

พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดที่มีกรวยรูปตัววี

RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIORS IN A V-RIBBED FLUIDIZED BED



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-138

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไรซ์เบดที่มีครีบริบตัววี

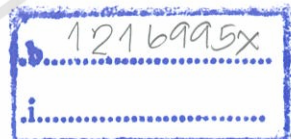
RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIORS IN A V-RIBBED FLUIDIZED BED



T105468



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**105468**
วัน,เดือน,ปี.....**24 พ.ย. 2552**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RICE HUSK COMBUSTION BEHAVIORS IN A V-RIBBED FLUIDIZED BED



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

2009

KMITL-2009-EN-M-030-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พดติกกรรมการเผาไหม้แกลบนในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีครีบริบรูปตัววี
Thesis Title Rice Husk Combustion Behaviors in a V-Ribbed Fluidized Bed
นักศึกษา นายสุภัทรชัย สุวรรณพันธ์
รหัสประจำตัว 50060324
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชินรัชย์ เชียรพงษ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-138

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ณัฐวุฒิ	เดไปวา	
ผศ.มณฑล	ใจกุศล	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
รศ.ดร.ชินรัชย์	เชียรพงษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2552 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการณ์เผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่มีกริบรูปตัววี
นักศึกษา	นายสุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์
รหัสประจำตัว	50060324
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชินรักษ์ เรียบรพษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอถึงพฤติกรรมการณ์ของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ติดกริบสามเหลี่ยมไว้ภายในห้องเผาไหม้ เพื่อต้องการจะเพิ่มระยะเวลา และการไหลแบบหมุนควง (vortex flow) ของแกลบภายในเตาเผาไหม้มากขึ้น จากการจำลองพฤติกรรมการณ์ไหลของแกลบในหอแบบต่างๆ พบว่าหอที่มีกริบสามเหลี่ยมวางขวางไว้ภายในห้องเผาไหม้นั้นทำให้แกลบเกิดการหมุนควงและการกระจายตัวที่ดีกว่าหอที่ไม่ติดกริบ ดังนั้นเราจึงได้นำหลักการนี้มาใช้เพื่อพัฒนากับเตาเผาแกลบฟลูอิดไชน์เบด ในการทดลองเตาเผาได้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนล่าง(ห้องเผาไหม้) และส่วนบน(ฟรีบอร์ด) ทำการทดลองจะทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการป้อนเท่ากับ 8.64 kg/hr ซึ่งจะใช้ค่าอัตราการป้อนนี้ตลอดการทดลอง จากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินทั้งหมด 4 ค่า คือ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ เงานี้จะจะถูกใช้ทดสอบกับเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ติดกริบสามเหลี่ยมทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ รูปตัววี (V), รูปตัววีคว่ำ (Λ) และ รูปตัววีคว่ำคู่ ($\Lambda\Lambda$) ไว้ภายในห้องเผาไหม้ ลักษณะกริบทั้งสามแบบจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวนการติดตั้ง คือ จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ รวมทั้งจะทำการศึกษาในกรณีที่เตาเผาไม่ติดกริบสามเหลี่ยมไว้ภายในด้วย ผลการทดลอง จะทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาตาม ตำแหน่งที่กำหนดไว้ทั้งหมด 12 ตำแหน่ง ตลอดแนวความสูง และอีก 3 ตำแหน่ง ตามแนวขวางของเตา รวมทั้งทำการวัดค่าปริมาณของก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ การศึกษาทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการก้าวไปสู่การพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไชน์เบดที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

Title	Rice Husk Combustion Behaviors in a V-Ribbed Fluidized Bed
Student	Mr. Supattarachai Suwannapan
Student ID.	50060324
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Chinaruk Thianpong

ABSTRACT

The paper presents the effect of using triangular ribs mounted in the lower part of combustion chamber on emission and combustion characteristics of rice husk in a fluidized bed combustor. The triangular ribs mounted inside the chamber are to create longitudinal vortex flows along the chamber resulting in the increase of chaotic mixing between the rice husk fuel and the combustion air and also in prolonging the residence time of the fuel. The preliminary experimental work of the cold flow model of rice husk in the triangular ribbed fluidized-bed showed that vortex flows were generated and rice husk and air mixing behavior is better than the bed without triangular ribs. Thus, it is interesting to develop and apply the ribs to a fluidized bed combustor. The combustor was divided into two parts: bottom part (combustion chamber) and top part (freeboard). In the experiment, a feeding rate of rice husk at 8.64 kg/hr was kept constant throughout where the excess air was varied to be 40%, 50%, 60% and 70% for each run of using the ribs. These conditions were tested for 3 cases of the fluidized bed fitted with V, Λ and $\Lambda\Lambda$ - shaped triangular ribs and for each case, the rib numbers were changed and set to 2, 3, and 4 pairs in each run including the case of no rib. The temperature distributions were measured at 12 selected locations along the combustor height and 3 selected locations in transverse plane. Combustion emissions and efficiency from its flue gases were measured and observed. This experiment was performed in order to develop further the fluidized bed combustor with optimum ribs on burning rice husk to raise the combustion efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับงานวิจัยเรื่องพฤติกรรมการเผาไหม้แอลกอฮอล์ในเตาเผาฟลูอิดเบดที่มีครีบริปตัววี สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดีได้นั้น ส่วนหนึ่งก็เนื่องมาจากข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจ จากท่านทั้งหลายเหล่านี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชินรัชย์ เขียวพงษ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ใจกุลศล ดร.ณัฐภูมิ เคไปวา และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด สำหรับคำแนะนำต่าง ๆ ที่ทำให้ วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในการทำงาน รวมทั้งให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้า ในทุก ๆ เรื่อง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูป.....	XII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 งานวิจัยภายในประเทศ.....	5
2.2.1 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ ทีลาผาดิกุล.....	5
2.2.2 งานวิจัยของ จิตวิวัฒน์ ผูนลาวงษ์.....	6
2.2.3 งานวิจัยของ สุนทร ละอองนวล.....	7
2.2.4 งานวิจัยของ ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์.....	8
2.2.5 งานวิจัยของ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล.....	9
2.2.6 งานวิจัยของ กษมา เงินวิจิตรสกุล.....	11
2.3 งานวิจัยในต่างประเทศ.....	12
2.3.1 งานวิจัยของ Chyang และคณะ.....	12
2.3.2 งานวิจัยของ D.O. Albina.....	13
2.3.3 งานวิจัยของ XIE และคณะ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4 งานวิจัยของ M. Fang และคณะ.....	16
2.3.5 งานวิจัยของ L. Armesto และคณะ.....	17
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	18
3.1 บทนำ.....	18
3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	18
3.2.1 ชีวมวล.....	18
3.2.2 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	19
3.2.2.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้.....	19
3.2.2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร.....	19
3.2.2.3 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม.....	19
3.2.2.4 เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน.....	19
3.2.3 คุณสมบัติของชีวมวล.....	19
3.2.3.1 การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล.....	19
3.2.3.2 ขนาด.....	20
3.2.3.3 ความชื้น.....	20
3.2.3.4 สิ่งเจือปน.....	20
3.2.3.5 ปริมาณขี้เถ้า.....	20
3.2.4 ชีวมวลเปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างไร.....	21
3.2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	22
3.2.5.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis).....	22
3.2.5.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis).....	22
3.2.6 การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	22
3.2.6.1 ค่าความร้อนต่ำ หรือ lower heating value (LHV).....	22
3.2.6.2 ค่าความร้อนสูง หรือ higher heating value (HHV).....	23
3.2.6.3 ค่าความร้อนแห้ง หรือ dry heating value.....	23
3.3 เชื้อเพลิงแกลบ.....	24
3.4 ทฤษฎีการเผาไหม้ (combustion theory).....	25
3.4.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา V จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 องค์ประกอบในการเผาไหม้.....	27
3.4.2.1 เชื้อเพลิง (fuel).....	27
3.4.2.2 ออกซิเจน (oxygen).....	27
3.4.2.3 ความร้อน (heat).....	27
3.4.2.4 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction).....	27
3.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้.....	28
3.4.3.1 การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ	28
3.4.3.2 อุณหภูมิที่สูงพอต่อขบวนการเผาไหม้.....	28
3.4.3.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศ.....	29
3.4.3.4 เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง.....	29
3.4.4 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง.....	29
3.4.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	30
3.4.6 การปล่อยมลพิษ (emission).....	32
3.4.6.1 ออกไซด์ของไนโตรเจน (No _x).....	32
3.4.6.2 การลดการเกิด No _x	32
3.4.6.3 มลพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO).....	32
3.5 ทฤษฎีฟลูอิดไอซ์เซชัน.....	32
3.5.1 ประเภทของฟลูอิดไอซ์เซชัน.....	33
3.5.1.1 ฟลูอิดไอซ์เซชันสองสถานะ (two - phases fluidization).....	33
3.5.1.2. ฟลูอิดไอซ์เซชันสามสถานะ (three - phases fluidization).....	33
3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไอซ์เบด.....	33
3.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและความเร็วการไหล.....	34
3.5.4 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไอซ์เซชัน.....	35
3.5.5 ลักษณะของฟลูอิดไอซ์เบดแบ่งตามสมบัติของอนุภาค.....	36
3.5.6 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไอซ์เซชัน.....	37
3.5.6.1 อนุภาคของแข็ง.....	37
3.5.6.2. ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอซ์เซชัน.....	38
3.5.6.3 แผ่นกระจายของไหล.....	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.7	กระบวนการเผาไหม้ของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบด.....	43
3.5.8	การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบด.....	44
3.6	วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	45
3.7	ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	46
บทที่ 4	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	47
4.1	บทนำ.....	47
4.1.1	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ.....	48
4.1.1.1	พัดลม (blower).....	48
4.1.1.2	มานอมิเตอร์ (manometer).....	48
4.1.1.3	แผ่นออริฟิส (orifice plate)	49
4.1.2	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิง.....	49
4.1.2.1	Hopper และ Screw feeder.....	49
4.1.2.2	อินเวอร์เตอร์ (inverter).....	50
4.1.2.3	มอเตอร์ (motor).....	50
4.1.3	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา.....	50
4.1.3.1	หัวเผา (burner).....	50
4.1.3.2	ก๊าซ LPG.....	51
4.1.4	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวัดอุณหภูมิ.....	51
4.1.4.1	เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple).....	51
4.1.4.2	เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger).....	52
4.1.5	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย.....	52
4.1.5.1	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350XL.....	52
4.1.6	ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์.....	52
4.1.6.1	ไซโคลน (cyclone).....	52
4.2	การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองและตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิ.....	53
4.3	ขั้นตอนการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง.....	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	57
5.1 บทนำ.....	57
5.2 ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน.....	58
5.2.1 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ.....	58
5.2.2 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบ.....	58
5.2.2.1 กรณีติดครีบรูปตัววี จำนวน 2 คู่.....	59
5.2.2.2 กรณีติดครีบรูปตัววี จำนวน 3 คู่.....	59
5.2.2.3 กรณีติดครีบรูปตัววี จำนวน 4 คู่.....	59
5.2.2.4 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่.....	60
5.2.2.5 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำ จำนวน 3 คู่.....	60
5.2.2.6 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำ จำนวน 4 คู่.....	60
5.2.2.7 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 2 คู่.....	61
5.2.2.8 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่.....	61
5.2.2.9 กรณีติดครีบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 4 คู่.....	61
5.2.3 การวิเคราะห์ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน.....	62
5.3 ผลของจำนวนครีบ.....	73
5.3.1 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววี.....	73
5.3.1.1 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	73
5.3.1.2 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	73
5.3.1.3 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	73
5.3.1.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	73
5.3.2 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ.....	74
5.3.2.1 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	74
5.3.2.2 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	74
5.3.2.3 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	74
5.3.2.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	74
5.3.3 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำคู่.....	75
5.3.3.1 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	75
5.3.3.2 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII นี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.3.3 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	75
5.3.3.4 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	75
5.3.4 การวิเคราะห์ผลของจำนวนครีป.....	76
5.4 ผลของลักษณะครีป.....	89
5.4.1 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีป จำนวน 2 คู่.....	89
5.4.1.1 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	89
5.4.1.2 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	89
5.4.1.3 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	89
5.4.1.4 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	89
5.4.2 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีป จำนวน 3 คู่.....	90
5.4.2.1 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	90
5.4.2.2 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	90
5.4.2.3 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	90
5.4.2.4 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	90
5.4.3 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีป จำนวน 4 คู่.....	91
5.4.3.1 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	91
5.4.3.2 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	91
5.4.3.3 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	91
5.4.3.4 เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	91
5.4.4 ผลการวิเคราะห์ของลักษณะครีป.....	92
5.5 ปริมาณก๊าซไอเสีย.....	105
5.5.1 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีป.....	105
5.5.2 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววี.....	106
5.5.3 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีคว่ำ.....	107
5.5.4 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีคว่ำคู่.....	108
5.6 ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	109
5.6.1 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีป.....	109
5.6.2 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววี.....	109
5.6.3 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีคว่ำ.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6.4 เตาเผาฟลูอิโดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่.....	110
5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	111
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	112
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	112
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	113
บรรณานุกรม.....	114
ภาคผนวก.....	116
ภาคผนวก ก. ปริมาณชีวมวลในประเทศไทย.....	117
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	120
ภาคผนวก ค. กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	131
ภาคผนวก ง. ขนาดเตาเผาและครีบริบที่ใช้ในการทดลอง.....	147
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	155
ประวัติผู้เขียน.....	164

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติของชีวมวล.....	20
3.2 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลต่างๆ.....	21
3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ.....	22
3.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	23
3.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ.....	24
3.6 ค่าคงที่ตัวประกอบแก้ไข (K_1 และค่า K_2) ของ Wan และ Yu.....	41
5.1 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	62
5.2 ระดับอุณหภูมิไอเสียสูงสุดที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่างๆ.....	62
5.3 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่จำนวนครีบต่าง ๆ.....	76
5.4 ระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดที่จำนวนครีบต่าง ๆ.....	76
5.5 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่ลักษณะครีบแบบต่าง ๆ.....	92
5.6 อุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดที่ลักษณะครีบแบบต่าง ๆ.....	92
ก.1 แสดงสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิต ทางการเกษตรเป็นชีวมวล.....	118
ก.2 แสดงปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2540/2541.....	118
ก.3 แสดงปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ ของประเทศไทย ปี 2541.....	119
ข.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ.....	121
ข.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีอัตราส่วนผสมพอดี.....	125
ข.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีทดลองที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	125
ค.1 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	134
ค.2 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	136
ค.3 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	138
ค.4 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	140
ค.5 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	141
ค.6 ปริมาณก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	142
ค.7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	143
ค.8 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	144
ค.9 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	145

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะและตำแหน่งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ.....	5
2.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด.....	6
2.3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดผิวเรียบ.....	7
2.4 อุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมติดตั้งเครื่องมือวัดเตาฟิวซ์เบด.....	8
2.5 แบบจำลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบหมุนเวียน.....	9
2.6 ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้และห้องเผาไหม้แบบฟลูอิโดซ์เบด แบบแผ่นกระจายคู่.....	10
2.7 ระบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่.....	10
2.8 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด FBC.....	11
2.9 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด VFBC.....	12
2.10 ไคอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด VFBC.....	13
2.11 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด.....	14
2.12 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิโดซ์เบด.....	14
2.13 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spout fluid ฟลูอิโดซ์เบด.....	14
2.14 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด CFB.....	15
2.15 การทดสอบ cold state ฟลูอิโดซ์เบด.....	16
2.16 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด CFB.....	17
2.17 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด (bubbling fluidized bed)	17
3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....	30
3.2 ปฏิกริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	30
3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	31
3.4 บริเวณการเกิดการเผาไหม้.....	31
3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้.....	31
3.6 ลักษณะฟลูอิโดซ์เบด.....	34
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและความเร็วการไหลในเบด.....	35
3.8 การแบ่งประเภทตามสมบัติอนุภาคของ Geldart.....	36
3.9 แผนภาพการแบ่งประเภทตามสมบัติอนุภาคของ Geldart ชนิดของฟลูอิโดซ์เบดที่มี ความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอนุภาค.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด.....	38
3.11 คุณภาพของฟลูอิดเซชันเกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน.....	42
3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re_p).....	43
3.13 รูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น preignition และ c, d, e เป็น postignition.....	44
3.14 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....	45
4.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนฟลูอิดเซชันเบด.....	47
4.2 พัดลม (blower).....	48
4.3 มานอมิเตอร์ (manometer).....	48
4.4 แผ่นออริฟิส (orifice plate).....	49
4.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม TESTO 445.....	49
4.6 Hopper และ Screw feed.....	49
4.7 อินเวอร์เตอร์ (inverter).....	50
4.8 มอเตอร์ (motor).....	50
4.9 หัวเผาที่ใช้สำหรับอุ่นเตา.....	50
4.10 ถังก๊าซ LPG.....	51
4.11 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple).....	51
4.12 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger).....	51
4.13 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350XL.....	52
4.14 ไซโคลน (cyclone).....	53
4.15 การทำงานของไซโคลน.....	53
4.16 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาแลกเปลี่ยนฟลูอิดเซชันเบด.....	54
4.17 ลักษณะการติดตั้งครีปที่ใช้ในทดลอง.....	55
4.18 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเซชันเบด.....	55
5.1 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจาย ของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ยากในห้องเผาไหม้ไม่ได้ทำการติดตั้งครีป	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีจำนวน 2 คู่.....	64
5.3 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีจำนวน 3 คู่.....	65
5.4 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีจำนวน 4 คู่.....	66
5.5 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าจำนวน 2 คู่.....	67
5.6 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าจำนวน 3 คู่.....	68
5.7 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าจำนวน 4 คู่.....	69
5.8 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าคู่จำนวน 2 คู่.....	70
5.9 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าคู่จำนวน 3 คู่.....	71
5.10 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีที่ว่าคู่จำนวน 4 คู่.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววี เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	77
5.12 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววี เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	78
5.13 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววี เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	79
5.14 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววี เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	80
5.15 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคิดว่า เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	81
5.16 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคิดว่า เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	82
5.17 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคิดว่า เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	83
5.18 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคิดว่า เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	84
5.19 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคิดว่า เอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	85

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววัดว่าคู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	86
5.21 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววัดว่าคู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	87
5.22 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววัดว่าคู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	88
5.23 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 2 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	93
5.24 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 2 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	94
5.25 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 2 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	95
5.26 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 2 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	96
5.27 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 3 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	97
5.28 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปจำนวน 3 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	98

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.29 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 3 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	99
5.30 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 3 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	100
5.31 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	101
5.32 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	102
5.33 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	103
5.34 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	104
5.35 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบริบ.....	105
5.36 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววี.....	106
5.37 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ.....	107
5.38 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่.....	108
5.39 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีที่ห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบริบ.....	109
5.40 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีที่ห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววี.....	109
5.41 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีที่ห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววีคว่ำ.....	110
5.42 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีที่ห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววีคว่ำคู่.....	110
ค.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%.....	133
ค.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%.....	135
ค.3 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%.....	137

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.4 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%.....	139
ค.5 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	141
ค.6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	142
ค.7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	143
ค.8 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	144
ค.9 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ.....	145
ค.10 จี๊ถ้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีที่ไม่ติดครีบริบ.....	146
ค.11 จี๊ถ้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีติดครีบริบรูปตัววี.....	146
ค.12 จี๊ถ้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ.....	147
ค.13 จี๊ถ้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ.....	147
ง.1 ขนาดของครีบริบรูปตัววี และรูปวีคว่ำ ที่ใช้ในการทดลอง.....	149
ง.2 ขนาดของครีบริบรูปตัววีคว่ำ ที่ใช้ในการทดลอง.....	150
ง.3 ขนาดของเตาที่ใช้ในการทดลอง (ภาพด้านหน้า).....	151
ง.4 ขนาดของเตาที่ใช้ในการทดลอง (ภาพด้านข้าง).....	152
ง.5 ลักษณะการติดครีบริบรูปตัววี ภายในเตาขณะทำการทดลอง.....	153
ง.6 ลักษณะการติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ ภายในเตาขณะทำการทดลอง.....	154
ง.7 ลักษณะการติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ ภายในเตาขณะทำการทดลอง.....	155

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A/F	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ
$(A/F)_{stoic}$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
A_o	พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส, (m ²)
A_t	พื้นที่หน้าตัดเบค, (m ²)
Ar	เลขอาคิมิดิส (archimedes number)
C_d	drag coefficient, (ไร้มิติ)
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, (ppm)
CO_2	ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์, (% Vol)
C_p	specific heat, (J/kg.K)
D_e	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทิ้งเถ้าลอย
d_p	ขนาดของอนุภาค
d_{or}	เส้นผ่าศูนย์กลางออริฟิส
g	สัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s ²)
h	ความสูงของเตาเผา, (m)
H	ก๊าซไฮโดรเจน
L_f	height of a bubbling fluidized bed, (m)
L_{mf}	height of a minimum fluidized bed, (m)
MW	มวลโมเลกุล, (kmol)
m_a	มวลของอากาศแห้ง, (kg)
m_g	ปริมาณไอน้ำในอากาศสูงสุดที่อุณหภูมิใด ๆ, (kg)
m_v	มวลของไอน้ำ, (kg)
\dot{m}_{air}	อัตราการไหลของอากาศ, (kg/s)
\dot{m}_{fuel}	อัตราการป้อนแกลบ, (kg/min)
n	จำนวนโมล
NO	ไนตริกออกไซด์, (ppm)
NO_2	ไนโตรเจนไดออกไซด์, (ppm)
NO_x	ไนโตรเจนออกไซด์, (ppm)
N_{or}	จำนวนรูของออริฟิสต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายลม
O_2	ออกซิเจน, (% Vol)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

P	ความดันของอากาศชั้น, (Pa)
P_a	ความดันย่อยของอากาศแห้ง, (Pa)
P_g	ความดันของอากาศอิมิตัวที่อุณหภูมิใด ๆ, (Pa)
P_v	ความดันไอ, (Pa)
Q_{ac}	อัตราการไหลจริงเชิงปริมาตร, (m^3/s)
R_a	ค่าคงที่ของอากาศ, ($kJ/kg \cdot K$)
Re_p	$\frac{d_p U_o \rho_g}{\mu}$ ค่าเรย์โนลด์สเบอร์รี่ของอนุภาค
R_v	ค่าคงที่ของไอน้ำ, ($kJ/kg \cdot K$)
S	ก๊าซซัลเฟอร์
SO_2	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, (ppm)
T	อุณหภูมิ, ($^{\circ}C$)
T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, ($^{\circ}C$)
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, ($^{\circ}C$)
μ	ความหนืดของก๊าซ
U	ความเร็ว, (m/s)
U_{mf}	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์
U_t	terminal velocity of a falling particle, (m/s)
U_o	superficial fluid velocity, (m/s)
U_{or}	ความเร็วของก๊าซที่ผ่านแผ่นออริฟิส, (m/s)
V	ปริมาตร, (m^3)
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)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ρ_s	ความหนาแน่นของอนุภาคของของแข็ง
ρ_g	ความหนาแน่นของก๊าซ
ΔP_b	ความดันตกคร่อมภายในเบด
ΔP_d	ความดันตกคร่อมผ่านแผ่นกระจายลม
ϕ_s	ค่าความกลม (sphericity) ของอนุภาค
ε	void fraction, ไม่มีหน่วย
ε_f	สัดส่วนช่องว่างของเบดขณะเกิดการฟลูอิดไคซ์
ε_{mf}	สัดส่วนช่องว่างของเบดที่ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์
η_{com}	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (combustion efficiency)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเรื่องพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ของโลก และมีส่วนสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของผู้คนอย่างแยกไม่ออก ด้วยความต้องการทางด้านการใช้พลังงานของมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่ทรัพยากรกับมีน้อยลง ในขณะที่พลังงานจากปิโตรเลียมนับวันราคายังแพงขึ้นเพราะน้ำมันที่มาจากฟอสซิล อันเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ไว้แล้วก็หมดไป และคาดว่าอีกประมาณ 50 - 60 ปี น้ำมันจะหมดไปจากโลกนี้ นอกจากราคาน้ำมันแพงที่กลายเป็นปัญหาทางด้านเศรษฐกิจแล้ว ในปัจจุบันภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากการเกิดสภาวะเรือนกระจก ยังส่งผลกระทบต่อทำให้สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดภัยธรรมชาติทั่วทุกภูมิภาคของโลก ทั่วโลกจึงเริ่มต้นตัวมีการหยิบยกเรื่องพลังงานทดแทนมาหารือ มีข้อตกลงในความร่วมมือช่วยกันค้นคว้าวิจัยและพัฒนา เพื่อเป็นทางเลือกและทางออกในการแก้ไขปัญหาลงทุนพลังงานของโลก

พลังงานสะอาด (green energy) คือ แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปจะหมายถึง พลังงานที่มีใช้อย่างไม่มีวันหมดและเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่เป็นมลพิษ พลังงานสะอาดจะประกอบด้วย กระบวนการที่ใช้พลังจากธรรมชาติ และเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมให้มีมลพิษเพียงเล็กน้อย ได้แก่ พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากพืช เป็นต้น นอกจากนี้ การเลือกใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เหมาะสม ยังมีส่วนช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใบ และทะลายปาล์ม เป็นต้น

พลังงานชีวมวล เป็นอีกแหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานได้

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ให้ความสนใจไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกษตร คือ “ แกลบ ” ซึ่งได้จากการบวนการสีข้าวจากโรงสี จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2540 พบว่า ในปีหนึ่ง ๆ มีปริมาณแกลบที่ได้จากการสีข้าวสูงถึงประมาณ 5.8 ล้านตัน ของเหลือทิ้งเหล่านี้บางส่วน ถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย วัสดุปุรองนอน ในโรงเรือนเลี้ยงเป็ด เลี้ยงไก่ เป็นต้น และในยุคที่ประเทศมีความต้องการพลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ จากสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทย ในรายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2539 โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่า สามารถ

ทดแทนพลังงานได้เทียบเท่าน้ำมันดิบ 0.63 ล้านตัน นอกจากนี้ ซีอีเอที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบยังสามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้อีก ในราคา กิโลกรัมละ 3 - 4 บาท ซึ่งนับว่าเป็นผลพลอยได้ นอกเหนือจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

1.2 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ชีวมวลแกลบ จัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ diffusion คือ ก่อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อนแล้วจึงค่อยๆ ลาม เข้าไปข้างในก่อนเชื้อเพลิง

จากการศึกษามีรายงานมากมายที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ กับเตาเผาที่มีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เทคโนโลยีฟลูอิดไชน์เบดดูเหมือนว่า จะเป็นเทคโนโลยีสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง เพราะนอกจากจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยลดปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะมลพิษจาก NO_x เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิเผาไหม้ต่ำ

เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วห้องเผาไหม้มักจะถูกออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในบ้านเรือน ทั้งในเรื่องของขนาด และการลงทุนที่สูง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบพร้อมด้วยการพัฒนาห้องเผาไหม้โดยการใส่กรังสามเหลี่ยมไว้ในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการเพิ่มการหมุนควง (vortex flow) ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ รวมไปถึงระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น เพื่อให้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตา การปล่อยมลพิษและซีอีเอ ที่เกิดจากการเผาไหม้ ทั้งนี้ ก็เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดให้มีขนาดเล็กลง และให้ประสิทธิภาพสูงสุด ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1 เพื่อออกแบบ และพัฒนาของเตาเผาฟลูอิดไชน์เบดขนาดเล็ก โดยการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในห้องเผาไหม้ การกระจายของอุณหภูมิ และ ความเสถียรภาพของเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาที่มีกรังสามเหลี่ยมภายในห้องเผาไหม้

2 เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิโดยภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาที่มีการติดกรังสามเหลี่ยมรูปตัววีไว้ภายใน ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านั้น ได้แก่ เฟอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน และลักษณะของห้องเผาไหม้

3 เพื่อศึกษาผลของปริมาณก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

- 1 จำนวนครีบบ มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบและมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา
- 2 ลักษณะของครีบบแบบต่างๆ มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบและมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา
- 3 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินมีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบและมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1 การทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้จะทำการติดครีบบไว้ภายใน โดยที่ระยะห่างระหว่างครีบบเท่ากับ 0.05 m การติดครีบบจะมีลักษณะ ดังนี้
 - 1.1 ติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววี จำนวน 2 คู่, 3 คู่, และ 4 คู่
 - 1.2 ติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่, 3 คู่, และ 4 คู่
 - 1.3 ติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 2 คู่, 3 คู่, และ 4 คู่
- 2 เชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (ประมาณ 2 มม. x 8 มม.)
- 3 ใช้เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60 และ 70% ตามลำดับ
- 4 การป้อนของเชื้อเพลิงแกลบ 8.6 kg/hr
- 5 ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายใน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวความสูงที่กำหนดไว้ของเตาเผา 12 ตำแหน่ง และการกระจายอุณหภูมิในแนวขวางของเตาเผาอีก 3 ตำแหน่ง
- 6 วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น และ จีเส้า เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผา

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาชีวมวลแบบต่าง ๆ รวมทั้งปัญหา และ ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
- 2 ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง, ทฤษฎีฟลูอิดไคซ์เซชัน และ และคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงแกลบ
- 3 ออกแบบและสร้างเตาเผาแกลบแบบฟลูอิดไคซ์เบด
- 4 ทำการทดลองตามสมมุติฐานที่กำหนดขึ้น ว่ามีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผา อย่างไร
- 5 บันทึกผลการทดลอง
- 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1 สามารถออกแบบ และพัฒนาเพื่อสร้างเตาเผาเคลือบแบบฟลูอิดไคซ์เบด ให้มีขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพที่ดี
- 2 สามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาเคลือบแบบฟลูอิดไคซ์เบด ไปประยุกต์ไปใช้ใน งานด้านเกษตรกรรม หรือ ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3 สามารถนำวัสดุที่เหลือใช้ในทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 4 สามารถลดสภาวะปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดมีการปล่อยมลพิษต่ำ
- 5 ช่วยลดอัตราการสูญเสียเงินตราออกไปยังต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น และสร้างความแข็งแกร่งให้กับประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

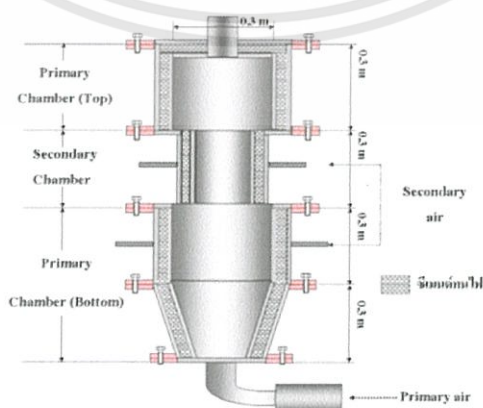
วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในเรื่องของการนำแกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะในประเทศไทยนั้น เป็นประเทศเกษตรกรรม ปริมาณแกลบที่ผลิตได้ในแต่ละปีและที่ยังเหลือจากการใช้ประโยชน์มีจำนวนมาก จึงได้มีการวิจัยและค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีเตาเผา เพื่อนำมาใช้สำหรับปรับปรุงให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ให้ดีขึ้น ได้มีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะของเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ ทั้งที่เป็นงานวิจัยภายในประเทศไทย และต่างประเทศ ซึ่งจะกล่าวถึงเตาเผาชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหินหรือชีวมวล ทั้งในส่วนของหลักการและแนวความคิดงานวิจัย รวมไปถึงผลที่ได้จากงานวิจัยในแต่ละเรื่อง ดังต่อไปนี้

2.2 งานวิจัยภายในประเทศ

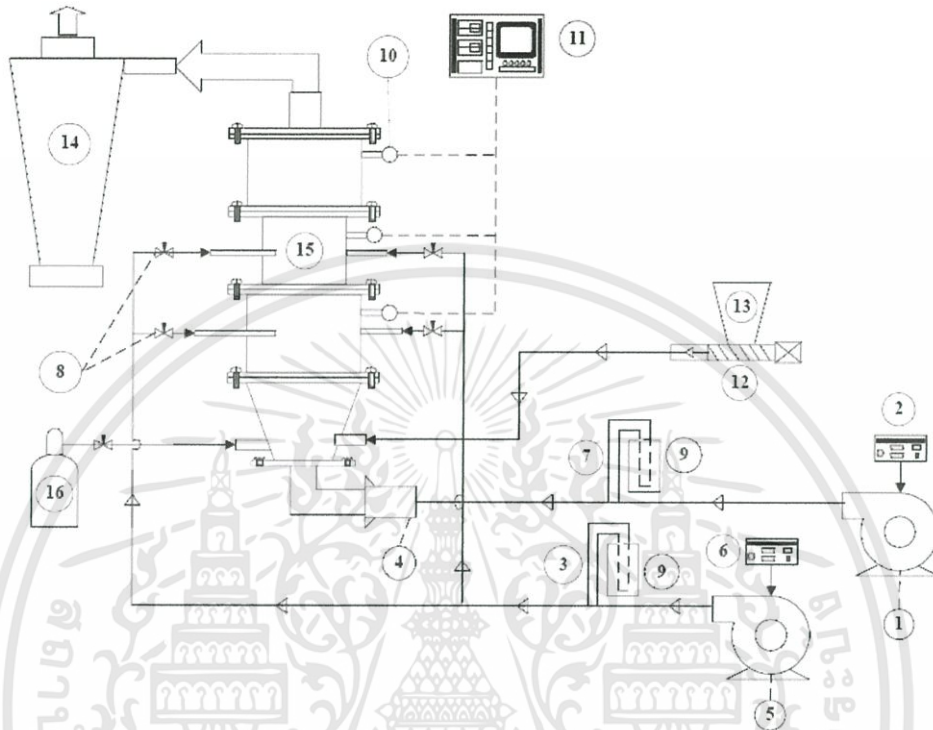
2.2.1 **วิศิษฐ์ สีสาคีกุล [1]** ได้ศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด โดยห้องเผาไหม้ปฐมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 m ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 m (0.75D) มีความสูงรวม (H) เท่ากับ 1.2 m ในการทดลองสามารถทำ การปรับเปลี่ยนตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมินี้ได้ 2 ตำแหน่ง คือ H/D เท่ากับ 1.5 และ 2.5 ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ เพื่อทำให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวน โดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.2 และ 0.25 กำหนดค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.9, 1.0 และ 1.1 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min



รูปที่ 2.1 ลักษณะและตำแหน่งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณตีพิมพ์อื่น ๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ห้องเผาไหม้ทุติยภูมิที่ตำแหน่ง H/D เท่ากับ 2.5, Φ เท่ากับ 1.0 และ $\lambda = 0.25$ จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 900 °C และ พบว่าก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย $O_2 = 3.5 \%$, $CO_2 = 20.7 \%$ และ $CO = 266 \text{ ppm}$



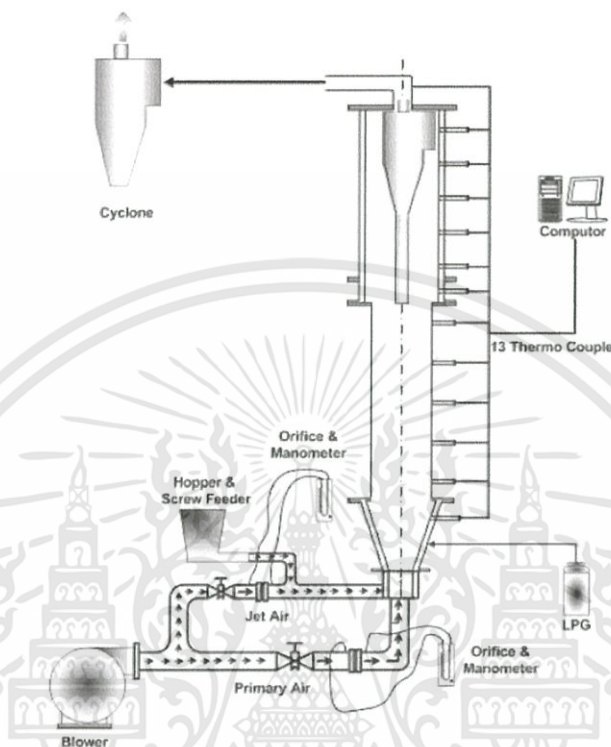
(1) Blower of Primary Air, (2) Inverter of Primary Air, (3) Orifice plate of Primary Air, (4) Primary Air nozzle, (5) Blower of Secondary Air, (6) Inverter of Secondary Air, (7) Orifice plate of Secondary Air, (8) Secondary air nozzle, (9) Manometer, (10) Thermocouple type K, (11) Digital thermocouple,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

รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดซ์เบด

2.2.2 ฐิติวัจน์ ผุนลาวงษ์ [2] ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดซ์เบดและการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบ และมีปริมาตรขนาดใหญ่ โดยนำไซโคลนใส่ไว้ด้านใน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 6-12 kg/hr โดยทำการปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน 3 ค่า คือ 20%, 40% และ 60% โดยทำการวัดและสังเกตการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา, ขี้เถ้า, ควันท่อออกมากับก๊าซไอเสีย จากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวล ของแกลบที่ 9 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 60% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับที่อุณหภูมิหลัก 3 ค่า คือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 และประสิทธิภาพการเผาไหม้ อยู่ระหว่าง 97 - 99%



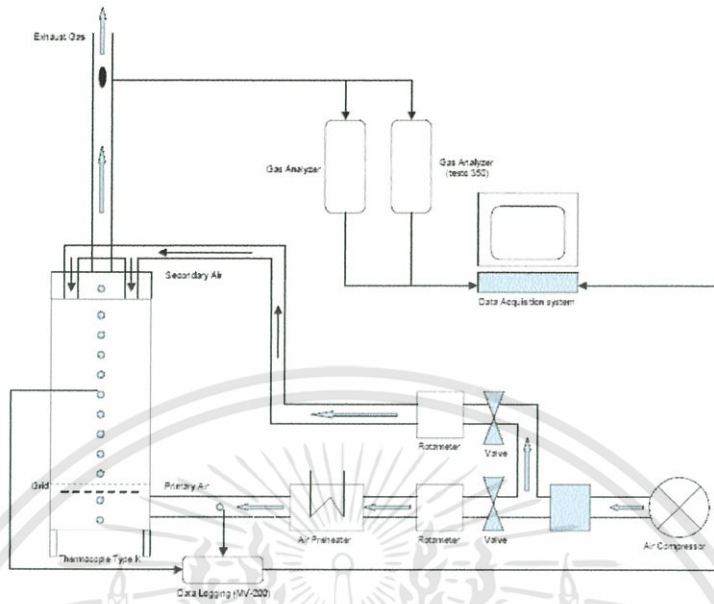
รูปที่ 2.3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดซ์เบดผิวเรียบ

2.2.3 สูตรทดลอง [3] ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่แสดงคุณลักษณะของการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดซ์เบดซึ่ง ได้แก่ อัตราการเผาไหม้ ความเร็วของเปลวไฟ โดยทดลองแบบเบทช์ (batch) และใช้ขาน้อยเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณอากาศ 200, 300 และ 400 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วอากาศปฐมภูมิ 188, 282 และ 377 มิลลิเมตรต่อวินาที และที่อุณหภูมิทางเข้าอากาศปฐมภูมิสถานะแวดล้อม 100, 150 และ 200°C ในการทดลองแต่ละครั้งได้ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ อย่างต่อเนื่องแล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการเผาไหม้ ความเร็วของเปลวไฟ

ผลการศึกษาพบว่า การเผาไหม้ขาน้อยที่สถานะแวดล้อมโดยมีการเผาไหม้สารระเหยและถ่านอย่างต่อเนือง ด้วยอัตราการเผาไหม้ 0.044 - 0.338 กรัมต่อวินาที ความเร็วของเปลวไฟ 1.5 - 2.8 มิลลิเมตรต่อวินาที นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศกับความเร็วและอุณหภูมิที่ป้อนให้ ในทางตรงข้ามเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกับความเร็วและอุณหภูมิอากาศสูงกว่าการเผาไหม้ที่สถานะแวดล้อมมีผลทำให้พารามิเตอร์ เช่น อัตราการเผาไหม้ ความเร็วของเปลวไฟ เกิดการแปรผันไปโดยที่อัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 0.028 - 0.078 กรัมต่อวินาที และความเร็วของเปลวไฟ 3.5 - 5.5 มิลลิเมตรต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาที ซึ่งต่ำกว่าการเผาไหม้ขานอ้อยที่สภาวะแวดล้อมตามลำดับ พบว่าในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิที่ทางเข้าไม่ช่วยทำให้ อัตราการเผาไหม้ ความเร็วของเปลวไฟเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ต่างๆ พร้อมติดตั้งเครื่องมือวัดเตาฟิวส์เบด

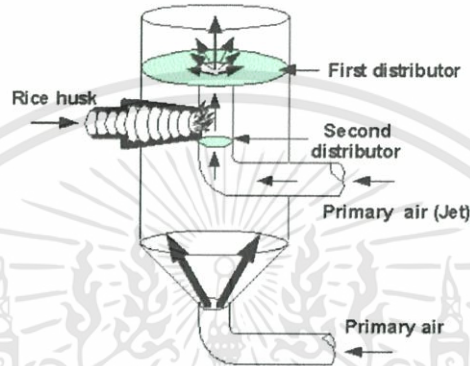
2.2.4 ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์ [4] ได้ศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมถ่านหินและแกลบ ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนขนาด 3.5 kW ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ 0.1 เมตร และสูง 3.0 เมตร โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือถ่านหินขนาดเฉลี่ย 1,128 ไมโครเมตรจากแหล่งแม่ทะ จ.ลำปางและแกลบ ศึกษาถึงแนวโน้มของอุณหภูมิและองค์ประกอบของแก๊สจากการเผาไหม้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตลอดโรเตอร์ เมื่อมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัดส่วนของถ่านหินและแกลบคือ 100:0, 65:35 (แกลบ 7% โดยน้ำหนัก) และ 80:20 (แกลบ 3.5% โดยน้ำหนัก) อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 5.8 กก. ต่อ ชม. อัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิที่ใช้ศึกษามีค่าระหว่าง 480-920 ลิตรต่อนาที (ความเร็วประมาณ 1.0-2.0 เมตรต่อวินาที) ส่วนอัตราการป้อนอากาศทุติยภูมิมีค่าตั้งแต่ 0-330 ลิตรต่อนาที ในการทดลองได้ทำวัดความเข้มข้นของปริมาณก๊าซ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ตลอดโรเตอร์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (flue gas analyzer)

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิตลอดโรเตอร์อยู่ในช่วงประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส และที่ปริมาณการป้อนอากาศรวมทั้งตั้งแต่ 920 ลิตรต่อนาทีขึ้นไป ปริมาณและสัดส่วนของการป้อนอากาศทุติยภูมิ แทบไม่มีผลต่อแนวโน้มของอุณหภูมิตลอดโรเตอร์ แนวโน้มขององค์ประกอบของแก๊สตลอดโรเตอร์ คือปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะสูงมาก บริเวณส่วนล่างของโรเตอร์ และจะลดลงอย่างรวดเร็ว ตำแหน่งที่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ ปริมาณออกซิเจนลดลงตลอดความสูงโรเตอร์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตลอดความสูงโรเตอร์

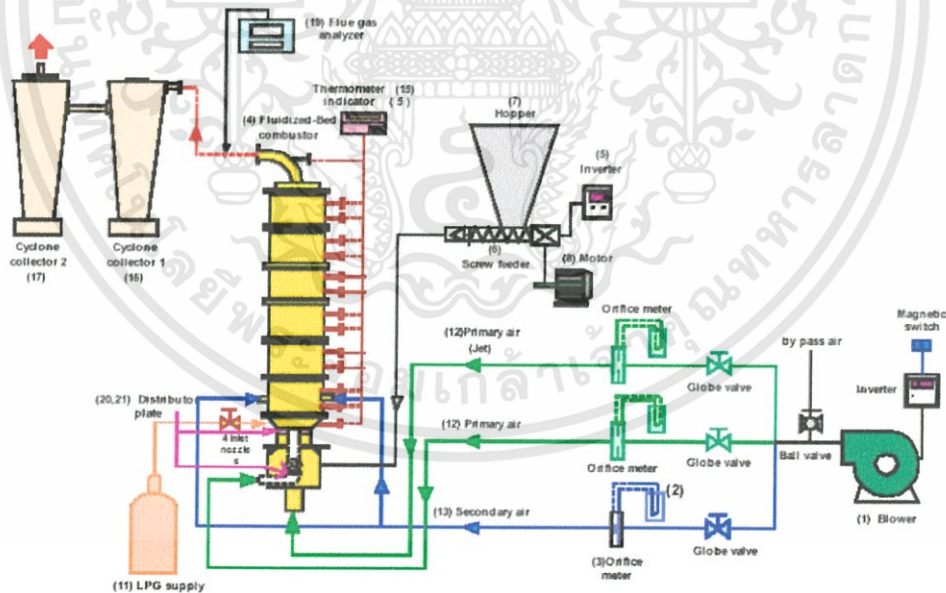
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยพองแกลบ การทดลองใช้อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบคงที่เท่ากับ 18 กิโลกรัม/ชั่วโมง และทำการปรับอัตราส่วนสมมูล, $\Phi = 0.2, 0.25, 0.3$ และ 0.35 ตามลำดับ

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



รูปที่ 2.6 ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้และห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่



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

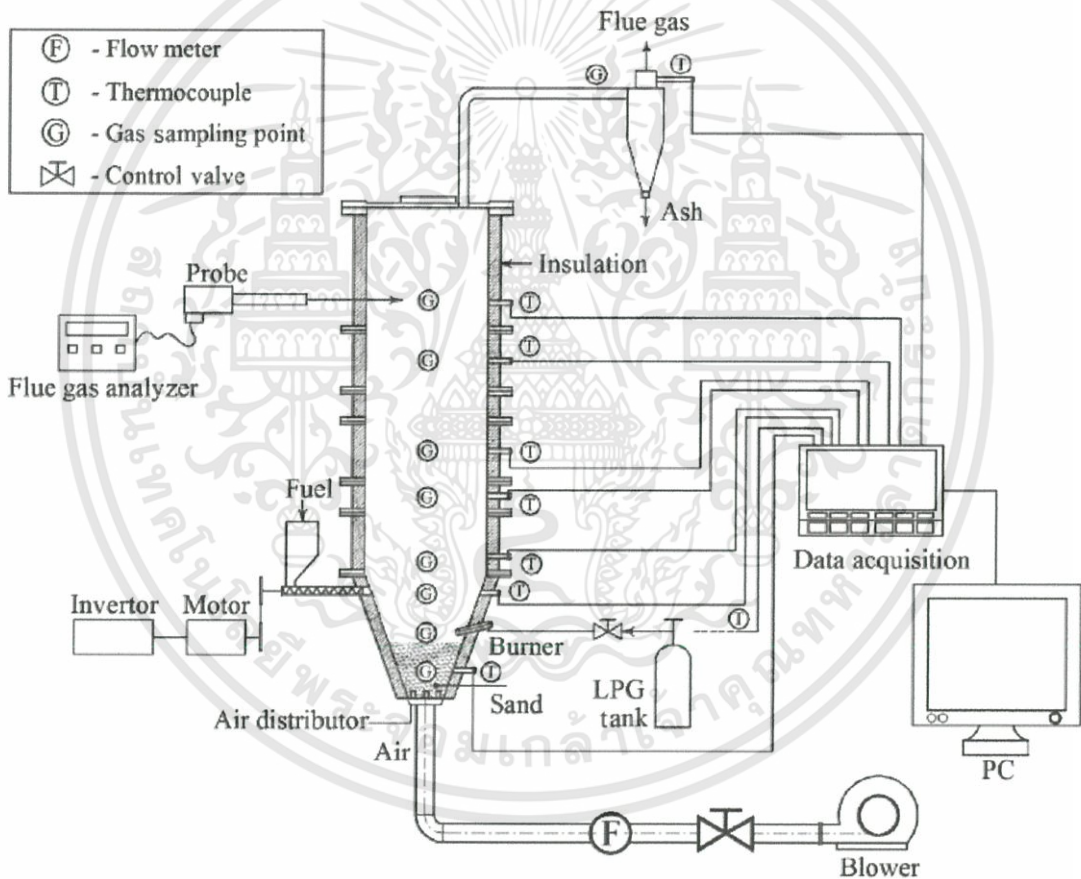
รูปที่ 2.7 ระบบการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 กษมา เจนวิจิตรสกุล [6] ได้ทำการทดลองศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO, NO_x และ PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด ที่รูปร่างของเบดมีลักษณะรูปเป็นรูปกรวย

การทดลอง ใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (EA) ที่แตกต่างกัน (การทดลองจะใช้ค่า EA อยู่ในช่วง 20.9 – 59 %)

จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบมีค่าสูงกว่า 99 % อุณหภูมิภายในเบดมีค่า อยู่ระหว่าง 900 – 950 °C ปริมาณการปล่อย NO_x มีค่าอยู่ระหว่าง 75 – 143 ppm, ปริมาณการปล่อย CO มีค่าอยู่ระหว่าง 128 – 176 ppm การหาปริมาณ PHAs นั้นจะวิเคราะห์จากขนาดของอนุภาคขี้เถ้า ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 75 – 106 μm และพบว่า มีปริมาณ PHAs อยู่เล็กน้อยมาก



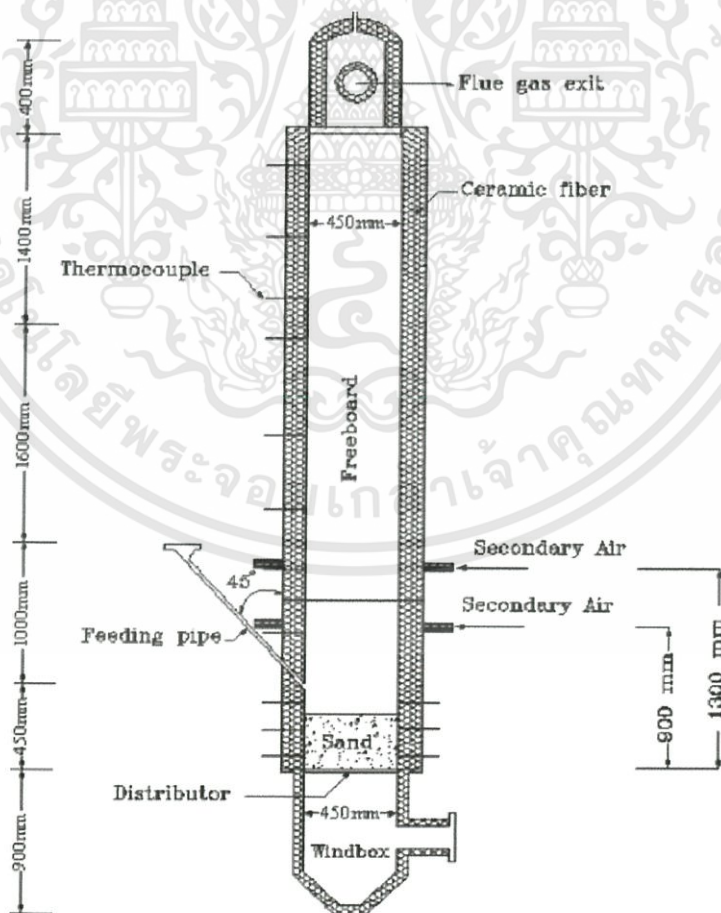
รูปที่ 2.8 ลักษณะการติดตั้งของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด FBC

2.3 งานวิจัยต่างประเทศ

2.3.1 Chyang และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองถึงผลของชนิดเชื้อเพลิงและเงื่อนไขการทำงานที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน (NO) ของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 เมตร ซึ่งใช้ แกลบ ถั่วเหลือง และถ่านหิน บิทูมินัส เป็นเชื้อเพลิง โดยวัสดุที่ใช้ทำเบด คือ ซิลิกาทราย ผลของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงาน เช่น อุณหภูมิของเบด อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อัตราการไหลของอากาศ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อปริมาณการปล่อยของออกไซด์ไนโตรเจน

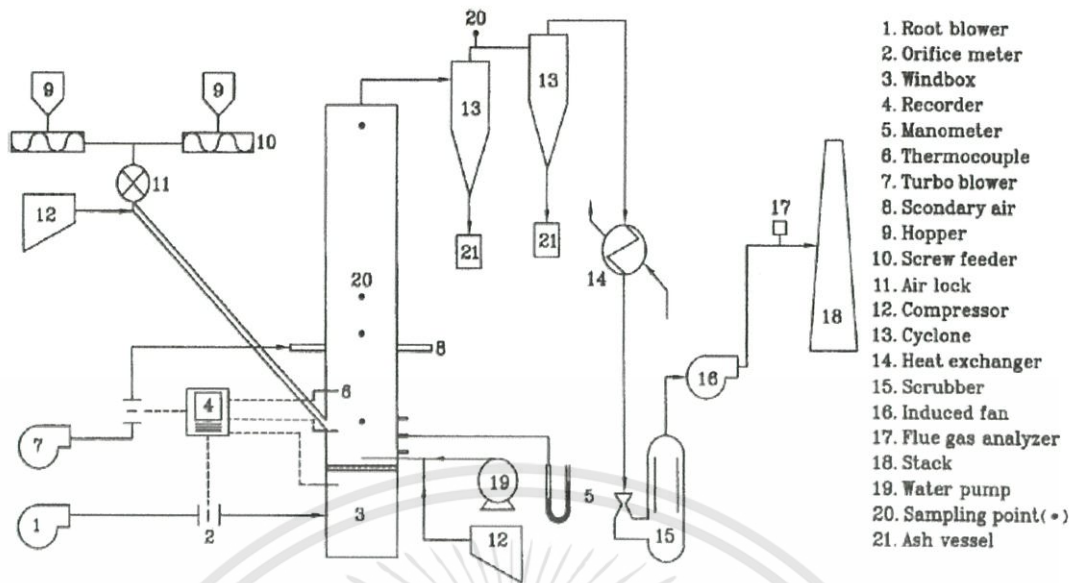
จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อย NO เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเบด และอัตราส่วนอากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ปริมาณการปล่อย NO ลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนอากาศทางทฤษฎี และทำงานที่อุณหภูมิคงที่

การลดปริมาณการปล่อย NO สามารถทำได้โดยการเพิ่มถั่วเหลืองลงในเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิภายในเตาดำกว่า 850 °C และจากการวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงทำงานของตัวแปรโดยวิธีของ Taguchi พบว่า อากาศส่วนเกินเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณการปล่อย NO



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด VFBC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โคอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด VFBC

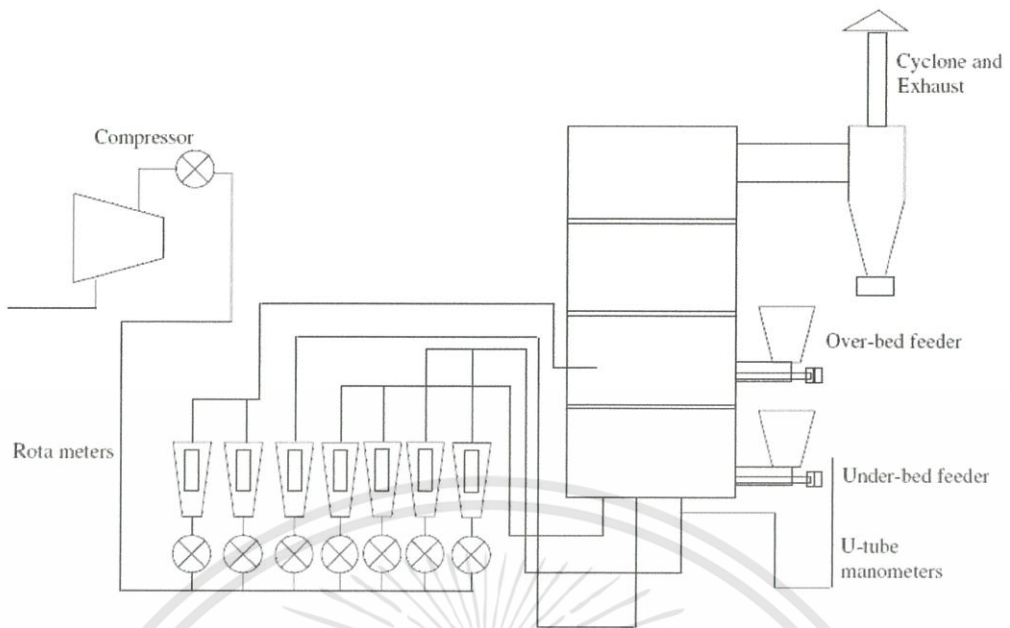
2.3.2 D.O. Albina [8] ได้นำเสนอผลของปริมาณการปล่อย CO และ CO₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ เมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดฟลูอิโดซ์เบด (spout - fluidized bed) ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ทำการทดลองโดยติดตั้งเบดหัวฉีดของไหล ((spout fluid) และติดตั้งเบดหัวฉีดหลายอัน (multi spout) เพื่อดูผลของปริมาณ CO และ CO₂ ที่ปล่อยออกมา ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงในการทดลองก็จะประกอบด้วย อากาศส่วนเกิน อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิต่ออากาศทุติยภูมิ และ ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

