

พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดิซ์เบด
ที่มีครีบริบตัววีแยกตัว
RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIOURS IN A FLUIDIZED BED WITH
V-SHAPED DISCRETE RIBS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-030-026

พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไชด์เบด
ที่มีครีบริบตัววีแยกตัว
RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIOURS IN A FLUIDIZED BED WITH
V-SHAPED DISCRETE RIBS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556
KMUTL-2013-EN-M-030-026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIOURS IN A FLUIDIZED BED WITH
V - SHAPED DISCRETE RIBS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

KMITL-2013-EN-M-030-026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พหุติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่มีครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว
Thesis Title Rice Husk Combustion Behaviours in a Fluidized Bed with V-shaped Discrete Ribs
นักศึกษา นายภัทรพันธุ์ ทองยศ
รหัสประจำตัว 54610807
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-030-026

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชินรัชช์	เจียรพงษ์	
ผศ.ดร.สุตาภัทร	แคว้นเขาเม็ง	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์

เบดที่มีครีบริบตัววีแบบแยกตัว

นักศึกษา

นายภัทรพันธุ์ ทองยศ

รหัสประจำตัว

54610807

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอถึงผลของการกระจายอุณหภูมิและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในการทดลองทำการปรับเปลี่ยนลักษณะห้องเผาไหม้หลากหลายรูปแบบได้แก่ ห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบริบ และห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบตัววีคือว่า แบบแยกตัวที่มุมปะทะการไหล (30° , 45° and 60°) และระยะห่างของครีบริบ (0.5H, 1.0H and 1.5H) ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 4.6, 5.1 และ 5.9 กิโลกรัม/ชั่วโมง และปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ 44.3, 51.6 และ 59.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ การวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิจะเลือกวัดตามตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวความสูงของเตาเผาทั้งหมด 11 ตำแหน่ง แก๊สไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้จะวัดค่าที่บริเวณทางออกของไซโคลน จากการศึกษาทดลอง พบว่าห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบจะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงและเสถียรมากกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบริบ กรณีติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัว มุม 45° ให้ค่าอุณหภูมิและประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ที่ 960°C และ 98% ตามลำดับ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 88% ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และกลุ่มแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่พบมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานการเผาไหม้ชีวมวล แนวโน้มของประสิทธิภาพการเผาไหม้จะสูงขึ้นเมื่อระยะห่างของครีบริบมีค่าลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 85-98% โดยขึ้นอยู่กับ ปริมาณอากาศส่วนเกิน, ระยะห่างของครีบริบ, มุมปะทะและลักษณะของการจัดวางครีบริบ

Thesis Title	Rice husk combustion behaviours in a fluidized bed with V-shaped discrete ribs
Student	Mr. Pattarapan Tongyote.
Student ID.	54610807
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

This research presents the temperature distribution and combustion characteristics of a fluidized rice-husk square-bed. The experiments were conducted in various types of the beds having ribs mounted on two opposite walls, namely, the bed without rib, bed with V-shaped discrete ribs and Λ -shaped discrete ribs with three different attack angles, (30° , 45° and 60°) and pitch lengths (0.5H, 1.0H and 1.5H). Three feeding rates of rice husk at 4.6, 5.1 and 5.9 kg/hr were introduced for which airflow rates were adjusted to be 44.3, 51.6 and 59.8 kg/hr. The temperature distributions were measured at 11 selected locations along the combustor height. Combustion emissions and efficiencies from its flue gases were measured and observed at the exit of the cyclone flyash collector. The experimental results indicate that the bed with ribs provides more stable temperature or combustion than the one with no rib, apart from higher combustion temperature. The bed with 45° V-shaped discrete ribs yields the maximum combustion temperature and efficiency of about 960°C and 98%, respectively at excess air of 88%. CO and NO_x emissions are found to be much lower than the standard of biomass combustions. The combustion efficiency tends to increase with the reduction of rib pitch length and is around 85-98% depending on the excess air, rib pitch, attack angle and rib arrangement.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จักสำเร็จลุล่วงมิได้หากขาดความอนุเคราะห์ความช่วยเหลือ คำแนะนำที่ดี และกำลังใจต่างๆ ระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัย จากบุคคลอันเป็นที่เคารพทั้งหลาย ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ คำปรึกษา และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในการจัดทำเล่ม วิทยานิพนธ์

บูรพาจารย์ ทุกท่านผู้ซึ่งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

รุ่นพี่, รุ่นน้องและเพื่อนร่วมแล็บเทอร์โมฟลูอิดส์ระดับปริญญาเอก, ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่จุดประกาย แนวคิดและให้คำปรึกษา ตลอดจนลงมือลงแรงช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

เพื่อนร่วมงานทดลองห้องปฏิบัติการที่ช่วยกันลงทุนลงแรง ร่วมทุกข์ร่วมสุขตากแดดตากฝน สร้างชุดทดลอง ช่วยเหลือกันทดลอง ตลอดจนให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยแก่ข้าพเจ้าในทุกๆ เรื่อง

สุดท้ายนี้ ยังมีบุคคลที่มีพระคุณแก่ข้าพเจ้า ได้แก่ บิดา มารดา บุคคลในครอบครัว ผู้ซึ่งคอย ให้การสนับสนุนและคอยกำลังใจตลอดมา

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้า ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

ภัทรพันธุ์ ทองยศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 แนวคิดงานวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	6
2.1 บทนำ	6
2.2 งานวิจัยต่างประเทศ	6
2.3 งานวิจัยภายในประเทศ	11
บทที่ 3 ทฤษฎี	19
3.1 เชื้อเพลิง	19
3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง	19
3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง	19
3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล	20
3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล	20
3.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล	20
3.2.3 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล	20
3.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล	21
3.3 การเผาไหม้	21
3.3.1 นิยามการเผาไหม้	21
3.3.2 สภาวะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้.....	22
3.3.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....	22
3.3.5 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก	24
3.3.6 การคำนวณการเผาไหม้	24
3.3.7 กระบวนการการเผาไหม้.....	24
3.3.8 อากาศส่วนเกิน	24
3.3.9 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้.....	25
3.3.10 องค์ประกอบในการเผาไหม้มีอยู่ 4 องค์ประกอบ.....	25
3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	26
3.4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....	26
3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล	27
3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	29
3.4.4 แบบจำลอง Unreached core	29
3.5 ฟลูอิดไดซ์เซชัน	30
3.5.1 ประเภทของฟลูอิดไดซ์เซชัน	30
3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด	31
3.5.3 แผ่นกระจายของไหล	32
3.5.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำฟลูอิดไดซ์เซชัน	34
3.5.5 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด.....	34
3.5.6 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด	35
3.6 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ	37
3.7 มลพิษและการควบคุม	38
3.7.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO).....	38
3.7.2 แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x).....	38
3.7.3 แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO _x).....	38
3.7.4 อนุภาคของเถ้า	39
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	40
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง	40
4.1.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนฟลูอิดไดซ์เบด.....	40
4.1.2 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคเถ้าลอย.....	41
4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศ.....	42
4.1.4 ชุดอุปกรณ์การป้อนเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน	43
4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับการอุ่นเตา.....	44
4.1.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การติดตั้งและการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	45
4.3 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล.....	48
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	50
5.1 กล่าวนำ.....	50
5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	50
5.3 ปริมาณแก๊สไอเสีย.....	62
5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	66
5.5 ลักษณะเถ้าที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้.....	66
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	68
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	77
ภาคผนวก ค.....	79
ภาคผนวก ง.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ VI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	23
3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ.....	28
5.1 ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%) ที่จ่ายเข้าสู่เตาเผาฟลูอิดไชน์เบ.....	50
5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีไม่มีการติดตั้งครีบ.....	51
5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 30° P = 0.5H.....	51
5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30° P = 0.5H.....	52
5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 30° P = 1.0H.....	52
5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30° P = 1.0H.....	52
5.7 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 30° P = 1.5H.....	53
5.8 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30° P = 1.5H.....	53
5.9 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 45° P = 0.5H.....	53
5.10 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 45° P = 0.5H.....	54
5.11 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 45° P = 1.0H.....	54
5.12 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 45° P = 1.0H.....	54
5.13 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 45° P = 1.5H.....	55
5.14 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 45° P = 1.5H.....	55
5.15 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 60° P = 0.5H.....	55
5.16 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 60° P = 0.5H.....	56
5.17 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 60° P = 1.0H.....	56
5.18 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 60° P = 1.0H.....	56
5.19 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 60° P = 1.5H.....	57
5.20 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 60° P = 1.5H.....	57
ก.1 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก.....	75
ก.2 ปริมาณการใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 – 2552.....	75
ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552.....	76
ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	78
ค.1 ค่าจำนวนโมลของเชื้อเพลิงแกลบในปฏิกิริยาเคมี.....	80

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด VFBC.....	6
2.2 ไดอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด VFBC.....	7
2.3 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด.....	7
2.4 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิดไอดีเบด.....	8
2.5 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spouted fluid ฟลูอิดไอดีเบด.....	8
2.6 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด CFB.....	9
2.7 แบบจำลองการไหลของการเกิดฟลูอิดไอดีเซชัน.....	9
2.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอดีเบดแบบหมุนวน.....	10
2.9 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบปลิงฟลูอิดไอดีเบด.....	10
2.10 ชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	11
2.11 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฏิกิริยาและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง.....	12
2.12 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไอดีเบดผิวเรียบ.....	13
2.13 ชุดอุปกรณ์ทดลองฟลูอิดไอดีเบดแบบหมุนวน.....	13
2.14 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด FBC.....	14
2.15 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น.....	15
2.16 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไอดีเบดขนาดเล็ก.....	16
2.17 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลองเตารูปทรงเหลี่ยม.....	16
2.18 การติดตั้งครีบบนในเตาเผาฟลูอิดไอดีเบด.....	17
2.19 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง.....	17
2.20 การติดตั้งครีบบนที่ใช้ในทดลอง.....	18
3.1 สภาพที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	22
3.2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงแข็ง.....	26
3.3 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....	27
3.4 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	28
3.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	29
3.6 บริเวณการเกิดการเผาไหม้.....	29
3.7 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้.....	30
3.8 ลักษณะของหอตทดลองฟลูอิดไอดีเบด.....	31
3.9 ระดับของเบดในหน้าตัดของหอตทดลอง.....	31
3.10 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไอดีเซชัน.....	33
3.11 แผ่นกระจายของไหล.....	33
3.12 การลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น pre ignition และ c, d, e เป็น post ignition.....	37
3.13 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนไอซ์เบด.....	40
4.2 ขนาดเตาเผาแลกเปลี่ยนไอซ์เบดและตำแหน่งการวัดระดับของอุณหภูมิ.....	41
4.3 อุปกรณ์ดักอนุภาคเถ้าลอย (ไซโคลน).....	42
4.4 Blower สำหรับจ่ายลมให้แก่ระบบ.....	42
4.5 แผ่นกระจายของไหล.....	42
4.6 มานอมิเตอร์และแผ่นออริฟิสสำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม.....	43
4.7 Hopper และ Screw Feed สำหรับบรรจุและป้อนเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน.....	43
4.8 ชุด Motor และ Inverter ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแลกเปลี่ยน.....	43
4.9 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น.....	44
4.10 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ.....	46
4.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL.....	44
4.12 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ.....	45
4.13 ลักษณะการติดตั้งครีบภายในห้องเผาไหม้เตาเผาแลกเปลี่ยนไอซ์เบด.....	46
4.14 ลักษณะของครีบริบตัววีแบบแยกตัว, P=0.5H, มุม 30°, 45° และ 60°.....	47
4.15 ลักษณะของครีบริบตัววีแบบแยกตัว, P=1.0H, มุม 30°, 45° และ 60°.....	47
4.16 ลักษณะของครีบริบตัววีแบบแยกตัว, P=1.5H, มุม 30°, 45° และ 60°.....	48
4.17 ความสูงจากผนังเตา.....	48
5.1 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัวมุม 30°.....	58
5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30°.....	58
5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัวมุม 45°.....	59
5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 45°.....	59
5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีแบบแยกตัวมุม 60°.....	60
5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 60°.....	60
5.7 การเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ.....	61
5.8 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งครีบ 30°.....	63
5.9 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งครีบ 45°.....	63
5.10 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งครีบ 60°.....	63
5.11 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 30°.....	64
5.12 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 45°.....	64
5.13 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 60°.....	64
5.14 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบ 30°.....	65
5.15 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบ 45°.....	65
5.16 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบ 60°.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17 ลักษณะซี่เถ้าจากกรณีเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบริบที่ EA=88%.....	66
5.18 ลักษณะซี่เถ้าจากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัว มุม 30°ที่ EA=180%.....	66
5.19 ลักษณะซี่เถ้าจากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัว มุม 45°ที่ EA=88%.....	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

(A/F)	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
$(A/F)_{actua}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางปฏิบัติ
$(A/F)_{stioc}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี
A_o	พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส, (m^2)
A_i	พื้นที่หน้าตัดเบด, (m^2)
Ar	เลขอาคิมีดิส (archimedes number)
C_d	drag coefficient, (ไร้มิติ)
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, (ppm)
CO_2	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, (% Vol)
C_p	specific heat, (J/kg.K)
D_e	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทิ้งไถ่ลอย
d_p	ขนาดของอนุภาค
d_{or}	เส้นผ่าศูนย์กลางออริฟิส
EA	อากาศส่วนเกิน
Eff	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (combustion efficiency)
GHV	ค่าความร้อนทั้งหมด
g	สัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s^2)
HHV	ค่าความร้อนขั้นสูง
H, h	ขนาดความสูงของเตาเผา และครีบที่ใช้ในการศึกษาทดลอง (m)
H	ก๊าซไฮโดรเจน
LHV	ค่าความร้อนขั้นต่ำ
L_f	height of a bubbling fluidized bed, (m)
L_{mf}	height of a minimum fluidized bed, (m)
$loss$	ความสูญเสียในกระบวนการเผาไหม้ในรูปก๊าซไอเสีย
MW	มวลโมเลกุล, (kmol)
m	ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง (kg)
m_a	มวลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา, (kg)
m_g	ปริมาณไอน้ำในอากาศสูงสุดที่อุณหภูมิใด ๆ, (kg)
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (kg)
m_v	มวลของไอน้ำ, (kg)
\dot{m}_{air}	อัตราการไหลของอากาศ, (kg/s)
\dot{m}_{fuel}	อัตราการป้อนแกลบ, (kg/min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

n	จำนวนโมล
n_{H_2O}	จำนวนโมลของไอน้ำในอากาศ
n_{total}	จำนวนโมลรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
NHV	ค่าความร้อนสุทธิ
NO	ไนตริกออกไซด์, (ppm)
NO ₂	ไนโตรเจนไดออกไซด์, (ppm)
NO _x	ไนโตรเจนออกไซด์, (ppm)
N _{or}	จำนวนรูของออร์ฟิสต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายลม
O ₂	ออกซิเจน, (% Vol)
P	ความดันของอากาศชื้น, (Pa)
P _a	ความดันย่อยของอากาศแห้ง, (Pa)
P _g	ความดันของอากาศอิมพัที่อุณหภูมิใด ๆ, (Pa)
P _v	ความดันไอน้ำในอากาศ, (Pa)
P _{v total}	ความดันของรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำ
Q _{ac}	อัตราการไหลจริงเชิงปริมาตร, (m ³ /s)
R _a	ค่าคงที่ของอากาศ, (kJ/kg·K)
Re _p	$\frac{d_p U_o \rho_g}{\mu}$ ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ของอนุภาค
R _v	ค่าคงที่ของไอน้ำ, (kJ/kg·K)
S	ก๊าซซัลเฟอร์
SO ₂	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, (ppm)
T	อุณหภูมิ, (°C)
T _{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, (°C)
T _{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, (°C)
THV	ค่าความร้อนรวม
μ	ความหนืดของก๊าซ
U	ความเร็ว, (m/s)
U _{mf}	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไชน์
U _t	terminal velocity of a falling particle, (m/s)
U _o	superficial fluid velocity, (m/s)
U _{or}	ความเร็วของก๊าซที่ผ่านแผ่นออร์ฟิส, (m/s)
V	ปริมาตร, (m ³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Φ	อัตราส่วนสมมูล (equivalent ratio)
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์
ω	อัตราส่วนความชื้น, (kg/kg-dry air)
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ, (kg/m ³)
ρ_g	ความหนาแน่นของอากาศอิมิตัวที่อุณหภูมิใดๆ, (kg/m ³)
ρ_v	ความหนาแน่นของไอน้ำ, (kg/m ³)
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ, (kg/m ³)
γ	น้ำหนักจำเพาะ, (N/m ³)
ρ_s	ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง
ρ_g	ความหนาแน่นของก๊าซ
ΔP_b	ความดันตกคร่อมภายในเบด
ΔP_d	ความดันตกคร่อมผ่านแผ่นกระจายลม
ϕ_s	ค่าความกลม (sphericity) ของอนุภาค
ε	void fraction, ไม่มีหน่วย
ε_f	สัดส่วนช่องว่างของเบดขณะเกิดการฟลูอิดซ์
ε_{mf}	สัดส่วนช่องว่างของเบดที่ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดซ์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยปัจจุบันความต้องการด้านการใช้พลังงานมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นควบคู่ไปกับการขยายตัวทางภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลให้แหล่งทรัพยากรด้านพลังงานมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นพลังงานสิ้นเปลืองซึ่งใช้แล้วหมดไปหรืออาจต้องใช้ระยะเวลานานในการเกิดใหม่มาทดแทน ตัวอย่างเช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ฯลฯ ดังนั้นทั่วโลกจึงเริ่มต้นตัวโดยได้มีการมีการหยาบยกเรื่องพลังงานทดแทนมาหารือ หรือมีข้อตกลงในความร่วมมือช่วยกันค้นคว้าวิจัยและพัฒนา เพื่อเป็นทางเลือกและทางออกในการแก้ไขปัญหาพลังงานโลก และเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตอันใกล้

พลังงานสะอาด (green energy) คือ แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปจะหมายถึง พลังงานที่มีใช้อย่างไม่มีวันหมดและเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่เป็นมลพิษ พลังงานสะอาดจะประกอบด้วย กระบวนการที่ใช้พลังจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมให้มีมลพิษเพียงเล็กน้อย ได้แก่ พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากพืช เป็นต้น

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมแห่งหนึ่งของโลก ประชากรมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใย และทะลายปาล์ม เป็นต้น ดังนั้น “ชีวมวล” จึงเป็นอีกแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม ที่สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานได้

งานวิจัยนี้ ให้ความสนใจไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกษตร คือ “แกลบ” ซึ่งได้จากการบวนการสีข้าวจากโรงสี จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2555 พบว่า ในปีหนึ่งๆ มีปริมาณแกลบที่ได้จากการสีข้าวสูงถึงประมาณ 7.1 ล้านตัน ของเหลือทิ้งเหล่านี้ บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย วัสดุปรองนอน ในโรงเรือนเลี้ยงเป็ด เลี้ยงไก่ เป็นต้น และในยุคที่ประเทศมีความต้องการพลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ จากสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทย ปี 2552 โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่า สามารถทดแทนพลังงานได้เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 0.69 ล้านตัน นอกจากนี้ ชี้อ้อที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบ ยังสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้อีก ในราคา กิโลกรัมละ 3 - 4 บาท ซึ่งนับว่าเป็นผลพลอยได้ นอกเหนือจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

ชีวมวลแกลบ จัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion คือ ก่อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวหน้าก่อนแล้วจึงค่อยๆ ลาม เข้าไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไปก่อนก็จะกลายเป็นชี้อ้อ (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน (Premixed) จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จากการศึกษาที่มีรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากมายที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีเตาเผาต่างๆ ที่มีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเทคโนโลยีฟลูอิดซ์เบด ดูเหมือนว่าจะสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วห้องเผาไหม้มักจะถูกออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ทั้งในเรื่องของขนาด และการลงทุนที่สูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในบ้านเรือน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบพร้อมด้วยการพัฒนาห้องเผาไหม้โดยการใส่กรังสามเหลี่ยมไว้ในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการหมุน-ควง (Vortex flow) ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ รวมถึงเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น เพื่อให้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตา การปล่อยมลพิษและซีเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ ทั้งนี้ ก็เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงเตาเผาแกลบฟลูอิดซ์เบดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือทำการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบ ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา ความเสถียรภาพของเปลวไฟ ผลของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการติดตั้งกรังรูปตัววีแบบแยกตัว ที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาทดลอง สำหรับใช้เป็นข้อมูลเชิงเทคนิคประกอบการสร้างเตาเผาฟลูอิดซ์ขนาดเล็ก ให้มีความเหมาะสมที่สุดแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

เมื่อได้ทำการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลลักษณะมุมกรังและระยะห่างของกรังที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดซ์เบด ที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบแล้ว ได้มีความคาดหวังต่อผลการศึกษาทดลองในครั้งนี้ คือ

1. ผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งกรังน่าจะทำให้ผลลัพธ์ของคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบที่ดีกว่ากรณีเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ไม่มีการติดตั้งกรัง
2. ลักษณะมุมกรังและจำนวนของกรังที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดซ์เบด น่าจะให้ผลของคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งกรัง
2. ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งกรังรูปตัววีแบบแยกตัว ที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยมีระยะห่างของกรัง (H) และมุมมองขาของการติดกรังมีลักษณะ ดังนี้
 - 2.1 ติดกรังรูปตัววีและกรังรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30°, 45° และ 60° ตามลำดับ
 - 2.2 โดยที่แต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างของกรังเป็น 0.5H, 1H และ 1.5H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นแกลบขนาดปกติที่ได้จากการสีข้าว (ประมาณ 8 mm x 2 mm) โดยปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ 3 ค่า คือ 4.6, 5.1 และ 5.9 kg/hr
4. ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบเป็นค่าประมาณ 44.3, 51.6 และ 59.8 kg/hr คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 39.8%, 62.9%, 79.9%, 88.4%, 117.6%, 119.6%, 142.5%, 153.6% และ 180.1% ตามลำดับ
5. เก็บบันทึกผลการกระจายอนุภาคนิวเคลียสในเตาเผา ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแนวความสูงที่กำหนดไว้ 11 ตำแหน่ง และตำแหน่งตามแนวแกนจำนวน 3 ตำแหน่ง
6. เก็บบันทึกค่าและวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย รวมถึงซีเฝ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยจะทำการเก็บค่า ณ บริเวณทางออกของก๊าซไอเสียที่ส่วนบนของเตาเผา

1.5 แนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีแนวคิดหลัก คือการศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว ยึดติดที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีแนวคิดและเหตุผลในการกำหนดลักษณะครีบริบ ดังนี้

- กรณีการเลือกใช้เตาเผาที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส : เนื่องจากเตาเผาที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสง่ายต่อการสร้าง และการบำรุงรักษา อีกทั้งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นหอทรงกลม และทรงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาที่มีรูปทรงแตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา [14]
- กรณีการเลือกครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว : จากการทดสอบพฤติกรรมการไหล (Cold flow model) พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของแกลบกรณีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวคือแกลบจะลอยกระจายอย่างเบาบางไปตามผนังของหอทดสอบ และจะตกลงมาหนาแน่นบริเวณกึ่งกลางของหอทดสอบ ซึ่งการกีดขวางกระแสหลักของการไหลทำให้เกิดการหมุนเวียนย้อนกลับ อีกทั้งครีบริบลักษณะนี้สะดวกต่อการสร้าง และการติดตั้งภายในห้องเผาไหม้
- กรณีติดครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว ยึดติดที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ : เนื่องจากการทดสอบพบว่า การติดตั้งครีบริบลักษณะดังกล่าวสะดวกต่อการซ่อมบำรุงสะดวกเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบริบ ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบริบรูปตัววี และวิเคราะห์ว่า โดยมีลักษณะการวางครีบริบแบบเชื่อมติดผนังทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทดลองปรับเปลี่ยนลักษณะการติดตั้งครีบริบที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่เกิดขึ้นของงานวิจัยที่ผ่านมา [14]
- กรณีการกำหนดมุมครีบริบเป็น 30°, 45° และ 60° เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ามุมของครีบริบที่แตกต่างกันน่าจะทำให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน จึงได้เลือกใช้มุมที่แตกต่างกันจำนวน 3 มุม เพื่อจะศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบริบที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีการกำหนดระยะห่างของครีบเป็น 0.5H, 1H และ 1.5H เนื่องจากสมมติฐานที่ว่าผลของระยะห่างระหว่างครีบ (H) ต่างกัน น่าจะให้คุณลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน

1.6 ขั้นตอนการศึกษาทดลอง

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

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และพัฒนาเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดซ์เบด ให้มีขนาดเล็ก และมีประสิทธิภาพที่ดี เหมาะสมที่สุดแก่การประยุกต์ใช้งาน
2. สามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดซ์เบด ไปประยุกต์ไปใช้ในงานด้านเกษตรกรรม หรือ ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถนำเอาชีวมวลที่เหลือใช้ทางการเกษตรกรรม มาประยุกต์ใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงเป็นพลังงานทางเลือกในการแก้ไขปัญหาพลังงานของโลก และเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตอันใกล้
4. ช่วยลดสภาวะปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดมีการปล่อยมลพิษต่ำ
5. ในอนาคตอันใกล้จะเป็นการช่วยลดอัตราการสูญเสียเงินตราออกไปยังต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล

1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขตงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษาทดลอง

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีเผาไหม้
เชื้อเพลิงแข็ง คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ และทฤษฎีฟลูอิดซ์เซชัน

บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง การติดตั้งชุดทดลอง และขั้นตอนการศึกษา
ทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการศึกษาทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลอง และข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

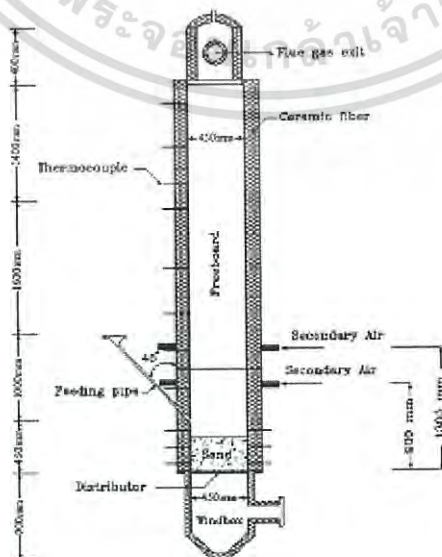
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในเรื่องของการนำชีวมวลกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะในประเทศไทยนั้น จัดได้ว่าเป็นหนึ่งในประเทศเกษตรกรรม ที่ปริมาณแกลบเหลือทิ้งจากการใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีงานค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีเตาเผา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเชื้อเพลิงแกลบให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ได้มีงานวิจัยเกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ที่กล่าวถึงเตาเผาชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ทั้งในส่วนของหลักการและแนวความคิดงานวิจัย รวมไปถึงผลที่ได้จากงานวิจัยในแต่ละเรื่อง ดังนี้

