

การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด
ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทกตามแนวยาว

EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED
BED WITH LONGITUDINAL VORTEX GENERATORS

สุริยา โชคเพิ่มพูน
SURIYA CHOKRHOEMPHUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-11-030-137

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด
ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทคตามแนวยาว

EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED
BED WITH LONGITUDINAL VORTEX GENERATORS



T105469

สุรียา โชคเพิ่มพูน

SURIYA CHOKPHOEMPHUN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105469
วัน,เดือน,ปี..... 24 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-137

**EXPERIMENTAL STUDY ON RICE HUSK COMBUSTION IN A FLUIDIZED
BED WITH LONGITUDINAL VORTEX GENERATORS**

SURIYA CHOKPHOEMPHUN

**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**

2009

KMITL-2009-EN-M-030-137

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทกตามแนวยาว

Thesis Title Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Fluidized Bed with Longitudinal Vortex Generators

นักศึกษา นายสุริยา โชคเพิ่มพูน

รหัสประจำตัว 50060325

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-137

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สุตาภัทร	แคว้นเขามิ่ง	
ดร.ปัญญา	จันทร์สุวรรณ	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
รศ.ดร.ชินรักษ์	เชียรพงษ์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2552 เวลา 12.30-14.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทคตามแนวยาว

นักศึกษา

นายสุริยา โชคเพิ่มพูน

รหัสประจำตัว

50060325

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์รูปทรงสี่เหลี่ยม และอิทธิพลของลักษณะครีปที่ทำการติดตั้งภายในส่วนห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ ลักษณะครีปที่ติดตั้งเป็นครีปรูปตัววีคว่ามุม 30° , 45° และ 60° โดยแต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีปเป็น 2, 3 และ 4 คู่ แกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (2×8 มิลลิเมตร) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีระดับคงที่ที่ 8.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง และทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 40%, 50%, 60% และ 70% คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิองค์ประกอบก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา พบว่า การติดตั้งครีปภายในห้องเผาไหม้ช่วยเตาเผาให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960 องศาเซลเซียส อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ 660 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ โดยที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 3.37 %Vol ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 107 – 153 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 213 – 287 ppm ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 94.3 – 95.6 % และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่ลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวคลื่น โดยจะมีค่าระหว่าง 97.8 – 99.4 %

Thesis Title	Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Fluidized Bed with Longitudinal Vortex Generators
Student	Mr. Suriya Chokphoemphun
Student ID.	50060325
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents an investigation on rice husk combustion characteristics in a rectangular fluidized bed combustor fitted with multiple pairs of Λ -shaped triangular ribs and a conventional rectangular fluidized bed combustor is also studied for comparison. The use of the Λ -shaped ribs mounted on the lower combustion chamber is to create longitudinal vortex flows along the chamber because the vortex flows provide better chaotic mixing between the fuel and the combustion air. Therefore, effects of the key parameters of the ribs such as the attack angle, ($\theta = 30^\circ, 45^\circ$ and 60°) and the rib numbers set to 2, 3 and 4 pairs for each run on combustion behaviors are experimentally examined. Experiments were made by varying different percent excess air between 40-70% at a constant mass flow rate of rice husk fuel of 8.5 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 on the chamber surface helps to improve the combustion of rice husk fuel. The highest temperature inside the combustor is found to be about 960 °C and the maximum exhaust gas temperature is about 660 °C. The gas emissions for using the Λ -ribs are seen to be very low with CO₂ between 2.14 – 3.37 % (Vol), NO between 107 – 153 ppm and CO between 213 – 287 ppm. The conventional fluidized bed gives the combustion efficiency in a range of 94.3 – 95.6 % and one with the ribs provides higher the combustion efficiency ranging from 97.8 – 99.4 %

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัยแก่ข้าพเจ้า จากบุคคลจำนวนมาก อัน ได้แก่

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
คุณมณฑา เทียมเมือง ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ที่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ
น้องนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย

นอกจากบุคคลดังกล่าวแล้ว ยังมีบุคคลที่มีพระคุณแก่ข้าพเจ้า ได้แก่

บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน กำลังใจที่ดีในการศึกษา

บูรพาจารย์ ทุกท่านผู้ซึ่งให้การประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

สุริยา โชคเพิ่มพูน

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัยแก่ข้าพเจ้า จากบุคคลจำนวนมาก อันได้แก่

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
คุณมณฑา เทียมเมือง ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ
น้องนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย

นอกจากบุคคลดังกล่าวแล้ว ยังมีบุคคลที่มีพระคุณแก่ข้าพเจ้า ได้แก่

บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน กำลังใจที่ดีในการศึกษา

บูรพาจารย์ ทุกท่านผู้ซึ่งให้การประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

สุริยา โชคเพิ่มพูน

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.....	3
1.5 แนวคิดงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง.....	4
1.7 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	17
3.1 เชื้อเพลิง.....	17
3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง.....	17
3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง.....	17
3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	17
3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล.....	17
3.2.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง.....	18
3.2.3 ประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล.....	18
3.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	19
3.2.5 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	19
3.3 การเผาไหม้.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 นิยามการเผาไหม้	20
3.3.2 สภาพที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้	21
3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้	21
3.3.3.1 ค่าความร้อน	21
3.3.3.2 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก	22
3.3.4 การคำนวณการเผาไหม้	22
3.3.4.1 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง	23
3.3.4.2 กระบวนการการเผาไหม้	23
3.3.4.3 อากาศกินพอ	23
3.3.5 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้	24
3.3.6 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง	24
3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	25
3.4.1 องค์ประกอบเชื้อเพลิงแข็ง	25
3.4.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็ง	25
3.4.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ	25
3.4.2.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	26
3.4.2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	26
3.4.2.4 อุณหภูมิหลอมเหลวของถ่าน	26
3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	27
3.4.4 กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	27
3.5 ฟลูอิดไซซ์เซชัน	28
3.5.1 ประเภทฟลูอิดไซซ์เซชัน	28
3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไซซ์เบค	29
3.5.3 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดไซซ์เซชัน	31
3.5.4 แผ่นกระจายของไหล	31
3.5.5 ลักษณะเด่นและข้อจำกัดของฟลูอิดไซซ์เซชัน	31
3.5.6 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดไซซ์เบค	33
3.5.7 การตกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไซซ์เบค	33
3.6 มลพิษและการควบคุม	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	35
3.6.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x).....	35
3.6.3 ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO _x)	36
3.6.4 อนุภาคของเถ้า.....	36
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	37
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง	37
4.1.1 ชุดอุปกรณ์ทดลอง.....	37
4.1.2 เตาเผาฟลูอิโดซ์เบค	38
4.1.3 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย.....	40
4.1.4 ชุดอุปกรณ์จ่ายอากาศ.....	41
4.1.5 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง.....	42
4.1.6 ชุดอุปกรณ์กำเนิดความร้อนเบื้องต้น	43
4.1.7 ชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกผลการทดลอง.....	44
4.2 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล	44
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	46
5.1 กล่าวนำ.....	46
5.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ.....	46
5.2.1 การพิจารณาผลกระทบของปริมาณอากาศเกินพอ	47
5.2.1.1 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ.....	47
5.2.1.2 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 30° จำนวน 2 คู่.....	48
5.2.1.3 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 30° จำนวน 3 คู่.....	50
5.2.1.4 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 30° จำนวน 4 คู่.....	52
5.2.1.5 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 45° จำนวน 2 คู่.....	53
5.2.1.6 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 45° จำนวน 3 คู่.....	55
5.2.1.7 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 45° จำนวน 4 คู่.....	56
5.2.1.8 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 60° จำนวน 2 คู่.....	58
— 5.2.1.9 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่านุม 60° จำนวน 3 คู่.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1.10	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 60° จำนวน 4 คู่ ..	61
5.2.2	การพิจารณาผลกระทบของจำนวนครีบริป	62
5.2.2.1	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 30°	62
5.2.2.2	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 45°	65
5.2.2.3	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 60°	68
5.2.3	การพิจารณาผลกระทบของลักษณะมุมครีบริป	71
5.2.3.1	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปจำนวน 2 คู่	71
5.2.3.2	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปจำนวน 3 คู่	74
5.2.3.3	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปจำนวน 4 คู่	76
5.2.4	การเปรียบเทียบผลลัพธ์กรณีห้องเผาใหม่ผิวเรียบกับผิวติดครีบริป	79
5.2.5	การวิเคราะห์ผลลักษณะการกระจายอุณหภูมิ	80
5.3	องค์ประกอบก๊าซไอเสีย	82
5.3.1	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาใหม่เป็นพื้นผิวเรียบ	83
5.3.2	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 30°	84
5.3.3	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 45°	85
5.3.4	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 60°	86
5.4	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	87
5.4.1	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาใหม่เป็นพื้นผิวเรียบ	87
5.4.2	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 30°	87
5.4.3	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 45°	88
5.4.4	กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ามุม 60°	88
5.4.5	การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการเผาไหม้	89
บทที่ 6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	91
6.1	สรุปผลการทดลอง	91
6.2	ข้อเสนอแนะ	93
	เอกสารอ้างอิง	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	97
ภาคผนวก ข. มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย.....	100
ภาคผนวก ค. การคำนวณ.....	102
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลอง	109
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ขนาดของครีบและตำแหน่งการติดตั้งสูงสุด.....	39
4.2 ระดับของตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ.....	40
5.1 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ เป็นพื้นผิว เรียบ.....	48
5.2 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่.....	50
5.3 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 3 คู่.....	51
5.4 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่.....	53
5.5 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่.....	54
5.6 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่.....	55
5.7 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่.....	57
5.8 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่.....	58
5.9 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 คู่.....	60
5.10 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูป ตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่.....	61
5.11 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30°	63
5.12 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 45°	66
5.13 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 60°	69
5.14 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบจำนวน 2 คู่	71
5.15 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบจำนวน 3 คู่	74
5.16 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีการติดตั้งครีบจำนวน 4 คู่	76

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.17	
สถานะการดำเนินการของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ให้ผลลัพธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ย ทั้งเตาเผาและประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด	89
ก.1	
รายละเอียดพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก	98
ก.2	
ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2540 - 2545	98
ก.3	
คุณสมบัติเชื้อเพลิงแกลบ	99
ข.1	
มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	101
ค.1	
ค่าจำนวน โมลของเชื้อเพลิงแกลบในปฏิกิริยาเคมี	103
ค.2	
ปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ร้อยละอากาศเกินพอค่าต่าง ๆ	107
ง.1	
ปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	115
ง.2	
ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	116
ง.3	
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	117
ง.4	
ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	118
ง.5	
ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	119

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะเตาเผาฟลูอิโดซ์รูปทรงกรวย	6
2.2 แบบจำลองการไหลของการเกิดฟลูอิโดซ์เซชัน	7
2.3 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคแบบหมุนวน	7
2.4 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบลิ้งฟลูอิโดซ์เบค	8
2.5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	9
2.6 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น	10
2.7 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคขนาดเล็ก	11
2.8 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบครูปทรงกรวย	12
2.9 ชุดอุปกรณ์ทดลองฟลูอิโดซ์เบคแบบหมุนวน	13
2.10 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฏุมภูมิและทุคิยภูมิที่ใช้ทดลอง	14
2.11 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบค	15
2.12 ลักษณะเตาเผา 2 แบบที่ใช้ศึกษาทดลอง	16
3.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้	21
3.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....	25
3.3 แบบจำลอง Progressive conversion.....	27
3.4 แบบจำลอง Unreacted core.....	27
3.5 ระดับของเบคในหอตทดลอง	29
3.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิโดซ์เซชัน.....	30
3.7 ลักษณะการถ่ายของไหลของฟลูอิโดซ์เซชัน	31
3.8 การลุดคิไฟของอนุภาคในฟลูอิโดซ์.....	34
4.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	37
4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิโดซ์เบค.....	38
4.3 ลักษณะการติดตั้งครีบภายในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบค.....	39
4.4 ลักษณะครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้.....	39
4.5 อุปกรณ์ดักอนุภาคเถ้าลอย (ไซโคลน).....	40
4.6 Blower สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดลมแก่ระบบ	41
4.7 ลักษณะการผสมของอากาศปฏุมภูมิ อากาศทุคิยภูมิและเชื้อเพลิงแก๊ส	41
4.8 แผ่นกระจายของไหล	42
4.9 มานอมิเตอร์สำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 Hopper สำหรับบรรจุเชื้อเพลิงถ่าน42	42
4.11 Screw feeder ที่ติดตั้งภายใน Hopper43	43
4.12 ชุดอุปกรณ์ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงถ่าน43	43
4.13 ชุดอุปกรณ์กำเนิดความร้อนเบื้องต้น.....43	43
4.14 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ.....44	44
4.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL.....44	44
5.1 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ48	48
5.2 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่.....49	49
5.3 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 3 คู่.....51	51
5.4 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่.....52	52
5.5 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่.....54	54
5.6 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่.....56	56
5.7 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่.....57	57
5.8 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่.....59	59
5.9 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 คู่.....60	60
5.10 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิโดเบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่.....62	62
5.11 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 40%63	63
5.12 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 50%64	64
5.13 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 60%64	64
5.14 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 70%65	65
5.15 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 40%66	66
5.16 ผลของจำนวนครีบริบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 50%67	67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 ผลของลักษณะมุมครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกกรณีจำนวนการติดตั้งครีบท่อ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 40%	77
5.32 ผลของลักษณะมุมครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกกรณีจำนวนการติดตั้งครีบท่อ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 50%	77
5.33 ผลของลักษณะมุมครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกกรณีจำนวนการติดตั้งครีบท่อ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 60%	78
5.34 ผลของลักษณะมุมครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกกรณีจำนวนการติดตั้งครีบท่อ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศเกินพอ 70%	78
5.35 การเปรียบเทียบผลลัพท์กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบและผิวติดครีบท่อ	79
5.36 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ	83
5.37 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบท่อมุม 30°	84
5.38 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบท่อมุม 45°	85
5.39 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบท่อมุม 60°	86
5.40 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ	87
5.41 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบท่อมุม 30°	87
5.42 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบท่อมุม 45°	88
5.43 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบท่อมุม 60°	88
ง.1 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิจากเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษา ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%	110
ง.2 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิจากเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษา ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%	111
ง.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิจากเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษา ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%	112
ง.4 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิจากเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษา ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%	113
ง.5 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิจากเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษา ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ	114
ง.6 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	115
ง.7 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	116

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.8 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	117
ง.9 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา.....	118
ง.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา	119
ง.11 ลักษณะถ้ำจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบริบที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%	120
ง.12 ลักษณะถ้ำจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบมุม 30° จำนวน 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%	120
ง.13 ลักษณะถ้ำจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบมุม 30° จำนวน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%	121
ง.14 ลักษณะถ้ำจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ติดตั้งครีบริบมุม 45° จำนวน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%	121

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

(A/F)	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
$(A/F)_{actua}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางปฏิบัติ
$(A/F)_{stioc}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี
EA	อากาศส่วนเกิน
Eff	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
GHV	ค่าความร้อนทั้งหมด
HHV	ค่าความร้อนขั้นสูง
H, h	ขนาดความสูงของครีบที่ใช้ในการศึกษาทดลอง
LHV	ค่าความร้อนขั้นต่ำ
loss	ความสูญเสียในกระบวนการการเผาไหม้ในรูปก๊าซไอเสีย
m	ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง
m_{air}	มวลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
MW	มวลโมเลกุลของธาตุ
n	จำนวนโมล
n_{H_2O}	จำนวน โมลของไอน้ำในอากาศ
n_{total}	จำนวน โมลรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
NHV	ค่าความร้อนสุทธิ
P_v	ความดันของไอน้ำในอากาศ
$P_{v_{H_2O}}$	ความดันของไอน้ำในอากาศ
$P_{v_{total}}$	ความดันของรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
THV	ค่าความร้อนรวม
U_{mf}	ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไคซ์เซชัน
ϕ	ค่าความชื้นสัมพัทธ์
θ	ขนาดมุมของครีบที่ใช้ในการศึกษาทดลอง
Φ	อัตราส่วนสมมูล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความต้องการใช้พลังงานในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นควบคู่ไปกับการขยายตัวทางภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าวเป็นผลให้แหล่งพลังงานมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว และเนื่องจากแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นพลังงานสิ้นเปลืองซึ่งใช้แล้วหมดไปหรืออาจต้องใช้ระยะเวลาในการเกิดใหม่มาทดแทน ตัวอย่างเช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ฯลฯ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตจึงได้เกิดแนวคิดที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีปริมาณเพียงพอซึ่งสามารถรองรับความต้องการได้ โดยพลังงานนั้นคือพลังงานหมุนเวียน ตัวอย่างเช่น พลังงานชีวภาพ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น และนอกจากนี้พลังงานหมุนเวียนก่อให้เกิดมลพิษต่อสถานะแวดล้อมที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานสิ้นเปลืองจึงเป็นอีกหนึ่งเหตุผลในการสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนเพราะในปัจจุบันได้มีการรณรงค์การลดปริมาณการปล่อยมลพิษสู่สถานะแวดล้อมเพื่อลดปัญหาสถานะโลกร้อน

หนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่ได้รับความสนใจ คือ พลังงานชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล จำพวกพืชต่าง ๆ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมทางการเกษตร จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรช่วงปี พ.ศ.2542 – 2545 ถึงปริมาณของกากของเหลือจากภาคการเกษตรที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้นั้นมีอยู่ในปริมาณมาก เช่น แกลบมีปริมาณเฉลี่ย 5.58 ล้านตัน/ปี, เศษกิ่งไม้ยางพารามีปริมาณเฉลี่ย 9.40 ล้านตัน/ปี และขานอ้อยมีปริมาณเฉลี่ย 12.74 ล้านตัน/ปี และเมื่อพิจารณาควบคู่กับรายงานศักยภาพชีวมวลของไทยในการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาเดียวกัน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศอยู่ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณชีวมวลที่มี โดยปริมาณการใช้แกลบ เศษกิ่งไม้ยางพาราและขานอ้อยคิดเป็นประมาณ 47%, 48% และ 10% ตามลำดับเท่านั้น จะเห็นได้ว่ายังมีปริมาณชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้อีกในปริมาณที่มาก

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีสามารถจำแนกเป็นกระบวนการหลัก ๆ ได้ 2 วิธี คือ วิธีการทางชีวเคมี (biochemical conversion process) และวิธีการใช้พลังงานความร้อน (thermochemical conversion process) โดยที่กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีด้วยการใช้พลังงาน

ความร่อนนี้ยังสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อย ๆ ได้อีก 3 กระบวนการ คือกระบวนการเผาไหม้ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และกระบวนการแกสซิฟิเคชัน (Gasification) จากกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมาการใช้กระบวนการการเผาไหม้นับเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง ดังจะเห็นได้จากการศึกษาจำนวนมากที่ทำการศึกษเกี่ยวกับกาเผาไหม้ของชีวมวลในเตาเผาชนิดต่าง ๆ เช่น เตาเผาออร์เทค เตาเผาไซโคลน, เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบค เป็นต้น

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบค ให้มีความเหมาะสมสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ โดยได้ศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคพบว่า ลักษณะของเตาเผาที่เป็นที่นิยมมีลักษณะรูปทรงกระบอก แต่จะมีความแตกต่างกันที่เทคนิคการจ่ายลมสู่ระบบ การป้อนเชื้อเพลิง การตัดแปลงห้องเผาไหม้ เป็นต้น ต่อมาได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษถึงเตาเผาที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม [1] และได้มีการศึกษาเปรียบเทียบกับเตาเผาที่มีลักษณะรูปทรงกระบอก พบว่าคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน จากนั้นได้มีการทดลองติดตั้งครีบภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาที่มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม พบว่าช่วยให้ได้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น แต่ในการทดลองลักษณะครีบที่ติดตั้งในงานวิจัยฉบับดังกล่าวมีเพียงลักษณะเดียว ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้ คือการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของลักษณะของครีบที่ทำการติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบครูปทรงสี่เหลี่ยม

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

วัตถุประสงค์งานวิจัยฉบับนี้ คือทำการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของลักษณะและจำนวนของครีบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาถึงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผา การพิจารณาองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย พร้อมด้วยการพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาทดลอง สำหรับเป็นข้อมูลเชิงเทคนิคประกอบการสร้างเตาเผาฟลูอิดไคซ์ที่มีความเหมาะสมแก่การประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

ผลการศึกษาทดลองที่คาดหวังเมื่อได้ทำการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของลักษณะมุมครีบและจำนวนของครีบภายในส่วนห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ คือ

1. ผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบน่าจะให้ผลลัพธ์ของคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่ดีกว่ากรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ไม่มีการติดตั้งครีบบนในห้องเผาไหม้จากงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ลักษณะมุมครีบบและจำนวนของครีบบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดน่าจะให้ผลของคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาทดลองถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ
2. ทำการศึกษาทดลองถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 30°, 45° และ 60° ภายในห้องเผาไหม้ โดยแต่ละมุมครีบบจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบบเป็น 2, 3 และ 4 คู่
3. คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่ทำการศึกษา ได้แก่ ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผา องค์ประกอบของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้
4. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นแกลบที่ได้จากการสีข้าวโดยรักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้มีระดับคงที่ที่ 8.5 kg/hr
5. ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบเป็นค่าประมาณ 64, 68, 73 และ 78 kg/hr (คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ)
6. การเก็บและบันทึกค่าผลที่ได้จากการศึกษาทดลองแบ่งเป็นค่าของอุณหภูมิและปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย โดยค่าของอุณหภูมิจะทำการเก็บการค่า ณ ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตำแหน่งตามความสูง) จำนวน 12 ตำแหน่ง และตำแหน่งตามแนวแกนจำนวน 3 ตำแหน่ง ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียจะทำการเก็บการค่า ณ บริเวณทางออกของก๊าซไอเสียที่ส่วนบนของเตาเผา

1.5 แนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีแนวคิดหลัก คือการศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยครีบบที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นรูปตัววีคว่ำมุม 30°, 45° และ 60° และจำนวนครีบบที่ติดตั้งเป็น 2, 3 และ 4 คู่ ซึ่งมีแนวคิดและเหตุผลในการกำหนดลักษณะครีบบ ดังนี้

- กรณีการเลือกครีบริปตัววีคว่า เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบริปตัววี ดังนั้นเมื่องานวิจัยฉบับนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบริปตัววีคว่าเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา [1]
- กรณีการกำหนดมุมครีบริปเป็น 30° , 45° และ 60° เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ามุมของครีบริปที่แตกต่างกันน่าจะให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน จึงได้เลือกใช้มุมที่แตกต่างกันจำนวน 3 มุม โดยเลือกใช้ค่ามุม 30° , 45° และ 60° เพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบริปที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้
- กรณีการกำหนดจำนวนการติดตั้งครีบริปของครีบริปเป็น 2, 3 และ 4 คู่ เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ากรณีการติดตั้งครีบริปจำนวน 1 คู่ไม่น่าจะช่วยให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างจากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบริปมากนัก จึงได้กำหนดจำนวนการติดตั้งเริ่มต้นที่จำนวน 2 คู่ และจากการคำนวณขนาดความสูงของครีบริปในการติดตั้งครีบริปภายในส่วนห้องเผาไหม้พบว่ากรณีครีบริปมุม 30° ซึ่งเป็นครีบริปที่มีความสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับครีบริปมุม 45° และ 60° สามารถติดตั้งภายในส่วนห้องเผาไหม้ได้มากที่สุดจำนวน 4 คู่ จึงกำหนดจำนวนคู่ของครีบริปที่ติดตั้งในการทดลองมากที่สุดเป็นจำนวน 4 คู่

1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีเตาเผาชนิดต่าง ๆ กับเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อทราบถึงเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ศึกษาถึงทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. ทำการออกแบบ จัดสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับการศึกษาทดลอง
4. ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับการศึกษาทดลองและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ
5. ทำการเก็บค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทดลอง อาทิเช่น ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเชื้อเพลิงกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากการเปิดวาล์วกับปริมาณการไหลของอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาทดลอง
6. ทำการตั้งสมมติฐานและขอบเขตของงานวิจัย
7. ดำเนินการศึกษาทดลองตามกรณีศึกษาและสภาวะที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตของงานวิจัย
8. การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.7 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอออกเป็น 5 บท ประกอบด้วย

1. บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐานและขอบเขตงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษาทดลอง
2. บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง
3. บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย เรื่องของเชื้อเพลิง ทฤษฎีการเผาไหม้ ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน
4. บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง การติดตั้งชุดทดลอง และขั้นตอนการดำเนินการศึกษาทดลอง
5. บทที่ 5 กล่าวถึงผลการศึกษาทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. บทที่ 6 เป็นการสรุปผลการศึกษาทดลองและข้อเสนอแนะ

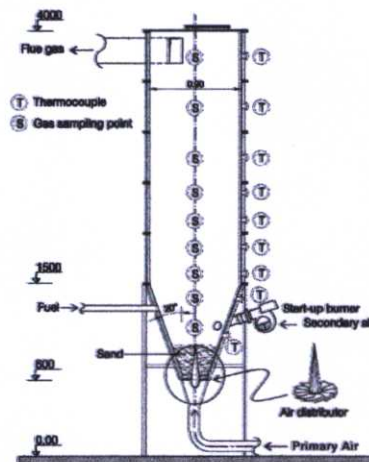
บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Songpol Chakritthakul, Vladimir I. Kuprianov and Rachadaporn Kaewklum [2]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้ของแกลบในเตาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงกรวยที่มีตัวกระจายแบบสร้างอากาศหมุน (SFBC) โดยที่แผ่นกระจายมีลักษณะเป็นแบบวงขดรูปก้นหอยสำหรับทำให้อากาศปฐมภูมิเกิดการหมุน ในขณะที่อากาศทุติยภูมิจะถูกฉีดเข้าแนวเส้นสัมผัสเพื่อให้ก๊าซและอนุภาคเกิดการหมุน จุดมุ่งหมายหลักของการทดลอง คือทำการศึกษาถึงผลกระทบของการแยกอากาศ หรืออัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิ (SA/PA) ที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ (อุณหภูมิ) และการปล่อยก๊าซไอเสีย (CO , NO และ C_xH_y) จากเตาเผา SFBC ในการทดลองจะรักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้คงที่ที่ประมาณ 80 kg/hr และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 40% แล้วทำการปรับค่าอัตราส่วน SA/PA จำนวน 4 ค่าได้แก่ 0.26, 0.40, 0.56 และ 0.75

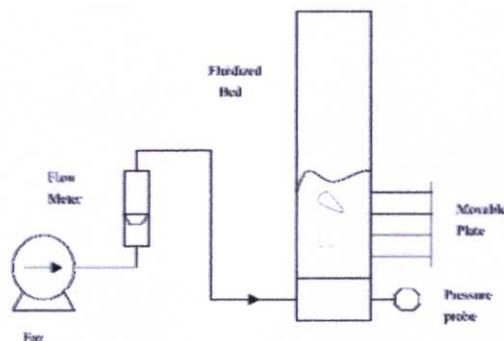


รูปที่ 2.1 ลักษณะเตาเผาฟลูอิดไคซ์รูปทรงกรวย [2]

พบว่าอัตราส่วนอากาศทุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิมิอิทธิพลต่อการลักษณะการเผาไหม้และการปล่อยก๊าซไอเสีย เมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนอากาศขึ้นค่าอุณหภูมิจะลดลงเล็กน้อยเหมือนกับปริมาณก๊าซ NO ส่วนก๊าซ CO จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ C_xH_y จะเพิ่มขึ้นในปริมาณมากหากค่าอัตราส่วนอากาศมีค่ามากกว่า 0.4 และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้พบว่าที่ค่าอัตราส่วนอากาศเท่ากับ 0.4 มีความเหมาะสมกับการใช้งานในเตาเผา SFBC ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงถึง 99% รวมทั้งการปล่อยก๊าซไอเสียในปริมาณต่ำ

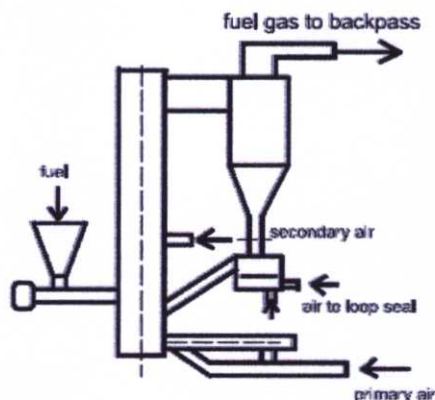
M. Fang, L. Yang, G. Chen, Z. Shi, Z. Luo, K. Cen [3]

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอการศึกษาเชิงทดลองต่อการเผาไหม้ของแกลบในฟลูอิดไอซ์เบดแบบหมุนวน โดยเริ่มจากการศึกษาทดลองในแบบจำลองการไหลเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟลูอิดไอซ์เซชันของแกลบ พบว่าแกลบนั้นเกิดการฟลูอิดไอซ์เซชันได้ยากแต่สามารถปรับปรุงสถานะฟลูอิดไอซ์เซชันได้ด้วยการเพิ่มทรายซิลิกอนและถ่านหินเข้าไป และได้ทดลองถึงผลที่เกิดจากขนาดของเม็ดทราย ความเร็วก๊าซ เศษส่วนมวลที่มีต่อการผสมของแกลบ พบว่าแกลบสามารถผสมได้ดีกับทรายขนาด 0.3 - 0.8 mm ที่ความเร็วก๊าซ 0.8 - 2 m/s



รูปที่ 2.2 แบบจำลองการไหลของการเกิดฟลูอิดไอซ์เซชัน [3]

การศึกษาถึงกระบวนการเผาไหม้ที่สถานะความร้อน 1 MW พบว่าแกลบสามารถติดไฟที่อุณหภูมิ 340 °C ซึ่งต่ำกว่าถ่านหินมาก ความเร็วของก๊าซและการแบ่งก๊าซมีผลกระทบอย่างมากต่อการเผาไหม้แกลบโดยความเร็วฟลูอิดไอซ์ 1.2 m/s และสัดส่วนอากาศเป็น 7 ส่วนต่อ 3 ส่วนเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไอซ์เบดแบบหมุนวน เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นตามเงื่อนไข พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ถึง 97% ปริมาณคาร์บอนในแก๊สอยู่ระหว่าง 3 - 8% CO อยู่ระหว่าง 200 - 800 ppm SO₂ อยู่ระหว่าง 50 - 100 ppm NO_x อยู่ระหว่าง 150 - 220 ppm

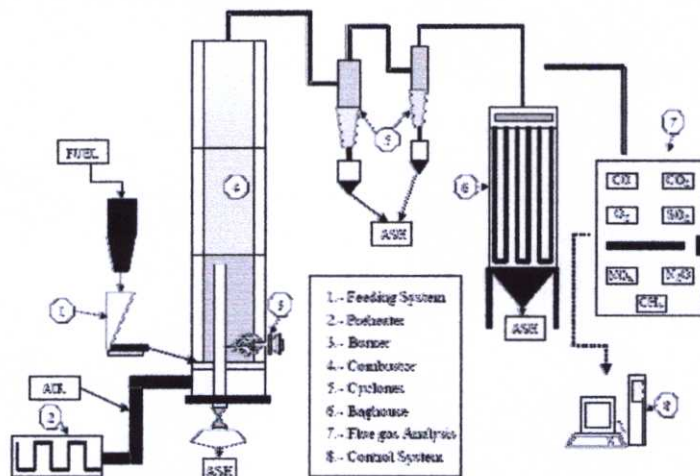


รูปที่ 2.3 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบดแบบหมุนวน [3]

L. Armesto, A. Bahillo, K. Veijonen, A.Cabanillas, J. Otero [4]

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการเผา โดยดำเนินการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในชุดเตาเผาแบบบลิ้งฟลูอิโดซ์เบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาเผาเท่ากับ 0.2 เมตร สูง 3.5 เมตรและมีช่วงเบดลึกถึง 0.5 เมตร โดยใช้ทรายขนาด 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตรเป็นสารเบดที่มีความสูง 0.25 เมตร การป้อนเชื้อเพลิงจะใช้สกรูที่สามารถปรับความเร็วรอบได้และส่งเชื้อเพลิงเข้าส่วนล่างของห้องเผาไหม้โดยอาศัยลม ใช้สภาวะที่แตกต่างกันในการทดลองและทำการเก็บผลการทดลองดังนี้

- อุณหภูมิตลอดห้องเผาไหม้และ โดยเฉพาะที่สำคัญในแต่ละจุด เช่น ไซโคลน ถูงคักชีไถ่้า ฯลฯ เป็นต้น
- ปริมาณของ CO, CO₂, O₂, NO_x และ SO₂
- อัตราความเร็วของอากาศเข้า ไอเสีย อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ฯลฯ
- ลักษณะทางเคมีและแร่ธาตุของชีไถ่้าที่ทางออก ไซโคลน และถูงคักชีไถ่้า



รูปที่ 2.4 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบบลิ้งฟลูอิโดซ์เบด [4]

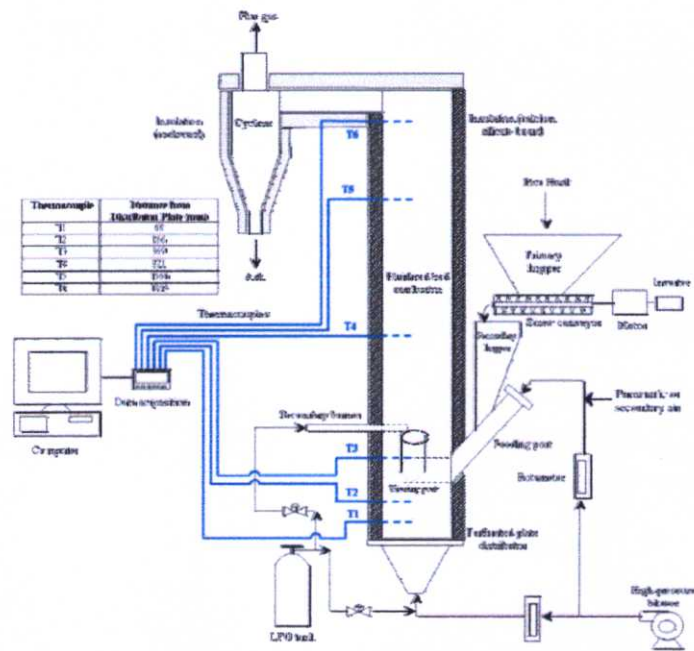
ผลการทดลองที่เกิดจากระบวนการเผาไหม้ของแกลบในบลิ้งฟลูอิโดซ์เบด พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของทุกกรณีที่ทำการศึกษาทดลองมีค่าสูงกว่า 97% ปริมาณการแผ่กระจายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าสูงกว่า 1000 mg/Nm³ โครงร่างของอุณหภูมิภายในเตามีอิทธิพลโดยตรงต่อทั้งค่าการแผ่กระจายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และประสิทธิภาพการเผาไหม้ ผลึกที่เป็นส่วนประกอบของชีไถ่้าในเบด คือ คิวทซ์และเหล็กออกไซด์ และหากถ้าไม่มีการเปลี่ยนเบดในระหว่างการทดลอง จะพบโพแทสเซียม-แคลเซียม ซิลิเกต ซึ่งส่วนประกอบนี้มีผลต่อการรวมตัวกันในเบด ส่วนประกอบผลึกของชีไถ่้าที่ออกจากไซโคลนคือ โพแทสเซียมคลอไรด์ ส่วนประกอบนี้มีผลกระทบต่ออัตราการกัดกร่อน

M. Rozainee, S.P. Ngo, A.A. Salema, K.G. Tan, M. Ariffin, Z.N. Zainura [5]

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วของการฟลูอิดไอซ์ในกระบวนการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบดที่มีต่อคุณลักษณะของเถ้า โดยปัจจัยหลักของงานวิจัยนี้คือ

- การทดลองเพื่อหาค่าตัวเลขความเร็วของการฟลูอิดไอซ์ที่เหมาะสมที่สุด
- หาขนาดของวัสดุเบด (ทราย) ที่ใช้ในกระบวนการการเผาไหม้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและเหมาะสมที่สุด

ในการเลือกใช้ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนั้น เริ่มจากผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อประกอบการเลือกช่วงของค่าดังกล่าว

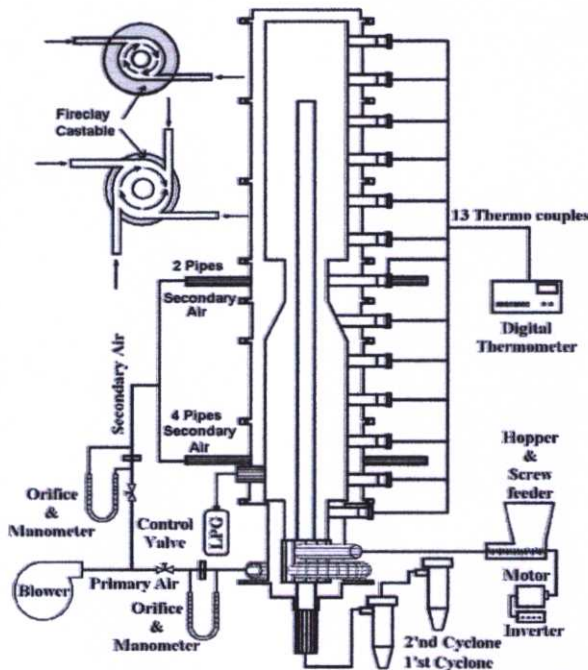


รูปที่ 2.5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง [5]

เมื่อได้ช่วงค่าความเร็วของการฟลูอิดไอซ์และขนาดวัสดุเบดที่จะใช้แล้ว ดำเนินการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอซ์ พบว่าที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดไอซ์สูง ($4.5 - 8 U_{mf}$) ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการการเผาไหม้ เนื่องจากให้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำเพราะอนุภาคจะถูกพาไปที่ด้านบนของเฟรียบอร์ด และที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดไอซ์ต่ำกว่า $3 U_{mf}$ การผสมกันของแกลบกับวัสดุได้ไม่ดีเนื่องจากที่ความเร็วดังกล่าวทำให้เกิดสภาวะฟองที่ไม่รุนแรง โดยเฉพาะที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดไอซ์เท่ากับ $1.5 U_{mf}$ ให้ผลการทดลองที่แย่ที่สุด ส่วนค่าที่เหมาะสมที่นั่นคือค่าความเร็วของการฟลูอิดไอซ์เท่ากับ $3 U_{mf}$ นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการนำเถ้าที่ได้ในแต่ละกรณีศึกษาไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการ X-ray diffraction

S. Eiamsa-ard, Y. Kaewkohkiat, C. Thianpong, P. Promvonge [6]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาเวอร์เทคแบบสองชั้น (DSVC) โดยอุปกรณ์สร้างการไหลแบบเวอร์เทคจะติดตั้งที่ส่วนล่างของเตา เตาเผาเวอร์เทคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 300 mm มีความสูงเท่ากับ 1,800 mm ที่บริเวณส่วนกลางเตา เป็นส่วนที่แยกเตาเผาออกเป็นช่วงสองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm การดำเนินการทดลองจะรักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ที่ 0.25 kg/min ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 37%, 56%, 74%, 92% และปรับค่าอัตราส่วนของอากาศหุติภูมิเป็น 0.0, 0.15 และ 0.2 ในการทดลองจะพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์ประกอบไอเสีย (CO , CO_2 , O_2 , NO_x) ประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อน



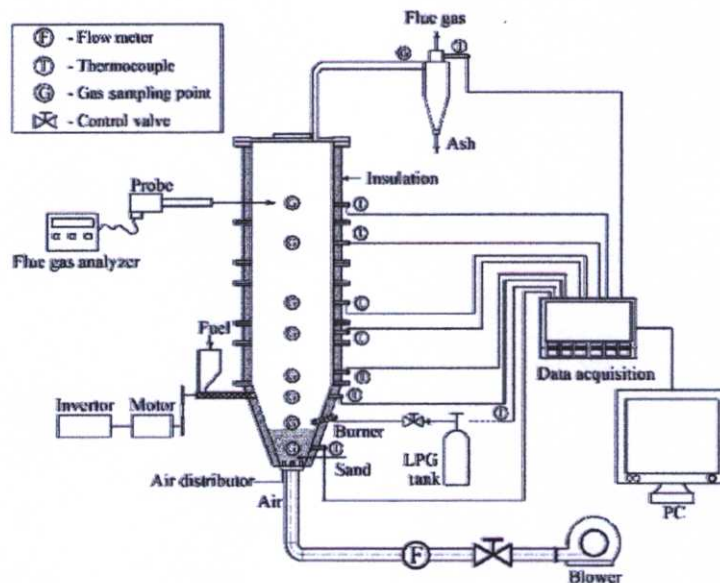
รูปที่ 2.6 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาเวอร์เทคแบบสองชั้น [6]

เมื่อดำเนินการทดลองเสร็จสิ้น พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผามีค่าประมาณ 1000 องศาเซลเซียส โดยมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็น 99.8% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 41.6% ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 74% และค่าอัตราส่วนของอากาศหุติภูมิเป็น 0.0 (ไม่มีการจ่ายอากาศหุติภูมิ) และปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเป็นดังนี้ $\text{CO} = 352$ ppm, $\text{CO}_2 = 8.1\%$, $\text{O}_2 = 9.3\%$, $\text{NO}_x = 294$ ppm

ผู้วิจัยได้สรุปว่าเตาเผาเวอร์เทคแบบสองชั้นที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาทดลองนั้นให้ประสิทธิภาพอยู่ในระดับสูง ปริมาณการปล่อยไอเสียมีปริมาณต่ำและมีความเสถียรสูง เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน

Kasama Janvijitsakul, Vladimir I. Kuprianov [8]

จุดประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ คือปริมาณองค์ประกอบหลักของก๊าซไอเสีย (CO และ NO_x) และปริมาณการปล่อย PAH จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์แบบรูปทรงกรวยขนาด 400 kW_{th} ลักษณะของเตาเผาที่ใช้จะแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ส่วนที่มีรูปทรงกรวยมุม 40° ความสูงเท่ากับ 1 m และส่วนที่มีรูปทรงเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเป็น 1 m ความสูงเท่ากับ 3 m ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยการหุ้มเซรามิกไฟเบอร์หนา 50 mm โดยใช้ทรายซิลิกาขนาด 0.3 – 0.5 mm เป็นวัสดุเบดสูง 40 cm สถานะการดำเนินการทดลองด้วยการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ที่ 80 kg/h และปรับอากาศส่วนเกินประมาณ 20%, 40% และ 60%



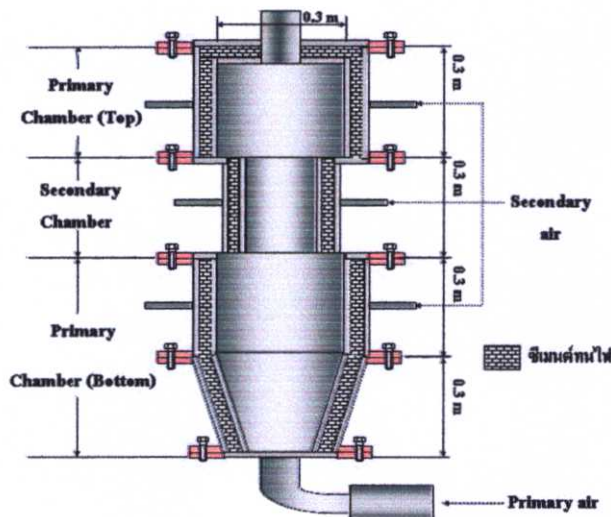
รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์แบบรูปทรงกรวย [8]

ผลการทดลองแบ่งเป็นค่าอุณหภูมิ ปริมาณก๊าซไอเสีย ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังนี้

- ลักษณะของอุณหภูมิค่อนข้างจะมีความเสถียร โดยบริเวณช่วงล่างของเตาอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระดับความสูง แต่ที่บริเวณส่วนบนอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลง อุณหภูมิเบดมีค่าอยู่ในช่วง 900 – 950 องศาเซลเซียส
- แนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซ CO และ NO_x จะเพิ่มมากขึ้นที่ระดับความสูงประมาณ 1 m เนื่องจากแผ่นกระจาย แล้วจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอากาศส่วนเกินต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO และ NO_x พบว่าถ้าอากาศส่วนเกินมากขึ้นปริมาณ CO จะลดลงจาก 716 ppm ไปเป็น 128 ppm ส่วนปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้นจาก 75 ppm ไปเป็น 143 ppm
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ทุกกรณีมีค่าเกินกว่า 99%

วิษณุ ลิลาผาดิฤด [10]

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองถึงอิทธิพลตำแหน่งของอากาศทุติยภูมิที่มีต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิโดเบด โดยตัวแปรที่ทำการทดลอง ได้แก่ ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิ, อัตราส่วนสมมูล และอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด โดยห้องเผาไหม้ปฐมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 เมตร ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 เมตรมีความสูงรวม เท่ากับ 1.2 เมตร ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศทุติยภูมิไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังห้องเผาไหม้ มีทั้งสิ้น 3 ตำแหน่ง (H/D) คือ 1.5, 2.5 และ 3.5 เพื่อให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวน โดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) คงที่ เท่ากับ 0.25 และกำหนดค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min

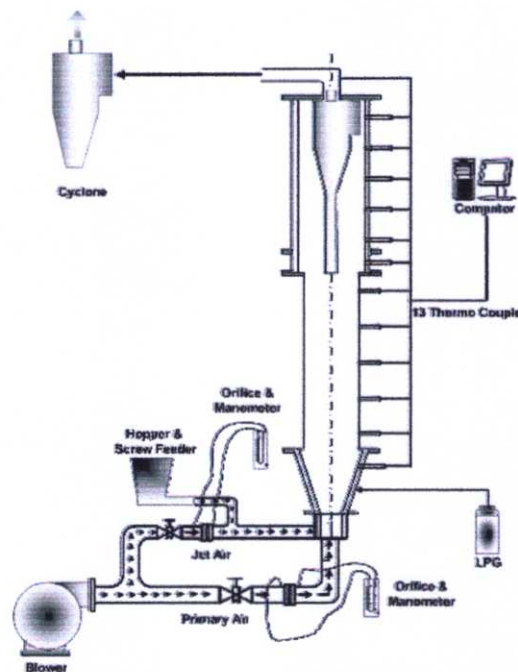


รูปที่ 2.10 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง [10]

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิให้กับห้องเผาไหม้มีผลทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หลังจากผ่านห้องเผาไหม้ส่วนดังกล่าว จะมีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องเผาไหม้ในแนวรัศมีมากกว่าการฉีดอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ อากาศทุติยภูมิมีส่วนช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่งผลให้อากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึง ซึ่งจากการทดลองอากาศส่วนทุติยภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 15-25% ของอากาศทั้งหมด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 75-87% ซึ่งมีอุณหภูมิทางออกของก๊าซไอเสีย ที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 620-850 องศาเซลเซียส

ฐิติวัฒน์ สุนดาวงษ์, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ [11]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดซึ่งห้องเผาไหม้นั้นมีความสูง 2100 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเป็น 200 มิลลิเมตร และทำการศึกษาดังอิทธิพลของผนังภายในเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบ และฟริบอร์คใหญ่ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร โดยนำไซโคลนใส่ไว้ด้านในกรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแกลบที่ 6-12 kg/hr และทำการปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินจำนวน 3 ค่า คือ 20%, 40% และ 60% ทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา, ลักษณะเถ้า, องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย

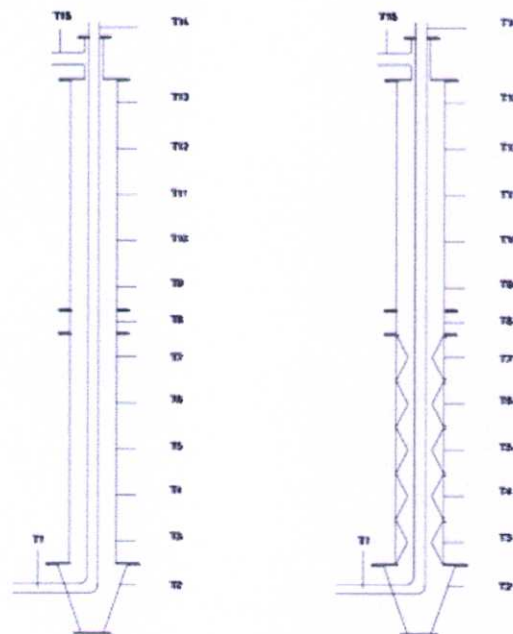


รูปที่ 2.11 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด [11]

จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 9 kg/hr และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 60% ให้คุณลักษณะการเผาไหม้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นทำการปรับสัดส่วนหลัก 3 ค่า คือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมดที่เปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินเป็น 60% (เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีที่สุด) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่สัดส่วนหลักเท่ากับ 40% ให้คุณลักษณะการเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ระหว่าง 700 - 750 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิสูงสุดภายในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซไอเสีย พบว่าปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97-99%

สุริยา โชคเพิ่มพูน, จูติวัจน์ ผูนถาวร, ชินรักษ์ เขียวพงษ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์ [12]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของผิวคลื่นของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดต่อพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบ โดยทำการทดลองในเตาเผาแกลบ 2 ลักษณะของการทดลอง คือ กรณีผนังเตาเป็นแบบเรียบและกรณีผนังเตาเป็นแบบมีผิวคลื่นครึ่งล่าง เตาเผาฟลูอิโดซ์เบดทั้ง 2 แบบ มีความสูงทั้งสิ้น 2,400 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ 200 mm. และมีความสูงของห้องเผาไหม้ 2,100 mm. สำหรับห้องผสมมีลักษณะเป็นทรงกรวยมีความสูง 300 mm. กรณีการทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบผิวคลื่นด้านล่าง จะติดตั้งผิวคลื่นจำนวน 5 ชุด มีความสูงทั้งสิ้น 1,000 mm. โดยผิวคลื่นนี้มีระยะพิสัยเท่ากับ OD ของท่อทดลอง ผิวคลื่น 1 ชุด มีความสูงทั้งสิ้น 200 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 200 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm. โดยกรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลอากาศที่ 95 kg/hr ปรับอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบอยู่ระหว่าง 10-15.5 kg/hr โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินตั้งแต่ 15-75% โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา, จี๊ถั่ว, ควันท่อออกมาที่ก๊าซไอเสีย



รูปที่ 2.12 ลักษณะเตาเผา 2 แบบที่ใช้ศึกษาทดลอง [12]

พบว่าที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 30 % อัตราการไหลของอากาศ 95 kg/hr กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบผิวคลื่นด้านล่างมีความเหมาะสมที่สุดแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยเตาเผาจะมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ 745.52°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 978.81°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 605-3864 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 171-367 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 83.9 - 92.5%

3.1 เชื้อเพลิง

3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง คือสารซึ่งเผาไหม้ (เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน) กับอากาศหรือออกซิเจนแล้วให้ความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ในความหมายกว้าง ๆ เชื้อเพลิงเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ออกซิเดชัน) แล้วได้สารผลิตภัณฑ์หลักเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในธรรมชาติได้พื้นพิภพ คือเชื้อเพลิงได้พิภพ หรือเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuels) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงต้นกำเนิดเหล่านี้

เชื้อเพลิงจากธรรมชาติอีกกลุ่มหนึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์ สัตว์ และชุมชน รวมเรียกว่า เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuels) ได้แก่ ไม้พืน แกลบ ชานอ้อย ขยะ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ฯลฯ ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นธาตุหลัก

3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง

การจำแนกโดยพิจารณาสถานะของเชื้อเพลิงจะแบ่งได้เป็น เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และก๊าซเชื้อเพลิง

การจำแนกโดยพิจารณากระบวนการที่ผลิตขึ้นจะแบ่งได้เป็น เชื้อเพลิงธรรมชาติ (natural fuels) และเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (synthetic fuels)

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล (biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยที่ชีวมวลนั้นประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายทั้งที่

ได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงจากซากคึกค้ำบรรพ์ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติไปแล้ว) และยังรวมไปถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้สามารถจำแนกแหล่งที่มาของชีวมวลได้ 2 แหล่งดังนี้

1. ของเสียจากการประกอบการทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม อาทิเช่น ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น รวมไปถึงของเสียประเภทกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
2. ของเสียจากแหล่งชุมชน อาทิเช่น ขยะชุมชน กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ของเสียจากสัตว์ เช่น มูลสัตว์ เป็นต้น

3.2.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเชื้อเพลิงทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

- ความชื้น (moisture) คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสสาร ชีวมวลส่วนมากจะมีปริมาณความชื้นในระดับค่อนข้างสูงเนื่องจากผลผลิตทางการเกษตร
- สารที่เผาไหม้ได้ (combustible substance) โดยสารที่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ภายในชีวมวลแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารระเหย (volatiles matter) และคาร์บอนคงตัว (fixed Carbon)
- สารที่เผาไหม้ไม่ได้ (noncombustible substance) โดยสารที่ไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ภายในชีวมวล คือเถ้า (ash) ซึ่งเถ้าเหล่านั้นจะเกิดขึ้นในกรณีที่เปื้อนเชื้อเพลิงแข็งและบางชนิดของเชื้อเพลิงเหลวเท่านั้น

3.2.3 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแยกประเภทได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (forest biomass) ซึ่งสามารถแยกออกเป็นไม้เนื้ออ่อน (soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (hard wood) ในเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณของลิกนิน (lignin) อยู่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ในไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างของเชื้อเพลิงประเภทนี้ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ และขี้เลื่อย
2. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร (agricultural biomass) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบข้าว, ฟางข้าว ซึ่งสารพวกนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำโดยประมาณ 0 – 20 เปอร์เซ็นต์
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (industrial biomass) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากการผลิตน้ำตาล คือ ชานอ้อย นอกจากนี้ยังมีกากสับประค เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก

4. เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (domestic waste) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะเทศบาล เป็นต้น

3.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

แนวคิดในการนำชีวมวลมาใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานนั้นนับเป็นเรื่องที่ดี แต่พบว่าในทางปฏิบัตินั้นยังมีปัญหาและข้อจำกัดบางประการอยู่ โดยสรุปข้อดีและข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้ดังนี้

ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ชีวมวลส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากกากของเหลือ การนำชีวมวลมาเป็นแหล่งพลังงานถือเป็นการนำกากของเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และถือยังเป็นการกำจัดกากของเหลือทางอ้อมด้วย
2. ลดภาระค่าใช้จ่ายในการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดกากของเหลือ
3. พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานสะอาดก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมน้อย

ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ปริมาณชีวมวลที่มีความไม่แน่นอน เนื่องจากแหล่งที่มาของชีวมวลคือภาคการเกษตรซึ่งต้องขึ้นอยู่สภาพฤดูกาล
2. ชีวมวลมีความหลากหลายและมีแหล่งที่มาที่กระจุกกระจาย ทำให้เป็นการยากในการรวบรวมชีวมวลแต่ละชนิดที่จะนำไปใช้ประโยชน์
3. เนื่องจากข้อดีของชีวมวลบางชนิด เช่น มีค่าความชื้นสูงทำการนำไปใช้ต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อน

3.2.5 คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล

คุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงชีวมวลมีความสัมพันธ์บางอย่างต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ขนาด ความหนาแน่น องค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวล ค่าความร้อนล้วนมีอิทธิพลโดยตรงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงชีวมวล คือขนาด (size) ความหนาแน่น การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล (การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลล้วนมีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ทั้งสิ้น

เชื้อเพลิงชีวมวล มีค่าความหนาแน่นหรือมีค่า bulk density ต่ำ ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูงเพื่อให้ได้ความร้อนตามที่ต้องการ ส่งผลให้ยากต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ สารระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวลค่อนข้างสูงทำให้ยากต่อการติดไฟ แต่ความชื้นที่สูงทำให้การเผาไหม้ทำได้ยากขึ้น ซึ่งความชื้นที่สูงนี้มีผลอย่างยิ่งต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ทำให้คุณสมบัตินี้การเผาไหม้ลดลง ขัดขวางให้การเผาไหม้ไม่มีคุณภาพ การที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อน (heating value, HV) ของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกัน

3.3 การเผาไหม้ [13, 14]

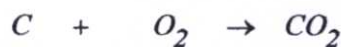
3.3.1 นิยามการเผาไหม้

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

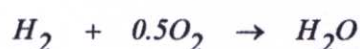
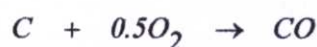
ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ไม่ใช่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้น (chain initiation) ด้วยการแตกตัวของโมเลกุลในเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา จากนั้นอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่ได้จากโมเลกุลอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาต่อลูกโซ่ (chain propagation) สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายและอนุมูลอิสระที่ไม่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา เป็นการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain termination) พบว่าหากพิจารณาปฏิกิริยาการเผาไหม้ในระดับจุลภาคนั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการพิจารณาปฏิกิริยาในระดับมหภาคโดยเฉพาะ ผล และปฏิกิริยา นั้นจะช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณความร้อน ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในสารผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

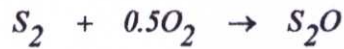
การพิจารณาในภาพรวมของปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนแบ่งเป็นกรณี ดังนี้

- กรณีการไหม้สมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยา



- กรณีการไหม้ไม่สมบูรณ์ (บางส่วน) จะเกิดปฏิกิริยา

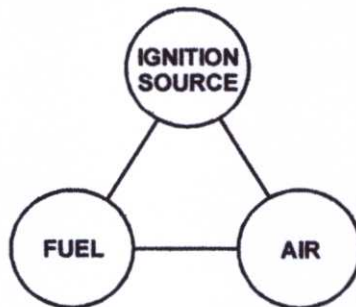




ถ้าหากเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบที่เป็นไนโตรเจน จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์ และหากใช้อากาศในการทำปฏิกิริยาจะมีไนโตรเจนจากอากาศกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ด้วย แต่เนื่องจากการออกซิไดซ์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมาก ดังนั้นจึงเกิดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในสารผลิตภัณฑ์ก๊าซไอเสียน้อย ในการพิจารณาทั่วไปจะไม่นำมาคิด นอกจากจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

3.3.2 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นั้นประกอบด้วยตัวทำปฏิกิริยา คือ เชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งจะต้องอาศัยสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแหล่งกำเนิดความร้อนเบื้องต้นหรือแหล่งจุดไฟซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นแก่เชื้อเพลิงและออกซิเจนอากาศในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้



รูปที่ 3.1 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน สามารถคำนวณปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาใด ๆ ได้หลายวิธี เช่น คำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยาที่สภาวะมาตรฐาน หรือ คำนวณจากความร้อนของการเกิดของสารใด ๆ ที่สภาวะมาตรฐาน

3.3.3.1 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (heating value, HV) มีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สภาวะมาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงธรรมดาที่ไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยา หรือความร้อนของการเกิดที่สภาวะมาตรฐานได้ เนื่องจากไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองในเครื่องมือที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง

และเชื้อเพลิงเหลว และแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำไหลผ่าน (water flow calorimeter) สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ การแสดงค่าความร้อนมี 2 วิธี

1. ค่าความร้อนรวม (total heating value, THV) คือ ปริมาณความร้อนที่จะให้ออกมาหลังจากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิริยาและสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ภายใต้ความดันหนึ่งบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงและที่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้อยู่ในรูปของน้ำ (ของเหลว) หรืออาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นสูง (higher heating value, HHV) หรือ ค่าความร้อนทั้งหมด (gross heating value, GHV)
2. ค่าความร้อนสุทธิ (net heating value, NHV) คือ ปริมาณความร้อนที่จะให้ออกมาหลังจากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิริยาและสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ภายใต้ความดันหนึ่งบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงและที่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้อยู่ในรูปของไอน้ำ หรืออาจเรียกว่า ค่าความร้อนขั้นต่ำ (lower heating value, LHV)

ดังนั้นจะพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้งสอง คือค่าความร้อนของกลายระเหยของน้ำทั้งหมด (ทั้งที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้และที่มีในเชื้อเพลิง) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.3.3.2 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก

อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก คืออุณหภูมิสุดท้ายภายหลังไอดีเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและไอดีเข้าสู่สภาวะสมดุลเคมีภายใต้ความดันคงที่ และไม่มีการสูญเสียความร้อน อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติกขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิเริ่มต้นและองค์ประกอบก๊าซไอดี

3.3.4 การคำนวณการเผาไหม้

ในกระบวนการเผาไหม้ต้องการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ คือ เพื่อประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ความร้อนสูงสุดจากเผาไหม้และเพื่อป้องกันมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงต้องใช้สภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากที่สุด สภาวะหนึ่ง คือการใช้อากาศส่วนเกิน (excess air) เพื่อให้โมเลกุลที่เกิดจากแตกตัวของเชื้อเพลิงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนเกินนั้น ต้องทราบปริมาณอากาศที่ต้องการทางทฤษฎีก่อน โดยการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.3.4.1 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงจะดำเนินการตามมาตรฐานสากลเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบภายในเชื้อเพลิง การวิเคราะห์แบ่งลักษณะการดำเนินการตามสถานะของเชื้อเพลิงดังนี้

- ก๊าซเชื้อเพลิง ดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบ ความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อน
- เชื้อเพลิงเหลว ดำเนินการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ จุดวาบไฟ จุดหยุดไหล จุดขุ่น ค่าความร้อน เส้นโค้งการกลั่นและสิ่งเจือปน
- เชื้อเพลิงแข็ง ดำเนินการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อนและอุณหภูมิหลอมเหลวของถ้ำ

3.3.4.2 กระบวนการเผาไหม้

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

ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุในกรณีเป็นเชื้อเพลิงแข็ง หรือ เชื้อเพลิงเหลว หรือ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกรณีเป็นเชื้อเพลิงก๊าซนำมาคำนวณปริมาณออกซิเจน หรือปริมาณอากาศทำปฏิกิริยาพอดีกับเชื้อเพลิง (อากาศที่ต้องการทางทฤษฎี) และนำมาคำนวณสารผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากปฏิกิริยา มวลสารสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์โดยโมล ดังนั้นต้องทำการแปลงหน่วยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงให้อยู่ในของกิโลโมล หรือโมลก่อนที่จะนำมาคำนวณ

3.3.4.3 อากาศส่วนเกิน

กระบวนการการเผาไหม้ต้องการปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ความเหมาะสมจะก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีการสูญเสียความร้อนในรูปองค์ประกอบของก๊าซและส่วนที่ยังเผาไหม้ได้ออกจากระบบ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (potential heat loss) เช่น ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนเป็นต้น แต่ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ปริมาณอากาศส่วนที่เกินพอที่เข้ามาจะออกไป

จากระบบโดยไม่ได้ทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาตรรวมของพลูแก๊สเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อน เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss)

3.3.5 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้

1. ไอดีสตอยคิโอเมตริก (stoichiometric mixture) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อมวลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการเผาไหม้ทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
2. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio) คืออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
3. อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) เป็นปริมาณไร้นิติที่บอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอยู่ห่างไกลจากค่าทางทฤษฎีมากน้อยเพียงใด
4. ร้อยละอากาศทางทฤษฎี (percent theoretical air) หรืออัตราส่วนอากาศ (air ratio) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นร้อยละเท่าไรของปริมาณอากาศทางทฤษฎีหรือตามสตอยคิโอเมตริกของการเผาไหม้
5. ร้อยละอากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นร้อยละเท่าไร โดยคิดอากาศทางทฤษฎีที่ค่าเท่ากับ 100

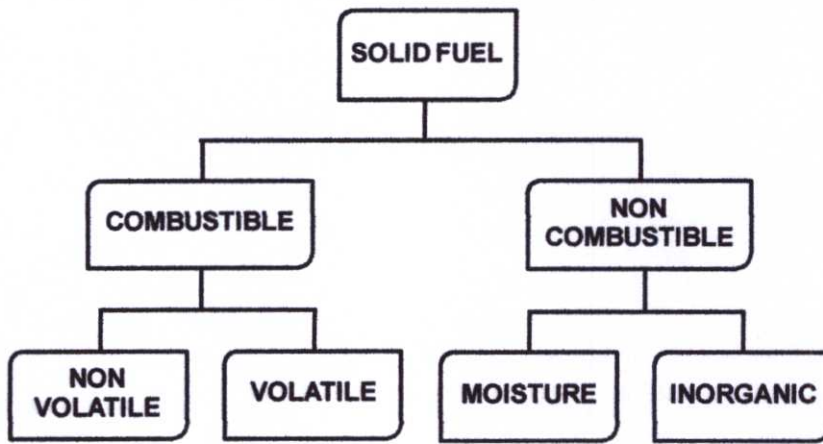
3.3.6 ปัจจัยที่มีสำคัญต่อกระบวนการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

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

3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

3.4.1 องค์ประกอบเชื้อเพลิงแข็ง

การพิจารณาในภาพรวมถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนั้น พบว่าเชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้ส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้และส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ โดยส่วนที่สามารถเผาได้นั้นแบ่งเป็นส่วนที่เป็นกลุ่มสารระเหย และกลุ่มที่ไม่ใช่สารระเหยซึ่งได้แก่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้นั้นแบ่งความชื้น และกลุ่มสารอนินทรีย์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

3.4.2 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็ง

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็งจะมีความยุ่งยากเพราะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยละเอียดจึงยุ่งยากและไม่มีเวลาจำเป็น จึงนิยมใช้การวิเคราะห์เป็นกลุ่มองค์ประกอบในเชื้อเพลิงแทนการวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นแบบต่างๆดังนี้

3.4.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis)

การวิเคราะห์ประเภทนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงร้อยละขององค์ประกอบภายในเชื้อเพลิงแบ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนคงตัวและสารระเหยซึ่งส่วนประกอบส่วนนี้สามารถเกิดการเผาไหม้ได้เรียกว่า ส่วนที่เผาไหม้ได้ (combustibles) และสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เรียกว่า สารเฉื่อย (inerts) ประกอบด้วยความชื้นและเถ้า

การวิเคราะห์แบบประมาณเพื่อทราบถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนั้นมีลำดับขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

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

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

3.4.2.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

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

3.4.2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งจะแสดงในหน่วยของความร้อนต่อมวล การระบุค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งต้องระบุหลักอ้างอิงสภาวะของเชื้อเพลิงด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงตามสภาพที่เป็นจริง คือรวมความชื้น รวมเถ้า หรือไม่รวมความชื้น ไม่รวมเถ้า หรืออื่น ๆ เพราะมีผลต่อค่าความร้อนและการนำไปใช้ การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งกระทำโดยวิธีบอมบ์ แคลอริมิเตอร์

3.4.2.4 อุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า

การดำเนินการหาอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า นั้นจะกระทำตามมาตรฐานที่กำหนดตามแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง การทราบอุณหภูมิหลอมเหลวมีความจำเป็นต่อการออกแบบระบบเผาไหม้และการกำหนดสภาวะในการเผาไหม้

3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

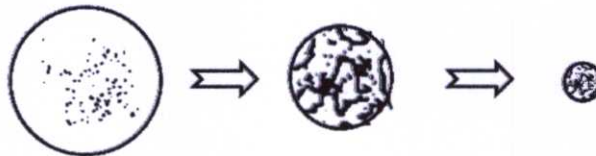
แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

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) ความร้อนส่วนหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการการเผาไหม้ของสารระเหยจะถูกถ่ายเทให้แก่ผิวเชื้อเพลิงและมีการถ่ายโอนสารระเหยสู่เปลวไฟอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้สารระเหยก็จะตามด้วยกระบวนการการเผาไหม้ของคาร์บอนแข็ง (char combustion) อันเนื่องมาจากการแพร่ของออกซิเจนเข้าหาผิวของคาร์บอนจนทำให้คาร์บอนเกิดการเผาไหม้ร้อนแดงขึ้นที่ผิวเมื่อสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้ของคาร์บอนแข็งจะเหลือสารส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้คือเถ้า นับเป็นการสิ้นสุดกระบวนการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง โดยสิ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์มและชั้นชี้ไถ้
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นชี้ไถ้กับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นชี้ไถ้จะสูงกว่าชั้นฟิล์มมากดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้
5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของก๊าซฟิล์มชั้นชี้ไถ้ และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.5 ฟลูอิดิเซชัน [15]

ฟลูอิดิเซชัน (fluidization) เป็นนิยามที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคของแข็งถูกกระทำให้มีพฤติกรรมคล้ายของไหลภายใต้กระแสการพองของก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านกลุ่มอนุภาคของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง โดยมีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

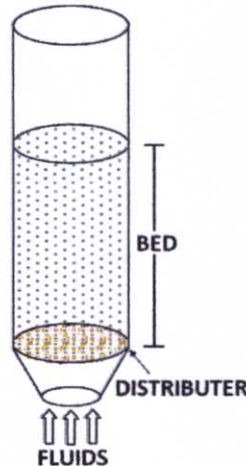
3.5.1 ประเภทของฟลูอิดิเซชัน

กระบวนการฟลูอิดิเซชันสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองรูปแบบ คือ

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

3.5.2 ลักษณะฟลูอิด์เบด

เบด (bed) หมายถึง อาณาเขตในหอทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในห้องทดลองโดยนับระดับตั้งแต่แผ่นกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอทดลอง ดังรูปที่ 3.5



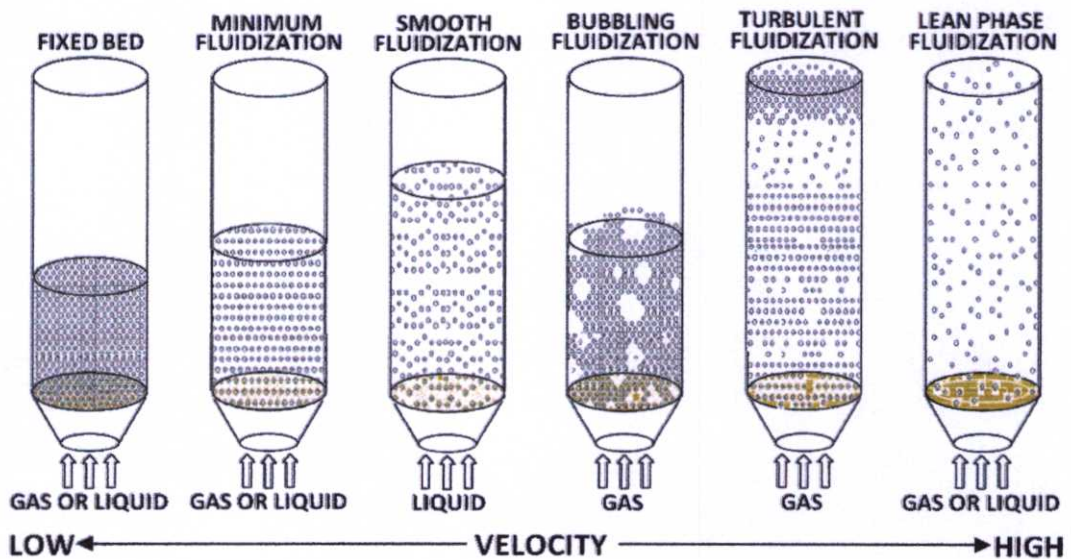
รูปที่ 3.5 ระดับของเบดในหอทดลอง

ปรากฏการณ์ฟลูอิด์เซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันภายในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.6 ได้แสดงลำดับลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิด์เซชันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล โดยสรุปได้ดังนี้คือ

1. กลุ่มอนุภาคของแข็งมีกระแสน้ำของของไหลที่มีค่าความเร็วต่ำๆ ไหลผ่าน ของไหลดังกล่าวจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่ง เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed)
2. เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน และเคลื่อนที่ในบริเวณจำกัด เบดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (expanded bed)
3. จากสภาวะที่ผ่านมา ถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุดๆหนึ่ง ซึ่งเป็นสภาวะที่น้ำหนักของเบดจะเท่ากับแรงเสียดทานที่ของไหลกระทำต่ออนุภาคของแข็ง ที่สภาวะนี้เองอนุภาคของแข็งจะเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในกระแสน้ำของของไหล เรียก สภาวะนี้ว่าจุดต่ำสุดที่เกิดฟลูอิด์เซชัน (minimum fluidization หรือ

incipiently fluidized bed) ค่าความเร็วของของไหลที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน (minimum fluidizing velocity, U_{mf})

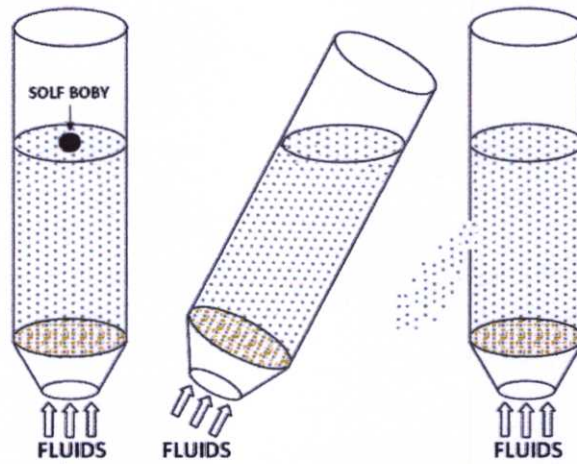
4. เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของของไหลให้มีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดิเซชัน พิจารณาสถานะที่เกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ของไหลเป็นของเหลว เเบคจะมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ ระยะห่างระหว่างอนุภาคของแข็งจะค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งเบค คุณสมบัติเช่นนี้เรียก homogenous fluidization ดังรูป สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซจะเกิดการแทรกตัวผ่านของก๊าซในรูปแบบฟอง (gas bubbles) ที่ความเร็วสูงขึ้นความปั่นป่วนของเบคจะเพิ่มมากขึ้น ระดับของเบคจะมีการขยายตัวเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระดับของเบคหนึ่ง จะเรียกเบคในลักษณะนี้ว่า bubbling fluidized bed หรือ heterogeneous fluidization
5. สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจนเลยค่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาคของแข็ง (terminal velocity) จะมีการสูญเสียอนุภาคของแข็งออกจากระบบมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกพาให้เคลื่อนที่ตลอดความสูงของหอ โดยจะพบอนุภาคของแข็งอยู่รวมกันกลุ่มสลับกับช่องว่างของก๊าซที่ขนาดและรูปร่างต่างๆ เรียกเบคลักษณะนี้ว่า เเบคปั่นป่วน (turbulent bed)
6. ถ้าเพิ่มความเร็วต่อไปถึงจุดหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้ายของอนุภาคที่มีน้ำหนักมากที่สุด ของแข็งทั้งหมดจะหลุดลอยออกจากหอ เรียกสถานะนี้ว่า เเบคเบาบาง (lean phase fluidized bed)



รูปที่ 3.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิดิเซชัน

3.5.3 ลักษณะคล้ายกับของไหลของฟลูอิดซ์เซชัน

ขณะเกิดสภาวะฟลูอิดซ์เซชันในลักษณะหนาแน่นจะพบว่าบริเวณผิวหน้าของเบคจะมีความสม่ำเสมอเหมือนกับผิวหน้าของของไหลเมื่อบรรจุภายในภาชนะ หรือแม้แต่กระทั่งทำการเอียงหอคดลองก็จะพบว่าบริเวณผิวหน้าของเบคยังคงราบเรียบอยู่ แม้แต่ถ้ามีการนำวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของอนุภาคของแข็งจะพบว่าวัตถุดังกล่าวจะลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของเบค ด้วยปรากฏการณ์ดังที่ได้กล่าวมานี้นับเป็นการสนับสนุนให้เห็นว่ากระบวนการฟลูอิดซ์เซชันนั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของแข็งแสดงพฤติกรรมเช่นเดียวกับของไหล



รูปที่ 3.7 ลักษณะคล้ายของไหลของฟลูอิดซ์เซชัน

3.5.4 แผ่นกระจายของไหล

แผ่นกระจายของไหลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายกระแสของของไหลที่มาจากแหล่งกำเนิด และยังทำหน้าที่ป้องกันอนุภาคภายในระบบหลุดลงที่ด้านล่าง องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสภาวะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือความดันตกคร่อมโดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหล ถ้าหากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ได้ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 % ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว

3.5.5 ลักษณะเด่นและข้อจำกัดของฟลูอิดซ์เซชัน

การประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดซ์เซชันเบคกับกระบวนการต่างๆ อาทิเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เตาปฏิกรณ์ในงานอุตสาหกรรม เตาเผาเชื้อเพลิง เตาเผาขยะ เครื่องอบแห้งสาร การใช้ใน

กระบวนการดูดซับและอื่นอีกมากมาย เนื่องจากเทคนิคฟลูอิดไอซ์เบดมีลักษณะเด่นหลายประการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลักษณะเด่นของเทคนิคฟลูอิดไอซ์เบด

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิดไอซ์เบดจะเสียดพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเติมเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบดนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบด อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

ถึงแม้ว่าเทคนิคฟลูอิดไอซ์เบดจะมีลักษณะเด่นหลายประการ แต่เทคนิคนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง บางประการดังนี้

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบดสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีพอ หรืออนุภาคของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสั่นสะเทือนของหอทดลองหรือเกิดการกักร้อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากระทบกับผนังหอทดลอง
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบดสูงๆหรือเบดหลายๆชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบด ทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปลือง ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง

5. ใช้กับอนุภาคของแข็งที่เปียกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่ และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบค
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบคไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง จะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3.5.6 กระบวนการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบค

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอน ดังนี้

1. Drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
2. Devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
3. Ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่อยออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค
4. Combustion of volatile เป็นกระบวนการเผาไหม้สารระเหย ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นล้อมรอบอนุภาค
5. Ignition of char particle เป็นกระบวนการจุดประกายบนผิวหน้าของอนุภาคที่เหลือ โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค
6. Combustion of residual char particle เป็นกระบวนการเผาไหม้อนุภาคที่เหลือ หลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

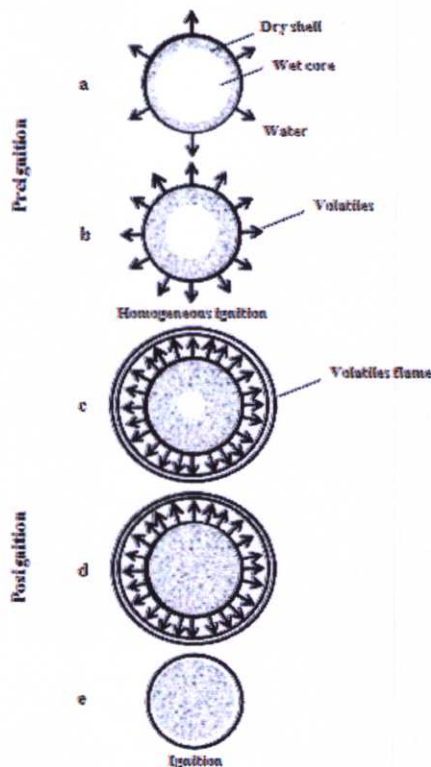
3.5.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบค

อุณหภูมิเบคเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงการอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบค เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบคด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงเกินไป

Wildgger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส

1. Pre-ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะไฟโรไลซิส แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำอนุภาคใส่ลงในเบคร้อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก 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 เกิดเป็นเปลวไฟชั้นล้อมรอบอนุภาค ความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด drying และ devolatilization เพิ่มขึ้น ในขั้นตอนนี้ drying จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
 - ขั้นตอนที่ 2 อนุภาคเกิด devolatilization ต่อสารระเหยที่ระเหยออกมาจะถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟล้อมรอบอนุภาคและจะดับเหลือแต่อนุภาค เมื่อสารระเหยหมดหรือระเหยออกมาน้อยจนไม่สามารถติดไฟ



รูปที่ 3.8 การจุดติดไฟของอนุภาคในฟลูอิไดซ์เบด

3.6 มลพิษและการควบคุม

สารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ตามทฤษฎีของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลัก คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติมักเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ผุ่นและเขม่า

3.6.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น สภาวะการเผาไหม้ไม่ดีหนาเกินไป การผสมคลุกเคล้าไม่ดีพอ ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นที่สภาวะสตอปคิโอมेटริกซึ่งเผาไหม้ภายอุณหภูมิต่ำก่อนข้างสูงจนทำให้ CO_2 เกิดการแตกตัวกลับมาเป็น CO

วิธีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สำคัญ คือการควบคุมสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้การกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.6.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซมลพิษ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์มากกว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ สารมลพิษเริ่มต้น คือ NO ถูกออกซิไดซ์เมื่อพบกับออกซิเจนและโอโซนในบรรยากาศกลายเป็น NO_2 การก่อตัวของ NO_x ในกระบวนการเผาไหม้มีกลไกของการก่อตัวอยู่ดังต่อไปนี้

- Thermal NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส ในโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
- Fuel NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส ในโตรเจนในเชื้อเพลิงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ
- Prompt NO เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้ประมาณ 1,600 องศาเซลเซียส ในโตรเจนทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนจากเชื้อเพลิง โดยผ่านกลไกการเกิด HCN

วิธีการกำจัดก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์หลังจากออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจาก NO มีความเสถียรมากและไม่ละลายน้ำ วิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่เป็นผล จึงใช้วิธีการควบคุมการเผาไหม้ให้เกิด NO_x น้อย วิธีที่ใช้คือ

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจาก NO ในกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ NO_2 ดังนั้นการลดปริมาณอากาศส่วนเกินจะช่วยลดปริมาณ NO_2
- การใช้ระบบเผาไหม้หลายขั้นตอน โดยการจัดให้อากาศเข้าหลายขั้นตอนจะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟต่ำลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิด Thermal NO ลดลง
- การนำฟลูเก้สกลับมาป้อนใหม่

3.6.3 ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x)

สาเหตุหลักของการเกิดก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ คือกำมะถัน (Sulfur) ภายในเชื้อเพลิงถึงจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น SO_2 หรือ SO_3 ซึ่งเรียกรวมกันว่า SO_x ก๊าซในกลุ่มนี้มีการกัดกร่อนเนื่องจากการกลายเป็นไอของกรดซัลฟูริกในฟลูเก้ส โดยไอของกรดนี้สามารถควบแน่นได้ดีกว่าน้ำภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ซึ่งก๊าซหลักที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านนี้คือ SO_3 เนื่องจากความสามารถละลายได้ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ SO_2

วิธีการควบคุมและปริมาณก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์มีดังนี้

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อลดโอกาสการออกซิไดซ์ของ SO_2 ไปเป็น SO_3
- การเติมปูนขาวในขณะที่เกิดกระบวนการเผาไหม้เพื่อจับ SO_x แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดตรงที่สามารถใช้ได้ผลดีกับระบบที่เป็นฟลูอิโดเบดเท่านั้น
- การนำฟลูเก้สที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ไปผ่านกระบวนการทำความสะอาดอัดแน่นเป็นวิธีการที่ได้ผลดีที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินสูง กระบวนการนี้เรียกว่า Flue Gas Desulfurization (FGD)

3.6.4 อนุภาคของเถ้า

กระบวนการเผาไหม้จะทำให้เกิดกระแสปลูเก้ส ส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในฟลูเก้สคืออนุภาคของเถ้า เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดที่หุลุดลอยออกไปพร้อมฟลูเก้สเพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคเถ้าลอยสู่สภาพแวดล้อมภายนอก จึงจำเป็นต้องมีการดักอนุภาคดังกล่าว

