

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้แกลปในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด
ที่ติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำ



T123213



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**123213**
วัน,เดือน,ปี.....**19 ต.ค. 2555**

b. **12478389**
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-030-154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL STUDY OF RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIORS
IN A FLUIDIZED-BED COMBUSTOR WITH Λ -SHAPED 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

2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบ
ในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่ติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำ

นักศึกษา

ประภาส ทักษิณะสุรีย์

รหัสประจำตัว

50060311

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2554

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอ การศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยได้ทำการติดตั้งครีบริปให้มีลักษณะแบบวางขวางแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบด โดยลักษณะของครีบริปที่ใช้ติดตั้งเป็นรูปตัววีคว่ำทำมุม 30° , 45° และ 60° โดยแต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบริปเป็น 2, 3 และ 4 อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีระดับคงที่คือ 7.4 กิโลกรัม/ชั่วโมง และได้ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่าคือ 10%, 20%, 30% และ 40% ซึ่งการติดตั้งลักษณะนี้จะส่งผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ สำหรับคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ทำการพิจารณาได้แก่ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์ประกอบก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น จากกรณีศึกษา พบว่า กรณีการติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน จำนวน 3 ครีบริป จะให้คุณลักษณะการเผาไหม้ดีที่สุด ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20% โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่ห้องเผาไหม้อยู่ที่ 881°C อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ฟริบอร์คอยู่ที่ 568°C อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาอยู่ที่ 740°C ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ คือมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงระหว่าง 2.38 – 2.93 %Vol ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 122 – 157 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 220 – 263 ppm โดยเตาที่มีการติดตั้งครีบริปให้ค่าประสิทธิภาพในช่วงระหว่าง 93.4 – 97.6 % ส่วนกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบริปมีประสิทธิภาพในช่วงระหว่าง 91.8 – 93.8 % จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาฟลูอิดไธซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำในห้องเผาไหม้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีกว่า

Thesis Title	Experimental study of rice husk combustion behaviors in a fluidized-bed combustor with Λ -shaped ribs
Student	Mr. Praphat Tugsinasuree
Student ID.	50060311
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents an experimental study of rice husk combustion in a rectangular fluidized bed combustor with Λ -shaped triangular ribs inserted diagonally in the upper part of the combustion chamber. The insertion of the Λ -rib used as vortex generators is to create vortex flows in the bed to provide better mixing between the fuel and the combustion air. Effects of the key parameters of the ribs such as the attack angle, $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ and 60° , and the rib numbers set to 2, 3 and 4 ribs for each run on combustion behaviors were experimentally examined. Experiments were made by varying different percent excess airs between 10%, 20%, 30% and 40% at a constant mass flow rate of rice husk fuel of 7.4 kg/hr. The temperature distributions inside the bed, exhaust gas emissions and combustion efficiency were taken into account in the present work. The experimental results reveal that the use of Λ -ribs attached within the combustion chamber helps to improve the combustion of rice husk. The average temperature inside the combustor is found to be about 881°C and the average temperature inside the free board is about 568°C . The gas emissions for using the Λ -ribs are seen to be very low with CO_2 between 2.38 – 2.93 %Vol, NO_x between 122 – 157 ppm and CO between 220 – 263 ppm. The conventional fluidized-bed gives the combustion efficiency in a range of 91.80 – 93.80 % and one with the ribs provides higher the combustion efficiency ranging from 93.40 – 97.60 %

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ ก็ด้วยความอนุเคราะห์ความช่วยเหลือคำแนะนำ และ กำลังใจ ระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัย จากบุคคลอันเป็นที่เคารพทั้งหลาย ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งคอยให้ คำปรึกษาแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จ สมบูรณ์ได้ด้วยดี

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ในการจัดทำเล่ม วิทยานิพนธ์

เพื่อน ๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังทุกคนที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนลงมือลงแรงช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง สุดท้ายนี้ ยังมีบุคคลที่มีพระคุณแก่ข้าพเจ้า ได้แก่ บิดา มารดา บุคคลในครอบครัวผู้ซึ่งคอย ให้การสนับสนุน และคอยกำลังใจตลอดมา

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้า ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

ประกาศ

ทักษิณะสุรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	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 งานวิจัยภายในประเทศ.....	6
2.3 งานวิจัยต่างประเทศ.....	15
2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	25
3.1 เชื้อเพลิง.....	25
3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง.....	25
3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง.....	25
3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	26
3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล.....	26
3.2.2 การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน.....	26
3.2.3 องค์ประกอบของชีวมวล.....	27
3.2.4 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	27
3.2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	28
3.2.6 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การเผาไหม้.....	30
3.3.1 นิยามการเผาไหม้.....	30
3.3.2 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	31
3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้.....	31
3.3.3.1 ค่าความร้อน.....	32
3.3.3.2 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก.....	32
3.3.4 การคำนวณการเผาไหม้.....	32
3.3.4.1 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง.....	33
3.3.4.2 กระบวนการการเผาไหม้.....	33
3.3.4.3 อากาศส่วนเกิน.....	33
3.3.5 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้.....	33
3.3.6 ปัจจัยที่มีสำคัญต่อกระบวนการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง.....	34
3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	34
3.4.1 องค์ประกอบเชื้อเพลิงแข็ง.....	34
3.4.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็ง.....	34
3.4.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ.....	35
3.4.2.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ.....	35
3.4.2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....	35
3.4.2.4 อุณหภูมิหลอมเหลวของถ่าน.....	36
3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	36
3.4.4 กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	36
3.5 ฟลูอิดซ์เซชัน.....	37
3.5.1 ประเภทฟลูอิดซ์เซชัน.....	37
3.5.2 ลักษณะฟลูอิดซ์เบด.....	37
3.5.3 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดซ์เซชัน.....	39
3.5.4 แผ่นกระจายของไหล.....	40
3.5.5 ลักษณะเด่นและข้อจำกัดของฟลูอิดซ์เซชัน.....	40
3.5.6 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด.....	41
3.5.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดซ์เบด.....	42
3.6 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	43
3.7 มลพิษและการควบคุม.....	44
3.7.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO).....	44
3.7.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์(NO _x).....	44
3.7.3 ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO _x).....	45
3.7.4 อนุภาคของถ่าน.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	46
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง	46
4.1.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ.....	47
4.1.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส	49
4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา.....	50
4.1.4 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย.....	50
4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง.....	51
4.2 การติดตั้ง และการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	52
4.3 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล	55
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	56
5.1 บทนำ.....	56
5.2 ลักษณะของกราฟแสดงการกระจายตัวของระดับอนุภาคนิวมิ	57
5.2.1 การพิจารณาผลของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน.....	57
5.2.1.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ	57
5.2.1.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 ครีบ	58
5.2.1.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 3 ครีบ	59
5.2.1.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 ครีบ	60
5.2.1.5 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบ	63
5.2.1.6 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ	63
5.2.1.7 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 ครีบ	64
5.2.1.8 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบ	67
5.2.1.9 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 ครีบ	68
5.2.1.10 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 ครีบ	69
5.2.2 การพิจารณาผลของจำนวนครีบ.....	71
5.2.2.1 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30°	72
5.2.2.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45°	75
5.2.2.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60°	78
5.2.3 การพิจารณาผลของมุมครีบ	80
5.2.3.1 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบ.....	80
5.2.3.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำจำนวน 3 ครีบ.....	83
5.2.3.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบ.....	86
5.2.4 การเปรียบเทียบผลการกระจายอนุภาคนิวมิของห้องเผาไหม้ กรณีติดตั้งครีบรูปตัววี กับติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2.5 การวิเคราะห์ผลลักษณะการกระจายอุณหภูมิ.....	92
5.3 ปริมาณก๊าซไอเสีย.....	94
5.3.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ.....	94
5.3.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30°.....	95
5.3.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45°.....	95
5.3.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60°.....	95
5.3.5 เปรียบเทียบกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีกับตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ.....	97
5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	98
5.4.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ.....	98
5.4.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30°.....	98
5.4.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45°.....	98
5.4.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60°.....	99
5.4.5 เปรียบเทียบกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีกับตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ.....	99
5.4.6 การวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	100
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	101
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	101
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	102
บรรณานุกรม.....	104
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	107
ภาคผนวก ข. มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย.....	111
ภาคผนวก ค. การคำนวณ.....	113
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลอง.....	125
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	138
ประวัติผู้เขียน.....	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเผาไหม้แบบฟลูอิดไอซ์เซชันของเชื้อเพลิงแกลบ.....	21
2.2 ลักษณะโครงสร้างของเตาฟลูอิดไอซ์เบด	23
3.1 คุณสมบัติของชีวมวล	29
3.2 แสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล	29
4.1 ขนาดของ crib และตำแหน่งการติดตั้ง.....	55
5.1 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ภายในเตาเผา กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้ง crib.....	58
5.2 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 30° จำนวน 2 crib	59
5.3 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 30° จำนวน 3 crib	60
5.4 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 30° จำนวน 4 crib	61
5.5 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 45° จำนวน 2 crib	63
5.6 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 45° จำนวน 3 crib	64
5.7 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 45° จำนวน 4 crib	65
5.8 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 60° จำนวน 2 crib	68
5.9 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 60° จำนวน 3 crib	69
5.10 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 60° จำนวน 4 crib	69
5.11 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 30°	72
5.12 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 45°	75
5.13 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม 60°	78
5.14 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม จำนวน 2 crib	81
5.15 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม จำนวน 3 crib	84
5.16 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้ง crib รูปตัววีความมุม จำนวน 4 crib	87
5.17 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้ง crib รูปตัววีและวีความมุม 45°.....	90
5.18 ก๊าซจากการเผาไหม้กรณีติดตั้ง crib รูปตัววีและตัววีความมุม จำนวน 3 crib มุม 45°	98
ก.1 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก.....	108
ก.2 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 - 2552	108
ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552	109
ก.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงแกลบ	110
ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	112
ง.1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาสำหรับทุกกรณีศึกษา	130
ง.2 ปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	131
ง.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	132
ง.4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	133
ง.5 ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	134
ง.6 ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะและตำแหน่งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ.....	6
2.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด.....	7
2.3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดผิวเรียบ.....	8
2.4 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดขนาดเล็ก.....	9
2.5 แบบจำลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน.....	10
2.6 ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้และห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด แบบแผ่นกระจายคู่.....	11
2.7 ระบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่.....	11
2.8 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด FBC.....	12
2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง.....	12
2.10 ลักษณะการติดตั้งครีบบนในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด.....	13
2.11 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง.....	14
2.12 ลักษณะการติดตั้งครีบบนที่ใช้ในทดลอง.....	14
2.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง.....	15
2.14 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด VFBC.....	16
2.15 ไดอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด VFBC.....	16
2.16 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด.....	17
2.17 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิดไคซ์เบด.....	18
2.18 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spout fluid ฟลูอิดไคซ์เบด.....	18
2.19 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด CFB.....	19
2.20 การทดสอบ cold state ฟลูอิดไคซ์เบด.....	20
2.21 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด CFB.....	20
2.22 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด (bubbling fluidized bed).....	21
3.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	31
3.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....	34
3.3 แบบจำลอง Progressive conversion.....	36
3.4 แบบจำลอง Unreacted core.....	36
3.5 ระดับของเบดในหอทดลอง.....	38
3.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน.....	39
3.7 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดไคซ์เซชัน.....	40
3.8 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์.....	43
3.9 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	43
4.1 เตาเผาแกลบฟลูอิดไคซ์เบด.....	46
4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดและตำแหน่งการวัดระดับของอนุกรม.....	47
4.3 Blower สำหรับจ่ายลมให้แก่ระบบ.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ชนดานการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แผ่นกระจายของไหล.....	48
4.5 มานอมิเตอร์และแผ่นออริฟิสสำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม	48
4.6 Hopper และ Screw Feed สำหรับบรรจุและป้อนเชื้อเพลิงแกลบ	49
4.7 ชุดอุปกรณ์ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ	49
4.8 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น.....	50
4.9 อุปกรณ์ดักอนุภาคเถ้าลอย (ไซโคลน).....	50
4.10 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ	51
4.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL.....	51
4.12 อุปกรณ์ทดลองของเตาเผาแกลบฟลูอิดซ์เบด.....	52
4.13 ลักษณะครีบริบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ มุมวีคว่ำ 30 °	53
4.14 ลักษณะครีบริบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ มุมวีคว่ำ 45 °	54
4.15 ลักษณะครีบริบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ มุมวีคว่ำ 60 °	54
5.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA ต่างๆ กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบ.....	58
5.2 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	61
5.3 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	62
5.4 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	62
5.5 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	65
5.6 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	66
5.7 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	66
5.8 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	69
5.9 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	70
5.10 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ	70
5.11 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%.....	72
5.12 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%.....	72
5.13 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%.....	73
5.14 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%.....	73
5.15 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%.....	75
5.16 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%.....	75
5.17 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%.....	76
5.18 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%.....	76
5.19 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%.....	78
5.20 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%.....	78
5.21 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%.....	79
5.22 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%.....	79
5.23 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.24 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%	81
5.25 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%	82
5.26 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%	82
5.27 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%	84
5.28 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%	84
5.29 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%	85
5.30 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%	85
5.31 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%	87
5.32 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%	87
5.33 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%	88
5.34 อิทธิพลของมุมครึ่งรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%	88
5.35 เปรียบเทียบอิทธิพลของครึ่งรูปตัววี และตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบต่อการกระจาย ตัวของอุณหภูมิที่ EA10%	90
5.36 เปรียบเทียบอิทธิพลของครึ่งรูปตัววี และตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจาย ตัวของอุณหภูมิที่ EA20%	90
5.37 เปรียบเทียบอิทธิพลของครึ่งรูปตัววี และตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบต่อการกระจาย ตัวของอุณหภูมิที่ EA30%	91
5.38 เปรียบเทียบอิทธิพลของครึ่งรูปตัววี และตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจาย ตัวของอุณหภูมิที่ EA40%	91
5.39 องค์ประกอบของก๊าซไอเสียกรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ	94
5.40 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมุม 30°	95
5.41 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมุม 45°	96
5.42 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบมุม 60°	96
5.43 เปรียบเทียบองค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครึ่งรูปตัววี และครึ่งรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ	97
5.44 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ	98
5.45 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครึ่งรูปตัววีคว่ำมุม 30°	98
5.46 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครึ่งรูปตัววีคว่ำมุม 45°	99
5.47 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครึ่งรูปตัววีคว่ำมุม 60°	99
5.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครึ่งรูปตัววี และครึ่ง รูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ	100
ง.1 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 10%	125
ง.2 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 20%	126
ง.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 30%	127
ง.4 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 40%	128
ง.5 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.6 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	131
ง.7 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	132
ง.8 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	133
ง.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	134
ง.10 ลักษณะซี้้ได้จากกรณีเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบที่ EA 10%.....	135
ง.11 ลักษณะซี้้ได้จากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบมุม 30° จำนวน 2 ครีบ ที่ EA 40%.....	135
ง.12 ลักษณะซี้้ได้จากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบมุม 45° จำนวน 3 ครีบ ที่ EA 20%.....	136



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ทั้งยังเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จากความต้องการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มสูงขึ้นขณะที่แหล่งพลังงานกลับมีปริมาณลดลงเนื่องจากแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นพลังงานสิ้นเปลือง เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือหามาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว ต้องใช้เวลานานกว่าร้อยล้านปีในการสร้างขึ้นมาทดแทน และมีปริมาณที่จำกัดตัวอย่างเช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้นการเลือกใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ไม่หมด มีแหล่งพลังงานอยู่ภายในประเทศ และมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อย จึงเป็นหนึ่งในทางเลือกในการแก้ไขปัญหาพลังงาน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรอยู่มากมาย โดยที่ผลผลิตหลักและเศษวัสดุหรือของเหลือจากทั้ง 2 ภาคเศรษฐกิจ โดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใบ และทะลายปาล์ม สามารถนำมาใช้ประโยชน์หรือแปรรูปให้เป็นพลังงานหรือเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล ซึ่งส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ ดังนั้นพลังงานชีวมวลจึงเป็นอีกแหล่งพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมกับประเทศไทยเนื่องจากประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานได้

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยคือข้าว เมื่อผ่านกระบวนการสีข้าวจากโรงสีจะได้ข้าวสารรำ และแกลบแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่ดี เพราะมีความชื้นต่ำและขนาดเล็กจึงถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้าตั้งนั้นงานวิจัยนี้ให้ความสนใจไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกษตร คือ “แกลบ”

การเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงแกลบจะมีลักษณะการเผาไหม้แบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อนแล้วจึงค่อยๆ ลามเข้าไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนจะกลายเป็นขี้เถ้า (ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ ทำให้เชื้อเพลิงมักจะไม่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาที่มีรายงานจำนวนมากของเตาเผาหลายชนิดที่มีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในจำนวนเหล่านั้นเทคโนโลยีการเผาไหม้ในระบบฟลูอิดเบดก็เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งได้เป็นอย่างดี เพราะนอกจากจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยลดปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะมลพิษจาก No_x เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิเผาไหม้ต่ำ

เตาเผาฟลูอิดเบดที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วห้องเผาไหม้มักจะถูกออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน ทั้งในเรื่องของขนาด และการลงทุนที่สูง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบพร้อมด้วยการพัฒนาห้องเผาไหม้โดยการใส่กรวยสามเหลี่ยมไว้ในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการหมุน-ควง (vortex flow) ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ รวมไปถึงระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องเผา-ไหม้ได้นานขึ้น เพื่อให้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตา การปล่อยมลพิษและซีเถ้า ที่เกิดจากการเผาไหม้ ทั้งนี้ ก็เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และปรับปรุงเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน และมีประสิทธิภาพสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยฉบับนี้ คือทำการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของลักษณะและจำนวนของ ครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แกลบ โดยพิจารณาถึงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผา องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษา ทดลอง สำหรับใช้เป็นข้อมูลเชิงเทคนิคประกอบการสร้างเตาเผาฟลูอิดไคซ์ขนาดเล็ก ให้มีความ เหมาะสมที่สุดแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

ความคาดหวังต่อผลการศึกษาดังกล่าวในครั้งนี้นี้คือ เมื่อได้ทำการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของ ตำแหน่งการจัดวางครีบ ลักษณะมุมครีบ และจำนวนของครีบภายในส่วนห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ คือ

1. ผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบน่าจะให้ผลลัพธ์ของคุณลักษณะ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่ดีกว่ากรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ไม่มีการติดตั้งครีบภายใน ห้องเผาไหม้จากงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ตำแหน่งการจัดวางครีบ ลักษณะมุมครีบ และจำนวนของครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของ เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดน่าจะให้ผลของคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มี ลักษณะภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ
2. ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม จัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ วางวางเข้ามุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ โดยมีระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 10 เซนติเมตร การติดครีบจะมีลักษณะ ดังนี้
 - 2.1 ติดครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 ครีบ, 3 ครีบ, และ 4 ครีบ
 - 2.2 ติดครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบ, 3 ครีบ, และ 4 ครีบ
 - 2.3 ติดครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบ, 3 ครีบ, และ 4 ครีบ
3. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นแกลบขนาดปกติที่ได้จากการสีข้าว (ประมาณ 8mm. x 2 mm.) โดยรักษ้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้คงที่ที่ 7.4 kg/hr
4. ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบเป็นค่าประมาณ 44, 48, 52 และ 56 kg/hr (คิด เป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เก็บบันทึกผลการกระจายอนุกรมภายในเตาเผา ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแนวความสูงที่กำหนดไว้ 10 ตำแหน่ง และตำแหน่งตามแนวแกน จำนวน 2 ตำแหน่ง
6. เก็บบันทึกค่าและวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียรวมถึงซีเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยจะทำการเก็บค่า ณ บริเวณทางออกของก๊าซไอเสียที่ส่วนบนของเตาเผา

1.5 แนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีแนวคิดหลัก คือการศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยครีบที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำวางขวางเข้ามุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ โดยมีแนวคิดและเหตุผลในการกำหนดลักษณะครีบ ดังนี้

- กรณีการเลือกใช้เตาเผาที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นหอทรงกลม และทรงสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาที่มีรูปทรงแตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา [1]
- กรณีการเลือกครีบรูปตัววีคว่ำวางขวางเข้ามุมบริเวณครึ่งบนห้องเผาไหม้ เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบรูปตัววีและวีคว่ำ โดยใช้ลักษณะการวางครีบแบบติดตั้งทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาที่มีลักษณะการติดตั้งครีบที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา [7,8,9]
- กรณีการเลือกครีบรูปตัววีคว่ำ วางขวางเข้ามุมบริเวณครึ่งบนห้องเผาไหม้ เนื่องจากสมมติฐานว่า การติดตั้งครีบบริเวณครึ่งล่างของห้องเผาไหม้นั้นจะทำให้เกิดการกีดขวางการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ จนเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงแกลบเกิดการอุดตันอยู่ด้านล่าง และเชื้อเพลิงแกลบไม่เกิดพฤติกรรมลอยตัว ซึ่งก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้
- กรณีการกำหนดมุมครีบเป็น 30° , 45° และ 60° เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ามุมของครีบที่แตกต่างกันน่าจะให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน จึงได้เลือกใช้มุมที่แตกต่างกันจำนวน 3 มุม เพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้
- กรณีการกำหนดจำนวนการติดตั้งครีบเป็น 2, 3 และ 4 ครีบ เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ากรณีการติดตั้งครีบจำนวน 1 ครีบ ไม่น่าจะช่วยให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างจากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบมากนัก จึงได้กำหนดจำนวนครีบที่ติดตั้งเริ่มต้นที่ 2 ครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เตาเผาชีวมวล ชนิดต่างๆ เพื่อทราบถึงเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นรวมทั้งศึกษาถึงทฤษฎีเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ และทฤษฎีฟลูอิดไซเซชันเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาทดลอง
2. ทำการออกแบบ และสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับการศึกษาทดลอง
3. ทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และเก็บค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทดลอง อาทิเช่น ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเชื้อเพลิงกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากการเปิดวาล์วกับปริมาณการไหลของอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาทดลอง
4. ทำการตั้งสมมติฐาน และขอบเขตของงานวิจัย จากนั้นดำเนินการศึกษาทดลองตามสมมติฐานที่กำหนดขึ้น
5. จัดบันทึก, วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และพัฒนาเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไซเซชัน ให้มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะสมที่สุดแก่การประยุกต์ใช้งาน
2. สามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไซเซชัน ไปประยุกต์ไปใช้ในทางด้านเกษตรกรรม หรือ ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถนำเอาชีวมวลที่เหลือใช้ทางการเกษตรกรรม มาประยุกต์ใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงเป็นพลังงานทางเลือกในการแก้ไขปัญหาพลังงานของโลก และเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตอันใกล้
4. ช่วยลดสภาวะปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดมีการปล่อยมลพิษต่ำ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าเศษขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรให้แก่เกษตรกรได้อีกด้วย
5. ในอนาคตอันใกล้จะเป็นการช่วยลดอัตราการสูญเสียเงินตราออกไปยังต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล

1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

1. บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขตงานวิจัย และขั้นตอนการศึกษาทดลอง
2. บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง
3. บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ และทฤษฎีฟลูอิดไซเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง การติดตั้งชุดทดลอง และขั้นตอนการศึกษาทดลอง
5. บทที่ 5 กล่าวถึงผลการศึกษาทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลอง และข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

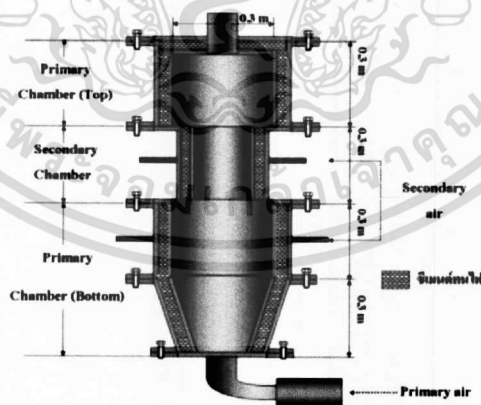
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะและจำนวนของครีปที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบโดยพิจารณาถึงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผาองค์ประกอบของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังนั้นก็จะมีงานวิจัยเกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ที่กล่าวถึงเตาเผาชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ทั้งในส่วนของหลักการ และแนวความคิดงานวิจัย รวมไปถึงผลที่ได้จากงานวิจัยในแต่ละเรื่อง ดังนี้

2.2 งานวิจัยภายในประเทศ

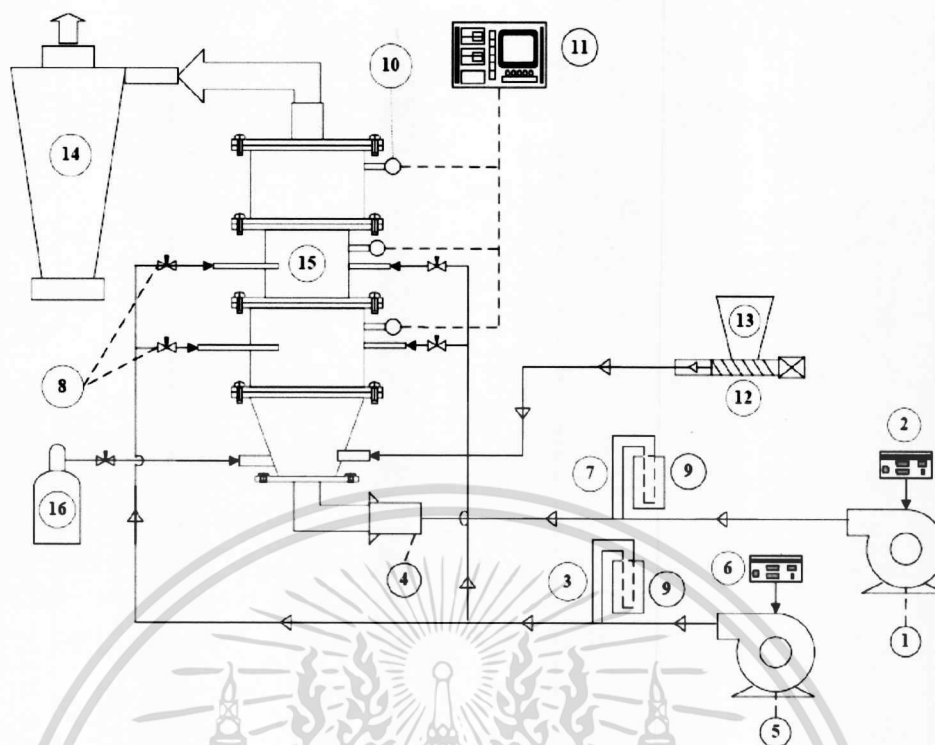
ลีลาผาดิกุล [1] ได้ศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดเบดโดยห้องเผาไหม้ปฐมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 m ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 m(0.75D) มีความสูงรวม (H) เท่ากับ 1.2 m ในการทดลองสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมินี้ได้ 2 ตำแหน่งคือ H/D เท่ากับ 1.5 และ 2.5 ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบๆ ผนังห้องเผาไหม้ทุติยภูมิเพื่อทำให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวนโดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.2 และ 0.25 กำหนดค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min



รูปที่ 2.1 ลักษณะและตำแหน่งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าห้องเผาไหม้ทุติยภูมิที่ตำแหน่ง H/D เท่ากับ 2.5, Φ เท่ากับ 1.0 และ $\lambda = 0.25$ จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 900°C และพบว่าก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย $\text{O}_2 = 3.5\%$, $\text{CO}_2 = 20.7\%$ และ $\text{CO} = 266$ ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

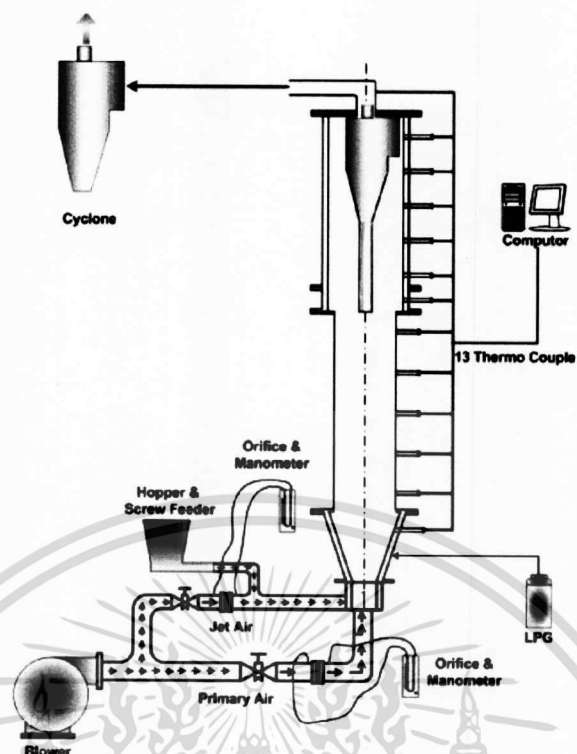


(1) Blower of Primary Air, (2) Inverter of Primary Air, (3) Orifice plate of Primary Air, (4) Primary Air nozzle, (5) Blower of Secondary Air, (6) Inverter of Secondary Air, (7) Orifice plate of Secondary Air, (8) Secondary air nozzle, (9) Manometer, (10) Thermocouple type K, (11) Digital thermocouple, (12) Screw feeder, (13) Hopper, (14) Cyclone, (15) Vortex combustor, (16) LPG supply

รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไชเบต

คุณลาวัณย์ [2] ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไชเบต และการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบและมีปริมาตรขนาดใหญ่โดยนำไซโคลนใส่ไว้ด้านในกรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 6-12 kg/hr โดยทำการปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน 3 ค่าคือ 20%, 40% และ 60% โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา, ชี้อัด, คิวันที่ออกมาพร้อมกับก๊าซไอเสียจากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวล ของแกลบที่ 9 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 60% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับทอลมหลัก 3 ค่าคือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมดตามลำดับจากการทดลองพบว่าที่อากาศ 40% มีการเผาไหม้ดีที่สุดซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700 - 750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100 - 300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97-99%

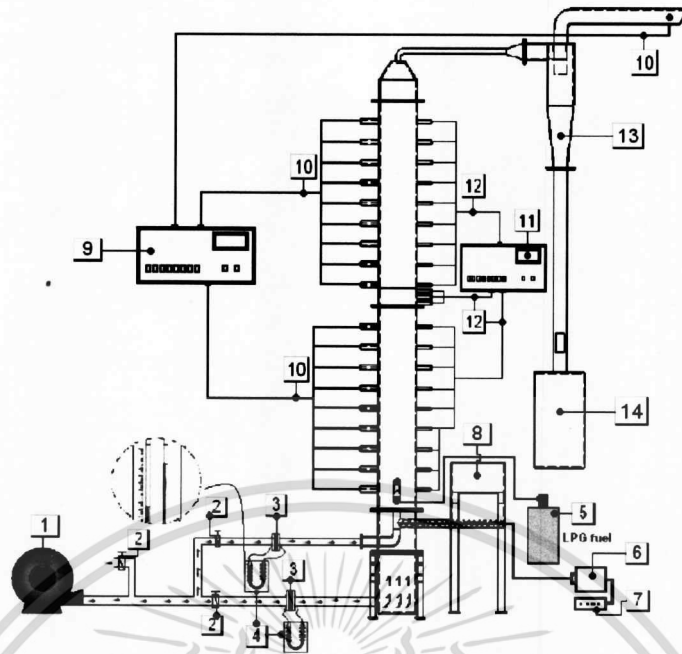
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิด์เบดผิวเรียบ

Kaewkaokiet [3] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิด์ที่มีขนาดเล็กซึ่งมีลักษณะของเตาเผาที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนล่างเป็นห้องเผาไหม้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็น $20 \times 10 \text{ cm}^2$ และมีความสูง 1 m และส่วนบนเป็นฟริบอร์คมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็น $20 \times 20 \text{ cm}^2$ และ มีความสูง 0.75 m สภาวะขอบเขตในการดำเนินทดลอง คือทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้มีค่าต่ำกว่า $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ เพื่อเป็นการควบคุมมลพิษ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีค่าคงที่ที่ 0.1 kg/min แต่ทำการปรับค่าความเร็วของอากาศออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ 0.626 m/s , 0.637 m/s และ 0.649 m/s ซึ่งเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 67%, 70% และ 73% ตามลำดับ

สิ่งที่ต้องการศึกษา คือ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาและปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย โดยเปรียบเทียบแต่ละกรณีศึกษา



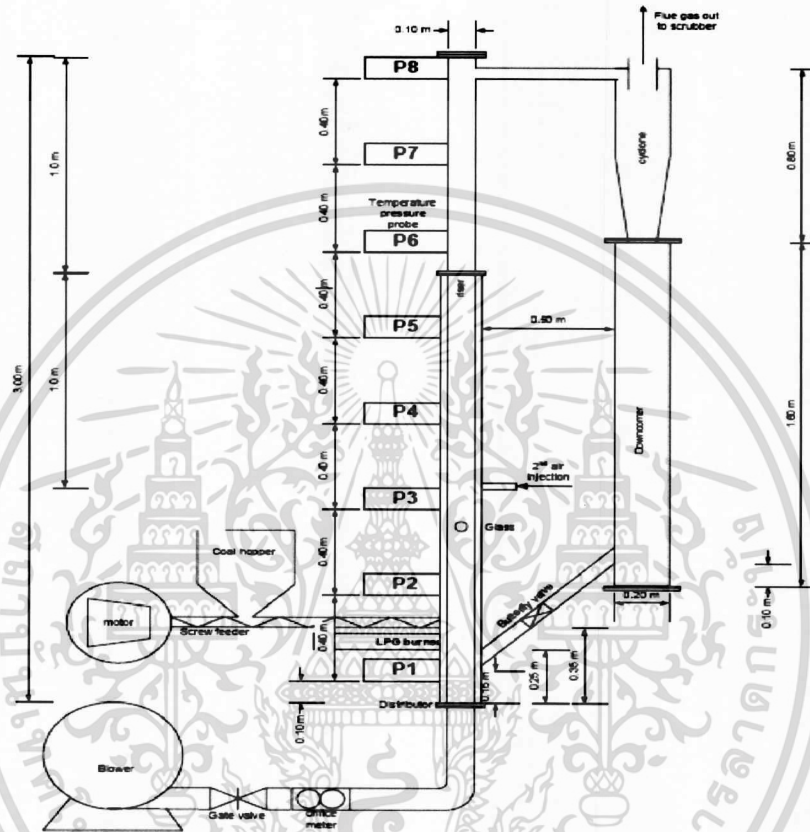
รูปที่ 2.4 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบตขนาดเล็ก

ผลการทดลองพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิตามตำแหน่งความสูงน้อย กราฟที่ได้มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงทุกค่าความเร็วอากาศ เมื่อเปรียบเทียบระดับของอุณหภูมิที่ได้จากกรณีที่ค่าความเร็วอากาศต่างกันจะเห็นว่าที่ค่าความเร็วต่ำจะทำให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่า พิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียพบว่า CO_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 4 – 5 %vol, CO มีค่าอยู่ระหว่าง 200 – 2800 ppm และ NO_x มีค่าอยู่ระหว่าง 150 – 220 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าอยู่ระหว่าง 91.0 – 99.44 % โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดเกิดขึ้นกรณีความเร็วอากาศเป็น 0.637 m/s

พรหมภูเบศร์ [4] ได้ศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมถ่านหินและแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบตแบบหมุนเวียนขนาด 3.5 kW ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ 0.1 m และสูง 3.0 m โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือถ่านหินขนาดเฉลี่ย 1,128 μm จากแหล่งแม่ทะ จ.ลำปาง และแกลบ ศึกษาถึงแนวโน้มของอุณหภูมิและองค์ประกอบของแก๊สจากการเผาไหม้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตลอดโรเตอร์ เมื่อมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัดส่วนของถ่านหินและแกลบคือ 100:0, 65:35 (แกลบ 7% โดยน้ำหนัก) และ 80:20 (แกลบ 3.5% โดยน้ำหนัก) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 5.8 kg/hr อัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิที่ใช้ศึกษามีค่าระหว่าง 480-920 U/min (ความเร็วประมาณ 1.0-2.0 m/s) ส่วนอัตราการป้อนอากาศทุติยภูมิมีค่าตั้งแต่ 0-330 U/min ในการทดลองได้ทำวัดความเข้มข้นของปริมาณก๊าซ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดโรเตอร์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (flue gas analyzer)

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิตลอดโรเตอร์อยู่ในช่วงประมาณ 800–1,000 °C และที่ปริมาณการป้อนอากาศรวมตั้งแต่ 920 U/min ขึ้นไปปริมาณและสัดส่วนของการป้อนอากาศทุติยภูมิแทบไม่มีผลต่อแนวโน้มของอุณหภูมิตลอดโรเตอร์แนวโน้มขององค์ประกอบของแก๊สตลอดโรเตอร์คือปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะสูงมากบริเวณส่วนล่างของโรเตอร์และจะลดลงอย่างรวดเร็วตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ ปริมาณออกซิเจนลดลงตลอดความสูงโรเตอร์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตลอดความสูงไรเซอร์ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์และปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ค่อนข้างคงที่ตลอดไรเซอร์จะอยู่ในช่วงประมาณ 100 ppm และ 10 ppm ตามลำดับเมื่อปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากถ่านหินเป็นถ่านหินผสมแกลบพบว่าแนวโน้มอุณหภูมิตลอดไรเซอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแกลบที่เพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเมื่อสัดส่วนของแกลบในเชื้อเพลิงผสมสูงขึ้น

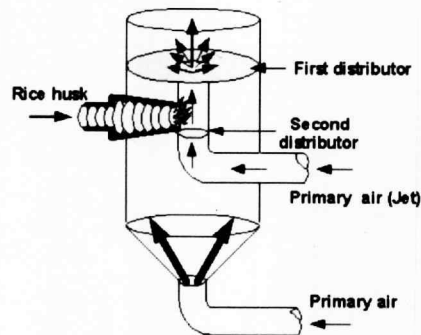


รูปที่ 2.5 แบบจำลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน

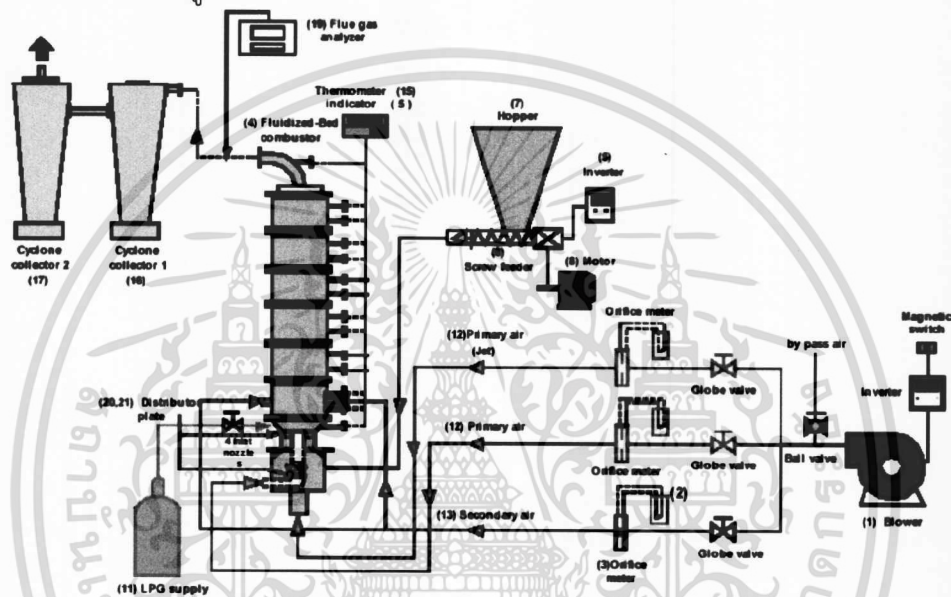
วิธีทฤษฎี [5] ได้นำเสนอถึงการออกแบบสร้างเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงซึ่งลักษณะของห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเท่ากับ 300 mm และมีความสูงเท่ากับ 2,250 mm โดยเตาเผาจะมีแผ่นกระจายอยู่ 2 ชุดแผ่นแรกจะเป็นตัวช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดเซชันแผ่นที่ 2 เป็นตัวช่วยยุบแกลบการทดลองใช้อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบคงที่เท่ากับ 18 kg/hr และทำการปรับอัตราส่วนสมมูล, $\Phi = 0.2, 0.25, 0.3$ และ 0.35 ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนสมมูล = 0.3 ในกรณีที่ $\lambda = 0.4$ ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 910°C และที่ระยะกึ่งกลางเตาตามแนวรัศมีจะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด และจากผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผาจะพบว่า $\text{O}_2 = 7.7\%$, $\text{CO}_2 = 7.6\%$, $\text{CO} = 328$ ppm, $\text{NO} = 308$ ppm, $\text{NO}_x = 324$ ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่

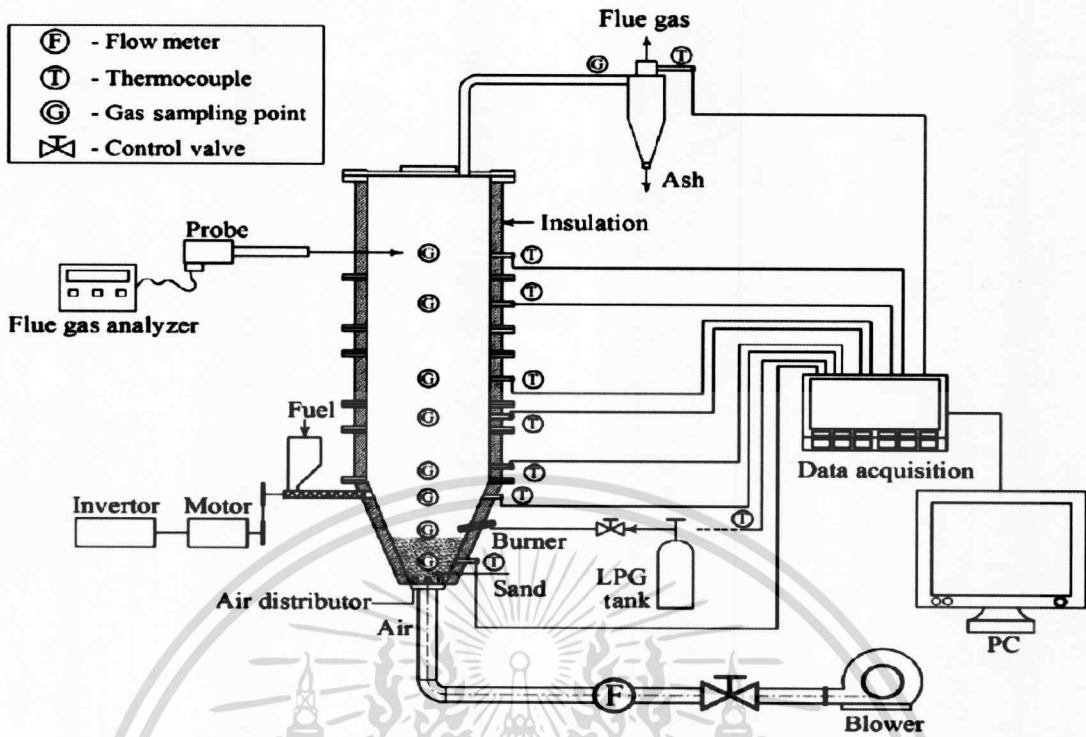


- 1) Blower, (2) Manometer, (3) Orifice plate, (4) Fluidized-bed combustor, (5) Indicator (6), Screw feeder, (7) Hopper, (8) Motor, (9) Inverter, (10) Burner, (11) LPG Supply, (12) Primary air (13) Secondary air, (14) Bypass air, (15) Thermocouple Type K, (16) Cyclone 1, (17) Cyclone 2, (18) Gate valve, (19) Flue gas analyzer, (20,21) Distributor1, 2

รูปที่ 2.7 ระบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่

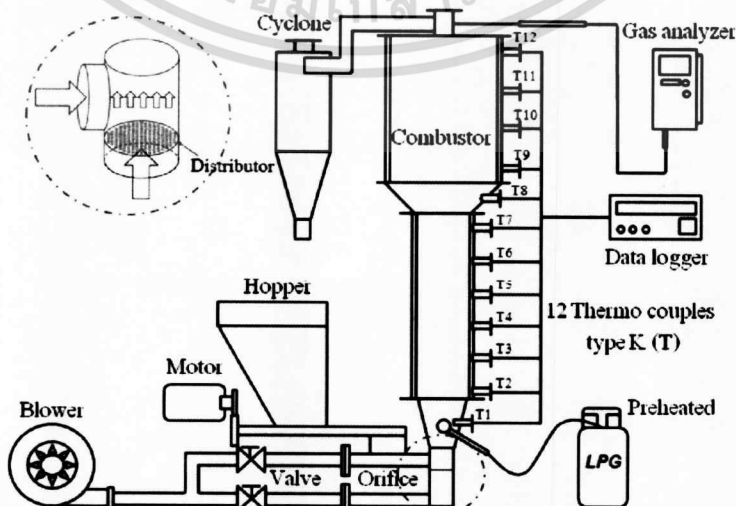
เจนวิจิตรสกุล [6] ได้ทำการทดลองศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO, NO_x และ PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด ที่รูปร่างของเบดมีลักษณะรูปเป็นรูปกรวย การทดลอง ใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 80 kg/hr และค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (EA) ที่แตกต่างกัน (การทดลองจะใช้ค่า EA อยู่ในช่วง 20.9% – 59%) จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบมีค่าสูงกว่า 99% อุณหภูมิภายในเบดมีค่าอยู่ระหว่าง 900 – 950 °C ปริมาณการปล่อย NO_x มีค่าอยู่ระหว่าง 75 – 143 ppm, ปริมาณการปล่อย CO มีค่าอยู่ระหว่าง 128 – 176 ppm การหาปริมาณ PHAs นั้นจะวิเคราะห์จากขนาดของอนุภาคซีเถ้า ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 75 – 106 μm และพบว่า มีปริมาณ PHAs อยู่ น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

