

การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดไรซ์เบด
ที่มีครีบแยกตัว

EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED BED
WITH DISCRETE RIBS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-EN-M-030-193

การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดิซด์เบด
ที่มีครีบบแยกตัว

EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED BED
WITH DISCRETE RIBS



T138513



วพ.
ช 356 ก
2557

สาขา.....
เลขทะเบียน..... 138513
ในเดือนปี..... 8 ต.ค. 2558

b.....
i.....

12714379

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-EN-M-030-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED BED
WITH DISCRETE RIBS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

KMITL-2014-EN-M-030-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014




FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดเบดที่มีครีบแยกตัว
Thesis Title Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Fluidized Bed with Discrete Ribs
นักศึกษา นายยุทธพงษ์ แก้วปิ่น
รหัสประจำตัว 54610802
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงค์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-030-193

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.ชินรักษ์	เอียรพงษ์	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
ดร.วิฑาดา	เจษฎารัตนชัย	วิฑาดา เจษฎารัตนชัย
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงค์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2557 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงที่มาของเอกสารนี้ในการนำไปใช้

วันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบใน ฟลูอิด์เบดที่มีครีบแยกตัว
นักศึกษา	นายยุทธพงษ์ แก้วปัน
รหัสประจำตัว	54610802
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นถึงลักษณะการเผาไหม้ในเตาฟลูอิด์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีการติดตั้งครีบเป็นรูปปลีมวางแบบแยกตัวทำมุม 45° บริเวณผนังด้านข้าง 2 ด้านภายในห้องเผาไหม้ ครีบที่ติดตั้งมีระยะช่องห่างบริเวณกลางครีบ 10, 15, 20 และ 25 mm อัตราการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 8.7 kg/h แล้วทดลองปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 5 ค่า คือ 23.39, 36.13, 51.63, 71.54 และ 97.51% ทำการทดลองซ้ำกับครีบที่มีพฤติกรรมการเผาไหม้ที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิ และองค์ประกอบของก๊าซไอเสียรวมถึงลักษณะของการติดไฟ จากนั้นทำการเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็น 10.8 และ 12.8 kg/h แล้วทดลองปรับให้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำและสูงขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเผาไหม้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรณีติดตั้งครีบรูปปลีมระยะช่องห่างบริเวณกลางครีบ 20 mm ปริมาณอากาศส่วนเกิน 36.13% ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเตา 849°C มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 27.0 ppm และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) 79 ppm ผลจากการศึกษาทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินแล้วค่าความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ยังมีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้โดยเมื่อความเร็วของอากาศภายในเตาต่ำกว่า 0.3805 m/s จะไม่สามารถเกิดการฟลูอิด์เซชันที่ดีของเชื้อเพลิงแกลบได้ โดยที่ความเร็วต่ำสุดของการฟลูอิด์เซชันของแกลบจะประมาณ 0.4 m/s

Thesis Title	Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Fluidized Bed with Discrete Ribs
Student	Mr. Yoottapong Kaewpun
Student ID.	54610802
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The experiment study is focused on combustion behaviors in a rice husk fluidized square-bed combustor fitted with wedge-shaped discrete ribs. The wedge ribs were placed in 45° V-shape patterns on two opposite combustion chamber walls whereas the V-tip was cut to obtain four gap or clearance values between ribs to be 10, 15, 20 and 25 mm. The combustion air was supplied to the combustor with five excess air values (EA = 23.39, 36.13, 51.63, 71.54 and 97.51%) as independent variable, while the fuel feed rate at the beginning was approximately 8.7 kg/h for various EA values and was increased up to 10.8 and 12.8 kg/h later. The temperature distributions along the combustor and the combustion emissions (CO and NO_x) were measured and analyzed from each run. The experimental results reveal that maximum average temperature of about 849°C with acceptable levels of CO and NO emissions (CO=27.0 ppm. and Nox=79 ppm) was achieved when firing the rice husk at 20 mm rib gap and EA=36.13%. The study also indicates that the excess air and air velocity shows a significant effect on combustion behaviors of rice husk in the fluidized bed with V-shaped discrete wedged-ribs. The combustion air velocity should be above 0.3805 m/s for rice husk fluidization in the present work because the minimum fluidization velocity of rice husk is around 0.4 m/s.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาและปฏิบัติทดลองด้วยความพยายามซึ่งจะไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้หากขาดความอนุเคราะห์ต่างๆระหว่างดำเนินการศึกษาทดลองจากบุคคลที่เคารพทั้งหลายได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการทดลองจนแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

อาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ด้านต่างๆแก่ข้าพเจ้า
พี่บ๊ิกและพี่ไอ้คนักศึกษาระดับปริญญาเอก พี่ทะ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาแนะนำรวมถึงให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆเพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

พี่วินัย คำล้าน ผู้ให้การช่วยเหลือในการขนแกสซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง รวมถึง น้องโอ, พี่บอลและน้องไนท์ เพื่อนร่วมงานทดลอง รวมถึงบุคคลอื่นๆในภาควิชาที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือกันในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าจะขอขอบคุณบิดามารดา และบุคคลในครอบครัวซึ่งเป็นผู้ที่คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

ยุทธพงษ์ แก้วปิ่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 แนวคิดงานวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	6
2.1 บทนำ	6
2.2 งานวิจัยต่างประเทศ	6
2.3 งานวิจัยภายในประเทศ	11
บทที่ 3 ทฤษฎี	16
3.1 เชื้อเพลิง	16
3.1.1 การจำแนกเชื้อเพลิง	16
3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล	17
3.2.1 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การเผาไหม้.....	17
3.3.1 นิยามการเผาไหม้.....	17
3.3.2 องค์ประกอบในการเผาไหม้.....	18
3.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง.....	19
3.3.4 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	19
3.3.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....	19
3.3.6 กระบวนการการเผาไหม้.....	21
3.3.7 อากาศส่วนเกิน.....	21
3.4 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบด.....	22
3.4.1 กระบวนการฟลูอิดไดซ์เซชัน.....	22
3.4.2 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด.....	25
3.4.3 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด.....	25
3.4.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำฟลูอิดไดซ์เซชัน.....	27
3.5 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	28
3.6 มลพิษและการควบคุม.....	29
3.6.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO).....	30
3.6.2 แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x).....	30
3.6.3 อนุภาคของเถ้า.....	31
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	32
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง.....	32
4.1.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนฟลูอิดไดซ์เบด.....	32
4.1.2 ชุดไซโคลนดักขี้เถ้า.....	36
4.1.3 ชุดอุปกรณ์ป้อนอากาศ.....	36
4.1.4 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน.....	38
4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับการอุ่นเตา.....	39
4.1.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดภายในเตา.....	39
4.1.7 อุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณแก๊สไอเสีย.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การติดตั้งและการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	40
4.3 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล.....	41
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	42
5.1 อัตราการป้อนอากาศ.....	42
5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	43
5.3 ปริมาณแก๊สไอเสีย.....	56
5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	61
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	62
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก. ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย.....	68
ภาคผนวก ข. มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย.....	71
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ.....	73
ภาคผนวก ง. ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องวัดก๊าซไอเสีย Testo350-XL.....	81
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล	20
5.1 ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%) ที่จ่ายเข้าสู่เตาเผาฟลูอิดซ์เบด.....	42
5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีไม่มีการติดตั้งครีบ	44
5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 10 mm	44
5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 15 mm	45
5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 20 mm	45
5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 25 mm	46
5.7 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 20 mm. อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h.....	46
5.8 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 20 mm. อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 12.8 kg/h	47
5.9 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา (°C) กรณีติดตั้งครีบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 20 mm. อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h	48
5.10 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีไม่ติดตั้งครีบ	56
5.11 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 10 mm.....	57
5.12 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 15 mm.....	57
5.13 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 20 mm.....	57
5.14 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 25 mm.....	58
5.15 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 20 mm.อัตราป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h.....	58
5.16 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 20 mm.อัตราป้อนเชื้อเพลิง 12.8 kg/h.....	59
5.17 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมีระยะห่าง 20 mm.อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h.....	59
ก.1 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก.....	69
ก.2 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 – 2552.....	69
ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552	70
ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	72
ค.1 ค่าจำนวนโมลของเชื้อเพลิงแกลบในปฏิกิริยาเคมี.....	74
ง.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย Testo350XL	82

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิด์เบดแบบหมุนวน.....	7
2.2 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบปลิงฟลูอิด์เบด.....	7
2.3 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิด์เบด.....	8
2.4 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิด์เบด.....	8
2.5 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spouted fluid ฟลูอิด์เบด.....	9
2.6 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองของ Topal et all ถึงผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	9
2.7 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองของ Fang และคณะถึงผลกระทบจากความเร็วลมในเตาเผาต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	10
2.8 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองถึง ผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	10
2.9 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลอง ถึงผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	11
2.10 ชุดอุปกรณ์เตาเผาแบบวอร์เทคแบบสองชั้น.....	11
2.11 การติดตั้งครีบริบภายในเตาเผาฟลูอิด์เบด.....	12
2.12 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิด์เบด FBC.....	13
2.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง.....	13
2.14 การติดตั้งครีบริบที่ใช้ในทดลอง.....	14
2.15 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง.....	14
2.16 ลักษณะห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง.....	15
3.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	19
3.2 ลักษณะตัวอย่างหอททดลองฟลูอิด์เบด.....	23
3.3 ระดับของเบดในหน้าตัดของหอททดลอง.....	25
3.4 การลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น pre ignition และ c, d, e เป็น post ignition.....	27
3.5 การจำลองการไหลของอากาศผ่านครีบริบตามแนวยาว.....	29
3.6 การจำลองการไหลของอากาศผ่านครีบริบตามแนวขวาง.....	29
4.1 เตาเผาแกลบฟลูอิด์เบด.....	32
4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิด์เบดและตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในเตา.....	33
4.3 ลักษณะและขนาดของครีบริบ ที่มีระยะห่าง 10 mm.....	34
4.4 ลักษณะและขนาดของครีบริบ ที่มีระยะห่าง 15 mm.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา เล VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ลักษณะและขนาดของครีบ ที่มีระยะห่าง 20 mm.....	35
4.6 ลักษณะและขนาดของครีบ ที่มีระยะห่าง 25 mm.....	35
4.7 โซโคลอนดักซ์ไ้เก้.....	36
4.8 BLOWER ป้อนอากาศ.....	37
4.9 แผ่นกระจายลม.....	37
4.10 แผ่น ORIFIC.....	37
4.11 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิงแกลบล.....	38
4.12 ชุด Motor และ Inverter ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบล.....	38
4.13 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับอุ่นเตา.....	39
4.14 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ.....	39
4.15 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย TESTO รุ่น 350M/XL.....	40
5.1 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีไม่ติดตั้งครีบ.....	49
5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 10 mm.....	49
5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 15 mm.....	50
5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 20 mm.....	50
5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 25 mm.....	51
5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาในกรณีป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h EA = 36.13 % เมื่อเทียบกับการติดตั้งครีบระยะห่างต่างกัน.....	52
5.7 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาเปรียบเทียบในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ค่า EA = 36.13 %กับ 10.8 kg/h, ค่า EA = 38.42 %.....	53
5.8 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาเปรียบเทียบในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ค่า EA = 23.39 % กับ 10.8 kg/h, ค่า EA = 23.57 %.....	53
5.9 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาเปรียบเทียบในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h ค่า EA = 23.08 % และ 38.42 %.....	54
5.10 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาเปรียบเทียบในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 12.8 kg/h ค่า EA = 3.18 %.....	54
5.11 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาเปรียบเทียบในกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h ค่า EA = 45.53 %.....	55
5.12 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์.....	60
5.13 ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 ประสิทธิภาพการเผาไหม้เปรียบเทียบในกรณีไม่ติดครีบและติดตั้งครีบ ระยะห่างของครีบต่างกัน ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ที่ค่า EA ต่างกัน	61
6.1 ตัวอย่างการนำเตาเผาฟลูอิดซ์เบดไปใช้งานจริงเพื่อผลิตไอน้ำ.....	64



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

(A/F)	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
$(A/F)_{actua}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางปฏิบัติ
$(A/F)_{stioc}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, (ppm)
CO_2	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, (% Vol)
C_p	specific heat, (J/kg.K)
EA	อากาศส่วนเกิน
Eff	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (combustion efficiency)
GHV	ค่าความร้อนทั้งหมด
HHV	ค่าความร้อนขั้นสูง
h	ขนาดความสูงของเตาเผา และครีบที่ใช้ในการศึกษาทดลอง (m)
H	ก๊าซไฮโดรเจน
LHV	ค่าความร้อนขั้นต่ำ
$loss$	ความสูญเสียในกระบวนการการเผาไหม้ในรูปก๊าซไอเสีย
MW	มวลโมเลกุล, (kmol)
m	ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง (kg)
m_{air}	มวลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา, (kg)
m_g	ปริมาณไอน้ำในอากาศสูงสุดที่อุณหภูมิใด ๆ, (kg)
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (kg)
m_v	มวลของไอน้ำ, (kg)
\dot{m}_{air}	อัตราการไหลของอากาศ, (kg/s)
\dot{m}_{fuel}	อัตราการป้อนแก๊ส, (kg/min)
n	จำนวนโมล
n_{H_2O}	จำนวนโมลของไอน้ำในอากาศ
n_{total}	จำนวนโมลรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
NHV	ค่าความร้อนสุทธิ
NO	ไนตริกออกไซด์, (ppm)
NO_2	ไนโตรเจนไดออกไซด์, (ppm)
NO_x	ไนโตรเจนออกไซด์, (ppm)
O_2	ออกซิเจน, (% Vol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 XI
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

P_v	ความดันไอน้ำในอากาศ, (Pa)
$P_{v_{total}}$	ความดันของรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
S	ก๊าซซัลเฟอร์
SO_2	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, (ppm)
T	อุณหภูมิ, ($^{\circ}C$)
THV	ค่าความร้อนรวม
μ	ความหนืดของก๊าซ
U	ความเร็ว, (m/s)
Φ	อัตราส่วนสมมูล (equivalent ratio)
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโลกมีความเจริญก้าวหน้าด้วยวิวัฒนาการต่างๆ โลกแห่งอุตสาหกรรมจึงพัฒนาตามไปอย่างต่อเนื่อง ในการขับเคลื่อนภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมนั้นจึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานที่เพียงพอสำหรับภาคการผลิตหรือขนส่ง แหล่งพลังงานในปัจจุบันส่วนใหญ่ได้มาจากธรรมชาติเช่นฟอสซิล และกำลังลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานในอนาคต การหาพลังงานทางเลือกจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกที่ทั่วโลกให้ความสนใจไม่ว่าจะเป็นแถบยุโรป หรือเอเชีย โดยเฉพาะชีวมวลที่เหลือใช้จากการเกษตรเช่น ชังข้าวโพด เศษไม้ ฟางข้าว หญ้า และแกลบ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานในประเทศไทยพบว่ามีความนิยมการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ราคาเชื้อเพลิงก็สูงขึ้นเช่นกันการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรค่อนข้างมากส่วนใหญ่มักกำจัดด้วยการเผาทิ้ง จึงได้มีแนวคิดหาวิธีนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับแกลบ ซึ่งเป็นชีวมวลที่ได้จากข้าว โดยจากข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปีเพาะปลูก 2549 – 2550 มีปริมาณการผลิตข้าวทั้งประเทศเท่ากับ 28.61 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณแกลบเท่ากับ 3.95 ล้านตัน โดยมีการนำแกลบเหล่านี้มาใช้งาน คิดเป็นปริมาณรวม 0.86 ล้านตัน หากนำปริมาณแกลบคงเหลือดังกล่าวมาหักด้วยปริมาณการสูญเสียของแกลบ ที่เกิดจากการขัดสี และการฟุ้งกระจายทั้งในระหว่างกระบวนการต่างๆ และการขนส่ง ดังนั้นปริมาณแกลบคงเหลือที่สามารถนำมาใช้งานได้จะมีค่าสุทธิเท่ากับ 3.09 ล้านตัน และคิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่า 843 Ktoe มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 320 MW

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆพบว่าเทคโนโลยีมากมายที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลแต่สำหรับแกลบเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่องคือ เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด โดยปกติการเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะใช้ทรายหรือสารเฉื่อยเป็นเบดมีหน้าที่ผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ แต่มีข้อเสียคือ 1. ตอนเริ่มจุดต้องใช้เวลาในการ Pre – Heat ทราย ค่อนข้างนาน 2. ทรายที่ใช้ต้องคัดเลือกคุณสมบัติโดยต้องคำนึงถึงการทนต่อความร้อนที่จะไม่ทำให้ทรายแตกตัวเมื่อได้รับความร้อนซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการกัดกร่อนจากการขัดสีกับผนังและท่อ 3. ต้องมีการเปลี่ยนทรายหลังจากใช้งานไประยะเวลาหนึ่งเมื่อทรายรวมตัวเป็นก้อนและไม่สามารถลอยตัวไปกับไถ่ได้ แต่เมื่อทำการจุดเตาเผาโดยไม่ใช้เบดหรือทราย ก็มีผลทำให้การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดโดยศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาที่ติดตั้งลักษณะต่างๆเพื่อให้เกิดการหมุนควงซึ่งเป็นการผสมระหว่างแกลบกับออกซิเจนจนเกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ทั้งนี้หวังว่าจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาแบบฟลูอิดซ์เบดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมรวมถึงผู้สนใจต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีจุดมุ่งหมายคือศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาฟลูอิดซ์เบดโดยพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา ความเสถียรภาพของการเผาไหม้ ผลของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบบรูปแบบแยกตัวรูปแบบต่างๆที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ ในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาทดลองรวมถึงเตาฟลูอิดซ์เบดที่ไม่มีการติดตั้งครีบด้วยเช่นกัน สำหรับใช้เป็นข้อมูลเชิงเทคนิคประกอบการสร้างเตาเผาฟลูอิดซ์ขนาดเล็กให้มีความเหมาะสมที่สุดแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งครีบบริเวณห้องเผาไหม้ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนทำให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นเนื่องจากทำให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น และเกิดการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้น จึงได้มีความคาดหวังในผลการทดลองตามหลักการข้างต้นดังนี้

- ผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบบนจะให้ผลลัพธ์ของคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบที่ดีกว่ากรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ไม่มีการติดตั้งครีบบ
- ช่องว่างระหว่างครีบบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดซ์เบดน่าจะให้ผลของคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบบ
2. ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบบรูปแบบแยกตัวที่มีการจัดวางเป็นรูปตัววีทำมุม 45° กับแนวระนาบที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ โดยมีระยะห่างของครีบบ(H) 100 mm. โดยกำหนดให้มีช่องว่างตรงกลางเท่ากับ 10 ,15 ,20 ,25 มิลลิเมตรโดยให้ครีบบเยื้องกันเป็นลักษณะ Stagger
3. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นแกลบขนาดปกติที่ได้จากการสีข้าว (ประมาณ 8 mm. x 2 mm.) โดยปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคือ 8.7 kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบเป็นค่าประมาณ คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 23.39%, 36.13%, 51.74%, 71.54% และ 97.51% ตามลำดับ
5. เก็บบันทึกผลการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแนวความสูงที่กำหนดไว้ 10 ตำแหน่ง
6. เก็บบันทึกค่าและวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย รวมถึงซีเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยจะทำการเก็บค่า ณ บริเวณทางออกของก๊าซไอเสียที่ส่วนบนของเตาเผา
7. ปรับเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเป็น 10.8 และ 12.8 kg/h และลดลงเหลือ 8.2 kg/h แล้วทำตามขั้นตอน 5-6 โดยทดลองปรับปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุด เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้เมื่อมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงค่าต่างๆ

1.5 แนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีแนวคิดหลัก คือการศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบบรูปตัววีแบบแยกตัว ยึดติดที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีแนวคิดและเหตุผลในการกำหนดลักษณะครีบ ดังนี้

- กรณีการเลือกใช้เตาเผาที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส : เนื่องจากเตาเผาที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสง่ายต่อการสร้าง และการบำรุงรักษา อีกทั้งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนภายในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นหอทรงกลม และทรงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนในเตาเผาที่มีรูปทรงแตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา
- กรณีการเลือกครีบบรูปลิ้มแบบแยกตัว : เนื่องจากในการทดลองก่อนหน้านี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ครีบบรูปตัววี การทดลองแรกมีลักษณะครีบเป็น แผ่นเหล็กขวางทิศทางการไหล พบว่า มีเกล็ดค้างอยู่บริเวณครีบ และการทดลองที่สองได้ทดลองทำครีบบรูปร่างต่างๆ และได้พบว่าครีบบรูปลิ้มส่งผลให้ระดับอุณหภูมิในเตาสูงที่สุด แล้วได้ทำการเพิ่มระยะช่องว่างระหว่างครีบผลคืออุณหภูมิภายในเตาลดลงจึงได้นำแนวทางดังกล่าวมาศึกษาโดยลดระยะห่างระหว่างครีบลงเพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนภายในเตา
- กรณีติดครีบบรูปลิ้มแบบแยกตัว ยึดติดที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ : เนื่องจากการทดสอบพบว่า การติดตั้งครีบลักษณะดังกล่าวสะดวกต่อการซ่อมบำรุงสะดวกเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบ ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบบรูปตัววี และวิเคราะห์ โดยมีลักษณะการวางครีบบแบบเชื่อมติดผนังทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งครีบบที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา

1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

1. ศึกษาถึงทฤษฎีเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ และทฤษฎีฟลูอิดซ์เซชัน
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เตาเผาชีวมวล ชนิดต่างๆ เพื่อทราบถึงเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ รวมถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
3. ทำการออกแบบ และสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับการศึกษาทดลอง
4. ทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และเก็บค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทดลอง อาทิเช่น ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเชื้อเพลิงกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากการเปิดวาล์วกับปริมาณการไหลของอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาทดลอง
5. พิจารณาขอบเขตงานวิจัยแล้วทำการทดลอง
6. จัดบันทึก, วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดซ์เบดและสามารถนำไปประยุกต์ไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
2. ได้นำเอาวัสดุที่เหลือจากการเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์สูงสุดแทนการเผาทิ้งโดยเปล่าประโยชน์
3. สามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลได้
4. สามารถลดปัญหาโลกร้อนได้

1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขตงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษาทดลอง

บทที่ 2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีเผาไหม้เชื้อเพลิง
แข็ง คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ และทฤษฎีฟลูอิดซ์เซชัน

บทที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง การติดตั้งชุดทดลอง และขั้นตอนการศึกษาทดลอง

บทที่ 5 ผลการศึกษาทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลอง และข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

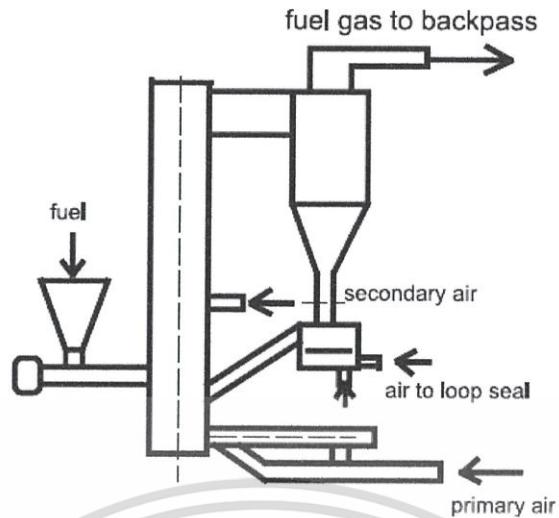
2.1 บทนำ

ปัจจุบันได้มีการให้ความสนใจการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมาทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นจำนวนมาก เห็นได้จากการศึกษาทดลองทางด้านการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคแตกต่างกัน ซึ่งล้วนแต่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้พลังงานความร้อนจากชีวมวลสูงและไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้มีงานวิจัยเกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ที่กล่าวถึงเตาเผาชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ทั้งในส่วนของหลักการและแนวความคิดงานวิจัย รวมไปถึงผลที่ได้จากงานวิจัยในแต่ละเรื่อง ดังนี้