จากการทดลอง พบว่า จากการติดตั้งเบดหัวฉีดหลายอันและตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบดมีการปล่อยปริมาณ CO ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบด แต่ผลของ CO₂ นั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง

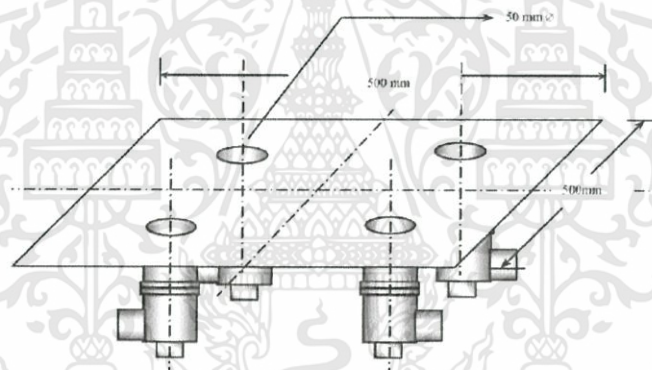
การเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกินมีผลต่อปริมาณการปล่อยทั้ง CO และ CO₂ เมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดหลายอัน พบว่า ปริมาณ CO น้อยมากที่อากาศส่วนเกิน 10 % ที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบด และปริมาณ CO น้อยมากที่อากาศส่วนเกิน 20 % ที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบด ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อปริมาณ CO และ CO₂ เมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดของไหล

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกรณีที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ต่ำกว่าเบดจะสูงกว่าเล็กน้อย กรณีเมื่อเปรียบกับในกรณีที่ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงอยู่สูงกว่าเบด

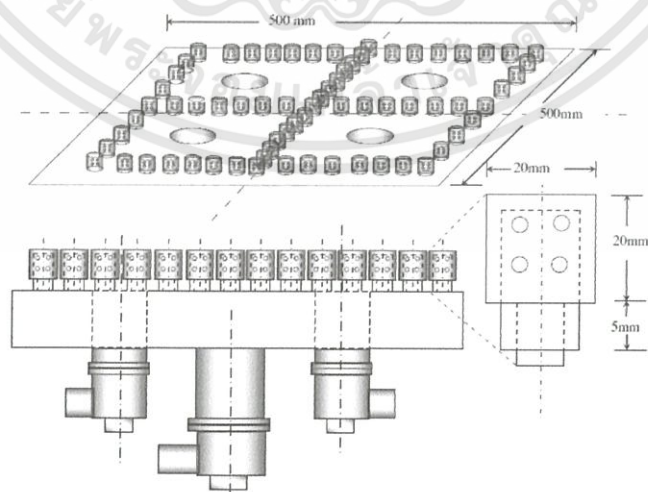
ปริมาณของ CO สำหรับการติดตั้งเบดหัวฉีดของไหลจะน้อยกว่าเมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดหลายอัน และประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดของไหลสูงกว่าเมื่อติดตั้งเบดหัวฉีดหลายอัน



รูปที่ 2.11 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด



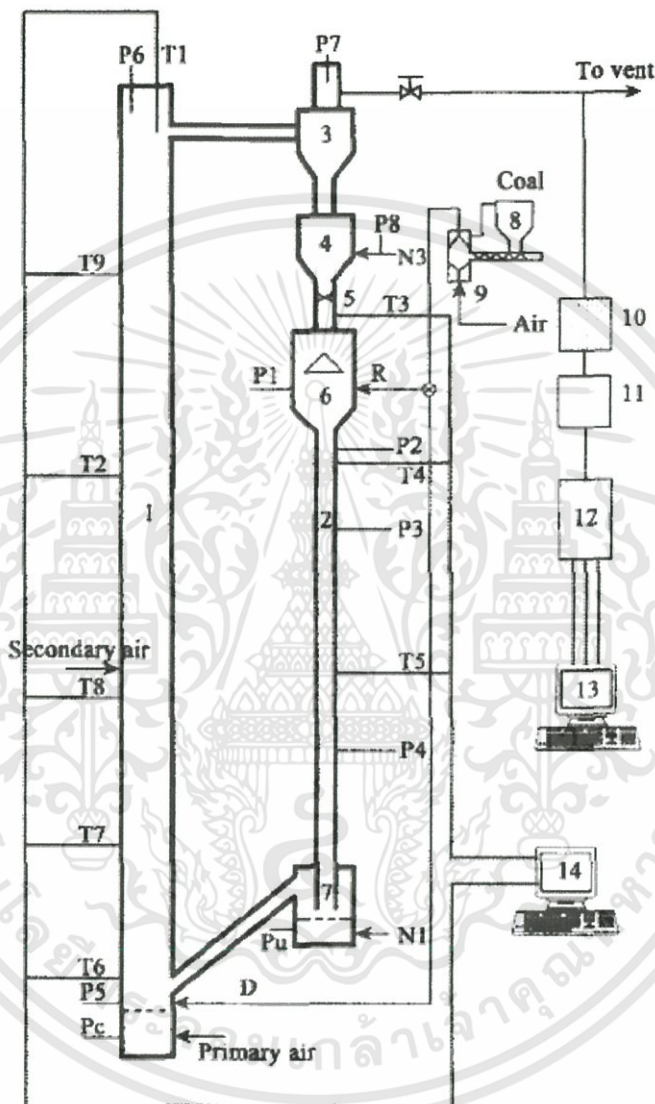
รูปที่ 2.12 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ multiple spout ฟลูอิดไคซ์เบด



รูปที่ 2.13 การประกอบตัวกระจายอากาศแบบ spout fluid ฟลูอิดไคซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 XIE และคณะ [9] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปล่อยปริมาณ SO_2 , NO และ N_2O จากการเผาไหม้ของถ่านหินร่วมกับชีวมวลในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบดแบบหมุนเวียน โดยการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการปล่อยของ SO_2 , NO และ N_2O เช่น เปร้อเซ็นต์อากาศส่วนเกิน ปริมาณชีวมวลที่ใช้ และ ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิง



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

รูปที่ 2.14 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ของเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด CFB

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณชีวมวลที่ใช้ร่วมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการปล่อย CO เพิ่มมากขึ้น เพราะชีวมวลนั้นมีองค์ประกอบของสารระเหยสูง ในขณะที่ปริมาณชีวมวลที่ใช้ร่วมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

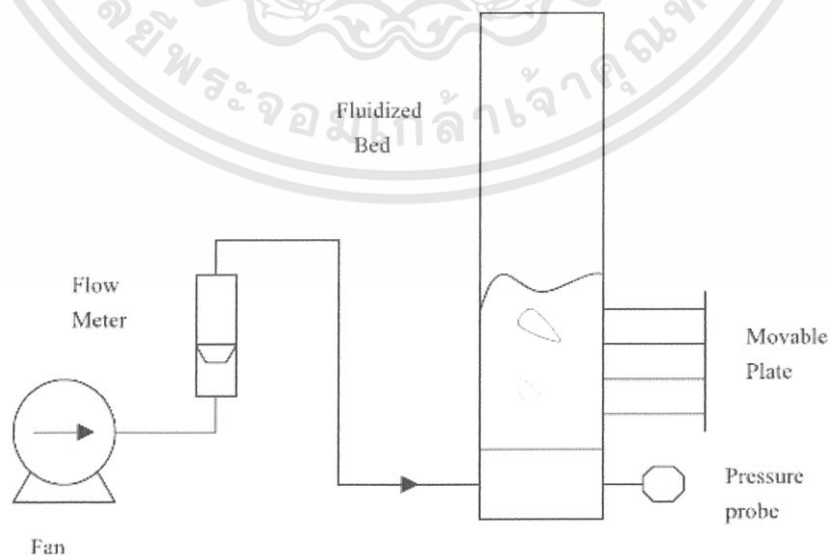
จะทำให้ปริมาณการปล่อย SO_2 จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลักษณะของการเพิ่มขึ้นระหว่างปริมาณของ SO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์ (sulfur) จะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจากตำแหน่งอยู่สูงไปยังตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่า พบว่าปริมาณการปล่อย NO ลดลงแต่ปริมาณของ SO_2 ไม่เปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งการป้อนเชื้อเพลิงจะมีผลต่อปริมาณการปล่อย SO_2 , NO และ N_2O โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง R จะพบว่าปริมาณการปล่อย NO และ NO_2 จะลดลง และเมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินร่วมกับชีวมวลที่ตำแหน่งอ้างอิง D ปริมาณการปล่อย NO และ N_2O จะลดลง

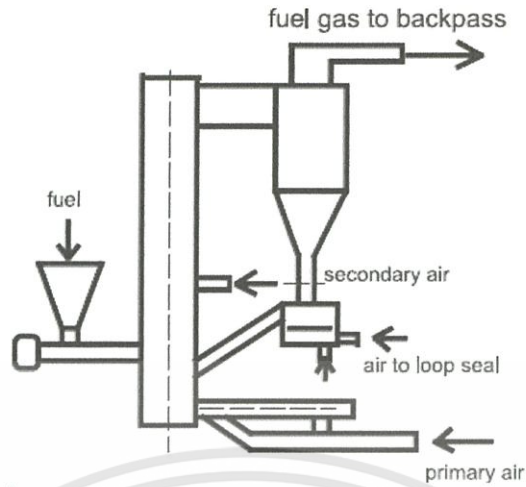
2.3.4 M. Fang และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน จากรายงานได้แนะนำถึงการทดลอง แบบ cold model แสดงถึงการเกิดฟลูอิดไคซ์ของแกลบที่ค่อนข้างยาก จึงได้ทำการปรับปรุงให้เกิดการฟลูอิดไคซ์ให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มชนิดกองทราย และถ่ายหินเข้าไป ผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทราย ความเร็วก๊าซ และเศษส่วนมวล มีผลต่อการผสมของแกลบ ซึ่งจะสามารถผสมได้ดี ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรายอยู่ในช่วง 0.3 – 0.8 มิลลิเมตร และ ความเร็วก๊าซอยู่ในช่วง 0.8 – 2 เมตร/วินาที จากการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน พบว่าแกลบสามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิเพียง 340°C ต่ำกว่าถ่านหินมาก

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



รูปที่ 2.15 การทดสอบ cold state ฟลูอิดไคซ์เบด

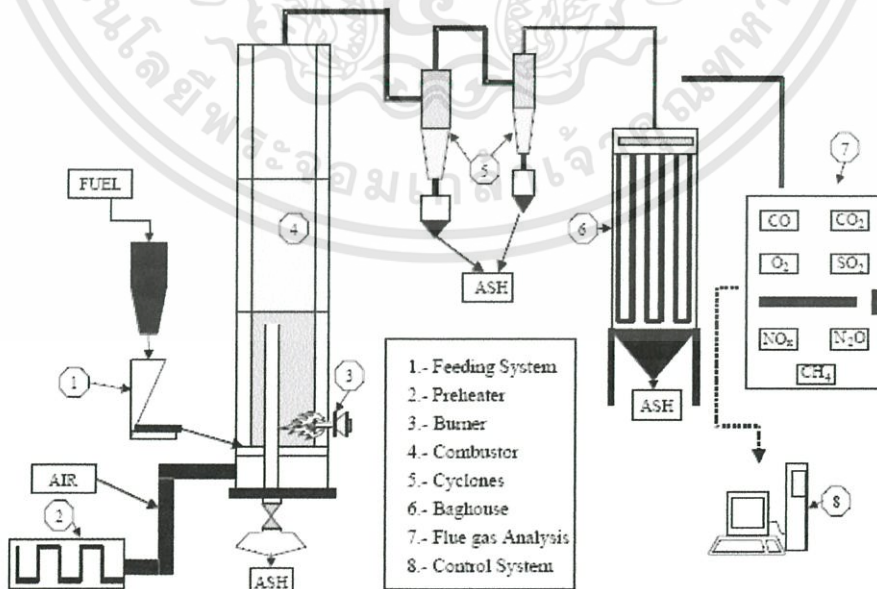
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด CFB

2.3.5 L. Armesto และคณะ [11] ได้ทำการทดลองและศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด ในช่วงที่มีการผสมผสานและไหลเวียนของอนุภาคอย่างรุนแรง (bubbling fluidized bed) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของการเกิดฟลูอิโดเซชันที่มีผลต่อประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อย CO ที่เกิดจากการทดลอง

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



รูปที่ 2.17 แผนผังของระบบเตาเผาฟลูอิโดซ์เบด (bubbling fluidized bed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 บทนำ

เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ในการเผาไหม้อาจจะมีอยู่หลายชนิด เช่น เชื้อเพลิงที่เป็น ของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ จะถูกนำมาใช้ได้นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อย่างเช่น ราคา การหามาได้ การเก็บรักษา การควบคุมมลภาวะ และหม้อไอน้ำหรือเตาเผาที่ใช้ ตลอดจนถึงอุปกรณ์การเผาไหม้ชนิดอื่นๆ สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง (solid fuels) ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ประเภทถ่านหิน หรือเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuels) เช่น แกลบ ชี้เลื่อย ฆานอ้อย ฯลฯ ปัญหาสำคัญอันหนึ่งของการเผาไหม้ คือ การเผาไหม้ที่ได้ก่อนข้างยากและไม่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับ เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ เพราะฉะนั้น ก่อนอื่นจะต้องทำการศึกษาลักษณะและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องต่าง ๆ เช่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทฤษฎีฟลูอิดไดนามิกส์ และอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ สามารถที่จะเลือกใช้เชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ และมีประสิทธิภาพ รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการทดลองและวิจัย ต่อไป

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

3.2.1 ชีวมวล

ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ก่อนยุคประวัติศาสตร์ในเวลาที่เดียวกับที่มนุษย์รู้จักใช้ไฟ ไฟและเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นบ่อเกิดของพลังงานความร้อนซึ่งเป็นพลังงานหลักที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนาอารยธรรมของมนุษย์เผ่าพันธุ์ต่าง ๆ เช่น การใช้พลังงานความร้อนในการหลอมโลหะสำหรับทำเป็นอาวุธสำหรับป้องกันสัตว์ร้าย ศัตรูผู้รุกรานหรือสำหรับล่าสัตว์เป็นอาหาร ตลอดจนการทำเครื่องมือ เครื่องจักร สำหรับสร้างที่อยู่อาศัย การเพาะปลูก หรือพาหนะสำหรับเดินทาง และขนส่งภาระแทนการใช้แรงงานจากสัตว์

ชีวมวล คือ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ชีวมวลไม่นับรวมถึงซากสิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมกันภายใต้ดินหภูมิ และความกดดันใต้เปลือกโลกมานานนับล้านปี (ฟอสซิล) จนกลายเป็นถ่านหินหรือน้ำมัน ชีวมวลยังมีความหมายครอบคลุมถึง เศษกิ่งไม้ ใบหญ้าในป่า วัสดุ หรือเศษเหลือทิ้งของพืชที่เกิดจากการเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมูลสัตว์จากฟาร์มปศุสัตว์และสิ่งปฏิกูล ขยะอินทรีย์ที่เป็นของเหลือทิ้งของชุมชน องค์ประกอบของชีวมวลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1 ความชื้น (moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 50

2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (combustible substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ volatiles matter และ fixed carbon volatiles matter คือส่วนที่ถูกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า volatiles matter สูง แสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1 - 3 ยกเว้น แกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10 - 20 ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัด พอสสมควรร

3.2.2 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแยกประเภทได้เป็น 4 ประเภท คือ

3.2.2.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (forest biomass) ซึ่งสามารถแยกออกเป็นไม้เนื้ออ่อน (soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (hard wood) ในเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณของลิกนิน (lignin) อยู่ประมาณ 40 % ในไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างของเชื้อเพลิงประเภทนี้ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ และขี้เลื่อย

3.2.2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร (agriculture biomass) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบข้าว ฟางข้าว ซึ่งสารพวกนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำ โดยประมาณ 0 - 20 %

3.2.2.3 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (industrial biomass) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากการผลิตน้ำตาล คือ ชานอ้อย นอกจากนี้ ยังมีกากสับปะรดที่ได้จากโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋อง เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก

3.2.2.4 เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (domestic waste) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะเทศบาล เป็นต้น

3.2.3 คุณสมบัติของชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะอย่าง คุณสมบัติบางอย่างนั้นก็ถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างนั้นก็ถือเป็นจุดด้อย เช่น การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล ขนาด ความชื้น ลิงเจ็ปน และปริมาณขี้เถ้า เป็นต้น ดังนั้นถ้าจะนำชีวมวลใดมาใช้งาน จะต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับชีวมวลนั้น ๆ เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด

3.2.3.1 การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งชีวมวล มี 2 ลักษณะ คือ อยู่รวมเป็นกลุ่มและอยู่กระจัดกระจายชีวมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่ม คือ เศษชีวมวลจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงสีข้าว โรงงานผลิตน้ำตาลทราย โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานแปรรูปไม้ยางพารา และฟาร์มเลี้ยงหมู เป็นต้น ที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ และเศษไม้ ปลายไม้จากสวนป่ายางพารา เป็นต้น ส่วนการนำชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายมาใช้งานจะมีข้อเสียเปรียบ คือ เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น

3.2.3.2 ขนาด ขนาดของชีวมวลเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณาถ้าชีวมวลมีขนาดใหญ่เช่นเศษไม้หรือปลายไม้จากสวนป่ายางพารา และปึกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำดังนั้นควรจะนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

3.2.3.3 ความชื้น ความชื้นของชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวล มีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล้า ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 80 - 90 ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด (dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ในกรณีของเศษไม้มีความชื้นประมาณร้อยละ 50 - 60 ถ้านำมาเก็บไว้ล่วงหน้าหนึ่งระยะหนึ่งความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือเสียพื้นที่ในการจัดเก็บและถ้าเก็บไว้นานไปก็มีโอกาสผุได้

3.2.3.4 สิ่งเจือปน สิ่งเจือปนในชีวมวลมีหลายอย่าง เช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มากคือ คราบน้ำมันปาล์มที่ติดอยู่ในทะเลาะปาล์ม และ กะลาปาล์ม เพราะเมื่อคราบน้ำมันปาล์มถูกความร้อนจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดในห้องเผาไหม้ ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ

3.2.3.5 ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณขี้เถ้าของชีวมวล มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณขี้เถ้าร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชีวมวล

ชีวมวล	ความชื้น(%)	ค่าความร้อน (kJ/kg)	การวิเคราะห์แบบประมาณ(%)		
			สารระเหย	ขี้เถ้า	คาร์บอนคงตัว
แกลบ	1.03	16,588	65.41	19.14	15.45
กะลามะพร้าว	1.15	18,199	80.98	0.83	18.19
ซังข้าวโพดอบแห้ง	10.52	19,341	83.41	1.84	14.62
ชานอ้อย	2.77	19,088	86.09	3.08	10.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ชีวมวลเปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างไร

เชื้อเพลิงชีวมวลมีส่วนประกอบหลัก (major element) อยู่ 3 ส่วน คือ คาร์บอน ออกซิเจน และ ไฮโดรเจน รวมกันอยู่ในส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์รูปต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_x กระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานอย่างง่ายที่สุดซึ่งเป็นวิธีที่มนุษย์รู้จักใช้กันมานานนับหมื่นปีก็คือ การเผา หรือทำให้วัสดุเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ และปล่อยพลังงานความร้อนออกมา การเผาไหม้ของวัสดุเชื้อเพลิง คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนในวัสดุเชื้อเพลิง รวมตัวกับก๊าซออกซิเจน เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (ในสถานะเป็นไอ) โดยที่ปฏิกิริยาการรวมตัวดังกล่าวจะก่อให้เกิดการปลดปล่อย หรือมีการคายพลังงานความร้อนออกมา (exothermic reaction) ซึ่งในกระบวนการการเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ บางส่วนจะอยู่ในรูปของ ชาร์ (char) และทาร์ (tar) นอกจากนี้ยังมี เฮมิเซลลูโลส ($C_5H_8O_4$)_y เฮมิเซลลูโลสนี้ทำให้เกิดมีปริมาณก๊าซมากแต่ให้ทาร์และชาร์น้อย และ ลิกนิน ($C_9H_{10}O_3(CH_3)_{0.9-1.7}$)_z ถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณของลิกนินมากเท่าใดก็จะให้ค่าความร้อนของการเผาไหม้สูง ส่วนประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิด เช่นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดหนึ่งมีคาร์บอน 50 % ออกซิเจน 44 % และไฮโดรเจน 6 % สามารถเขียนเป็นสูตรอย่างง่าย (empirical formula) คือ $CH_{1.44} O_{0.66}$ เชื้อเพลิงชีวมวลยังประกอบไปด้วยสารประกอบที่เป็นอนินทรีย์ ซึ่งไม่สามารถที่จะเผาไหม้ได้ซึ่งจะกลายเป็นเถ้า (ash) ในเวลาต่อมา แต่ไม่จำเป็นต้องเขียนลงไปในสูตรอย่างง่าย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบรอง (minor element) เถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีปริมาณตั้งแต่ 1 % เช่นไม้ ไปจนถึง 20 - 25 % ในแกลบ องค์ประกอบของเถ้าจะประกอบไปด้วย $CaO, K_2O, Na_2O, MgO, SiO, Fe_2O_3, P_2O_5$ และ Al_2O_3 ซึ่งส่วนประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้ล้วนมีความสำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของการเผาไหม้ทั้งสิ้น

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลต่าง ๆ

ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวล	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
ไม้เนื้ออ่อน (เฉลี่ย)	45.8	24.4	28	1.7
ไม้เนื้อแข็ง (เฉลี่ย)	45.2	31.3	21.7	2.7
ต้นสน	40	28.5	27.7	-
เปลือกไม้	24.8	29.8	43.8	1.6
ชานอ้อย	41.3	22.6	18.3	2.9
เปลือกมะพร้าว	36.3	25.1	28.7	0.7
กิ่งอ้อย	42.7	23.6	17.5	6.8
แกลบ	31.3	24.3	18.3	23.5
ฟางข้าว	37	22.7	2.6	19.8

3.2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล [16]

3.2.5.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis)

การวิเคราะห์แบบประมาณเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ซับซ้อน เพื่อประมาณองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ เช่น ความชื้น ปริมาณของสาร การวิเคราะห์แบบประมาณเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ซับซ้อน เพื่อประมาณองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ เช่น ความชื้น ปริมาณของสารระเหย ปริมาณของคาร์บอนคงตัว (char) และปริมาณของเถ้า การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบการประมาณของเชื้อเพลิงทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์บางอย่างต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล ยกตัวอย่างเช่น contribution of flaming and glowing combustion ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารระเหยและคาร์บอนคงตัว ในขณะที่ความชื้นมีผลอย่างยิ่งต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

3.2.5.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุเป็นการประมาณธาตุที่สำคัญเช่น C, H, O, N และ S หรือสารไม่บริสุทธิ์อื่น เช่น ฟอสฟอรัสและคลอรีน การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและองค์ประกอบของก๊าซมีความสำคัญมากต่อการคำนวณมวลและพลังงานทั้งหมดในกระบวนการการเผาไหม้ การที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณความชื้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อน (heating value) ของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ

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

3.2.6 การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

วิธีการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลมี 3 แบบ คือ

3.2.6.1 ค่าความร้อนต่ำ หรือ lower heating value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1

กิโลกรัมมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.2 ค่าความร้อนสูง หรือ higher heating value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัมมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้ คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำ

3.2.6.3 ค่าความร้อนแห้ง หรือ dry heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมดจากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัมเพื่อนำมาหาค่าความร้อนค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูง

ตารางที่ 3.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล	ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)
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
เหง้ำมันสำปะหลัง	13,170	9,034
กากมันสำปะหลัง	12,650	8,080
ใบมะพร้าว	8,457	6,272

ทั้งนี้ค่าความร้อนสูง เป็นการนำเอาค่าความร้อนแฝง (latent heat) ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียมารวมด้วย ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำจะไม่นำค่าดังกล่าวมารวมด้วย เพราะสมมติฐานที่ว่าในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้น ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในก๊าซไอเสียจะไม่เกิดการควบแน่นและไม่คายพลังงานความร้อนแฝงออกมาให้ระบบ (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของน้ำในก๊าซไอเสียเสมอ) แต่จะถูกทิ้งไปสู่บรรยากาศทางปล่องไอเสียแทน นั่นคือปริมาณความร้อนในส่วนนี้จะเป็ความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนิยมนำค่าความร้อนต่ำ มาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องจักร อุปกรณ์มากกว่าค่าความร้อนสูง เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงมากกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เชื้อเพลิงแกลบ

ลักษณะทั่วไป มีขนาดเล็ก ยาวไม่เกิน 8 มม. และหนาไม่เกิน 2 มม. สีเหลือง แกลบได้มาจากการสีข้าวเปลือก ค่าความร้อนของแกลบขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแกลบนั้น โดยอยู่ที่ประมาณ 2,900 - 4,500 kcal/kg

ข้อดีของแกลบ คือ มีปริมาณสารระเหยสูงทำให้ช่วยในการจุดติดได้เป็นอย่างดีมีความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นและมีขนาดเล็ก เหมาะเป็นเชื้อเพลิง

ข้อเสียของแกลบ คือ มีปริมาณขี้เถ้าสูง (ประมาณ 16 - 18 % โดยน้ำหนัก) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่น ดังนั้นในการเผาไหม้ควรคำนึงถึงเรื่องนี้

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ

การวิเคราะห์แบบประมาณ	ความชื้น	1.1 - 9.8	%
	คาร์บอนคงตัว	12.7 - 17.4	%
	สารระเหย	56.4 - 69.3	%
	ขี้เถ้า	15.8 - 24.9	%
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	คาร์บอน	38.2 - 45.8	%
	ซิลิกา	14.7	%
	ไฮโดรเจน	0.2 - 5.31	%
	ออกซิเจน	29.9 - 31.7	%
	กำมะถัน	0.07 - 0.12	%
Heating value		2900 - 4560	Kcal/kg
Bulk density		95 - 107	Kg/m ³
ขนาดเฉลี่ย		8X2	mm
Weight of single		2.94 - 3.56	mg
องค์ประกอบของขี้เถ้า	SiO ₂	90 - 97	%
	CaO	0.15 - 0.2	%
	MgO	0.1 - 0.2	%
	K ₂ O	0.6 - 1.6	%
	SO ₃	0.1-1.13	%
	P ₂ O ₅	0.3	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทฤษฎีการเผาไหม้ (combustion theory) [14]

การเผาไหม้ (combustion) หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศทำปฏิกิริยาต่อกัน โดยเปลี่ยนพลังงานในพันธะเคมีเป็นพลังงานความร้อนสูง ปฏิกิริยานี้ อาจจะเป็นการออกซิเดชันกับเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว หรือเชื้อเพลิงก๊าซก็ได้ สารเผาไหม้ได้ในที่นี้มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในด้านการกัดกร่อนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษในอากาศ สำหรับการเผาไหม้ของคาร์บอนกับออกซิเจนนั้น เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้



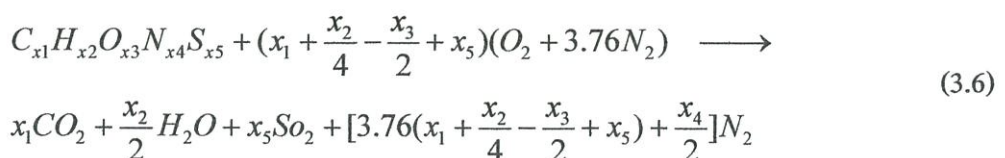
เราสามารถเขียนสมการการเผาไหม้รวมได้เป็น



ซึ่งจะพบว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยปลดปล่อยความร้อนออกมาด้วยหลังจากเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบใหม่

3.4.1 ปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้

สมการที่ 3.6 เป็นสมการการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจาก คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ทำปฏิกิริยากับอากาศในสัดส่วนที่ถูกต้อง ได้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยไม่มีอย่างอื่นเหลืออยู่เลย ยกเว้น ไนโตรเจน ซึ่งไม่ได้ทำปฏิกิริยาใดๆกับองค์ประกอบอื่น ๆ เรียกว่า เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (complete combustion) ซึ่งปริมาณอากาศที่ต้องการใช้เป็นตัวออกซิไดซ์นั้นเพียงพอต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงจนหมดพอดีหรือใช้อากาศเกินเป็นศูนย์ (zero excess air หรือ stoichiometric combustion) จะทำให้ได้คุณภาพของการเผาไหม้และพลังงานความร้อนออกมาสูงที่สุด



ดังนั้นถ้าใช้อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าตามทฤษฎีก็จะทำให้ได้ค่าความร้อนที่ต่ำกว่าที่ควรจะได้ แต่ถ้าหากใช้ปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่มากกว่าทางทฤษฎีจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกไปกับการเผาไหม้ด้วย อัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณของเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (stoichiometric air fuel ratio) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.7

$$(A/F)_{Stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}} \right)_{Stoic} \quad (3.7)$$

แต่ $(A/F)_{Stoic}$ ที่แท้จริงนั้นต้องหักปริมาณความชื้นที่มากับเชื้อเพลิงด้วย ซึ่งตัวแปรที่จะเป็นตัวบ่งบอกว่าการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงอยู่ในปริมาณเท่าใด เป็นการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงหนา บาง หรือพอดี ก็คืออัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.8

$$\Phi = \frac{(A/F)_{Stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{Stoic}} \quad (3.8)$$

ถ้า $\Phi > 1$ จะเป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมเชื้อเพลิงหนา (fuel rich mixture)

ถ้า $\Phi = 1$ เป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมพอดี (stoichiometry mixture)

ถ้า $\Phi < 1$ เป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมเชื้อเพลิงบาง (fuel lean mixture)

ในทางปฏิบัติแล้ว การที่จะทำให้ออกซิเจน (O_2) ในอากาศเข้าไปสัมผัส หรือทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้อย่างพอดีแล้ว เป็นสิ่งที่สามารถทำได้ยาก โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง การที่มีออกซิเจน (O_2) บางส่วนไม่สัมผัสกับเชื้อเพลิงก็จะทำให้เผาไหม้นั้นไม่สมบูรณ์ไปด้วย การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เขม่า (soot) และควัน (smoke) ทำให้ไม่ได้รับความร้อนอย่างที่ต้องการจะเป็น ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมการเผาไหม้โดยให้ปริมาณอากาศที่ใช้มีมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี คือ ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินแต่ต้องไม่มากเกินไปจนมีการพาความร้อนออกไปจากระบบ เเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินสามารถหาได้จากสมการข้างล่าง คือ

$$\% \text{ excess air} = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \quad (3.9)$$

3.4.2 องค์ประกอบในการเผาไหม้มีอยู่ 4 องค์ประกอบ คือ

3.4.2.1 เชื้อเพลิง (fuel) ลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการ ดังนี้

1 ความสามารถในการติดไฟของสาร (flamability limits) เป็นปริมาณไอของสารที่เป็นเชื้อเพลิงในอากาศที่มีคุณสมบัติ ซึ่งพร้อมจะติดไฟได้ในการเผาไหม้นั้นปริมาณไอเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศนั้นจะต้องมีปริมาณพอเหมาะจึงจะติดไฟได้ โดยปริมาณต่ำสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็นเปอร์เซ็นต์ในอากาศ ซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าต่ำสุดของไอเชื้อเพลิง (lower flammable limit)” และปริมาณสูงสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็น เปอร์เซ็นต์ในอากาศซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง (upper flammable limit)” ซึ่งสารเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงแตกต่างกันไป

2 จุดวาบไฟ (flash point) คืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงคายไอออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วน ที่เหมาะสมถึงจุดที่มีค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง เมื่อมีประกายไฟก็จะเกิดการติดไฟ เป็นไฟวาบขึ้นและดับ

3 จุดติดไฟ (fire point) คืออุณหภูมิของสารที่เป็นเชื้อเพลิงได้รับความร้อน จนถึงจุดที่จะติดไฟได้แต่การติดไฟนั้นจะต้องต่อเนื่องกันไป โดยปกติความร้อนของ fire point จะสูงกว่า flash point ประมาณ 7 องศาเซลเซียส

4 ความหนาแน่นไอ (vapor density) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของสารเคมีในสถานะ ก๊าซต่อน้ำหนักของอากาศเมื่อมีปริมาณเท่ากัน ความหนาแน่นไอ ใช้เป็นสิ่งบ่งบอกให้ทราบว่าก๊าซนั้นจะหนักหรือเบากว่าอากาศซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมอัคคีภัย

3.4.2.2 ออกซิเจน (oxygen) คือ อากาศที่อยู่ล้อมรอบตัวเรา นั้นมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 21 % แต่การเผาไหม้แต่ละครั้งนั้นต้องการก๊าซออกซิเจนประมาณ 16 % เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรานั้นจะถูกล้อมรอบด้วยก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ยิ่งถ้าปริมาณก๊าซออกซิเจนยิ่งมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้น และเชื้อเพลิงบางประเภทจะมีก๊าซออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่โดยรอบเลย

3.4.2.3 ความร้อน (heat) ความร้อน คือ พลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา

3.4.2.4 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) หรือ การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือ กระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้น หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาก่อกำเนิดอะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง กลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเปลวไฟ

3.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่สำคัญมี 4 ประการ คือ turbulent (การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้า), temperature (อุณหภูมิ), theoretical air (ปริมาณอากาศที่ต้องการ) และ time (เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้)

3.4.3.1 การปั่นป่วนหรือการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

การผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซในการผสมจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือของเหลวการผสมจะยุ่งยากขึ้น ในกรณีที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นของเหลวจะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก โดยใช้หัวพ่นแล้วจึงทำการเผาไหม้ ซึ่งจะช่วยให้รวมตัวกับอากาศได้ง่ายขึ้น ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าผสมกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในที่สุด ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า จุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นก็เพื่อที่จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดบริเวณของพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่

3.4.3.2 อุณหภูมิที่สูงพอต่อขบวนการเผาไหม้

ขบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตรารวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในตอนแรก ๆ และเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous combustion) จะประกอบด้วย

1. อุณหภูมิสูงพอสำหรับขบวนการเผาไหม้
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศที่เพียงพอ

ขบวนการเผาไหม้นั้นไม่ได้เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง โดยส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงพอเพียง การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ โดยปกติแล้วการเผาไหม้นั้นต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การที่จะให้อุณหภูมิจะสูงได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งจะสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมตัวกัน

เป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ เกิดเถ้าหลอมรวมตัวเป็นซิลิโละ (slag) ก็จะเกาะติดอยู่บนผนังเหล็ก ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

3.4.3.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศ

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้ได้ผลการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้น จะต้องมีส่วนที่พอดีกันระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน ตามสมการเผาไหม้ ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (theoretical air) คือปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ จนคาร์บอน, ไฮโดรเจน และกำมะถันเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ ในทางปฏิบัติจริงของอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนในก๊าซไอเสีย

3.4.3.4 เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง

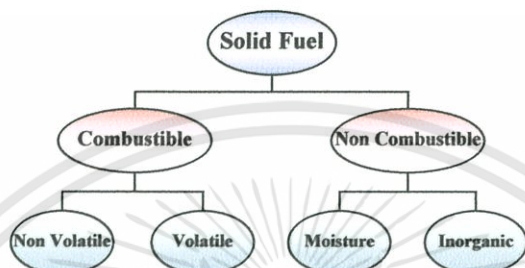
เวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง คือเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรมานานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้มากที่สุด แต่การเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยาก เพราะต้องใช้เวลาาน และเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้เตาเผาที่มีความสูงมาก ๆ ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ดังนั้นจึงนำเทคนิคการหมุนวงความเร็วสูงของเตาเผาที่คิดครีมาเพื่อช่วยให้เกิดการไหลหมุนวง (vortex flow) ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ขณะเกิดการเผาไหม้ภายใน ทำให้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้นหรือหน่วงเวลาให้การเผาไหม้เกิดขึ้นนานที่สุด เพื่อให้การเผาไหม้ใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด

3.4.4 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง

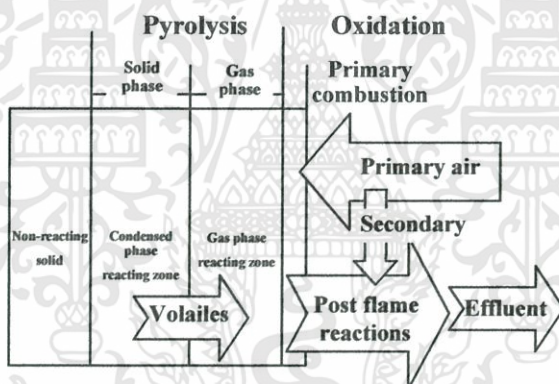
เชื้อเพลิงแข็งที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ฟืน ชีลื้อย แกลบ ฟางข้าว โปด เป็นต้น ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และก๊าซ เพราะว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่าง ๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้ ดังรูปที่ 3.1

สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เรียกว่า สารเฉื่อย (inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ ซึ่งจะไม่สามารถช่วยในการเผาไหม้ได้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ก็อาจจะเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารเฉื่อยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต (silicates) ซัลไฟด์ (sulfides) และเกลือฮาโลเจน (halogen salt) เป็นต้น เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกในห้องที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เรียกว่า

เถ้าลอย (fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (volatile) และส่วนที่ไม่ระเหย (non-volatile) ในส่วนที่ไม่ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มาก ๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึง สารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลต่ำ ๆ หลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

3.4.5 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ

1 แบบจำลอง progressive conversion ใช้อธิบายเมื่อในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขนาดของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ไม่เกิดขึ้นเถ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม เช่น การเผาแร่กำมะถัน

2 แบบจำลอง unreacted core ใช้อธิบายเมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป เช่น ไม้, แกลบ, ถ่านหิน เป็นต้น

โดยจะมุ่งเน้นศึกษาที่แบบจำลอง unreacted core ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเผาไหม้ของแกลบ

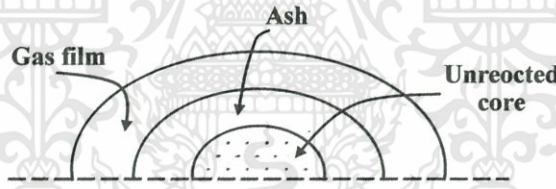
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลอง unreacted core

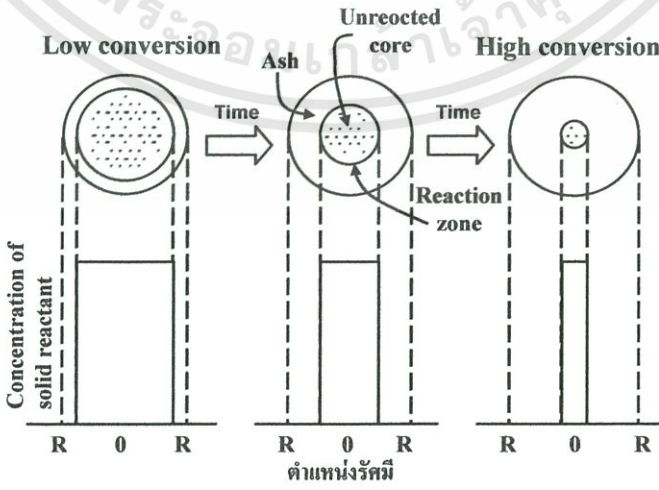
ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นครั้งแรกที่ผิวนอกสุดของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อย ๆ กินลึกเข้าไปภายใน ทั้งบริเวณที่ได้ทำปฏิกิริยาไปแล้วในสภาพขี้เถ้า ดังนั้นที่เวลาใด ๆ ส่วนที่ลึกเข้าไปภายในชั้นเชื้อเพลิง หรือที่เรียกว่า แก่น จะค่อย ๆ มีขนาดลดลงในระหว่างการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.4 บริเวณการเกิดการเผาไหม้



รูปที่ 3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาของแบบจำลองนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. อากาศแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มเข้าสู่ชั้นชี้ถ้า
2. อากาศผ่านชั้นชี้ถ้าเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิงในส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา
3. เกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับผิวของเชื้อเพลิง
4. ผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ซึมผ่านชั้นชี้ถ้ากลับสู่ชั้นฟิล์มของก๊าซ
5. ผลิตภัณฑ์ก๊าซซึมผ่านชั้นฟิล์มกลับคืนสู่ภายนอกบรรยากาศรอบ ๆ โดยความต้านทานในแต่ละขั้นตอนอาจจะแตกต่างกันมากขั้นตอนที่มีความต้านทานสูงสุดจะเป็นตัวควบคุมอัตราความเร็วของการเผาไหม้

3.4.6 การปล่อยมลพิษ (emission)

3.4.6.1 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) การก่อตัวของ NO_x ในกระบวนการการเผาไหม้มีกลไกของการก่อตัวอยู่ดังต่อไปนี้

Thermal NO_x มีอิทธิพลมาจากอุณหภูมิการเผาไหม้ หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นถ้าต้องการลด Thermal NO_x จึงต้องลดอุณหภูมิการเผาไหม้

Prompt NO_x เกิดจากอนุมูลอิสระ พวกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ใน ส่วนแรกของการเผาไหม้ (early stages) ของการเผาไหม้กับ โมเลกุลของไนโตรเจน

Fuel NO_x เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอากาศกับ ไนโตรเจนในเชื้อเพลิงเป็นกลไกของการเกิด NO_x ซึ่งขึ้นกับสภาวะการทำงานเช่นสภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมเชื้อเพลิงหนาหรือแบบส่วนผสมเชื้อเพลิงบาง ถ้าเป็นการเผาไหม้แบบส่วนผสมเชื้อเพลิงบาง จะทำให้มีโอกาสเกิด Fuel NO_x ได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงต้องควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงต่อออกซิเจนให้ดี

3.4.6.2 การลดการเกิด NO_x เทคนิคการเผาไหม้แบบแบ่งเป็นขั้นตอน (staged combustion) ช่วยทำให้เปลวไฟขยายออกไปและทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง การใช้อากาศทุติยภูมิในการเผาไหม้ การใช้การหมุนวนของก๊าซไอเสีย (flue gas recirculation) เป็นต้น

3.4.6.3 มลพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ มลพิษจาก CO จากระบบการเผาไหม้เป็นการสูญเสียประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ หากการเผาไหม้ค่อนข้างมีอุณหภูมิสูง อาจทำให้ CO_2 เกิดการแยกสลายกลับมาเป็น CO ได้ หรือในขณะเดียวกันถ้าหากเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้มีเวลาน้อยเกินไปในห้องเผาไหม้ ไม่มีเวลามากพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ จะทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็น CO_2 ได้เช่นกัน

3.5 ทฤษฎีฟลูอิดซ์เซชัน [13]

ฟลูอิดซ์เซชัน คือ ปรากฏการณ์ที่อนุภาคของแข็งขนาดเล็กถูกทำให้อยู่ในสภาพคล้ายของไหลด้วยการพวยงโดยก๊าซ หรือของเหลวที่ไหลผ่านเบดของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ ของแข็งจะเคลื่อนที่เสมือนของไหล และมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ โดยมีการถ่ายเทมวลสาร การถ่ายเทความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

เทคนิคฟลูอิดไอเซชันเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านอุตสาหกรรมในการลดต้นทุนการผลิตทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

3.5.1 ประเภทของฟลูอิดไอเซชัน

กระบวนการฟลูอิดไอเซชันแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 แบบ คือ

3.5.1.1 ฟลูอิดไอเซชันสองสถานะ (two - phases fluidization) หมายความว่า ในหอตลอดหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยของไหลสองสถานะ คือ ของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไอเซชันจึงแบ่งออกอีก 2 ประเภท คือ

1. ก๊าซฟลูอิดไอเซชัน (gas fluidization)
2. ฟลูอิดไอเซชันของของเหลว (liquid fluidization)

3.5.1.2. ฟลูอิดไอเซชันสามสถานะ (three - phases fluidization) หมายความว่า ภายในหอตลอดจะประกอบด้วยของไหลทั้งสามสถานะในเวลาเดียวกันคือ ของแข็ง, ของเหลวและ ก๊าซ สำหรับฟลูอิดไอเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดไอเซชันสองสถานะ

3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไอเซชันเบด

เบด (bed) หมายถึง อาณาเขตในหอตลอดที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอตลอด จะระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอตลอด

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไอเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันลดในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.6 ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้ คือ

- เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำ ๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed)

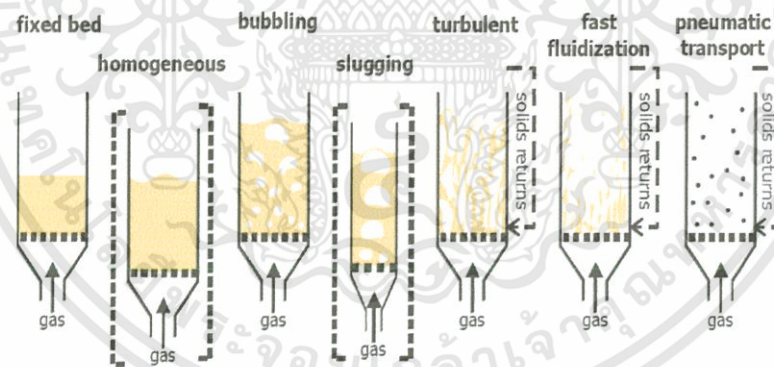
- เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (expanded bed)

- เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลขึ้นอีก จนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และ ผลจากแรงกระทำระหว่าง

อนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไป อนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบดจะลอยตัวเป็นอิสระเนื่องจากแรงดันลุดที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคอยู่ในสภาวะสมดุลกับแรงพยุงของก๊าซ เบดในสภาพเช่นนี้เป็นเบดที่เริ่มฟลูอิดไซ์ เรียกเบดในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไซ์เบด (incipiently fluidized bed) หรือเบดที่มีสภาพฟลูอิดไซ์ขั้นต่ำสุด (minimum fluidization) และความเร็วนี้ถือเป็นความเร็วเริ่มต้นของการเกิดฟลูอิดไซ์ชัน (minimum fluidization velocity)

- เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มมากขึ้น อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนตัวห่างออกจากกันมากขึ้น จะเริ่มเกิดฟองก๊าซ (bubbles) เกิดขึ้นอนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งจะรุนแรงยิ่งขึ้น เบดในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไซ์เบด (bubbling fluidized bed) เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นมากอีกฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้อนุภาคและฟองอากาศไม่สามารถสัมผัสกันได้ อย่างทั่วถึง เรียกว่า slugging bed

- ปรากฏการณ์ turbulent เกิดขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มสูงขึ้นอีก อนุภาคและฟองอากาศจะเกิดการเคลื่อนที่ปั่นป่วนทั่วทั้งเบด จนไม่สามารถสังเกตเห็นผิวหน้าของเบดได้ อนุภาคของแข็งจะหลุดออกจากเบด เมื่อความเร็วของก๊าซมากขึ้นเกินความเร็วคกิสระของอนุภาค เรียกเบดในสภาวะนี้ว่า fast fluidize bed ความหนาแน่นของอนุภาคจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มมากขึ้น สภาวะนี้เรียกว่า pneumatic transport

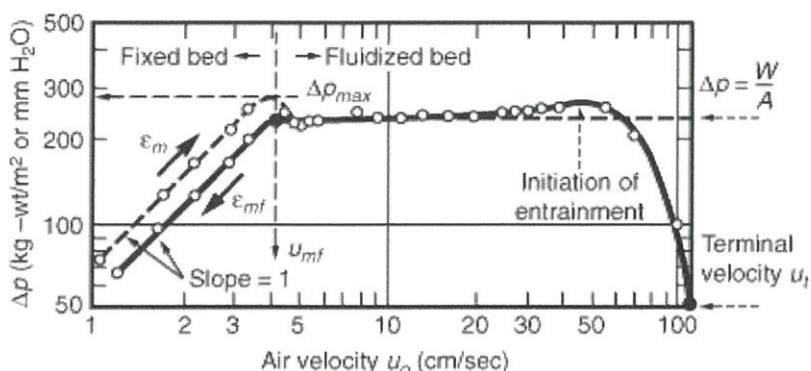


รูปที่ 3.6 ลักษณะฟลูอิดไซ์เบด [13]

3.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลุดและความเร็วการไหล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันลุดกับความเร็วของการไหลจะช่วยบอกถึงคุณภาพของฟลูอิดไซ์เบดได้ โดยพบว่าเมื่อเริ่มเกิดฟลูอิดไซ์เบด ความดันลุดในเบดจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากต้องต้านน้ำหนักวัสดุที่บรรจุอยู่ภายในเบด และยังเกิดการเสียดสีระหว่างชนิดของแข็งที่เป็นวัสดุในเบดพร้อมกับการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการชนกันของเม็ดของแข็ง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลุดและความเร็วการไหล แสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและความเร็วการไหลในเบด [13]

3.5.4 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไคเซชัน

เป็นการเปรียบเทียบการได้เปรียบและการเสียเปรียบระหว่างการใช้เทคนิคฟลูอิดไคเซชันเบดกับเทคนิคอื่น ๆ ดังมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- ข้อได้เปรียบ

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิดไคเซชันเบดจะเสียพลังงานน้อยกว่า เพราะแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งมีประโยชน์สามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือ ปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเติมเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบดนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ในเบด อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

- ข้อเสียเปรียบ

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบดสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์แยกลง
2. การสั่นสะเทือนของหอทดลองหรือเกิดการกักคร่อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากระทบกับผนังหอทดลอง

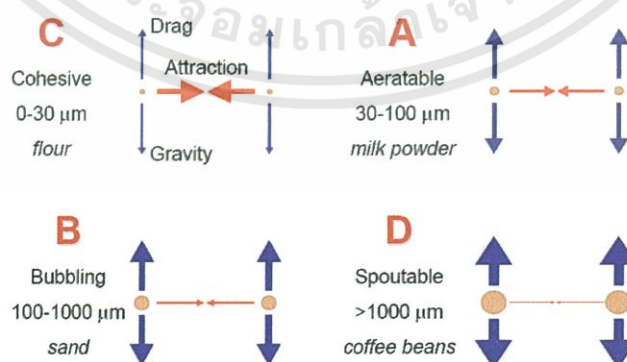
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบดสูง ๆ หรือเบดหลาย ๆ ชั้นซึ่งสิ้นเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบด ทำให้การสัมผัสกันไม่ดี ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
5. ไม่สามารถใช้กับอนุภาคของแข็งที่เปื่อยหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบด
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบดไปพร้อมกับของไหล

3.5.5 ลักษณะของฟลูอิดเบดแบ่งตามสมบัติของอนุภาค

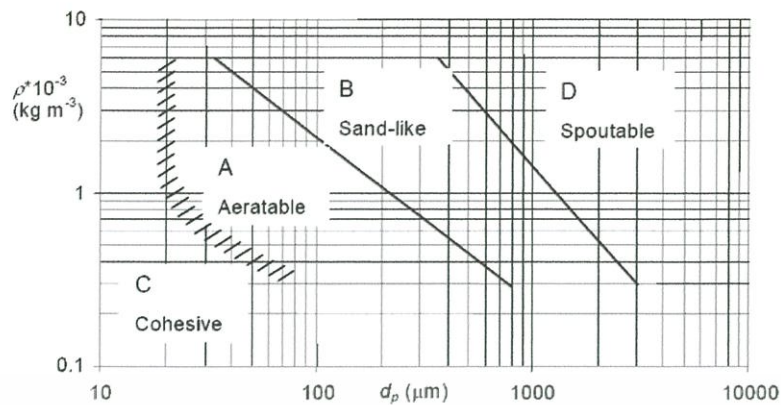
Geldart แบ่งลักษณะของฟลูอิดเบดแบ่งตามสมบัติของอนุภาคออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- 1 กลุ่ม C (cohesive) อนุภาคมีขนาดละเอียดมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงทำให้เกิดฟลูอิด-โคเซชันได้ยาก ตัวอย่างเช่น แป้งจากเมล็ดธัญญาพืช
- 2 กลุ่ม A (aeratable) อนุภาคมีขนาดเล็กหรือมีความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 1.4 g/cm^3) จะเกิดฟลูอิดโคเซชันได้ง่าย โดยเกิด homogeneous fluidization ที่มีความเร็วก๊าซต่ำและ bubbling bed ที่มีความเร็วสูง
- 3 กลุ่ม B (bubbling) ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง $d_p = 0.0016 - 0.019$ นิ้ว และมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.44 g/cm^3 อนุภาคในกลุ่มนี้ฟลูอิดโคเซชันได้ดี โดยมีการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซอย่างรวดเร็ว ฟองก๊าซจะขยายใหญ่ขึ้นตามความสูงของเบด
- 4 กลุ่ม D (spoutable) อนุภาคมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูง ทำให้ไม่เกิดสภาวะฟลูอิดโคเซชัน หรือเกิดได้ยาก การทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างก๊าซและของแข็ง ทำได้โดยผ่านอากาศให้เขาในตรงกลางหอ ในลักษณะเป็นลำอากาศ ลักษณะแบบนี้เรียกว่า “spouted bed”



รูปที่ 3.8 การแบ่งประเภทตามสมบัติอนุภาคของ Geldart [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนภาพการแบ่งประเภทตามสมบัติอนุภาคของ Geldart ชนิดของฟลูอิดไชน์เบดที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอนุภาค [12]

3.5.6 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไชน์

ขณะที่ของไหลไหลผ่านขึ้นมาด้านใกล้ผนัง ความเร็วของไหลจะต่ำมากหรือเกือบไม่มีการไหลเลยเนื่องจากเกิดแรงเสียดทาน เมื่อในหอตกลงที่บรรจุอนุภาคของแข็งมีอิทธิพลของฝาผนังเกิดขึ้น ขอบเขตการไหลชนิดเรียบจะสูงมากขึ้น พื้นที่ในการไหลของของไหลในหอตกลงจะลดน้อยลง หรือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำงานที่แท้จริงของของไหลเล็กกว่าเดิมมาก ประสิทธิภาพการทำงานจะน้อยลงด้วย ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดฟลูอิดไชน์ คือ ความเร็วของของไหล ตัวกระจายของไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอตกลง อนุภาคของแข็ง ความหนาแน่นของของไหล ความหนืด ความสูงของเบด เป็นต้น

3.5.6.1 อนุภาคของแข็ง

การหาขนาดของอนุภาค (d_p) สามารถทำได้ ดังนี้
เมื่อทราบปริมาตรของอนุภาค จะได้

$$d_{sph} = \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3} \quad (3.10)$$

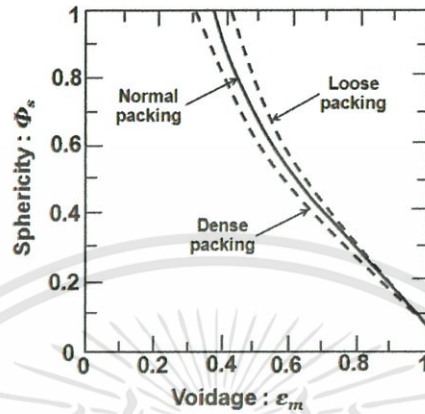
และค่าความกลมของอนุภาค (ϕ_s) ไซบ่งบอกถึงรูปร่างว่าอนุภาคเบี่ยงเบนจากทรงกลมมากน้อยเพียงใด นิยามว่า

$$\phi_s = \frac{\text{พื้นที่ผิวของทรงกลม}}{\text{พื้นที่ผิวของอนุภาค}} \quad \text{เมื่อปริมาตรเท่ากัน} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาขนาดอนุภาค ได้โดย

$$d_p = \phi_s d_{sph} \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด [13]

3.5.6.2. ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไลเซชัน

ขณะที่อนุภาคของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระแสดงว่า อนุภาคของแข็งกำลังอยู่ในสมดุลของแรง ซึ่งได้แก่แรงที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง แรงพยุงของของไหล (buoyance force) และแรงต้านการไหล (drag force) อาจเขียนในสมการสมดุลแรงต่างๆ ได้ดังนี้

$$(\text{แรงพยุงที่กระทำต่ออนุภาค}) = (\text{น้ำหนักของอนุภาคของแข็งในเบด})$$

หรือ

$$(\text{ความดันลดในเบด}) (\text{พื้นที่หน้าตัดของเบด}) = (\text{ปริมาตรของเบด}) (\text{เศษส่วนปริมาตรของของแข็งในเบด}) (\text{น้ำหนักจำเพาะของเบด})$$

เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ได้

$$\Delta P_b A_t = W = (A_t L_{mf}) (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (3.13)$$

A_t = พื้นที่หน้าตัดของเบด

ΔP_b = ความดันลดของเบด

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค

ρ_g = ความหนาแน่นของของไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

g_c = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับระบบหน่วยที่ใช้ เช่น $g_c = 32.2$ ในระบบหน่วย lb, lbm, ft, sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเทอมในสมการ 3.13 ใหม่ จะได้