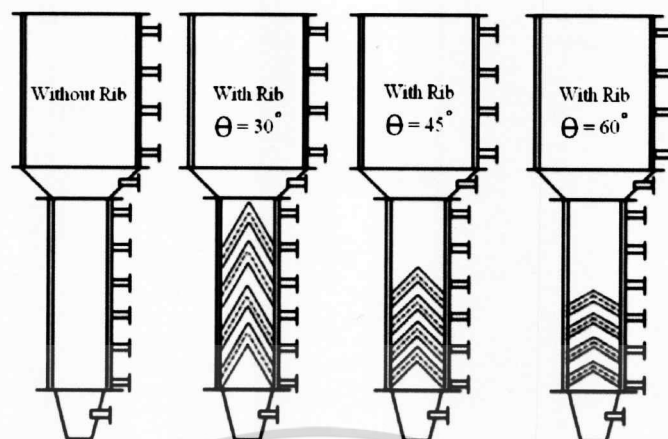


รูปที่ 2.8 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิดซ์เบด FBC

โชคเพิ่มพูน [7] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์รูปทรงสี่เหลี่ยม โดยได้ศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบที่ทำการติดตั้งภายในส่วนห้องเผาไหม้ ลักษณะครีบที่ติดตั้งเป็นครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30°, 45° และ 60° โดยแต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบเป็น 2, 3 และ 4 คู่ แกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (2 × 8 mm) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีระดับคงที่ที่ 8.5 kg/hr และทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่าคือ 40%, 50%, 60% และ 70% คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์ประกอบก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา



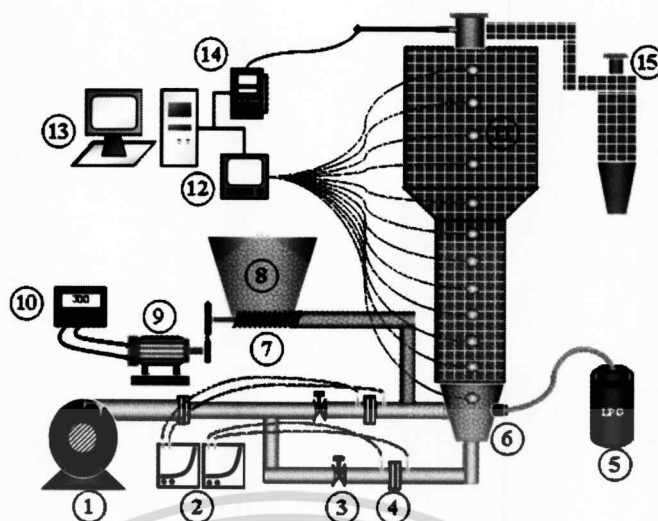
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง ขนาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการติดตั้งครีบริบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด

จากการศึกษาทดลองพบว่า การติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ช่วยเตาเผาให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960°C อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ 660°C ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ โดยที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 3.37 %Vol ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 107 – 153 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 213 – 287 ppm ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 94.3 – 95.6 % และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวคลื่นโดยจะมีค่าระหว่าง 97.8 – 99.4 %

สุวรรณพันธุ์ [8] งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอถึงพฤติกรรมของการเผาไหม้แก๊สในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยมไว้ภายในห้องเผาไหม้ เพื่อต้องการจะเพิ่มระยะเวลา และการไหลแบบหมุนควง (vortex flow) ของแก๊สภายในเตาเผาไหม้มากขึ้น การทดลองจะทำการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สที่อัตราการป้อนเท่ากับ 8.64 kg/hr ตลอดการทดลองจากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินทั้งหมด 4 ค่าคือ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ เงื่อนไขนี้จะถูกใช้ทดสอบกับเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยมทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ รูปตัววี (V), รูปตัววีคว่ำ (Λ) และ รูปตัววีคว่ำคู่ (ΛΛ) ไว้ภายในห้องเผาไหม้ ลักษณะครีบริบทั้งสามแบบจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนการติดตั้ง คือ จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่



รูปที่ 2.11 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง

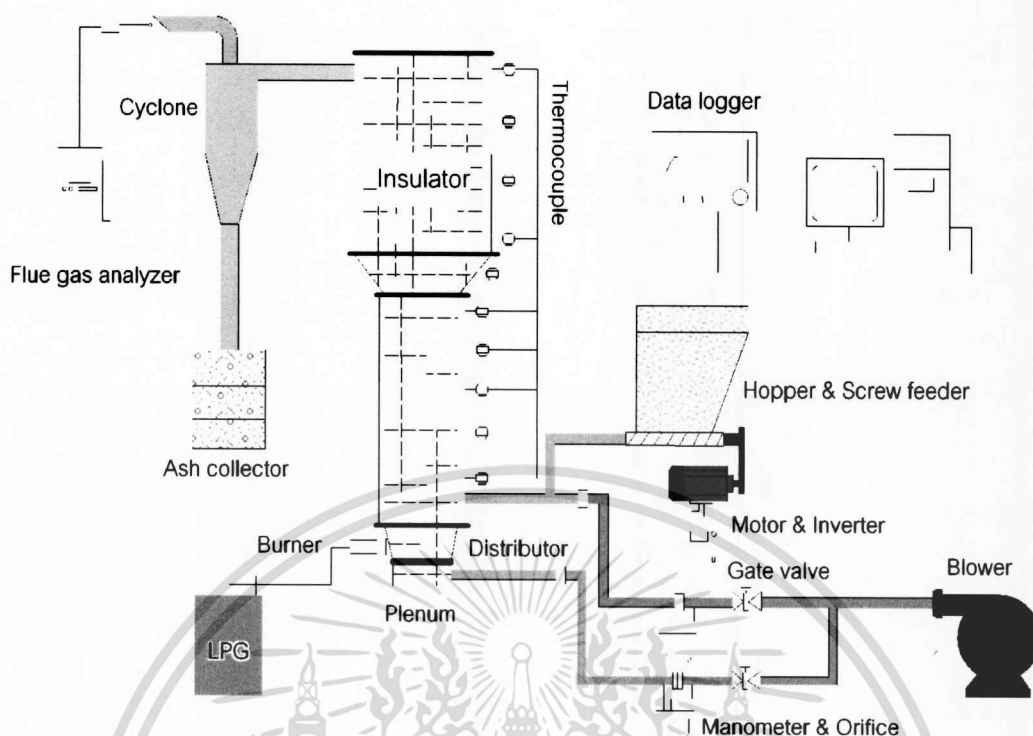


รูปที่ 2.12 ลักษณะการติดตั้งครีบที่ใช้ในทดลอง

ผลการทดลองที่ได้พบว่ากรณีที่ติดตั้งครีบบรูปตัววี จำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ $747\text{ }^{\circ}\text{C}$ และประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.20% ในกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววี ครี่วจำนวน 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 ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำทุกกรณีศึกษา

ขั้งขัย [9] งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ทำการติดตั้งครีบโดยวางขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่ครึ่งบนของห้องเผาไหม้ ลักษณะครีบที่ติดตั้งเป็นครีบบรูปตัววีมุม 30° , 45° และ 60° โดยแต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบเป็น 2, 3 และ 4 ครีบ แกลบที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ ($2 \times 8\text{ mm}$) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีระดับคงที่ที่ 7.4 kg/hr และทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 10% , 20% , 30% และ 40% คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ทำการพิจารณาได้แก่ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์กรประกอบก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง

ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ช่วยให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 990°C อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ 490°C ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ โดยมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง $2.20 - 2.99\% \text{Vol}$ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วง $112 - 157 \text{ ppm}$ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง $218 - 267 \text{ ppm}$ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าอยู่ในช่วง $91.80 - 93.80\%$ และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบ โดยจะมีค่าระหว่าง $94.10 - 98.00\%$

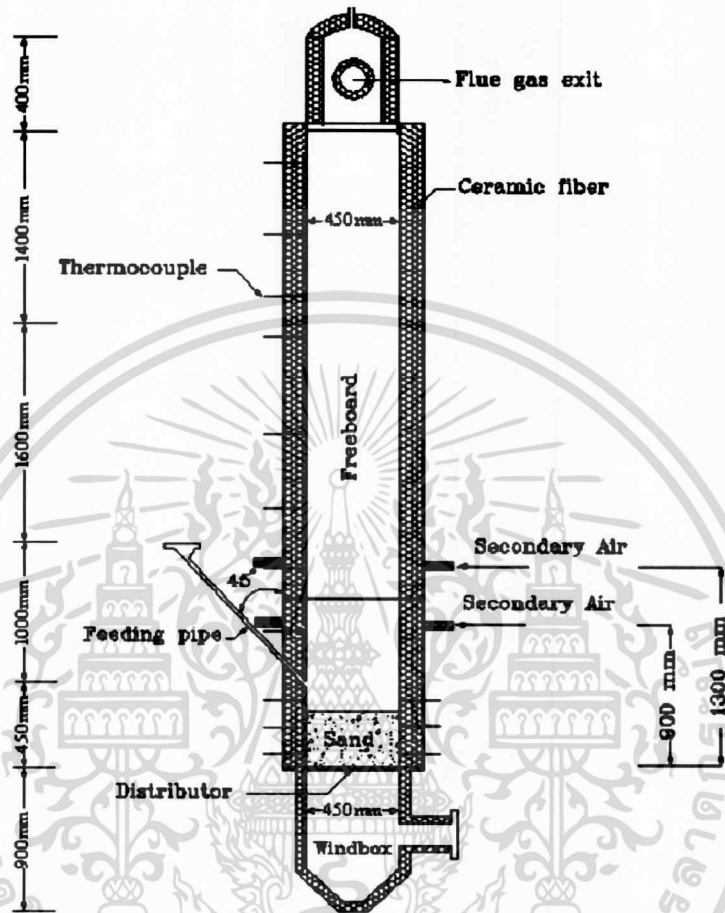
2.3 งานวิจัยต่างประเทศ

Chyang et al. [10] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองถึงผลของชนิดเชื้อเพลิง และเงื่อนไขการทำงานที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน (NO) ของเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดแบบอากาศหมุนวน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 m ซึ่งใช้ แกลบล ถั่วเหลือง และถ่านหินบิทูมินัส เป็นเชื้อเพลิง โดยวัสดุที่ใช้ทำเบด คือ ซิลิกาทราย ผลของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิของเบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อัตราการไหลของอากาศ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน

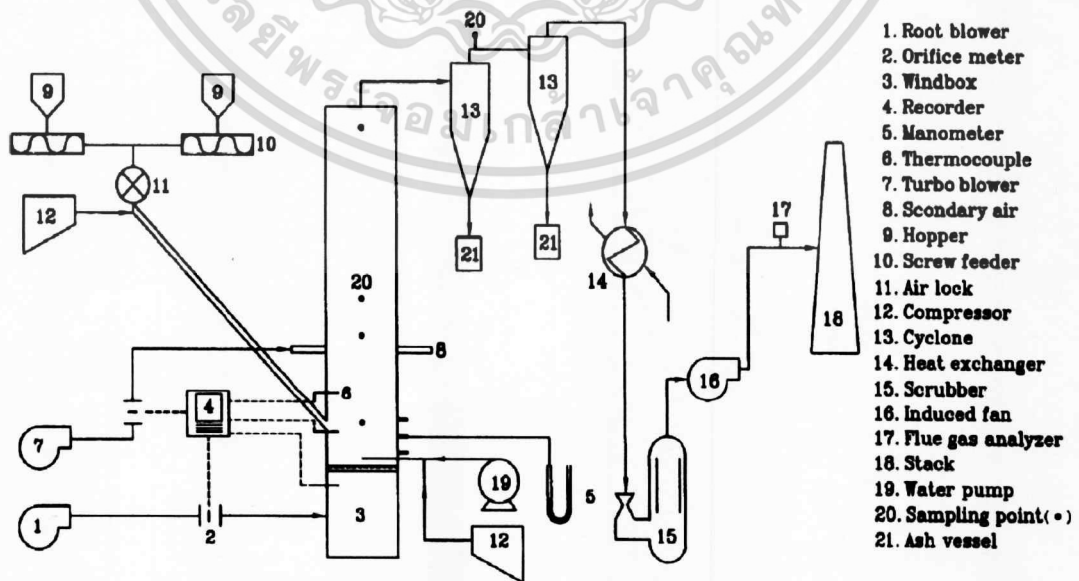
จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อย NO เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเบด และอัตราส่วนอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ปริมาณการปล่อย NO ลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนอากาศทางทฤษฎี และทำงานที่อุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดปริมาณการปล่อย NO สามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวเหลืองลงในเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิภายในเตาต่ำกว่า 850 °C และจากการวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงทำงานของตัวแปรโดยวิธี ของ Taguchi พบว่า อากาศส่วนเกินเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณการปล่อย NO



รูปที่ 2.14 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิด์เบด VFBC



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิด์เบด VFBC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

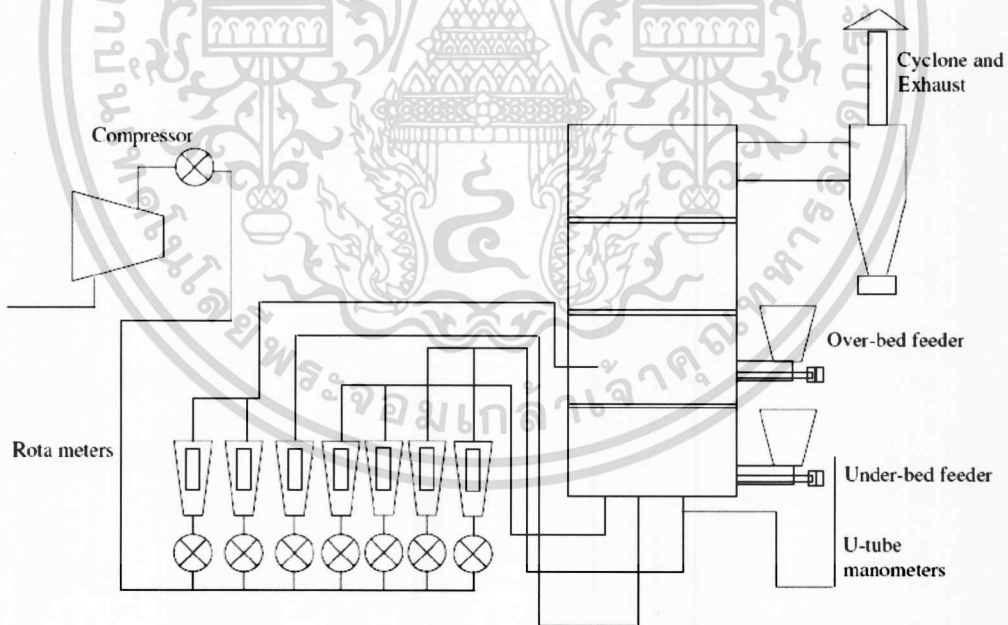
Albina et al. [11] ได้นำเสนอผลของปริมาณการปล่อย CO และ CO₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ เมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดฟลูอิดไอซ์เบต (spout - fluidized bed) ที่แตกต่างกันกล่าวคือทำการทดลองโดยติดตั้งเบตหัวฉีดของไหล (spoutfluid) และติดตั้งเบตหัวฉีดหลายอัน (multi spout) เพื่อดูผลของปริมาณ CO และ CO₂ ที่ปล่อยออกมา ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงในการทดลองก็จะประกอบด้วย อากาศส่วนเกิน อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ และตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

จากการทดลอง พบว่า จากการติดตั้งเบตหัวฉีดหลายอันและตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบตมีการปล่อยปริมาณ CO ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบต แต่ผลของ CO₂ นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

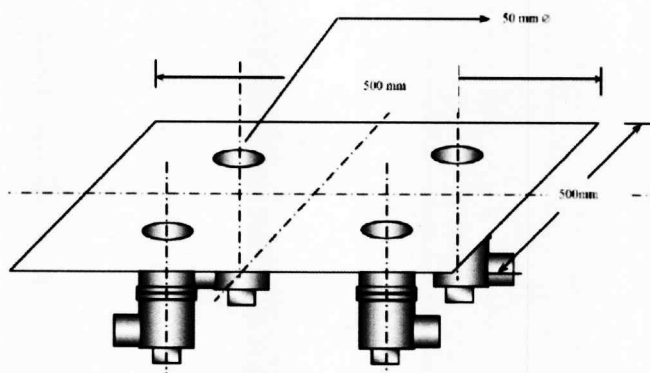
การเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกินมีผลต่อปริมาณการปล่อยทั้ง CO และ CO₂ เมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดหลายอัน พบว่า ปริมาณ CO น้อยมากที่อากาศส่วนเกิน 10% ที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบต และปริมาณ CO น้อยมากที่อากาศส่วนเกิน 20% ที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบตตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อปริมาณ CO และ CO₂ เมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดของไหล

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบตจะสูงกว่าเล็กน้อยกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบต

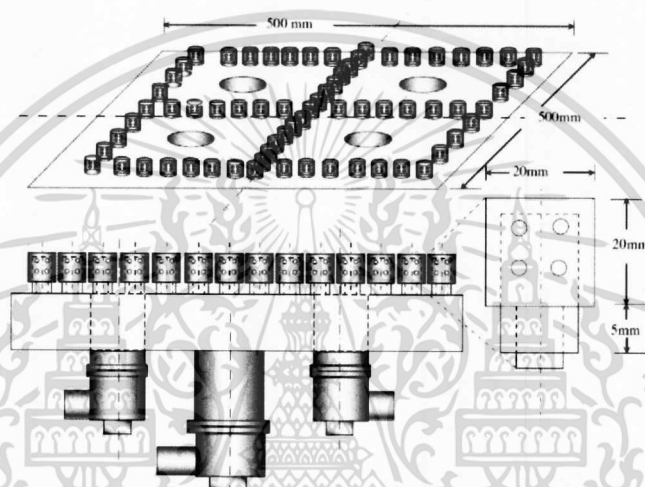
ปริมาณของ CO สำหรับการติดตั้งเบตหัวฉีดของไหลจะน้อยกว่าเมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดหลายอัน และประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดของไหลสูงกว่าเมื่อติดตั้งเบตหัวฉีดหลายอัน



รูปที่ 2.16 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบต



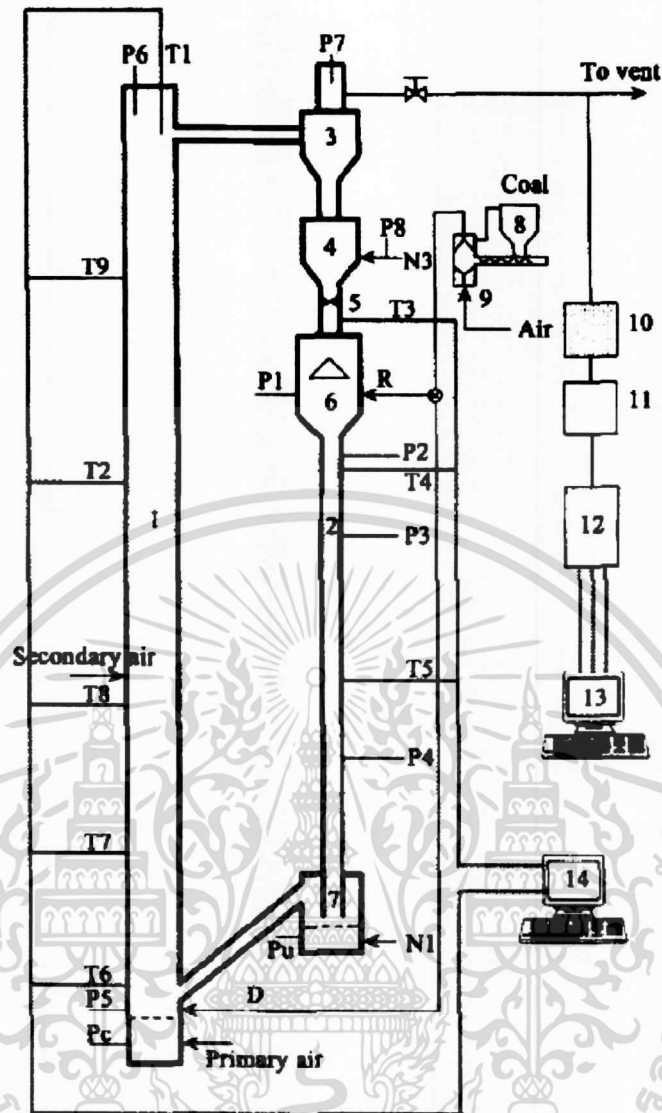
รูปที่ 2.17 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิด์เบด



รูปที่ 2.18 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spout fluid ฟลูอิด์เบด

XIE et al.[12] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปล่อยปริมาณ SO_2 , NO และ N_2O จากการเผาไหม้ของถ่านหินร่วมกับชีวมวลในเตาเผาฟลูอิด์เบดแบบหมุนเวียนโดยการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการปล่อยของ SO_2 , NO และ N_2O เช่น เปรอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินปริมาณชีวมวลที่ใช้ และตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (1) combustor, (2) downer, (3) cyclone, (4) particles hopper, (5) butterfly valve, (6) solid-solid Mixer, (7) U-type valve, (8) screw feeder, (9) pneumatic feeder, (10) filter, (11), water trap, (12) gas analyzer, (13) gas concentration acquisition station, (14) temperature acquisition station

รูปที่ 2.19 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิดซ์เบด CFB

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณชีวมวลที่ใช้รวมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการปล่อย CO เพิ่มมากขึ้น เพราะชีวมวลนั้นมีองค์ประกอบของสารระเหยสูง ในขณะที่ปริมาณชีวมวลที่ใช้รวมลดลง จะทำให้ปริมาณการปล่อย SO_2 จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลักษณะของการเพิ่มขึ้นระหว่างปริมาณของ SO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์ (sulfur) จะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจากตำแหน่งอยู่สูงไปยังตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่า พบว่า ปริมาณการปล่อย NO ลดลงแต่ปริมาณของ SO_2 ไม่เปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจะมีผลต่อปริมาณการปล่อย SO_2 , NO และ N_2O โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง R จะพบว่าปริมาณการปล่อย NO และ NO_2

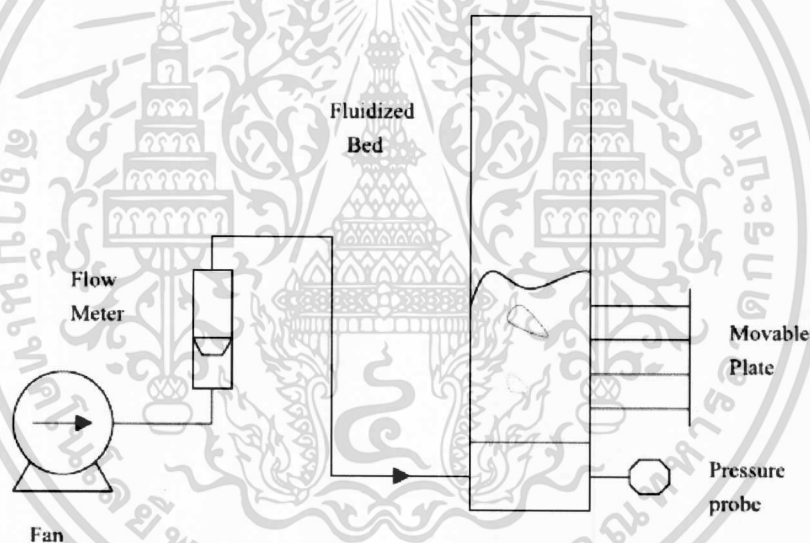
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

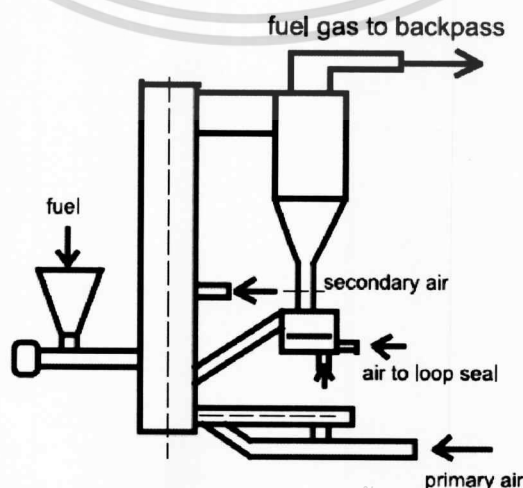
จะลดลง และเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง D ปริมาณการปล่อย NO และ N_2O จะลดลง

Fang et al.[13] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอส์เบดแบบหมุนเวียนจากรายงานได้แนะนำถึงการทดลอง แบบ cold model แสดงถึงการเกิดฟลูอิดไอส์ของแกลบที่ค่อนข้างยาก จึงได้ทำการปรับปรุงให้เกิดการฟลูอิดไอส์ให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มซิลิกอนทราย และถ่ายหินเข้าไป ผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทราย ความเร็วก๊าซ และเศษส่วนมวล มีผลต่อการผสมของแกลบ ซึ่งจะสามารถผสมได้ดี ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรายอยู่ในช่วง 0.3 – 0.8 mm. และความเร็วก๊าซอยู่ในช่วง 0.8 – 2 m/s จากการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน พบว่าแกลบสามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิเพียง 340 °C ต่ำกว่าถ่านหินมาก

จากการทดลอง จะพบว่า ความเร็วของก๊าซและอากาศมีผลอย่างมากต่อการเผาไหม้ของแกลบ ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าสูงกว่า 97% ส่วนประกอบคาร์บอนในขี้เถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 3% - 8%, ปริมาณ CO อยู่ระหว่าง 200 - 800 ppm, ปริมาณ SO_2 อยู่ระหว่าง 50 - 100 ppm, ปริมาณ NO_x อยู่ระหว่าง 150 - 220 ppm



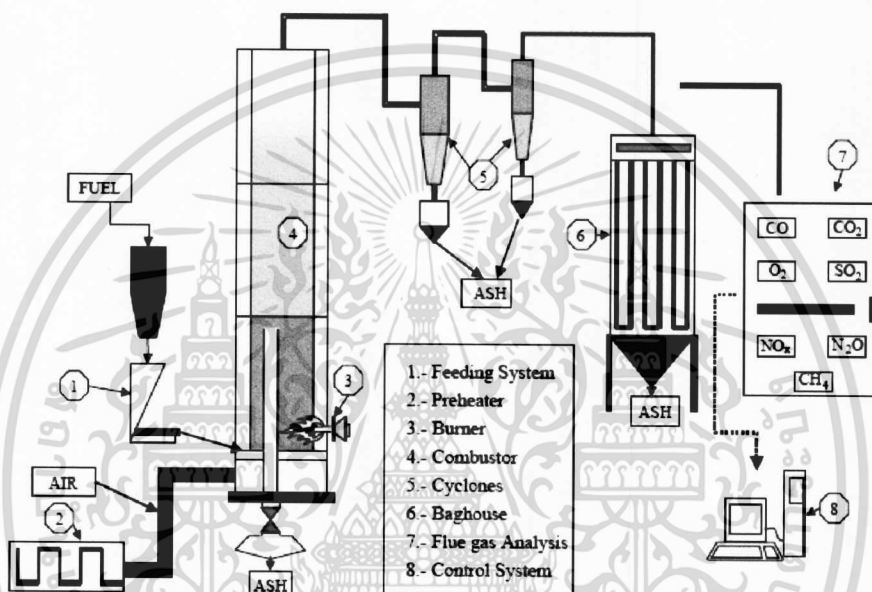
รูปที่ 2.20 การทดสอบ cold state ฟลูอิดไอส์เบด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.21 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิดไอส์เบด CFB ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Armesto et al.[14] ได้ทำการทดลองและศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดในช่วงที่มีการผสมผสาน และไหลเวียนของอนุภาคอย่างรุนแรง (bubbling fluidized bed) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชันที่มีผลต่อประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อย CO ที่เกิดจากการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้มีค่าสูงกว่า 97% ปริมาณการปล่อย CO ระหว่างที่ทำการทดลองมีปริมาณสูงกว่า $1,000 \text{ mg/Nm}^3$ และโปรไฟล์อุณหภูมิภายในเตาเผาามีผลอย่างมากทั้งต่อการปริมาณการปล่อย CO และประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวิเคราะห์ซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่า เมื่อชั่วโมงการเผาไหม้นานขึ้น ปริมาณของ โพตัสเซียม (potassium) จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.22 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด (bubbling fluidized bed)

2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เซชันของเชื้อเพลิงแกลบจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ สามารถสรุปแนวทางการพัฒนาการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพอสังเขปได้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เซชันของเชื้อเพลิงแกลบ

อ้างอิงงานวิจัย	แนวคิดและสมมุติฐานงานวิจัย	ผลการทดลอง
ผูนลาวงษ์ [2]	-ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบ และมีปริมาตรขนาดใหญ่	-พบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 9 kg/hr และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 60% ให้คุณลักษณะการเผาไหม้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีทดลอง

อ้างอิงงานวิจัย	แนวคิดและสมมุติฐานงานวิจัย	ผลการทดลอง
		อื่น ๆ สัดส่วนลมหลักเท่ากับ 40% ให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีที่สุดซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ระหว่าง 700 - 750 องศาเซลเซียส
Kaewkaokiet [3]	- ศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์ที่มีขนาดเล็กเตาทรงสี่เหลี่ยม	-พบว่าที่ค่าเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.1 kg/min ความเร็วอากาศต่ำจะทำให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยพบว่า CO ₂ มีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 5 %vol, CO มีค่าอยู่ระหว่าง 200 - 2800 ppm และ NO _x มีค่าอยู่ระหว่าง 150 - 220 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าอยู่ระหว่าง 91.0 - 99.44 % โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดเกิดขึ้นกรณีความเร็วอากาศเป็น 0.637 m/s
โชคเพิ่มพูน [7]	-ศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของผิวคลื่นของเตาเผาฟลูอิดซ์เบดทรงสี่เหลี่ยม โดยติดตั้งครีบริบตัววีมุม 30°, 45° และ 60° ที่ผนังห้องเผาไหม้เปรียบเทียบกับห้องเผาไหม้ผิวเรียบ -การติดตั้งครีบริบที่ผนังเตาเพื่อเป็นตัวสร้างการเหนียวน้ำเพื่อเพิ่มการปั่นป่วนของเชื้อเพลิง และอากาศ -ครีบริบที่ติดตั้งจะลดการหลุดลอยของเชื้อเพลิง	-พบว่ากรณีการติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้นโดยเตาเผาจะมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ 660°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 960°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 213-287 ppm C ₂ O อยู่ระหว่าง 2.14-3.37 %Vol ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 107-153 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97.8 - 99.4% สูงกว่ากรณีไม่ติดครีบริบที่มีประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 94.3 - 95.6%
สุวรรณพันธุ์ [8]	-ศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดทรงสี่เหลี่ยมที่ผนังห้องเผาไหม้ติดครีบริบสามเหลี่ยม ที่มี	-พบว่ากรณีที่ติดครีบริบตัววีจำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงงานวิจัย	แนวคิดและสมมุติฐานงานวิจัย	ผลการทดลอง
	<p>ลักษณะแตกต่างกัน คือ ครีบทัววี, ตัววีคว่ำ และต้ววีคว่ำคู่ ภายในห้องเผาไหม้</p> <p>-รูปทรงของครีบลักษณะไหนที่จะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เหมาะสมที่สุด</p>	<p>ประมาณ 747°C และประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98.20% ในกรณีติดครีบทัววีคว่ำคู่จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 778°C และ 759°C ตามลำดับ</p> <p>ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98.7% และ 98.8% ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำทุกกรณีศึกษา</p>
ซังชัย [9]	<p>-ศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของลักษณะครีบทัววี และจำนวนครีบโดยติดตั้งชุดครีบในแนวขวางตามแนวทแยงภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดซ์เบดทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่งผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ</p>	<p>-พบว่าการติดตั้งครีบทัววีมุม 45° จำนวน 3 ครีบที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 990 °C ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาสูงสุดประมาณ 750 °C อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ 490 °C</p> <p>ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98 % ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน</p>

ตารางที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเตาฟลูอิดซ์เบด

อ้างอิงงานวิจัย	รูปทรง และขนาด (mm)	ความสูง (m)	ลักษณะฉนวน	ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิง
ผุณลาวงษ์ [2]	เตาทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ 200 mm. พรีบอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm.	ความสูงรวม 2.1 m.	เซรามิกไฟเบอร์	สกรูลำเลียง และ นิวแมติกลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงงานวิจัย	รูปทรง และขนาด (mm)	ความสูง (m)	ลักษณะฉนวน	ลักษณะการป้องกันเชื้อเพลิง
Kaewkaokiet [3]	เตาทรงสี่เหลี่ยม ห้องเผาไหม้ 200x100 mm. พรีบอร์ด 200x200 mm.	ห้องเผาไหม้สูง 1.00 m. พรีบอร์ดสูง 0.75 m.	เซรามิกไฟเบอร์	สกรูลำเลียง และ นิวแมติกลำเลียง
โชคเพิ่มพูน [7]	เตาทรงสี่เหลี่ยม ห้องเผาไหม้ 300x100 mm. พรีบอร์ด 600x200 mm.	ห้องเผาไหม้สูง 1.1 m. พรีบอร์ดสูง 0.85 m. ความสูงรวม 2.4 m.	เซรามิกไฟเบอร์	สกรูลำเลียง และ นิวแมติกลำเลียง
สุวรรณพันธุ์ [8]	เตาทรงสี่เหลี่ยม ห้องเผาไหม้ 300x100 mm. พรีบอร์ด 600x200 mm.	ห้องเผาไหม้สูง 1.1 m. พรีบอร์ดสูง 0.85 m. ความสูงรวม 2.4 m.	เซรามิกไฟเบอร์	สกรูลำเลียง และ นิวแมติกลำเลียง
ชั่งชัย [9]	เตาทรงสี่เหลี่ยม จตุรัส ห้องเผาไหม้ 200x200 mm. พรีบอร์ด 300x300 mm.	ห้องเผาไหม้สูง 1.00 m. พรีบอร์ดสูง 0.8 m.	เซรามิกไฟเบอร์	สกรูลำเลียง และ นิวแมติกลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎี

3.1 เชื้อเพลิง

3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง

พลังงานจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงอยู่ของโลก ทั้งในระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตและในระบบที่มนุษย์สร้างขึ้นมา รูปแบบที่สำคัญของพลังงานคือ พลังงานเคมี ความร้อนทางกล และไฟฟ้า โดยแหล่งกำเนิดสำคัญที่ให้พลังงานทั้งสี่รูปแบบ คือ เชื้อเพลิง เราใช้เชื้อเพลิงเมื่อต้องการพลังงาน เช่น ความร้อนในการหุงต้ม การขับเคลื่อนทางกลและยานพาหนะ กระแสไฟฟ้าเพื่อความสะดวกสบายในลักษณะต่าง ๆ เป็นต้น

เชื้อเพลิงให้พลังงานออกมาเมื่อเผาไหม้ คือ เปลี่ยนจากพลังงานเคมี ไปเป็นพลังงานความร้อน นิยามของคำว่า “เชื้อเพลิง” คือ สารซึ่งเมื่อเผาไหม้ กับอากาศ หรือ ออกซิเจน แล้วให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเกิดการเผาไหม้อยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ในความหมายกว้าง ๆ เชื้อเพลิงเป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ออกซิเดชัน) แล้วได้ผลผลิตหลักเป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในธรรมชาติได้พื้นพิภพ หรือ เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuels) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงต้นกำเนิดเหล่านี้

เชื้อเพลิงจากธรรมชาติอีกกลุ่มหนึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิตทั้ง สัตว์ มนุษย์ และชุมชนเมือง รวมเรียกว่า เชื้อเพลิงจากชีวมวล (Biomass fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย มูลสัตว์ ขยะ กากอุตสาหกรรมบางประเภท และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นธาตุหลัก เชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม คือเชื้อเพลิงจากใต้พิภพ หรือ เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ และเชื้อเพลิงจากชีวมวล โดยเฉพาะเชื้อเพลิงจากชีวมวล คืออีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านการเผาไหม้ เพราะฉะนั้น จึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ในการที่จะเลือกใช้เชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ และมีประสิทธิภาพ รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการทดลองและวิจัยต่อไป

3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง จำแนกตามสถานะได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากทั้งในธุรกิจ อุตสาหกรรม และครัวเรือน ทั้งนี้เพราะความสะดวกและสะอาด ที่มาของเชื้อเพลิงก๊าซอาจได้จากใต้พิภพโดยตรงในรูปแบบของก๊าซธรรมชาติ หรือ จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เชื้อเพลิงประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้ม ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากทั้งในธุรกิจ อุตสาหกรรมเช่นเดียวกับเชื้อเพลิงก๊าซ ในประเทศไทยเชื้อเพลิงเหลวเกือบทั้งหมดได้มาจากการกลั่นน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิโตรเลียม อาจกล่าวได้ว่าเรารู้จักเชื้อเพลิงเหลวกันเป็นอย่างดีโดยเฉพาะในด้านของการขนส่งและการเดินทางด้วยพาหนะต่าง ๆ ในชื่อ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เชื้อเพลิงประเภทนี้มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม แอลกอฮอล์ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ เป็นต้น

3. เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ถ่านหิน ฟืน ถ่านไม้ แกลบ ชี้เลื่อย ชานอ้อย ฟางอ้อย เศษวัสดุต่าง ๆ เป็นต้น

เชื้อเพลิง แบ่งตามแหล่งกำเนิด ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ หมายถึง เชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากพืชสัตว์ หรือจากการทับถมของซากพืช ซากสัตว์ เป็นเวลานานนับล้านๆ ปี (fossil fuel) เชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องแปรรูปก็ได้ เช่น ฟืน ถ่าน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน ชี้เลื่อย แกลบ เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงแปรรูป หมายถึง เชื้อเพลิงที่ต้องผ่านกระบวนการในการผลิตก่อนจึงจะนำมาใช้ประโยชน์ได้

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวลแปลมาจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า “Biomass” ประกอบด้วยคำสองคำคือ ชีว และ มวล ชีวคือสิ่งมีชีวิตเช่นมนุษย์ พืชและสัตว์ ส่วนมวลคือวัตถุสิ่งของต่างๆ ดังนั้นชีวมวลหมายถึงวัตถุ หรือ สสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตเช่น ข้าวสาร รำ แกลบ รวมไปถึงเศษกิ่งไม้ ใบหญ้าในป่า วัสดุ หรือเศษเหลือทิ้งของพืชที่เกิดจากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมูลสัตว์จากฟาร์มปศุสัตว์และสิ่งปฏิกูล ขยะอินทรีย์ที่เป็นของเหลือทิ้งของชุมชน เป็นต้น แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินได้มาจากการทับถมซากพืชและสัตว์เป็นระยะเวลาหลายร้อยล้านปี ไม่ถือว่าเป็นชีวมวล เพราะไม่ได้มาจากสิ่งที่มีชีวิต อีกความหมายหนึ่งของชีวมวลคือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ ซึ่งมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย

3.2.2 การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) เป็นการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของสารอินทรีย์จากชีวมวลจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เช่น การใช้ไม้ฟืนในการหุงต้ม ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้
2. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านและไม้ ให้เป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปแบบแก๊ส ซึ่งแก๊สที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในหรือนำไปใช้ในกระบวนการให้ความร้อนต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า
4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้
 - กระบวนการทางชีวภาพ โดยการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน
 - กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีโดยสกัดน้ำมัน ออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางเคมี เช่น ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล
 - กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาวะไร้ออกซิเจนจะเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลว และก๊าซผสมกัน

3.2.3 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ความชื้น (moisture) คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสสารชีวมวลส่วนมากจะมีปริมาณความชื้นในระดับค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรหากต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 %
2. สารที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) โดยสารที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือสารระเหย (Volatiles matter) และคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
3. สารที่เผาไหม้ไม่ได้ (Noncombustible substance) โดยสารที่ไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ภายในชีวมวล เรียกว่า ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้า ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบ และฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20 % ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้ และกำจัดพอสมควร

3.2.4 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ คือ

1. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (Forest biomass) ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ กิ่งไม้ และขี้เลื่อย เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีลิกนินอยู่ประมาณร้อยละ 40
2. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร (Agricultural biomass) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ แกลบข้าว, ชังข้าวโพด, ฟางข้าว ซึ่งเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำประมาณร้อยละ 0 - 20
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (Industrial biomass) ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ได้จากการผลิตน้ำตาล คือ ขานอ้อย กากสับประรด ซึ่งเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (Domestic waste) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะที่ทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน เป็นต้น

3.2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะอย่างคุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดด้อยดังนั้นถ้าจะนำชีวมวลใดมาใช้งาน จะต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับชีวมวลนั้นๆ เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด

1. การกระจายตัวของแหล่งชีวมวลรูปแบบการกระจายตัวของแหล่งชีวมวล มี 2 ลักษณะคือ อยู่รวมเป็นกลุ่ม และอยู่กระจัดกระจายชีวมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่มคือเศษชีวมวลจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงสีข้าว, โรงงานผลิตน้ำตาลทราย, โรงงานแปรงมันสำปะหลัง, โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา เป็นต้น ที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ และเศษไม้-ปลายไม้จากสวนป่ายางพารา เป็นต้น ส่วนการนำชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า จะมีข้อเสียเปรียบคือเสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น
2. ขนาดขนาดของชีวมวลเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้อง พิจารณา ถ้าชีวมวลมีขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้หรือปลายไม้จากสวนป่ายางพารา และปึกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็น เชื้อเพลิงโดยตรงเพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำดังนั้นควรจะนำมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นแต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน
3. ความชื้นความชื้นของชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงถ้าชีวมวลมีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล้า ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80-90% ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบ (Dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผาหรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ในกรณีของเศษไม้มีความชื้นประมาณ 50-60% ถ้านำมาเก็บไว้ล่วงหน้าระยะหนึ่งความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ เสียพื้นที่ในการจัดเก็บและถ้าเก็บไว้นานไปไม่มีโอกาสสุกได้
4. สิ่งเจือปนสิ่งเจือปนในชีวมวลมีหลายอย่างเช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้นสิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มาก คือ สารอัลคาไลน์ ในทะเลาะปาล์ม เพราะเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อไอน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ
5. ปริมาณขี้เถ้าปริมาณขี้เถ้าของชีวมวลมีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณขี้เถ้า 16% โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชีวมวล

Proximate analysis	แกลบ	กะลามะพร้าว	ชานอ้อย	ซังข้าวโพด
Moisture, %	1.03	1.15	2.77	10.52
Ash, %	19.14	0.83	3.08	1.84
Volatile Matter, %	65.41	80.98	86.09	83.41
Fixed Carbon, %	15.45	18.19	10.83	14.62
Heating Value (kJ/kg)	16,588	18,119	19,088	19,341

เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันด้วย โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงสุดสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล (กิโลกรัม)	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	
	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ฟืน	3,820	15,989
ถ่าน	6,900	28,881
กากอ้อย	1,800	7,534
แกลบ	3,440	14,398
ขี้เลื่อย	4,000	16,742

ที่มา : กระทรวงพลังงาน (2549)

เชื้อเพลิงชีวมวลที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงส่วนมากนั้นจะเป็น ขี้เลื่อย และแกลบ ซึ่งมีค่าความร้อนสูงสามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น มีราคาถูก สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้เชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากข้าว โดยในประเทศไทยนั้นมีการปลูกข้าวจำนวนมากทั้งในภาคเหนือ อีสาน และภาคกลาง ปัจจุบันมีการนำแกลบมาใช้ประโยชน์ทางด้านความร้อน เช่น ใช้ในการหุงต้ม การเผาอิฐ และผลิตถ่านแกลบ เป็นต้น

3.2.6 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

แนวคิดในการนำชีวมวลมาใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานนั้นนับเป็นเรื่องที่ดี แต่พบว่าในทางปฏิบัติยังมีปัญหาและข้อจำกัดบางประการอยู่ โดยสรุปข้อดี และข้อเสีย ของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้ ดังนี้

ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ชีวมวลส่วนใหญ่จะได้มาจากกากของเหลือ การนำชีวมวลมาเป็นแหล่งพลังงานถือเป็นการนำกากของเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และถือยังเป็นการกำจัดกากของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลดภาระค่าใช้จ่ายในการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดกากของเหลือ
3. พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานสะอาดก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมน้อย

ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ปริมาณชีวมวลที่มีความไม่แน่นอน เนื่องจากแหล่งที่มาของชีวมวลคือภาคการเกษตรซึ่งต้องขึ้นอยู่สภาพฤดูกาล
2. ชีวมวลมีความหลากหลาย และมีแหล่งที่มาที่กระจุกกระจาย ทำให้เป็นการยากในการรวบรวมชีวมวลแต่ละชนิดที่จะนำไปใช้ประโยชน์
3. เนื่องจากข้อด้อยของชีวมวลบางชนิด เช่น มีค่าความชื้นสูงทำให้นำไปใช้ต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อน

3.3 การเผาไหม้ [15,16]

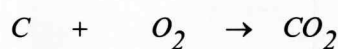
3.3.1 นิยามการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ภายในเชื้อเพลิง ซึ่งสารเผาไหม้ได้ประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ไม่ใช่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้น (chain initiation) ด้วยการแตกตัวของโมเลกุลในเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา จากนั้นอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่ได้จากโมเลกุลอื่นๆ เป็นปฏิกิริยาต่อลูกโซ่ (chain propagation) สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายและอนุมูลอิสระที่ไม่มี ความว่องไวในการทำปฏิกิริยา เป็นการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain termination) พบว่าหากพิจารณาปฏิกิริยาการเผาไหม้ในระดับจุลภาคนั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการพิจารณาปฏิกิริยาในระดับมหภาคโดยเฉพาะ ผล และปฏิกิริยา นั้นจะช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณความร้อน และองค์ประกอบของก๊าซในสารผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

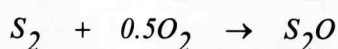
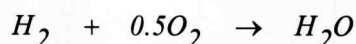
การพิจารณาในภาพรวมของปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนแบ่งเป็นกรณี ดังนี้

- กรณีการไหม้สมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยา



- กรณีการไหม้ไม่สมบูรณ์ (บางส่วน) จะเกิดปฏิกิริยา

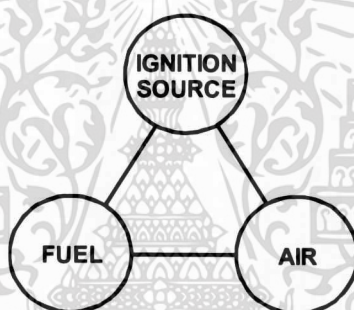
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $C + 0.5O_2 \rightarrow CO$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ้าหากเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบที่เป็นไนโตรเจน จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์ และหากใช้อากาศในการทำปฏิกิริยาจะมีไนโตรเจนจากอากาศกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ด้วย แต่เนื่องจากการออกซิไดซ์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมาก ดังนั้นจึงเกิดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในสารผลิตภัณฑ์ก๊าซไอเสียน้อย ในการพิจารณาทั่วไปจะไม่นำมาคิด นอกจากจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

3.3.2 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นั้นประกอบด้วยตัวทำปฏิกิริยา คือ เชื้อเพลิง และอากาศ ซึ่งจะต้องอาศัยสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแหล่งกำเนิดความร้อนเบื้องต้นหรือแหล่งจุดไฟซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นแก่เชื้อเพลิงและออกซิเจน อากาศในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้



