเป็นเบดในปริมาณ 2.5 kg และใช้ตัวกระจายอากาศแบบหัวฉีด โดยได้ศึกษาถึงลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเตาซึ่งพิจารณาได้จากการกระจายอุณหภูมิและแก๊สออกซิเจนในแต่ละระดับความสูงของเตาเผาไหม้ ตลอดจนได้ประเมินถึงสมรรถนะการเผาไหม้ของเตาในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้และแก๊สมลพิษ

3.1 การกระจายอุณหภูมิและแก๊สออกซิเจนภายในเตาเผาไหม้

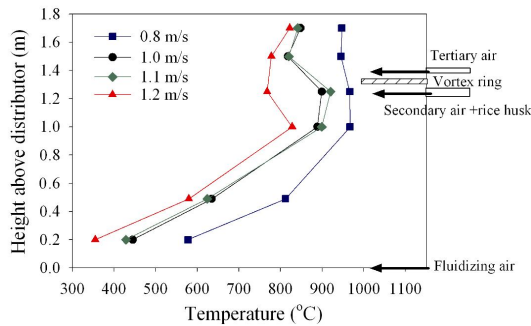
รูปที่ 3(ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวกึ่งกลางเตา VFBC ในแต่ละระดับภายใต้เงื่อนไขความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน (U_f) ต่างๆ โดยพบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ระดับ 0.2 m เหนือแผ่นกระจายอากาศโดยมีค่าในช่วง 355-570°C ซึ่ง

เป็นผลมาจากอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไอเซชันซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีสัดส่วนโดยมวลในช่วง 0.57-0.66 ไหลเข้าสู่เตาเผาไหม้แล้วเริ่มรับความร้อนจากเบดทราย หลังจากจุดนี้อุณหภูมิจะสูงขึ้นตามระดับความสูงซึ่งบ่งชี้ถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับความสูง 1.0 m โดยมีค่าในช่วง 768-966°C นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสังเกตว่าการจ่ายอากาศส่วนที่สองซึ่งมีสัดส่วนมวลอากาศประมาณ 0.27-0.35 และเข้ามาพร้อมกับเชื้อเพลิงแกลบที่ระดับตัววงแหวนวอร์เทคไม่ส่งผลให้อุณหภูมิในช่วงระดับความสูง 1.0-1.25 m ลดลง ยกเว้นเงื่อนไข $U_f = 1.2$ m/s แสดงให้เห็นถึงการเริ่มการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มเข้าสู่เตาเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารระเหยซึ่งอาจหลุดลอยขึ้นไปเผาไหม้เหนือวงแหวนวอร์เทค อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 3(ก) ยังแสดงให้เห็นอีกว่าที่ระดับ 1.50 m อุณหภูมิแก๊สภายในเตาเหนือวงแหวนวอร์เทคมีแนวโน้มลดลงซึ่งอาจเป็นผลมาจากอากาศส่วนที่สามเข้าไปผสมกับแก๊สไอเสียที่ลอยผ่านวงแหวนวอร์เทคสำหรับอุณหภูมิแก๊สที่ทางออกเตา (1.70m) มีค่าในช่วง 822-947°C