2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Wan และ Chyang [1] รายงานว่าการใช้วิธีการของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (ฟริบอร์ค) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดนั้นอาจต้องมีความสูงรวมของฟริบอร์คมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเบดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่เบา

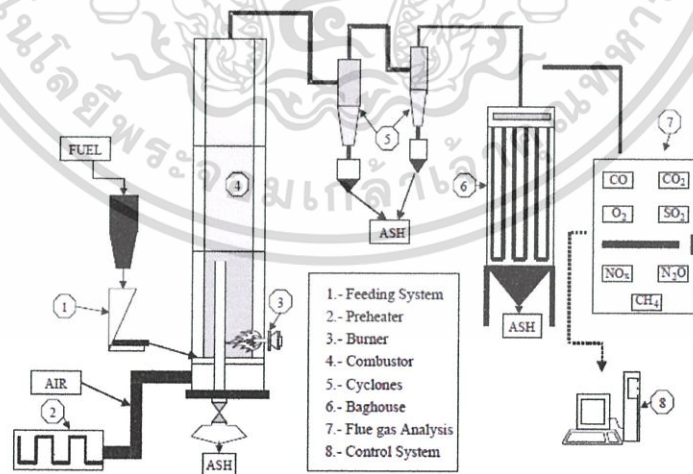
Fang M et al. [3] ได้ศึกษาทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนวนโดยใช้แกลบ และถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง มีทรายเป็นเบด ซึ่งได้เปรียบเทียบหลายกรณีคือ เเผาโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเพียงชนิดเดียว , ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงและใช้ทรายเป็นเบด, ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและใช้ทรายเป็นเบด และใช้แกลบกับถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงผสมกันแล้วใช้ทรายเป็นเบด พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านหินและทรายที่ใช้เป็นเบด พบว่าการทรายเป็นเบดทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันค่อนข้างดีกว่าการใช้แกลบเพียงอย่างเดียว และขนาดของถ่านหินและทรายมีผลต่อการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันเป็นอย่างมาก โดยทรายขนาด 0.3 – 0.8 mm จะทำให้เกิดผสมของเชื้อเพลิงได้ดี ความเร็วของอากาศในเตาควรอยู่ประมาณ 0.8 – 1.2 m/s ปริมาณก๊าซไอเสีย CO ที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 200 – 800 ppm, SO 50 – 100 ppm, NOx 150 – 220 ppm



รูปที่ 2.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนวน

Armesto et al. [2] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด ในช่วงการไหลเวียนของอนุภาคอย่างรุนแรง (bubbling fluidized bed) ศึกษาผลกระทบเช่น ประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณการปล่อย CO ที่เกิดจากการทดลองการจากอิทธิพลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของการเกิดฟลูอิดซ์เซชัน

พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้มีค่าสูงกว่า 97% ปริมาณการปล่อย CO ระหว่างที่ทำการทดลองมีปริมาณสูงกว่า $1,000 \text{ mg/Nm}^3$ และโปรไฟล์อุณหภูมิภายในเตาเผามีผลอย่างมากทั้งต่อการปริมาณการปล่อย CO และประสิทธิภาพการเผาไหม้



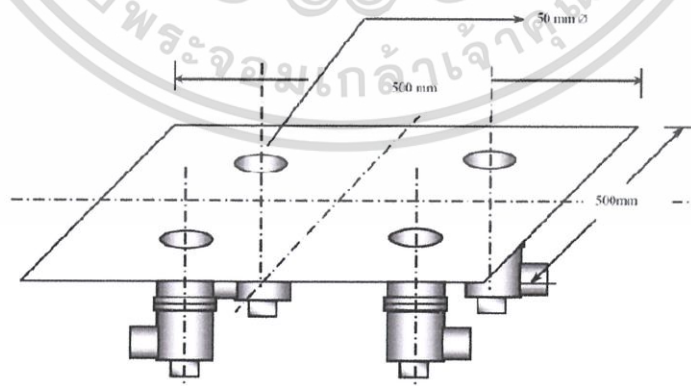
รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบปลิวฟลูอิดซ์เบด

Albina et al. [4] งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาปริมาณการปล่อย CO และ CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ เมื่อติดตั้งฟลูอิดซ์เบดแบบหัวฉีด(spout-fluidized bed) ที่แตกต่างกัน โดยทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งหัวฉีดของไหล(spout fluid) และติดตั้งหัวฉีดหลายอัน (multi spout) แล้วปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกิน อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ และตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจากการทดลองพบว่าเมื่อติดตั้งหัวฉีดแบบ spouted-fluidized bed พร้อมกับป้อนเชื้อเพลิงในตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับหัวฉีดมีปริมาณ CO ต่ำกว่ากรณีป้อนเชื้อเพลิงสูงกว่าระดับหัวฉีด และตำแหน่งป้อนเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อปริมาณ CO ในกรณีหัวฉีดแบบ spouted-fluidized bed ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้นั้นในกรณีที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าระดับหัวฉีดจะมีค่าสูงกว่ากรณีการป้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าระดับหัวฉีด และยังสรุปได้อีกว่าปริมาณ CO กรณีการติดตั้งหัวฉีดแบบ spouted-fluidized bed จะน้อยกว่าเมื่อติดตั้งหัวฉีดแบบ multi spout และประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อติดตั้งหัวฉีดแบบ spouted-fluidized bed ของไหลสูงกว่าเมื่อติดตั้งหัวฉีดแบบ multi spout

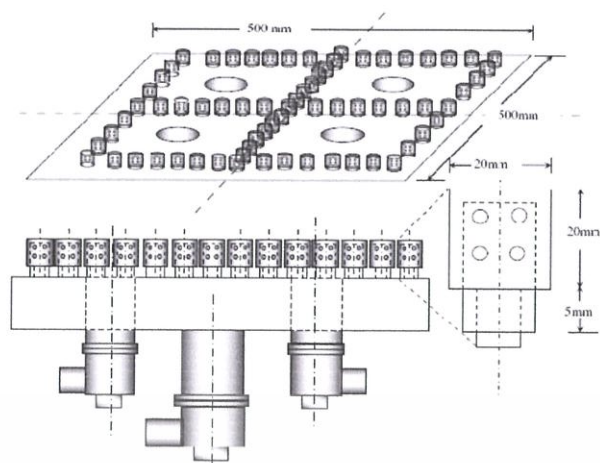


รูปที่ 2.3 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด



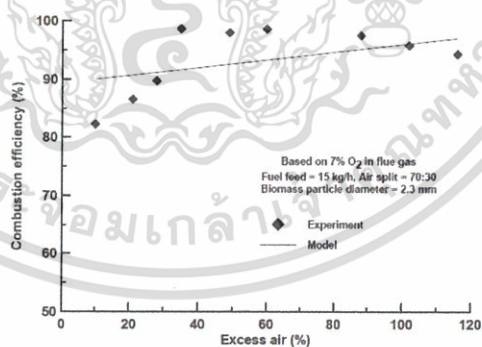
รูปที่ 2.4 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multi spout fluidized bed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



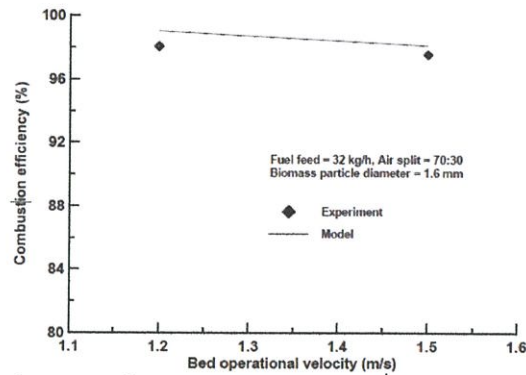
รูปที่ 2.5 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spouted – fluidized bed

Afsin Gungor [5] ได้ทำการจำลองเตาเผาฟลูอิด์เบดด้วยโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่เคยมีผู้ทำการทดลอง โดยสังเกตพฤติกรรมเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินต่างกันพบว่าผล ทดลองจากการทำโปรแกรมจำลอง เมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการ เผาไหม้เพิ่มขึ้นตามไปด้วยอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Topal et al. พบว่าที่อากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพการไหม้เพิ่มขึ้นจนหลังจากปริมาณอากาศส่วนเกิน มากกว่า 60% ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีแนวโน้มลดลง จากนั้นทำการทดลองด้วยโปรแกรมโดยเผา ไหม้ที่ความเร็วลมในเตาต่างกันพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองของ Fang et al.



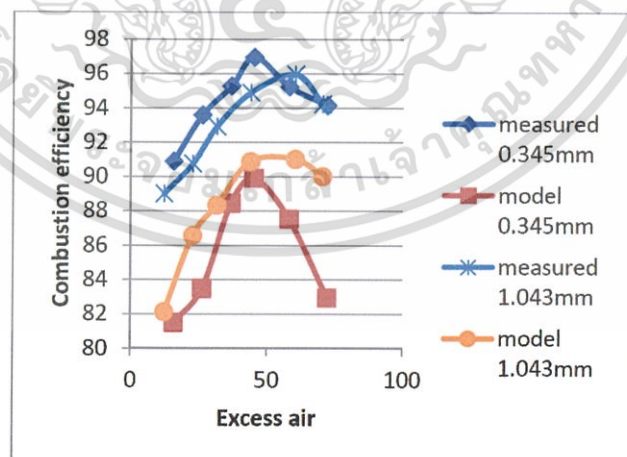
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองของ Topal et al. ถึงผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



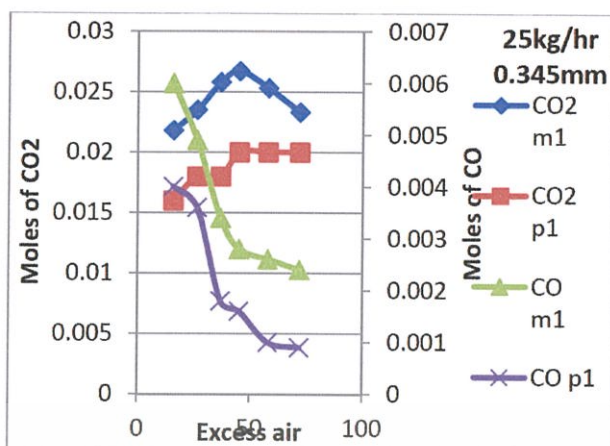
รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองของ Fang และคณะ ถึงผลกระทบจากความเร็วลมในเตาเผาต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

Srinath. Suranani and VenkatReddy [6] ได้ทำแบบจำลองเตาเผาแกสฟลูอิดไธซ์เบด ขึ้นมา โปรแกรมทำขึ้นจากการเขียนภาษาซี และป้อนสมการโดยใช้หลักการของ Runge-Kutta method เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีศึกษาเดียวกัน จะใช้แกสขนาดต่างกันคือ 0.345 mm. และ 1.043 mm. พบว่าผลที่ได้ยังมีค่าต่างกันอยู่แต่แนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกันทั้งกราฟเปรียบเทียบระหว่าง Excess Air กับ Combustion Efficiency และกราฟเปรียบเทียบระหว่าง Excess Air กับ ค่า CO , CO₂ คือ Combustion Efficiency จะมีค่าสูงที่ค่า Excess Air อยู่ประมาณ 40% - 60% โดยหากน้อยกว่าหรือมากกว่านี้ Combustion Efficiency จะมีค่าลดลงตามรูป และเมื่อค่า Excess Air มีค่าสูงจะมีผลให้ค่า CO₂ สูงขึ้นตามแต่ในขณะเดียวกันค่า CO จะลดต่ำลงเรื่อยๆตามรูป



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองถึงผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

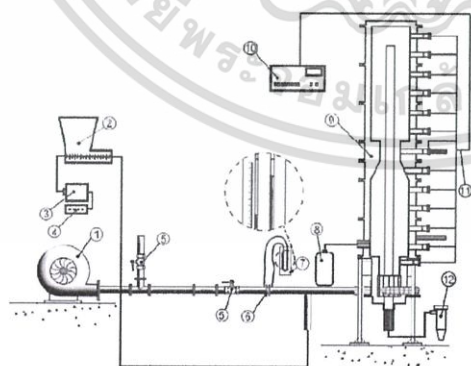
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมจำลองกับค่าที่ทำการทดลองถึงผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกินต่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

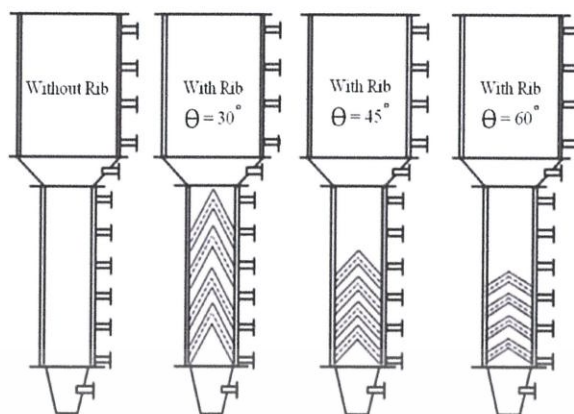
2.3 งานวิจัยภายในประเทศ

ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ [7] ได้ทำการศึกษาถึงคุณลักษณะของการเผาไหม้เชื้อเพลิงกลบในเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น โดยห้องเผาไหม้ภายใน ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นกรวยและคอคอดเพื่อช่วยให้มีการหมุนวนได้ดี อัตราการป้อนเชื้อเพลิงกลบ 0.20 kg/min, อากาศส่วนเกิน 72-140 % ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าอากาศส่วนเกิน 77% ให้ปริมาณ CO สูงที่สุด หลังจากนั้นค่า CO จะมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนมากพอในการเผาไหม้และมีการผสมที่ดี ปริมาณ CO อยู่ในช่วง 269-447.5 ppm และพบว่าเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินสูงกว่า 140 % แล้วการเผาไหม้จะเกิดความไม่เสถียรขึ้น ปริมาณ CO จะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เพราะว่าการเผาไหม้แบบอากาศหนาเกินไปนั้นอาจไม่ช่วยส่งเสริมการเผาไหม้แต่อย่างใดกลับทำให้ระดับของ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 2.10 ชุดอุปกรณ์เตาเผาแบบออร์เทคแบบสองชั้น [ประกอบด้วย (1)พัดลมเป่า, (2)Hopper,(3, 4)ชุดควบคุมความเร็วรอบ, (5)Globe Valve, (6)Orifice, (7)manometer, (8)LPG supply, (9)เตาเผาออร์เทคสองชั้น, (10, 11)ชุดอุณหภูมิตั้ง และ (12)ไซโคลนดักอนุภาค]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

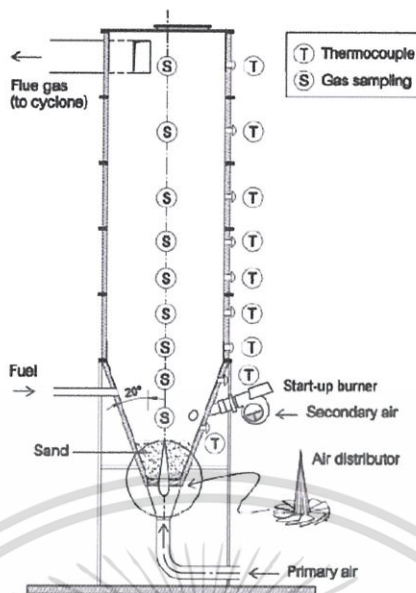


รูปที่ 2.11 การติดตั้งครีบบนเตาเผาฟลูอิดซ์เบด

จากการศึกษาทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้ช่วยเตาเผาให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960 °C อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ 660 °C ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ โดยที่มีค่า CO₂ มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 3.37 %Vol ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 107 – 153 ppm และ CO มีค่าอยู่ในช่วง 213 – 287 ppm ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 94.3 – 95.6 % และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวคลื่นโดยจะมีค่าระหว่าง 97.8 – 99.4 %

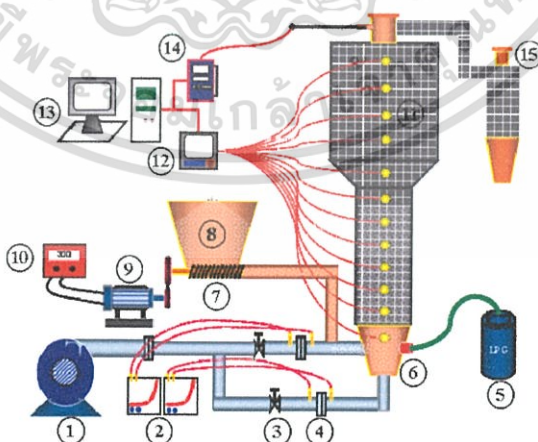
Dr. Vladimir I. Kuprianov [8] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้เกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนวนโดยใช้ Spiral Air Distributor หรือแผ่นกระจายลมแบบใบพัด ทำมุม 14° การทดลองใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 80 kg/h ที่มีความชื้นต่างกัน โดยจะทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกิน (EA) โดยจะอยู่ในช่วง 17.4% - 82.7% จากการทดลอง พบว่าเมื่อป้อนอากาศส่วนที่สองเพิ่มจะทำให้ค่า CO ลดลง ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%-50% และที่ความชื้นอยู่ในช่วง 20%-25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิดซ์เบด FBC

สุวรรณพันธ์ [9] ได้ศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยมไว้ในห้องเผาไหม้ เพื่อต้องการจะเพิ่มระยะเวลา และต้องการให้เกิดการไหลแบบหมุนควง (vortex flow) ของแกลบภายในเตาเผาให้มากขึ้น ใช้เชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการป้อนเท่ากับ 8.64 kg/h ตลอดการทดลอง จากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินทั้งหมด 4 ค่าคือ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ ครีบริบสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ รูปตัววี (V), รูปตัววีคว่ำ (Λ) และ รูปตัววีคว่ำคู่ ($\Lambda\Lambda$) ครีบริบทั้งสามแบบจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบริบ คือ จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่



รูปที่ 2.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง

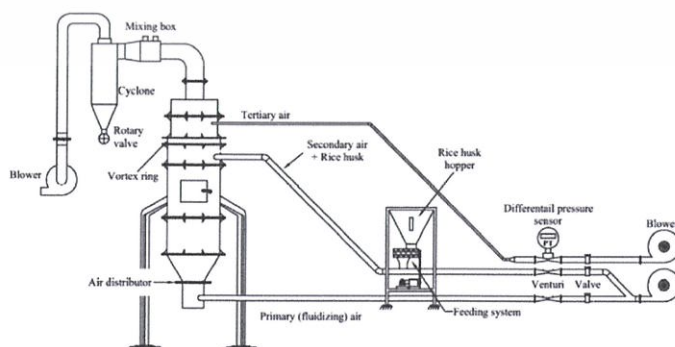
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การติดตั้งครีบริบที่ใช้ในทดลอง

ผลการทดลองที่ได้พบว่ากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววี จำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ $747\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.20% ในกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ $778\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $759\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.70% และ 98.80% ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซไอเสีย (CO และ NO_x) ที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำทุกกรณีศึกษา

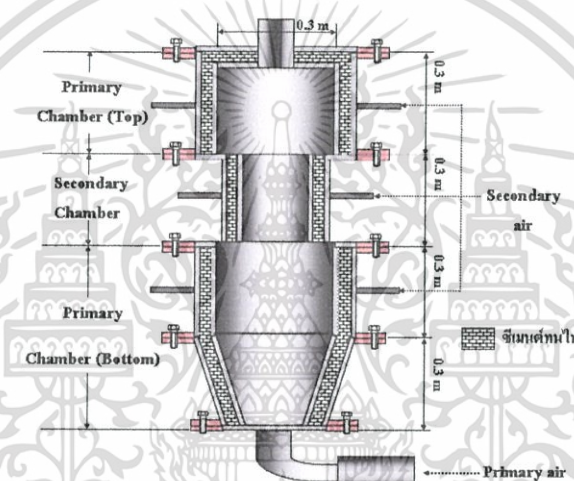
ประธาน สถิตเรืองศักดิ์ [10] ได้ทำการถึงคุณลักษณะการเผาไหม้แก๊สในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไธซ์เบดโดยใช้ทรายเป็นเบด สมรรถนะการเผาไหม้โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Ec) และแก๊สไอเสีย การทดลองได้ปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศส่วนที่สอง (V_2) ซึ่งใช้ในการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สเข้าสู่เตาเผาในลักษณะหมุนวน โดยความเร็วดังกล่าวมีค่า 10.7 , 13 และ 15 m/s คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกิน (EA) 53 - 78% ผลจากการทดลองเมื่อพิจารณาจากการวัดอุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจนแสดงให้เห็นว่า การเผาไหม้เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ได้วงแหวนวอร์เทคเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศในส่วนนี้ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาลดลง ที่ O_2 6% บริเวณทางออกจะมีค่า CO เพิ่มขึ้นตาม V_2 คืออยู่ในช่วง $32 - 69\text{ ppm}$ แต่จะแปรผกผัน NO_x ซึ่งจะมีค่าลดลง โดยจะในช่วง 249 - 296 ppm นอกจากนี้ Ec มีค่าสูงกว่า 99% ทุกเงื่อนไขการทดลอง และพบว่า ถ้าพิจารณาค่า NO_x แล้วค่า V_2 ที่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้คือ 15 m/s ซึ่งคิดเป็น EA = 78% ที่ใช้หัวฉีดกระจายอากาศ



รูปที่ 2.15 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฐุมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลีลาผาดิกุล [11] งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาทดลองถึงอิทธิพลต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบด เมื่อป้อนอากาศทุติยภูมิในตำแหน่งต่างๆและทำการทดลองปรับเปลี่ยน และอัตราส่วนสมมูล ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 m ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 m มีความสูงรวม เท่ากับ 1.2 m มีการติดตั้งท่อฉีดาอากาศทุติยภูมิไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังห้องเผาไหม้ มีทั้งสิ้น 3 ตำแหน่ง (H/D) คือ 1.5, 2.5 และ 3.5 โดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) คงที่ เท่ากับ 0.25 และกำหนดค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min.