รูปที่ 3.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน สามารถคำนวณปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาใดๆ ได้หลายวิธี เช่น คำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยาที่สภาวะมาตรฐาน หรือ คำนวณจากความร้อนของการเกิดของสารใดๆ ที่สภาวะมาตรฐาน

3.3.3.1 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (heating value, HV) มีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สภาวะมาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาตินั้นไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยา หรือความร้อนของการเกิดที่สภาวะมาตรฐานได้ เนื่องจากไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองในเครื่องมือที่ เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงเหลว และแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำไหลผ่าน (water flow calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ การแสดงค่าความร้อนมี 2 วิธี

1. ค่าความร้อนรวม (total heating value, THV) คือ ปริมาณความร้อนที่จะให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ออกมาหลังจากกระบวนการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิริยา และค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ภายใต้ความดันหนึ่งบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง และที่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ อยู่ในรูปของน้ำ (ของเหลว) หรืออาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นสูง (higher heating value, HHV) หรือ ค่าความร้อนทั้งหมด (gross heating value, GHV)

2. ค่าความร้อนสุทธิ (net heating value, NHV) คือ ปริมาณความร้อนที่จะให้ออกมาหลังจากกระบวนการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิริยา และสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ภายใต้ความดันหนึ่งบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง และที่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ อยู่ในรูปของไอน้ำ หรืออาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นต่ำ (lower heating value, LHV)

ดังนั้นจะพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้งสอง คือค่าความร้อนของกลายระเหยของน้ำทั้งหมด (ทั้งที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้และที่มีในเชื้อเพลิง) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.3.3.2 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก

อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก คือ อุณหภูมิสุดท้ายภายหลังไอที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อน และใกล้เข้าสู่สภาวะสมดุลเคมีภายใต้ความดันคงที่และไม่มี การสูญเสียความร้อน อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติกขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิเริ่มต้น และองค์ประกอบก๊าซไอดี

3.3.4 การคำนวณการเผาไหม้

ในกระบวนการการเผาไหม้ต้องการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ คือ เพื่อประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ความร้อนสูงสุดจากเผาไหม้และเพื่อป้องกันมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงต้องใช้สภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากที่สุด สภาวะหนึ่ง คือการใช้อากาศส่วนเกิน (excess air) เพื่อให้โมเลกุลที่เกิดจากแตกตัวของเชื้อเพลิงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นต้องทราบปริมาณอากาศที่ต้องการทางทฤษฎีก่อนโดยการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.3.4.1 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงจะดำเนินการตามมาตรฐานสากลเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบภายในเชื้อเพลิง การวิเคราะห์แบ่งลักษณะการดำเนินการตามสถานะของเชื้อเพลิงดังนี้

- ก๊าซเชื้อเพลิง ดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบ ความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อน
- เชื้อเพลิงเหลว ดำเนินการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ จุดวาบไฟ จุดหยุดไหล จุดชุน ค่าความร้อน เส้นโค้งการกลั่นและสิ่งเจือปน
- เชื้อเพลิงแข็ง ดำเนินการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 กระบวนการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้มีเชื้อเพลิงและอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา และสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยก๊าซไอเสียและกากของแข็งหรือเถ้า (กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง) โดยองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ได้นั้นขึ้นกับกระบวนการการเผาไหม้ว่ามีความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาหรือไม่ แต่ในการคำนวณมวลหรือปริมาณของตัวทำปฏิกิริยานั้นจะต้องพิจารณากระบวนการการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สามารถคำนวณได้โดยใช้มวลสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์

ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุในกรณีเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว หรือข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกรณีเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ นำมาคำนวณปริมาณออกซิเจน หรือปริมาณอากาศทำปฏิกิริยาพอดีกับเชื้อเพลิง (อากาศที่ต้องการทางทฤษฎี) และนำมาคำนวณสารผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากปฏิกิริยา มวลสารสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นความสัมพันธ์โดยโมล ดังนั้นต้องทำการแปลงหน่วยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงให้อยู่ในของกิโลโมล หรือโมลก่อนที่จะนำมาคำนวณ

3.3.4.3 อากาศส่วนเกิน

กระบวนการการเผาไหม้ต้องการปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ความเหมาะสมจะก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีการสูญเสียความร้อนในรูปองค์ประกอบของก๊าซและส่วนที่ยังเผาไหม้ได้ออกจากระบบ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (potential heat loss) เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอน เป็นต้น แต่ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ปริมาตรอากาศส่วนที่เกินพอที่เข้ามาจะออกไปจากระบบโดยไม่ได้ทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาตรรวมของพลูแก๊สเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อน เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss)

3.3.5 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้

1. ไอดีสตอยคิโอเมตริก (stoichiometric mixture) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อมวลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการเผาไหม้ทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้
2. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio) คืออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้
3. อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) เป็นปริมาณไร้หน่วยที่บอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์อยู่ห่างไกลจากค่าทางทฤษฎีมากน้อยเพียงใด
4. ร้อยละอากาศทางทฤษฎี (percent theoretical air) หรืออัตราส่วนอากาศ (air ratio) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นร้อยละเท่าไรของปริมาณอากาศทางทฤษฎี หรือตามสตอยคิโอเมตรี ของการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ร้อยละอากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นร้อยละเท่าไรโดยคิดอากาศทางทฤษฎีที่ค่าเท่ากับ 100

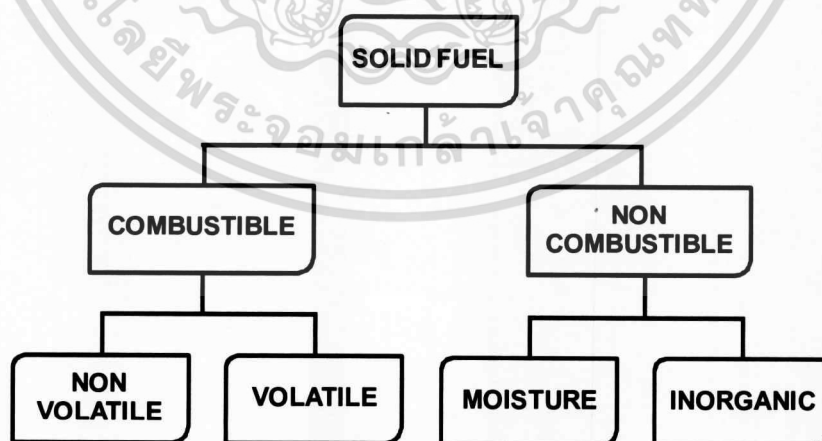
3.3.6 ปัจจัยที่มีสำคัญต่อกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

- ระยะเวลา (time) หมายถึงช่วงเวลาของเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในส่วนที่มีการเผาไหม้ต้องมีระยะเวลาที่นานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้ได้มากที่สุด
- อุณหภูมิ (temperature) หมายถึงระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอยู่ในระดับสูงเพียงพอเพื่อทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้เองได้อย่างต่อเนื่อง
- กระแสการไหลของของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะต้องอยู่ในลักษณะปั่นป่วน (turbulence) เพื่อให้เชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศสามารถคลุกเคล้ากันได้ดี
- ปริมาณอากาศที่เพียงพอ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนในอากาศกับเชื้อเพลิง

3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

3.4.1 องค์ประกอบเชื้อเพลิงแข็ง

การพิจารณาในภาพรวมถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนั้น พบว่าเชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ และส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ โดยส่วนสามารถเผาได้นั้นแบ่งเป็นส่วนที่เป็นกลุ่มสารระเหย และกลุ่มที่ไม่ใช่สารระเหยซึ่ง ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้นั้นแบ่ง ความชื้น และกลุ่มสารอนินทรีย์ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็ง

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็งจะมีความยุ่งยากเพราะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ การวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยละเอียดจึงยุ่งยากและไม่มีความจำเป็น จึงนิยมใช้การวิเคราะห์เป็นกลุ่มองค์ประกอบในเชื้อเพลิงแทนการวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นแบบต่างๆ ดังนี้

3.4.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis)

การวิเคราะห์ประเภทนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงร้อยละขององค์ประกอบภายในเชื้อเพลิง แบ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่คาร์บอนคงตัวและสารระเหยซึ่งส่วนประกอบส่วนนี้สามารถเกิดการเผาไหม้ได้เรียกว่า ส่วนที่เผาไหม้ได้ (combustibles) และสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เรียกว่า สารเฉื่อย (inerts) ประกอบด้วยความชื้นและเถ้า การวิเคราะห์แบบประมาณเพื่อทราบถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนั้นมีลำดับขั้นตอนการพิจารณา ดังนี้

- ความชื้น (moisture, M) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการอบเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะที่ทำให้ปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงเกิดการระเหยตัว
- เถ้า (ash, A) เป็นน้ำหนักที่ยังคงอยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายใต้สภาวะที่ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ที่สมบูรณ์
- สารระเหย (volatile Matter, VM) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการอบเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาวะที่ทำให้ปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงเกิดการระเหยตัว โดยน้ำหนักนี้หักปริมาณความชื้นออกแล้ว
- คาร์บอนคงตัว (fixed Carbon, FC) เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ได้จากการพิจารณา ดังนี้

$$%FC = 100 - (%M + \%A + \%VM)$$

3.4.2.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

การวิเคราะห์ประเภทนี้เป็นการวิเคราะห์ที่ระบุถึงปริมาณธาตุองค์ประกอบภายในเชื้อเพลิง โดยระบุในลักษณะหลักอ้างอิงแห้งและไม่คิดเถ้า ดังนี้ ปริมาณคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) จะคำนวณจากปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในภาชนะปิดที่บรรจุออกซิเจนไว้อย่างเพียงพอ ปริมาณไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) จะถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีการทางเคมี ส่วนปริมาณออกซิเจนจะได้จากค่า 100 หักออกด้วยปริมาณธาตุ C, H, N และ S

3.4.2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งจะแสดงในหน่วยของความร้อนต่อมวล การระบุค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งต้องระบุหลักอ้างอิงสภาวะของเชื้อเพลิงด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงตามสภาพที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นจริง คือรวมความชื้น รวมเถ้า หรือไม่รวมความชื้น ไม่รวมเถ้า หรืออื่นๆ เพราะมีผลต่อค่าความร้อนและการนำไปใช้ การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งกระทำโดยวิธีบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์

3.4.2.4 อุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า

การดำเนินการหาอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า นั้นจะกระทำตามมาตรฐานที่กำหนดตามแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง การทราบอุณหภูมิหลอมเหลวมีความจำเป็นต่อการออกแบบระบบเผาไหม้และการกำหนดสภาวะในการเผาไหม้

3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

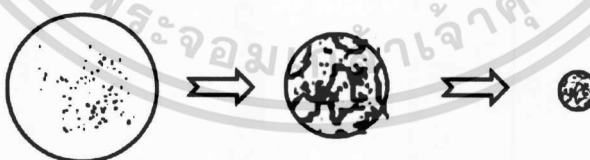
แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบจำลอง Progressive conversion ใช้อธิบายกระบวนการการเผาไหม้ที่ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขนาดของเชื้อเพลิงไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้แล้ว ไม่เกิดเถ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม เช่น การเผาไหม้แร่กำมะถัน



รูปที่ 3.3 แบบจำลอง Progressive conversion

2. แบบจำลอง Unreacted core ใช้อธิบายกระบวนการการเผาไหม้ที่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้แล้วขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป เช่น ไม้, แกลบ, ถ่านหิน เป็นต้น



รูปที่ 3.4 แบบจำลอง Unreacted core

3.4.4 กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงแข็งได้รับความร้อน (preheating) จะเกิดการระเหยของสารระเหยที่มีภายในเชื้อเพลิง (devolatilization) ต่อจากนั้นจะเกิดกระบวนการการเผาไหม้ของสารระเหย (volatile combustion) ความร้อนส่วนหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการการเผาไหม้ของสารระเหยจะถูกถ่ายเทให้แก่ผิวเชื้อเพลิง และมีการถ่ายโอนสารระเหยสู่เปลวไฟอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้สารระเหย ก็จะตามด้วยกระบวนการการเผาไหม้ของคาร์บอนแข็ง (char combustion) อันเนื่องมาจากการแพร่ของออกซิเจนเข้าหาผิวของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห่ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนจนทำให้คาร์บอนเกิดการเผาไหม้ร้อนแดงขึ้นที่ผิวเมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้ของคาร์บอนแข็งจะเหลือสารส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้คือเถ้า นับเป็นการสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง โดยสิ่งที่มีผลต่ออัตราความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งได้แก่

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์มและชั้นเถ้า
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นเถ้ากับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นเถ้าจะสูงกว่าชั้นฟิล์มมาก ดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้
5. ความต้านทานรวมซึ่งรวมทั้งความต้านทานของก๊าซฟิล์มชั้นเถ้า และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.5 ฟลูอิดิเซชัน [17]

ฟลูอิดิเซชัน (fluidization) เป็นนิยามที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคของแข็งถูกกระทำให้มีพฤติกรรมคล้ายของไหลภายใต้กระแสการพองของก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านกลุ่มอนุภาคของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่งโดยมีการถ่ายเทมวลสารความร้อนและปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

3.5.1 ประเภทของฟลูอิดิเซชัน

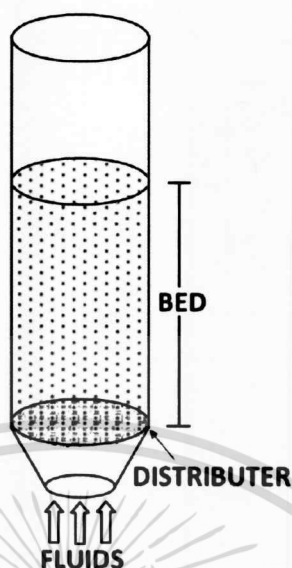
กระบวนการฟลูอิดิเซชันสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองรูปแบบ คือ

1. ฟลูอิดิเซชันสองสถานะ (two-phase fluidization) หมายความว่า ในหอตลอดหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะคือของแข็งกับของไหลของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดิเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ
 1. ก๊าซฟลูอิดิเซชัน (gas fluidization)
 2. ฟลูอิดิเซชันของของเหลว (liquid fluidization)
2. ฟลูอิดิเซชันสามสถานะ (three-phase fluidization) หมายความว่า ภายในหอตลอดจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกัน คือ ของแข็งของเหลว และก๊าซ สำหรับฟลูอิดิเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดิเซชันสองสถานะ

3.5.2 ลักษณะฟลูอิดิเซชันเบด

เบด (bed) หมายถึง อาณาเขตในหอตลอดที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ไม่ว่าอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอตลอด โดยนับระดับตั้งแต่แผ่นกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุดคือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอตลอดดัง รูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ระดับของเบดในหอทดลอง

ปรากฏการณ์ฟลูอิดิเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหลชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบดลักษณะของแผ่นกระจายของไหลเมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันภายในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังรูปที่ 3.6 ได้แสดงลำดับลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดิเซชันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล โดยสรุปได้ดังนี้ คือ

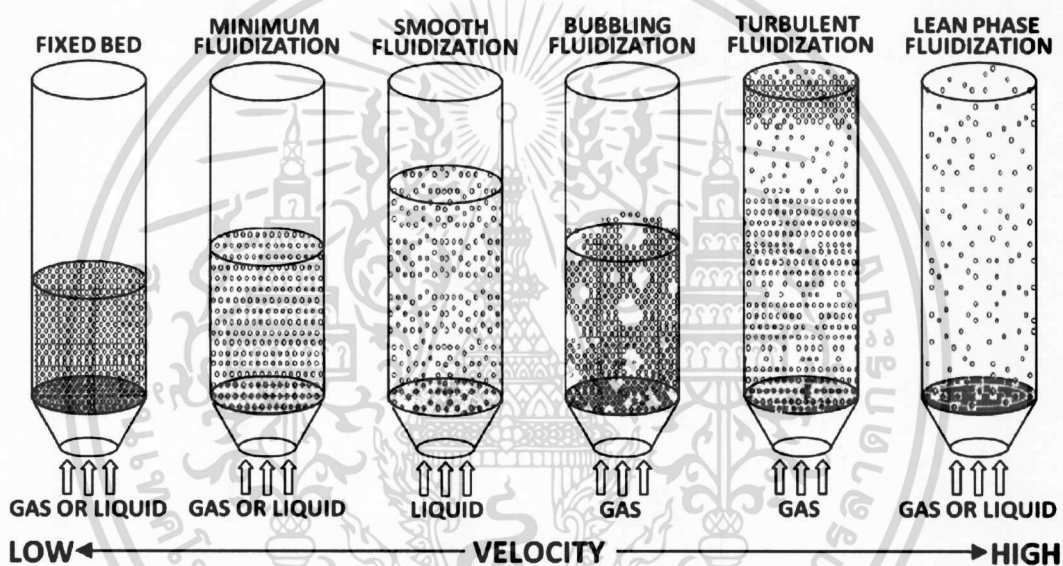
1. กลุ่มอนุภาคของแข็งมีกระแสของของไหลที่มีค่าความเร็วต่ำๆ ไหลผ่านของไหลดังกล่าวจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่ง เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed)
2. เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ห่างออกจากกันและเคลื่อนที่ในบริเวณจำกัด เบดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (expanded bed)
3. จากสภาวะที่ผ่านมา ถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นสภาวะที่น้ำหนักของเบดจะเท่ากับแรงเสียดทานที่ของไหลกระทำต่ออนุภาคของแข็งที่สภาวะนี้เองอนุภาคของแข็งจะเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในกระแสของของไหล เรียก สภาวะนี้ว่าจุดต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดิเซชัน (minimum fluidization หรือ incipiently fluidized bed) ค่าความเร็วของของไหลที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน (minimum fluidizing velocity, U_{mf})
4. เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของของไหลให้มีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน พิจารณาสภาวะที่เกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ของไหลเป็นของเหลวเบดจะมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ ระยะห่างระหว่างอนุภาคของแข็งจะค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งเบด คุณสมบัติเช่นนี้เรียก homogenous fluidization ดังรูป สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซจะเกิดการแทรกตัวผ่านของก๊าซในรูปแบบฟอง (gas bubbles) ที่ความเร็วสูงขึ้นความปั่นป่วนของเบดจะเพิ่มมากขึ้น ระดับของเบดจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายตัวเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระดับของเบตนั้น จะเรียกเบตในลักษณะนี้ว่า bubbling fluidized bed หรือ heterogeneous fluidization

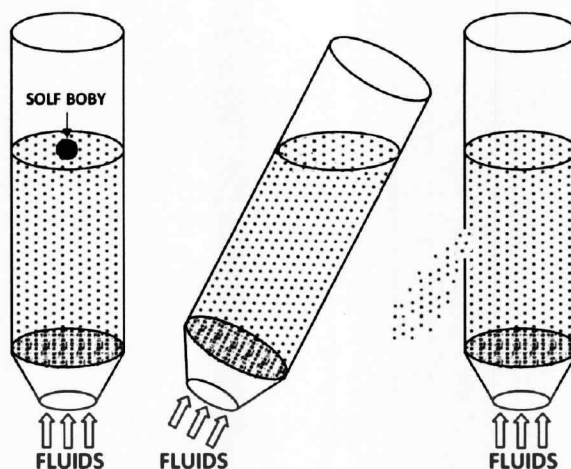
5. สำหรับกรณีของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจนเลยค่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาคของแข็ง (terminal velocity) จะมีการสูญเสียอนุภาคของแข็งออกจากระบบมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกพาให้เคลื่อนที่ตลอดความสูงของหอ โดยจะพบอนุภาคของแข็งอยู่รวมกันกลุ่มสลับกับช่องว่างของก๊าซที่ขนาดและรูปร่างต่างๆ เรียกเบตลักษณะนี้ว่า เบตปั่นป่วน (turbulent bed)
6. ถ้าเพิ่มความเร็วต่อไปถึงจุดหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้ายของอนุภาคที่มีน้ำหนักมากที่สุด ของแข็งทั้งหมดจะหลุดลอยออกจากหอ เรียกสภาวะนี้ว่า เบตเบาบาง (lean phase fluidized bed)



รูปที่ 3.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิดเซชัน

3.5.3 ลักษณะคล้ายกับของไหลของฟลูอิดเซชัน

ขณะเกิดสภาวะฟลูอิดเซชันในลักษณะหนาแน่นจะพบว่าบริเวณผิวหน้าของเบตจะมีความสม่ำเสมอเหมือนกับผิวหน้าของของไหลเมื่อบรรจุภายในภาชนะ หรือแม้กระทั่งทำการเอียงหอทดลองก็จะพบว่าบริเวณผิวหน้าของเบตยังคงราบเรียบอยู่ แม้แต่ถ้ามีการนำวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของอนุภาคของแข็งจะพบว่าวัตถุดังกล่าวจะลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของเบต ด้วยปรากฏการณ์ดังที่ได้กล่าวมานี้นับเป็นการสนับสนุนให้เห็นว่ากระบวนการฟลูอิดเซชันนั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของแข็งแสดงพฤติกรรมเช่นเดียวกับของไหล



รูปที่ 3.7 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดซ์เซชัน

3.5.4 แผ่นกระจายของไหล

แผ่นกระจายของไหลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายกระแสของของไหลที่มาจากแหล่งกำเนิด และยังทำหน้าที่ป้องกันอนุภาคภายในระบบหลุดลงที่ด้านล่างองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสถานะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือความดันตกคร่อมโดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหลถ้าหากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ดี ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 % ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว

3.5.5 ลักษณะเด่นและข้อจำกัดของฟลูอิดซ์เซชัน

การประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดซ์เบดกับกระบวนการต่างๆ อาทิเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เตาปฏิกรณ์ในงานอุตสาหกรรม เตาเผาเชื้อเพลิง เตาเผาขยะ เครื่องอบแห้งสาร การใช้ในกระบวนการดูดซับและอื่นอีกมากมาย เนื่องจากเทคนิคฟลูอิดซ์เบดมีลักษณะเด่นหลายประการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลักษณะเด่นของเทคนิคฟลูอิดซ์เบด

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิดซ์เบดจะเสียพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเติมเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบตหนึ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบต อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

ถึงแม้ว่าเทคนิคฟลูอิดเบตจะมีลักษณะเด่นหลายประการ แต่เทคนิคนี้ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้างบางประการดังนี้

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบตสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีพอ หรืออนุภาคของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสั่นสะเทือนของหอตลอดหรือเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากระทบกับผนังหอตลอด
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมากจึงต้องใช้เบตสูงๆ หรือเบตหลายๆ ชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบตทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปล่า ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
5. ใช้กับอนุภาคของแข็งที่เปราะหรือเป็นยางไม่ได้เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบต
6. การทำงานมีข้อจำกัดเพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบตไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลงจะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวให้ได้ผลผลิตผลน้อยลง

3.5.6 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดเบต

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอนดังนี้

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 โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

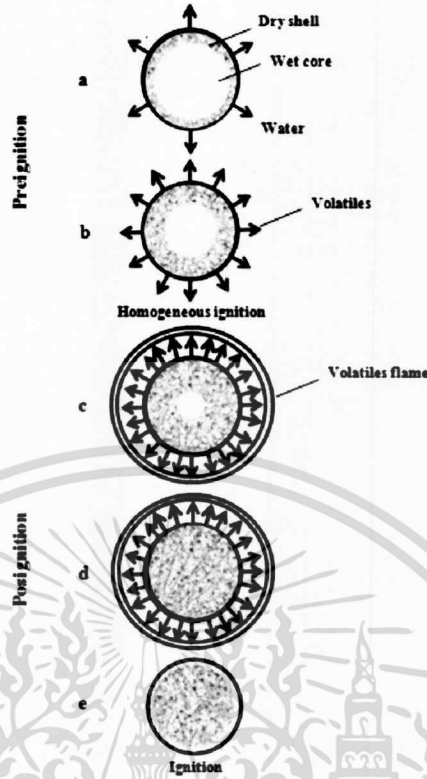
6. Combustion of residual char particle เป็นขบวนการเผาไหม้อนุภาคที่เหลือหลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

3.5.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบด

อุณหภูมิเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงการอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงเกินไป

Wildgger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส

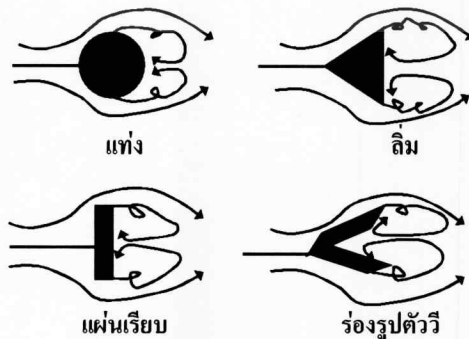
1. Pre-ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะไฟโรไลซิส แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน
 - ขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำอนุภาคใส่ลงในเบดร้อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก และส่วนที่ชื้นอยู่ภายในอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนนานขึ้น ส่วนที่ชื้นจะมีขนาดเล็กลง 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



รูปที่ 3.8 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดซ์เบด

3.6 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับนี้ทำได้โดยการกีดขวางอนุภาคหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดของพื้นที่หน้าตัดของการไหล (Rapid increase in flow area) โดยการนำวัตถุรูปทรงต่างๆไปวางขวางทิศทางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ทำให้เกิดบริเวณที่มีความเร็วต่ำและหมุนเวียนย้อนกลับในกระแสหลักของการไหล การไหลหมุนเวียนย้อนกลับจะทำให้มีเวลามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟด้วยตัวเอง เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และ ช่วยทำให้เกิดการเสถียรของเปลวไฟได้ดีขึ้น



รูปที่ 3.9 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 มลพิษและการควบคุม

สารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ตามทฤษฎีของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติมักเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ผุ่น และเขม่า

3.7.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น สภาพการเผาไหม้ไม่ดีเกินไป การผสมคลุกเคล้าไม่ดีพอ ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นที่สถานะสโตยคิโอเมตริกซึ่งเผาไหม้ภายอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงจนทำให้ CO_2 เกิดการแตกตัวกลับมาเป็น CO

วิธีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สำคัญ คือ การควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อให้การกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.7.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซมลพิษ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์มากกว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ สารมลพิษเริ่มต้น คือ NO ถูกออกซิไดซ์เมื่อพบกับออกซิเจนและโอโซนในบรรยากาศกลายเป็น NO_2 การก่อตัวของ NO_x ในกระบวนการเผาไหม้มีกลไกของการก่อตัวอยู่ดังต่อไปนี้

- Thermal NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส ไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
- Fuel NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส ไนโตรเจนในเชื้อเพลิงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ
- Prompt NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,600 องศาเซลเซียส ไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนจากเชื้อเพลิง โดยผ่านกลไกการเกิด HCN

วิธีการกำจัดก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์หลังจากออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจาก NO มีความเสถียรมากและไม่ละลายน้ำ วิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่เป็นผล จึงใช้วิธีการควบคุมการเผาไหม้ให้เกิด NO_x น้อยวิธีที่ใช้คือ

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจาก NO ในกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ NO_2 ดังนั้นการลดปริมาณอากาศส่วนเกินจะช่วยลดปริมาณ NO_2
- การใช้ระบบเผาไหม้หลายขั้นตอนโดยการจัดให้อากาศเข้าหลายขั้นตอนจะทำให้ อุณหภูมิเปลวไฟต่ำลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิด Thermal NO ลดลง
- การนำฟลูแก๊สกลับมาป้อนใหม่

3.7.3 ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x)

สาเหตุหลักของการเกิดก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ คือกำมะถัน (Sulfur) ภายในเชื้อเพลิง ถึงจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น SO₂ หรือ SO₃ ซึ่งเรียกรวมกันว่า SO_x ก๊าซในกลุ่มนี้มีการกัดกร่อน เนื่องจากการกลายเป็นไอของกรดซัลฟูริกในฟลูแก๊ส โดยไอของกรดนี้สามารถควบแน่นได้ดีกว่าน้ำ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ซึ่งก๊าซหลักที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านนี้คือ SO₃ เนื่องจากความสามารถละลายได้ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ SO₂

วิธีการควบคุมและปริมาณก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์มีดังนี้

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อลดโอกาสการออกซิไดซ์ของ SO₂ ไปเป็น SO₃
- การเติมปูนขาวในขณะเกิดกระบวนการเผาไหม้เพื่อจับ SO_x แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดตรงที่สามารถใช้ได้ผลดีกับระบบที่เป็นฟลูอิดซ์เบดเท่านั้น
- การนำฟลูแก๊สที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ไปผ่านกระบวนการทำความสะอาด นับเป็นวิธีการที่ได้ผลดีที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินสูง กระบวนการนี้เรียกว่า Flue Gas Desulfurization (FGD)

3.7.4 อนุภาคของเถ้า

กระบวนการเผาไหม้จะทำให้เกิดกระแสฟลูแก๊ส ส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในฟลูแก๊สคืออนุภาคของเถ้า เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่หลุดลอยออกไปพร้อมฟลูแก๊ส เพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคเถ้าลอยสู่สภาพแวดล้อมภายนอก จึงจำเป็นต้องมีการดักอนุภาคดังกล่าว

วิธีการดักอนุภาคเถ้าลอยมีดังนี้

- การแยกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาศัยหลักการปล่อยฟลูแก๊สสู่ห้องเก็บฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ ทำให้ความเร็วของอนุภาคลดลงและตกสู่ด้านล่าง
- การแยกด้วยแรงเฉื่อย อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง โดยการทำให้อนุภาควิ่งในทางโค้ง ภายในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไชโคลน อนุภาคจะเกิดแรงดึงออกจากทางโค้งและเมื่อไปปะทะผนัง ความเร็วจะลดลงแล้วตกลงสู่ด้านล่างของไชโคลน

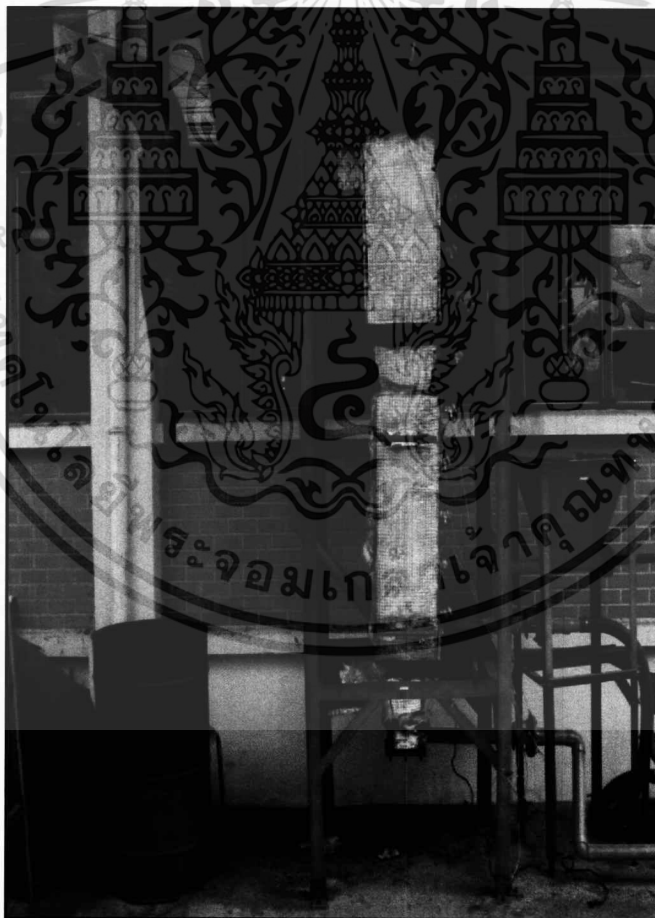
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง

ในการทดลองเรื่องเตาเผาแก๊สฟลูอิดไธด์เบด อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ชุดหลักๆ ดังนี้

- 4.1.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ
- 4.1.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส
- 4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา
- 4.1.4 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย
- 4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง

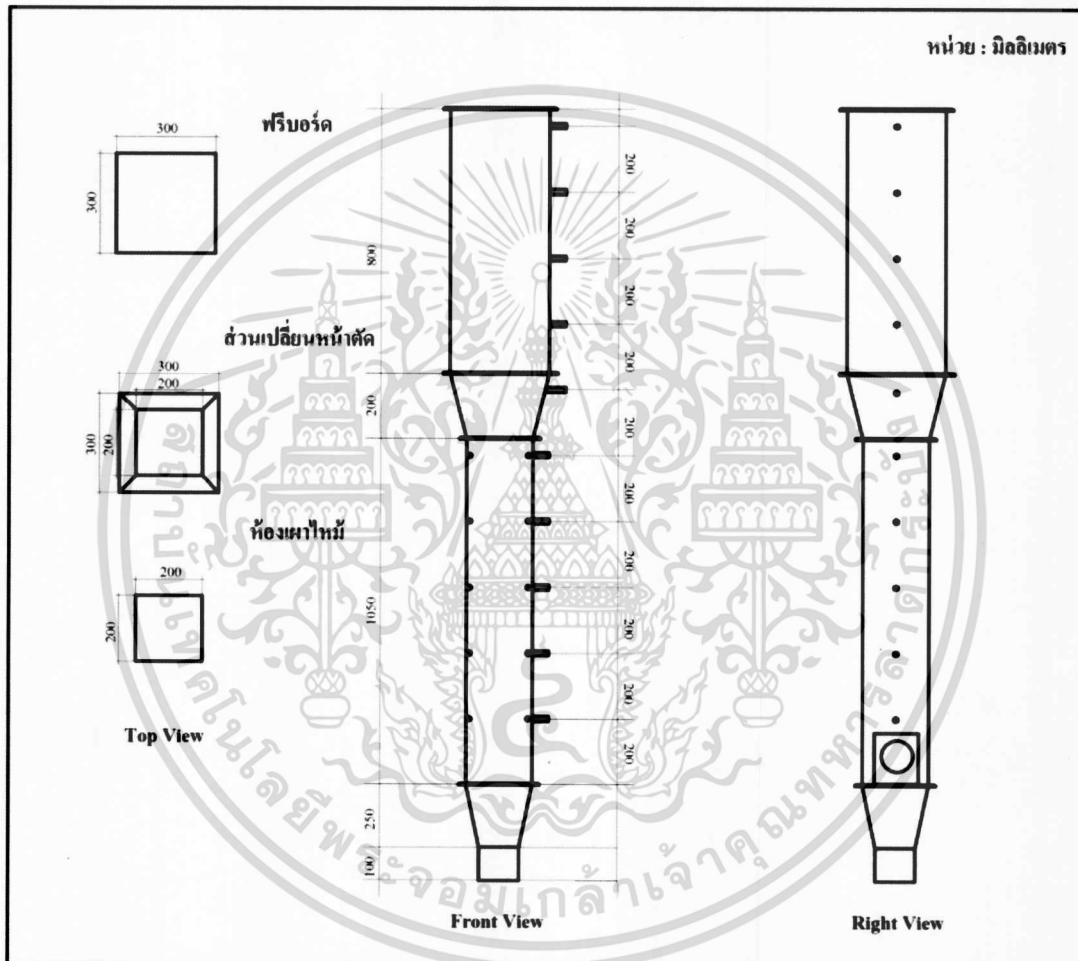
ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ต่อจากนั้นจะเป็นการอธิบายถึง การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองและตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิรวมไปถึงขั้นตอนการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 เตาเผาแก๊สฟลูอิดไธด์เบด

การจัดระบบการทดลองของเตาเผาแสดงดังรูปที่ 4.1 เตาเผาฟลูอิดไธด์เบดทำมาจากเหล็กซึ่งถูกหุ้มฉนวนภายนอก ลักษณะรูปทรงของเตาเป็นเตาทรงเหลี่ยมจัตุรัส มีความสูงของเตาทั้งหมดเท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะขึ้นต้นการค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.38 m ขนาดหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.2×0.2 m และสูงเท่ากับ 1.05 m ในขณะที่ขนาดหน้าตัดของพรีบอร์ดเท่ากับ 0.3×0.3 m และสูง 0.80 m ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 0.25 m และ 0.20 m ตามลำดับ ลักษณะของครีปที่ใช้ในการทดลองทำจากเหล็กฉากเชื่อมติดกันเป็นรูปตัววีความีขนาดความกว้างเท่ากับ 0.25 m ซึ่งจะถูกติดตั้งเข้ามุมในแนวทแยงขวางไว้ภายในห้องเผาไหม้โดยทำมุมกับผนังห้องเผาไหม้เป็นมุม 45° ขนาดของเตาเผาเกลือ และตำแหน่งการวัดค่าระดับของอุณหภูมิภายในเตาเผาทั้งหมด 10 ตำแหน่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

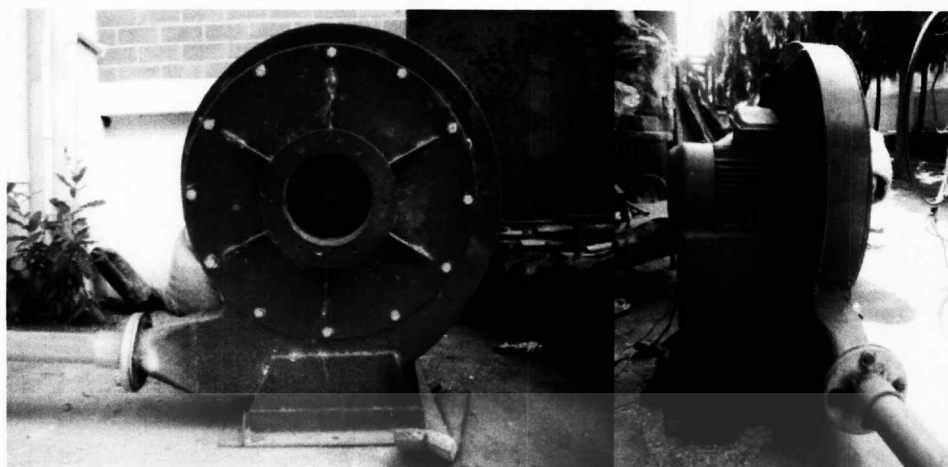


รูปที่ 4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดและตำแหน่งการวัดระดับของอุณหภูมิ

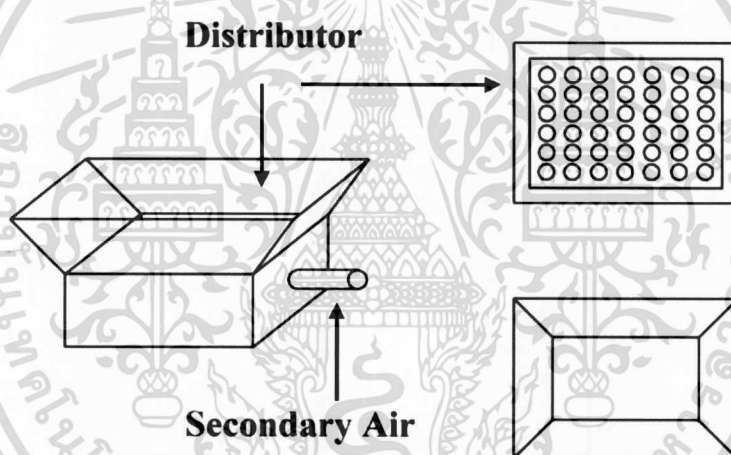
4.1.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ

ชุดอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศกับระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลมคือ Blower โดยอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นอากาศที่ใช้สำหรับพองเกลือภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม และอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาเกลือเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วจากการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น Orifice จาก Manometer ซึ่งปริมาณอากาศแต่ละส่วนนั้นจะทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (Flow Meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณอากาศ

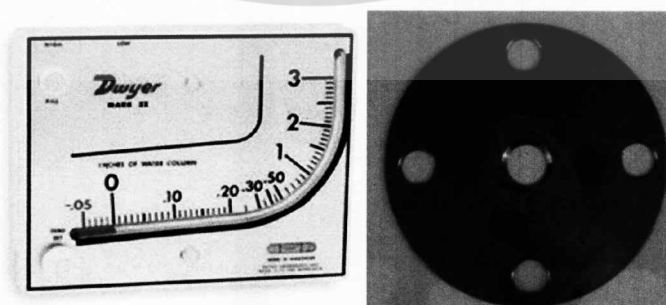
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Blower สำหรับจ่ายลมให้แก่ระบบ



รูปที่ 4.4 แผ่นกระจายของไหล

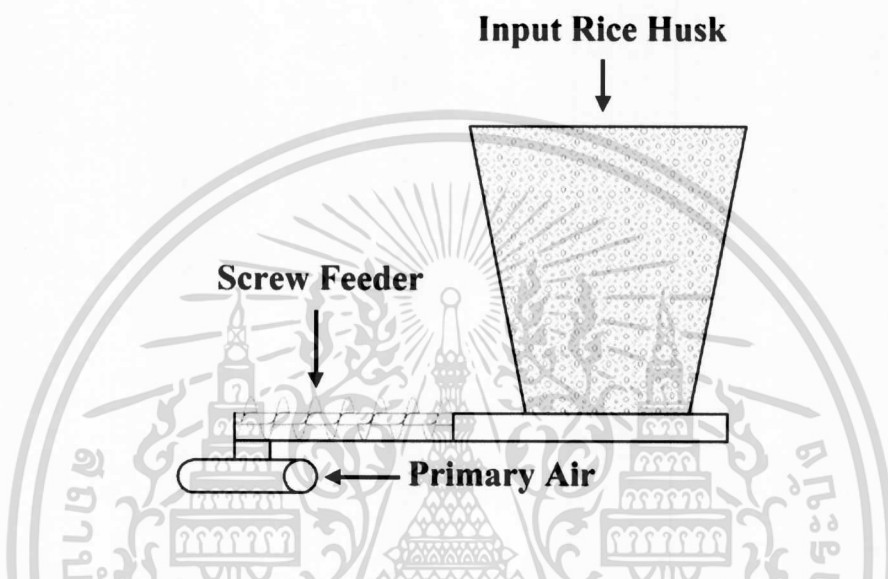


รูปที่ 4.5 มานอมิเตอร์และแผ่นออริฟิสสำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม

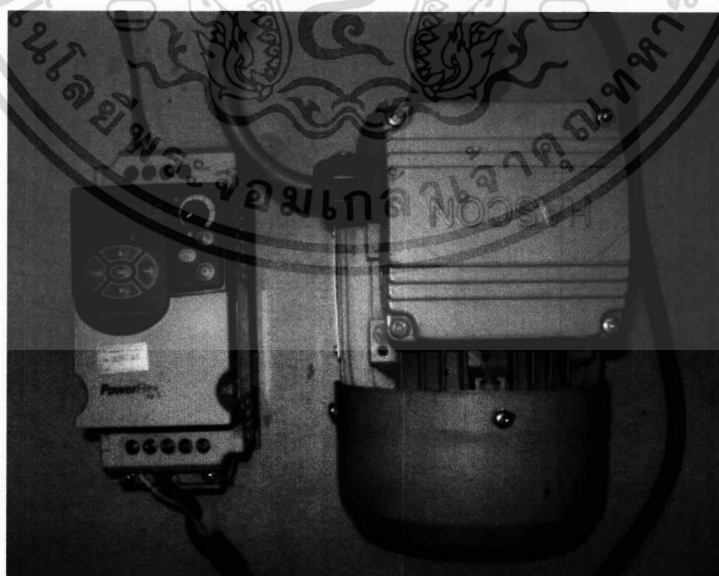
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper ไหลลงสู่รางของ Screw Feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบให้ตกลงสู่ท่อลมที่สำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผาปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ Screw Feeder โดยมี Inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.6 Hopper และ Screw Feed สำหรับบรรจุและป้อนเชื้อเพลิงแกลบ



รูปที่ 4.7 ชุดอุปกรณ์ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา

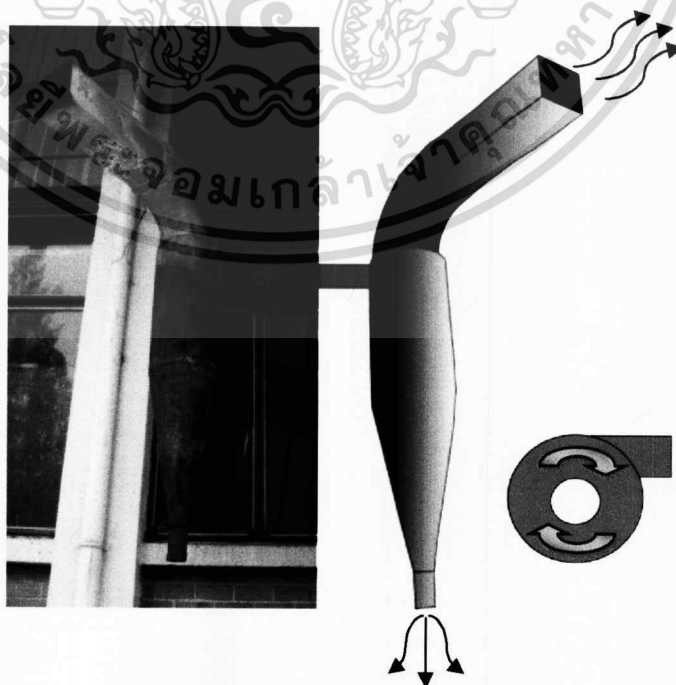
ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ประกอบด้วยเชื้อเพลิง LPG และหัวเผา โดยที่หัวเผาจะถูกต่อเข้ากับบริเวณส่วนของห้องผสมของเตาเผา



รูปที่ 4.8 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น

4.1.4 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย

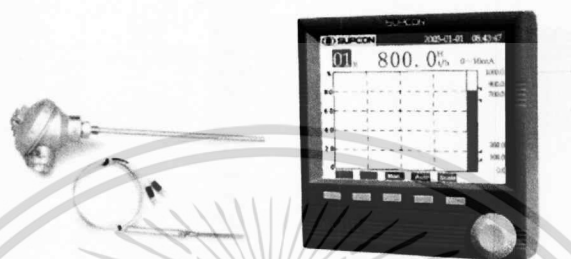
กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบจะเกิดอนุภาคของเถ้าขึ้น โดยอนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผาลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของฟริบอร์ค และเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคของเถ้าไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจึงต้องมีการติดตั้งไซโคลนโดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนควง(vortex) เถ้าลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกปล่อยออกทางด้านล่างของไซโคลน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.9 อุปกรณ์ดักอนุภาคเถ้าลอย (ไซโคลน) ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ทำการพิจารณา ได้แก่ การวัดระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตำแหน่งตามความสูง) จำนวน 10 ตำแหน่ง และตำแหน่งตามแนวแกน จำนวน 2 ตำแหน่ง วัดค่าโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)



รูปที่ 4.10 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ

ส่วนองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่ ทางออกบริเวณส่วนบนของฟริบอร์ตนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ได้ค่าต่างๆ ดังนี้ °C, O₂, CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, HC, CO₂ (NDIR)