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (3.14)$$

เนื่องจากค่าสัดส่วนช่องว่างของเบดเมื่อเริ่มเกิดฟลูอิไดซ์เบด (ε_{mf}) โดยปกติจะสูงกว่าค่าสัดส่วนช่องว่างของเบดนิ่งเล็กน้อย ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน (U_{mf}) หาได้จากสมการ

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (3.15)$$

หรือจัดให้อยู่ในรูปกลุ่มไร้มิติ ดังนี้

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \text{Re}_{p,mf}^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \text{Re}_{p,mf} = Ar \quad (3.16)$$

โดยที่

$$\text{Re}_{p,mf} = \text{ตัวเลขเรย์โนลด์} = \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \quad (3.17)$$

$$Ar = \text{ตัวเลขอาคิมิติส} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (3.18)$$

ถ้าอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะทำให้สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันได้แล้ว เพราะฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันเมื่อ $\text{Re}_{p,mf} < 20$ สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_{mf}^3}{150 \mu (1 - \varepsilon_{mf})} \quad (3.19)$$

สำหรับอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ต้องใช้ความเร็วของไหลสูงมาก ๆ จึงทำให้อนุภาคของแข็งลอยเป็นอิสระได้ ดังนั้น ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันเมื่อ $Re_{p,mf} > 1000$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U_{mf} = \sqrt{\frac{\phi_s d_p (\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_g}} \quad (3.20)$$

ถ้ายังไม่ทราบค่าของ ε_{mf} และ ϕ_s เราสามารถประมาณค่า U_{mf} ได้โดยพิจารณาสมการ 3.19 เขียนใหม่ได้เป็น

$$K_2 Re_{p,mf}^2 + K_1 Re_{p,mf} = Ar \quad (3.21)$$

เมื่อ

$$K_2 = \frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \quad \text{และ} \quad K_1 = \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}$$

ดังนั้นสมการที่ได้จะกลายเป็น ดังนี้

อนุภาคของแข็งขนาดเล็ก

$$Re_{p,mf} = [33.7^2 + 0.0408 Ar]^{1/2} - 33.7 \quad (3.22)$$

อนุภาคของแข็งขนาดใหญ่

$$Re_{p,mf} = [28.7^2 + 0.0494 Ar]^{1/2} - 28.7 \quad (3.23)$$

ตารางที่ 3.6 ค่าคงที่ตัวประกอบแก้ไข (K_1 และค่า K_2) ของ Wan และ Yu [13]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเริ่มหลุดลอยหรือความเร็วตกอิสระของอนุภาคของแข็ง เป็นความเร็วของไหลที่ไหลผ่านเบ็ดด้วยความเร็วต่ำสุด ความเร็วเริ่มหลุดลอยแสดง ดังสมการ

$$U_T = \left[\frac{4d_p(\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g C_d} \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

โดยที่ C_d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งหาได้จากการทดลอง และจากการทดลองพบว่าค่า C_d ขึ้นอยู่กับค่า Re_p ดังสมการ

$$C_d = \frac{24}{Re_p} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (3.25)$$

$$C_d = \frac{10}{\sqrt{Re_p}} \quad \text{เมื่อ } 0.4 < Re_p < 500 \quad (3.26)$$

$$C_d = 0.43 \quad \text{เมื่อ } 500 < Re_p < 200000 \text{ หรือ } 1000 < Re_p \quad (3.27)$$

แทนค่าจากสมการ 3.25, 3.26 และ 3.27 ลงในสมการที่ 3.24 แล้วหาค่า U_t จะได้

$$U_t = \frac{g(\rho_s - \rho_g)d_p^2}{18\mu} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (3.28)$$

$$U_t = d_p \left[\frac{4(\rho_s - \rho_g)g^2}{225\rho_g\mu} \right]^{1/3} \quad \text{เมื่อ } 0.4 < Re_p < 500 \quad (3.29)$$

$$U_t = \left[\frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{1/2} \quad \text{เมื่อ } 500 < Re_p < 200000 \text{ หรือ } 1000 < Re_p \quad (3.30)$$

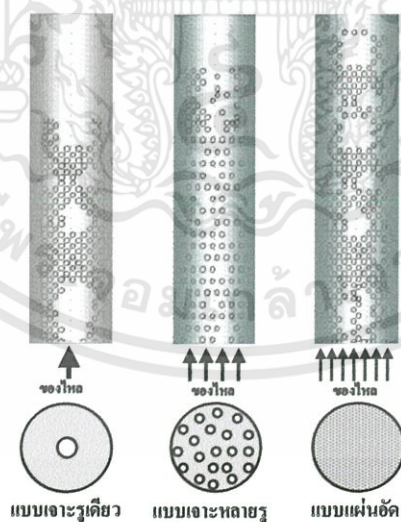
เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้อนุภาคของแข็งหลุดลอยออกจากเบ็ด ความเร็วของของไหลที่ใช้ในระบบฟลูอิดไซเคดจะต้องมีค่าอยู่ระหว่างความเร็ว U_{mf} และความเร็ว U_t ในการคำนวณหาความเร็ว U_{mf} เนื่องจากอนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาด ดังนั้นขนาดของอนุภาคของแข็งที่ใช้จะเป็นขนาดโดยเฉลี่ย ส่วนการคำนวณความเร็ว U_t จะใช้ขนาดของอนุภาคของแข็งที่เล็กที่สุดในเบ็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6.3 แผ่นกระจายของไหล

หน้าที่ของแผ่นกระจายของไหล คือ เป็นอุปกรณ์ป้องกันเพื่อไม่ให้อนุภาคหลุดลงมาด้านล่างและสามารถให้ของไหลไหลผ่านได้ โดยสามารถกระจายของไหลออกได้เต็มพื้นที่ผิวหน้าตัดของตัวเครื่อง โดยที่ความเร็วของของไหลที่เหนือแผ่นกระจายของไหลควรมีค่าเท่ากันทุกจุด และองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสถานะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือ ความดันตกคร่อม โดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหล ถ้าหากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ดี ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 % ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว

ในขณะที่เกิดฟลูอิไดซ์เบดด้วยความเร็วของของไหลต่ำสุด ลักษณะของเบดยังเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเบด จากนั้นถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้น ความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกระจายของไหลที่รองรับเบดว่าเป็นชนิดใด อย่างเช่น ตัวกระจายทำด้วยแผ่นโลหะเจาะรูฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวกระจายของไหลที่เป็นรูพรุน ซึ่งเกิดจากใช้เม็ดโลหะขนาดเล็กมาอัดด้วยความดันอัดสูง ๆ จนติดกับแผ่นกระจายของไหล ตัวกระจายของไหลแบบหลังนี้ของไหลผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ฟองก๊าซจึงเกิดขึ้นได้เป็นจำนวนมาก ตัวกระจายที่เป็นแผ่นเจาะรูของไหลจะผ่านออกไปเหมือนกับเจ็ท (jet) จำนวนการเกิดของฟองก็ขึ้นอยู่กับจำนวนรูเจาะบนตัวกระจาย ดังแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 คุณภาพของฟลูอิไดเซชันเกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน

การออกแบบแผ่นกระจายของไหลนั้นมีสิ่งที่สำคัญ คือ ความดันตกของก๊าซที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ สำหรับกฎของการคำนวณความดันตกบนแผ่นกระจายอากาศนั้น สมการที่สามารถใช้ในการออกแบบได้ดี คือ

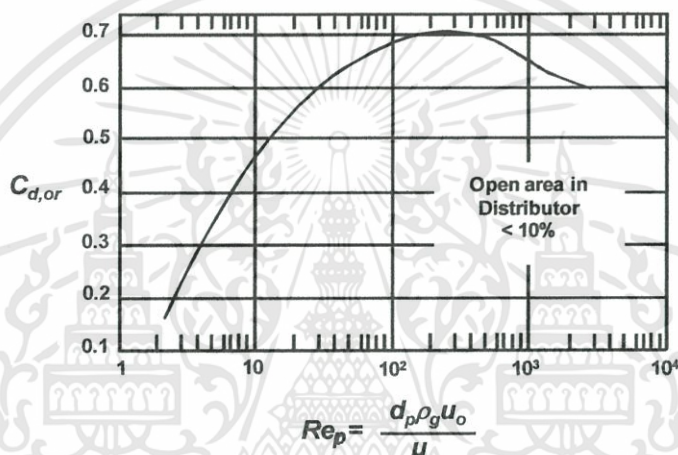
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P_d = (0.2 \text{ ถึง } 0.4) \Delta P_b \quad (3.31)$$

โดยที่ค่า Reynolds number (Re_p) และ เลือค่าสัมประสิทธิ์ของออริฟิส (orifice coefficient, $C_{d,or}$) ที่เหมาะสมจากรูปที่ 3.12

คำนวณหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูออริฟิสจาก สมการที่ 3.32

$$U_{or} = C_{d,or} \left[2g_c \frac{\Delta P_d}{\rho_g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.32)$$



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re_p)

กำหนดจำนวนรูเจาะของตะแกรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของตะแกรงหรือตัวกระจายได้จาก
สมการ

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or} \quad (3.33)$$

3.5.7 กระบวนการเผาไหม้อนุภาคในฟลูอิดซ์เบด

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอนดังนี้

1. drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
2. devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
3. ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่อยออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค

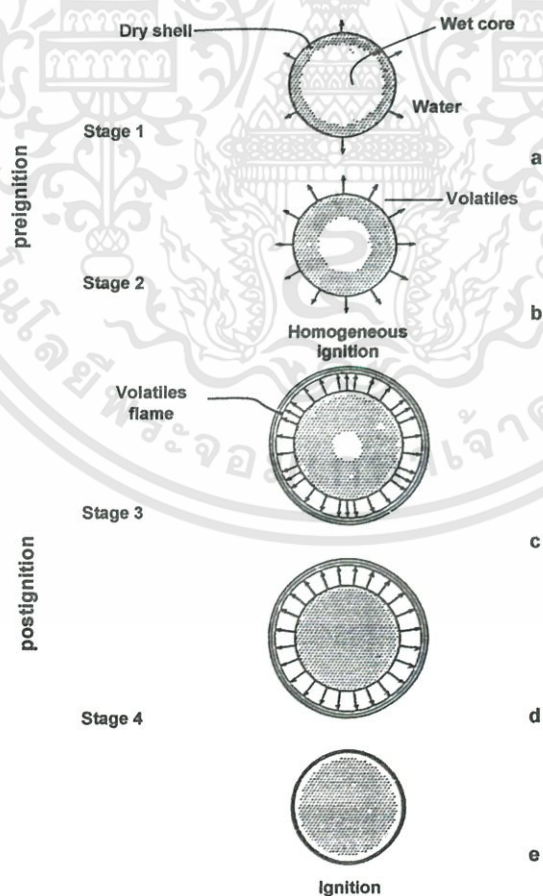
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. combustion of volatile เป็นกระบวนการเผาไหม้สารระเหย ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นล้อมรอบอนุภาค
5. ignition of char particle เป็นขบวนการจุดประกายบนผิวหน้าของอนุภาคที่เหลือ โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค
6. combustion of residual char particle เป็นขบวนการเผาไหม้อนุภาคที่เหลือ หลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

3.5.8 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบด

อุณหภูมิเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยเชื้อเพลิงอื่น (ก๊าซ/น้ำมัน) จนอุณหภูมิสูงเกินไป

Wildgger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาค: a, b, เป็น preignition และ c, d, e เป็น postignition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.8.1 pre - ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะไพโรไลซิส แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำอนุภาคใส่ลงในเบร็อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก และส่วนที่ชื้นอยู่ภายในอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนนานขึ้น ส่วนที่ชื้นจะมีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดส่วนที่แห้งเพิ่มขึ้น

- ขั้นตอนที่ 2 อุณหภูมิในส่วนที่แห้งเริ่มเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการระเหยออกมาของสารระเหย เนื่องจากการแตกของพันธะภายในโครงสร้างของอนุภาค

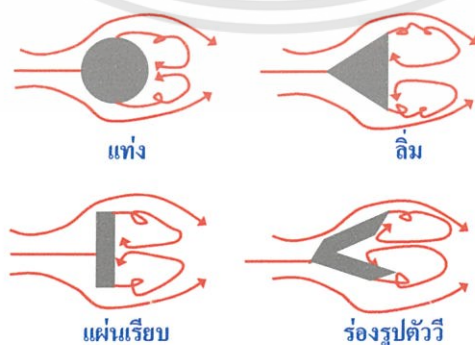
3.5.8.2 post - ignition phase เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับ drying และ devolatilization ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ทำให้เกิดเปลวไฟล้อมรอบอนุภาค ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของอนุภาคมีปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิสูงเพียงพอทำให้เกิดการจุดประกายของสารระเหยออกมา เกิดเป็นเปลวไฟชั้นล้อมรอบอนุภาค ความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด drying และ devolatilization เพิ่มขึ้น ในขั้นตอนนี้ drying จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

- ขั้นตอนที่ 2 อนุภาคเกิด devolatilization ต่อสารระเหยที่ระเหยออกมาจะถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟล้อมรอบอนุภาคและจะดับเหลือแต่อนุภาค เมื่อสารระเหยหมดหรือระเหยออกมาน้อยจนไม่สามารถติดไฟ

3.6 วิธีการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

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



รูปที่ 3.14 วิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

โดยทั่วไปการหาประสิทธิภาพการเผาไหม้สามารถหาได้ด้วยการวัดหรือสามารถหาได้จากการคำนวณก็ได้ ในที่นี้เป็นกรคำนวณโดยสมมุติให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สมบูรณ์มีประสิทธิภาพ 100 % จากนั้นหักลบด้วย ค่าการสูญเสีย

ในงานวิจัยนี้การวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพ ที่เรียกว่า Testo 350XL ซึ่งหลักการคำนวณของเครื่องวัดดังกล่าว จะพิจารณาจากปริมาณก๊าซของออกซิเจน (O_2), อุณหภูมิก๊าซไอเสีย ที่วัดได้จากการเผาไหม้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{com} [\%] = 100 - loss [\%] \quad (3.34)$$

โดยที่ค่าการสูญเสีย (loss) สามารถคำนวณได้จาก สมการข้างล่าง ดังนี้

$$loss [\%] = \frac{1}{10} \left[\frac{A}{20.94 - O_2} + B \right] \cdot (FT - AT) + C \quad (3.35)$$

เมื่อ A B และ C คือ แฟกเตอร์ของเชื้อเพลิง (เปิดได้จากคู่มือการใช้งาน)
 O_2 คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการวัด
 FT คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย
 AT คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

ในการทดลองเรื่องเตาเผาเกลือฟลูอิดไคซ์เบค อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 6 ชุดหลัก ๆ ดังนี้

1. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ
2. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิง
3. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา
4. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวัดอุณหภูมิ
5. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย
6. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบคักจับฝุ่นขี้เถ้า

ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ต่อจากนั้นจะเป็นการอธิบายถึง การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง และ ตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิ รวมไปถึงขั้นตอนการทดลอง และ การบันทึกผลการทดลอง

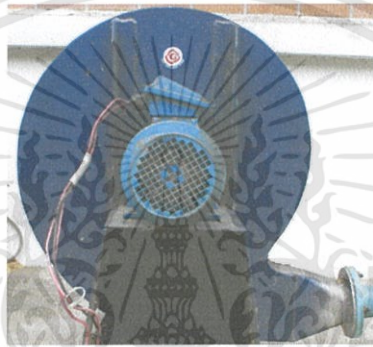


รูปที่ 4.1 เตาเผาเกลือฟลูอิดไคซ์เบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

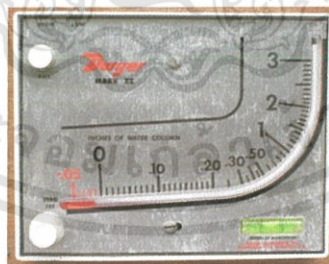
การจัดระบบการทดลองของเตาเผา แสดงดังรูปที่ 4.1 เตาเผาแลกเปลี่ยนฟลูอิดซ์เบดทำจากเหล็กมีการหุ้มฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง มีความสูงของเตาทั้งหมดเท่ากับ 2.4 เมตร เตาเผาประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สองส่วน: ส่วนล่างของเตา (ห้องเผาไหม้) และส่วนบนของเตา (ฟริบอร์ค) ลักษณะรูปทรงของห้องเผาไหม้เป็นรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.1×0.3 เมตร และสูง 1.1 เมตร ในขณะที่หน้าตัดของฟริบอร์คเท่ากับ 0.2×0.6 เมตร และสูง 0.85 เมตร ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูง เท่ากับ 0.3 เมตร และ 0.15 เมตร ตามลำดับ

4.1.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนอากาศ



รูปที่ 4.2 พัดลม (Blower)

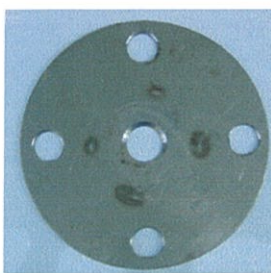
4.1.1.1 พัดลม (Blower) เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายอากาศให้กับระบบที่ทำการทดลอง ซึ่งอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ อากาศแสดงปฐมภูมิ และ อากาศทุติยภูมิ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 มานอมิเตอร์ (Manometer)

4.1.1.2 มานอมิเตอร์ (Manometer) เป็นอุปกรณ์วัดความดันอากาศที่จ่ายเข้าไปในเตาเผา ซึ่งในการทดลองใช้ แบบ incline manometer ทั้งหมดสองตัว ตัวที่หนึ่งใช้ในการวัดค่าความดันอากาศที่ช่วยในการพองแกลบ ตัวที่สองใช้ในการวัดค่าความความความดันอากาศที่ช่วยในการพองแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งสามารถทำงานได้ที่ความดันภายในสูงสุดที่ 70 kpa และอุณหภูมิสูงสุดที่ 60°C ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



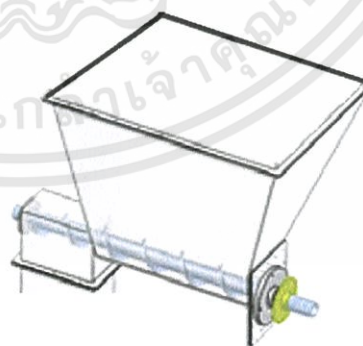
รูปที่ 4.4 แผ่นออริฟิส (Orifice plate)

4.1.1.3 แผ่นออริฟิส (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ออริฟิสชุดแรก ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และออริฟิสชุดที่สอง ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม TESTO 445

4.1.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการป้อนเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.6 Hopper และ Screw feed

4.1.2.1 Hopper คือ อุปกรณ์ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแกลบจะถูกบรรจุไว้ภายใน จากนั้นแกลบจะถูกลำเลียงโดย screw feed ที่ติดตั้งอยู่ส่วนล่างของ hopper ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

4.1.2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อปรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ inverter ที่ใช้ในการทดลอง เป็นรุ่น FVR E11 ของ Fuji ที่มีแรงขับที่ 0.4 kw, 3/380 V/50 Hz, 1.5 A ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.8 มอเตอร์ (Motor)

4.1.2.3 มอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับ screw feed ดังรูปที่ 4.8 มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นมอเตอร์ของ Mitsubishi รุ่น SF-JR กำลังขับ 1/2 hp (0.4kw) 3/380V/50Hz 1.15A 1410 rpm

4.1.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการอุ่นเตา

ชุดอุ่นเตาเผาจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสองอุปกรณ์ คือ หัวเผาและถังเชื้อเพลิงก๊าซ LPG กล่าวคือ ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนเพียงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ได้ด้วยตัวเองได้ อุปกรณ์ดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10

4.1.3.1 หัวเผา (burner)



รูปที่ 4.9 หัวเผาที่ใช้สำหรับอุ่นเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.1 ก๊าซ LPG



รูปที่ 4.10 ถังก๊าซ LPG

4.1.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.11 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

4.1.4.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิที่เกิดจากการทดลอง การทดลองนี้ใช้ thermocouple type K ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.12 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นของ SUPCON รุ่น R3000 ที่สามารถที่จะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมกันได้ถึง 12 ค่าจากเทอร์โมคัปเปิล ดังรูปที่ 4.12

4.1.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย



รูปที่ 4.13 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350XL

4.1.5.1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350XL เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ $^{\circ}\text{C}$, O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , H_2S , HC , CO_2 (NDIR) เป็นต้น มีช่วงของการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ ดังนี้คือ

- ก๊าซ O_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 25 %Vol
- ก๊าซ CO_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 ถึง $\text{CO}_2\text{max Vol}\% \text{CO}_2$
- ก๊าซ CO สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 - 10,000 ppm
- ก๊าซ NO สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 3,000 ppm
- ก๊าซ NO_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 500 ppm
- ก๊าซ SO_2 สามารถวัดค่าความเข้มข้นช่วง 0 – 5,000 ppm

4.1.6 ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบดักจับฝุ่นซีเถ้า

4.1.6.1 ไซโคลน (Cyclone) ทำมาจากเหล็กคาร์บอน เป็นอุปกรณ์ใช้ในแยกฝุ่นละออง ซีเถ้า ออกจากก๊าซไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้ จากรูปจะเห็นว่า ซีเถ้าและก๊าซไอเสียที่เข้ามายังไซโคลน จากนั้นจะถูกแยกออกจากกันโดยที่ก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของไซโคลน ส่วนซีเถ้า ฝุ่นละอองที่หนักกว่าจะถูกปล่อยออกทางด้านล่างของไซโคลน โดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนควง (vortex) ไซโคลนประกอบด้วย ส่วนรูปทรง กระบอกและมีปลายเป็นรูปโคน ดังรูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ไซโคลน (Cyclone)

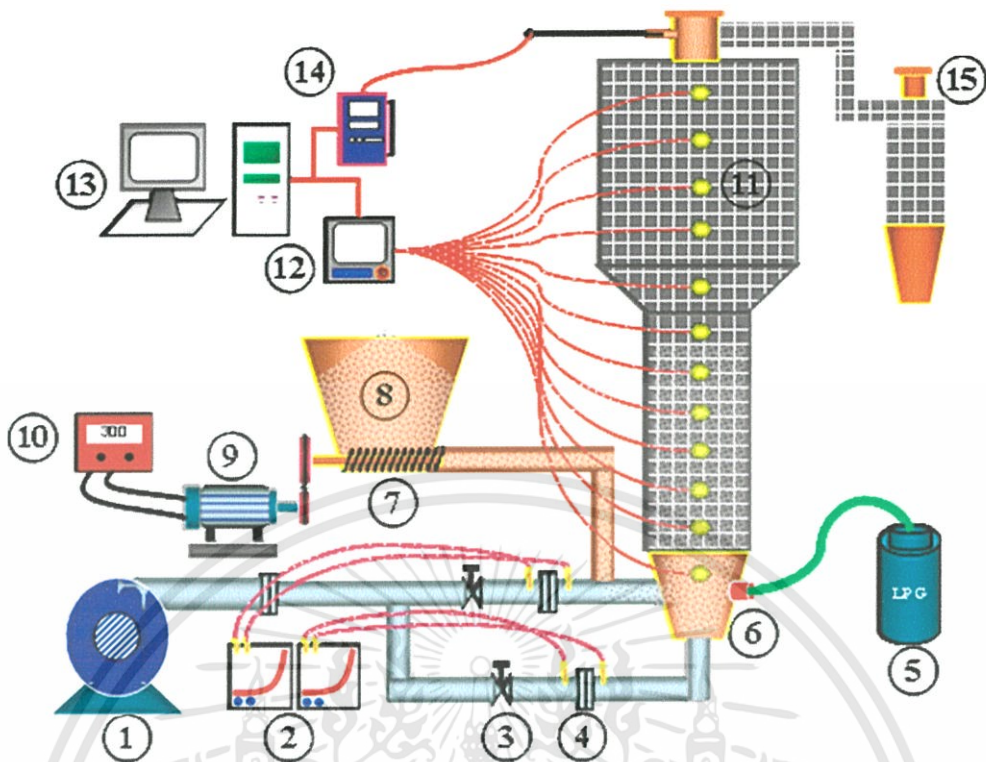


รูปที่ 4.15 การทำงานของไซโคลน

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองและตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิ

การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองและตำแหน่งการวัดการวัดอุณหภูมิ แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 และ 4.18 เริ่มต้นจากการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล type K ทั้งหมด 12 ตัว เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วจึงทำการประกอบชุดอุณหภูมิต่อ คือ หัวเผา (burner) เข้ากับเตาเผา จากนั้นจะทำการติดตั้งชุดป้อนอากาศ โดยอากาศจะป้อนเข้าสู่ระบบได้โดยการทำงานของพัดลม (blower) อากาศจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน อากาศส่วนแรก คือ อากาศปฐมภูมิและอากาศส่วนที่สองคืออากาศทุติยภูมิ อากาศที่เกิดจากพัดลมจะเคลื่อนที่ผ่านวาล์ว (valve) และ ออร์ฟิส (orifice) ที่ จะทำหน้าที่ควบคุมการอัตราการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) พัดลม, (2) มานอมิเตอร์, (3) วาล์ว, (4) ออร์ฟิส, (5) ถังเชื้อเพลิง LPG, (6) หัวเผา, (7) Screw feed, (8) Hopper, (9) มอเตอร์, (10) Inverter, (11) เทอร์โมคัปเปิล, (12) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ, (13) คอมพิวเตอร์, (14) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย, (15) ไซโคลน

รูปที่ 4.16 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเตาเผาแกลบฟลูอิดไคเซเบด

จากนั้นอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านมานอมิเตอร์ ซึ่งถูกใช้เพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ปรับอัตราการไหลของอากาศ ก่อนที่อากาศทั้ง 2 ส่วน จะถูกป้อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง และเผาไหม้ภายในเตา โดยอากาศทุติยภูมิจะถูกป้อน เพื่อลำเลียงแกลบเข้าไปยังส่วนล่างของห้องผสม ส่วนอากาศปฐมภูมิจะถูกป้อนเข้าไป เพื่อช่วยในการพองตัวของแกลบ ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแกลบจะถูกควบคุมด้วยความเร็วรอบของ inverter ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ตามความต้องการ ซึ่งต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านไปยัง screw feed เพื่อลำเลียงเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ระบบ ส่วนของขี้เถ้า ฝุ่นละออง และก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ จะถูกระบายออกมาโดยผ่านทาง cyclone

ขั้นตอนการติดตั้งครีบที่ใช้ในการทดลอง จะติดตั้งในลักษณะดังต่อไปนี้ โดยมีระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 0.05 เมตร ดังรูปที่ 4.17

1. ติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววี จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
2. ติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
3. ติดตั้งครีบสามเหลี่ยมรูปตัววีคว่ำคู่จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ

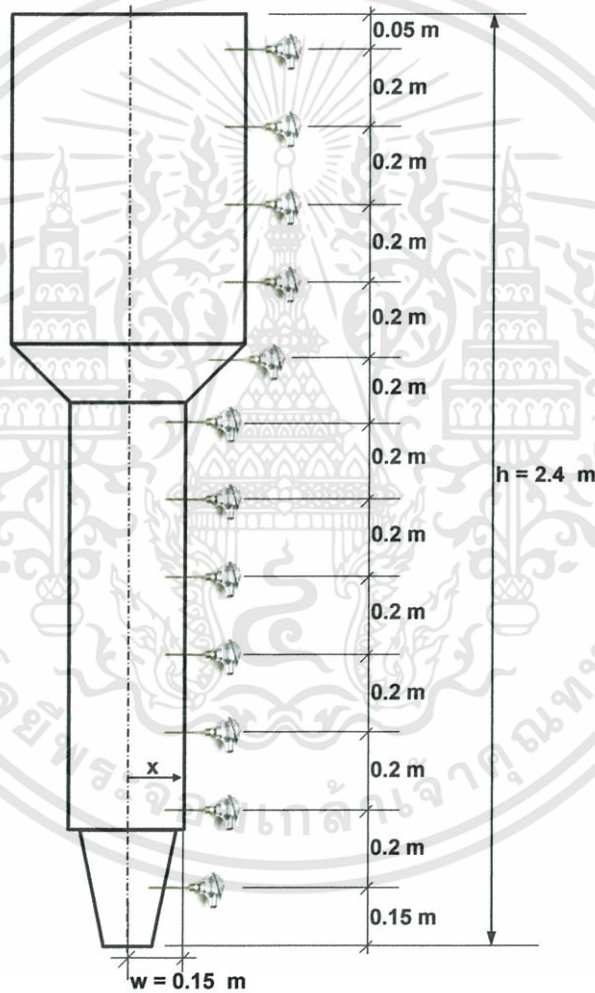


ครีบริบรูปตัววี

ครีบริบรูปตัววีคว่ำ

ครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่

รูปที่ 4.17 ลักษณะการติดตั้งครีบริบที่ใช้ในทดลอง



$x = 0$ คือ ระยะการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้

$x = w/2$ คือ ระยะการวัดอุณหภูมิ ณ กึ่งกลางระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้กับผนังเตาเผา

$x = w$ คือ ระยะระยะการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผนังเตาเผา

รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะทำการทดลอง ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดพัดลมเป่าให้อากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิเข้าสู่เตาที่อัตราการไหลต่ำ ๆ และใช้หัวเผาอุ่นเตาให้ร้อนด้วยก๊าซ LPG จนห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 650 - 700°C จากนั้นเริ่มป้อนแกลบจาก hopper อย่างช้า ๆ จนอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้นประมาณ 800 - 850°C
2. เพิ่มปริมาณอากาศและอัตราการป้อนแกลบขึ้นอย่างช้า ๆ และค่อย ๆ ลดปริมาณก๊าซ LPG ลง จนห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 900°C ศึกษาระดับของอัตราการไหลของอากาศและแกลบไว้ จนมั่นใจว่าแกลบสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเอง จากนั้นจึงหยุดการอุ่นเตาโดยการนำหัวเผาออก
3. ป้อนเชื้อเพลิงแกลบให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 8.6 kg/hr
4. ปรับความเร็วอากาศทุติยภูมิและปรับความเร็วอากาศปฐมภูมิ เพื่อให้ได้ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 40 %
5. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งตามความสูงของเตาและตามแนวขวางของเตาดังรูปที่ ซึ่งจะทำการวัดค่าอุณหภูมิตามแนวความสูงเตาทั้งหมด 12 ตำแหน่งและตามแนวขวางของเตาทั้งหมด 3 ตำแหน่ง
6. ทำการวัดก๊าซไอเสียที่ทางออก และ เก็บขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้
7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 - 6. โดยทำการปรับความเร็วทุติยภูมิและความเร็วอากาศปฐมภูมิ เพื่อให้ได้ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 50 %, 60 % และ 70 % ตามลำดับ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 บทนำ

จากการทดลองเพื่อที่จะทำการศึกษาดังพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบค โดยการพิจารณาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา และปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ รวมไปถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยเหล่านั้นล้วนแล้วแต่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรม การเผาไหม้ทั้งสิ้น ซึ่งประกอบด้วย เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ลักษณะของห้องเผาไหม้ และ ปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวนั้น จะถูกนำมาพิจารณา โดยมีการปรับเปลี่ยน ดังต่อไปนี้

ปัจจัยจากเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน จะทำการปรับเปลี่ยนค่า ทั้งหมด 4 ค่า คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ อากาศส่วนเกินเท่ากับ 40 % , 50 % , 60 % และ 70 % ตามลำดับ

ปัจจัยจากลักษณะของห้องเผาไหม้

1. ห้องเผาไหม้ที่ไม่ติดครีบ
2. ห้องเผาไหม้ที่ติดครีบ
 - ครีบริปตัววี จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
 - ครีบริปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ
 - ครีบริปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ จะถูกพิจารณา ออกเป็น 5 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน
2. ผลของจำนวนครีบ
3. ผลของลักษณะครีบ
4. ปริมาณก๊าซไอเสีย
5. ประสิทธิภาพการเผาไหม้

กราฟแสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิ จะถูกแสดงเป็นสองลักษณะ ดังนี้

1. ระดับอุณหภูมิค่าจริงที่วัดได้จากการทดลอง
2. ระดับอุณหภูมิค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วง คือ ค่าเฉลี่ยในส่วนของห้องเผาไหม้ และค่าเฉลี่ยใน ส่วนของฟริบอร์ต

- 2.1 ระดับอุณหภูมิส่วนของห้องผสม
- 2.2 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนของห้องเผาไหม้
- 2.3 ระดับอุณหภูมิส่วนของขยาย
- 2.2 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยส่วนของฟริบอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน

5.2.1 เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ

จากรูปที่ 5.1 พบว่า เมื่อได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 40 %, 50 %, 60 % และ 70 % ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความเร็วเป็น 0.51 m/s, 0.56 m/s, 0.59 m/s, 0.62 m/s ตามลำดับ ระดับของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะสูง จากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเข้าสู่ส่วนขยายพรีบอร์ค และระดับอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในส่วนของพรีบอร์ค เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ ระดับของอุณหภูมิในส่วนห้องเผาไหม้จะมีระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากอิทธิพลของความเร็วอากาศภายในเตาเผาที่มีค่าต่ำ แต่ในส่วนของพรีบอร์คจะให้ผลของระดับอุณหภูมิที่ตรงข้ามกัน คือ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงจะให้ระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากอิทธิพลของความเร็วอากาศภายในเตาเผาที่มีค่าสูงนั่นเอง โดยที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 % จะให้ระดับอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % แต่ในส่วนพรีบอร์คเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 % จะให้ระดับของอุณหภูมิจะสูงกว่าที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 % และ 60 % ระดับของอุณหภูมิจะมีค่าอยู่ระหว่างเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และ 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 861°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 590°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 636°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 649°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 584°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 565°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 451°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 503°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 562°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 535°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

5.2.2 เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบ

จากรูปที่ 5.2 – 5.10 พบว่าพฤติกรรมกระจายตัวของอุณหภูมิเหมือนกันกับเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ

5.2.2.1 กรณีติดครีบริบรูปตัววี จำนวน 2 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ครีบริบรูปตัววี จำนวน 2 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 954°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 627°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 714°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 719°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 724°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 526°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 576°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 587°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 614°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.2 กรณีติดครีบริบรูปตัววี จำนวน 3 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววี จำนวน 3 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 979°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 667°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 743°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 744°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 743°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 747°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 553°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 598°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 627°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 657°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.3 กรณีติดครีบริบรูปตัววี จำนวน 4 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววี จำนวน 4 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 942°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 649°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 710°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 721°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 737°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 537°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 566°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 581°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 639°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.4 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 2 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 2 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 991°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 612°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 726°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 707°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 720°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 722°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 508°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 548°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 584°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 598°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.5 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 3 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 3 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 951°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 593°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 692°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 690°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 696°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 709°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 442°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 486°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 558°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 591°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.6 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 4 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่า จำนวน 4 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 964°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 639°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 713°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 717°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 705°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 713°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 529°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 528°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 592°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 632°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.7 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 2 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 2 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 983°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 612°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 736°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 734°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 723°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 746°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 517°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 531°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 555°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 603°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.8 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 985°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 613°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 734°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 728°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 758°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 778°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 506°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 516°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 564°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 611°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.2.9 กรณีติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 4 คู่

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 4 คู่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 976°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 650°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 724°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 714°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 713°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 759°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 535°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, 513°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, 522°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, และ 648°C ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

5.2.3 การวิเคราะห์ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน

พบว่า การกระจายของระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ได้จะมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกันกับในกรณีที่ไม่ติดครีบ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำระดับอุณหภูมิในส่วนของห้องเผาไหม้จะสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในทางตรงกันข้าม ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูงระดับอุณหภูมิในส่วนของฟรีบอร์ดจะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ

อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาและอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ทางออกในกรณีที่มีการติดครีบจะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่ติดครีบ เนื่องจากผลของการติดครีบนั้นสามารถทำให้เกิดการหมุนควง (vortex) ภายในห้องเผาไหม้ นั้นเป็นการเพิ่มเวลาให้เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น และทำให้เกิดการกระจายตัวของเชื้อเพลิงที่ดีกว่ากรณีไม่ติดครีบ จากผลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะมีส่วนทำให้เชื้อเพลิงจึงเกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ระดับอุณหภูมิที่วัดได้จึงมีค่าสูง

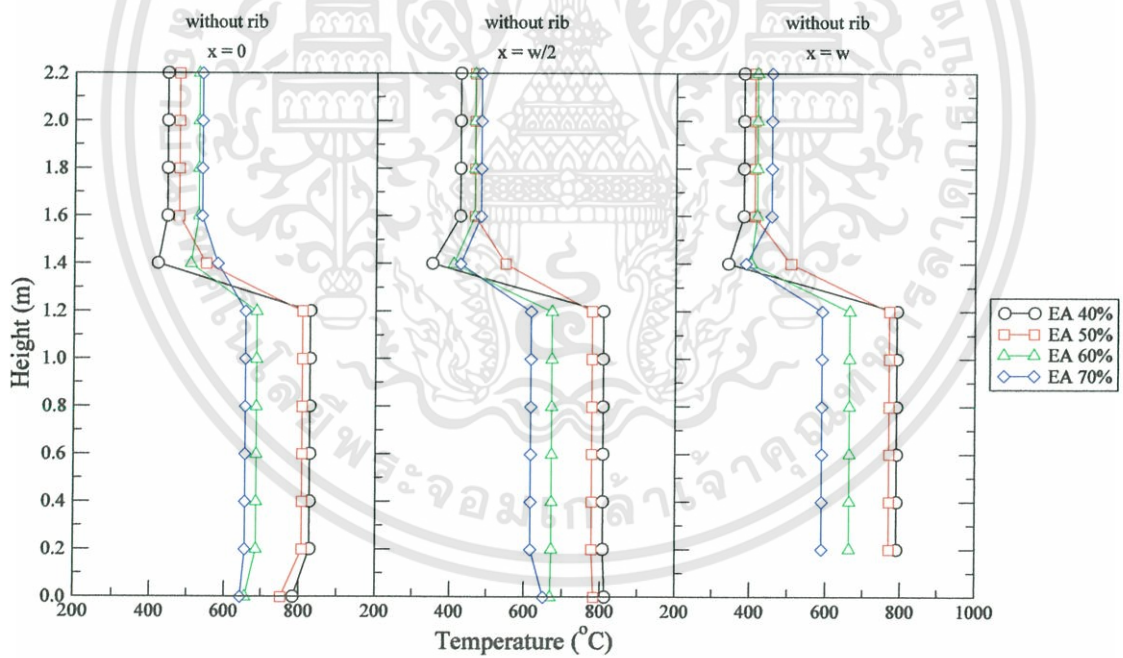
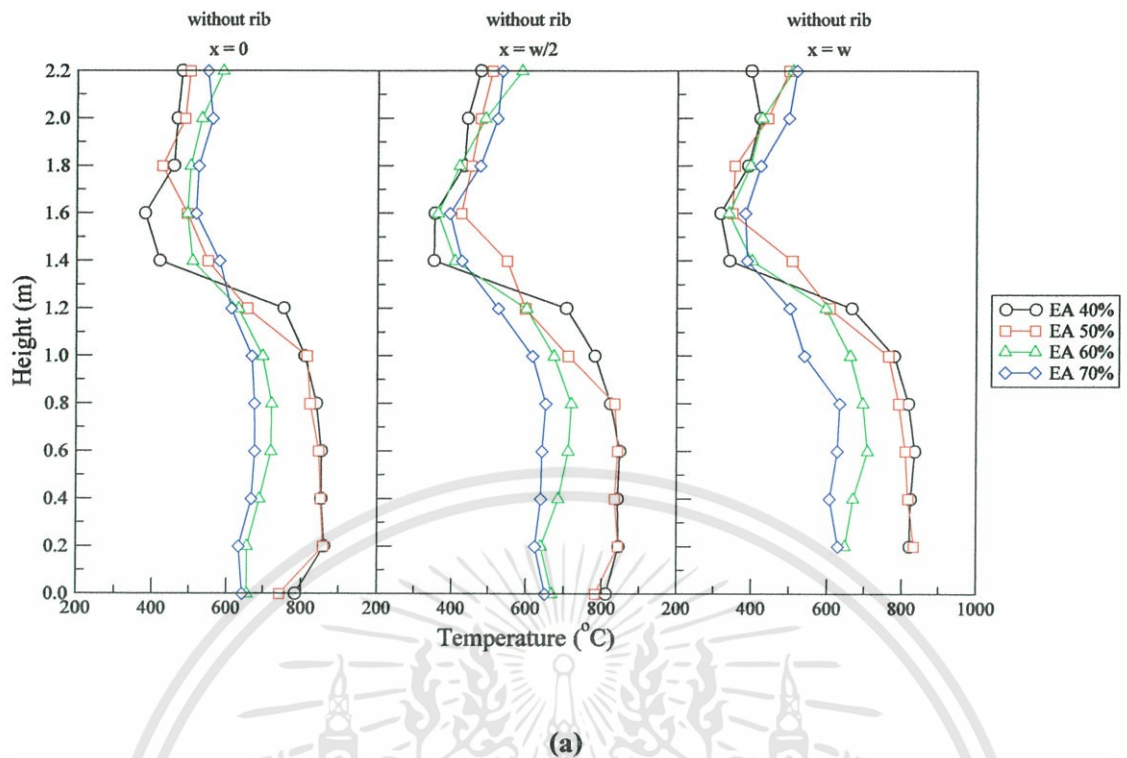
ระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยภายในเตาเผา แสดงดังตารางที่ 5.1 และระดับอุณหภูมิไอเสียสูงสุดที่ทางออก แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)	เตาเผาที่ไม่ติดครีบ (°C)	เตาเผาที่ติดครีบ (°C)
40	636	743
50	649	744
60	584	758
70	565	778

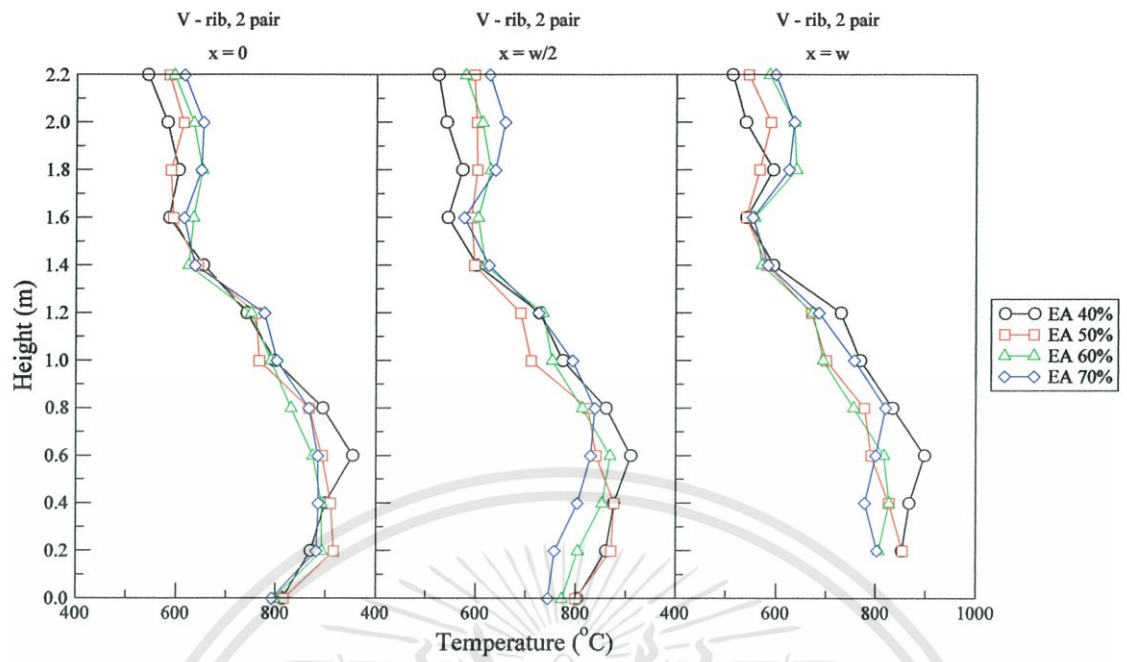
ตารางที่ 5.2 ระดับอุณหภูมิไอเสียสูงสุดที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)	เตาเผาที่ไม่ติดครีบ (°C)	เตาเผาที่ติดครีบ (°C)
40	479	567
50	510	630
60	590	650
70	549	667

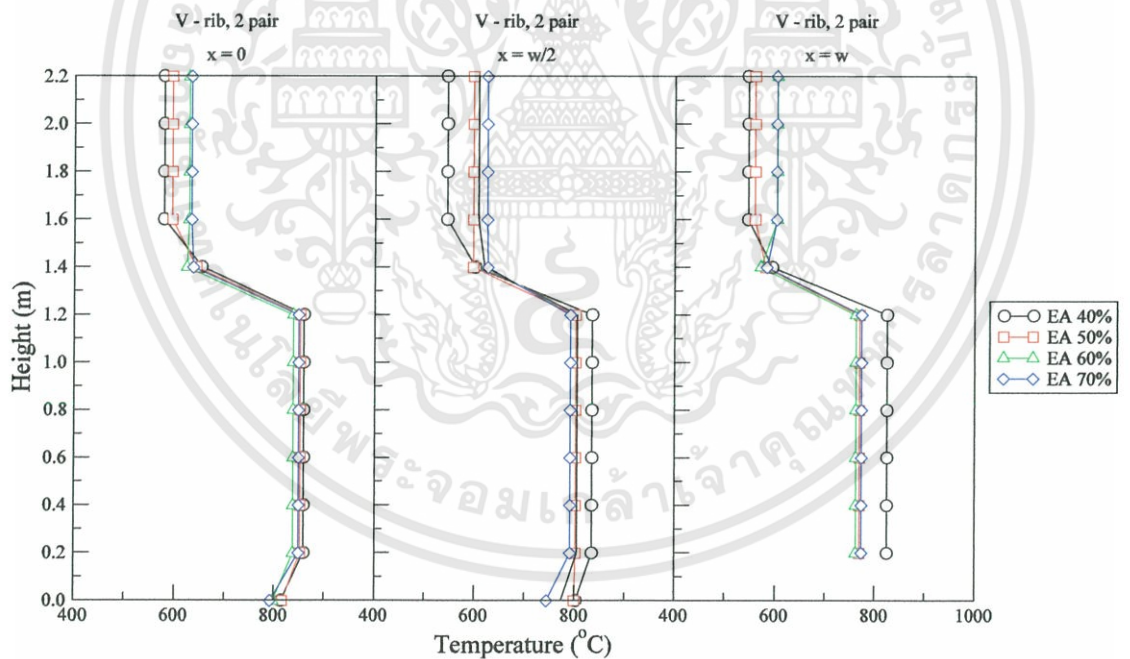


รูปที่ 5.1 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ได้ทำการติดตั้งครีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



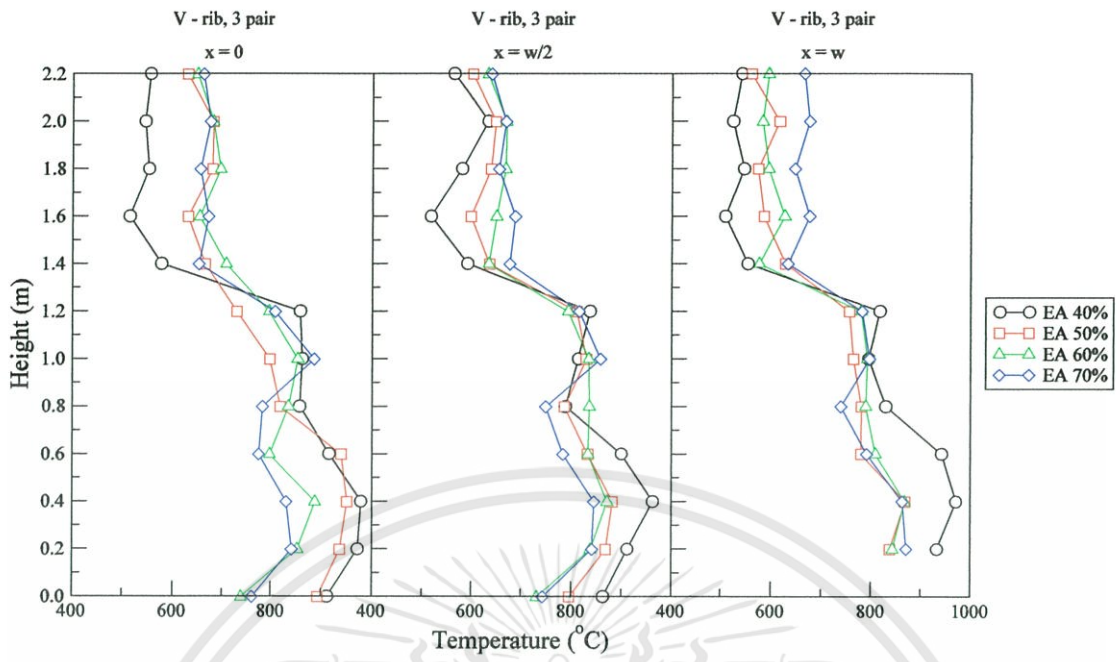
(a)



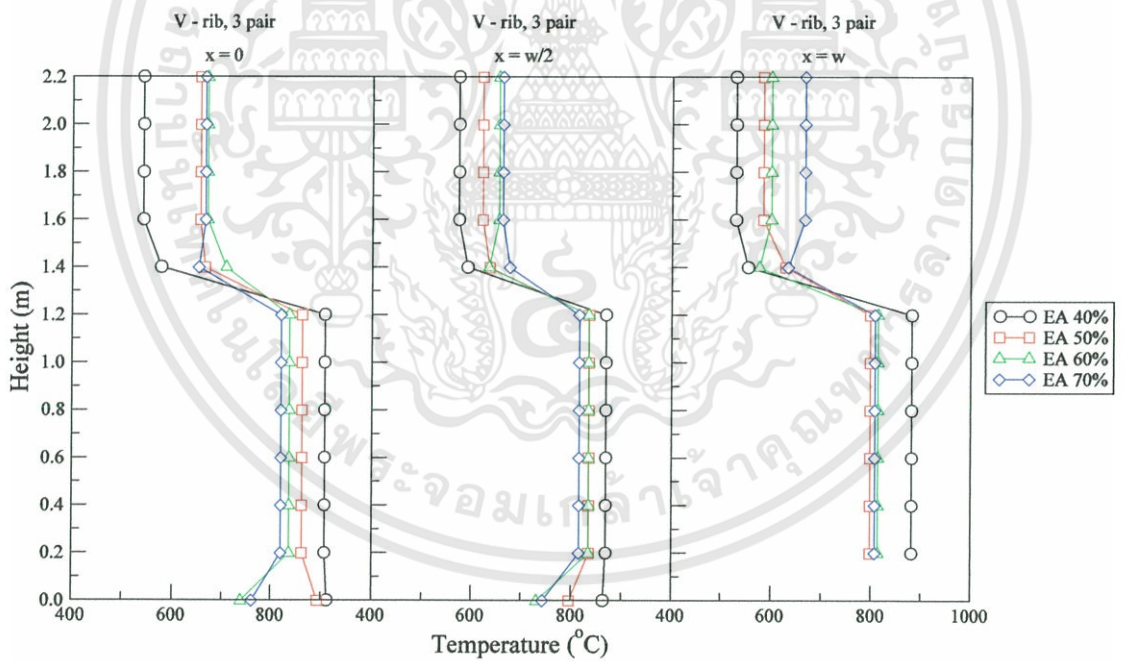
(b)

รูปที่ 5.2 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้ง ครีบริบรูปตัววี จำนวน 2 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



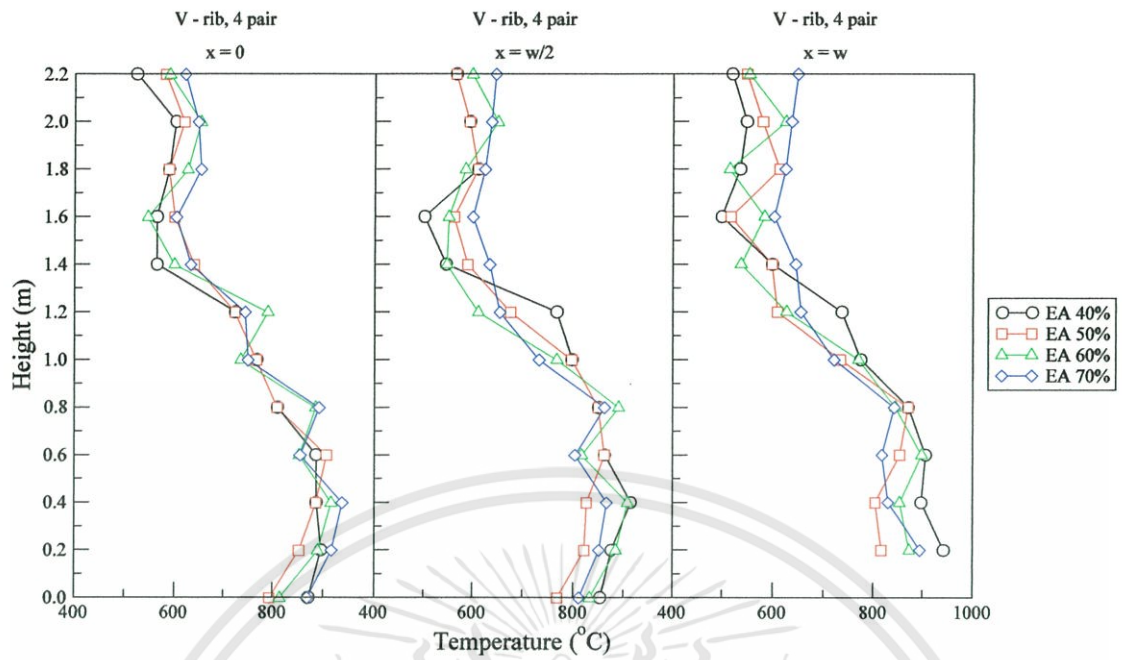
(a)



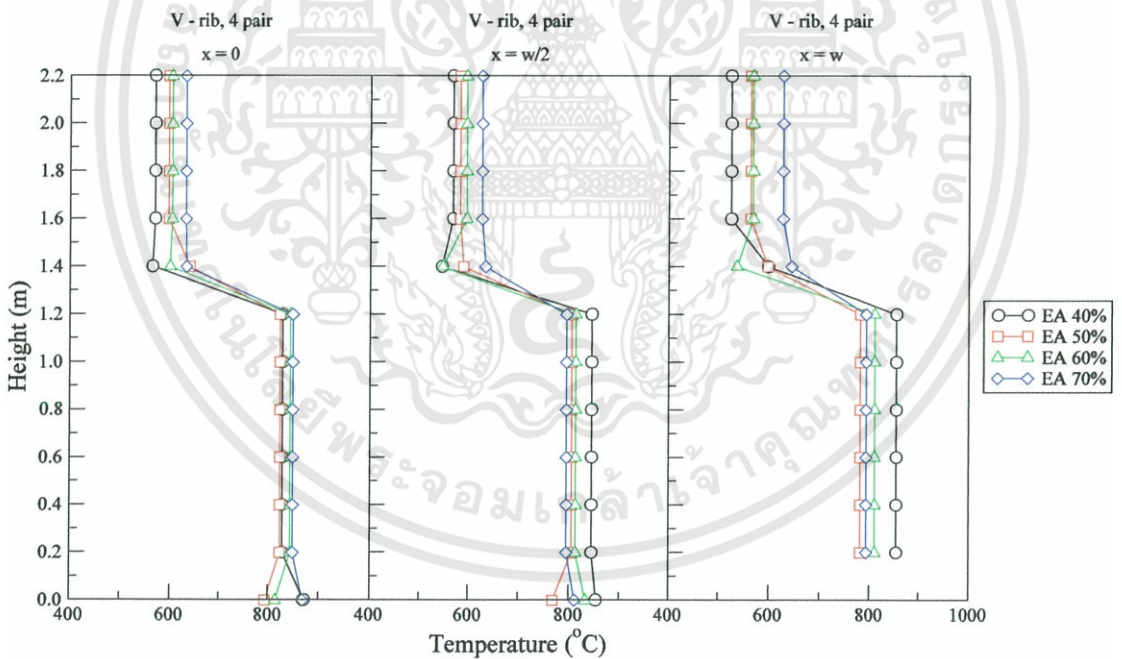
(b)

รูปที่ 5.3 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้ง ครีบริบตัววี จำนวน 3 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