รูปที่ 2.16 ลักษณะห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิให้กับห้องเผาไหม้จะมีผลต่ออุณหภูมิโดยโดยเมื่อป้อนอากาศทุติยภูมิหลังห้องเผาไหม้ส่วนดังกล่าว จะมีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องเผาไหม้มากกว่ากรณีป้อนอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ อากาศทุติยภูมิมีส่วนช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้อย่างดี ซึ่งจากการทดลองอากาศส่วนทุติยภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 15-25% ของอากาศทั้งหมด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 75-87% และมีอุณหภูมิทางออกของก๊าซไอเสีย ที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 620 - 850 °C

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง คือ สารที่เมื่อนำไปเผาไหม้หรือแปรสภาพอย่างอื่นจะปล่อยพลังงานผ่านปฏิกิริยาทางเคมีเช่นการเผาไหม้ หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์เช่นการแตกตัวหรือการรวมตัวของนิวเคลียส อย่างใดอย่างหนึ่ง เชื้อเพลิงที่มีประโยชน์จะสามารถถูกบรรจุและปลดปล่อยพลังงานออกมาได้ตามต้องการ และการปลดปล่อยพลังงานนั้นจะถูกควบคุมในทางใดทางหนึ่งเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรมได้

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ ธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน แล้วเกิดพลังงานความร้อน น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในบางครั้งอาจจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ในปัจจุบันมาจากแหล่งธรรมชาติใต้พื้นพิภพ ได้แก่ เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuels) เช่น ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเชื้อเพลิงจากธรรมชาติอีกกลุ่มหนึ่งมักได้จากการ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิต เรียกว่า เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง ชยะ ฯลฯ

3.1.1 การจำแนกเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง แบ่งตามสถานะได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม และบางชนิดถูกนำมาประยุกต์ใช้กับยานพาหนะ เชื้อเพลิงก๊าซแต่ละชนิดมีแหล่งที่มาต่างกันและมีค่าพลังงานความร้อนไม่เท่ากัน เช่น ก๊าซLPG ก๊าซNG ก๊าซชีวมวล เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เชื้อเพลิงเหลวส่วนใหญ่จะนิยมใช้กับยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะสะดวกต่อการใช้งาน และ ให้พลังงานความร้อนสูง เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้กันส่วนมากจะได้จาก การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงแข็ง เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ ถ่านหิน หินน้ำมัน ถ่านไม้ ถ่านโค้ก รวมไปถึงเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น แกลบ ฟืน ชังข้าวโพด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล (biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งพลังงานจากสิ่งมีชีวิตและสามารถปล่อยพลังงานออกได้จากเผาไหม้และการแปรสภาพอื่นๆ มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนรวมทั้งธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ชีวมวลส่วนใหญ่มักได้มาจากการเกษตรกรรม เช่น เศษไม้ แกลบ ชังข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น

3.2.1 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้เป็นแนวคิดเชิงบวกในการใช้พลังงานเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่ปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่บ้าง โดยแบ่งเป็นข้อดีข้อด้อยดังนี้

ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ช่วยลดการใช้พลังงานธรรมชาติจำพวกฟอสซิล ที่มีต้นทุนสูง
2. สามารถเป็นพลังงานทดแทนพลังงานธรรมชาติจำพวกฟอสซิลที่อาจหมดไปในอนาคต
3. หากมีการแปรสภาพอย่างถูกต้องแล้ว พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานสะอาดก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมน้อย

ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. แหล่งที่มาของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมาจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เกษตร ทำให้ปริมาณชีวมวลไม่สามารถควบคุมได้อย่างแน่นอน จะขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตรในช่วงนั้นๆ ด้วย
2. การแปรสภาพไปเป็นพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดค่อนข้างยาก อาจมีหลายกระบวนการ จึงจำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียด

3.3 การเผาไหม้ [13, 14]

3.3.1 นิยามการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ภายในเชื้อเพลิง ซึ่งสารเผาไหม้ได้ประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ไม่ใช่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้น (chain initiation) ด้วยการแตกตัวของโมเลกุลในเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา จากนั้นอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่ได้จากโมเลกุลอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาต่อลูกโซ่ (chain propagation) สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายและอนุมูลอิสระที่ไม่มีว่องไวอีกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่องไวในการทำปฏิกิริยา เป็นการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain termination) พบว่าหากพิจารณาปฏิกิริยาการเผาไหม้ในระดับจุลภาคนั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการพิจารณาปฏิกิริยาในระดับมหภาคโดยเฉพาะ ผล และปฏิกิริยา นั้นจะช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณความร้อนปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในสารผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

การพิจารณาในภาพรวมของปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนแบ่งเป็นกรณี ดังนี้

- กรณีการไหม้สมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยา



- กรณีการไหม้ไม่สมบูรณ์ (บางส่วน) จะเกิดปฏิกิริยา



ถ้าหากเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบที่เป็นไนโตรเจน จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์ และหากใช้อากาศในการทำปฏิกิริยาจะมีไนโตรเจนจากอากาศกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ด้วย แต่เนื่องจากการออกซิไดซ์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมาก ดังนั้นจึงเกิดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในสารผลิตภัณฑ์ก๊าซโอเสีย่น้อย ในการพิจารณาทั่วไปจะไม่นำมาคิด นอกจากจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

3.3.2 องค์ประกอบในการเผาไหม้มีอยู่ 4 องค์ประกอบ คือ

1. เชื้อเพลิง (fuel) เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานความร้อน
2. ออกซิเจน (oxygen) เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้
3. ความร้อน (heat) คือ พลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา
4. ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) หรือ การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือ กระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้น หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาก้าวคืออะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง กลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเปลวไฟ

3.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง

1. ระยะเวลา (time) หมายถึงช่วงเวลาของเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในส่วนที่มีการเผาไหม้ต้องมีระยะเวลาที่นานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้ได้มากที่สุด
2. อุณหภูมิ (temperature) หมายถึงระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอยู่ในระดับสูงเพียงพอเพื่อทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้เองได้อย่างต่อเนื่อง
3. กระแสการไหลของของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะต้องอยู่ในลักษณะปั่นป่วน (turbulence) เพื่อให้เชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศสามารถคลุกเคล้ากันได้ดี
4. ปริมาณอากาศที่เพียงพอ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนในอากาศกับเชื้อเพลิง

3.3.4 สถานะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นั้นประกอบด้วยตัวทำปฏิกิริยา คือ เชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งจะต้องอาศัยสถานะที่เหมาะสม คือ มีแหล่งกำเนิดความร้อนเบื้องต้นหรือแหล่งจุดไฟซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นแก่เชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สถานะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.3.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อน (Heating Value, HV) มีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สถานะมาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาตินั้นไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยา หรือความร้อนของการเกิดที่สถานะมาตรฐานได้ เนื่องจากไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองในเครื่องมือที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลว และแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำไหลผ่าน (water flow calorimeter) ดังนี้

1. ค่าความร้อนต่ำ หรือ lower heating value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัมมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อกิโลกรัม
2. ค่าความร้อนสูง หรือ higher heating value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัมมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้ คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำ
3. ค่าความร้อนแห้ง หรือ dry heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมดจากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัมเพื่อนำมาหาค่าความร้อนค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัมและมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูง

ทั้งนี้ค่าความร้อนสูง เป็นการนำเอาค่าความร้อนแฝง (latent heat) ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียมารวมด้วย ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำจะไม่นำค่าดังกล่าวมารวมด้วย เพราะสมมติฐานที่ว่าในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้น ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในก๊าซไอเสียจะไม่เกิดการควบแน่นและไม่คายพลังงานความร้อนแฝงออกมาให้ระบบ (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของน้ำในก๊าซไอเสียเสมอ) แต่จะถูกทิ้งไปสู่บรรยากาศทางปล่องไอเสียแทน นั่นคือปริมาณความร้อนในส่วนนี้จะป็นความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนิยมนำค่าความร้อนต่ำ มาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณสมมูลความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์มากกว่าค่าความร้อนสูง เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงมากกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ตารางที่ 3.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล	ค่าความร้อนสูง	ค่าความร้อนต่ำ
แกลบ	14,921	13,466
ฟางข้าว	14,660	13,527
กากอ้อย	9,243	7,368
ไม้ยางพารา	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม	11,100	9,194
กะลาปาล์ม	18,250	16,900
ทะลายปาล์ม	11,436	9,800
ซังข้าวโพด	17,300	17,126
เหง้ามัน	13,170	9,034
กากมันสำปะหลัง	12,650	8,080
โยมะพร้าว	8,457	6,272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 กระบวนการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้มีเชื้อเพลิงและอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา และสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยก๊าซไอเสียและกากของแข็งหรือเถ้า (กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง) โดยองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ได้นั้นขึ้นกับกระบวนการเผาไหม้ว่ามีความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาหรือไม่ แต่ในการคำนวณมวลหรือปริมาณของตัวทำปฏิกิริยานั้นจะต้องพิจารณากระบวนการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สามารถคำนวณได้โดยใช้มวลสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สถานะสมบูรณ์ ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุในกรณีเป็นเชื้อเพลิงแข็ง หรือ เชื้อเพลิงเหลว หรือ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกรณีเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ นำมาคำนวณปริมาณออกซิเจน หรือปริมาณอากาศทำปฏิกิริยาพอดีกับเชื้อเพลิง (อากาศที่ต้องการทางทฤษฎี) และนำมาคำนวณสารผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากปฏิกิริยา มวลสารสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นความสัมพันธ์โดยโมล ดังนั้นต้องทำการแปลงหน่วยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงให้อยู่ในชั่งกิโลโมล หรือโมลก่อนที่จะนำมาคำนวณ โดยนิยามที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับกระบวนการเผาไหม้มีดังนี้

1. ไอดีสตอยคิโอเมตริก (stoichiometric mixture) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อมวลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการเผาไหม้ทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
2. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio) คืออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
3. ร้อยละอากาศทางทฤษฎี (percent theoretical air) หรืออัตราส่วนอากาศ (air ratio) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นร้อยละเท่าไรของปริมาณอากาศทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
4. ร้อยละอากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นร้อยละเท่าไรโดยคิดอากาศทางทฤษฎีที่ค่าเท่ากับ 100

3.3.7 อากาศส่วนเกิน

ในกระบวนการเผาไหม้ต้องการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ คือ เพื่อประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ความร้อนสูงสุดจากเผาไหม้และเพื่อป้องกันมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงต้องใช้สภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากที่สุด สภาวะหนึ่งคือการใช้อากาศส่วนเกิน (excess air) เพื่อให้โมเลกุลที่เกิดจากแตกตัวของเชื้อเพลิงมีโอกาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นต้องทราบปริมาณอากาศที่ต้องการทางทฤษฎีก่อน

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีการสูญเสียความร้อนไปมากเกินจำเป็น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนในรูปองค์ประกอบของก๊าซและส่วนที่ยังเผาไหม้ได้ออกจากระบบ เรียกว่า การสูญเสีย ศักยภาพทางความร้อน (potential heat loss) เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอน เป็นต้น แต่ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ปริมาตรอากาศส่วนที่เกินพอที่เข้ามาจะออกไปจากระบบ โดยไม่ได้ทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาตรรวมของฟลูอิดส์เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อน เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss)

3.4 ทฤษฎีฟลูอิดไคซ์เบด

หลักการของฟลูอิดไคซ์เบดจะมีลักษณะเป็นหอหรือถัง ซึ่งภายในบรรจุด้วยอนุภาคหรือเม็ด ของแข็ง ที่พื้นของถังจะมีแผ่นรองรับซึ่งเจาะรูไว้เพื่อให้สามารถเป่าอากาศหรือก๊าซผ่านชั้นของเม็ด ของของแข็งที่บรรจุอยู่ข้างบนได้ จะเห็นว่าถ้าปล่อยให้ก๊าซไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งโดยเป่าขึ้นจาก ด้านล่างแล้ว ถ้าความเร็วของก๊าซเพิ่มมากขึ้นถึงระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งจะเกิดการเคลื่อนไหว (ความเร็วของก๊าซนี้อาจจะน้อยกว่าความเร็วขั้นปลาย terminal velocity ของเม็ดของแข็งที่ตกโดย อิสระในอากาศก็ได้) การเคลื่อนไหวของเม็ดของแข็งนี้มีลักษณะเหมือนกำลังแขวนลอยอยู่ในก๊าซที่ ไหลผ่าน (dynamic suspension) การที่ชั้นของเม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ภายใน เปลี่ยนสภาพจากอยู่ นิ่งมาเป็นสภาพแขวนลอยนี้ ถูกเรียกว่า เปลี่ยนเป็นฟลูอิดไคซ์เบด (fluidized bed) ขึ้นอยู่กับสภาพการ ถูกพัดพาด้วยอากาศ (pneumatic conveyor)

ในขณะที่เกิดฟลูอิดไคซ์เบดชั้นนั้น เม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่จะเคลื่อนไหลการจัดกระจายในลักษณะ แขวนลอย และมีคุณสมบัติในการไหลคล้ายของเหลว เมื่อมองจากภายนอกจะเห็นว่าที่ผิวของฟลูอิด ไคซ์เบดชั้นนั้นจะมีลักษณะคล้ายของเหลวที่กำลังเดือด เนื่องจากการเคลื่อนไหวของเม็ดของแข็งมี ลักษณะคล้ายของเหลวนั่นเอง ถ้าต่อท่อไว้กับถังบรรจุที่ระดับผิวบนของฟลูอิดไคซ์เบด เม็ดของแข็งที่ อยู่สูงเกินกว่าระดับนี้จะล้นไหลออกได้เช่นเดียวกับของเหลว ถ้าหากเพิ่มความเร็วของก๊าซซึ่งเป่าผ่าน ชั้นของเม็ดของแข็งให้สูงขึ้นจนเกินความเร็วขั้นปลาย (terminal velocity) ของการตกโดยอิสระ ของเม็ดของแข็งเม็ดเดียว เม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ทั้งหมดก็จะถูกเป่าลอยปลิวไปกับก๊าซจนหมด ฟลูอิดไคซ์เบดชั้นนั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบก๊าซหรืออากาศกับของแข็งมากกว่าจะเป็นระบบของเหลว กับของแข็ง ดังนั้นเทคโนโลยีฟลูอิดไคซ์เบดจึงเป็นแนวทางที่นิยมใช้ในการเผาไหม้แกลบและเชื้อเพลิง แข็งอื่นๆ

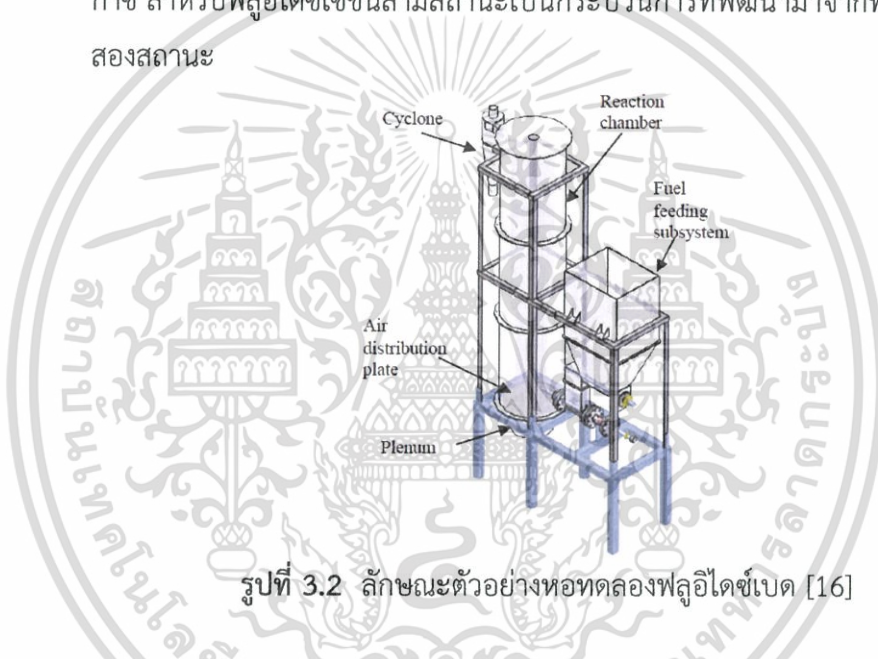
3.4.1 กระบวนการฟลูอิดไคซ์เซชัน

ฟลูอิดไคซ์เซชัน (fluidization) เป็นปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคของแข็งถูกกระทำให้มี พฤติกรรมคล้ายของไหลภายใต้กระแสการพยุ่งของก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านกลุ่มอนุภาคของแข็ง ขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง ในระหว่างนั้นได้มีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และปฏิกิริยา เคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการฟลูอิดิเซชันสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองรูปแบบ คือ

1. ฟลูอิดิเซชันสองสถานะ (two-phase fluidization) หมายความว่าในหอทดลองหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะคือของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดิเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ
 - ก๊าซฟลูอิดิเซชัน (gas fluidization)
 - ฟลูอิดิเซชันของของเหลว (liquid fluidization)
2. ฟลูอิดิเซชันสามสถานะ (three-phase fluidization) หมายความว่าภายในหอทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกันคือของแข็ง ของเหลวและก๊าซ สำหรับฟลูอิดิเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดิเซชันสองสถานะ



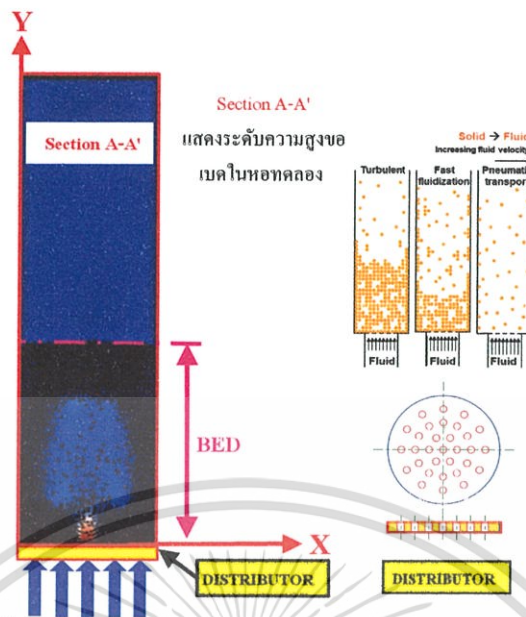
รูปที่ 3.2 ลักษณะตัวอย่างหอทดลองฟลูอิดิเซชันเบด [16]

ปรากฏการณ์ฟลูอิดิเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการเช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันภายในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.9 ได้แสดงลำดับลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดิเซชันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล โดยสรุปได้ดังนี้คือ

1. กลุ่มอนุภาคของแข็งมีกระแสน้ำของไหลที่มีค่าความเร็วต่ำ ๆ ไหลผ่านของไหลดังกล่าวจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่ง เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed)
2. เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ห่างออกจากกันและเคลื่อนที่ในบริเวณจำกัด เบดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (expanded bed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากสถานะที่ผ่านมา ถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นสถานะที่น้ำหนักของเบดจะเท่ากับแรงเสียดทานที่ของไหลกระทำต่ออนุภาคของแข็ง ที่สถานะนี้เองอนุภาคของแข็งจะเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในกระแสของของไหล เรียก สถานะนี้ว่าจุดต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดิเซชัน (minimum fluidization หรือ incipiently fluidized bed) ค่าความเร็วของของไหลที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน (minimum fluidizing velocity, U_{mf})
4. เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของของไหลให้มีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน พิจารณาสถานะที่เกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ของไหลเป็นของเหลว เบดจะมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ ระยะห่างระหว่างอนุภาคของแข็งจะค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งเบด คุณสมบัติเช่นนี้เรียก homogenous fluidization ดังรูป สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซจะเกิดการแทรกตัวผ่านของก๊าซในรูปแบบฟอง (gas bubbles) ที่ความเร็วสูงขึ้นความปั่นป่วนของเบดจะเพิ่มมากขึ้น ระดับของเบดจะมีการขยายตัวเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระดับของเบดนิ่ง จะเรียกเบดในลักษณะนี้ว่า bubbling fluidized bed หรือ heterogeneous fluidization
5. สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจนเลยค่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาคของแข็ง (terminal velocity) จะมีการสูญเสียอนุภาคของแข็งออกจากระบบมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกพาให้เคลื่อนที่ตลอดความสูงของหอ โดยจะพบอนุภาคของแข็งอยู่รวมกันกลุ่มสลับกับช่องว่างของก๊าซที่ขนาดและรูปร่างต่างๆ เรียกเบดลักษณะนี้ว่า เบดปั่นป่วน (turbulent bed)
6. ถ้าเพิ่มความเร็วต่อไปถึงจุดหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้ายของอนุภาคที่มีน้ำหนักมากที่สุด ของแข็งทั้งหมดจะหลุดลอยออกจากหอ เรียกสถานะนี้ว่า เบดเบาบาง (lean phase fluidized bed)



รูปที่ 3.3 ระดับของเบคในหน้าตัดของหอทดลอง [15]

3.4.2 กระบวนการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิด์เบด

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอน

ดังนี้

1. drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
2. devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
3. ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่อยออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค
4. combustion of volatile เป็นกระบวนการเผาไหม้สารระเหย ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นล้อมรอบอนุภาค
5. ignition of char particle เป็นกระบวนการจุดประกายบนผิวหน้าของอนุภาคที่เหลือ โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็กๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อยๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค
6. combustion of residual char particle เป็นขบวนการเผาไหม้อนุภาคที่เหลือหลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

3.4.3 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิด์เบด

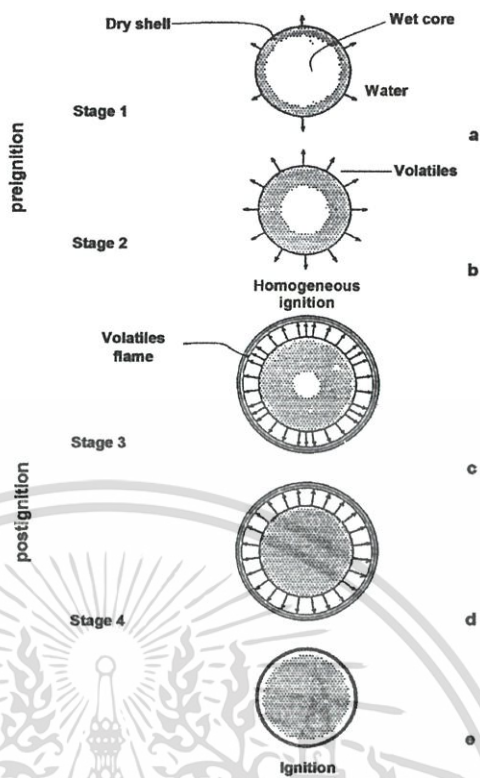
อุณหภูมิเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงการอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้

ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอกจน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงเกินไป Wildlger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคที่สามารถแบ่งเป็น 2 เฟส ดังรูปที่ 3.4

1. Pre-ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะไพโรไลซิส แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน
 - ขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำอนุภาคใส่ลงในเบตร้อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก และส่วนที่ชื้นอยู่ภายในอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนนานขึ้น ส่วนที่ชื้นจะมีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดส่วนที่แห้งเพิ่มขึ้น
 - ขั้นตอนที่ 2 อุณหภูมิในส่วนที่แห้งเริ่มเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการระเหยออกมาของสารระเหย เนื่องจากการแตกของพันธะภายในโครงสร้างของอนุภาค
2. Post-ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ทำให้เกิดเปลวไฟล้อมรอบอนุภาค ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน
 - ขั้นตอนที่ 1 เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของอนุภาคมีปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิสูงเพียงพอทำให้เกิดการจุดประกายของสารระเหยออกมา เกิดเป็นเปลวไฟขึ้นล้อมรอบอนุภาค ความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด drying และ devolatilization เพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้ drying จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
 - ขั้นตอนที่ 2 อนุภาคเกิด devolatilization ต่อสารระเหยที่ระเหยออกมาจะถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟล้อมรอบอนุภาคและจะดับเหลือแต่อนุภาค เมื่อสารระเหยหมดหรือระเหยออกมาน้อยจนไม่สามารถติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น pre ignition และ c, d, e เป็น post ignition

3.4.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำฟลูอิดไดเซชัน

ข้อดี

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิดไดเซชันเบดจะเสียพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมา
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเติมเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบดนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการ

ถ่ายเทมวลสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

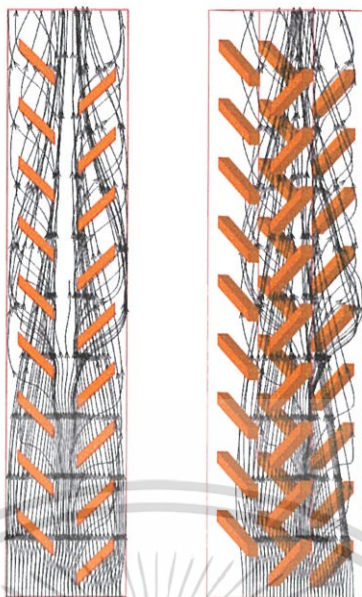
6. ที่อุณหภูมิของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบต อุณหภูมิของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

ข้อเสีย

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอุณหภูมิของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบตสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีพอ หรืออุณหภูมิของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสิ้นเปลืองของหอยทอลองหรือเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากอุณหภูมิของแข็งมากระทบกับผนังหอยทอลอง
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอุณหภูมิของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบตสูงๆ หรือเบตหลายๆ ชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบต ทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปล่า ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
5. ใช้กับอุณหภูมิของแข็งที่เปียกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบต
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบตไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง จะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3.5 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับนี้ทำได้โดยการกีดขวางอุณหภูมิหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดของพื้นที่หน้าตัดของการไหล (Rapid increase in flow area) โดยการนำวัตถุรูปทรงต่างๆ ไปวางขวางทิศทางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.6 ทำให้เกิดบริเวณที่มีความเร็วต่ำและหมุนเวียนย้อนกลับในกระแสหลักของการไหล การไหลหมุนเวียนย้อนกลับจะทำให้มีเวลามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟด้วยตัวเอง เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และ ช่วยทำให้เกิดการเสถียรของเปลวไฟได้ดีขึ้น