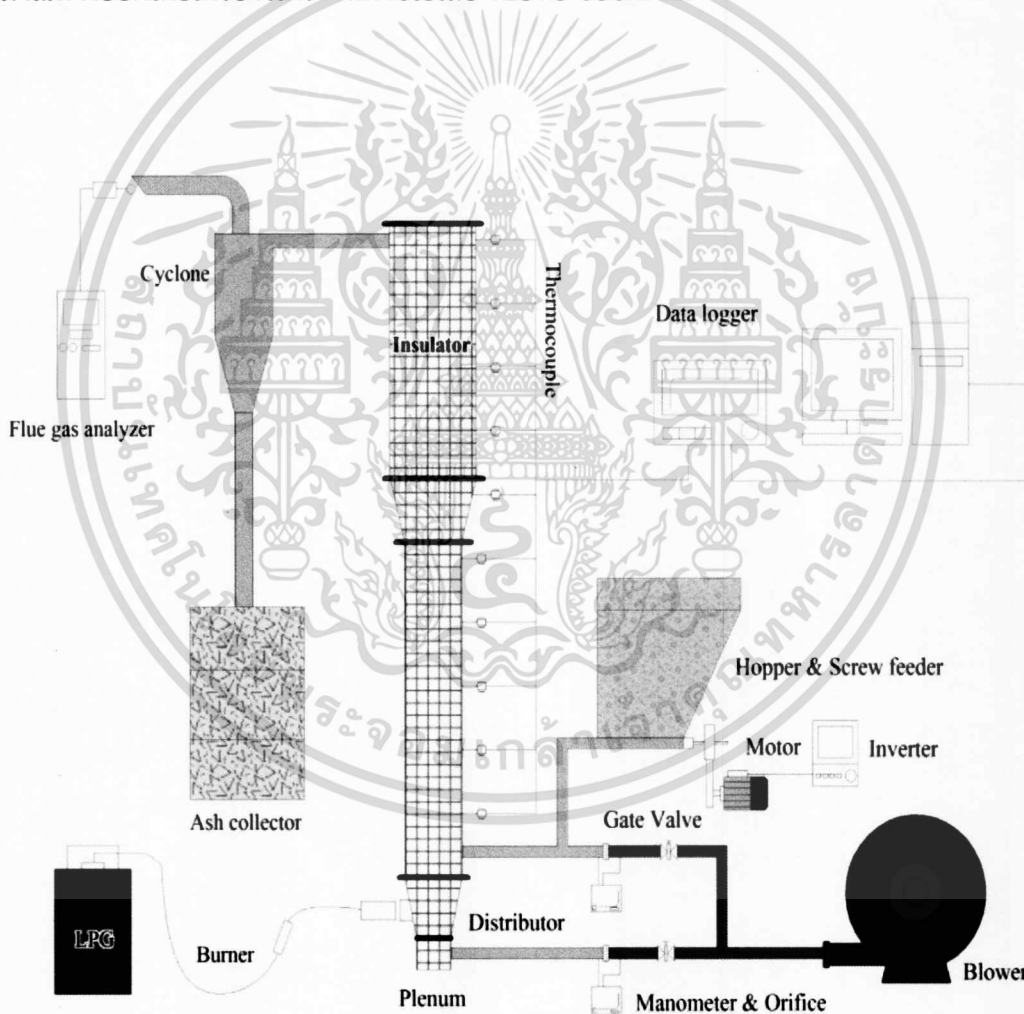


รูปที่ 4.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การติดตั้งและการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง

การทำงานของชุดทดลองจะเริ่มจากแหล่งจ่ายลมคือ Blower ซึ่งลมจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นลมที่ใช้สำหรับพองแกลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลมและอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ปริมาณอากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์ว โดยทำการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice จาก Manometer ส่วนเชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper โดย Screw Feeder ซึ่งควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงโดยการควบคุมความเร็วรอบของ Motor ที่ใช้ขับ Screw Feeder ด้วยการปรับ Inverter ต่อจากนั้นจะเป็นตัวเตาเผาที่ทำการหุ้มฉนวนและที่ทางออกเตาเผาจะมีไซโคลนสำหรับดักอนุภาคแกลบลอย มีชุดหัวเผาและก๊าซ LPG สำหรับอุ่นเตาเผาชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บผลและบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ วัดค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดโดยเทอร์โมคัปเปิ้ลและองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ปริมาณทางออกโดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

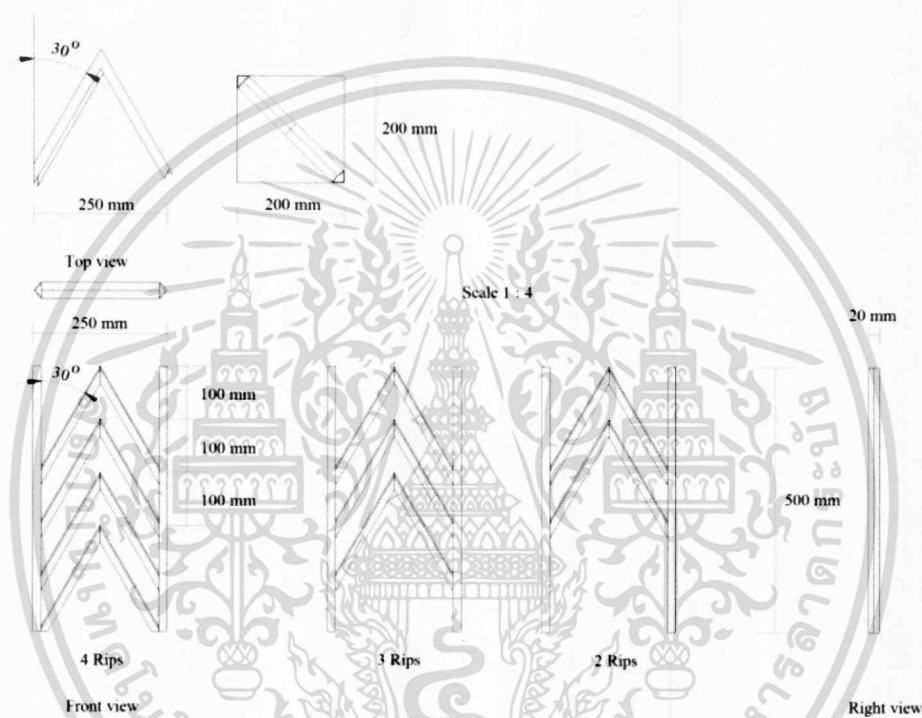


รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ทดลองของเตาเผาแกลบฟลูอิดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

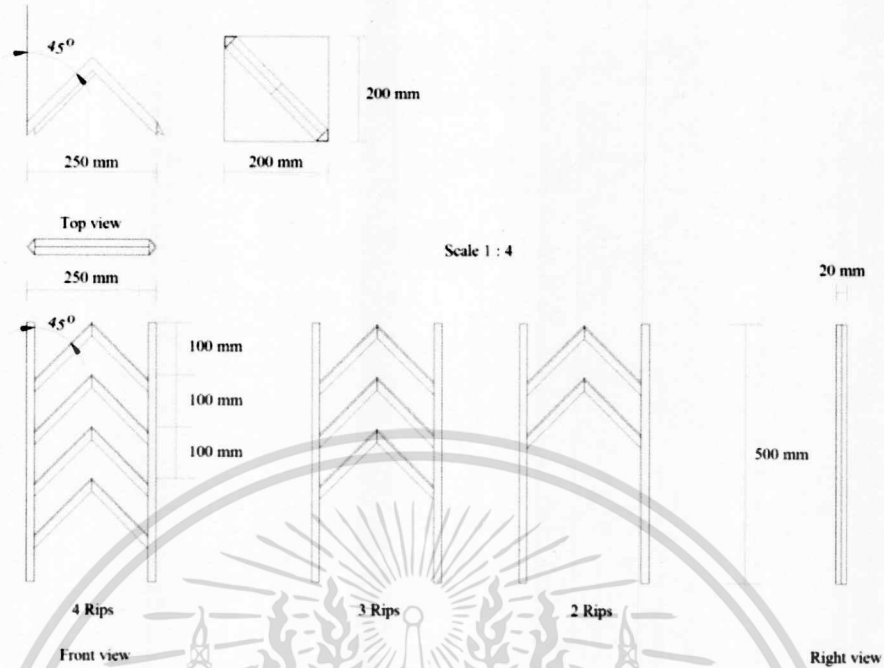
ลักษณะของเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ใช้ในการศึกษาทดลองแบ่งตามลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันได้ ดังนี้

- เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ
- เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ วางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ โดยมีระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 0.10 m มุม 30° จำนวน 2, 3 และ 4 ครีบ ตามลำดับ



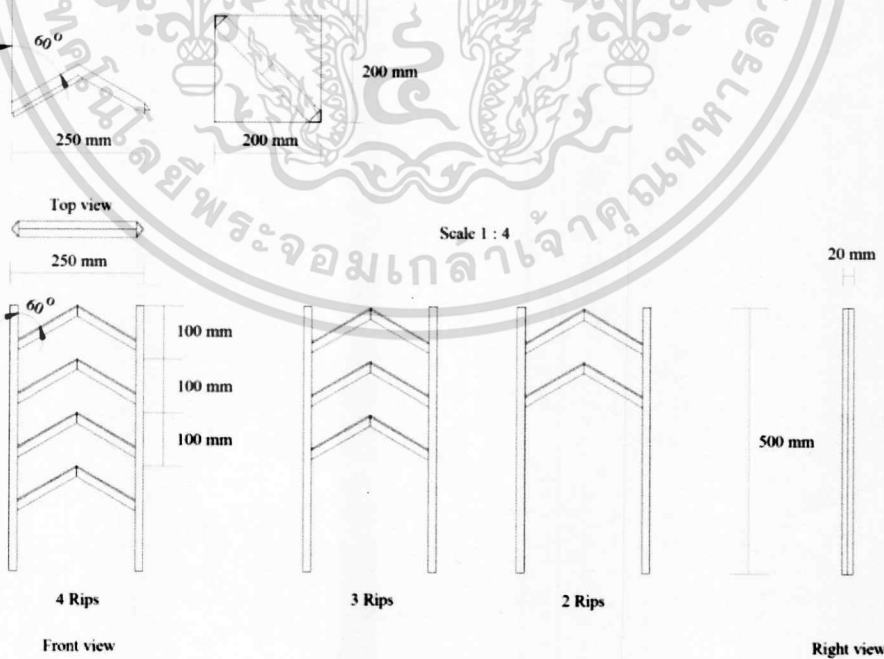
รูปที่ 4.13 ลักษณะครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้มุมวีคว่ำ 30°

- เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ วางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ โดยมีระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 0.10 m มุม 45° จำนวน 2, 3 และ 4 ครีบ ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ลักษณะคานที่ติดตั้งภายในห้องเพาใหม่มุมวิคกว่า 45°

เตาเผาฟลูอิดเบดที่มีลักษณะห้องเพาใหม่ติดตั้งคานสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่า วางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเพาใหม่ โดยมีระยะห่างระหว่างคานเท่ากับ 0.10 m มุม 60° จำนวน 2, 3 และ 4 คานตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ลักษณะคานที่ติดตั้งภายในห้องเพาใหม่มุมวิคกว่า 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของครีบริบและตำแหน่งการติดตั้ง

มุมครีบริบ θ	ขนาดหน้ากว้างครีบริบคิดเป็น 10% ความสูงหน้าตัดห้องเผา ไหม้(mm)	ตำแหน่งการติดตั้ง (mm)*		
		กรณี 2 ครีบริบ	กรณี 3 ครีบริบ	กรณี 4 ครีบริบ
30	20	330.4	430.4	530.4
45	20	230.4	330.4	430.4
60	20	170.8	270.8	370.8

* ระยะอ้างอิงจากตำแหน่งบนสุดของห้องเผาไหม้

4.3 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล

1. จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ 500°C - 550°C จากนั้นเริ่มทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบพร้อมกับอากาศปฐมภูมิสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 700°C - 750°C จึงทำการเอาชุดอุ่นเตาเผาออก
2. ปรับอัตราการไหลของอากาศ 44 kg/hr (การดำเนินการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%) และปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 7.4 kg/hr
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามความสูง จำนวน 10 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิ และวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้สังเกตลักษณะเถ้าลอย
4. ทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวแกนที่กำหนดไว้ตำแหน่งที่ 2 จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3
5. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 48, 52 และ 56 kg/hr (คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ) แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3 - 4 ตามลำดับ
6. ทำการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบริบภายในห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดเบด ตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1 - 5 ตามลำดับ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 บทนำ

จากการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ โดยใช้เตาเผาฟลูอิดเบดทรงสูงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสผลของการกระจายตัวของอนุกรมภายในเตาปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีผลเปลี่ยนแปลงไปนั้น ล้วนเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่ต่างกันเปอร์เซ็นต์ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ถูกนำมาพิจารณาเป็นขอบเขตในการศึกษา ดังนี้

ปัจจัยจากปริมาณอากาศส่วนเกินจะถูกกำหนดเป็นขอบเขตที่ใช้ในการทดลองในทุกกรณีศึกษาที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความเร็วเป็น 0.26 m/s, 0.28 m/s, 0.31 m/s และ 0.33 m/s ตามลำดับ

ปัจจัยจากลักษณะห้องเผาไหม้ ทำการศึกษาทดลองทั้งในกรณีที่ห้องเผาไหม้ไม่มีการติดตั้งครีบบนและห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ โดยลักษณะของครีบบนที่ใช้ในการติดตั้งจะเป็นครีบบนสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ ติดตั้งที่ตำแหน่งครีบบนของห้องเผาไหม้โดยวางในแนวตัดขวางตามแนวทแยงมุมเปลี่ยนค่ามุมและจำนวนครีบบน ดังนี้

- การติดตั้งครีบบนรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 ครีบบน 3 ครีบบน และ 4 ครีบบน ตามลำดับ
- การติดตั้งครีบบนรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบบน 3 ครีบบน และ 4 ครีบบน ตามลำดับ
- การติดตั้งครีบบนรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบบน 3 ครีบบน และ 4 ครีบบน ตามลำดับ

นอกจากนั้นจะยกผลการทดลองของกรณีเตาเผาที่ติดตั้งครีบบนรูปตัววี [9] กับกรณีการติดตั้งครีบบนรูปตัววีคว่ำวางขวางตามแนวทแยงมุมด้านบนห้องเผาไหม้ในกรณีที่มีระดับอนุกรมที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ลักษณะการกระจายระดับอนุกรม ก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ ถึงผลของอิทธิพลของความแตกต่างระหว่างรูปร่างของครีบบนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ ภายใต้เงื่อนไขที่สภาวะเดียวกัน นั่นคือ

- กรณีการติดตั้งครีบบนมุม 45° จำนวน 3 ครีบบนที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ

พิจารณาผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด 5 หัวข้อได้แก่

1. ผลของปริมาณอากาศส่วนเกิน
2. ผลของจำนวนครีบบน
3. ผลของมุมครีบบน
4. ผลของปริมาณก๊าซไอเสีย
5. ผลของประสิทธิภาพการเผาไหม้

5.2 ลักษณะของกราฟแสดงการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิ

ระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น จะถูกวัดตามแนวแกนตลอดความสูงของเตาแบ่งตำแหน่งการวัดเป็น 2 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางเตา (CT) และอุณหภูมิที่ตำแหน่งผนังเตา (SUR) โดยอุณหภูมิที่ได้จะทำการแสดงผลเป็นระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนของห้องเผาไหม้ และส่วนของพรีบอร์ด

5.2.1 การพิจารณาผลของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน

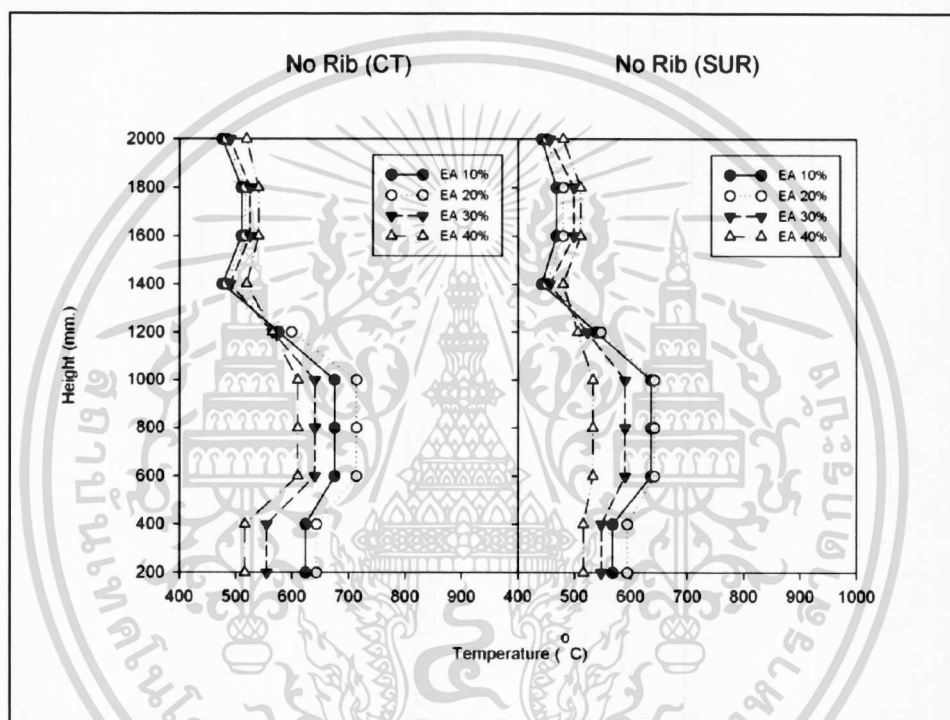
5.2.1.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ

จากการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 10%, 20%, 30% และ 40% ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความเร็วเป็น 0.26 m/s, 0.28 m/s, 0.31 m/s, 0.33 m/s ตามลำดับ ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดแสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้หลังจากนั้นเชื้อเพลิงบางส่วนที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่หลุดลอยออกจากห้องเผาไหม้จะเกิดการเผาไหม้อีกครั้งในส่วนขยายพรีบอร์ด ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวลดความเร็วของเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ก่อนที่จะหลุดลอยออกจากเตาเผาเมื่อพิจารณาผลของระดับอุณหภูมิต่อปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง สังเกตได้จากระดับของอุณหภูมิบริเวณห้องเผาไหม้จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าเท่ากับ 30% และ 40% ระดับอุณหภูมิจะต่ำกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าเท่ากับ 10% และ 20% ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงจะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำสังเกตได้จากระดับของอุณหภูมิบริเวณพรีบอร์ดจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าเท่ากับ 30% และ 40% ระดับของอุณหภูมิจะสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าเท่ากับ 10% และ 20% อย่างชัดเจนทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าเท่ากับ 30% และ 40% ความเร็วของอากาศภายในเตาสูงเกินไปจนทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนหลุดลอยออกจากส่วนของห้องเผาไหม้จนก่อให้เกิดกระบวนการการเผาไหม้ได้อย่างไม่เต็มที่

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบให้ค่าระดับอุณหภูมิการเผาไหม้โดยเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 654°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และค่าระดับอุณหภูมิจานวนพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 500°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 561°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% แต่จะมีค่าแตกต่างกันกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 30% และ 40% โดยที่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดประมาณ 524°C

ตารางที่ 5.1 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ภายในเตาเผา กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	632	459	545
20	654	467	561
30	590	473	531
40	549	500	524



รูปที่ 5.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA ต่างๆ กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบ

5.2.1.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีความมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดที่ห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบคือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ด และจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ดแสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบเมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ เมื่อสังเกตระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ จะพบว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มสูงขึ้นระดับของอุณหภูมิจะต่ำลง คล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดกรณีห้องเผาไหม้ไม่มีการติดตั้งครีบริบเพียงแต่จะให้ผลของระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 30° จำนวน 2 ครีบริบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 712°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณฟริบอร์คสูงสุดประมาณ 561°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 632°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ไม่มากนักประมาณ 10-30°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษานี้คือประมาณ 598°C

ตารางที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	ฟริบอร์ค	ทั้งเตา
10	706	530	618
20	712	552	632
30	685	561	623
40	638	559	598

5.2.1.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 3 ครีบริบ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกรณีครีบริบมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบคือระดับอุณหภูมิจากบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายฟริบอร์คและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณฟริบอร์ค แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบเมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้จะเห็นได้ว่าระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีครีบริบมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบคือการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิจากบริเวณส่วนบนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณฟริบอร์ค การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ เพียงแต่กรณีศึกษานี้จะให้ผลของระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผาสูงกว่ากรณีครีบริบมุม 30° จำนวน 2 ครีบริบ

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 30° จำนวน 3 ครีบริบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 737°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณฟริบอร์คสูงสุดประมาณ 558°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 639°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าที่อื่นๆ ไม่มากนักประมาณ 10-30°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษานี้ประมาณ 608°C

ตารางที่ 5.3 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 3 ครีบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	731	526	629
20	737	540	639
30	713	555	634
40	658	558	608

5.2.1.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 4 ครีบ

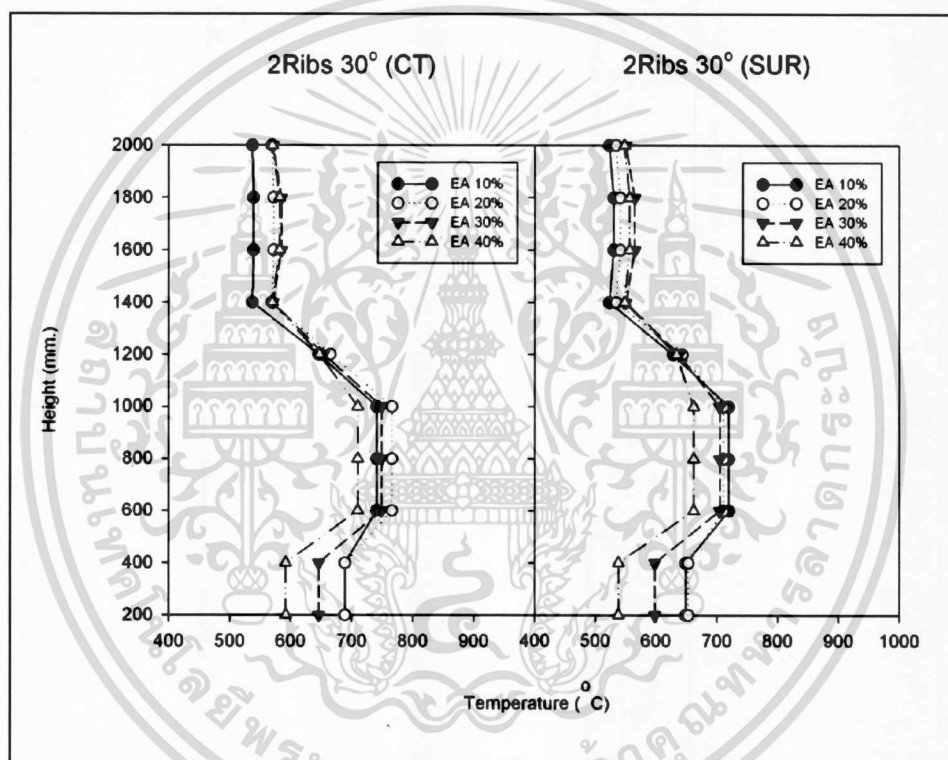
ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับการติดตั้งครีบทั้งสองกรณีที่กำลังกล่าวมาข้างต้นคือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบแต่จะสังเกตได้ว่าการติดตั้งครีบริบมุม 30° จำนวน 4 ครีบ จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้สูงกว่ากรณีครีบริบมุม 30° จำนวน 3 ครีบแต่ให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนขยายพรีบอร์ดต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ที่มุมเดียวกัน นั่นอาจเป็นเพราะว่าลักษณะการวางครีบทั้ง 4 ครีบเติมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้นั้นช่วยก่อให้เกิดการปั่นป่วนของเชื้อเพลิงและอากาศชั้นที่บริเวณดังกล่าวมากกว่า ระดับอุณหภูมิจึงสูงกว่ากรณีอื่น จึงส่งผลให้อุณหภูมิในส่วนของพรีบอร์ดต่ำเนื่องจากเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้ไปในห้องเผาไหม้เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จะเห็นได้ว่าระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีที่กำลังกล่าวมาข้างต้น คือที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ เพียงแต่กรณีศึกษาจะให้ผลของระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา สูงสุดเมื่อเมื่อเทียบกับการติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ที่มุมเดียวกัน

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุมวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 30° จำนวน 4 ครีบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 751°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 558°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 650°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ไม่มากนักประมาณ 20-50°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษาประมาณ 608°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

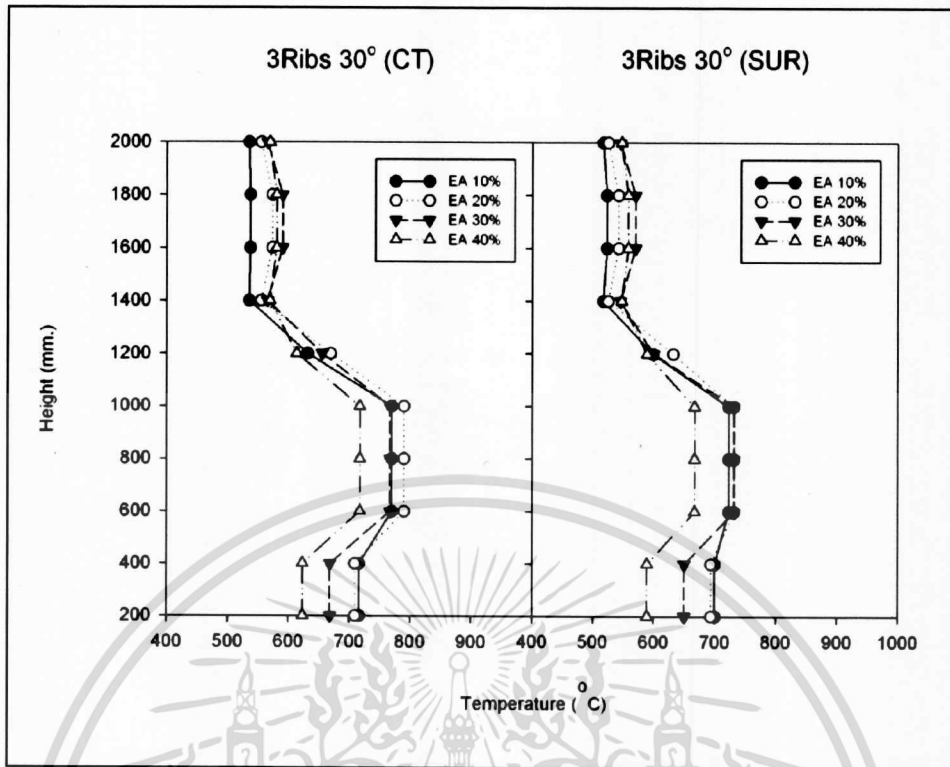
ตารางที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัวทำความม 30° จำนวน 4 ครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	735	519	627
20	751	530	640
30	749	552	650
40	658	558	608

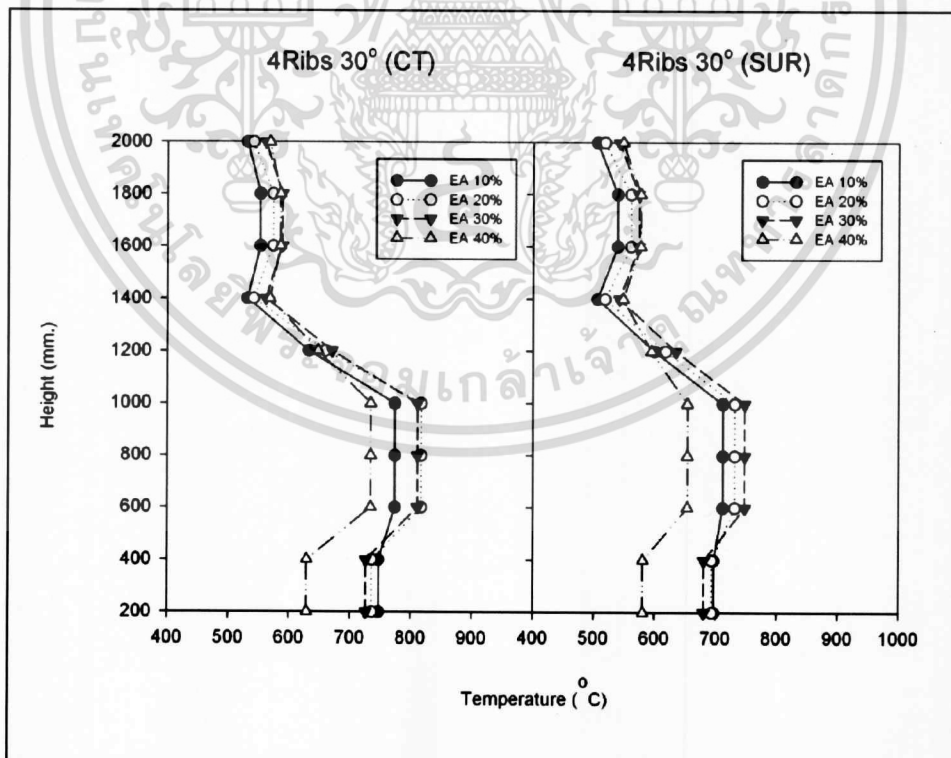


รูปที่ 5.2 อิทธิพลครีบริบตัวทำความม 30° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 อิทธิพลครีบริบตัววิความุม 30° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ



รูปที่ 5.4 อิทธิพลครีบริบตัววิความุม 30° จำนวน 4 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.5 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบริ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีศึกษาที่ผ่านมาคือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริ

เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จะเห็นได้ว่าระดับของอุณหภูมิโดยรวมจะคล้ายกับกรณีศึกษาที่ผ่านมาเช่นกัน คือที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงจะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของระดับอุณหภูมิจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่ามากหรือน้อยจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนที่บริเวณห้องเผาไหม้

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริรูปตัววีคว่ำวางตัวขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 45° จำนวน 2 ครีบริให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 752°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 576°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 639°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ไม่น่ามากนักประมาณ 10-20°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษานี้ประมาณ 622°C

ตารางที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบริ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	744	516	630
20	752	527	639
30	703	576	639
40	672	572	622

5.2.1.6 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริมุม 30° จำนวน 3 ครีบริเนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งครีบริของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกันโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริแตกต่างเพียงมุมครีบริที่ใช้กับกรณีศึกษานี้

เหมาะกับการไหลของกระแสก๊าซฟลูอิดเซชั่นต่อการเผาไหม้ภายในเตา จึงทำให้ระดับของอุณหภูมิของกรณีศึกษานี้สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริมุม 30° จำนวน 3 ครีบริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากท่านใดนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จะเห็นได้ว่าระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีศึกษาที่ผ่านมา คือที่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะพบว่าจากสภาวะมูมคริบและจำนวนคริบของกรณีศึกษาดังกล่าว ส่งผลให้กรณีศึกษานี้มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรณีศึกษา ที่ทุกค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งคริบรูปตัววีคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 45° จำนวน 3 คริบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 881°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 623°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 725°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ประมาณ 10-20°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษานี้ประมาณ 692°C

ตารางที่ 5.6 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งคริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	847	556	702
20	881	568	725
30	830	567	699
40	762	623	692

5.2.1.7 กรณีเตาห้องเผาไหม้ติดตั้งคริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คริบ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งคริบมุม 30° จำนวน 4 คริบ เนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งคริบของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกันโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งคริบเพียงแต่ความแตกต่างของมูมคริบที่ใช้เป็นกรณีศึกษานี้ส่งผลต่อการไหลของกระแสของไหลภายในเตา จึงทำให้ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาของกรณีศึกษานี้สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งคริบมุม 30° จำนวน 4 คริบเมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 10% และ 20% จะให้ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้สูงใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมาจากใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

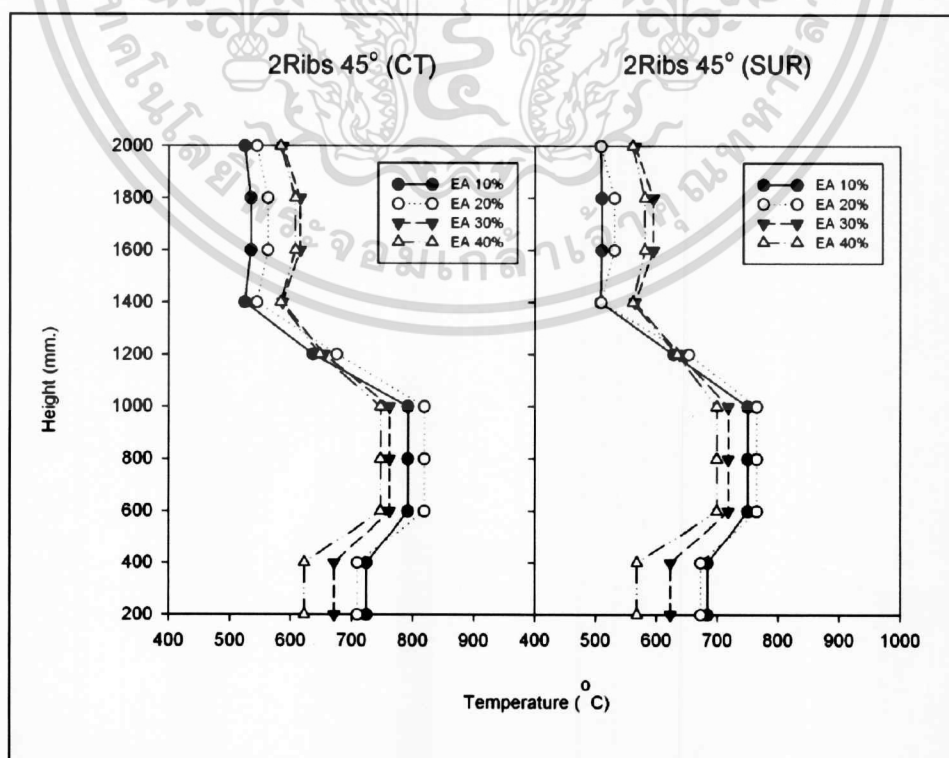
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

กลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำวาง ตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 45° จำนวน 4 ครีบริบ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 826°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 556°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 679°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ประมาณ 10-30°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษานี้ประมาณ 656°C

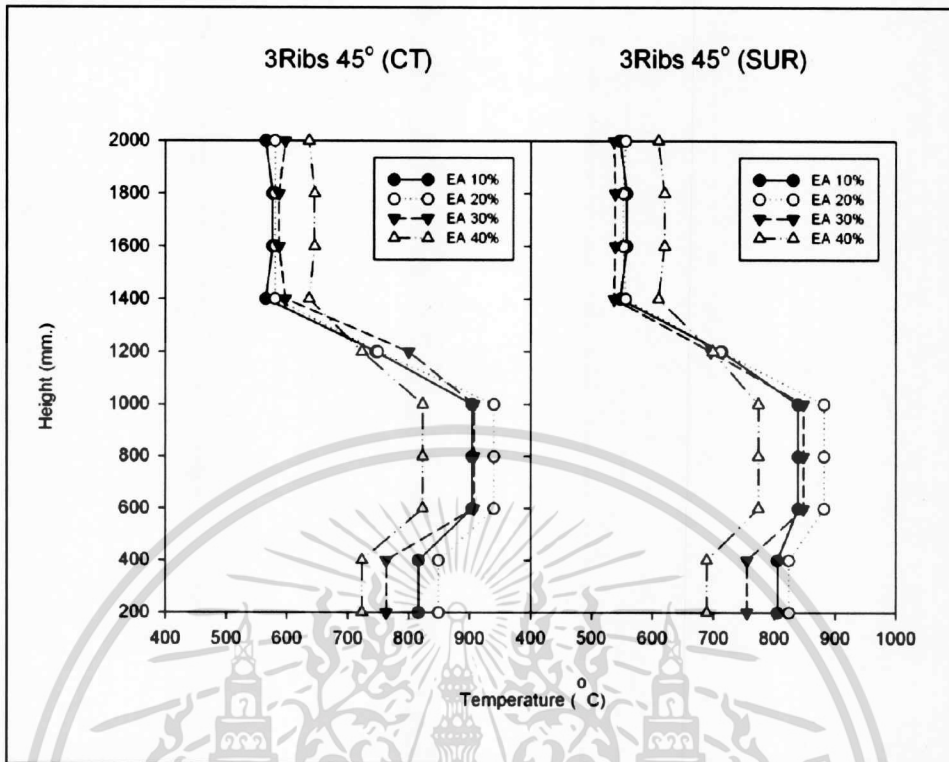
ตารางที่ 5.7 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 ครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	818	509	663
20	826	533	679
30	794	549	671
40	756	556	656

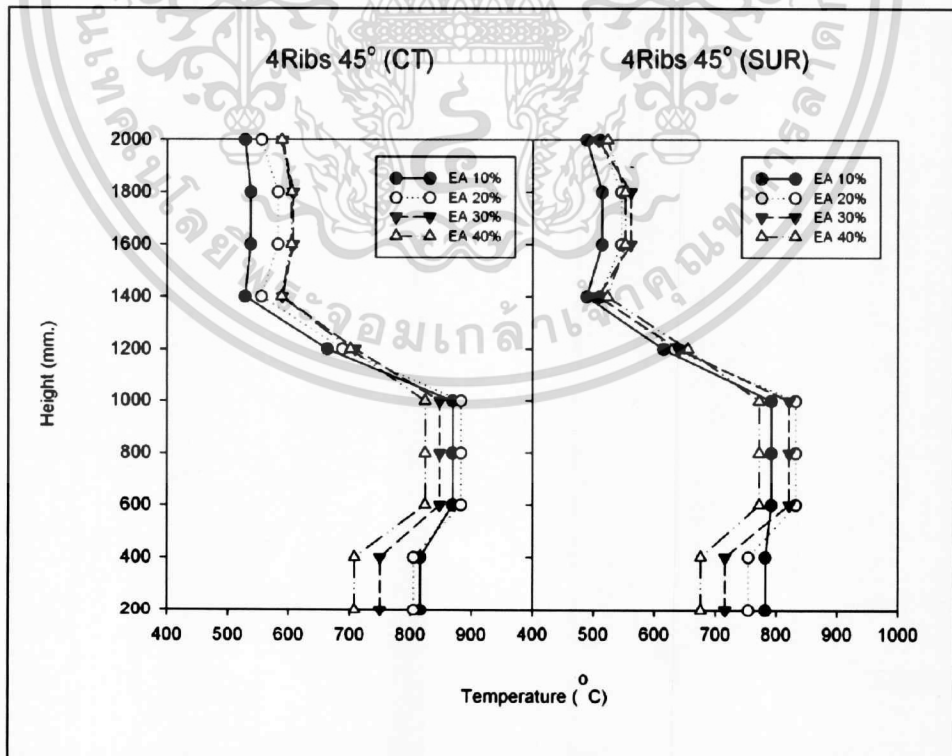


รูปที่ 5.5 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์พัฒนาพลังงานทดแทนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์พัฒนาพลังงานทดแทนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 5.6 อิทธิพลครีบทวีความมุม 45° จำนวน 3 ครีบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ



รูปที่ 5.7 อิทธิพลครีบทวีความมุม 45° จำนวน 4 ครีบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.8 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบริบ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบมุม 45° จำนวน 2 ครีบริบ เนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งครีบริบของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกันโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบ แตกต่างเพียงมุมครีบริบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา นี้เอื้ออำนวยต่อการไหลของกระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันภายในเตา จึงทำให้ระดับของอุณหภูมิของกรณีศึกษาที่สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบมุม 45° จำนวน 2 ครีบริบ

เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 10% และ 20% จะให้ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้สูงใกล้เคียงกัน โดยที่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 60° จำนวน 2 ครีบริบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 756°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 597°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 660°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ประมาณ 10-20°C และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษาประมาณ 636°C

ตารางที่ 5.8 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	752	540	646
20	756	565	660
30	707	586	646
40	674	597	636

5.2.1.9 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 ครีบริบ

ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ เนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งครีบริบของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกันโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วน

ขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบเมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของระดับอุณหภูมิจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่ามากหรือน้อยจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนที่บริเวณห้องเผาไหม้

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 60° จำนวน 3 ครีบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 837°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพรีบอร์ดสูงสุดประมาณ 614°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 712°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ประมาณ $10\text{-}30^\circ\text{C}$ และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษาี้ประมาณ 678°C

ตารางที่ 5.9 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 ครีบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)		
	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ทั้งเตา
10	812	544	678
20	837	586	712
30	772	609	690
40	751	614	682

5.2.1.10 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 ครีบ

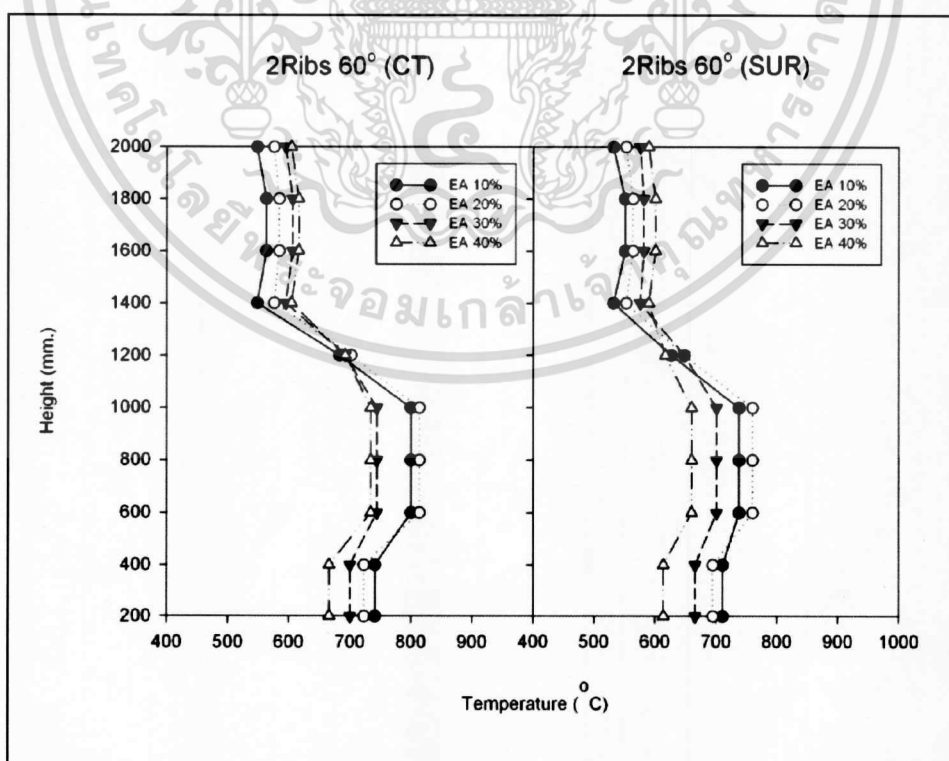
ผลการศึกษาทดลองที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบมุม 45° จำนวน 4 ครีบ เนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งครีบของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกันโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณพรีบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบเมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ด การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของระดับอุณหภูมิจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่ามากหรือน้อยจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนที่บริเวณห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำวางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้มุม 60° จำนวน 4 ครีบริบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 766°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณฟริบอร์ตสูงสุดประมาณ 576°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%
- ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาสูงสุดประมาณ 659°C จากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ประมาณ $10\text{-}30^\circ\text{C}$ และการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดของกรณีศึกษาี้ประมาณ 635°C

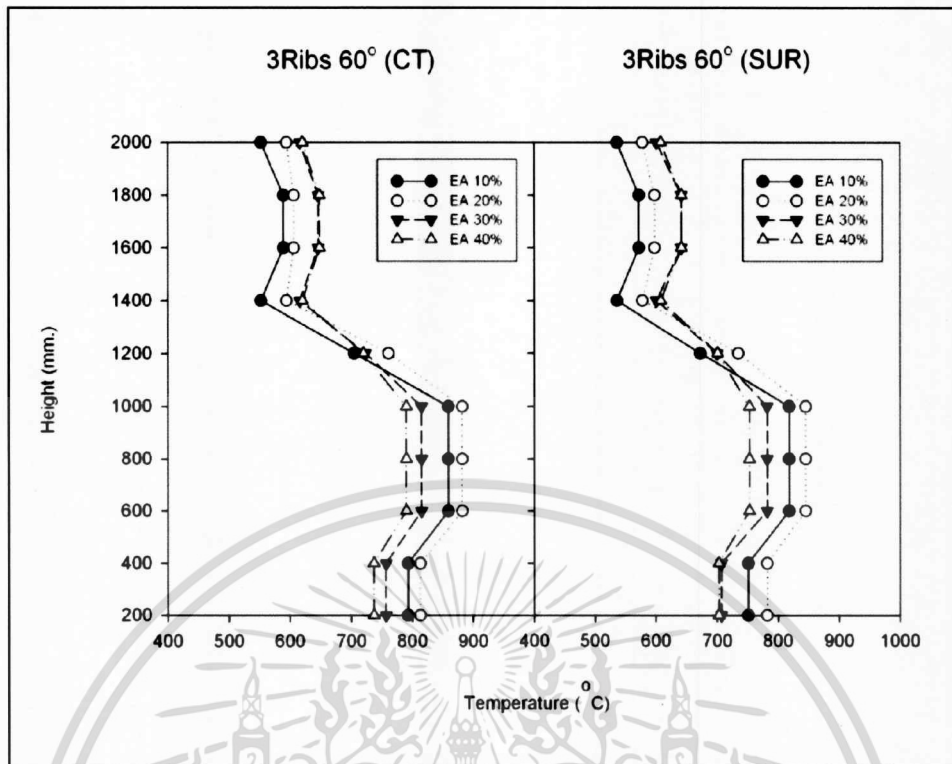
ตารางที่ 5.10 ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 ครีบริบ

%EA	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)		
	ห้องเผาไหม้	ฟริบอร์ต	ทั้งเตา
10	753	541	647
20	766	552	659
30	735	562	649
40	694	576	635