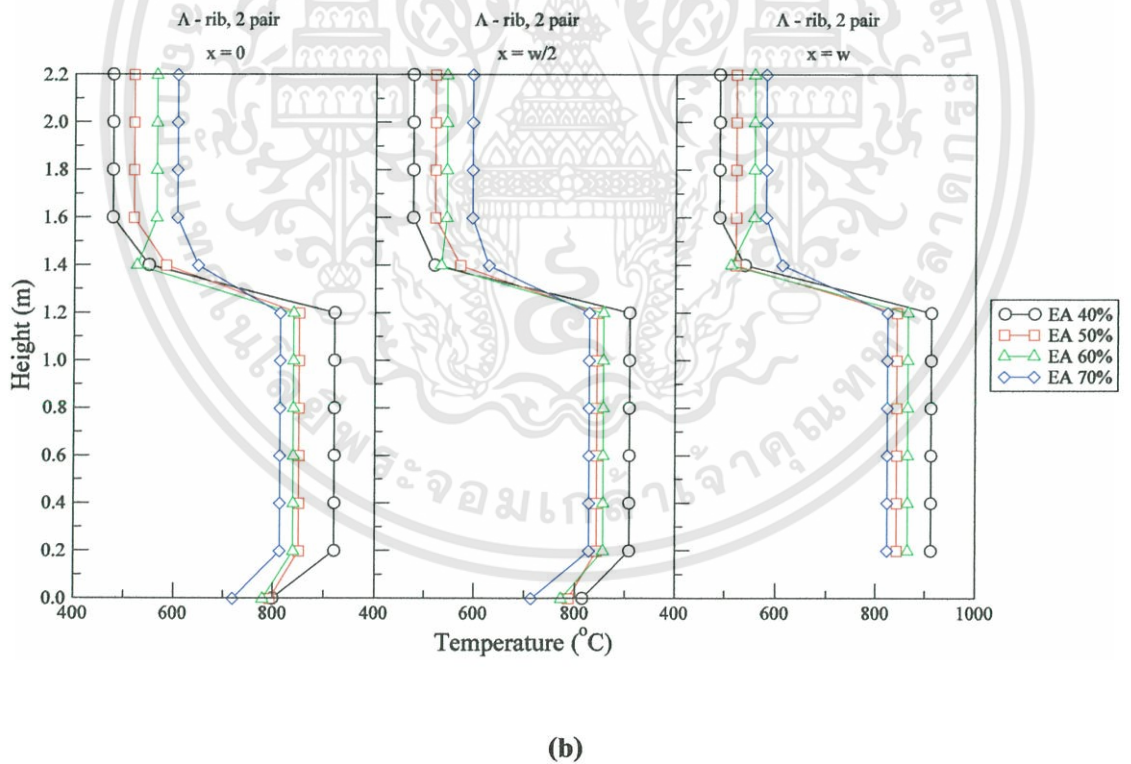
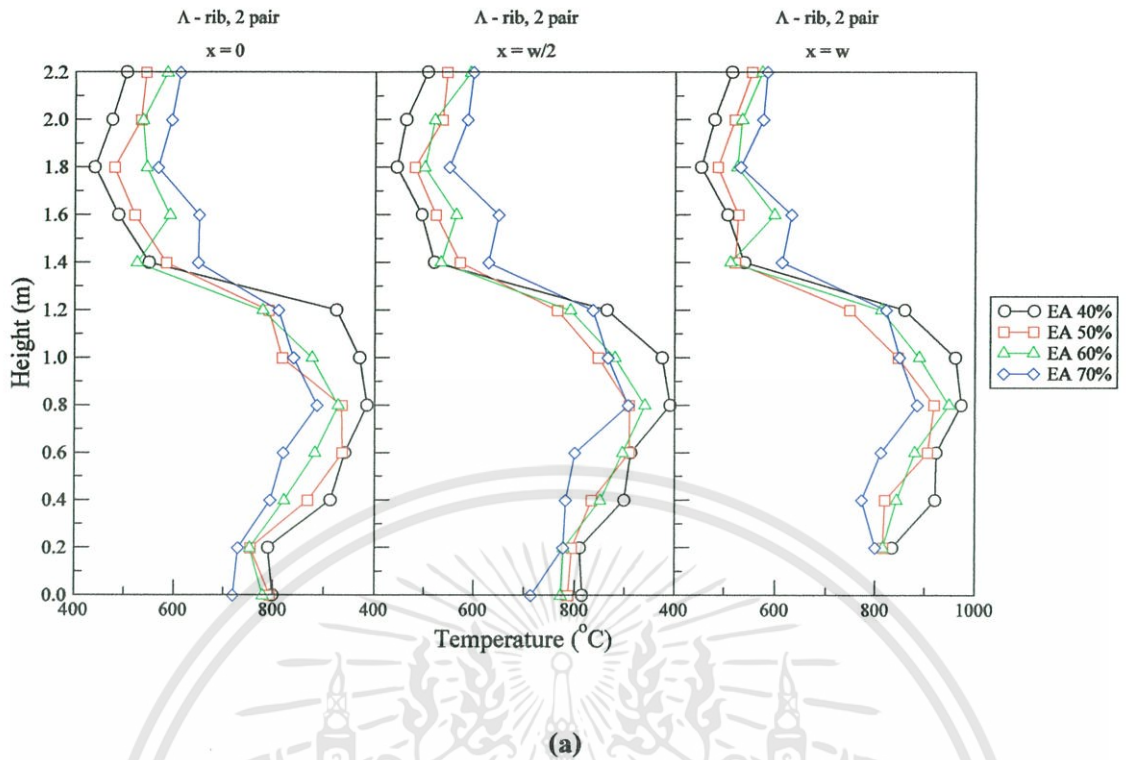
(a)



(b)

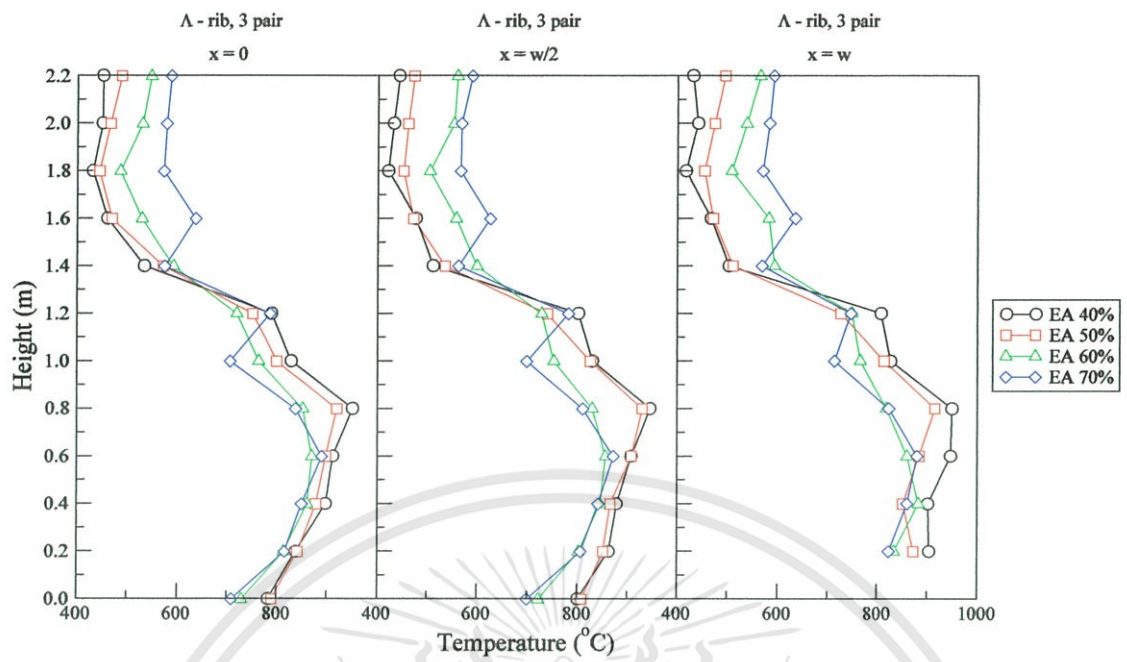
รูปที่ 5.4 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววี จำนวน 4 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

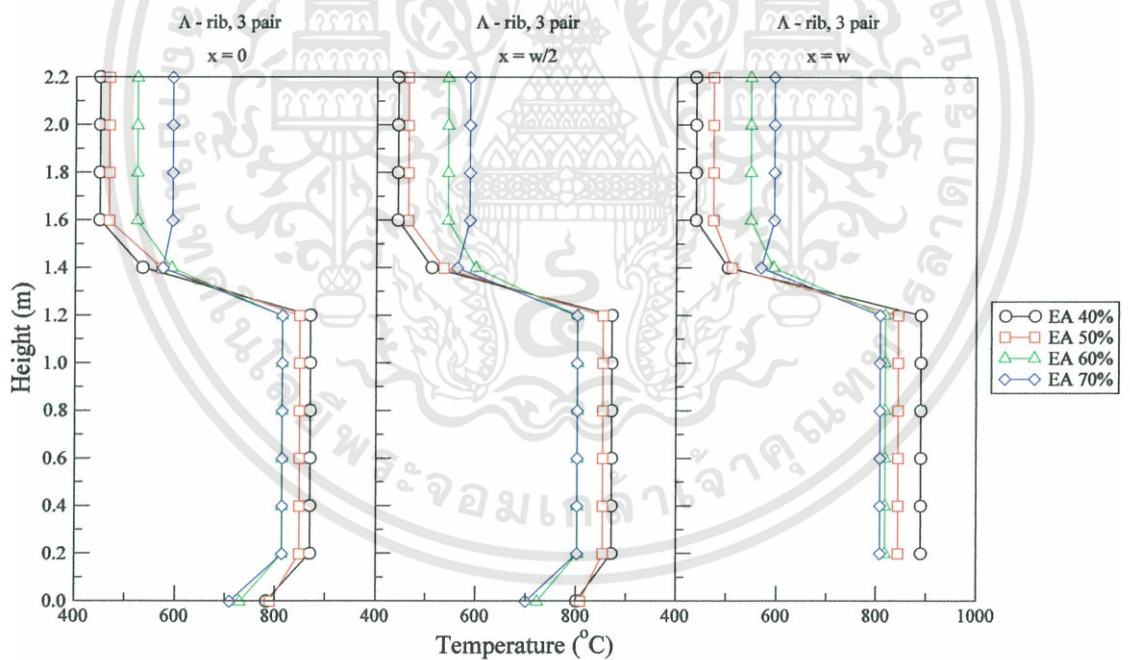


รูปที่ 5.5 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคัว จำนวน 2 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิต่างสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



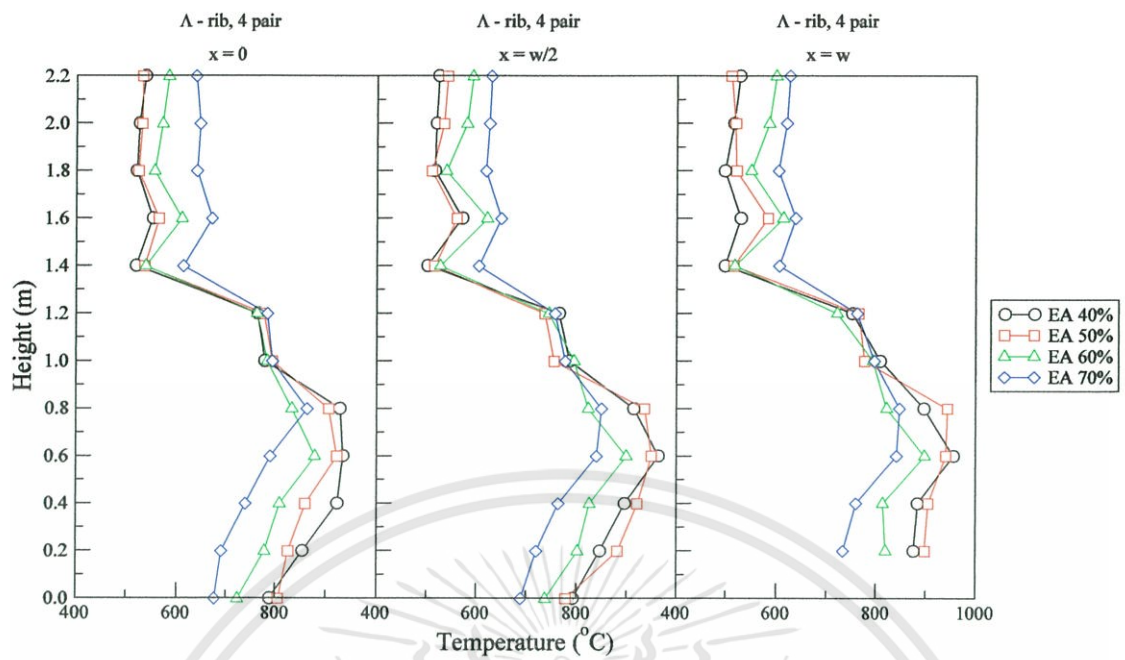
(a)



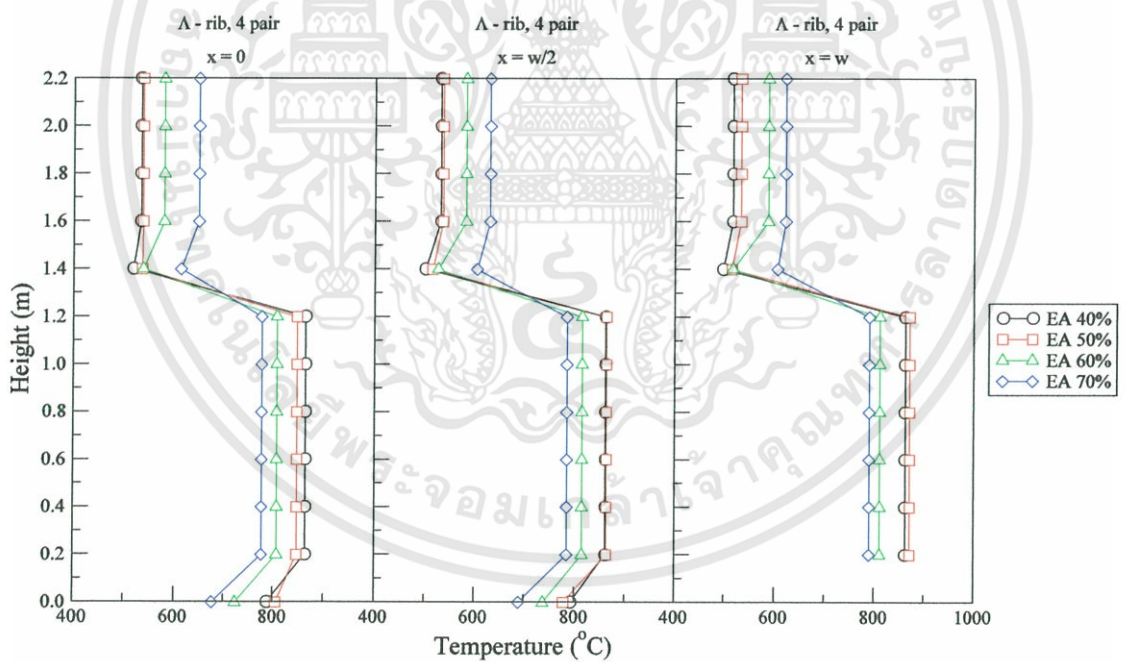
(b)

รูปที่ 5.6 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้ง ครีบริบตัววัดจำนวน 3 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



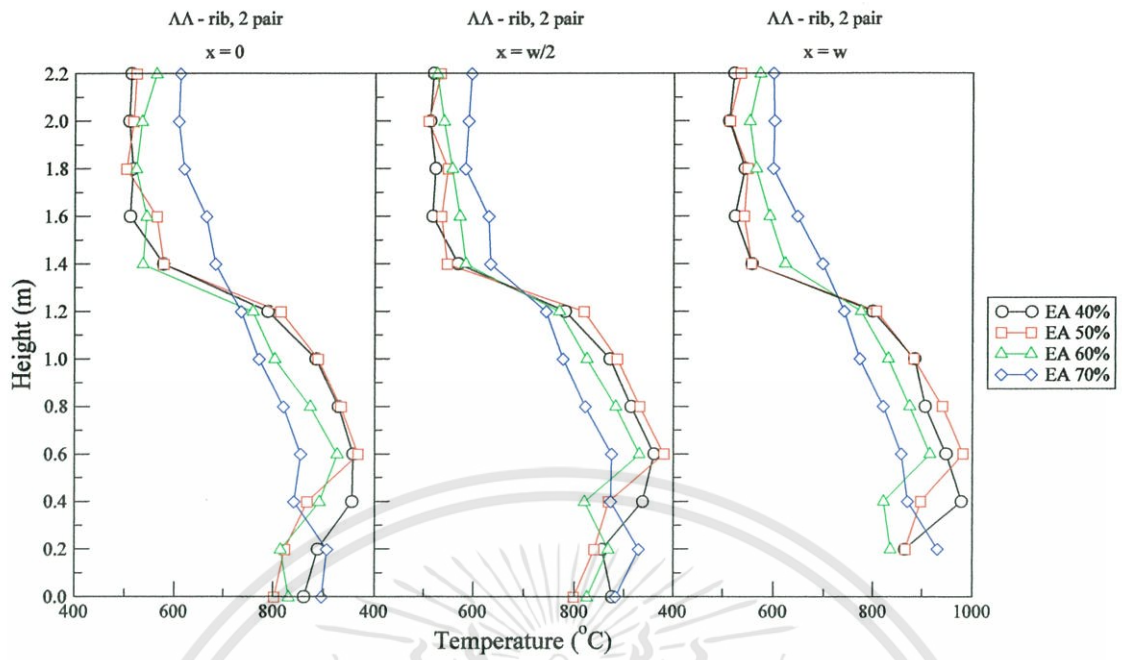
(a)



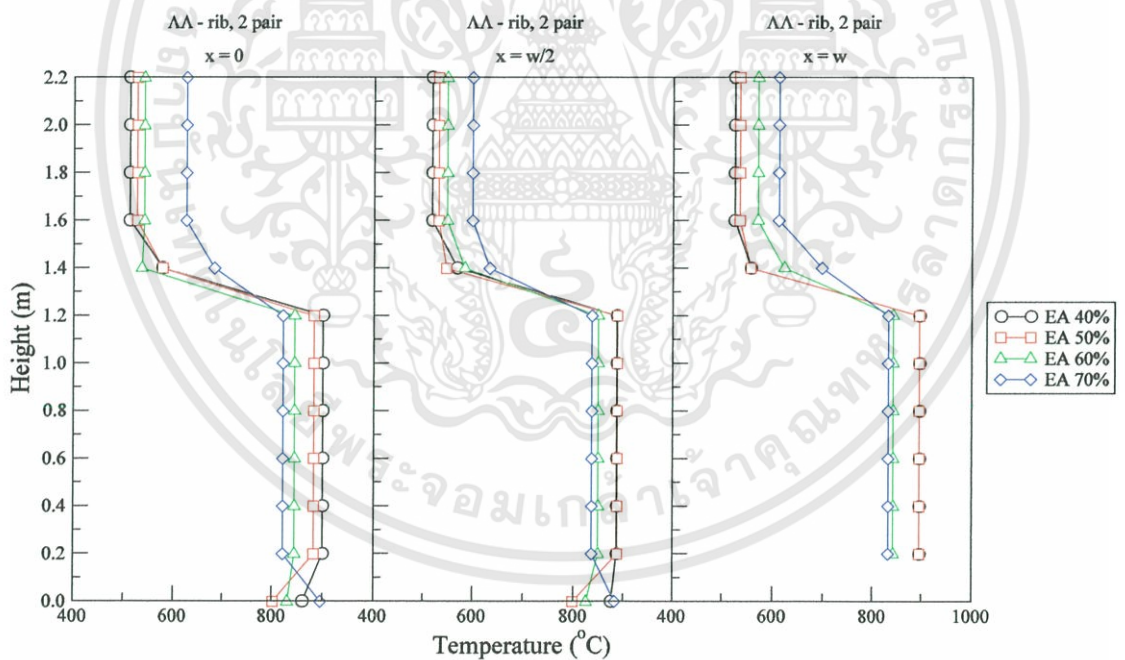
(b)

รูปที่ 5.7 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีคี่ว่า จำนวน 4 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



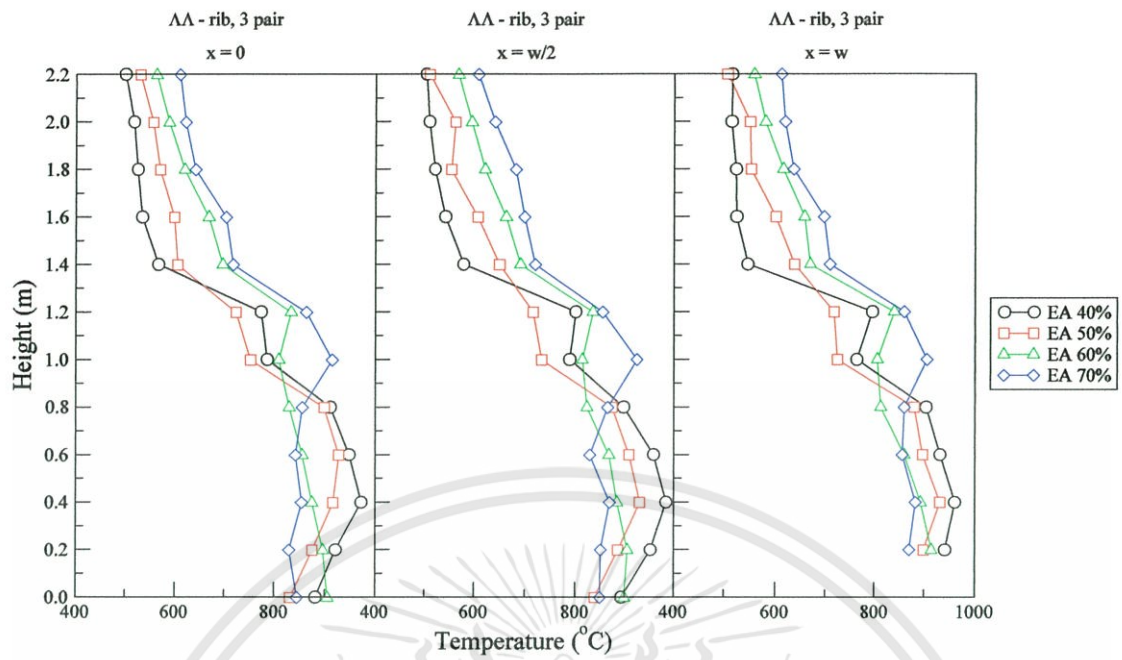
(a)



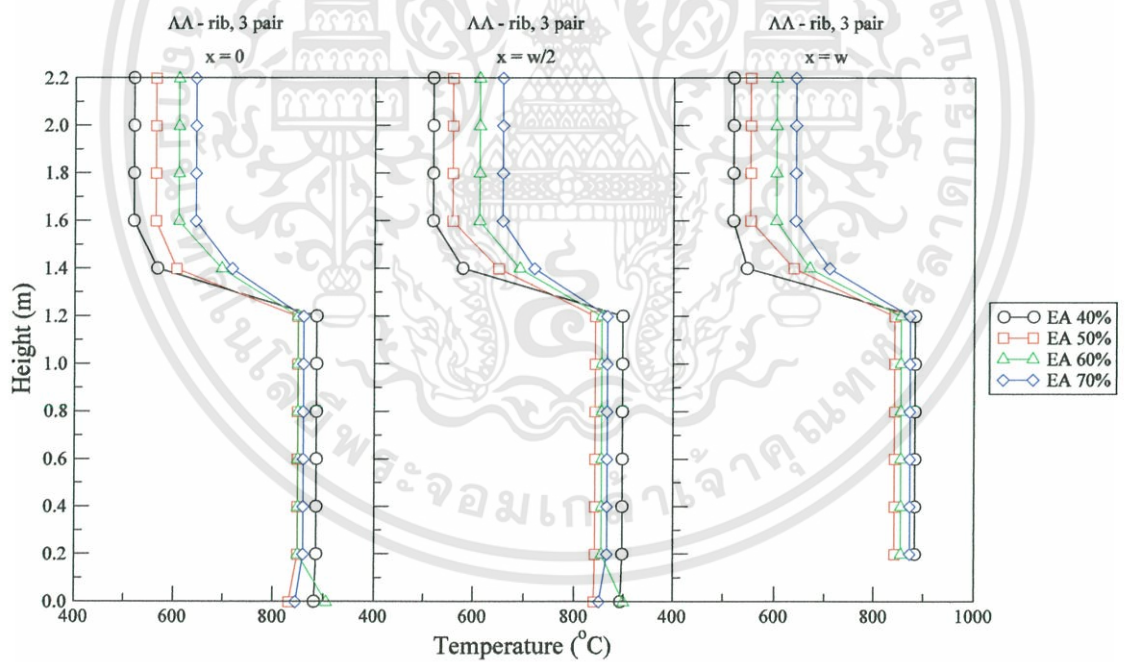
(b)

รูปที่ 5.8 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววีคว่าคู่ จำนวน 2 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



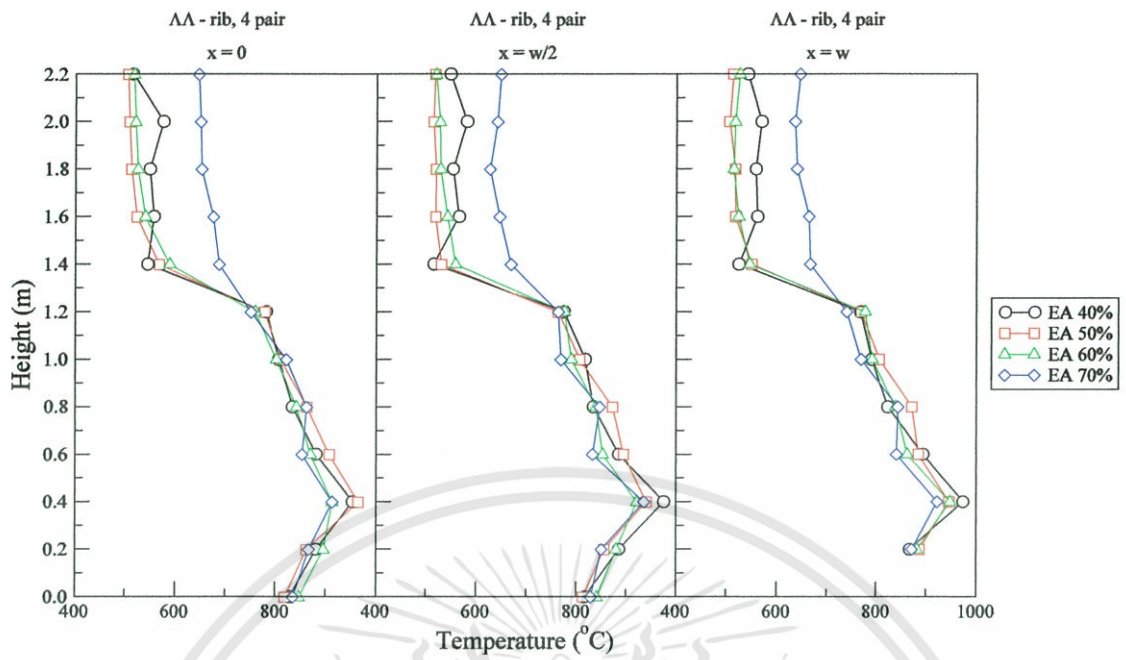
(a)



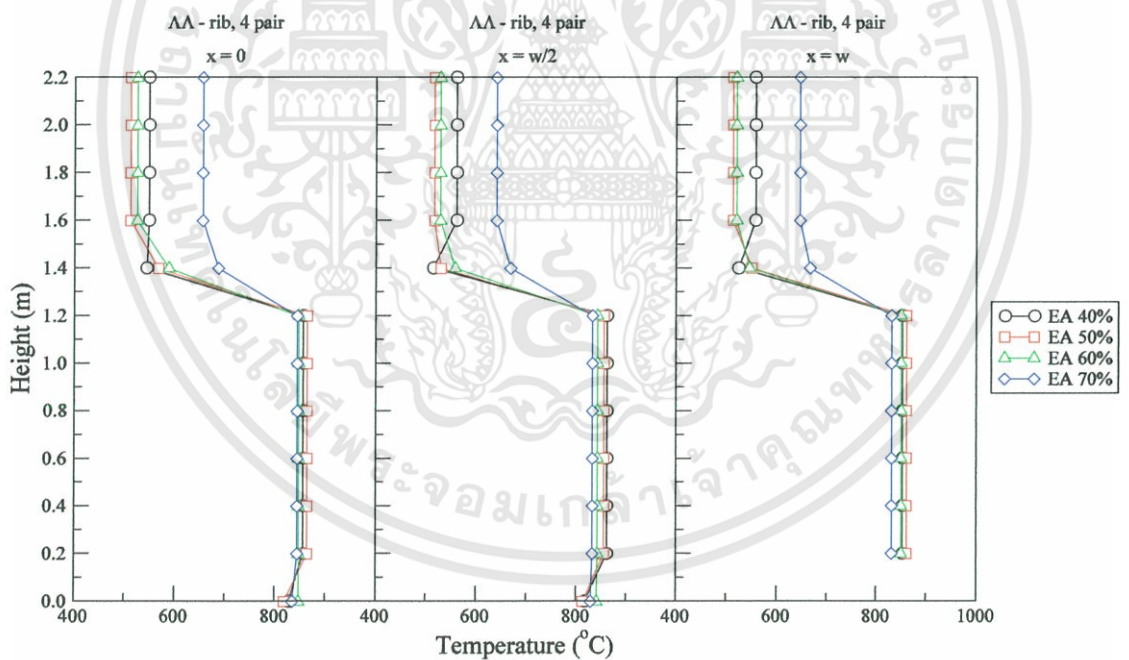
(b)

รูปที่ 5.9 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งกรังรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิตยสารอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 5.10 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิควาท์ จำนวน 4 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลของจำนวนครีบ

5.3.1 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบรูปตัววี

จากรูปที่ 5.11 – 5.14

5.3.1.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 979°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 567°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 743°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 721°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 526°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 553°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 537°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

5.3.1.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 952°C และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 630°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 714°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 744°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 710°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 576°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 598°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 566°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

5.3.1.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 917°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 650°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 719°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 743°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 721°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 587°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 627°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 581°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

5.3.1.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 938°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 667°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 724°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 747°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 737°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 614°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 2 คู่, 657°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 3 คู่ และ 639°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบ 4 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริปตัววีคว่ำ

จากรูปที่ 5.15 – 5.18

5.3.2.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 991°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 537°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 726°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 692°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 713°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 508°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 442°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 529°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

5.3.2.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 951°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 554°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 707°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 690°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 717°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 548°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 486°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 528°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

5.3.2.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 950°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 600°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 720°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 696°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 705°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 584°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 558°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 592°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

5.3.2.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 908°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 639°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 722°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 709°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 713°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 598°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 2 คู่, 591°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 3 คู่ และ 632°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริป 4 คู่

5.3.3 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิกว่าคู่

จากรูปที่ 5.19 – 5.22

5.3.3.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 985°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 535°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 736°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 734°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 724°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 517°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 506°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 535°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

5.3.3.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 983°C และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 535°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 734°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 728°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 714°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 531°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 516°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 513°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

5.3.3.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 949°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 569°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 723°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 758°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 713°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 555°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 564°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 522°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

5.3.3.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 937°C และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 650°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 746°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 778°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 759°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 603°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 2 คู่, 611°C , เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 3 คู่ และ 648°C เมื่อติดตั้งจำนวนครีบริบ 4 คู่

5.3.4 การวิเคราะห์ผลของจำนวนครีบ

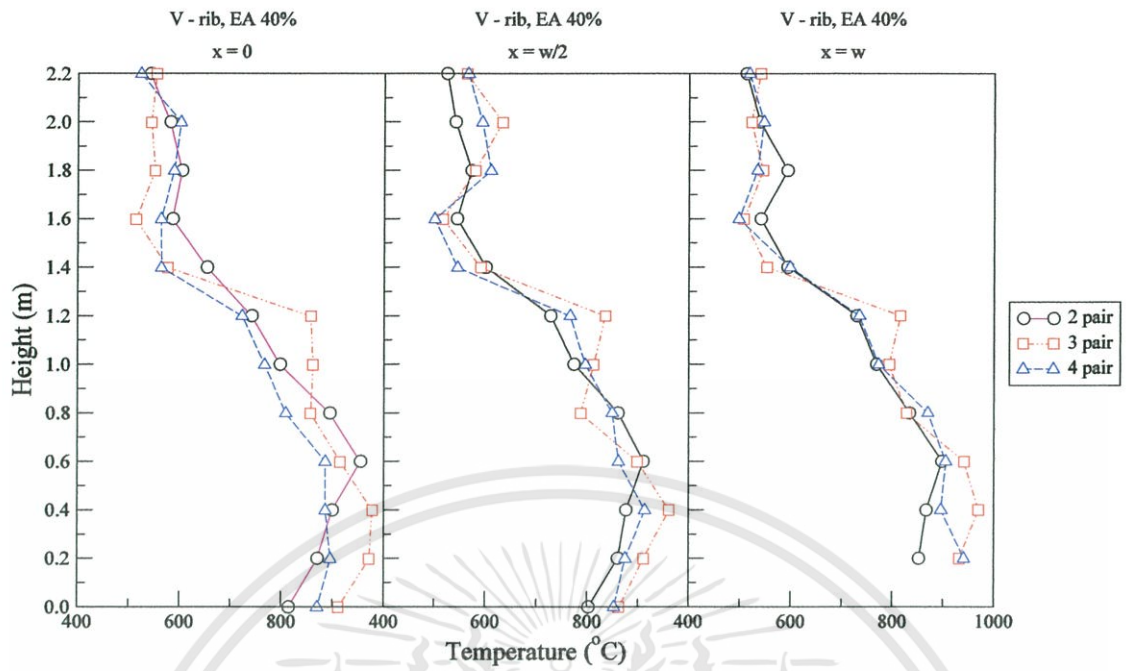
จากผลการทดลอง เมื่อทำการติดครีบเข้าไปในห้องเผาไหม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนจำนวนครีบจำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ จะเห็นการกระจายตัวของระดับอุณหภูมิภายในเตามีลักษณะที่คล้ายกันกับในกรณีที่ไม่ติดครีบ สังเกตว่าเมื่อทำการติดตั้งครีบ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ นั้นจะให้ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อทำการติดตั้งครีบ จำนวน 2 คู่ รวมทั้งระดับอุณหภูมิไอเสียที่ทางออกก็จะมีค่าสูงกว่าเช่นเดียวกัน ที่ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิเป็นเช่นนี้ ก็เนื่องมาจาก เมื่อติดตั้งจำนวนของครีบหลายคู่ จะมีผลทำให้เกิดกระแสไหลหมุนควงภายในห้องเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น ผลจากการหมุนควงนี้อาจจะส่งผลไปยังส่วนของฟริบอร์คด้วยเช่นกัน ทำให้แกลบไม่สามารถหลุดลอยไปยังฟริบอร์คได้โดยง่าย ซึ่งสามารถจะอธิบายความได้อย่างง่าย ๆ ได้ว่า เชื้อเพลิงแกลบจะหมุนควงอยู่ในห้องเผาไหม้ได้นานขึ้น เพิ่มระยะทางและเวลาในการเผาไหม้ได้นานและดีขึ้น รวมไปถึงการติดครีบและจำนวนครีบยังมีผลทำให้การกระจายตัวของแกลบภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้นอีกด้วย จึงทำให้เชื้อเพลิงเกิดการผสมคลุกเคล้ากับอากาศได้ดี จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผา แสดงดังตารางที่ 5.4 และระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุด แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่จำนวนครีบต่าง ๆ

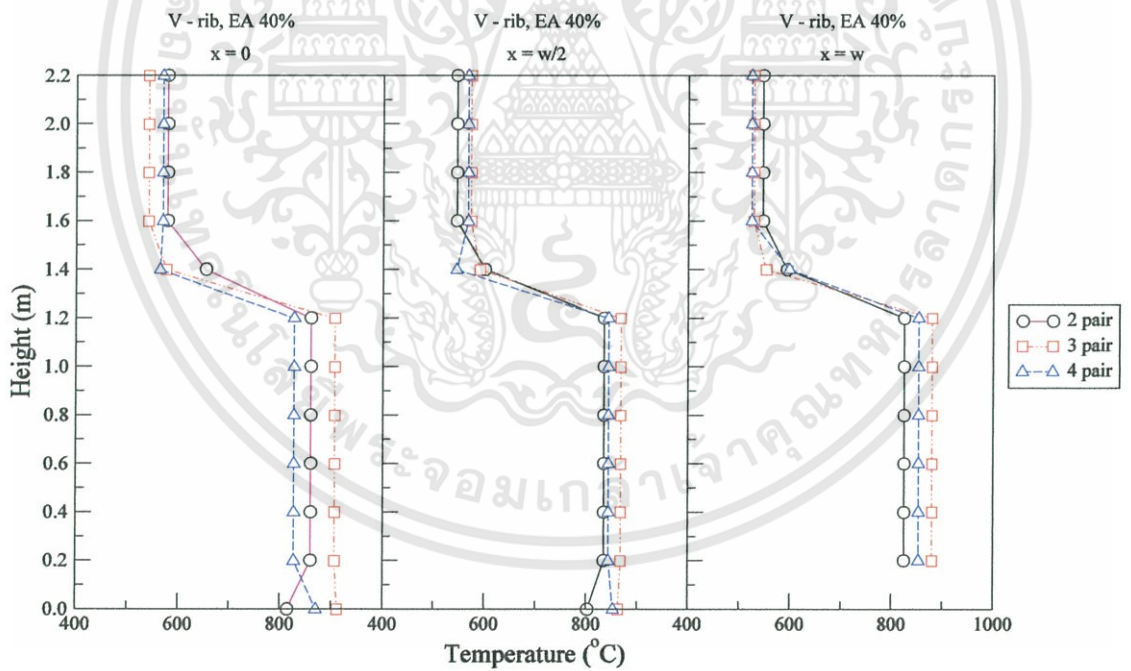
จำนวนครีบ (คู่)	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาสูงสุด (°C)
2	746
3	778
4	759

ตารางที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดที่จำนวนครีบต่าง ๆ

จำนวนครีบ (คู่)	อุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยที่ทางออกสูงสุด (°C)
2	614
3	657
4	648



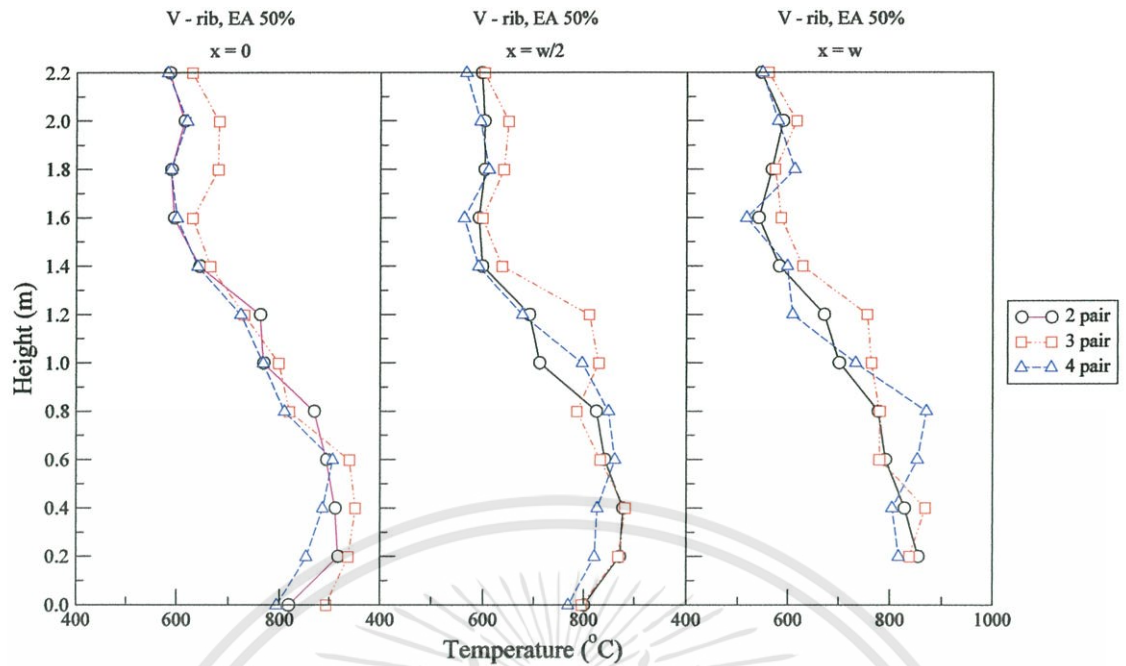
(a)



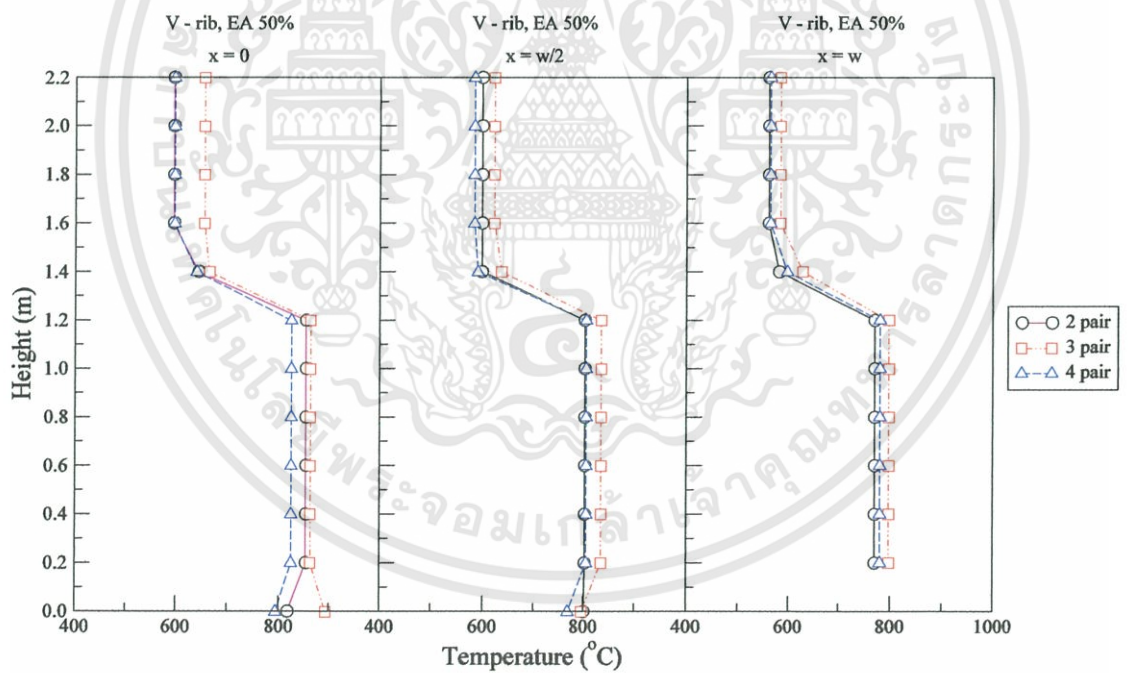
(b)

รูปที่ 5.11 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีรูปตัววี เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



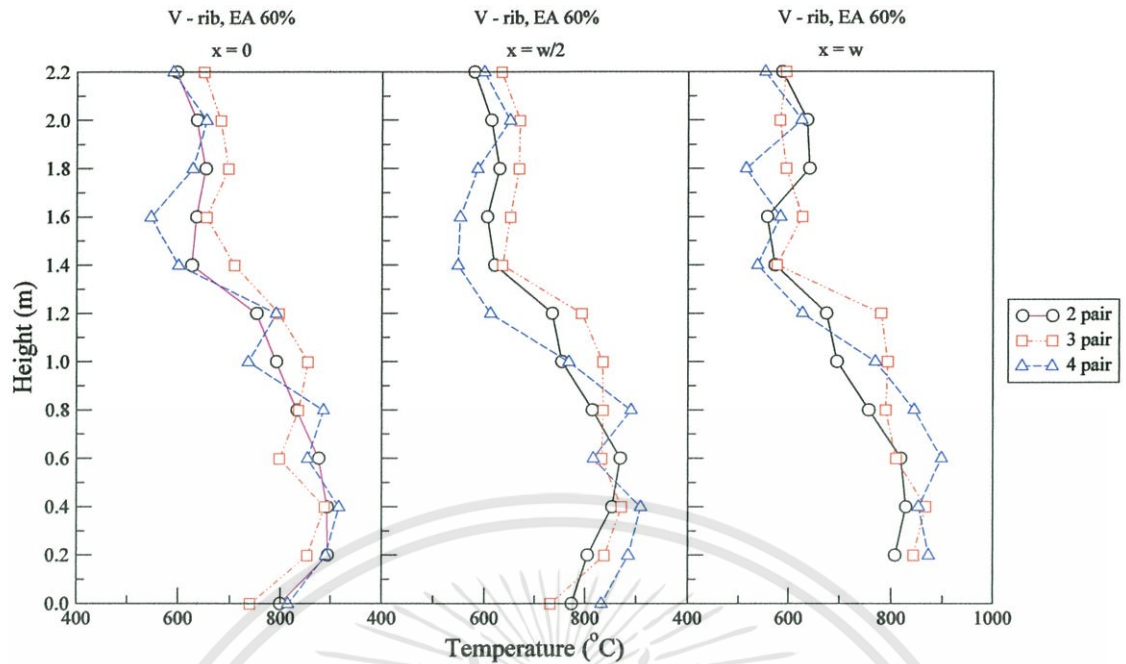
(a)



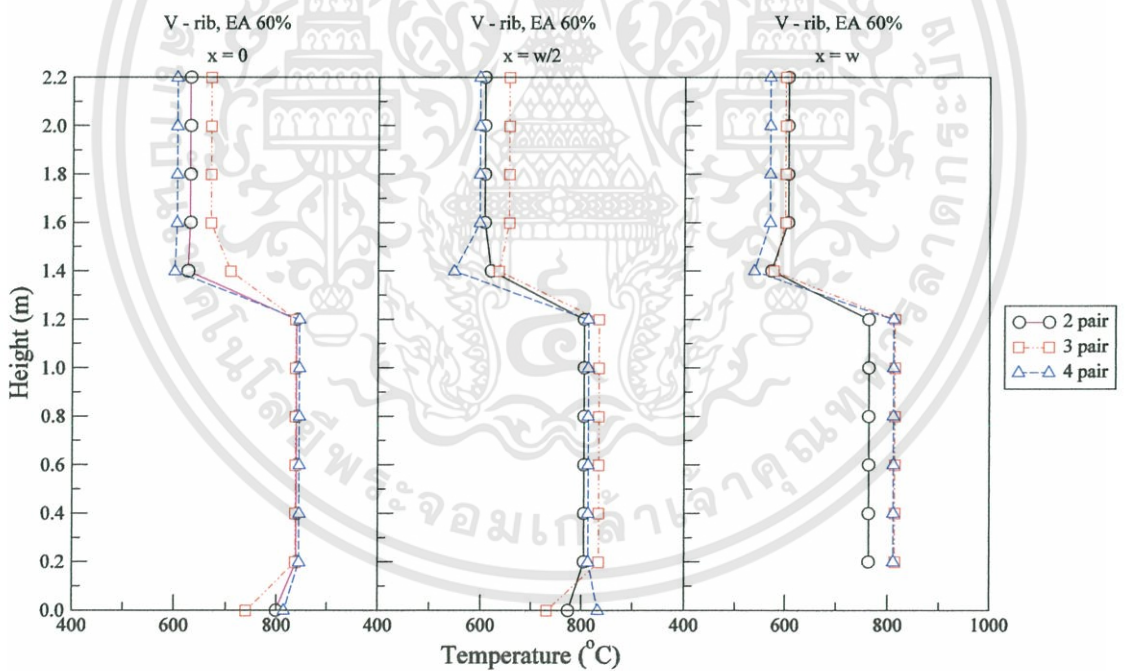
(b)

รูปที่ 5.12 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววี เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



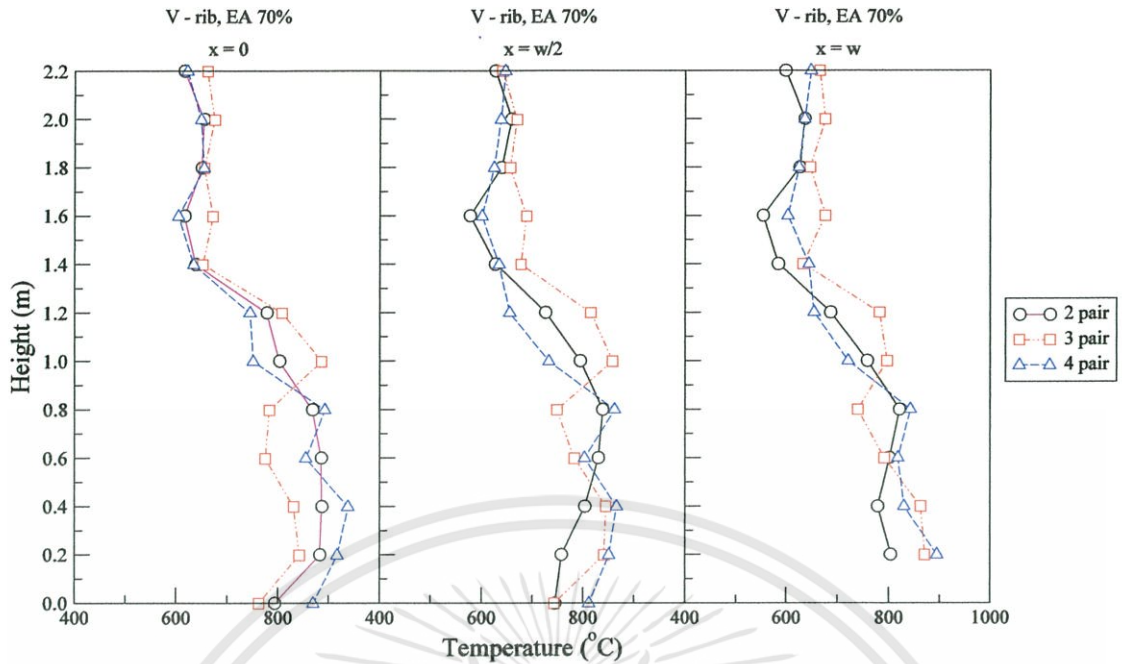
(a)



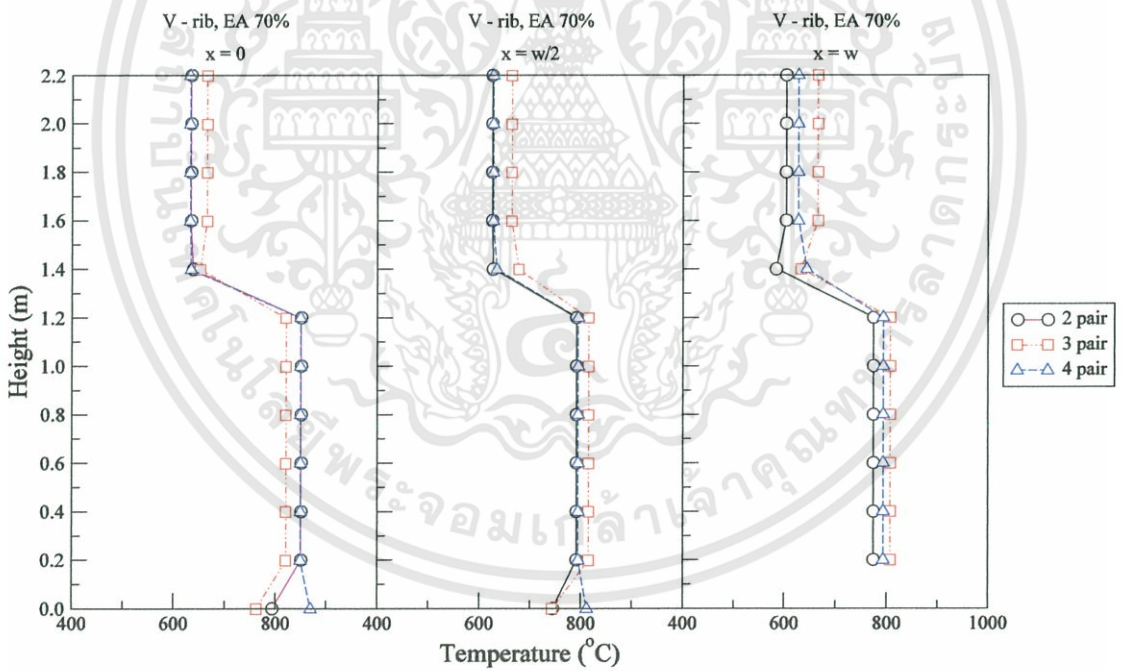
(b)

รูปที่ 5.13 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววี เฟอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



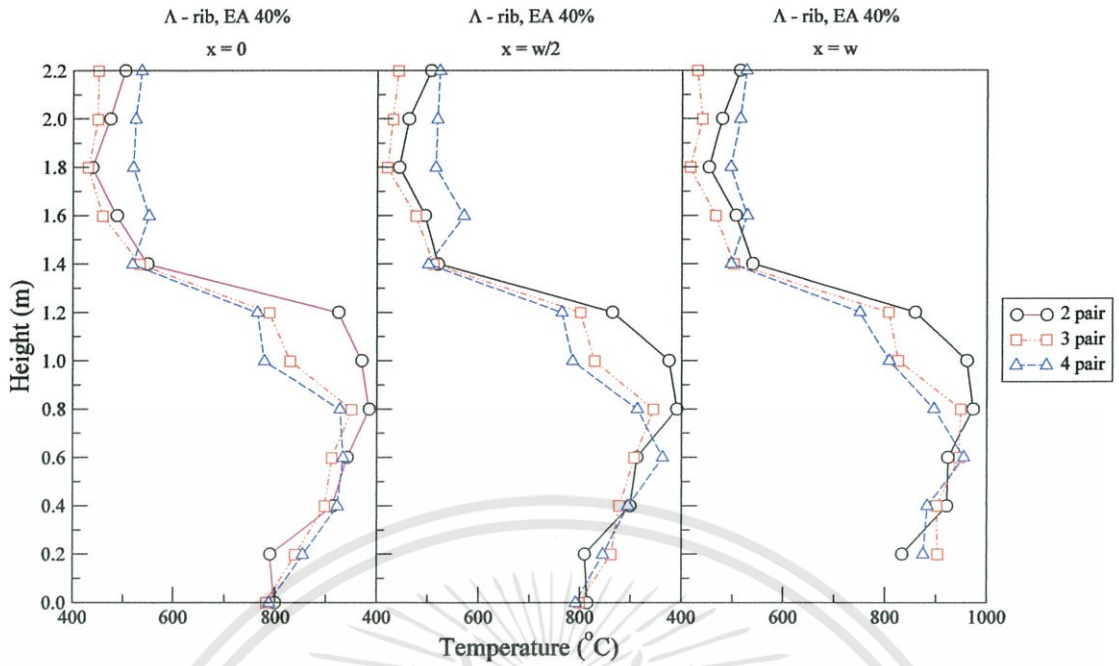
(a)



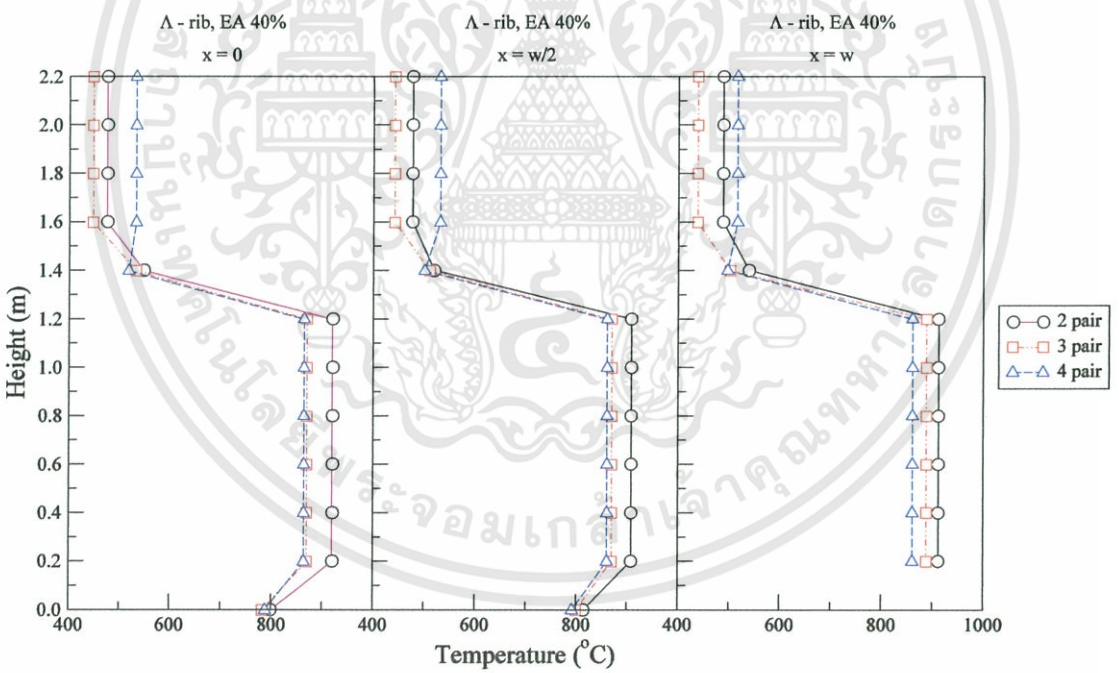
(b)