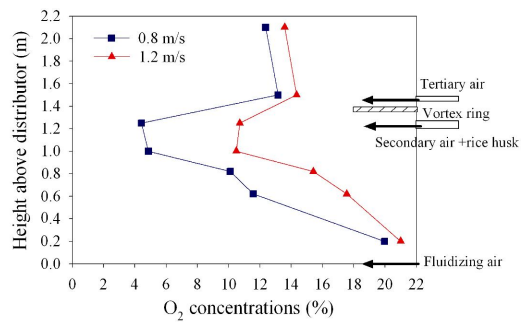
รูปที่ 3(ข) แสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นออกซิเจนในแต่ละระดับความสูงของเตาเผาไหม้ที่เงื่อนไข U_f เท่ากับ 0.8 และ 1.2 m/s โดยพบว่าปริมาณออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นรูปแบบคือ ลดลงตามระดับความสูงในช่วงบริเวณในตัววงแหวนวอร์เทคและเพิ่มสูงขึ้นที่บริเวณเหนือวงแหวนวอร์เทค การลดลงอย่างรวดเร็วของปริมาณออกซิเจนในช่วงระดับความสูง 0.2 m ถึง 1.25 m จาก 20-21% เหลือ 4-11% แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างมากในบริเวณนี้ซึ่งจะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบริเวณเดียวกัน ดังที่อธิบายไว้ในรูปที่ 3(ก) อย่างไรก็ตามที่ระดับความสูงเหนือวงแหวนวอร์เทค (1.5 m) ขึ้นไปพบว่าปริมาณออกซิเจนภายในเตามีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าในช่วง 13.16-14.34% ในกรณี U_f ที่ 0.8 และ 1.2 m/s ตามลำดับ โดยคาดว่าเป็นผลมาจากสองส่วนคือ 1) การหลุดลอยของออกซิเจนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้จากบริเวณในตัววงแหวน

วอร์เทคขึ้นสู่บริเวณเหนือวงแหวนวอร์เทคและ 2) การผสมของอากาศส่วนที่สามที่ถูกฉีดบริเวณตำแหน่ง

เหนือวงแหวนวอร์เทคซึ่งจะสอดคล้องกับการลดลงของอุณหภูมิที่ตำแหน่งเดียวกัน (1.5 m)



(ก) การกระจายอุณหภูมิ



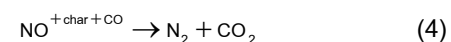
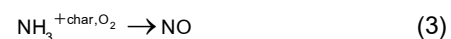
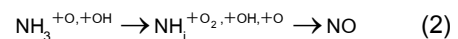
(ข) การกระจายออกซิเจน

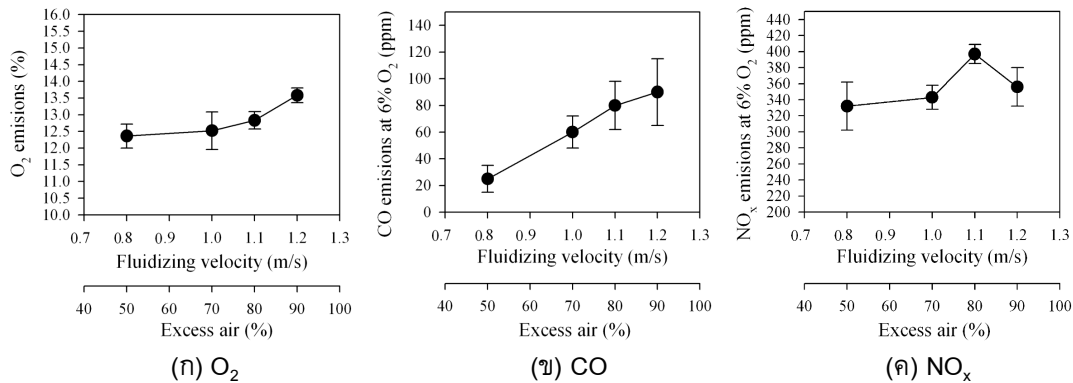
รูปที่ 3 การกระจายอุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจนภายในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบด

3.2 แก๊สมลพิษที่ทางออกเตาเผาไหม้

ผลของความเร็วจานวอร์เทคที่ก่อให้เกิดฟลูอิดซ์เบดที่มีต่อแก๊สมลพิษที่ทางออกเตาเผาไหม้ถูกแสดงดังรูปที่ 4. โดยรูปที่ 4(ก) ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจน (O₂) ในแก๊สไอเสียที่ทางออกเตาในแต่ละเงื่อนไขพบว่าการเพิ่ม U_f ในช่วง 0.8-1.1 m/s ส่งผลให้ปริมาณ O₂ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 12.36 เป็น 12.83% โดยเป็นผลมาจากปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นจาก 48% เป็น 80% แต่ทั้งนี้ หากเพิ่มความเร็ว U_f เป็น 1.2 m/s จะส่งผลให้ O₂ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเป็น 13.58% สำหรับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ O₂ นี้แสดงให้เห็นถึงการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ลดลงอันเป็นผลมาจากความเร็วอากาศที่สูงเกินไปซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิเบดลดลงอย่างมาก โดยความสัมพันธ์นี้จะสอดคล้องกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลงตาม U_f ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป รูปที่ 4(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามความเร็ว U_f โดยพบว่าปริมาณ CO มีค่าเพิ่มขึ้นตาม U_f ซึ่งมีค่าในช่วง 25-90 ppm (ที่ 6% O₂) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 740 ppm ในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CO นี้เป็นผลมาความเร็วจานวอร์เทคที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้ของแก๊ส CO ภายในเตาลดลง และการลดลงของอุณหภูมิภายในเตาเป็นอีกหนึ่งเหตุผลที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ตามความเร็ว U_f แสดงดังรูปที่ 4(ค) โดยพบว่า การเพิ่มความเร็ว U_f ในช่วง 0.8-1.1 m/s เป็นผลให้ NO_x แนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 397 ppm (ที่ 6% O₂) ที่กรณี U_f = 1.1 m/s ซึ่งอธิบายได้ว่าจากการเพิ่ม U_f จะส่งผลให้ปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้ปริมาณ O₂ ที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในเชื้อเพลิงซึ่งมักอยู่ในรูปของ NH₃ ตามสมการที่ (2) และ (3) ได้เพิ่มมากขึ้น [3,5,11] ประกอบกับสภาพแวดล้อมบริเวณใต้วงแหวนวอร์เทคที่มี O₂ มาก (ดังรูปที่ 3(ข)) ไม่เกิดหนุ่นต่อปฏิกิริยาการสลายตัวของ NO_x ที่จะทำปฏิกิริยากับถ่าน (Char) ภายใต้สภาวะรีดิวซิง (ดังสมการ (4) [5,11]) สำหรับที่เงื่อนไข U_f = 1.2 m/s นั้นพบว่าปริมาณ NO_x ลดลงเหลือ 356 ppm (ที่ 6% O₂) โดยเป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในเตาที่ต่ำลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณอากาศและในที่สุดจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิด NO_x ลดลง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้ทรายเป็นเบดและใช้หัวฉีดกระจายอากาศนั้นพบว่าปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งไม่ใช้ทรายเป็นเบดและใช้แผ่นกระจายอากาศแบบแผ่นเจาะรู [10]

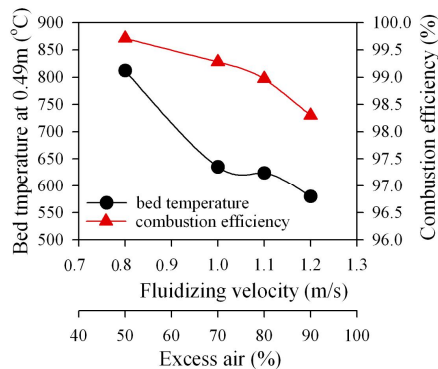




รูปที่ 4 องค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกเตาในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

3.3 อุณหภูมิเบดและประสิทธิภาพการเผาไหม้

ในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตา VFBC ภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดเซชันพบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าลดลงตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้นโดยลดลงจาก 99.71% เหลือ 98.30% ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากสองปัจจัยร่วมกันคือ ระยะเวลาการเผาไหม้ที่สั้นลงและอุณหภูมิเบดที่ลดต่ำลงจาก 812°C เหลือ 580°C ทั้งนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็ว U_f ที่ 0.8 m/s เป็นความเร็วที่ให้ผลในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีที่สุด



รูปที่ 5 อุณหภูมิเบดและประสิทธิภาพการเผาไหม้

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาผลกระทบของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดเซชัน (U_f) ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้แกลบในเตาเผาไหม้วอร์เทค-