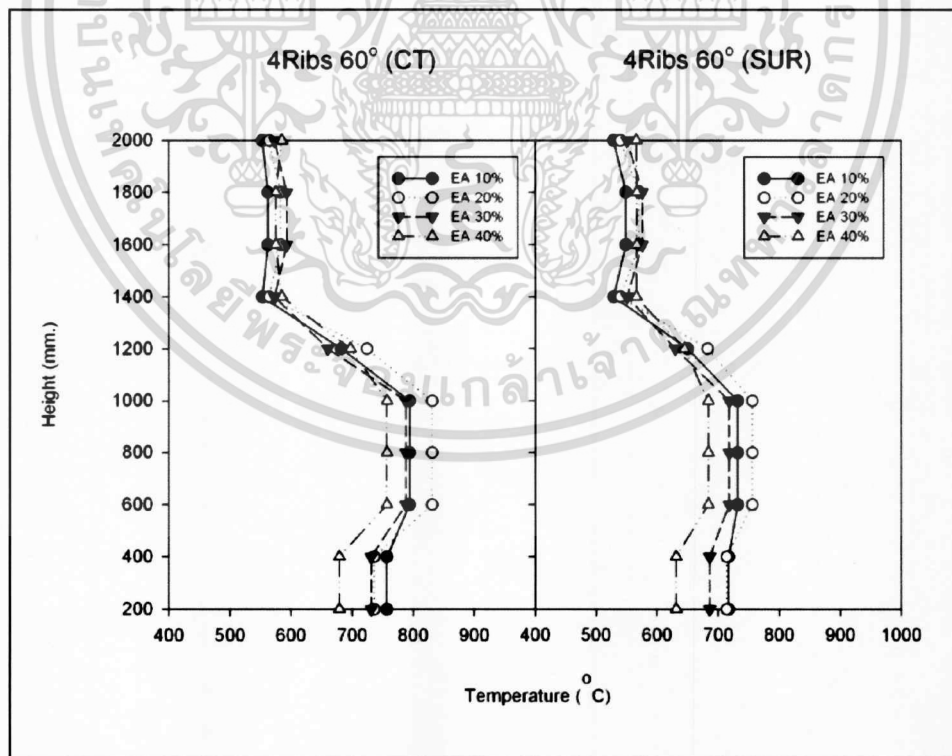


รูปที่ 5.8 อิทธิพลครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 อิทธิพลครีบริบตัวที่มีความมุม 60° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ค่า EA ต่างๆ



รูปที่ 5.10 อิทธิพลครีบริบตัวที่มีความมุม 60° จำนวน 4 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การพิจารณาผลของจำนวนครีบ

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อทำการติดตั้งครีบเข้าไปในห้องเผาไหม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบ เป็น 2, 3 และ 4 ครีบ ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ เห็นได้ว่าการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิภายในเตามีลักษณะคล้ายกันกับกรณีที่เตาเผาไม่ติดตั้งครีบ โดยในกรณีติดตั้งครีบ จำนวน 3 และ 4 ครีบ นั้นจะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาที่สูงกว่า การติดตั้งครีบ จำนวน 2 ครีบ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าเมื่อติดตั้งครีบจำนวน 3 และ 4 ครีบ ที่ใช้กับมุมต่างๆ มีผลทำให้เกิดกระแสการไหลหมุนควงภายในห้องเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลจากการหมุนควงนี้อาจจะส่งผลไปยังส่วนของฟริบอร์คให้มีระดับอุณหภูมิที่สูงด้วยเช่นกัน อีกทั้งกรณีติดตั้งครีบ จำนวน 3 และ 4 ครีบ ช่วยทำให้แกลบไม่สามารถหลุดลอยไปยังฟริบอร์คได้ง่าย ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อเพลิงแกลบหมุนควงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น เพียงพอที่จะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่เข้าใกล้ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และจากกรณีศึกษาดังกล่าวพบว่า กรณีการติดตั้งครีบจำนวน 3 ครีบ มุม 45° และ 60° ที่สภาวะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุด

5.2.2.1 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว้ามุม 30°

ตารางที่ 5.11 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว้ามุม 30°

Λมุม 30° จำนวนครีบ	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา (°C) ที่ค่า EA ต่างๆ			
	10%	20%	30%	40%
2	618	632	623	598
3	629	639	634	608
4	627	640	650	608

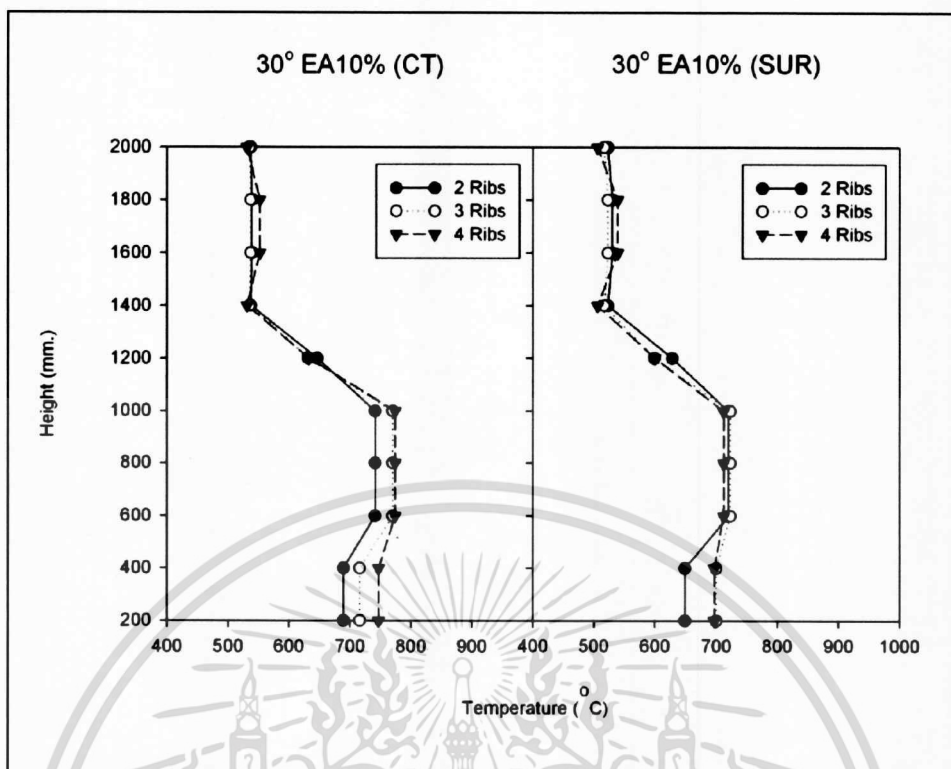
ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบเมื่อพิจารณาผลจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า มีค่าเท่ากับ 706°C, 731°C, และ 735°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 530°C, 526°C และ 468°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบเมื่อพิจารณาผลจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า มีค่าเท่ากับ 712°C, 737°C, และ 751°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 552°C, 540°C และ 530°C ตามลำดับ

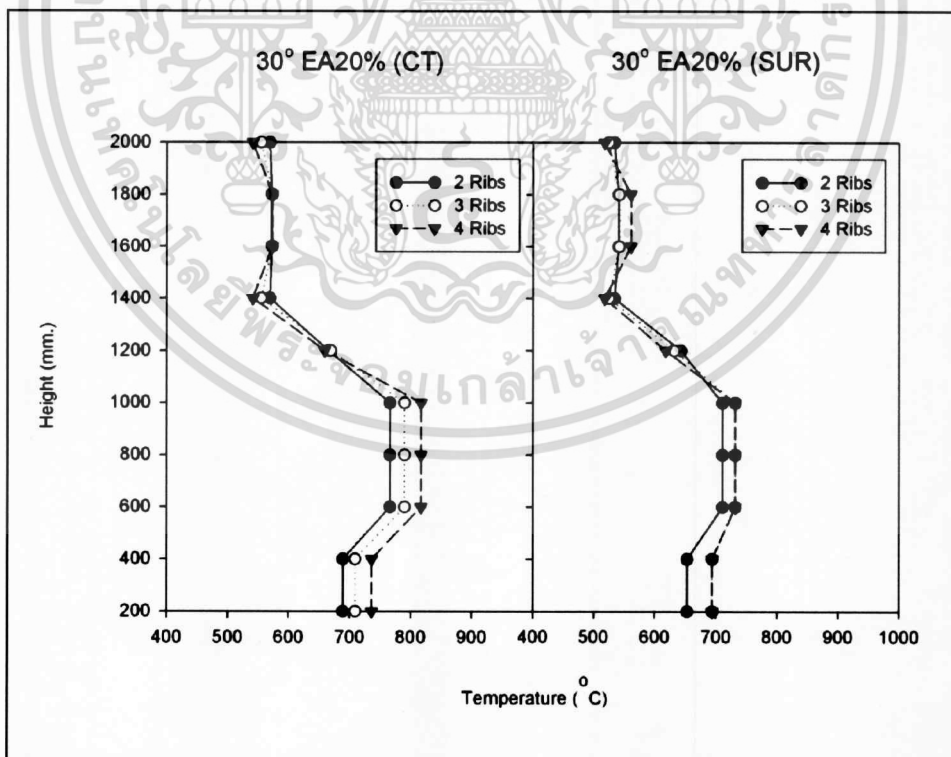
ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบเมื่อพิจารณาผลจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า มีค่าเท่ากับ 685°C, 713°C, และ 749°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 561°C, 555°C และ 552°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบเมื่อพิจารณาผลจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า มีค่าเท่ากับ 638°C, 658°C, และ 658°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 559°C, 558°C และ 558°C ตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

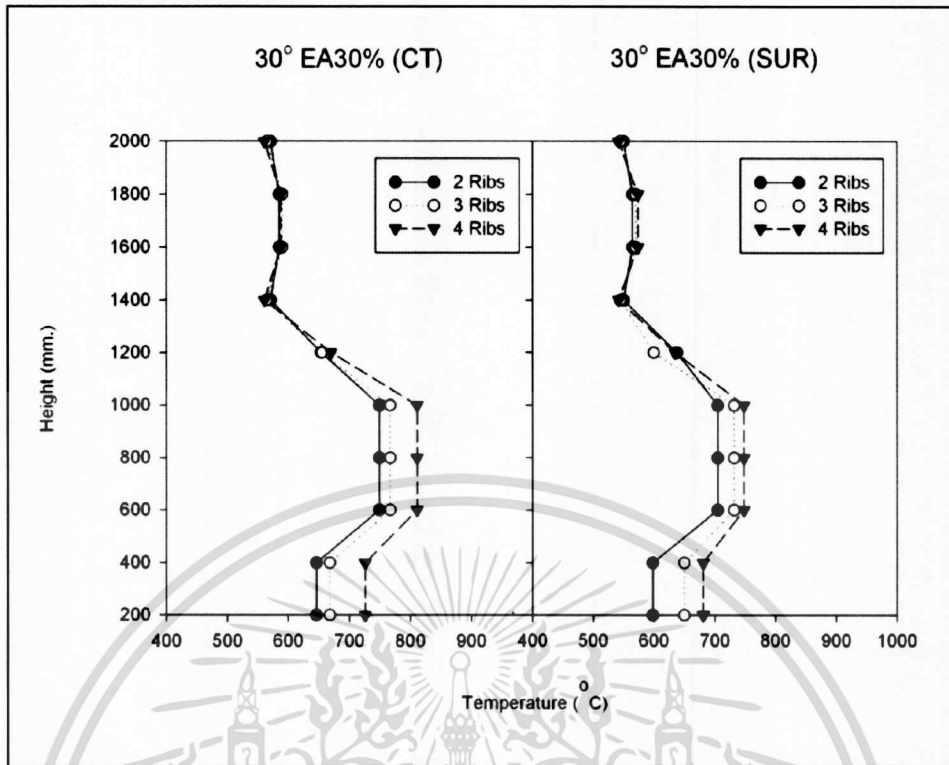


รูปที่ 5.11 อิทธิพลจำนวนครีบรูปตัววีความมุม 30°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%

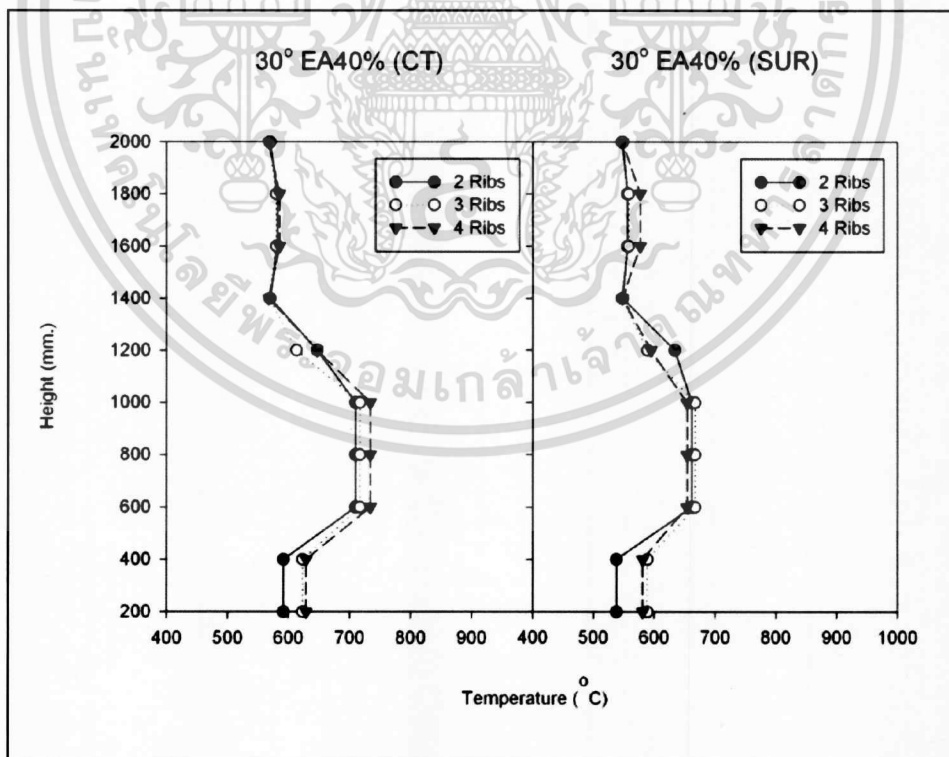


รูปที่ 5.12 อิทธิพลจำนวนครีบรูปตัววีความมุม 30°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 30°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.14 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 30° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 45°

ตารางที่ 5.12 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 45°

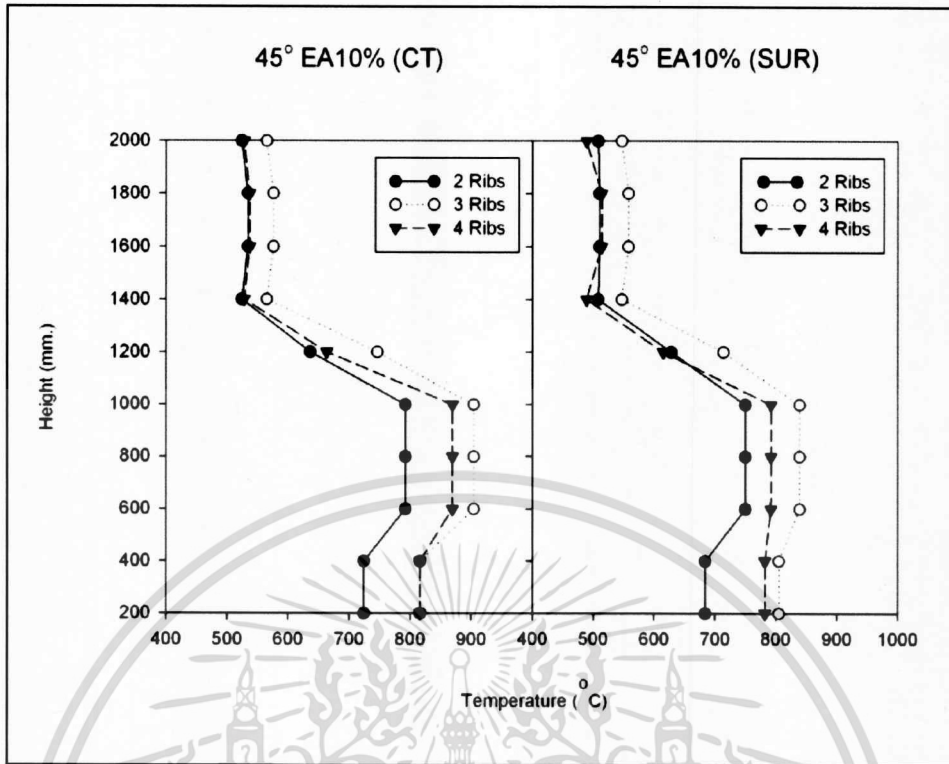
Λมุม 45°	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา (°C) ที่ค่า EA ต่างๆ			
จำนวนครีบริป	10%	20%	30%	40%
2	630	639	639	622
3	702	725	699	692
4	663	679	671	656

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริปจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริปเมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า มีค่าเท่ากับ 744°C, 847°C, และ 818°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 516°C, 556°C และ 509°C ตามลำดับ

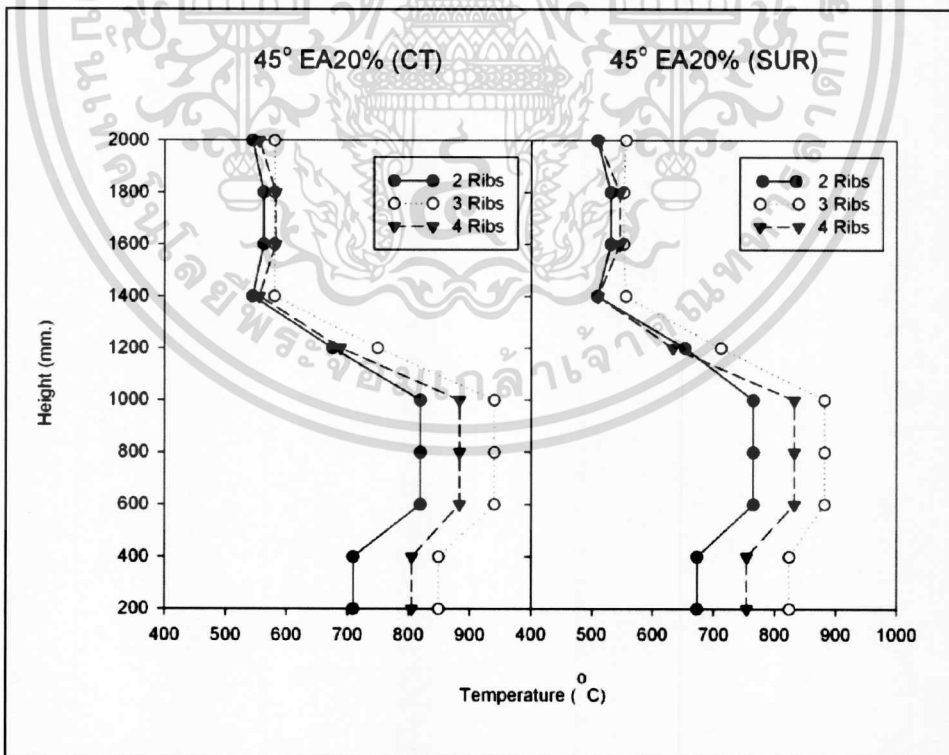
ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริปจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริปเมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า มีค่าเท่ากับ 752°C, 881°C, และ 826°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 527°C, 568°C และ 533°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริปจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริปเมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า มีค่าเท่ากับ 703°C, 830°C, และ 794°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 576°C, 567°C และ 549°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริปจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริปเมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า มีค่าเท่ากับ 672°C, 762°C, และ 756°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 572°C, 623°C และ 556°C ตามลำดับ

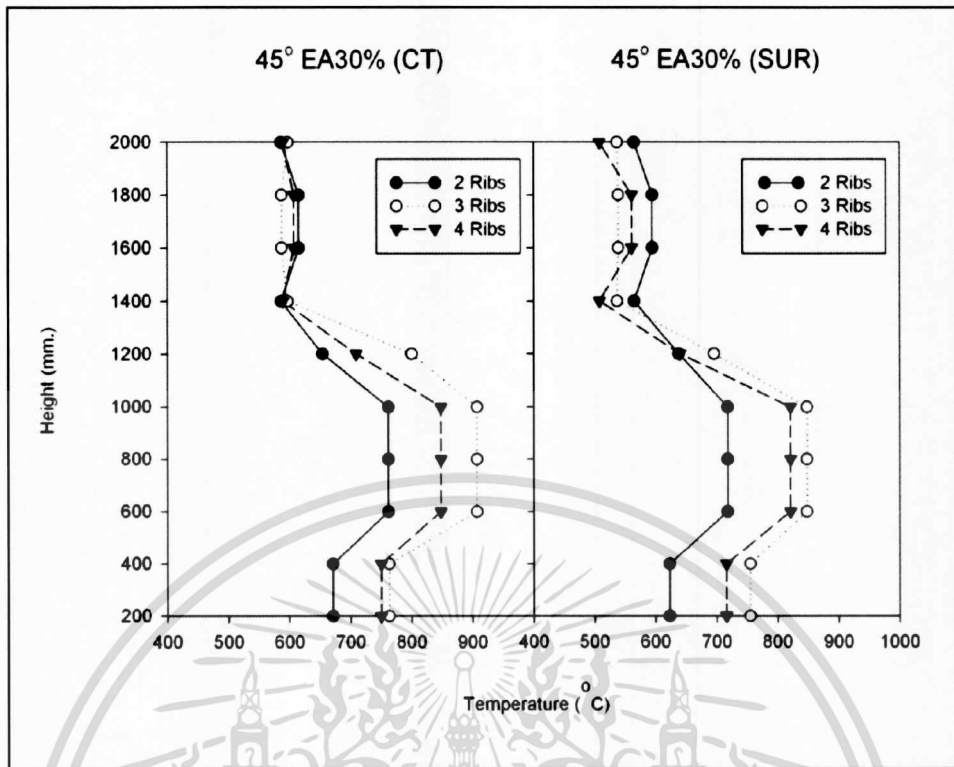


รูปที่ 5.15 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 45°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%

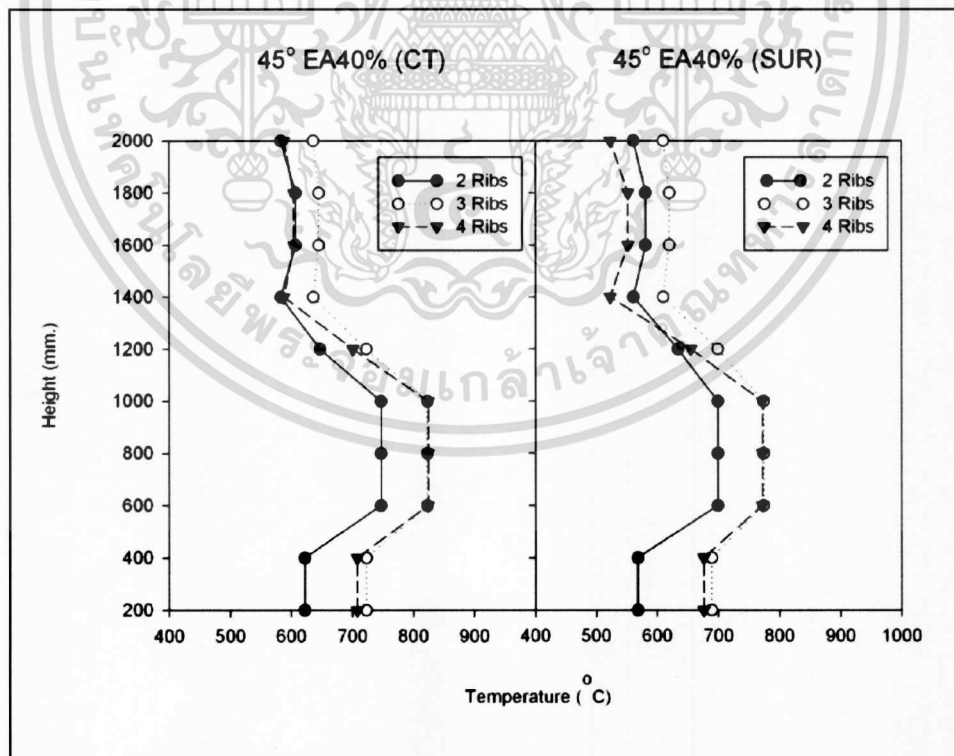


รูปที่ 5.16 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 45° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 45°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.18 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 45°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60°

ตารางที่ 5.13 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60°

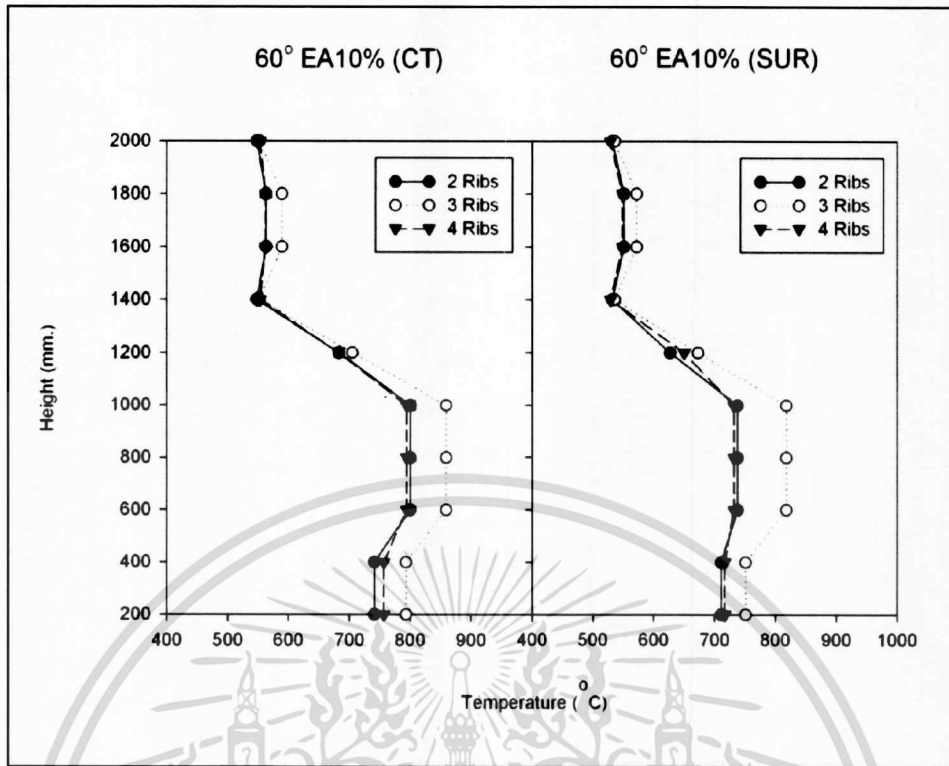
Λมุม 60°	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา (°C) ที่ค่า EA ต่างๆ			
จำนวนครีบริบ	10%	20%	30%	40%
2	646	660	646	636
3	678	712	690	682
4	647	659	649	635

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริบ เมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า มีค่าเท่ากับ 752°C, 812°C และ 753°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 540°C, 544°C และ 541°C ตามลำดับ

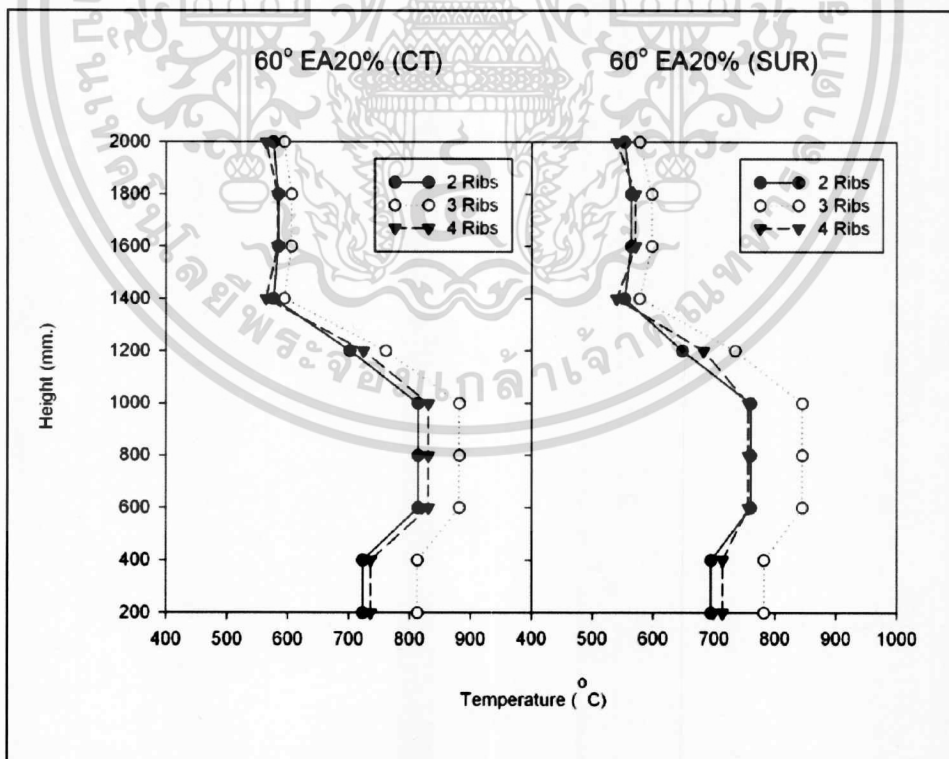
ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริบ เมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า มีค่าเท่ากับ 756°C, 837°C และ 766°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 565°C, 586°C และ 552°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริบ เมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า มีค่าเท่ากับ 707°C, 772°C และ 735°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 586°C, 609°C และ 562°C ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 ครีบริบ เมื่อพิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า มีค่าเท่ากับ 674°C, 751°C และ 694°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 597°C, 614°C และ 576°C ตามลำดับ

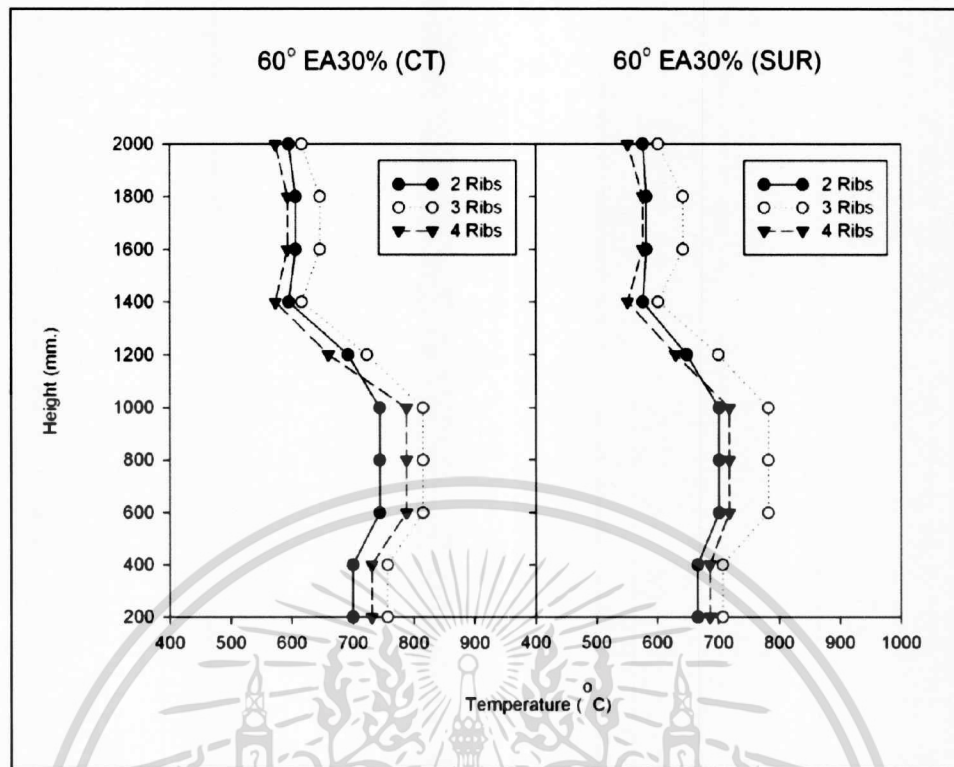


รูปที่ 5.19 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%

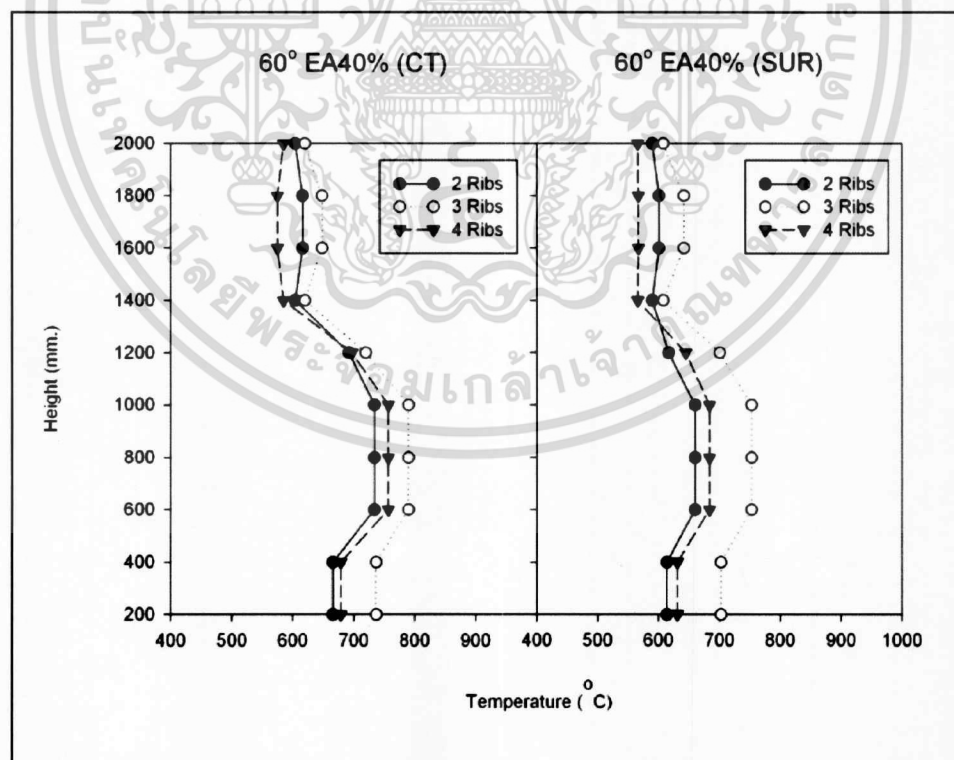


รูปที่ 5.20 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 60° ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 60°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.22 อิทธิพลจำนวนครีบริบรูปตัววีความมุม 60°ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การพิจารณาผลของมุมครีบ

จากการทดลองเมื่อทำการติดตั้งครีบเข้าไปในห้องเผาไหม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนมุมครีบ เป็น 30°, 45° และ 60° ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมครีบที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ พบว่าการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิภายในเตามีลักษณะคล้ายกันกับกรณีที่เตาเผาไม่ติดตั้งครีบ แต่ในกรณีติดตั้งครีบมุม 45° และ 60° นั้นจะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งครีบมุม 30° ที่เป็นเช่นนี้ เพราะเมื่อติดตั้งครีบมุม 45° และ 60° ที่ใช้กับจำนวนครีบ 2, 3 และ 4 ครีบมีระดับความชันของครีบไม่มากเท่ากับครีบมุม 30° จึงอาจเป็นผลทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดเซชันหมุนควงภายในห้องเผาไหม้นานกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะเวลาที่เชื้อเพลิงแกลบจะหมุนควงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น จนเกิดการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนกลางของห้องเผาไหม้จึงสูงตามและผลจากการหมุนควงนี้ยังส่งผลไปยังอุณหภูมิส่วนกลางของฟริบอร์คให้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน จากกรณีศึกษาดังกล่าวพบว่า กรณีการติดตั้งครีบมุม 45° จำนวน 3 และ 4 ครีบ และกรณีการติดตั้งครีบมุม 60° จำนวน 2 ครีบ ที่สภาวะการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงเมื่อเทียบกับการใช้ครีบมุม 30°

5.2.3.1 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่าจำนวน 2 ครีบ

พิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดเซชันเบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบซึ่งมีลักษณะมุมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งครีบเท่ากันที่จำนวน 2 ครีบ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบมุม 60° ที่สภาวะการดำเนินการที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 660°C

ตารางที่ 5.14 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่าจำนวน 2 ครีบ

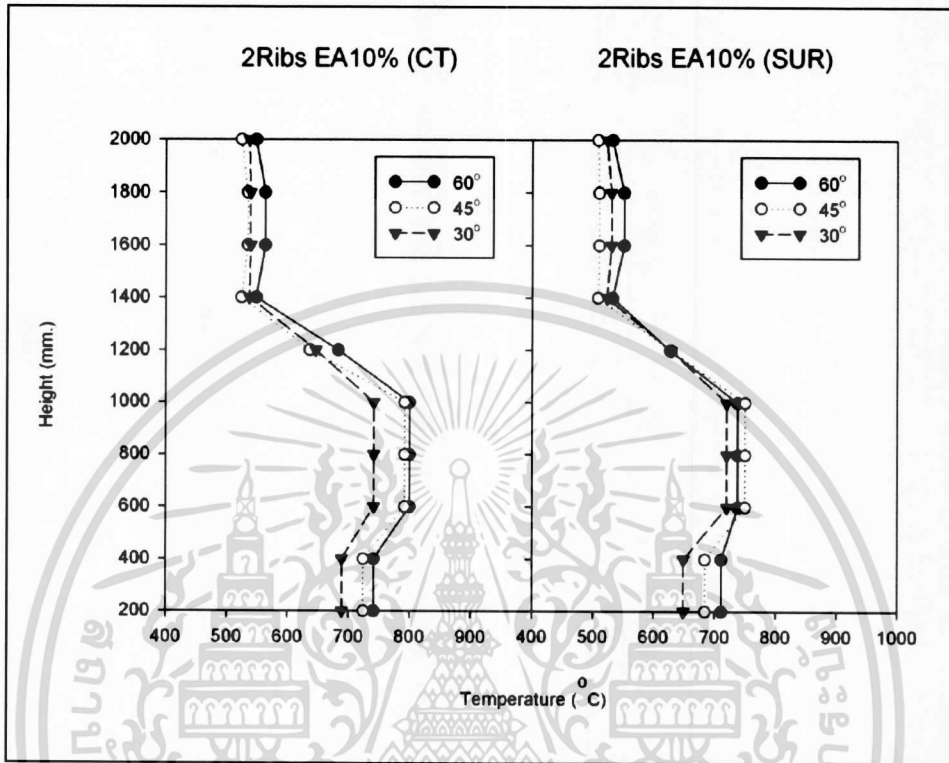
$\Lambda 2$	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา (°C) ที่ค่า EA ต่างๆ			
มุม	10%	20%	30%	40%
30°	618	632	623	598
45°	630	639	639	622
60°	646	660	646	636

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบมุม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 706°C, 744°C และ 752°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 530°C, 516°C และ 540°C ตามลำดับ

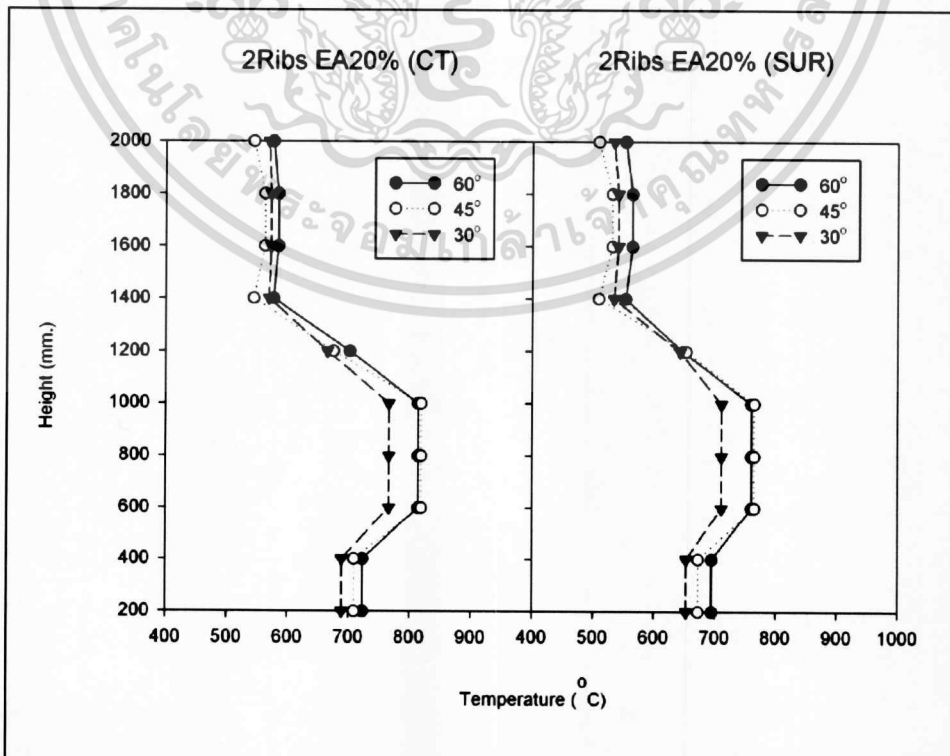
พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบมุม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 712°C, 752°C และ 756°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 552°C, 527°C และ 565°C ตามลำดับ

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบมุม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 685°C, 703°C และ 707°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณฟริบอร์ค มีค่าเท่ากับ 561°C, 576°C และ 586°C ตามลำดับ

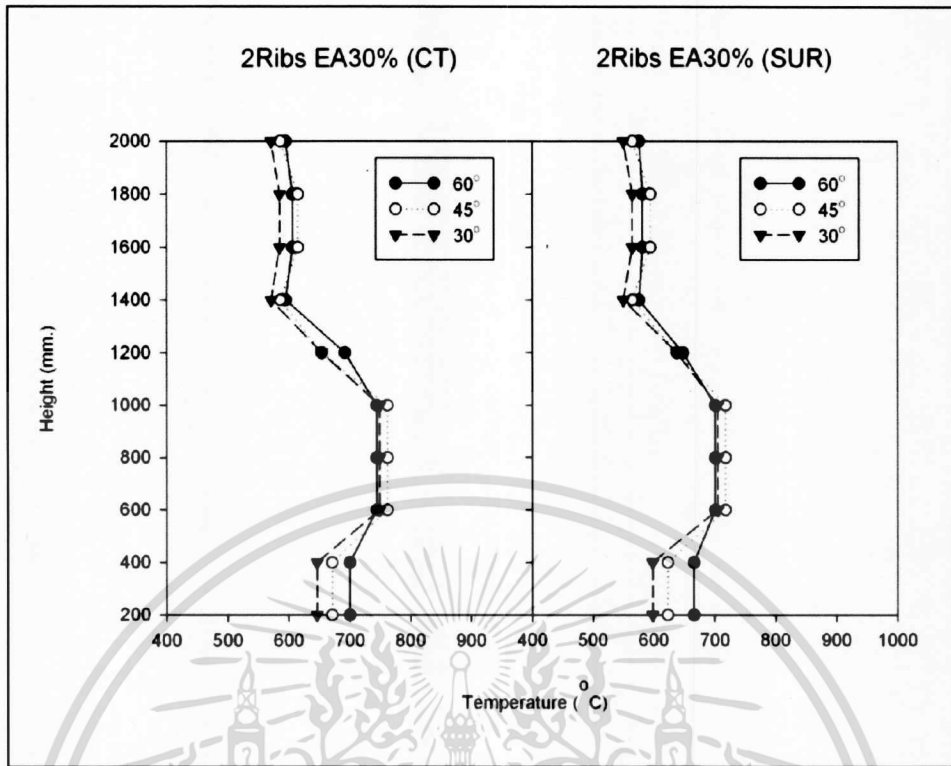
พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบุม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 638°C, 672°C และ 674°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 529°C, 572°C และ 597°C ตามลำดับ



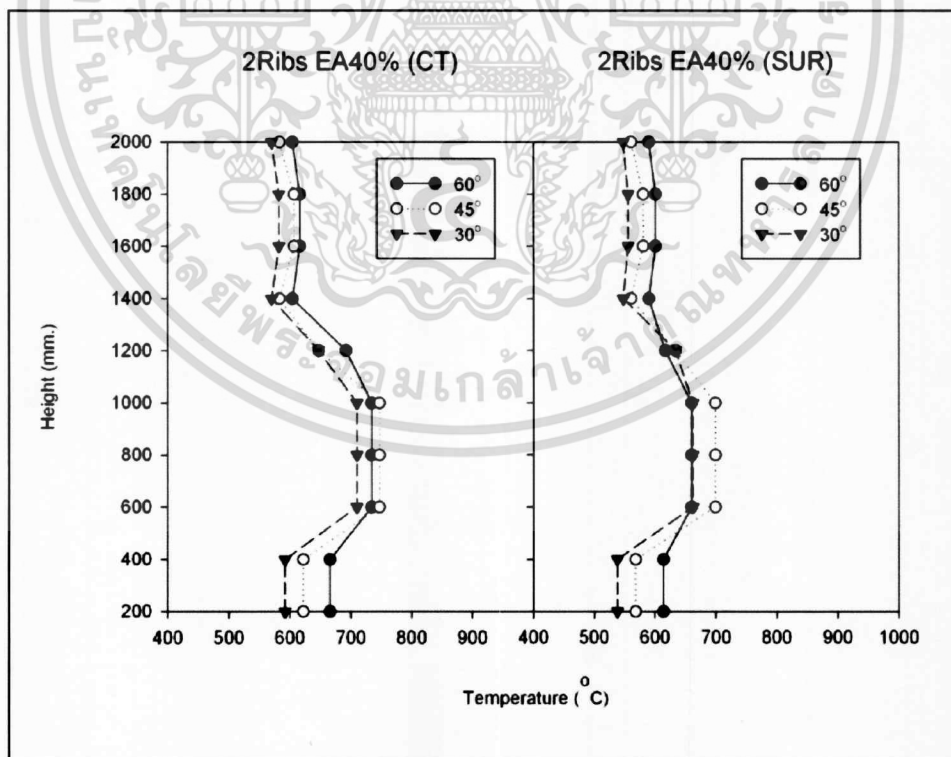
รูปที่ 5.23 อิทธิพลของมุมครีบบุมรูปตัววีคว่าจำนวน 2 ครีบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%



เอกสารรูปที่ 5.24 อิทธิพลของมุมครีบบุมรูปตัววีคว่าจำนวน 2 ครีบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.26 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่ำจำนวน 2 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่าจำนวน 3 ครีบ

พิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดเบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบซึ่งมีลักษณะมุมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งเท่ากันที่จำนวน 3 ครีบ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบบมุม 45° ที่สภาวะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 725°C

ตารางที่ 5.15 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่าจำนวน 3 ครีบ