รูปที่ 5.14 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววี เฟอร์เซินต์อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



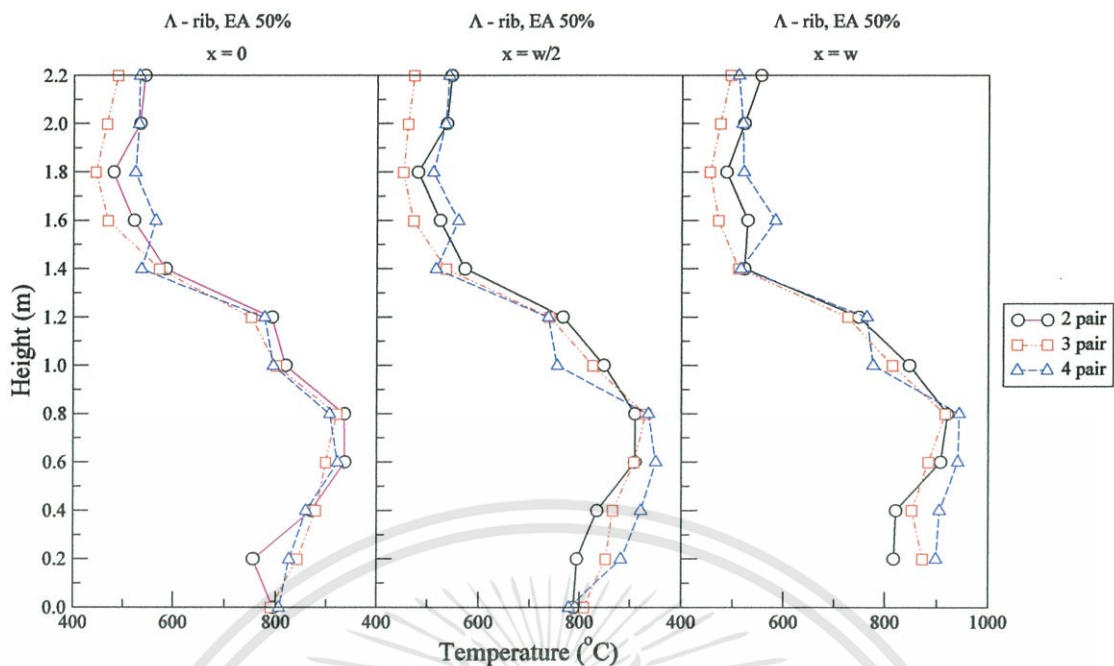
(a)



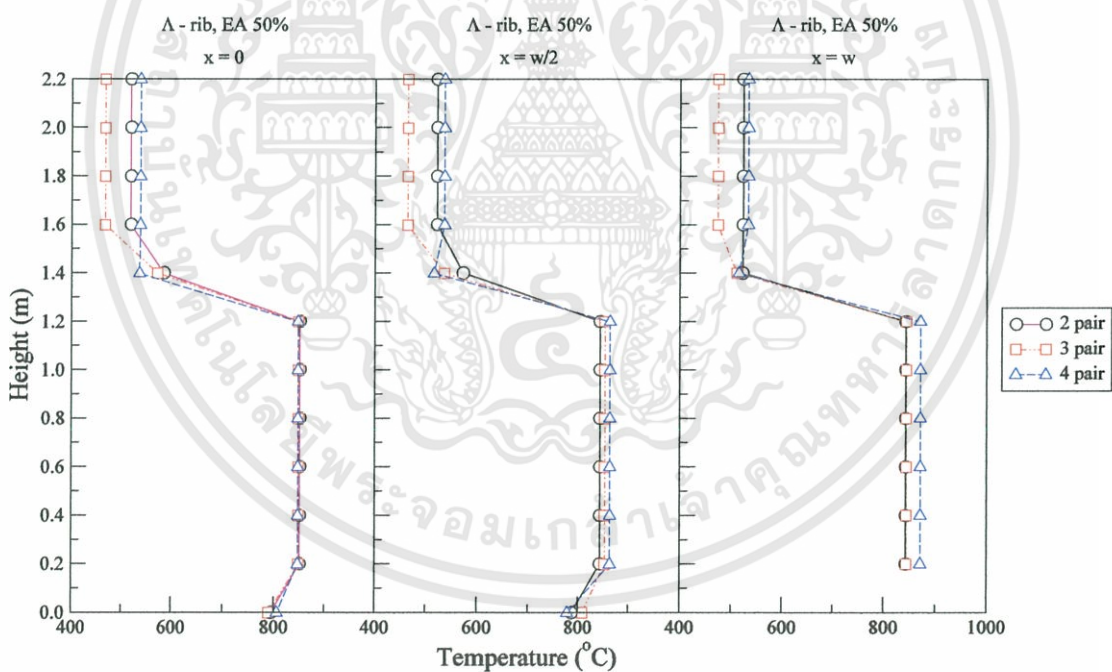
(b)

รูปที่ 5.15 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่า เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



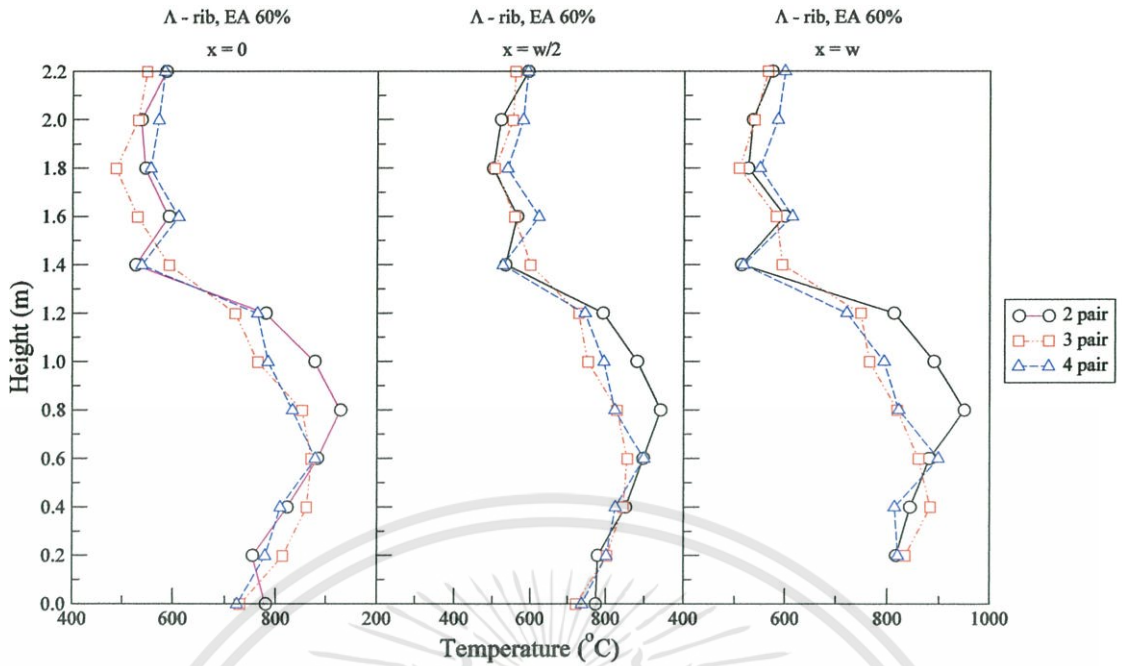
(a)



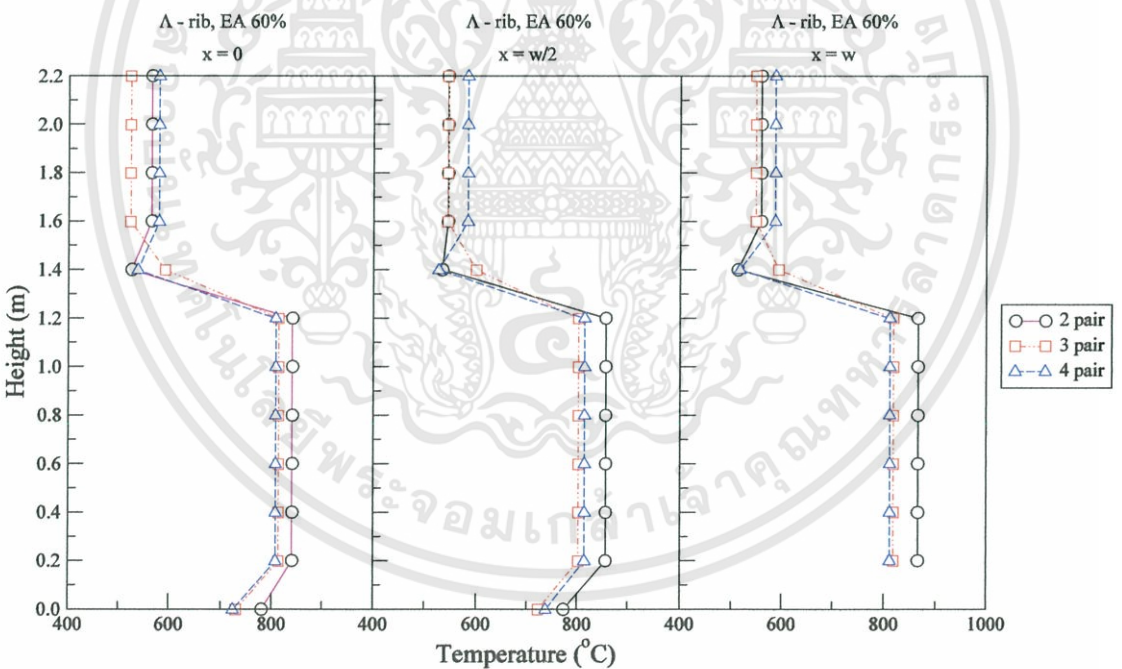
(b)

รูปที่ 5.16 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่า เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



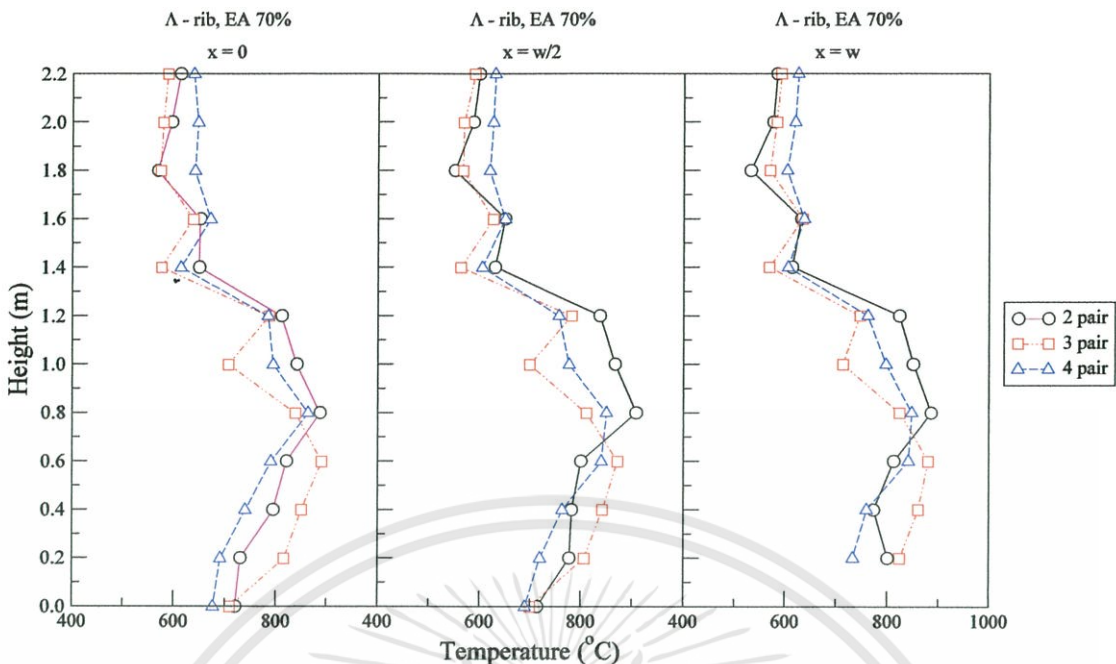
(a)



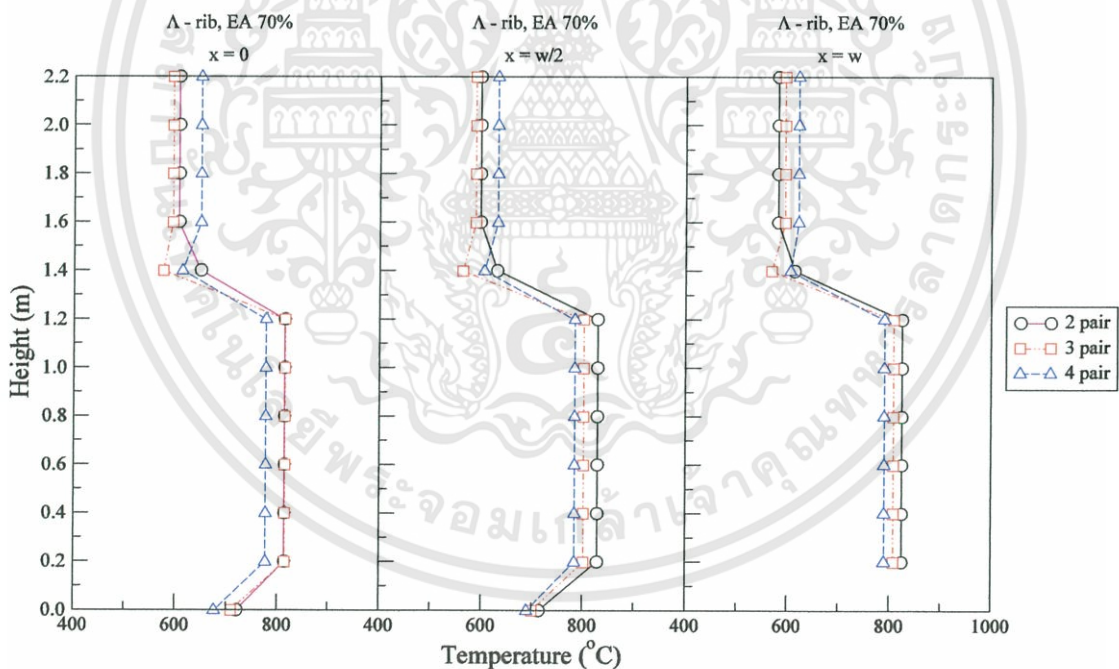
(b)

รูปที่ 5.17 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบรูปตัววีคว่า เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



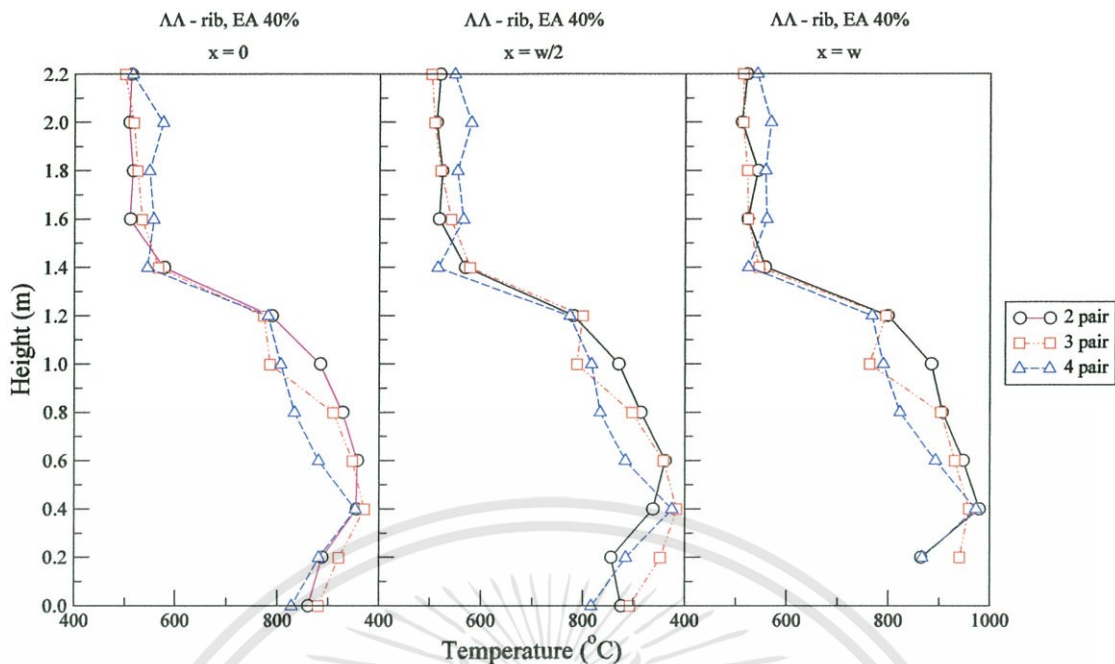
(a)



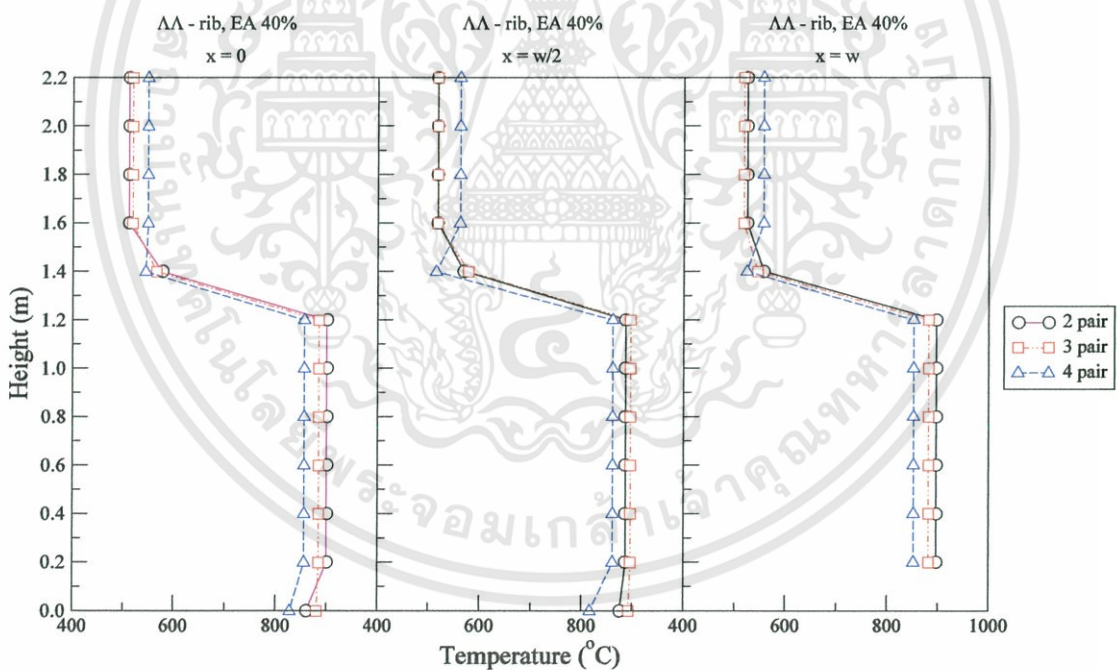
(b)

รูปที่ 5.18 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบตัววิครำ เปรอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้



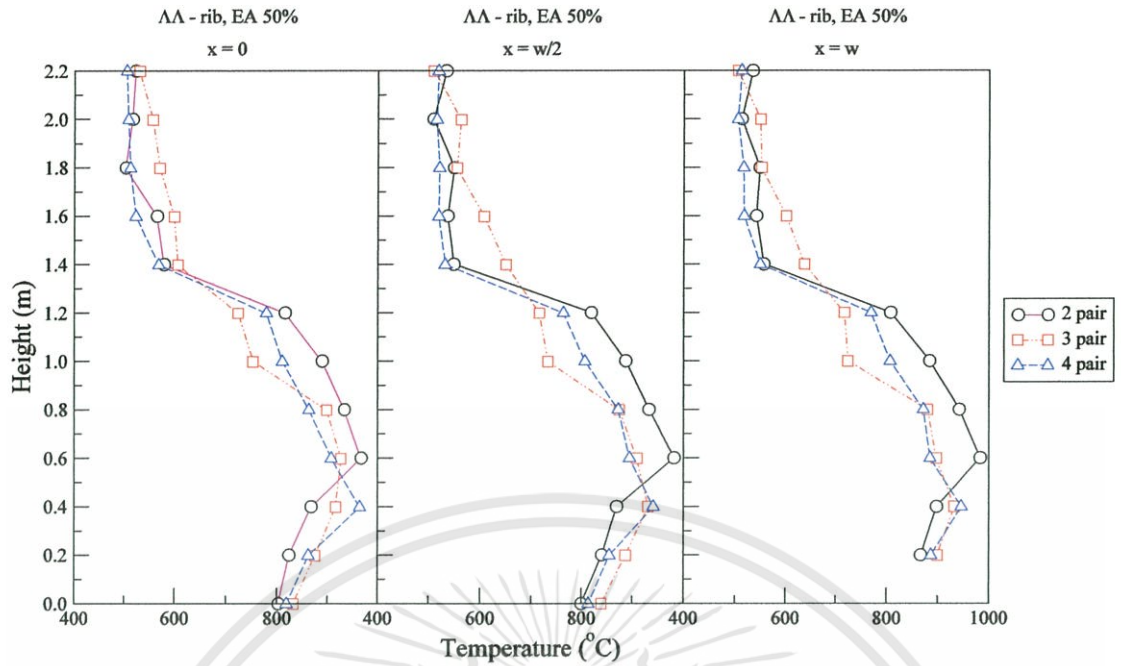
(a)



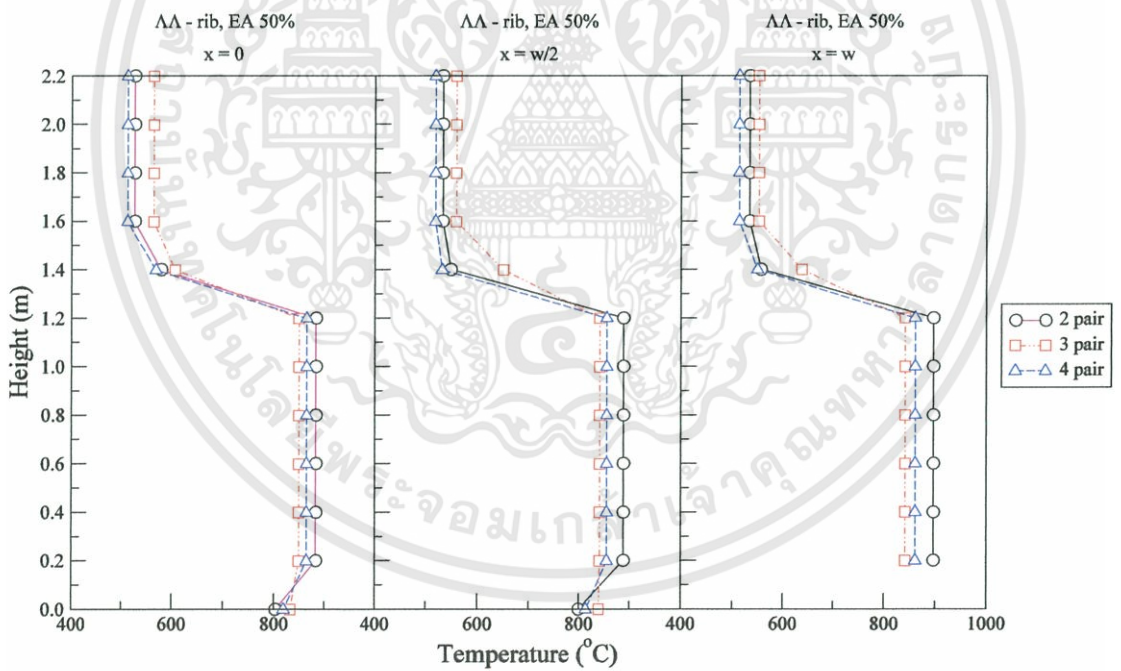
(b)

รูปที่ 5.19 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ภายในห้องเผาไหม้ที่ติดตั้งครีบริบตัววิคว่าคู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



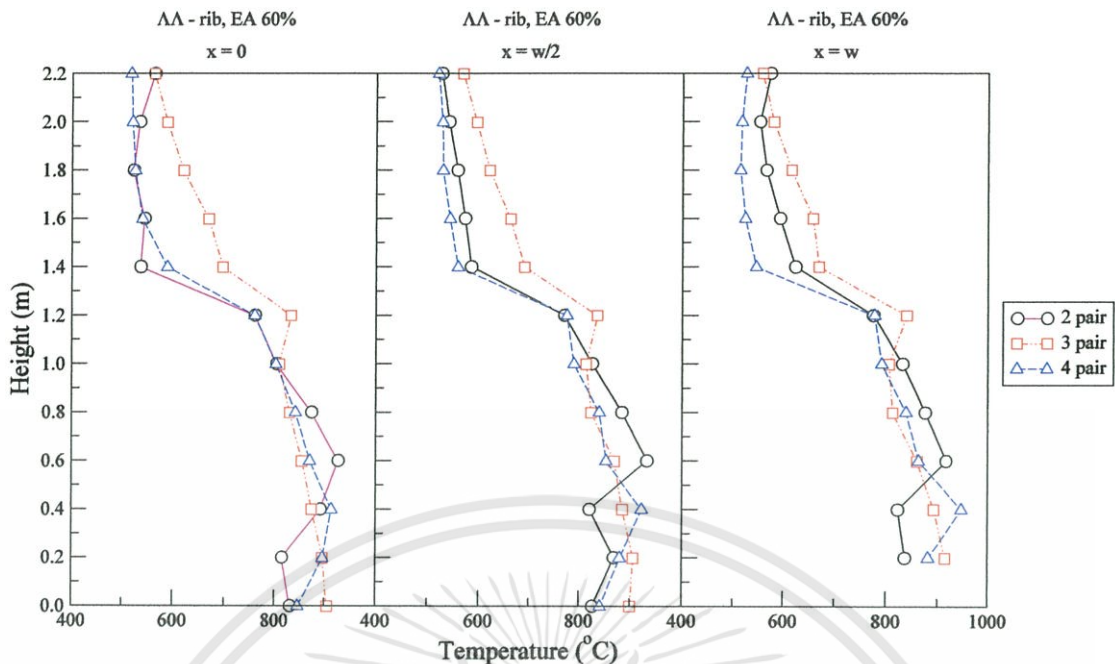
(a)



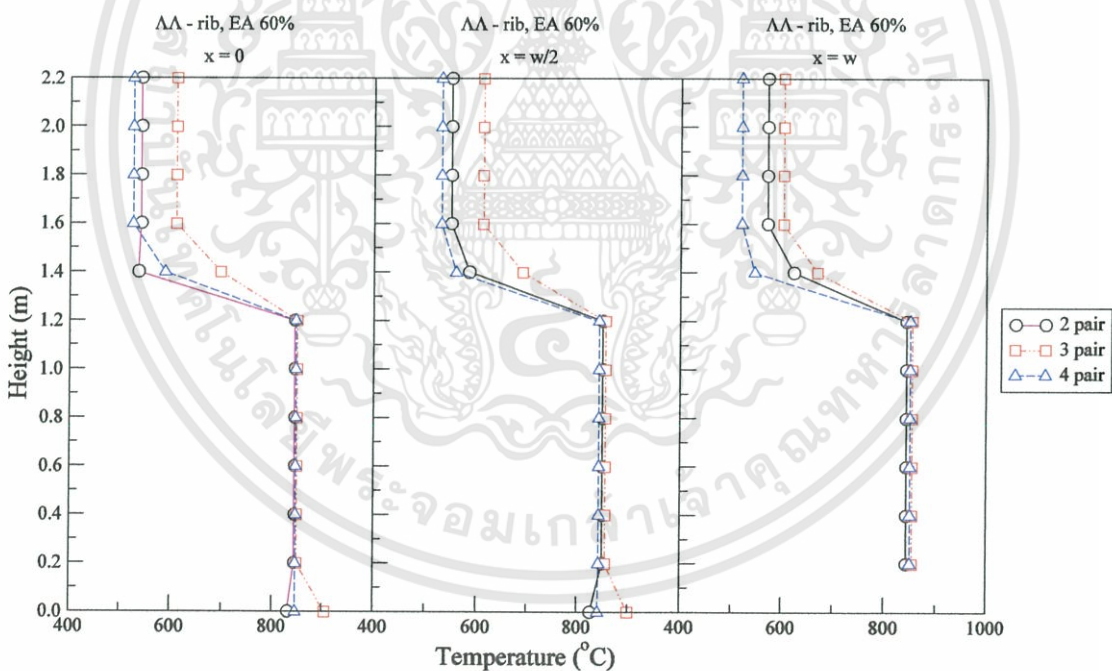
(b)

รูปที่ 5.20 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ภายในห้องเผาไหม้ที่ติดตั้ง ครีบริบตัวรีควิว์คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



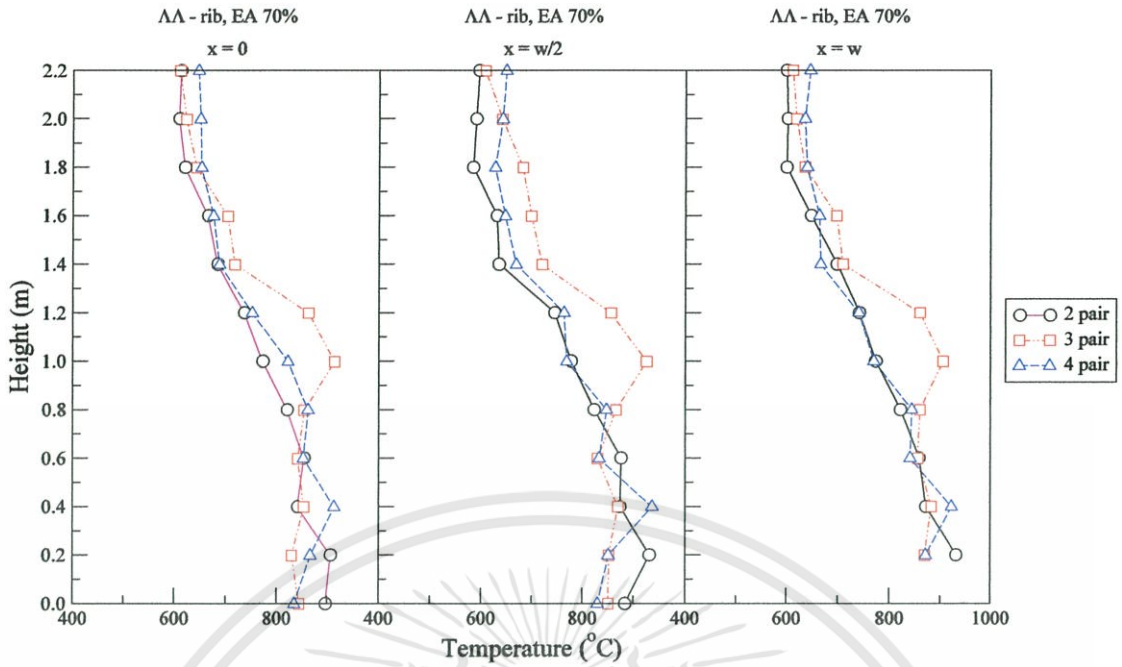
(a)



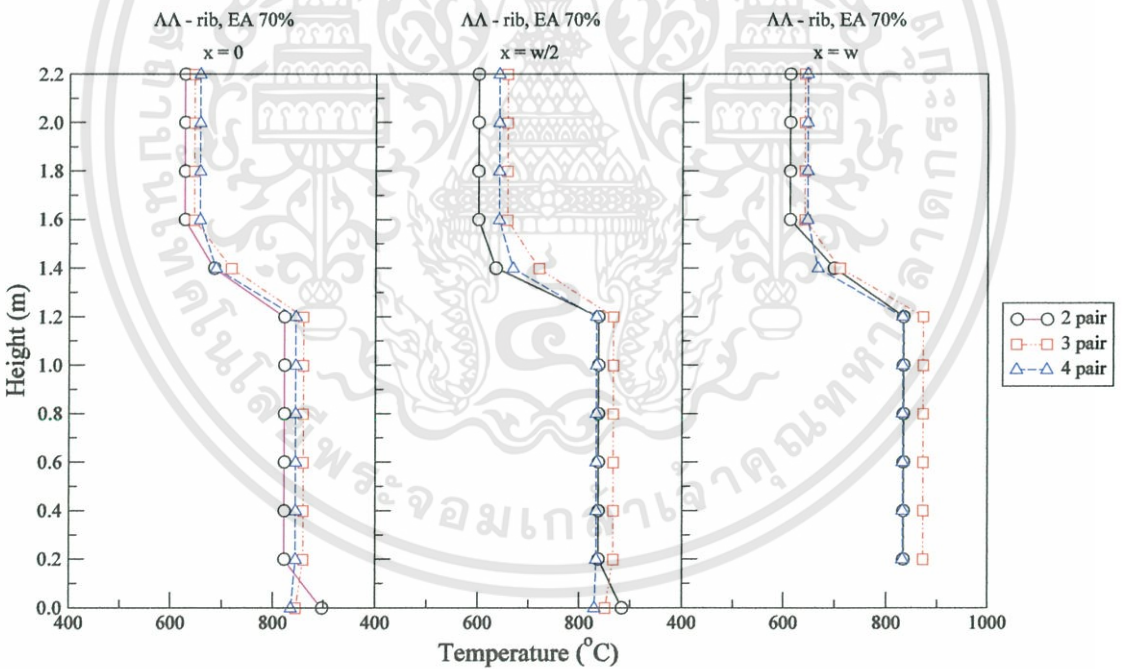
(b)

รูปที่ 5.21 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ภายในห้องเผาไหม้ที่ติดตั้ง ครีบริบตัววีคว่าคู่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 5.22 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ภายในห้องเผาไหม้ที่ติดตั้งครีบริบตัววิคว่ำคู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลของลักษณะกรีบ

5.4.1 กรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกรีบ จำนวน 2 คู่

จากรูปที่ 5.23 – 5.26

5.4.1.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่อยู่ในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 991°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 542°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 726°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 736°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 526°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 508°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 517°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.1.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่อยู่ในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 983°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 596°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 714°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 707°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 734°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 576°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 548°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 531°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.1.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่อยู่ในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 950°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 542°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 719°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 720°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 723°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 587°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 584°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 555°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.1.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่อยู่ในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 932°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 627°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 724°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 722°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 746°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 614°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววี, 598°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ และ 603°C เมื่อติดตั้งกรีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.2 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบ จำนวน 3 คู่

จากรูปที่ 5.27 – 5.30

5.4.2.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 985°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 564°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 743°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 692°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 734°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 553°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 442°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 506°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.2.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 952°C และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 630°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 744°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 690°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 728°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 589°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 486°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 516°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.2.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 907°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 650°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 743°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 696°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 758°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 627°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 558°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 564°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.2.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 926°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 667°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 747°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 709°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 778°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 657°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 591°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 611°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.3 กรณีที่ภายในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบ จำนวน 4 คู่

จากรูปที่ 5.31 – 5.34

5.4.3.1 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 40 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 976°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 567°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 713°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 724°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 537°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 529°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 535°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.3.2 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 50 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 966°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 582°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 710°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 717°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 714°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 566°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 528°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 513°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.3.3 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 60 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 949°C เมื่อติดตั้งครีบ และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 600°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี และตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 721°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 705°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 713°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 581°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 592°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 522°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.3.4 เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน 70 %

ระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด 938°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี และอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 650°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งเตาเท่ากับ 737°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 713°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 759°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

ระดับอุณหภูมิไอเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 639°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววี, 632°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ และ 648°C เมื่อติดตั้งครีบรูปตัววีคว่ำ

5.4.4 ผลการวิเคราะห์ของลักษณะครีป

จากผลการทดลอง เมื่อทำการติดครีปเข้าไปในห้องเผาไหม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนลักษณะของครีปจะเป็นรูป ตัววี, ตัววีคว่ำ และ ตัววีคว่ำคู่ ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะครีปต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบ พบว่า ลักษณะการกระจายของระดับอุณหภูมิภายในเตามีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีไม่ติดครีป เมื่อทำการติดตั้ง ครีปรูปตัววี และครีปรูปตัววีคว่ำคู่ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ภายในเตาเผา นั้นจะมีค่าสูง แต่เมื่อทำการติดตั้งครีปรูปตัววีคว่ำ ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ภายในเตาเผา นั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่า ส่วนระดับอุณหภูมิไอเสียนั้น เมื่อทำการติดตั้งครีปรูปตัววี และครีปรูปตัววีคว่ำคู่ ระดับอุณหภูมิที่วัดได้ก็มีค่าที่สูงกว่า เมื่อทำการติดตั้งครีปรูปตัววีคว่ำ เช่นกัน นั้นแสดงว่าลักษณะของครีปก็มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบภายในห้องเผาไหม้ เช่นเดียวกัน จากการทดสอบพฤติกรรมการไหลของแกลบ ภายในหอตดสอบ (cold flow model) พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของแกลบ จะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

ลักษณะของครีปรูปตัววี แกลบจะลอยกระจายอย่างเบาบางไปตามผนังของหอตดสอบ และจะค่อยๆ ตกมารวมกันหนาแน่นบริเวณกึ่งกลางของหอตดสอบ

ลักษณะของครีปรูปตัววีคว่ำ จะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครีปรูปตัววี คือ แกลบจะลอยกระจายอย่างเบาบางบริเวณกึ่งกลางของหอตดสอบ และจะค่อยๆ ตกมารวมกันหนาแน่นบริเวณผนังของหอตดสอบ

ลักษณะของครีปรูปตัววีคว่ำคู่ การกระจายตัวของแกลบในหอตดสอบจะเกิดขึ้นในลักษณะที่เหมือนกันกับครีปรูปตัววี และครีปรูปตัววีคว่ำ เกิดขึ้นพร้อมกัน

ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผา แสดงดังตารางที่ 5.5 และระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุด แสดงดังตารางที่ 5.6

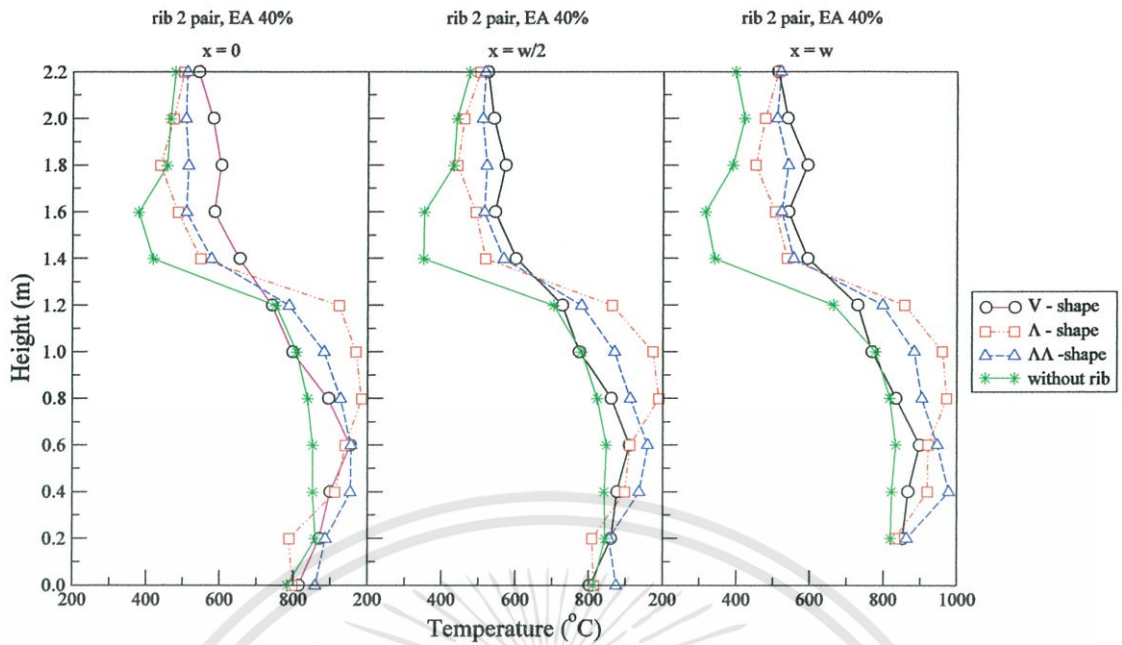
ตารางที่ 5.5 ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาที่ลักษณะครีปแบบต่าง ๆ

ลักษณะครีป	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผา (°C)
รูปตัววี	747
รูปตัววีคว่ำ	726
รูปตัววีคว่ำคู่	778

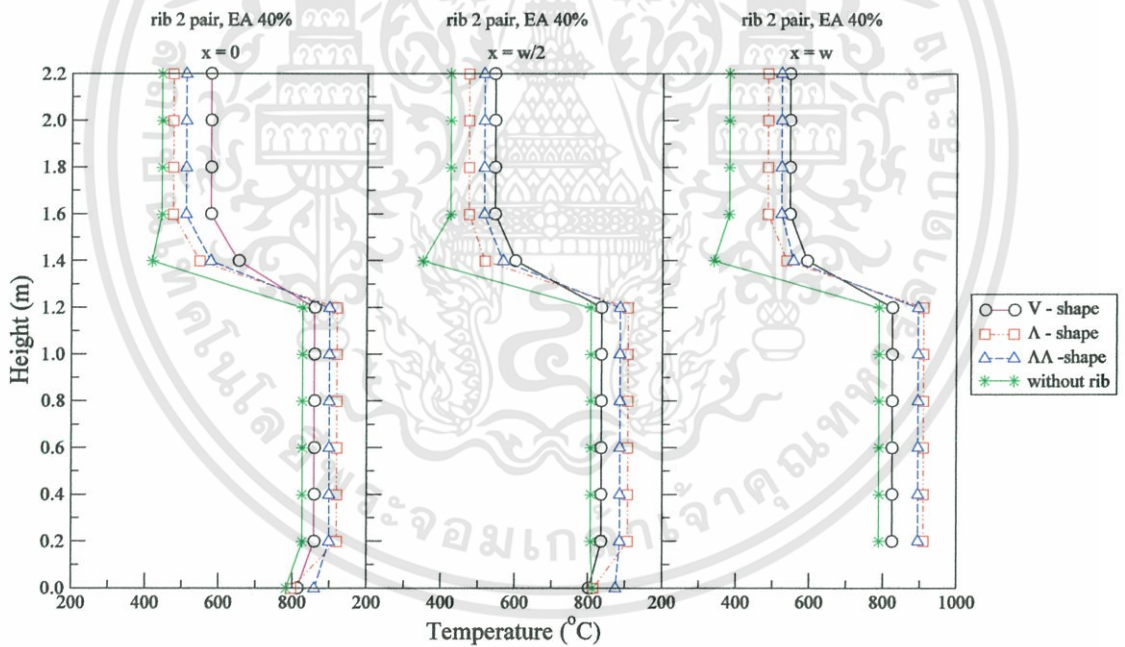
ตารางที่ 5.6 อุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดที่ลักษณะครีปแบบต่าง ๆ

ลักษณะครีป	อุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยที่ทางออกสูงสุด (°C)
รูปตัววี	657
รูปตัววีคว่ำ	632
รูปตัววีคว่ำคู่	648

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



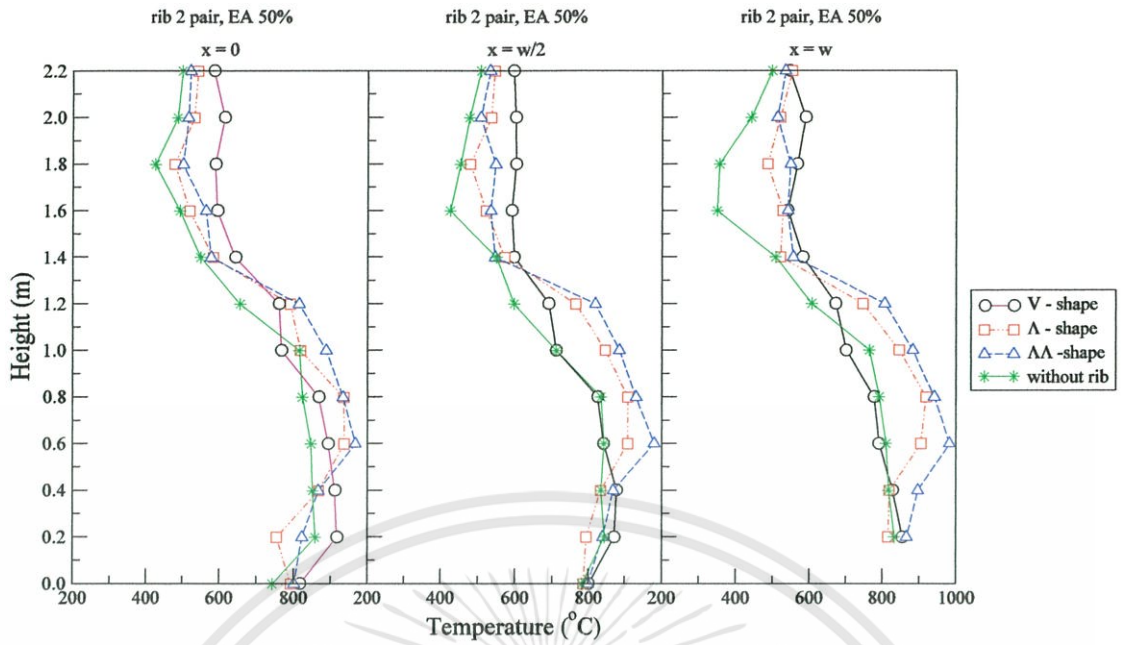
(a)



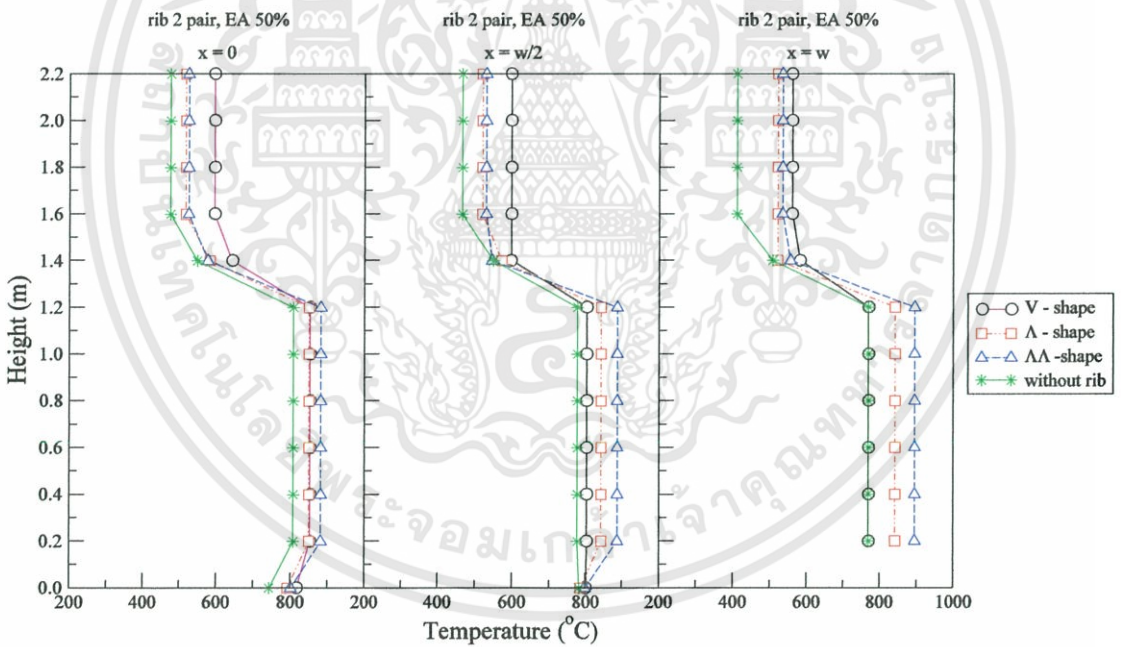
(b)

รูปที่ 5.23 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 2 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



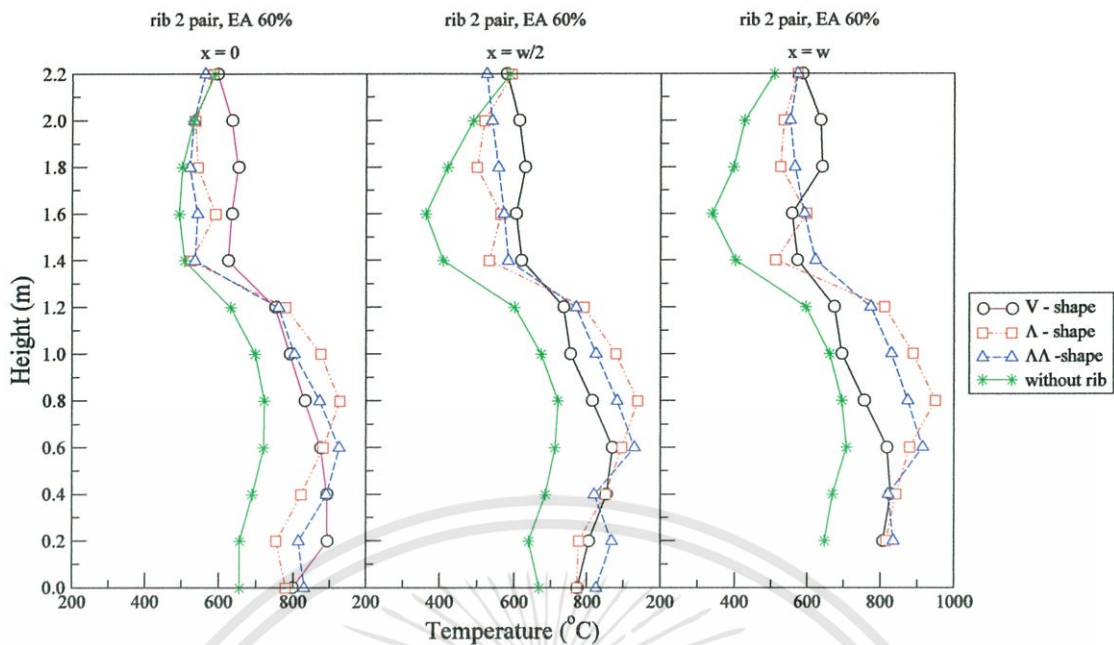
(a)



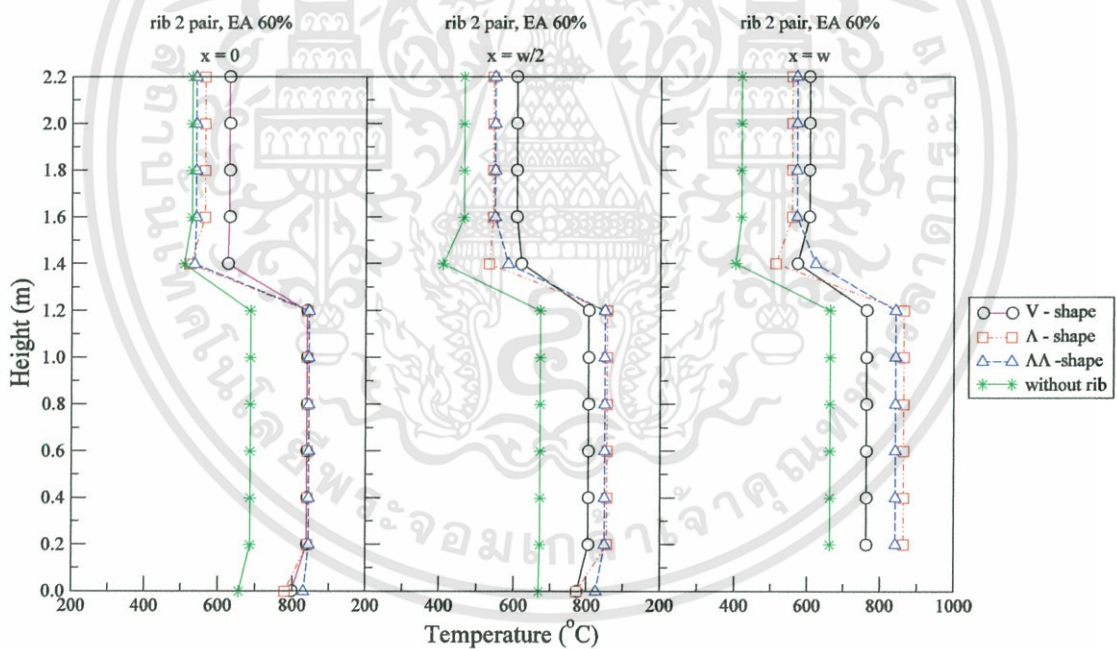
(b)

รูปที่ 5.24 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 2 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



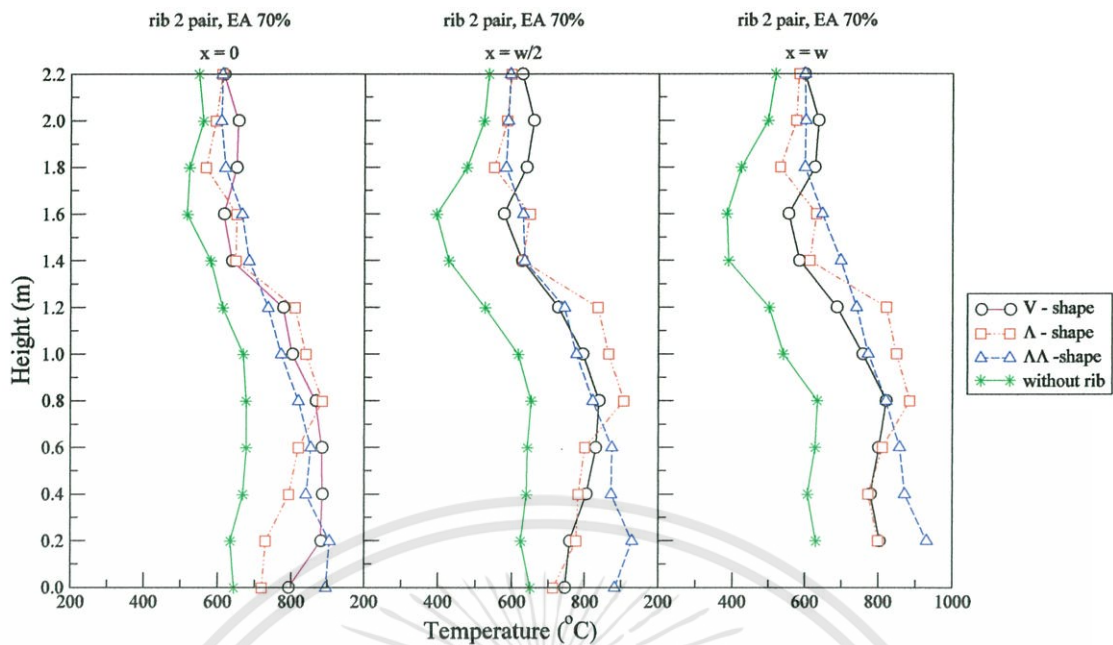
(a)



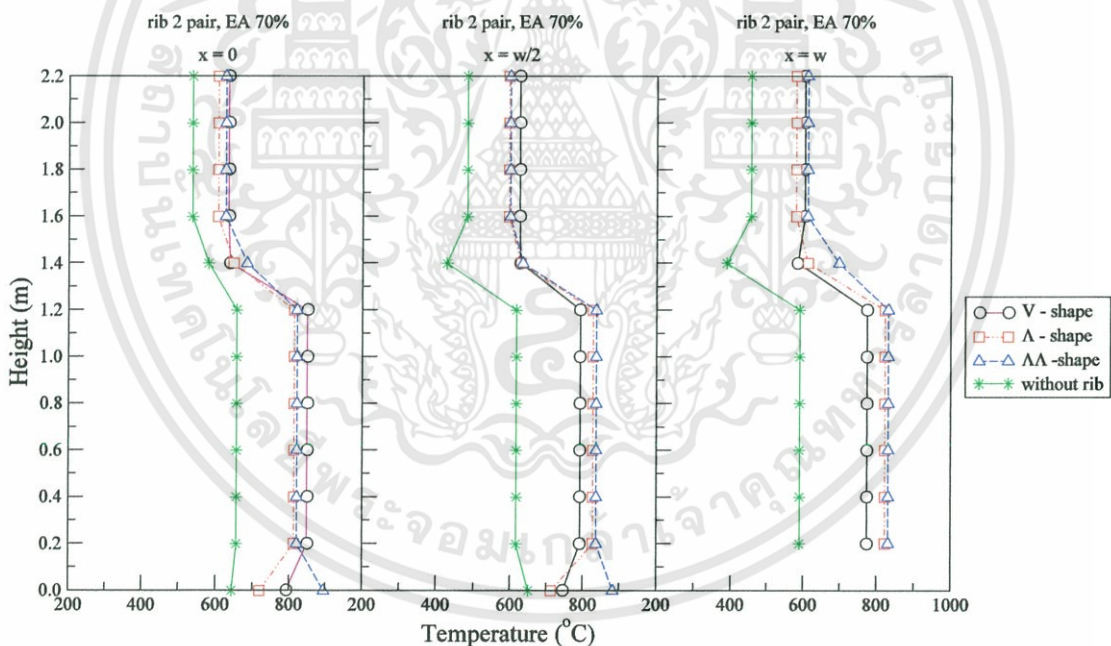
(b)