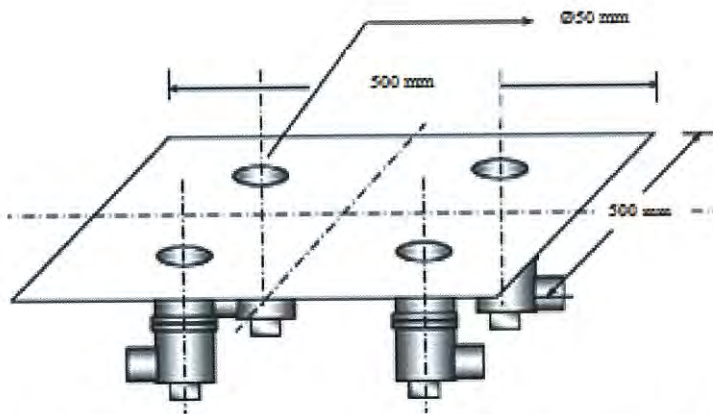
2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Chyang et al. [1] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองถึงผลของชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขการทำงานที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน (NO) ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 m ซึ่งใช้ แกลบ ถั่วเหลือง และถ่านหินบิทูมินัส เป็นเชื้อเพลิง โดยวัสดุที่ใช้ทำเบด คือ ซิลิกาทราย ผลของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิของเบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อัตราการไหลของอากาศ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจนจากการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อย NO เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเบด และอัตราส่วนอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ปริมาณการปล่อย NO ลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนอากาศทางทฤษฎีและทำงานที่อุณหภูมิคงที่การลดปริมาณการปล่อย NO สามารถทำได้โดยการเพิ่มถั่วเหลืองลงในเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิภายในเตาต่ำกว่า 850 °C และจากการวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงทำงานของตัวแปรโดยวิธี ของ Taguchi พบว่า อากาศส่วนเกินเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณการปล่อย NO

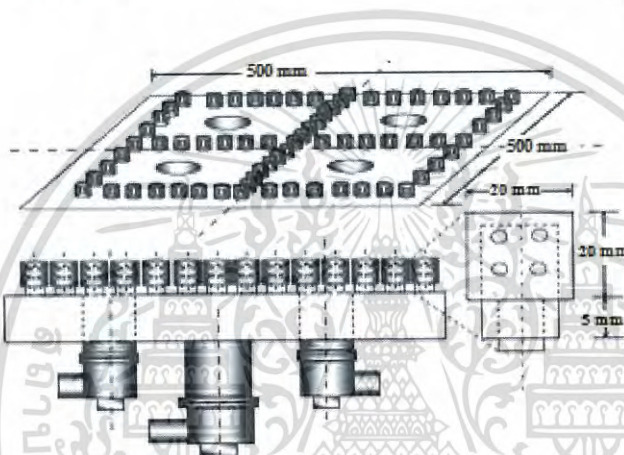


รูปที่ 2.1 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด VFBC [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิดซ์เบด [2]

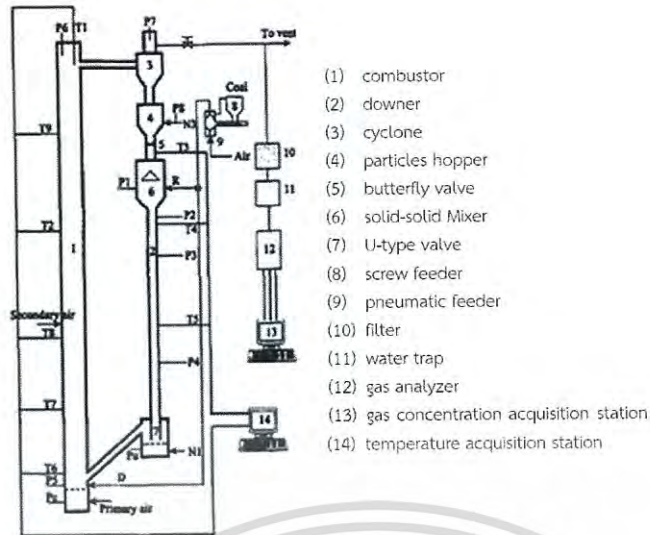


รูปที่ 2.5 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spouted fluid ฟลูอิดซ์เบด [2]

Xie et al. [3] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปล่อยปริมาณ SO_2 , NO และ N_2O จากการเผาไหม้ของถ่านหินร่วมกับชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนเวียน โดยการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการปล่อยของ SO_2 , NO และ N_2O เช่น เฟอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ปริมาณชีวมวลที่ใช้ และ ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณชีวมวลที่ใช้ร่วมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการปล่อย CO เพิ่มมากขึ้น เพราะชีวมวลนั้นมีองค์ประกอบของสารระเหยสูง ในขณะที่ปริมาณชีวมวลที่ใช้ร่วมลดลง จะทำให้ปริมาณการปล่อย SO_2 จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลักษณะของการเพิ่มขึ้นระหว่างปริมาณของ SO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์ (sulfur) จะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจากตำแหน่งอยู่สูงไปยังตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่า พบว่า ปริมาณการปล่อย NO ลดลงแต่ปริมาณของ SO_2 ไม่เปลี่ยนแปลง ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจะมีผลต่อปริมาณการปล่อย SO_2 , NO และ N_2O โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง R จะพบว่า ปริมาณการปล่อย NO และ NO_2 จะลดลง และเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง D ปริมาณการปล่อย NO และ N_2O จะลดลง

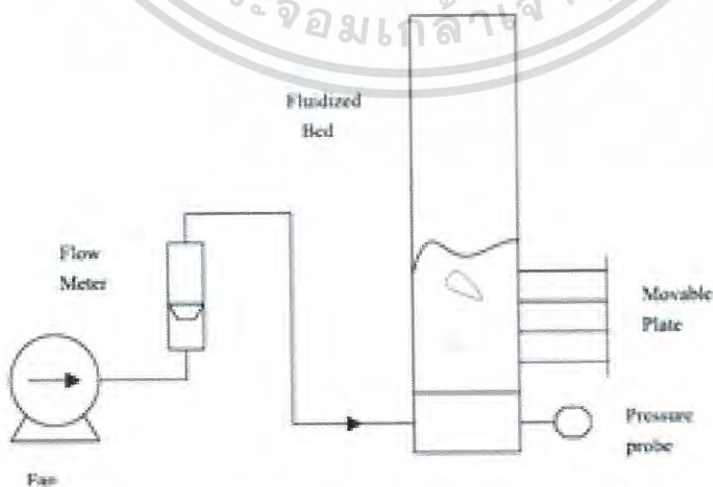
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิด์เบด CFB [3]

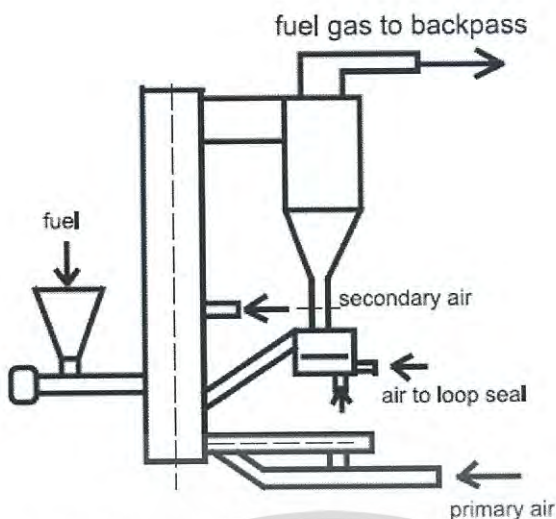
Fang et al. [4] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษารเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิด์เบดแบบหมุนเวียน จากรายงานได้แนะนำถึงการทดลอง แบบ cold model แสดงถึงการเกิดฟลูอิด์เบดของแกลบที่ค่อนข้างยาก จึงได้ทำการปรับปรุงให้เกิดการฟลูอิด์เบดให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มซิลิกอนทรายและถ่านหินเข้าไป ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย ความเร็วก๊าซ และเศษส่วนมวล มีผลต่อการผสมของแกลบ ซึ่งจะสามารถผสมได้ดี ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายอยู่ในช่วง 0.3 - 0.8 mm และ ความเร็วก๊าซอยู่ในช่วง 0.8 - 2 m/s จากการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน พบว่าแกลบสามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิเพียง 340°C ต่ำกว่าถ่านหินมาก

จากการทดลอง จะพบว่า ความเร็วของก๊าซและอากาศมีผลอย่างมากต่อการเผาไหม้ของแกลบ ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าสูงกว่า 97 % ส่วนประกอบคาร์บอนในซีเถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 3 % - 8 %, ปริมาณ CO อยู่ระหว่าง 200 - 800 ppm, ปริมาณ SO₂ อยู่ระหว่าง 50 - 100 ppm, ปริมาณ NO_x อยู่ระหว่าง 150 - 220 ppm



รูปที่ 2.7 แบบจำลองการไหลของการเกิดฟลูอิด์เบดเซชัน [4]

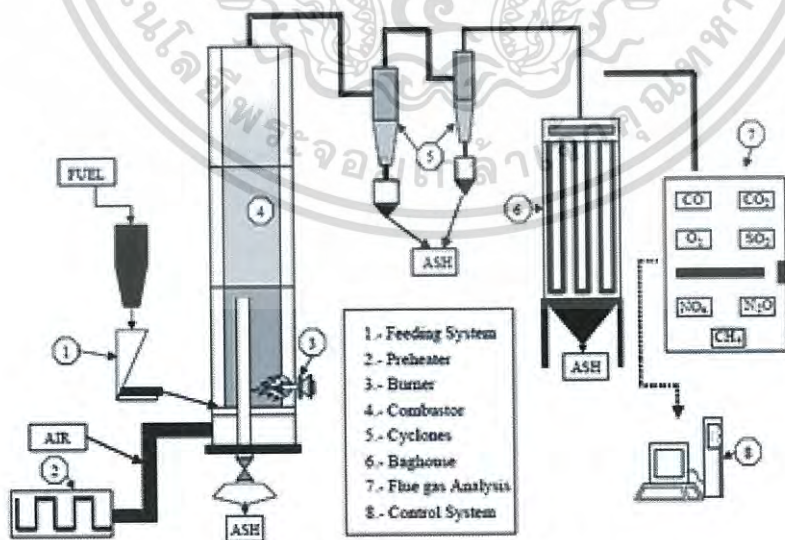
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิด์เบดแบบหมุนวน [4]

Armesto et al. [5] ได้ทำการทดลองและศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิด์เบด ในช่วงที่มีการผสมผสานและไหลเวียนของอนุภาคอย่างรุนแรง (bubbling fluidized bed) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของการเกิดฟลูอิด์เบดซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อย CO ที่เกิดจากการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้มีค่าสูงกว่า 97% ปริมาณการปล่อย CO ระหว่างที่ทำการทดลองมีปริมาณสูงกว่า 1,000 mg/Nm³ และโปรไฟล์อุณหภูมิภายในเตาเผามีผลอย่างมากทั้งต่อการปริมาณการปล่อย CO และประสิทธิภาพการเผาไหม้ จากการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่า เมื่อชั่วโมงการเผาไหม้นานขึ้น ปริมาณของ โพตัสเซียม (potassium) จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแบบบลิงฟลูอิด์เบด [5]

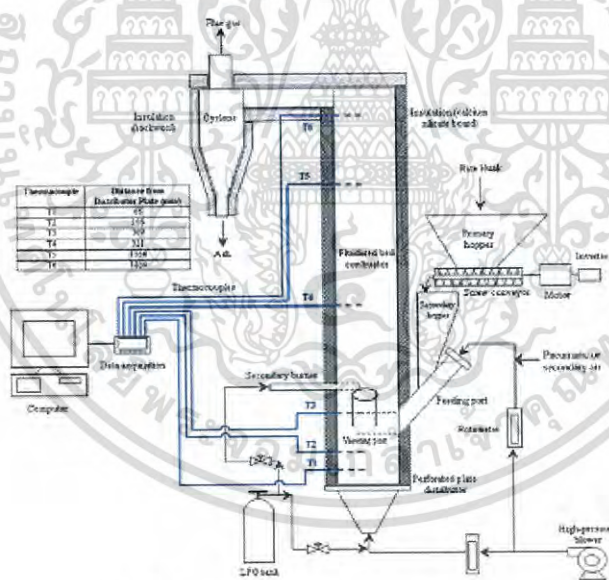
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rozainee et al. [6] งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วของการฟลูอิดในกระบวนการการเผาไหม้แก๊สในเตาเผาฟลูอิดชนิดเบดที่มีต่อคุณลักษณะของเถ้า โดยปัจจัยหลักของงานวิจัยนี้คือ

- การทดลองเพื่อหาค่าตัวเลขความเร็วของการฟลูอิดที่เหมาะสมที่สุด
- หาขนาดของวัสดุเบด (ทราย) ที่ใช้ในกระบวนการการเผาไหม้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและเหมาะสมที่สุด

ในการเลือกใช้ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนั้น เริ่มจากผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อประกอบการเลือกช่วงของค่าดังกล่าว

เมื่อได้ช่วงค่าความเร็วของการฟลูอิดและขนาดวัสดุเบดที่จะใช้แล้ว ดำเนินการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในเตาเผาฟลูอิด พบว่าที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดสูง ($4.5 - 8 U_{mf}$) ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการการเผาไหม้ เนื่องจากให้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำเพราะอนุภาคจะถูกพาไปที่ด้านบนของฟริบอร์ต และที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดต่ำกว่า $3 U_{mf}$ การผสมกันของแก๊สกับวัสดุได้ไม่ดีเนื่องจากที่ความเร็วดังกล่าวทำให้เกิดสภาวะฟองที่ไม่รุนแรง โดยเฉพาะที่ค่าความเร็วของการฟลูอิดเท่ากับ $1.5 U_{mf}$ ให้ผลการทดลองที่แย่ที่สุด ส่วนค่าที่เหมาะสมที่นั่นคือค่าความเร็วของการฟลูอิดเท่ากับ $3 U_{mf}$ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำเถ้าที่ได้ในแต่ละกรณีศึกษาไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการ X - ray diffraction

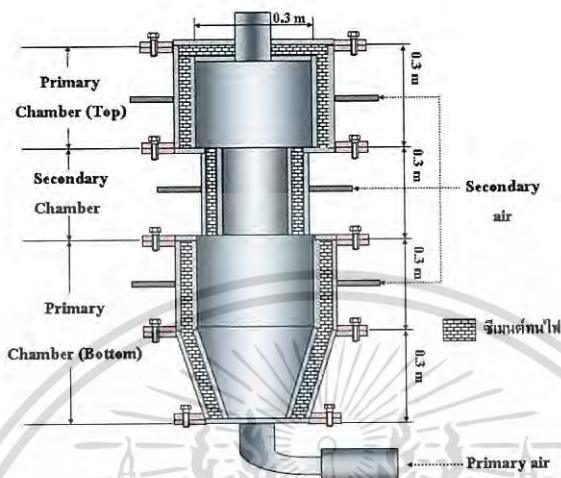


รูปที่ 2.10 ชุดอุปกรณ์การทดลอง [6]

2.3 งานวิจัยภายในประเทศ

ลีลาผาดิกุล [7] งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองถึงอิทธิพลตำแหน่งของอากาศหตุยภูมิที่มีต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดชนิดเบด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ตำแหน่งการฉีดอากาศหตุยภูมิ, อัตราส่วนสมมูล และอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหตุยภูมิต่ออากาศทั้งหมด โดยห้องเผาไหม้ปฏุมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 m ส่วนห้องเผาไหม้หตุยภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 m มีความสูงรวม เท่ากับ 1.2 m ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศหตุยภูมิไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังห้องเผาไหม้ มีทั้งสิ้น 3 ตำแหน่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(H/D) คือ 1.5, 2.5 และ 3.5 เพื่อให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวน โดยแต่ละการทดลอง กำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) คงที่ เท่ากับ 0.25 และกำหนดค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง แกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min



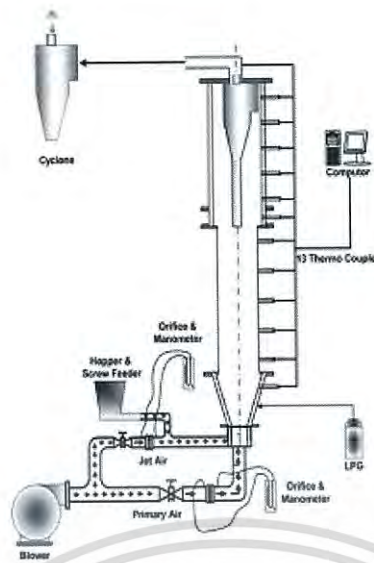
รูปที่ 2.11 ขนาดและตำแหน่งห้องเผาไหม้ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ใช้ทดลอง [7]

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิให้กับห้องเผาไหม้มีผลทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หลังจากผ่านห้องเผาไหม้ส่วนดังกล่าว จะมีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องเผาไหม้ในแนวรัศมีมากกว่าการฉีดอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ อากาศทุติยภูมิมีส่วนช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่งผลให้อากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึง ซึ่งจากการทดลองอากาศส่วนทุติยภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 15-25% ของอากาศทั้งหมดประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 75-87% ซึ่งมีอุณหภูมิทางออกของก๊าซไอเสีย ที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 620-850 °C

ผุณลาวงษ์ [8] งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไอซ์เบดและการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบ และมีปริมาตรขนาดใหญ่ โดยนำไซโคลนใส่ไว้ด้านใน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 6-12 kg/hr โดยทำการปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน 3 ค่า คือ 20%, 40% และ 60% โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา, ชี้อัด, ควันท่อออกมาที่ก๊าซไอเสีย จากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวล ของแกลบที่ 9 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 60% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับที่อุณหภูมิหลัก 3 ค่า คือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมด ตามลำดับ

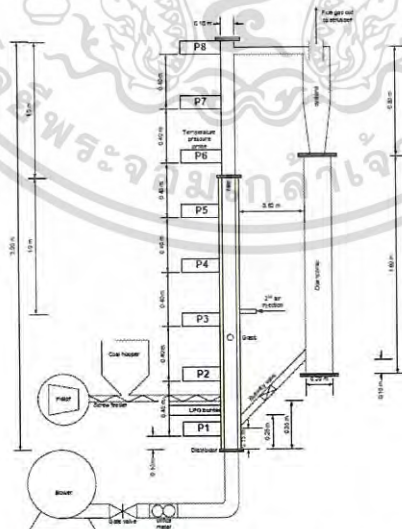
จากการทดลอง พบว่า ที่อากาศ 40% มีการเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700 – 750 °C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950 °C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100 - 300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 100 - 300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97 - 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิด์เบดผิวเรียบ [8]

พรหมภูเบศร์ [9] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินกับแกลบในเตาเผาฟลูอิด์เบดแบบหมุนเวียนขนาด 3.5 kW ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ 0.1 m และสูง 3.0 m ถ่านหินที่ใช้ขนาดเฉลี่ย $1128 \mu\text{m}$ จากแหล่งแม่ทะ จ.ลำปาง ทำการศึกษาถึงแนวโน้มของอุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซจากการเผาไหม้ ณ ตำแหน่งต่างๆตลอดโรเตอร์ โดยทำการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ สัดส่วนของถ่านหินและแกลบคือ 100:0 65:35 (แกลบร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก) และ 80:20 (แกลบร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ 5.8 kg/hr อัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิที่ใช้ในการศึกษามีค่าระหว่าง 480 – 920 L/min (ความเร็วประมาณ 1.0 – 2.0 m/s) ส่วนอัตราการป้อนอากาศทุติยภูมิมีค่าตั้งแต่ 0 – 330 L/min



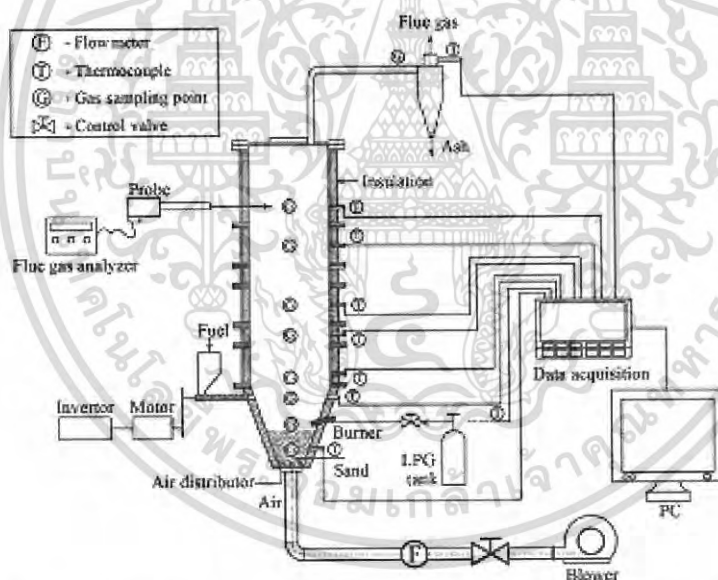
รูปที่ 2.13 ชุดอุปกรณ์ทดลองฟลูอิด์เบดแบบหมุนวน [9]

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิตลอดโรเตอร์อยู่ในช่วง $800 - 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่ปริมาณการป้อนอากาศรวมตั้งแต่ 920 L/min ขึ้นไปปริมาณและสัดส่วนของการป้อนอากาศทุติยภูมิแทบไม่มีผลต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มของอุณหภูมิ ส่วนองค์ประกอบก๊าซไอเสียเป็นดังนี้ ปริมาณ CO จะสูงมากบริเวณส่วนล่างของโรเตอร์และลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ ปริมาณ O₂ ลดลงตลอดความสูงโรเตอร์ ปริมาณ CO₂ และ SO₂ เพิ่มขึ้นตลอดความสูงโรเตอร์ ปริมาณ NO และ NO₂ ค่อนข้างคงที่ตลอดโรเตอร์ อยู่ในช่วงประมาณ 10 และ 100 ppm ตามลำดับ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากถ่านหินเป็นถ่านหินผสมแกลบ พบว่าแนวโน้มอุณหภูมิตลอดโรเตอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแกลบที่เพิ่ม ปริมาณ CO และ SO₂ ลดลงเมื่อสัดส่วนของแกลบในเชื้อเพลิงผสมสูงขึ้น

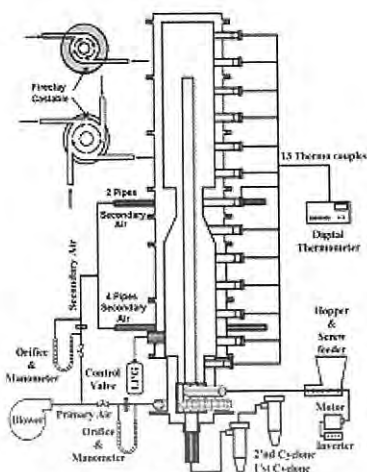
เจนวิจิตรสกุล [10] ได้ทำการทดลองศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO, NO_x และ PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบด ที่รูปร่างของเบดมีลักษณะรูปเป็นรูปกรวย

การทดลอง ใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 80 kg/hr และ ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (EA) ที่แตกต่างกัน (การทดลองจะใช้ค่า EA อยู่ในช่วง 20.9 – 59 %) จากการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบมีค่าสูงกว่า 99 % อุณหภูมิภายในเบดมีค่า อยู่ระหว่าง 900 – 950 °C ปริมาณการปล่อย NO_x มีค่าอยู่ระหว่าง 75 – 143 ppm, ปริมาณการปล่อย CO มีค่าอยู่ระหว่าง 128 – 176 ppm การหาปริมาณ PHAs นั้นจะวิเคราะห์จากขนาดของอนุภาคซีเถ้า ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 75 – 106 μm และพบว่า มีปริมาณ PHAs อยู่ น้อยมาก



รูปที่ 2.14 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิดไอซ์เบด FBC [10]

Eiamsa-ard [11] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น (DSVC) โดยอุปกรณ์สร้างการไหลแบบวอร์เทคจะติดตั้งที่ส่วนล่างของเตา เตาเผาออร์เทคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 300 mm มีความสูงเท่ากับ 1,800 mm ที่บริเวณส่วนกลางเตาเป็นส่วนที่แยกเตาเผาของเป็นช่วงสองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm การดำเนินการทดลองจะรักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ที่ 0.25 kg/min ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 37%, 56%, 74%, 92% และปรับค่าอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิเป็น 0.0, 0.15 และ 0.2 ในการทดลองจะพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์ประกอบไอเสีย (CO, CO₂, O₂, NO_x) ประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาไหม้เหล่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



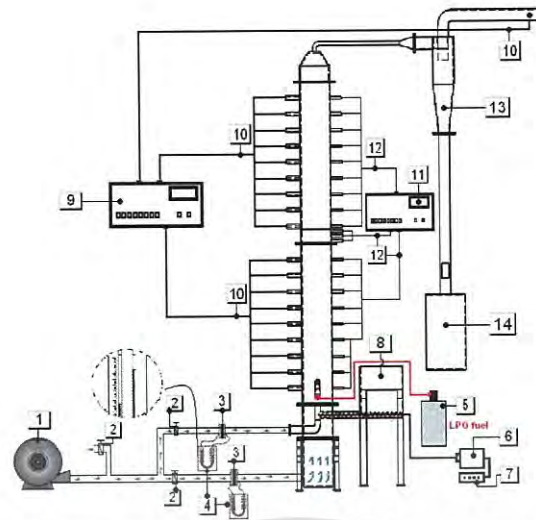
รูปที่ 2.15 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้น [11]

เมื่อดำเนินการทดลองเสร็จสิ้น พบว่าอุณหภูมิสูงสุดในเตาเผามีค่าประมาณ $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็น 99.8% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 41.6% ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 74% และค่าอัตราส่วนของอากาศหตุยภูมิเป็น 0.0 (ไม่มีการจ่ายอากาศหตุยภูมิ) และปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเป็นดังนี้ $\text{CO} = 352\text{ ppm}$, $\text{CO}_2 = 8.1\%$, $\text{O}_2 = 9.3\%$, $\text{NO}_x = 294\text{ ppm}$ ผู้วิจัยได้สรุปว่าเตาเผาออร์เทคแบบสองชั้นที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาทดลองนั้นให้ประสิทธิภาพอยู่ในระดับสูง ปริมาณการปล่อยไอเสียมีปริมาณต่ำและมีความเสถียรสูง เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน

Kaewkaokiet [12] งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์ที่มีขนาดเล็กซึ่งมีลักษณะของเตาเผามีรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนล่างเป็นห้องเผาไหม้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็น $20 \times 10\text{ cm}^2$ และมีความสูง 1 m และส่วนบนเป็นฟริบอร์ตมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็น $20 \times 20\text{ cm}^2$ และมีความสูง 0.75 m สภาวะขอบเขตในการดำเนินการทดลอง คือทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้มีค่าต่ำกว่า $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อเป็นการควบคุมมลพิษ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบมีค่าคงที่ที่ 0.1 kg/min แต่ทำการปรับค่าความเร็วของอากาศออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ 0.626 m/s , 0.637 m/s และ 0.649 m/s ซึ่งเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 67%, 70% และ 73% ตามลำดับ สิ่งที่ต้องการศึกษา คือ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาและปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย โดยเปรียบเทียบแต่ละกรณีศึกษา

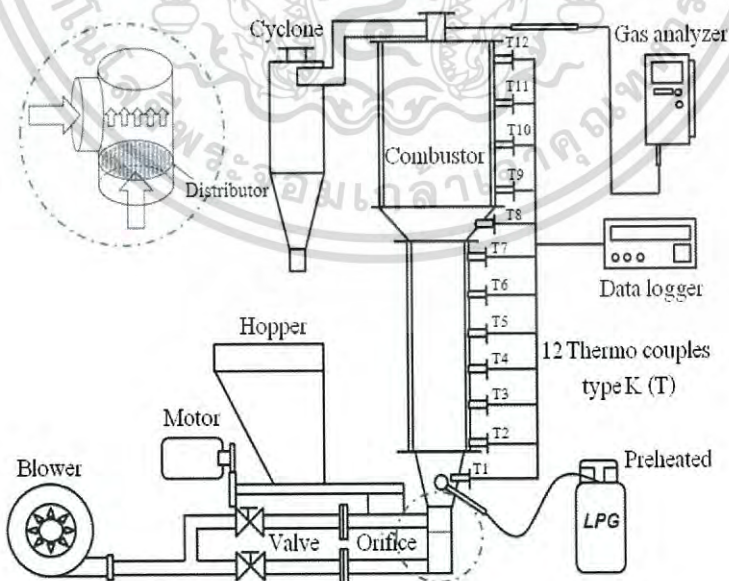
ผลการทดลองพบว่ามีมีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิตามตำแหน่งความสูงน้อย กราฟที่ได้มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงทุกค่าความเร็วอากาศ เมื่อเปรียบเทียบระดับของอุณหภูมิที่ได้จากกรณีที่ค่าความเร็วอากาศต่างกันจะได้ว่าที่ค่าความเร็วต่ำจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่า พิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสียพบว่า CO_2 มีค่าอยู่ระหว่าง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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



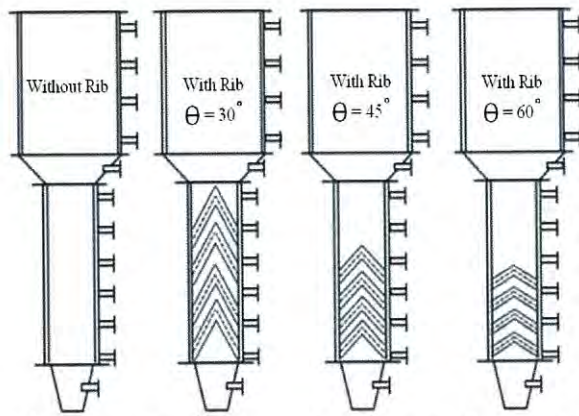
รูปที่ 2.16 ชุดอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดเบดขนาดเล็ก [12]

โชคเพิ่มพูน [13] ได้ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดเบดรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยได้ศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะครีบที่ทำกรติดตั้งภายในส่วนห้องเผาไหม้ ลักษณะครีบที่ติดตั้งเป็นครีบรูปตัววีความมุม 30° , 45° และ 60° โดยแต่ละมุมจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบเป็น 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 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ องค์ประกอบก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา



รูปที่ 2.17 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลองเตารูปทรงเหลี่ยม [13]

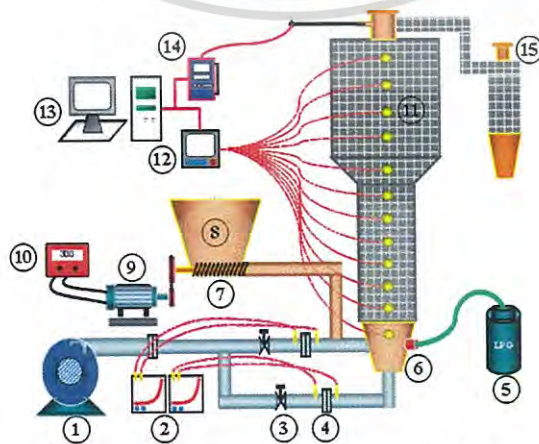
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การติดตั้งครีบบนภายในเตาเผาฟลูอิดไธด์เบด [13]

จากการศึกษาทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบนภายในห้องเผาไหม้ช่วยเตาเผาให้มีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดีขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดประมาณ $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุดประมาณ $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในระดับต่ำ โดยที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง $2.14 - 3.37\text{ \%Vol}$ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $107 - 153\text{ ppm}$ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง $213 - 287\text{ ppm}$ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกรณีเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วง $94.3 - 95.6\text{ \%}$ และจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้เป็นพื้นผิวคลื่นโดยจะมีค่าระหว่าง $97.8 - 99.4\text{ \%}$

สุวรรณพันธ์ [14] ได้นำเสนอถึงพฤติกรรมของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดที่ติดตั้งครีบบนสามเหลี่ยมไว้ภายในห้องเผาไหม้ เพื่อต้องการจะเพิ่มระยะเวลา และการไหลแบบหมุนวน (vortex flow) ของแกลบภายในเตาเผาให้มากขึ้น การทดลองจะทำได้โดยการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการป้อนเท่ากับ 8.64 kg/hr ตลอดการทดลอง จากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินทั้งหมด 4 ค่าคือ 40% , 50% , 60% และ 70% ตามลำดับ เงื่อนไขนี้จะถูกใช้ทดสอบกับเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดที่ติดตั้งครีบบนสามเหลี่ยมทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ รูปตัววี (V), รูปตัววีคว่ำ (Λ) และรูปตัววีคว่ำคู่ ($\Lambda\Lambda$) ไว้ภายในห้องเผาไหม้ ลักษณะครีบบนทั้งสามแบบจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนการติดตั้ง คือ จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่



รูปที่ 2.19 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาทดลอง [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การติดตั้งครีบที่ใช้ในทดลอง [14]

ผลการทดลองที่ได้พบว่ากรณีที่ติดตั้งครีบรูปตัววี จำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 747 °C และ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.20 % ในกรณีติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 778 °C และ 759 °C ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.70 % และ 98.80 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำทุกกรณีศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 เชื้อเพลิง

3.1.1 นิยามเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง คือ สารใด ๆ เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว จะให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ ธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน แล้วเกิดพลังงานความร้อน น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในบางครั้งอาจจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หรือ เเขม่า

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

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

3.1.2 การจำแนกเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง แบ่งตามสถานะได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องเชื้อเพลิงประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้ม ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม แอลกอฮอล์ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงแข็ง เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ถ่านหิน ฟืน ถ่านไม้ แกลบ ชีลื้อย ชานอ้อย ฟางอ้อย เศษวัสดุต่าง ๆ เป็นต้น

เชื้อเพลิง แบ่งตามแหล่งกำเนิด ได้เป็น 2 ประเภท คือ

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

เชื้อเพลิงกลุ่มที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์ สัตว์ และชุมชน โดยรวมแล้วเรียกว่า เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย ขยะ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ฯลฯ คืออีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านการเผาไหม้ เพราะฉะนั้น จึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ในการที่จะเลือกใช้ออกสารเป็นเอกลักษณ์สิ่งแวดล้อมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ และมีประสิทธิภาพ รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการทดลองและวิจัย ต่อไป

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

3.2.1 นิยามเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล (biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ ซึ่งมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตอยู่ และซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว (ยกเว้นซากสิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมกันภายใต้อุณหภูมิต่ำและความกดดันใต้เปลือกโลกมานานนับล้านปี เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า ฟอสซิล) ชีวมวลยังรวมถึงเศษกิ่งไม้ ใบหญ้าในป่า วัสดุ หรือเศษเหลือทิ้งของพืชที่เกิดจากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมูลสัตว์จากฟาร์มปศุสัตว์และสิ่งปฏิกูล ขยะอินทรีย์ที่เป็นของเหลือทิ้งของชุมชน เป็นต้น

3.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ความชื้น (moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์
2. สารที่เผาไหม้ได้ (combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือสารระเหย volatiles matter และคาร์บอนคงตัว fixed carbon volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า volatiles matter สูง แสดงว่าติดไฟได้ง่าย
3. สารที่เผาไหม้ไม่ได้ (ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

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 ซึ่งสารพวกนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำ โดยประมาณ 0 - 20 เปอร์เซ็นต์
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (industrial biomass) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากการผลิตน้ำตาล คือ ขานอ้อย นอกจากนี้ยังมีกากสับปะรด เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก
4. เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (domestic waste) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ข้อดีและข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

แนวคิดในการนำชีวมวลมาใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานนั้นนับเป็นเรื่องที่ดี แต่พบว่าเป็นทางปฏิบัติยังมีปัญหาและข้อจำกัดบางประการอยู่ โดยสรุปข้อดีและข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้ดังนี้

ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

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

ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ปริมาณชีวมวลที่มีความไม่แน่นอน เนื่องจากแหล่งที่มาของชีวมวลคือภาคการเกษตรซึ่งต้องขึ้นอยู่สภาพฤดูกาล
2. ชีวมวลมีความหลากหลายและมีแหล่งที่มาที่กระจุกกระจาย ทำให้เป็นการยากในการรวบรวมชีวมวลแต่ละชนิดที่จะนำไปใช้ประโยชน์
3. เนื่องจากข้อด้อยของชีวมวลบางชนิด เช่น มีค่าความชื้นสูงทำการนำไปใช้ต้องผ่านกระบวนการการลดความชื้นก่อน

3.3 การเผาไหม้ [9, 10]

3.3.1 นิยามการเผาไหม้

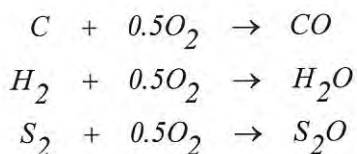
ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ภายในเชื้อเพลิง ซึ่งสารเผาไหม้ได้ประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ไม่ใช่ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้น (chain initiation) ด้วยการแตกตัวของโมเลกุลในเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา จากนั้นอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่ได้จากโมเลกุลอื่น ๆ เป็นปฏิกิริยาต่อลูกโซ่ (chain propagation) สุดท้ายของปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายและอนุมูลอิสระที่ไม่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา เป็นการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain termination) พบว่าหากพิจารณาปฏิกิริยาการเผาไหม้ในระดับจุลภาคนั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการพิจารณาปฏิกิริยาในระดับมหภาคโดยเฉพาะ ผล และปฏิกิริยา นั้นจะช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณความร้อนปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในสารผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

การพิจารณาในภาพรวมของปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนแบ่งเป็นกรณี ดังนี้

- กรณีการไหม้สมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีการไหม้ไม่สมบูรณ์ (บางส่วน) จะเกิดปฏิกิริยา



ถ้าหากเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบที่เป็นไนโตรเจน จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์ และหากใช้อากาศในการทำปฏิกิริยาจะมีไนโตรเจนจากอากาศกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ด้วย แต่เนื่องจากการออกซิไดซ์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมาก ดังนั้นจึงเกิดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในสารผลิตภัณฑ์ก๊าซไอเสีย น้อย ในการพิจารณาทั่วไปจะไม่นำมาคิด นอกจากจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

3.3.2 สถานะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นั้นประกอบด้วยตัวทำปฏิกิริยา คือ เชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งจะต้องอาศัยสถานะที่เหมาะสม คือ มีแหล่งกำเนิดความร้อนเบื้องต้นหรือแหล่งจุดไฟซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นแก่เชื้อเพลิงและออกซิเจนอากาศในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สถานะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.3.3 พลังงานความร้อนของการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน สามารถคำนวณปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาใด ๆ ได้หลายวิธี เช่น คำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยาที่สถานะมาตรฐาน หรือ คำนวณจากความร้อนของการเกิดของสารใด ๆ ที่สถานะมาตรฐาน

3.3.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อน (heating value, HV) มีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้ที่สถานะมาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาตินั้นไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยา หรือความร้อนของการเกิดที่สถานะมาตรฐานได้ เนื่องจากไม่ใช่สารประกอบบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

ตารางที่ 3.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก

อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติก คืออุณหภูมิสุดท้ายภายหลังจากเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน และใกล้เข้าสู่สภาวะสมดุลเคมีภายใต้ความดันคงที่ และไม่มีการสูญเสียความร้อน อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียแบติกขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิเริ่มต้นและองค์ประกอบก๊าซไอดี

3.3.6 การคำนวณการเผาไหม้

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

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงจะดำเนินการตามมาตรฐานสากลเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบภายในเชื้อเพลิง การวิเคราะห์แบ่งลักษณะการดำเนินการตามสถานะของเชื้อเพลิงดังนี้

- ก๊าซเชื้อเพลิง ดำเนินการวิเคราะห์หองค์ประกอบ ความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อน
- เชื้อเพลิงเหลว ดำเนินการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ จุดวาบไฟ จุดหยุดไหล จุดขุ่น ค่าความร้อน เส้นโค้งการกลั่นและสิ่งเจือปน
- เชื้อเพลิงแข็ง ดำเนินการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อนและอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า

3.3.7 กระบวนการการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้มีเชื้อเพลิงและอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา และสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยก๊าซไอเสียและกากของแข็งหรือเถ้า (กรณีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง) โดยองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่ได้นั้นขึ้นกับกระบวนการการเผาไหม้ว่ามีความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาหรือไม่ แต่ในการคำนวณมวลหรือปริมาณของตัวทำปฏิกิริยานั้นจะต้องพิจารณากระบวนการการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สามารถคำนวณได้โดยใช้มวลสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุในกรณีเป็นเชื้อเพลิงแข็ง หรือ เชื้อเพลิงเหลว หรือ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกรณีเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ นำมาคำนวณปริมาณออกซิเจน หรือปริมาณอากาศทำปฏิกิริยาพอดีกับเชื้อเพลิง (อากาศที่ต้องการทางทฤษฎี) และนำมาคำนวณสารผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากปฏิกิริยา มวลสารสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นความสัมพันธ์โดยโมล ดังนั้นต้องทำการแปลงหน่วยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงให้อยู่ในของกิโลโมล หรือโมลก่อนที่จะนำมาคำนวณ

3.3.8 อากาศส่วนเกิน

กระบวนการการเผาไหม้ต้องการปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ความเหมาะสมจะก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมีการสูญเสียความร้อนในรูปองค์ประกอบของก๊าซและส่วนที่ยังเผาไหม้ได้ออกจากระบบ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (potential heat loss) เช่น ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอน เป็นต้น แต่ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ปริมาตรอากาศส่วนที่เกินพอที่เข้ามาจะออกไปจากระบบโดยไม่ได้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาตรรวมของฟลูแก๊สเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อน เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss)

3.3.9 นิยามสำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้

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

3.3.10 องค์ประกอบในการเผาไหม้มีอยู่ 4 องค์ประกอบ คือ

3.3.10.1 เชื้อเพลิง (fuel) ลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการ

ดังนี้

1. ความสามารถในการติดไฟของสาร (flammability limits) เป็นปริมาณไอของสารที่เป็นเชื้อเพลิงในอากาศที่มีคุณสมบัติ ซึ่งพร้อมจะติดไฟได้ในการเผาไหม้นั้นปริมาณไอเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศนั้นจะต้องมีปริมาณพอเหมาะจึงจะติดไฟได้ โดยปริมาณต่ำสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็นเปอร์เซ็นต์ในอากาศ ซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าต่ำสุดของไอเชื้อเพลิง (lower flammable limit)” และปริมาณสูงสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็น เปอร์เซ็นต์ในอากาศซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง (upper flammable limit)” ซึ่งสารเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงแตกต่างกันไป
2. จุดวาบไฟ (flash point) คืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงคายไอออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วน ที่เหมาะสมถึงจุดที่มีค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงเมื่อมีประกายไฟก็จะเกิดการติดไฟ เป็นไฟวาบขึ้นและดับ
3. จุดติดไฟ (fire point) คืออุณหภูมิของสารที่เป็นเชื้อเพลิงได้รับความร้อน จนถึงจุดที่จะติดไฟได้แต่การติดไฟนั้นจะต้องต่อเนื่องกันไป โดยปกติความร้อนของ fire point จะสูงกว่า flash point ประมาณ 7 องศาเซลเซียส
4. ความหนาแน่นไอ (vapor density) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของสารเคมีในสถานะก๊าซต่อน้ำหนักของอากาศเมื่อมีปริมาณเท่ากัน ความหนาแน่นไอ ใช้เป็นสิ่งบ่งบอกให้ทราบว่าก๊าซนั้นจะหนักหรือเบากว่าอากาศซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมอัคคีภัย

3.3.10.2 ออกซิเจน (oxygen) คือ อากาศที่อยู่ล้อมรอบตัวเรา นั้นมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 21 % แต่การเผาไหม้แต่ละครั้งนั้นต้องการก๊าซออกซิเจนประมาณ 16 % เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรานั้นจะถูกล้อมรอบด้วยก๊าซ

ออกซิเจนเป็นอีกสารที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรกลต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปจะประะโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจน ซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ยิ่งถ้าปริมาณก๊าซออกซิเจนยิ่งมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้น และเชื้อเพลิงบางประเภทจะมีก๊าซออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่โดยรอบเลย

3.3.10.3 ความร้อน (heat) ความร้อน คือ พลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา

3.3.10.4 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) หรือ การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือ กระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้น หมายถึงการเกิดปฏิกิริยากกล่าวคืออะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง กลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเปลวไฟ

3.3.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง

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

3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

3.4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

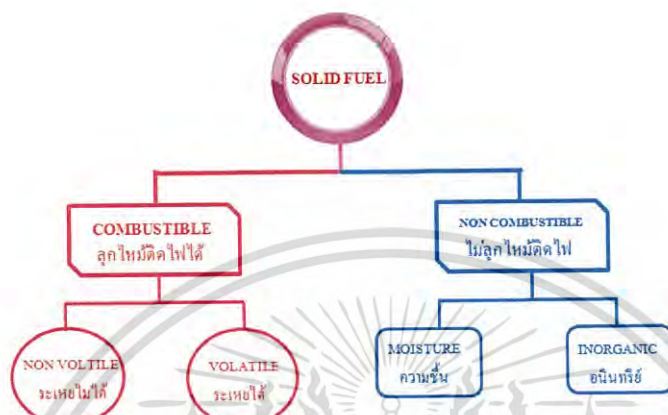
เชื้อเพลิงแข็งที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ไม้ ฟืน ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าวโพด เป็นต้น รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และก๊าซ เพราะว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่าง ๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

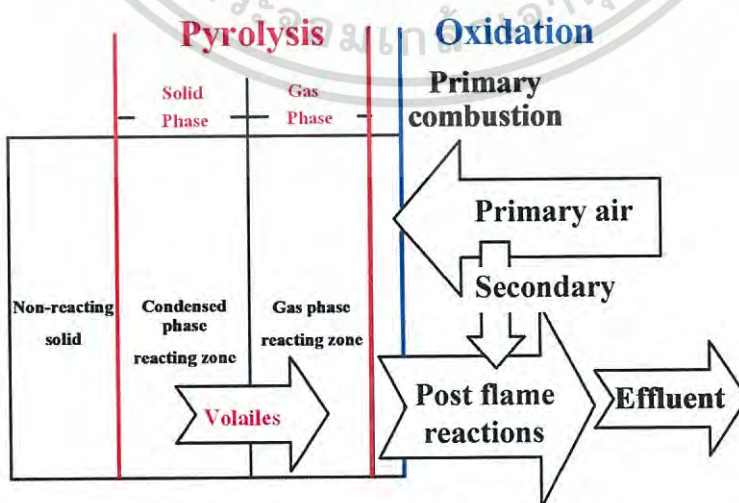
3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล [7]

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) การวิเคราะห์แบบประมาณเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ซับซ้อน เพื่อประมาณองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ เช่น ความชื้น ปริมาณของสารระเหย ปริมาณของคาร์บอนคงตัว (char) และปริมาณของเถ้า การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบการประมาณของเชื้อเพลิงทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์บางอย่างต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล ยกตัวอย่างเช่น contribution of flaming and glowing combustion ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารระเหยและคาร์บอนคงตัว ในขณะที่ความชื้นมีผลอย่างยิ่งต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
2. การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุเป็นการประมาณธาตุที่สำคัญเช่น C, H, O, N และ S หรือสารไม่บริสุทธิ์อื่น เช่น ฟอสฟอรัสและคลอรีน การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและองค์ประกอบของก๊าซมีความสำคัญมากต่อการคำนวณมวลและพลังงานทั้งหมดในกระบวนการการเผาไหม้ การที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณความชื้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อน (heating value) ของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ [7]

การวิเคราะห์แบบประมาณ (%)		การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (%)	
สารระเหย	55.60	คาร์บอน	38.00
คาร์บอนคงตัว	20.10	ไฮโดรเจน	5.70
ความชื้น	10.30	ไนโตรเจน	0.69
ขี้เถ้า	14.00	ออกซิเจน	41.60
		กำมะถัน	0.06
		ขี้เถ้า	14.00
		Calorific value, cal/g	3,580.00

สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เรียกว่า สารเฉื่อย (inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ ซึ่งจะไม่สามารถช่วยในการเผาไหม้ได้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ก็อาจเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารเฉื่อยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต (silicates) ซัลไฟด์ (sulfides) และเกลือฮาโลเจน (halogen salt) เป็นต้น เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกในหีบที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เรียกว่า เถ้าลอย (fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (volatile) และส่วนที่ไม่ระเหย (non-volatile) ในส่วนที่ไม่ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มากๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึงสารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ หลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

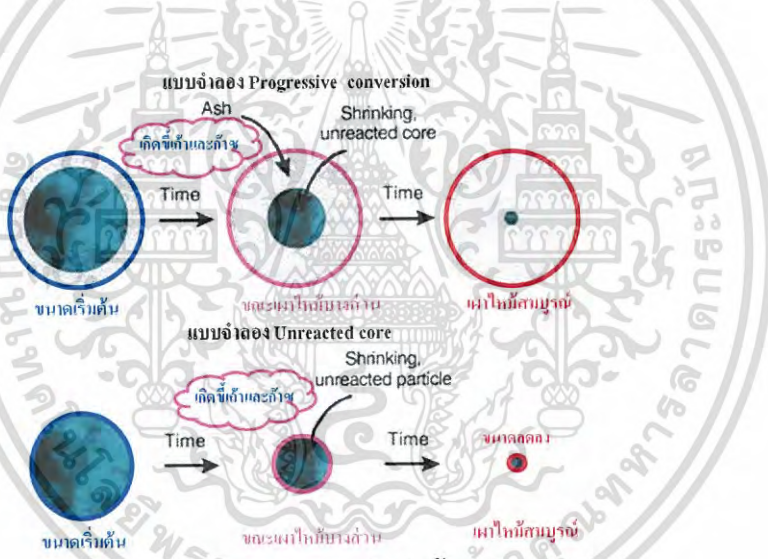
แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบจำลอง progressive conversion ใช้อธิบายเมื่อในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขนาดของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ไม่เกิดขี้เถ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม เช่น การเผาแร่กำมะถัน
2. แบบจำลอง unreacted core ใช้อธิบายเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป เช่น ไม้, แกลบ, ถ่านหิน เป็นต้น

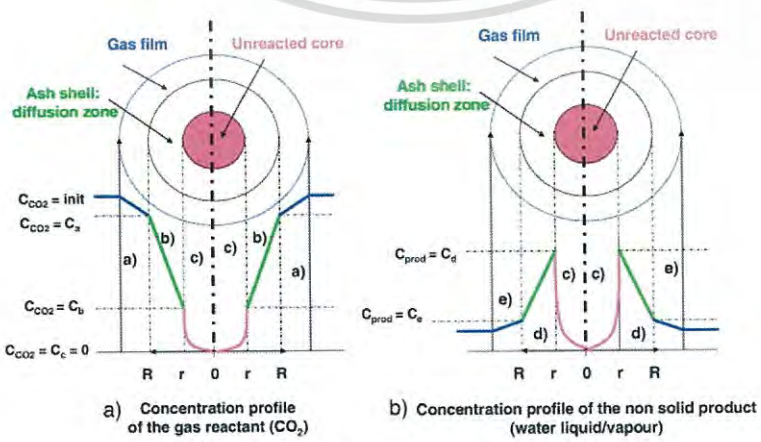
ในที่นี้จะมุ่งเน้นศึกษาที่แบบจำลอง unreacted core ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเผาไหม้ของแกลบ

3.4.4 แบบจำลอง Unreacted core

ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นครั้งแรกที่ผิวบนสุดของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ กินลึกเข้าไปภายใน ทั้งบริเวณที่ได้ทำปฏิกิริยาไปแล้วในสภาพขี้เถ้า ดังนั้นที่เวลาใดๆ ส่วนที่ลึกเข้าไปภายในชั้นเชื้อเพลิง หรือที่เรียกว่า แก่น จะค่อยๆ มีขนาดลดลงในระหว่างการทำปฏิกิริยา

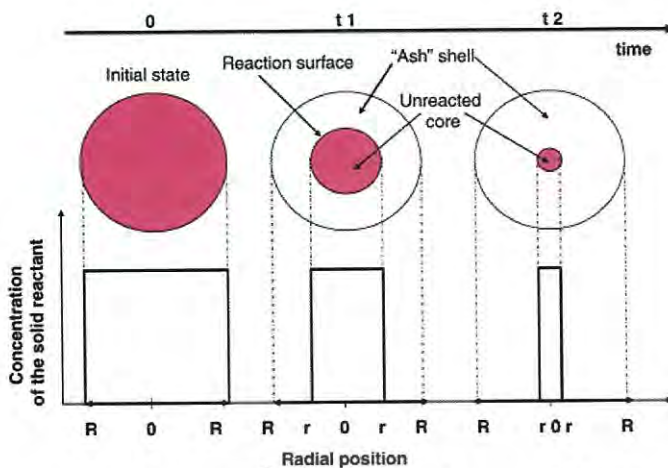


รูปที่ 3.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง [7]



รูปที่ 3.6 บริเวณการเกิดการเผาไหม้ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้ [7]

ปฏิกิริยาของแบบจำลองนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. อากาศแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มเข้าสู่ชั้นชี้เถ้า
2. อากาศผ่านชั้นชี้เถ้าเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิงในส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา
3. เกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับผิวของเชื้อเพลิง
4. ผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ซึมผ่านชั้นชี้เถ้ากลับสู่ชั้นฟิล์มของก๊าซ
5. ผลิตภัณฑ์ก๊าซซึมผ่านชั้นฟิล์มกลับคืนสู่ภายนอกบรรยากาศรอบๆ โดยความต้านทานในแต่ละขั้นตอนอาจจะแตกต่างกันมาก ขั้นตอนที่มีความต้านทานสูงสุดจะเป็นตัวควบคุมอัตราการความเร็วของการเผาไหม้

สิ่งที่มีผลต่ออัตราการความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์มและชั้นชี้เถ้า
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นชี้เถ้ากับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นชี้เถ้าจะสูงกว่าชั้นฟิล์มมากดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้
5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของก๊าซฟิล์มชั้นชี้เถ้า และปฏิกิริยาการเผาไหม้

6.