วิธีการดักอนุภาคเถ้าลอยมีดังนี้

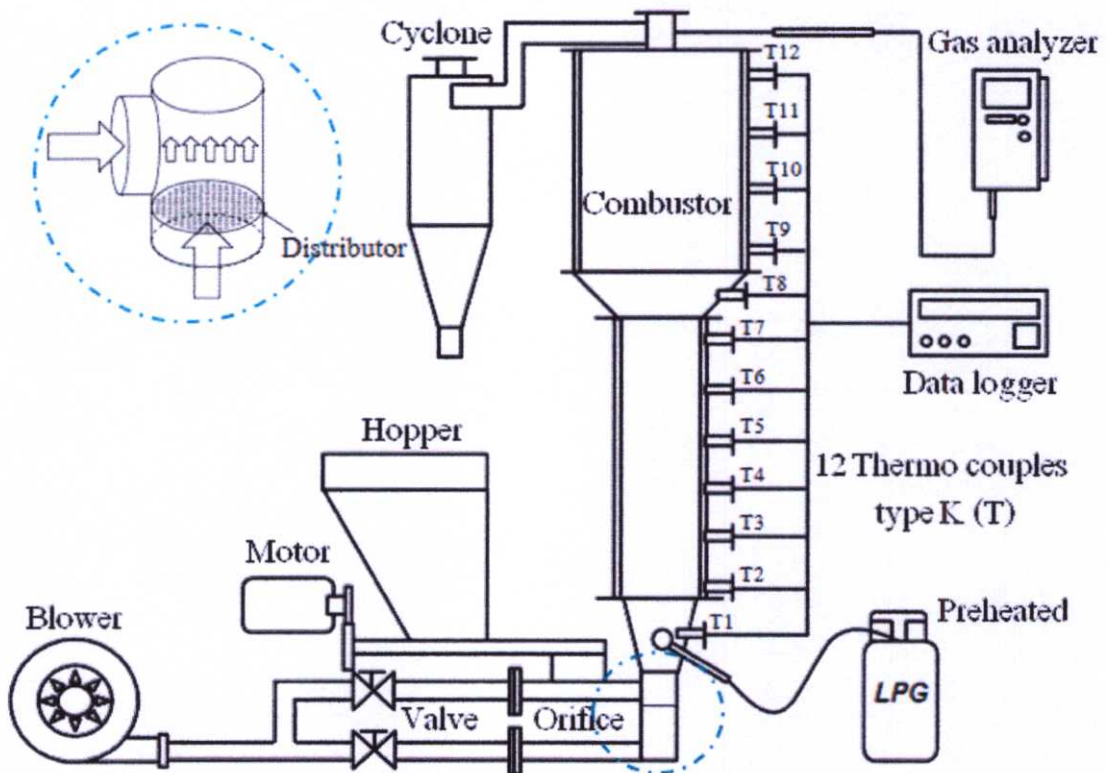
- การแยกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาศัยหลักการปล่อยฟลูเก้สสู่ห้องเก็บฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ ทำให้ความเร็วของอนุภาคลดลงและตกสู่ด้านล่าง
- การแยกด้วยแรงเฉื่อย อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง โดยการทำให้อนุภาควิ่งในทางโค้งภายในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไชโคลน อนุภาคจะเกิดแรงดึงออกจากทางโค้งและเมื่อไปปะทะผนัง ความเร็วจะลดลงแล้วตกลงสู่ด้านล่างของ ไชโคลน

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง

4.1.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง



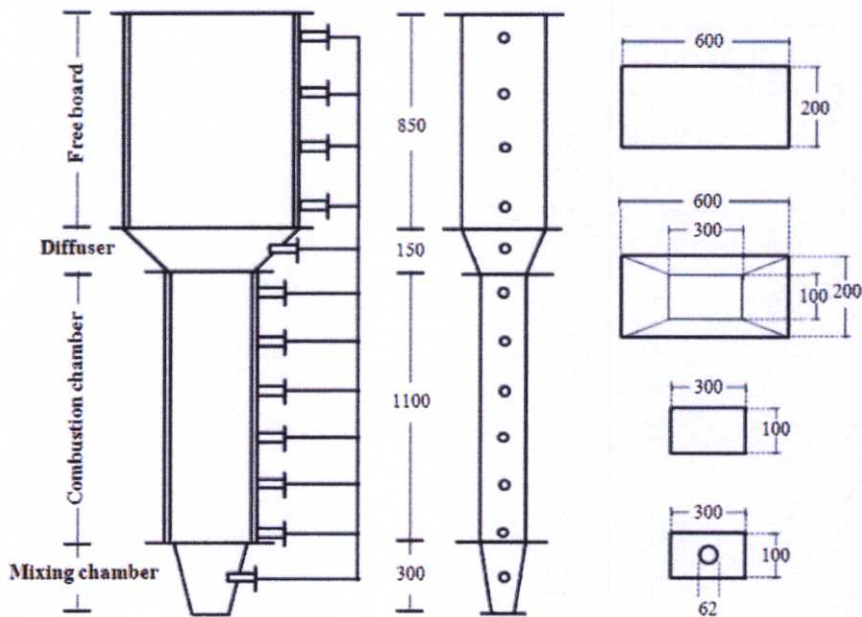
รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

การทำงานของชุดทดลองเริ่มจากแหล่งจ่ายลมคือ blower ซึ่งลมจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นลมที่ใช้สำหรับพองแคลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลมและอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแคลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์ว โดยทำการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมแผ่น orifice จาก manometer ส่วนเชื้อเพลิงแคลบจะถูกป้อนจาก hopper โดย screw feeder ซึ่งควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงโดยการควบคุมความเร็วรอบของ motor ที่ใช้ขับ screw feeder ด้วยการปรับ inverter ต่อจากนั้นจะเป็นตัวเผาเผาที่ทำการหุ้มฉนวนและที่ทางออกเตาเผาจะมีไซโคลนสำหรับดักอนุภาคเถ้าลอย มีชุดหัวเผาและก๊าซ LPG สำหรับอุ่นเตาเผา ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บผลและบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง

ได้แก่ วัดค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดโดยเทอร์โมคริปเปิ้ล และองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ปริมาณทางออกโดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

4.1.2 เตาเผาฟลูอิโดซ์เบค

เตาเผาฟลูอิโดซ์เบคมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความสูงทั้งสิ้น 2,400 mm แบ่งออกได้เป็น 4 คือ ส่วนห้องผสมมีความสูง 300 mm มีลักษณะเป็นทรงกรวยแบบเปลี่ยนหน้าตัดจากวงกลมเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยม ส่วนห้องเผาไหม้มีความสูง 1,100 mm มีพื้นที่ตัดขวางเป็น 300x100 mm² ส่วนขยายฟริบอร์คมีลักษณะเปลี่ยนแปลงหน้าตัดจากส่วนห้องเผาไหม้ไปสู่ส่วนฟริบอร์คมีความสูง 150 mm และส่วนของฟริบอร์คมีความสูง 850 mm มีพื้นที่ตัดขวางเป็น 600x200 mm² โดยที่ผนังภายนอกเตาเผาทั้งหมดมีการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ บริเวณผนังด้านข้างของเตาเผาเป็นตำแหน่งสำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาจำนวนทั้ง 12 จุด และที่บริเวณส่วนบนของฟริบอร์คซึ่งเป็นทางออกของแก๊สและก๊าซไอเสียจะเป็นตำแหน่งสำหรับวัดค่าองค์ประกอบก๊าซไอเสีย

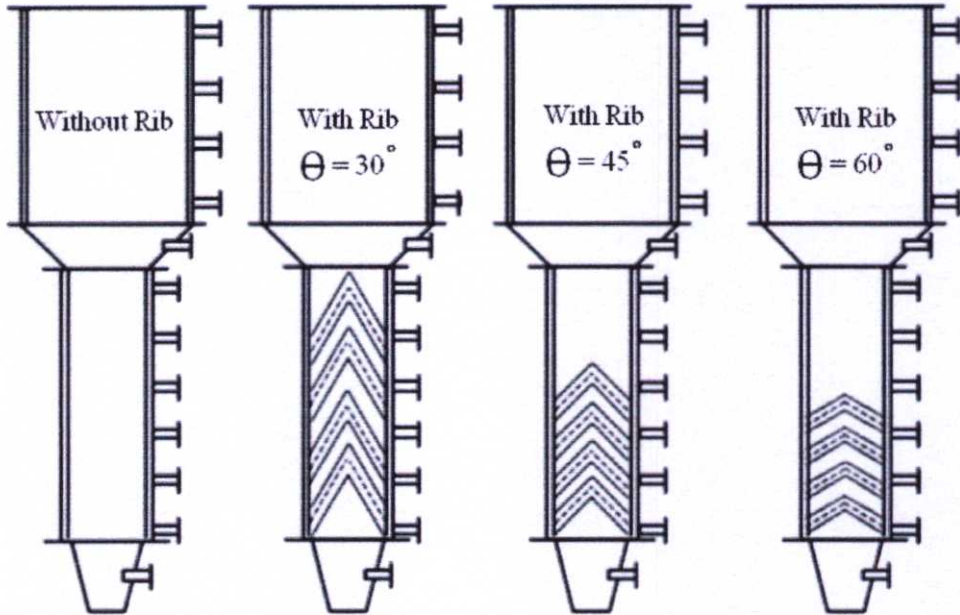


รูปที่ 4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิโดซ์เบค

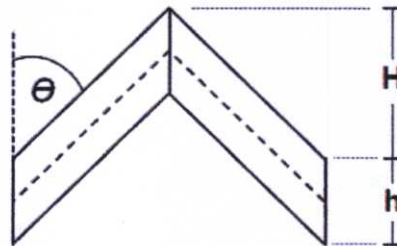
ลักษณะของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่ใช้ในการศึกษาทดลองจะแบ่งตามลักษณะห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันได้ดังนี้

- เตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ
- เตาเผาฟลูอิโดซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่ามุม 30° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ

- เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
- เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ลักษณะการติดตั้งครีบริบภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบด



รูปที่ 4.4 ลักษณะครีบริบที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของครีบริบและตำแหน่งการติดตั้งสูงสุด

มุมครีบริบ θ	ขนาด (mm)		ตำแหน่งการติดตั้งสูงสุด* (mm)		
	H	h	กรณี 2 คู่	กรณี 3 คู่	กรณี 4 คู่
30	260	108	926	1,084	1,242
45	150	76	752	878	1,004
60	87	62	661	773	930

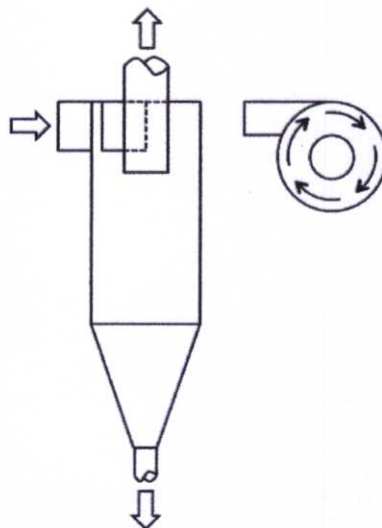
* ระยะอ้างอิงจากตำแหน่งต่ำสุดของส่วนห้องผสม

ตารางที่ 4.2 ระดับของตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

ตำแหน่งการวัด	ระดับเหนือตำแหน่งต่ำสุดของส่วนห้องผสม (mm)
1	200
2	400
3	600
4	800
5	1,000
6	1,200
7	1,400
8	1,600
9	1,800
10	2,000
11	2,200
12	2,400

4.1.3 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย

กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบจะเกิดอนุภาคของเถ้าขึ้น โดยอนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผาถ้ำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของฟريبอร์ด ดังนั้นจึงได้มีการติดตั้งไซโคลนเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคของเถ้าไปสู่สิ่งแวดล้อม เถ้าลอยที่ถูกดักเก็บได้จะร่วงมาทางด้านล่างของไซโคลนลงสู่ถังเก็บเถ้า



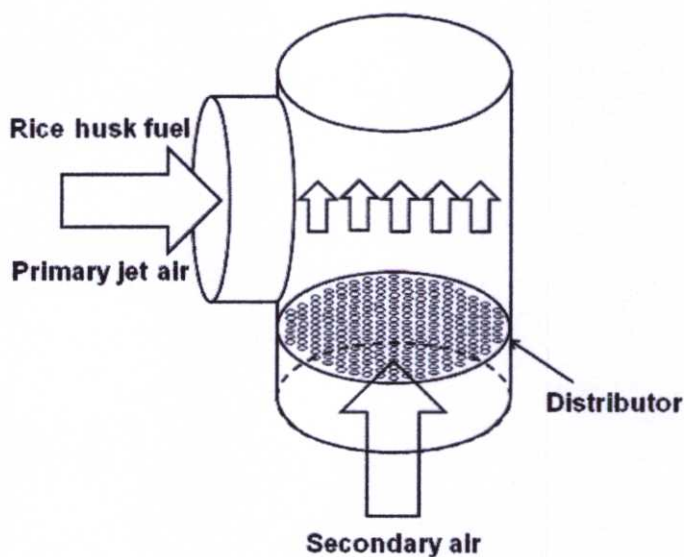
รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ดักอนุภาคเถ้าลอย (ไซโคลน)

4.1.4 ชุดอุปกรณ์จ่ายอากาศ

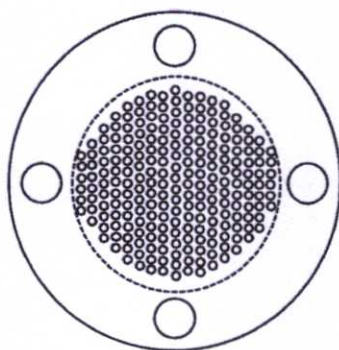
ชุดอุปกรณ์สำหรับจ่ายอากาศแก่ระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลมที่จ่ายแก่ระบบ คือ Blower โดยอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นลมที่ใช้สำหรับพองแกลบนภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม และอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์วจากการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice จาก Manometer ซึ่งปริมาณอากาศแต่ละส่วนนั้นจะทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณอากาศ



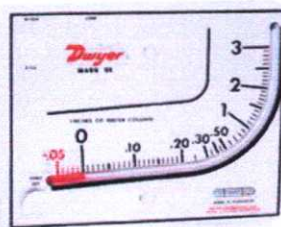
รูปที่ 4.6 Blower สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดลมแก่ระบบ



รูปที่ 4.7 ลักษณะการผสมของอากาศปฐมภูมิ อากาศทุติยภูมิและเชื้อเพลิงแกลบน



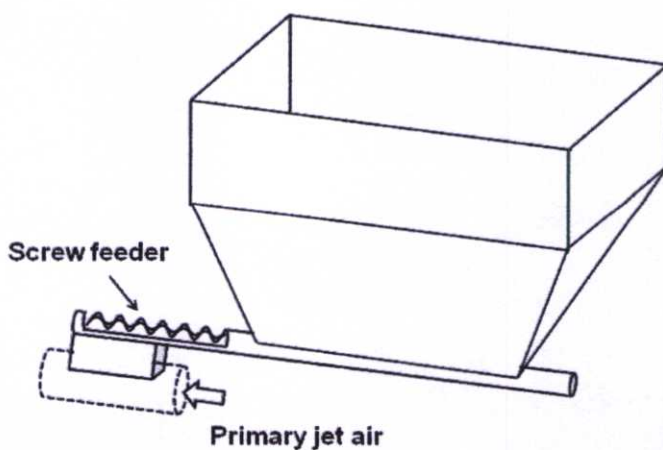
รูปที่ 4.8 แผ่นกระจายของไหล



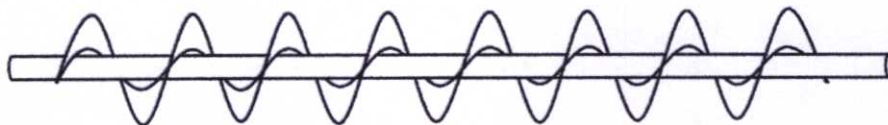
รูปที่ 4.9 มานอมิเตอร์สำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม

4.1.5 ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาทดลองเป็นเชื้อเพลิงแกลบ โดยเชื้อเพลิงแกลบจะบรรจุอยู่ใน hopper ที่มีลักษณะลาดเอียงสำหรับให้เชื้อเพลิงแกลบไหลลงสู่รางของ screw feeder ที่ทำหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบไปสู่ส่วนปลายของราง จากนั้นแกลบจะตกลงอย่างอิสระสู่ท่อลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ screw feeder โดยมี inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.10 Hopper สำหรับบรรจุเชื้อเพลิงแกลบ



รูปที่ 4.11 Screw feeder ที่ติดตั้งภายใน Hopper



รูปที่ 4.12 ชุดอุปกรณ์ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

4.1.6 ชุดอุปกรณ์กำเนิดความร้อนเบื้องต้น

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเบื้องต้นแก่เตาเผาเพื่อนำไปสู่กระบวนการการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเองของเชื้อเพลิงแกลบนั้นประกอบด้วยเชื้อเพลิง LPG และหัวเผาที่สามารถปรับปริมาณของเชื้อเพลิง LPG ได้ โดยที่หัวเผาคงจะต่อเข้ากับชุดทดลองที่บริเวณส่วนห้องผสมของเตาเผา



รูปที่ 4.13 ชุดอุปกรณ์กำเนิดความร้อนเบื้องต้น

4.1.7 ชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ทำการเก็บค่าสำหรับการศึกษาทดลองนี้ ได้แก่อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตำแหน่งตามความสูง) จำนวน 12 ตำแหน่ง และตำแหน่งตามแนวแกน จำนวน 3 ตำแหน่งคือ วัดค่าโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกที่เก็บข้อมูล ส่วนวัดค่าองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่ ทางออกบริเวณส่วนบนของฟรีบอร์คั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL



รูปที่ 4.14 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 4.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

4.2 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล

1. การดำเนินการทดลองเริ่มจากการจ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับทำการอุ่นเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาบริเวณห้องผสมและส่วนล่างของห้องเผาไหม้มีค่าอุณหภูมิประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเริ่มทำการเปิดชุดป้อนเชื้อเพลิงแกลบพร้อมกับอากาศป้อนรวมภูมิสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผา

ไหม้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 800°C - 850°C จึงทำการเอาชุดอุ่นเตาเผาออก

2. ปรับอัตราการไหลของอากาศ 64 kg/hr (การดำเนินการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%) และปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 8.5 kg/hr
3. สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตำแหน่งตามความสูง) จำนวน 12 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิ สังเกตลักษณะเถ้าลอยและวัคปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
4. ทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวแกนที่กำหนดไว้ตำแหน่งที่ 2 ดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3 จากนั้นทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลตามตำแหน่งตามแนวแกนไปตำแหน่งที่ 3 ดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3 ตามลำดับ
5. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 68, 73 และ 78 kg/hr (การดำเนินการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 50, 60 และ 70% ตามลำดับ) แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3-4 ตามลำดับ
6. ทำการติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด ตามลักษณะกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1-5 ตามลำดับ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่เกิดจากระบวนการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันจากการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำที่มีลักษณะมุมและจำนวนที่แตกต่างกันแบ่งเป็นกรณีศึกษาได้ ดังนี้

- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ
- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ

คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผา การพิจารณาองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย พร้อมด้วยการพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละกรณีศึกษา

การแสดงผลการพิจารณาคูณลักษณะการเผาไหม้มีรายละเอียดดังนี้

- ทำการพิจารณาลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา โดยพิจารณาผลของปริมาณอากาศส่วนเกิน ลักษณะมุมครีบริปและจำนวนของครีบริป ที่มีต่อลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ
- องค์ประกอบของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้จะทำการการพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษาที่ค่าอากาศส่วนเกินแตกต่างกัน ผลการพิจารณาคูณลักษณะการเผาไหม้จากการศึกษาทดลองทั้งหมดได้แสดงดังต่อไปนี้

5.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ

การแสดงผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะเป็นแสดงค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของเตาเผา ได้แก่ ส่วนห้องผสม ส่วนห้องเผาไหม้ (กรณีที่มีการติดตั้งครีบริปจะแบ่งการเฉลี่ยอุณหภูมิภายในส่วนห้องเผาไหม้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดครีบริปและไม่ติดครีบริป) ส่วนขยายพรีเบิร์ด

และส่วนปริบอร์คใน กราฟที่แสดงผลจะแบ่งเป็น 3 แขนตามระยะการวัดระดับอุณหภูมิตาม แนวแกนซึ่งมี 3 ตำแหน่ง และผลลัพธ์ที่แสดง โดยทำการกำหนดตัวแปรสำหรับการวัดค่าดังนี้

เมื่อ X คือ ตำแหน่งของการวัดระดับอุณหภูมิ

W คือ ระยะจากแนวกึ่งกลางถึงผนังเตาเผา บริเวณส่วนห้องเผาใหม่
ตำแหน่งการวัดค่าระดับอุณหภูมิทั้ง 3 ตำแหน่งมีดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 $X = 0$ คือ ตำแหน่งที่แนวกึ่งกลางเตาเผา

ตำแหน่งที่ 2 $X = W/2$ คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแนวกึ่งกลางเตาเผา

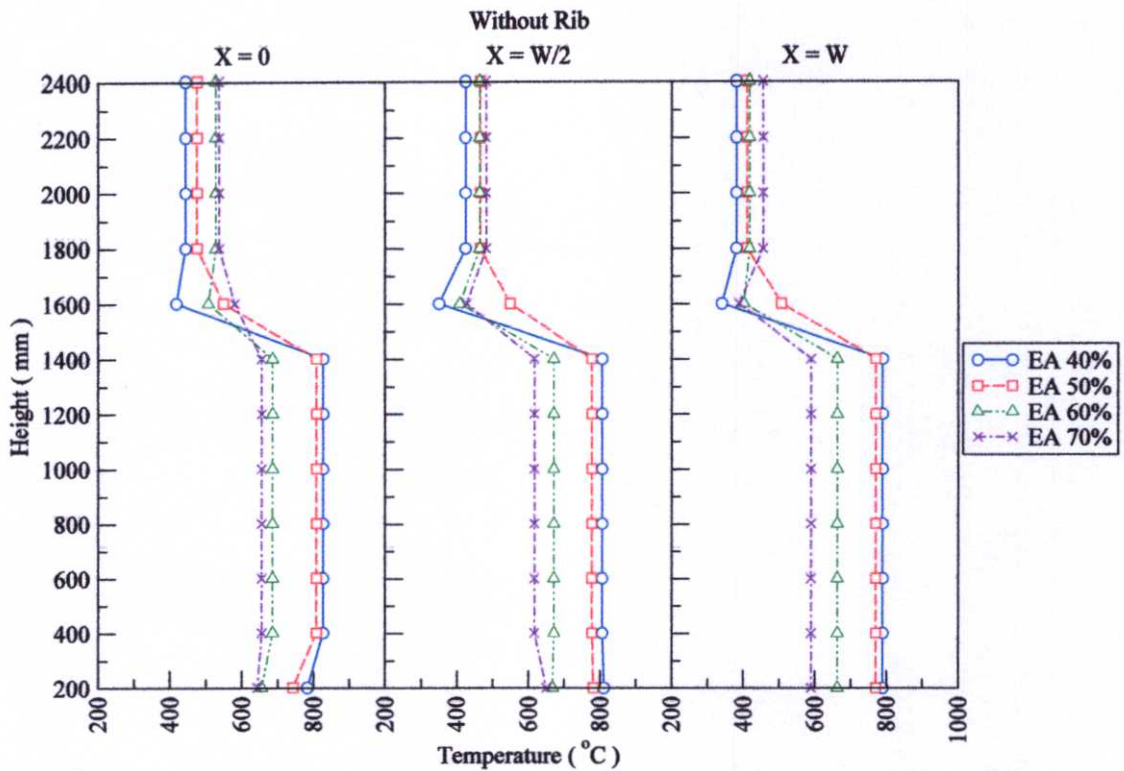
ตำแหน่งที่ 3 $X = W$ คือ ตำแหน่งที่ผนังเตาเผา

5.2.1 การพิจารณาผลกระทบของปริมาณอากาศส่วนเกิน

5.2.1.1 กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาใหม่เป็นพื้นผิวเรียบ

จากการศึกษาทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาใหม่จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายปริบอร์คระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างมากและจะเพิ่มระดับขึ้นเล็กน้อยบริเวณส่วนปริบอร์คแสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาใหม่ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาใหม่มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง แต่ที่บริเวณส่วนของปริบอร์คจะให้ผลระดับของอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน คือที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินค่าต่ำ เมื่อสังเกตระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาใหม่จะเห็นว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินเป็น 60% และ 70% ระดับของอุณหภูมิจะต่ำกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินเป็น 40% และ 50% อย่างชัดเจนน่าจะเป็นผลมาจากว่าที่ค่าอากาศเกินเป็น 60% และ 70% กระแสของของไหลมีความเร็วสูงเกินไปทำให้เชื้อเพลิงส่วนหนึ่งหลุดลอยออกจากบริเวณส่วนห้องเผาใหม่จึงเกิดกระบวนการการเผาไหม้ได้อย่างไม่เต็มที่ระดับของอุณหภูมิจึงมีระดับต่ำกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินเป็น 40% และ 50% อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 5.1

กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่มีลักษณะห้องเผาใหม่เป็นพื้นผิวเรียบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 860 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 590 องศาเซลเซียส และให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดประมาณ 650 องศาเซลเซียส ที่อากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับที่อากาศส่วนเกิน 40% แต่จะมีค่าแตกต่างจากที่อากาศส่วนเกิน 60% และ 70% อย่างชัดเจน โดยที่อากาศส่วนเกิน 70% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดประมาณ 570 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.1 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ

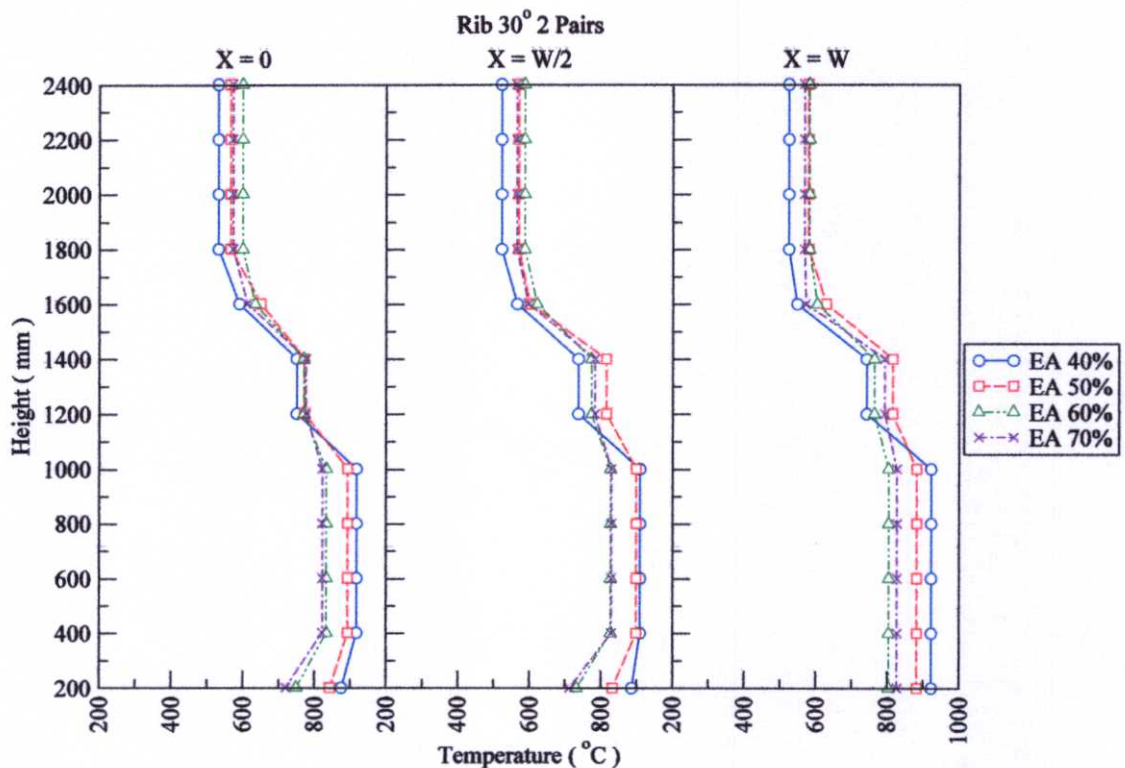
ตารางที่ 5.1 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายพรีบอร์ด	พรีบอร์ด
40	799	809	371	418
50	765	787	537	452
60	664	675	441	473
70	649	622	462	492

5.2.1.2 กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่ามุม 30° จำนวน 2 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนพรีบอร์ด แต่จะเห็นว่าระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้แบ่งเป็นสองระดับ โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 1,000 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริบจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณส่วนบนของห้องเผา

ไหม้ (ความสูง 1,000 – 1,400 mm) แสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง แต่ที่บริเวณส่วนของฟริบอร์คจะให้ผลระดับของอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน คือที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินค่าต่ำ เมื่อสังเกตระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้จะเห็นว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินต่าง ๆ จะเห็นว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินเพิ่มสูงขึ้นระดับของอุณหภูมิจะต่ำลงแต่จะไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเหมือนกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ รวมทั้งให้ระดับของอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของเตาเผาที่มีค่าสูงกว่าด้วย ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่

กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 580 องศาเซลเซียส และให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดประมาณ 740 องศาเซลเซียส ที่อากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับที่อากาศส่วนเกิน 40%, 60% และ 70% โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อากาศส่วนเกิน 70% ซึ่งเป็นค่าอากาศ

ส่วนเกินที่ให้ค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาดำสุดของกรณีศึกษานี้ โดยมีค่าระดับอุณหภูมิประมาณ 710 องศาเซลเซียส

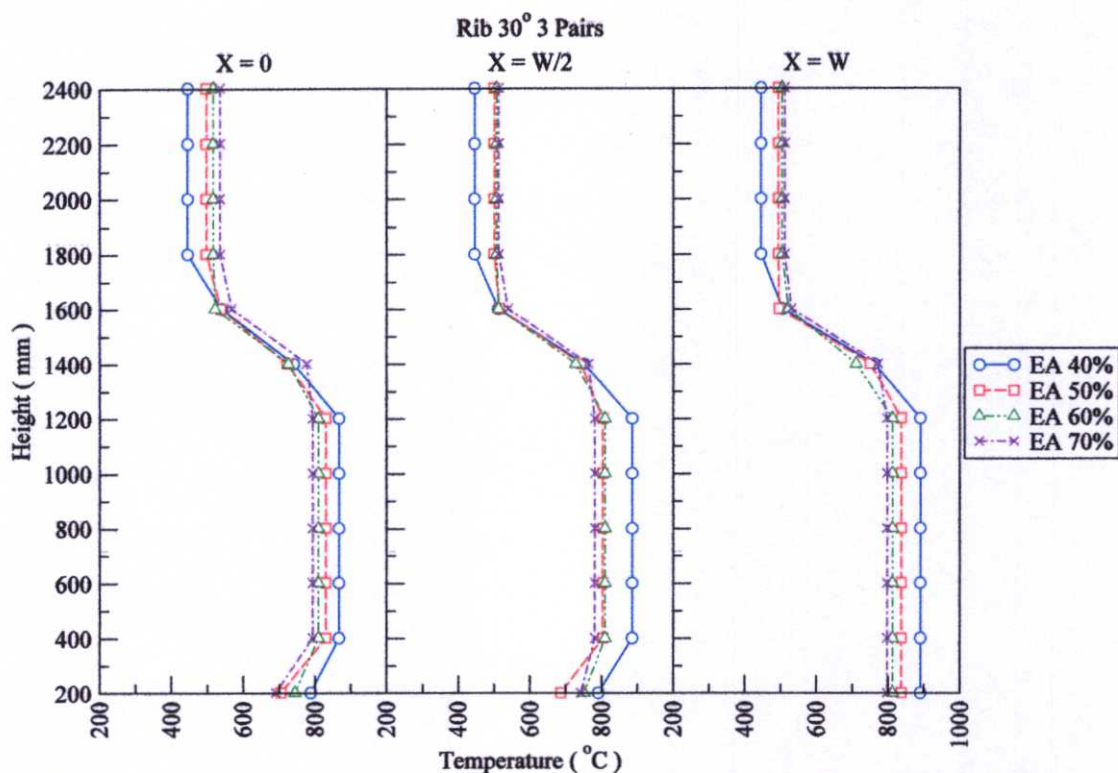
ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	883	860	569	528
50	840	863	628	573
60	743	806	621	591
70	718	813	595	570

5.2.1.3 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 3 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายฟริบอร์คระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนฟริบอร์ค ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้แบ่งเป็นสองระดับโดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 1,200 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริปจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 1,200 – 1,400 mm) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริป เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกิน จะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% เล็กน้อย แต่ที่บริเวณส่วนของฟริบอร์คที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ผลระดับของอุณหภูมิต่ำกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% ซึ่งค่าระดับของอุณหภูมิที่ได้จากค่าอากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% ที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสังเกตระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้จะเห็นว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินต่าง ๆ จะให้ผลเหมือนกับกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ คือที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าสูงระดับของอุณหภูมิจะไม่แตกต่างกับอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำกันอย่างชัดเจน เหมือนกับกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ เมื่อเปรียบเทียบระดับของอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาที่ได้จากกรณีศึกษานี้กับค่าระดับของอุณหภูมิที่ส่วนต่าง

ๆ ของเตาเผาที่ได้จากกรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีความมุม 30° จำนวน 2 คู่ พบว่าจะมีค่าที่ต่ำกว่าที่ทุกส่วนของเตาเผาโดยเฉพาะบริเวณฟริบอร์ค ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีความมุม 30° จำนวน 3 คู่

ตารางที่ 5.3 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ภายในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีความมุม 30° จำนวน 3 คู่

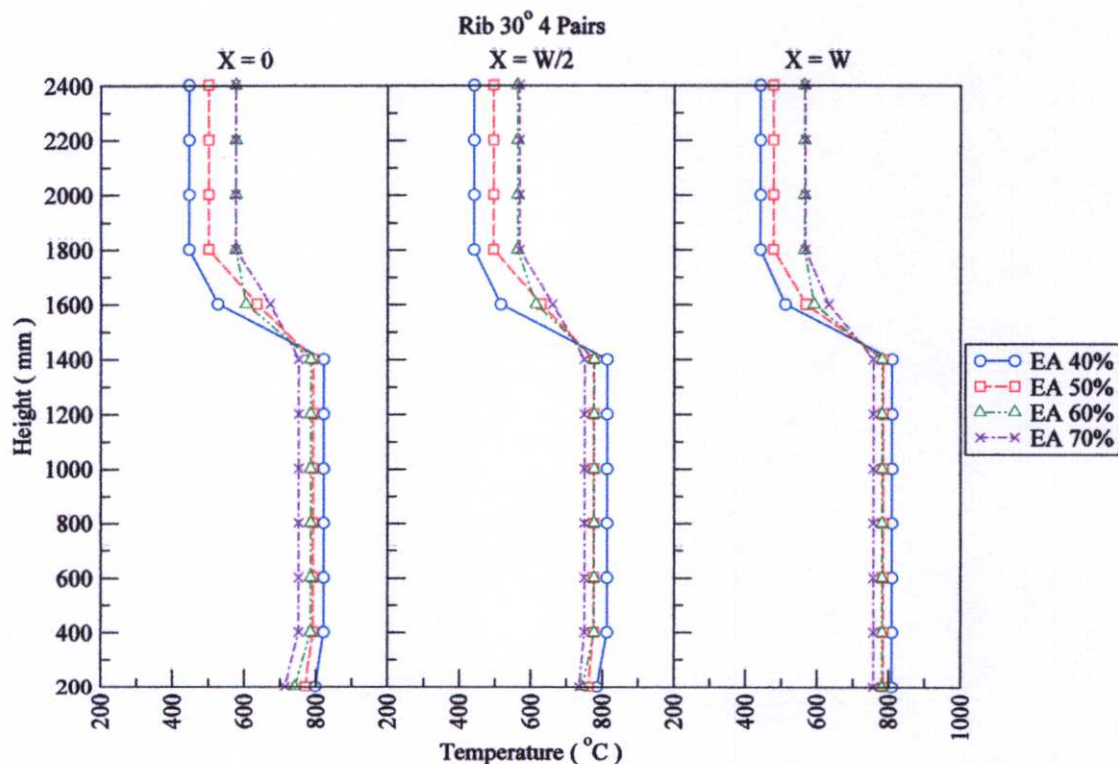
อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆ ภายในเตาเผา ($^\circ\text{C}$)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	792	861	520	447
50	698	811	518	498
60	750	798	520	511
70	719	789	547	521

กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีความมุม 30° จำนวน 3 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 920 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 550 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 690 องศาเซลเซียส

คือที่อากาศส่วนเกิน 40% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินค่าอื่น ๆ โดยจะแตกต่างกันไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าอากาศส่วนเกิน 70% ให้ค่าต่ำสุดที่ประมาณ 670 องศาเซลเซียส

5.2.1.4 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ และ 3 คู่ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนพรีบอร์ด แต่ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้จะเป็นระดับเดียวเนื่องจากการติดตั้งครีบริบในกรณีศึกษานี้จะเพิ่มพื้นที่ของส่วนห้องเผาไหม้พอดี แสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ทุก ๆ ค่าอากาศส่วนเกินจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกันมีแนวโน้มเหมือนกับกรณีที่ผ่านมาคือที่ค่าอากาศส่วนเกินค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่า แต่ที่บริเวณส่วนของพรีบอร์ดจะให้ผลระดับของอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างชัดเจนมีเพียง ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่

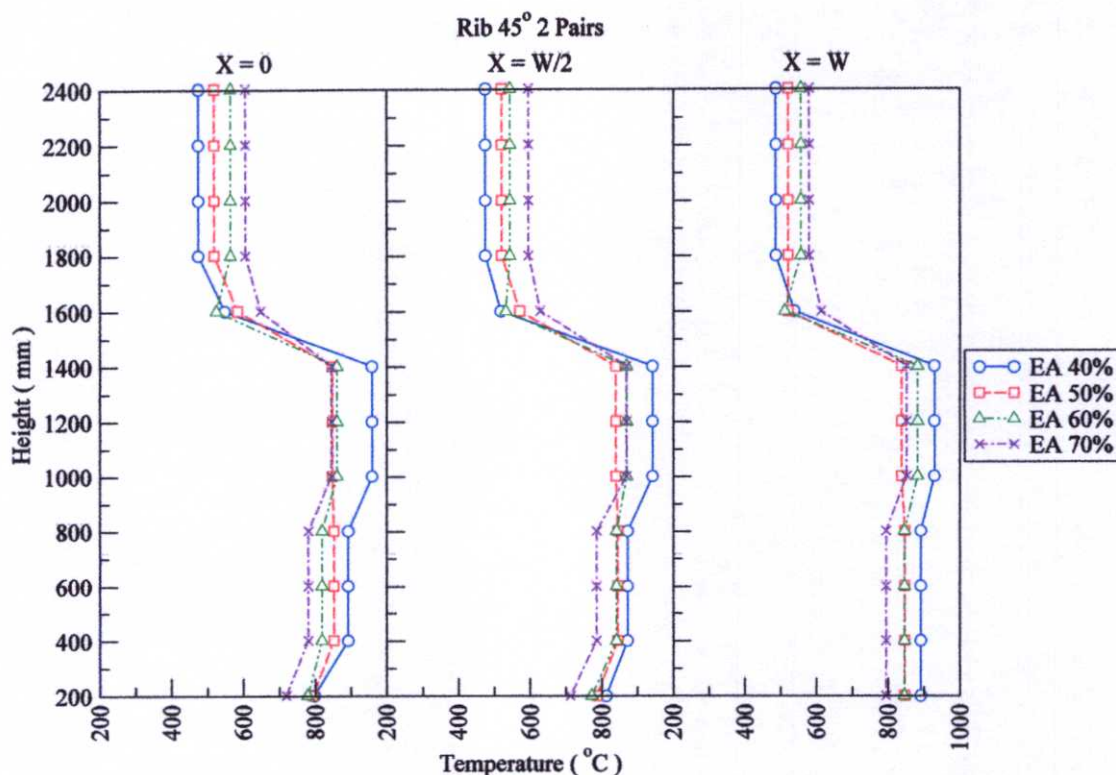
ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	793	816	519	444
50	767	786	612	493
60	746	783	605	569
70	727	754	656	572

กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 870 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 550 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 690 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 60% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินอื่น ๆ โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 30 องศาเซลเซียส กับระดับอุณหภูมิที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40%

5.2.1.5 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวที่ติดครีบริปของกรณีศึกษาที่ผ่านมา คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายฟริบอร์คระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนฟริบอร์ค และจะเห็นว่าระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ในกรณีที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40%, 60% และ 70% จะแบ่งเป็นสองระดับ โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 800 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริปจะให้ระดับของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 800 – 1,400 mm) แสดงว่ากระบวนการการเผาไหม้น่าจะเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้เหนือบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริป แต่ในกรณีค่าอากาศส่วนเกิน 50% จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิที่ค่อนข้างจะคงที่ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงแต่ไม่แตกต่างกันมากมีเพียงระดับของอุณหภูมิจากค่าอากาศส่วนเกิน 40% ที่จะให้ค่าที่โคดเด่นกว่าค่าอากาศส่วนเกินค่าอื่น ๆ และที่บริเวณส่วนของฟริบอร์คจะให้ผลระดับของอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน คือที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินค่าต่ำ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งคิบริรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่

ตารางที่ 5.5 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งคิบริรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	807	914	536	480
50	792	846	560	521
60	778	855	524	556
70	718	823	631	595

กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งคิบริรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 990 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 610 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 730 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 40% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินอื่น ๆ โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 20 องศาเซลเซียส และระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาดำสุดของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%