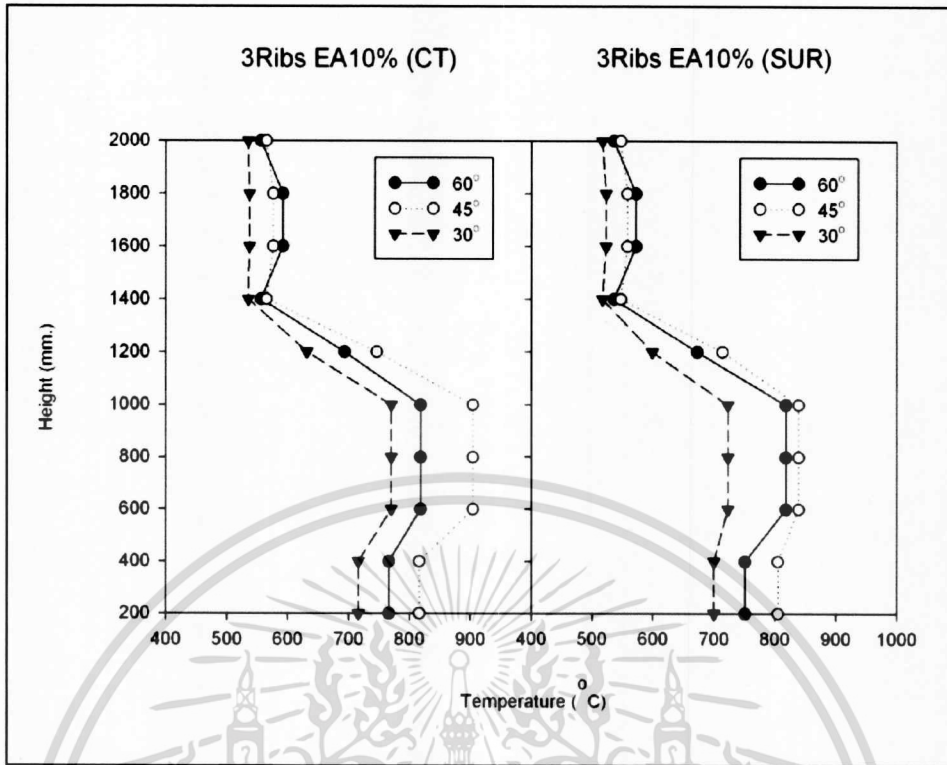
$\Lambda 3$	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา ($^{\circ}\text{C}$) ที่ค่า EA ต่างๆ			
มุม	10%	20%	30%	40%
30°	629	639	634	608
45°	702	725	699	692
60°	678	712	690	682

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบมุม 30° , 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 731°C , 847°C และ 812°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีบอร์ด มีค่าเท่ากับ 526°C , 556°C และ 544°C ตามลำดับ

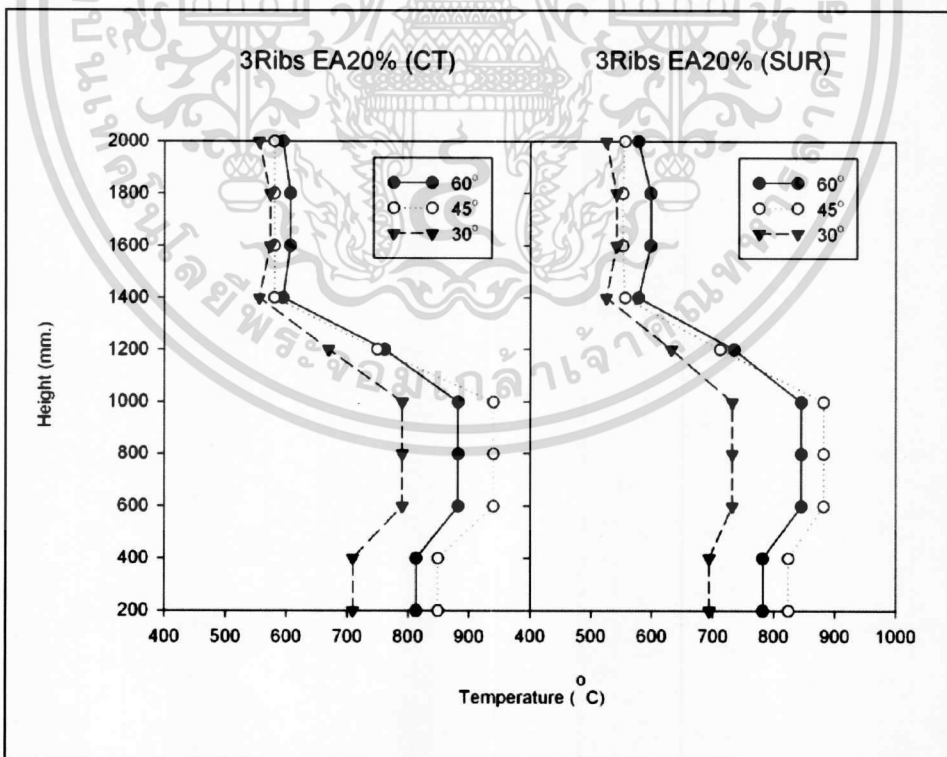
พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบมุม 30° , 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 737°C , 881°C และ 837°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีบอร์ด มีค่าเท่ากับ 540°C , 568°C และ 586°C ตามลำดับ

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบมุม 30° , 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 713°C , 830°C และ 772°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีบอร์ด มีค่าเท่ากับ 555°C , 567°C และ 609°C ตามลำดับ

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบมุม 30° , 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 658°C , 762°C และ 751°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีบอร์ด มีค่าเท่ากับ 558°C , 623°C และ 614°C ตามลำดับ

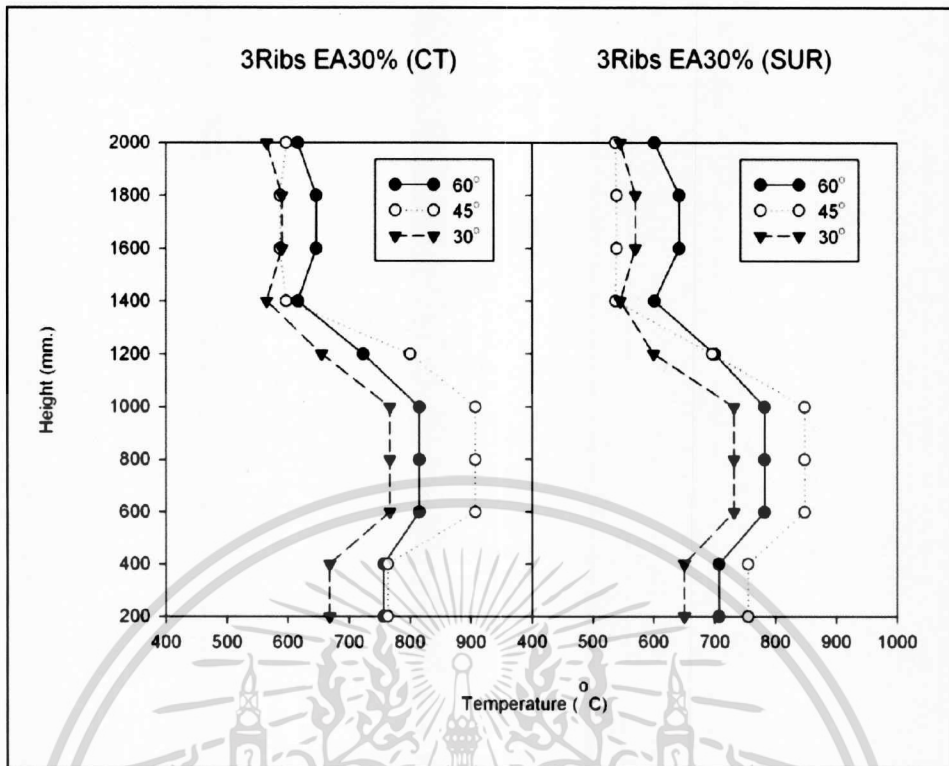


รูปที่ 5.27 อิทธิพลของมุมครีบริบตัววิคว่าจำนวน 3 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%

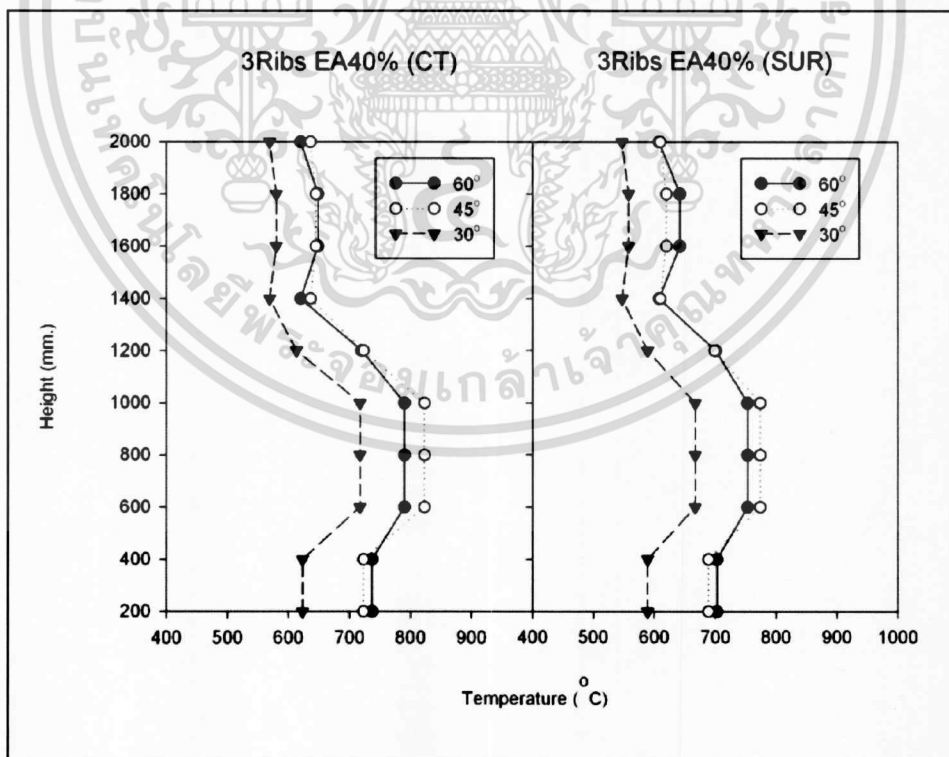


รูปที่ 5.28 อิทธิพลของมุมครีบริบตัววิคว่าจำนวน 3 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 อิทธิพลของมุมครีบริบตัววีคว่าจำนวน 3 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.30 อิทธิพลของมุมครีบริบตัววีคว่าจำนวน 3 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคว่าจำนวน 4 ครีบริ

พิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดซ์เบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบริซึ่งมีลักษณะมูมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งเท่ากันที่จำนวน 4 ครีบริ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบริมูม 45° ที่สภาวะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 679°C

ตารางที่ 5.16 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผากรณีที่มีการติดตั้งครีบริรูปตัววีคว่าจำนวน 4 ครีบริ

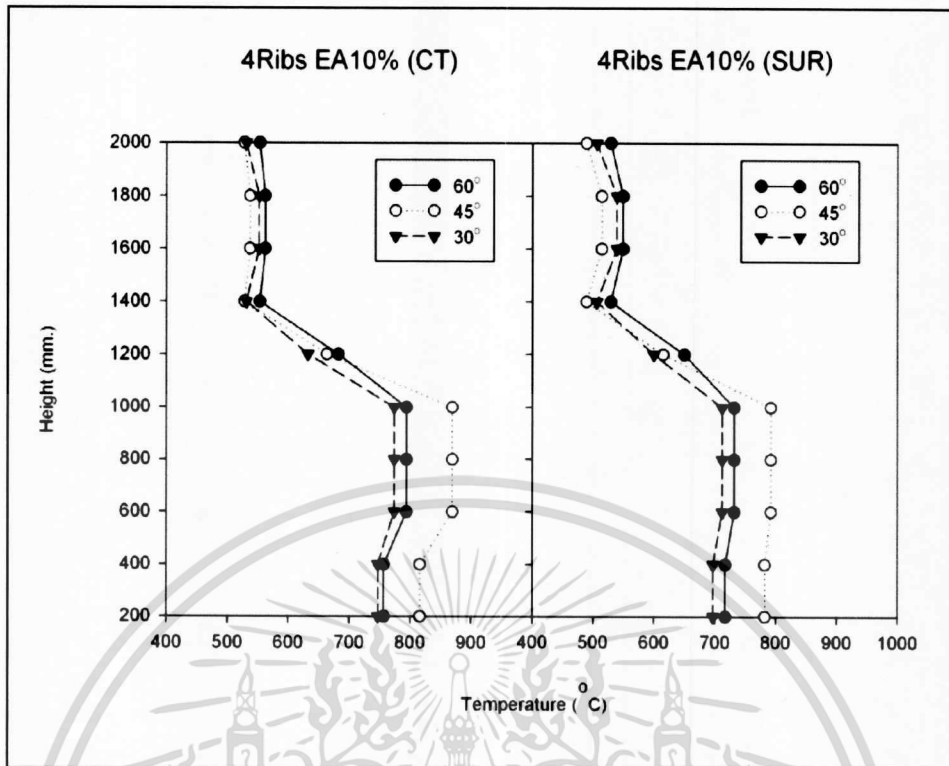
$\Lambda 4$	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา (°C) ที่ค่า EA ต่างๆ			
มูม	10%	20%	30%	40%
30°	627	640	650	608
45°	663	679	671	656
60°	647	659	649	635

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริมูม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 627°C, 663°C และ 647°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 518°C, 508°C และ 541°C ตามลำดับ

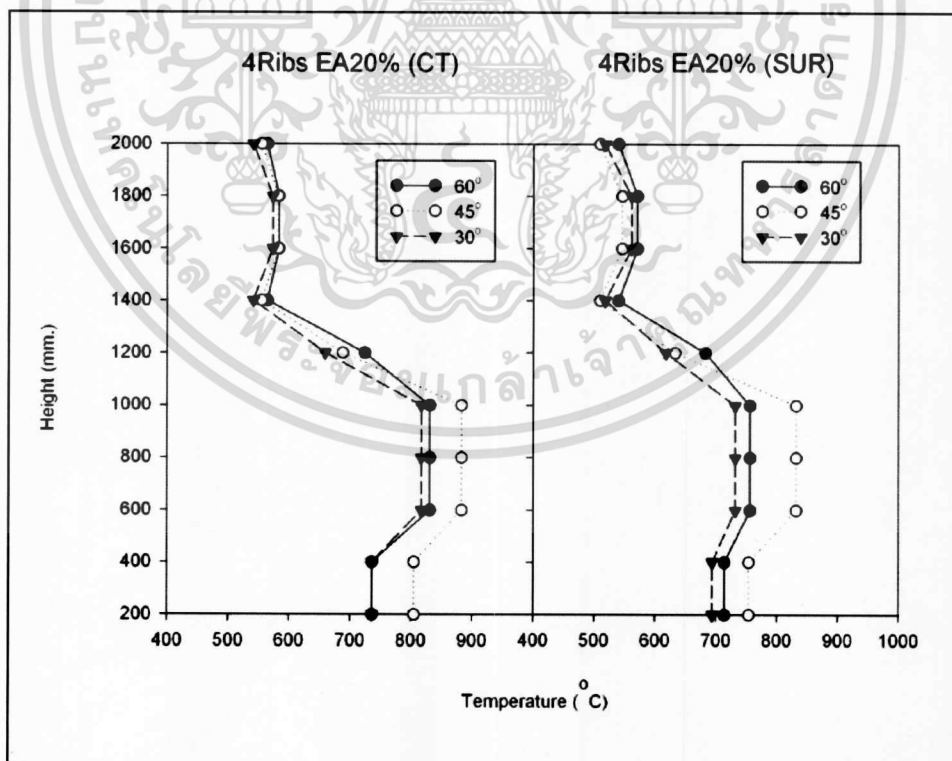
พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริมูม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 640°C, 679°C และ 659°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 530°C, 533°C และ 552°C ตามลำดับ

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 30% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริมูม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 650°C, 671°C และ 649°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 551°C, 548°C และ 562°C ตามลำดับ

พิจารณาผลการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริมูม 30°, 45° และ 60° มีค่าเท่ากับ 608°C, 656°C และ 635°C ตามลำดับ ส่วนบริเวณพรีเบิร์ด มีค่าเท่ากับ 558°C, 555°C และ 575°C ตามลำดับ

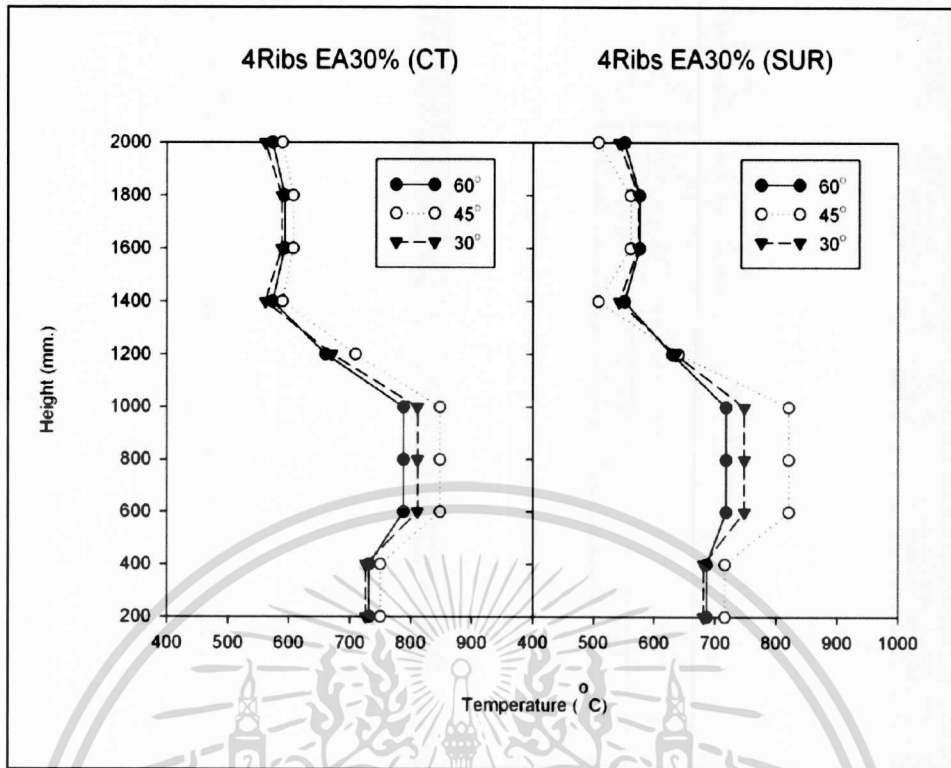


รูปที่ 5.31 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่าจำนวน 4 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอนุภาคที่ EA10%

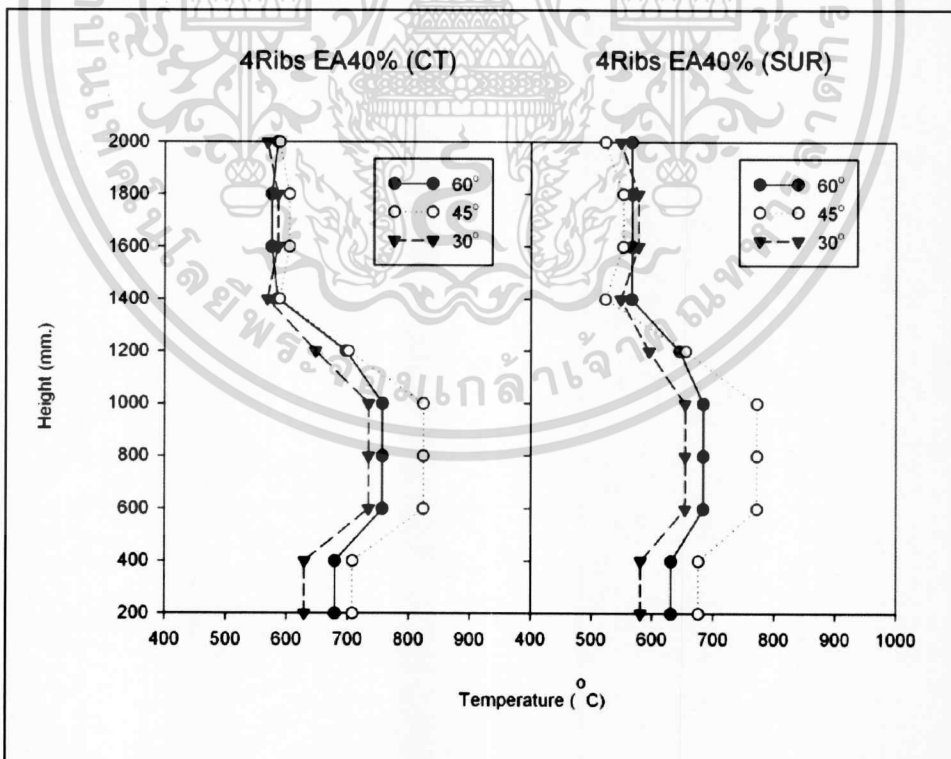


รูปที่ 5.32 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่าจำนวน 4 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอนุภาคที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.34 อิทธิพลของมุมครีบริบรูปตัววีคว่ำจำนวน 4 ครีบริบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 การเปรียบเทียบผลการกระจายอุณหภูมิของห้องเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบริบตัววีกับติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำ

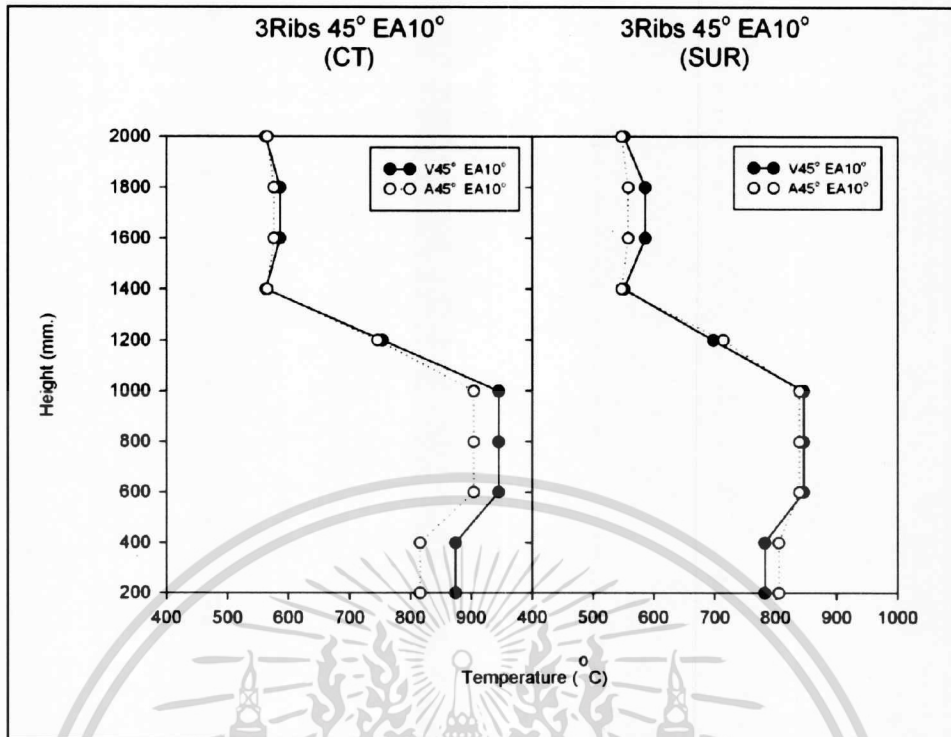
จากผลการทดลองจะนำเสนอผลการทดลองที่ดีที่สุดของระดับอุณหภูมิ ในกรณีครีบริบที่มีลักษณะแตกต่างกันมาเปรียบเทียบ ในกรณีนี้ คือ การติดตั้งครีบริบภายในห้องเผาไหม้ จำนวน 3 ครีบริบ มุม 45° ที่มีลักษณะครีบริบเป็นรูปตัววี [9] และครีบริบตัววีคว่ำ ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 10% , 20% , 30% และ 40% โดยนำผลการกระจายอุณหภูมิที่ได้มาศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบริบต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ พบว่า ลักษณะการกระจายของระดับอุณหภูมิภายในเตามีลักษณะที่คล้ายกัน ทั้งในกรณีทำการติดตั้ง ครีบริบตัววี และครีบริบตัววีคว่ำ แต่การติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ภายในเตาเผา นั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่า แต่หากพิจารณาลักษณะการกระจายของอุณหภูมิตามแนวระดับ พบว่า กรณีครีบริบตัววีคว่ำจะมีระดับความแตกต่างของอุณหภูมิของตำแหน่งกลางเตา และตำแหน่งผนังเตาน้อยกว่าการติดตั้งครีบริบตัววี นั้นแสดงว่าลักษณะของครีบริบก็มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบภายในห้องเผาไหม้ เช่นเดียวกัน จากการทดสอบพฤติกรรมการไหลของแกลบ ภายในหอตทดสอบ (cold flow model) พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของแกลบ จะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

ลักษณะของครีบริบตัววี เมื่อกระแสฟลูอิดซึมนำพาแกลบลอยมาปะทะกับครีบริบ แกลบจะลอยกระจายอย่างเบาบางไปตามผนังของหอตทดสอบ แต่แกลบโดยส่วนใหญ่จะลอยขึ้นด้านบนแล้วตกลงมารวมกันอย่างหนาแน่นบริเวณกึ่งกลางของหอตทดสอบ

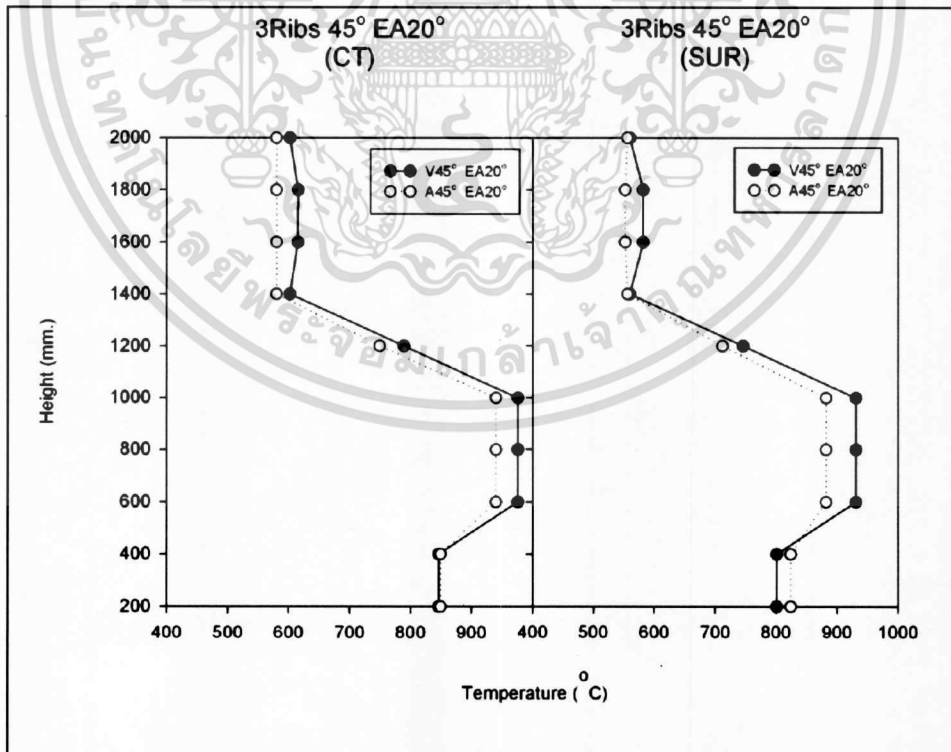
ลักษณะของครีบริบตัววีคว่ำ จะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครีบริบตัววี คือ แกลบจะลอยกระจายอย่างเบาบางบริเวณกึ่งกลางของหอตทดสอบ และแกลบส่วนใหญ่จะลอยตกลงมารวมกันหนาแน่นบริเวณผนังของหอตทดสอบ ดังนั้น ซึ่งก็เป็นไปได้ว่าการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำ จะทำให้การกระจายตัวของแกลบลอยไปในทิศทางผนังเตาได้มากกว่าครีบริบตัววี จึงทำให้ระดับอุณหภูมิระหว่างกลางเตากับผนังเตามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเทียบกับระดับอุณหภูมิบริเวณกลางเตาของการติดตั้งครีบริบตัววีก็จะต่ำกว่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผา แสดงดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตากรณีที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีและวีคว่ำจำนวน 3 ครีบริบ มุม 45°

ลักษณะครีบริบ	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตา ($^{\circ}\text{C}$) ที่ค่า EA ต่างๆ			
	10%	20%	30%	40%
V 3 ribs 45°	726	756	732	712
Λ 3 ribs 45°	702	725	699	692

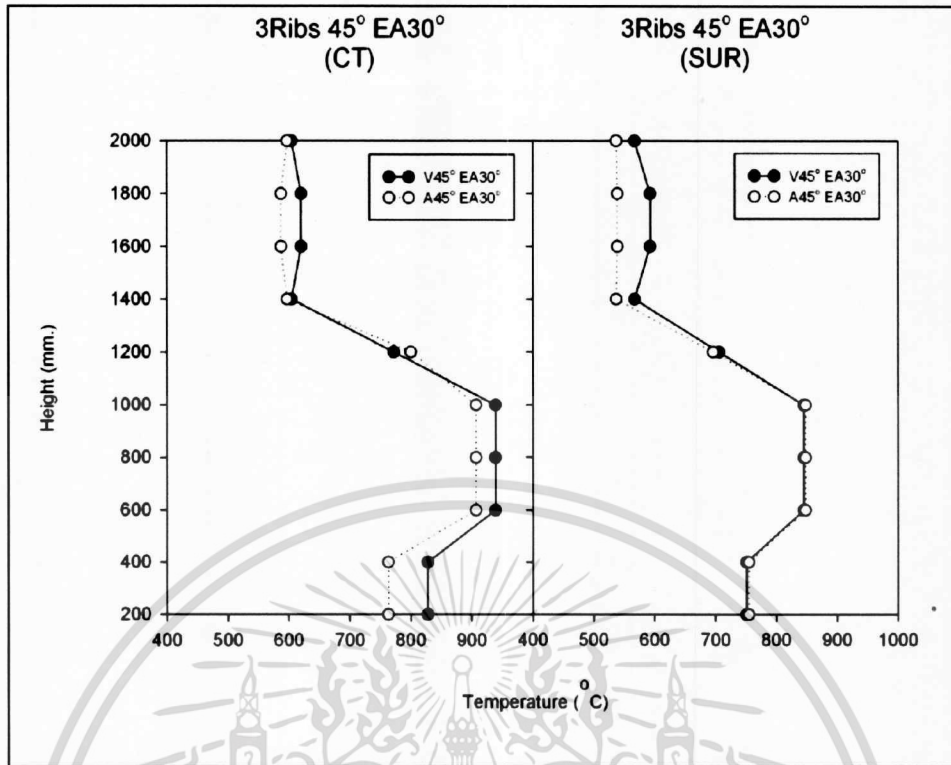


รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบบัพทิตพลของครีบริบตัววีและวีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA10%

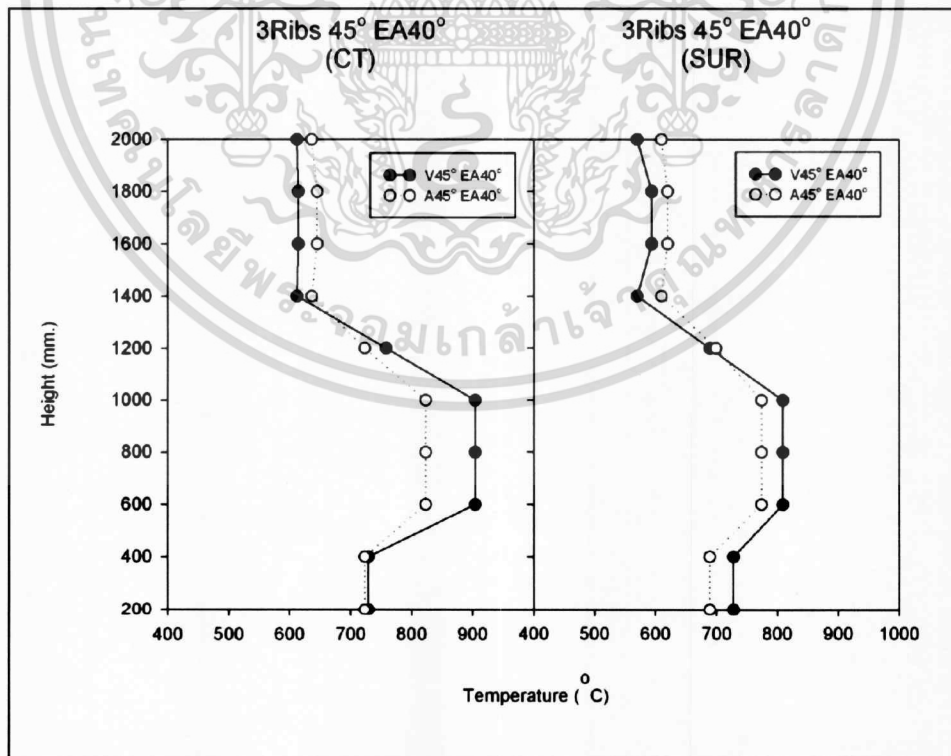


รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบบัพทิตพลของครีบริบตัววีและวีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบอิทธิพลของครีบริบตัววีและวีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA30%



รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบอิทธิพลของครีบริบตัววีและวีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ EA40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 การวิเคราะห์ผลลักษณะการกระจายอุณหภูมิ

เมื่อทำการพิจารณาผลของลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแต่ละกรณีที่ทำการศึกษา จะพบว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันและลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยสามารถสรุปผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นภาพรวมพร้อมคำอธิบายถึงสิ่งที่น่าจะเป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะการกระจายอุณหภูมิดังกล่าวได้ดังนี้

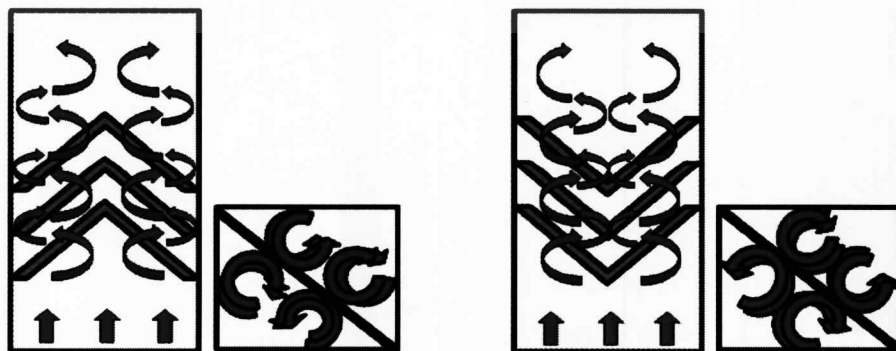
1. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่บริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ และส่วนของพรีบอร์ค ภายใต้สภาวะขอบเขตที่กำหนดสำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษาทดลองพบว่าระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าสูงและจะลดระดับลงอย่างชัดเจนที่บริเวณส่วนขยายพรีบอร์ค แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ห้องเผาไหม้ เมื่อพิจารณาที่บริเวณของส่วนขยายพรีบอร์คระดับของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยบริเวณส่วนกลางของพรีบอร์ค เกิดจากการหมุนวนของกระแสของไหลเมื่อขึ้นไปปะทะกับผนังเตาด้านบนสุด
2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่บริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ และส่วนของพรีบอร์ค ภายใต้สภาวะขอบเขตที่กำหนดสำหรับทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบริปูตัววิคคว่างตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้พบว่าระดับของอุณหภูมิที่สูงที่สุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ตรงตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบริปูจะเป็นผลมาจากกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันไหลผ่านตำแหน่งพื้นที่ที่มีการติดตั้งครีบริปู จึงเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันให้หมุนวนและทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศบริเวณตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบริปู จึงทำให้ระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ยังรวมไปถึงตำแหน่งบริเวณใต้ครีบริปูตัวล่างสุดของการศึกษาในทุกกรณีครีบริปู สาเหตุเนื่องจากเมื่อกระแสฟลูอิดไคซ์เซชันเหนี่ยวนำเชื้อเพลิงและอากาศวิ่งไปชนครีบริปูที่วางขวางอยู่ทำให้เกิดการหน่วงเวลาให้ความดันป่วนหมุนวนในพื้นที่ยังบริเวณนั้น และเมื่อกระแสฟลูอิดไคซ์เซชันชุดใหม่ไหลขึ้นไปปะทะพื้นที่บริเวณนั้นเพิ่มเติม จึงก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อเพลิงและอากาศบริเวณที่ติดตั้งครีบริปู และบริเวณใต้ครีบริปูตัวล่าง ระดับอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ดังกล่าวจึงมีค่าสูง
3. ผลกระทบที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน ต่อระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่บริเวณส่วนต่างๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับทุกกรณีศึกษา พบว่าการปรับเปลี่ยนการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มมากขึ้นนอกจากจะให้ปริมาณอากาศในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้กระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยจึงส่งผลต่อลักษณะของระดับอุณหภูมิดังนี้

การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง เนื่องจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ กระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันจะมีความเร็วต่ำ ส่งผลให้เชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันส่วนใหญ่สามารถลอยได้ในระดับที่ต่ำ กระบวนการเผาไหม้จึงเกิดขึ้นที่ระดับบริเวณส่วนล่างของเตาเผา คือห้องเผาไหม้จึงมีค่าสูง ซึ่งเมื่อสังเกตระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ทุกกรณีศึกษา จะพบว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มสูงขึ้นระดับของอุณหภูมิบริเวณนี้จะมีค่าต่ำลงในทางกลับกันที่บริเวณพรีบอร์ค การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงกระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันจะมีความเร็วสูง ทำให้สามารถพาอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันหลุดลอยไปสู่บริเวณส่วนบนของเตาเผามากกว่าและเกิดกระบวนการการเผาไหม้ที่ระดับดังกล่าว ส่งผลให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเตาเผา คือ ส่วนของพรีบอร์ดมีค่าสูงกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำ

4. ผลกระทบที่เกิดจากปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีต่อลักษณะของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนต่างๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสเฉพาะกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบบที่บริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้พบว่าความแตกต่างของระดับอุณหภูมิเมื่อมีการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินจะมีความแตกต่างน้อยกว่ากรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบ เนื่องมาจากการติดตั้งครีบจะทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันเกิดการหมุนวนจึงเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันให้หมุนวนอยู่บริเวณที่มีการติดตั้งครีบและบริเวณใกล้เคียงซึ่งอยู่ในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ ลดการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงจากการที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงขึ้นไปสู่บริเวณของส่วนพรีบอร์ดและทำให้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ของแต่ละกรณีศึกษาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้
5. อิทธิพลของจำนวนครีบต่อการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิมีผลมากกว่าอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนมุมครีบ ทั้งนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ จากผลการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 10% พบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบ และจำนวนมุมค่าของระดับอุณหภูมิก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 20%, 30% จะส่งผลต่อระดับการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิที่ชัดเจนมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณห้องเผาไหม้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนครีบ ทั้งนี้จะเกิดจากจำนวนครีบเหนี่ยวนำให้กระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันเกิดการหมุนวนเพิ่มขึ้นจึงเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดซ์เซชันให้หมุนวนอยู่บริเวณที่มีการติดตั้งครีบได้มากกว่าอิทธิพลของมุมครีบ
6. อิทธิพลของลักษณะครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ และครีบสามเหลี่ยมรูปตัววี ทำให้กระแสฟลูอิดซ์เซชันที่ผ่านครีบ ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนควงของกระแสฟลูอิดซ์เซชัน โดยลักษณะการหมุนควงที่ผ่านกรณีครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ กระแสจะหมุนควงออกทางด้านผนังเตาขึ้นสู่ด้านบน ส่วนกรณีที่ผ่านครีบสามเหลี่ยมรูปตัววี กระแสจะหมุนควงเข้าสู่แกนกลางของเตาขึ้นสู่ด้านบน



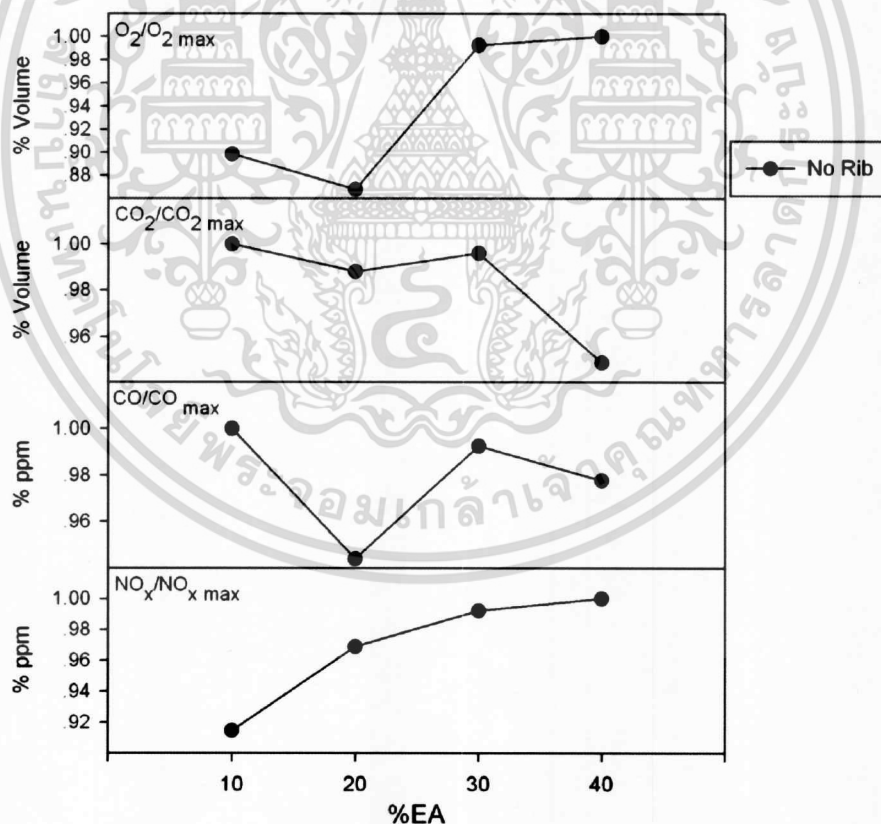
เอกสารนี้เป็นเอกสารกรณีครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ การศึกษาเท่านั้น กรณีครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปริมาณก๊าซไอเสีย

การวิเคราะห์ถึงปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของทุกกรณีศึกษา ก๊าซไอเสียที่จะนำมาพิจารณานั้นมีทั้งหมด 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) การวัดปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะทำการวัดที่บริเวณทางออกของเตาเผา ด้วยเครื่อง TESTO 350M XL เนื่องจากปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของทุกกรณีศึกษานั้นมีปริมาณใกล้เคียงกัน และต่ำกว่ามาตรฐานมาก ดังนั้นกราฟที่นำเสนอจะพิจารณาจากทุกค่าที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าที่สูงที่สุดของแต่ละกรณีศึกษา

5.3.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ

จากการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 12.82 – 14.77 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.40 – 2.53 %Vol มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 252 – 267 ppm มีค่ามากที่สุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 10% ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 118 – 129 ppm มีค่ามากที่สุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.39 องค์ประกอบของก๊าซไอเสียกรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30°

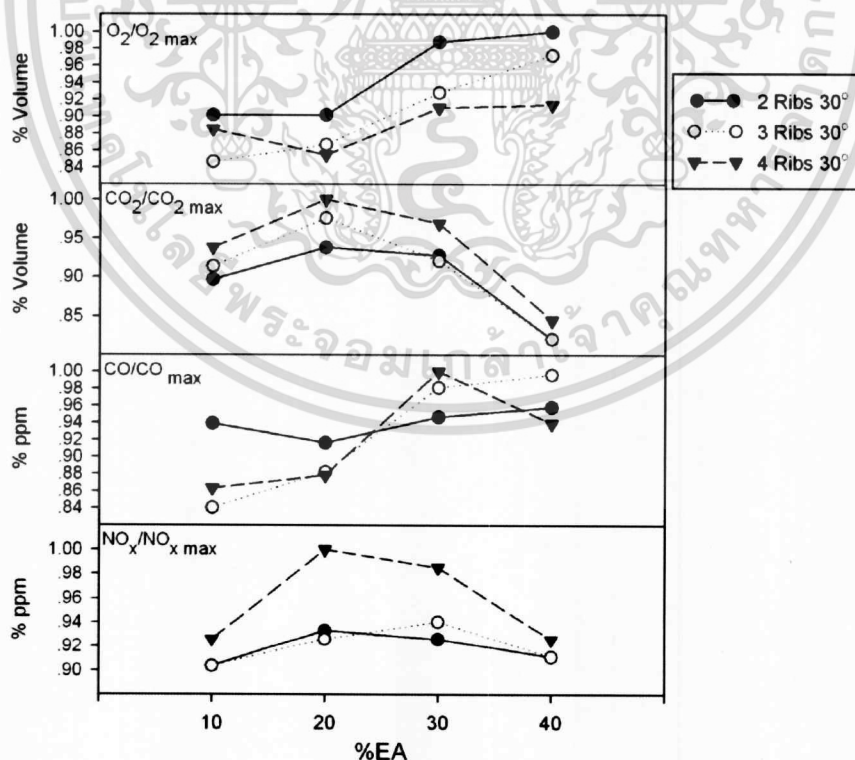
ผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.83 – 13.97 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.38 – 2.90 %Vol มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 221 – 263 ppm มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 122 – 135 ppm ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างจะคงที่

5.3.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 45°

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.49 – 13.01 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.54 – 2.93 %Vol มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 220 – 262 ppm ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 124 – 155 ppm มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่

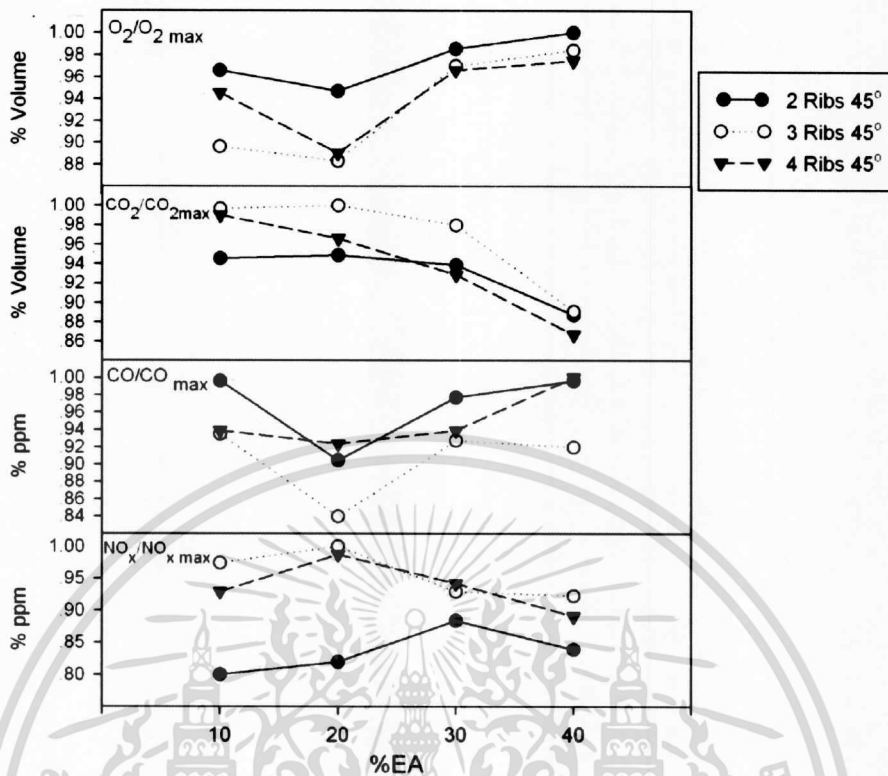
5.3.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 60°