3.5 ฟลูอิดิเซชัน [11]

ฟลูอิดิเซชัน (fluidization) เป็นปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคของแข็งถูกระทำให้มีพฤติกรรมคล้ายของไหลภายใต้กระแสการพุงของก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านกลุ่มอนุภาคของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง ในระหว่างนั้นได้มีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

3.5.1 ประเภทของฟลูอิดิเซชัน

กระบวนการฟลูอิดิเซชันสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองรูปแบบ คือ

1. ฟลูอิดิเซชันสองสถานะ (two-phase fluidization) หมายความว่าในหอตลอดหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะคือของแข็งกับของไหล ของไหลนี้

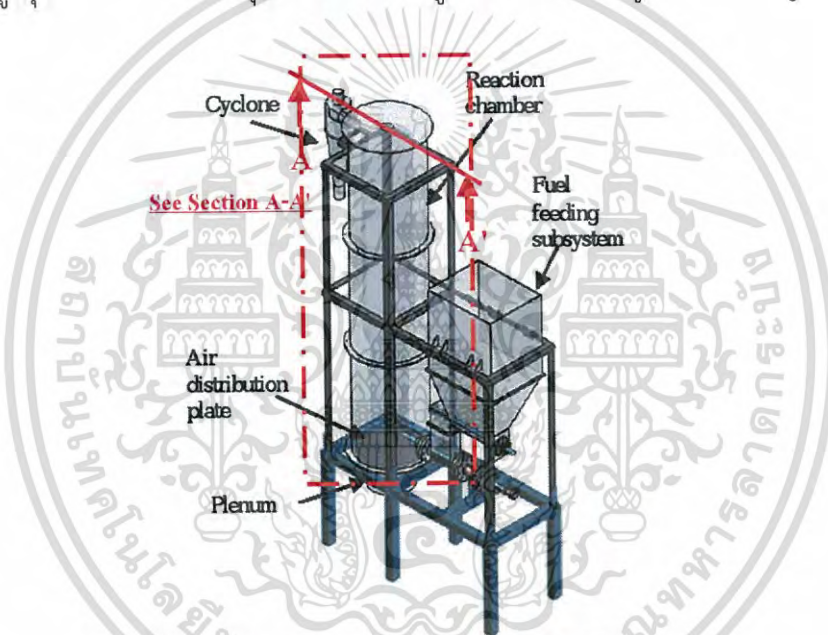
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดิเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ

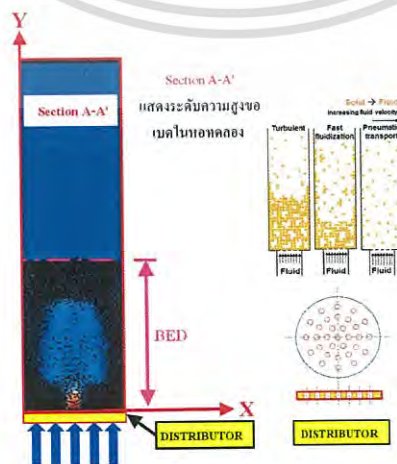
1. ก๊าซฟลูอิดิเซชัน (gas fluidization)
 2. ฟลูอิดิเซชันของของเหลว (liquid fluidization)
2. ฟลูอิดิเซชันสามสถานะ (three-phase fluidization) หมายความว่าภายในหอทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกันคือของแข็ง ของเหลวและ ก๊าซ สำหรับฟลูอิดิเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดิเซชันสองสถานะ

3.5.2 ลักษณะฟลูอิดิเซชันเบด

เบด (bed) หมายถึง อาณาเขตในหอทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอทดลองโดยนับระดับตั้งแต่แผ่นกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอทดลอง ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ลักษณะของหอทดลองฟลูอิดิเซชันเบด [12]

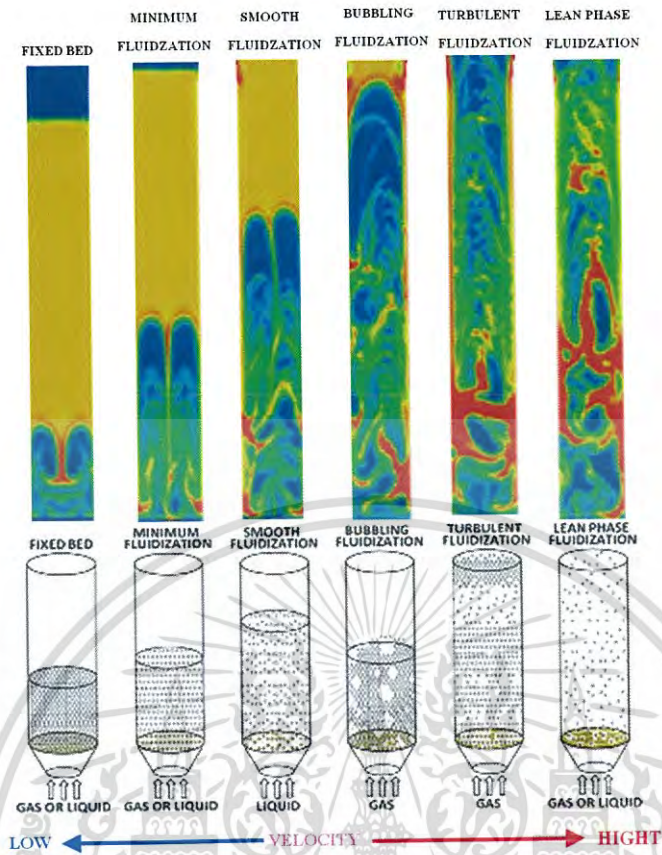


รูปที่ 3.9 ระดับของเบดในหน้าตัดของหอทดลอง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไลซ์เซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการเช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันภายในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.9 ได้แสดงลำดับลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดไลซ์เซชันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล โดยสรุปได้ดังนี้คือ

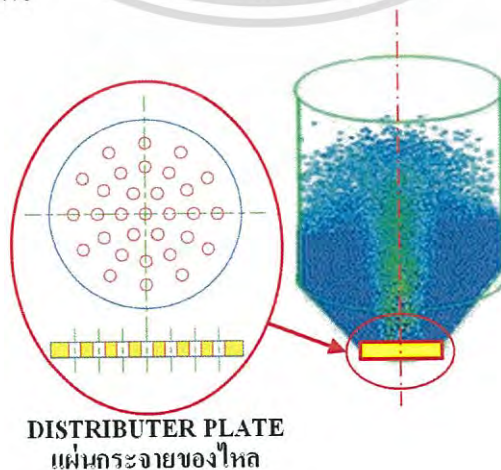
1. กลุ่มอนุภาคของแข็งมีกระแสของของไหลที่มีค่าความเร็วต่ำ ๆ ไหลผ่านของไหล ดังกล่าวจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่ง เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed)
2. เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน และเคลื่อนที่ในบริเวณจำกัด เบดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (expanded bed)
3. จากสภาวะที่ผ่านมา ถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นสภาวะที่น้ำหนักของเบดจะเท่ากับแรงเสียดทานที่ของไหลกระทำต่ออนุภาคของแข็ง ที่สภาวะนี้เองอนุภาคของแข็งจะเริ่มลอยตัวเป็นอิสระในกระแสของของไหล เรียก สภาวะนี้ว่าจุดต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไลซ์เซชัน (minimum fluidization หรือ incipiently fluidized bed) ค่าความเร็วของของไหลที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไลซ์เซชัน (minimum fluidizing velocity, U_{mf})
4. เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของของไหลให้มีค่ามากกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไลซ์เซชัน พิจารณาสภาวะที่เกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ของไหลเป็นของเหลว เบดจะมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ ระยะห่างระหว่างอนุภาคของแข็งจะค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งเบด คุณสมบัติเช่นนี้เรียก homogenous fluidization ดังรูป สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซจะเกิดการแทรกตัวผ่านของก๊าซในรูปแบบฟอง (gas bubbles) ที่ความเร็วสูงขึ้นความปั่นป่วนของเบดจะเพิ่มมากขึ้น ระดับของเบดจะมีการขยายตัวเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระดับของเบดนิ่ง จะเรียกเบดในลักษณะนี้ว่า bubbling fluidized bed หรือ heterogeneous fluidization
5. สำหรับกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจนเลยค่าความเร็วสุดท้ายของอนุภาคของแข็ง (terminal velocity) จะมีการสูญเสียอนุภาคของแข็งออกจากระบบมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะถูกพาให้เคลื่อนที่ตลอดความสูงของหอ โดยจะพบอนุภาคของแข็งอยู่รวมกันกลุ่มสลับกับช่องว่างของก๊าซที่ขนาดและรูปร่างต่างๆ เรียกเบดลักษณะนี้ว่า เบดปั่นป่วน (turbulent bed)
6. ถ้าเพิ่มความเร็วต่อไปถึงจุดหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วสุดท้ายของอนุภาคที่มีน้ำหนักมากที่สุด ของแข็งทั้งหมดจะหลุดลอยออกจากหอ เรียกสภาวะนี้ว่า เบดเบาบาง (lean phase fluidized bed)



รูปที่ 3.10 ลักษณะการเกิดฟลูอิดิเซชัน [12]

3.5.3 แผ่นกระจายของไหล

แผ่นกระจายของไหลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายกระแสของของไหลที่มาจากแหล่งกำเนิด และยังทำหน้าที่ป้องกันอนุภาคภายในระบบหลุดลงที่ด้านล่าง องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสถานะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือความดันตกคร่อมโดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหล ถ้าหากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ดี ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10% ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว



รูปที่ 3.11 แผ่นกระจายของไหล [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำฟลูอิดไดเซชั่น

ข้อดี

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบตคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบตนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบต
2. การทำงานด้วยฟลูอิดไดซ์เบตจะเสียพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบตน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบตและไหลเติมเข้าไปในเบตได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบตนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการทำงานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบต อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

ข้อเสีย

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบตสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีพอ หรืออนุภาคของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสั่นสะเทือนของหอตลอดหรือเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากระทบกับผนังหอตลอด
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบตสูงๆ หรือเบตหลายๆ ชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบต ทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปล่า ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
5. ใช้กับอนุภาคของแข็งที่เปียกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบต
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบตไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง จะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3.5.5 กระบวนการการเผาไหม้ของอนุภาคในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบต

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอน

ดังนี้
 เมื่อสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

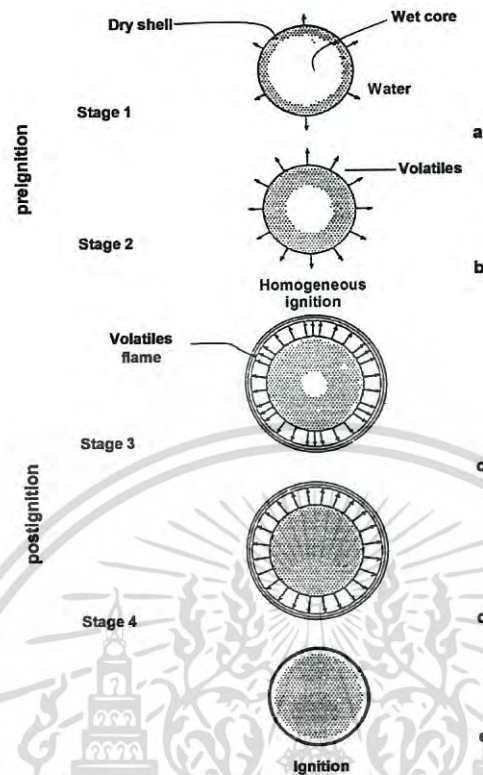
1. drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
2. devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
3. ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่อยออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค
4. combustion of volatile เป็นกระบวนการเผาไหม้สารระเหย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

3.5.6 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไอซ์เบด

อุณหภูมิเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงการอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงเกินไป Wildtger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส ดังรูปที่ 3.12

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

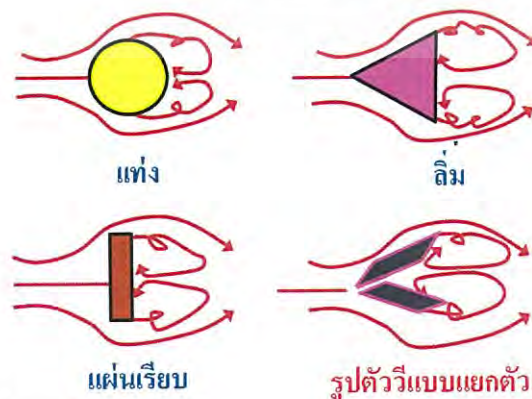
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น pre ignition และ c, d, e เป็น post ignition

3.6 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับนี้ทำได้โดยการกีดขวางอนุภาคหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดของพื้นที่หน้าตัดของการไหล (Rapid increase in flow area) โดยการนำวัตถุรูปทรงต่างๆ ไปวางขวางทิศทางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ทำให้เกิดบริเวณที่มีความเร็วต่ำและหมุนเวียนย้อนกลับในกระแสหลักของการไหล การไหลหมุนเวียนย้อนกลับจะทำให้มีเวลามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟด้วยตัวเอง เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และ ช่วยทำให้เกิดการเสถียรของเปลวไฟได้ดีขึ้น



รูปที่ 3.13 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 มลพิษและการควบคุม

สารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ตามทฤษฎีของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติมักเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ผุ่นและเขม่า

3.7.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่นสภาวะการเผาไหม้ไม่ดีหนาเกินไป การผสมคลุกเคล้าไม่ดีพอ ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นที่สภาวะสตอยคิโอเมตริกซึ่งเผาไหม้อุณหภูมิต่ำก่อนข้างสูงจนทำให้ CO₂ เกิดการแตกตัวกลับมาเป็น CO

วิธีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สำคัญ คือการควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

3.7.2 ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซมลพิษ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์มากกว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ สารมลพิษเริ่มต้น คือ NO ถูกออกซิไดส์เมื่อพบกับออกซิเจนและโอโซนในบรรยากาศกลายเป็น NO₂ การก่อตัวของ NO_x ในกระบวนการเผาไหม้มีกลไกของการก่อตัวอยู่ดังต่อไปนี้

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

วิธีการกำจัดก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์หลังจากออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจาก NO มีความเสถียรมากและไม่ละลายน้ำ วิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่เป็นผล จึงใช้วิธีการควบคุมการเผาไหม้ให้เกิด NO_x น้อย วิธีที่ใช้คือ

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจาก NO ในกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดส์ NO₂ ดังนั้นการลดปริมาณอากาศส่วนเกินจะช่วยลดปริมาณ NO₂
- การใช้ระบบเผาไหม้หลายขั้นตอน โดยการจัดให้อากาศเข้าหลายขั้นตอนจะทำให้อุณหภูมิลดลง ซึ่งจะลดปริมาณการเกิด Thermal NO ลง
- การนำฟลูแก๊สกลับมาป้อนใหม่

3.7.3 ก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x)

สาเหตุหลักของการเกิดก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ คือกำมะถัน (Sulfur) ภายในเชื้อเพลิง ถึงจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น SO₂ หรือ SO₃ ซึ่งเรียกรวมกันว่า SO_x ก๊าซในกลุ่มนี้มีการกัดกร่อนเนื่องจากการกลายเป็นไอของกรดซัลฟูริกในฟลูแก๊ส โดยไอของกรดนี้สามารถควบแน่นได้ดีกว่าน้ำ

ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ซึ่งก๊าซหลักที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านนี้คือ SO_3 เนื่องจากความสามารถละลายได้ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ SO_2

วิธีการควบคุมปริมาณก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์มีดังนี้

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อลดโอกาสการออกซิไดซ์ของ SO_2 ไปเป็น SO_3
- การเติมปูนขาวในขณะเกิดกระบวนการเผาไหม้เพื่อจับ SO_x แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดตรงที่สามารถใช้ได้ผลดีกับระบบที่เป็นฟลูอิดไอดีซ์เบดเท่านั้น
- การนำฟลูแก๊สที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ไปผ่านกระบวนการทำความสะอาดนับเป็นวิธีการที่ได้ผลดีที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินสูง กระบวนการนี้เรียกว่า flue gas desulfurization (FGD)

3.7.4 อนุภาคของเถ้า

กระบวนการเผาไหม้จะทำให้เกิดกระแสฟลูแก๊ส ส่วนประกอบหลักที่อยู่ภายในฟลูแก๊สคืออนุภาคของเถ้า เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดที่หลุดลอยออกไปพร้อมฟลูแก๊ส เพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคเถ้าลอยสู่สภาพแวดล้อมภายนอก จึงจำเป็นต้องมีการดักอนุภาคดังกล่าว

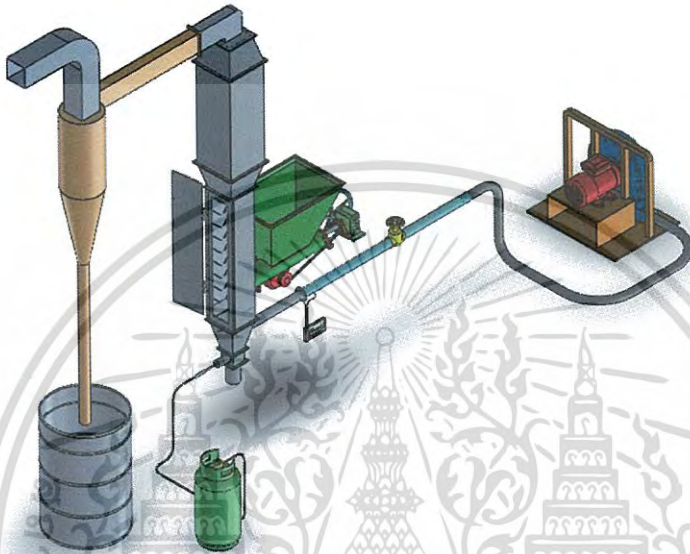
วิธีการดักอนุภาคเถ้าลอยมีดังนี้

- การแยกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก อาศัยหลักการปล่อยฟลูแก๊สสู่ห้องเก็บฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ ทำให้ความเร็วของอนุภาคลดลงและตกสู่ด้านล่าง
- การแยกด้วยแรงเฉื่อย อาศัยแรงหนีศูนย์กลาง โดยการทำให้อนุภาควิ่งในทางโค้งภายในอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไชโคลน อนุภาคจะเกิดแรงดึงออกจากทางโค้งและเมื่อไปปะทะผนัง ความเร็วจะลดลงแล้วตกลงสู่ด้านล่างของไชโคลน

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในชุดทดลอง

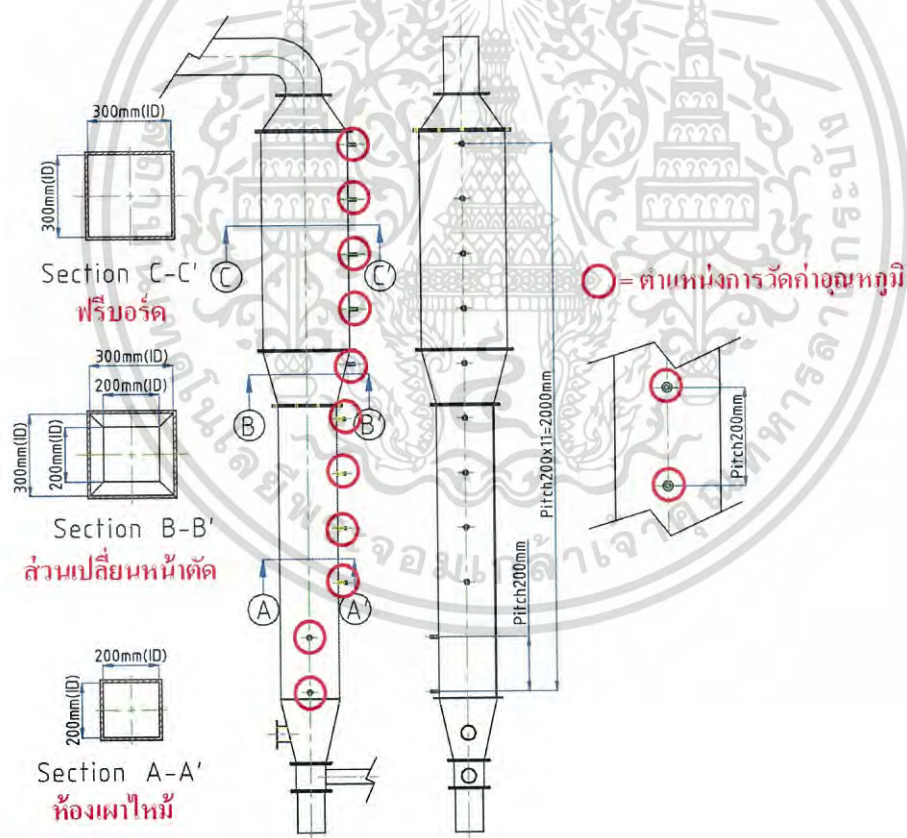
4.1.1 เต้าเผาแกลบลพลูอิโดซ์เบต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.1 เต้าเผาแกลบลพลูอิโดซ์เบต มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาแกลบลูอิโดซ์เบดทำจากเหล็กเหนียวชุบคาร์บอนหนา 12 mm ภายนอกหุ้มฉนวนอย่างดีหนา 35 mm อีกชั้นหนึ่งเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ เตาเผามีความสูงทั้งหมดเท่ากับ 2.4 m บริเวณผนังด้านข้างของเตาเผาจะถูกเจาะรูเป็นตำแหน่งสำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาจำนวนทั้งสิ้น 11 จุด และที่บริเวณส่วนบนของเตาเผาซึ่งเป็นทางออกของแก๊สไอเสียจะเป็นตำแหน่งสำหรับวัดค่าองค์ประกอบแก๊สไอเสีย เตาเผาประกอบด้วยส่วนหลักๆ สองส่วนคือ

- ส่วนล่างของเตาเผา (ห้องเผาไหม้) ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ห้องผสมสูง 0.25 m และห้องเผาไหม้ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ $0.20\text{ m} \times 0.20\text{ m}$ สูง 1 m
- ส่วนบนของเตาเผา (พรีบอร์ด) จะเริ่มจากส่วนเปลี่ยนหน้าตัดเพื่อลดกระแสความเร็วของของไหลภายในเตา มีความสูง 0.25 m และส่วนของพรีบอร์ด มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ $0.30\text{ m} \times 0.30\text{ m}$ สูง 0.80 m
- ขนาดของเตาเผาแกลบลูอิโดซ์เบด และตำแหน่งการวัดค่าระดับของอุณหภูมิภายในเตาเผาทั้งหมด 11 ตำแหน่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขนาดเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดและตำแหน่งการวัดระดับของอุณหภูมิ

4.1.2 ชุดอุปกรณ์ดักเก็บอนุภาคแก๊สไอเสีย

กระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบลูอิโดซ์เบดจะเกิดอนุภาคของเถ้าขึ้น โดยอนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผาลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของพรีบอร์ด และเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคของเถ้าไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจึงมีการติดตั้งไซโคลน โดยอาศัยหลักการเออร์สันเป็นหลักการหลักในการดักจับอนุภาคของเถ้าขึ้น เพื่อการรีไซเคิลเถ้าขึ้น เมื่ออนุภาคเถ้าขึ้นไปจับบริเวณด้านข้างการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนควง (vortex) ถ้าลอยที่มีน้ำหนักมากจะ ถูกปล่อยออกจากด้านล่างของไซโคลน



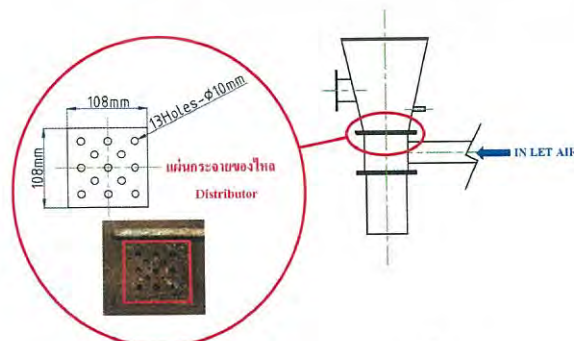
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ดักอนุภาคถั่วลอย (ไซโคลน)

4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศ

ชุดอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศให้กับระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลม คือ blower ทำหน้าที่จ่ายอากาศให้กับเตาเผาแก๊สเพื่อใช้สำหรับพองแก๊สภายในห้องเผาไหม้โดย ลมนี้จะมีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม ปริมาณอากาศจะถูกควบคุมด้วยวาล์ว โดยการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น orifice จาก manometer ซึ่งปริมาณอากาศทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (flow meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็น ปริมาณการไหลของอากาศ

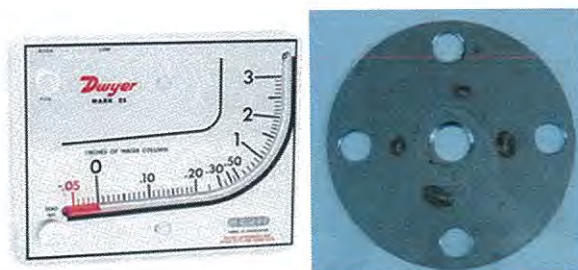


รูปที่ 4.4 Blower สำหรับจ่ายลมให้แก่ระบบ



รูปที่ 4.5 แผ่นกระจายของไหล

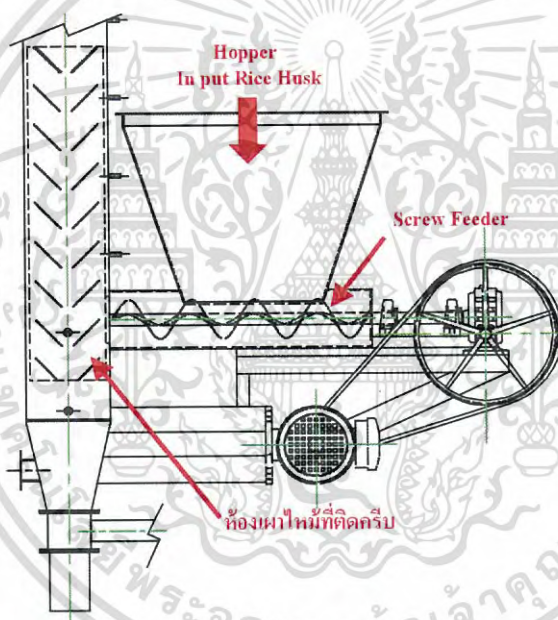
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 มานอมิเตอร์และแผ่นออริฟิสสำหรับวัดความดันตกคร่อมในท่อลม