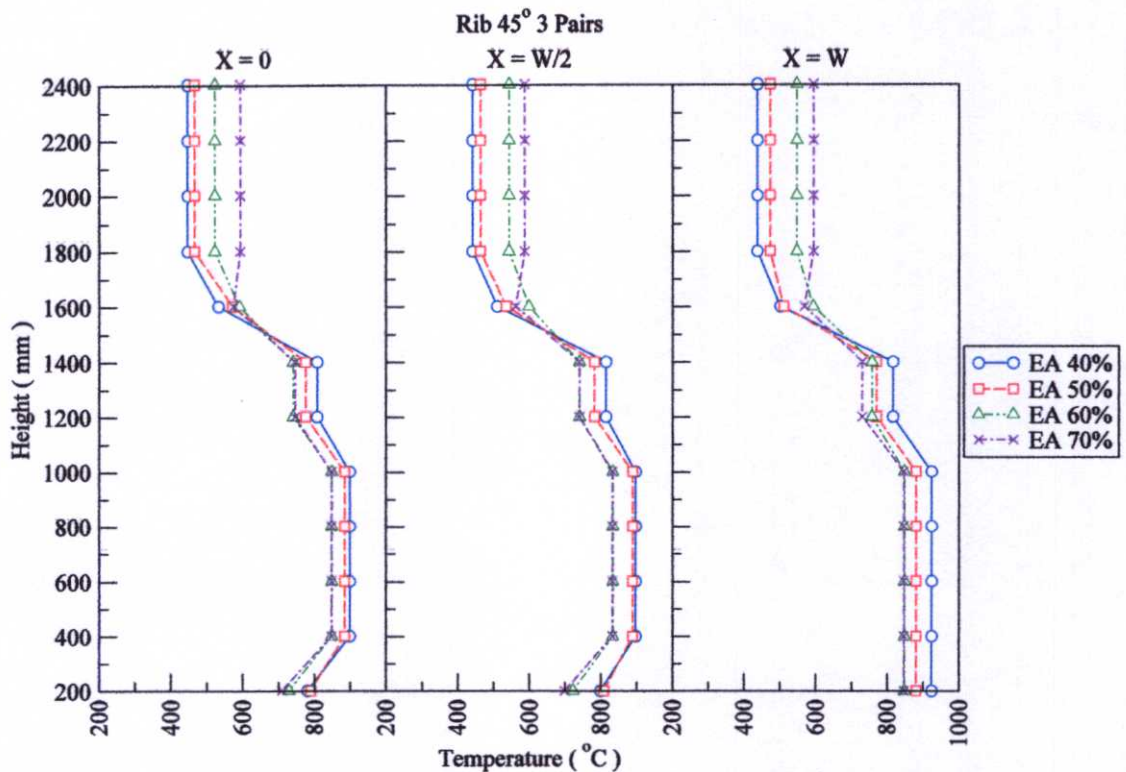
5.2.1.6 กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ เนื่องจากตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งครีบริปของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน แต่ที่บริเวณส่วนพรีบอร์ดของกรณีศึกษานี้จะมีความแตกต่างของระดับอุณหภูมิที่ค่าอากาศส่วนเกินที่ต่างกันมากกว่า โดยสังเกตได้จากลักษณะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแต่ละกรณีศึกษา โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาดังนี้ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนพรีบอร์ด ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้แบ่งเป็นสองระดับ โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 1,000 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริปจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 1,000 – 1,400 mm) แสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริป เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% และ 50% จะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกันมีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 60% และ 70% ที่มีค่าใกล้เคียงเช่นเดียวกัน ที่บริเวณส่วนของพรีบอร์ดระดับของอุณหภูมิจะมีค่าน้อยสุดที่อากาศส่วนเกิน 40% และเพิ่มมากขึ้นที่อากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.6

กรณีเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 950 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 590 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 710 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 70% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินค่าอื่น ๆ โดยจะแตกต่างกันไม่เกิน 20 องศาเซลเซียสกับผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุดซึ่งเกิดขึ้นในกรณีอากาศส่วนเกิน 50%

ตารางที่ 5.6 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่

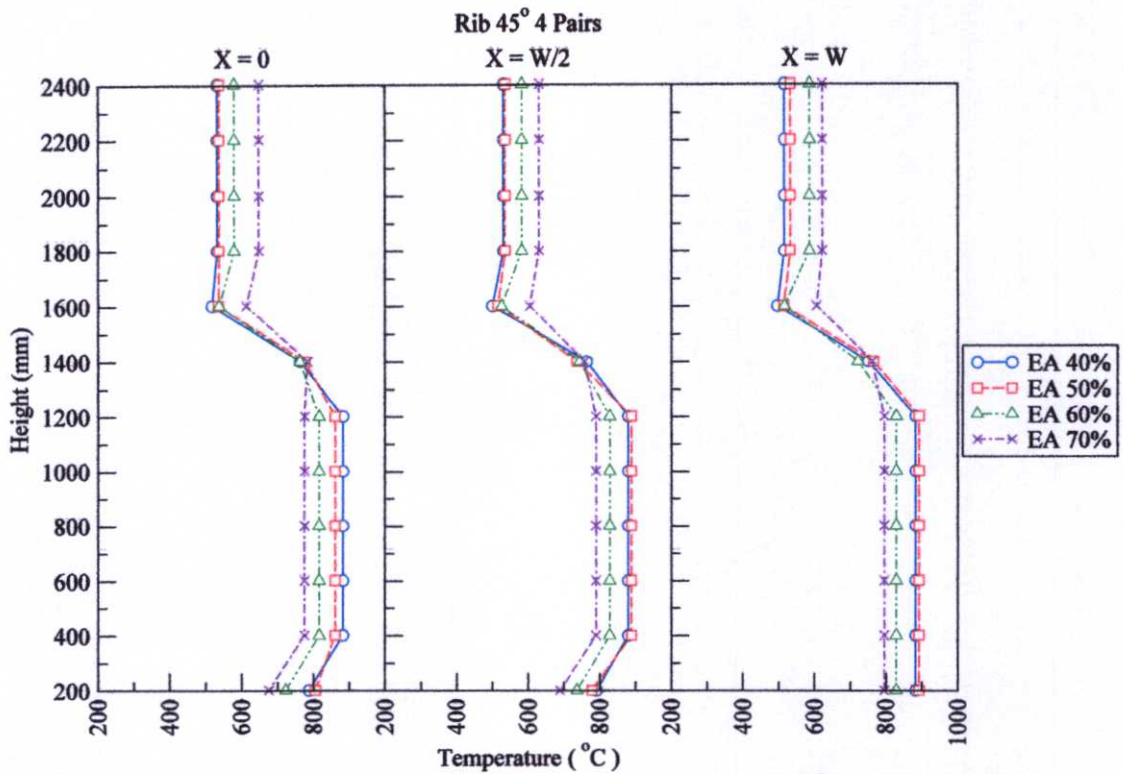
อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายพรีบอร์ด	พรีบอร์ด
40	792	877	516	443
50	801	850	541	469
60	728	813	596	539
70	706	809	570	593



รูปที่ 5.6 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่

5.2.1.7 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 3 คู่ เนื่องจากตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งครีบริบของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน โดยสังเกตได้จากลักษณะอุณหภูมิที่เกิดของแต่ละกรณีศึกษา โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผา ดังนี้ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ดระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนพรีบอร์ด ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้แบ่งเป็นสองระดับ โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 1,200 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริบจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 1,200 – 1,400 mm) แสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% และ 50% จะให้ระดับของอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาที่ใกล้เคียงกัน โดยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ค่าอากาศส่วนเกินที่ต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าแต่ที่บริเวณส่วนของพรีบอร์ดที่ค่าอากาศส่วนเกินสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งกริบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่

ตารางที่ 5.7 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งกริบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	791	863	506	528
50	794	862	523	536
60	732	813	528	584
70	685	785	609	635

กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งกริบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 640 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 720 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินอื่น ๆ โดยที่ค่าอากาศส่วนเกิน 60% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาดำสุดที่ประมาณ 710 องศาเซลเซียส

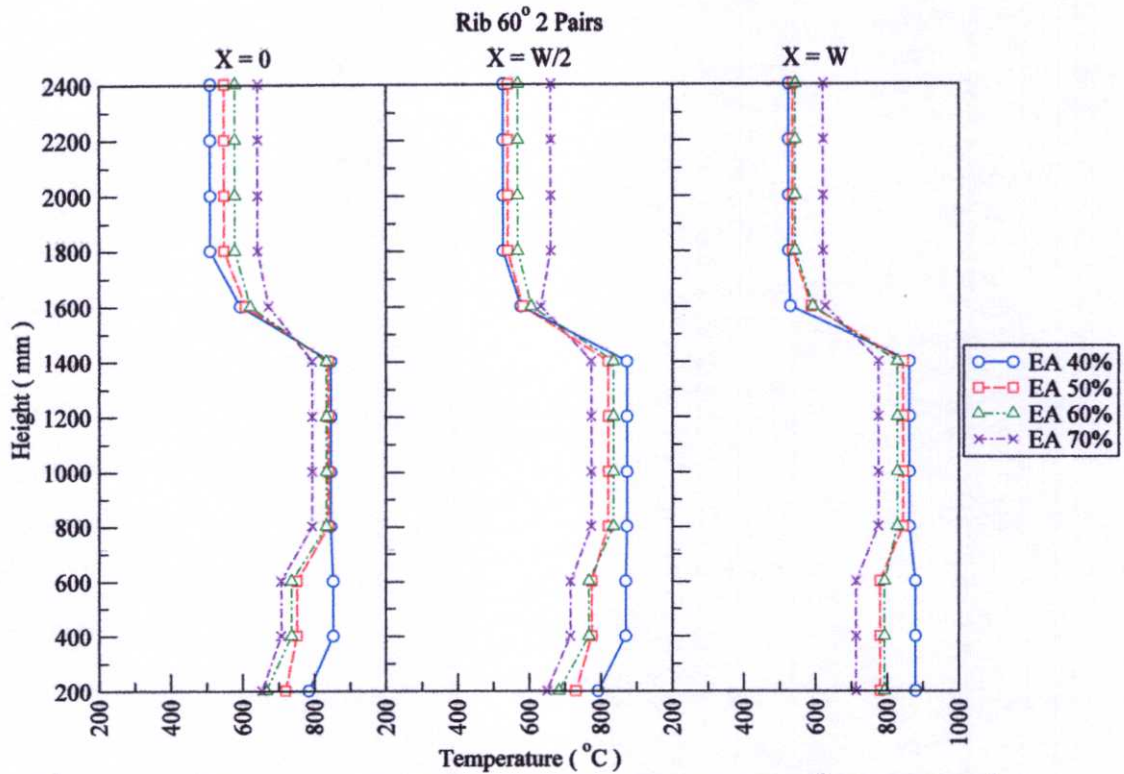
5.2.1.8 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีเบิร์คระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนพรีเบิร์ค และจะเห็นว่าระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ในกรณีที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% จะแบ่งเป็นสองระดับ โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 600 mm) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริปจะให้ระดับของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 600 – 1,400 mm) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้เหนือบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริป แต่ในกรณีค่าอากาศส่วนเกิน 40% จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในส่วนห้องเผาไหม้ค่อนข้างจะคงที่ เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงแต่ไม่แตกต่างกันมาก และที่บริเวณส่วนของพรีเบิร์คจะให้ผลระดับของอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน ดังรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายพรีเบิร์ค	พรีเบิร์ค
40	790	864	568	522
50	726	815	594	543
60	676	812	608	564
70	654	759	645	642

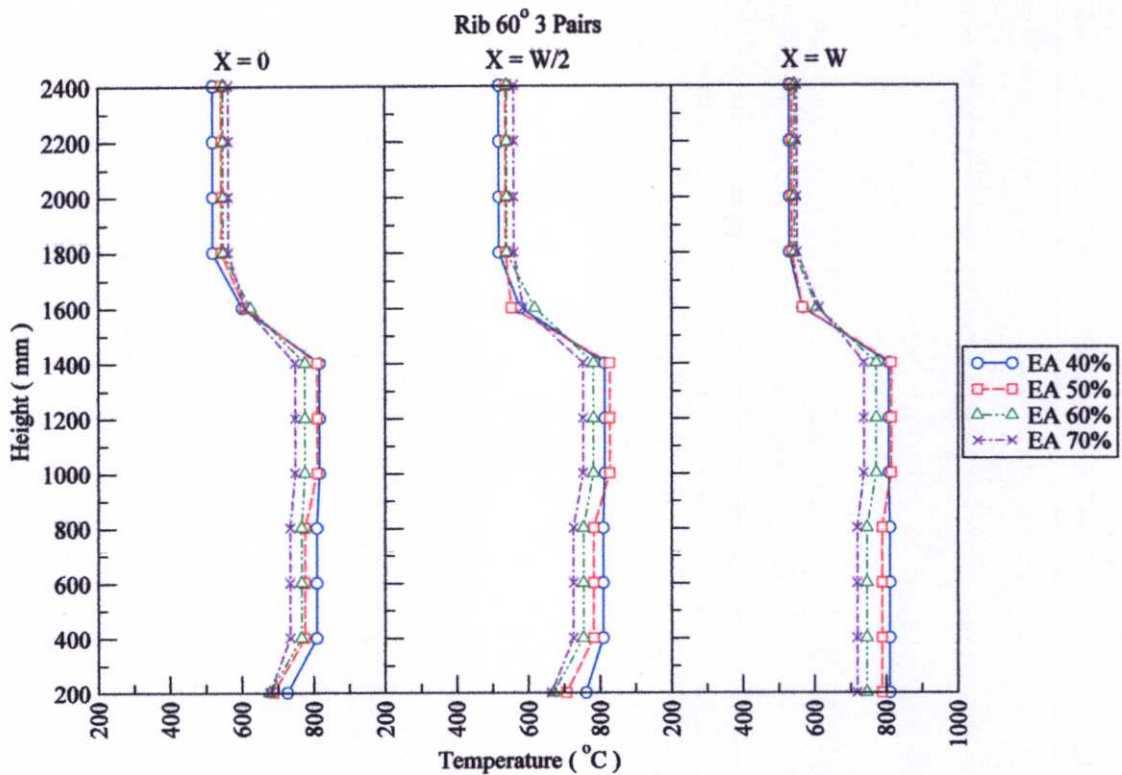
กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 960 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 660 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 720 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 40% ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอากาศส่วนเกินอื่น ๆ โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 20 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดที่ประมาณ 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.8 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่

5.2.1.9 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 3 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45° จำนวน 2 คู่ และกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 2 คู่ ตรงที่ระดับอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 400 – 800 mm) เหนือตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบริบ (ความสูง 800 – 1,400 mm) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้เหนือบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริบ โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผา ดังนี้ คือระดับอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายฟริบอร์ระดับของอุณหภูมิลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนฟริบอร์ค เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงแต่ไม่แตกต่างกันมาก และที่บริเวณส่วนของฟริบอร์คจะให้ผลระดับของอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน คือที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำ โดยมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งกริปรูปตัววีคว้ามุม 60° จำนวน 3 คู่

ตารางที่ 5.9 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งกริปรูปตัววีคว้ามุม 60° จำนวน 3 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟริบอร์ค	ฟริบอร์ค
40	745	812	583	524
50	698	801	578	541
60	675	768	618	546
70	672	738	604	559

กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งกริปรูปตัววีคว้ามุม 60° จำนวน 3 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 880 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 570 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 690 องศาเซลเซียสคือที่อากาศส่วนเกิน 40% ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกับระดับของอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเกิดจากค่าอากาศส่วนเกิน 70% ประมาณ 30 องศาเซลเซียส

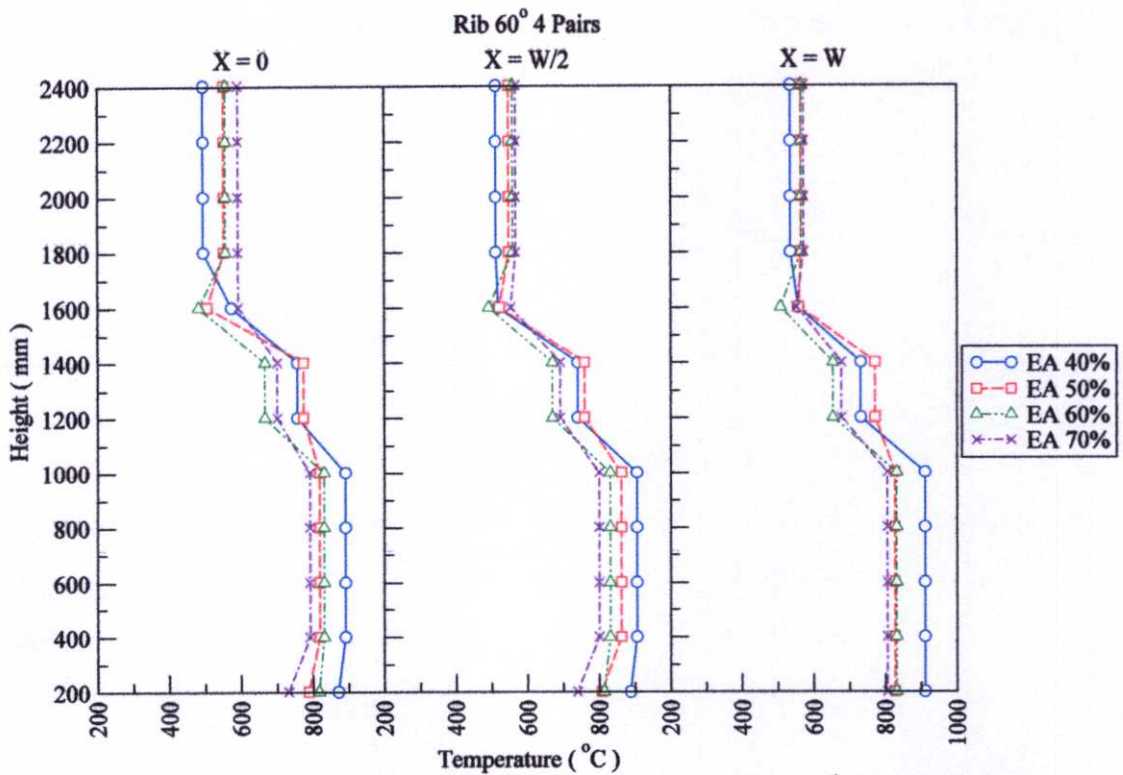
5.2.1.10 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่

จากการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิในภาพรวมที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาจะคล้ายกับกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ และกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 45° จำนวน 3 คู่ ตรงที่ระดับอุณหภูมิสูงภายในห้องเผาไหม้จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการติดตั้งครีบริป (ความสูง 400 = 1,000 mm) และจะลดลงที่ตำแหน่งส่วนบนของห้องเผาไหม้ (ความสูง 1,000 – 1,400 mm) เนื่องจากตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งครีบริปของทั้งกรณีนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน แสดงให้กระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริป โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ส่วนต่าง ๆ ของเตาเผาค้างนี้ คือระดับอุณหภูมิลบบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้จะมีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเข้าสู่ส่วนขยายฟร็อบร์ระดับของอุณหภูมิจะลดต่ำลงและจะคงระดับนี้เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนฟร็อบร์ค เมื่อพิจารณาถึงผลของอากาศส่วนเกินจะเห็นได้ว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50%, 60% และ 70% แต่ที่บริเวณส่วนของฟร็อบร์คระดับของอุณหภูมิที่อากาศส่วนเกินทุก ๆ ค่าให้ระดับอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่

อากาศส่วนเกิน (%)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผา (°C)			
	ห้องผสม	ห้องเผาไหม้	ขยายฟร็อบร์ค	ฟร็อบร์ค
40	881	851	551	515
50	799	815	530	556
60	817	777	496	562
70	738	764	567	578

กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริปตัววิคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ 930 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไอเสียสูงสุดประมาณ 600 องศาเซลเซียส ค่าอากาศส่วนเกินที่ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดที่ประมาณ 710 องศาเซลเซียส คืออากาศส่วนเกิน 40% และที่ค่าอากาศส่วนเกิน 60% ให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุดที่ประมาณ 680 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.10 ผลของปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° จำนวน 4 คู่

5.2.2 การพิจารณาผลกระทบของจำนวนครีบริบ

5.2.2.1 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 30°

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2 และ 3 คู่ มีค่าใกล้เคียงกันที่เท่ากับ 860 และ 861 องศาเซลเซียสตามลำดับ กรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 816 องศาเซลเซียส ส่วนที่บริเวณฟรียบอร์ด การติดตั้งครีบริบจำนวน 3 คู่และ 4 คู่ มีค่าใกล้เคียงกันที่เท่ากับ 447 และ 444 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2 คู่ มีสูงสุดค่าเท่ากับ 528 องศาเซลเซียส

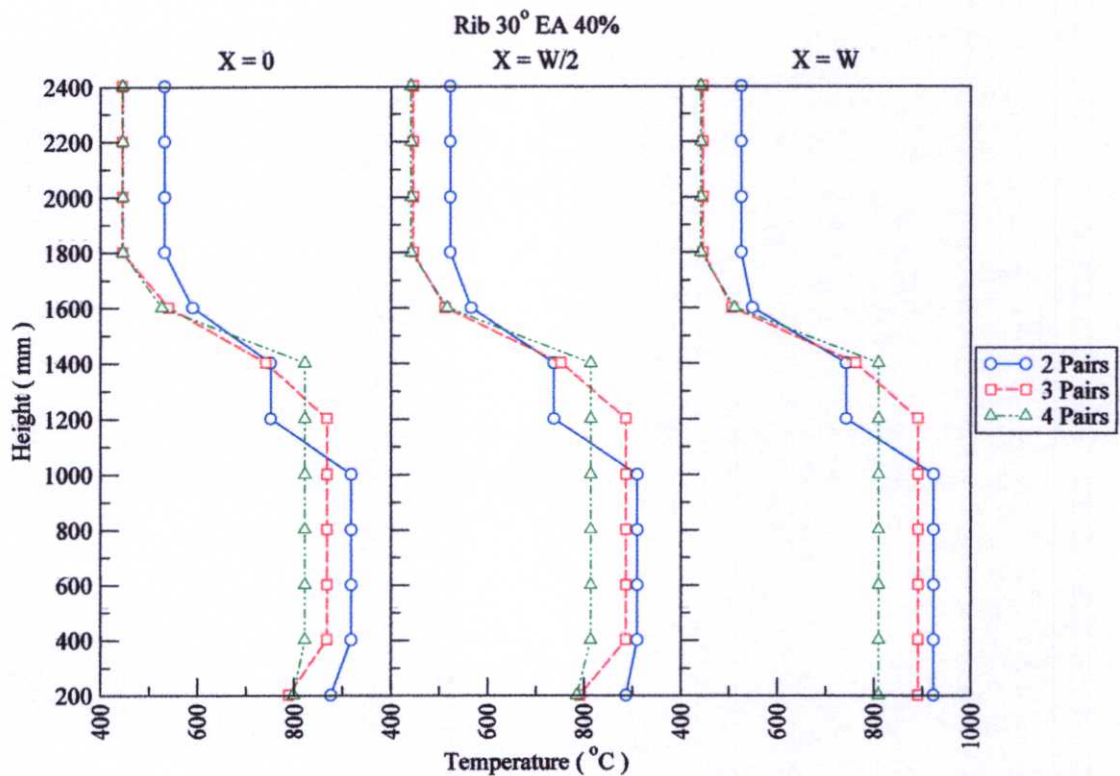
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 857, 811 และ 786 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟรียบอร์ด กรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 3 คู่และ 4 คู่ มีค่าใกล้เคียงกันที่เท่ากับ 498 และ 493 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2 คู่ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 573 องศาเซลเซียส

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบกจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 806, 798 และ 783 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟรินบอร์ด มีค่าที่เท่ากับ 591, 511 และ 569 องศาเซลเซียสตามลำดับ

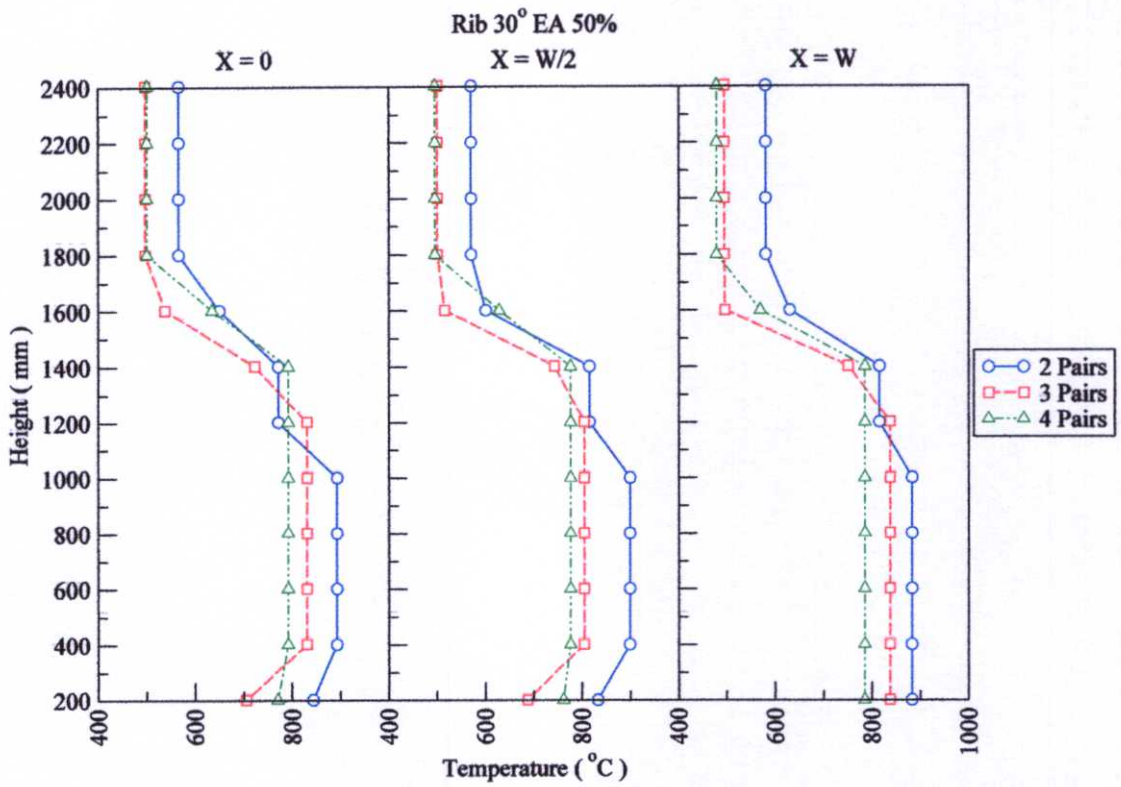
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบกจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 813, 792 และ 754 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟรินบอร์ด มีค่าที่เท่ากับ 570, 521 และ 572 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ตารางที่ 5.11 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบกจำนวน 30°

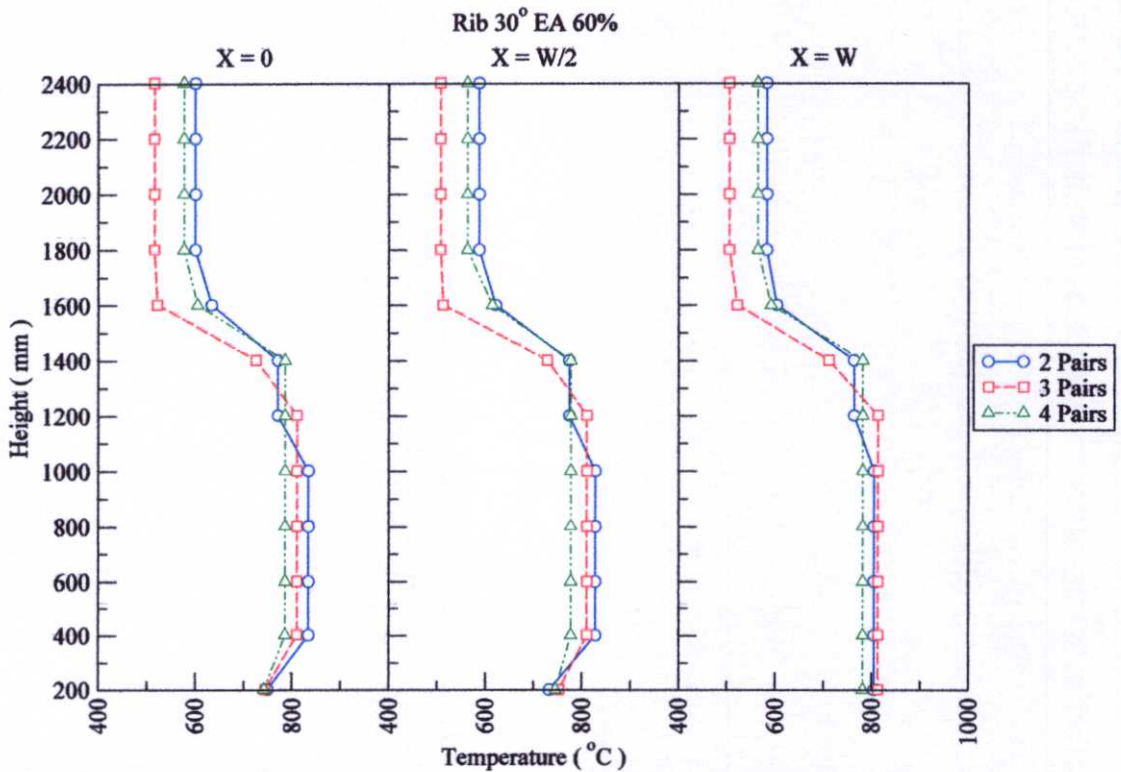
จำนวนครีบก (คู่)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา (°C) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
2	722	742	713	706
3	686	672	673	672
4	662	669	692	682



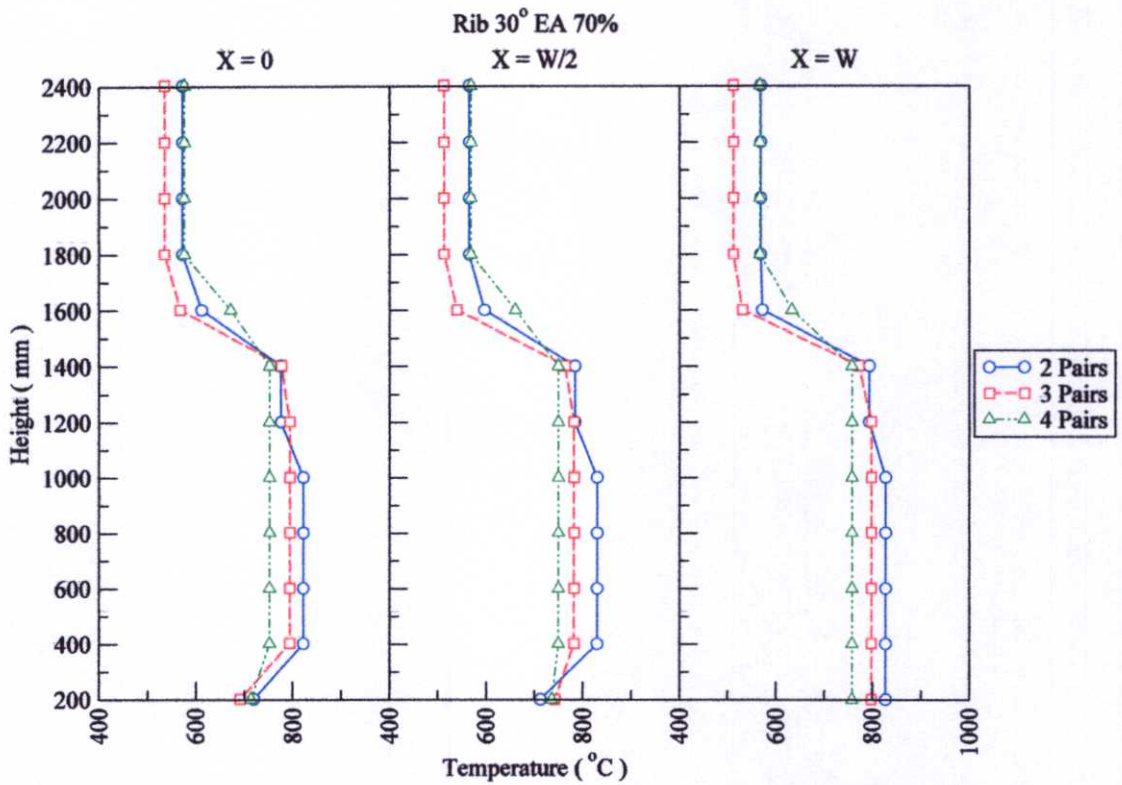
รูปที่ 5.11 ผลของจำนวนครีบกต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบกจำนวน 30° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.12 ผลของจำนวนครีบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 30° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.13 ผลของจำนวนครีบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบรูปตัววีความมุม 30° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



รูปที่ 5.14 ผลของจำนวนครีบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

5.2.2.2 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำมุม 45°

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 914, 877 และ 863 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่บริเวณพรีเบิร์ด มีค่าที่เท่ากับ 480, 443 และ 528 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

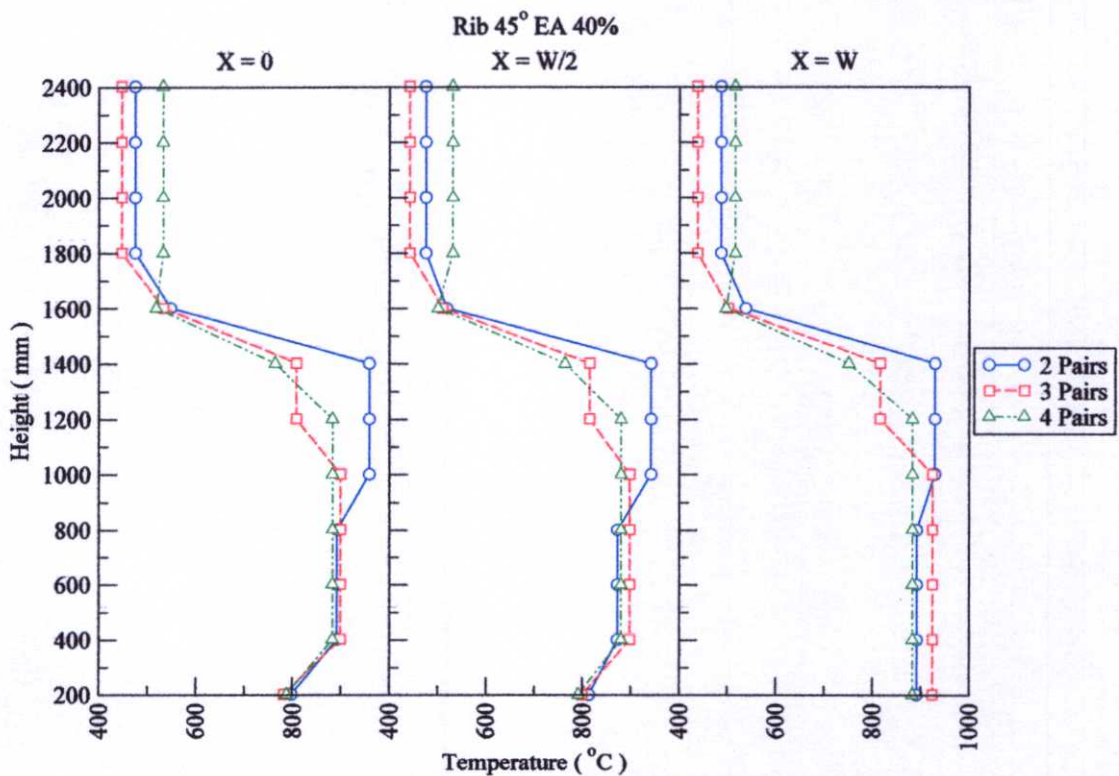
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2 และ 3 คู่ มีค่าใกล้เคียงกันที่เท่ากับ 846 และ 850 องศาเซลเซียสตามลำดับ กรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 862 องศาเซลเซียส ส่วนที่บริเวณพรีเบิร์ด มีค่าที่เท่ากับ 521, 469 และ 536 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 3 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากันที่เท่ากับ 813 องศาเซลเซียส กรณีการติดตั้งครีบริบจำนวน 2 คู่ มีค่าเท่ากับ 855 องศาเซลเซียส ส่วนที่บริเวณพรีเบิร์ด มีค่าที่เท่ากับ 556, 539 และ 584 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

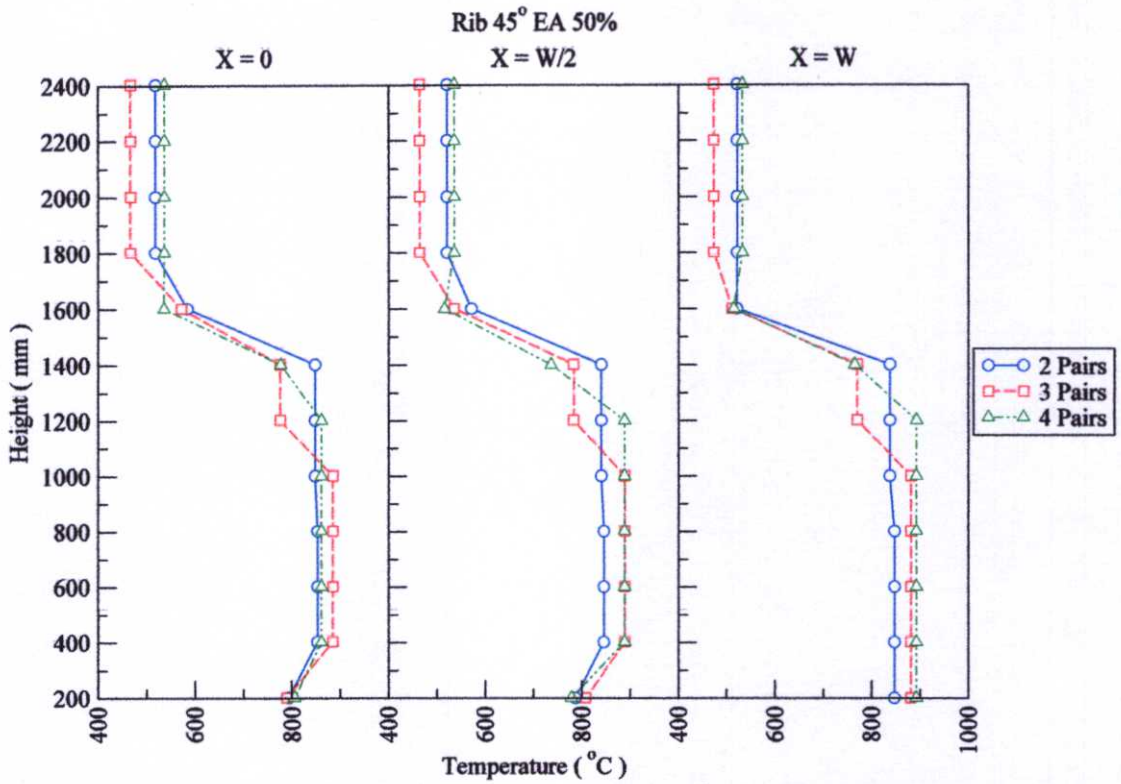
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบกจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 823, 809 และ 785 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่บริเวณพรีเบิร์ด กรณีการติดตั้งครีบกจำนวน 2 และ 3 คู่ มีค่าใกล้เคียงที่เท่ากับ 595 และ 593 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกรณีการติดตั้งครีบกจำนวน 4 คู่ ให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ 635 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.12 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบกรูปตัววีคว่ำมุม 45°

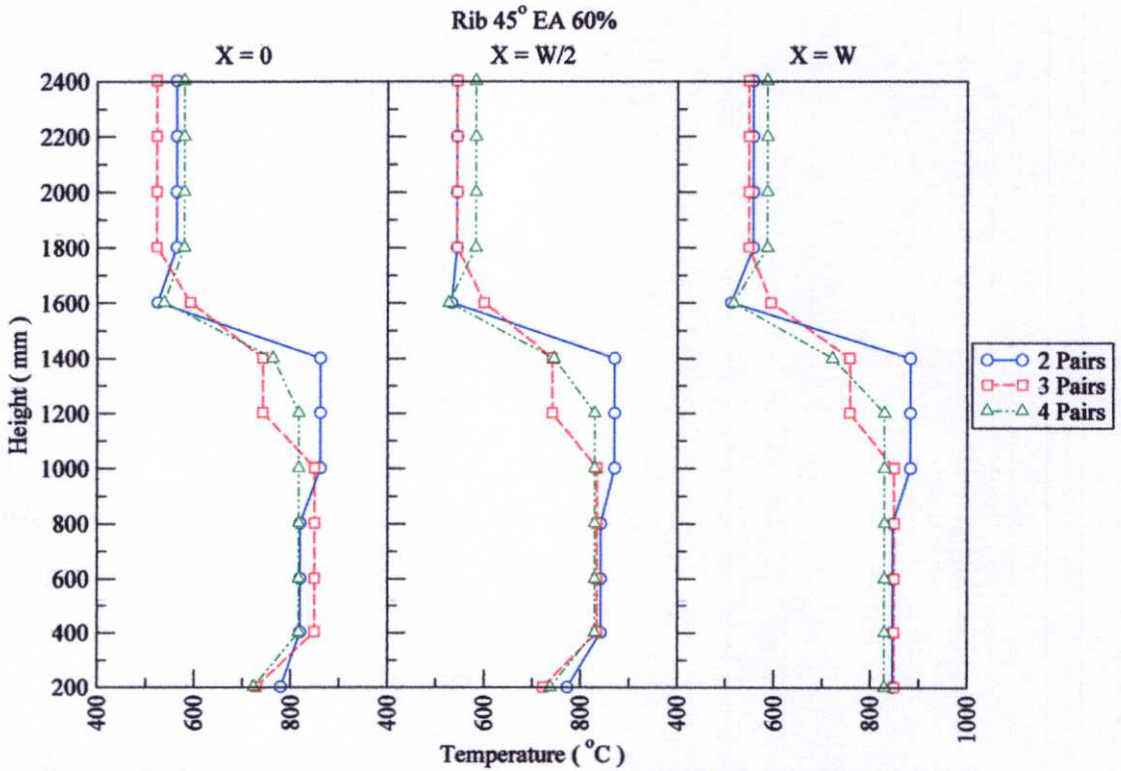
จำนวนครีบก (คู่)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา (°C) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
2	727	707	720	722
3	692	690	696	709
4	713	717	705	713