รูปที่ 3.5 การจำลองการไหลของอากาศผ่านครีบบตามแนวยาว



รูปที่ 3.6 การจำลองการไหลของอากาศผ่านครีบบตามแนวขวาง

3.6 มลพิษและการควบคุม

สารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ตามทฤษฎีของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติมักเกิดกระบวนการการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ผุ่นและเขม่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่นสถานะการเผาไหม้ไม่ดีเกินไป การผสมคลุกเคล้าไม่ดีพอ ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นที่สถานะสโตยคิโอเมตริกซึ่งเผาไหม้ อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงจนทำให้ CO_2 เกิดการแตกตัวกลับมาเป็น CO

วิธีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สำคัญ คือการควบคุมสถานะต่างๆ เพื่อให้เกิดกระบวนการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.6.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซมลพิษ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์มากกว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ สารมลพิษเริ่มต้น คือ NO ถูกออกซิไดซ์เมื่อพบกับออกซิเจนและโอโซนในบรรยากาศกลายเป็น NO_2 การก่อตัวของ NO_x ในกระบวนการการเผาไหม้มีกลไกของการก่อตัวอยู่ดังต่อไปนี้

- thermal NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 2,000 K ไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
- fuel NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,300 K ไนโตรเจนในเชื้อเพลิงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ
- Prompt NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,600 K ไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนจากเชื้อเพลิง โดยผ่านกลไกการเกิด HCN

วิธีการกำจัดก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์หลังจากออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจาก NO มีความเสถียรมากและไม่ละลายน้ำ วิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่เป็นผล จึงใช้วิธีการควบคุมการเผาไหม้ให้เกิด NO_x น้อย วิธีที่ใช้คือ

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจาก NO ในกระบวนการการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ NO_2 ดังนั้นการลดปริมาณอากาศส่วนเกินจะช่วยลดปริมาณ NO_2
- การใช้ระบบเผาไหม้หลายขั้นตอน โดยการจัดให้อากาศเข้าหลายขั้นตอนจะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟต่ำลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิด Thermal NO ลดลง
- การนำฟลูแก๊สกลับมาป้อนใหม่

3.6.3 อนุภาคของเถ้า

กระบวนการการเผาไหม้จะทำให้เกิดกระแสฟลูแก๊ส ส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในฟลูแก๊สคืออนุภาคของเถ้า เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดที่หลุดลอยออกไปพร้อมฟลูแก๊ส เพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคเถ้าลอยสู่สภาพแวดล้อมภายนอก จึงจำเป็นต้องมีการดักอนุภาคดังกล่าว

วิธีการดักอนุภาคเถ้าลอยมีดังนี้

- การแยกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาศัยหลักการปล่อยฟลูแก๊สสู่ห้องเก็บฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ ทำให้ความเร็วของอนุภาคลดลงและตกสู่ด้านล่าง
- การแยกด้วยแรงเฉื่อย อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง โดยการทำให้อนุภาควิ่งในทางโค้งภายในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไชโคลน อนุภาคจะเกิดแรงดึงออกจากทางโค้งและเมื่อไปปะทะผนัง ความเร็วจะลดลงแล้วตกลงสู่ด้านล่างของไชโคลน

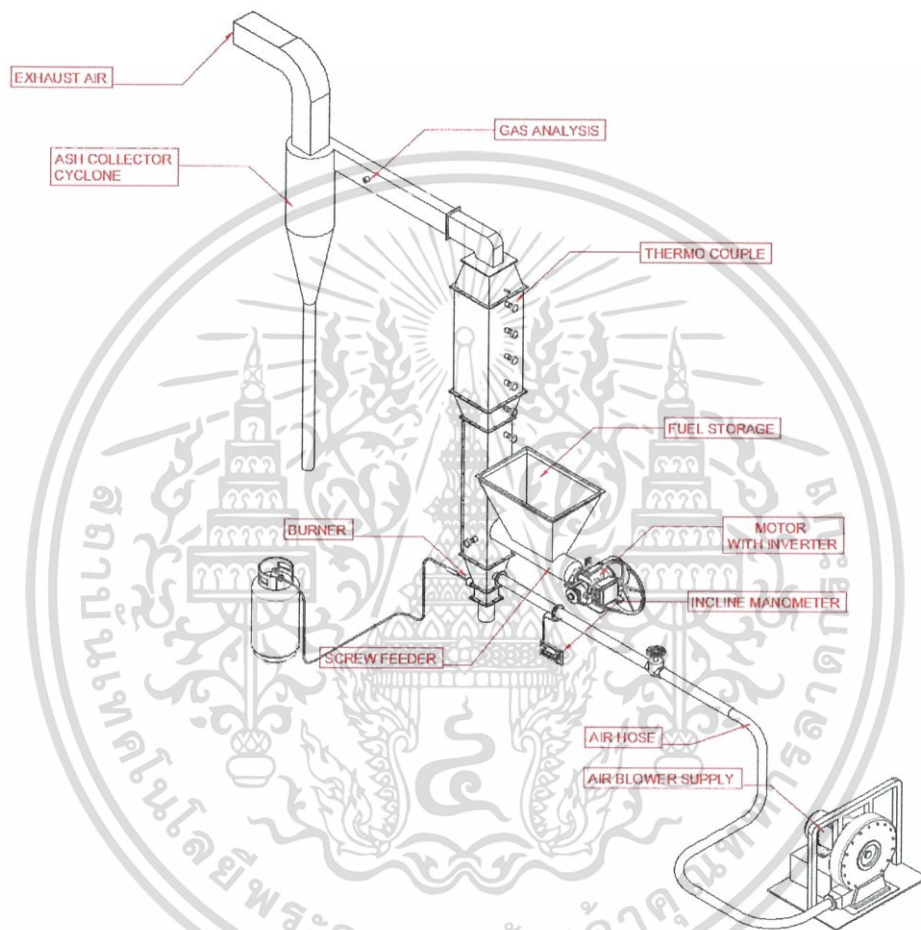


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง

4.1.1 เตาเผาแกลบลฟลูอิดซ์เบด



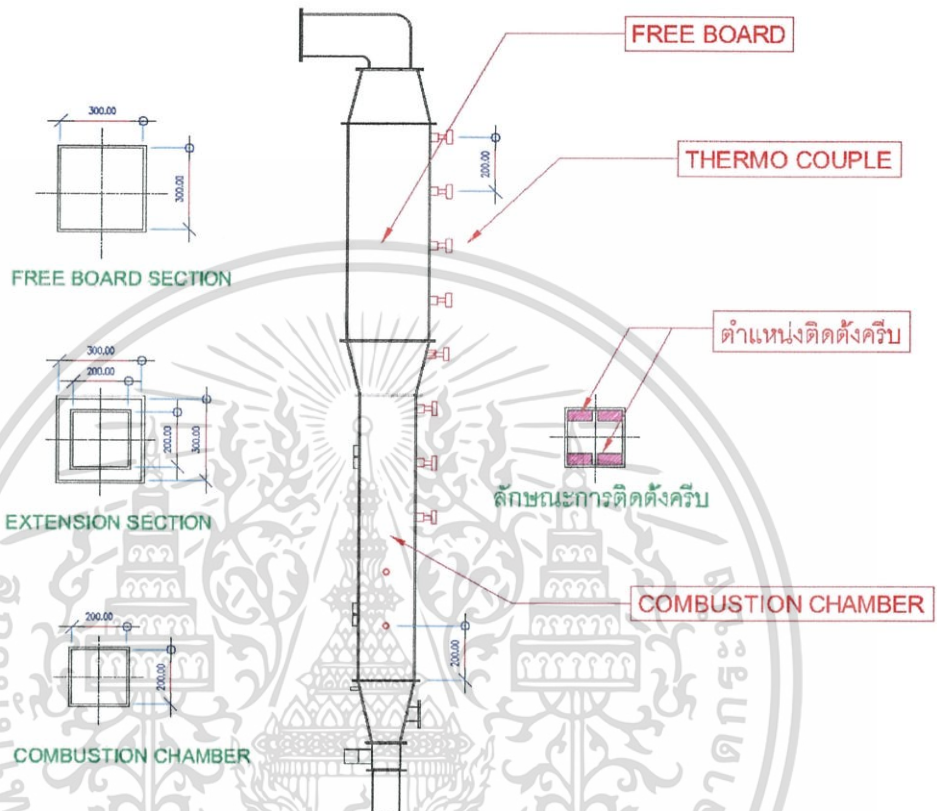
รูปที่ 4.1 เตาเผาแกลบลฟลูอิดซ์เบด

เตาเผาฟลูอิดซ์เบดสร้างจากเหล็กเหนียวชุบคาร์บอนหนา 12 mm. หุ้มฉนวนภายนอกด้วยเซรามิกหนา 35 mm. เพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด โดยเตาเผามีความสูงทั้งหมด 2400 mm. และมีจุดวัดอุณหภูมิ 10 จุดซึ่งอยู่ด้านข้างผนังเตา โดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 200 mm. บริเวณด้านบนเป็นทางออกของก๊าซไอเสียซึ่งจะมีการวัดปริมาณไอเสียก่อนเข้าไซโคลนดักเถ้า ซึ่งโครงสร้างของเตาเผาประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ห้องเผาไหม้ (COMBUSTION CHAMBER) มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดหน้าตัด 200 x 200 mm. สูง 1,000 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟรีบอร์ด (FREE BOARD) เป็นส่วนขยายขนาดหน้าตัดมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความเร็วของไหลภายในเตา มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดหน้าตัด 300 x 300 mm. ความสูง 800 mm.



รูปที่ 4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิดซ์เบตและตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในเตา

ในการทดลองมีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ (COMBUSTION CHAMBER) แตกต่างกันดังนี้

1. เตาเผาฟลูอิดซ์เบต กรณีห้องเผาไหม้ไม่มีการติดตั้งครีบ
2. เตาเผาฟลูอิดซ์เบต กรณีห้องเผาไหม้มีการติดตั้งทำมุม 45° กับแนวระดับ วางเป็นรูปตัววี หงาย ซึ่งครีบนั้นมีลักษณะเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมมุมฉาก มีระยะห่างเป็นช่องตรงกลางแตกต่างกันคือ 10 mm. ,15 mm., 20 mm. และ 25 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะและขนาดของครีบบน ที่มีระยะห่าง 10 mm.

รูปที่ 4.4 ลักษณะและขนาดของครีบบน ที่มีระยะห่าง 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ลักษณะและขนาดของครีบบน ที่มีระยะห่าง 20 mm.

รูปที่ 4.6 ลักษณะและขนาดของครีบบน ที่มีระยะห่าง 25 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ชุดไซโคลนดักซีเถ้า

มีหน้าที่ดักอนุภาคเก๋าลอยหรือมักเรียกกันว่าซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ จะมีลักษณะทรงกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm. ซึ่งเมื่อไอเสียออกจากเตาเผาจะไหลเข้าสู่ด้านข้างของไซโคลนแล้วจะหมุนวนภายในไซโคลน อนุภาคซีเถ้าที่มีน้ำหนักจะหลุดลงมาด้านล่างและไอเสียจะไหลออกด้านบนของไซโคลน



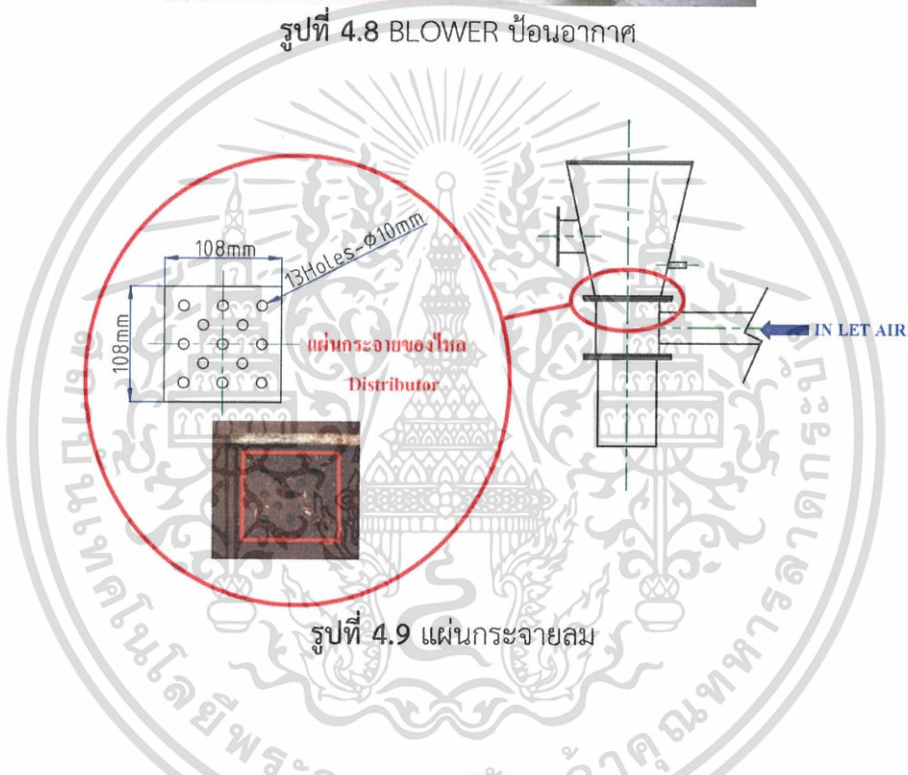
รูปที่ 4.7 ไซโคลนดักซีเถ้า

4.1.3 ชุดอุปกรณ์ป้อนอากาศ

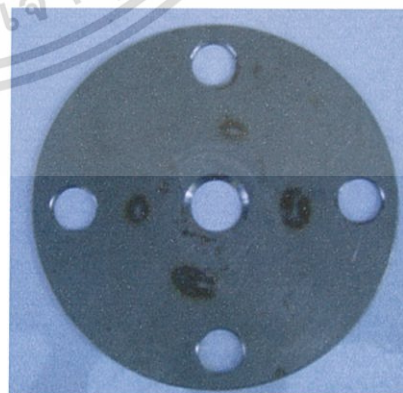
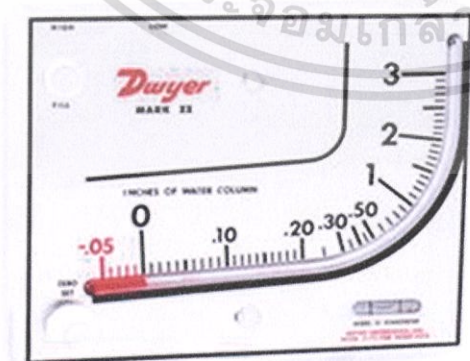
การทดลองนี้ได้เลือกใช้ Air Blower สำหรับป้อนอากาศเข้าสู่เตาเผา โดยอากาศจะไหลผ่านแผ่นกระจายลมก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศจะถูกควบคุมด้วยวาล์ว ซึ่งจะปรับปริมาณอากาศจากแรงดันตกคร่อมที่ผ่านแผ่น Orific และมีமானอมิเตอร์เป็นตัววัดแรงดันตกคร่อม ปริมาณอากาศจะใช้ Velocity Meter เป็นเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.8 BLOWER บLOWER บ่อนอากาศ



รูปที่ 4.9 แผ่นกระจายลม

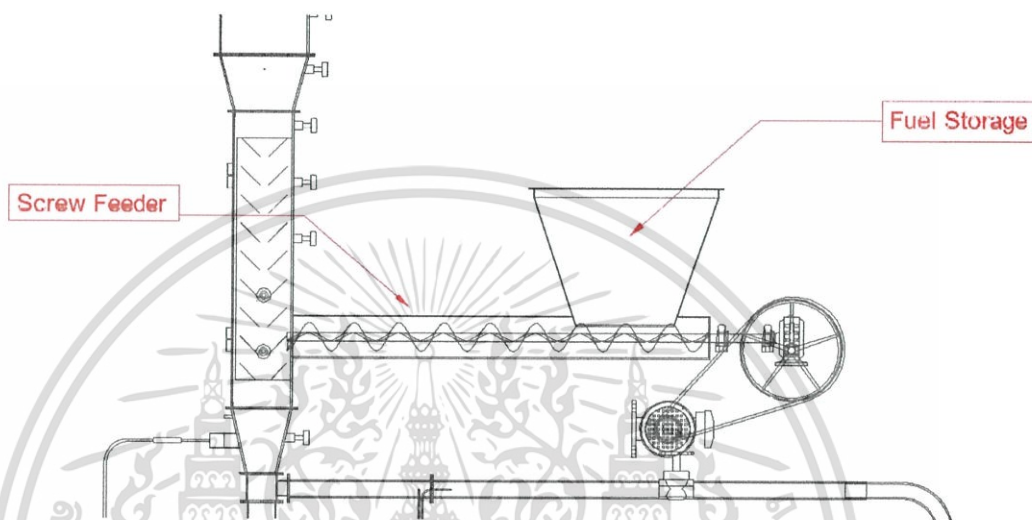


รูปที่ 4.10 แผ่น ORIFIC

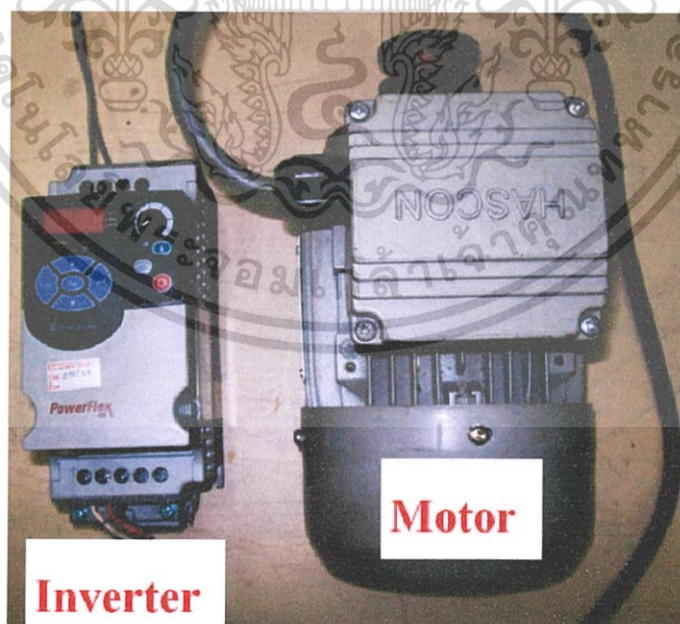
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เชื้อเพลิงแกลบจะถูกบรรจุไว้ใน Fuel Storage และไหลเข้าสู่ Screw Feeder ซึ่งจะเป็นตัวพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยปริมาณเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมโดย Inverter ที่สามารถปรับความเร็วรอบของ Motor ได้



รูปที่ 4.11 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิงแกลบ



รูปที่ 4.12 ชุด Motor และ Inverter ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับการอุ่นเตา

ก่อนที่จะทำการทดลอง จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ โดยจะใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นเตาซึ่งจะให้ความร้อนโดยตรงกับห้องเผาไหม้



รูปที่ 4.13 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับอุ่นเตา

4.1.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตา

ผลการทดลองที่ทำการพิจารณา ได้แก่การวัดระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดภายในเตาเผา วัดค่าโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)

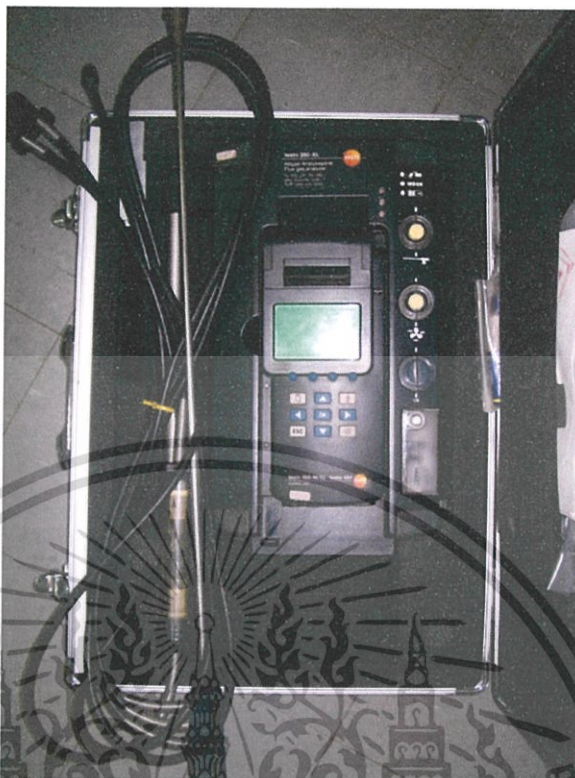


รูปที่ 4.14 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ

4.1.7 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณก๊าซไอเสีย

อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณไอเสียจะใช้เครื่องวัดก๊าซไอเสีย TESTO รุ่น MX350XL ซึ่งจะสามารถวัดค่า O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , H_2S , HC , CO_2 ได้ และนิยมใช้กันในงานอุตสาหกรรมทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO รุ่น 350M/XL

4.2 การติดตั้งและการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองนี้จะใช้ Blower เป็นแหล่งจ่ายอากาศให้กับเตาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ และช่วยพวยงกลับให้กระจายในห้องเผาไหม้ โดยลมจะผ่านแผ่นกระจายลมก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศจะวัดโดยการเทียบอัตราการไหลที่วัดได้จาก Velocity Meter เทียบกับ ความดันตกคร่อมผ่านแผ่น Orific ที่วัดได้จาก Manometer ในแต่ละค่า แล้วเมื่อทำการทดลองจริงจะปรับลมตามค่าของ Manometer เชื้อเพลิงจะถูกบรรจุไว้ใน Fuel Storage แล้วไหลไปยังห้องเผาไหม้ด้วย Screw Feeder ที่ถูกขับโดยมอเตอร์และสามารถปรับความเร็วจากการติดตั้ง Inverter ไปด้วย เมื่อทำการเผาไหม้ไปแล้วจะมีซีเถ้าออกไปกับไอเสียแต่ซีเถ้าจะถูกดักให้หลุดออกจากไอเสียด้วยไซโคลนดักซีเถ้า ส่วนไอเสียจะออกไปสู่บรรยากาศทางด้านบนของไซโคลนการวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ส่วนองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของฟร็อบอร์ตนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL ในการเริ่มต้นของการทดลองจะใช้หัวเผา(Burner) อุณหภูมิให้ร้อนด้วยก๊าซ LPG จนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงในช่วง $650\text{ }^{\circ}\text{C} - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อจากนั้นจึงป้อนเชื้อเพลิงกลับ ด้วยอัตราป้อนกลับที่ใช้ในการทดลอง รองอุณหภูมิสูงถึงประมาณ $750\text{ }^{\circ}\text{C} - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงหยุดการอุ่นเตาโดยการนำหัวเผาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล

1. ป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ด้วยอัตราการไหลของอากาศเพียงเล็กน้อย แล้วจุดหัวเผาอุ่นเตา เพื่อให้มีความร้อนด้วยก๊าซ LPG จากนั้นสังเกตอุณหภูมิโดยรอบจนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงประมาณ 600 °C จึงทำการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เริ่มด้วยปริมาณน้อยพร้อมกับเพิ่มปริมาณอากาศตามสัดส่วนที่พอเหมาะ แล้วค่อยเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศขึ้นพร้อมกันจนได้ปริมาณตามต้องการ รอจนกระทั่งอุณหภูมิสูงประมาณ 750 °C ให้หยุดการจ่ายก๊าซ LPG
2. ปรับปริมาณอากาศเมื่อเทียบกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ให้มีอากาศส่วนเกินเริ่มต้นด้วยค่าอากาศส่วนเกินต่ำสุดคือ 23.39% แล้วสังเกตพฤติกรรมการติดไฟจนระดับอุณหภูมิค่อนข้างคงที่จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ , ปริมาณก๊าซไอเสียพร้อมทั้งสังเกตสีและขนาดของซีเอนด์ด้วย เมื่อบันทึกผลการทดลองแล้วเสร็จต้องทำการหยุดการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้แล้วปล่อยให้เตาอุณหภูมิต่ำลงเหลือ 300 °C แล้วจึงทำการทดลองต่อในกรณีศึกษาอื่นๆ
3. ทำซ้ำตามข้อที่ 2 โดยเปลี่ยนค่าอากาศส่วนเกินเป็น 36.13 % , 51.63 % , 71.54 % และ 91.51 % ตามลำดับ
4. ปรับเปลี่ยนลักษณะครีปตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้แล้วทำซ้ำตามข้อที่ 2-3
5. ทดลองโดยทำการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเป็น 10.8 kg/h และ 12.8 kg/h แล้วทำซ้ำตามข้อที่ 2-3 โดยเลือกป้อนค่าอากาศส่วนเกินและลักษณะครีปในห้องเผาไหม้ตามความเหมาะสมจากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองตามข้อที่ 2 และ 3 เพื่อสังเกตพฤติกรรมการเผาไหม้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 อัตราการป้อนอากาศ

ในการพิจารณาเริ่มแรกได้ศึกษาถึงอัตราการป้อนอากาศที่เป็นปัจจัยในกระบวนการเผาไหม้ โดยจะเปลี่ยนแปลงตามเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ศึกษาดังนี้

ตารางที่ 5.1 ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%) ที่จ่ายเข้าสู่เตาเผาฟลูอิดซ์เบด

อัตราการป้อน เชื้อเพลิง (kg/h)	อัตราการป้อน อากาศ (kg/h)	ปริมาณอากาศ ส่วนเกิน (%)	ความเร็วลมใน ห้องเผาไหม้ (m/s)
8.2	58.06	31.91	0.3449
	64.05	45.53	0.3805
	71.35	62.10	0.4239
	80.24	82.31	0.4767
	92.93	111.14	0.5521
8.7	58.06	23.39	0.3449
	64.05	36.13	0.3805
	71.35	51.63	0.4239
	80.24	71.54	0.4767
	92.93	97.51	0.5521
10.8	58.06	0.15	0.3449
	64.05	10.49	0.3805
	71.35	23.08	0.4239
	80.24	38.42	0.4767
	92.93	60.31	0.5521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%) ที่จ่ายเข้าสู่เตาเผาฟลูอิดซ์เบด(ต่อ)

อัตราการป้อน เชื้อเพลิง (kg/h)	อัตราการป้อน อากาศ (kg/h)	ปริมาณอากาศ ส่วนเกิน (%)	ความเร็วลมใน ห้องเผาไหม้ (m/s)
12.8	58.06	-16.04	0.3449
	64.05	-7.37	0.3805
	71.35	3.18	0.4239
	80.24	16.05	0.4767
	92.93	34.40	0.5521

5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ผลของระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่เกิดจากกรณีศึกษาทั้งหมดแสดงในตารางที่ 5.2 - 5.9 โดยแสดงผลที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษาที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ โดยแสดงค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด อุณหภูมิการเผาไหม้จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของครีบ โดยได้นำผลลัพธ์สูงสุดและผลลัพธ์ต่ำสุดของกรณีห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบในกรณีต่างๆไปแสดงเปรียบเทียบกับผลลัพธ์สูงสุดที่ชั้นกรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบ โดยแสดงในรูปที่ 5.1 - รูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีไม่มีการติดตั้งครีบ

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
2000	535.9	536.1	552.8	569.4	539.5
1800	631.5	627.6	635.1	634.5	584.6
1600	774.2	761.7	756.5	727.6	641.3
1400	812.2	797.6	790.0	764.9	678.9
1200	842.1	823.8	813.1	798.3	718.8
1000	900.2	865.5	844.1	830.4	749.3
800	935.7	883.2	850.2	823.5	739.1
600	952.9	877.1	816.6	762.9	689.4
400	943.8	863.2	757.6	657.7	615.3
200	720.2	646.4	595.6	538.7	550.5
เฉลี่ย	804.9	768.2	741.1	710.8	650.7

ตารางที่ 5.3 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 10 mm.

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
2000	442.6	450.7	456.8	456.5	440.2
1800	506.7	514.3	518.4	518.2	499.9
1600	582.5	598.7	590.5	548.9	567.8
1400	657.0	668.0	678.4	537.9	802.0
1200	687.5	701.9	710.9	709.5	684.8
1000	734.7	744.0	739.5	735.1	737.0
800	773.4	773.0	747.0	733.8	747.7
600	789.1	765.6	708.5	685.4	688.5
400	808.0	750.9	626.5	572.8	592.0
200	728.2	680.8	536.6	452.5	402.1
เฉลี่ย	671.0	664.8	631.3	595.1	616.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบลิ้มระยะห่าง 15 mm.

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
2000	501.1	528.4	525.6	532.5	554.5
1800	587.8	618.4	606.1	600.0	605.0
1600	730.7	759.4	737.4	714.4	695.0
1400	765.7	797.6	771.6	751.3	734.9
1200	808.7	839.1	805.8	786.9	781.0
1000	890.1	913.4	874.9	839.0	831.6
800	974.9	965.3	912.5	843.3	824.6
600	995.7	950.7	885.7	776.1	724.8
400	983.8	920.0	815.4	635.7	560.9
200	976.5	901.8	766.4	623.5	519.9
เฉลี่ย	821.5	819.4	770.2	710.3	683.2

ตารางที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบลิ้มระยะห่าง 20 mm.

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
2000	552.3	561.2	559.4	567.9	542.5
1800	652.2	660.1	656.0	653.1	600.5
1600	805.4	812.9	805.1	792.5	707.2
1400	835.2	845.1	838.9	830.7	748.2
1200	859.7	870.8	873.7	865.6	783.5
1000	932.3	934.3	928.4	919.3	828.4
800	994.5	978.9	956.0	912.5	838.3
600	999.9	981.2	926.9	830.4	741.5
400	985.7	959.2	836.9	657.2	551.7
200	902.1	886.3	695.4	499.7	375.3
เฉลี่ย	851.9	849.0	807.7	752.9	671.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบลิ้มระยะห่าง 25 mm.

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
		23.39	36.13	51.63	71.54
2000	538.3	557.7	522.3	529.7	536.7
1800	675.8	659.3	600.2	602.1	604.7
1600	815.8	812.2	732.4	725.7	720.9
1400	841.5	839.9	773.7	759.9	752.2
1200	876.7	870.0	809.2	789.7	778.9
1000	942.7	927.6	863.4	848.5	846.5
800	957.3	969.6	897.6	869.9	859.5
600	999.9	977.5	898.7	825.2	782.7
400	999.9	948.0	854.4	768.9	673.9
200	933.5	879.7	768.0	634.6	501.3
เฉลี่ย	858.1	844.1	772.0	735.4	705.7

ตารางที่ 5.7 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบลิ้มระยะห่าง 20 mm.

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)	
		23.08
2000	583.7	569.2
1800	668.6	635.2
1600	827.8	768.0
1400	865.2	798.9
1200	891.1	821.6
1000	968.8	917.2
800	977.9	932.4
600	921.1	871.3
400	739.9	704.8
200	652.1	625.8
เฉลี่ย	809.7	695.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบลิ้มระยะห่าง 20 mm.
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 12.8 kg/h

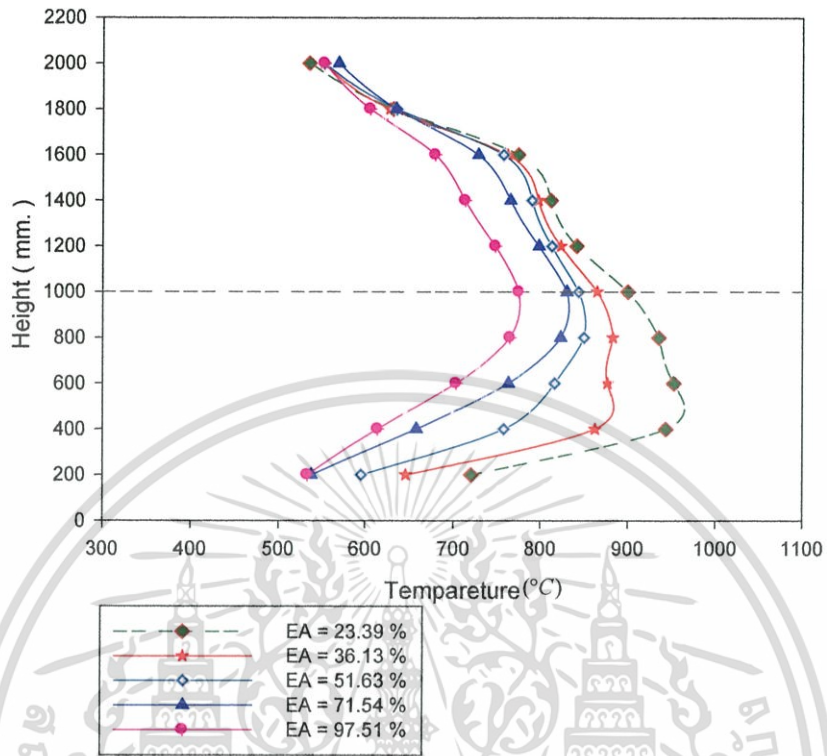
ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
	3.18
2000	588.8
1800	678.6
1600	835.0
1400	867.4
1200	922.7
1000	999.0
800	999.0
600	951.3
400	754.2
200	679.7
เฉลี่ย	752.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

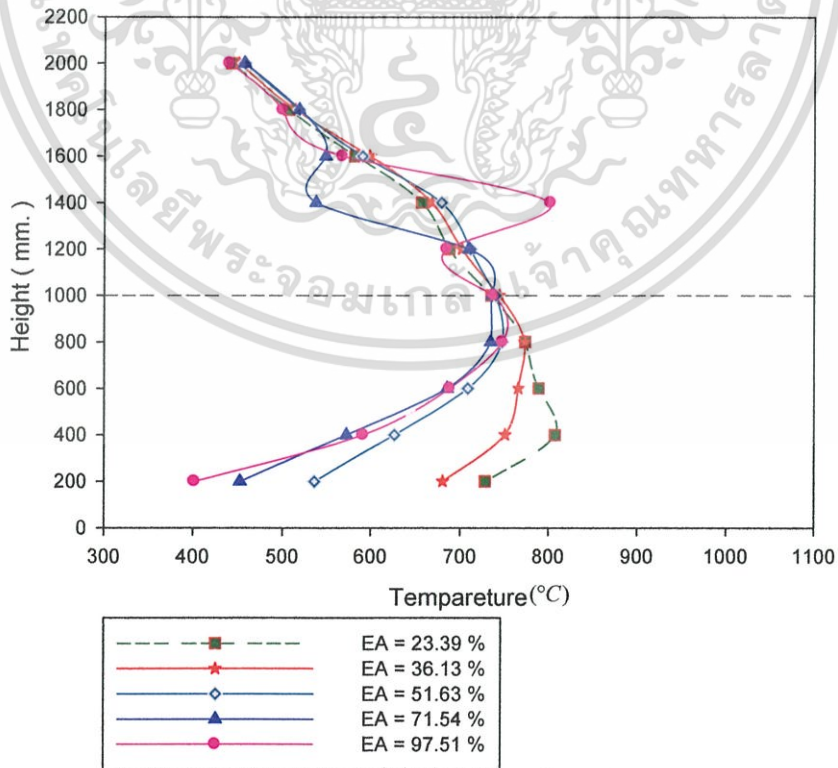
ตารางที่ 5.9 ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปสี่เหลี่ยมระยะห่าง 20 mm.
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h

ความสูง (mm)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
	45.53
2000	588.7
1800	652.4
1600	757.8
1400	796.9
1200	809.4
1000	865.5
800	916.8
600	924.6
400	921.7
200	857.0
เฉลี่ย	804.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

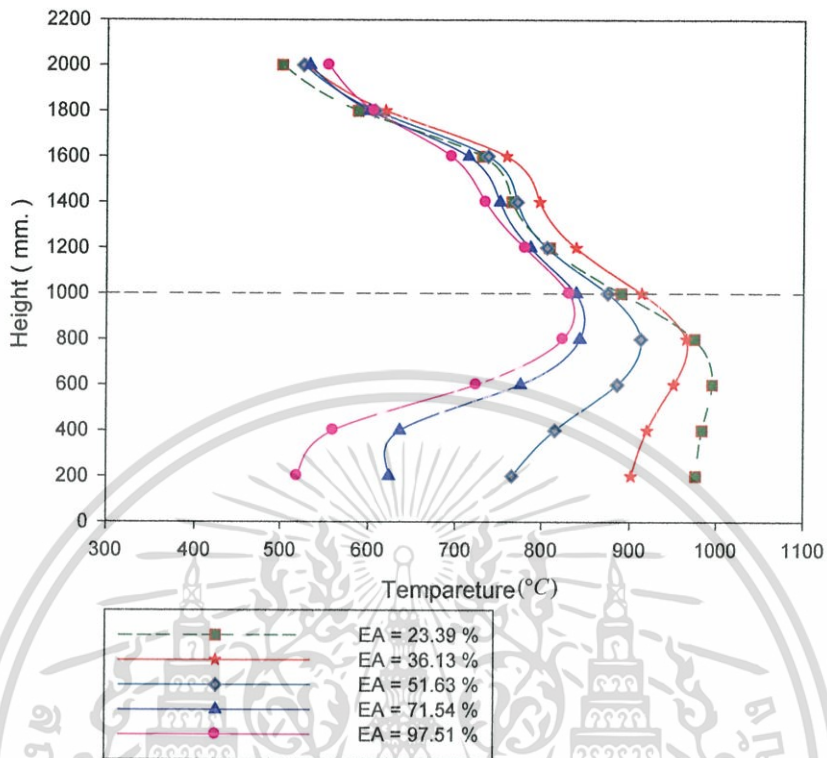


รูปที่ 5.1 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีไม่ติดตั้งครีบ

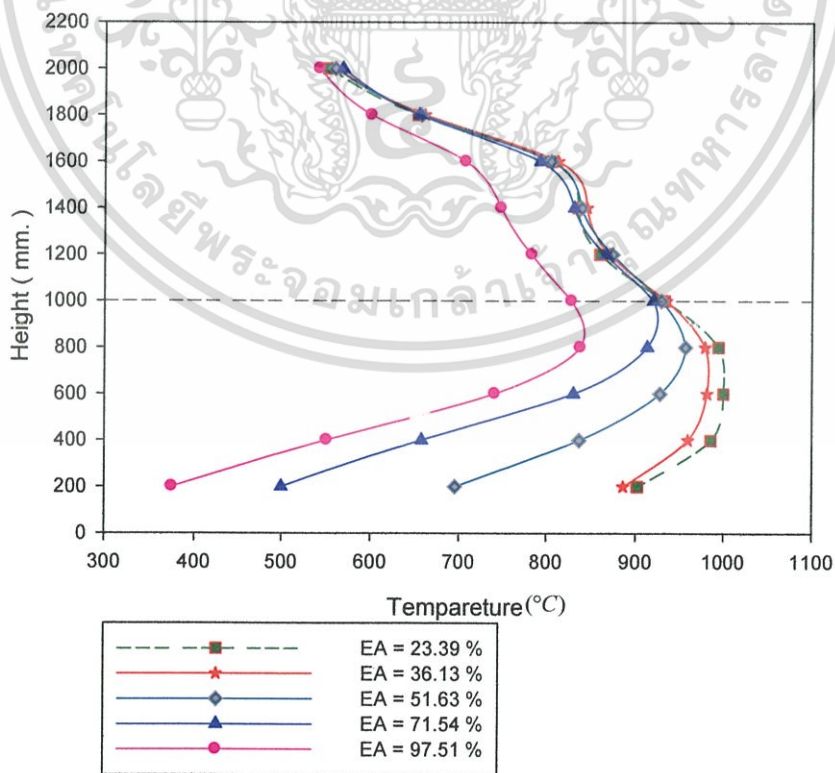


รูปที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 10 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

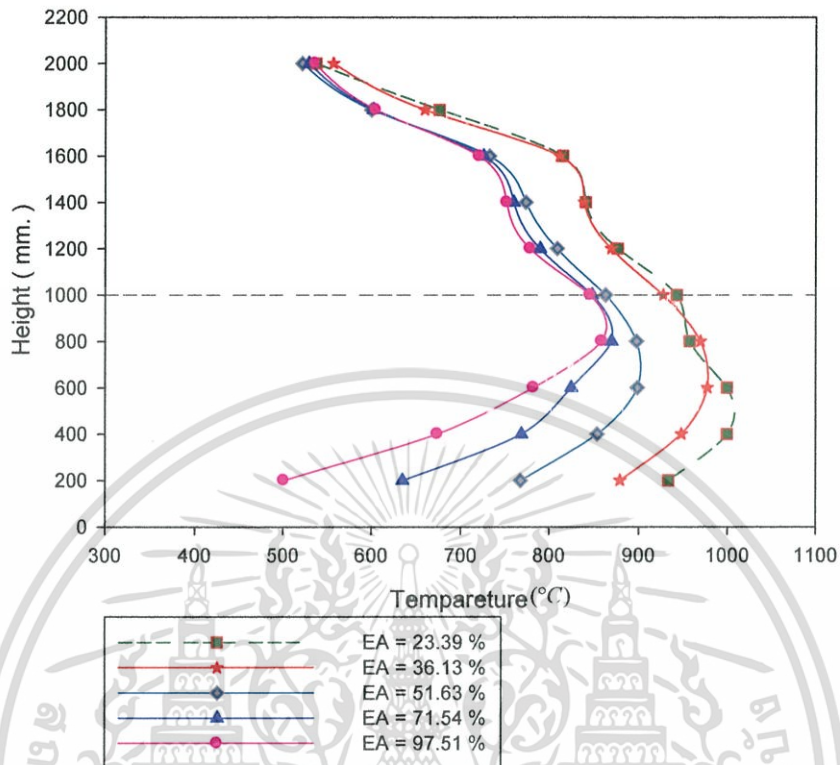


รูปที่ 5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 15 mm.



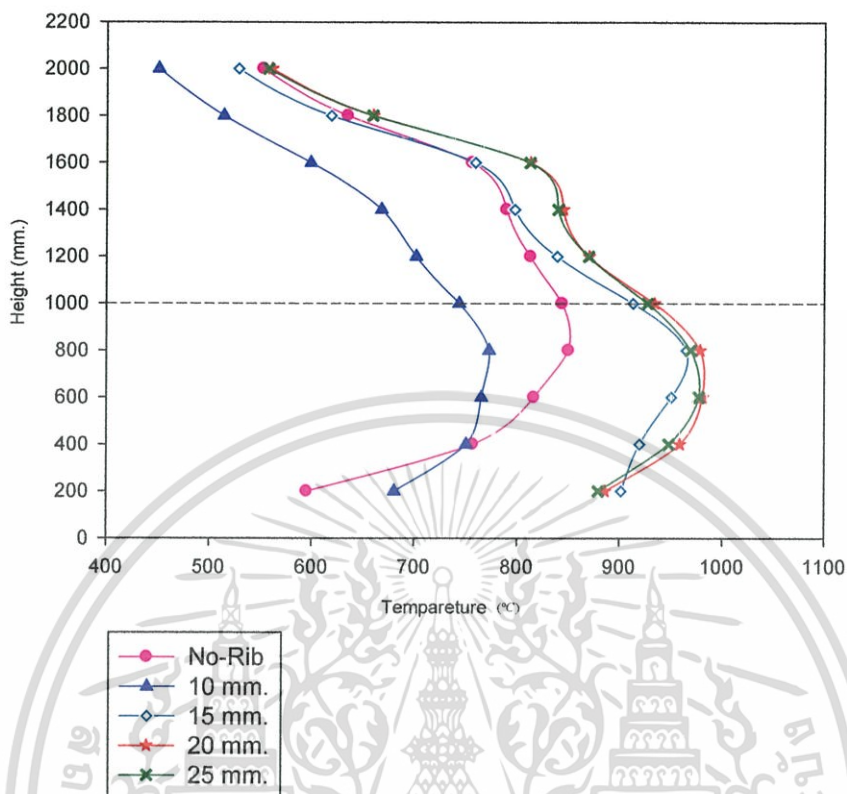
รูปที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ ระยะห่าง 20 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



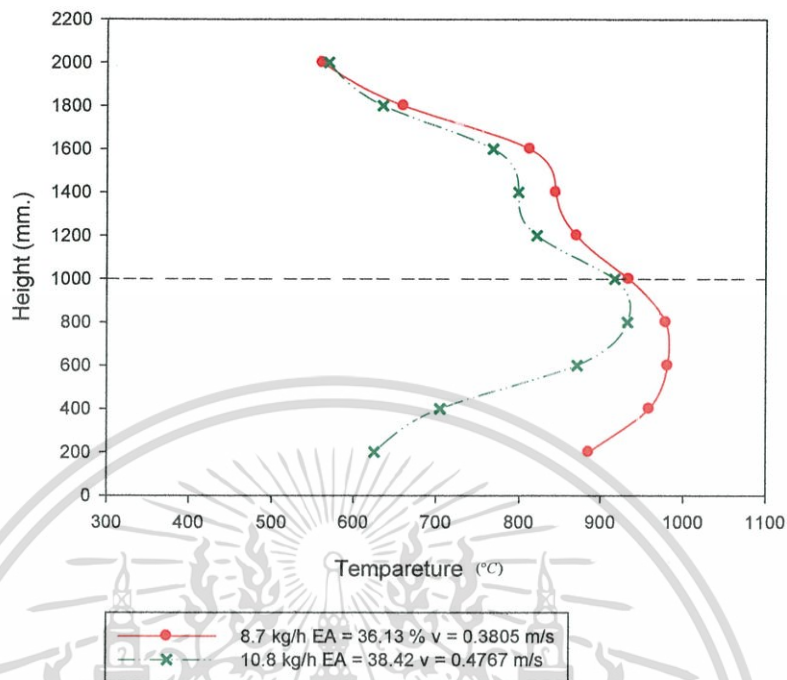
รูปที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบบระยะห่าง 25 mm.

จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบจากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบบกับกรณีติดตั้งครีบบที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากันพบว่าเมื่อทำการติดตั้งครีบบรูปแบบต่างๆไม่ได้ทำให้การเผาไหม้ดีกว่าเตาเปล่าทุกกรณี โดยพบว่าการติดตั้งครีบบบางกรณีจะทำให้การเผาไหม้ได้อุณหภูมิสูงกว่าเตาเปล่าแต่บางกรณีมีผลทำให้เกิดการเผาไหม้ที่แย่งและได้อุณหภูมิต่ำกว่าเตาเปล่าอย่างเห็นได้ชัดจากรูป 5.1 - 5.5 โดยครีบบที่มีระยะห่าง 10 mm. ส่งผลให้เกิดการปั่นป่วนในเตามากโดยสังเกตจากพฤติกรรมการติดไฟและการกระจายของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าเตาที่ไม่มีการติดตั้งครีบบและเมื่อมีการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นผลทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ได้อุณหภูมิไม่ต่อเนื่องขึ้นลงอย่างรวดเร็ว จะเห็นว่าครีบบที่ทำให้เตามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดและมีการเผาไหม้ที่ดีอย่างต่อเนื่องตามปริมาณอากาศส่วนเกินคือครีบบที่มีระยะห่าง 20 mm. ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับครีบบที่มีระยะห่าง 25 mm. แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินอุณหภูมิของครีบบที่มีระยะห่าง 25 mm. จะต่ำกว่าครีบบที่มีระยะห่าง 20 mm. อย่างเห็นได้ชัด โดยอุณหภูมิสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาของครีบบที่มีระยะห่าง 20 mm. ที่ EA = 36.13 % เท่ากับ 981.2 °C และ 849.0 °C ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเปล่าที่มีอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาเท่ากับ 883.2 °C และ 768.2 °C นั้น จะเห็นว่าการติดตั้งครีบบที่มีระยะห่าง 20 mm. ให้อุณหภูมิสูงกว่าเตาเปล่าอย่างชัดเจน

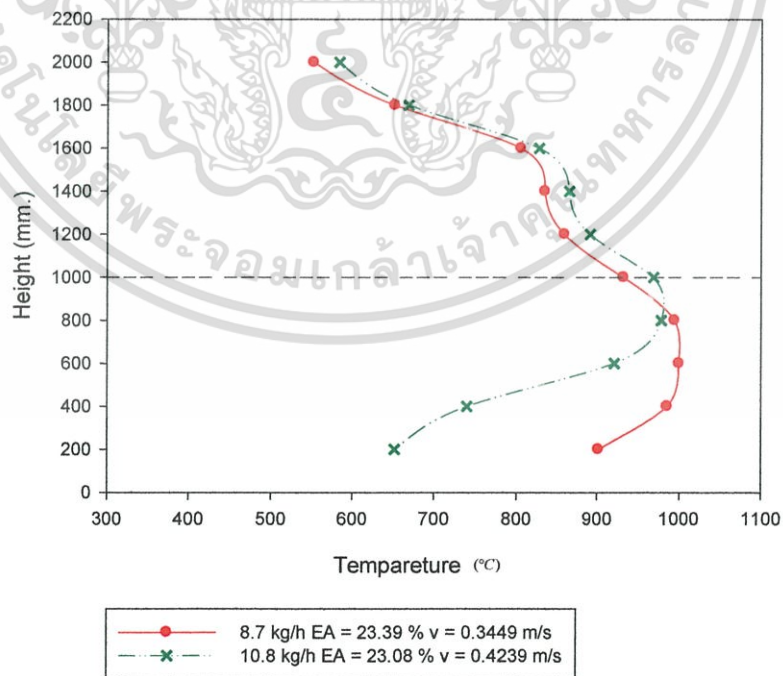


รูปที่ 5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาในกรณีป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h, EA = 36.13 % เมื่อเทียบกรณีติดตั้งครีบริบระยะห่างต่างกับกับกรณีไม่ติดตั้งครีบริบ

จากกราฟจะเห็นว่าการเผาไหม้ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 23.39 % ให้อุณหภูมิสูงที่สุดโดยอุณหภูมิสูงจะอยู่บริเวณด้านล่างของห้องเผาไหม้ แต่เมื่อสังเกตจากปริมาณก๊าซไอเสียพบว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 23.39 % นั้นมีปริมาณ CO อยู่ระหว่าง 1,000-3000 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานมาก เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยอุณหภูมิที่สูงนั้นมาจากความร้อนที่สะสมและไม่สามารถลอยออกไปยังปล่องไอเสียได้ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของการติดไฟคือเมื่อจุดเตาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 23.39 % ควันท่อไอเสียมีลักษณะดำกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินอื่นๆ ทั้งหมด และเมื่อจุดทิ้งไว้นานๆ อุณหภูมิจะเริ่มลดลง ควันจะมีปริมาณมากขึ้น จากข้อมูลที่ได้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 36.13 % เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเผาไหม้ของเตาในอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h โดยให้อุณหภูมิเฉลี่ยในเตาสูงที่สุด

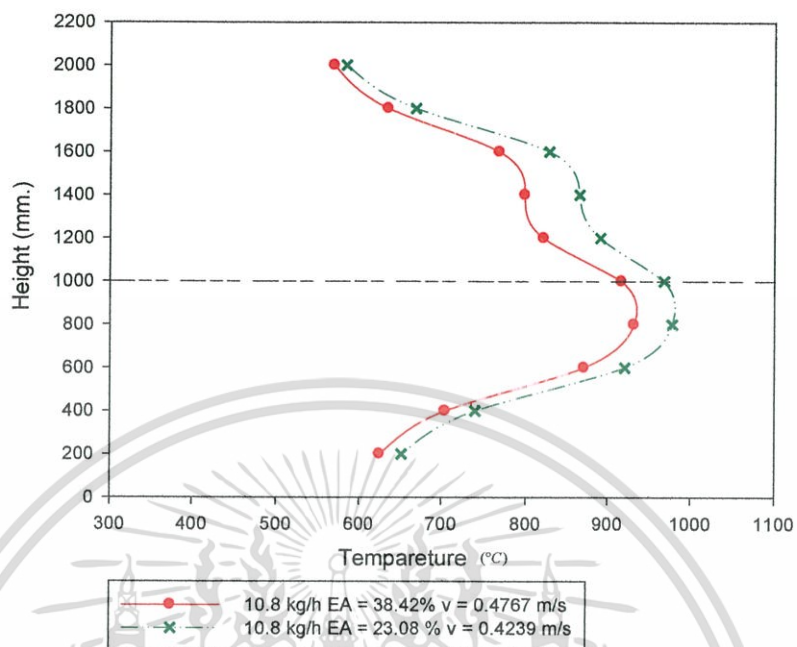


รูปที่ 5.7 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาติดตั้งครีกระยะห่าง 20 mm. เปรียบเทียบในกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h, ค่า EA = 36.13 % กับ 10.8 kg/h, ค่า EA = 38.42 %

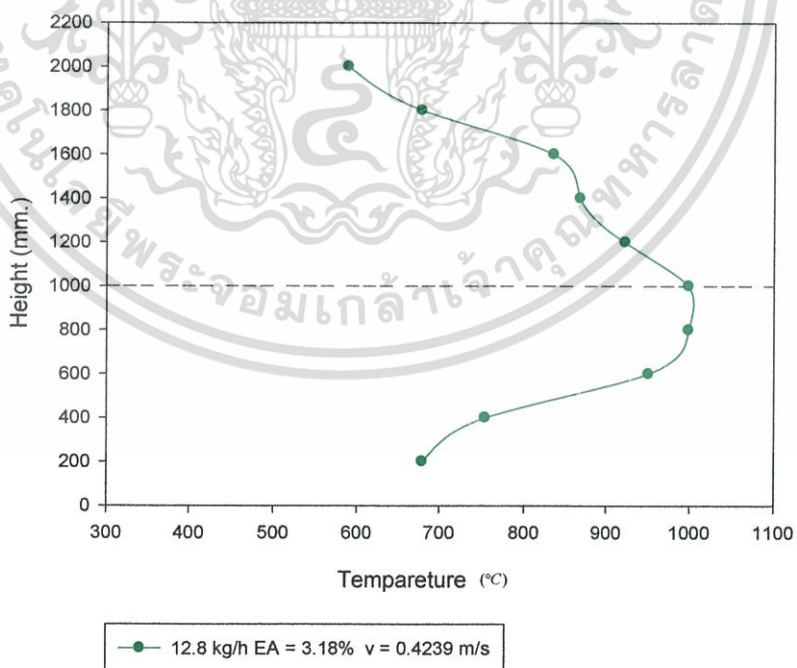


รูปที่ 5.8 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาติดตั้งครีกระยะห่าง 20 mm. เปรียบเทียบในกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h, ค่า EA = 23.39 % กับ 10.8 kg/h, ค่า EA = 23.08 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

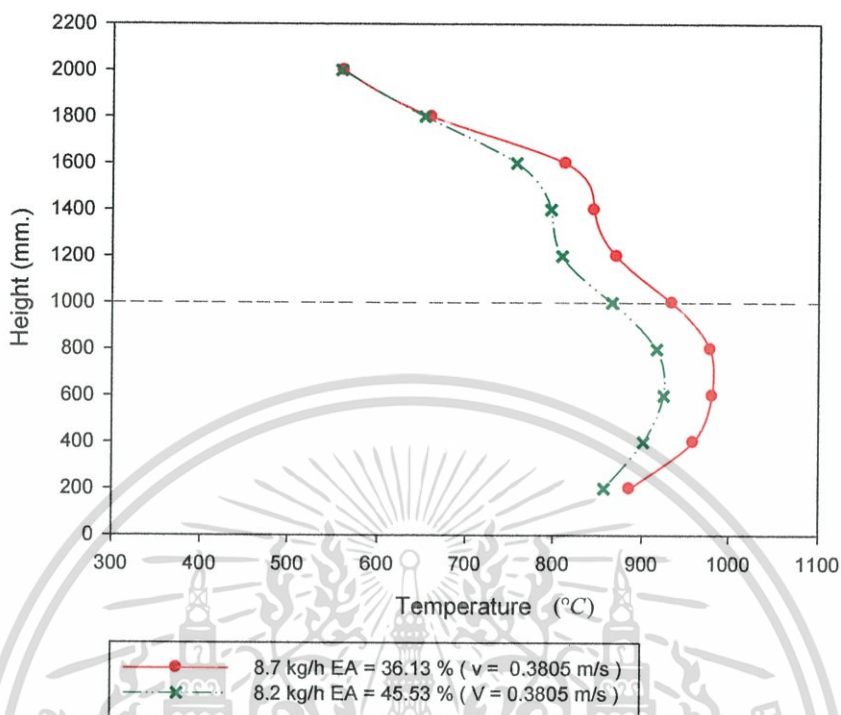


รูปที่ 5.9 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาติดตั้งครีบริยะห่าง 20 mm. เปรียบเทียบในกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h, ค่า EA = 23.08 % และ 38.42 %



รูปที่ 5.10 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาติดตั้งครีบริยะห่าง 20 mm. เปรียบเทียบในกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 12.8 kg/h, ค่า EA = 3.18 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาติดตั้งครีบริยะห่าง 20 mm. เปรียบเทียบในกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h, ค่า EA = 45.53 %

เมื่อได้ทำการทดลองอีกครั้งโดยทำการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นเป็น 10.8 kg/h และ 12.8 kg/h และทำการปรับให้มีค่า EA ต่างๆเพื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงลักษณะการติดไฟและวิเคราะห์ที่โอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ที่ค่า EA เท่ากัน แล้วนั้น จะเห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากการป้อนเชื้อเพลิง 10.8 kg/h เท่ากับ 736 °C และ 695 °C ที่ค่า EA = 23.08 % และ 38.42 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า กรณีอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ที่ได้ถึง 851.9 °C และ 849.0 °C ที่ค่า EA = 23.39 % และ 36.13 % ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ทดลองเพิ่มอัตราป้อนเชื้อเพลิงเป็น 12.8 kg/h แล้วปรับค่า EA ให้มีค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ พบว่ามีค่า EA = 3.18 % ซึ่งน้อยกว่าการทดลองในกรณีอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h, EA = 23.39 % โดยสามารถให้อุณหภูมิสูงสุดถึง 1,000 °C และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่ามีค่าเท่ากับ 433 ppm ซึ่งส่งผลให้เห็นว่าเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นัก จากการทำการทดลองเพิ่มเติมนั้นแสดงให้เห็นว่าไม่ใช่เพียงแค่ว่า EA เท่านั้นที่ส่งผลต่อการเผาไหม้แต่ยังมีค่าความเร็วของลมที่ยังคงต้องพิจารณา จากกรณีอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h EA = 23.39 % มีค่าความเร็วลมในห้องเผาไหม้ (v) เท่ากับ 0.3449 m/s และอัตราป้อนเชื้อเพลิงเป็น 12.8 kg/h ค่า EA = 3.18 % มีความเร็วลมในห้องเผาไหม้ (v) 0.4239 m/s จะเห็นว่าในขณะที่ค่า EA ลดลงเหลือเพียง 3.18 % แต่มีความเร็วลมภายในห้องเผาไหม้ที่สูงกว่าทำให้ยังมีการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่เป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวินเวลาหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญตให้เนาเปะเบบระยอื่นด้นการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักเนื่องจากมีค่า EA ต่ำเกินไป และเมื่อทำการทดลองลดปริมาณเชื้อเพลิงเหลือเพียง 8.2 kg/h เผาไหม้ EA = 45.53 % ความเร็วลมในห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.3805 m/s ซึ่งเท่ากับกรณี อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ที่ค่า EA = 36.13 % พบว่าที่กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.2 kg/h ระดับอุณหภูมิภายในเตาน้อยกว่ากรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h เนื่องจากค่า EA ค่อนข้างสูงและเมื่อทำการลดปริมาณลมลงกลับทำให้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ อาจเนื่องมาจากความเร็วลมในการพยุบกลับที่น้อยเกินไป

5.3 ปริมาณก๊าซไอเสีย

ในการทดลองได้ทำการคำนึงถึงมลภาวะทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงได้ทำการวัดส่วนประกอบของไอเสียจากเครื่องวัดไอเสีย TESTO รุ่น MX350 XL โดยมุ่งเน้นไปที่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเป็นค่าที่ถูกควบคุมให้อยู่ในมาตรฐาน ดังนั้นการพิจารณาถึงความสามารถและความเหมาะสมในการใช้งานจำเป็นนำผลจากการวัดไอเสียมาพิจารณาด้วย

ตารางที่ 5.10 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีไม่ติดตั้งครีบ

ส่วนประกอบ ของไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
CO (ppm)	2210	25	42	76	348
NO _x (ppm)	66	98	98	139	123
O ₂ (%)	12.8	13.9	15.0	14.9	14.8
Effn (%)	94.20	99.67	99.63	99.34	97.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบริมระยะห่าง 10 mm.

ส่วนประกอบ ของไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
CO (ppm)	252	163	369	635	1219
NO _x (ppm)	72	39	62	63	76
O ₂ (%)	13.2	14.9	15.0	17.2	17.3
Effn (%)	98.29	98.51	96.64	95.58	94.58

ตารางที่ 5.12 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบริมระยะห่าง 15 mm.

ส่วนประกอบ ของไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
CO (ppm)	1899.0	113.0	81.0	64.0	145.0
NO _x (ppm)	48.0	64.0	117.0	142.0	132.0
O ₂ (%)	13.2	15.7	13.5	13.8	14.3
Effn (%)	95.05	98.71	99.32	99.44	98.76

ตารางที่ 5.13 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบริมระยะห่าง 20 mm.

ส่วนประกอบ ของไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
CO (ppm)	2177.0	27.0	50.0	106.0	142.0
NO _x (ppm)	70	79	130	149.0	123.0
O ₂ (%)	12.5	13.1	13.8	15.2	15.3
Effn (%)	94.98	99.76	99.54	98.77	98.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบบีระยะห่าง 25 mm.

ส่วนประกอบ ของไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)				
	23.39	36.13	51.63	71.54	97.51
CO (ppm)	2239.0	138.0	65.0	66.0	83.0
NO _x (ppm)	79.0	85.0	130.0	135.0	133.0
O ₂ (%)	12.3	12.4	12.1	14.3	14.5
Effn (%)	94.99	99.05	99.48	99.38	99.20

ตารางที่ 5.15 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบบีระยะห่าง 20 mm. อัตราป้อน
เชื้อเพลิง 10.8 kg/h

ส่วนประกอบของ ไอเสีย	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)	
	23.08	38.42
CO (ppm)	37.0	61.0
NO _x (ppm)	176.0	150.0
O ₂ (%)	13.6	14.2
Effn (%)	99.69	99.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

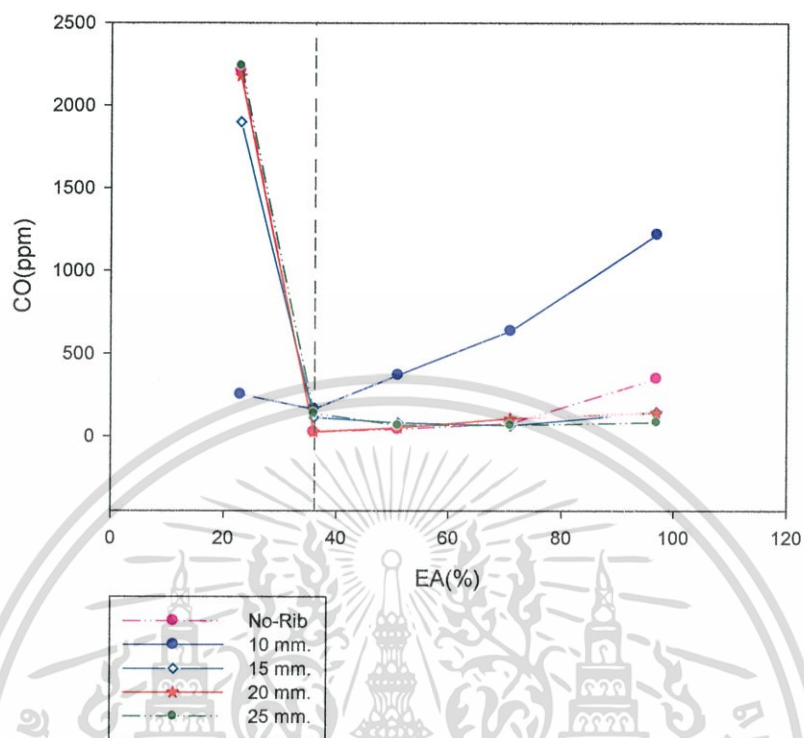
ตารางที่ 5.16 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบบมีระยะห่าง 20 mm. อัตราป้อน
เชื้อเพลิง 12.8 kg/h

ส่วนประกอบของ	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
ไอเสีย	3.18
CO (ppm)	433
NO _x (ppm)	160
O ₂ (%)	13.3
Effn (%)	97.30

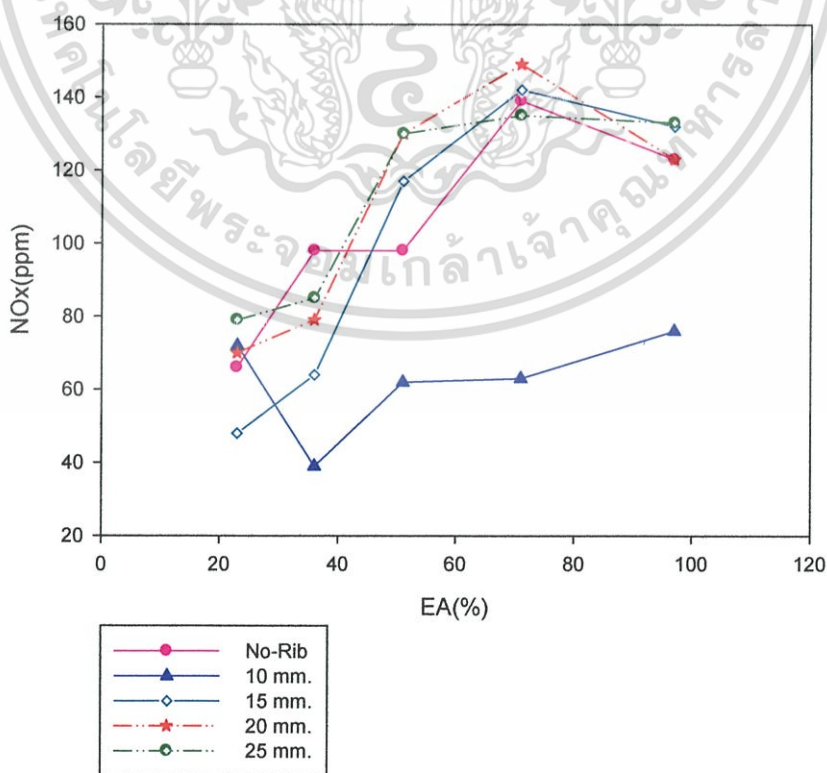
ตารางที่ 5.17 ค่าที่วัดได้จากก๊าซไอเสียกรณีติดครีบบมีระยะห่าง 20 mm. อัตราป้อน
เชื้อเพลิง 8.2 kg/h

ส่วนประกอบของ	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
ไอเสีย	45.53
CO(ppm)	28
NO _x (ppm)	145
O ₂ (%)	14.9
Effn(%)	99.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



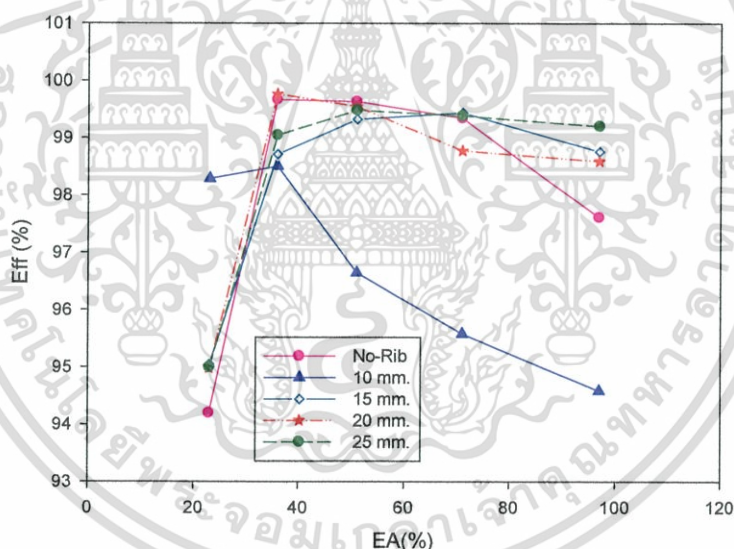
รูปที่ 5.13 ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.13 ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.12 จะเห็นว่า เมื่อป้อนอากาศเข้าไปในปริมาณที่ค่า EA = 23.39 % จะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้นปริมาณสูงมากจนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 690 ppm. แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศที่ค่า EA = 36.13 % จะมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำโดยจะอยู่ระหว่าง 20-300 ppm. แตกต่างกันไป ส่วนปริมาณ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 30 – 180 ppm. ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อค่า EA ยิ่งมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เพิ่มขึ้นตาม โดยค่ามาตรฐานของอากาศได้กำหนดไว้ให้ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะต้องไม่เกิน 200 ppm. ก่อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ

5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้นั้นได้มาจากการนำค่าต่างๆที่วัดได้มาคำนวณ โดยไม่คำนึงถึงอุณหภูมิของก๊าซไอเสียและความชื้น จะเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ติดตั้งครีบบนท่อกับการติดตั้งครีบบนรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพการเผาไหม้เปรียบเทียบในกรณีไม่ติดครีบบนท่อและติดตั้งครีบบนท่อระยะห่างของครีบบนท่อต่างกัน ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ที่ค่า EA ต่างกัน

จากรูปที่ 5.14 เมื่อนำไปเทียบกับรูปที่ 5.12 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเผาไหม้จะแปรผกผันกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ได้ โดยเมื่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ต่ำเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อศึกษาผลกระทบต่อพฤติกรรมการเผาไหม้จากการติดตั้งครีบบังให้เกิดการไหลแบบหมุนวนภายในเตาและการป้อนอากาศในปริมาณต่างๆกัน โดยพิจารณาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิ ปริมาณก๊าซไอเสียต่างๆที่สามารถบอกถึงลักษณะการเผาไหม้ว่าสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เป็นประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป ซึ่งจากการศึกษาทดลอง ได้ผลสรุปดังนี้

ผลจากการปรับระยะห่างของครีบ

- กรณีการเผาไหม้ภายในเตาที่ติดตั้งครีบนั้นระยะห่างของครีบบังต่อการหมุนวนสังเกตจากผลการทดลองในกรณีครีบที่มีระยะ 10 mm. อุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่คงที่และไอเสียมักควันดำออกเป็นระยะแสดงให้เห็นถึงคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดหลุดลอยออกมา และเมื่อมาพิจารณาในกรณีครีบที่มีระยะ 25 mm. จะเห็นว่าอุณหภูมิมีกว่าใกล้เคียงกับกรณีครีบที่มีระยะ 20 mm. ในอัตราการป้อนอากาศที่อากาศส่วนเกิน 36.13 % แต่เมื่อทดลองเพิ่มให้อากาศส่วนเกินสูงขึ้นพบว่าอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีครีบที่มีระยะ 20 mm. ดังนั้นครีกระยะห่างที่ 20 มม. เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองดังกล่าวเมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิและก๊าซไอเสีย

ผลจากการปรับค่าปริมาณอากาศป้อน

- จากผลการศึกษาทดลองแสดงให้เห็นว่า เตาเปล่าที่ไม่มีการติดตั้งครีบเมื่อใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ต่ำเกินไปจะทำให้ค่า CO สูงมาก แต่พอปรับอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้นมาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิภายในเตาจะน้อยกว่ากรณีติดตั้งครีบที่เหมาะสมคือระยะห่าง 20 mm. เนื่องจากเกิดการหมุนวนมากขึ้นภายในเตาจึงมีการผสมที่ีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ
- เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงขึ้นเป็น 10.8 kg/h พบว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำคือ 23.08% ($v = 0.4239$ m/s) สามารถติดไฟได้ดีและค่า CO ยังอยู่ในข้อกำหนด ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองเริ่มแรกคือ 8.7 kg/h ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 23.39 % ($v = 0.3449$ m/s) นั้นค่า CO ขึ้นสูงกว่าข้อกำหนดมาก ประเด็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้เป็นผลมาจากความเร็วภายในเตาที่ต่างกัน ปริมาณอากาศส่วนเกินใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณเชื้อเพลิง 8.7 kg/h, ค่า EA = 36.13 % ความเร็วลมในห้องเผาไหม้ (v) เท่ากับ 0.3805 m/s ซึ่งจะเป็นความเร็วลมต่ำสุดที่สามารถพุงแกลบคลุกเคล้าได้ดี แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเชื้อเพลิง 10.8 kg/h ที่ EA = 23.08 % พบว่าความเร็วลมในห้องเผาไหม้ (v) จะเท่ากับ 0.4239 m/s ความเร็วลมในห้องเผาไหม้จึงเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดซ์เบด