4.1.4 ชุดอุปกรณ์การป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก hopper ไหลลงสู่ราง screw feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบให้ตกลงสู่ท่อลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ Screw Feeder โดยมี Inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.7 Hopper และ Screw Feed สำหรับบรรจุและป้อนเชื้อเพลิงแกลบ



รูปที่ 4.8 ชุด Motor และ Inverter ควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับการอุ่นเตา

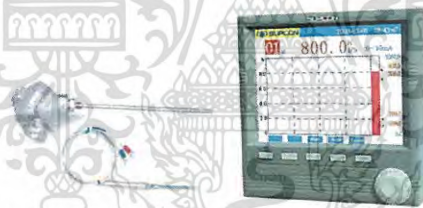
ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ ประกอบด้วยเชื้อเพลิง LPG และหัวเผา โดยที่หัวเผาจะถูกต่อเข้ากับบริเวณส่วนของห้องผสมของเตาเผา



รูปที่ 4.9 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น

4.1.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ทำการพิจารณา ได้แก่การวัดระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดภายในเตาเผา วัดค่าโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)



รูปที่ 4.10 ชุดอุปกรณ์วัดและอ่านค่าอุณหภูมิ

ส่วนองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของฟริบอร์ตนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองได้ค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , H_2S , HC , CO_2 (NDIR)

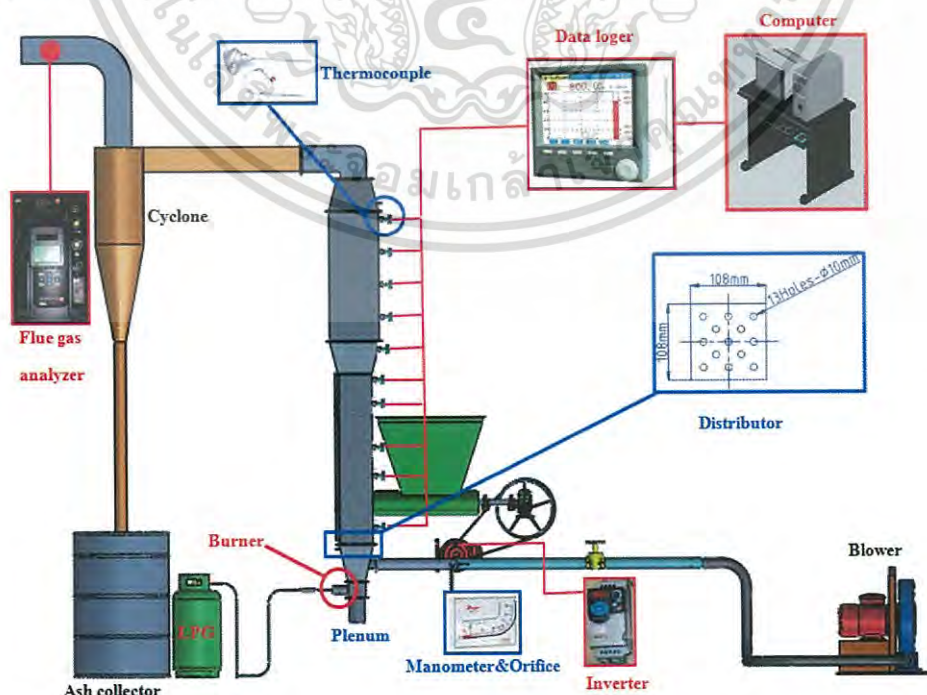


รูปที่ 4.11 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย TESTO 350M XL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การติดตั้งและการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง

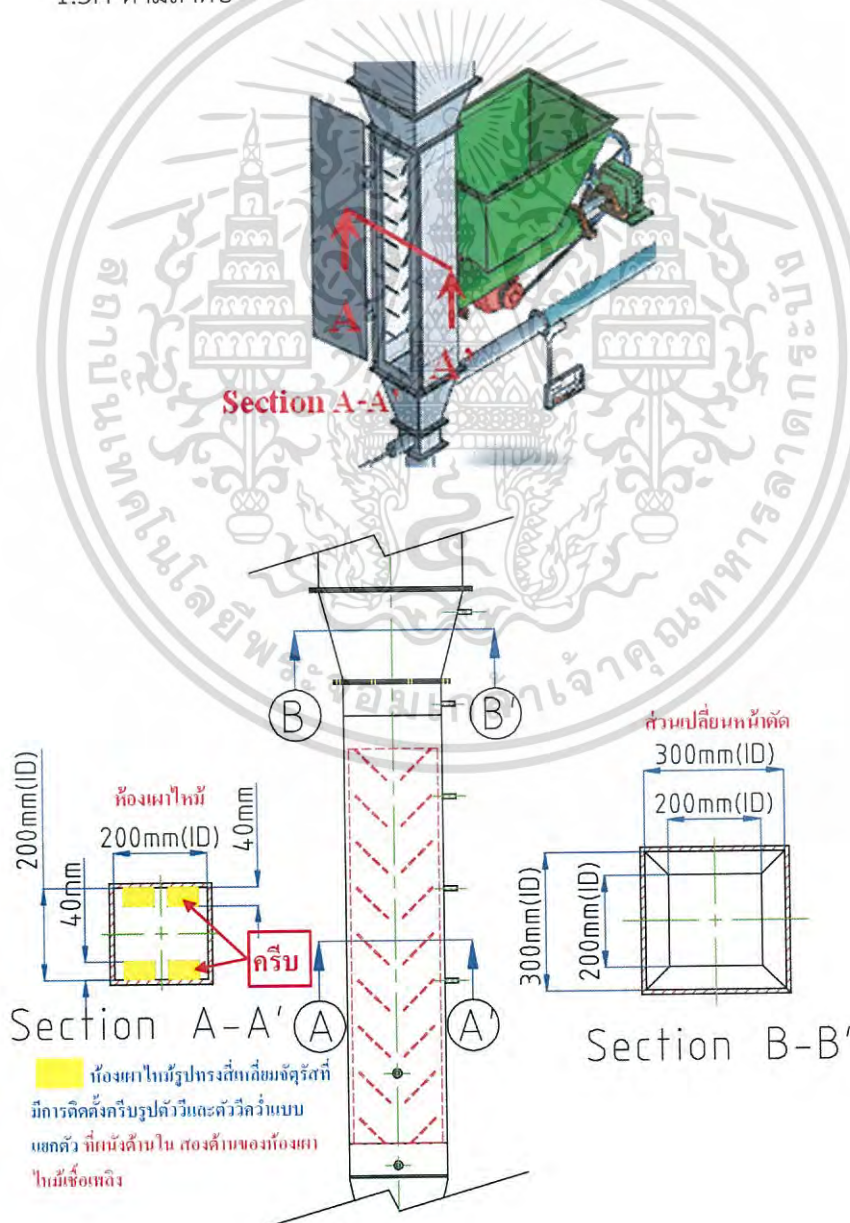
ในการทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดนี้จะมีหลักทำงานโดยจะใช้เครื่องเป่าลม (blower) ทำหน้าที่จ่ายอากาศให้กับเตาเผาแกลบเพื่อใช้สำหรับพองแกลบภายในห้องเผาไหม้โดยลมนี้จะมีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม ปริมาณอากาศจะถูกควบคุมด้วยวาล์วโดยการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น orifice จาก manometer ซึ่งปริมาณอากาศทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (flow meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณการไหลของอากาศอากาศ เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก hopper ไหลลงสู่รางของ screw feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมผ่านความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ screw feeder โดยมี inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ อุณหภูมิของเถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสของไหลภายในเตาเผาลำเลียงออกที่บริเวณส่วนบนของเฟรียบอร์ดเข้าสู่ไซโคลน เถ้าลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกดักออกทางด้านล่างของไซโคลน การวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์มอคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ส่วนองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของเฟรียบอร์ดนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์ที่แก๊สไอเสีย TESTO 350M XL ในการเริ่มต้นของการทดลองจะใช้หัวเผา (Burner) อุ่นเตาให้ร้อนด้วยก๊าซ LPG จนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงในช่วง $650^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$ ต่อจากนั้นจึงป้อนเชื้อเพลิงแกลบ ด้วยอัตราป้อนแกลบที่กำหนดขึ้นมาในการทดลอง รอจนอุณหภูมิสูงถึงประมาณ $800^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$ จึงหยุดการอุ่นเตาโดยการนำหัวเผาออก ในช่วงแรกของการจุดเตา จะพบการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดควันสีดำหนาและเศษแกลบที่เหลือจากการเผาไหม้ หลังจากนั้นควันจะจางและน้อยลง ผลของอุณหภูมิจะถูกบันทึกเมื่อครั้งที่ เถ้าลอยที่เหลือจากการเผาไหม้จะถูกแยกออกจากแก๊สไอเสียโดยไซโคลน ส่วนการวัดค่าผลของปริมาณแก๊สไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้จะถูกวัดค่าที่ทางออกของตัวไซโคลน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.12 ชุดอุปกรณ์การทดลอง มอนูญาตีให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

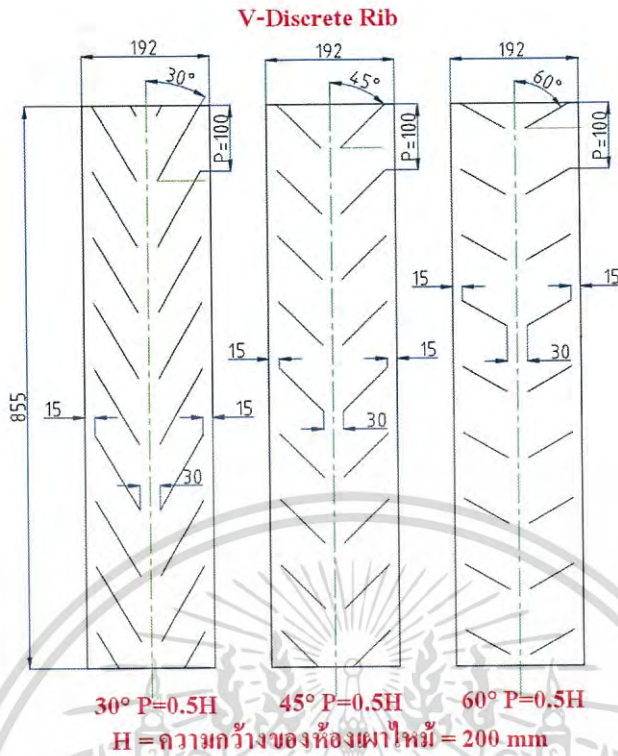
ลักษณะของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่ใช้ในการศึกษาทดลอง แบ่งตามลักษณะภายในห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันได้ดังนี้

- เตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีป
- เตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่มีลักษณะห้องเผาไหม้รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีปรูปตัววีและตัววีคว่ำแบบแยกตัว ที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยมีระยะห่างของครีป (H) และมุมมองตาของการติดตั้งครีปมีลักษณะ ดังนี้
- ติดครีปรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 30° โดยมีระยะห่างของครีป (P) 0.5H, 1H, และ 1.5H ตามลำดับ
- ติดครีปรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 45° โดยมีระยะห่างของครีป (P) 0.5H, 1H, และ 1.5H ตามลำดับ
- ติดครีปรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 60° โดยมีระยะห่างของครีป 0.5H, 1H, และ 1.5H ตามลำดับ

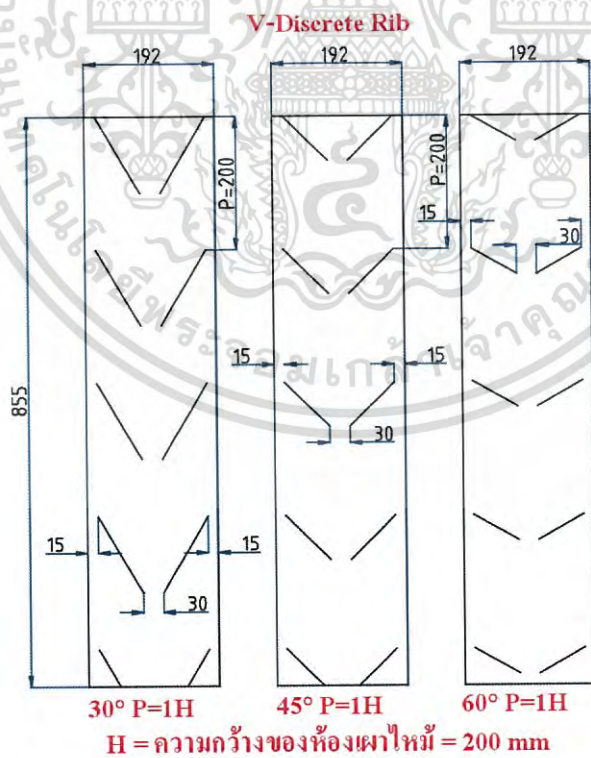


รูปที่ 4.13 ลักษณะการติดตั้งครีปภายในห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิโดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานเพื่อการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเมืองนวัตกรรมสีเขียว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ลักษณะของครีบริบตัดวีแบบแยกตัว, $P=0.5H$, มุม 30° , 45° และ 60°



รูปที่ 4.15 ลักษณะของครีบริบตัดวีแบบแยกตัว, $P=1H$, มุม 30° , 45° และ 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบ 3 ค่าคือ 44, 51.6 และ 59.8 kg/hr และปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนแกลบเป็น 4.6, 5.1 และ 5.9 kg/hr ตามลำดับ ทำให้ได้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 39%, 62%, 79%, 88%, 117%, 119%, 142%, 153% และ 180%
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงน้อยในระดับที่ยอมรับได้ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามความสูง จำนวน 11 ตำแหน่ง บันทึกผลของอุณหภูมิ และวัดค่าองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ สังเกตลักษณะเถ้าลอย
4. ทำการขยับเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวแกนที่กำหนดไว้ตำแหน่งที่ 3 จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3
5. ทำการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบบนในท้องเผาไหม้ ตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1-5 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีลักษณะภายในห้องเผาไหม้แตกต่างกันจากการติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวและครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัว โดยทำการพิจารณาผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิ ปริมาณการปล่อยแก๊สไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการกำหนดกรณีศึกษาไว้ดังนี้

1. ห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบริบ
2. ห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวและครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวโดยยึดติดที่ที่ผนังด้านในสองด้านของห้องเผาไหม้โดยรายละเอียดการติดตั้ง ดังนี้
 - ครีบริบรูปตัววีและครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัว มุม 30° , 45° และ 60° ตามลำดับ
 - ระยะห่างของครีบริบ (P) เป็น 0.5H, 1H และ 1.5H

5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ภายใต้ขอบเขตงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่มีการปรับเปลี่ยนลักษณะภายในห้องเผาไหม้ด้วยครีบริบลักษณะการติดตั้งรูปแบบต่าง ๆ โดยทำการปรับปริมาณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบและปริมาณอากาศจำนวนอย่างละ 3 ค่าโดยแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบและปริมาณอากาศในรูปของปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน (%EA) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 จะได้ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการดำเนินการทดสอบในช่วง 39% ถึง 180%

ตารางที่ 5.1 ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%) ที่จ่ายเข้าสู่เตาเผาฟลูอิดซ์เบด

อัตราการป้อนแกลบ (kg/hr)	ปริมาณอากาศ (kg/hr)	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
4.6	44	79
	51	142
	59	180
5.1	44	62
	51	119
	59	153
5.9	44	39
	51	88
	59	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่เกิดจากกรณีศึกษาทั้งหมดแสดงในตารางที่ 5.2-5.20 โดยแสดงผลที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษาของรูปแบบห้องเผาไหม้ที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ โดยแสดงค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด, อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณส่วนต่างของเตาเผา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาเผา, ส่วนของห้องเผาไหม้, ส่วนของพรีบอร์ดและอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ภายใต้กรณีศึกษาของรูปแบบห้องเผาไหม้เดียวกันจะพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นและแสดงค่าผลลัพธ์สูงสุดและผลลัพธ์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นในตารางด้วยตัวอักษรสีแดงและสีน้ำเงินตามลำดับ พบว่าทุกกรณีศึกษาที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 88% ให้ผลลัพธ์ของระดับอุณหภูมิที่สูงสุด ในขณะที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 180% ให้ผลลัพธ์ของระดับอุณหภูมิที่ต่ำสุด โดยนำผลลัพธ์สูงสุดและผลลัพธ์ต่ำสุดของกรณีห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีปไปแสดงเปรียบเทียบกับผลลัพธ์สูงสุดที่ขึ้นกรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีปสำหรับแต่ละลักษณะและมุมการติดตั้งครีป โดยแสดงในรูปที่ 5.1-5.6

ตารางที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีไม่มีการติดตั้งครีป

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	642	434	533	587	441	438
62	680	490	573	625	487	484
79	664	381	552	605	459	449
88	705	470	588	640	499	491
117	603	400	496	553	391	381
119	614	369	504	557	413	400
142	586	449	486	538	397	386
153	564	386	468	514	390	369
180	546	364	452	492	388	377

ตารางที่ 5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีปรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 30° P = 0.5H

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	905	720	814	862	724	720
62	965	761	874	929	773	761
79	848	669	765	810	674	672
88	951	759	870	916	776	759
117	851	641	752	802	660	670
119	809	615	714	764	621	625
142	944	722	831	882	726	729
153	855	601	740	807	619	622
180	791	591	678	725	591	591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $30^\circ P = 0.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	889	708	803	850	719	708
62	935	765	862	905	788	765
79	846	609	742	802	624	609
88	950	735	846	903	746	735
117	836	625	737	788	641	655
119	791	600	697	744	606	610
142	915	697	809	868	707	697
153	812	612	712	764	623	612
180	779	597	685	725	621	610

ตารางที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริปตัววีแบบแยกตัวมุม $30^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	875	685	781	829	696	708
62	906	752	842	881	772	752
79	833	633	734	786	641	641
88	935	718	836	895	731	729
117	820	620	728	782	636	640
119	776	585	679	727	591	595
142	921	712	806	853	721	712
153	799	607	704	755	614	617
180	748	567	665	702	611	600

ตารางที่ 5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $30^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	868	652	762	814	667	694
62	905	727	822	865	740	727
79	807	596	713	764	620	596
88	899	714	816	855	719	714
117	804	600	708	756	608	600
119	761	579	667	714	584	580
142	890	697	798	846	703	708
153	784	590	689	736	598	590
180	737	547	651	698	566	547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกตัวมุม $30^\circ P = 1.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	829	636	748	798	656	685
62	892	710	808	853	724	710
79	796	586	699	751	608	586
88	901	690	800	857	700	707
117	790	604	693	740	608	615
119	751	560	657	706	566	570
142	869	675	780	834	684	695
153	774	582	681	729	589	592
180	754	543	644	694	554	560

ตารางที่ 5.8 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกตัวมุม $30^\circ P = 1.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	819	623	730	779	639	662
62	864	693	786	826	712	693
79	760	585	680	725	599	621
88	879	674	780	829	681	674
117	775	579	675	726	590	593
119	736	545	644	691	559	555
142	838	662	763	812	668	675
153	759	567	663	712	578	577
180	722	529	622	665	553	543

ตารางที่ 5.9 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 0.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	938	724	825	876	734	735
62	1000	794	901	959	803	794
79	871	680	777	826	686	690
88	975	756	873	927	774	756
117	861	645	761	812	665	645
119	816	625	720	770	631	635
142	941	728	844	898	749	728
153	827	624	731	779	647	624
180	796	580	697	741	633	627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 0.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	892	715	811	860	720	715
62	966	776	872	923	782	776
79	866	628	760	820	643	628
88	960	754	858	911	758	754
117	846	623	746	801	641	665
119	801	610	712	763	616	620
142	919	704	807	855	714	704
153	837	609	720	778	615	623
180	765	578	682	724	608	617

ตารางที่ 5.11 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	882	706	794	841	713	719
62	940	763	857	904	775	763
79	845	618	748	809	627	618
88	945	739	845	898	752	739
117	831	631	736	788	640	631
119	786	597	689	738	605	597
142	903	661	803	860	699	661
153	807	607	707	757	614	607
180	775	581	668	715	584	582

ตารางที่ 5.12 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	855	666	768	818	678	698
62	910	732	829	871	751	732
79	811	601	718	769	627	601
88	911	719	822	874	728	719
117	811	610	713	762	623	630
119	766	570	673	727	581	585
142	885	700	801	853	706	709
153	791	602	697	747	605	602
180	763	566	657	707	571	566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 1.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	843	650	755	806	664	690
62	895	719	815	859	731	719
79	800	590	706	758	613	590
88	913	703	809	864	712	724
117	801	601	702	751	610	620
119	756	574	664	711	580	575
142	879	685	787	841	693	707
153	779	597	687	736	598	597
180	750	551	650	701	557	551

ตารางที่ 5.14 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $45^\circ P = 1.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	823	638	743	792	653	680
62	878	706	799	843	717	706
79	779	579	693	741	612	579
88	869	683	794	832	707	683
117	779	590	688	738	597	590
119	746	555	657	706	566	580
142	881	666	769	822	677	666
153	781	581	681	733	592	581
180	711	539	625	664	563	553

ตารางที่ 5.15 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปร่างตัววีแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 0.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย (°C)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	926	715	821	876	727	727
62	994	785	895	953	790	786
79	867	678	775	825	683	685
88	970	750	864	922	761	750
117	856	665	757	804	671	675
119	811	620	720	766	626	630
142	946	723	831	886	734	731
153	837	647	750	801	665	663
180	812	592	699	753	597	603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 0.5H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	896	716	808	855	723	719
62	959	770	868	918	782	770
79	845	618	748	809	627	618
88	955	749	856	913	758	749
117	838	650	743	790	656	660
119	796	605	707	751	620	615
142	914	699	801	855	706	699
153	814	598	714	771	612	605
180	783	601	683	720	624	610

ตารางที่ 5.17 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องรูปตัววีแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	881	700	787	833	709	714
62	916	759	851	894	776	759
79	838	611	739	796	633	611
88	932	734	846	894	755	734
117	826	635	730	775	649	645
119	781	590	688	737	596	600
142	901	689	797	849	710	689
153	801	613	704	753	616	621
180	773	546	660	716	554	567

ตารางที่ 5.18 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 1.0H$

%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	860	680	775	824	688	704
62	902	738	837	878	764	738
79	829	626	726	777	634	626
88	930	715	829	886	723	715
117	816	614	718	768	624	614
119	771	580	677	726	586	590
142	885	652	782	836	691	652
153	794	602	697	747	605	602
180	735	584	662	696	608	597

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 1.5H$

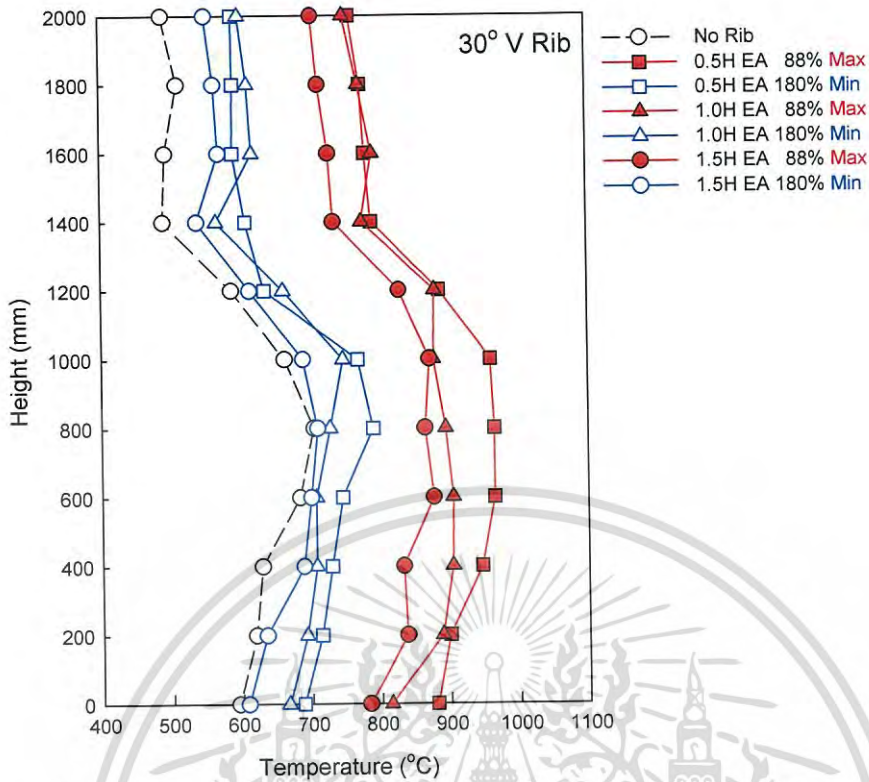
%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	843	650	755	806	664	690
62	895	719	815	859	731	719
79	800	590	706	758	613	590
88	913	703	809	864	712	724
117	801	601	702	751	610	620
119	756	574	664	711	580	575
142	879	685	787	841	693	707
153	779	597	687	736	598	597
180	750	551	650	701	557	551

ตารางที่ 5.20 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกตัวมุม $60^\circ P = 1.5H$