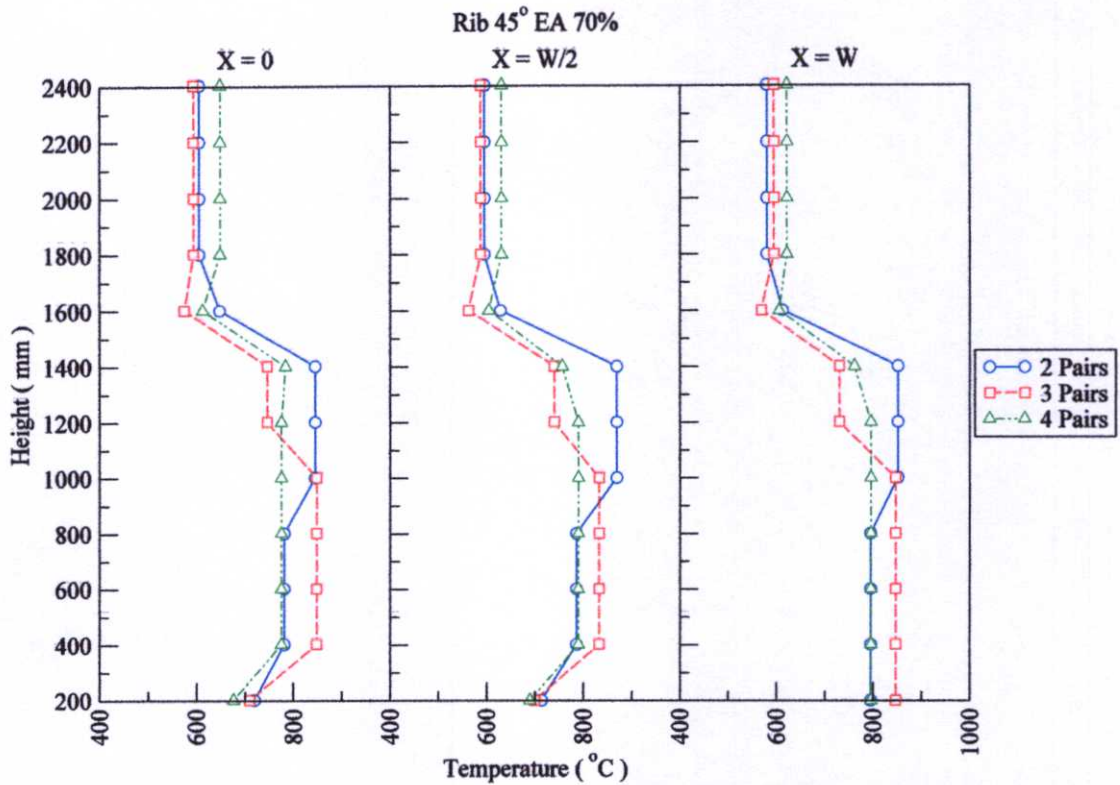
รูปที่ 5.15 ผลของจำนวนครีบกต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบกรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.16 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.17 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



รูปที่ 5.18 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 45° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

5.2.2.3 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 60°

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 864, 812 และ 851 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟริบอร์ค กรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 และ 3 คู่ มีค่าใกล้เคียงที่เท่ากับ 522 และ 524 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 4 คู่ ให้ค่าระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ 515 องศาเซลเซียส

พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากันที่เท่ากับ 815 องศาเซลเซียส กรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 3 คู่ มีค่าเท่ากับ 801 องศาเซลเซียส ส่วนที่บริเวณฟริบอร์ค กรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 และ 3 คู่ มีค่าใกล้เคียงที่เท่ากับ 543 และ 541 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 4 คู่ ให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ 556 องศาเซลเซียส

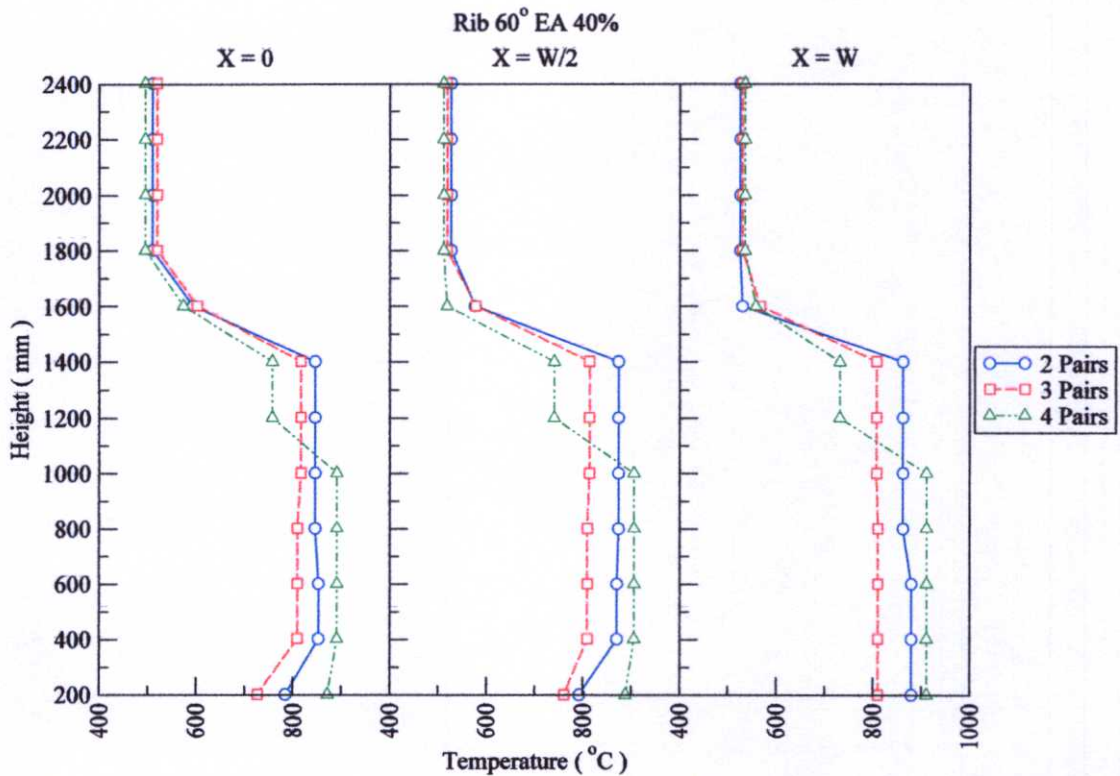
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 812, 768 และ 777 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟริบอร์ค กรณีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 และ 4 คู่ มีค่าใกล้เคียงที่เท่ากับ 564

และ 562 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกรณีการติดตั้งครีบกั้นจำนวน 3 คู่ ให้ค่าระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ 546 องศาเซลเซียส

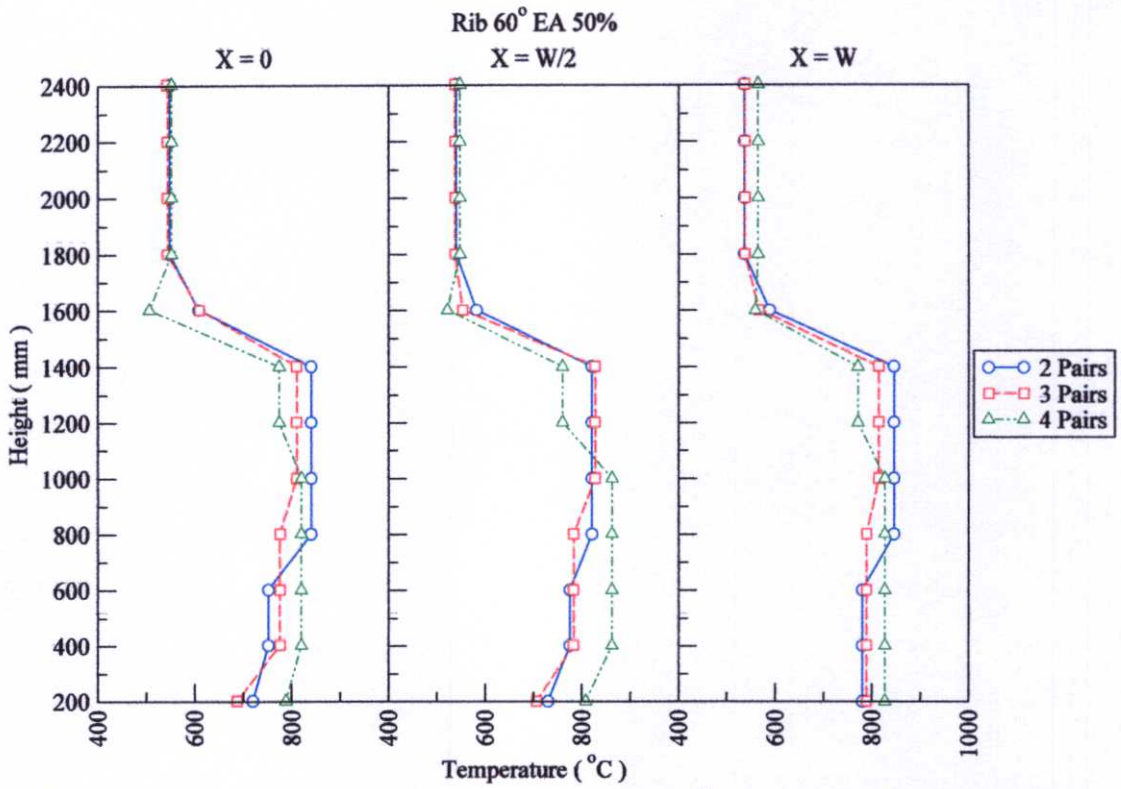
พิจารณาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70% พบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีการติดตั้งครีบกั้นจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 759, 738 และ 764 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่บริเวณฟรินบอร์ด กรณีการติดตั้งครีบกั้นจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าที่เท่ากับ 642, 559 และ 578 องศาเซลเซียสตามลำดับ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.13 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบกั้นรูปตัววีความมุม 60°

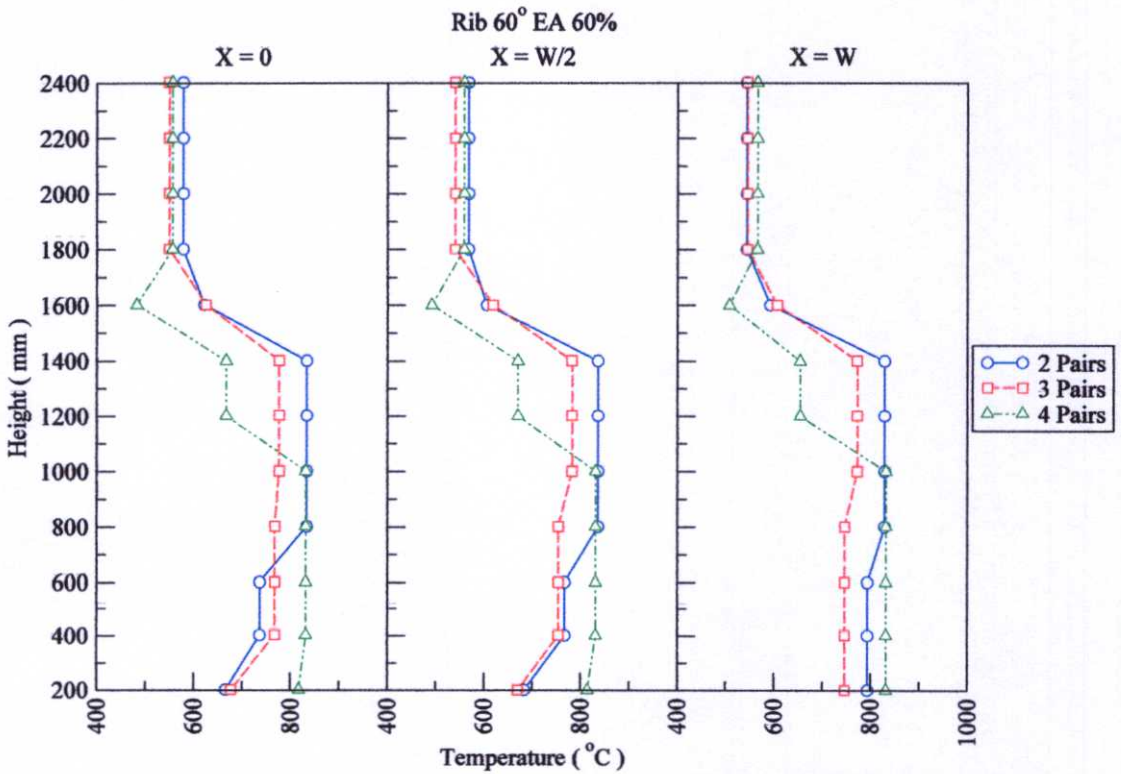
จำนวนครีบกั้น (คู่)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา (°C) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
2	717	697	702	703
3	690	687	673	661
4	712	701	681	682



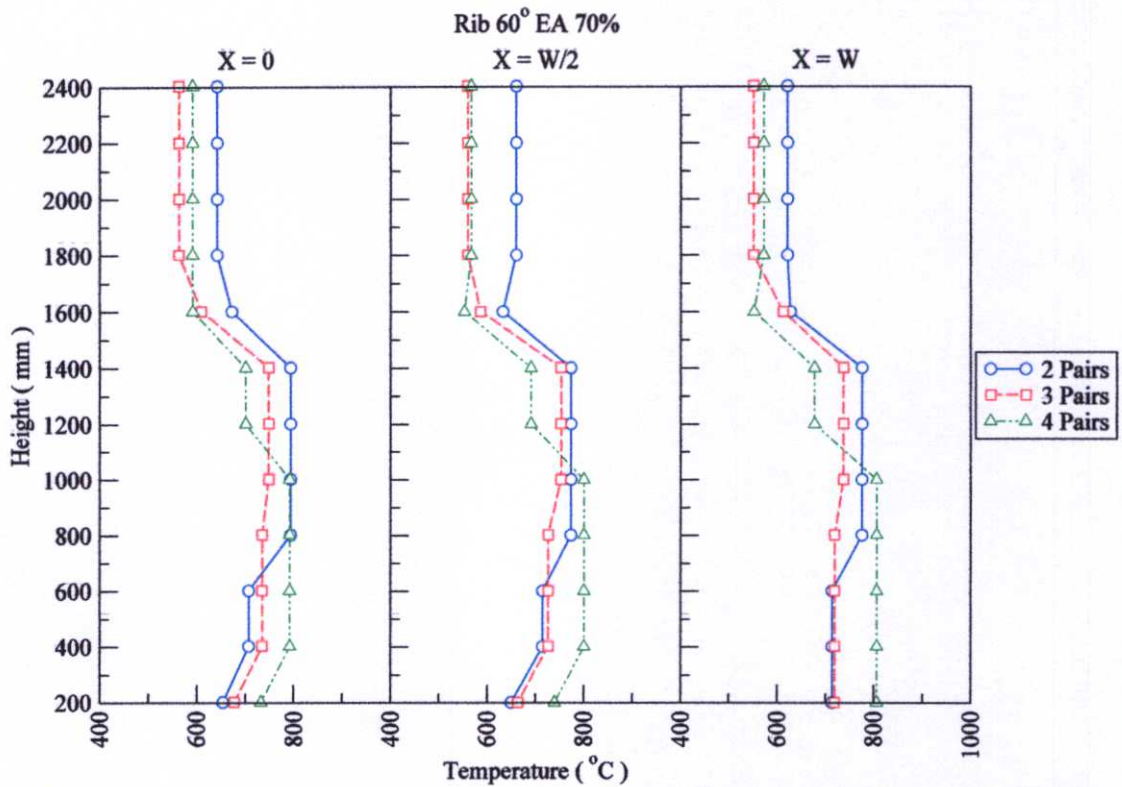
รูปที่ 5.19 ผลของจำนวนครีบกั้นต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบกั้นรูปตัววีความมุม 60° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.20 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.21 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



รูปที่ 5.22 ผลของจำนวนครีบท่อการกระจายอุณหภูมิกรณีติดตั้งครีบบรูปตัววีคว่ำมุม 60° ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

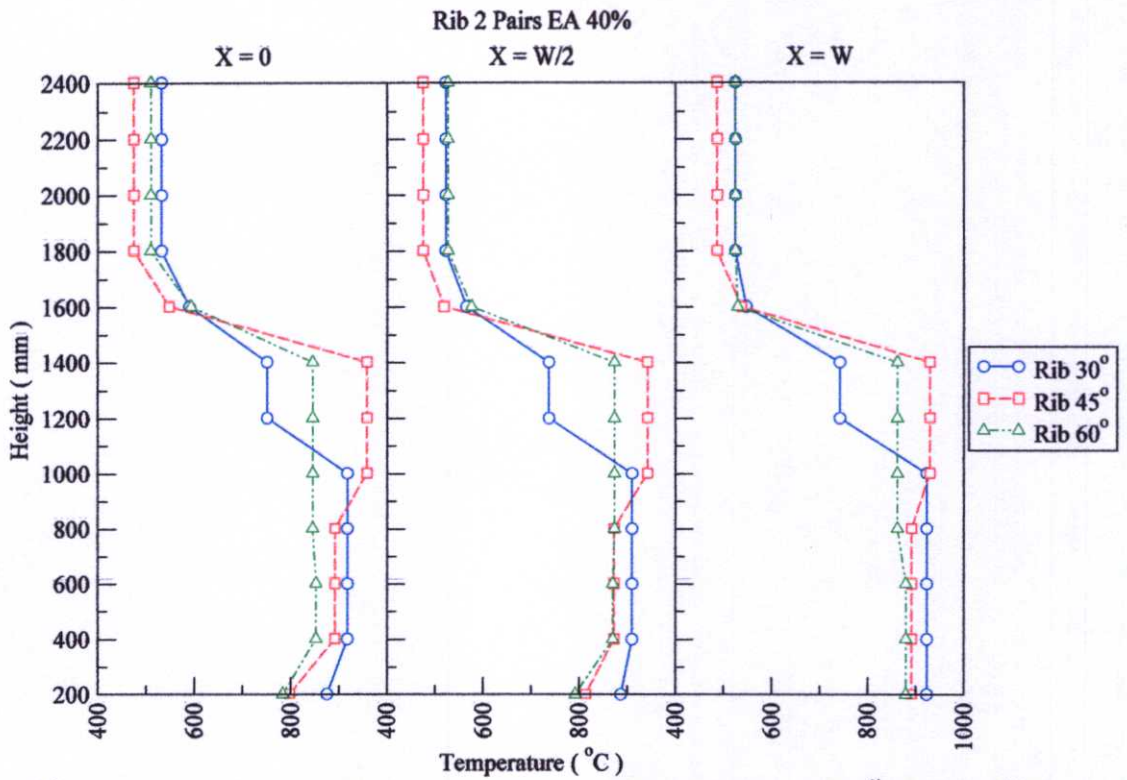
5.2.3 การพิจารณาผลกระทบของลักษณะมุมครีบบ

5.2.3.1 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 คู่

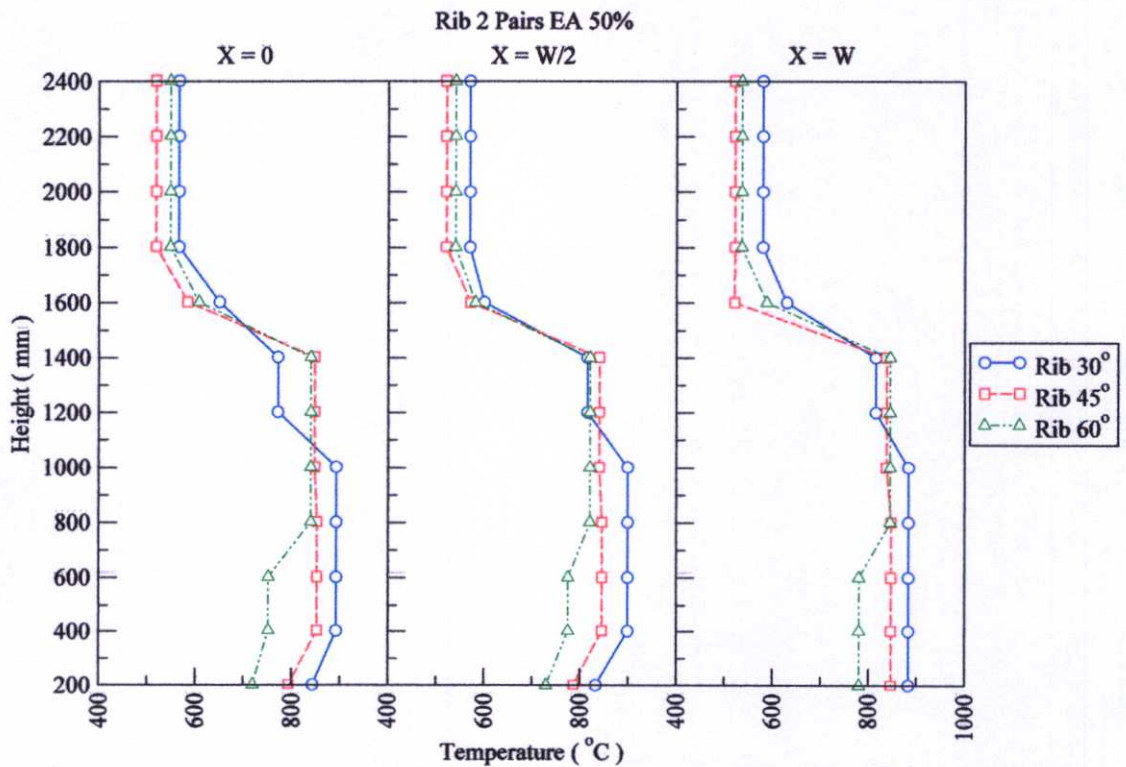
เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบบซึ่งมีลักษณะมุมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งเท่ากันที่จำนวน 2 คู่ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบบมุม 30° ที่สภาวะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 740 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.14 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบบจำนวน 2 คู่

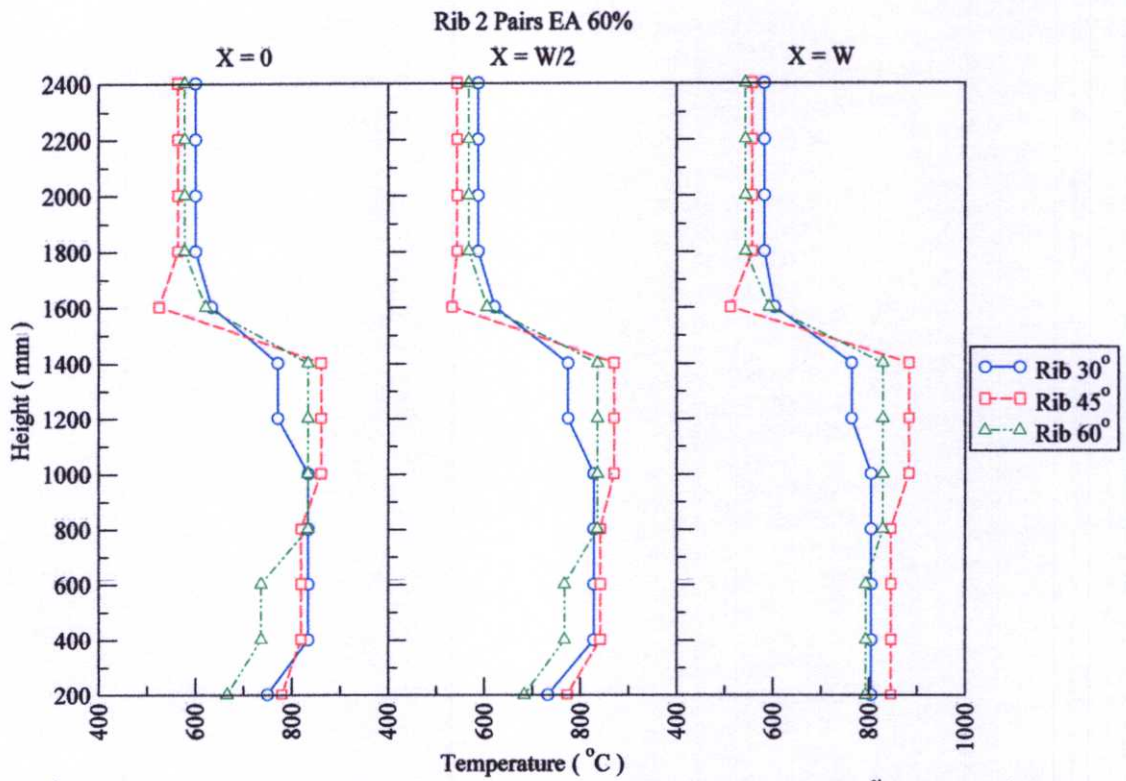
ลักษณะมุมครีบบ	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา (°C) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
30°	722	742	713	706
45°	727	707	720	722
60°	717	697	702	703



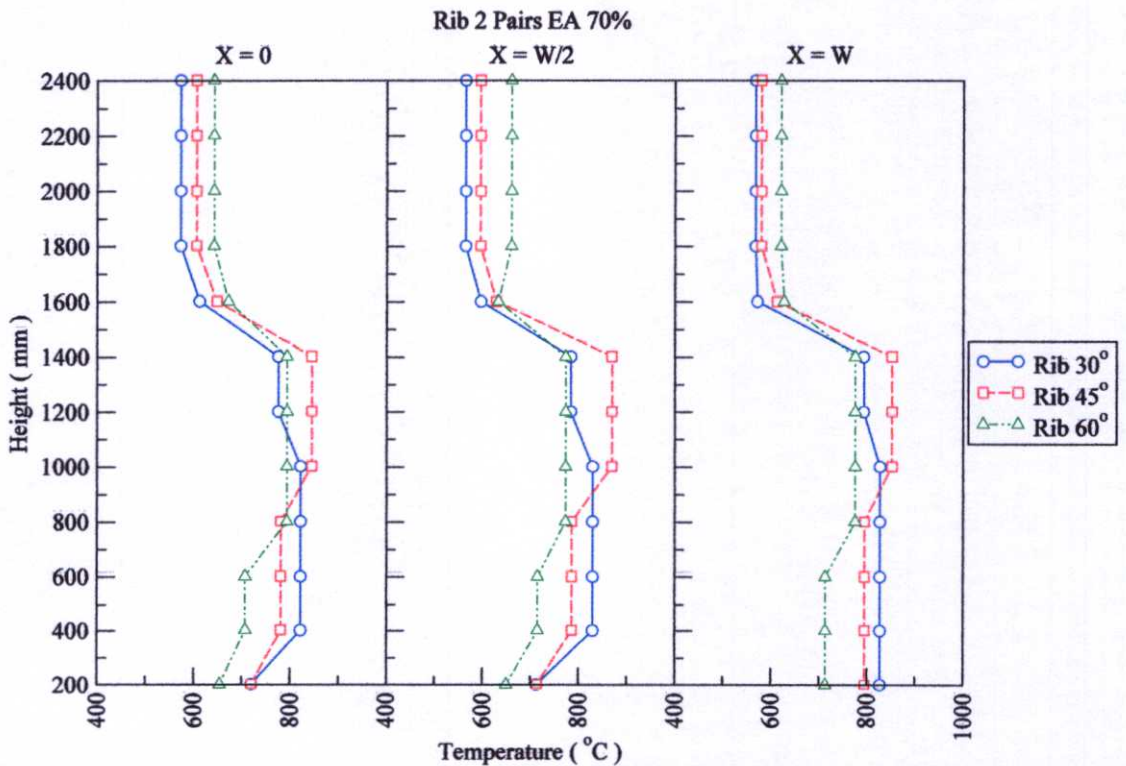
รูปที่ 5.23 ผลของลักษณะมุมครีบบนต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.24 ผลของลักษณะมุมครีบบนต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.25 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



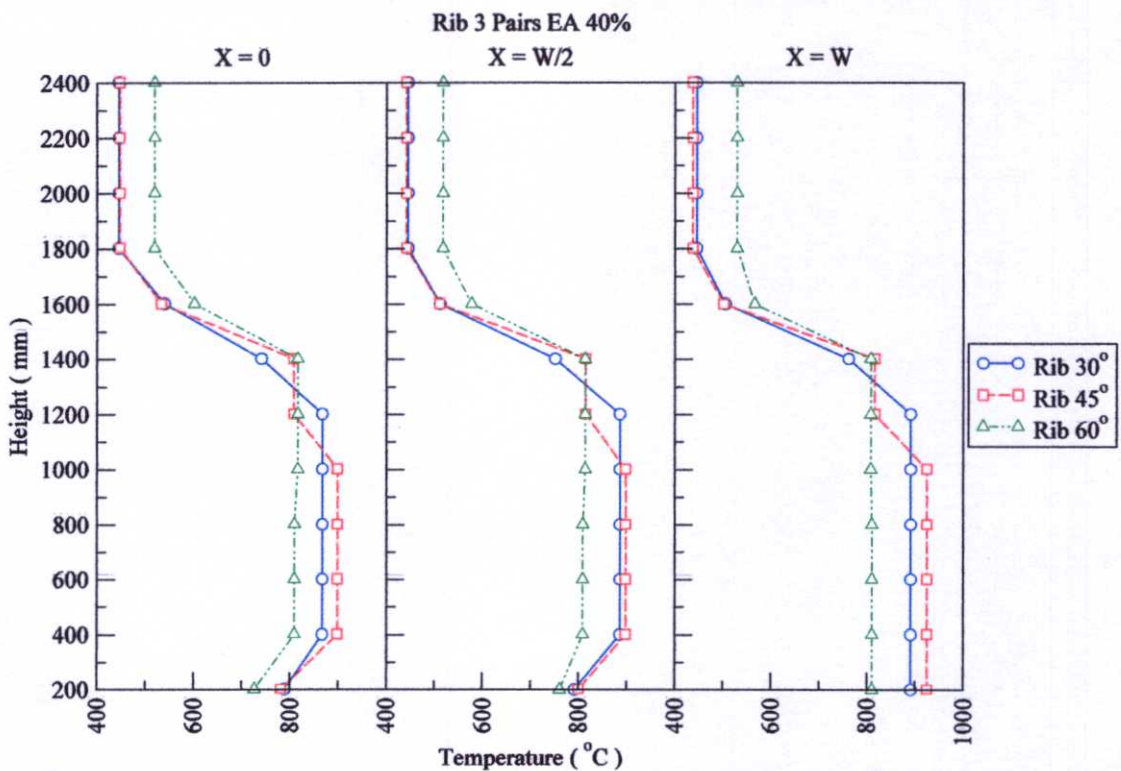
รูปที่ 5.26 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

5.2.3.2 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบก้นจำนวน 3 คู่

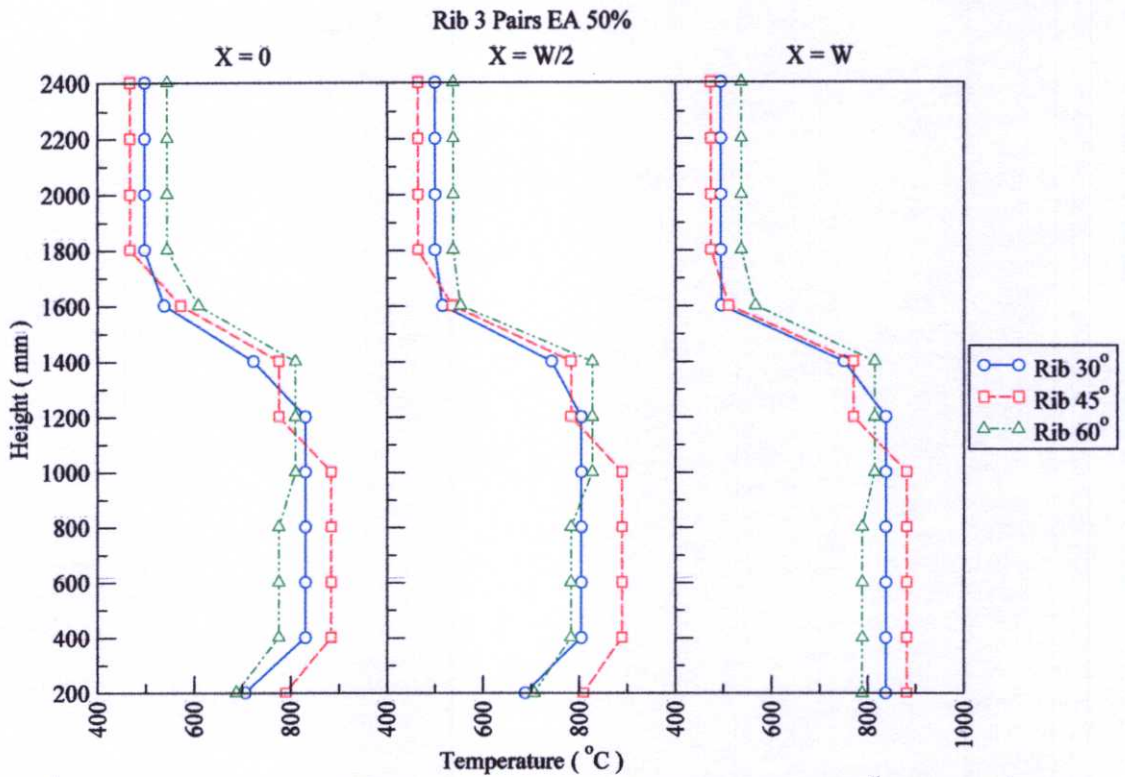
เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบก้นซึ่งมีลักษณะมุมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งเท่ากันที่จำนวน 3 คู่ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบก้นมุม 45° ที่สภาวะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 710 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.15 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบก้นจำนวน 3 คู่

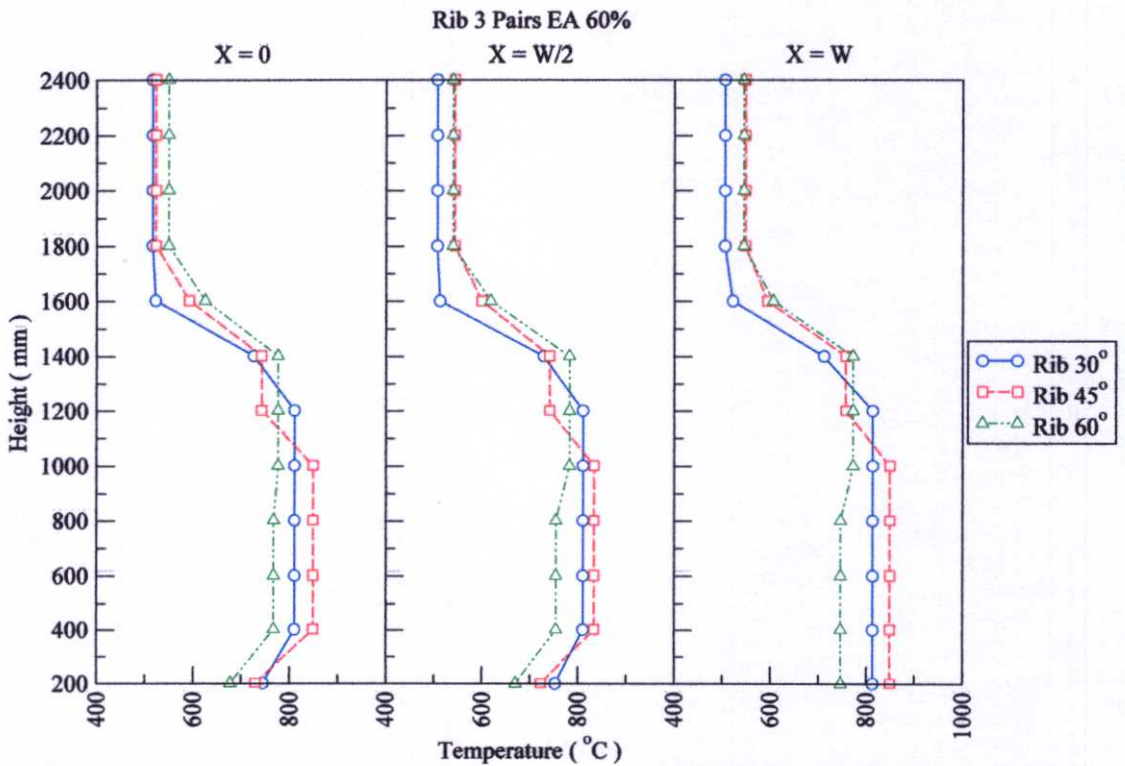
ลักษณะมุมครีบก้น	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา ($^\circ\text{C}$) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
30°	686	672	673	672
45°	692	690	696	709
60°	690	687	673	661



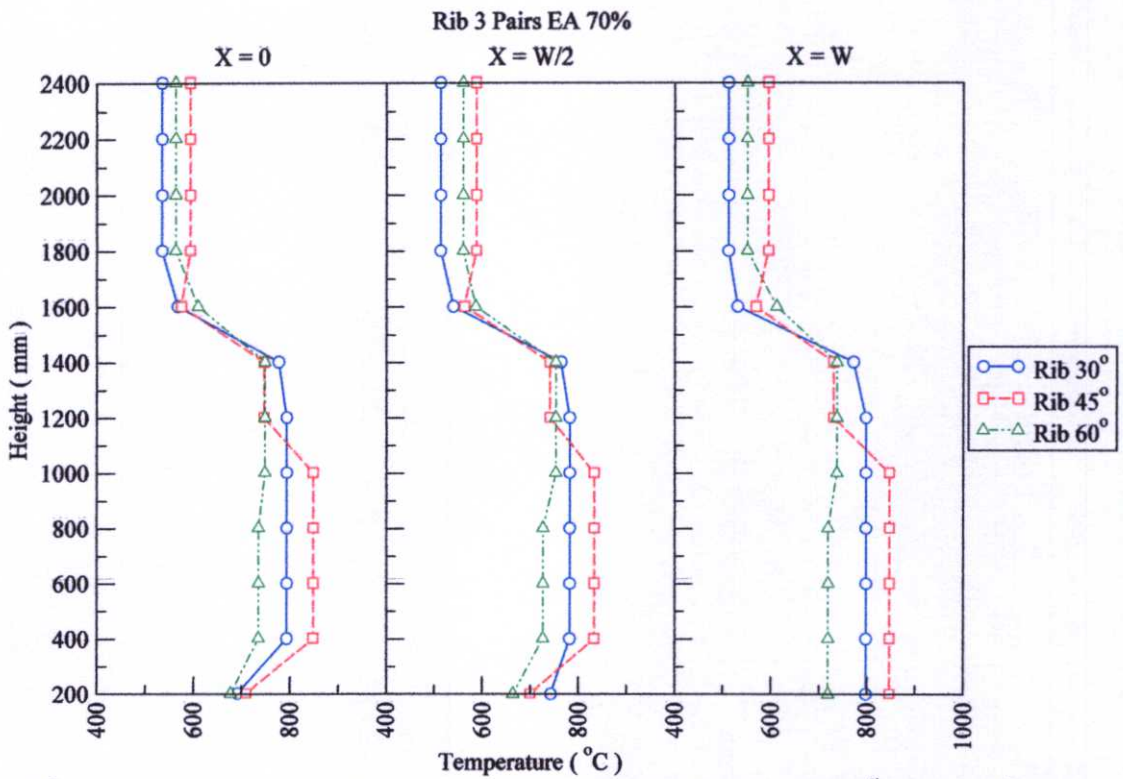
รูปที่ 5.27 ผลของลักษณะมุมครีบก้นต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบก้น 3 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.28 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 3 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.29 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 3 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



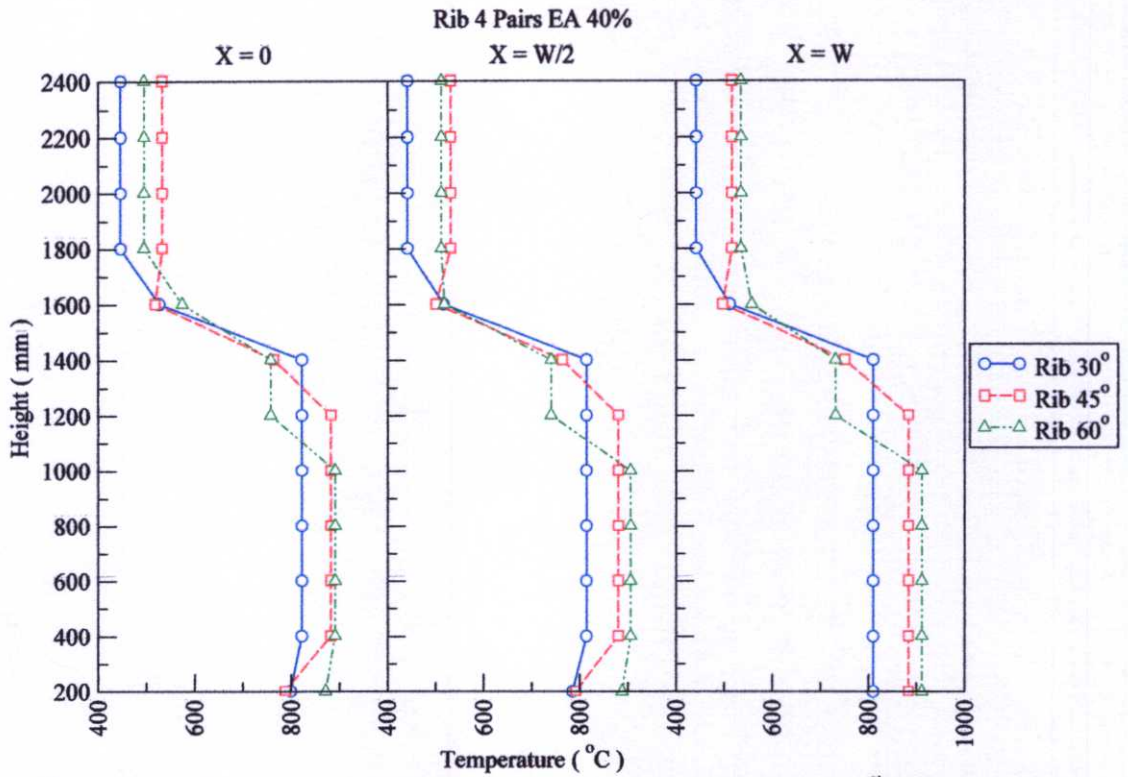
รูปที่ 5.30 ผลของลักษณะมุมครีบอกต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบอก 3 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