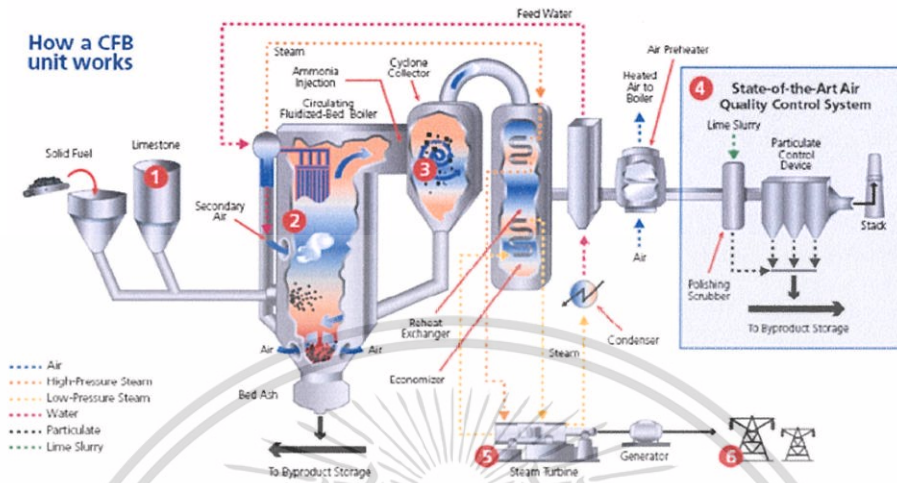
- หลังจากนั้นได้เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเป็น 12.8 kg/h สามารถปรับค่า EA ได้ต่ำลงเหลือเพียง 3.18 % ซึ่งการเผาไหม้ที่ค่า EA ต่ำนี้จะส่งผลดีคือความร้อนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียต่ำ โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ค่า EA = 3.18 % ค่า CO ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นมาใกล้ค่ามาตรฐานไอเสียและจะสูงขึ้นหากปรับค่า EA ให้ลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อวิเคราะห์ถึงความเร็วลมในห้องเผาไหม้แล้วจะอยู่ที่ 0.4239 m/s มากกว่าการทดลองก่อนหน้า (กรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ,EA = 23.39 % , v = 0.3449 m/s) ดังนั้นปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการเผาไหม้แย่งคือ ปริมาณอากาศที่ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้
- ทดลองลดปริมาณเชื้อเพลิงเหลือเพียง 8.2 kg/h เผาไหม้ที่ค่า EA = 45.53 % พบว่าค่า CO ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานไอเสียแต่ระดับอุณหภูมิภายในเตามีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.7 kg/h ค่า EA = 36.13 % ซึ่งมีความเร็วลมภายในเตาเท่ากันคือ 0.3805 m/s เนื่องมาจากการป้อนอากาศมากเกินไป และเมื่อลดปริมาณอากาศให้ต่ำลงพบว่าไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้อาจเนื่องมาจากความเร็วลมภายในเตาที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถทำให้เกิดการฟลูอิดซ์เซชันได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลงถึงพฤติกรรมการเผาไหม้เมื่อทำการติดครีบบนเตาเผาไหม้ รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่จะมีผลต่อการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดซ์เบด ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวความคิดในการนำไปใช้และพัฒนาต่อยอดของผู้ที่ศึกษาทางด้านเตาเผาไหม้ รวมถึงผู้ที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่นำเสนอไป ซึ่งยังมีแนวทางในการศึกษาวิจัยอีกหลายด้านตามแนวคิดของผู้วิจัยดังนี้

1. ศึกษาทดลองติดครีบบนเตาฟลูอิดซ์เบดทรงกลม
2. นำเถ้าที่ได้จากไซโคลนกลับเข้าสู่ห้องเผาไหม้อีกครั้งเพื่อใช้เชื้อเพลิงอย่างมีคุณค่ามากที่สุดและลดปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้
3. ทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง โดยสมมติถึงลักษณะการนำไปใช้เช่น เมื่อนำความร้อนไปต้มน้ำจะกลายเป็น Boiler เชื้อเพลิงแข็ง จากรูป 6.1 จะเห็นว่า มีท่อ นำอยู่

ภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งอาจทำให้พฤติกรรมของเผาไหม้เปลี่ยนไปตามการลักษณะการติดตั้งท่อน้ำ ซึ่งในการศึกษาจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างการนำเตาเผาฟลูอิดไซเบดไปใช้งานจริงเพื่อผลิตไอน้ำ [12]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1]. Wan H.P and Chyang C.S, “Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed”, **J. of Chemical Engineering of Japan**, 1998, 13(6), 977-986.
- [2]. Armestoa L., Bahilloa A., Veijonenb K., Cabanillasa A., Oteroa J., “Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidized bed”, **Biomass and Bioenergy**. 23 (2002), 171 – 179.
- [3]. 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**. 85 (2004), 1273 – 1282.
- [4]. Albina D.O., “Emissions from multiple-spouted and spout-fluid fluidized beds using rice husks as fuel”, **Renewable Energy** .31 (2006), 2152 – 2163.
- [5]. Afsin Gungor, “ Numerical Simulation Of Biomass Combustion Efficiency In Circulating Fluidized Bed” , **Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2009**, 16-21 October 2009,469-472 .
- [6]. Srinath. Suranani¹, Venkat Reddy. Goli², Modeling Fluidized Bed Combustion of Rice husk International Conference on Chemical, Civil and Environment engineering (ICCEE'2012) Dubai March 24-25, 2012
- [7]. Y. Kaewkohkiat, S. Eiamsa-ard, P. Promvonge. 2008 “Combustion of Rice Husk in Small Scale Fluidized – Bed Combustor.” **5th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i – CIPEC 2008)**
- [8]. Vladimir I. Kuprianov 2008 “A Study of Firing Rice Husk in a Swirling Fluidized-Bed Combustor Using Annular Spiral Air Distributor.” **2nd WSEAS/IASME International Conference on ENERGY PLANNING, ENERGY SAVING, ENVIRONMENTAL EDUCATION (EPESE'08)**. Corfu, Greece 30-35 .
- [9]. สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์. 2552. “พฤติกรรมเผาไหม้แก๊สในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีกริบรูปตัววี” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10]. ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์¹, ฐานิตย์ เมธิยานนท์²,และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์³ .2554. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 จังหวัดกระบี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11]. วิศิษฐ์ สีสมาติกุล. “ปัจจัยตำแหน่งของอากาศทุติยภูมิต่อสมรรถนะการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบด.” การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 8.
- [12]. UNEP-DTIE's Energy Branch 2007 “Technical Study Report on Biomass fired Fluidized Bed Combustion Boiler Technology For Cogeneration”
- [13]. สำเร็จ จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [14]. กัญจนา บุญเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [15]. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [16]. J. J. RAMÍREZ ; J.D. MARTÍNEZ and S.L. PETRO. 2007. “ BASIC DESIGN OF A FLUIDIZED BED GASIFIER FOR RICE HUSK ON A PILOT SCALE ” 37:299-306



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก

ชนิดพืช	พ.ศ. 2551/52		พ.ศ. 2552/53	
	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)
อ้อย	6,588	73,501	6,022	66,816
ข้าว	69,820	31,660	72,720	32,110
น้ำมันปาล์ม	3,676	9,270	3,889	8,612
ข้าวโพด	6,691	4,249	7,098	4,616
มันสำปะหลัง	7,397	25,155	8,292	30,088
สับปะรด	581	2,278	566	1,894
ไม้ยางพารา	16,716	3,166	17,254	3,090

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรกรปี พ.ศ. 2551/52 และ พ.ศ. 2552/53

ตารางที่ ก.2 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 - 2552

ชนิดชีวมวล	ปริมาณการใช้ชีวมวล (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			
	2549	2550	2551	2552
ฟืน	3,372	3,237	3,300	3,138
ถ่าน	2,807	2,932	3,095	2,996
แกลบ	998	1,043	1,184	1,234
กากอ้อย	2,435	2,636	2,818	2,826
รวม	9,612	9,848	10,397	10,194

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552

ชนิด และปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็ง ปี 2552 หน่วย : ตัน / ปี			
อ้อยโรงงาน			ปาล์มน้ำมัน
ยอดและใบ	13,630,555		ทางใบ และก้าน
กากอ้อย	20,245,383		ใบปาล์ม
ข้าว			กะลา
แกลบ	7,156,835		ทะลาย
ฟางข้าว	37,684,220		มะพร้าว
ข้าวโพด			กะลา
ลำต้น ยอด ใบ	4,117,578		เปลือกและกาบ
ซังข้าวโพด	872,446		ก้าน ใบจั่น ทะลาย
มันสำปะหลัง			ยางพารา
ลำต้น	3,640,651		ถ่านไม้
เหง้า	2,738,010		ไม้พิน
สับปะรด			เศษไม้
ตอซังสับปะรด	1,114,179		ขี้เลื่อย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณสูงสุดของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้ง	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีเผาไหม้เชื้อเพลิง	กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
1.ฝุ่นละออง (mg/m ³)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันเตา ถ่านหิน ชีวมวล เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	240 320 320 240
2.ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันเตา ถ่านหิน ชีวมวล เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	950 700 60 60
3.ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันเตา ถ่านหิน ชีวมวล เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	200 400 200 200
4.ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	กระบวนการผลิตที่ปล่อยอากาศเสีย	870	690

ที่มา: ข้อมูลส่วนหนึ่งจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม



ภาคผนวก ค.
ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

การคำนวณปริมาณอากาศตามทฤษฎีหรือปริมาณอากาศพอดีที่ใช้ในกระบวนการการเผาไหม้นั้นพิจารณาได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio, A/F)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{stioc} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$$

เมื่อ m_{air} คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

มวลของอากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสามารถหาได้จากสมการเคมี (สมดุลโดยโมล) ของกระบวนการการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ ซึ่งจำนวนโมลของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากทราบมวล (ร้อยละของมวล) จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุ และมวลโมเลกุลของธาตุ ดังสมการ

$$n = \frac{m}{MW}$$

เมื่อ m คือ ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง

MW คือ มวลโมเลกุลของธาตุ

n คือ จำนวนโมล

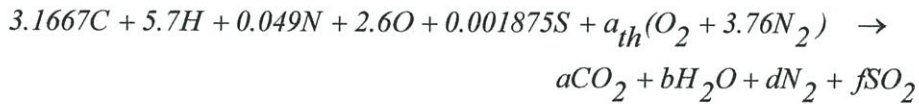
จำนวนโมลที่ได้จากการคำนวณสำหรับธาตุแต่ละชนิดแสดงในตาราง

ตารางที่ ค.1 ค่าจำนวนโมลของเชื้อเพลิงแคลบในปฏิกิริยาเคมี

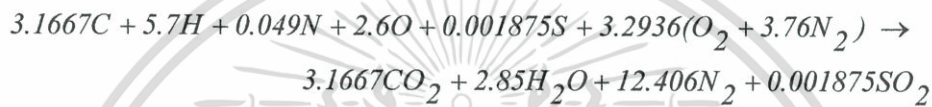
ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละของมวล (m)	มวลโมเลกุล (MW)	จำนวนโมล (n)
คาร์บอน (C)	38%	12	3.1667
ไฮโดรเจน (H)	5.7%	1	5.7
ไนโตรเจน (N)	0.69%	14	0.049
ออกซิเจน (O)	41.6%	16	2.6
ซัลเฟอร์ (S)	0.06%	32	0.001875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลจำนวนโมลของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดของเชื้อเพลิงแกลบ สามารถเขียนสมการเคมีของกระบวนการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศแห้งได้ดังนี้



เมื่อทำการสมดุลสมการโดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวนโมลของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



จำนวนโมลของอากาศแห้งนี้ประกอบด้วยจำนวนโมลออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) ดังนั้นจะได้จำนวนโมลของอากาศแห้งทั้งหมดเป็น

$$n = 4.76 \times 3.2936 = 15.678$$

เนื่องจากอากาศที่ใช้ในเป็นอากาศแห้ง แต่ในทางปฏิบัตินั้นอากาศที่ใช้จะมีปริมาณไอน้ำ จึงจำเป็นต้องคำนวณหาจำนวนโมลของไอน้ำในอากาศจากสมการต่อไปนี้

$$\left(\frac{n_{H_2O}}{n_{total}} \right) = \left(\frac{Pv_{H_2O}}{Pv_{total}} \right)$$

เมื่อ	n_{total}	คือ จำนวนโมลรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
	n_{H_2O}	คือ จำนวนโมลของไอน้ำในอากาศ
	Pv_{H_2O}	คือ ความดันของไอน้ำในอากาศ
	Pv_{total}	คือ ความดันรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ

ค่าความดันของไอน้ำในอากาศสามารถหาได้จากตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์จากการทราบสภาวะทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) 53% จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{sat,H_2O@33^\circ C} = 5.0752 \text{ kPa}$$

$$P_{v,H_2O} = \phi P_{sat,H_2O@33^\circ C} = 0.53 \times 5.0752 \text{ kPa}$$

$$= 2.690 \text{ kPa}$$

โดยที่ $n_{total} = 15.678 + n_{H_2O}$ และ $P_{v,total} = 101.325$ จะได้

$$n_{H_2O} = \left(\frac{P_{v,H_2O}}{P_{v,total}} \right) \cdot n_{total}$$

$$= \left(\frac{2.690}{101.325} \right) \times (15.678 + n_{H_2O})$$

$$= 0.4276$$

สมการเคมีของกระบวนการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศที่มีความชื้นได้ดังนี้



การสมดุลสมการจะได้ดังนี้

$$C: \quad 3.1667 \quad \longrightarrow \quad = a$$

$$a = 3.1667$$

$$H: \quad 5.7 + (0.4276 \times 2) \quad \longrightarrow \quad = 2b$$

$$b = 3.2776$$

$$S: \quad 0.001875 \quad \longrightarrow \quad = f$$

$$f = 0.001875$$

$$O: \quad 2.6 + 0.4276 + 2a_{th} \quad \longrightarrow \quad = 2a + b + 2f$$

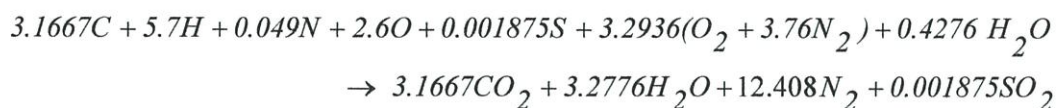
$$a_{th} = 3.2936$$

$$N: \quad a_{th}(2 \times 3.76) + 0.049 \quad \longrightarrow \quad = 2d$$

$$d = 12.408$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการสมดุลสมการโดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวนโมลของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



คำนวณหามวลของอากาศที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

$$m_{air} = n_{air} \times MW_{air} = (n_{dry\ air} \times MW_{dry\ air}) + (n_{H_2O} \times MW_{H_2O}) \\ = (3.2936 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.84 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) + (0.4276 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ = 459.84 \text{ kg}$$

คำนวณหามวลของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

$$m_{fuel} = n_{fuel} \times MW_{fuel} = (n_C \times MW_C) + (n_H \times MW_H) + (n_N \times MW_N) \\ + (n_O \times MW_O) + (n_S \times MW_S) \\ = (3.1667 \times 12) + (5.7 \times 1) + (0.049 \times 14) + (2.6 \times 16) + (0.001875 \times 32) \text{ kg} \\ = 86.046 \text{ kg}$$

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio, A/F)

$$\left(\frac{A}{F} \right)_{stioic} = \frac{459.84}{86.046} \\ = 5.34$$

ดังนั้นจะได้ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบตามทฤษฎีเป็น 5.34

ทำการหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อสมมุติอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.7 kg/hr จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีอัตราส่วนผสมพอดี

$$\left(\frac{A}{F}\right) = 5.34$$

$$\begin{aligned} A &= 5.34 \times 8.7 \text{ kg / hr} \\ &= 46.78 \text{ kg / hr} \end{aligned}$$

2. ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ตามที่กำหนดในกรณีศึกษา จะแสดงในรูปร้อยละของปริมาณอากาศส่วนเกิน สามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้ได้ดังนี้

สมการอัตราส่วนสมมูล (Φ)

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stioic}}{(A/F)_{actua}}$$

สมการร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA)

$$EA = \frac{100}{\Phi} - 100$$

สมมติปริมาณเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้มีค่าคงที่ที่ 8.7kg/hr

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเป็น 5.34

ตัวแปรที่กำหนดค่าร้อยละอากาศส่วนเกิน คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จริงโดยค่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการข้างต้น

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้

$$\begin{aligned} Effn = 100 - \left\{ \left[\frac{K_{nst} \times (FT - AT)}{CO_2} \right] + \left[\frac{X \times (210 + (2.1 \times FT) - (4.2 \times AT))}{Q_{gr} \times 1000} \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{K1 \times Q_{gr} \times CO}{(Q_{nst} \times ((CO_2 \times 100) + CO))} \right] \right\} \times F_{br} \end{aligned}$$

FT คือ อุณหภูมิลมทิ้งที่ปล่องไอเสีย

AT คือ อุณหภูมิบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X คือ $M+(9 \times H)$

M คือ Moisture Content of fuel ซึ่งเป็นค่าแฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงที่ได้จากตาราง

H คือ Hydrogen Content of fuel ซึ่งเป็นค่าแฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงที่ได้จากตาราง

Q_{gr} , Q_{net} คือ ค่าแฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงที่ได้จากตาราง

K_1 , K_{net} คือ ค่าแฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงที่ได้จากตาราง

F_{BR} คือ ค่าแฟกเตอร์ในการแปลงหน่วยจาก mg/m^3 เป็น g/GJ

โดยการคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ในการทดลองนี้จะนำเทอมแรกและเทอมที่สองที่เกี่ยวข้องกับค่า FT และ M มาคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีเตาเผาที่มีการติดตั้งครีบบลูมที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 36.13 % โดยมีค่าที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$CO = 27.0$$

$$CO_2 = 7.8 \%$$

$$K_1 = 72.19$$

$$Q_{gr} = 36.22$$

$$Q_{net} = 35.12$$

$$F_{Br} = 0.0949$$

จะได้สมการที่ใช้คำนวณโดยการเปลี่ยนรูปแล้วดังนี้

$$Effn = 100 - \left\{ \left[\frac{K_1 \times Q_{gr} \times CO}{(Q_{net} \times ((CO_2 \times 100) + CO))} \right] \times F_{Br} \right\}$$

แทนค่าตัวแปรที่ได้ลงในสมการ

$$Effn = 100 - \left\{ \left[\frac{72.19 \times 36.22 \times 27.0}{(35.12 \times ((7.8 \times 100) + 27.0))} \right] \times 0.0949 \right\}$$

$$Effn = 100 - 0.236$$

$$= 99.764 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่คำนวณได้คือ 99.764 % หรือ 99.76 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเทียบค่า O₂ (O₂ Reference)

$$\text{Corrected PPM} = \text{measured PPM} \times \frac{20.9 - O_2 \text{ reference}}{20.9 - O_2 \text{ measured}}$$

O₂ reference คือ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเทียบค่า (%)

O₂ measured คือ ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ (%)

Measured PPM คือ ปริมาณก๊าซไอเสียที่ต้องการนำมาเทียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องวัดก๊าซไอเสีย Testo รุ่น 350M/XL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของเครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย Testo 350M/XL



Item	Sample	Kgr	Knet	CO2max	K1	H	MH2O	Qgr	Qnet	O2ref	FBr
1	แก๊ส	0.27	0.28	21.23	72.19	5.3	17.81	36.22	35.12	3.32	0.0949
2	กากมันสำปะหลัง	0.27	0.28	20.97	71.3	6.5	21.08	36.22	35.12	3.45	0.0984
3	เหล้ามันสำปะหลัง	0.30	0.31	19.4	65.98	6.9	19.03	36.22	35.12	4.13	0.1156
4	พื้ไม้	0.31	0.32	19.6	66.64	7.1	18.97	36.22	35.12	4.26	0.1193
5	ลิกไนท์	0.47	0.48	18.43	62.66	6.7	11.16	36.22	35.12	6.93	0.1915
6	ซังข้าวโพด	0.31	0.32	19.93	67.76	6.9	18.71	36.22	35.12	4.18	0.1176
7	เศษไม้	0.30	0.31	20.32	69.08	6.6	18.58	36.22	35.12	4.01	0.1133
8	ชานอ้อย	0.25	0.26	19.73	67.07	7.6	25.62	36.22	35.12	3.42	0.0959
9	เหล็กลูกยูลิปด์	0.26	0.27	21.02	71.47	6.2	21.42	36.22	35.12	3.23	0.0923
10	Natural gas	0.35	0.39	11.9	40	24.4	0.0	53.42	48.16	3	-
11	Light Oil	0.48	0.51	15.5	53	13.0	0.0	๔5.60	42.80	3	-
12	Heavy Oil	0.51	0.54	15.5	54	11.5	0.2	๔2.90	40.50	3	-
13	LPG	0.42	0.45	13.8	48	18.2	0.0	50.0	46.30	3	-

ที่มา: ข้อมูลส่วนหนึ่งจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม




ภาคผนวก จ
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สวทช
NSTDA
 เครือข่ายภาคเหนือ Northern Network

การถ่ายเท
พลังงานความร้อนและมวล

ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 12)
 ระหว่างวันที่ 14-15 มีนาคม 2556
 ณ โรงแรมอิมพีเรียลโกลด์ตันโทรเองเกิ้ล รีสอร์ท
 อำเภอยะรัง จังหวัดฉะเชิงเทรา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบบดต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ ในเตาฟลูอิดไคซ์เบด

EFFECT OF RIB NUMBERS ON COMBUSTION BEHAVIORS IN A RICE HUSK FLUIDIZED BED COMBUSTOR

ยุทธพงษ์ แก้วบัน
สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์
พงษ์เจต พรหมวงศ์
พงษ์ศักดิ์ คำมูล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซอยฉลองกรุง
1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
E-mail : kpongje@kmitl.ac.th

วิฑูรย์ ชิงถ้ายทอง

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ถ.หาดเจ้าสำราญ ต.น้ำจิ่ง
อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเสนอกการศึกษาทดลองถึงลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งครีบบดรูปตัววีคือว่า มีมุมปะทะ (α) เท่ากับ 60° จำนวน 2 และ 4 ครีบบดเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบบด โดยการทำการรักษาอัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่ที่ 7.4 kg/hr และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%EA) จำนวน 4 ค่าตั้งแต่ 10%-40% ในการทดลองจะทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ รวมทั้งปริมาณแก๊สไอเสีย จากผลการทดลองพบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดครีบบดนั้นมีเสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดีกว่าและให้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบบด และปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนดการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

คำสำคัญ: แกลบ, เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด, การเผาไหม้

Abstract The paper present an experimental study on combustion characteristics of rice husk in square shaped fluidized – bed combustor. The experiments were made in combustion chamber with the attach angle (α) of 60° V-shaped ribs are compared with conventional fluidized bed. Measurements are made by setting a constant mass flow rate of rice husk fuel at 7.4 kg/hr and by varying four different percent excess airs (%EA) between 10-40 %. In the experiments, the temperature distributions inside the bed were measured at selected location and gas emission. From experiment results, the temperature distribution inside the bed in the case of bed with wavy surface are found to be more stable than the convectional fluidized bed case and amount of exhaust gas that is lower than the standard for the use of biomass fuels.

Keywords: Rice husk, Fluidized bed combustor, Combustion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามการขยายตัวของธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงเป็นผลทำให้แหล่งพลังงานต่าง ๆ ลดลงอย่างรวดเร็วเช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ทำให้ทั่วโลกพยายามหาวิธีต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับพลังงานของโลกที่กำลังขาดแคลนและกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้ ในประเทศไทยถือว่าเป็นเมืองเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม สิ่งที่ได้เหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรเช่น กากอ้อย ชังข้างโพด แกลบ เป็นต้น ซึ่งสิ่งที่เหลือทิ้งเหล่านี้ถือว่าเป็นชีวมวลที่สามารถใช้ทดแทนเป็นแหล่งพลังงานอีกทางเลือกหนึ่ง และเป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย

แกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดหนึ่งที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาโดยลักษณะการเผาไหม้ของแกลบนั้นจะเผาไหม้บริเวณเปลือกรอบนอกก่อนและลามเข้าไปข้างในก่อนเชื้อเพลิง ส่วนที่ถูกเผาไหม้แล้วจะกลายเป็นเถ้า โดยเถ้าเหล่านั้นจะส่งผลทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากไปขัดขวางการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการเผาไหม้แกลบอย่างสมบูรณ์ จากการศึกษาที่มีรายงานมากมายที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีเตาเผาแบบต่าง ๆ ที่มีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีฟลูอิดไอดีซ์เบดจะสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

ระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาปรับปรุงเตาเผาอย่างต่อเนื่อง อาทิ Chyang และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน ของเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดแบบอากาศหมุนวน พบว่าอุณหภูมิของเบด อัตราส่วนของอากาศส่วนเกินกับเชื้อเพลิง อัตราการไหลของอากาศ ส่วนแต่มีผลต่อการปล่อยออกไซด์ไนโตรเจนทั้งสิ้น Eiamsa-ard และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น ทำการทดลองโดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ 0.25 kg/min ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 37 - 92% และปรับค่าอัตราส่วนของอากาศทุกตัวเป็น 0.0 - 0.2 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผามีค่าประมาณ 1000°C โดยมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็น 99.8% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 41.6% ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 74% และค่าอัตราส่วนของอากาศทุกตัวเป็น 0.0 Promvong และ Silapabanleng [3] ได้ทำการศึกษาดังผลของการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านหินและได้รายงานไว้ว่าใช้แกลบในเตาเผาผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้รวมถึงอุปสรรคในการกำจัดเถ้า เนื่องจากแกลบมีปริมาณเถ้าสูง เมื่อเทียบกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน ที่เรียกว่า premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง และได้ให้คำแนะนำว่าฟลูอิดไอดีซ์เบดเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือเศษเหลือจากการเกษตรเป็นพลังงานเนื่องจากสาเหตุคือ สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสม ที่งานที่อุณหภูมิต่ำ เงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิคงที่ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ Wan and Chyang [4] ได้ศึกษาการใช้วิธีการของฟลูอิดไอดีซ์เบดพบว่าการเผาแบบฟลูอิดไอดีซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (เพิร์บอร์ต) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดนั้นอาจต้องมีความสูงรวมของเพิร์บอร์ตมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก Kaewkaokiet และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดที่มีขนาดเล็กรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีค่าคงที่ที่ 0.1 kg/min และทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 67 - 73% ผลการทดลอง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิตามตำแหน่งความสูงของเตาน้อยมาก และยังรายงานไว้ที่ค่าความเร็วอากาศความเร็วต่ำจะทำให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า สุริยา โชคเพิ่มพูน และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดต่อพฤติกรรมของการเผาไหม้ของแกลบ โดยทำการทดลองในเตาเผาแกลบ กรณีผนังเตาแบบเรียบและแบบมีผิวคลื่นครึ่งล่าง โดยได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลอากาศที่ 95 kg/hr ปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินตั้งแต่ 15 - 75% จากการทดลองพบว่า ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 30 % กรณีที่เตาเผาที่มีผิวคลื่นด้านล่างมีความเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เท่ากับ 978.8°C และผลของก๊าซไอเสียพบว่า ปริมาณของก๊าซ CO = 605 - 3864 ppm ก๊าซ NOx = 171 - 367 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 83.9 - 92.5%

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงแกลบโดยการติดครีบบรูปตัววีว่าไว้ภายในห้องเผาไหม้ ในจำนวนที่ต่างกัน ด้วยเหตุผลคือให้เกิดการหมุนวน (circulation) ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้และเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อเพลิงเผาไหม้อยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานยิ่งขึ้น ส่งผลต่อการกระจายตัวและระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงเตาเผาแกลบฟลูอิดไอดีซ์เบดให้มีประสิทธิภาพสูง เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของจำนวนครีบบรูปตัววีว่า ว่ามีผลต่อการเผาไหม้แกลบอย่างไร โดยจะพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา ปริมาณก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเตาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

3. ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสในกรณีที่ไม่มีครีบบรูปตัววีว่าและในกรณีที่มีการติดตั้งครีบบรูปตัววีว่าตามแนวทแยงมุมภายในห้องเผาไหม้ โดยการติดครีบบรูปตัววีว่าจะมีลักษณะ ดังนี้

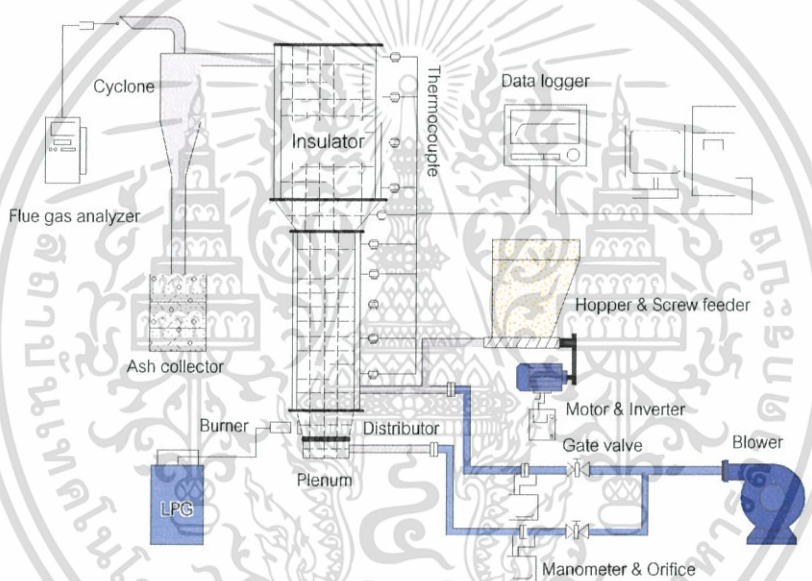
- ครีบบรูปตัววีว่า ทำมุมปะทะ 60° จำนวน 2 ครีบบ
- ครีบบรูปตัววีว่า ทำมุมปะทะ 60° ฝั่งละ 4 ครีบบ

2. ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีอัตราการป้อนเท่ากับ 7.4 kg/hr
3. ปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%, 20%, 30% และ 40%
4. ทำการวิเคราะห์ผลของระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา ปริมาณของก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้

4. การติดตั้งและการทำงานของอุปกรณ์ทดลอง

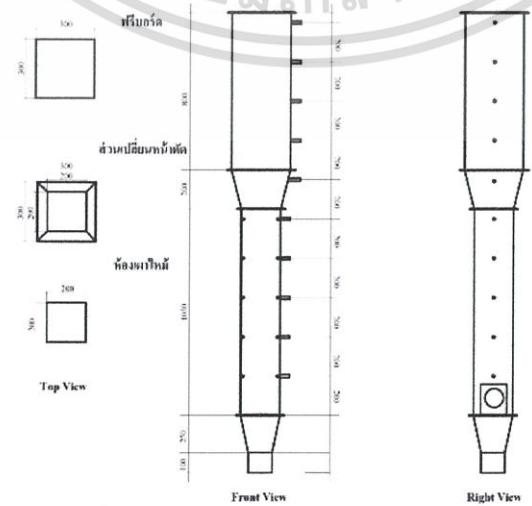
การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิโดไรซ์เบดแสดงดังรูปที่ 1 โดยการทำงานของชุดทดลองจะเริ่มจากแหล่งจ่ายอากาศคือ blower ซึ่งทำหน้าที่จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบ ซึ่งอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นอากาศหลักที่ช่วยในการเผาไหม้และช่วยให้เกิดการไหลของแกลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นอากาศกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายอากาศและอากาศอีกส่วนหนึ่งเป็นอากาศสำหรับลำเลียงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณ

อากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์ว โดยทำการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น orifice จาก manometer ในส่วนของเชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก hopper และถูกลำเลียงโดย screw feeder โดยมีชุดขับเคลื่อนคือ motor และมี inverter เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของ motor ในส่วนของเตาเผาจะทำการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะปล่อยออกบริเวณส่วนบนของเตาเผาโดยผ่านไซโคลนซึ่งทำหน้าที่ในการดักอนุภาคของขี้เถ้าที่ลอยออกมา ชุดสำหรับอุ่นเตาเผาจะประกอบด้วยหัวเผาและก๊าซ LPG ทำหน้าที่อุ่นเตาให้ร้อนก่อนการป้อนเชื้อเพลิง ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคริปเปิ้ล K type และบันทึกผลด้วย data logger เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียใช้วัดปริมาณของก๊าซไอเสียต่าง ๆ ลักษณะการติดตั้ง, ขนาดเตาเผาฟลูอิโดไรซ์เบด, ตำแหน่งการวัดระดับอุณหภูมิ และขนาดของครีบ ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



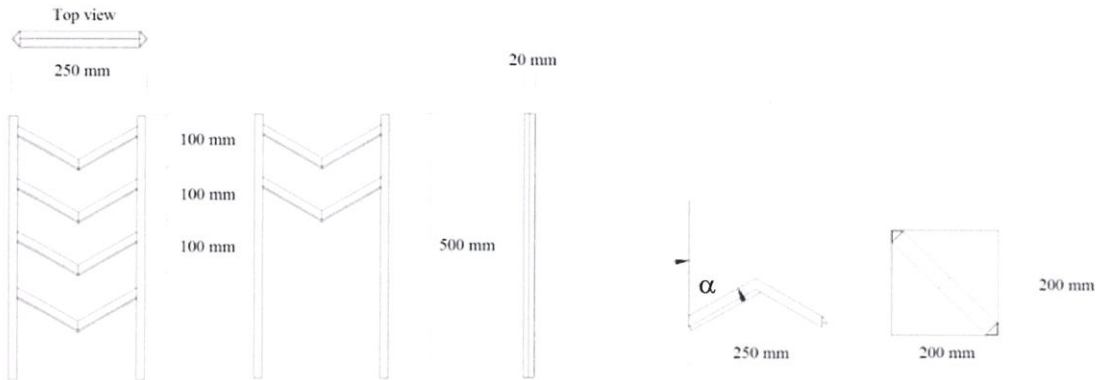
รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิโดไรซ์เบด

หน่วย : มิลลิเมตร



รูปที่ 2 ขนาดเตาเผาและตำแหน่งการวัดระดับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ลักษณะการติดตั้งและขนาดของครีบริบที่ใช้ในการทดลอง

ในการเผาไหม้จริง ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (lean mixture) ในทางตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (rich mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงจึงกำหนดให้อยู่อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio, Φ) ซึ่งเขียนสมการได้ ดังนี้

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

เมื่อ Φ คือ อัตราส่วนสมมูล

$(A/F)_{Actual}$ คืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

$(A/F)_{Stoic}$ คืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

ในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จึงต้องเพิ่มปริมาณอากาศขึ้นจนเพียงพอซึ่งจะได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติสูงกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎี อากาศที่เกินจากที่ต้องการนั้น เรียกว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air, %EA) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

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

เมื่อ EA คือปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ [TESTO 350XL] ถ้าเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 100 % แต่ถ้าเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะถูกลบออกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\eta_{com} [\%] = 100\% - loss [\%] \quad (3)$$

เมื่อ η_{com} คือประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)

loss [%] คือการสูญเสีย (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิธีการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

1. จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับอุณหภูมิในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งครีบริบ โดยใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 500°C - 550°C จากนั้นเริ่มทำการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สพร้อมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ รอจนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ 700°C - 750°C จึงหยุดการใช้ก๊าซ LPG
2. ปรับปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 10% และปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สเป็น 7.4 kg/hr
3. บันทึกค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาเผา วัดปริมาณของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้
4. ปรับปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 20%, 30% และ 40% แล้วทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 3
5. ทำการติดตั้งครีบริบและปรับเปลี่ยนครีบริบภายในห้องเผาไหม้ ตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1-4 ตามลำดับ

6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

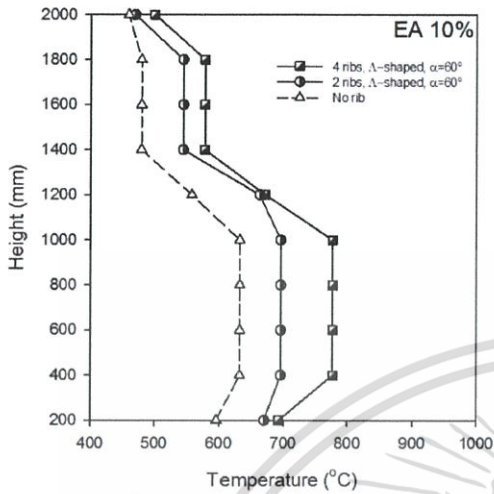
6.1 ผลของปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน

จากรูปที่ 3-6 พบว่า การกระจายตัวของระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาจะมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกันทั้งในกรณีเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบและกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบริบ คือ ในห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงในบริเวณห้องเผาไหม้แต่เมื่อมีการขยายพื้นที่หน้าตัดอุณหภูมิจะลดลง โดยสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินจะมีผลทำให้บริเวณห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำลงและบริเวณพรีเบิร์ดมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

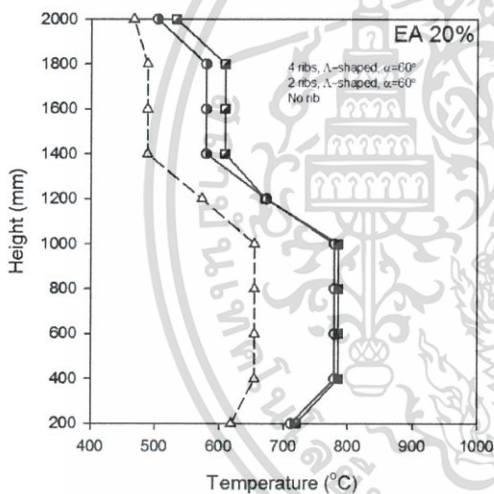
6.2 ผลของการติดตั้งครีบริบ

จากรูปที่ 3-6 พบว่า อุณหภูมิภายในเตาของการทดลองที่มีการติดตั้งครีบริบมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบริบ เป็นผลมาจากการติดตั้งครีบริบทำให้เกิดการหมุนวน ทำให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น และเกิดการกระจายตัวของเชื้อเพลิงซึ่งทำให้การเผาไหม้ดีกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบริบ โดยการเผาไหม้ในกรณีที่มีการติดตั้งครีบริบมีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงสุดถึง 843°C ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด 696°C และอุณหภูมิสูงสุดของก๊าซไอเสียมีค่า 533°C ขณะที่กรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบริบมีอุณหภูมิภายใน

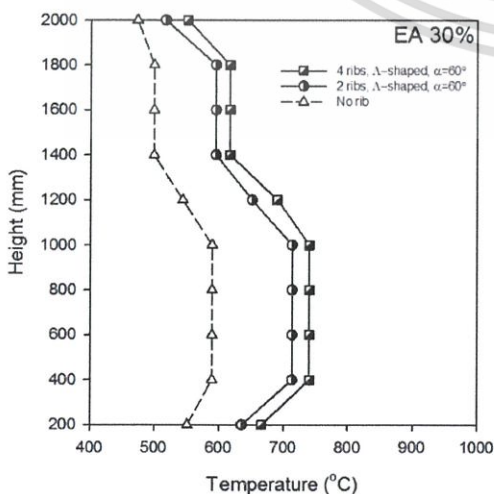
ห้องเผาไหม้สูงสุด 678°C ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตา 578°C และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียมีค่า 467°C ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 20 % เท่ากัน



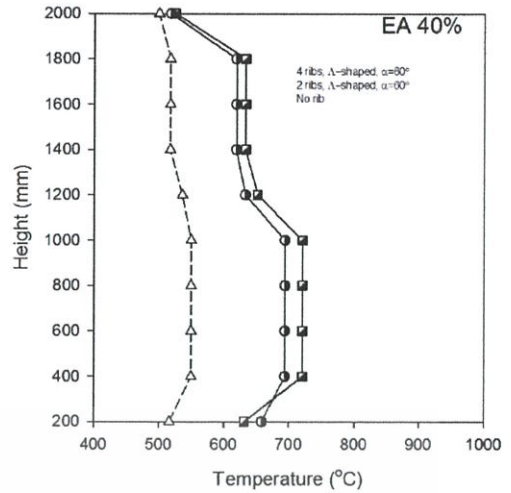
รูปที่ 3 ระดับอุณหภูมิที่ EA = 10%



รูปที่ 4 ระดับอุณหภูมิที่ EA = 20%



รูปที่ 5 ระดับอุณหภูมิที่ EA=30%

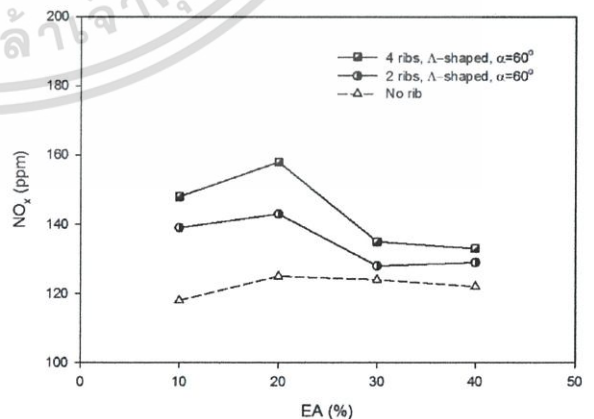


รูปที่ 6 ระดับอุณหภูมิที่ EA=40%

จากผลการทดลองพบว่าการติดตั้งครีบริบตัววีคี่ว่าจำนวน 4 ครีบริบมีอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงกว่าอุณหภูมิของการติดตั้งครีบริบตัววีคี่ว่าจำนวน 2 ครีบริบเนื่องจากจำนวนครีบริบที่มากขึ้นทำให้เกิดการหมุนเวียนของแก๊สรวมทั้งระยะเวลาที่แก๊สอยู่ในเตาเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นเป็นผลทำให้อุณหภูมิสูงตามไปด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่สูงที่สุดของการติดตั้งครีบริบตัววีคี่ว่าจำนวน 4 ครีบริบ เท่ากับ 843°C อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 696°C ส่วนการทดลองของการติดตั้งครีบริบในเตาจำนวน 2 ครีบริบมีอุณหภูมิสูงสุด 824°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 681°C ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 20% เท่ากัน

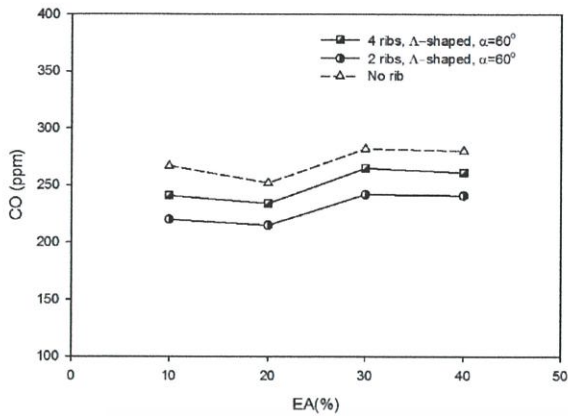
6.3 ปริมาณก๊าซไอเสีย

พบว่าปริมาณก๊าซไอเสียที่วัดได้มีค่าค่อนข้างต่ำโดยมีค่าปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) อยู่ในช่วง 118-158 ppm ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O₂) มีค่า 12-15 % และ ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าอยู่ระหว่าง 220 – 280 ppm ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8

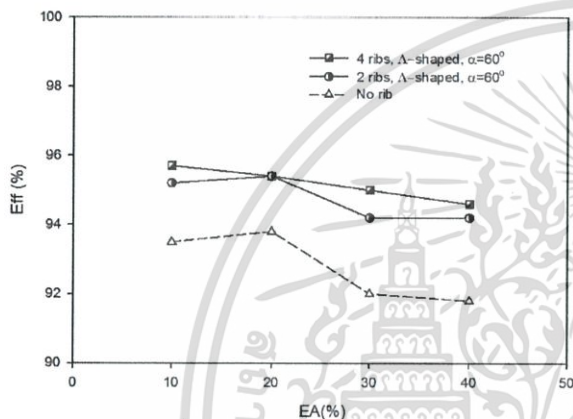


รูปที่ 7 ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน (CO)



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

6.4 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้

จากรูปที่ 9 พบว่าการเผาไหม้ของกรณีที่ตั้งคียบจำนวน 4 คียบค่อนข้างเป็นเส้นตรงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ซึ่งในกรณีที่ติดคียบจำนวน 4 คียบ มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่ากรณีติดคียบจำนวน 2 คียบ และไม่ติดคียบตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุดของกรณีที่ตั้งคียบรูปตัววีคียบจำนวน 4 คียบ มีค่า 95.7% ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 10% ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุดของกรณีที่ตั้งคียบรูปตัววีคียบจำนวน 2 คียบ และไม่ติดคียบ มีค่าเท่ากับ 95.4% และ 93.8% ตามลำดับ ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ส่วนเกิน 20%

7. สรุปผลการทดลอง

ค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินและการติดตั้งคียบมีผลต่อการกระจายตัวและระดับของอุณหภูมิภายในเตาเผา เนื่องจากการติดตั้งคียบทำให้เกิดการเกิดการหมุนวนภายในเตาเผา ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้และอุณหภูมิที่ได้สูงกว่าเตาเผาแบบไม่ติดตั้งคียบทุกกรณี ส่วนจำนวนคียบยังมีผลต่อการเผาไหม้โดยเมื่อเพิ่มจำนวนคียบมากขึ้นจะทำให้เกิดการหมุนวนมากกว่าทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จึงเป็นเหตุทำให้ได้อุณหภูมิที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.S. Chyang, K.T. Wu and C.S. Lin, "Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor", Fuel, 86, 234 – 243, 2007.
- [2] S.Eiamsa-ard, Y. Kaewkohkiat, C. Thianpong, P. Promvong. "Combustion Behavior in a Dual – Staging Vortex Rice Husk Combustor with Snail Entry." International Communications in Heat and Mass Transfer. 35 : 1134 – 1140, 2008.
- [3] 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.
- [4] H.P. Wan and C.S. Chyang, "Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed," J. of Chemical Engineering of Japan, Vol.13, No.6, pp.977-986, 1998.
- [5] Y. Kaewkohkiat, S. Eiamsa-ard, P. Promvong. "Combustion of Rice Husk in Small Scale Fluidized – Bed Combustor" 5th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i-CIPEC 2008).
- [6] สุรียา โชคเพิ่มพูน, จิตติวัฒน์ ผุฒลาวงษ์, ชินรัชย์ เขียรพงษ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์. "พฤติกรรมกาเผาไหม้แกลบนในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น." The 2nd Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008).

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ – นามสกุล นายยุทธพงษ์ แก้วปิ่น
 วัน เดือน ปีเกิด 20 พฤษภาคม 2529
 ที่อยู่ 143 หมู่ 2 ต.นาบึง อ.ภูเพียง จ.น่าน 55000
 โทร 081-8749699
 ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีคณะ
 วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2551 - 2551

บริษัท วาล์วน้ำไทย จำกัด
 ตำแหน่ง วิศวกรแผนกออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

พ.ศ.2552 - 2553

บริษัท วีรย์เอ็นจิเนียริง จำกัด

ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล ภาคสนาม

พ.ศ.2553 - 2555

บริษัท วิสแพค จำกัด

ตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายขาย

พ.ศ.2556 - ปัจจุบัน

บริษัท ฮันซ่าอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ตำแหน่ง วิศวกรโครงการ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. “พฤติกรรมกาเหมาใหม่เชื้อเพลิงแกสในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีครีรูปตัววีแบบแยกตัว”
 การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและ
 กระบวนการ ครั้งที่ 12, 14-15 มีนาคม 2556 จังหวัดเชียงราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้