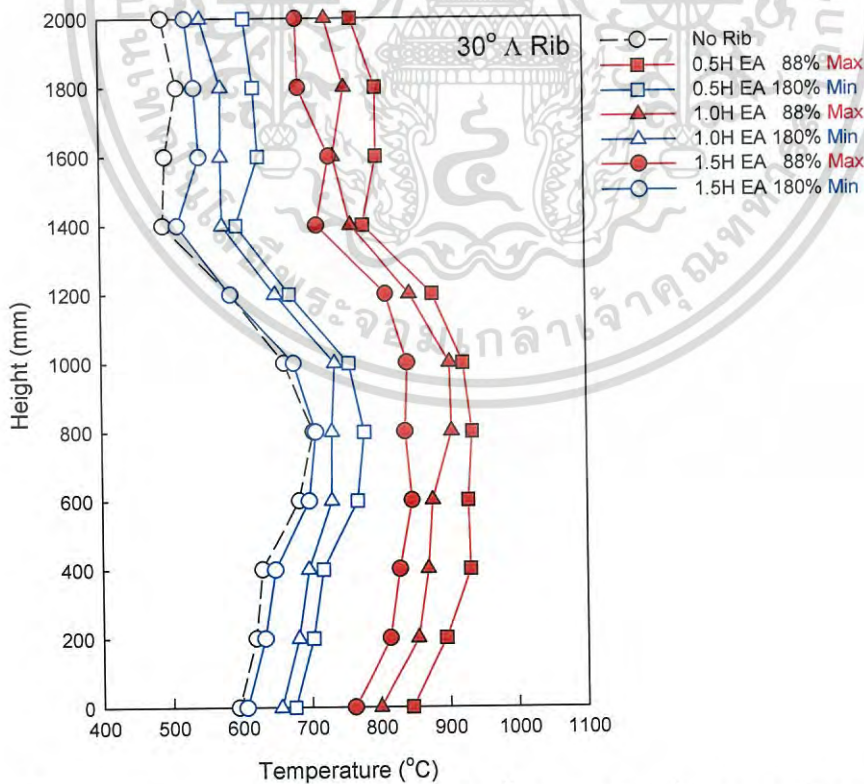
%EA	อุณหภูมิสูงสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิต่ำสุด ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^\circ\text{C}$)			
			ทั้งเตา	ห้องเผาไหม้	พรีบอร์ด	ไอเสีย
39	823	627	737	786	649	676
62	875	699	793	837	711	699
79	774	589	687	737	600	614
88	866	683	780	810	707	683
117	778	586	683	733	590	597
119	741	550	647	696	556	560
142	851	669	769	822	675	682
153	764	572	670	719	579	582
180	715	529	619	661	553	543

จากรูปที่ 5.1-5.6 จะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงโดยภาพรวมของอุณหภูมิภายในเตาเผาของแต่ละกรณีศึกษา พบว่าทุกกรณีศึกษาจะให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้คือ บริเวณส่วนของห้องเผาไหม้จะทำให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณอื่นภายในเตาเผา เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้นในบริเวณดังกล่าวจึงส่งผลถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น และเมื่อเข้าสู่ในส่วนของพรีบอร์ดอุณหภูมิจะมีค่าลดลงประมาณ 100-300 องศาเซลเซียสแตกต่างกันไปตามกรณีศึกษา เนื่องจากในบริเวณนี้จะเกิดการการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงเพียงบางส่วนที่ถูกอากาศพัดหลุดลอยออกมาจากส่วนบริเวณห้องเผาไหม้จึงได้ความร้อนจากปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าทำให้ระดับอุณหภูมิต่ำกว่าส่วนห้องเผาไหม้ โดยความแตกต่างของอุณหภูมิส่วนบริเวณห้องเผาไหม้กับส่วนของพรีบอร์ดจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่ามากขึ้น เพราะปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่ามากขึ้นจะทำให้ความเร็วอากาศภายในเตาสูงขึ้นจึงอาจทำให้เชื้อเพลิงถูกพัดหลุดลอยจากส่วนห้องเผาไหม้เข้าสู่ส่วนพรีบอร์ดได้มากขึ้นและเกิดการเผาไหม้ได้มากขึ้นบริเวณส่วนพรีบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

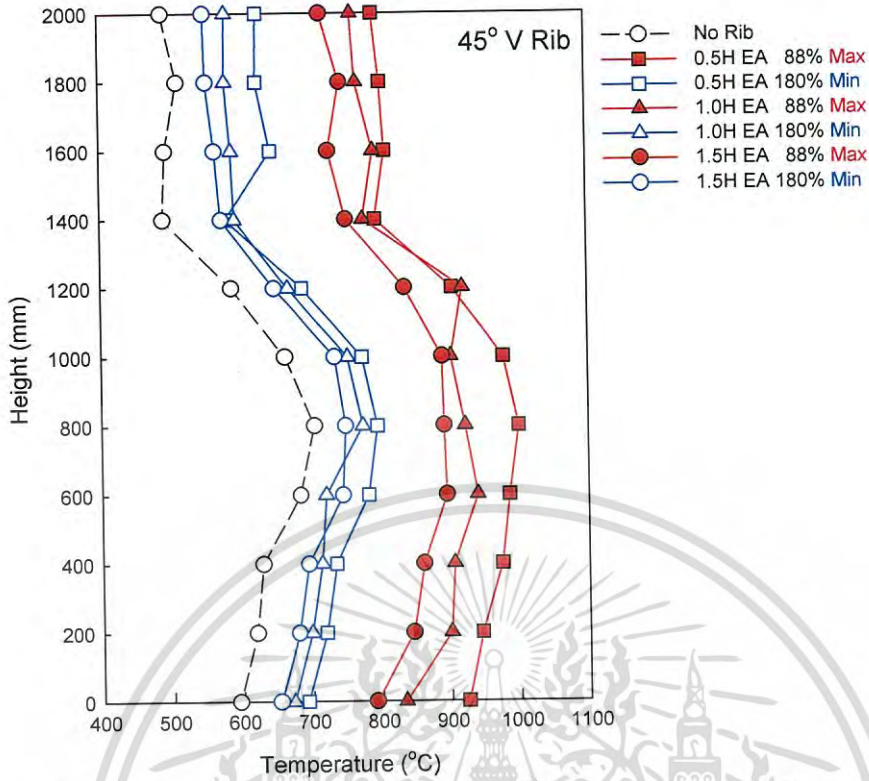


รูปที่ 5.1 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 30°

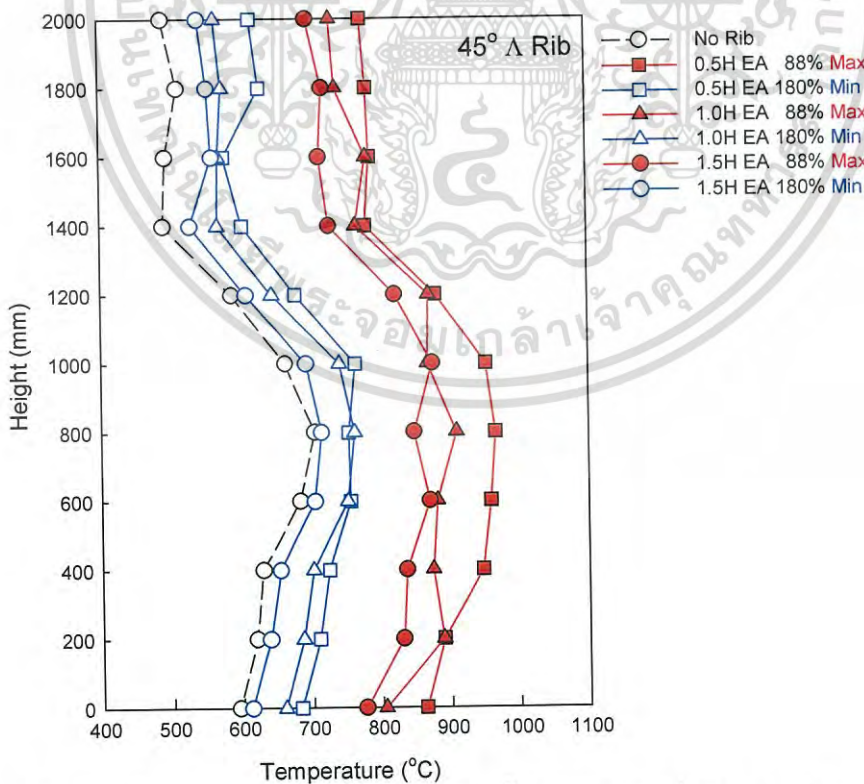


รูปที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัวคว่ำแบบแยกตัวมุม 30°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

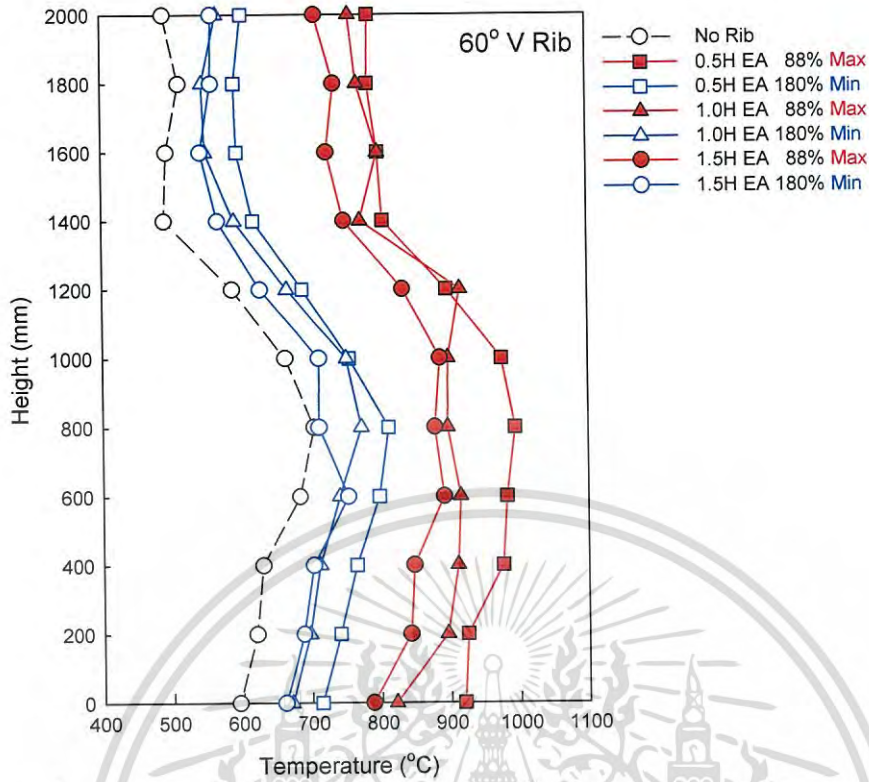


รูปที่ 5.3 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 45°

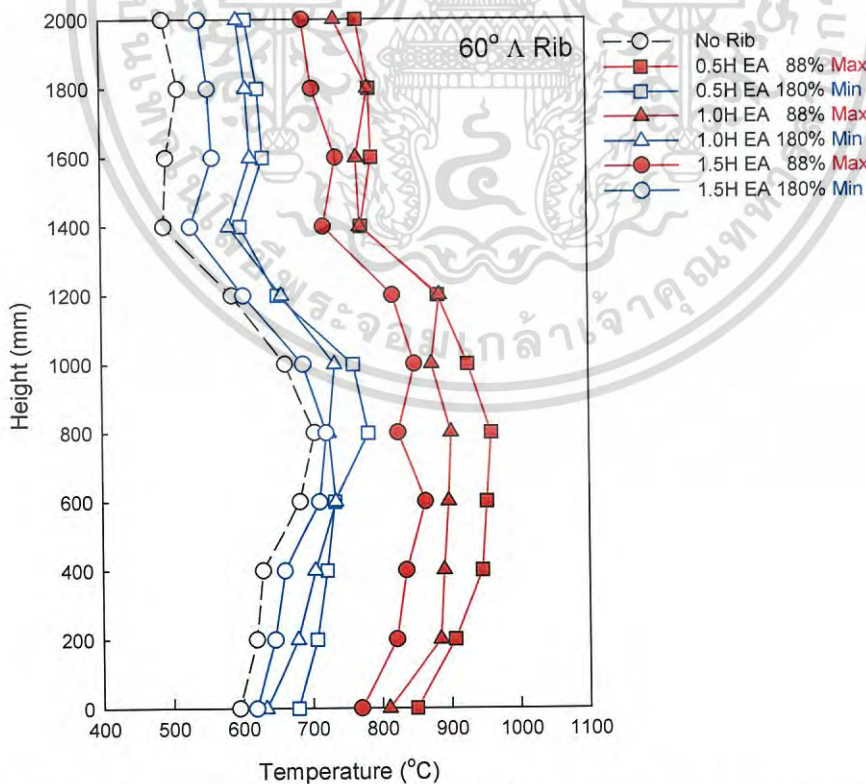


รูปที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวมุม 60°

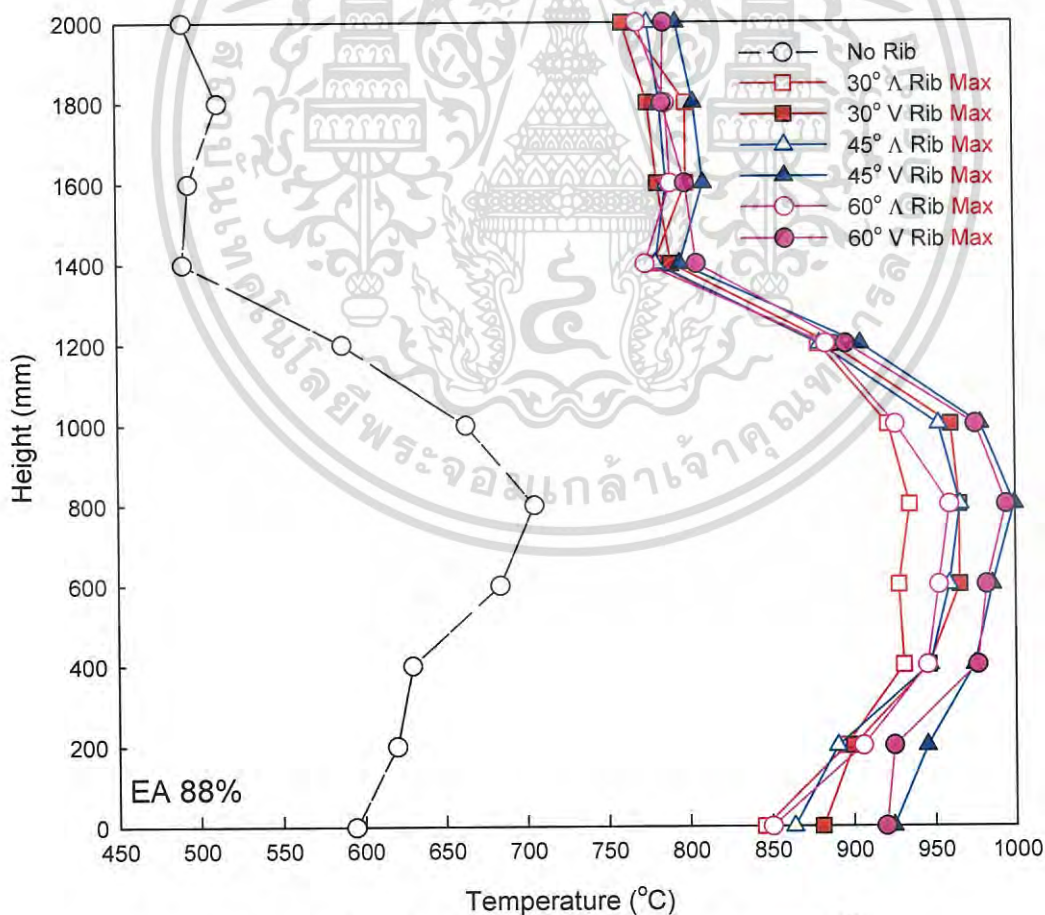


รูปที่ 5.6 ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกรณีห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบกับผลลัพธ์กรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบสำหรับแต่ละลักษณะและมุมการติดตั้งครีบ พบว่าผลลัพธ์ระดับอุณหภูมิที่ต่ำสุดของกรณีการติดตั้งครีบทุกกรณีศึกษานั้นให้มิต่ำค่าผลลัพธ์ระดับอุณหภูมิที่มากกว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่เกิดจากเตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีบ เนื่องจากการติดตั้งครีบเข้าไปในส่วนของห้องเผาไหม้นั้นจะช่วยให้เกิดความปั่นป่วนที่รุนแรงขึ้นทำให้การคลุกเคล้าระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น และส่งผลดีต่อกระบวนการการเผาไหม้เพราะความปั่นป่วนที่รุนแรงขึ้นนี้จะช่วยให้เชื้อเพลิงที่อยู่ในบริเวณผิวของเชื้อเพลิงหลุดออกจากเชื้อเพลิงในส่วนยังไม่เผาไหม้ ทำให้เชื้อเพลิงในส่วนยังไม่เผาไหม้นี้สามารถสัมผัสกับอากาศและกระบวนการการเผาไหม้ขึ้นได้ และจากการที่ครีบไปขวางการไหลภายในเตาเผาจะทำให้เกิดลักษณะการไหลแบบหมุนควงภายในเตาเผาบริเวณที่ติดตั้งครีบและบริเวณใกล้เคียง จากลักษณะการหมุนควงที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยเหนี่ยวนำเชื้อเพลิงกลับให้เคลื่อนที่อยู่ใต้นี้ โอภาสที่เชื้อเพลิงจะหลุดลอยออกไปจึงน้อยลง

ผลของระยะห่างของครีบที่ติดตั้งที่มีต่อระดับอุณหภูมิการเผาไหม้นั้นจะเห็นว่ากรณีการติดตั้งครีบที่ระยะติดตั้งจะให้ค่าระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าและลดหล่นไปตามระยะการติดตั้งที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระยะติดตั้งที่สั้นน่าจะส่งผลต่อความปั่นป่วนภายในเตาเผาที่สูงกว่าทำให้เกิดการคลุกเคล้าที่ดีกว่าระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง กระบวนการการเผาไหม้จึงเกิดได้ดีขึ้น



รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบ

การเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิภายในเตาเผากรณีติดตั้งครีบที่ให้ผลลัพธ์ระดับอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละลักษณะการติดตั้งและมุมการติดตั้ง ดังรูปที่ 5.7 หากพิจารณาที่มุมการติดตั้งเดียวกันจะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นว่าลักษณะการติดตั้งครีบบนตัววีแยกตัวที่ให้ค่าระดับอุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีการติดตั้งครีบบนตัววีคว่ำแยกตัวที่ทุกมุมการติดตั้ง เมื่อพิจารณาลักษณะการติดตั้งครีบบนตัววีเหมือนกัน พบว่ากรณีการติดตั้งครีบบนมุม 45° ให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงสุด รองลงมาได้แก่ มุมการติดตั้งที่ 60° และ 30° ตามลำดับ โดยกรณีการติดตั้งครีบบนมุม 45° ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดที่ 975 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิแก๊สไอเสีย 756 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาเผาอยู่ที่ 873 องศาเซลเซียส

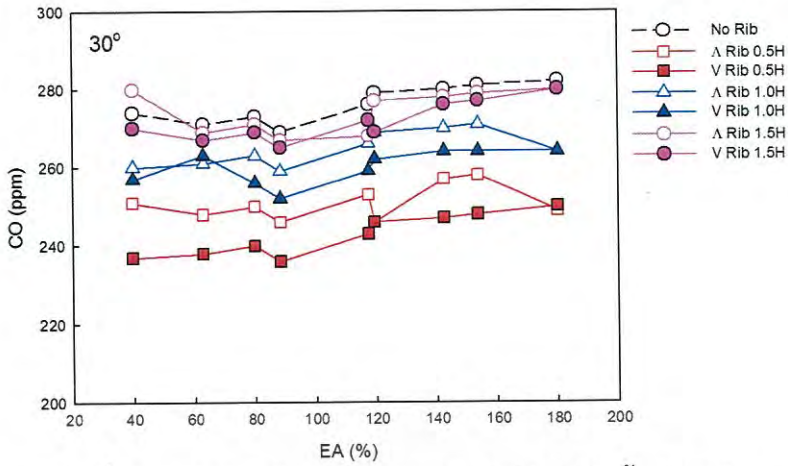
5.3 ปริมาณแก๊สไอเสีย

จากการศึกษาทดลองถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด ที่การพัฒนาในส่วนของห้องเผาไหม้ด้วยการติดตั้งครีบลักษณะต่าง ๆ ภายใต้ขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ จะทำการวัดวิเคราะห์ถึงปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในส่วนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และกลุ่มแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งการวัดปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ขณะทดลองนั้น จะทำการวัดที่บริเวณทางออกของเตาเผาด้วยเครื่อง TESTO 350 XL โดยนำเสนอเปรียบเทียบของผลลัพธ์ที่ขึ้นของแต่ละกรณีศึกษาที่อยู่ภายใต้มุมการติดตั้งครีบบนตัววีเหมือนกัน ประกอบด้วยการติดตั้งครีบบนตัววีแบบแยกตัวและครีบบนตัววีคว่ำแบบแยกตัวที่ระยะห่างของครีบบนการติดตั้งเท่ากับ 0.5H, 1.0H และ 1.5H รวมทั้งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบบนตัววี

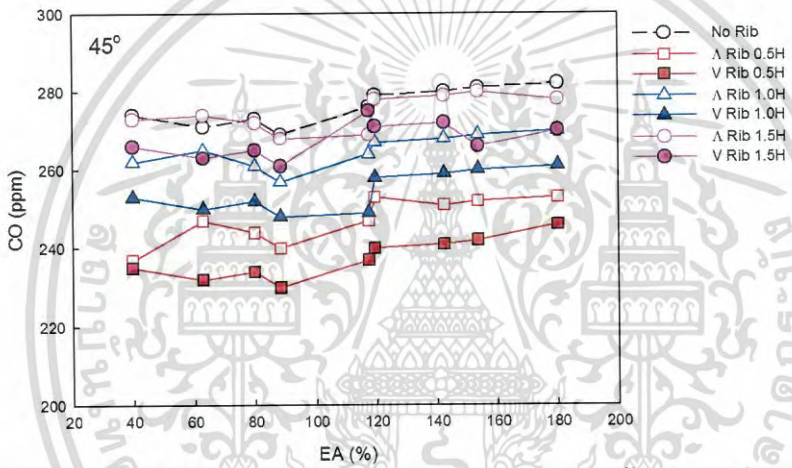
ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้ที่มุมการติดตั้งครีบบนตัววี 30° , 45° และ 60° แสดงในรูปที่ 5.8-5.10 ตามลำดับ พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 220-300 ppm กรณีที่มีการติดตั้งครีบบนตัววีทุกกรณีศึกษาจะให้ปริมาณแก๊สดังกล่าวที่ต่ำกว่ากรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบบนตัววี แสดงให้เห็นถึงสมบรูณ์ของกระบวนการการเผาไหม้ของกรณีที่มีการติดตั้งครีบบนตัววีที่สูงกว่า และหากเปรียบเทียบปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากระยะห่างของครีบบนการติดตั้งจะเห็นว่าปริมาณแก๊สนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างของครีบบนตัววีที่เพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับระดับชั้นอุณหภูมิการเผาไหม้จะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างของครีบบนตัววีเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงกระบวนการการเผาไหม้ภายในเตาเผาที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้ พบว่ายังเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการเผาไหม้กำหนดไว้ โดยมีค่าน้อยกว่า 690 ppm

รูปที่ 5.11-5.12 แสดงปริมาณกลุ่มแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้ พบว่ากรณีที่มีการติดตั้งครีบบนตัววีทุกกรณีศึกษาจะให้ปริมาณแก๊สนี้ที่สูงกว่ากรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบบนตัววี เนื่องจากผลของระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า ซึ่งระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงนี้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของปริมาณแก๊สดังกล่าว โดยภายใต้ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้กลุ่มแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 100-160 ppm ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 200 ppm ตามที่มาตรฐานการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการเผาไหม้กำหนดไว้

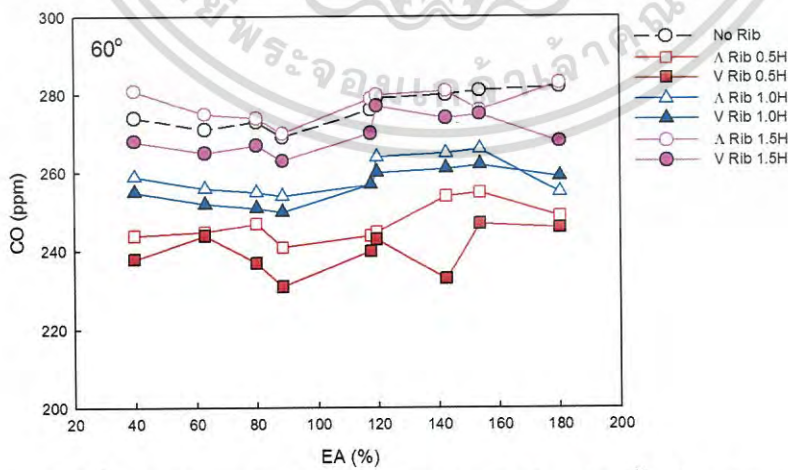
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งคืบ 30°

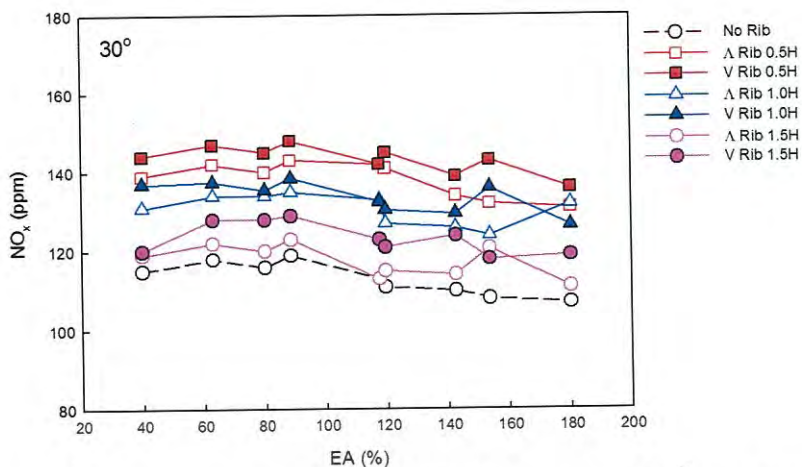


รูปที่ 5.9 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งคืบ 45°

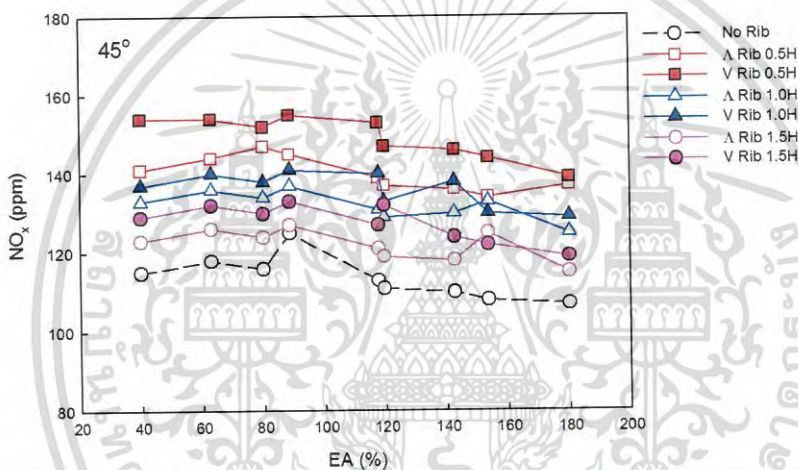


รูปที่ 5.10 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กรณีติดตั้งคืบ 60°