5.2.3.3 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบอกจำนวน 4 คู่

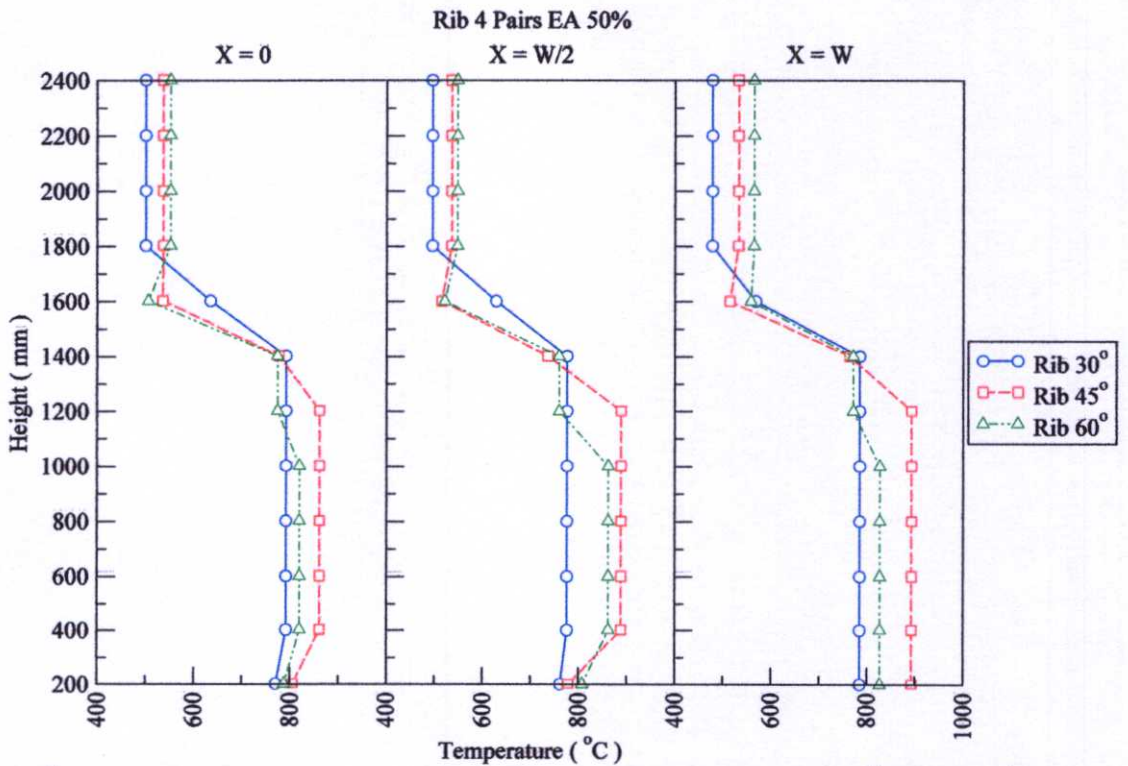
เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดซ์เบดกรณีที่มีการติดตั้งครีบอกซึ่งมีลักษณะมุมที่ต่างกัน แต่จำนวนการติดตั้งเท่ากันที่จำนวน 4 คู่ พบว่า กรณีการติดตั้งครีบอกมุม 45° ที่สถานะการดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% จะให้ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าสูงสุดที่ประมาณ 720 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.16 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบอกจำนวน 4 คู่

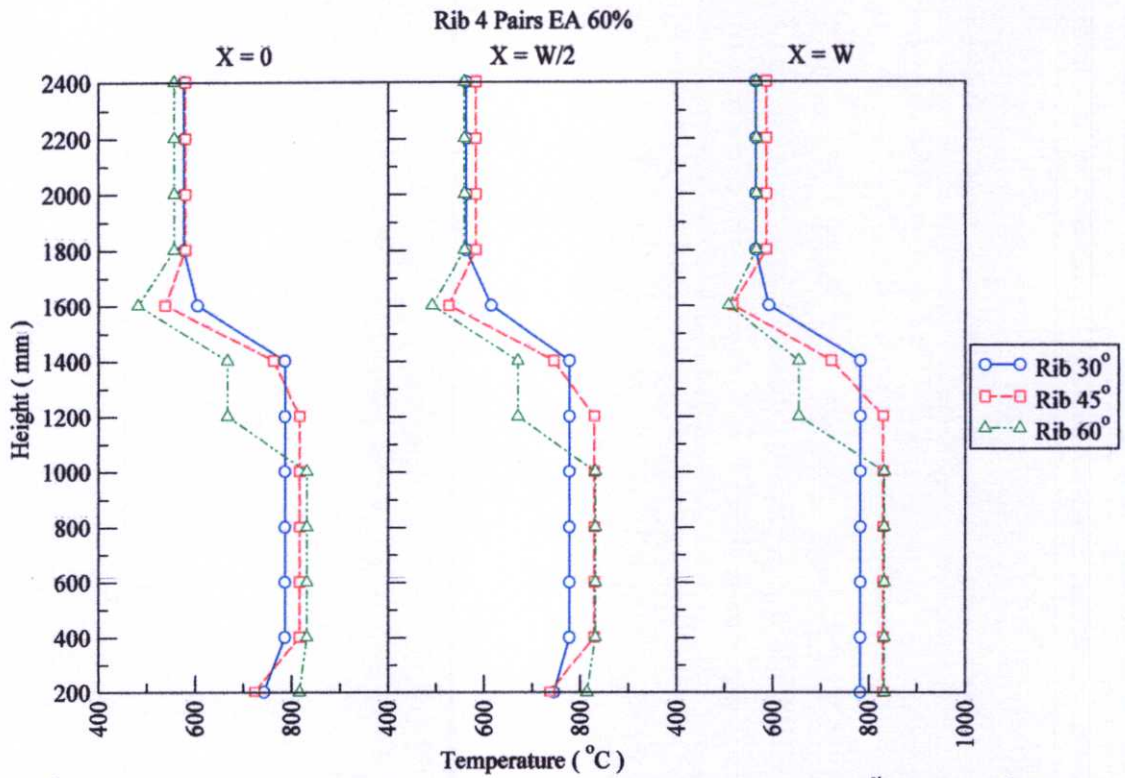
ลักษณะมุมครีบอก	อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผา ($^{\circ}\text{C}$) ที่อากาศส่วนเกิน			
	40%	50%	60%	70%
30°	662	669	692	682
45°	713	717	705	713
60°	712	701	681	682



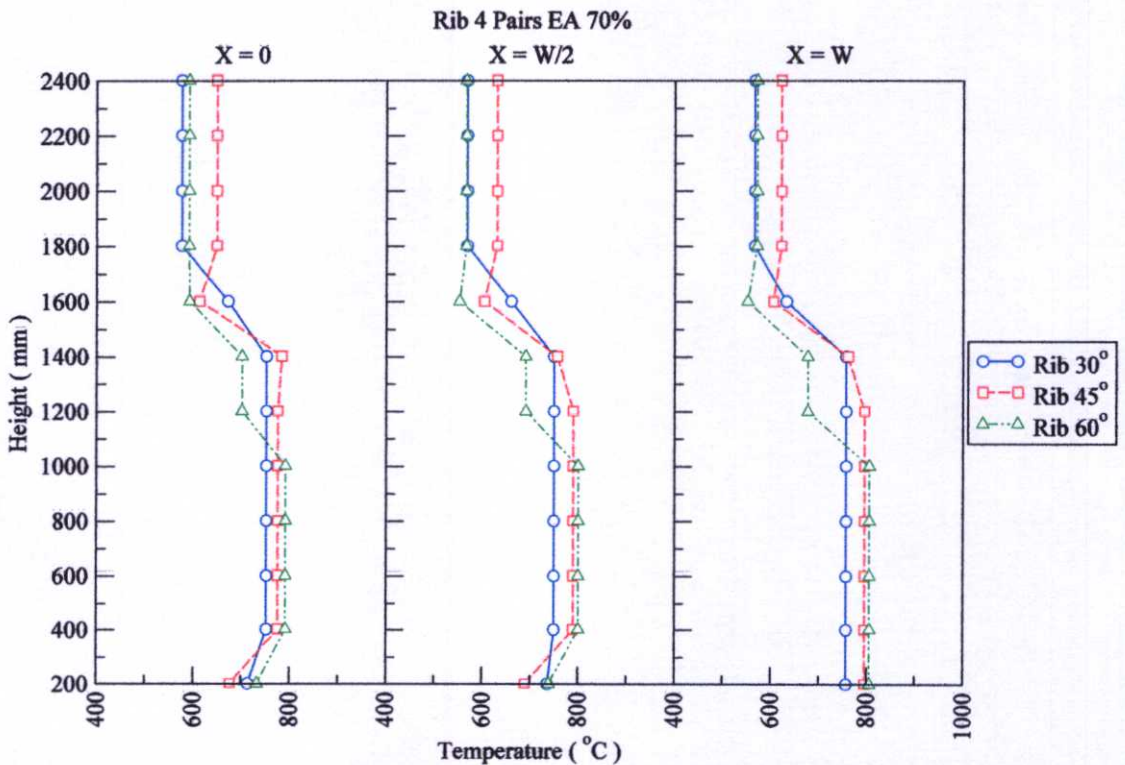
รูปที่ 5.31 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 5.32 ผลของลักษณะมุมครีบบต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบบ 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.33 ผลของลักษณะมุมครีบอกต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบอก 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%



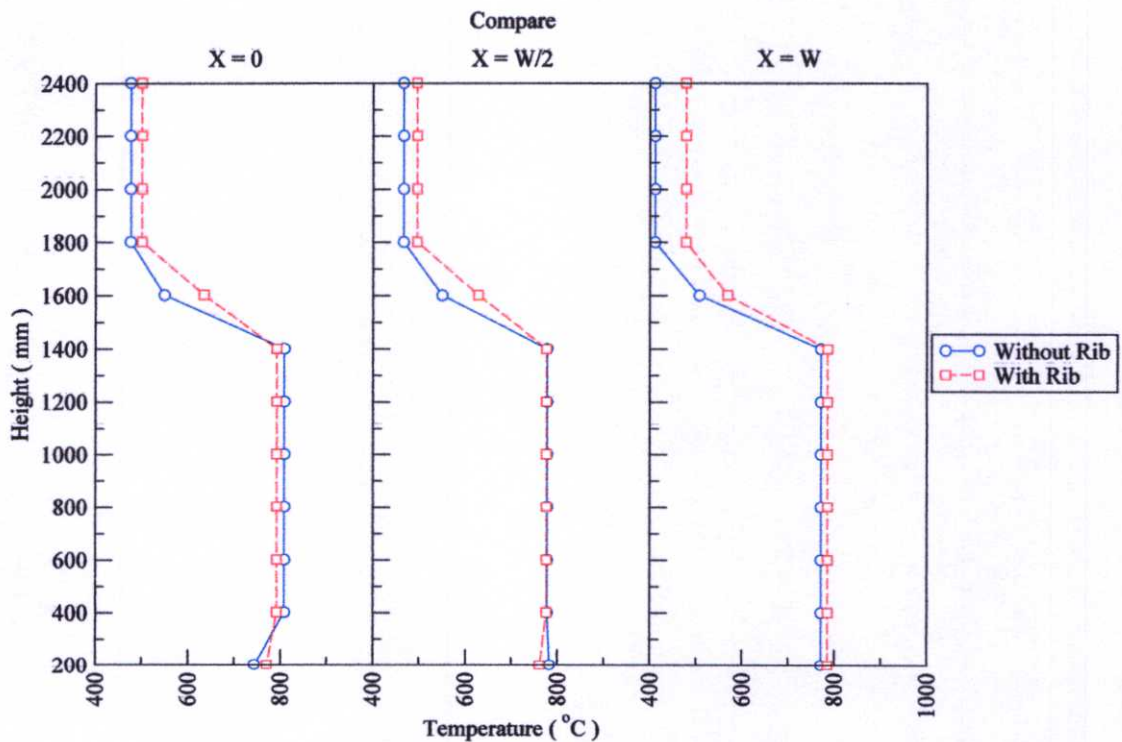
รูปที่ 5.34 ผลของลักษณะมุมครีบอกต่อการกระจายอุณหภูมิกรณีจำนวนการติดตั้งครีบอก 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

5.2.4 การเปรียบเทียบผลลัพท์กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบกับผิวติดครีป

การพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพท์ที่สูงที่สุดที่เกิดจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ พบว่าผลลัพท์ที่สูงที่สุดที่เกิดจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ คือ ที่ค่าอากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ผลลัพท์ที่ต่างจากที่ค่าอากาศส่วนเกินอื่น ๆ อย่างชัดเจน โดยจะนำผลการกระจายอุณหภูมิดังกล่าวมาพิจารณาเปรียบเทียบกับกรณีการติดตั้งครีปที่ให้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ณ สภาวะการดำเนินการเดียวกันที่ให้ผลลัพท์สูงสุดในกรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ คือที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%

รายละเอียดของผลลัพท์ทั้ง 2 กรณีที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบเป็นดังนี้

- กรณีห้องเผาไหม้เป็นแบบผิวเรียบ การดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ผลลัพท์สูงสุดของกรณีห้องเผาไหม้เป็นแบบผิวเรียบ
- กรณีห้องเผาไหม้เป็นแบบผิวที่ติดตั้งครีปรูปตัววีว่ามีลักษณะมุมเท่ากับ 30° จำนวนการติดตั้งเป็น 4 กู่ การดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ผลลัพท์ต่ำสุดของกรณีห้องเผาไหม้เป็นแบบผิวที่ติดตั้งครีป ที่ดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%



รูปที่ 5.35 การเปรียบเทียบผลลัพท์กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบและผิวติดครีป

พบว่าทั้งสองกรณีมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิที่คล้ายคลึงกัน คือจะมีค่าสูงที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ เมื่อเข้าสู่บริเวณส่วนขยายพรีบอร์คระดับของอุณหภูมิจะลดลงและจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยก่อนเข้าบริเวณส่วนของพรีบอร์ค ในบริเวณส่วนของพรีบอร์คระดับของอุณหภูมิจะคงที่ โดยที่ระดับของอุณหภูมิจากบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ของกรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบจะมีค่าสูงกว่ากรณีผิวติดครีป แต่จะมีค่าลดระดับลงอย่างมากจนมีค่าน้อยกว่ากรณีห้องเผาไหม้ผิวติดครีปเมื่ออยู่บริเวณส่วนของพรีบอร์ค โดยผลที่ได้จากการศึกษาทั้งสองกรณีเป็นดังนี้

- กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบจะให้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ประมาณ 650 องศาเซลเซียส
- กรณีห้องเผาไหม้ผิวติดครีปจะให้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ประมาณ 670 องศาเซลเซียส

จะเห็นว่าผลลัพธ์ของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ใกล้เคียงกัน โดยที่กรณีห้องเผาไหม้ผิวติดครีปที่ค่าสูงกว่าเล็กน้อย แต่ในการพิจารณาเปรียบเทียบนี้เป็นการนำผลลัพธ์ที่สูงที่สุดของกรณีของห้องเผาไหม้ผิวเรียบเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุดของกรณีของห้องเผาไหม้ผิวติดครีป หากพิจารณาถึงค่าอากาศส่วนเกินที่ใช้แสดงเปรียบเทียบของกรณีทั้ง 2 จะเห็นได้ว่าที่ค่าปริมาณอากาศพอดีกลายเป็นค่าปริมาณอากาศพอดีที่สูงที่สุดที่จะผลลัพธ์ที่ดีสำหรับกรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ เพราะที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินสูงกว่านี้จะพบว่าระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาจะลดลงอย่างชัดเจนและมีค่าอยู่ในระดับต่ำ โดยแตกต่างกับกรณีการเผาไหม้ในเตาที่มีติดตั้งครีปที่ส่วนห้องเผาไหม้ซึ่งสามารถดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่สูงกว่าได้และยังให้ผลลัพธ์ที่ดีด้วย การดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่สูงทำให้มีปริมาณออกซิเจนสำหรับทำปฏิกิริยาที่มากกว่าย่อมส่งผลต่อความสมบูรณ์ของกระบวนการการเผาไหม้

5.2.5 การวิเคราะห์ผลลักษณะการกระจายอุณหภูมิ

เมื่อทำการพิจารณาผลของลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาคล่อง จะพบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันและลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิ โดยสามารถสรุปลักษณะที่เกิดขึ้นโดยภาพรวมพร้อมคำอธิบายถึงสิ่งที่น่าจะเป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะการกระจายอุณหภูมิดังกล่าวได้ดังนี้

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณส่วนต่าง ๆ ได้แก่ส่วนห้องผสม ส่วนห้องเผาไหม้ส่วนขยายพรีบอร์คและส่วนพรีบอร์ค ภายใต้สภาวะขอบเขตที่กำหนดสำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษาคล่อง พบว่าระดับของอุณหภูมิจากบริเวณของส่วนห้องผสมเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้และจะลดระดับลงอย่างชัดเจนที่บริเวณของส่วนขยายพรีบอร์ค เมื่อเข้าสู่บริเวณของส่วนพรีบอร์คระดับของอุณหภูมิจะ

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากระดับที่บริเวณของส่วนขยายฟรีบอร์ด จะเห็นว่าระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้จะมีค่าสูงกว่าบริเวณของส่วนอื่น ๆ ภายในเตาเผา แสดงให้เห็นกระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณส่วนต่าง ๆ ได้แก่ส่วนห้องผสม ส่วนห้องเผาไหม้ส่วนขยายฟรีบอร์ดและส่วนฟรีบอร์ด ภายใต้สภาวะขอบเขตที่กำหนดสำหรับกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ พบว่าระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่สูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้ตรงตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบน่าจะเป็นผลมาจากกระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันที่เกิดการหมุนวนเมื่อไหลผ่านตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบ จึงเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันให้หมุนวนและทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศบริเวณตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบ จึงให้ระดับอุณหภูมิที่สูง แต่มีเพียงบางกรณีเท่านั้นที่ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่สูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้เหนือตำแหน่งการติดตั้งครีบน้อย ได้แก่ กรณีการติดตั้งครีบนุม 45° จำนวน 2 คู่ และกรณีการติดตั้งครีบนุม 60° จำนวน 2 คู่ และ 3 คู่ เมื่อพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งสูงสุดของการติดตั้งครีบทั้ง 3 กรณีจะอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 750 mm, 660 mm และ 770 mm ซึ่งเป็นการติดตั้งในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการติดตั้งอื่น ๆ ดังนั้นช่วงความสูงนี้อาจไม่เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำกระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันที่หมุนวนทั้งหมดอยู่ที่บริเวณดังกล่าว โดยกระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันที่หมุนวนส่วนหนึ่งไปตกอยู่บริเวณเหนือตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบน้อย จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่สูงกว่าตำแหน่งที่มีการติดตั้งครีบ
- ผลกระทบที่เกิดจากปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีต่อลักษณะของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม สำหรับทุกกรณีศึกษา การปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้นนอกจากจะเพิ่มปริมาณอากาศที่จะในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้กระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลต่อลักษณะของอุณหภูมิดังนี้ ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าจะทำให้ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณของส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูง แต่ที่บริเวณของส่วนฟรีบอร์ดจะให้ผลลัพธ์ตรงกันข้าม คือที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะทำให้ระดับของอุณหภูมิมีค่าสูงกว่า เนื่องจากที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำกว่ากระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันจะมีความเร็วต่ำกว่าอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิโดซ์เซชันส่วน

ใหญ่ลอยได้ในระดับที่ต่ำกว่าและกระบวนการการเผาไหม้เกิดที่ระดับดังกล่าว ส่งผลให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนล่างของเตาเผา (ส่วนของห้องเผาไหม้) มีค่าสูง และในทำนองเดียวกันที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงกว่ากระแสก๊าซฟลูอิดไซซ์เซชันจะมีความเร็วสูงกว่า อนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดไซซ์เซชันที่หลุดลอยไปสู่บริเวณส่วนบนของเตาเผาจะมีปริมาณมากกว่าและเกิดกระบวนการการเผาไหม้ที่ระดับดังกล่าว ส่งผลให้ระดับของอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเตาเผา (ส่วนของฟรึบอร์ค) มีค่าสูงกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำ ดังจะให้ได้อย่างชัดเจนจากผลการทดลองในกรณีศึกษาที่ห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นผิวเรียบ

- ผลกระทบที่เกิดจากปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีต่อลักษณะของอุณหภูมิที่บริเวณส่วนต่าง ๆ ภายในเตาเผาฟลูอิดไซซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งครีบบริเวณของส่วนห้องเผาไหม้ พบว่าความแตกต่างของระดับอุณหภูมิเมื่อมีการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินจะมีความแตกต่างน้อยกว่ากรณีห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ เนื่องมาจากการติดตั้งครีบบจะทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไซซ์เซชันเกิดการหมุนวน จึงเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงในกระแสก๊าซฟลูอิดไซซ์เซชันให้หมุนวนอยู่บริเวณที่มีการติดตั้งครีบบและบริเวณใกล้เคียงซึ่งอยู่ในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ ลดการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงไปสู่บริเวณของส่วนฟรึบอร์ค และทำให้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ของแต่ละกรณีศึกษาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่บริเวณส่วนห้องเผาไหม้
- การพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่สูงที่สุดและผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุดซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษานั้นจะ โดยทำการพิจารณาจากระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเป็นเกณฑ์หลักการตัดสินใจ เนื่องจากจะเห็นว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละกรณีศึกษาที่เกิดจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือกรณีศึกษาใดที่ให้ระดับอุณหภูมิในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าสูงจะให้ระดับอุณหภูมิในบริเวณส่วนฟรึบอร์คมีค่าต่ำ และกรณีศึกษาใดที่ให้ระดับอุณหภูมิในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้มีค่าต่ำจะให้ระดับอุณหภูมิในบริเวณส่วนฟรึบอร์คมีค่าสูง ดังนั้นจึงใช้การพิจารณาจากระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเป็นเกณฑ์หลัก

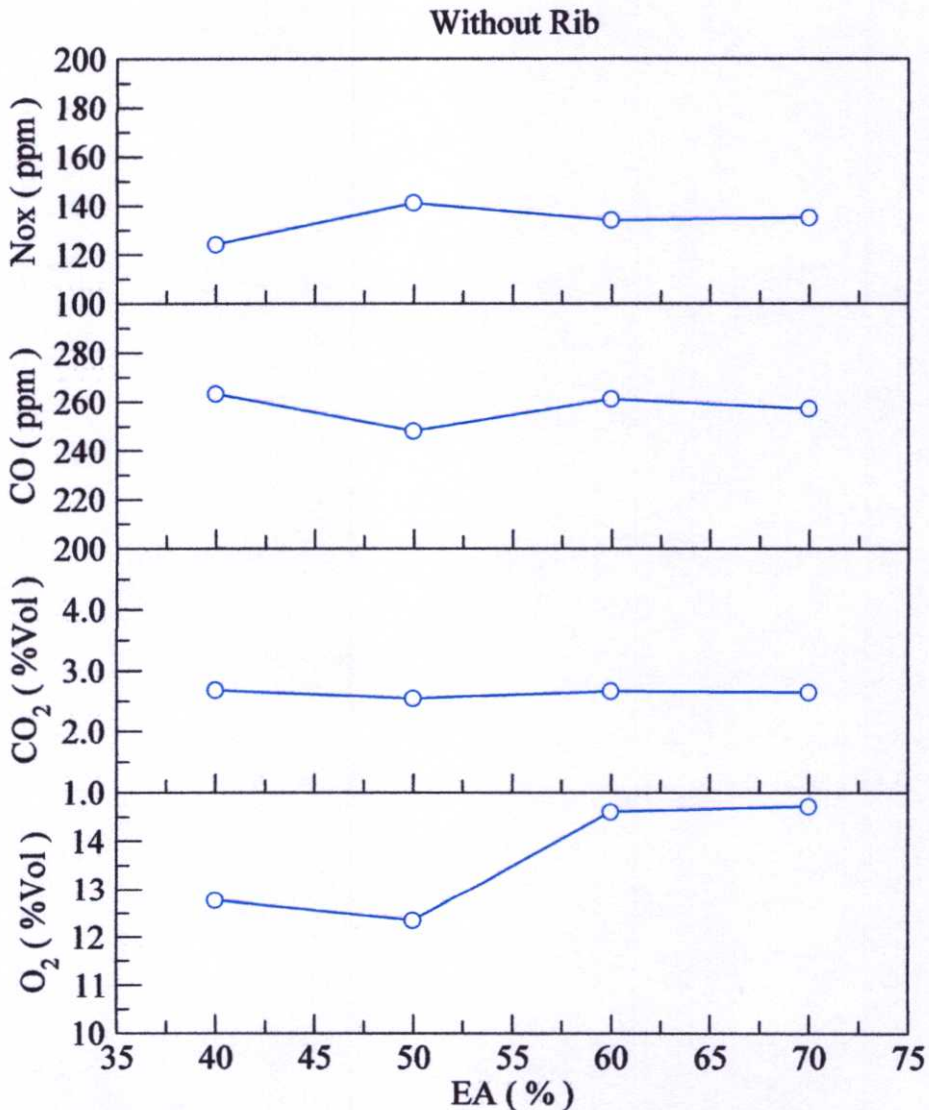
5.3 องค์ประกอบก๊าซไอเสีย

องค์ประกอบก๊าซไอเสียที่พิจารณาได้แก่ ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของแต่ละกรณีศึกษา ดังนี้

5.3.1 กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ โดยการวัดปริมาณก๊าซไอเสียแต่ละชนิดที่บริเวณทางออกของฟลูไคส์ด้านบนของเตาเผา การแสดงปริมาณก๊าซไอเสียแต่ละชนิดจะแสดงเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดขึ้นที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.36

พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 12.34 – 14.71 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.54 – 2.67 %Vol ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 124 – 141 ppm มีค่ามากที่สุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 248 – 263 ppm มีค่ามากที่สุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%

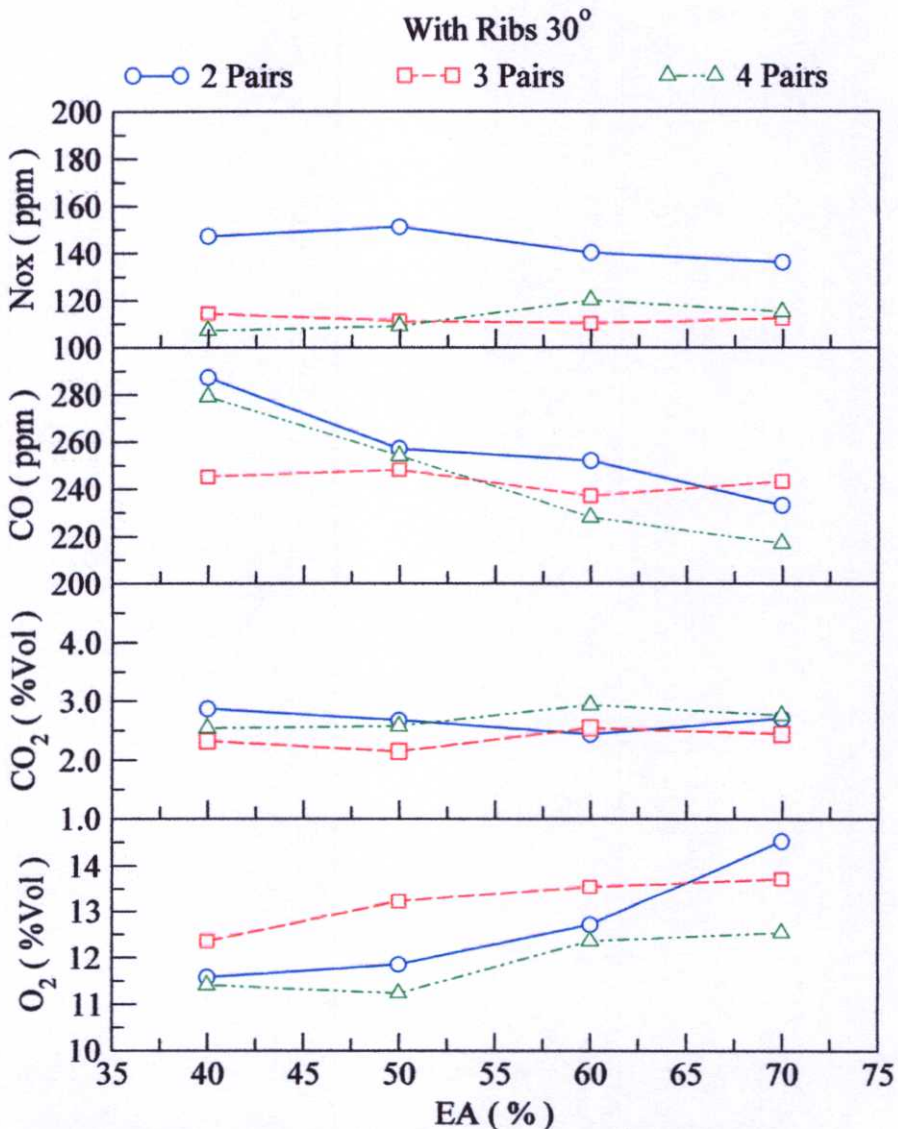


รูปที่ 5.36 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีห้องเผาไหม้พื้นผิวเรียบ

5.3.2 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30°

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำมุม 30° การแสดงปริมาณก๊าซไอเสียแต่ละชนิดจะแสดงเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดครีบริบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.37

พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.23 – 14.52 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มเล็กน้อยขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 2.93 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 107 – 136 ppm ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างจะคงที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 217 – 287 ppm มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น

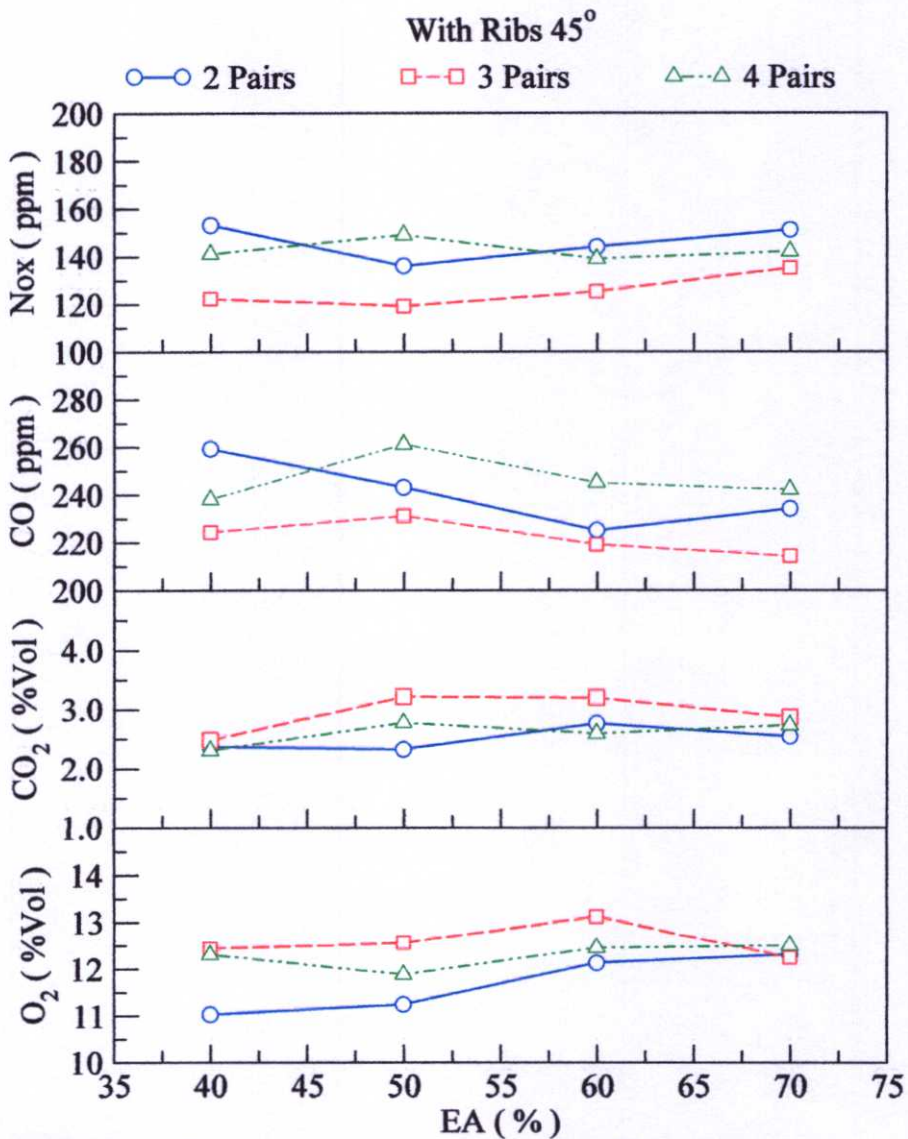


รูปที่ 5.37 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบริบมุม 30°

5.3.3 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45°

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° การแสดงปริมาณก๊าซไอเสียแต่ละชนิดจะแสดงเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดขึ้นที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดตั้งครีบริบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.38

พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.02 – 13.12 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.30 – 3.21 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 119 – 153 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 214 – 261 ppm มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น

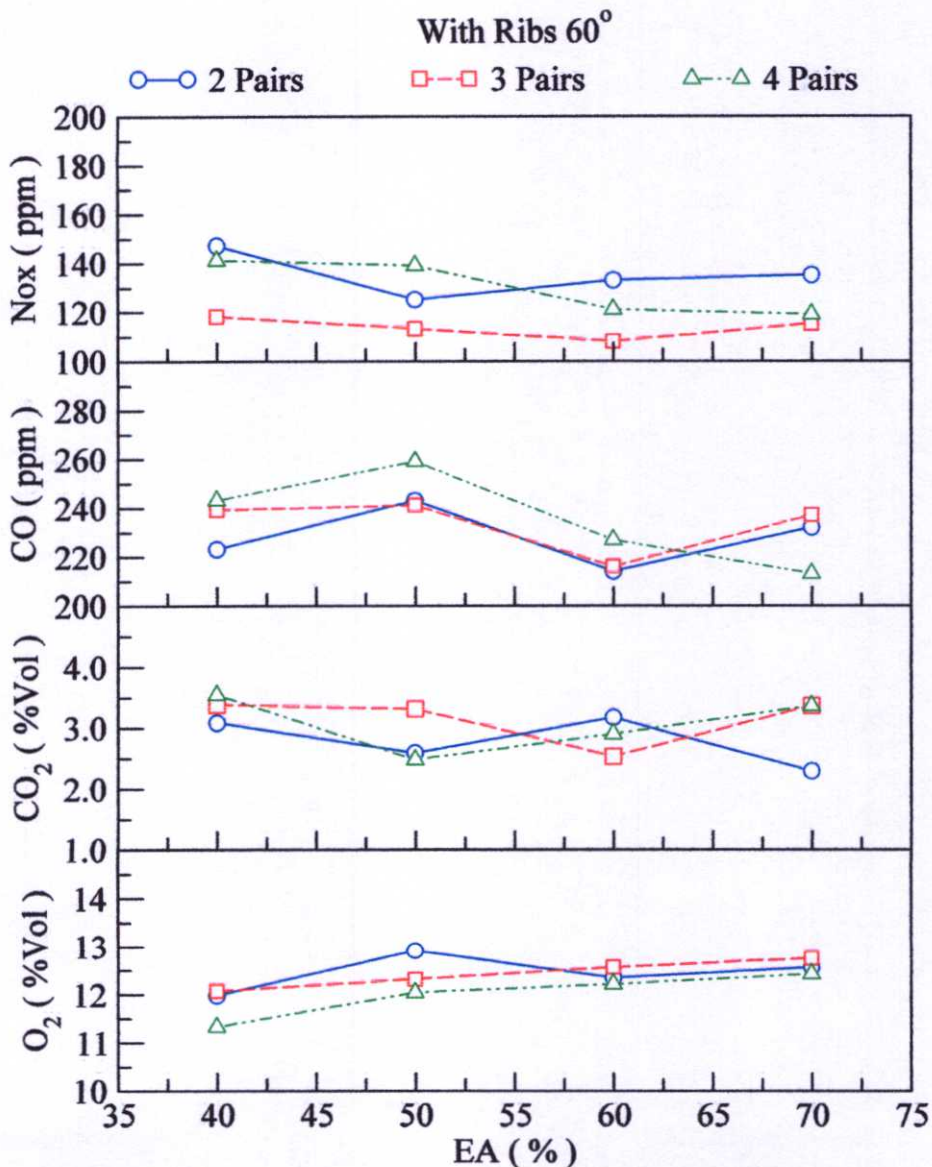


รูปที่ 5.38 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบริบมุม 45°

5.3.4 กรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัวรีคว่มุม 60°

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัวรีคว่มุม 60° การแสดงปริมาณก๊าซไอเสียแต่ละชนิดจะแสดงเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดขึ้นที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดครีบริบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.39

พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 11.32 – 12.91 %Vol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.29 – 3.37 %Vol ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 108 – 141 ppm มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 213 – 259 ppm มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น

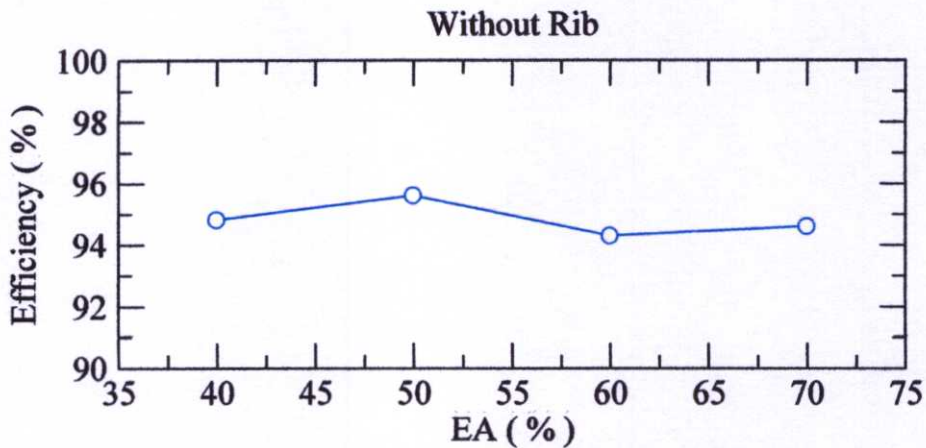


รูปที่ 5.39 องค์ประกอบก๊าซไอเสียกรณีติดตั้งครีบริบมุม 60°

5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

5.4.1 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ

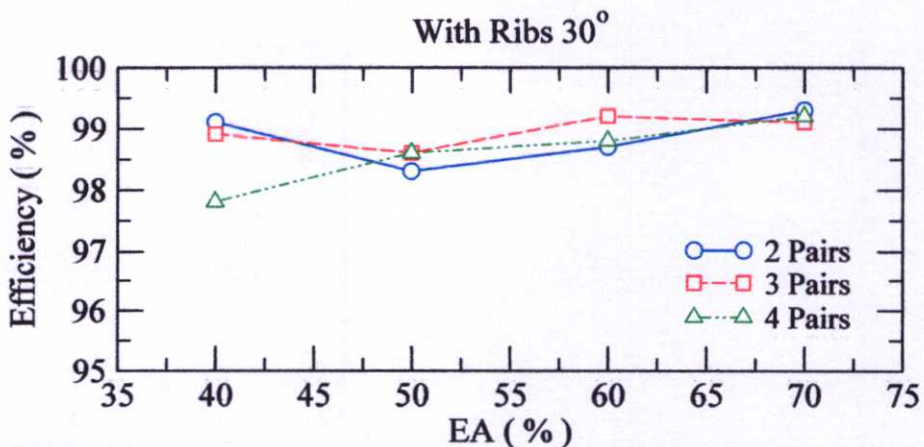
การพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ การแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแสดงเปรียบเทียบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ

5.4.2 กรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัวรีคว่ำมุม 30°

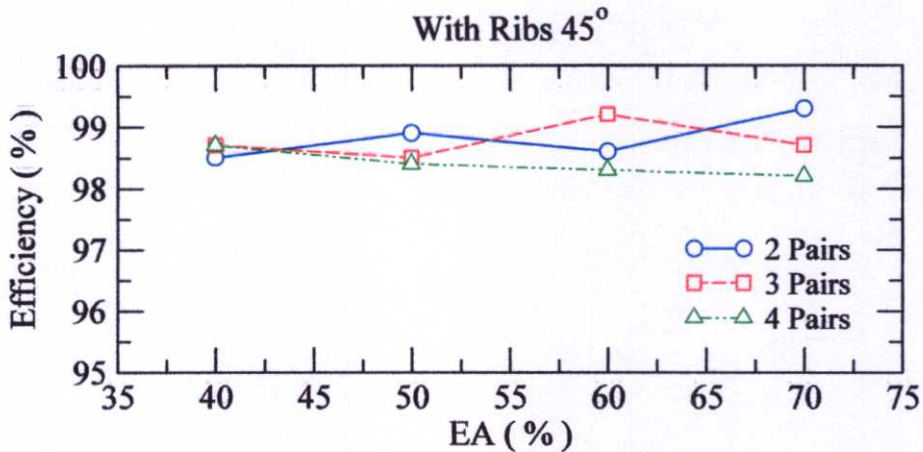
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัวรีคว่ำมุม 30° การแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแสดงเปรียบเทียบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดครีบริบที่แตกต่างกันดังรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบริบมุม 30°

5.4.3 กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45°

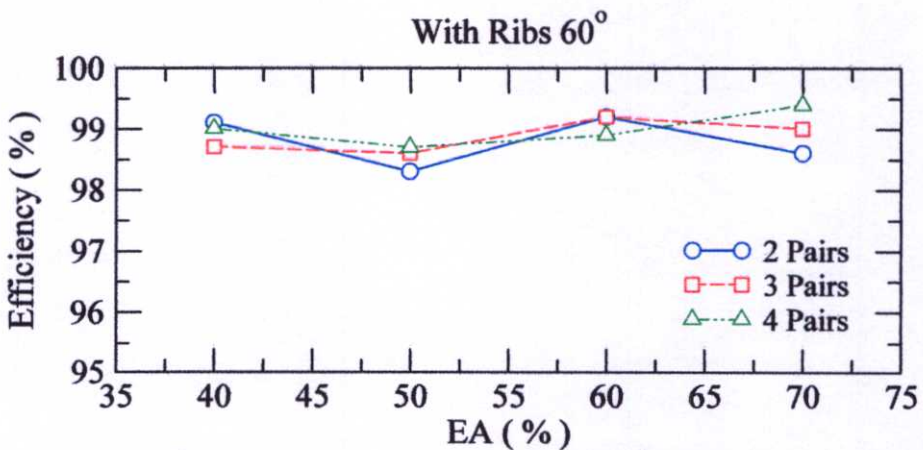
การพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 45° การแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแสดงเปรียบเทียบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดครีบริบที่แตกต่างกันดังรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบริบมุม 45°