ฟลูอิดเซชันเบดที่ใช้หัวฉีดกระจายอากาศและใช้ทรายเป็นเบด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเผาไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณใต้ช่วงแหวนวอร์เทค (ในช่วง 0.20 ถึง 1.0 m) โดยดูได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการลดลงของ O₂ อย่างรวดเร็วในช่วงระดับความสูงเดียวกัน การเพิ่ม U_f ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตามีแนวโน้มลดลง
2. ปริมาณ O₂ ในแก๊สไอเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตาม U_f โดยมีค่าในช่วง 12.35-13.58%
3. ปริมาณ CO เพิ่มขึ้นตาม U_f ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิเบดที่ลดลงและระยะเวลาการเผาไหม้ที่สั้นลง โดยปริมาณ CO ที่ระดับความเข้มข้นของ O₂ ที่ 6% มีค่าในช่วง 25-90 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกเงื่อนไขการทดลอง
4. ปริมาณ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยน U_f ในช่วง 0.8-1.1 m/s ซึ่งเป็นผลของการทำปฏิกิริยาของ O₂ กับไนโตรเจนของเชื้อเพลิงได้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม U_f เป็น 1.2 m/s ส่งผลให้ NO_x ลดลงซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในเตาที่ต่ำลง โดยในทุกเงื่อนไขมีค่าในช่วง 332-397 ppm ที่ O₂ 6%
5. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงตามตามการขึ้นของ U_f ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของอุณหภูมิเบด โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าในช่วง 98.3-99.7%
6. เงื่อนไข U_f ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ 0.8 m/s ส่วนใน

แง่ของแก๊สมลพิษนั้นต้องหาวิธีการลดปริมาณ NO_x ให้อยู่เกณฑ์มาตรฐานต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] EPPO. Annual Report. Energy Planning and Policy Office; 2006.

[2] Natarajan, E., Nordin, A., Rao, N. (1998) Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, pp. 533-546.

[3] Werther, J., Saenger, M., Hartge, U., Ogada, T. and Siagi, Z. (2000) Combustion of agricultural residues, *Energy and Combustion Science.*, Vol. 26, pp. 1-27.

[4] Madhiyanon, T., Lapirattanakun, A., Sathitruangsak, P., Soponronnarit, S. (2006) A novel cyclonic fluidized-bed combustor (Ψ -FBC): Combustion and thermal efficiency, temperature distribution, combustion intensity, and emission of pollutants, *Combustion and Flame*, Vol. 146, pp. 232-245.

[5] Madhiyanon T, Sathitruangsak P, Soponronnarit S. (2010) Combustion behavior of

rice-husk in a short-combustion-chamber fluidized-bed combustor (SFBC), *Applied Thermal Engineering*, 30, pp. 347-353.

[6] Armesto L, Bahillo A, Veijonen K, Cabanillas A, Otero J. (2002) Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed, *Biomass Bioenergy*, 23, pp.171-179.

[7] Kuprianov, V.I., Janvijitsakul, K., Permchart, W. (2006) Co-firing of sugar cane bagasse with rice husk in a conical fluidized-bed combustor, *Fuel*, Vol. 85, pp.434-442.

[8] Okasha, F. (2007) Staged combustion of rice straw in a fluidized bed, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 32, pp.52-59

[9] Varol M, Atimtay AT. (2007) Combustion of olive cake and coal in a bubbling fluidized bed with secondary air injection, *Fuel*, 86, pp. 1430-1438.

[10] Madhiyanon M, Sathitruangsak S, Soponronnarit S (2009), Co-combustion of rice husk with coal in a cyclonic fluidized-bed combustor (Ψ -FBC), *Fuel*, 88, pp. 132-138.

[11] Zevenhoven R, Kilpinen P. (2002) Control of pollutants in flue gases and fuel gases. 2nd ed. Finland: Espoo/Turku.