รูปที่ 5.25 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 2 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



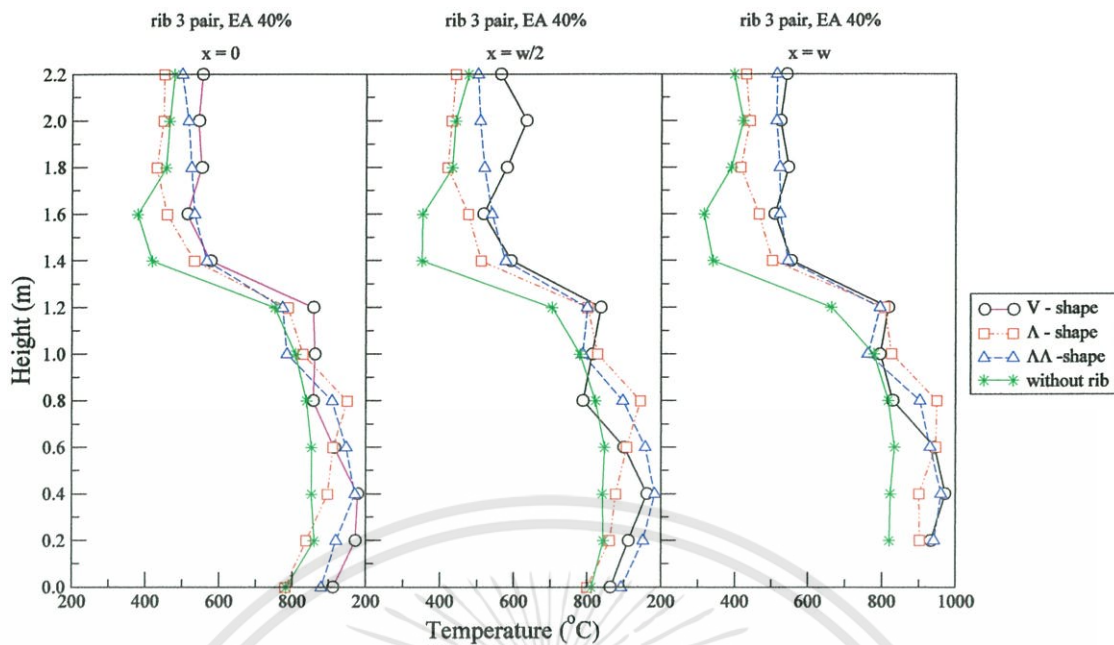
(a)



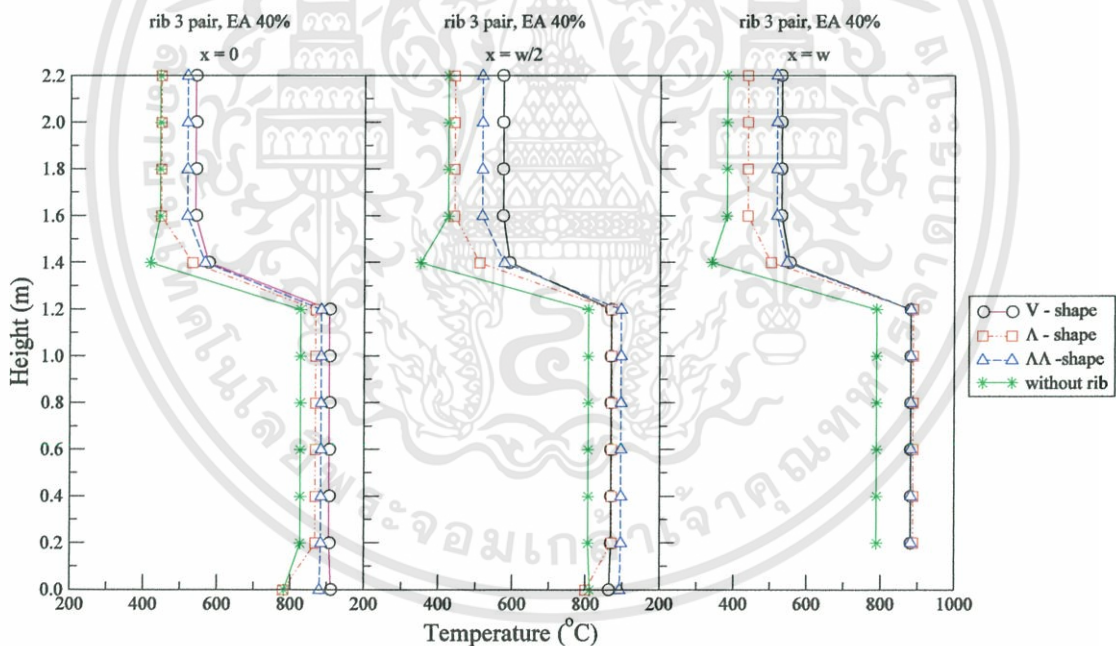
(b)

รูปที่ 5.26 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 2 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



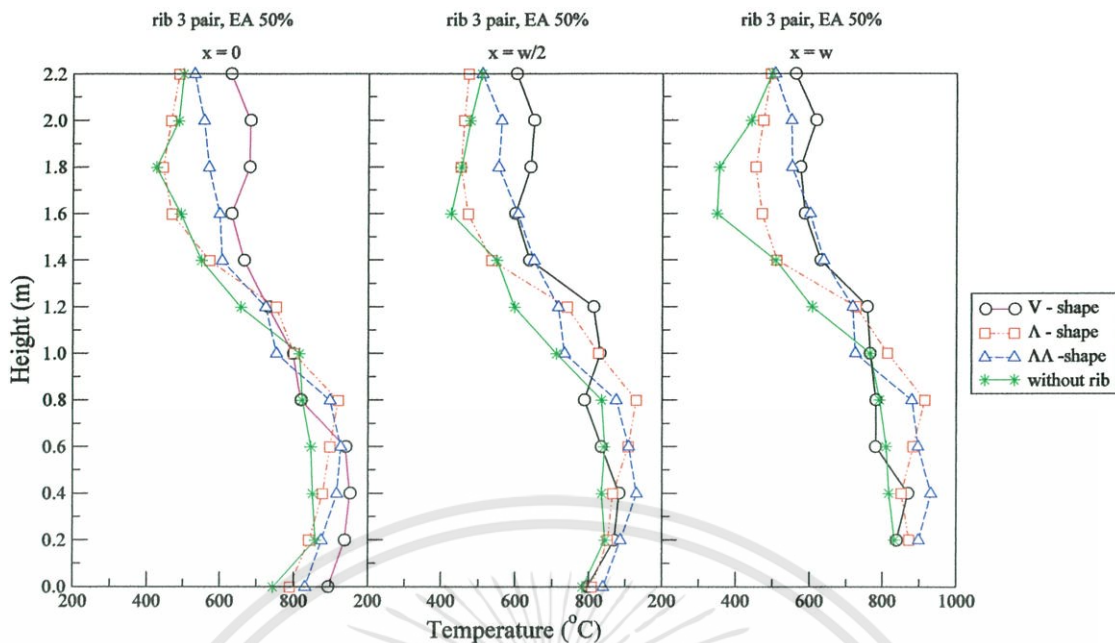
(a)



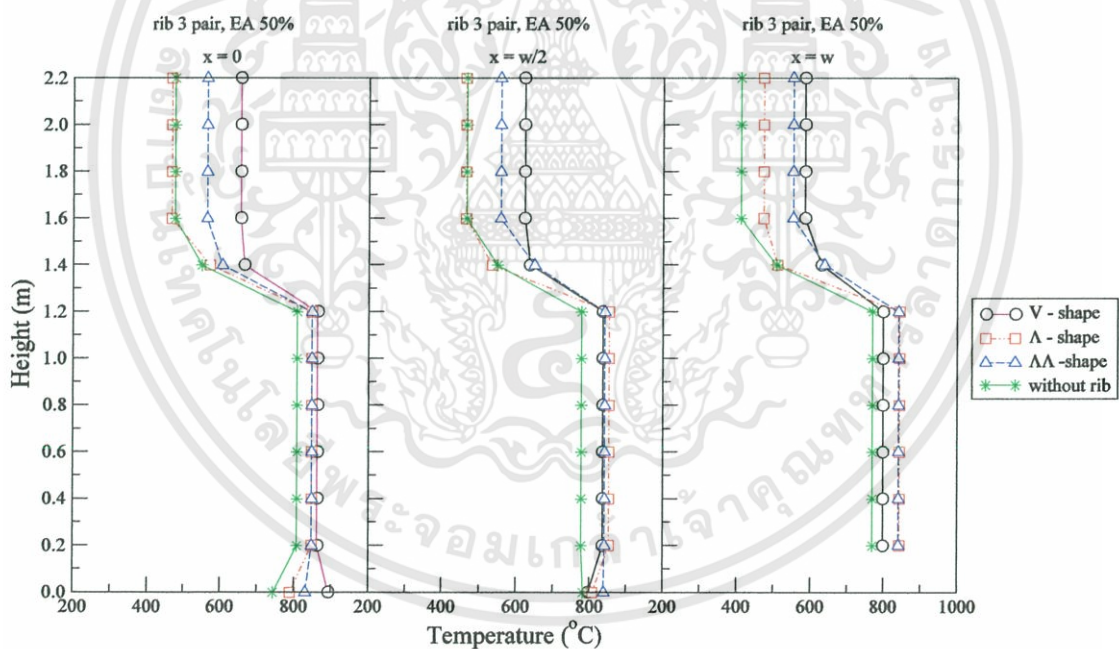
(b)

รูปที่ 5.27 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 3 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



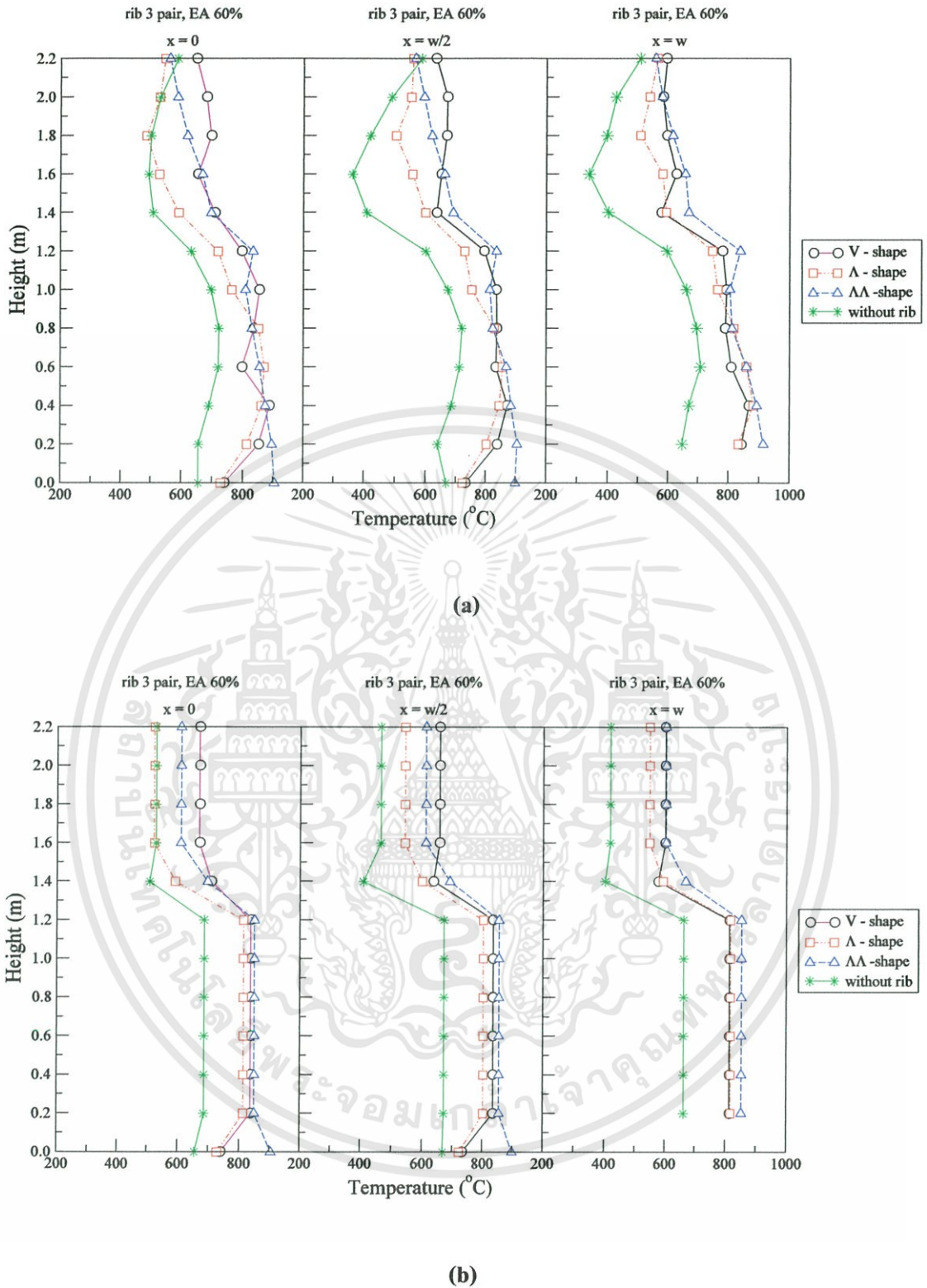
(a)



(b)

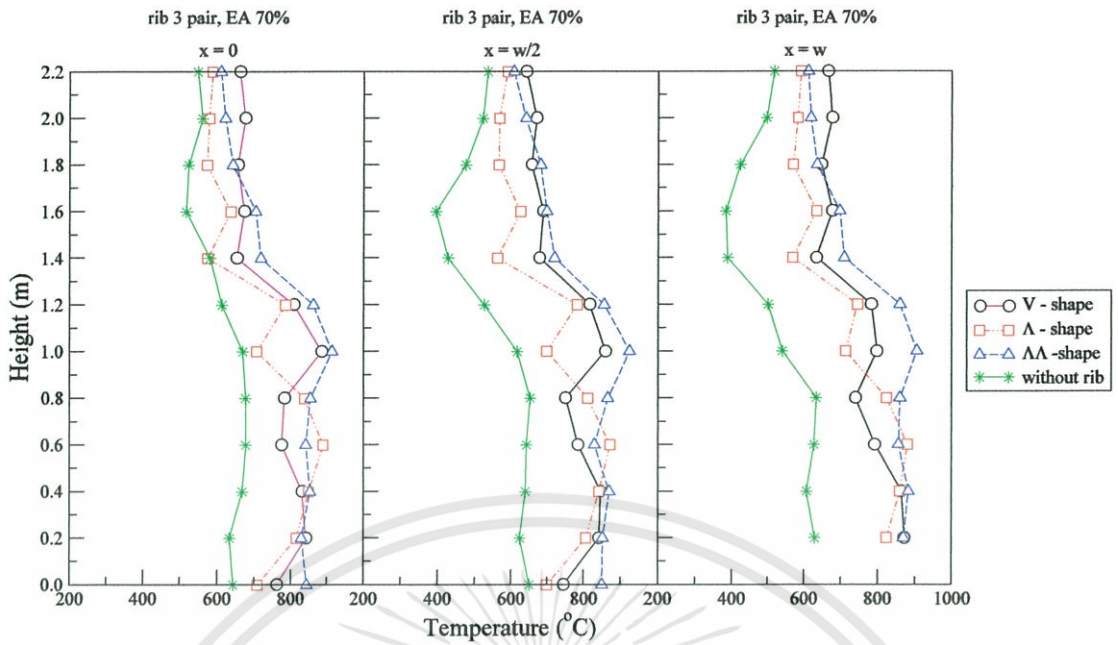
รูปที่ 5.28 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบนจำนวน 3 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

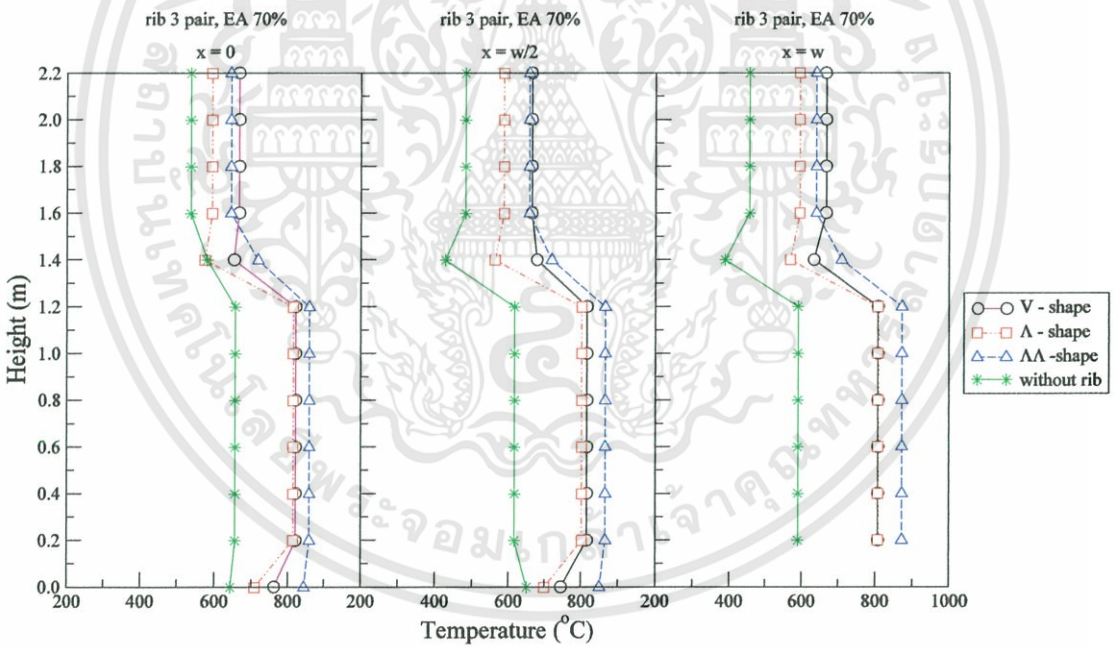


รูปที่ 5.29 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 3 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



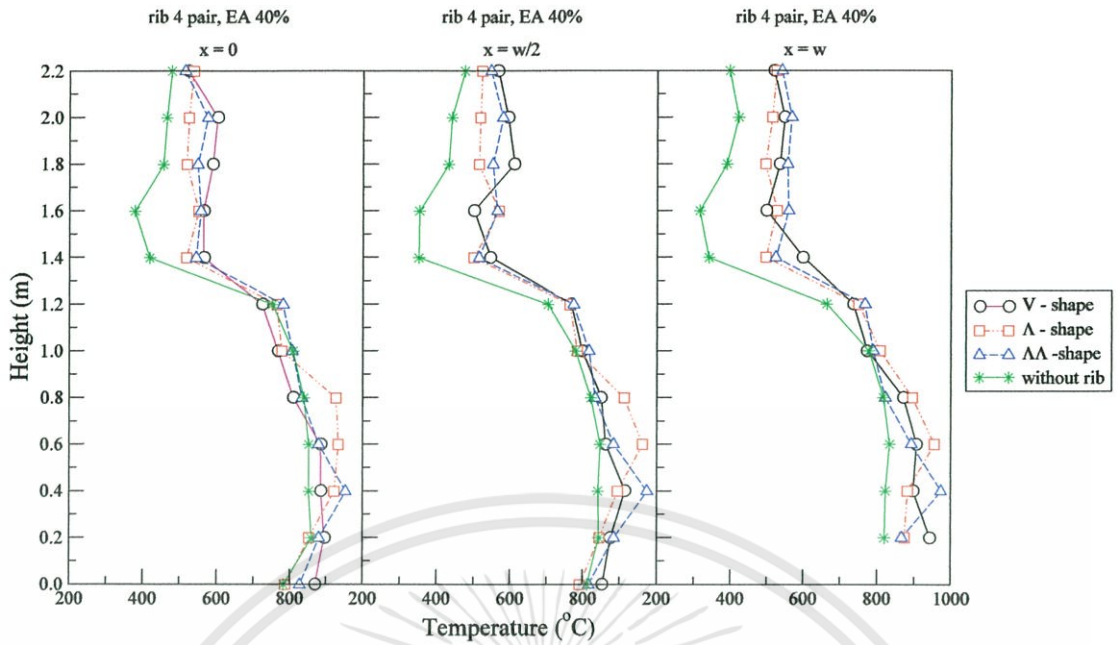
(a)



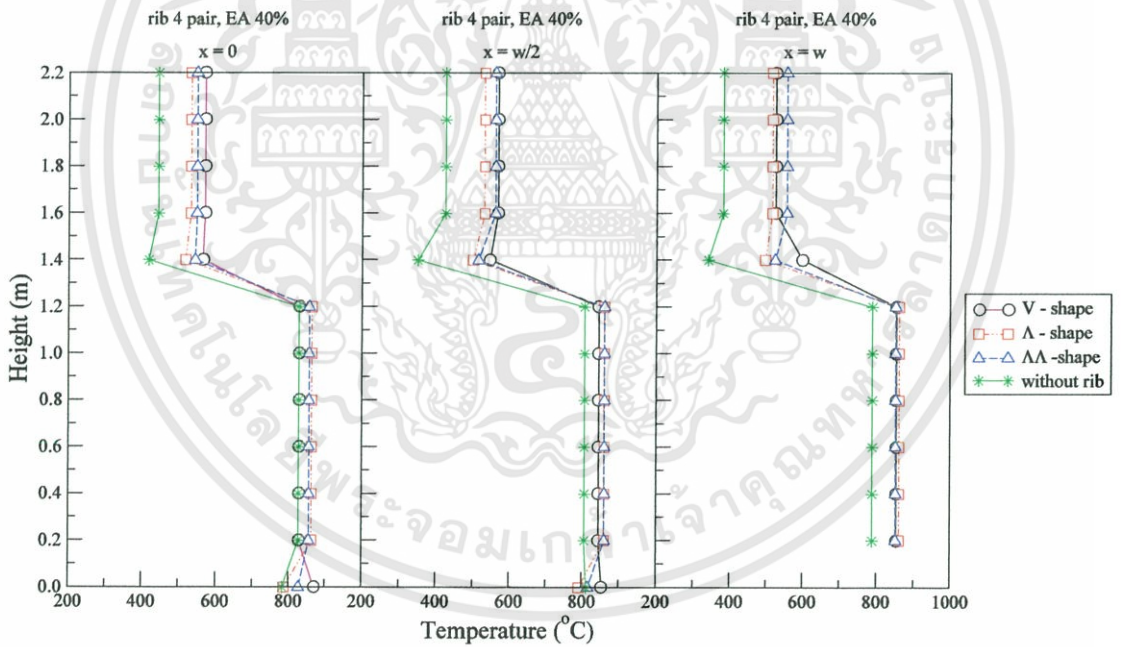
(b)

รูปที่ 5.30 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 3 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



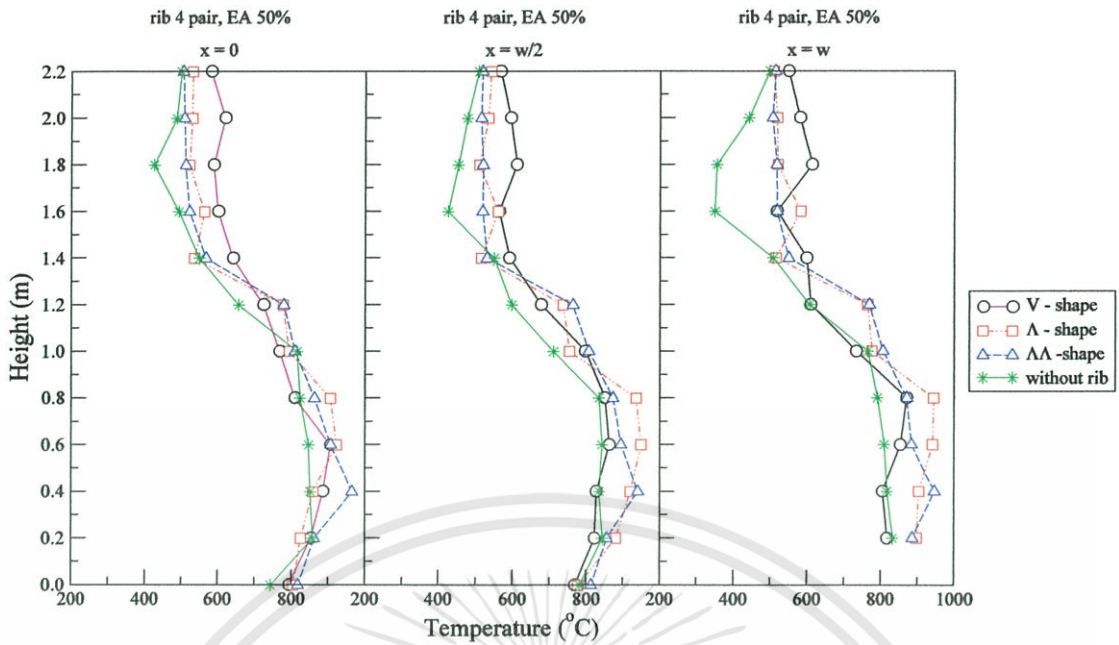
(a)



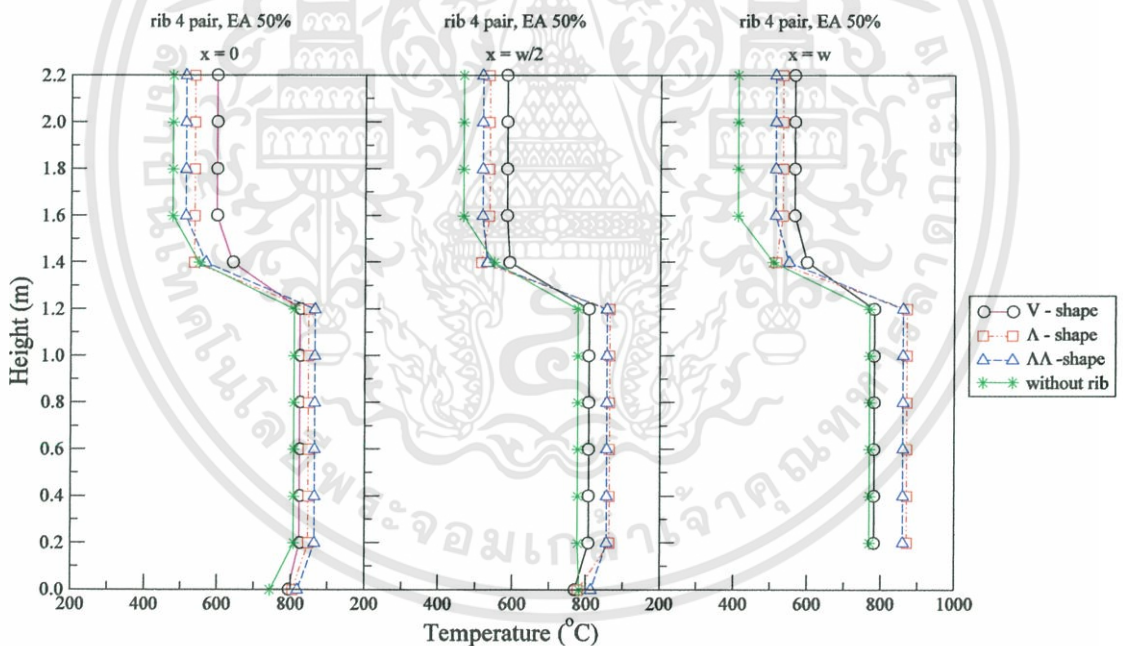
(b)

รูปที่ 5.31 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 4 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



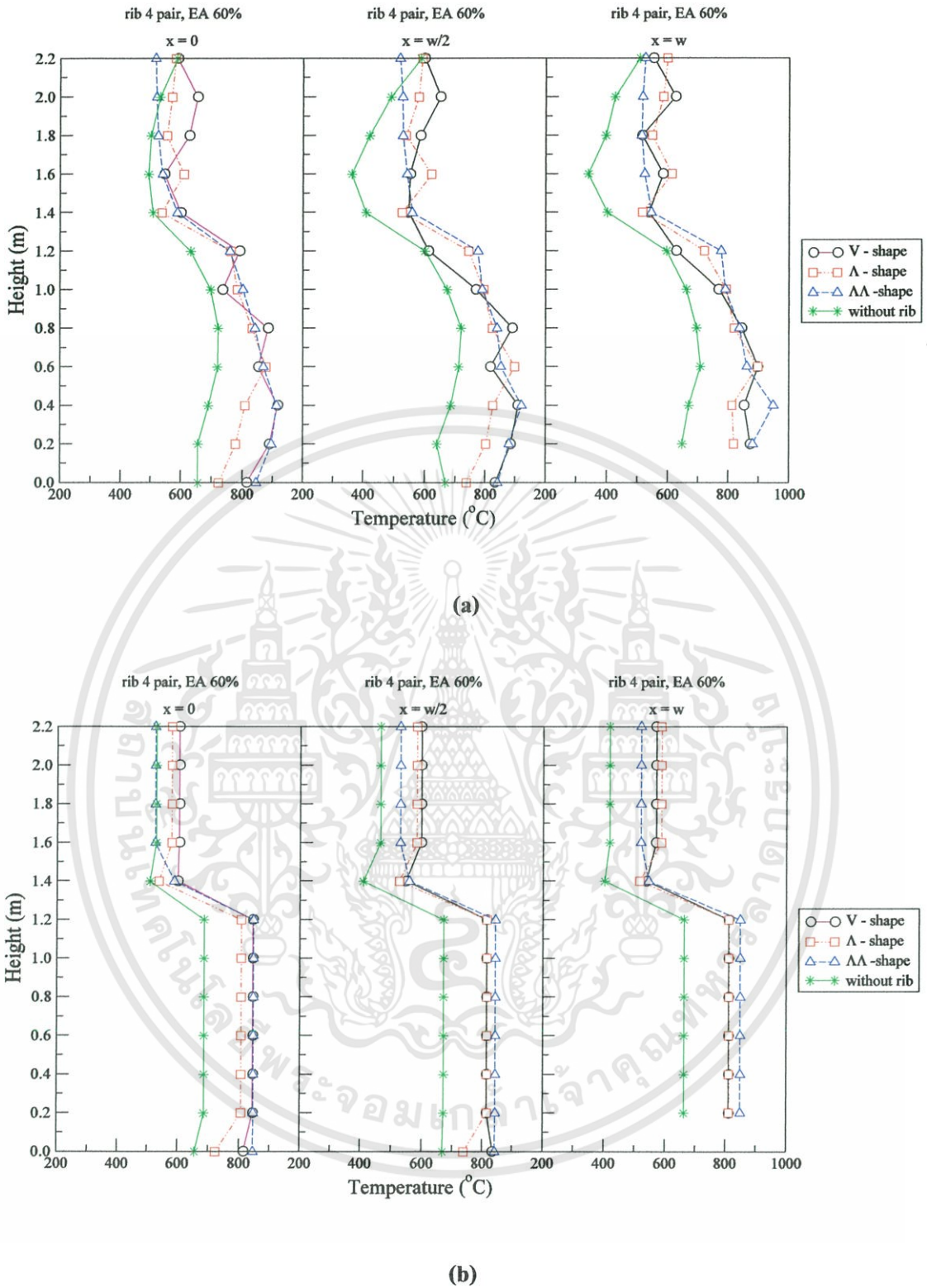
(a)



(b)

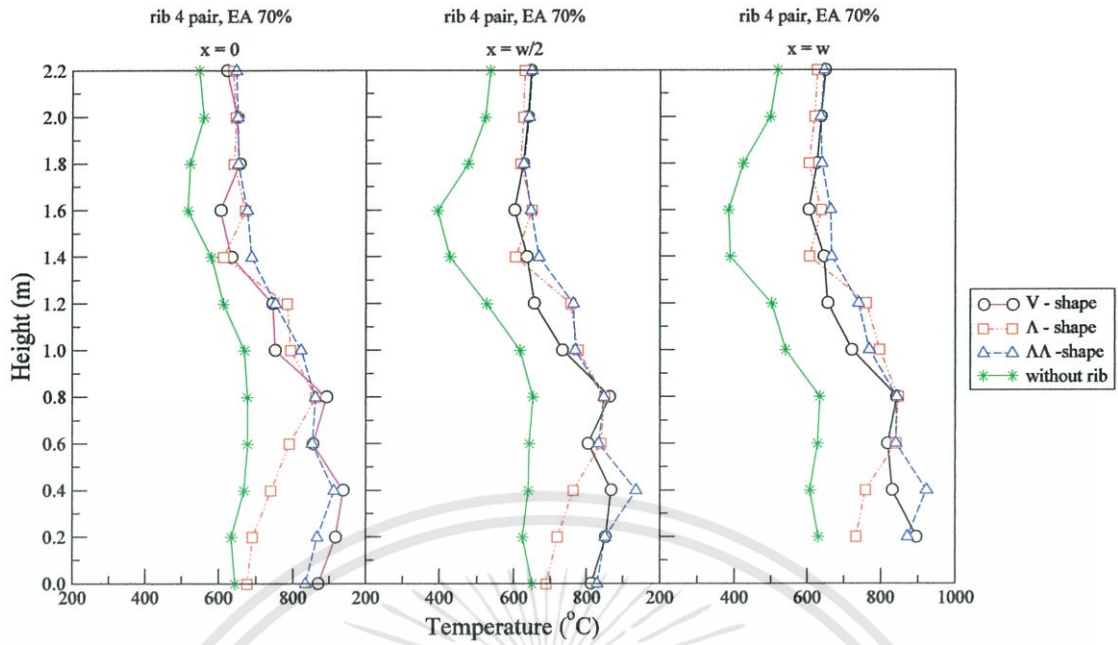
รูปที่ 5.32 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 4 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

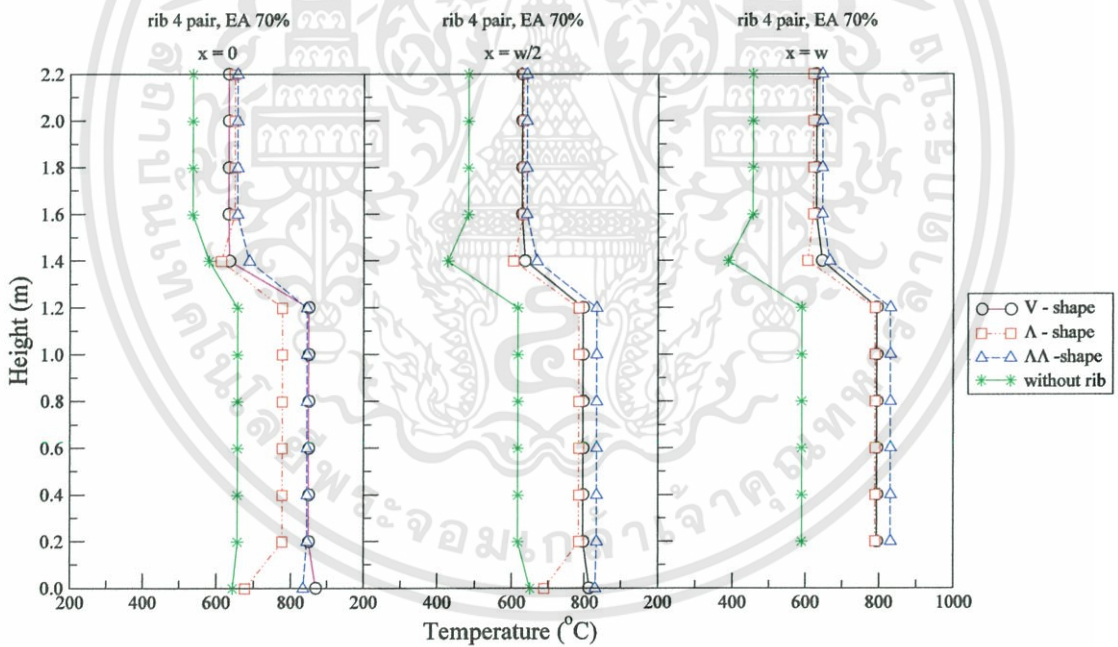


รูปที่ 5.33 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, (b) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งกริบจำนวน 4 คู่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

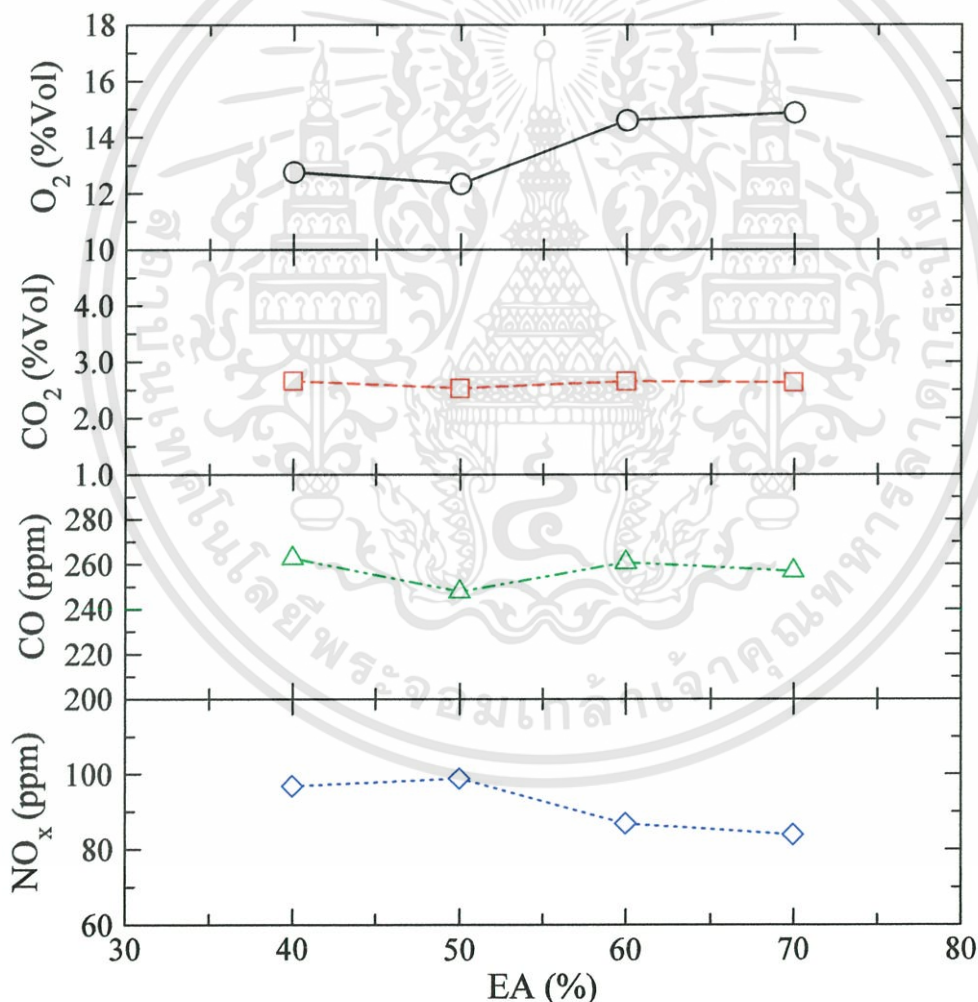
รูปที่ 5.34 (a) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จริงขณะทำการทดลอง, **(b)** ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละช่วง ในกรณีที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบริบจำนวน 4 คู่ เปอร์เซ็นต์พื้นที่อากาศส่วนเกิน 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ปริมาณก๊าซไอเสีย

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตั้งค่ามาข้างต้น สำหรับหัวข้อนี้ จะได้ทำการวิเคราะห์ถึงปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ก๊าซไอเสียที่จะนำพิจารณา นั้น จะมีทั้งหมด 4 ตัว ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งในการวัดปริมาณก๊าซไอเสีย ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ขณะทดลองนั้น จะทำการวัดปริมาณก๊าซที่บริเวณทางออกของเตาเผา ด้วย เครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพและปริมาณก๊าซไอเสีย TESTO 350 XL ปริมาณก๊าซที่วัดได้ จะแสดง ดังรูปที่ 5.35 – 5.38

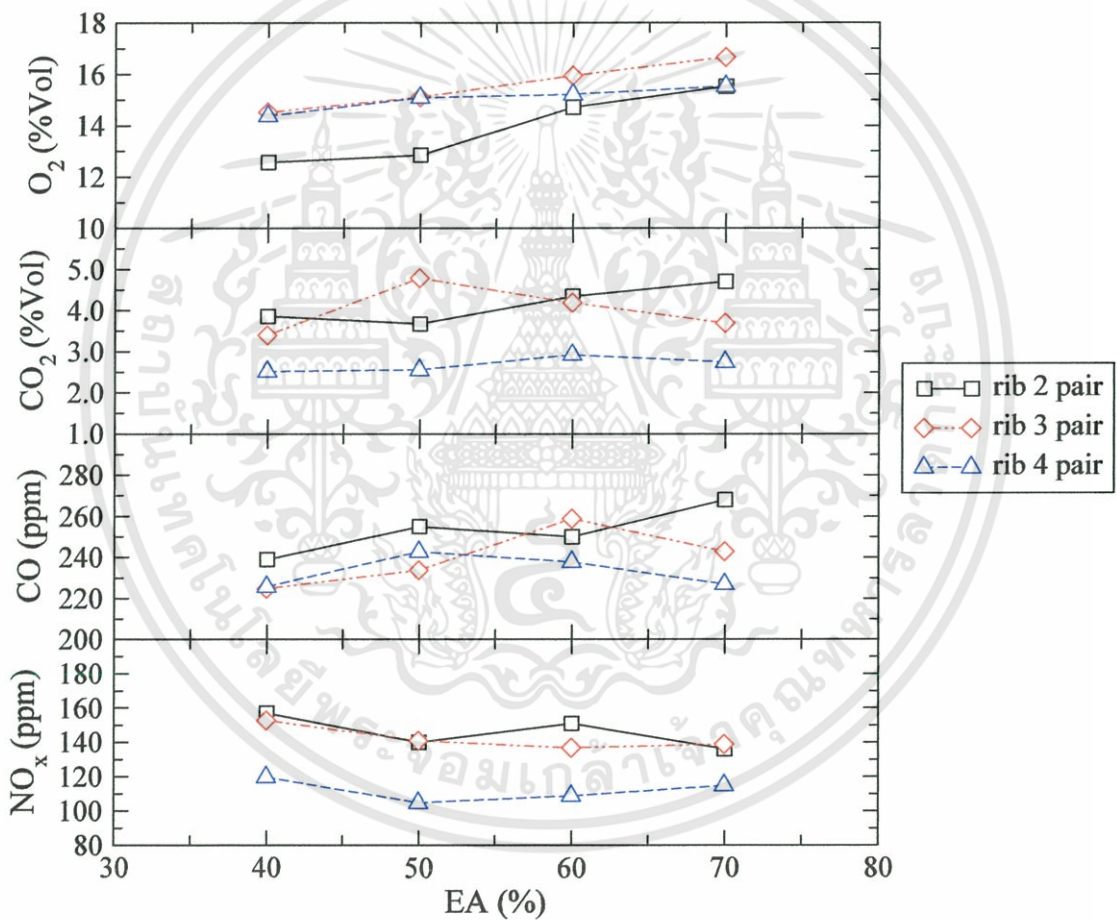
5.5.1 เตาเผาฟลูอิดเบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ



รูปที่ 5.35 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีบ

จากรูปที่ 5.35 พบว่า ปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 12 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 % และมีค่ามากที่สุดประมาณ 15 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 % ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้สำหรับทุก ๆ ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินมีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ที่ประมาณ 3 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 250 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 % และมีค่ามากที่สุดประมาณ 270 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 80 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 % และมีค่ามากที่สุดประมาณ 100 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %

5.5.2 เตาเผาฟลูอิดเบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววี

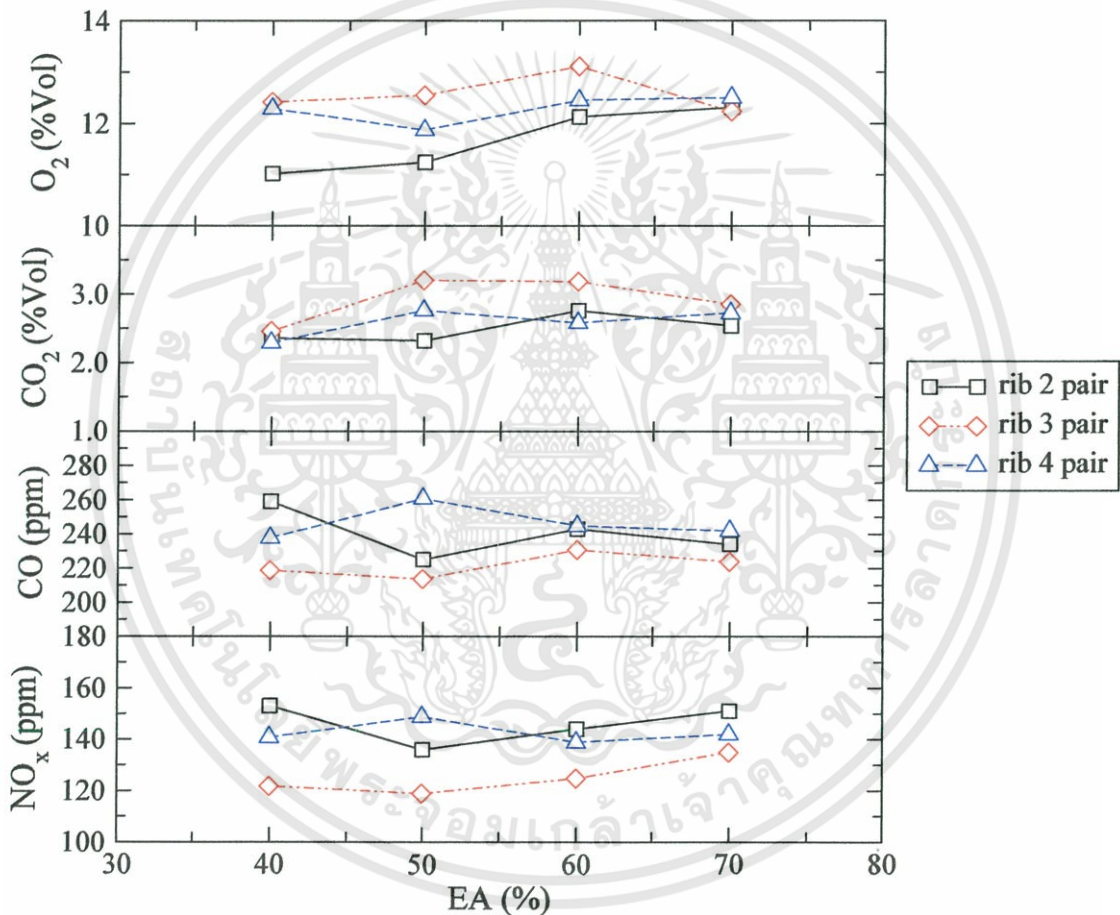


รูปที่ 5.36 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววี

จากรูปที่ 5.36 พบว่า ปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 13 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีบริบ 2 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 17 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %, จำนวนครีบริบ 3 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 3 %Vol ที่

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 4 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 5 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 3 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 230 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 3 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 270 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %, จำนวนครีป 2 คู่ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 100 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 4 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 160 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 2 คู่

5.5.3 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีคว่ำ

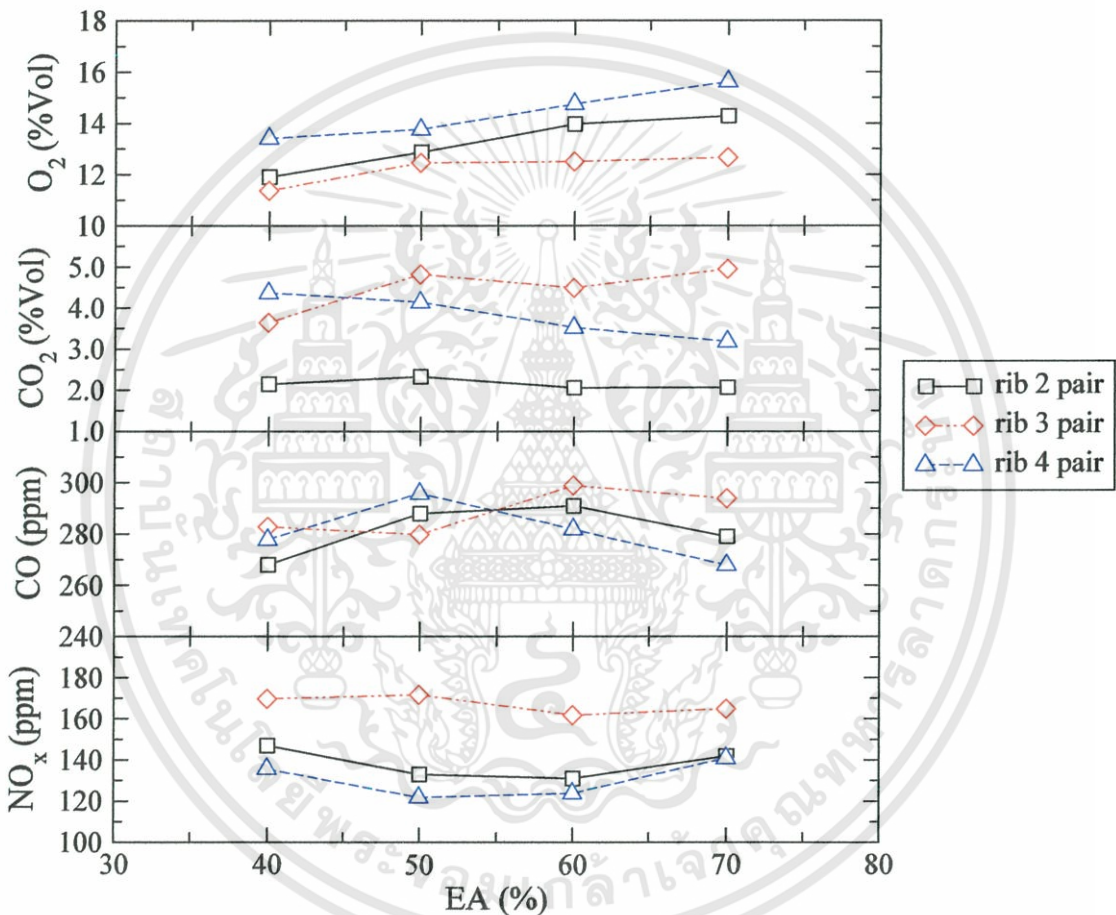


รูปที่ 5.37 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีคว่ำ

จากรูปที่ 5.37 พบว่า ปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 11 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 2 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 13 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, จำนวนครีป 3 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 2 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 4 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 3 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์

อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 3 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 210 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 3 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 260 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 4 คู่ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 120 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 3 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 150 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 2 คู่

5.5.4 เตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีกว่าคู่



รูปที่ 5.38 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นกรณีภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววีกว่าคู่

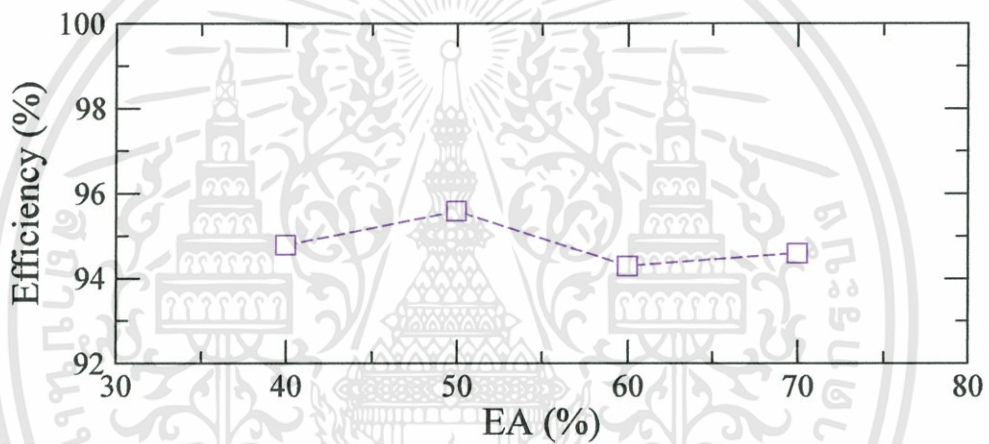
จากรูปที่ 5.38 พบว่า ปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 12 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 3 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 16 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %, จำนวนครีป 4 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 2 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %, จำนวนครีป 2 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 5 %Vol ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 %, จำนวนครีป 3 คู่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ

270 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 2 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 300 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60 %, จำนวนครีป 3 คู่ ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดประมาณ 120 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 4 คู่ และมีค่ามากที่สุดประมาณ 170 ppm ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีป 3 คู่

5.6 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

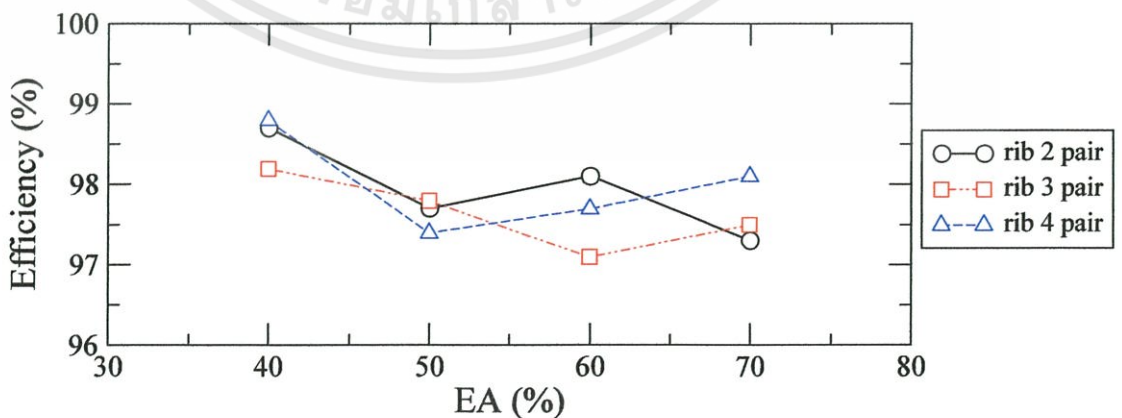
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ที่ได้จากจากทดลองนี้ เป็นค่าที่สามารถวัดได้จาก เครื่องวิเคราะห์ ประสิทธิภาพและก๊าซไอเสีย TESTO 350 XL ดังแสดงในรูปที่ 5.39 – 5.42

5.6.1 เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีป



รูปที่ 5.39 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีในห้องเผาไหม้ไม่ติดครีป

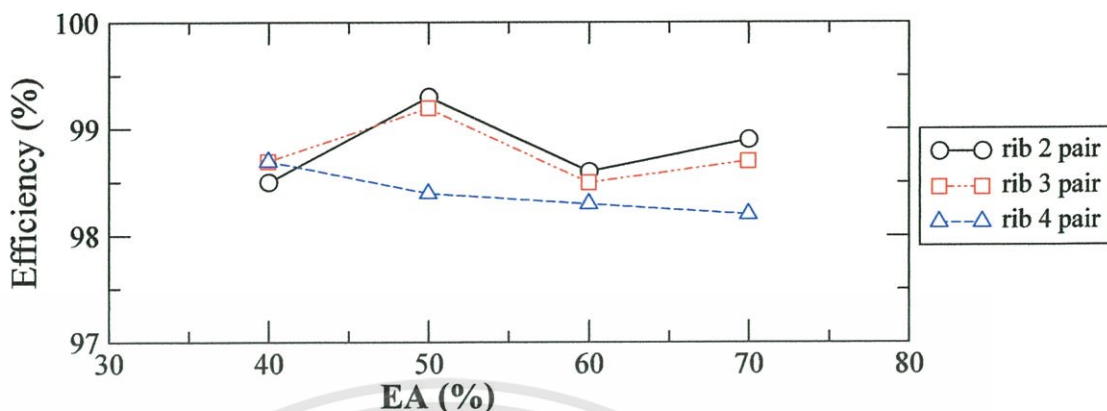
5.6.2 เตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววี



รูปที่ 5.40 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีในห้องเผาไหม้ติดครีปรูปตัววี

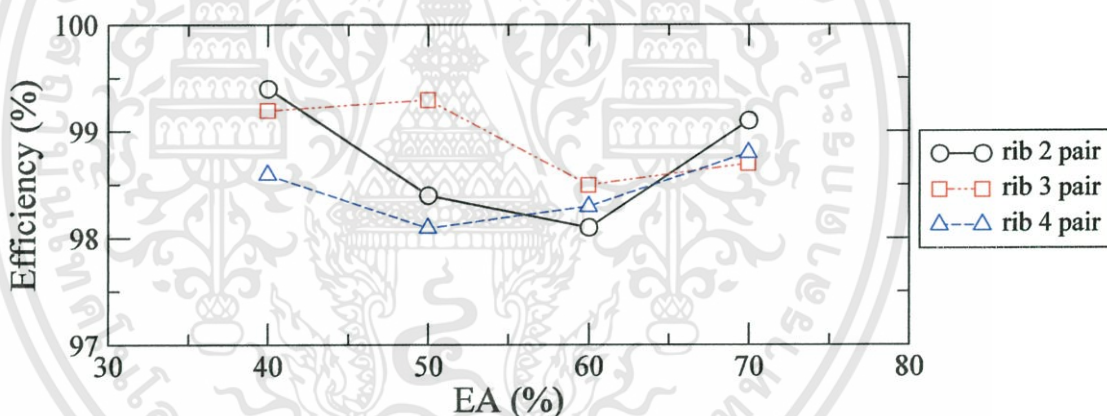
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3 เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววิคว่า