5.4.4 กรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60°

การพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำมุม 60° การแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแสดงเปรียบเทียบที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินและจำนวนการติดครีบริบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.43



รูปที่ 5.43 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบริบมุม 60°

5.4.5 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่แสดงสำหรับแต่ละกรณีศึกษาที่ผ่านมานั้นจะเป็นค่าประสิทธิภาพที่ได้จากเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 94.3 – 95.6 % โดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% และในกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวดัดคريبสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นโดยจะมีค่าระหว่าง 97.8 – 99.4 % โดยค่าประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละลักษณะมุมคريبจะเกิดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% และ 70% จะเห็นได้ว่าลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวดัดคريب ค่าประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงน่าจะเป็นผลมาจากที่ปริมาณอากาศส่วนเกินสูงจะให้ปริมาณอากาศจำนวนมากทำให้เชื้อเพลิงมีโอกาสทำปฏิกิริยาออกซิเจนในอากาศได้มาก ในขณะที่ลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบนั้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากว่าในกรณีนี้การดำเนินการที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูง (กระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันที่ความเร็วสูง) อนุภาคของเชื้อเพลิงจะหลุดลอยออกจากบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้อย่างไม่เต็มที่จึงมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 5.17 สภาวะการดำเนินการของปริมาณอากาศส่วนเกินที่ให้ผลลัพธ์ของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั่วทั้งเตาเผาและประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด

ลักษณะการติดตั้งคريب		ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ให้ผลลัพธ์สูงสุด	
จำนวนคريب (คู่)	ลักษณะมุมคريب	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาเผาสูงสุด	ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด
2	30°	EA 50%	EA 70%
	45°	EA 40%	EA 60%
	60°	EA 40%	EA 70%
3	30°	EA 40%	EA 70%
	45°	EA 70%	EA 60%
	60°	EA 40%	EA 40%
4	30°	EA 60%	EA 60%
	45°	EA 50%	EA 60%
	60°	EA 40%	EA 70%

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในภาพรวมของกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวติดครีบ พบว่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาของแต่ละกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่มีค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่มีค่าสูงจะเกิดขึ้นที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูง สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลดังนี้ คือที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าสูงจะให้ปริมาณอากาศสำหรับทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่เพียงพอซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่มีค่าสูง แล้วยังส่งผลถึงความเร็วของกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันที่สูงจึงทำให้กระแสของไหลร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกแทนที่ด้วยกระแสของไหลเย็นที่จ่ายเข้าระบบเตาเผาได้เร็วขึ้นจึงทำให้มีระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ต่ำ และที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าต่ำจะให้ผลในทางตรงข้ามกัน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบครูปทรงสี่เหลี่ยมที่แบ่งกรณีศึกษาตามลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการทดลองเดียวกัน โดยพิจารณาถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิ องค์กรประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิดและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา สามารถสรุปผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบครูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ สามารถดำเนินการได้ดีในช่วงปริมาณอากาศเกินพอมีค่าต่ำ (ความเร็วของกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันที่ต่ำ) ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ปริมาณอากาศเกินพอมีค่าสูง อุณหภูมิของเชื้อเพลิงแกลบจะหลุดลอยออกจากบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ ส่งผลให้กระบวนการการเผาไหม้เกิดได้ไม่เต็มที่ ทำให้ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าต่ำกว่าการดำเนินการที่ปริมาณอากาศเกินพอมีค่าต่ำอย่างชัดเจน
- เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบครูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวดัดกริบ เนื่องจากการติดตั้งกริบ สามารถดำเนินการได้ดีในช่วงปริมาณอากาศเกินพอมีค่าที่กว้างกว่าเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบครูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบ (ช่วงความเร็วของกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันที่กว้างกว่า) ดังจะเห็นได้จากทุก ๆ กรณีศึกษาของการติดตั้งกริบ ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาที่ปริมาณอากาศเกินพอมีค่าต่ำและมีค่าสูงจะมีความแตกต่างกันไม่มาก
- การติดตั้งกริบรูปตัววีคว่ำภายในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้ สามารถทำให้เกิดการหมุนวนของกระแสก๊าซฟลูอิดไคซ์เซชันและเหนี่ยวนำอุณหภูมิเชื้อเพลิงให้เกิดกระบวนการการเผาไหม้อยู่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งกริบและตำแหน่งใกล้เคียง ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองของทุก ๆ กรณีศึกษาของการติดตั้งกริบ ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งกริบและตำแหน่งใกล้เคียงจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ในส่วนของห้องเผาไหม้
- อิทธิพลของคุณลักษณะมุมกริบและจำนวนการติดตั้งที่มีต่อลักษณะการเผาไหม้ ที่สังเกตได้จากผลการศึกษาค้นคว้า พบว่าลักษณะการเผาไหม้ที่ได้จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน คือบริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งกริบและตำแหน่งใกล้เคียงจะมีระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า

บริเวณอื่น โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งครีบ จะมีบางกรณีศึกษาเท่านั้นที่เกิดบริเวณเหนือตำแหน่งติดตั้งครีบซึ่งจะเป็นกรณีตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งมีค่าต่ำ แสดงว่าตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งน่าจะมีอิทธิพลต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิ โดยตำแหน่งสูงสุดของการติดตั้งนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะมุมครีบและจำนวนที่ติดตั้ง

- ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของทุกกรณีศึกษามีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 3.37 %Vol ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 107 – 153 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 213 – 287 ppm
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 94.3 – 95.6 % และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวดัดครีบโดยจะมีค่าระหว่าง 97.8 – 99.4 % พบว่ากรณีการติดตั้งครีบที่ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำที่สุดจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีการไม่ติดตั้งครีบประมาณ 2 % เนื่องจากประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ทำการวิเคราะห์จะพิจารณาจากองค์ประกอบก๊าซไอเสียเท่านั้น มิได้พิจารณาจากองค์ประกอบภายในเตา หากพิจารณาองค์ประกอบภายในเตาประสิทธิภาพการเผาไหม้ระหว่างการติดตั้งและไม่ติดตั้งครีบน่าจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันมากขึ้น ดังสังเกตได้จากลักษณะของเถ้า (ภาคผนวก ง) จะพบว่ากรณีการติดตั้งครีบจะให้ลักษณะเถ้าที่ดีกว่า คือ มีลักษณะเป็นสีขาวหรือเทา และมีความละเอียดมากกว่า แสดงถึงปริมาณคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ในปริมาณที่น้อยกว่า
- ในการพิจารณาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะทำการพิจารณาจากคุณลักษณะการเผาไหม้ของแต่ละกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับกัน พบว่า องค์ประกอบก๊าซไอเสียของแต่ละกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานและประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการพิจารณาเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงพิจารณาจากระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด จะได้ว่า การติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำมุม 30° จำนวน 2 คู่ ภายในบริเวณส่วนห้องเผาไหม้และดำเนินการที่ปริมาณอากาศเกินพอ 50% ให้ผลลัพธ์ที่ดีสุดในการศึกษาวิจัยนี้ โดยมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดประมาณ 740 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 954 องศาเซลเซียส อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุด 563 องศา มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 2.67 %Vol ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 150 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 257 ppm และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98.3%

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะนามกริบและจำนวนของกริบที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ โดยลักษณะรูปทรงของกริบจะมีรูปทรงเดียวคือรูปตัววีคว่ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดอย่างต่อเนื่อง จึงขอเสนอแนวทางในการศึกษาวิจัย ดังนี้

- การศึกษาวิจัยภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้ แต่เลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เพื่อที่จะได้เกิดความหลากหลายสำหรับประยุกต์ใช้งาน
- การศึกษาวิจัยภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้ แต่ควรใช้ลักษณะกริบที่มีรูปทรงที่แตกต่าง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษาทดลองกับวิจัยฉบับนี้ สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] จูติวัฒน์ ผุนลาวงษ์. 2552. “พฤติกรรมเผาไหม้ชีวมวลในเตาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีกริบแนวขวาง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] Songpol Chakritthakul, Vladimir I. Kuprianov and Rachadapron Kaewlum. 2009. “Effects of Air Staging on Behavior of CO, NO and C_xH_y in a Swirling Fluidized-Bed Combustor Firing Thai Rice Husk” **The 3rd International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2009)”**.
- [3] M. Fang, L. Yang, G. Chen, Z. Shi, Z. Luo, K. Cen. 2004. “Experimental Study on Rice Husk Combustion in a Circulating Fluidized Bed.” **Fuel Processing Technology**. 85 : 1273 - 1282
- [4] L. Armesto, A. Bahillo, K. Veijonen, A. Cabanillas, J. Otero. 2002. “Combustion Behavior of Rice Husk in a Bubbling Fluidised bed.” **Biomass and Bioenergy**. 23 : 171 – 179
- [5] M. Rozainee, S.P. Ngo, A.A. Salema, K.G. Tan, M. Ariffin, Z.N. Zainura. “Effect of Fluidizing Velocity on the Combustion of Rice Husk in a Bench – Scale Fluidized Bed Combustor for the Production of Amorphous Rice Husk Ash.” **Bioresource Technology**. 99 : 703 – 713
- [6] S. Eiamsa-ard, Y. Kaewkohkiat, C. Thianpong, P. Promvonge. “Combustion Behavior in a Dual – Staging Vortex Rice Husk Combustor with Snail Entry.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 35 : 1134 - 1140
- [7] Y. Kaewkohkiat, S. Eiamsa-ard, P. Promvonge. “Combustion of Rice Husk in Small Scale Fluidized – Bed Combustor.” **5th International Conference on “Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i – CIPEC 2008)”**
- [8] Kasama Janvijitsakul, Vladimir I. Kuprianov. “Major Gaseous and PAH Emissions from a Fluidized – Bed Combustor Firing Rice Husk with High Combustion Efficiency.” **FUEL PROCESSING TECHNOLOGY**. 89 : 777 -787
- [9] ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. 2547. “การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- [10] วิศิษฐ์ ธีลาผาดิกุล. “ปัจจัยตำแหน่งของอากาศทุกติขภูมิต่อสมรรถนะการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบด.” การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 8.
- [11] ฐิติวัจน์ ผูนลาวงษ์, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, พงษ์เจต พรหมวงส์. “การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21.
- [12] สุรียา โชคเพิ่มพูน, ฐิติวัจน์ ผูนลาวงษ์, ชินรัชย์ เรียรพงษ์, พงษ์เจต พรหมวงส์. “พฤติกรรม การเผาไหม้แก๊สในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น.” *The 2nd Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008)*.
- [13] สำเริง จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [14] กัญจนา นุณขเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [15] สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติเชื้อเพลิง

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก

ชนิดพืช	พ.ศ. 2543/2544		พ.ศ. 2544/2545	
	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)
อ้อย	5,421	49,070	6,320	60,013
ข้าว	65,640	25,608	63,283	26,514
น้ำมันปาล์ม	1,303	3,256	1,456	4,089
ข้าวโพด	7,551	4,397	7,474	4,466
มันสำปะหลัง	7,068	19,064	6,176	16,868
สับปะรด	608	2,287	552	1,987
ไม้ยางพารา	11,558	2,378	11,590	2,424

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี พ.ศ. 2543/2544 และ พ.ศ. 2544/2545

ตารางที่ ก.2 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2540 - 2545

ชนิดชีวมวล	ปริมาณการใช้ชีวมวล (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)					
	2540	2541	2542	2543	2544	2545
ฟืน	3,200	3,188	3,279	3,258	3,265	3,342
ถ่าน	2,273	2,254	2,218	2,277	2,286	2,397
แกลบ	723	778	733	828	903	869
กากอ้อย	2,303	1,665	2,092	2,236	1,989	2,498
รวม	8,499	7,885	8,322	8,599	8,443	9,043

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ ก.3 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

ภาคผนวก ข
มาตรฐานควบคุมการปล่อยก๊าซไอเสีย

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

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

ที่มา: ข้อมูลส่วนหนึ่งจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรม

ภาคผนวก ค
การคำนวณ

1. ปริมาณอากาศตามทฤษฎี

การคำนวณปริมาณอากาศตามทฤษฎีหรือปริมาณอากาศพอดีที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้นั้นพิจารณาได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio, A/F)

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

เมื่อ m_{air} คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

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

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

เมื่อ m คือ ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง

MW คือ มวลโมเลกุลของธาตุ

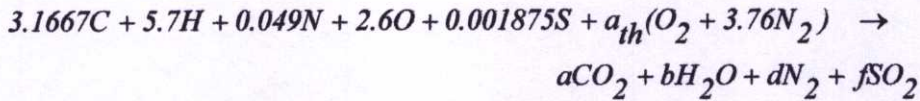
n คือ จำนวน โมล

จำนวนโมลที่ได้จากการคำนวณสำหรับธาตุแต่ละชนิดแสดงในตาราง

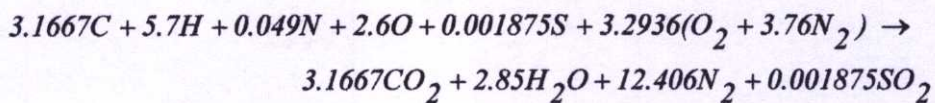
ตารางที่ ค.1 ค่าจำนวน โมลของเชื้อเพลิงแกลบในปฏิกิริยาเคมี

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

จากข้อมูลจำนวน โมลของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดของเชื้อเพลิงแกลบ สามารถเขียน สมการเคมีของกระบวนการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศแห้งได้ดังนี้



เมื่อทำการสมดุลสมการ โดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวน โมลของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และจำนวน โมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



จำนวน โมลของอากาศแห้งนี้ประกอบด้วยจำนวน โมลออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) ดังนั้นจะได้จำนวน โมลของอากาศแห้งทั้งหมดเป็น

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

เนื่องจากอากาศที่ใช้เป็นอากาศแห้ง แต่ในทางปฏิบัตินั้นอากาศที่ใช้จะมีปริมาณไอน้ำ จึงจำเป็นต้องคำนวณหาจำนวน โมลของไอน้ำในอากาศจากสมการต่อไปนี้

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

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

ค่าความดันของไอน้ำในอากาศสามารถหาได้ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์จาก การทราบสถานะทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) 53% จะได้

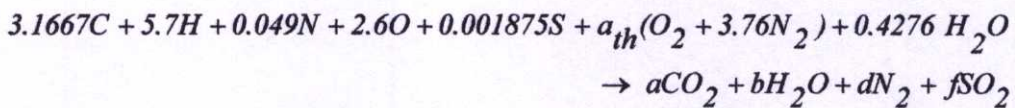
$$P_{sat,H_2O@33^\circ C} = 5.0752 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} P_{v,H_2O} &= \phi P_{sat,H_2O@33^\circ C} = 0.53 \times 5.0752 \text{ kPa} \\ &= 2.690 \text{ kPa} \end{aligned}$$

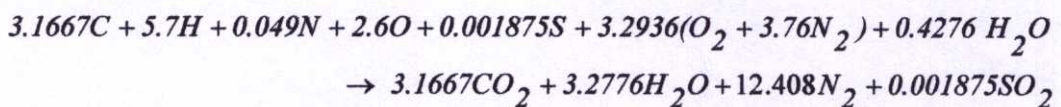
โดยที่ $n_{total} = 15.678 \times n_{H_2O}$ และ $P_{v,total} = 101.325$ จะได้

$$\begin{aligned} n_{H_2O} &= \left(\frac{P_{v,H_2O}}{P_{v,total}} \right) \cdot n_{total} \\ &= \left(\frac{2.690}{101.325} \right) \times (15.678 + n_{H_2O}) \\ &= 0.4276 \end{aligned}$$

สมการเคมีของกระบวนการเผาไหม้ที่สถานะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณา อากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศที่มีความชื้นได้ดังนี้



เมื่อทำการสมดุลสมการ โดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวน โมลของอากาศแห้งที่ใช้ ในการทำปฏิกิริยา และจำนวน โมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



คำนวณหามวลของอากาศที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

$$\begin{aligned} m_{air} &= n_{air} \times MW_{air} = (n_{dry\ air} \times MW_{dry\ air}) + (n_{H_2O} \times MW_{H_2O}) \\ &= (3.2936 \times 4.76\ kmol) \left(28.97 \frac{kg}{kmol}\right) + (0.4276\ kmol \times 18 \frac{kg}{kmol}) \\ &= 461.875\ kg \end{aligned}$$

คำนวณหามวลของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

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

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio, A/F)

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_{stioc} &= \frac{461.875}{86.046} \\ &= 5.368 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบตามทฤษฎีเป็น 5.368

2. ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ตามที่กำหนดในกรณีศึกษา จะแสดงในรูปร้อยละของปริมาณอากาศส่วนเกิน สามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้ได้ดังนี้

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่กำหนดในกรณีศึกษาเป็น 40%, 50%, 60% และ 70%
สมการอัตราส่วนสมมูล (ϕ)

$$\phi = \frac{(A/F)_{stioc}}{(A/F)_{actua}}$$

สมการร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA)

$$EA = \frac{100}{\phi} \times 100$$

ปริมาณเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้มีค่าคงที่ที่ 8.5 kg/hr

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเป็น 5.368

ตัวแปรที่กำหนดค่าร้อยละอากาศส่วนเกิน คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จริง โดยค่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการข้างต้นแสดงในตาราง

ตารางที่ ค.2 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ร้อยละอากาศส่วนเกินค่าต่าง ๆ

ร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA)	ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (kg/hr)
40%	63.88
50%	68.44
60%	73.00
70%	77.57

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดังที่ได้แสดงในผลการทดลองนั้นเป็นค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย โดยอาศัยหลักการการพิจารณาคำนวณจากปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้จากกระบวนการการเผาไหม้ ดังสมการต่อไปนี้

$$Eff [\%] = 100 - loss [\%]$$

โดยที่ค่า $loss$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ A B และ C คือ แฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงได้จากคู่มือการใช้งาน

O_2 คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการวัดค่า

FT คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

AT คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

การแสดงตัวอย่างการคำนวณจะเลือกสถานะการดำเนินการกรณีเตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีป ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% โดยที่ $O_2 = 12.34\%$, $FT = 503^\circ C$ และ $AT = 32^\circ C$, $A = 0.6175$, $B = 0.0025$, $C = 8.14$ (A , B , และ C แฟกเตอร์ของเชื้อเพลิง wood 10%) จะได้

$$\begin{aligned} loss [\%] &= \frac{1}{10} \left[\frac{0.6175}{20.94 - 12.34} + 0.0025 \right] \cdot (503 - 32) + 8.14 \\ &= 4.3136 \end{aligned}$$

สามารถคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Eff [\%] &= 100 - 4.3136 \\ &= 95.6864 \end{aligned}$$

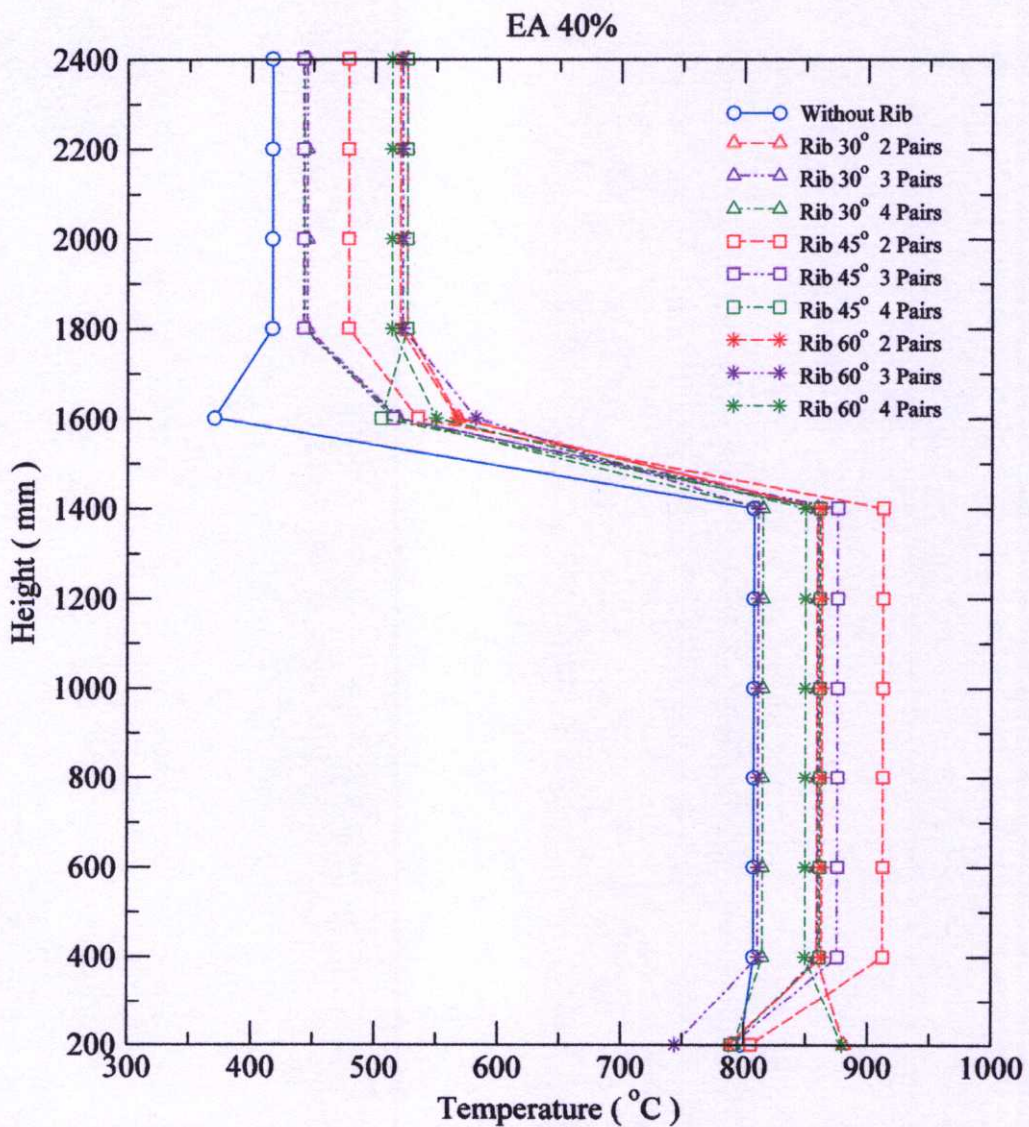
ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อ่านได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียสำหรับกรณีศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 95.6%

ภาคผนวก ง
ข้อมูลผลการทดลอง

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40 %

กราฟที่แสดงเป็นค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% ซึ่งจะทำให้การจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องผสม
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ (กรณีการติดตั้งครีบจะทำการเฉลี่ยส่วนห้องเผาไหม้เป็นค่าเดียวเหมือนกับกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบ)
- บริเวณส่วนขยายฟรียบอร์ด
- บริเวณส่วนฟรียบอร์ด

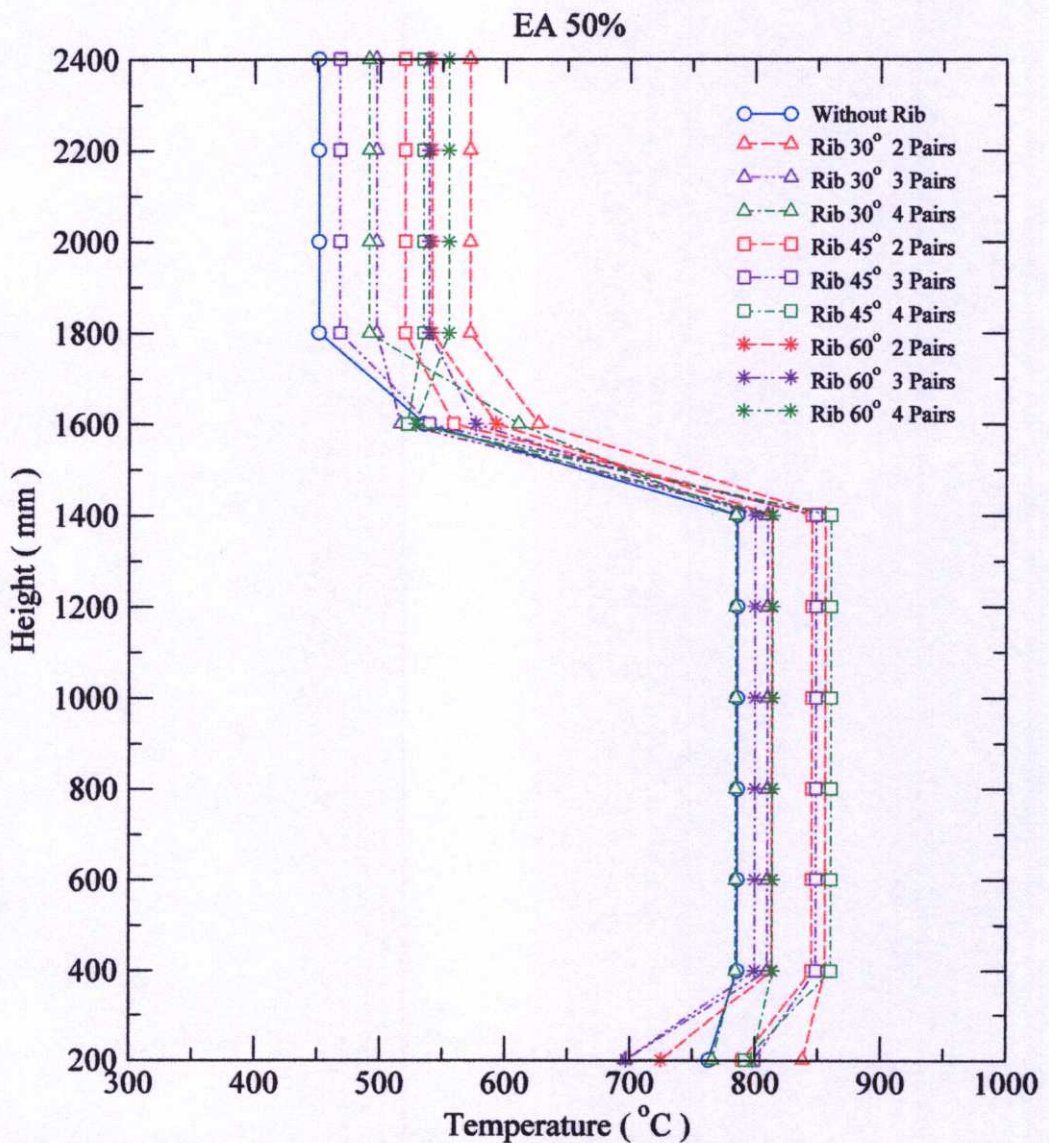


รูปที่ ง.1 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50 %

กราฟที่แสดงเป็นค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% ซึ่งจะทำให้การจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องผสม
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ (กรณีการติดตั้งครีบบจะทำการเฉลี่ยส่วนห้องเผาไหม้เป็นค่าเฉลี่ยเหมือนกับกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบ)
- บริเวณส่วนขยายฟรียบอร์ด
- บริเวณส่วนฟรียบอร์ด

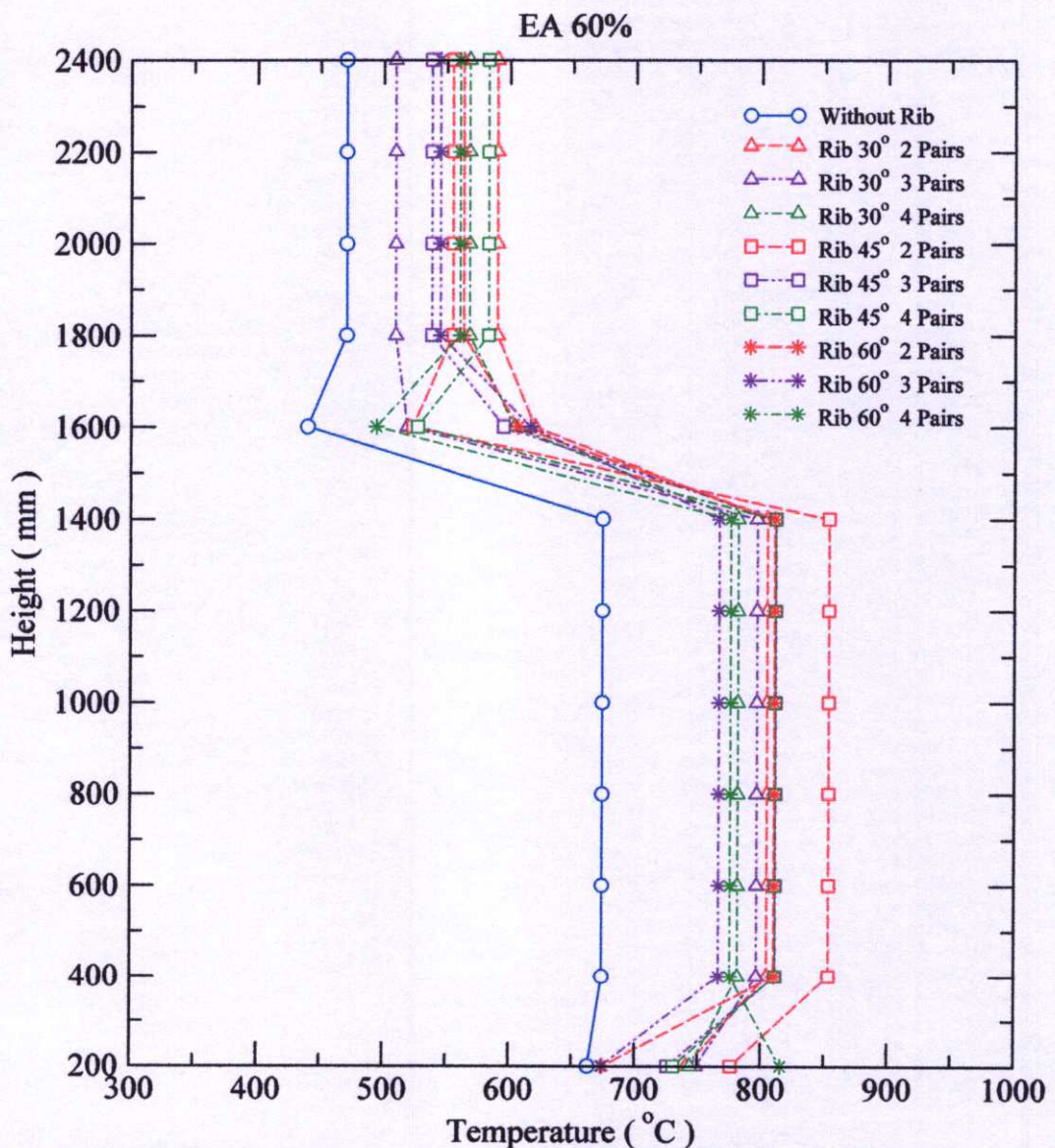


รูปที่ ง.2 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60 %

กราฟที่แสดงเป็นค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60% ซึ่งจะทำให้การจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องผสม
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ (กรณีการติดตั้งครีบบจะทำการเฉลี่ยส่วนห้องเผาไหม้เป็นค่าเฉลี่ยเหมือนกับกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบบ)
- บริเวณส่วนขยายฟรียบอร์ด
- บริเวณส่วนฟรียบอร์ด

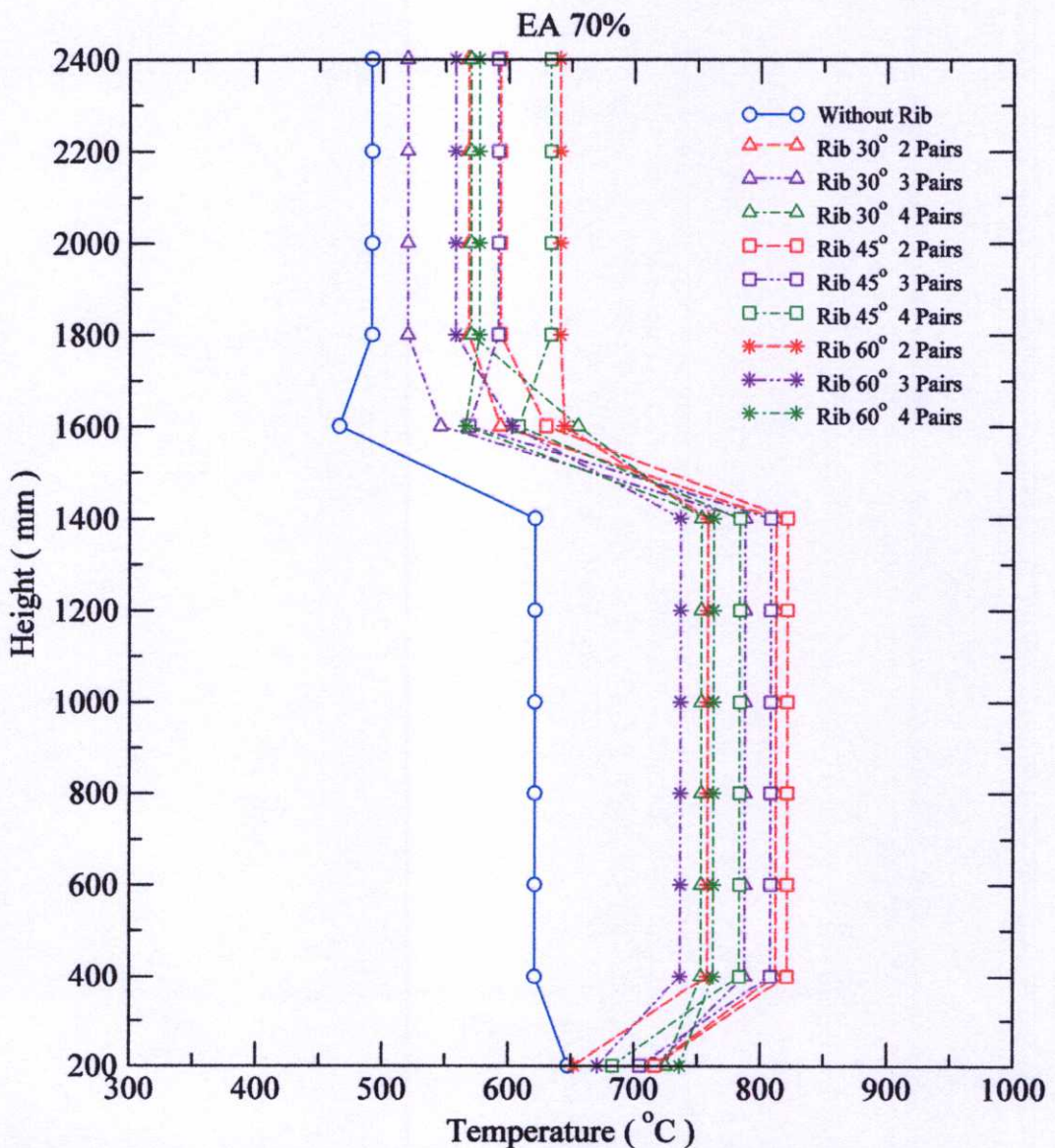


รูปที่ ๓.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 60%

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70 %

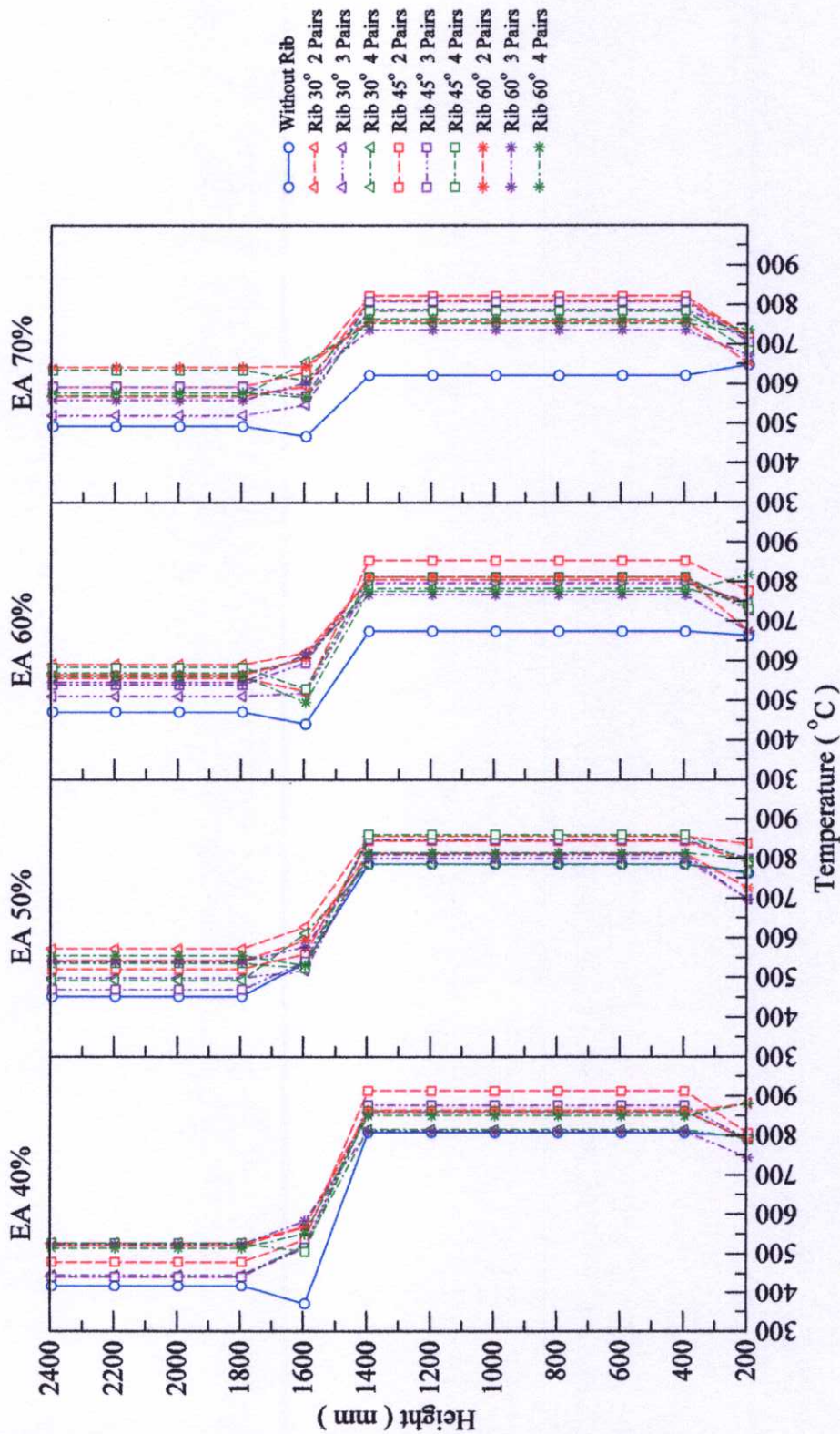
กราฟที่แสดงเป็นค่าระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบทุกกรณีที่ทำการศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70% ซึ่งจะทำให้การจะเฉลี่ยค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

- บริเวณส่วนห้องผสม
- บริเวณส่วนห้องเผาไหม้ (กรณีการติดตั้งครีบจะทำการเฉลี่ยส่วนห้องเผาไหม้เป็นค่าเดียวเหมือนกับกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบ)
- บริเวณส่วนขยายฟรียบอร์ด
- บริเวณส่วนฟรียบอร์ด



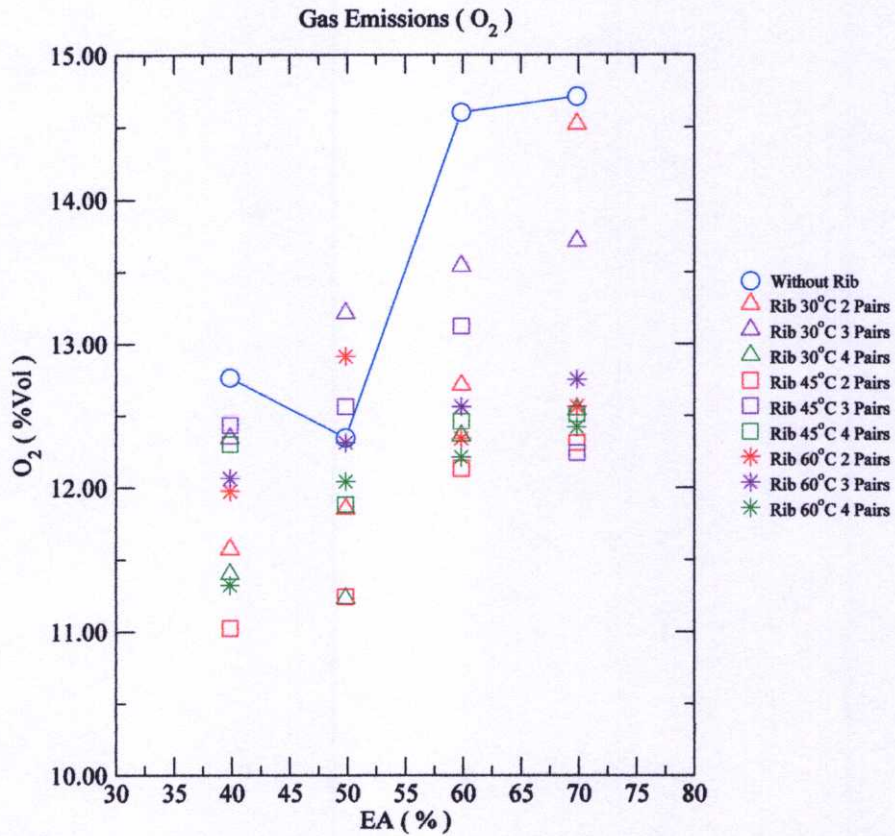
รูปที่ ๔.๔ การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสำหรับทุกกรณีศึกษาที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