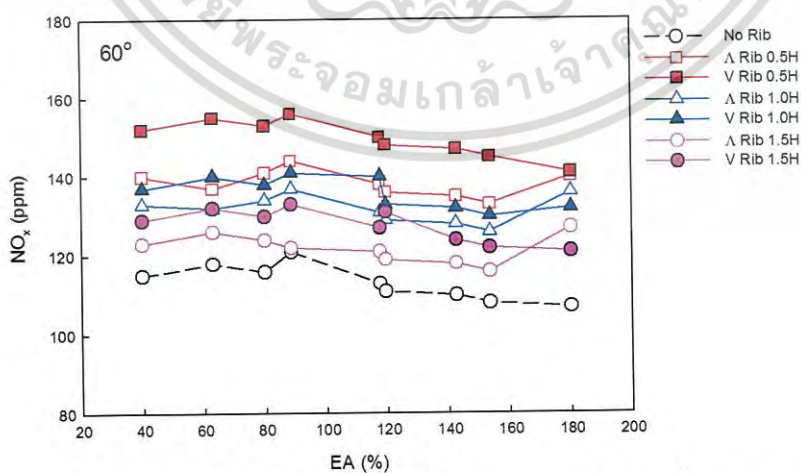
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 30°

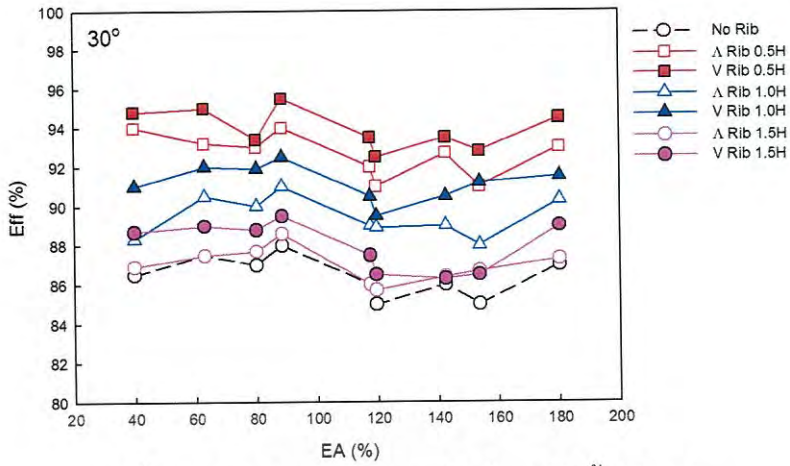


รูปที่ 5.12 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 45°

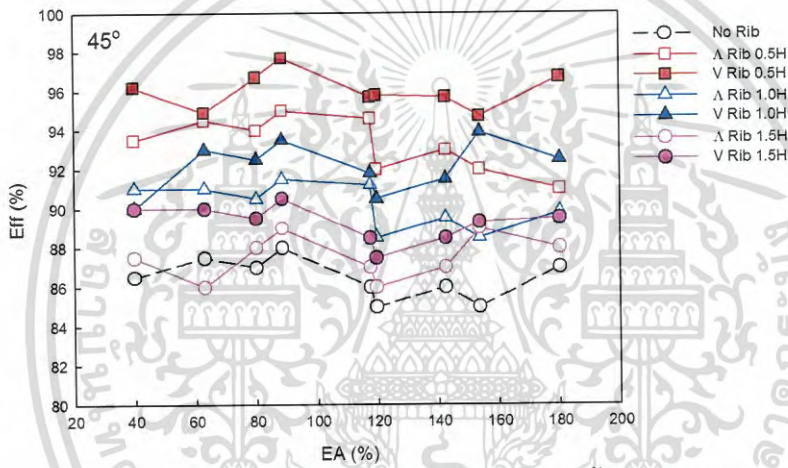


รูปที่ 5.13 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนกรณีติดตั้งครีบ 60°

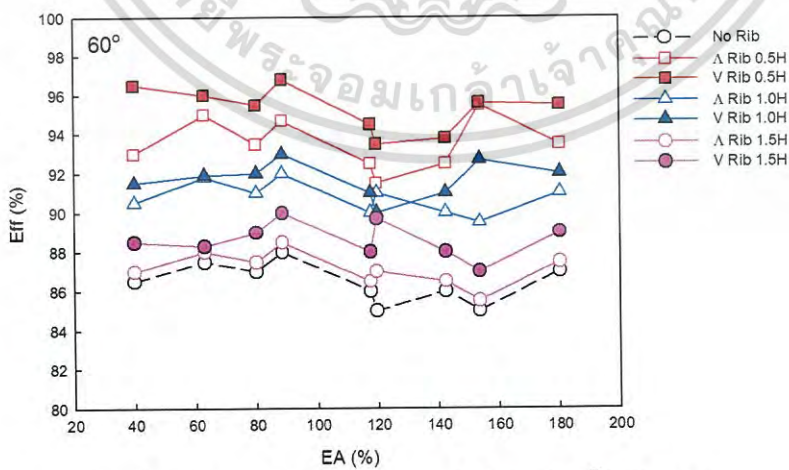
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบบ 30°



รูปที่ 5.15 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบบ 45°



รูปที่ 5.16 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีติดตั้งครีบบ 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดเบดที่การพัฒนาในส่วน
ของห้องเผาไหม้ด้วยการติดตั้งครีบลักษณะต่าง ๆ โดยนำเสนอเปรียบเทียบของผลลัพธ์ที่ขึ้นของแต่ละ
กรณีศึกษาที่อยู่ภายใต้มุมการติดตั้งครีบเดียวกัน ประกอบด้วย การติดตั้งครีบบูทวิคคว่ำแบบแยกตัวและ
ครีบบูทวิคคว่ำแบบแยกตัวที่ระยะห่างของครีบในการติดตั้งเท่ากับ 0.5H, 1.0H และ 1.5H รวมทั้ง
ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกรณีห้องเผาไหม้ที่ไม่มีการติดตั้งครีบ แสดงในรูปที่ 5.14-5.16 สำหรับกรณีมุม
การติดตั้งเท่า 30° , 45° และ 60° ตามลำดับ พบว่ากรณีที่มีการติดตั้งครีบทุกกรณีศึกษาจะให้
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีที่ห้องเผาไหม้ไม่มีการติดตั้งครีบ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากระยะห่างของครีบในการติดตั้งครีบที่แตกต่างกันจะเห็นว่าประสิทธิภาพการ
เผาไหม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างของครีบลดลงซึ่งสอดคล้องกับระดับชั้นอุณหภูมิการเผาไหม้
และปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีการ
ติดตั้งครีบบมีค่าอยู่ระหว่าง 85-98%

5.5 ลักษณะเชื้อที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้

กรณี เตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดที่ EA= 88%



รูปที่ 5.17 ลักษณะเชื้อได้จากกรณีเตาเผาที่ไม่ติดตั้งครีบที่ EA= 88%

กรณี เตาเผาที่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำสุด จากกรณีติดตั้งครีบบูทวิคคว่ำ
แบบแยกตัว มุม 30° , EA=180%



รูปที่ 5.18 ลักษณะเชื้อได้จากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบบูทวิคคว่ำแบบแยกตัว มุม 30° , EA=180%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี เตาเผาที่มีการติดตั้งครีบซึ่งให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด จากกรณีติดตั้งครีบรูปตัววีแบบ แยกตัว มุม 45° , EA=88%



รูปที่ 5.19 ลักษณะซี่เถ้าจากกรณีเตาเผาติดตั้งครีบรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 45° , EA=88%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการทดลองเดียวกัน ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายอุณหภูมิ องค์กรประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิดและประสิทธิภาพการเผาไหม้ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเตาแกลบเผาฟลูอิดไชน์เบดขนาดเล็ก ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจากการศึกษาทดลองดังกล่าว สามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ดังนี้

ผลจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน

- กรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบ สามารถดำเนินการได้ดีในช่วงของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ ทำให้เกิดความเร็วของกระแสแก๊สฟลูอิดไชน์เซชันที่ต่ำ แต่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้มีค่าสูงขึ้น อนุภาคของเชื้อเพลิงแกลบจะหลุดลอยออกจากบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้ ส่งผลให้กระบวนการการเผาไหม้เกิดได้ไม่เต็มที่ ทำให้ระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตามีค่าต่ำกว่าการดำเนินการที่ใช้ปริมาณอากาศเกินมีค่าต่ำอย่างชัดเจน
- กรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบ ทุกกรณีครีบริบ สามารถดำเนินการได้ดีกว่าทั้งจากการศึกษาการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เท่ากัน หรือการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่สูงขึ้น เนื่องจากการติดตั้งครีบริบทุกกรณี สามารถหน่วงเชื้อเพลิงในกระแสแก๊สฟลูอิดไชน์เซชันให้อยู่ภายในระบบนานขึ้น ไม่หลุดลอยออกจากระบบได้ง่าย จึงก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังจะเห็นได้จากทุกกรณีศึกษาของการติดตั้งครีบริบระดับของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาทุกค่าของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินนั้น จะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ไม่ติดตั้งครีบริบ

ผลการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างครีบริบ (H)

- กรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีและครีบริบรูปตัววีคว่ำ แบบแยกตัว สามารถทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไชน์เซชันก่อตัวขึ้นจากพื้นที่บริเวณด้านล่างของห้องเผาไหม้ แล้วลอยตัวขึ้นมาปะทะบริเวณพื้นที่ของห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งครีบริบ จึงก่อให้เกิดการหมุนวนของกระแสก๊าซฟลูอิดไชน์เซชันและเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงให้เกิดกระบวนการการเผาไหม้อยู่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งครีบริบและตำแหน่งใกล้เคียง ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองของทุกกรณีศึกษาของการติดตั้งครีบริบ ระดับของอุณหภูมิที่บริเวณตำแหน่งที่ติดตั้งครีบริบและตำแหน่งใกล้เคียงจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆอย่างชัดเจน
- กรณีห้องเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 45° $P = 0.5H$ ยึดติดที่ผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ ที่ทุกค่าของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน จะให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากการติดตั้งครีบริบที่ จำนวน และมุมดังกล่าว เพียงพอที่จะทำให้เกิดการกีดขวางของกระแสก๊าซฟลูอิดไชน์เซชันเหนี่ยวนำอนุภาคเชื้อเพลิงให้เกิดกระบวนการการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กล่าวคือ การใช้จำนวนและมุมครีบริบดังกล่าว ไม่ใช้พื้นที่ของห้องเผาไหม้มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกีดขวางมากจนทำให้ระบบอุดตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือน้อยไปจนทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไซเคิลหลุดลอยออกจากระบบเร็วเกินไป ทั้งที่อนุภาคเชื้อเพลิงยังถูกเผาไหม้ไม่หมด ส่วนกรณีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัวมุม 30° $P = 1.5H$ ยึดติดที่พื้นผนังด้านใน สองด้านของห้องเผาไหม้ ที่ทุกค่าของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินจะให้ผลการทดลองที่ต่ำที่สุดจากทุกกรณีครีบริบ

ผลจากการปรับเปลี่ยนมุมครีบริบ

- อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนมุมครีบริบจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการเปรียบเทียบกรณีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีและครีบริบรูปตัววีคว่ำ แบบแยกตัวมีดังนี้

ในทุกกรณีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัว มุม 45° $P = 0.5H$ จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุด และการติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่ำแบบแยกตัว มุม 30° $P = 1.5H$ จะให้ผลของระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งเตาต่ำสุด ซึ่งหากพิจารณามุมของครีบริบเป็นไปได้ว่ากรณีครีบริบมุม 30° ลักษณะของครีบริบจะแหลมและเอียงมากจึงความชันมากทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไซเคิลไหลผ่านหน้าสัมผัสครีบริบไปสู่ส่วนพรีบอร์ดได้ง่ายและเร็วกว่า ส่งผลให้การกีดขวางดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดกระแสการไหลแบบฟลูอิดไซเคิล จึงทำให้ผลของระดับอุณหภูมิเตา ส่วนกรณีครีบริบมุม 60° จะตรงข้ามกันคือลักษณะของครีบริบจะถ่างออกกว้างและเอียงน้อยกว่า ซึ่งทำให้ความเร็วของกระแสการไหลในระบบช้ากว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดการไหลแบบฟลูอิดไซเคิล ส่วนกรณีครีบริบมุม 45° ทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไซเคิลไหลไปปะทะแบบเต็มหน้าสัมผัสครีบริบ จึงทำให้เกิดการกีดขวางกระแสก๊าซฟลูอิดไซเคิลที่ตีขึ้นและไม่ทำให้กระแสก๊าซฟลูอิดไซเคิลหลุดลอยออกจากระบบเร็วเกินไป ซึ่งส่งผลให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับการเผาไหม้สมบูรณ์ จึงทำให้ผลของระดับอุณหภูมิสูง

ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้

- ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของทุกกรณีศึกษามีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 220 – 300 ppm ปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 100 – 160 ppm
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีที่มีการติดตั้งครีบริบทุกกรณีศึกษาจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีที่ห้องเผาไหม้ไม่มีการติดตั้งครีบริบ โดยกรณีเตาเผาที่มีห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจะมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ระหว่าง 85.00 – 98.00 %

เนื่องจากองค์ประกอบก๊าซไอเสียของแต่ละกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อีกทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการพิจารณาเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงพิจารณาจากระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด จะได้ว่า การติดตั้งครีบริบรูปตัววีมุม 45° $P = 0.5H$ ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการศึกษาวิจัยนี้ โดยมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งเตาสูงสุดประมาณ 873°C ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 975°C มีปริมาณก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 160 ppm ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 241 ppm และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 98.00 %

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของมุมครีบริบและระยะห่างระหว่างครีบริบที่มีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไซเคิลเบรุตทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งรูปทรงของครีบริบที่ติดตั้งเป็นรูปตัววีแบบแยก โดยจะมีลักษณะการวางครีบริบที่ผนังทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตลอดการทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ว่ามีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ใกล้เคียงอย่างไร รวมถึงยังสามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัย และพัฒนาเตาเผาแก๊สฟลูอิดซ์เบดต่อไป และเพื่อเป็นการศึกษาพัฒนาเตาเผาฟลูอิดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางในการศึกษาวิจัย ดังนี้

- ทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยนี้ แต่ทดลองใช้ครีบทึ่มีลักษณะ หรือรูปทรงที่แตกต่างกัน เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษาทดลองกับวิจัยฉบับนี้ สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาพัฒนาต่อไป
- ทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับงานวิจัยนี้ แต่อาจเลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น หรือเชื้อเพลิงผสม เพื่อที่จะได้เกิดความหลากหลายสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน
- อาจทำการศึกษาดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ เช่น การใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน จำนวนครีบทึ่ มุมครีบทึ่ และ ระยะห่างระหว่างครีบทึ่ ที่ต่างกันจากงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะได้เกิดความหลากหลายสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน
- อาจทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของห้องเผาไหม้รวมไปถึงขนาดของตัวป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่ขอบเขตของการทดลองที่กว้างขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1]. Chyang C.S., Wu K.T., Lin C.S., “Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor”, *Fuel*. 86 (2007), 234 – 243.
- [2]. Albina D.O., “Emissions from multiple-spouted and spout-fluid fluidized beds using rice husks as fuel”, *Renewable Energy* .31 (2006), 2152 – 2163.
- [3]. Xie J.J., Yang X.M., Zhang L., Ding T.L., Song W.L., Lin W.G., Teng J.T., “Emissions of SO₂, NO and N₂O in a circulating fluidized bed combustor during co-firing coal and biomass”, *Environmental Sciences*. 19 (2007), 109 – 117.
- [4]. Fang M., Yang L., Chen G., Shi Z., Luo Z., Cen K., “Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed”, *Fuel Processing Technology*. 85 (2004), 1273 – 1282.
- [5]. Armestoa L., Bahilloa A., Veijonenb K., Cabanillasa A., Oteroa J., “Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidized bed”, *Biomass and Bioenergy*. 23 (2002), 171 – 179.
- [6]. Rozainee M., Ngo S.P., Salema A.A., Tan K.G., Ariffin M., Zainura Z.N.. “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
- [7]. Nieh, S. and Zhang, J., “Comprehensive Modeling of Pulverized Coal Combustion in a Vortex Combustor.” *Fuel*, 76(2) : 123 -131., 1997.
- [8]. Stephen R., Turns, *An Introduction to Combustion (Concepts And Applications)*, McGraw – Hill International Editions, 1996, pp. 19.
- [9]. สำเร็จ จักรใจ. 2547. *การเผาไหม้*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [10]. กัญจนา บุญยเกียรติ. 2544. *เชื้อเพลิงและการเผาไหม้*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [11]. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. 2528. *ฟลูอิดไดเซชัน*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [12]. Kunii D. and Levenspiel O., *Fluidization Engineering*, second edition, Butterworth-Heinemann, Stoneham, 1991.
- [13]. Geldart D., “Types of Gas Fluidization”, *Powder Technol.* 7 (1973), 285-292.
- [14]. วิศิษฐ์ สีลาผาดิกุล. “ปัจจัยตำแหน่งของอากาศทุติยภูมิต่อสมรรถนะการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบด.” การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 8.
- [15]. ฐิติวัจน์ ผุนลาวงษ์. 2552. “พฤติกรรมกาเผาไหม้ชีวมวลในเตาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีคريبแนวขวาง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16]. ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. 2547. “การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [17]. 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
- [18]. 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
- [19]. 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)”*
- [20]. สุริยา โชคเพิ่มพูน, ฐิติวัจน์ ผุฒลาวัณษ์, ชินรัชย์ เจริญพงษ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์. “พฤติกรรม การเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น.” *The 2nd Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008)*.
- [21]. สุริยา โชคเพิ่มพูน. 2552. “การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดวอร์เทคตามแนวยาว” วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [22]. สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์. 2552. “พฤติกรรมกรเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีครีบริบ รูปตัววี” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของพืชหลัก

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

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

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

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

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2552

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

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณสูงสุดของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้ง	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	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.ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (ppm)	กระบวนการผลิตที่ปล่อยอากาศเสีย	870	690

ที่มา: ข้อมูลส่วนหนึ่งจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.
ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

การคำนวณปริมาณอากาศตามทฤษฎีหรือปริมาณอากาศพอดีที่ใช้ในกระบวนการการเผาไหม้นั้นพิจารณาได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้

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) ของกระบวนการการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ ซึ่งจำนวนโมลของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากทราบมวล (ร้อยละของมวล) จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแบบแยกธาตุ และมวลโมเลกุลของธาตุ ดังสมการ

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

เมื่อ m คือ ร้อยละของมวลจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิง

MW คือ มวลโมเลกุลของธาตุ

n คือ จำนวนโมล

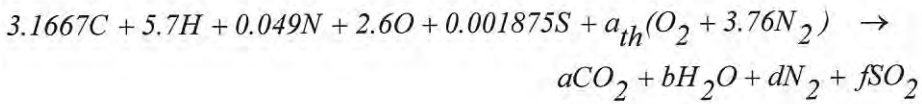
จำนวนโมลที่ได้จากการคำนวณสำหรับธาตุแต่ละชนิดแสดงในตาราง

ตารางที่ ค.1 ค่าจำนวนโมลของเชื้อเพลิงแกลบในปฏิกิริยาเคมี

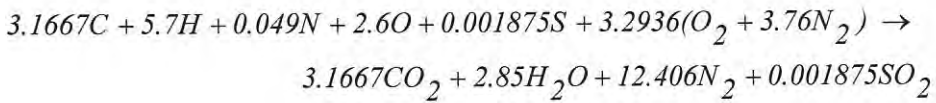
ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละของมวล (m)	มวลโมเลกุล (MW)	จำนวนโมล (n)
คาร์บอน (C)	38%	12	3.1667
ไฮโดรเจน (H)	5.7%	1	5.7
ไนโตรเจน (N)	0.69%	14	0.049
ออกซิเจน (O)	41.6%	16	2.6
ซัลเฟอร์ (S)	0.06%	32	0.001875

จากข้อมูลจำนวนโมลของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดของเชื้อเพลิงแกลบ สามารถเขียนสมการเคมีของกระบวนการการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศแห้งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อทำการสมดุลสมการโดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวนโมลของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



จำนวนโมลของอากาศแห้งนี้ประกอบด้วยจำนวนโมลออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) ดังนั้นจะได้จำนวนโมลของอากาศแห้งทั้งหมดเป็น

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

เนื่องจากอากาศที่ใช้ในเป็นอากาศแห้ง แต่ในทางปฏิบัติที่นั้นอากาศที่ใช้จะมีปริมาณไอน้ำ จึงจำเป็นต้องคำนวณหาจำนวนโมลของไอน้ำในอากาศจากสมการต่อไปนี้

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

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

ค่าความดันของไอน้ำในอากาศสามารถหาได้ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์จากการทราบสถานะทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) 53% จะได้

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

$$Pv_{H_2O} = \phi P_{sat,H_2O@33^\circ C} = 0.53 \times 5.0752 \text{ kPa} \\ = 2.690 \text{ kPa}$$

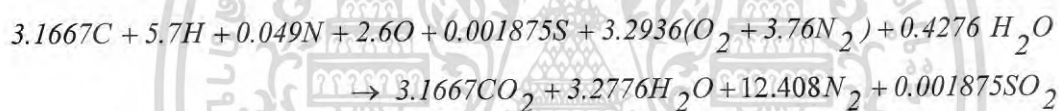
โดยที่ $n_{total} = 15.678 \times n_{H_2O}$ และ $Pv_{total} = 101.325$ จะได้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สมการเคมีของกระบวนการเผาไหม้ที่สภาวะสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแกลบ โดยพิจารณาอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศที่มีความชื้นได้ดังนี้



เมื่อทำการสมดุลสมการโดยโมลของสมการข้างต้นจะได้จำนวนโมลของอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้



คำนวณหามวลของอากาศที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

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

คำนวณหามวลของเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้จากสมการเคมี จะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (air fuel ratio, A/F)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{stioic} = \frac{461.875}{86.046}$$

$$= 5.368$$

ดังนั้นจะได้ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบตามทฤษฎีเป็น 5.368

ทำการหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อสมมุติอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 7.4 kg/hr จะได้

กรณีอัตราส่วนผสมพอดี

$$\left(\frac{A}{F}\right) = 5.368$$

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

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

2. ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ตามที่กำหนดในกรณีศึกษา จะแสดงในรูปร้อยละของปริมาณอากาศส่วนเกิน สามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้ได้ดังนี้

สมการอัตราส่วนผสม (Φ)

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

สมการร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA)

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

สมมุติปริมาณเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้มีค่าคงที่ที่ 7.4 kg/hr

ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเป็น 5.368

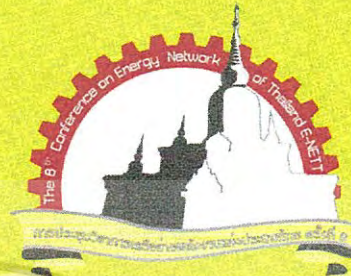
ตัวแปรที่กำหนดค่าร้อยละอากาศส่วนเกิน คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จริงโดยค่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการข้างต้น



ภาคผนวก ง
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8
The 8th Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT 8



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พลังงานและนวัตกรรมสีเขียวเพื่ออนาคตอาเซียน
Green Energy and Innovations For ASEAN's Future



วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมตักสิลา จังหวัดมหาสารคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อิทธิพลของการจัดวางครีบบนเตาเผาแกลบฟลูอิดไรซ์เบดต่อพฤติกรรม การเผาไหม้

Effect of Rib Arrangement in a Rice Husk Fluidized-Bed Combustor on Combustion Behavior

ภัทรพันธ์ ทองยศ¹, สุรียา โชคเพิ่มพูน¹, ชีรพัฒน์ ชมภูคำ², ภาคภูมิ ศรีมรณี³,
ชินรัชช์ เขียรพงษ์¹ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 02-3298351 E-mail: kpongje@kmitl.ac.th

²ห้องวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์: 043-754321-40 E-mail: teerapat.c@msu.ac.th

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120 โทรศัพท์: 037-322609 E-mail: prakpum@swu.ac.th

*พงษ์เจต พรหมวงศ์: E-mail: kpongje@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: 02-3298351

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะการจัดวางครีบบนเตาเผาเชื้อเพลิงแกลบฟลูอิดไรซ์เบดต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ โดยการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิองค์ประกอบแก๊สไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งครีบบนจำนวน 3 ลักษณะ คือครีบบนรูปตัววีมุม 30°, ตัววีคว่ำมุม 30° และครีบบนวางเอียงมุม 30° ซึ่งจัดวางครีบบนลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบคิดเป็นร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ คือ 7.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าการติดตั้งครีบบนตัววีคว่ำมุม 30° ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 650 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่ากรณีอื่น ๆ และยังให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 95.1%

คำหลัก: เตาเผาฟลูอิดไรซ์เบด, เชื้อเพลิงชีวมวล, การเผาไหม้

Abstract

The research presents an effect of ribs arrangement mounted into a rice husk fluidized bed combustor on combustion behaviors. The temperature distributions inside the bed, exhaust gas emissions and combustion efficiency are taken into account in the present work. In the present work, three rib configurations, namely, 30° V-shaped ribs, 30° Λ -shaped ribs and 30° Inclined ribs are introduced and placed diagonally in the upper part of the combustion chamber to generate counter-rotating vortices in the chamber. Experiments are made by varying the percent excess air to be 10%, 20%, 30% and 40% at a constant mass flow rate of rice husk fuel of 7.4 kg/hr. The results show that the fluidized bed combustor



with 30° Λ -shaped ribs at 20% percent excess air provides the highest mean temperature of 650°C and the maximum combustion efficiency of 95.1%.

Keywords: fluidized-bed combustor; biomass fuel; combustion; ribs

1. บทนำ

เชื้อเพลิงชีวมวลนับว่าเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะเป็นผลพลอยได้จากผลผลิตหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อยและทะลายปาล์ม เป็นต้น ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะได้พลังงานออกมาแล้วยังเป็นการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ด้วย จึงมีงานศึกษาวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาดังกระบวนการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานที่อยู่ในชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมและนับว่ามีความสะดวกในการดำเนินการ คือ กระบวนการเผาไหม้โดยตรงภายในเตาเผาชนิดต่าง ๆ เช่น ระบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed) [1] ระบบไซโคลน (Cyclone) [2], ระบบวอร์เทค (Vortexing) หรือเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคโนโลยีฟลูอิดไคซ์เบดและวอร์เทค (Vortexing fluidized bed) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดเป็นอีกทางเลือกที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิงและสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลหลากหลายชนิด นอกจากนี้ยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานได้อย่างรวดเร็วสามารถทำงานที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบอื่น ๆ ทำให้ลดการก่อตัวของกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และการหลอมตัวของเถ้าภายในเตาเผา ลดปัญหาของการเกิดตะกรัน แต่การใช้เตาเผาชนิดนี้ยังพบปัญหาบางประการ เช่น รายงานของ Wan และ Chyang [3] กล่าวว่าการใช้วิธีการของเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (ฟลูอิดไคซ์เบด) ที่สูงมากเพื่อลดอัตรา

การหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิง โดยอาจต้องมีความสูงรวมของฟลูอิดไคซ์เบดมากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด แต่อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเตาเผาชนิดนี้โดยพยายามกำจัดข้อด้อยนี้ออกไป เช่น การอาศัยหลักการอากาศหมุนวนภายในเตาเผาเข้ามาช่วยเพื่อลดขนาดความสูงของเตาเผา เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดนี้จะมีลักษณะขึ้นลงในแนวตั้งตามทิศทางลมที่จ่ายเข้าสู่ระบบ แต่หลักการอากาศหมุนวนจะเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เกิดการหมุนวนในแนวระดับไปพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง อย่างเช่นงานวิจัยของ Korenberg [4] ได้ศึกษาการฉีดอากาศทุติยภูมิเข้าไปในฟลูอิดไคซ์เบดเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดเป็นแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวนและเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดเป็นแบบธรรมดา Sowards [5] กล่าวว่า การสร้างการหมุนวนทำได้โดยการฉีดอากาศทุติยภูมิในแนวสัมผัสเข้าสู่ฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อเพิ่มระยะเวลาของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้และช่วยลดการหลุดลอยของอนุภาค ในขณะที่ Chyang และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาดังผลของชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน จากการศึกษาพบว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิของเบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อัตราการไหลของอากาศ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล [7] ได้ศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดพบว่า มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน ทำให้เกิดความปั่นป่วนและการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้



จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การสร้างอากาศให้มีลักษณะหมุนวนจะต้องมีการจ่ายอากาศเข้าสู่ระบบในแนวแนวสัมผัสกับผนังด้านในเตาเผา เนื่องเตาเผาดังกล่าวมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่จะพบว่า มีงานวิจัยที่ทำการปรับปรุงการออกแบบห้องเผาใหม่ให้มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม แต่ยังคงอาศัยหลักการอากาศหมุนวนเช่นกัน โดยการติดตั้งครีบลักษณะต่าง ๆ ไว้ที่ผนังเตาภายในห้องเผาใหม่เพื่อเป็นตัวช่วยให้การเคลื่อนที่แบบหมุนวน [8] โดยพบว่าสามารถช่วยให้กระบวนการเผาไหม้เกิดได้ดีขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้งครีบ แต่พบปัญหาบางประการในการศึกษา คือจะมีเจ้าจำนวนหนึ่งค้างอยู่บริเวณผนังเตาที่ติดครีบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไรต์เบด โดยการติดตั้งครีบบนผนังต่าง ๆ ซึ่งจัดวางในลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการค้างของถ่านบริเวณผนังเตาที่ติดครีบ

2. วัตถุประสงค์

ทำการศึกษารเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไรต์เบดที่มีการติดตั้งครีบในลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเตาเผาฟลูอิดไรต์เบดสำหรับเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานความร้อน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไรต์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ทำการติดตั้งครีบบนผนังและตัววัดคว่ำทำมุม 30° และครีบบนผนังวางเอียงมุม 30° จัดวางครีบลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้

2. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ คือ 7.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3. ปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่ 44-56 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ

4. พฤติกรรมการเผาไหม้ที่ทำการศึกษารเปรียบเทียบ ได้แก่ การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา ปริมาณองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้

4. การติดตั้งอุปกรณ์

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับศึกษาทดลอง แสดงในรูปที่ 1 เตาเผาฟลูอิดไรต์เบดลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งถูกหุ้มฉนวนภายนอกเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ขนาดหน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.2×0.2 ตารางเมตร และสูงเท่ากับ 1.05 เมตร ในขณะที่ขนาดหน้าตัดของฟร็อบอร์ดเท่ากับ 0.3×0.3 ตารางเมตร และสูง 0.80 เมตร ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัด มีความสูง 0.25 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ลักษณะของครีบบนผนังที่ใช้ในการทดลองทำจากเหล็กฉากเชื่อมติดกันเป็นรูปตัววี ตัววัดคว่ำและครีบบนผนังเอียง ซึ่งจะถูกติดตั้งเข้ามาในแนวทแยงขวางไว้ในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2 อุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศกับระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของลม คือ Blower โดยอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นอากาศที่ใช้สำหรับพองแกลบภายในห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นลมกระจายเนื่องจากผ่านแผ่นกระจายลม และอีกส่วนหนึ่งเป็นลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศทั้งสองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วจากการวัดและอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่น Orifice จาก Manometer ซึ่งปริมาณอากาศแต่ละส่วนนั้นจะทำการวัดโดยอาศัยเครื่องมือวัดความเร็วอากาศในแต่ละท่อ (Flow Meter) จากนั้นทำการแปลงค่าเป็นปริมาณการไหลของอากาศอากาศ เชื้อเพลิงแกลบจะถูกป้อนจาก Hopper ไหลลงสู่รางของ Screw Feeder เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบให้ตกลงสู่ท่อลมสำหรับพาแกลบเข้าสู่ห้องผสมของเตาเผา ปริมาณของเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมผ่านความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับ Screw Feeder โดยมี Inverter เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ อุณหภูมิของเตาที่เกิดขึ้นจะถูกกระแส

ของไหลภายในเตาเผาปล่อยแก๊สออกที่บริเวณส่วนบนของฟรียบอร์ดเข้าสู่ไซโคลน แก๊สลอยที่มีน้ำหนักมากจะถูกดึงออกทางด้านล่างของไซโคลน การวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะใช้เทอร์มอคัปเปิลชนิด K บันทึกและอ่านค่าผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ส่วนองค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกบริเวณส่วนบนของฟรียบอร์ดนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย TESTO 350M XL

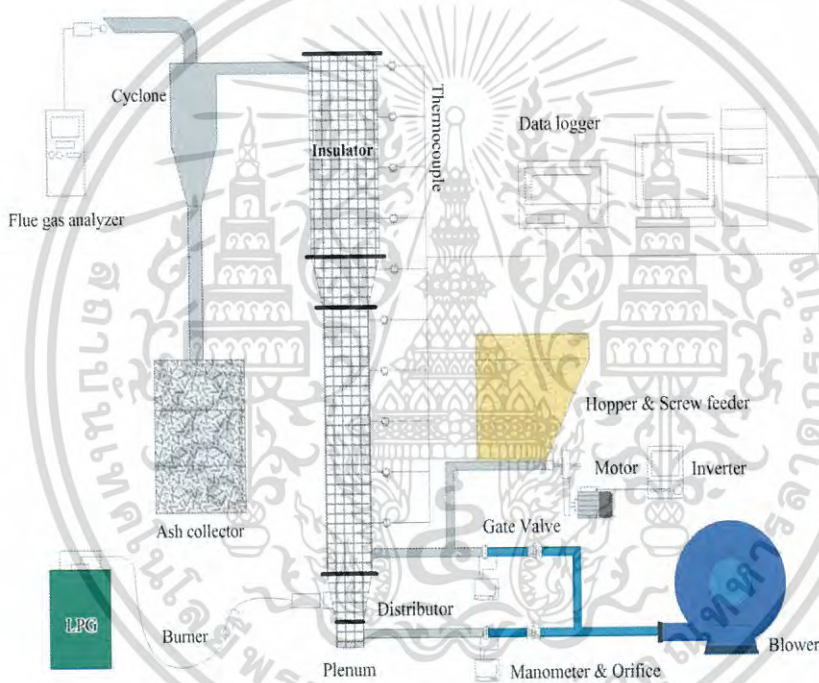
ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน (EA) สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์นี้

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

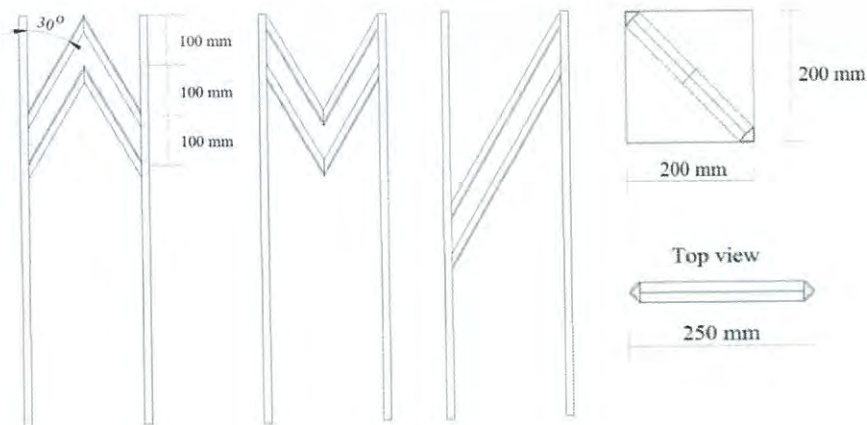
เมื่อ EA คือ ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน

A/F_A คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ

A/F_S คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบเตาเผาแก๊สฟลูอิดไอซ์เบด



รูปที่ 2 การจัดวางครีบบนแบบต่างๆภายในห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย



ตารางที่ 1 ปริมาณการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแกลบ [10]

Proximate analysis (wt.% wet basis)	
Moisture	10.1
Volatile matter	64.1
Ash	14.7
Fixed carbon	11.1
Gross calorific value (MJ/kg)	13.3
Ultimate analysis (wt.% dry basis)	
Carbon (C)	37.8
Hydrogen (H)	5.0
Oxygen (O)	40.3
Nitrogen (N)	0.6
Ash	16.3
Sulphur (S)	Trace

5. ขั้นตอนการทดลอง

การศึกษาทดลองนี้มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ถ่ายอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกับทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาบริเวณส่วนของห้องเผาไหม้มีค่าประมาณ 500 – 550 องศาเซลเซียส
2. เริ่มทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบพร้อมกับอากาศสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 700 – 750 องศาเซลเซียส จึงหยุดการอุ่นเตาและเอาชุดอุ่นเตาเผาออก
3. ปรับอัตราการไหลของอากาศ 44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%) และปรับอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 7.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่ง หากพบว่ามีค่าความเสถียรอุณหภูมิ จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาและวัดปริมาณค่าองค์ประกอบของไอเสีย

5. ทำการปรับตำแหน่งเทอร์มอคัปเปิลเข้าไปภายในเตาตามตำแหน่งในแนวระดับที่กำหนดไว้ในตำแหน่งที่ 2 จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3

6. ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 48, 52 และ 56 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่ 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ) แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3-4 ตามลำดับ

7. ทำการปรับเปลี่ยนลักษณะครีบบนห้องเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดไจซ์เบด ตามกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1 - 5 ตามลำดับ

6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ

รูปที่ 3 - 6 แสดงลักษณะการกระจายของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาที่ระดับความสูงต่าง ๆ เปรียบเทียบกรณีทั้ง 3 กรณี ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ พบว่า ระดับอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงอย่างมากเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายหน้าตัด ในส่วนของฟรีบอร์ดระดับอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระดับอุณหภูมิในส่วนขยายหน้าตัด หากทำการพิจารณาที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเดียวกันจะเห็นได้ว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยซึ่งเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อยเป็นดังนี้ กรณีติดตั้งครีบบรูปตัววี, ครีบบางเอียงและครีบบรูปตัววี

เมื่อเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเผา กรณีการติดตั้งครีบบลักษณะเดียวกัน พบว่าที่ร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงที่สุด ในขณะที่ร้อยละอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อความเร็วของ

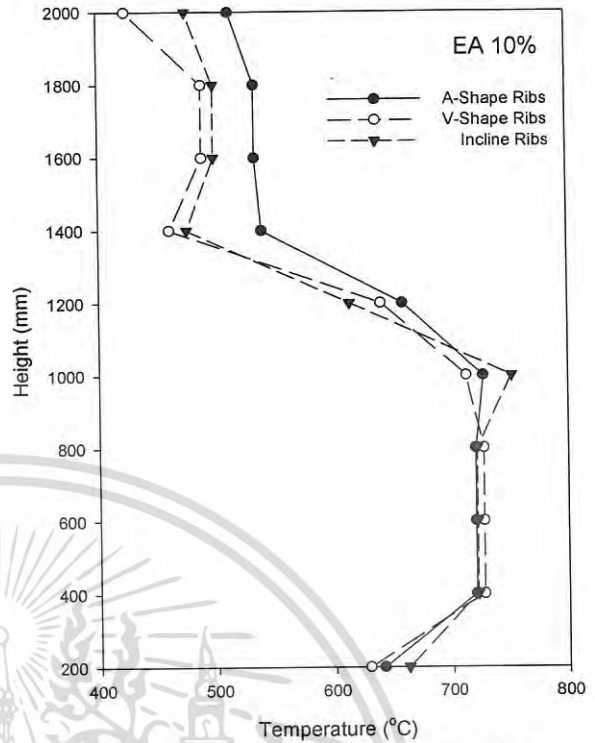


อากาศภายในเตาเผาที่มากขึ้น ดังนั้นที่ความเร็วมากเกินความพอดีจะทำให้เกิดการพัดพาเอาเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่เต็มที่หลุดลอยออกไป และยังทำให้อากาศเย็นที่จ่ายเข้าสู่ระบบเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่เกิดจากกระบวนการไหม้เร็วกว่ากรณีศึกษาอื่น ๆ ทำให้ระดับอุณหภูมิที่วัดได้จึงมีค่าต่ำ กรณีการติดครีบริปูตัววีคว่าพบว่า ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้ที่มีการติดครีบริปูมีค่าสูงสุด 740°C และระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตามีค่าสูงสุด 650°C ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20%

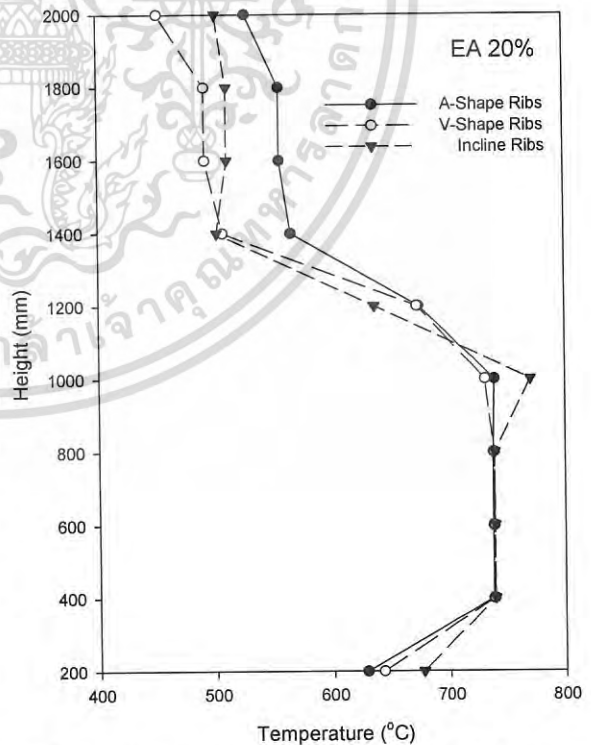
6.2 ปริมาณแก๊สไอเสีย

ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ตามกรณีศึกษาที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 7 จากรูปจะพบว่า ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลแกลบมีค่าอยู่ระหว่าง 235 - 255 ppm สำหรับกรณีการติดตั้งครีบริปูลักษณะเดียวกัน ที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินอื่น ๆ ในขณะที่ค่าปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินที่ 40% จะให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุด เนื่องมาจากกระแสฟลูอิดซ์เซชันมีความเร็วสูงเกินไปจึงนำเอาอนุภาคเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หลุดลอยมาด้วย ส่วนปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนเปรียบเทียบกับกรณีที่ติดครีบริปูลักษณะต่าง ๆ ที่ร้อยละปริมาณอากาศส่วนเกินใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า กรณีที่ติดครีบริปูทั้งหมดมีปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 113 - 125 ppm

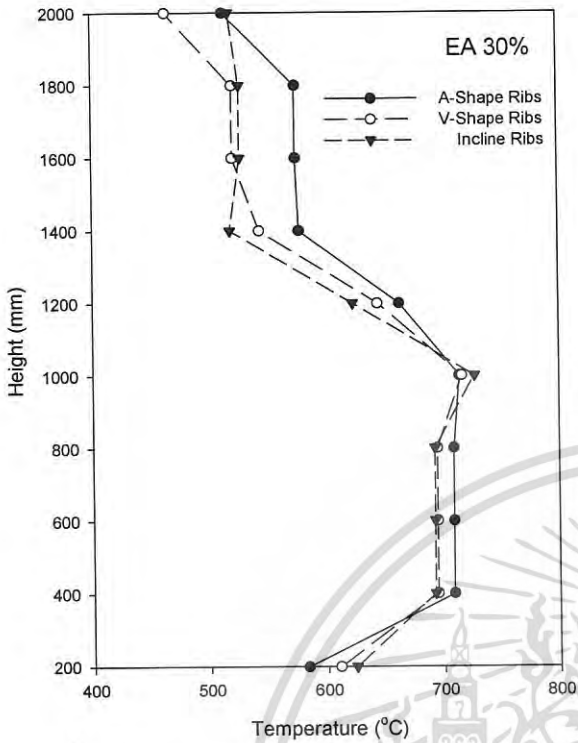
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียทั้ง 2 ชนิดกับค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณแก๊สไอเสียจากโรงงาน [10] กรณีที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าผลที่เกิดจากการศึกษาวิจัยมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่กำหนด (ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าไม่เกิน 690 ppm และปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าไม่เกิน 200 ppm)



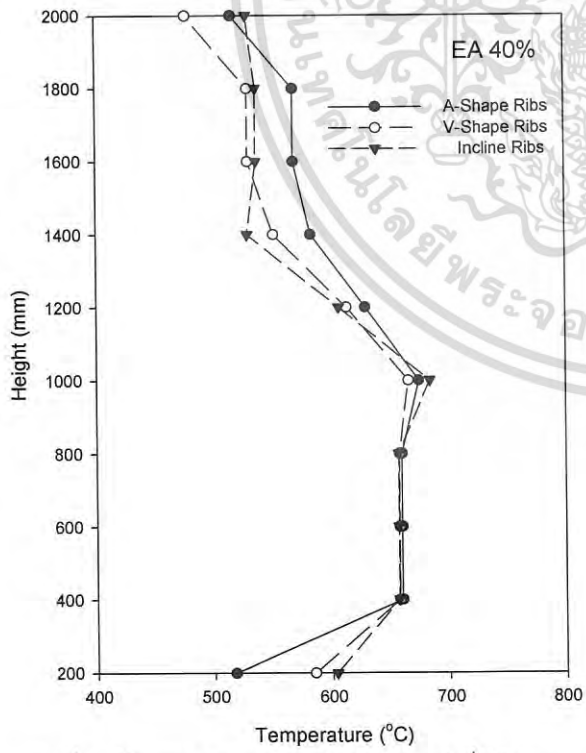
รูปที่ 3 ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 10%



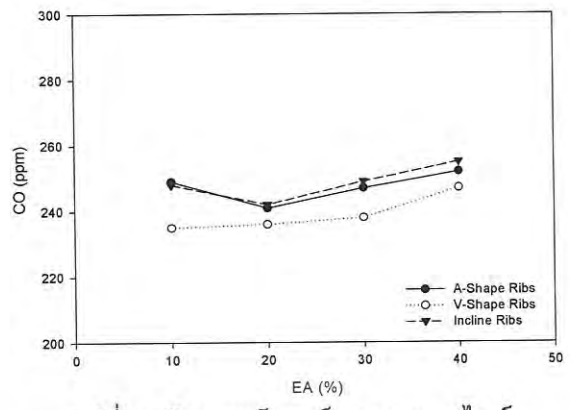
รูปที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 20%



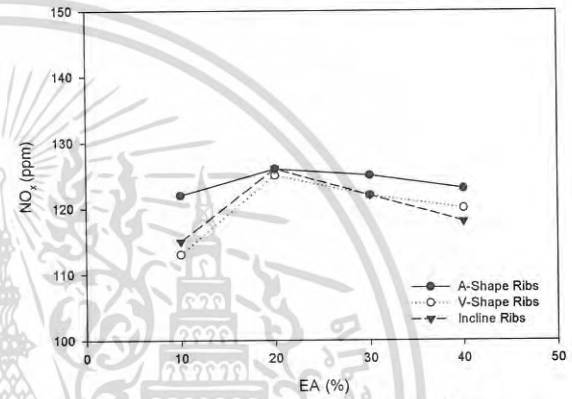
รูปที่ 5 ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิที่ปริมาณ
อากาศส่วนเกินเท่ากับ 30%



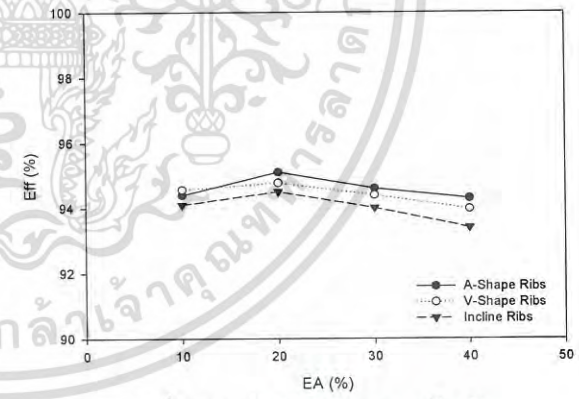
รูปที่ 6 ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิที่ปริมาณ
อากาศส่วนเกินเท่ากับ 40%



รูปที่ 7 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 8 ปริมาณกลุ่มแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

6.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาภายใต้
ขอบเขตการศึกษาทดลองนี้จะพิจารณาค่าความ
สูญเสียที่เกิดจากจากองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย
เท่านั้น โดยค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้จาก
เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย TESTO 350M XL ดัง
แสดงในรูปที่ 9 พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ



กรณีศึกษาทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 93.4-95.1% โดยที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ส่วนที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 40% จะให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำสุดสำหรับกรณีการติดตั้งครีบลักษณะเดียวกัน

7. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่มีการติดตั้งครีบลักษณะต่าง ๆ จำนวน 3 รูปแบบ โดยจัดวางในลักษณะวางขวางในแนวทแยงมุมบริเวณครึ่งบนของห้องเผาไหม้ พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวอุณหภูมิที่ได้จากกระบวนการการเผาไหม้ที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกินเดียวกันของแต่ละลักษณะครีบลักษณะคล้ายคลึงกันและมีค่าใกล้เคียงกันภายในส่วนของห้องเผาไหม้ แต่เมื่อเข้าสู่ส่วนของฟริบอร์ตจะพบว่าระดับอุณหภูมิที่เกิดจากการติดตั้งครีบลักษณะต่าง ๆ ให้ค่าที่สูงกว่ากรณีอื่น ๆ อย่างชัดเจน หากพิจารณาค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตา จะพบว่าการติดตั้งครีบลักษณะที่ปริมาณร้อยละอากาศส่วนเกิน 20% จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ที่ค่าประมาณ 650 องศาเซลเซียส และยังให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 95.1% ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่น ๆ เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สไอเสียพบว่าแต่ละกรณีศึกษามีปริมาณใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดน่าจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลแกลบ เนื่องจากให้ระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงและปล่อยแก๊สไอเสียในปริมาณที่ต่ำ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Chokphoemphun, S., Eiamsa-ard, S. and Promvong, P. (2008) Rice Husk Combustion Behavior in a Fluidized Wavy Surfaced Bed, 5th International Conference on Combustion,

Incineration/Pyrolysis and Emission Control (i-CIPEC 2008), Chiang Mai, Thailand.

[2] Ohlsson, O. (1994) Results of performance and emission testing when co-firing blends of dRDF/coal in a 440 MWe cyclone fired combustor, *Alternate fuels IV conference*, New Orleans, LA, USA; 8–9 February 1994.

[3] Wan, H.P. and Chyang, C.S. (1998) Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed, *J. of Chemical Engineering of Japan*, vol. 13(6), 1998, pp. 977-986.

[4] Korenberg, J (1984) U.S. Patent 4,457,285.

[5] Sowards, N. K. (1978) U.S. Patent 4,075,935.

[6] Chyang, C.S., Wu, K.T. and Lin, C.S. (2007) Emission of nitro-gen oxides in a vortexing fluidized bed combustor, *Fuel*, vol. 86, 2007, pp. 234 – 243.

[7] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล (2550). การศึกษาผลกระทบบนของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิในเตาเผาแกลบฟลูอิดไธซ์เบด, งานประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร

[8] สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, ชินรัชย์ เขียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2552). อิทธิพลของครีบลักษณะสามเหลี่ยมภายในเตาฟลูอิดไธซ์เบดต่อการเผาไหม้แกลบ, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

[9] Rozainee, M., Ngo, S.P., Arshad Salema A., Tan K.G., (2010) Computational fluid dynamics modeling of rice husk combustion in a fluidized bed combustor, *Powder Technology* vol. 203, 2010, pp. 331–347

[10] มาตรฐานควบคุมการปล่อยปริมาณแก๊สไอเสียจากโรงงาน กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แหล่งที่มา <http://www.pcd.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 11/12/2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล นายภัทรพันธุ์ ทองยศ
 วัน เดือน ปีเกิด 30 สิงหาคม 2521
 ที่อยู่ 58 หมู่ที่ 13 ซอยคุ้มไตรคาม ถนนสุรินทร์ - ศรีขรรค์มิ ตำบลนอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000 โทร 081- 5785401, 089-6256602

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2545 - 2547 บริษัท Sanyo commercial solution (Thailand) Co.,Ltd.
 ตำแหน่ง วิศวกรแผนกออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

พ.ศ.2547 - 2548 บริษัท Sanyo commercial solution (Thailand) Co.,Ltd.
 ตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

พ.ศ.2549 - 2551 บริษัท กุลธรพรีเมียร์ จำกัด.(Kulthorn group)
 ตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิต

พ.ศ.2551 - ปัจจุบัน บริษัท กุลธรพรีเมียร์ จำกัด.(Kulthorn group)
 ตำแหน่ง เลขานุการผู้จัดการทั่วไป(Assistanc General Manager)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. “การศึกษาอิทธิพลของครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีภายในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบ” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่
2. “อิทธิพลของการจัดวางครีบบในเตาเผาแกลบฟลูอิดไอดีซ์เบดต่อพฤติกรรมการเผาไหม้” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 2-4 พฤษภาคม 2555 จังหวัดมหาสารคาม
3. “พฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบดที่มีครีบบรูปตัววีแบบแยกตัว” การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 12, 14-15 มีนาคม 2556 จังหวัดเชียงราย
4. “อิทธิพลของมุมปะทะของครีบบวางต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลภายในเตาเผาฟลูอิดไอดีซ์เบด” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, 1-4 เมษายน 2556 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้