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.28 – 13.48 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.39 – 2.88 %Vol ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 221 – 263 ppm มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 123 – 157 ppm มีปริมาณค่อนข้างจะคงที่

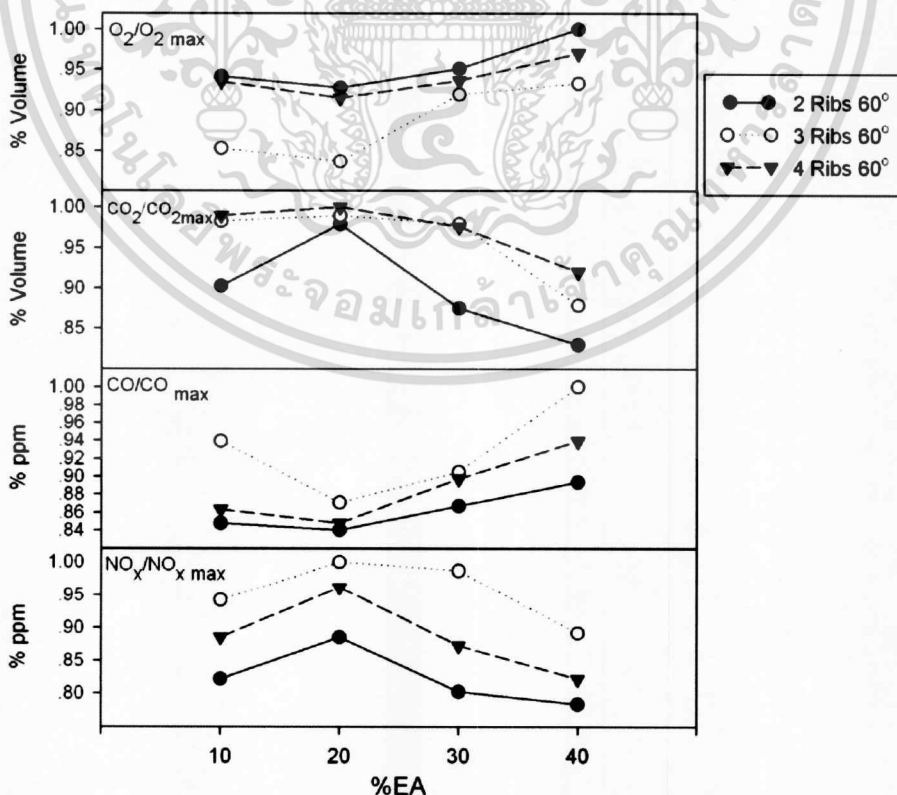


รูปที่ 5.40 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบริบมุม 30°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบบวม 45°



รูปที่ 5.42 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบบวม 60°

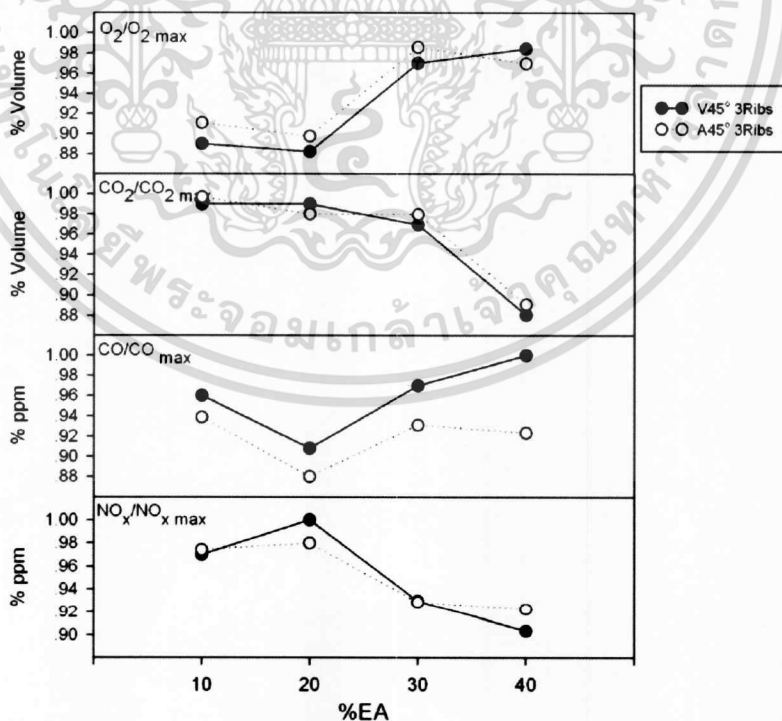
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 เปรียบเทียบกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งเครื่องรูปตัววีกับตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ

ผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ จากกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งเครื่องรูปตัววี และกรณีเครื่องรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งเครื่องรูปตัววีจะเหลือน้อยกว่าการติดตั้งเครื่องรูปตัววีคว่ำมุมเล็กน้อย โดยปริมาณออกซิเจนทั้งสองกรณีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 20% ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดอยู่ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 20% ทั้งสองลักษณะครีบริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าสูงสุดอยู่ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 20% และต่ำสุดอยู่ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ 40% ทั้งสองลักษณะครีบ

ตารางที่ 5.18 ก๊าซจากการเผาไหม้กรณีติดตั้งเครื่องรูปตัววี และตัววีคว่ำมุม 45°

ลักษณะครีบ	ปริมาณก๊าซที่วัดได้จากการเผาไหม้			
	O ₂ (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
V 3 ribs 45°	11.29–12.60	2.58–2.90	237–261	140–155
Λ 3 ribs 45°	11.49–12.80	2.61–2.93	220–245	143–155



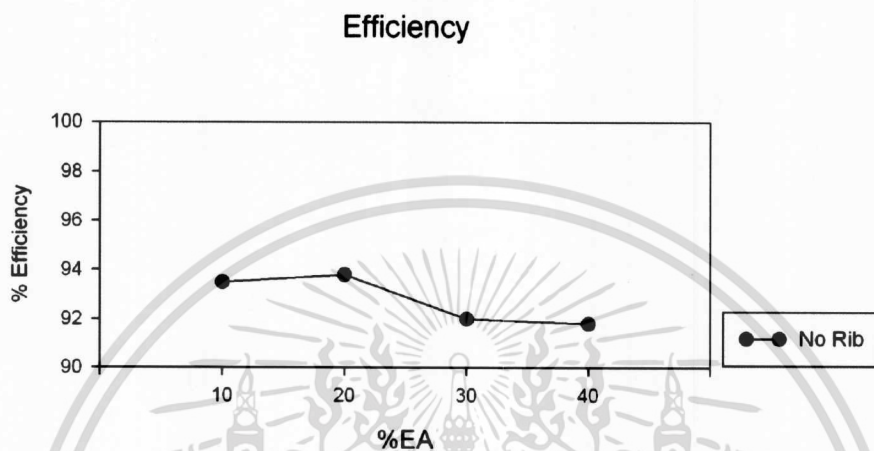
รูปที่ 5.43 เปรียบเทียบองค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งเครื่องรูปตัววี และเครื่องรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

5.4.1 กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ

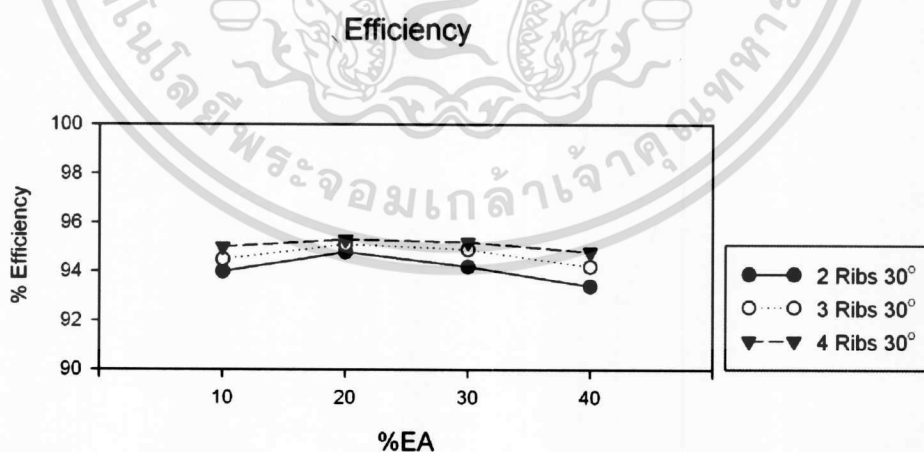
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.44 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ

5.4.2 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 30°

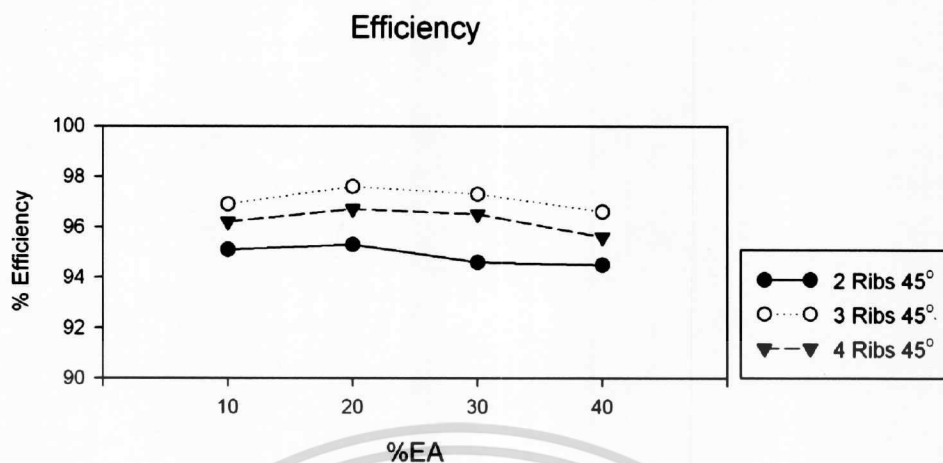
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 30° ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันและจำนวนของการติดตั้งครีบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.45 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 30°

5.4.3 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 45°

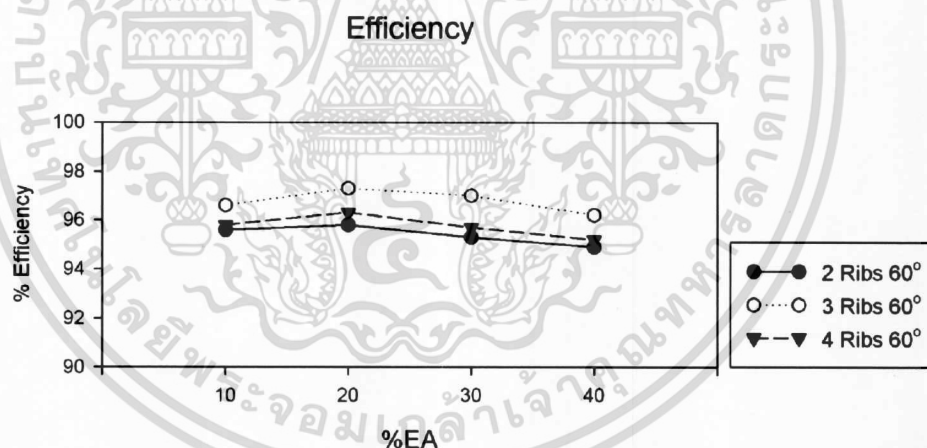
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีเอกสารความมุม 45° ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันและจำนวนของการติดตั้งครีบที่แตกต่างกัน การคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการคำนวณโดยอิงจากค่าการเผาไหม้ที่แท้จริงของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งค่าการเผาไหม้ที่แท้จริงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45°

5.4.4 กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60°

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันและจำนวนของการติดครีบริบที่แตกต่างกัน

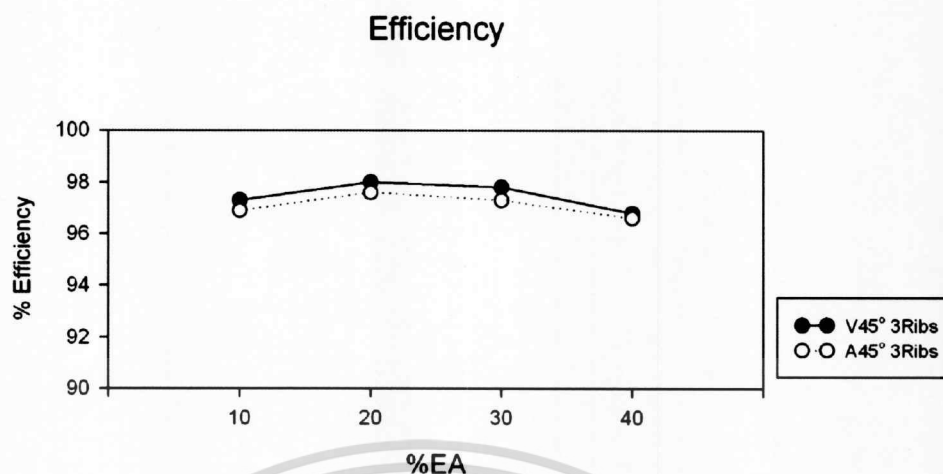


รูปที่ 5.47 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60°

5.4.5 เปรียบเทียบกรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีกับตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีและครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ โดยเปรียบเทียบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% ทั้งสองกรณีครีบริบ และครีบริบตัววีจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่ากรณีครีบริบตัววีคว่ำเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววี และครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบริบ

5.4.6 การวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่นำมาแสดงสำหรับทุกกรณีศึกษานั้นจะวัดค่าได้จากเครื่องมือสำหรับวัดวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350MXL พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบมีค่าอยู่ในช่วง 91.8 – 93.8 % โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% และในกรณีเตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นโดยจะมีค่าระหว่าง 93.40 – 97.60 % โดยค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดของแต่ละกรณีครีบริบจะเกิดขึ้นที่การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20% ซึ่งถือได้ว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินค่าดังกล่าวจะให้ปริมาณอากาศ และความเร็วที่พอเหมาะที่ทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดเซชันมีความเร็วพอดีทั้งต่อการดำเนินการไม่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงหลุดลอยออกจากบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

ในทางกลับกันสำหรับการใช้เปอร์เซ็นต์ปริมาณอากาศส่วนเกินที่สูงที่ 30% และ 40% ซึ่งมีค่าสูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อกระบวนการการเผาไหม้ด้วยความเร็วของกระแสฟลูอิดเซชันที่มากเกินไป นำพาอุณหภูมิเชื้อเพลิงบางส่วนที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดการหลุดลอยออกจากห้องเผาไหม้ ไปเผาไหม้ยังส่วนของฟริบอร์ด หรือบางส่วนหลุดลอยออกจากระบบก่อนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จนก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ รวมถึงระดับของอุณหภูมิจะไม่ค่อยนิ่ง เนื่องจากเกิดความไม่มีเสถียรภาพของกระแสก๊าซฟลูอิดเซชันที่ขึ้นลงภายในเตาอย่างรวดเร็ว จึงมีผลต่อระดับอุณหภูมิของเตาโดยเฉลี่ย รวมถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่า

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ในเตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบ และปริมาณอากาศเกินส่วนเกิน ล้วนแล้วแต่มีผลต่ออิทธิพลลักษณะการกระจายอุณหภูมิ องค์ประกอบก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ ผลที่ได้จะสรุป เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดเบด จากการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

ปริมาณอากาศส่วนเกิน

จากการผลทดลองพบว่าการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม จะให้ค่าของระดับอุณหภูมิสูงกว่าการดำเนินการที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ต่ำ แต่หากให้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่สูงจะพบปัญหา การหลุดลอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ก่อนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และความไม่เสถียรของอุณหภูมิจนทำให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยลดต่ำลง แต่หากมีการเพิ่มการติดตั้งครีบเข้าไปภายในเตาจะช่วยเพิ่มการเหนี่ยวนำอนุภาคให้เกิดการหมุนควงภายในเตา ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยสังเกตจากระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของเตาที่ติดตั้งครีบ และถ้าจากการเผาไหม้จะให้ผลที่ดีกว่าเตาที่ไม่ติดตั้งครีบที่สภาวะเดียวกัน ในการศึกษาทดลองนี้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 20% อากาศส่วนเกิน

การปรับเปลี่ยนจำนวนครีบ

ในกรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบตัดขวางห้องเผาไหม้ตามแนวทแยงมุม ควรติดตั้งบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ เพื่อให้กระแสก๊าซฟลูอิดเซชันสามารถก่อดำขึ้นจากบริเวณด้านล่างของห้องเผาไหม้ก่อน เพื่อไม่ก่อให้เกิดการอุดตันของถ้ำ และเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ จากผลการทดลองในทุกกรณีของการติดตั้งครีบ ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งครีบ และตำแหน่งใกล้เคียงจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากการเหนี่ยวนำของครีบส่งผลต่ออนุภาคเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ให้อยู่ในบริเวณใกล้เคียง หากจำนวนครีบมากไปพื้นที่ของห้องเผาไหม้ก็จะน้อยลงจนก่อให้เกิดการกีดขวางในระบบจะอุดตัน หรือถ้าน้อยไปก็จะทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดเซชันหลุดลอยออกจากระบบเร็วเกินไป ทั้งที่อนุภาคเชื้อเพลิงยังถูกเผาไหม้ไม่หมด กรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ จะให้ระดับอุณหภูมิจากการทดลองที่ดีที่สุด ซึ่งเพียงพอกับการเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิง และไม่ก่อให้เกิดการกีดขวางการกระจายตัวของเชื้อเพลิง และการหลุดลอยออกจากเตาของถ้ำแอลกอฮอล์

การปรับเปลี่ยนมุมครีบ

ผลจากการเปรียบเทียบกรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ มุม 30°, 45° และ 60° จำนวน 2 ครีบ 3 ครีบ และ 4 ครีบ อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนมุมครีบ แสดงให้เห็นว่าในทุกกรณีของมุมครีบ 45° จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ดีกว่ามุมอื่นๆ เนื่องด้วยมุม 30° ลักษณะของครีบจะแหลมและเอียงมาก ทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดเซชันไหลผ่านหน้าสัมผัสครีบไปสู่ส่วนพรีบอร์ดได้ง่ายกว่ากระแสก๊าซฟลูอิดเซชันหลุดลอยออกจากระบบเร็วเกินไป ตรงกันข้ามกับกรณีมุม 60° ลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครีบจะมีมุมเอียงที่น้อยที่สุด ทำให้การหมุนควงของอนุภาคเชื้อเพลิงลดลงตามแนวแกนเตา ส่งผลต่อการคายซีไธ้ออกจากเตาไม่ดี แต่เมื่อใช้ครีบมุม 45° จะเป็นการลดข้อเสียของมุม 30° และ 60° ตามที่กล่าวมา ทำให้ความสัมพันธ์ของความเร็วของอากาศ และทิศทางการกระจายตัวของการเผาไหม้ดีขึ้น ดังนั้นกรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่า จำนวน 3 ครีบ มุม 45° จึงให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดของการศึกษานี้ กรณีใช้ครีบมุม 30° จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุด ของการศึกษานี้ และกรณีใช้ครีบมุม 60° จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ดีที่สุด ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ค่าสูง

ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้

ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของทุกกรณีศึกษามีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.38 – 2.93 %Vol ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 122 – 157 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 220 – 263 ppm

ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบมีค่าอยู่ในช่วง 91.80 – 93.80 % ส่วนกรณีเตาเผากรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบโดยจะมีค่าระหว่าง 93.40 – 97.60 % แสดงว่ากรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่าให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่ากรณีเตาที่ไม่ติดตั้งครีบ

จากการเปรียบเทียบกรณีการติดตั้งครีบรูปตัววีกับครีบรูปตัววีคว่า ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้ใกล้เคียงกัน โดยกรณีครีบรูปตัววีจะมีระดับอุณหภูมิที่ดีในบริเวณกลางเตาอย่างชัดเจน แต่กรณีครีบรูปตัววีคว่าจะมีระดับความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณกลางเตากับผนังเตาไม่ต่างกันมา เนื่องจากครีบรูปตัววีคว่าจะช่วยกระจายอนุภาคเชื้อเพลิงออกด้านข้างผนังเตา ส่วนครีบรูปตัววีกระแสฟลูอิดเซชันจะหมุนควงเข้าสู่กึ่งกลางเตาทำให้อุณหภูมิที่กลางเตาสูงกว่าอย่างชัดเจน

หากพิจารณาจากลักษณะของเถ้า กรณีการติดตั้งครีบจะให้ลักษณะเถ้าที่ดีกว่า คือ มีลักษณะเป็นสีขาวหรือเทา แสดงถึงปริมาณคาร์บอนที่ยังเผาไหม้ไม่หมดมีปริมาณที่น้อย

เนื่องจากองค์ประกอบก๊าซไอเสียของแต่ละกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อีกทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงพิจารณาจากระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด จะได้ว่า การติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ามุม 45° จำนวน 3 ครีบ วางตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ ดำเนินการที่ใช้ปริมาณอากาศเกิน 20% ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการศึกษาวิจัยนี้ โดยมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดประมาณ 740°C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงสุด 881°C อุณหภูมิเฉลี่ยของฟริบอร์ตสูงสุด 568°C มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.93 %Vol ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 155 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 220 ppm และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98.00 %

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของจำนวนครีบและมุมครีบที่มีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งรูปทรงของครีบที่ติดตั้งเป็นรูปตัววีคว่า โดยจะมีลักษณะการวางครีบแบบตัดขวางตามแนวทแยงมุมพื้นที่บริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ และตลอดการทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนการใช้อากาศส่วนเกิน ทั้งหมด 4 ค่า คือ 10%, 15%, 20% และ 25% ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20%, 30%, 40% ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ว่ามีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบอย่างไร รวมถึงยังสามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไชต์เบตต่อไป และเพื่อเป็นการศึกษาพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไชต์เบตอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางในการศึกษาวิจัย ดังนี้

- ทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยนี้ แต่ทดลองใช้ครีบที่มีลักษณะ หรือรูปทรงที่แตกต่าง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษาทดลองกับวิจัยฉบับนี้ สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาพัฒนาต่อไป
- ทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยนี้ แต่อาจเลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เพื่อที่จะได้เกิดความหลากหลายสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง
- อาจทำการศึกษาทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ เช่น การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน จำนวนครีบ มุมครีบ และ ระยะห่างระหว่างครีบ ให้เหมาะสมใกล้เคียงสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง



บรรณานุกรม

- [1] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล., “การศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิในเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบด”, ในงานประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่3, 23 - 25 พฤษภาคม 2550.
- [2] จิตติวัฒน์ ผุฒลาวงษ์., “พฤติกรรมของการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17 - 19 ตุลาคม 2550.
- [3] 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)”
- [4] ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์., “การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2004.
- [5] นิยม ศรีศิริสิทธิกุล., “การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่21, 15 - 17 ตุลาคม 2546.
- [6] กษมา เจนวิจิตรสกุล., “Major gaseous and PAH emissions from a fluidized-bed combustor firing rice husk with high combustion efficiency”, Furl Processing Technology.89(2008), 777 - 787
- [7] สุรียา โชคเพิ่มพูน. 2552. “การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทคตามแนวยาว” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์. 2552. “พฤติกรรมของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีครีบริบตัววี” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] ณัฐวัฒน์ ชั่งชัย. 2554. “อิทธิพลของครีบริบตัววีในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดต่อการเผาไหม้แกลบ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] Chyang C.S., Wu K.T., Lin C.S., “Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor”, Fuel.86(2007), 234 - 243.
- [11] Albina D.O., “Emissions from multiple-spouted and spout-fluid fluidized beds using rice husks as fuel”, Renewable Energy.31(2006), 2152 - 2163.
- [12] Xie J.J., Yang X.M., Zhang L., Ding T.L., Song W.L., Lin W.G., Teng J.T., “Emissions of SO₂, NO and N₂O in a circulating fluidized bed combustorduring co-firing coal and biomass”, Environmental Sciences. 19 (2007), 109 - 117.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] 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.
- [14] Armestoa L., Bahilloa A., Veijonenb K., Cabanillas A., Oteroa J., “Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidized bed”, Biomass and Bioenergy. 23 (2002), 171 – 179.
- [15] สำเร็จ จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [16] กัญญา บุญเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [17] สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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

ตารางที่ ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552

ชนิด และปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็ง ปี 2552 หน่วย : ตัน / ปี			
อ้อยโรงงาน		ปาล์มน้ำมัน	
ยอดและใบ	13,630,555	ทางใบ และก้าน	2,220,167
กากอ้อย	20,245,383	ใบปาล์ม	1,216,194
ข้าว		กะลา	1,052,947
แกลบ	7,156,835	ทะลาย	1,754,911
ฟางข้าว	37,684,220	มะพร้าว	
ข้าวโพด		กะลา	341,102
ลำต้น ยอด ใบ	4,117,578	เปลือกและกาบ	780,254
ซังข้าวโพด	872,446	ก้าน ใบจั่น ทะลาย	777,492
มันสำปะหลัง		ยางพารา	
ลำต้น	3,640,651	ถ่านไม้	917,813
เหง้า	2,738,010	ไม้พิน	766,389
สับปะรด		เศษไม้	312,118
ต่อซังสับปะรด	1,114,179	ขี้เลื่อย	105,070

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงแกลบ

การวิเคราะห์ (Analysis)	
การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)	
ความชื้น (Moisture)	7.97%
เถ้า (Ash)	13.95%
สารระเหย (Volatile)	52.98%
คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	25.1%
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)	
คาร์บอน (Carbon)	38%
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	5.7%
กำมะถัน (Sulphur)	0.06%
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.69%
ออกซิเจน (Oxygen)	41.6%
เถ้า (Ash)	13.95%
ค่าความร้อน (Gross Calorific)	13.4 MJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

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

ที่มา: ข้อมูลส่วนหนึ่งจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม



ภาคผนวก ค.
ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

จากตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ

การวิเคราะห์แบบประมาณ (%)		การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (%)	
สารระเหย	55.6	คาร์บอน	38.0
คาร์บอนคงตัว	20.1	ไฮโดรเจน	5.7
ความชื้น	10.3	ไนโตรเจน	0.69
ขี้เถ้า	14.0	ออกซิเจน	41.6
		กำมะถัน	0.06
		ขี้เถ้า	14.0
		Calorific value, cal/g	3580

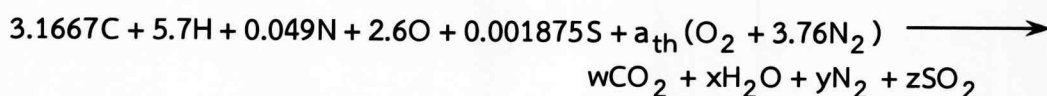
ตารางที่ ข.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	น้ำหนักโมเลกุล	จำนวนโมล
คาร์บอน	38.0	12	3.1667
ไฮโดรเจน	5.7	1	5.7
ไนโตรเจน	0.69	14	0.049
ออกซิเจน	41.6	16	2.6
ซัลเฟอร์	0.06	32	0.001875
ขี้เถ้า	14.0	-	-

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แกลบ สามารถเขียน ได้ดังนี้



สามารถเขียนในรูปสมการปฏิกิริยาเคมี ได้เป็น

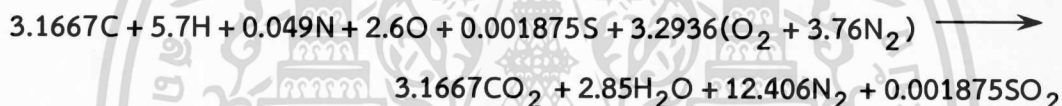


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสมดุลสมการ จะได้

$$\begin{array}{lcl}
 \text{C:} & 3.1667 & \longrightarrow = w \\
 & w = 3.1667 & \\
 \text{H:} & 5.7 & \longrightarrow = 2x \\
 & x = 2.85 & \\
 \text{S:} & 0.001875 & \longrightarrow = z \\
 & z = 0.001875 & \\
 \text{O:} & 2.6 + 2a_{\text{th}} & \longrightarrow = 2w + x + 2z \\
 & a_{\text{th}} = 3.2936 & \\
 \text{N:} & 0.049 + a_{\text{th}}(2 \times 3.76) & \longrightarrow = 2y \\
 & y = 12.406 &
 \end{array}$$

ทำการแทนค่าลงในสมการ จะได้



จำนวนโมลของอากาศแห้งของปฏิกิริยาเคมีนี้ มีค่าเท่ากับ

$$4.76a_{\text{th}} = 4.76 \times 3.2936 = 15.678 \text{ kmol}$$

เนื่องจากการสมดุลสมการใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองนั้นไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยจะทำการกำหนดสภาวะของอากาศ เป็นดังต่อไปนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) เท่ากับ 53%

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สภาวะนี้ (เป็นค่าที่เปิดจากตาราง) จะได้

$$P_{\text{sat}, \text{H}_2\text{O}} @ 33^\circ\text{C} = 5.0752 \text{ kPa}$$

$$\therefore P_{\text{v air}} = \Phi_{\text{air}} P_{\text{sat}, \text{H}_2\text{O}} = 0.53 \times 5.0752 = 2.690 \text{ kPa}$$

จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศหาได้ จากสมการ

$$\frac{N_{\text{v H}_2\text{O, air}}}{N_{\text{v total}}} = \frac{P_{\text{v air}}}{P_{\text{v total}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 Nv_{\text{H}_2\text{O,air}} &= \frac{Pv_{\text{air}}}{Pv_{\text{total}}} Nv_{\text{total}} \\
 &= \frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \times (15.678 + Nv_{\text{H}_2\text{O,air}}) \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\therefore Nv_{\text{H}_2\text{O,air}} = 0.4276 \text{ kmol}$$

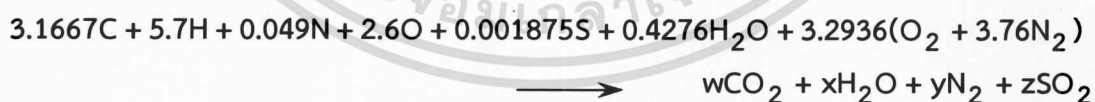
เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชื้นใหม่จะได้ ดังนี้



ทำการสมดุลสมการ จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{C} : \quad 3.1667 &= w \longrightarrow w = 3.1667 \\
 \text{H} : \quad 5.7 + (0.4276 \times 2) &= 2x \longrightarrow x = 3.2776 \\
 \text{S} : \quad 0.001875 &= z \longrightarrow z = 0.001875 \\
 \text{O} : \quad 2.6 + 0.4276 + (a_{\text{th}} \times 2) &= 2w + x + 2z \longrightarrow a_{\text{th}} = 3.2936 \\
 \text{N} : \quad 0.049 + (a_{\text{th}} \times 3.76 \times 2) &= 2y \longrightarrow y = 12.408
 \end{aligned}$$

นำค่าตัวแปรที่ทำการคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการ จะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชื้นกับเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการเผาไหม้พอดี คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$\frac{A}{F} \text{ ratio} = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}}$$

มวลของอากาศเท่ากับ

$$m_{\text{air}} = n_{\text{air}} \times MW_{\text{air}} = (n_{\text{dry air}} \times MW_{\text{dry air}}) + (n_{\text{H}_2\text{O}} \times MW_{\text{H}_2\text{O}})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานพิมพ์เชิงวิชาการ เพื่อผู้รู้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (3.2936 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) + (0.4276 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}})$$

$$= 461.875 \text{ kg}$$

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

$$m_{\text{fuel}} = n_{\text{fuel}} \times MW_{\text{fuel}} = (n_{\text{C}} \times MW_{\text{C}}) + (n_{\text{H}} \times MW_{\text{H}}) + (n_{\text{N}} \times MW_{\text{N}}) + (n_{\text{O}} \times MW_{\text{O}})$$

$$+ (n_{\text{S}} \times MW_{\text{S}})$$

$$= (3.1667 \times 12) + (5.7 \times 1) + (0.049 \times 14) + (2.6 \times 16) + (0.001875 \times 32) \text{ kg}$$

$$= 86.046 \text{ kg}$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{A}{F} \text{ ratio} = \frac{461.875 \text{ kg}}{86.046 \text{ kg}}$$

$$= 5.368$$

สมการ การหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air) หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air)} = \frac{\left(\frac{A}{F} \right)_{\text{Actual}}}{\left(\frac{A}{F} \right)_{\text{Stoic}}} - 1 \times 100\%$$

เพราะฉะนั้น ทำการหาอัตราการใช้ของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงเท่ากับ 7.4 kg/hr จะได้กรณีอัตราส่วนผสมพอดี

$$\frac{A}{F} = 5.368$$

$$A = 5.368 \times 7.4 \text{ kg / hr}$$

$$= 39.8 \text{ kg / hr}$$

ตารางที่ ข.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีอัตราส่วนผสมพอดี

อัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (กก./ชม.)	ปริมาณอากาศที่อัตราส่วนผสม พอดี (กก./ชม.)
1.1	5.4	29.3
1.3	6.4	34.8
1.5	7.4	39.8
1.7	8.6	46.3
1.9	10	53.5
2.1	10.7	57.4

ตารางที่ ข.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีทดลองที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

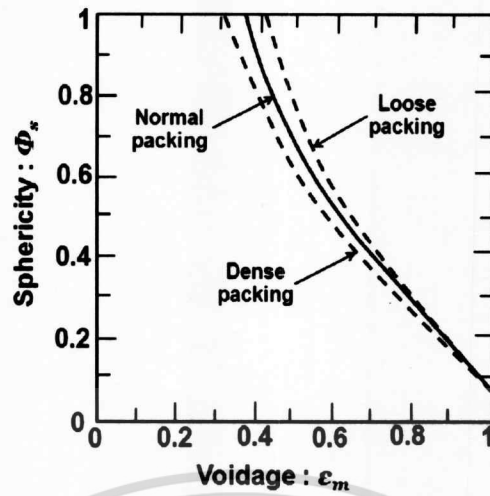
เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)	ปริมาณอากาศที่ใช้ (กก./ชม.)
10%	43.81
20%	47.79
30%	51.77
40%	55.76

2. การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ

2.1 การหาสัดส่วนช่องว่าง (ϵ_m) และ ความกลม (ϕ_s) ของแกลบ

$$\epsilon_m = \frac{\text{void volume}}{\text{Volume of (particles + voids)}}$$

จากการทดลองปริมาตรของ n-hexane ก่อนผสม = 55 mm.
 ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง = 20.5 mm.
 ปริมาตรหลังผสม = 58 mm.
 สัดส่วนของช่องว่างของเบต = $\frac{55 + 20.5 - 58}{20.5}$
 = 0.85



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบต

จากรูปที่ 3.10 เส้น normal packing จะได้

$$\epsilon_m = 0.85$$

$$\phi_s = 0.24$$

2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่ากับแกลบ (d_p)

ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง = 20.5 ตารางมิลลิเมตร

จำนวนของอนุภาค = 600 อนุภาค

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของแกลบ} &= \text{จำนวนของอนุภาค} \times \frac{\pi d_p^3}{6} \\ &= \text{ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง} \times (1 - \epsilon_m) \end{aligned}$$

$$600 \times \pi \frac{d_p^3}{6} = 20.5 \times (1 - 0.85)$$

$$d_p^3 = \frac{6 \times 20.5 \times 0.15 \times 7}{22 \times 600}$$

$$d_p^3 = 9.784 \times 10^{-3}$$

$$d_p = 0.214 \text{ cm.}$$

$$d_p = 2.14 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไชเบด (U_{mf})

ค่าความกลมกลบ, $\phi_S = 0.24$

$$\rho_{\text{rice husk}} = 0.8473 \text{ g/cm}^3$$

$$d_p = 0.214 \text{ cm.} = 2.14 \times 10^{-3} \text{ m}$$

คุณสมบัติของอากาศ ที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่าดังนี้

$$\rho_g = 1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3, \mu = 1.8 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$$

จากตารางที่ 3.6 ค่า K_1 และค่า K_2

Particles	$\left(\frac{K_1}{2K_2}\right)$	$\left(\frac{1}{K_2}\right)$	Source
Fine	33.7	0.0408	Wan and Yu (1996)
Coarse	28.7	0.0494	Chitester (1984)

หาค่าจากตาราง จะได้ว่า

$$\frac{1}{K_2} = 0.0408, K_2 = 24.5098$$

$$K_2 = \frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \phi_S^2}$$

$$K_1 = \frac{150(1 - \epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3 \phi_S^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_{mf} = 0.6675$$

$$K_2 = \frac{1.75}{0.2975 \times 0.24} = 24.5098$$

$$K_1 = \frac{150(1 - 0.6675)}{0.2975 \times 0.24} = 2,911.4317$$

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2}$$

แทนค่าในสมการหาค่า Ar ได้ดังนี้

$$Ar = \frac{0.214^3 \times 0.0012 \times (0.8473 - 0.0012) \times 981}{0.00018^2} = 301,278.58$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดซ์ คือสมการ

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \frac{(d_p U_{mf} \rho_g)^2}{\mu^2} + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf}) d_p U_{mf} \rho_g}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2 \mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2}$$

แทนค่า K_1, K_2, Ar จะได้

$$K_2 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.0012]^2}{0.00018^2} + K_1 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.0012]}{0.00018} = 301,278.58$$

$$49.8867U_{mf}^2 + 4157.6425U_{mf} = 301,278.58$$

$$\therefore U_{mf} = 46.509 \text{ cm/s}$$

คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 950 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_g = 0.289020 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 4.74560 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$$

$$Ar = \frac{0.214^3 \times 0.2892 \times 10^{-3} \times (0.8473 - 0.2892 \times 10^{-3}) \times 981}{(4.7456 \times 10^{-3})^2} = 10,457.19$$

แทนค่าเพื่อหา U_{mf}

$$K_2 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]^2}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} + K_1 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} = 10,457.19$$

$$0.41685U_{mf}^2 + 379.6885U_{mf} = 10,457.19$$

$$\therefore U_{mf} = 26.75 \text{ cm/s (ที่อุณหภูมิ } 950^\circ\text{C)}$$

2.4 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิไดซ์ (U_t)

เกล็ด, $\phi_s = 0.24$

$$\rho_R = 0.8473 \text{ g/cm}^3$$

$$d_p = 0.214 \text{ cm}$$

อากาศ, $\rho_g = 1.2 \times 10^{-3}$

$$\mu = 1.8 \times 10^{-4}$$

จากสมการ

$$d_p^* = d_p \frac{[\rho_g (\rho_R - \rho_g) g]^{1/3}}{\mu^{1/3}}$$

แทนค่าจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_p^* = 0.214 \frac{[0.0012 \times (0.8473 - 0.0012) 980]^{1/3}}{(0.00018^2)^{1/3}}$$

$$d_p^* = 67.038$$

จากนั้นหาค่าของ

$$U_t^* = \frac{18}{(d_p^*)^2} + 2.335 - \frac{1.774 \phi_s}{(d_p^*)^{0.5}}$$

แทนค่าจะได้

$$U_t^* = \frac{18}{67.038^2} + 2.335 - \frac{1.774 \times 0.24}{(67.038)^{0.5}}$$

$$U_t^* = 4.20045$$

$$U_t = U_t^* \frac{\mu(\rho_R - \rho_g) g^{1/3}}{\rho_g^2}$$

$$\therefore U_t = 425.2758 \text{ cm/s}$$

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดังที่ได้แสดงในผลการทดลองนั้นเป็นค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Testo 350XL) โดยมีหลักการคำนวณจากปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) และ อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ทางออก ที่วัดได้จากกระบวนการการเผาไหม้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{com} [\%] = 100 - loss [\%]$$

โดยที่ค่าการสูญเสีย (loss) สามารถคำนวณได้จากสมการ ข้างล่าง คือ

$$loss [\%] = \frac{1}{10} \left[\frac{A}{20.94 - O_2} + B \right] \cdot (FT - AT) + C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ A B และ C คือ แฟคเตอร์ของเชื้อเพลิงได้จากคู่มือการใช้งาน
 O_2 คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการวัดค่า
 FT คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย
 AT คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

ตัวอย่าง การคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในกรณีเตาเผาที่มีการติดตั้งครีบบม 45° จำนวน 3 ครีบ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 20% (ผลที่ดีที่สุด) มีค่าที่วัดได้ ดังนี้

$$O_2 = 11.49 \%Vol$$

$$FT = 460 ^\circ C$$

$$AT = 32 ^\circ C$$

$$A = 0.6175$$

$$B = 0.0025$$

$$C = 8.14$$

(เมื่อ A, B และ C คือแฟคเตอร์ของเชื้อเพลิง wood 20 % : เปิดค่าจากคู่มือการใช้อุปกรณ์ Testo 350MXL)

แทนค่า ในสมการจะได้

$$Loss [\%] = \frac{1}{10} \left[\frac{0.6175}{20.94 - 12.24} + 0.0025 \right] \cdot (460 - 32) + 8.14$$

$$= 3.96\%$$

จากสมการสามารถคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ ได้ดังนี้

$$\eta_{com} [\%] = 100 - 3.96$$

$$= 96.04 \%$$

(ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่วัดได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย มีค่าเท่ากับ 96%)



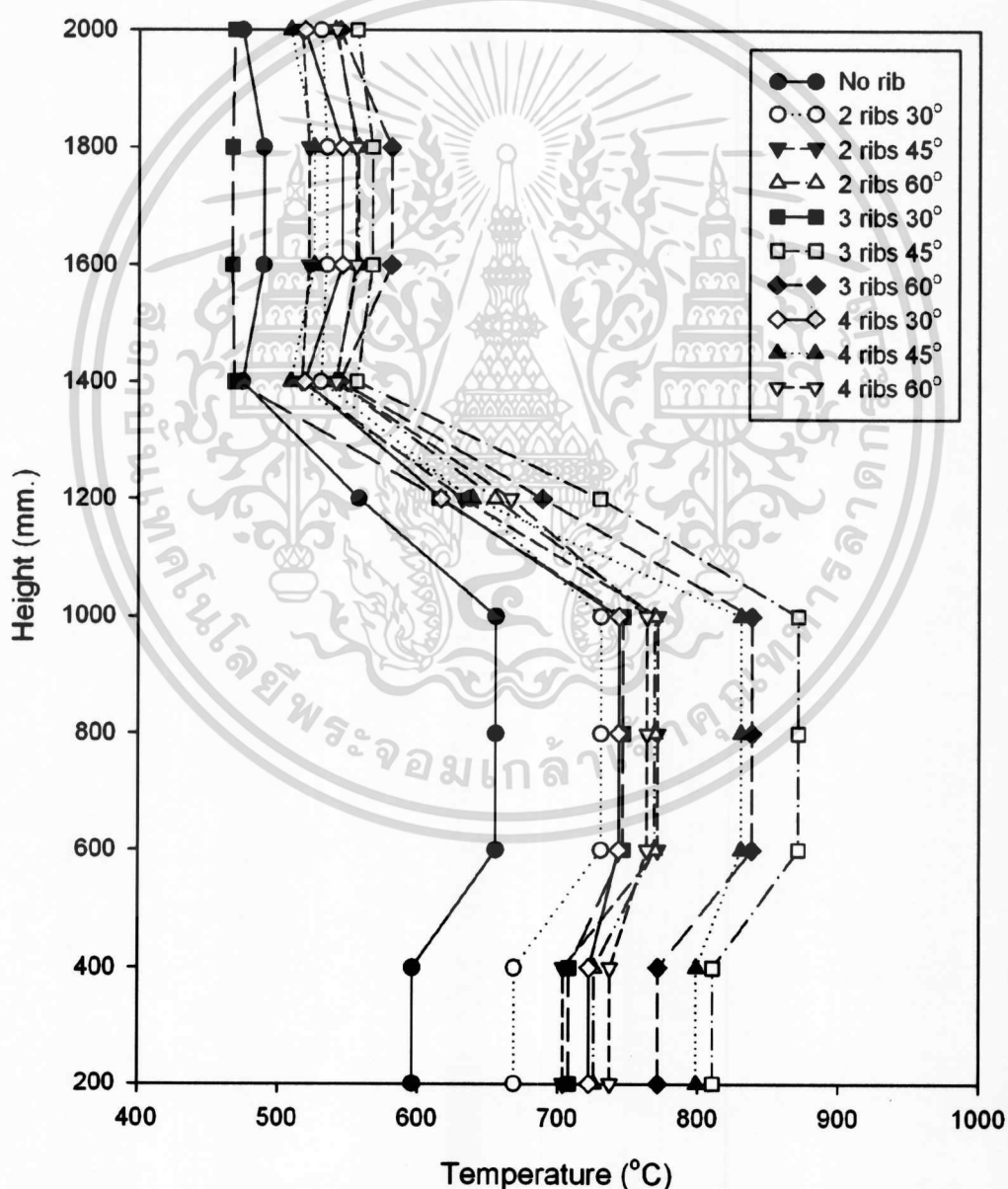
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 10%

การนำเสนอผลการศึกษาดังนี้จะทำการเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 10% โดยจะทำการจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผา 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (200-400)
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (600-1,000)
- บริเวณส่วนขยายพรีบอร์ด
- บริเวณส่วนพรีบอร์ด

EA 10%



รูปที่ ง.1 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 10%

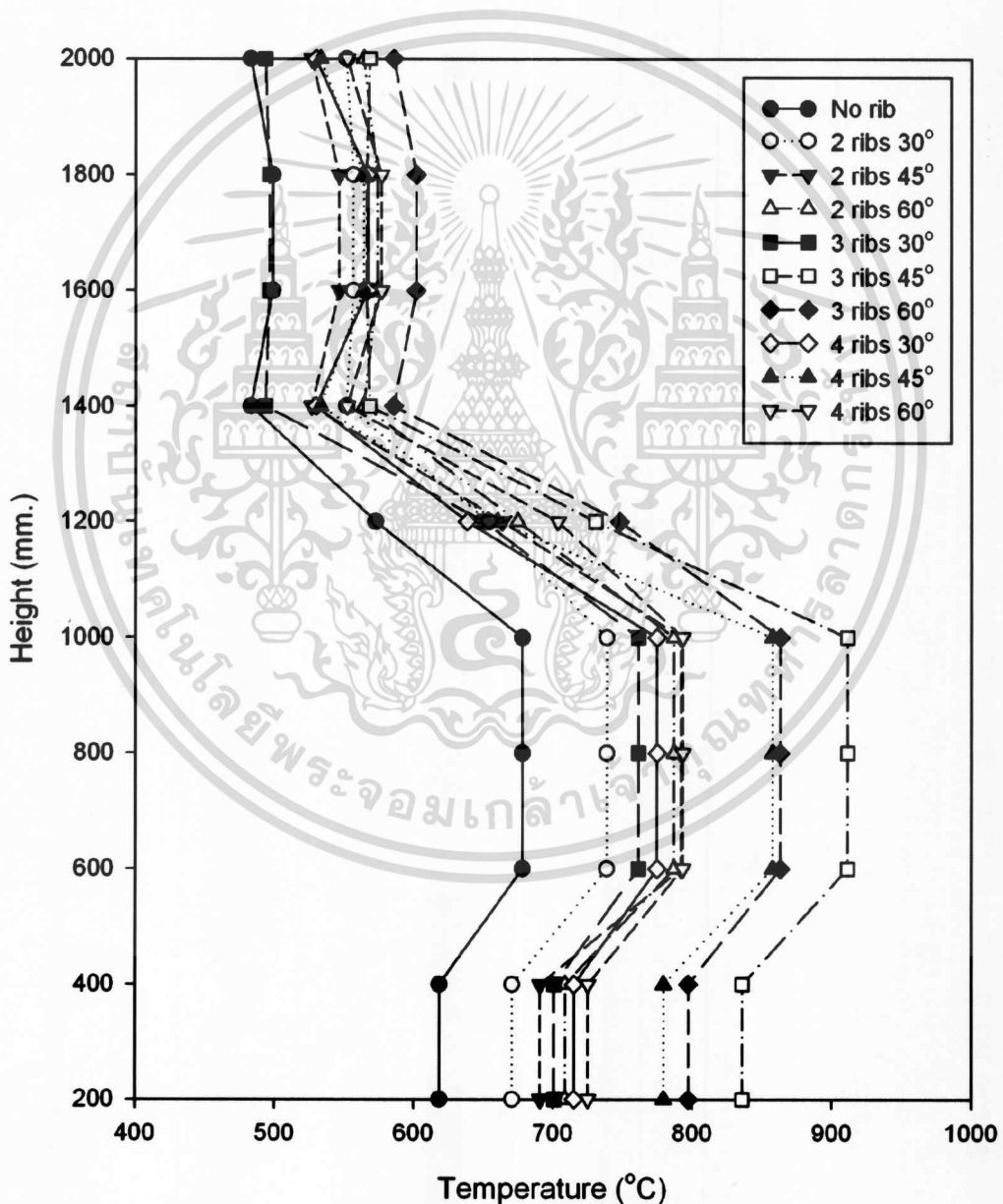
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20%

การนำเสนอผลการศึกษาดังนี้จะทำการเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20% โดยจะทำการจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผา 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (200-400)
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (600-1,000)
- บริเวณส่วนขยายพรีบอร์ด
- บริเวณส่วนพรีบอร์ด

EA 20%



รูปที่ ง.2 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 20%

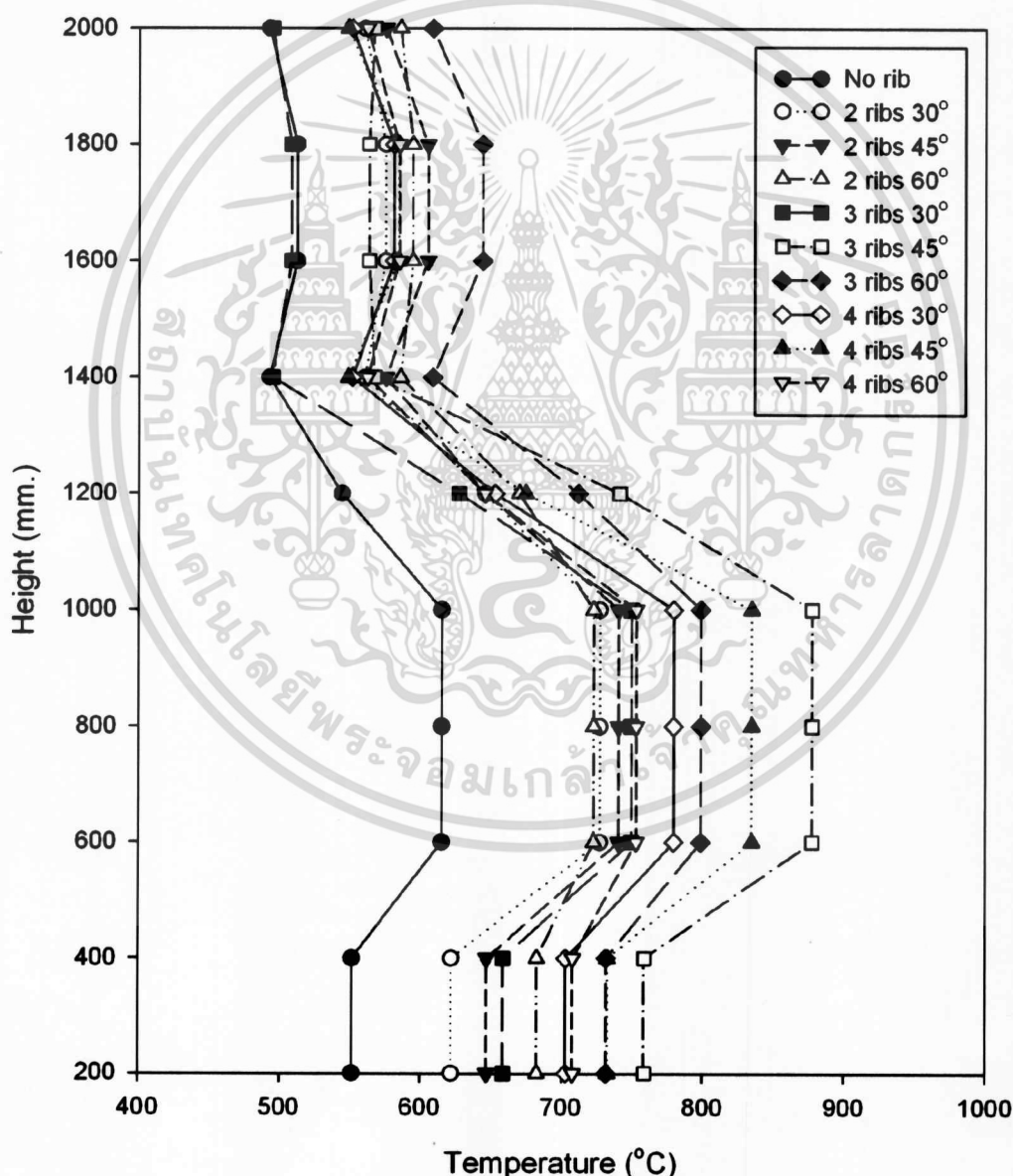
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 30%

การนำเสนอผลการศึกษาดังกล่าวนี้จะทำการเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 30% โดยจะทำการจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผา 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (200-400)
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (600-1,000)
- บริเวณส่วนขยายพรีบอร์ด
- บริเวณส่วนพรีบอร์ด

EA 30%



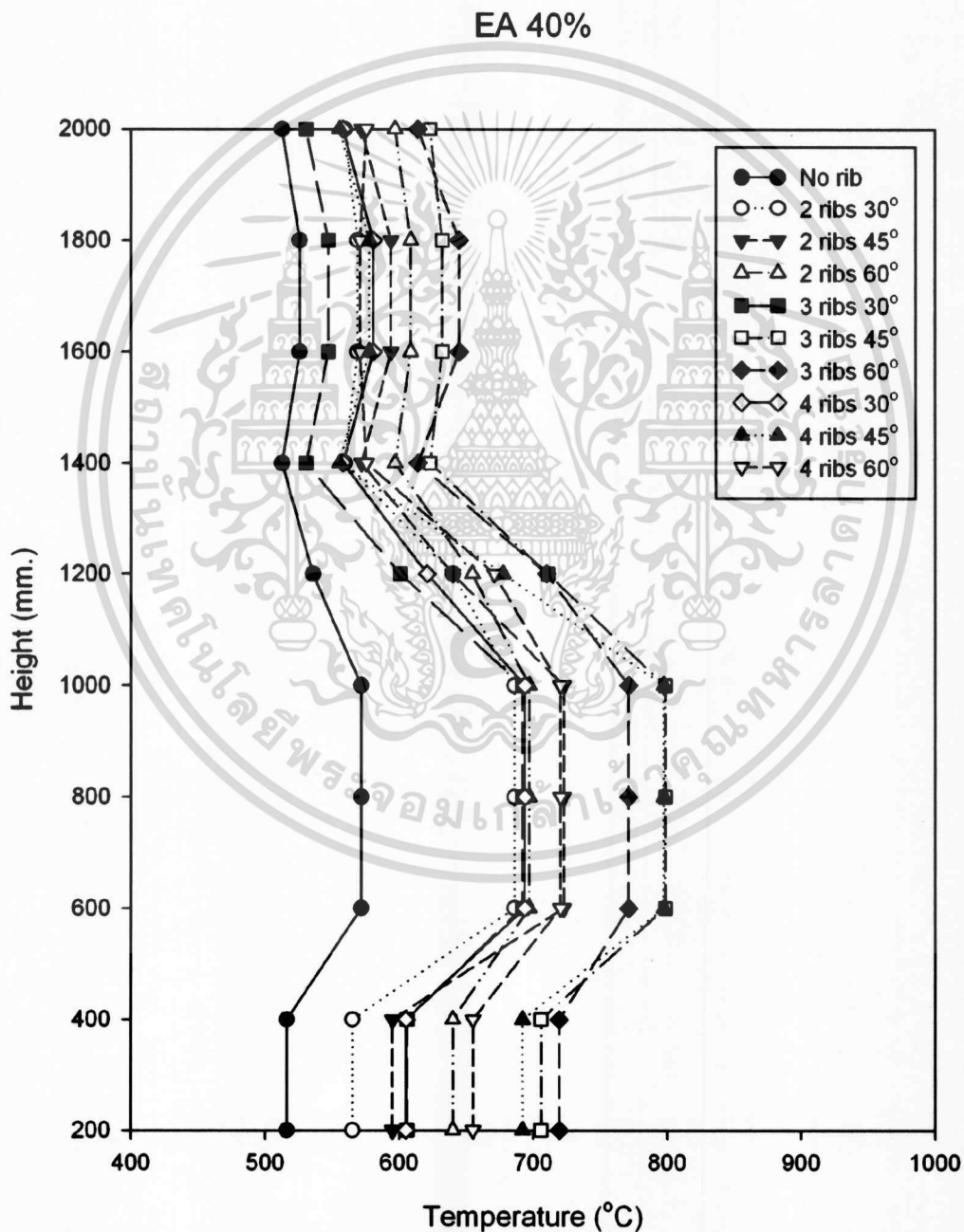
รูปที่ ง.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%

การนำเสนอผลการศึกษาดังนี้จะทำการเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% โดยจะทำการจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผา 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (200-400)
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ระดับความสูง (600-1,000)
- บริเวณส่วนขยายพรีบอร์ด
- บริเวณส่วนพรีบอร์ด

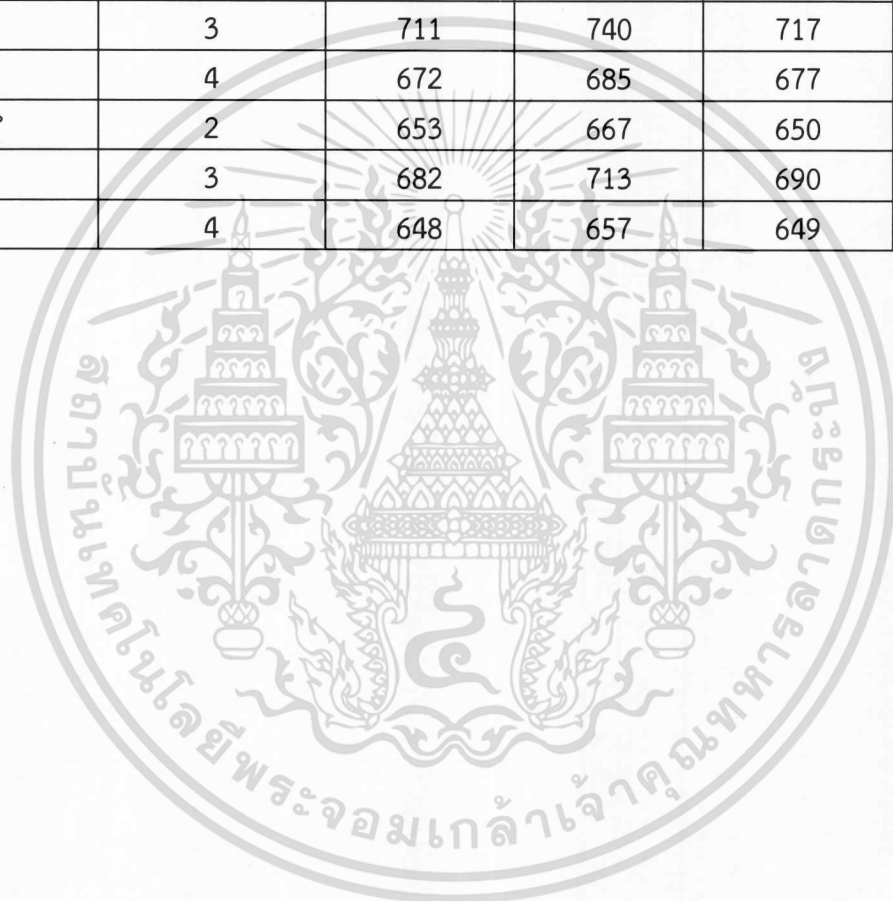


รูปที่ ๔.๔ การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ EA 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

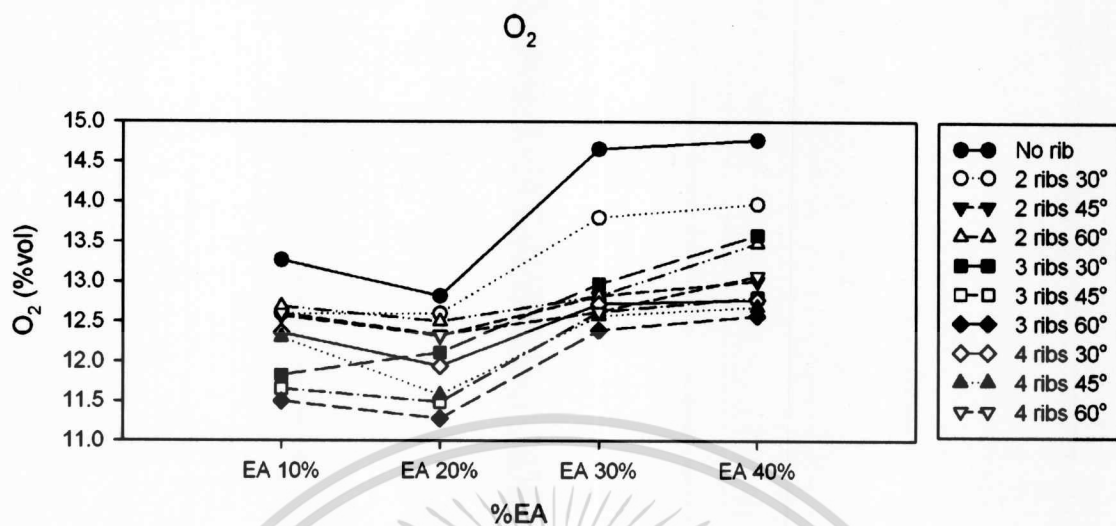
ตารางที่ ง.1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบริบตัวรีคว่ำ		ผลของอุณหภูมิโดยการเฉลี่ยทั้งเตาที่ค่า EA ต่างๆ			
ลักษณะมุมครีบริบ	จำนวนครีบริบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%
No-rib		556	572	539	533
30°	2	631	644	633	605
	3	618	638	630	616
	4	630	641	652	612
45°	2	644	654	648	627
	3	711	740	717	705
	4	672	685	677	662
60°	2	653	667	650	641
	3	682	713	690	679
	4	648	657	649	637



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณก๊าซออกซิเจน



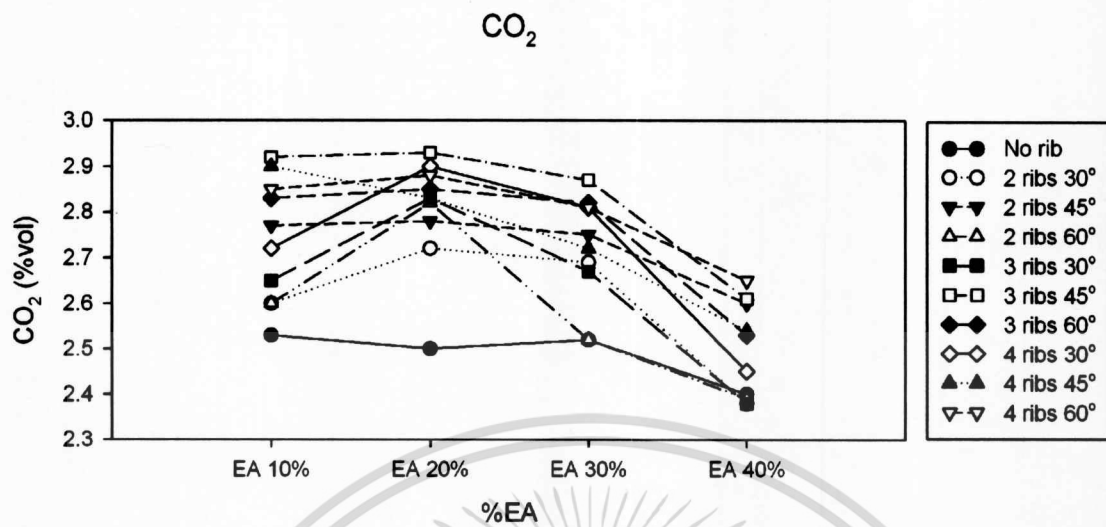
รูปที่ ง.5 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ง.2 ปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบริบตัววัดค่า		ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2 %Vol)			
ลักษณะมุมครีบริบ	จำนวนครีบริบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%
No-rib		13.27	12.82	14.66	14.77
30°	2	12.60	12.60	13.80	13.97
	3	11.83	12.11	12.97	13.58
	4	12.36	11.94	12.72	12.77
45°	2	12.57	12.32	12.82	13.01
	3	11.66	11.49	12.62	12.80
	4	12.30	11.58	12.57	12.63
60°	2	12.69	12.50	12.82	13.48
	3	11.50	11.28	12.39	12.57
	4	12.60	12.33	12.62	13.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



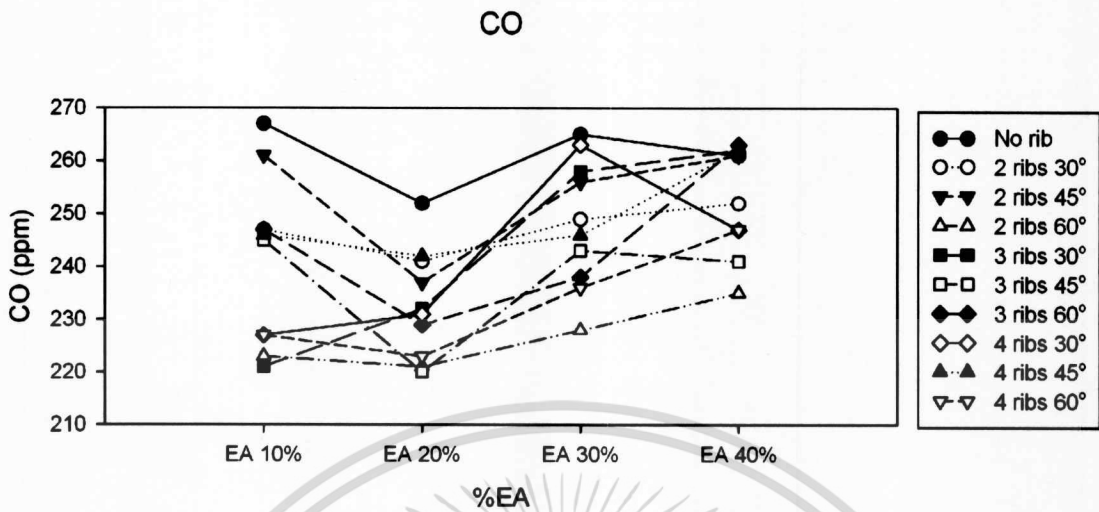
รูปที่ ง.6 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ง.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบริบตัววิเคราะห์		ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 %Vol)			
ลักษณะมุมครีบริบ	จำนวนครีบริบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%
No-rib		2.53	2.50	2.52	2.40
30°	2	2.60	2.72	2.69	2.38
	3	2.65	2.83	2.67	2.38
	4	2.72	2.90	2.81	2.45
45°	2	2.77	2.78	2.75	2.60
	3	2.92	2.93	2.87	2.61
	4	2.90	2.83	2.72	2.54
60°	2	2.60	2.82	2.52	2.39
	3	2.83	2.85	2.82	2.53
	4	2.85	2.88	2.81	2.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

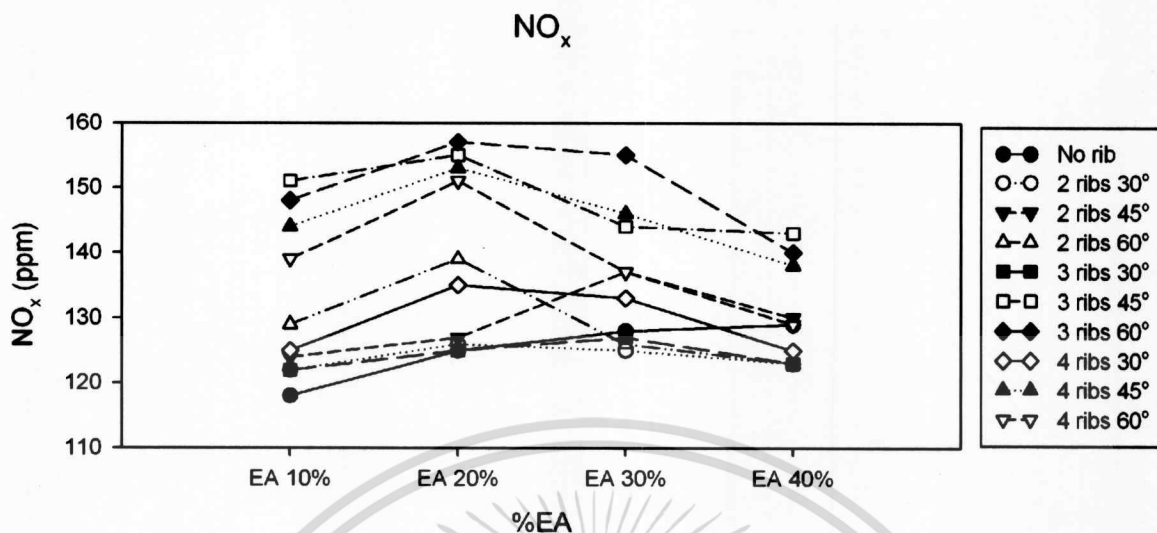


รูปที่ ๗.๗ การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๗.๔ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบริบตัววัดว่า		ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO ppm)			
ลักษณะมุมครีบริบ	จำนวนครีบริบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%
No-rib		267	252	265	261
30°	2	247	241	249	252
	3	221	232	258	262
	4	227	231	263	247
45°	2	261	237	256	261
	3	245	220	243	241
	4	246	242	246	262
60°	2	223	221	228	235
	3	247	229	238	263
	4	227	223	236	247

ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์



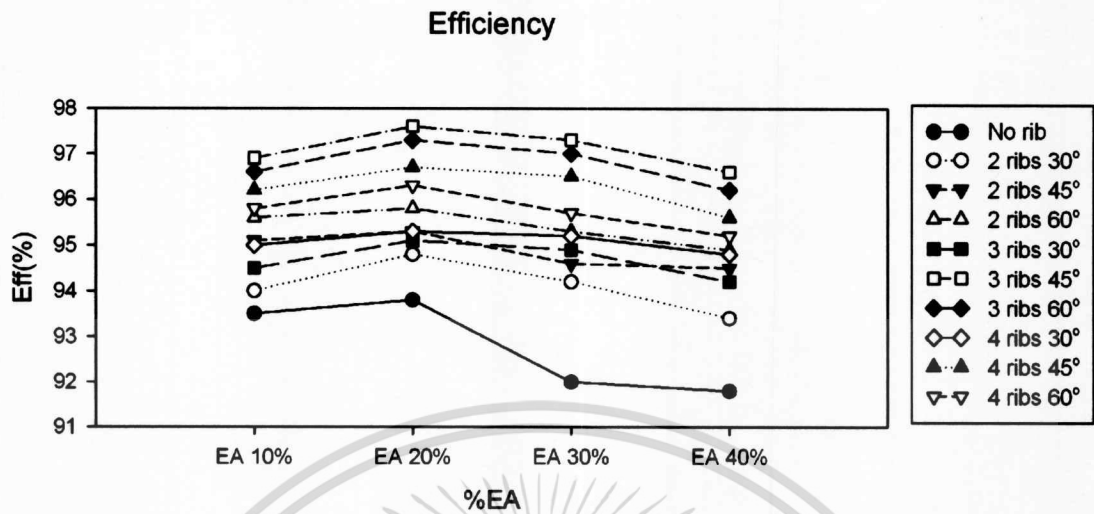
รูปที่ ๕.๘ การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๕.๕ ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่า		ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x ppm)			
ลักษณะมุมครีบ	จำนวนครีบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%
No-rib		118	125	128	129
30°	2	122	126	125	123
	3	122	125	127	123
	4	125	135	133	125
45°	2	124	127	137	130
	3	151	155	144	143
	4	144	153	146	138
60°	2	129	139	126	123
	3	148	157	155	140
	4	139	151	137	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้



รูปที่ ๙.๙ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

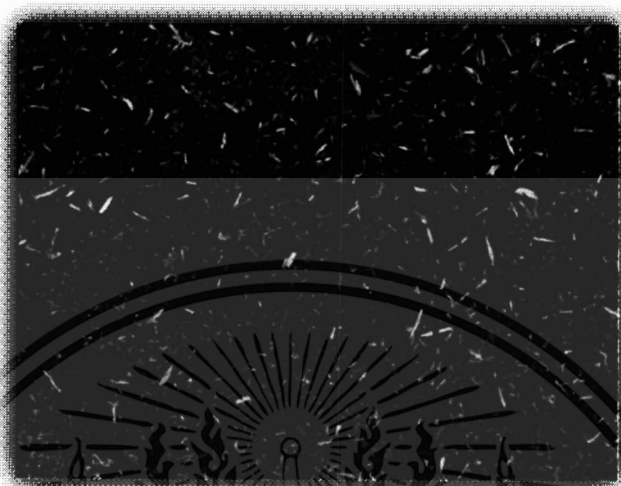
ตารางที่ ๙.๖ ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบริบตัววัดค่า		ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%Eff)				
ลักษณะมุมครีบริบ	จำนวนครีบริบ	EA 10%	EA 20%	EA 30%	EA 40%	
No-rib		93.5	93.8	92.0	91.8	
	30°	2	94.0	94.8	94.2	93.4
	3	94.5	95.1	94.9	94.2	
45°	4	95.0	95.3	95.2	94.8	
	2	95.1	95.3	94.6	94.5	
	3	96.9	97.6	97.3	96.6	
60°	4	96.2	96.7	96.5	95.6	
	2	95.6	95.8	95.3	94.9	
	3	96.6	97.3	97.0	96.2	
	4	95.8	96.3	95.7	95.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเก้าอี้ที่ได้จากกระบวนการการเผาไหม้

กรณี เตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด



รูปที่ ง.10 ลักษณะซี่เก้าอี้จากกรณีเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบที่ EA 20%

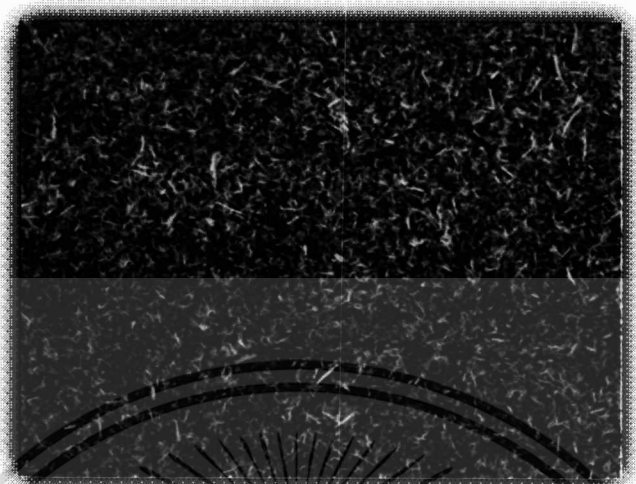
กรณี เตาเผาที่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำสุด



รูปที่ ง.11 ลักษณะซี่เก้าอี้จากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบบุม 30° จำนวน 2 ครีบ ที่ EA 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี เต้าเผาที่มีการติดตั้งครีบบนซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด



รูปที่ ง.12 ลักษณะซี่ไถ้จากกรณีเต้าเผาติดตั้งครีบบนมุม 45° จำนวน 3 ครีบบน ที่ EA 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งครีบ Study of Rice Husk Combustion Behaviors in A Fluidized Bed with Ribs

ประภาส ทักษิณะสุรีย์¹, ชินรักษ์ เทียรพงษ์¹, ณัฐวิภา เจียรระโนวชิระ¹ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์¹
Praphat Tugsinasuree¹, Chinaruk Thianpong¹, Nuthvipa Jayranaiwachira¹ and Pongjet Promvongce¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกัน 2 กรณี ได้แก่ กรณีแรกภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบ และกรณีที่สองห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 ครีบ รักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่ที่ 7.4 kg/hr และทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าเป็น 30%, 40%, 50% และ 60% จากผลการทดลองการกระจายอุณหภูมิที่เกิดจากห้องเผาไหม้ในกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี โดยในกรณีไม่ติดตั้งครีบภายในเตาเผาจะมีอุณหภูมิมิบริเวณพรีบอร์ดเฉลี่ย 503°C อุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 727°C กรณีที่มีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำเตาเผาจะมีอุณหภูมิมิบริเวณพรีบอร์ดเฉลี่ย 565°C อุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 743°C ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกเงื่อนไข โดยปริมาณก๊าซ CO และก๊าซ NO_x ที่วัดที่ท่อทางออก มีค่าอยู่ในช่วง 320-329 ppm และ 295-298 ppm ตามลำดับ และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 88-90%

คำสำคัญ: การเผาไหม้, ฟลูอิดไดซ์เบด, เชื้อเพลิงแกลบ

ABSTRACT

This paper presents the difference of temperature distribution of rice husk combustion characteristics in a rectangular fluidized bed combustor. The experiments were made in 2 types of the bed: bed without rib and bed with 3 Λ -shaped ribs of 45° attack angle. The experiments were conducted by setting a constant mass flow rate of rice husk fuel at 7.4 kg/hr and by varying mass flow rate of the combustion air to obtain the excess air of 30% 40% 50% and 60 %. Temperature distributions inside the bed were measured at selected locations. The experimental results show that the mean temperatures in the free board and in the combustion chamber are found to be about 503°C and 727°C for the bed with no rib while are around 565°C and 743°C for the bed with ribs, respectively. Gas emissions from the flue gas are at similar trends in all tests of both cases. CO and NO_x emissions measured at the stack exit are in a range between 320-329 ppm and 295-298 ppm, respectively and combustion efficiency in the range of 88-90%.

Keywords: Combustion, Fluidized Bed, Rice Husk Fuel

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Bangkok, Thailand, 10520 Email: kppongje@kmitl.ac.th

บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลคือ "แกลบ" แกลบจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อน แล้วจึงค่อยๆ ลามเข้าไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนก็จะกลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ฟลูอิดไคซ์เบดจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือเศษเหลือจากการเกษตรเป็นพลังงานเนื่องจากว่ามีข้อได้เปรียบคือ สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสมทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิคงที่ แต่อย่างไรก็ตาม Wan และ Chyang รายงานว่าการใช้วิธีการของฟลูอิดไคซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (เฟิร์บอร์) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดนั้นอาจต้องมีความสูงรวมของเฟิร์บอร์มากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุงเตาเผาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้กับเชื้อเพลิงแข็งที่มีน้ำหนักเบา การปรับปรุงการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูงมีวิธีการอยู่หลายวิธี ดังนี้ 1) การปรับปรุงการออกแบบห้องเผาไหม้ 2) การเตรียมส่วนผสมของเชื้อเพลิง 3) การทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบพร้อมด้วยการพัฒนาห้องเผาไหม้ โดยการติดตั้งชุดครีบรูปตัววีคว่าไม่เหมาะสมในแนวทแยงขวางไว้ในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการไหลหมุนวนของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ รวมไปถึงระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้นเพื่อให้ส่งผลต่อการเผาไหม้และการกระจายตัวของอนุภาคภายในเตาเผา ปริมาณก๊าซไอเสียและขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ทั้งนี้ ก็เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงเตาเผาที่มีขนาดเล็กแต่สามารถให้ประสิทธิภาพสูง สามารถ

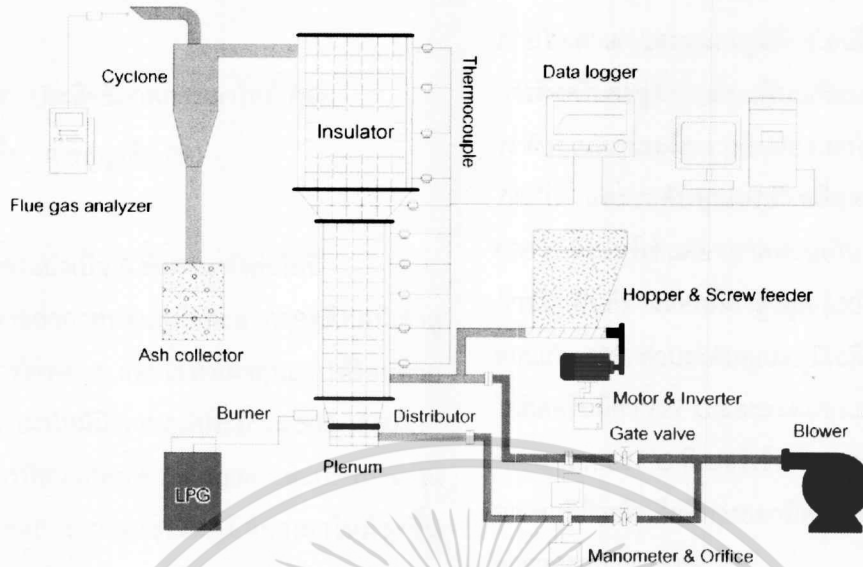
นำไปประยุกต์ประโยชน์กับงานด้านต่าง ๆ ที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

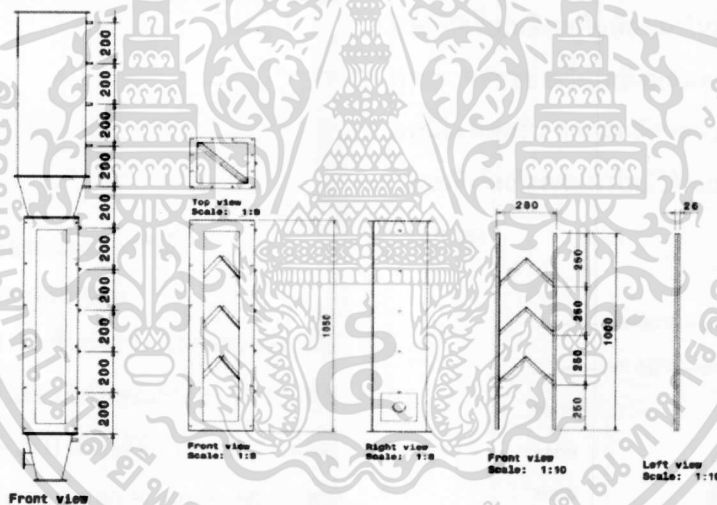
ระบบและอุปกรณ์ของเตาเผาแสดง ดังภาพที่ 1 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดทำมาจากเหล็กซึ่งถูกหุ้มฉนวนภายนอก ลักษณะรูปทรงของเตาเป็นเตาเหลี่ยมจัตุรัส มีความสูงของเตาทั้งหมดเท่ากับ 2.38 เมตร ขนาดหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.2×0.2 เมตร และสูงเท่ากับ 1.05 เมตร ในขณะที่ขนาดหน้าตัดของเฟิร์บอร์เท่ากับ 0.3×0.3 เมตร และสูง 0.80 เมตร ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 0.23 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ลักษณะของครีบทึ่ใช้ในการทดลองแสดง ดังภาพที่ 2 ครีบทึ่ทำจากเหล็กฉากเชื่อมติดกันเป็นรูปตัววีคว่ามีขนาดความกว้างเท่ากับ 0.25 เมตร สูงเท่ากับ 0.14 เมตร และระยะห่างระหว่างครีบทึ่เท่ากับ 0.25 เมตร ซึ่งจะถูกติดตั้งเข้ามาในแนวทแยงขวางไว้ในห้องเผาไหม้โดยทำมุมกับผนังห้องเผาไหม้เป็นมุม 45° ความสูงของครีบทึ่ทั้งหมดที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.89 เมตร ซึ่งมีความสูงเป็น 85% ของความสูงห้องเผาไหม้

อุปกรณ์ในการทดลองและตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิ โดยเทอร์โมคัปเปิล type K ทั้งหมด 10 ตัว เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ทำการประกอบชุดอุณหภูมิ คือ หัวเผา (burner) เข้ากับเตาเผา จากนั้นจะทำการติดตั้งชุดป้อนอากาศ โดยอากาศที่จะป้อนเข้าสู่ระบบได้จากการทำงานของพัดลม (blower) อากาศจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน อากาศส่วนแรกจะถูกป้อนเพื่อลำเลียงแกลบเข้ามายังห้องเผาไหม้ อากาศส่วนที่สองจะถูกป้อนเข้าไปเพื่อช่วยในการพยุ่ตัวของแกลบ โดยวาล์ว (valve) และ ออร์ฟิส (orifice) ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการอัตราการไหลของอากาศผ่านมานอมิเตอร์แสดงค่า เพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศ ทั้ง 2 ส่วน ที่จะถูกป้อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในเตา ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ (inverter) ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ตามความต้องการ ซึ่งต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านไปยัง screw feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบ ในส่วนของขี้เถ้า ฝุ่นละออง และก๊าซไอเสีย จะระบายผ่านทางไซโคลอนไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ทดลองของเตาเผาแก๊สฟลูอิดไรส์เบด



ภาพที่ 2 การติดตั้งและขนาดของครีบริบตัววัดที่ที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริง กำหนดให้อยู่ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (excess air, EA) คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100 เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

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

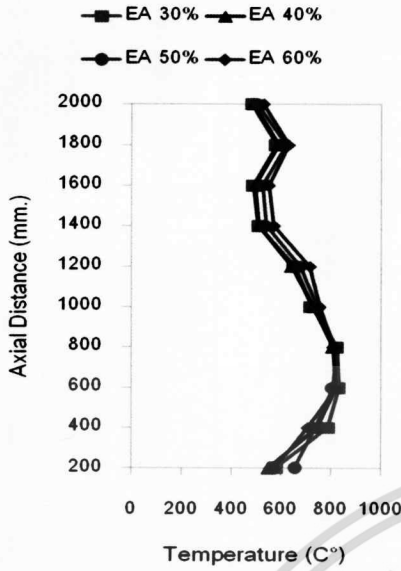
เมื่อ EA คือ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%), (excess air)

(A/F)_{Actual} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

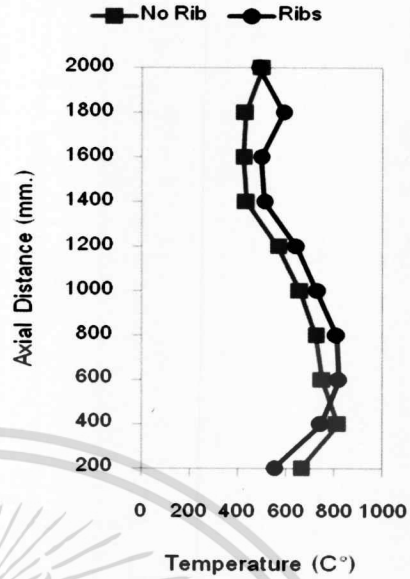
(A/F)_{Stoic} คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ (TESTO 350XL) โดยจากการเผาไหม้สมบูรณ์จะมีประสิทธิภาพ 100 % ลบด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

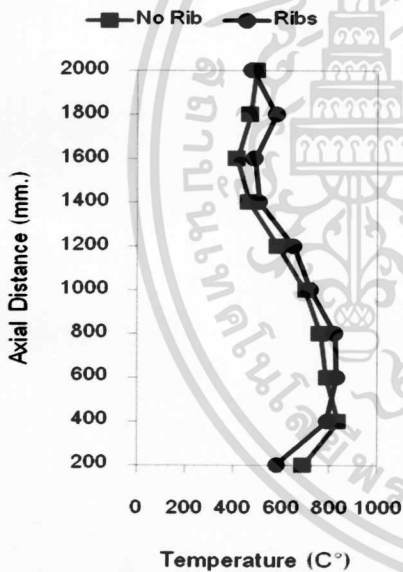
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



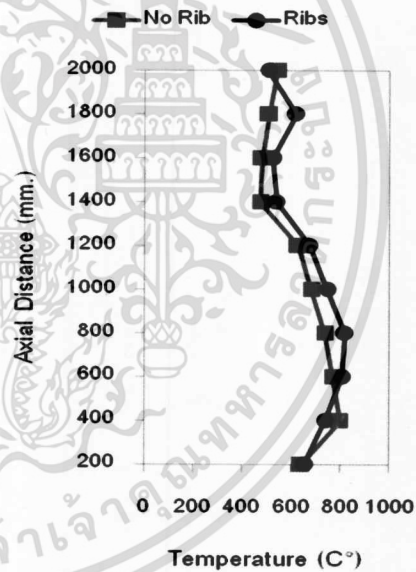
ภาพที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA เท่ากับ 30%, 40%, 50% และ 60% ในกรณีติดตั้งครีบริบ



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA = 40%



ภาพที่ 5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA = 30%



ภาพที่ 7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA = 50%

ปริมาณก๊าซไอเสีย

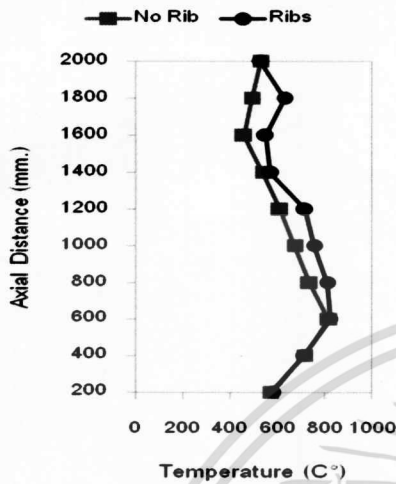
จาก ภาพที่ 9-10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่วัดได้มีค่าต่ำทั้งกรณีติดตั้งครีบริบและกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบริบ พบว่า มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าระหว่าง 320 - 329 ppm และปริมาณก๊าซก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าระหว่าง 295 - 298 ppm

ประสิทธิภาพการเผาไหม้

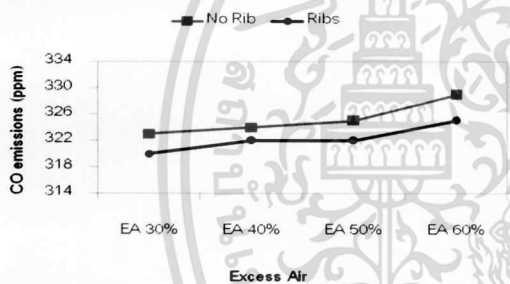
จาก ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบมีแนวโน้มค่อนข้างจะคงที่เส้นกราฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบริบมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบริบสำหรับทุกกรณี ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาไม่ติดตั้งครีบริบวัดค่าได้ประมาณ 88% มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิใช่ผู้ให้ข้อมูลหรือรับประกันความถูกต้องของข้อมูล ข้อมูลและข้อเท็จจริงที่ปรากฏในเอกสารนี้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่另行通知 หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2562-5100

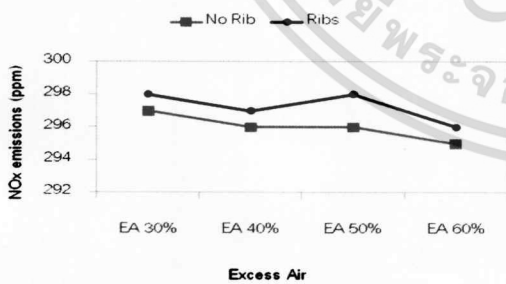
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ สูงสุดอยู่ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 30 % ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ติดครีบบ้างภายในวัดค่าได้ประมาณ 90 %



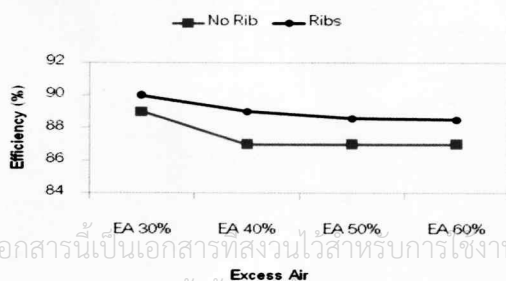
ภาพที่ 8 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่า EA = 60%



ภาพที่ 9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ค่า EA (%) ต่าง ๆ



ภาพที่ 10 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ค่า EA (%) ต่าง ๆ



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่า EA (%) ต่าง ๆ

สรุป

ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินและการติดตั้งครีบบมีผลต่อการกระจายตัวและระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาที่มีการติดครีบบจะมีค่าสูงกว่าระดับอุณหภูมิภายในของเตาเผาที่ไม่มีการติดครีบบ

ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่าค่อนข้างต่ำมากทั้งกรณีติดครีบบและไม่ติดครีบบ การติดครีบบมีผลต่อการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ติดครีบบมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ไม่ติดครีบบสำหรับทุกกรณีการศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

P. Promvong and K. Silapabanleng. 2001. "Experimental Study of Combustion Characteristics in a Rice Husk Fired Vortex Combustor," Proceedings of the 36th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Savannah, Georgia. 2001: paper no. 2001-RE-17.

H.P. Wan and C.S. Chyang. 1998. "Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed," J. of Chemical Engineering of Japan, Vol.13, No.6. 1998: 977-986.

C.S. Chyang, K.T. Wu and C.S. Lin, 2007. "Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor", Fuel,86, 2007: 234 – 243.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายประภาส ทักษิณะสุรีย์
วัน เดือน ปีเกิด	17 ธันวาคม 2525
ที่อยู่	46 หมู่ที่ 3 สุขุมวิท 103 แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีคณะ วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2548 - 2554	บริษัท โตโยต้า โบโซกุ เกตเวย์ (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง Cost Engineer
พ.ศ.2554 - ปัจจุบัน	บริษัท โกชู โคชั่น จำกัด ตำแหน่ง Project Engineer
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	
1.	“พฤติกรรมกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดไดซ์เบดที่มีครีบริบตัววี” <i>การประชุม วิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, 26 - 27 ตุลาคม 2552 จังหวัดกาญจนบุรี</i>
2.	“การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งครีบริบ” <i>การประชุม วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, 31 มีนาคม -1 เมษายน 2554 จังหวัดชลบุรี</i>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้