รูปที่ 5.41 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววิคว่า

5.6.4 เตาเผาฟลูอิดไชน์เบดที่ภายในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววิคว่าคู่



รูปที่ 5.42 ประสิทธิภาพการเผาไหม้กรณีในห้องเผาไหม้ติดครีบริบตัววิคว่าคู่

จากรูปที่ 5.39 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาที่ไม่ติดครีบริบ วัตได้สูงสุดประมาณ 96 % อยู่ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 % จากนั้นได้ทำการติดครีบริบภายในเตาเผา ผลที่ได้จะเห็นชัดเจนว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น จากรูปที่ 5.40 ทำการติดครีบริบตัววิ ภายในห้องเผาไหม้จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดถึง 98.80 % ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีบริบ 4 คู่ ต่อจากนั้น ก็ได้ทำการเปลี่ยนมาติดครีบริบตัววิคว่า ภายในห้องเผาไหม้จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดถึง 99.30 % ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50 %, จำนวนครีบริบ 2 คู่ และเมื่อทำปรับเปลี่ยนมาการติดครีบริบตัววิคว่าคู่ ภายในห้องเผาไหม้จำนวน 2 คู่, 3 คู่

และ 4 คู่ จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 99.40 % ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 %, จำนวนครีป 2 คู่

5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการวิเคราะห์ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ผลของจำนวนครีป ผลของลักษณะครีป รวมไปถึงการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้ จะเห็นได้ว่า การกระจายตัวของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาในกรณีที่ติดครีปนั้นจะให้กระจายตัวดีกว่ากรณีที่ไม่ติดครีป ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผา ระดับอุณหภูมิไอเสียที่ทางออก และประสิทธิภาพการเผาไหม้ก็ให้ค่าที่สูงกว่าเช่นเดียวกัน ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ จะมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งในกรณีที่ไม่ติดครีปและในกรณีที่ติดครีป คือ ระดับอุณหภูมิในส่วนของห้องเผาไหม้จะมีค่าที่สูงกว่าในส่วนของพรีบอร์ค เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในส่วนของห้องเผาไหม้ระดับอุณหภูมิในส่วนนี้จึงมีค่าที่สูง และมีเชื้อเพลิงเพียงบางส่วนเท่านั้นที่หลุดลอยไปยังพรีบอร์คและเกิดการเผาไหม้ในส่วนนั้น ระดับอุณหภูมิในส่วนพรีบอร์คจึงมีค่าที่ต่ำ จากนั้นเมื่อนำผลของเตาเผาในกรณีที่ติดครีปมาเปรียบเทียบกับกัน ก็จะพบว่า เมื่อทำการติดครีปรูปตัววี รูปตัววีคว่ำ และรูปตัววีคว่ำคู่ ผลของระดับอุณหภูมิในกรณีที่ติดครีปรูปตัววี และรูปตัววีคว่ำคู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิต่ำกว่าเตาเผาที่ติดครีปรูปตัววีคว่ำ ในกรณีที่ไม่ติดครีปรูปตัววี จำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 747 °C และจะให้ค่าระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 657 °C ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.20 % ในกรณีติดครีปรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ โดยให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 778 °C และ 759 °C ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.70 % และ 98.80 % ตามลำดับ และอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยเท่ากับ 611°C และ 648°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ในระหว่างการทดลองที่ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 70 % ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ

สำหรับ ครีปรูปตัววี จำนวน 3 คู่ ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) เท่ากับ 16.67 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 3.70 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เท่ากับ 243 ppm และปริมาณก๊าซออกซิเจน (NO_x) เท่ากับ 139 ppm

สำหรับ ครีปรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 3 คู่ ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) เท่ากับ 12.68 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 4.95 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เท่ากับ 294 ppm และปริมาณก๊าซออกซิเจน (NO_x) เท่ากับ 165 ppm

สำหรับ ครีปรูปตัววีคว่ำคู่ จำนวน 4 คู่ ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) เท่ากับ 15.63 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 3.19 %Vol, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เท่ากับ 268 ppm และปริมาณก๊าซออกซิเจน (NO_x) เท่ากับ 141 ppm

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายอุณหภูมิ ความเสถียรภาพของเปลวไฟ ปริมาณของ ก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ เเปอร์เซ็นต์ อากาศส่วนเกิน และลักษณะของห้องเผาไหม้แบบต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการนำไปสู่การออกแบบ และพัฒนาเตาแกลบเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีประสิทธิภาพสูง จากผลการทดลอง และการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

ผลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน

- กรณีเตาเผาที่ไม่ติดครีบ เมื่อเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินจะเป็นผลทำให้ความเร็ว อากาศภายในเตาเผาสูงขึ้นด้วย จากการวัดการกระจายของระดับอุณหภูมิภายในเตา พบว่า ที่ค่า เเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ ระดับอุณหภูมิจะสูงกว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ในส่วนของห้องเผาไหม้ และในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าสูง ระดับอุณหภูมิจะสูง กว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มีค่าต่ำ ในบริเวณส่วนของฟริบอร์ค นั่นคือ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ อากาศส่วนเกิน 70 % จะให้ระดับอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์ อากาศส่วนเกิน 40 % แต่ในส่วนฟริบอร์คที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70 % จะให้ระดับของ อุณหภูมิจะสูงกว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % สำหรับระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศ ส่วนเกิน 50 % และ 60 % ระดับอุณหภูมิจะมีค่าอยู่ระหว่างที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40 % และ 70 %

- กรณีเตาเผาที่ติดครีบ พบว่า ลักษณะการกระจายอุณหภูมิเหมือนกันกับในกรณีที่ เตาเผาไม่ติดครีบ คือ ระดับอุณหภูมิจะสูงในส่วนห้องเผาไหม้ และระดับอุณหภูมิจะต่ำลงใน ส่วนของฟริบอร์ค เมื่อทำการหาค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผา ระดับอุณหภูมิไอเสียที่ ทางออก และประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า ให้ระดับอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ เตาเผาไม่ติดครีบ

ผลของจำนวนครีบ พบว่า เมื่อทำการติดตั้งครีบ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ นั้นจะให้ระดับอุณหภูมิ ที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทำการติดตั้งครีบ จำนวน 2 คู่

ผลของลักษณะครีป พบว่า ในกรณีทำการติดตั้ง ครีปรูปตัววี และครีปรูปตัววีคว่ำ จะให้ระดับอุณหภูมิได้ภายในเตาเผา และระดับอุณหภูมิไอเสียที่ทางออกนั้นจะสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ทำการติดตั้งครีปรูปตัววีคว่ำ

สรุปผลการทดลองที่ได้ คือ ในกรณีที่ติดครีปรูปตัววี จำนวน 3 คู่ จะให้ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 747°C และจะให้ค่าระดับอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 657°C ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.20 % ในกรณีติดครีปรูปตัววีคว่ำ จำนวน 3 คู่ และ 4 คู่ โดยให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 778°C และ 759°C ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เท่ากับ 98.70 % และ 98.80 % ตามลำดับ และอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยเท่ากับ 611°C และ 648°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ในระหว่างการทดลองที่ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 70 % ส่วนปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำทั้งกรณีที่ติดครีป และไม่ติดครีป

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาถึงอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ลักษณะของครีป และจำนวนของครีป ที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งทำการทดลองโดยมีการปรับเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน จะทำการปรับค่าทั้งหมด 4 ค่า คือ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60%, 70% ตามลำดับ และมีลักษณะของครีป และจำนวนครีปดังนี้ คือ ครีปรูปตัววี จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่, ครีปรูปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ และครีปรูปตัววีคว่ำ จำนวน 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ว่ามีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบอย่างไร และยังสามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัย และพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไคซ์เบดต่อไป สำหรับผู้ที่มีความสนใจในเรื่องนี้ที่จะทำการวิจัย และศึกษาเพื่อพัฒนาต่อไปอีก ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะทางในการศึกษาวิจัยไว้ ดังนี้

1. การเลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ถ่านหิน ขี้เลื่อย ชานอ้อย หรือใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดมาผสมกัน
2. เพิ่มตำแหน่งการติดตั้งครีปที่ฟริบอร์ค เพราะการทดลองนี้ได้ทำการติดตั้งครีปภายในห้องเผาไหม้เท่านั้น
3. ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน จำนวนครีป ลักษณะครีป และ ระยะห่างระหว่างครีป ที่ต่างกันจากงานวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- [1] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล., “การศึกษาผลกระทบของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิในเตาเผาแกลบฟลูอิดไคซ์เบค”, ในงานประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23 – 25 พฤษภาคม 2550.
- [2] จิตวิวัฒน์ ผุนลาวงษ์., “พฤติกรรมการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบหมุนเวียน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17 – 19 ตุลาคม 2550.
- [3] สุนทร ละอองนวล., “การศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาแบบฟิซเบค”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
- [4] ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์., “การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไคซ์เบคแบบหมุนเวียน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2004.
- [5] นิยม ศรีศิริสิทธิกุล., “การศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบแผ่นกระจายคู่”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 15 - 17 ตุลาคม 2546.
- [6] กษมา เจริญจิตรสกุล., “Major gaseous and PAH emissions from a fluidized-bed combustor firing rice husk with high combustion efficiency”, Fuel Processing Technology.89 (2008), 777 – 787.
- [7] Chyang C.S., Wu K.T., Lin C.S., “Emission of nitrogen oxides in a vortexing fluidized bed combustor”, Fuel.86 (2007), 234 – 243.
- [8] Albina D.O., “Emissions from multiple-spouted and spout-fluid fluidized beds using rice husks as fuel”, Renewable Energy.31 (2006), 2152 – 2163.
- [9] 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.
- [10] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] 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.
- [12] Geldart D., “Types of Gas Fluidization”, *Powder Technol.* 7 (1973), 285-292.
- [13] Kunii D. and Levenspiel O., *Fluidization Engineering*, second edition, Butterworth-Heinemann, Stoneham, 1991.
- [14] Stephen R., Turns, *An Introduction to Combustion (Concepts And Applications)*, McGraw – Hill International Editions, 1996, pp. 19.
- [15] Saxena, S.C., jonshi, C.K., *Fluidized bed incineration ok waste material*, *Progress in Energy and Combustion Science* 20, 281-324., 1994.
- [16] Nieh, S. and Zhang, J., “Comprehensive Modeling of Pulverized Coal Combustion in a Vortex Combustor.” *Fuel*, 76(2) : 123 -131., 1997.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิต ทางการเกษตรเป็นชีวมวล⁽¹⁾

ชนิด	ผลผลิต	Crop/residue ratio	Energy content(MJ/kg)
อ้อย	ชานอ้อย	0.25 ⁽²⁾	9.25 ⁽²⁾
ข้าวเปลือก	แกลบ	0.23	14.27
	ฟางข้าว	0.447	10.24
มันสำปะหลัง	ลำต้นมันสำปะหลัง	0.08	18.42
ปาล์มน้ำมัน	ทะลายปาล์ม	0.428	17.86
	เส้นใยปาล์ม	0.147	17.62
	กะลาปาล์ม	0.049	18.46
มะพร้าว	กาบมะพร้าว	0.362	16.23
	กะลามะพร้าว	0.16	17.93

ที่มา: (1) Biomass Energy in Asia: A Study on Selected Technologies and Policy Options, December 1999 โดย กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

(2) สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย

ตารางที่ ก.2 แสดงปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2540/2541

ชนิด	ผลผลิต ⁽¹⁾	ชีวมวล	พลังงานทั้งหมด		
	(1,000 ตัน)		ประเภท	(1,000 ตัน)	(1,000 GJ)
อ้อย	46,873	ชานอ้อย	11,718	108,392	2,566
ข้าวเปลือก ⁽²⁾	23,580	แกลบ	5,423	77,386	1,832
		ฟางข้าว	10,540	107,930	2,555
มันสำปะหลัง	15,590	ลำต้นมันสำปะหลัง	1,247	22,970	544
ปาล์มน้ำมัน	2,681	ทะลายปาล์ม	1,147	20,485	485
		เส้นใยปาล์ม	394	6,942	164
		กะลาปาล์ม	131	2,418	57
มะพร้าว	1,386	กาบมะพร้าว	502	8,147	193
		กะลามะพร้าว	222	3,980	94
รวม	90,110		31,324	358,650	8,490

ที่มา: (1) สถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์

(2) รวมผลผลิตข้าวเปลือกจากนาปีและนาปรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ได้นำไปใช้ ของประเทศไทย ปี 2541

ชนิด	ปริมาณ ชีวมวล ที่ผลิตได้ (1,000 ตัน)	Surplus availability factor	ปริมาณ ชีวมวล ที่เหลือ (1,000 ตัน)	พลังงาน ทั้งหมด		สามารถผลิต ไฟฟ้าได้ (MW)
				(1,000 GJ)	(1,000 toe)	
ชานอ้อย	11,718	0.207 ⁽¹⁾	2,426	22,441	531	202 ⁽⁴⁾
แกลบ	5,423	0.469 ⁽²⁾	2,543	36,289	859	426 ⁽⁵⁾
ทะลายปาล์ม	1,147	0.584 ⁽³⁾	670	11,966	283	
เส้นใยปาล์ม	394	0.134 ⁽³⁾	53	934	22	75 ⁽⁶⁾
กะลาปาล์ม	131	0.037 ⁽³⁾	5	92	2	
รวม	18,813		5,697	71,722	1,697	703

ที่มา: (1) Thailand Biomass-Based Power Generation and Cogeneration Within Small Rural Industries, January 1999 โดย บริษัท Black & Veatch (Thailand)

(2) รายงานพลังงานของประเทศปี 2540 โดยรวมปริมาณแกลบที่ใช้ในการผลิตถ่านไม้เป็นปริมาณที่เหลือด้วย

(3) The Investigation of Residues from Palm Oil Industry, 1995 โดย กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

(4) ปริมาณชานอ้อย 12,010 ตัน ผลิตพลังไฟฟ้าได้ 1 MW-ปี (Plant factor = 0.29)

(5) ปริมาณแกลบ 5,969 ตัน ผลิตพลังไฟฟ้าได้ 1 MW-ปี (Plant factor = 0.68)

(6) ปริมาณกากปาล์ม จำนวน 9,707 ตัน ผลิตพลังไฟฟ้าได้ 1 MW-ปี (Plant factor = 0.57)



ภาคผนวก ข.
ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

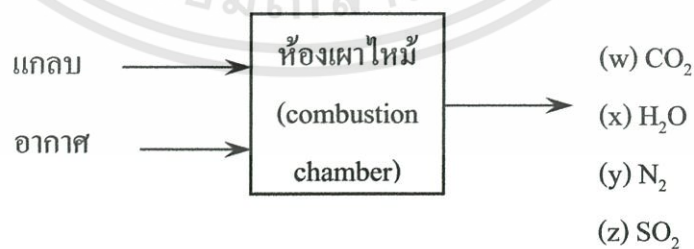
จากตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ

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

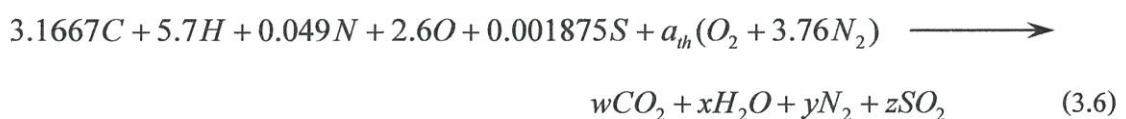
ตารางที่ ข.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

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

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แกลบ สามารถเขียน ได้ดังนี้



สามารถเขียนในรูปสมการปฏิกิริยาเคมี ได้เป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสมมูลสมการ จะได้

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

ทำการแทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\begin{aligned}
 3.1667C + 5.7H + 0.049N + 2.6O + 0.001875S + 3.2936(O_2 + 3.76N_2) & \longrightarrow \\
 3.1667CO_2 + 2.85H_2O + 12.406N_2 + 0.001875SO_2 &
 \end{aligned}$$

จำนวน โมลของอากาศแห้งของปฏิกิริยาเคมีนี้ มีค่าเท่ากับ

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

เนื่องจากการสมมูลสมการ ใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองนั้นไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยจะทำการกำหนดสถานะของอากาศ เป็นดังต่อไปนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) เท่ากับ 53%

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สถานะนี้(เป็นค่าที่เปิดจากตาราง) จะได้

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

$$\therefore P_{v,air} = \Phi_{air} P_{\text{sat},H_2O} = 0.53 \times 5.0752 = 2.690 \text{ kPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศหาได้จากสมการ

$$\left(\frac{N_{v_{H_2O,air}}}{N_{v_{total}}} \right) = \left(\frac{P_{v_{air}}}{P_{v_{total}}} \right)$$

$$\begin{aligned} N_{v_{H_2O,air}} &= \left(\frac{P_{v_{air}}}{P_{v_{total}}} \right) N_{v_{total}} \\ &= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) \times (15.678 + N_{v_{H_2O,air}}) \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\therefore N_{v_{H_2O,air}} = 0.4276 \text{ kmol}$$

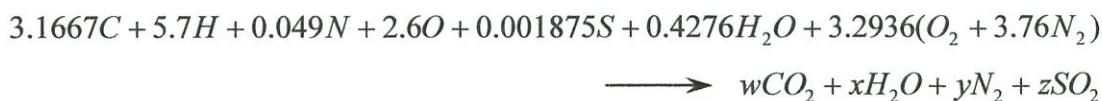
เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชื้นใหม่จะได้ ดังนี้



ทำการสมดุลสมการ จะได้

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

นำค่าตัวแปรที่ทำการคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการ จะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชื้นกับเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการเผาไหม้พอดี คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (3.7)$$

มวลของอากาศเท่ากับ

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

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

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

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} = \frac{461.875 \text{ kg}}{86.046 \text{ kg}} \\ = 5.368$$

สมการ การหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air) หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air)} = \left[\frac{(A/F)_{Actual}}{(A/F)_{Stoic}} - 1 \right] \times 100\% \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น ทำการหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.6 kg/hr จะได้
กรณีอัตราส่วนผสมคือ

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

$$A = 5.368 \times 8.6 \text{ kg / hr}$$

$$= 46.4 \text{ kg / hr}$$

ตารางที่ ข.2 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีอัตราส่วนผสมพอดี

อัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (กก./ชม.)	ปริมาณอากาศที่อัตราส่วนผสม พอดี (กก./ชม.)
200	5.5	29.4
250	7.2	38.9
300	8.6	46.4
350	10.4	56.0
400	11.8	63.1

ตารางที่ ข.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ ในกรณีทดลองที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)	ปริมาณอากาศที่ใช้ (กก./ชม.)
40%	64.96
50%	69.60
60%	74.24
70%	78.88

2. การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ

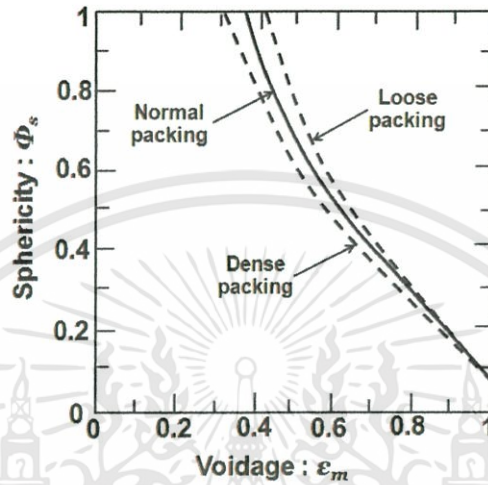
2.1 การหาสัดส่วนช่องว่าง (ϵ_m) และ ความกลม (ϕ_s) ของแกลบ

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

จากการทดลองปริมาตรของ n-hexane ก่อนผสม = 55 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของเกล็ดและช่องว่าง} &= 20.5 \text{ mm.} \\
 \text{ปริมาตรหลังผสม} &= 58 \text{ mm.} \\
 \text{สัดส่วนของช่องว่างของเบค} &= \frac{55 + 20.5 - 58}{20.5} \\
 &= 0.85
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบค

จากรูปที่ 3.10 เส้น normal packing จะได้

$$\varepsilon_m = 0.85$$

$$\phi_s = 0.24$$

2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเทียบกับเกล็ด (d_p)

$$\text{ปริมาตรของเกล็ดและช่องว่าง} = 20.5 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{จำนวนของอนุภาค} = 600 \text{ อนุภาค}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของเกล็ด} &= \text{จำนวนของอนุภาค} \times \frac{\pi d_p^3}{6} \\
 &= \text{ปริมาตรของเกล็ดและช่องว่าง} \times (1 - \varepsilon_m)
 \end{aligned}$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

2.3 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไชน์เบด (U_{mf})

ค่าความกลมกลีบ, $\phi_s = 0.24$

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

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

คุณสมบัติของอากาศ ที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่าดังนี้

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

จากตารางที่ 3.6 ค่า K_1 และค่า K_2

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

หาค่าจากตาราง จะได้ว่า

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

$$K_2 = \frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\varepsilon_{mf}^3 = \frac{1.75}{24.5098 \times 0.24} = 0.2975$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.6675$$

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

$$K_1 = \frac{150(1 - 0.6675)}{0.2975 \times 0.24} = 2911.4317$$

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (3.18)$$

แทนค่าในสมการหาค่า Ar ได้ดังนี้

$$Ar = \frac{0.214^3 \times 0.0012 \times (0.8473 - 0.0012) \times 981}{0.00018^2} = 301278.58$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอซ์ คือสมการ

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \frac{(d_p U_{mf} \rho_g)^2}{\mu^2} + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf}) d_p U_{mf} \rho_g}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2 \mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (3.15)$$

แทนค่า K_1, K_2, Ar จะได้

$$K_2 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.0012]^2}{0.00018^2} + K_1 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.0012]}{0.00018} = 301278.58$$

$$49.8867U_{mf}^2 + 4157.6425U_{mf} = 301278.58$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 950 °C

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

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

$$Ar = \frac{0.214^3 \times 0.2892 \times 10^{-3} \times (0.8473 - 0.2892 \times 10^{-3}) \times 981}{(4.7456 \times 10^{-3})^2} = 10457.19$$

แทนค่าเพื่อหา U_{mf}

$$K_2 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]^2}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} + K_1 \frac{[0.214 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} = 10457.19$$

$$0.41685U_{mf}^2 + 379.6885U_{mf} = 10457.19$$

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

2.4 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิดไคซ์ (U_t)

แก๊ส, $\phi_s = 0.24$

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

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

อากาศ, $\rho_g = 1.2 \times 10^{-3}$

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

จากสมการ

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

แทนค่าจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_p^* = 67.038$$

จากนั้นหาค่าของ

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

แทนค่าจะได้

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

$$U_t^* = 4.20045$$

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

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

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้

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

$$\eta_{com} [\%] = 100 - loss [\%] \quad (3.34)$$

โดยที่ค่าการสูญเสีย (loss) สามารถคำนวณได้จากสมการ ข้างล่าง คือ

$$loss [\%] = \frac{1}{10} \left[\frac{A}{20.94 - O_2} + B \right] \cdot (FT - AT) + C \quad (3.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A B และ C	คือ แฟกเตอร์ของเชื้อเพลิงได้จากคู่มือการใช้งาน
O ₂	คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการวัดค่า
FT	คือ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย
AT	คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

ตัวอย่าง การคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในกรณีเตาเผาที่ไม่มีการติดตั้งครีป ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% เมื่อค่าที่วัดได้ ดังนี้

$$O_2 = 12.34 \%Vol$$

$$FT = 503 \text{ }^{\circ}C$$

$$AT = 32 \text{ }^{\circ}C$$

$$A = 0.6175$$

$$B = 0.0025$$

$$C = 8.14$$

(A, B และ C แฟกเตอร์ของเชื้อเพลิง wood 10 % : เปิดค่าจากคู่มือการใช้อุปกรณ์

Testo 350XL)

แทนค่า ในสมการที่ 14 จะได้

$$\begin{aligned} loss [\%] &= \frac{1}{10} \left[\frac{0.6175}{20.94 - 12.34} + 0.0025 \right] \cdot (503 - 32) + 8.14 \\ &= 4.31\% \end{aligned}$$

จากสมการที่ 13 สามารถคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ ได้ดังนี้

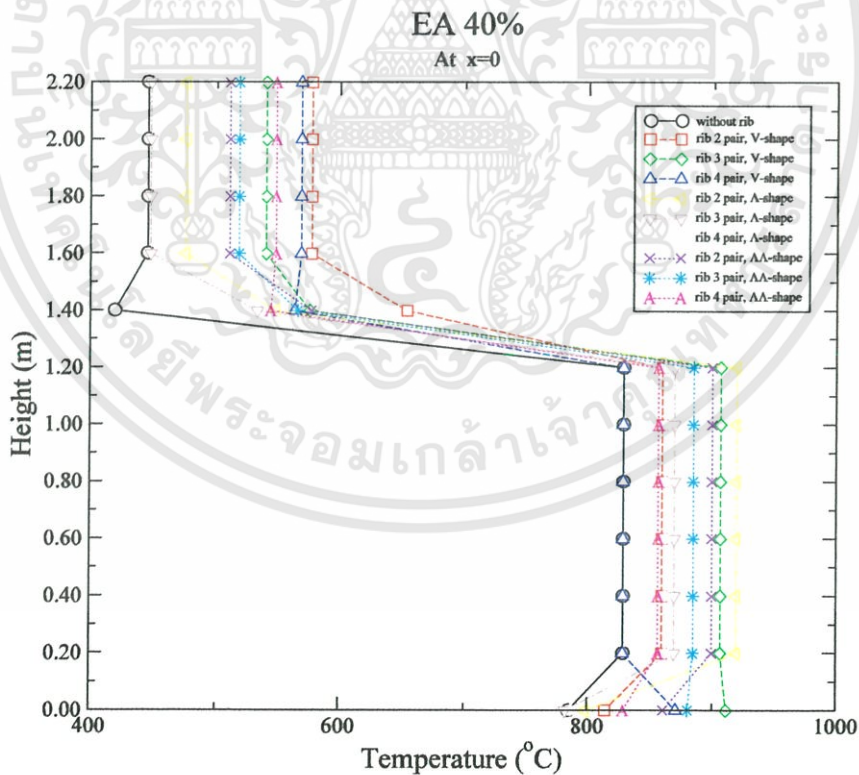
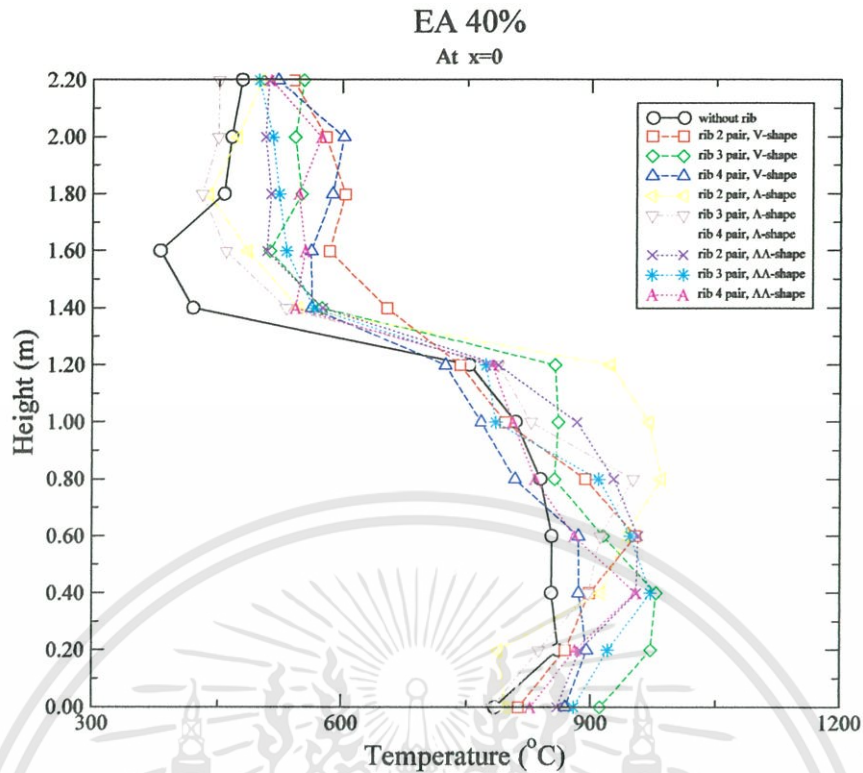
$$\begin{aligned} \eta_{com} [\%] &= 100 - 4.31 \\ &= 95.69\% \end{aligned}$$

(ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่วัดได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย มีค่าเท่ากับ 95.6 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



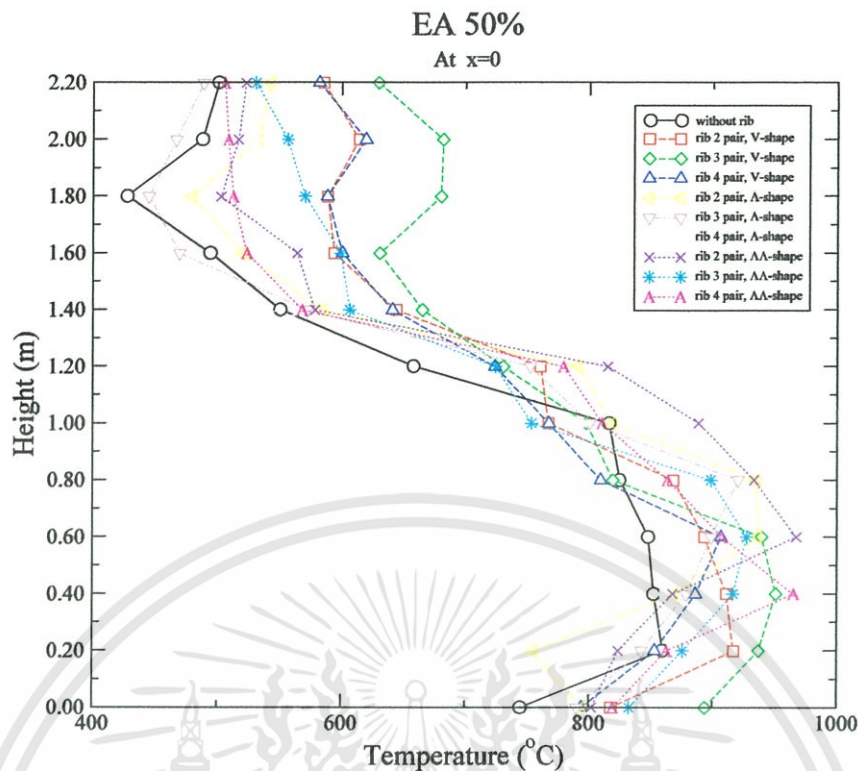
รูปที่ ค.1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

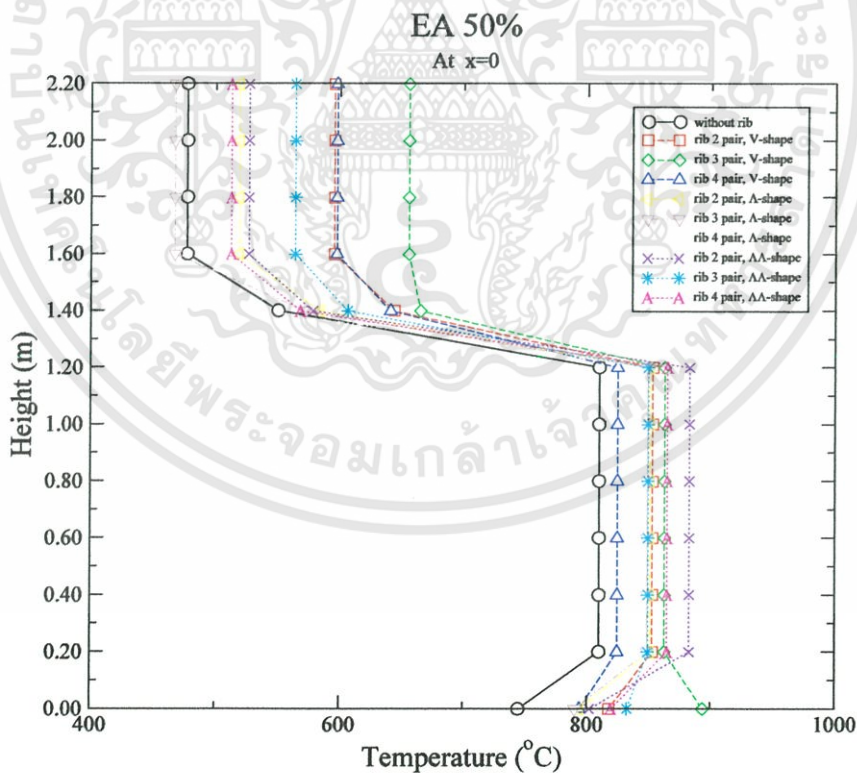
ตารางที่ ค.1 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%

กรณีศึกษา	อุณหภูมิสูงสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิไอเสีย สูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด ไอเสีย (°C)
ไม่ติดครีป	861	636	479	451
ติดครีปรูปตัววี 2 คู่	954	721	542	526
ติดครีปรูปตัววี 3 คู่	979	743	564	553
ติดครีปรูปตัววี 4 คู่	942	721	567	537
ติดครีปรูปตัววีกว่า 2 คู่	991	726	514	508
ติดครีปรูปตัววีกว่า 3 คู่	951	692	451	442
ติดครีปรูปตัววีกว่า 4 คู่	964	713	537	529
ติดครีปรูปตัววีกว่าคู่ 2 คู่	979	736	521	517
ติดครีปรูปตัววีกว่าคู่ 3 คู่	985	734	515	506
ติดครีปรูปตัววีกว่าคู่ 4 คู่	976	724	549	535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) อุณหภูมิที่วัดได้จริง



(b) อุณหภูมิเฉลี่ย

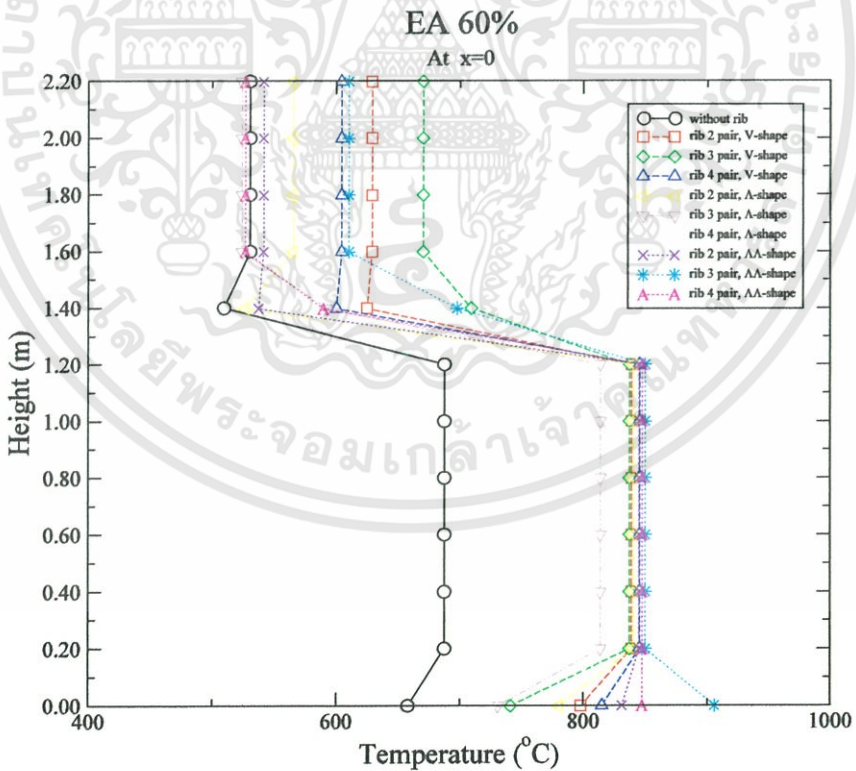
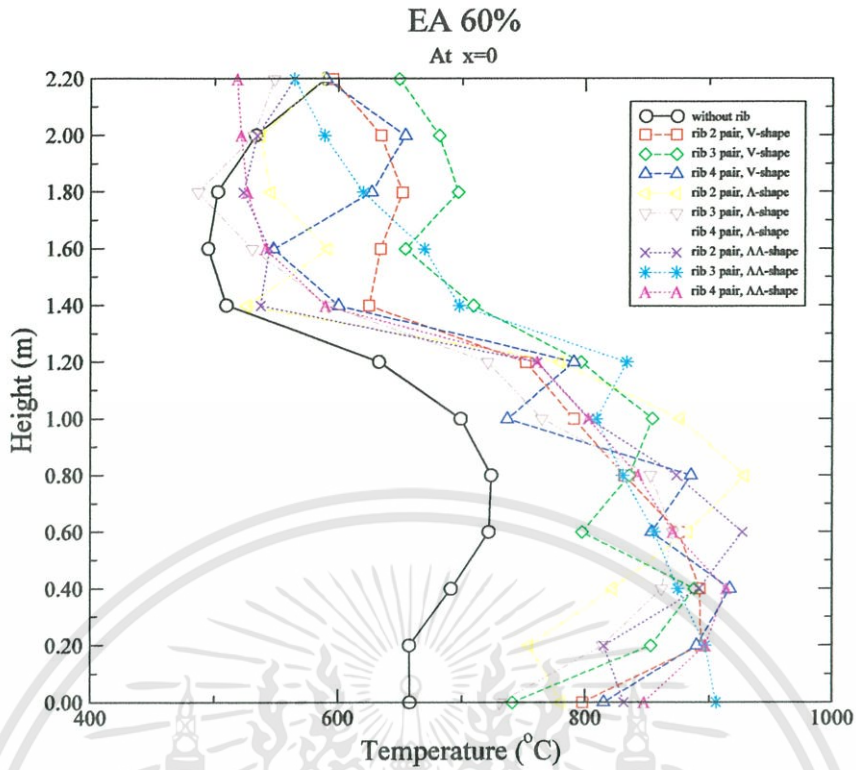
รูปที่ ค.2 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%

กรณีศึกษา	อุณหภูมิสูงสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิจนเฉลี่ย ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิไอเสีย สูงสุด (°C)	อุณหภูมิไอเสีย เฉลี่ย (°C)
ไม่ติดครีบริบ	860	649	510	503
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	917	714	596	576
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	952	744	630	598
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	907	710	582	566
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	937	707	554	548
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	931	690	496	486
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	951	717	542	528
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	983	734	535	531
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	933	728	531	516
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	966	714	519	513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



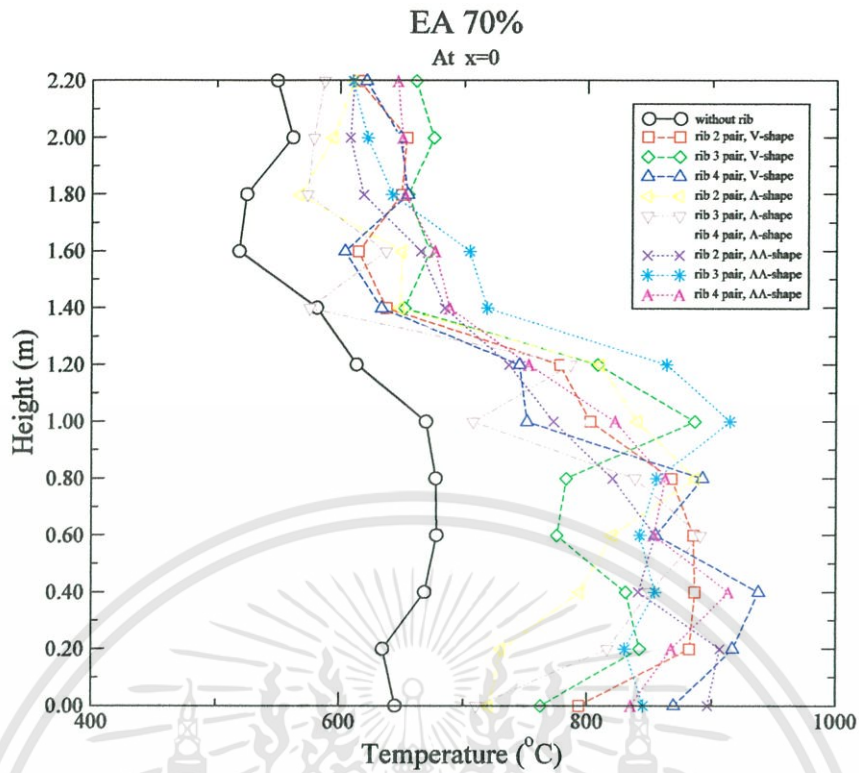
รูปที่ 3 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

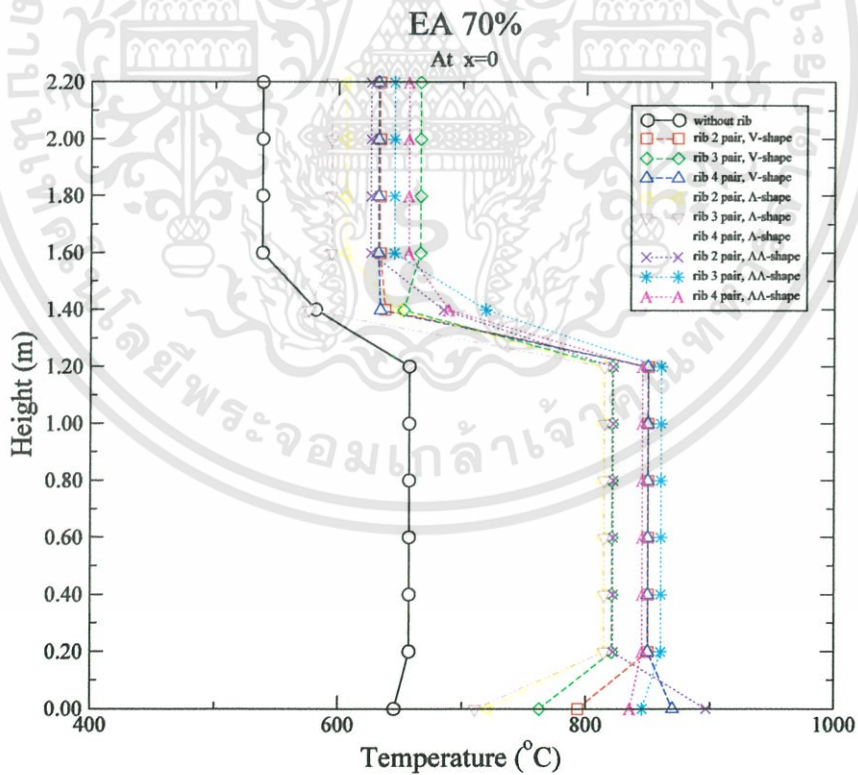
ตารางที่ ค.3 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%

กรณีศึกษา	อุณหภูมิสูงสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิจนเฉลี่ย ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิไอเสีย สูงสุด (°C)	อุณหภูมิจนเฉลี่ย ไอเสีย (°C)
ไม่ติดครีบริบ	723	584	590	562
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	894	719	596	587
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	888	743	650	627
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	917	721	600	581
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	950	720	593	584
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	884	696	566	558
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	900	705	600	592
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	932	723	574	555
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	907	758	569	564
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	949	713	527	522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) อุณหภูมิที่วัดได้จริง



(b) อุณหภูมิเฉลี่ย

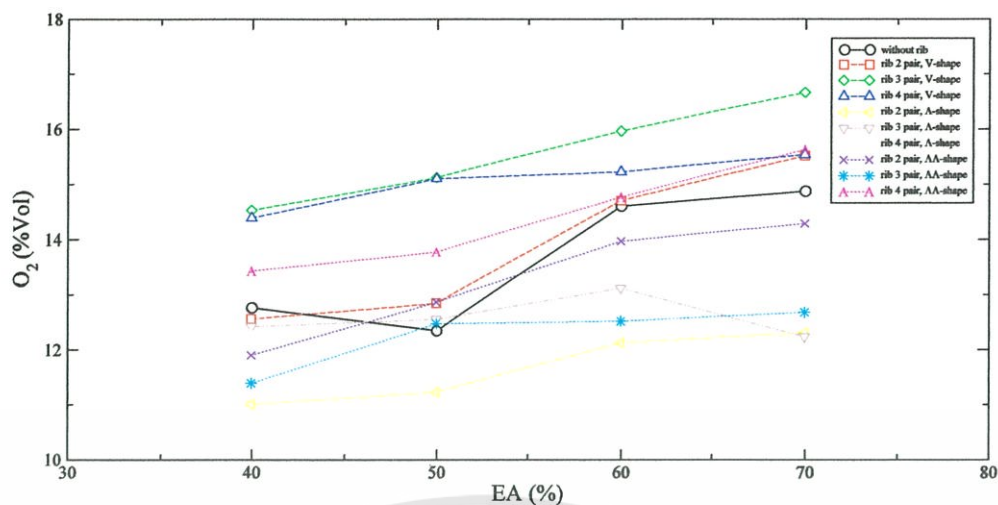
รูปที่ ๓.๔ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ระดับอุณหภูมิที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

กรณีศึกษา	อุณหภูมิสูงสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด ภายในเตาเผา (°C)	อุณหภูมิไอเสีย สูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด ไอเสีย (°C)
ไม่ติดครีบริบ	678	565	549	535
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	887	724	627	614
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	886	747	667	657
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	938	737	649	639
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	908	722	612	598
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	891	709	593	591
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	864	713	639	632
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	932	746	612	603
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	926	778	613	611
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	937	759	650	648

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

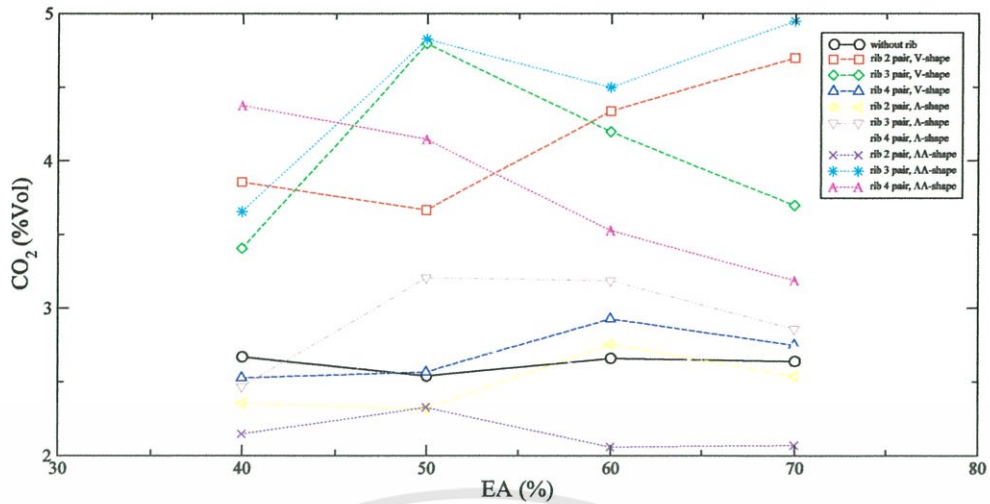


รูปที่ ค.5 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

ตารางที่ ค.5 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

กรณีศึกษา	ปริมาณก๊าซ O ₂ ที่ค่า EA 40% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ O ₂ ที่ค่า EA 50% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ O ₂ ที่ค่า EA 60% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ O ₂ ที่ค่า EA 70% (%Vol)
ไม่ติดครีบริบ	12.67	12.34	14.60	14.87
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	12.57	12.85	14.71	15.52
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	14.54	15.13	15.97	16.67
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	14.40	15.11	15.23	15.54
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	11.02	11.24	12.13	12.31
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	12.43	12.56	13.12	12.24
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	12.30	11.88	12.46	12.51
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	11.91	12.87	13.97	14.29
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	11.40	12.48	12.52	12.68
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	13.44	13.78	14.77	15.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

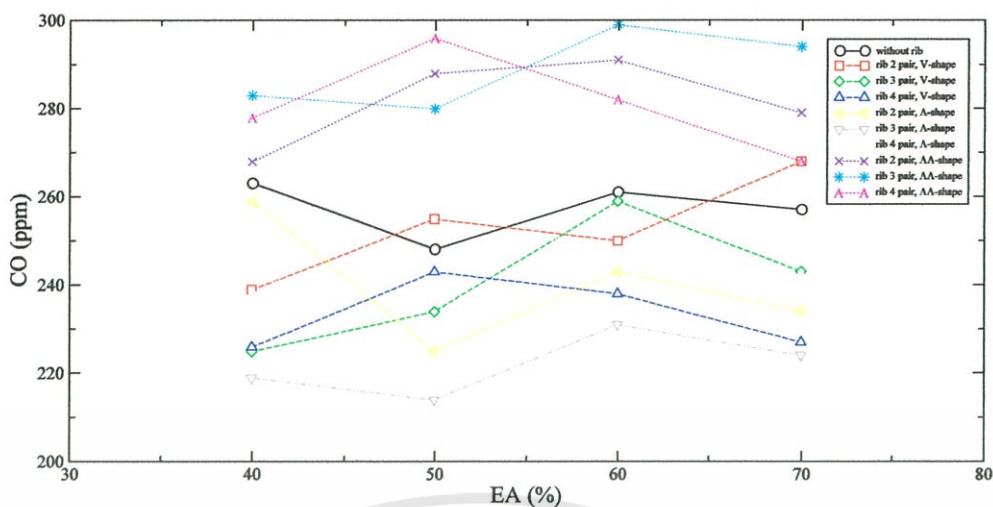


รูปที่ 6.6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

ตารางที่ 6.6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

กรณีศึกษา	ปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่ค่า EA 40% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่ค่า EA 50% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่ค่า EA 60% (%Vol)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่ค่า EA 70% (%Vol)
ไม่ติดครีบริบ	2.67	2.54	2.66	2.64
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	3.86	3.67	4.34	4.70
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	3.41	4.80	4.20	3.70
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	2.53	2.57	2.93	2.75
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	2.36	2.32	2.76	2.54
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	2.47	3.21	3.19	2.86
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	2.30	2.77	2.59	2.73
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	2.15	2.33	2.06	2.07
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	3.66	4.83	4.50	4.95
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	4.38	4.15	3.53	3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

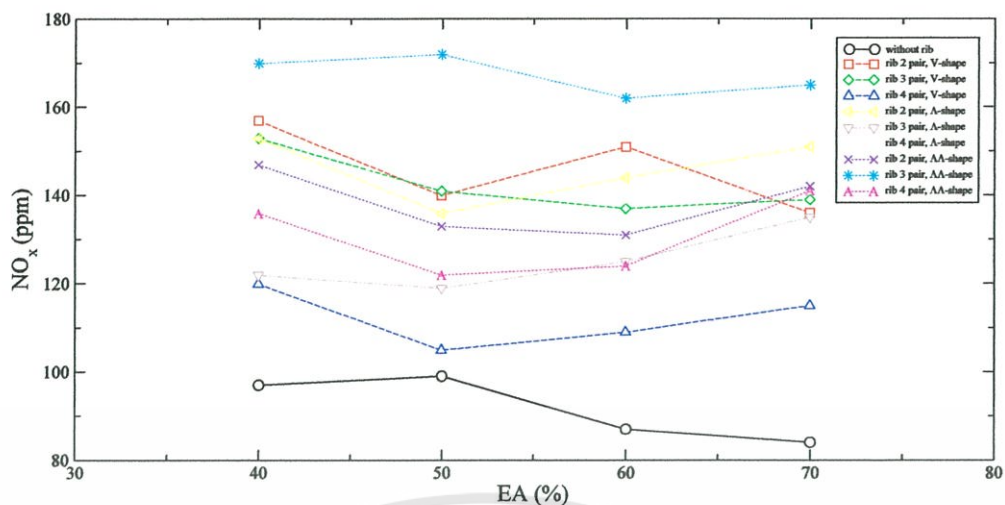


รูปที่ ๗.๗ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

ตารางที่ ๗.๗ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

กรณีศึกษา	ปริมาณก๊าซ CO ที่ค่า EA 40% (ppm)	ปริมาณก๊าซ CO ที่ค่า EA 50% (ppm)	ปริมาณก๊าซ CO ที่ค่า EA 60% (ppm)	ปริมาณก๊าซ CO ที่ค่า EA 70% (ppm)
ไม่ติดครีบริบ	263	248	261	257
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	239	255	250	268
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	225	234	259	243
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	226	243	238	227
ติดครีบริบรูปตัววีคว่า 2 คู่	259	225	243	234
ติดครีบริบรูปตัววีคว่า 3 คู่	219	214	231	224
ติดครีบริบรูปตัววีคว่า 4 คู่	238	261	245	242
ติดครีบริบรูปตัววีคว่าคู่ 2 คู่	268	288	291	279
ติดครีบริบรูปตัววีคว่าคู่ 3 คู่	283	280	299	294
ติดครีบริบรูปตัววีคว่าคู่ 4 คู่	278	296	282	268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

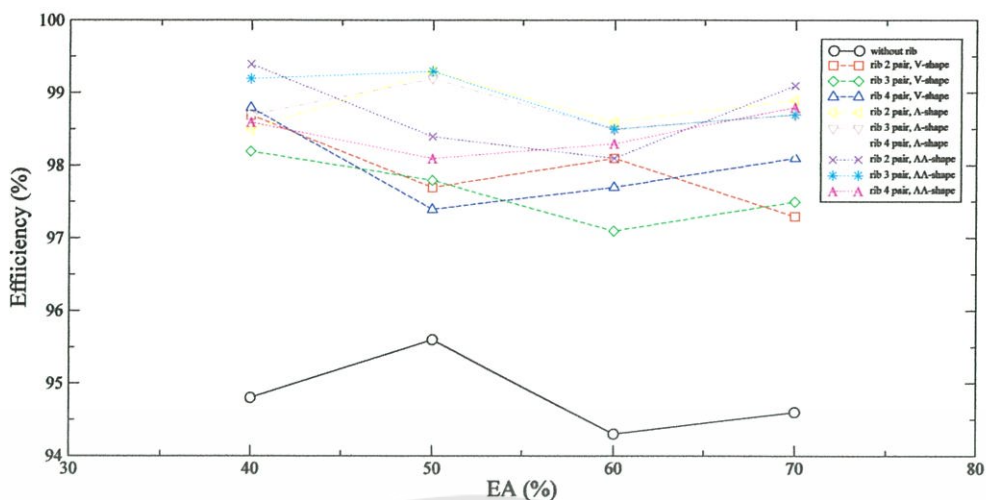


รูปที่ ค.8 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

ตารางที่ ค.8 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

กรณีศึกษา	ปริมาณก๊าซ NO _x ที่ค่า EA 40% (ppm)	ปริมาณก๊าซ NO _x ที่ค่า EA 50% (ppm)	ปริมาณก๊าซ NO _x ที่ค่า EA 60% (ppm)	ปริมาณก๊าซ NO _x ที่ค่า EA 70% (ppm)
ไม่ติดครีบริบ	97	99	87	84
ติดครีบริบรูปตัววี 2 คู่	157	140	151	136
ติดครีบริบรูปตัววี 3 คู่	153	141	137	139
ติดครีบริบรูปตัววี 4 คู่	120	105	109	115
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 2 คู่	153	136	144	151
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 3 คู่	122	119	125	135
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำ 4 คู่	141	149	139	142
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 2 คู่	147	133	131	142
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 3 คู่	170	172	162	165
ติดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ 4 คู่	136	122	124	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

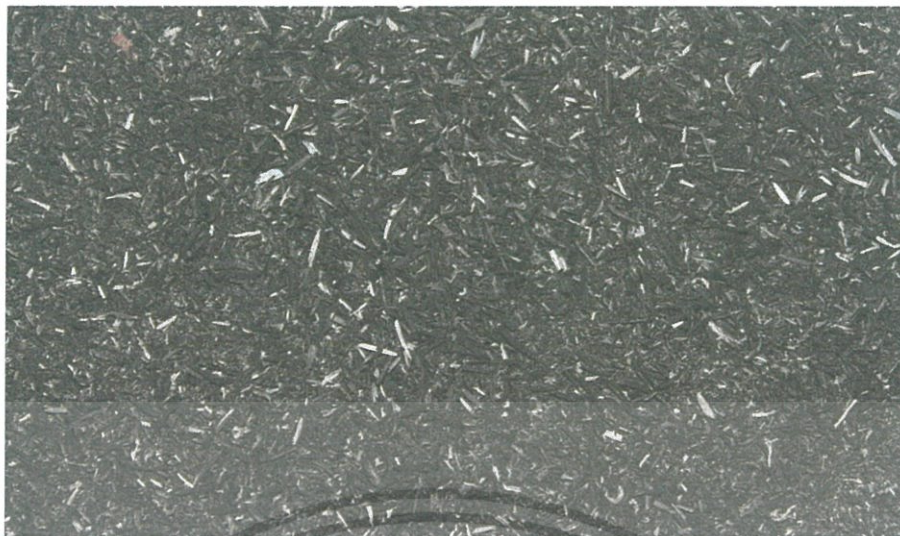


รูปที่ ๙.๑ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

ตารางที่ ๙.๑ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินต่าง ๆ

กรณีศึกษา	ประสิทธิภาพ ที่ค่า EA 40% (%)	ประสิทธิภาพ ที่ค่า EA 50% (%)	ประสิทธิภาพ ที่ค่า EA 60% (%)	ประสิทธิภาพ ที่ค่า EA 70% (%)
ไม่ติดครีบริบ	94.8	95.6	94.3	94.6
ติดครีบริบตัววี 2 คู่	98.7	97.7	98.1	97.3
ติดครีบริบตัววี 3 คู่	98.2	97.8	97.1	97.5
ติดครีบริบตัววี 4 คู่	98.8	97.4	97.7	98.1
ติดครีบริบตัววีคี่ว่า 2 คู่	98.5	99.3	98.6	98.9
ติดครีบริบตัววีคี่ว่า 3 คู่	98.7	99.2	98.5	98.7
ติดครีบริบตัววีคี่ว่า 4 คู่	98.7	98.4	98.3	98.2
ติดครีบริบตัววีคี่ว่าคู่ 2 คู่	99.4	98.4	98.1	99.1
ติดครีบริบตัววีคี่ว่าคู่ 3 คู่	99.2	99.3	98.5	98.7
ติดครีบริบตัววีคี่ว่าคู่ 4 คู่	98.6	98.1	98.3	98.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.10 จี๊ถั่วที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีที่ไม่ติดครีบ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

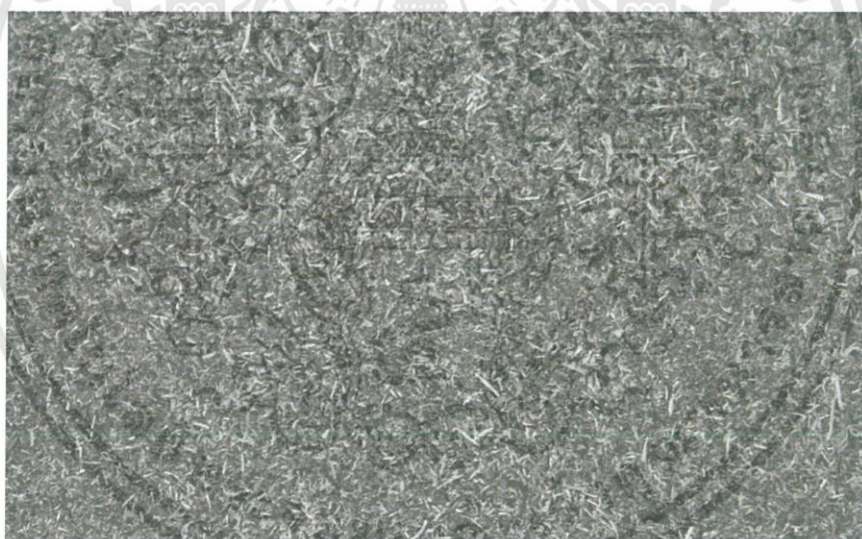


รูปที่ ค.11 จี๊ถั่วที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีที่ติดครีบรูปตัววี จำนวน 3 คู่, ที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.12 ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีที่ดินคกรูปตัววีคว่า จำนวน 3 คู่, ที่ค่าเปอร์เซ็นต์
อากาศส่วนเกิน 70%

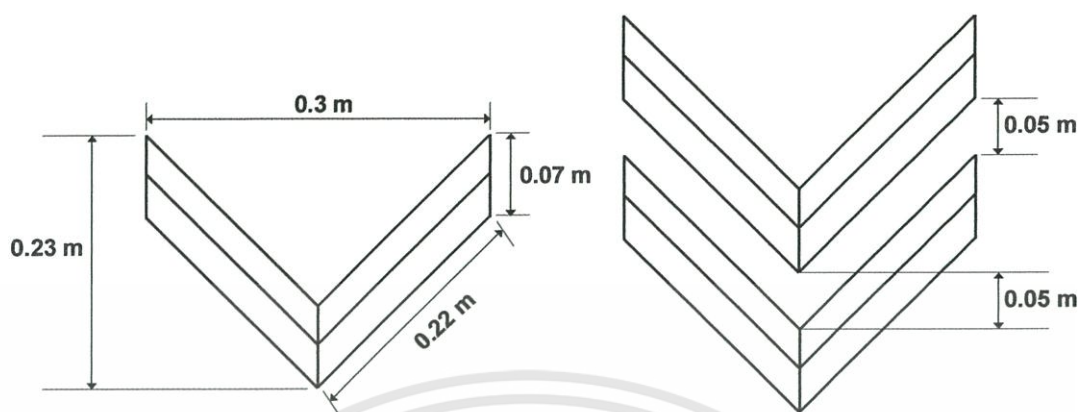


รูปที่ ค.13 ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ในกรณีที่ดินคกรูปตัววีคว่าคู่ จำนวน 3 คู่, ที่ค่าเปอร์เซ็นต์
อากาศส่วนเกิน 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

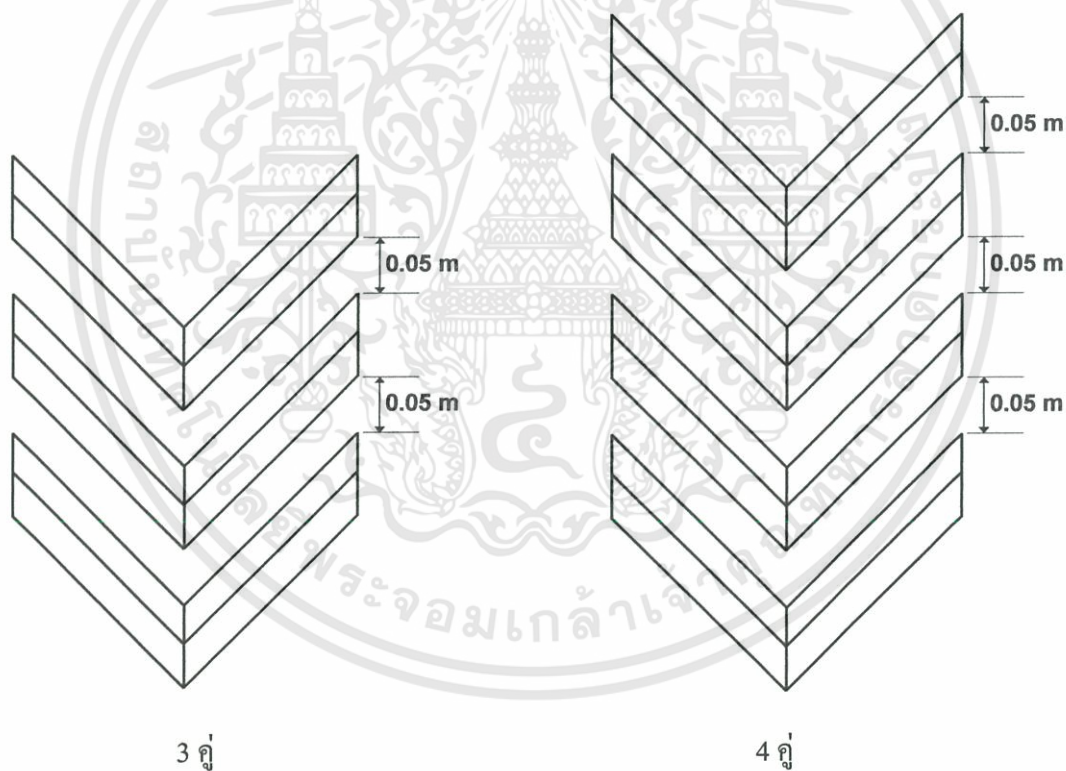


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขนาดของครีรูปตัววี, วีคว่ำ

2 คู่

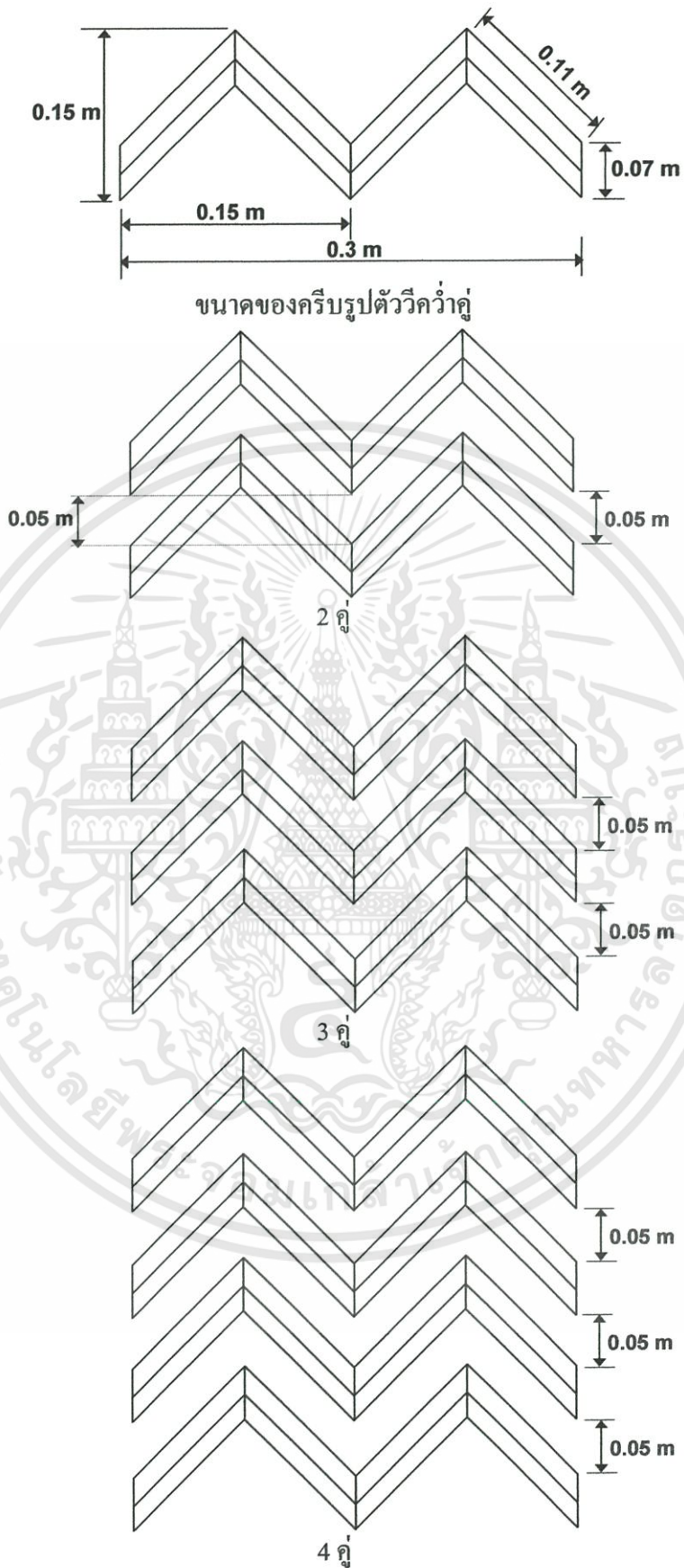


3 คู่

4 คู่

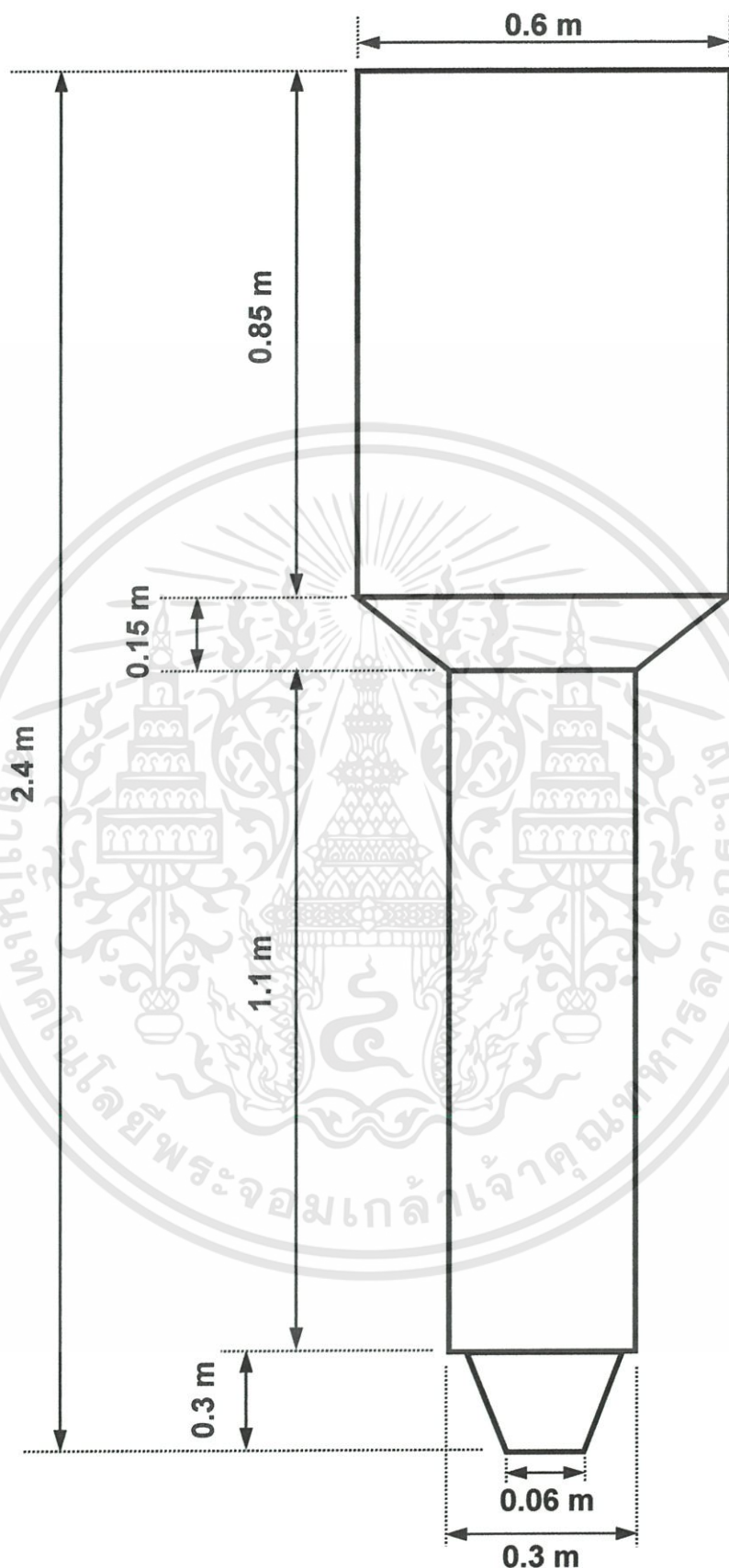
รูปที่ ง.1 ขนาดของครีรูปตัววี และรูปวีคว่ำ ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



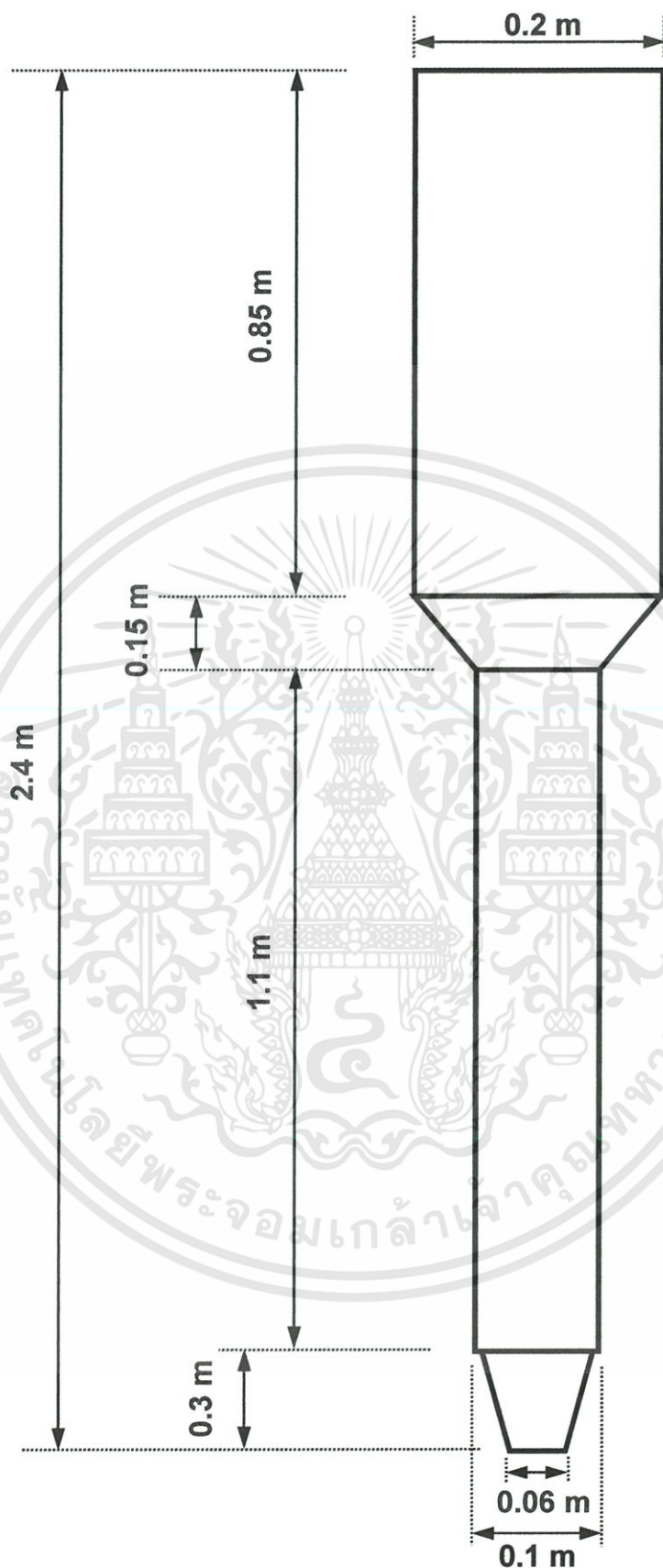
รูปที่ ง.2 ขนาดของครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



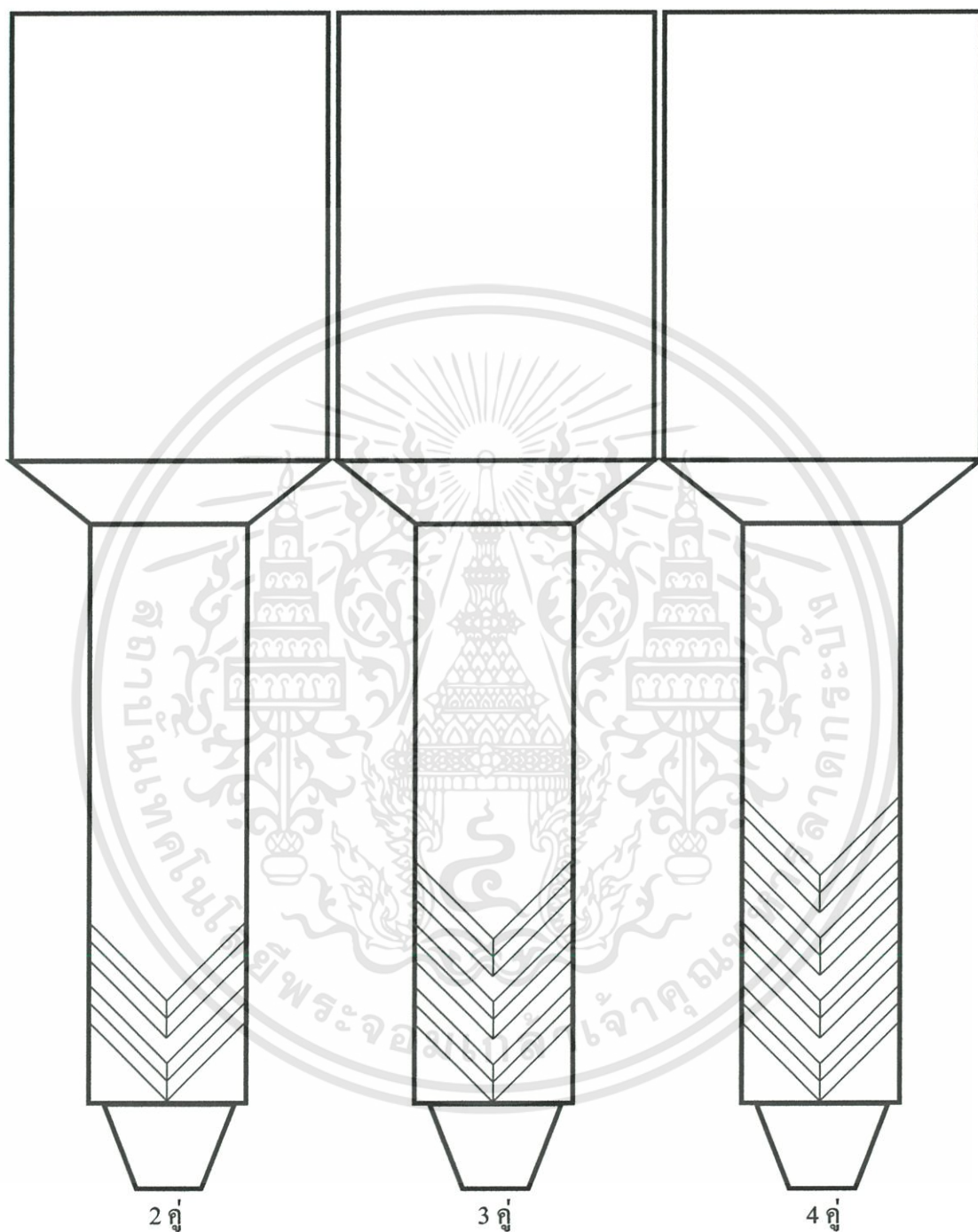
รูปที่ ง.3 ขนาดของเตาที่ใช้ในการทดลอง (ภาพด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



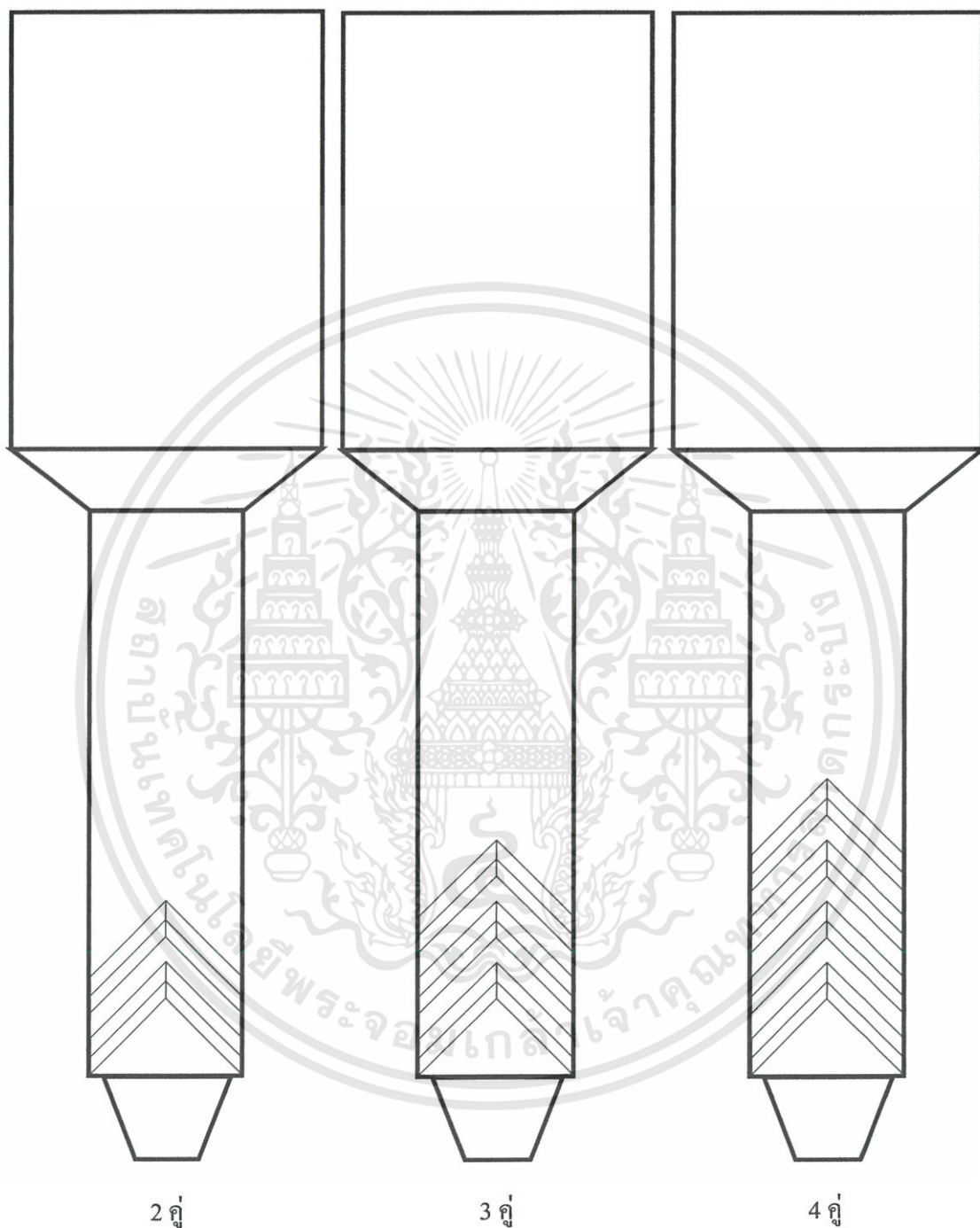
รูปที่ ๔.๔ ขนาดของเตาที่ใช้ในการทดลอง (ภาพด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



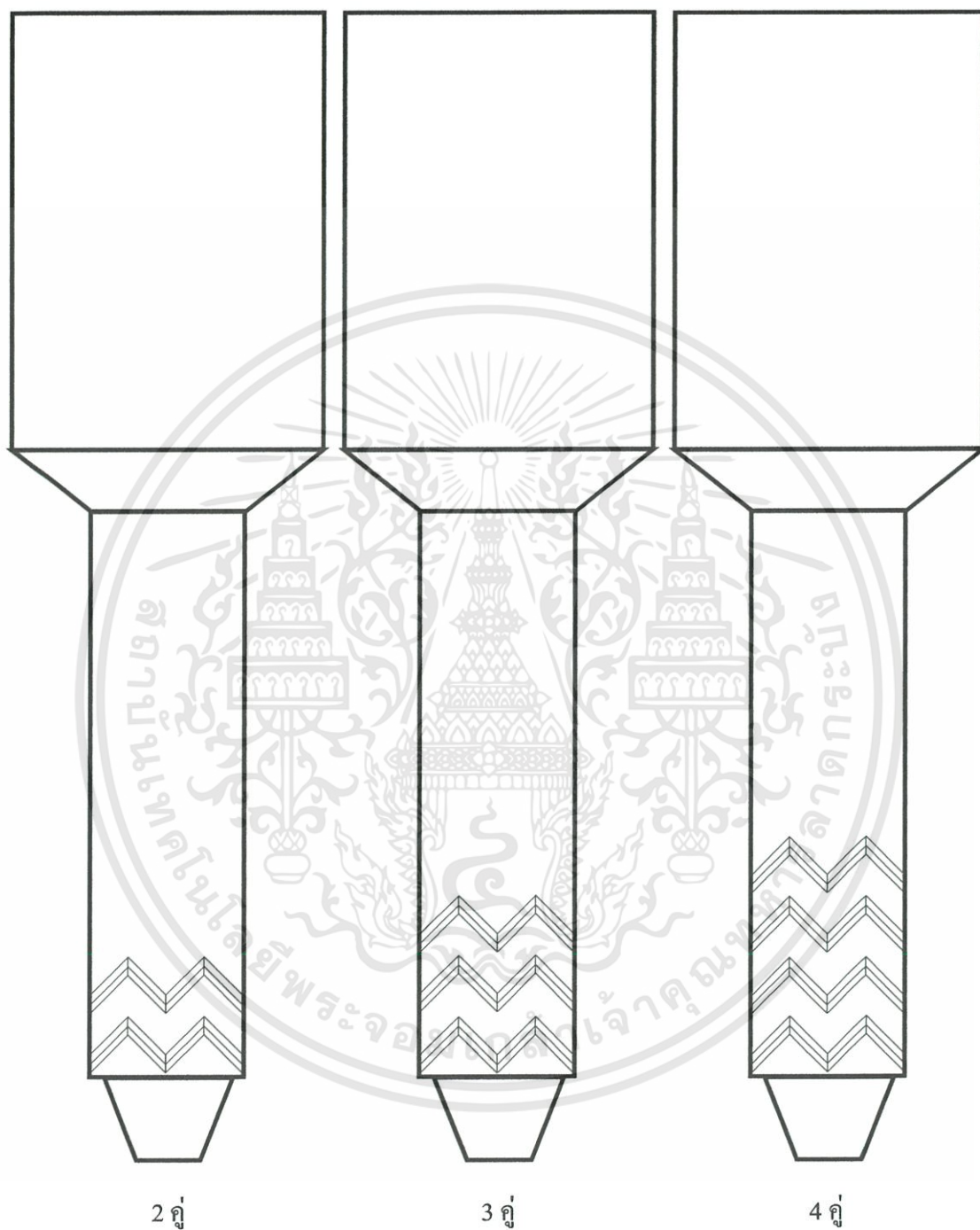
รูปที่ ง.5 ลักษณะการติดริบรูปตัววี ภายในเตาขณะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๖ ลักษณะการติดครีบบรูปตัววีคว่ำ ภายในเตาขณะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ง.7 ลักษณะการตัดครีบริบรูปตัววีคว่ำคู่ ภายในเตาขณะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 10 ประจำปี 2552
 1 - 3 เมษายน 2552 สุระมนตรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นวัตกรรม

การผลิตทางการเกษตร อาหาร และพลังงานทดแทน เพื่อมนุษยชาติ
 Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อิทธิพลของครีบบสามเหลี่ยมภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดต่อการเผาไหม้แกลบ

EFFECT OF TRIANGULAR RIBS IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR ON BURNING RICE HUSK

สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์¹ ชินารักษ์ เกียรพงษ์² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์²
Supattarachai Suwannapan¹ Chinaruk Thianpong² and Pongjet Promvong²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอถึงลักษณะของการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีไว้ภายในห้องเผาไหม้ จากแนวความคิดหลักที่ต้องการจะเพิ่มการหมุนวน(recirculation flow) ของแกลบภายในเตาเผาไหม้มากขึ้น เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ จากการจำลองพฤติกรรมการไหลของแกลบในหอแบบต่างๆ พบว่าหอที่มีครีบบสามเหลี่ยมวางขวางไว้ภายในนั้นทำให้เกิดการหมุนวนดีที่สุดในเวลานั้นเราจึงได้นำหลักการนี้มาพัฒนาเข้ากับเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบด ในการทดลอง เตาเผาได้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนล่าง(ห้องเผาไหม้) และส่วนบน(ฟรีบอร์ด) ทำการทดลองโดยจะทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่อัตราการป้อนเท่ากับ 8 kg/hr อัตราการป้อนนี้จะคงที่ตลอดการทดลอง จากนั้นจะทำการปรับเปอร์เซ็นต์ปริมาณอากาศส่วนเกินทั้งหมด 4 ค่าคือ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ และเงื่อนไขนี้จะถูกใช้ทดสอบกับเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีไว้ในทั้งหมด 3 กรณีคือกรณีติดครีบบสามเหลี่ยมรูปตัววีจำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ รวมทั้งกรณีที่ไม่ติดครีบบสามเหลี่ยมไว้ภายในด้วย การทดลองจะทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา ณ ตำแหน่งที่กำหนดทั้งหมด 12 ตำแหน่ง รวมทั้งทำการวัดปริมาณของก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า เตาเผาที่ติดครีบบ 3 คู่ ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40% มีการเผาไหม้ดีที่สุดในห้องเผาไหม้เท่ากับ 988°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย พบว่าปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 90-130 ppm, และปริมาณของก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 40-70 ppm ให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 97.5%

คำสำคัญ: แกลบ เตาฟลูอิดไดซ์เบด ครีบบสามเหลี่ยม

ABSTRACT

The paper presents the combustion characteristics of rice husk in a fluidized bed combustor fitted with V-shaped triangular ribs inside the combustion chamber. The V-shaped rib mounted inside is to increase the recirculation flow of the rice husk in the bed or to prolong the residence time of the fuel to raise the combustion efficiency. The experimental works of the cold flow model of rice husk in the V-ribbed bed showed that behavior of the rice husk flow is better in the bed fitted with triangular ribs. So, it is interesting to develop those ribs with the fluidized bed combustor. The combustor was divided into two parts: a bottom part (combustion chamber) and a top part (freeboard). In the experiment, a feeding rate of rice husk at 8 kg/hr was kept constant throughout where

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

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

Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the excess air was varied to be 40%, 50%, 60% and 70% respectively. These conditions were tested for 3 cases of the fluidized bed fitted with V-shaped triangular ribs of 2, 3, and 4 sets of triangular ribs including case of no rib. The temperature distributions were measured by totally 12 selected locations along the combustor height. Combustion emissions and combustion efficiency, from its flue gas were measured and observed respectively. From experimental results, it is found that for the case of 3 sets of triangular ribs with 40% excess air provides the best of burning with the maximum temperatures of 988°C. From exhaust gas emission measurements, it is seen that CO is in a range of 90–130 ppm, NO_x between 40–70 ppm and the maximum of combustion efficiency is 97.5%

Keywords: Rice husk; Fluidized bed combustor; Triangular ribs.

บทนำ

ในการที่จะนำแกลบมาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน จำเป็นที่จะต้องหาเทคโนโลยีหรือเทคนิคมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างเตาเผา อาทิเช่น เตาเผาไซโคลน, เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด, เตาเผาออร์ต เป็นต้น ในที่นี้จะให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด

งานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นผลผลิตจากการเกษตร คือ แกลบ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากทั่วไปในโลก แกลบ คือ เปลือกนอกของเมล็ดข้าว คิดเป็น 20% โดยน้ำหนักของการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือก แต่ละปีมีข้าวเปลือกจากทั่วโลกมากกว่า 80 ล้านตัน (Natarajan E, 1998) เฉพาะที่ประเทศไทยมีโรงสีข้าวประมาณ 40,000 โรง และมีแกลบที่ได้จากการสี 4.4-4.6 ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นค่าความร้อนเทียบเท่ากับปริมาณน้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน

แกลบจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อน แล้วจึงค่อยๆ ลามเข้าไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนก็จะกลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ชัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ Promvong and Silipabanleng ได้ทำการศึกษาโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านหินและรายงานว่าขี้เถ้าภายในเตามีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้รวมถึงอุปสรรคปัญหาในการกำจัดเนื่องจากแกลบมีปริมาณขี้เถ้าสูง ต่างกับการเผาไหม้

เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน ที่เรียกว่า Premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จากการศึกษา มีรายงานจำนวนมากของเตาเผาหลายชนิดที่มีการใช้วัสดุชีวมวลหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ในจำนวนเหล่านั้นเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด ดูเหมือนว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือเศษเหลือจากการเกษตรเป็นพลังงานเนื่องจากว่ามีข้อได้เปรียบตามธรรมชาติ คือ สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสม ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิคงที่ แต่อย่างไรก็ตาม Wan และ Chyang รายงานว่าการใช้วิธีการของฟลูอิดไดซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (พรีบอร์ด์) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดนั้นอาจต้องมีความสูงรวมของพรีบอร์ด์มากกว่า 15 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก วิธีการนี้อาจจะไม่เหมาะสำหรับการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาขนาดเล็ก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุงเตาเผาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้กับเชื้อเพลิงแข็งที่มีน้ำหนักเบา Nieh and Fu ได้ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาที่ใช้กับเชื้อเพลิงแข็งที่มีน้ำหนักเบา โดยใช้ถ่านหินสะอาด

ในการปรับปรุงการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูงมีวิธีการอยู่หลายวิธีดังนี้ 1) การปรับปรุงการออกแบบห้องเผาไหม้ 2) การเตรียมส่วนผสมของเชื้อเพลิง 3) การทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกพัฒนาห้องเผาไหม้ให้มีรูปร่างที่สามารถทำให้การคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงกับอากาศและระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้เหมาะสมที่สุด

จากการจำลองพฤติกรรมมวลไหลของแก๊สในหอแบบต่างๆ พบว่าหอที่มีครีบลมเหลี่ยมวางขวางทำให้เกิดการ recirculation ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้นำมาปรับปรุงและพัฒนา กับผนังห้องเผาไหม้ของเตาเผาแก๊สฟลูอิดไดซ์เบดให้มีครีบลมเหลี่ยมวางขวางไว้ภายใน เพื่ออาศัยผลของการเกิด recirculation สร้างความปั่นป่วนของการอากาศ เพิ่มการคลุกเคล้า และระยะเวลาการเผาไหม้ อีกทั้งยังสามารถทำให้ห้องเผาไหม้ของเตาเผาแก๊สฟลูอิดไดซ์เบดมีขนาดเล็กลง แต่ยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับเตาฟลูอิดไดซ์เบดขนาดใหญ่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเตาเผาแก๊สแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใส่ครีบลมเหลี่ยมวางขวางในห้องเผาไหม้
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเผาไหม้ของแก๊ส
3. เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและความมีเสถียรภาพของเปลวไฟ
4. เพื่อศึกษาผลของก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้

ขอบเขตของงานวิจัย

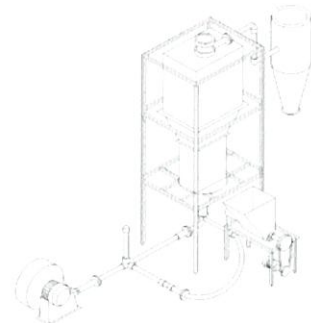
1. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สคงที่เท่ากับ 8.0 kg/hr
2. ทำการปรับค่าอัตราส่วนปริมาณอากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ
3. ทำการวัดอุณหภูมิภายในเตา, ก๊าซไอเสีย และประสิทธิภาพการเผาไหม้
4. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะควบคุมให้ไม่เกิน 1,000°C

อุปกรณ์และวิธีการ

การจัดระบบการทดลองของเตาเผาแสดงดังรูปที่ 1 และ 2 เตาเผาแก๊สฟลูอิดไดซ์เบดทำจากเหล็กมีการหุ้มฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง มีความสูงของเตาทั้งหมดเท่ากับ

2.4 เมตร เตาเผาประกอบด้วยส่วนหลักๆสองส่วน : ส่วนล่างของเตา (ห้องเผาไหม้) และส่วนบนของเตา (ฟริบอร์ต) ลักษณะรูปทรงของห้องเผาไหม้เป็นรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดของห้องเผาไหม้เท่ากับ 0.1×0.3 m และสูง 1.1 m ในขณะที่หน้าตัดของฟริบอร์ตเท่ากับ 0.2×0.6 m และสูง 0.85 m ส่วนของห้องผสมและส่วนเปลี่ยนแปลงหน้าตัดมีความสูงเท่ากับ 0.3 และ 0.15 m ตามลำดับ ครีบลมเหลี่ยมรูปตัววีจะถูกใส่ในส่วนของห้องเผาไหม้จำนวน 2 คู่, 3 คู่ และ 4 คู่ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างครีบลมเท่ากับ 0.05 m ลักษณะของครีบลมที่ใช้ในการทดลอง ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3

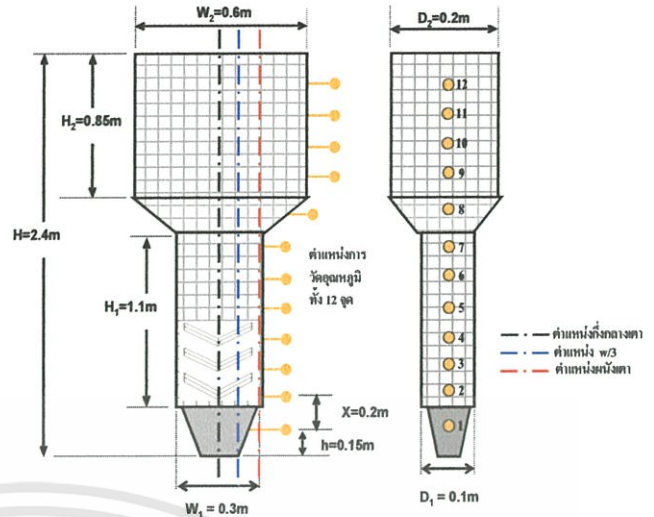
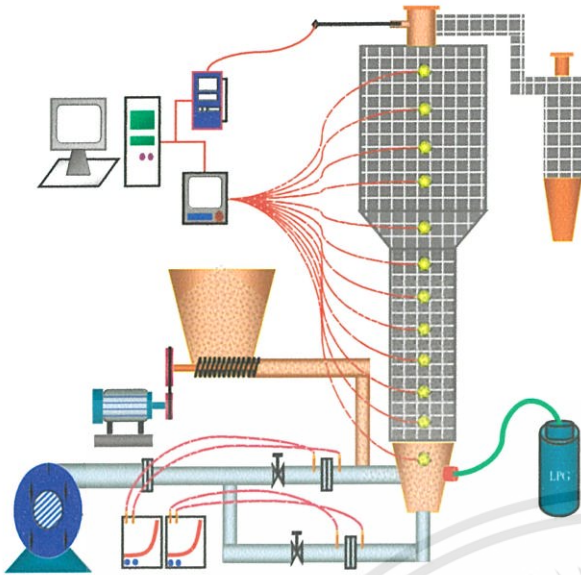
ในการทดลองเตาเผาแก๊สฟลูอิดไดซ์เบดนี้จะมีหลักทำงานโดยจะใช้เครื่องเป่าลม (Blower) ทำหน้าที่จ่ายอากาศให้กับเตาเผาโดยทำการแบ่งอากาศออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจ่ายให้กับอากาศปฐมภูมิ (primary air) ส่วนที่สองจ่ายให้เป็นลม (jet air) สำหรับใช้ในการลำเลียงแก๊สเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ตอนเริ่มต้นของการทำงานใช้หัวเผาอุ่นเตาให้ร้อนด้วยก๊าซ LPG จนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงประมาณ 650°C - 700°C หลังจากนั้นทำการปรับค่าลมที่จ่ายเข้าไปทั้งในส่วน of primary air และ jet air เพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ต้องการ ต่อจากนั้นป้อนแก๊สเข้าสู่ห้องผสมและห้องเผาไหม้ รอจนอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 800°C - 850°C จึงหยุดการอุ่นเตาโดยการนำหัวเผาออกเมื่อเรียบร้อยแล้ว ทำการสังเกตค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ถ้ามีความเสถียรแล้ว จึงเริ่มทำการบันทึกผลของอุณหภูมิ ขั้นตอนการทดลองนี้จะใช้สำหรับทุกๆกรณีและจะทำซ้ำแบบนี้เรื่อยๆจนกระทั่งครบตามค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่ต้องการ ส่วนของซีเมนต์ที่เหลือจากการเผาไหม้จะถูกแยกออกจากไอเสียโดยไซโคลน การวิเคราะห์ผลของปริมาณก๊าซไอเสียจะถูกวิเคราะห์ที่ทางออกของตัวไซโคลน



รูปที่ 1 เตาเผาแก๊สแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณี่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

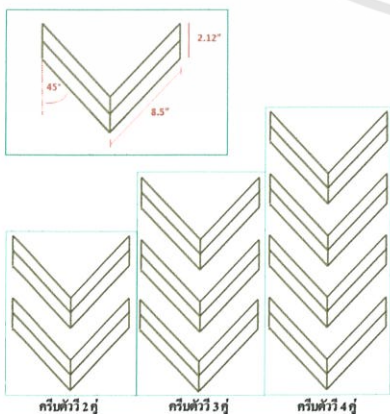


รูปที่ 4 ระยะเวลาวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา

รูปที่ 2 ส่วนประกอบชุดเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เงื่อนไขและการเก็บผลการทดลอง

การทดลองนี้จะทำการกำหนดอัตราส่วนปริมาตรอากาศส่วนเกินที่ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ โดยที่อัตราป้อนเชื้อเพลิงคงที่เท่ากับ 8.0 kg/hr การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะควบคุมให้ไม่เกิน 1,000°C. เงื่อนไขนี้จะใช้สำหรับการทดลองทั้งในส่วนเตาเผาแบบที่ติดครีบบสามเหลี่ยมและไม่ติดครีบบสามเหลี่ยม ในส่วนของกรณีวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้น จะใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย Testo 350 XL ทำการวัดค่า และในการวัดระดับอุณหภูมิภายในเตา จะทำการวัดที่ระดับตามแนวความสูงที่กำหนดขึ้น จำนวนทั้งสิ้น 12 ตำแหน่ง และวัดในแนวแกนทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ดังแสดงรูปที่ 4

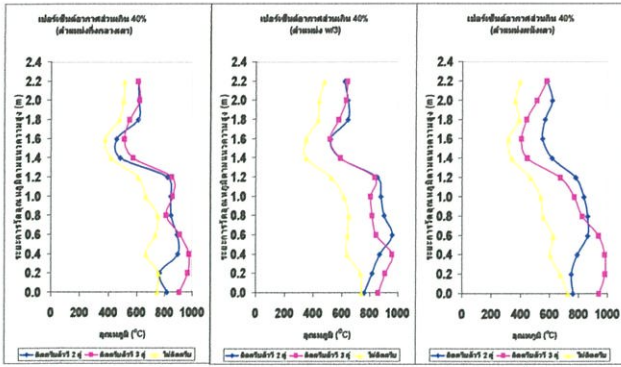


รูปที่ 3 ลักษณะของครีบบที่ใช้ในการทดลอง

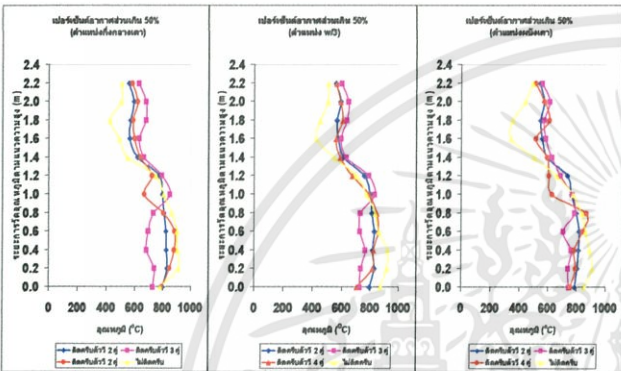
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

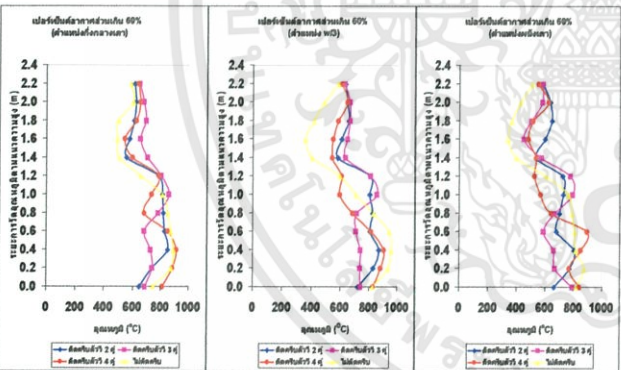
พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาดังรูปที่ 5 พบว่าที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40% ในกรณีเตาเผาที่ติดครีบบสามเหลี่ยมจะให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าเตาเผาที่ไม่ติดครีบบ เมื่อพิจารณาระหว่างกรณีเตาเผาที่ติดครีบบสามเหลี่ยม 2 คู่ กับ 3 คู่ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิบริเวณที่ติดครีบบนั้น ในกรณีติดครีบบ 2 คู่ จะสูงกว่าติดครีบบ 3 คู่ พิจารณารูปที่ 6 และ 7 ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% และ 60% ตามลำดับ พบว่าในกรณีเตาเผาที่ติดครีบบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งของช่วงที่ติดครีบบจะต่ำกว่าอุณหภูมิของเตาเผาที่ไม่ติดครีบบ ส่วนในตำแหน่งการวัดอุณหภูมินอกเหนือจากตำแหน่งที่ติดครีบบนั้น อุณหภูมิที่วัดได้จะสูงกว่าเตาเผาที่ไม่ติดครีบบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% และ 60% นั้นมีความเร็วของอากาศสูง ยิ่งบริเวณที่ติดครีบบแล้ว ความเร็วอากาศก็จะมียิ่งสูง จึงเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า เช่นเดียวกับในกรณีติดครีบบ 2 คู่ อุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งของช่วงที่ติดครีบบก็จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในกรณีติดครีบบ 3 คู่ และ 4 คู่ พิจารณารูปที่ 8 ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 70% พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้ค่อนข้างต่ำกว่าที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินค่าอื่นๆ ในกรณีเตาเผาที่ติดครีบบสามเหลี่ยมจะให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าเตาเผาที่ไม่ติดครีบบและในกรณีติดครีบบ 2 คู่ อุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งของช่วงที่ติดครีบบจะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในกรณีติดครีบบ 3 คู่ และ 4 คู่



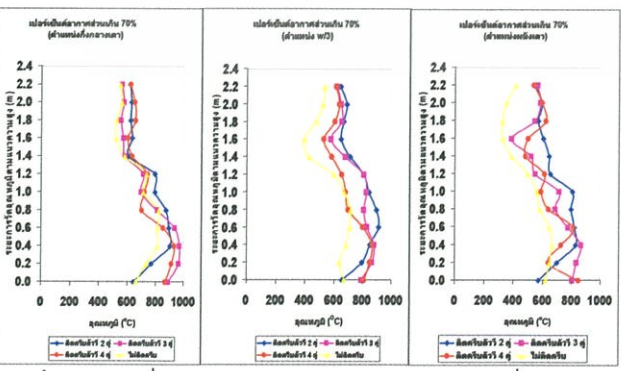
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวความสูงที่อากาศส่วนเกิน 40%



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวความสูงที่อากาศส่วนเกิน 50%



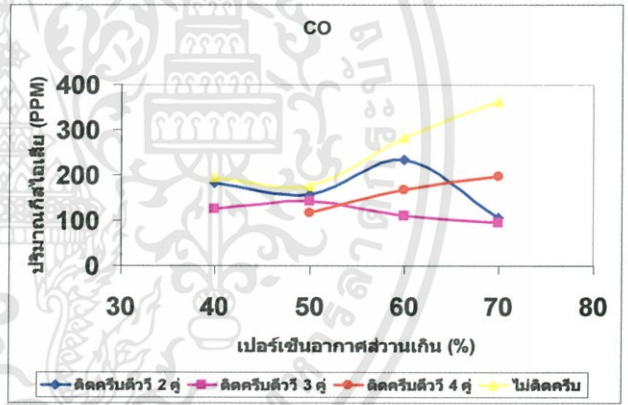
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวความสูงที่อากาศส่วนเกิน 60%



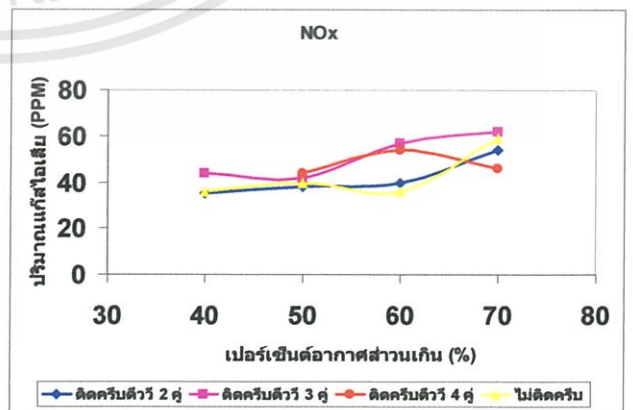
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวความสูงที่อากาศส่วนเกิน 70%

ผลของมลพิษและประสิทธิภาพการเผาไหม้

รูปที่ 9-10 แสดงการปล่อยก๊าซ CO และ NO_x ตามลำดับ จะพบว่าในกรณีที่เตาเผาติดครีบไว้ภายใน 3 คู่ การปล่อยก๊าซ CO ค่อนข้างน้อยที่อยู่ระหว่าง 90-130 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ส่วนการปล่อยก๊าซ NO_x จะพบว่าในกรณีที่เตาเผาติดครีบไว้ภายใน 2 คู่ และกรณีที่ไม่ติดครีบจะค่อนข้างน้อยอยู่ระหว่าง 30-60 ppm ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ และจะสังเกตจะเห็นว่าในกรณีที่เตาเผาที่ติดครีบไว้ภายใน 3 คู่ นั้นจะมีการปล่อยก๊าซ NO_x ค่อนข้างสูงกว่าอยู่ระหว่าง 40-70 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่เตาเผาติดครีบไว้ภายใน 2 คู่ และกรณีที่ไม่ติดครีบ นั้นเป็นผลโดยตรงเพราะจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิสูง ปริมาณของ NO_x ก็สูงเช่นกัน ส่วนประสิทธิภาพการเผาไหม้ จะพบว่าในกรณีที่เตาเผาติดครีบไว้ภายใน 3 คู่ จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 97.5% ดังรูปที่ 11

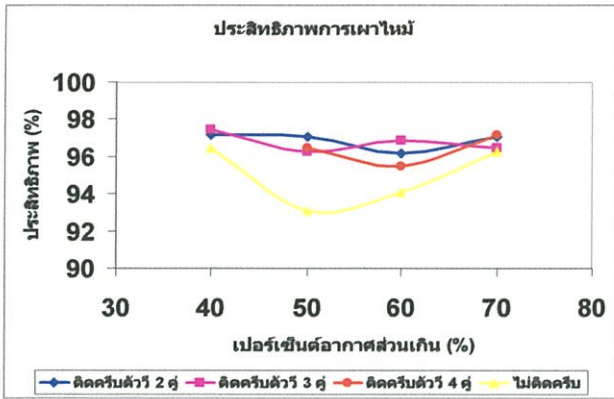


รูปที่ 9 ปริมาณค่า CO ที่อากาศส่วนเกินค่าต่างๆ



รูปที่ 10 ปริมาณค่า NO_x ที่อากาศส่วนเกินค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการเผาไหม้ของเตาเผาแก๊สฟลูอิดไรซ์เบดที่ใส่ครีบสามเหลี่ยมไว้ในห้องเผาไหม้และทำการกำหนดอัตราส่วนปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ โดยที่อัตราป้อนเชื้อเพลิงคงที่เท่ากับ 8.0 kg/hr พบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 40% เตาเผาที่ติดครีบสามเหลี่ยมไว้ภายใน 3 คู่ ให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 988°C มีเสถียรภาพทางเปลวไฟที่ดี ปริมาณไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่าต่ำก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 90-130 ppm, ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 40-70 ppm และให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 97.5% การติดครีบสามเหลี่ยมภายในเตาเผาก็เพื่อเพิ่มการหมุนวนให้มากขึ้นทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ก็อาจจะมีปัจจัยอื่นๆที่จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเติมควบคู่ไปด้วย แต่สำหรับการทดลองนี้ก็พอที่จะสามารถอธิบายได้ว่าค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน และจำนวนครีบที่ก็มีผลต่อการเผาไหม้ของแก๊ส เช่นเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

Nieh, S. and T.T Fu. 1988. Development of Non-slugging Vortex Combustor (VC) for Space/Water Heating Application. Proceeding of The 5th International Coal Conference, Pittsburgh, 761-768.

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

Natarajan, E., A. Nordin, A.N. Rao. 1998. Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. Biomass Bioenergy 14: 533-46.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์
 วัน เดือน ปีเกิด 11 กันยายน 2523
 ที่อยู่ 25/1 หมู่ที่ 4 ถนนสุขาภิบาล10 ตำบลหนองแสง อำเภอวาปีปทุม
 จังหวัดมหาสารคาม 44120
 ประวัติการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประสบการณ์การทำงาน :

พ.ศ.2546 - 2548 ตำแหน่ง Design Engineer แผนก Air Compressor

บริษัท LG ELECTRONIC CO., LTD

พ.ศ.2549 ตำแหน่ง Senior Quality Control Engineer แผนก Quality Control

บริษัท SUGINO PRESS (THAILAND) CO., LTD

ผลงานที่เคยได้รับการตีพิมพ์ :

1. สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์, มนต์ศักดิ์ พิมสาร, ชินรัชย์ เขียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. “การเผาไหม้แก๊สในเตาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีกริบสามเหลี่ยม” การประชุมวิชาการ การถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 8. (2552)
2. สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์, ชินรัชย์ เขียรพงษ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. “อิทธิพลของกริบสามเหลี่ยมภายในเตาฟลูอิดไคซ์เบดต่อการเผาไหม้แก๊ส” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10. (2552)