ปริมาณก๊าซออกซิเจน

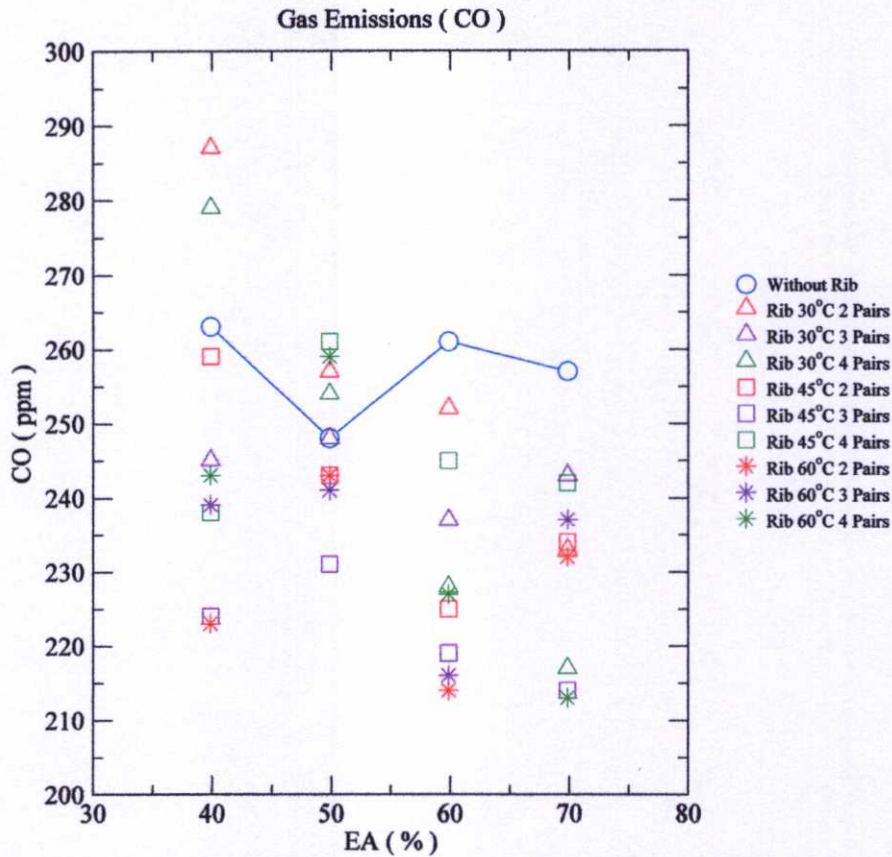


รูปที่ ง.6 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ง.1 ปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีป		ปริมาณก๊าซออกซิเจน (%Vol)			
ลักษณะมุมครีป	จำนวนครีป (คู่)	EA 40%	EA 50%	EA 60%	EA 70%
Without Rib		12.76	12.34	14.60	14.71
30°	2	11.57	11.85	12.71	14.52
	3	12.34	13.21	13.54	13.71
	4	11.40	11.23	12.36	12.54
45°	2	11.02	11.24	12.13	12.31
	3	12.43	12.56	13.12	12.24
	4	12.30	11.88	12.46	12.51
60°	2	11.97	12.91	12.34	12.56
	3	12.06	12.31	12.56	12.75
	4	11.32	12.04	12.21	12.42

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

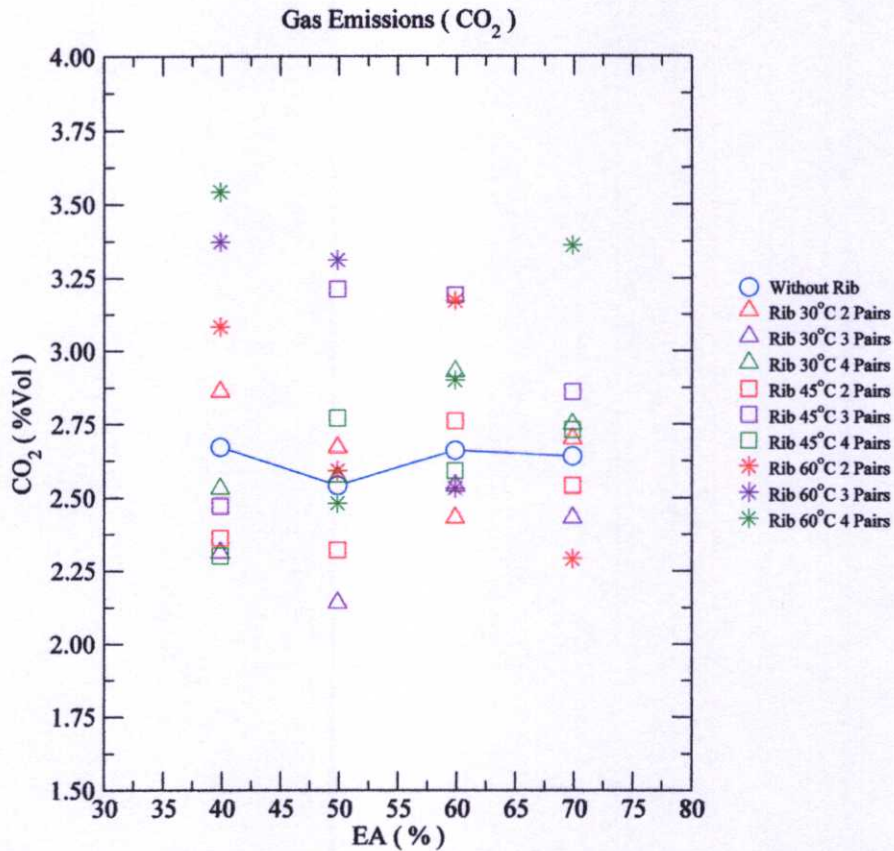


รูปที่ ๖.๗ การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๖.๒ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีป		ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (%Vol)			
จำนวนครีป (คู่)	ลักษณะมุมครีป	EA 40%	EA 50%	EA 60%	EA 70%
Without Rib		263	248	261	257
30°	2	287	257	252	233
	3	245	248	237	243
	4	279	254	228	217
45°	2	259	243	225	234
	3	224	231	219	214
	4	238	261	245	242
60°	2	223	243	214	232
	3	239	241	216	237
	4	243	259	227	213

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

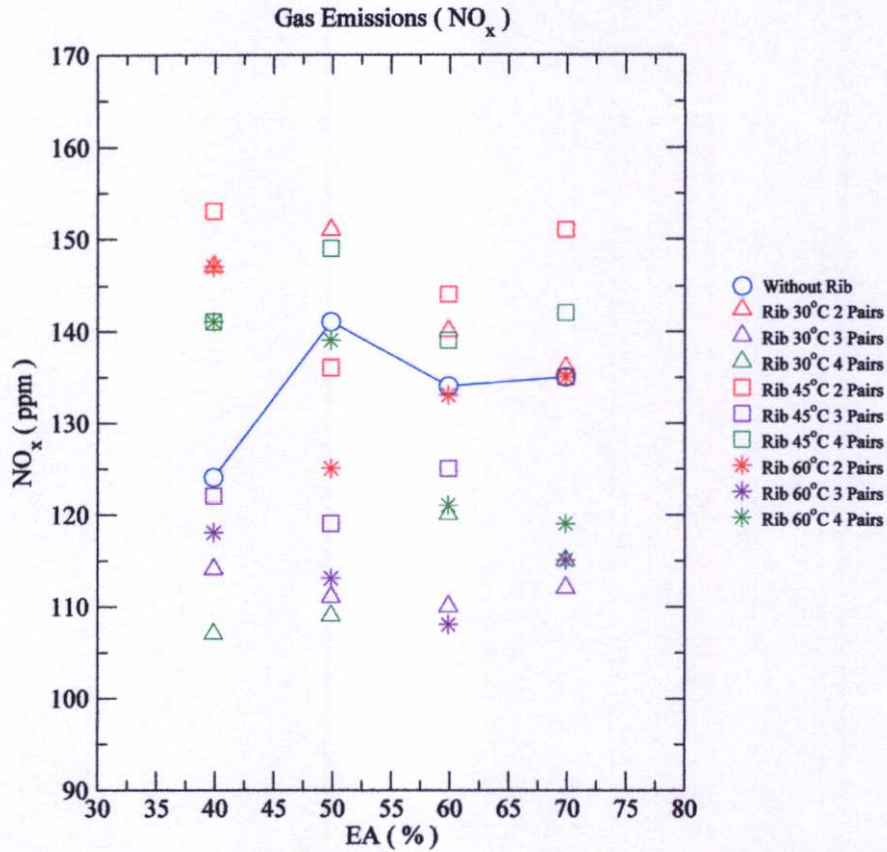


รูปที่ ๘.๘ การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๘.๓ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีป		ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%Vol)			
จำนวนครีป (คู่)	ลักษณะมุมครีป	EA 40%	EA 50%	EA 60%	EA 70%
Without Rib		2.67	2.54	2.66	2.64
30°	2	2.86	2.67	2.43	2.70
	3	2.31	2.14	2.54	2.43
	4	2.53	2.57	2.93	2.75
45°	2	2.36	2.32	2.76	2.54
	3	2.47	3.21	3.19	2.86
	4	2.30	2.77	2.59	2.73
60°	2	3.08	2.59	3.17	2.29
	3	3.37	3.31	2.53	3.36
	4	3.54	2.48	2.90	3.36

ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์

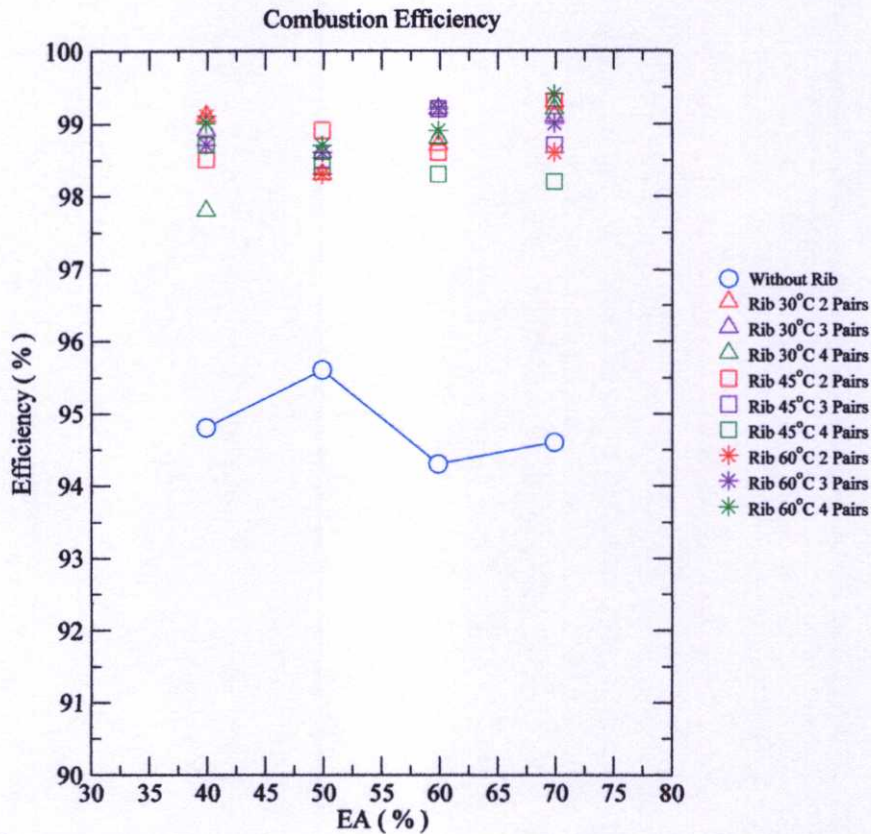


รูปที่ ๓.๙ การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๓.๔ ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีป		ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (%Vol)			
จำนวนครีป (คู่)	ลักษณะมุมครีป	EA 40%	EA 50%	EA 60%	EA 70%
Without Rib		124	141	134	135
30°	2	147	151	140	136
	3	114	111	110	112
	4	107	109	120	115
45°	2	153	136	144	151
	3	122	119	125	135
	4	141	149	139	142
60°	2	147	125	133	135
	3	118	113	108	115
	4	141	131	121	119

ประสิทธิภาพการเผาไหม้



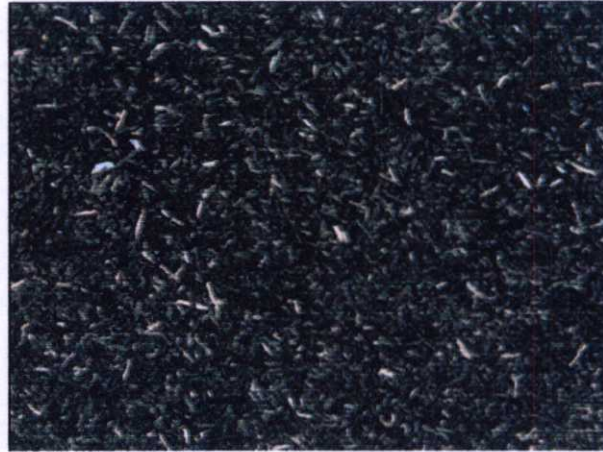
รูปที่ ๖.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ ๖.5 ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากการวัดค่าสำหรับทุกกรณีศึกษา

ลักษณะการติดตั้งครีบ		ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)			
จำนวนครีบ (คู่)	ลักษณะมุมครีบ	EA 40%	EA 50%	EA 60%	EA 70%
Without Rib		94.8	95.6	94.3	94.6
30°	2	99.1	98.3	98.7	99.3
	3	98.9	98.6	99.2	99.1
	4	97.8	98.6	98.8	99.2
45°	2	98.5	98.9	98.6	99.3
	3	98.7	98.5	99.2	98.7
	4	98.7	98.4	98.3	98.2
60°	2	99.1	98.3	99.2	98.6
	3	98.7	98.6	99.2	99.0
	4	99.0	98.7	98.9	99.4

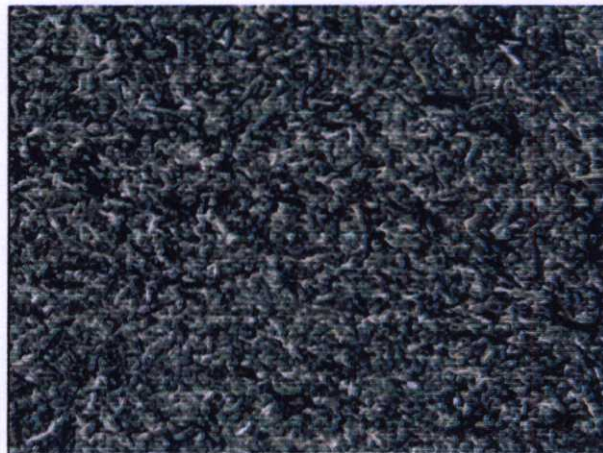
ลักษณะเถ้าที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้

กรณี เตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด



รูปที่ ง.11 ลักษณะเถ้าจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 50%

กรณี เตาเผาที่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำสุด



รูปที่ ง.12 ลักษณะเถ้าจากกรณีศึกษาเตาเผาที่ติดตั้งครีบนุม 30° จำนวน 4 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%

กรณี เต่าเผาที่มีการติดตั้งครีบบนซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด



รูปที่ ง.13 ลักษณะเต่าจากกรณีศึกษาเต่าเผาที่ติดตั้งครีบบน 30° จำนวน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%



รูปที่ ง.14 ลักษณะเต่าจากกรณีศึกษาเต่าเผาที่ติดตั้งครีบบน 45° จำนวน 2 คู่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 70%

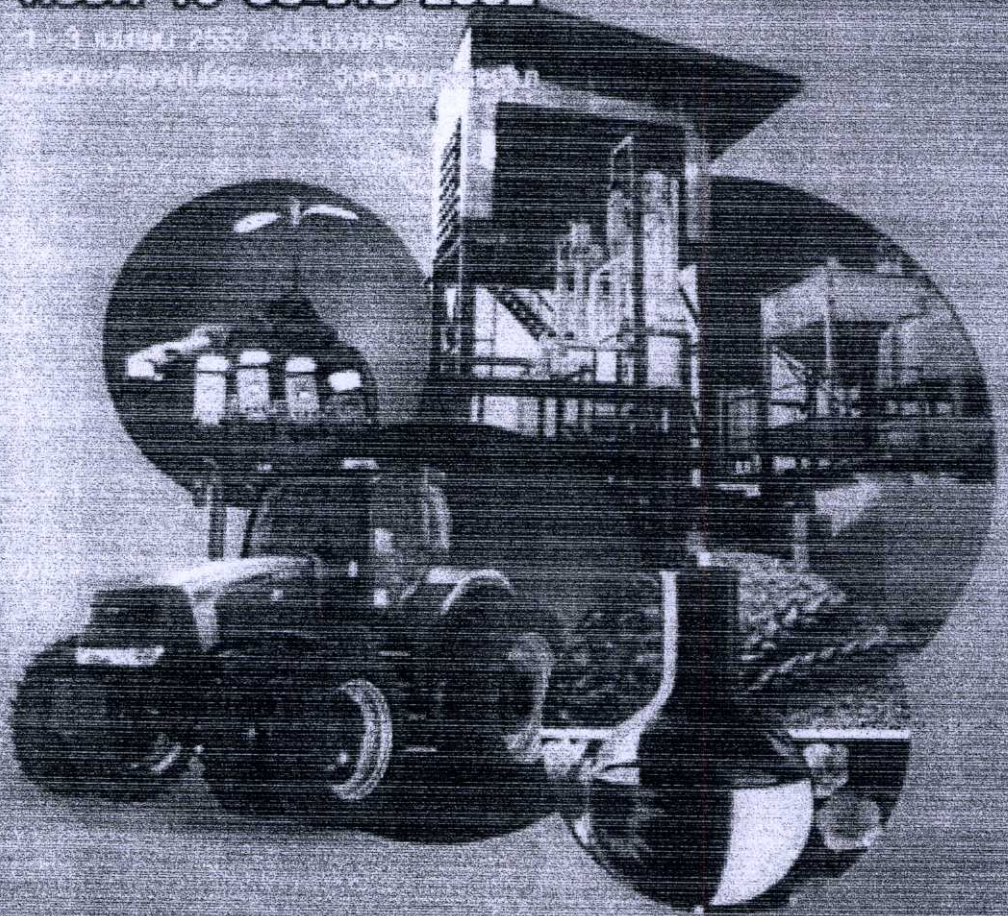
ภาคผนวก จ
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์



การประชุมนวัตกรรมหลากหลายอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

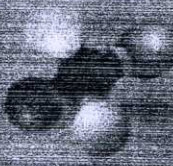
ครั้งที่ 10 ประจำปี 2552

1-3 มีนาคม 2552 โรงแรม
อิมพีเรียลปาร์ค กรุงเทพมหานคร



นวัตกรรม

การผลิตทางเกษตร อากาศ เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อมนุษยชาติ
Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Production for Mankind





การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม COMBUSTION OF RICE HUSK IN A RECTRAGULAR FLUIDIZED-BED

สุริยา โชคเพิ่มพูน¹ ชินารุก ธีรพงษ์² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์

Suriya Chokphoemphun¹ Chinaruk Thianpong² and Pongjet Promvong²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาทดลองถึงลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมใน 2 กรณี คือห้องเผาไหม้แบบผิวเรียบและแบบผิวคลื่น โดยทำการรักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบให้คงที่ที่ 8.5 kg/hr และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณร้อยละของอากาศส่วนเกินจำนวน 5 ค่าตั้งแต่ 50%-70% (ปริมาณการไหลเชิงมวลของอากาศเข้าสู่ระบบเป็น 65-79 kg/hr) ในการทดลองจะทำการวัดเฉพาะการกระจายตัวของอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามแนวแกนและแนวระดับเท่านั้น จากผลการทดลองพบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนและแนวรัศมีในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ชนิดคลื่นนั้นมีเสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดีกว่าและให้ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ผิวเรียบ และพบว่าค่าอุณหภูมิที่ทางออกที่เกิดขึ้นของทั้งกรณีที่ไม่มีการติดครีบและมีการติดครีบโดยประมาณเป็น 580°C และ 650°C ตามลำดับ

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงแกลบ เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด การเผาไหม้

ABSTRACT

The paper presents an experimental study on combustion characteristics of rice husk in rectangular shaped fluidized-bed combustor. The experiments were made in 2 types of the bed: the conventional fluidized bed and the bed with wavy surface at combustion chamber. Measurements are made by setting a constant mass flow rate of rice husk fuel at 8.5 kg/hr and by varying five different percent excess airs between 50-70% (mass flow rate of supplied air between 65-79 kg/hr). In the experiments, the temperature distributions inside the bed were measured at selected locations only. From experiment results, the temperature distributions inside the bed in the case of bed with wavy surface are found to be more stable than the conventional fluidized bed case and maximum flue gas temperatures in the conventional fluidized bed and the bed with wavy surface are seen to be about 580°C and 650°C respectively.

Keywords: Rice husk; Fluidized-bed combustor; Combustion

บทนำ

เนื่องจากความต้องการในการใช้พลังงานในปัจจุบันนี้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและประกอบกับแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ คือ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่มีอยู่ตามแหล่งต่างๆตามธรรมชาติมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนพลังงานจึงเกิดความคิดริเริ่มในการที่จะหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่ขึ้นเป็นพลังงานทางเลือกเพื่อมาทดแทนแหล่งพลังงานที่มีใช้อยู่เดิม โดยที่แหล่งพลังงานแหล่งใหม่ที่

น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น ควรจะเป็นแหล่งพลังงานที่หามาได้ง่าย ก่อนมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อย สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นไปที่พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นผลผลิตจากการเกษตร โดยได้มุ่งเน้นไปที่เชื้อเพลิงแกลบ

แกลบ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มด้านนอกของเมล็ดข้าวโดยเฉลี่ยแล้วพบว่าร้อยละ 20 ของผลผลิตข้าวเปลือกคือแกลบประมาณได้ว่าในแต่ละปีมีข้าวเปลือกจากทั่วโลกมากกว่า 80 ล้านตันเฉพาะที่ประเทศไทยมีโรงสีข้าวประมาณ 40,000

¹ Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

โรง และมีแกลบที่ได้จากการสี 4.4-4.6 ล้านตันต่อปี คุณลักษณะเด่นของแกลบ คือ มีความร้อนจำเพาะ 16.3 MJ/kg ประกอบด้วยสารระเหย 74% และซีเ็ก้า 12.8% จากคุณสมบัตินี้แสดงให้เห็นว่าแกลบจะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีได้ซึ่งคิดเป็นค่าความร้อนเทียบเท่ากับปริมาณน้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน

จากการศึกษาพบว่าได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ต้องการใช้แกลบแกลบมาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน โดยใช้เตาเผาประเภทต่าง อาทิเช่น เตาเผาไซโคลน, เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด, เตาเผาออร์เทคเป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจกับเทคโนโลยีเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ตลอดเวลาโดยเริ่มจากเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้แบบทรงกระบอกผิวเรียบขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ต่อมาได้มีการติดครีบบนห้องเผาไหม้เพื่อลดขนาดของเตาเผาให้เล็กลง แต่พบว่าเตารูปทรงกระบอกนั้นยากต่อการนำไปสร้างเพื่อประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมขึ้น และทำการศึกษาดังการกระจายของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ทั้งแบบห้องเผาไหม้ผิวเรียบและผิวคลื่น

วัตถุประสงค์

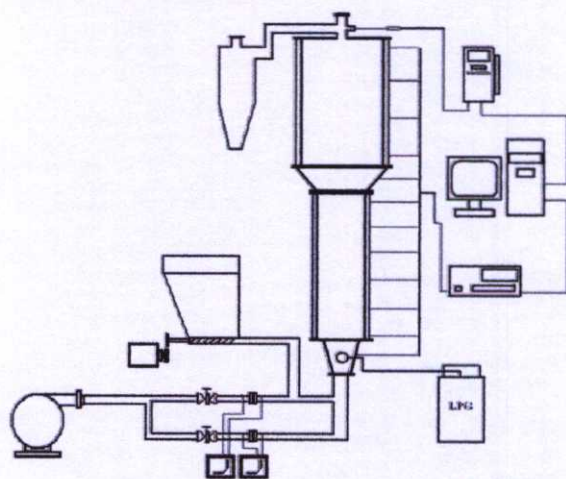
ทำการศึกษาและพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ภายในห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ รวมถึงอิทธิพลของผิวคลื่นที่มีต่อลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาเฉพาะการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตาเท่านั้น

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายในห้องเผาไหม้ที่เป็นผิวเรียบ
2. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายในห้องเผาไหม้ที่ติดผิวคลื่น
3. เชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (ประมาณ 2 mm. x 8 mm.)
4. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 8.5 kg/hr อัตราการไหลของอากาศอยู่ระหว่าง 65-79 kg/hr คิดเป็นปริมาณอากาศเท่ากับ 40%-70%
5. ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ให้มีค่าไม่เกิน 1000°C

อุปกรณ์การทดลอง

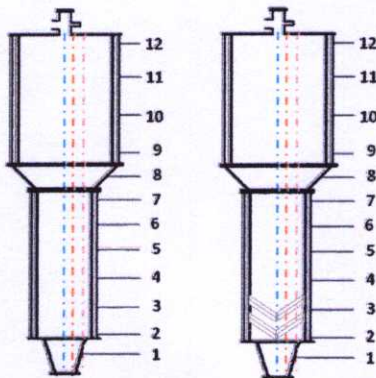
เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความสูงทั้งสิ้น 2400 mm แบ่งเป็นส่วนห้องผสมสูง 300 mm ห้องเผาไหม้สูง 1100 mm ซึ่งมีพื้นที่ตัดขวางเป็น 300x100 mm² ส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง 150 mm และส่วนของฟริบอรัลมีความสูง 850 mm ซึ่งมีพื้นที่ตัดขวางเป็น 600x200 mm² และภายนอกเตาเผาทั้งหมดทำการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ ในการทดลองจะทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาตามแนวระดับ ณ ผนังด้านข้างของเตาเผาจำนวนทั้ง 12 จุด และ ณ ตำแหน่งตามแนวแกนที่กำหนดไว้ 3 ซึ่งตำแหน่งของการติดตั้งทั้งสองกรณีจะทำการติดตั้งครีบทันแรกที่บริเวณตำแหน่งวัดค่าอุณหภูมิจุดที่สองและครีบทันที่สองติดตั้งระยะจากครีบทันแรกขึ้นไป 50 mm. การติดตั้งชุดทดลองเริ่มจากแหล่งจ่ายลมคือ Blower ซึ่งลมจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเป็นลมที่ใช้สำหรับพองแกลบภายในห้องเผาไหม้ซึ่งมีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลมและอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยปริมาณอากาศทั้งสองจะควบคุมด้วยวาล์ว โดยทำการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice จาก Manometer ส่วนเชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper โดย Screw Feeder ซึ่งควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงด้วย Motor และ Inverter ต่อจากนั้นจะเป็นตัวเตาเผาที่ทำการหุ้มฉนวนและที่ทางออกเตาเผาจะมีไซโคลนสำหรับดักอนุภาคซีเ็ก้าลอย มีชุดหัวเผาและก๊าซ LPG สำหรับอุ่นเตาเผา ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดภายในเตา



ภาพที่ 1 แผนผังชุดอุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล

1. ทำการอุ่นเตา โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตา ณ ตำแหน่งห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเริ่มป้อนเชื้อเพลิงแก๊สเข้าสู่ห้องเผาไหม้พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ $800^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก
2. ปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงกลับเท่ากับ 8.5 kg/hr อัตราการไหลของอากาศ 65 kg/hr (ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%)
3. สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งหากพบว่ามีเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงบันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวระดับ (ตามตำแหน่งความสูง) จำนวน 12 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิสังเกตลักษณะซี้เถ้าและวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
4. ทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวแกนที่กำหนดไว้ตำแหน่งที่ 2 ทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3 จากนั้นทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลตามตำแหน่งในแนวแกนไปตำแหน่งที่ 3 ทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3 ตามลำดับ
5. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 70, 74 และ 79 kg/hr (ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ) แล้วทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 3-4 ตามลำดับ
6. ติดตั้งครีบบนในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด จากนั้นทำตามขั้นตอนการทดลองในข้อ 1-5 ตามลำดับ

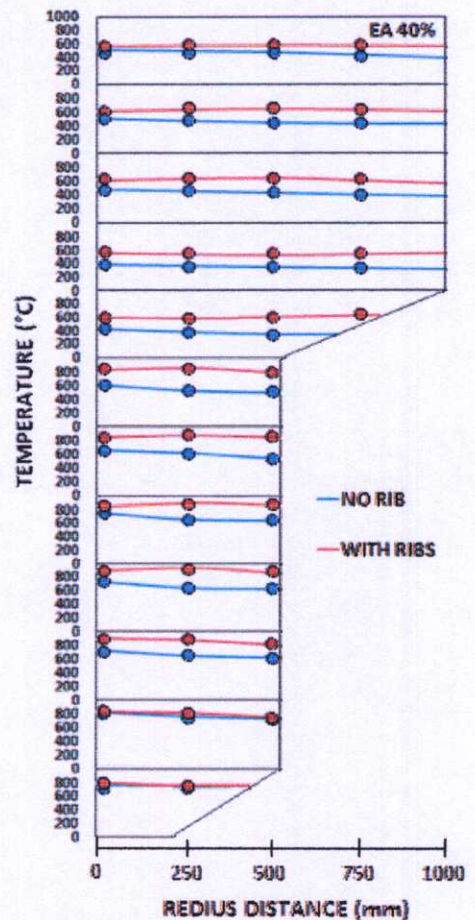


ภาพที่ 2 ตำแหน่งการเก็บค่าอุณหภูมิ

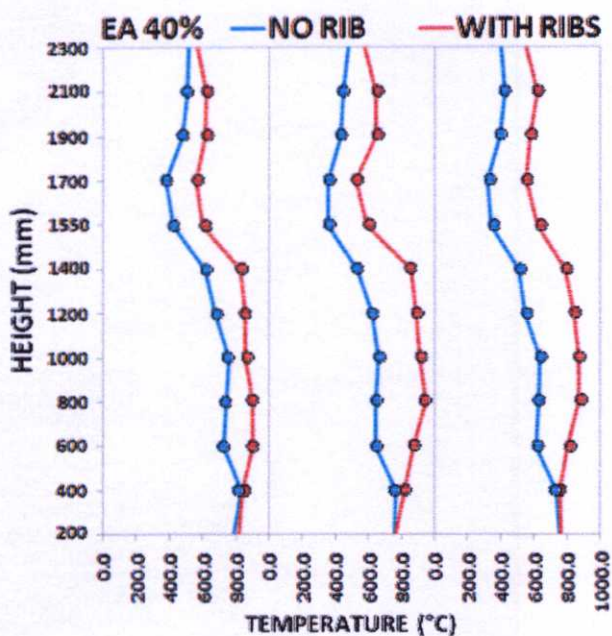
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลของลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาเฉพาะการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ภายในเตาตามแนวแกนและแนวระดับ พบว่ากรณีเตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีบบั้ให้ค่าอุณหภูมิแก๊สร้อนสูงสุดประมาณ 580°C และกรณีทีติดตั้งครีบบั้ให้ค่าสูงสุดประมาณ 650°C

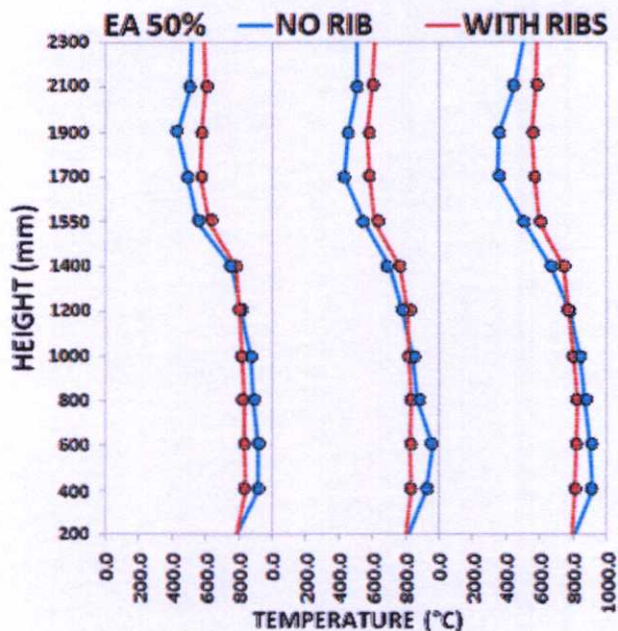
โดยภาพรวมแล้วการเผาไหม้ในกรณีที่มีการติดตั้งครีบบั้ให้ค่าอุณหภูมิในระดับที่สูงกว่ากรณีทีห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการทดลองทีค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน 40 และ 70% เมื่อพิจารณาถึงความเสถียรของอุณหภูมิพบว่ากรณีทีมีการติดตั้งครีบบั้จะมีความเสถียรมากกว่าเช่นกันซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการทดลองทีค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน 50% และ 60% จากการศึกษาผลการทดลองทีเกิดขึ้นนั้นทำให้เห็นถึงของอิทธิของครีบบั้ทีทำการติดตั้งว่าสามารถให้ค่าอุณหภูมิโดยรวมภายในเตาเผาทีสูงขึ้นกว่าเตาผิวเรียบทั่วไปรวมทั้งให้อุณหภูมิทีมีความเสถียรทีดีกว่า ทั้งยังขึ้นอยู่กับค่าปริมาณอากาศส่วนเกินทีใช้สำหรับเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดในแต่ละกรณีด้วย โดยผลของการทดลองทีเกิดได้แสดงในรูปต่อไป



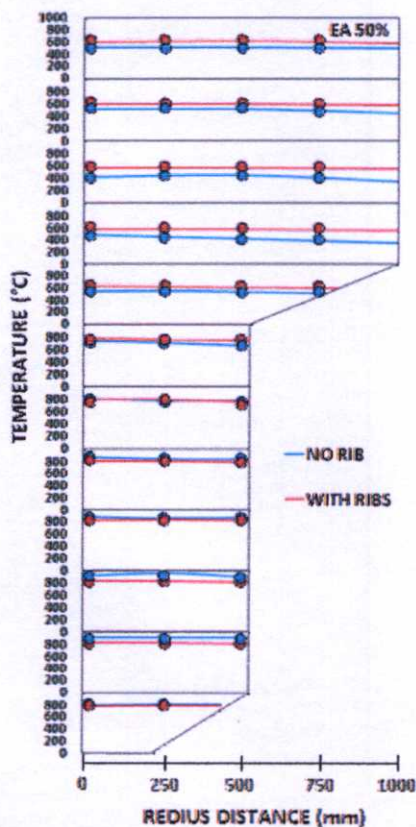
ภาพที่ 3 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับทีปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%



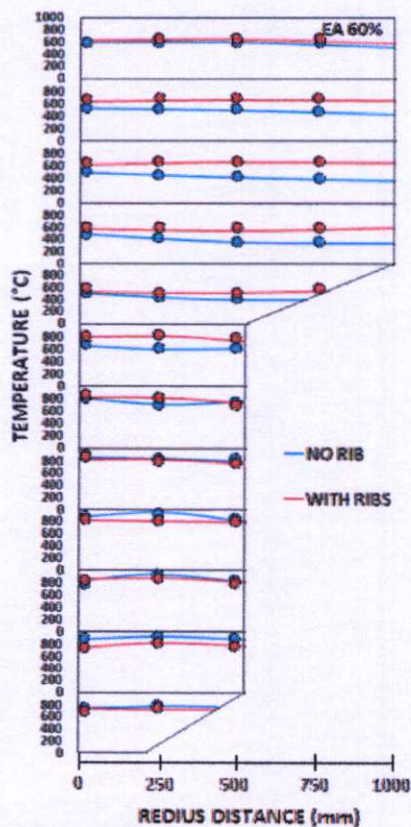
ภาพที่ 4 การกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%



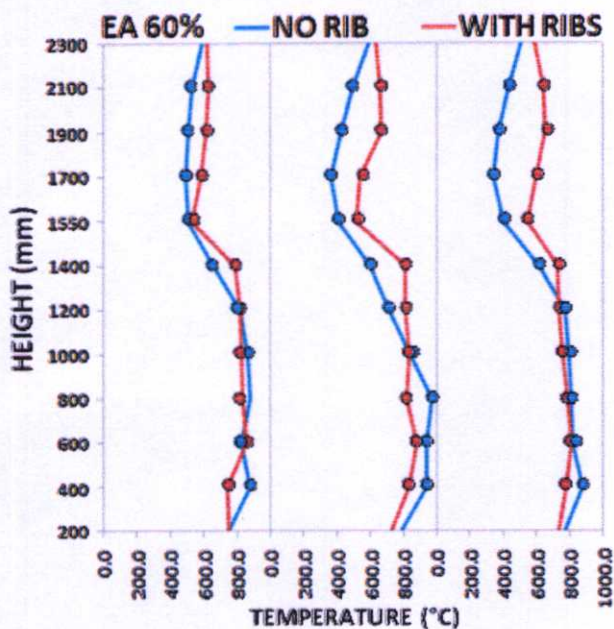
ภาพที่ 6 การกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%



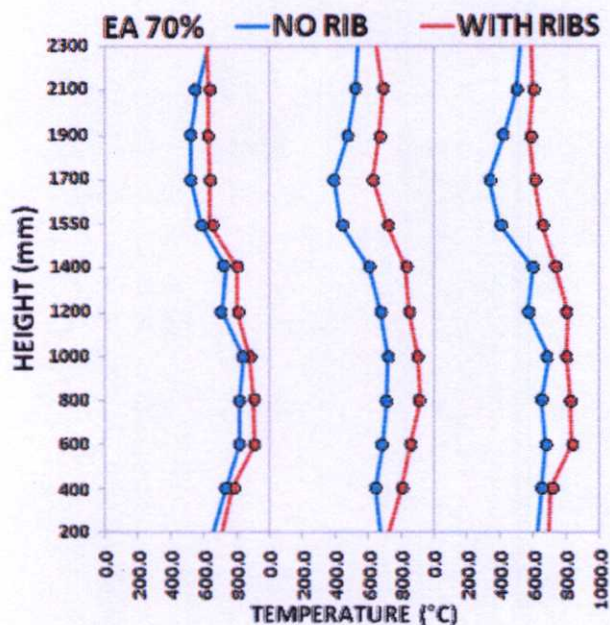
ภาพที่ 5 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%



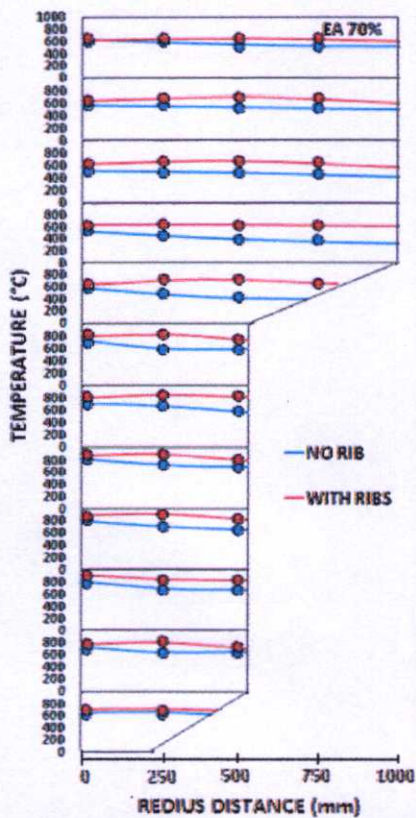
ภาพที่ 7 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%



ภาพที่ 8 การกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%



ภาพที่ 10 การกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%



ภาพที่ 9 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอดีส์เบดที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมรวมทั้งอิทธิพลของการติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้ จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้นั้นมีอิทธิพลต่อลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผา ซึ่งจะให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าและมีเสถียรภาพของอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีเตาเผาที่ห้องเผาไหม้เป็นผิวเรียบ โดยทั้งระดับและความเสถียรของอุณหภูมินั้นนอกจากจะขึ้นกับลักษณะภายในห้องเผาไหม้แล้วยังพบว่าจะขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่ใช้ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ด้วยซึ่งจะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงๆหนึ่งเท่านั้น สำหรับการทดลองนี้คือปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 50% เนื่องจากให้อุณหภูมิในระดับที่สูงและมีความเสถียรที่ทั้ง 2 กรณีที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- วิศิษฐ์ ลีลาผาติกุล. 2545. เตาเผาแกลบเวอร์เทคหลายชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศศิวิมล สูงสว่าง. 2525. การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไอดีส์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เสีรีย์ ตู้ประกาย. 2540. การศึกษาและออกแบบเตาเผากาก
ตระกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศา
ศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำเร็จ จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Parmchart, W., V.I. Kouprianov and L. Tantimuratha.
2003. Experimental study on a conical fluidized
bed Combustor firing rice husk. The Second
Regional Conference on Energy Technology
Towards a Clean Enviroment, 12 - 14 February,
Phuket, Thailand.
- Natarajan, E., A. Nordin and A.N. Rao. 1998. Overview
of combustion and gasification of rice husk in
fluidized bed reactor. *Biomass Bioenergy*, 14:533-
546.
- Stephen, R. and Turns, 1996. *An Introduction to
Combustion (Concepts and Applications)*. McGraw
Hill International Editions.
- Nieh, S., G. Yang, A.Q. Zhu and C.S. Zhao. 1992.
Measurements of gas-particle flows and elutriation
of an 18 inch i.d. cold Vartexing fluidized-bed
combustion mode. *Powder Technology*, 69:139-
146.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายสุรียา โชคเพิ่มพูน
วัน เดือน ปีเกิด	26 สิงหาคม 2527 ที่บุรีรัมย์
ที่อยู่	201 ถ.ประดิษฐ์ปานะ ต.นางรอง อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์ 31110 โทร 044 - 631662
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2546 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2550 เข้าศึกษาระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. “การพัฒนาเตาเผาแกลบบลูอิโคซ์ที่มีครีบสามเหลี่ยม”. *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น*
2. “พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบบในเตาเผาฟลูอิโคซ์เบดผิวคลื่น” *การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 7, เชียงใหม่*
3. “Rice Husk Combustor Behavior in a Fluidized Wavy Surfaced Bed”. *5th International Conference on “Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i-CIPEC 2008)” Chiang Mai, Thailand*
4. “อิทธิพลของรูปทรงห้องเผาไหม้ฟลูอิโคซ์เบดที่มีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบบ” *การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 8, เชียงราย*
5. “การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบบในเตาเผาฟลูอิโคซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยม”. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา*