

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีผิวกริบ

DEVELOPMENT OF BIOMASS COMBUSTION IN
A FLUIDIZED-BED WITH RIBS

โดย



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **103126**
วัน,เดือน,ปี **2.8.ส.ศ. 2552**

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวกริบ

DEVELOPMENT OF BIOMASS COMBUSTION IN A FLUIDIZED-BED
WITH RIBS

ผู้จัดทำ

นาย ชนพล ทูมมานนท์ รหัสประจำตัว 49015493

นาย พิระวัชร มณเฑียรวงศ์ รหัสประจำตัว 49015500

นาย เอกชัย เชื้อชาติ รหัสประจำตัว 49015554

 อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีผิวกริบ

ชนพล ทูมมานนท์
พระวัชร มณ ไทวงศ์
เอกชัย เชื้อชาติ
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีแกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาที่เป็นแบบติดครีบริบรูปทรงสามเหลี่ยมรูปตัววีจำนวน 2 ชุด ด้านล่างและฟริบอร์คใหญ่ด้านบน เปรียบเทียบกับเตาเผาที่เป็นผิวเรียบด้านล่างและฟริบอร์คใหญ่ด้านบน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 8.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 40 % , 50 % , 60 % และ 70 % ในส่วนของผิวคลื่อนั้นจะทำมุม 45 องศา มีจำนวน 2 คู่ จากนั้นทำการวัดและสังเกตการณ์ ในการกระจายอุณหภูมิในเตา 12 ตำแหน่ง ขึ้นล่าง และก๊าซไอเสีย จากการทดลองพบว่าเตาแบบติดครีบริบที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 50 % จะมีการกระจายตัวของห้องเผาไหม้เสถียรที่สุดอุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 750-950 องศาเซลเซียส และเตาแบบติดครีบริบที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 70% จะมีอุณหภูมิสูงสุดคือ 917.4 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ทางออกปริมาณของ ก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm ก๊าซ CO_2 อยู่ระหว่าง 1 % - 3% ก๊าซ O_2 อยู่ระหว่าง 17 % - 20 % ก๊าซ NOx อยู่ระหว่าง 25-60 ppm

**DEVELOPMENT OF BIOMASS COMBUSTION BEHAVIORS IN A FLUIDIZED-BED
WITH RIBS**

Thanaphon Thummanond

Pirawatch Mondaiwongse

Eakkachai Chuachart

Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge Advisor

ABSTRACT

The thesis 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 its mixing behavior of the rice husk flow is better in the bed fitted with triangular ribs. Thus, it is interesting to develop those ribs into 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 8.64 kg/hr was kept constant throughout where the excess air was varied to be 40%, 50%, 60% and 70% respectively. The conditions were tested for the bed fitted with 2 sets of V-shaped triangular ribs including the bed without 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 triangular ribs with 50% excess air provides the best and stable combustion with the temperature range between 750-950°C. However, maximum temperature of the ribbed combustor is found to be 917.4°C at 70% excess air. From exhaust gas emission measurements, it is seen that CO is in a range of 100–300 ppm, CO_2 between 1-3%, O_2 between 17-20% and NO_x between 25-60 ppm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำสั่งสอน , ให้คำแนะนำ , ให้คำปรึกษาและความกรุณาของ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาผู้วิจัยผู้ศึกษาซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่กลุ่มของข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณยิ่ง

ขอขอบคุณบิดา มารดาและญาติ ๆ ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ เลี้ยงดูและคอยอบรมสั่งสอนให้กลุ่มของผู้วิจัยก้าวมาถึงวันนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท เอกทุกท่าน ได้แก่ พี่โฮ พี่ไคด์ พี่บ๊ิก พี่โฮ๊ค ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ.....	5
2.2.1.1 งานวิจัยของ ดิษฐพร ตุงสาโศธานนท์.....	5
2.2.1.2 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล.....	6
2.2.1.3 งานวิจัยของ เสรีย์ ตู้ประกาย.....	7
2.2.1.4 งานวิจัยของ ศศิวิมล สูงสว่าง.....	8
2.2.1.5 งานวิจัยของ สุวิทย์ เตีย และคณะ.....	9
2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ.....	10
2.2.2.1 งานวิจัยของ W.Permchart และคณะ.....	10
2.2.2.2 งานวิจัยของ Teng และคณะ.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.3 งานวิจัยของLIN, C.H. และคณะ.....	13
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	16
3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	16
3.1.1 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	16
3.1.2 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	17
3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	17
3.2.1 การผสม.....	18
3.2.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้.....	19
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....	19
3.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air).....	22
3.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดเซชัน.....	22
3.5.1 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน.....	22
3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด.....	23
3.5.3 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดเซชัน.....	25
3.5.4 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไดเซชัน.....	26
3.5.5 แผ่นกระจายของไหล.....	30
3.6 กระบวนการเผาไหม้อนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด.....	33
3.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด (Ignition of coal particle in fluidized bed).....	34
3.8 วิธีการไหลเวียนย้อนกลับ.....	35
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ.....	37
4.1 บทนำ.....	37
4.2 การออกแบบเตาเผา.....	37
4.2.1 ลักษณะของเตาเผา.....	38
4.2.2 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ.....	39
4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของเบดที่เป็นเกลบ.....	43
4.4.1 การหาสัดส่วนช่องว่าง(Void fraction, ϵ_m) และความกลม (Sphericity, ϕ_s)ของเกลบ.....	43
4.4.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่ากับเกลบ(diameter of sphere having the volume, d_p).....	44
4.4.3 ความหนาแน่นของเกลบ.....	44
4.4.4 การหาปริมาณความชื้น.....	44
4.4.5 การหาความเร็วค่าสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (U_{mf}).....	45
4.4.6 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิดไดซ์(Terminal Velocity of Particles, U_t).....	47
4.5 การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหอตกลงต่อแผ่นกระจายลม.....	48
4.6 การคำนวณหาความเร็วและReในเตาเผา.....	50
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	53
5.1 บทนำ.....	53
5.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	53
5.2.1 เตาเผาฟลูอิด ไดซ์เบด.....	53
5.2.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง.....	55
5.2.3 ชุดป้อนอากาศปฐมภูมิและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	58
5.2.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	58
5.2.5 ระบบวัดอุณหภูมิ.....	59
5.2.6 ชุดอุ่นเตาเผา.....	60
5.2.7 ระบบดักจับฝุ่นจีเถ้า.....	60
5.2.8 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย.....	61
5.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	62
5.4 การอุ่นเตา.....	63
5.5 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	65
6.1 บทนำ.....	65
6.2 การเปรียบเทียบผลกระทบของเตาเผาเกลือฟลูอิด ไคซ์เบคที่ติดครีบในผนังห้องเผาไหม้ กับเตาที่ไม่ได้ติดครีบในผนังห้องเผาไหม้.....	65
6.2.1 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%ที่อัตราการไหลอากาศ 64.96 kg/hr	66
6.2.2 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50%ที่อัตราการไหลอากาศ 69.60 kg/hr	68
6.2.3 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60%ที่อัตราการไหลอากาศ 74.24 kg/hr.....	70
6.2.4 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70%ที่อัตราการไหลอากาศ 78.88 kg/hr.....	72
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	85
7.1 สรุปผล.....	85
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
บรรณานุกรม	87
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ.....	40
4.2 ปริมาณอากาศกรณีอัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric)ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
4.3 ตารางแสดงขนาดของรูและจำนวนรูของเบด.....	50
4.4 ค่า Re และ ความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผาที่ใช้ในการทดลอง.....	52
ก-1 คุณสมบัติของแกลบ.....	92
ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง.....	93
ก-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544.....	94
ก-4 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง.....	94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวคลื่น.....6
2.2	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาออร์ตเทคหลายชั้น(MVC).....7
2.3	แสดงส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนที่นำมาประกอบเป็นตัวเตา8
2.4	แผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....9
2.5	เตาเผาใหม่แบบฟลูอิด ไคซ์เบด10
2.6	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผา conical FBC.....11
2.7	ลักษณะของเตาเผาต้นแบบฟลูอิด ไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน.....13
2.8	ไดอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบด(VFBC).....14
3.1	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง.....20
3.2	ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....20
3.3	แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง.....21
3.4	บริเวณการเกิดการเผาไหม้.....21
3.5	ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้.....21
3.6	แสดงระดับของเบดในห้องทดลอง.....23
3.7	ลักษณะของฟลูอิด ไคซ์เบด.....24
3.8	แสดงความดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในชุดการทดลอง.....27
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด.....29
3.10	ลักษณะของตัวกระจายแบบแผ่นเจาะรู.....31
3.11	คุณภาพของฟลูอิด ไคซ์เบดที่เกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน.....32
3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re_r).....33
3.13	รูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาค : a, b, เป็น preignition และ c, d, e เป็น postignition.....34
3.14	รูปแสดงวิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....35
4.1	แสดงลักษณะของเตาเผาแบบต่างๆที่ได้ทำการออกแบบ (ก) เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวเรียบปริบอร์คใหญ่ (ข) เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบติดครีบริบปริบอร์คใหญ่.....37
4.2	แสดงรายละเอียดของเตาที่ติดครีบริบ.....38
4.3	ลักษณะการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบ.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบต่างๆ (ก) เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวเรียบพรีบอร์ใหญ่ (ข) เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบมีครีบริบและพรีบอร์คใหญ่.....	54
5.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงเกลบ.....	55
5.3 Inverter.....	56
5.4 Motor.....	56
5.5 Screw Feed.....	57
5.6 Hopper.....	57
5.7 แสดง Blower และ Motor.....	58
5.8 ลักษณะของแผ่นออริฟิส.....	58
5.9 Inclined Manometer.....	58
5.10 เครื่องมือวัดความเร็วลม testo 445.....	59
5.11 เทอร์โมคัปเปิล.....	59
5.12 Data logger.....	59
5.13 แสดงถังแก๊สและหัวเผา.....	60
5.14 Cyclone.....	60
5.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL.....	61
5.16 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด.....	62
6.1 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%.....	66
6.2 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%.....	67
6.3 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%.....	68
6.4 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%.....	69
6.5 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%.....	70
6.6 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%.....	71
6.7 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%.....	72
6.8 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%.....	73
6.9 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาที่ไม่มีครีบริบที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน เป็น 40%,50%, 60%,70%.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

6.10 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตามีครีบที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน เป็น 40%, 50%, 60%, 70%.....	75
6.11 การกระจายอุณหภูมิของเตาที่ไม่มีครีบตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน เป็น 40%, 50%, 60%, 70%.....	76
6.12 การกระจายอุณหภูมิของเตาที่มีครีบตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน เป็น 40%, 50%, 60%, 70%.....	77
6.13 แสดงปริมาณก๊าซ CO สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ.....	78
6.14 แสดงปริมาณก๊าซ NO_x สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ.....	79
6.15 แสดงปริมาณก๊าซ O_2 สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ.....	79
6.16 แสดงปริมาณก๊าซ CO_2 สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ.....	80
6.17 แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จากไอเสียสำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ.....	80
6.18 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 40%.....	81
6.19 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 50%.....	81
6.20 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 60%.....	82
6.21 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 70%.....	82
6.22 เถ้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 40%.....	83
6.23 เถ้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 50%.....	83
6.24 เถ้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 60%.....	84
6.25 เถ้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบที่อากาศส่วนเกิน 70%.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_0	พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส , (m^2)
AF	อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง
AF_{ac}	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ
AF_{th}	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
Ar	เลขอาคิมิดีส (Archimedes number)
C_p	specific heat, ($J/kg.K$)
C_d	Drag Coefficient, ไร้มิติ
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทิ้งถ้ำลอย
d_p	ขนาดของอนุภาค
g	สัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วงของโลก , (m/s^2)
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}	อัตราการป้อนแก๊ส , (kg/min)
n	จำนวน โมล
P	ความดันของอากาศขึ้น , (Pa)
P_a	ความดันย่อยของอากาศแห้ง , (Pa)
P_g	ความดันของอากาศอิมิตัวที่อุณหภูมิใด ๆ , (Pa)
P_v	ความดันไอ , (Pa)
Q_{ac}	อัตราการไหลจริงเชิงปริมาตร , (m^3/s)
R	รัศมีภายในของเตาฟลูอิดไดซ์เบด, (m)
R_a	ค่าคงที่ของอากาศ , ($kJ/kg.K$)
R_v	ค่าคงที่ของไอน้ำ , ($kJ/kg.K$)
n	จำนวนรอบของมอเตอร์, rpm
L_{mf}	height of a minimum fluidized bed, m
L_f	height of a bubbling fluidized bed, m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

h	ความสูงของเตาเผา, m
H	ความสูงของ Free board, m
FEZ	Free Entrainment Zone
SEZ	Swirling Effect Zone
N_{or}	จำนวนรูของออร์ฟิสต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายลม
W_{sa}	งานของปั๊มจริง (actual pumping work)
W_{si}	งานของปั๊มทางจริง (ideal pumping work)
U	ความหนืดของก๊าซ
ID	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเผา
OD	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเตาเผา
Re_p	$\frac{d_p U_o \rho_g}{\mu}$ ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ของอนุภาค
RTD	residenc time distribution
TDH	ค่าความสูงของการหลุดลอย (transport disengaging height), m
U	ความเร็ว (m/sec)
U_{mf}	ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์
U_t	terminal Velocity of a falling particle, (m/s)
U	ความเร็ว, (m/s)
U_{or}	ความเร็วของก๊าซที่ผ่านแผ่นออร์ฟิส
U_o	superficial fluid velocity
r/R	พิกัดในแนวรัศมีภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบด โดยอ้างอิงจากกึ่งกลางเตา
T	อุณหภูมิ, ($^{\circ}C$)
T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, ($^{\circ}C$)
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, ($^{\circ}C$)
V	ปริมาตร, (m^3)
x	ความสูงของเตาฟลูอิดไดซ์เบด โดยอ้างอิงจากแผ่นเบด, (m)
x/D	ความสูงของเตาฟลูอิดไดซ์เบดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเตา โดยอ้างอิงจากแผ่นเบด
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ω	อัตราส่วนความชื้น , (kg/kg-dry air)
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ , (kg/m ³)
ρ_g	ความหนาแน่นของอากาศอิมิตัวที่อุณหภูมิใด ๆ , (kg/m ³)
ρ_v	ความหนาแน่นของไอน้ำ , (kg/m ³)
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ , (kg/m ³)
γ	น้ำหนักจำเพาะ , (N/m ³)
ρ_p	ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง
ρ_g	ความหนาแน่นของก๊าซ
Δh	ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ , (m)
ΔP_d	ความดันตกคร่อมผ่านแผ่นกระจายลม
ϕ_s	ค่าความกลม (sphericity) ของอนุภาค
ε	Vaid Fraction, ไม่มีหน่วย
ε_f	สัดส่วนช่องว่างของเบดขณะเกิดการฟลูอิดไดซ์
ε_{mf}	สัดส่วนช่องว่างของเบดที่ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์
$Eff\eta$	ประสิทธิภาพการเผาไหม้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าความต้องการทางด้านการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเจริญของประเทศ และ จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น แต่ ทรัพยากรก็ยังมีน้อยลง เราควรใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า และ พยายามหาแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาทดแทน ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ถ่านหิน, ปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ประกอบกับเกิดวิกฤตการณ์ของพลังงานมีราคาที่สูงขึ้น ดังนั้น ภาครัฐและเอกชนจึงมีนโยบายที่จะหาพลังงานอื่น ๆ มาช่วยทดแทนพลังงานที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์, พลังงานลม แต่พลังงานในรูปแบบดังกล่าวนี้จะต้องนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือที่ทันสมัยและมีราคาแพงมากจึงทำให้ยากที่จะนำพลังงานเหล่านี้มาใช้เพราะมีต้นทุนในการผลิตสูง หรือความพยายามที่จะนำน้ำมันเชื้อเพลิงมาผสมรวมกับสารสกัดจากพืช เพื่อนำมาผสมกันและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใหม่เช่นการนำน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม เรียกว่า "ไบโอดีเซล"

เมื่อลองทำการศึกษาและพิจารณาพบว่าหากสามารถหาแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้ไม่มีวันหมดและก่อมลพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษเหลือจากการเกษตรสามารถนำมาใช้เป็นพลังงาน ได้ในรูปของพลังงานความร้อน อาทิเช่น ฟางข้าว, เปลือกถั่ว, ชังข้าวโพด และแกลบ ฯลฯ ซึ่งวัสดุดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี พลังงานที่ได้เหล่านี้เรา เรียกว่า พลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy) ถ้าหากปล่อยวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวทิ้งไว้จะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางด้านสภาวะแวดล้อม และจากการศึกษาจะพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทั่วทุกภาคของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรมแล้วมีการทำนากันมาก เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตเรียบร้อยแล้วจะต้องนำข้าวเปลือกไปสี เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวออกมาสำหรับบริโภค

แกลบคือวัสดุที่เหลือจากการสีข้าวซึ่งถ้าสีข้าว 1 ตัน จะ ได้แกลบออกมาประมาณ 220 กิโลกรัม ค่าความร้อนของแกลบมีค่า ประมาณ 3,600 kcal/kg จึงจะนำแกลบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนต่อไป เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการที่จะนำแกลบมาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน จำเป็นที่จะต้องหาเทคโนโลยีหรือเทคนิคมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างเตาเผา อาทิเช่น เตาเผา ไซโคลน, เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด, เตาเผาเวอร์เทค เป็นต้น ในที่นี้จะให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด เนื่องจากแกลบจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบาหากจะใช้เทคโนโลยีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลูอิดโค้ชเบดจากการศึกษา พบว่า วิธีการของฟลูอิดโค้ชเบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเตาเผาแกลบฟลูอิดโค้ชเบดที่ใช้โดยทั่วไปแล้วจะเป็นห้องเผาไหม้แบบทรงกระบอกผิวเรียบขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ซึ่งหากจะนำเตาเผาแกลบฟลูอิดโค้ชเบดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมภายในครัวเรือน ควรจะมีขนาดเล็กและมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิจุด

ดังนั้น จึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเทคนิคฟลูอิดโค้ชเบดแบบผิวคลื่น และ ฟริบอร์คใหญ่เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งสามารถทำให้การคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศและระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น สามารถที่จะทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กและสั้นลงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดโค้ชเบด
2. ศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาที่ไม่ได้ติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้
3. ศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาที่มีครีบลักษณะสามเหลี่ยมที่ทำมุม 45 องศา จำนวน 2 คู่ในห้องเผาไหม้
4. เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆภายในเตา มลพิษและก๊าซที่ออกมาจากก๊าซไอเสีย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติให้ระบบที่ทำการศึกษานี้เป็นระบบแบบอะเดียบาติกและเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (2 มิลลิเมตร x 8 มิลลิเมตร)

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาฟลูอิดโค้ชเบดแบบติดตั้งครีบบน และ ไม่ได้ติดตั้งครีบบนที่มีฟริบอร์คใหญ่ด้านบน สำหรับเตาเผาแกลบฟลูอิดโค้ชเบดที่มีอยู่เดิม พบว่าจะต้องมีความสูงของห้องเผาไหม้ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคฟลูอิดโค้ชเบดแบบผิวคลื่น และ ฟริบอร์คใหญ่เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ทำให้สามารถลดความสูงของห้องเผาไหม้ได้ ไม่เกิดการแยกชั้นของการไหลของอนุภาค ช่วยให้เชื้อเพลิงสามารถอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้นทำให้มีเวลาเพียงพอในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบ และ ฟรีบอร์ดใหญ่
2. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีครีป และ ฟรีบอร์ดใหญ่
3. เชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ
(ประมาณ 2 มิลลิเมตร x 8 มิลลิเมตร)
4. ใช้อากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60% และ 70% ของอัตราส่วนผสมของอากาศแบบพอดี โดยยึดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 8.64 kg/hr
5. ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างเตาเผาที่ไม่ได้ติดครีป กับเตาเผาที่ติดครีปทำมุม 45 องศา จำนวน 2 คู่ ภายในห้องเผาไหม้
6. ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายใน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกนที่กำหนดไว้ของเตาเผา 11 ตำแหน่ง การกระจายอุณหภูมิในแนวรัศมี อุณหภูมิห้องผสม 1 ตำแหน่ง
7. วิเคราะห์ก๊าซไอเสีย และขี้เถ้า

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาชีวมวลแบบวอร์เทค, ฟลูอิดไดซ์เบดและไซโคลน รวมทั้งปัญหา, ข้อจำกัดและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
2. ศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้, ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชันและหลักการคำนวณ
3. สร้างและทดสอบครีปที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมที่ทำจากเหล็กฉาก โดยจัดให้ทำมุมกับผนังเตา 45 องศา โดยติดตั้งเป็นจำนวน 2 คู่
4. ทำการทดลองเปรียบเทียบถึงผลกระทบต่อกรเผาไหม้ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลักๆ คือ
 - 4.1 ทำการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดแบบที่ไม่ได้ติดตั้งครีปในห้องเผาไหม้
 - 4.2 ทำการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดแบบที่ติดตั้งครีปในห้องเผาไหม้
5. บันทึกผลการทดลอง
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา และการปรับปรุง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หาแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาด หาได้ง่าย ราคาถูก มาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานหลักที่มีใช้อยู่เดิมที่เหลือน้อยลงทุกวันเช่น น้ำมันดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป
3. สามารถนำกลับมาใช้จากกระบวนการสีข้าวมาใช้ให้เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นกว่าที่เป็นอยู่
4. สามารถประยุกต์ความร้อนเพื่อการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรหรือนำไปผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ลดขนาดของเตาเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นประเทศทางด้านอุตสาหกรรม การดำเนินการต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานมาใช้จำนวนมาก ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำพลังงานมาใช้ในหลายรูปแบบเช่นพลังงานฟอสซิล ได้แก่ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันดิบ, ถ่านหิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้พลังงานจากธรรมชาติเช่นชีวมวล, พลังงานน้ำ ตลอดจนพลังงานจากแสงอาทิตย์ แต่ปริมาณการใช้ยังมีไม่มากเท่าใดนัก การนำพลังงานฟอสซิลมาใช้อย่างฟุ่มเฟือยก่อให้เกิดปัญหาการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ การนำเพลิงชีวมวลมาเผาเพื่อเป็นพลังงานจะช่วยลดความต้องการการนำเข้าพลังงานลงได้ในระดับหนึ่ง และยังเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

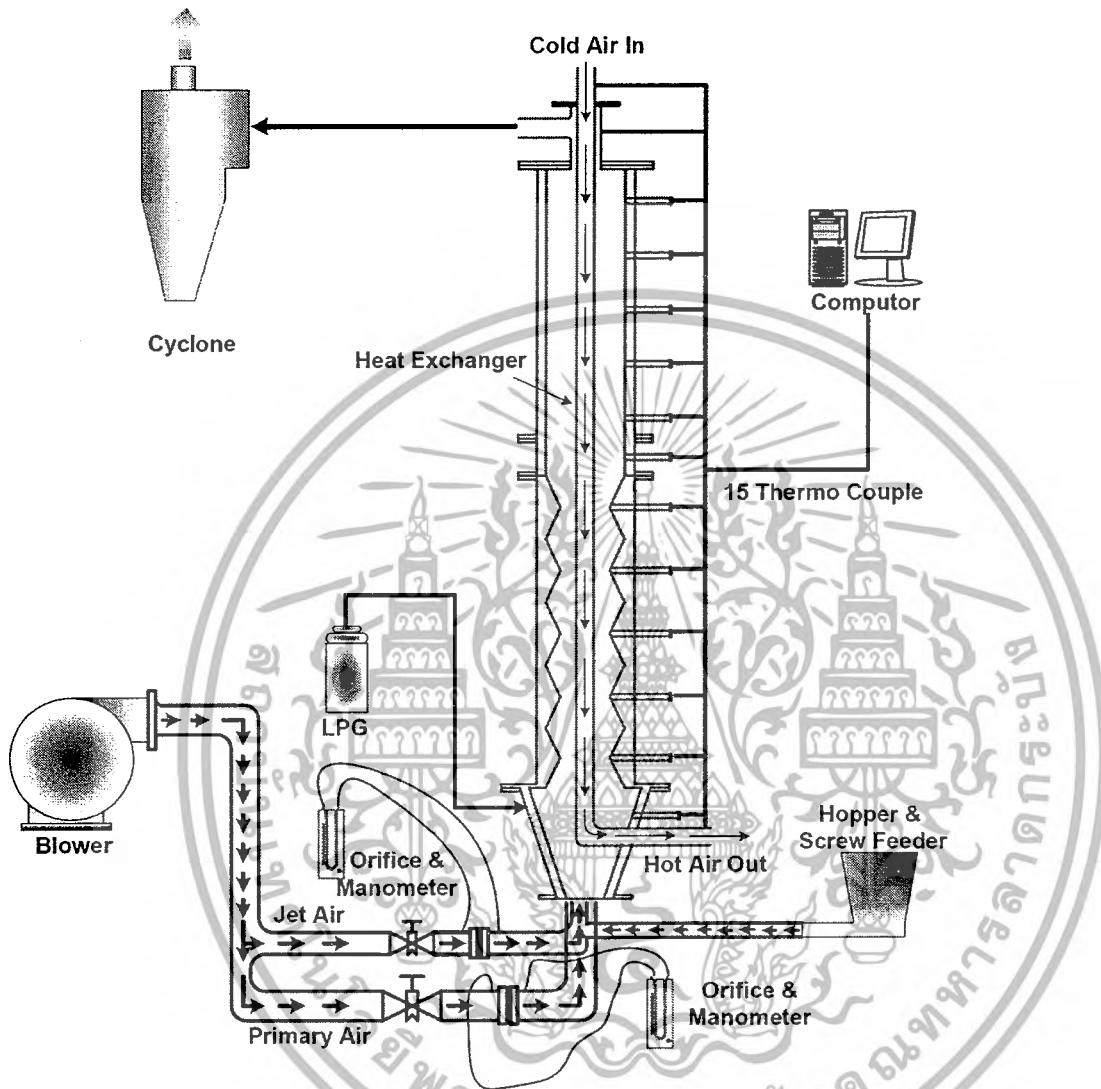
การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะของเตาเผาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน สำหรับประเทศไทยมีการค้นคว้าวิจัยเตาเผาหลายประเภทด้วยกันเช่นเตาเผาออร์ต, เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบด หรือ เตาเผาไซโคลน เป็นต้น ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศมากมาย

2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ

2.2.1.1 งานวิจัยของ ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ [1] ได้ทำการศึกษาเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีผิวคลื่น ห้องเผาใหม่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 200 มิลลิเมตร (D) สูง 2.4 เมตร ผิวคลื่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1D เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5D และได้ทำการทดลองกับเตา 4 แบบ คือ เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวเรียบ เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบมีคอคอด เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบคลื่นล่าง และ เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบคลื่นบน ใช้เชื้อเพลิงแกลบขนาดปกติ ประมาณ 2 ม.ม. x 8 ม.ม. ใช้อากาศส่วนเกิน 15%, 30%, 45%, 60%, และ 75% ของอัตราการไหลของอากาศทั้งหมด 95 kg/hr และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบอยู่ระหว่าง 10-15.5 kg/hr อัตราการไหลของอากาศในอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% ของอัตราการไหลของอากาศทั้งหมด 95 kg/hr ทดลองกับเตาเผาที่อากาศส่วนเกิน 45% ทดลองการใช้ทรายเป็นเบด วัดการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดลองเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวคลื่นทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การเผาไหม้ดีขึ้นกว่าแบบผิวเรียบ แต่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังไม่ดีพอ จากการที่เชื้อเพลิงมีการหลุดลอยออกจากห้องเผาไหม้เร็วเกินไป

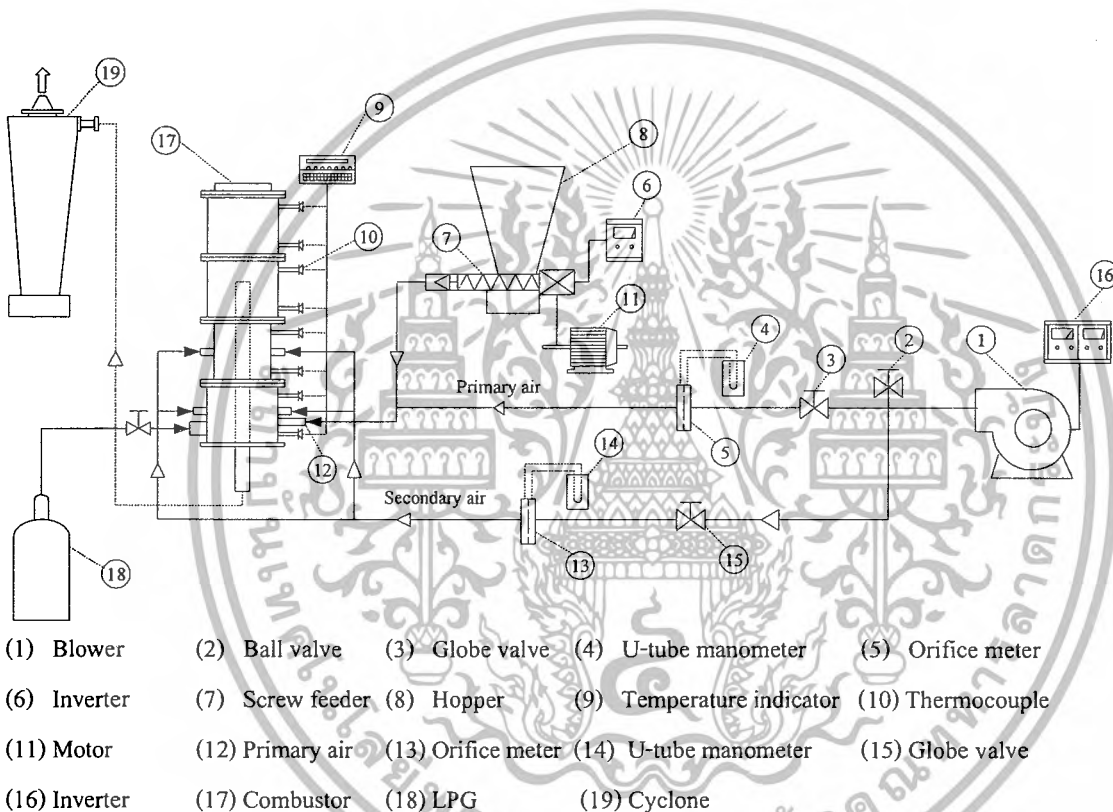


ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวคลื่น

2.2.1.2 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ ดีลาผาดิกุล [2] ศึกษาชั้นวอร์เทกของเตาเผาเคลือบ ที่มี

อิทธิพลต่อการเผาไหม้ภายในเตาซึ่งเตาเผาไหม้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร (D) โดยมีแกนกลางภายในเป็นท่อทึงไอเสีย และมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังเตาเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน ขนาดของเตาเผาไหม้ส่วนบนและส่วนล่าง ถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดจาก 1.0D เป็น 0.75D และ 0.5D ตามที่ได้ออกแบบไว้ การเปลี่ยนขนาดเตาเผาส่วนบนและส่วนล่างนี้ ก่อให้เกิดการหมุนวนหลายชั้นภายในเตาเผาไหม้ รายละเอียดของอุปกรณ์ในการทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 2.1 โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในเตา เมื่อทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

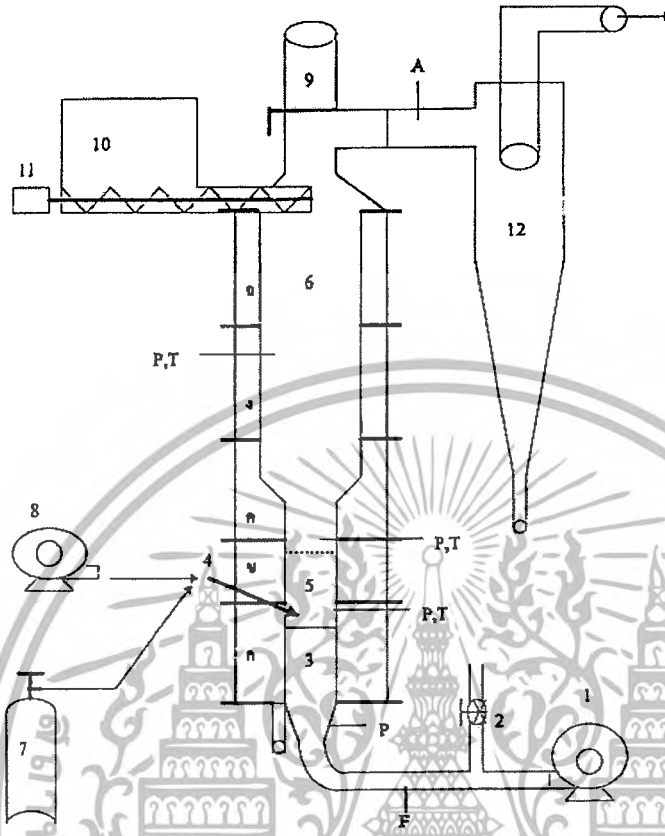
ปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยแต่ละการทดลอง จะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุติยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0, 0.15, และ 0.25 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคองที่เท่ากับ 0.3 kg/min. จากการทดลอง เตาเผาส่วนบนและส่วนล่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5D และ 1.0D ตามลำดับ ที่ค่า Φ เท่ากับ 0.8 และที่ค่า λ เท่ากับ 0.0 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผาเท่ากับ 1,192 องศาเซลเซียส ที่บริเวณวงแหวนของห้องเผาไหม้ โดยควันที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณน้อย และ จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผาออร์เทค พบว่าประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 1.5%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 18.3% และ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เท่ากับ 205 ppm.



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาออร์เทคหลายชั้น(MVC)

2.2.1.3 งานวิจัยของ เสรีย์ ตู๊ประกาย [3] ศึกษาและออกแบบเตาเผาจากตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง เป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์ทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 2.2 โดยลักษณะเตาเผาเป็นรูปทรงกระบอกหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ บริเวณส่วนเผาไหม้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.2 เมตร ส่วนขยายด้านบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.4 เมตร ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงป้อนหัวเผา พบว่าสภาพที่เหมาะสมในการดำเนินการอยู่ที่ อัตราการป้อนก๊าซ LPG 4.35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณอากาศสำหรับฟลูอิดไดซ์ 32 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อากาศผสม LPG ที่หัวเผา 7.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ศึกษาอัตราการป้อนการตะกอนที่ 10, 15, 20, 25, 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมงพบว่า ประสิทธิภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 95.62 % ที่อัตราการป้อน 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำลายกาคะกอนสูงสุดเท่ากับ 95.89 % ที่อัตราการป้อนกาคะกอน 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



- | | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| 1. Fluidized-air blower | 5. Sand bed | 9. Butterfly valve | P-จุดวัดความดัน |
| 2. By part | 6. Freebord | 10. Screw feeder | T-จุดวัดอุณหภูมิ |
| 3. Distributor | 7. LPG tank | 11. Motor | A-จุดวัดก๊าซเผาไหม้ |
| 4. Preheat burner | 8. Air compressor | 12. Cyclone | F-จุดวัดอัตราการไหลอากาศ |

ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนที่นำมาประกอบเป็นเตาเผา

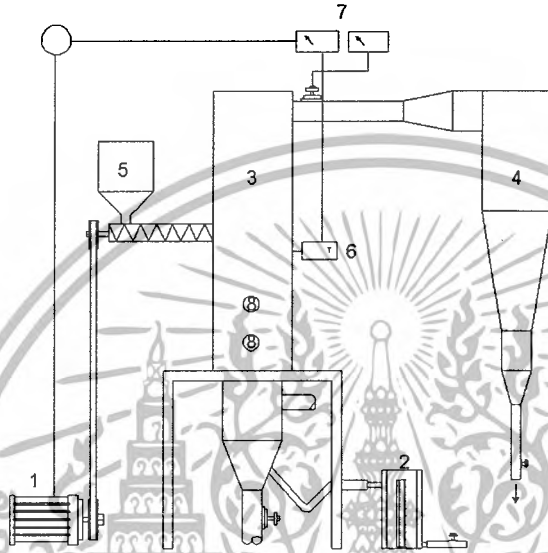
2.2.1.4 งานวิจัยของ ศศิวิมล สูงสว่าง [4] ได้ทำการวิจัยการเผาไหม้ของแกลบโดยใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้แกลบที่ทำให้ได้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มทุน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเทคโนโลยีในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่แกลบที่เหลือใช้ให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

โดยในการทดลองนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดและศึกษาการทำงานรวมถึงกลไกการทำงานของเครื่องมือวิจัยของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1 จากการศึกษาทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดังนี้คือ อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไดซ์เบด ในการทดลองได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศจาก 20.62 - 45.67 m/s และอุณหภูมิของการเผาไหม้จาก 500 - 800 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้แกลบในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดคือ ความเร็วของอากาศเท่ากับ 32.77 m/s และอุณหภูมิของการเผาไหม้มีค่าประมาณ



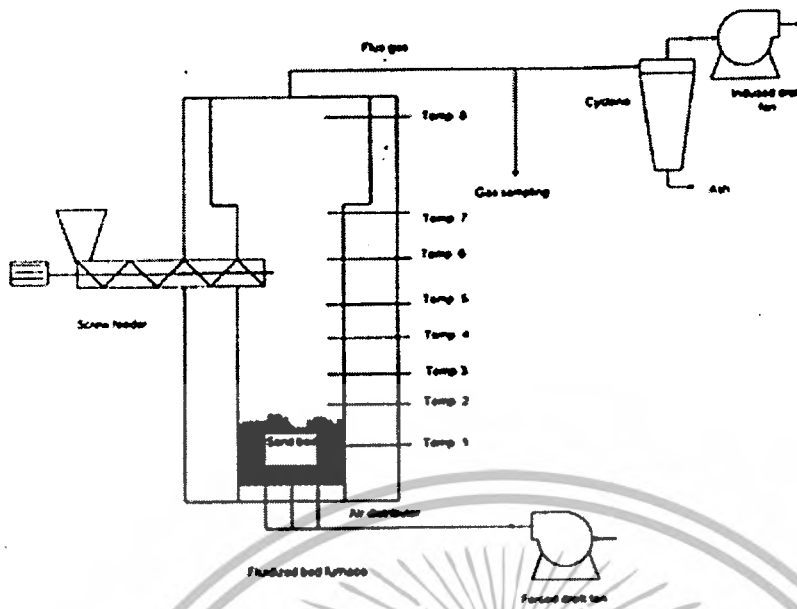
1. มอเตอร์
2. เครื่องวัดความเร็วของอากาศ
3. ฟลูอิดไดซ์เบดคอตมันน์
4. ไซโคลน
5. เครื่องป้อนวัสดุคิบ
6. เครื่องวัดอุณหภูมิ
7. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
8. ช่องสำหรับการเผาไหม้ภายในคอตมันน์

ภาพที่ 2.4 แผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

700 องศาเซลเซียส ซึ่งประสิทธิภาพของการเผาไหม้ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 96.91 โดยที่ กำหนดอัตราการป้อนแกลบไว้ที่ 3.05 kg/hr และชี้แกลบที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีใช้อยู่พบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดมีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 47 - 53

2.2.1.5 งานวิจัยของ สุวิทย์ เตีย และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งได้ทำการนำเตาฟลูอิดไดซ์เบดมาใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กากมันสำปะหลัง, เปลือกถั่วลิสง และฟางข้าว เพื่อทำการศึกษถึงผลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเผาไหม้ โดยที่ทำการกำหนดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้มีค่าคงที่ คือ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



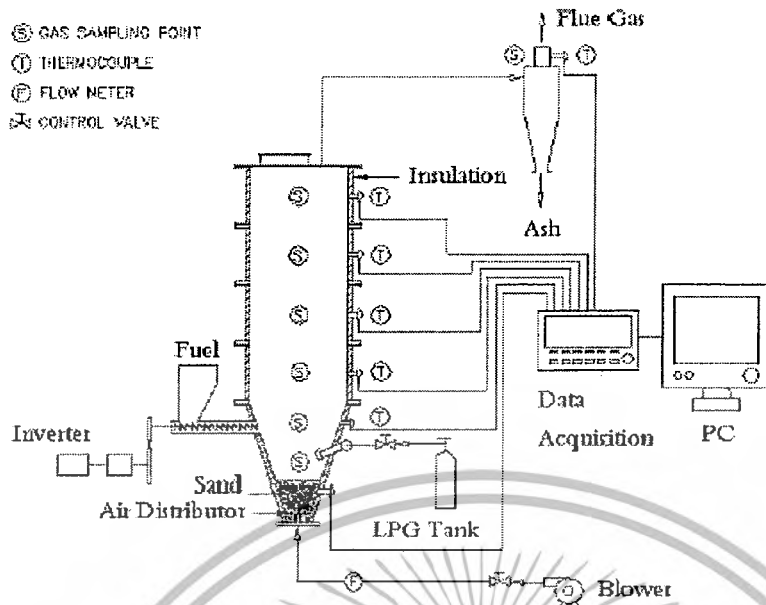
ภาพที่ 2.5 เตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด

จากการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดของกากมันสำปะหลัง, เปลือกถั่วลิสง และฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 7.25, 6.0 และ 7.15 ตามลำดับจะได้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 99.71%, 99.07% และ 97.92% ตามลำดับ และพบว่าอุณหภูมิเหนือเบดสูงกว่าอุณหภูมิในเบด เป็นเพราะชีวมวลที่ใช้มีปริมาณสารระเหยสูง ส่วนปริมาณก๊าซพิษได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 290 – 340 ppm ส่วนสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะมีน้อยมากประมาณ 120–200 ppm

2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

2.2.2.1 งานวิจัยของ W.Permchart และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทรงกรวย (conical FBC) โดยใช้ทรายเป็นเบด ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.3-0.5 mm ซึ่งได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นตามความสูงของเตาเผา และเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้จะมีความชื้นประมาณ 10.3% อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบ 2 ค่า คือ 37.3 และ 82.4 kg/hr แล้วในแต่ละอัตราทำการปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 6 ค่าคือ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 โค้ดแกรมการทดลองของเตาเผา conical FBC

ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Testo-350 M โดยทำการวัดส่วนประกอบของก๊าซ (CO , CO_2 , O_2 และ NO) ในก๊าซไอเสียโดยตัวอย่างในการทดสอบจะทำการวัดช่องวัดพิเศษภายในเตาเผาและที่ทางออกของไซโคลนและนำก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้สำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้ไปวิเคราะห์ พื้นฐานของการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนมีอยู่ด้วยกัน 2 ตัวแปรคือคาร์บอนที่ยังเผาไหม้ภายในก๊าซและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบของอุณหภูมิตามแนวแกนของเตาเผา Conical FBC อัตราการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลกระทบที่ชัดเจนต่ออากาศส่วนเกินและความสูงของเบดซึ่งเป็นอิทธิพลของอุณหภูมิตามแนวแกนของ CO และ NO ตามแนวแกนมีค่าสูงสุดอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกิน อย่างไรก็ตาม CO และ NO ตามแนวแกนมีผลมาจากความสูงของเบดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา Conical FBC สำหรับการเผาถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 81 ถึง 86% ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ต่างกัน

2.2.2.2 งานวิจัยของ Teng และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของขยะยางในเตาเผาต้นแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน เตาเผานี้จะถูกออกแบบให้มีการเผาไหม้ขยะยางในปริมาณ 120 kg/hr. ส่วนประกอบของเตาเผาสร้างจากวัสดุทนไฟ การศึกษานี้กำหนดให้มีความร้อนสูญเสียที่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมคิดได้ว่ามีค่าน้อยมาก (น้อยกว่า 5%) ลักษณะของตัวเตาเผาสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่คือ Windbox, Distributor (ตัวกระจายลม), Combustion Chamber (ห้องเผาไหม้) และ Freeboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Windbox ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนแยกออกจากกัน ปริมาตรของส่วนหนึ่งเป็น 2 เท่าของอีกส่วนหนึ่ง อากาศปฐมภูมิจะถูกควบคุมแยกกันในแต่ละส่วน ตัวกระจายลมจะถูกออกแบบให้มีลักษณะที่ลาดเอียง จุดประสงค์ของการออกแบบ Windbox และตัวกระจายลมก็เพื่อการไหลหมุนวนของวัสดุเบดภายในเตาเผา ห้องเผาใหม่มีขนาดฐาน 0.7 X 1.4 เมตร และมีความสูง 2 เมตร ภายในห้องเผาใหม่แบ่งออกเป็นส่วนที่มีความเร็วสูงกับส่วนที่มีความเร็วต่ำ เหนือส่วนของ Windbox ตัวเล็กจะเป็นส่วนที่มีความเร็วสูง

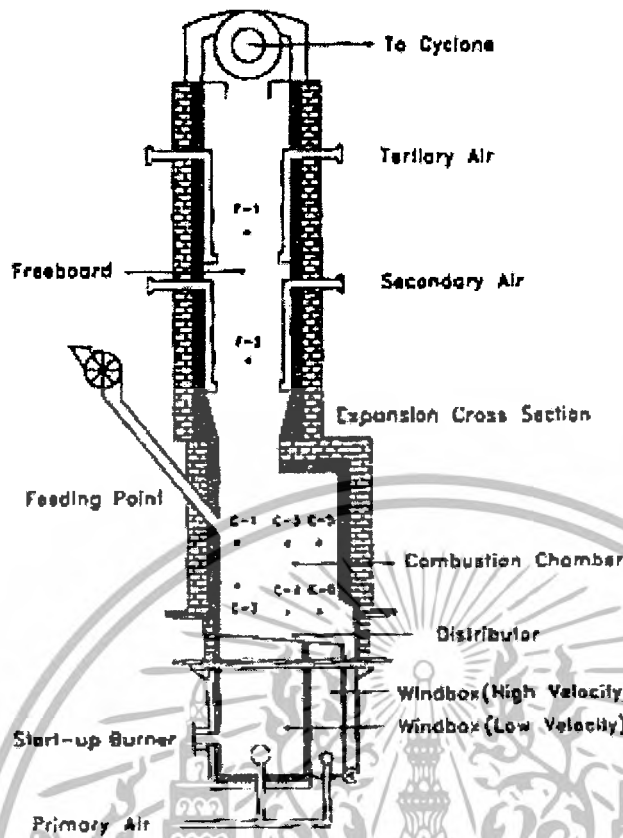
ส่วนของ Freeboard มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร และมีความสูง 4 เมตร หัวฉีดของอากาศทุติยภูมิจะถูกวางเป็น 2 ระดับบน Freeboard แต่ละระดับประกอบไปด้วยหัวฉีดจำนวน 4 หัววางไว้ให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน และมีการแบ่งระดับของหัวฉีดทั้ง 2 ระดับนี้เราเรียกส่วนล่างว่าอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) และเรียกส่วนบนว่าอากาศส่วนที่ 3 (Tertiary Air) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 อากาศทั้ง 1 ส่วนนี้จะถูกอุ่นก่อนที่จะส่งเข้าไปใน Freeboard

ระบบป้อนเชื้อเพลิงนี้มีการป้อนเชื้อเพลิงเหนือเบด และมีการป้อนทั้งเศษยางกับหินปูน โดยทั้งเศษยางและหินปูนจะถูกส่งไปตามทางส่งเข้าไปในห้องเผาฟลูอิด ไคซ์เบด จุดที่มีการป้อนจะอยู่ที่ด้านข้างของส่วนที่มีความเร็วต่ำ

ขยะยางได้ถูกนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา การศึกษานี้ได้ใช้เศษยาง 2 ขนาด คือ 10-20 มิลลิเมตร และ 50-100 มิลลิเมตร ส่วนประกอบและองค์ประกอบของธาตุของขยะยางและได้ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 520 ไมโครเมตร ปริมาณกำมะถันที่สูงของขยะยางจะให้ปริมาณซัลเฟอร์ออกไซด์ที่สูงในการเผาไหม้ การทดลองนี้ได้ใช้หินปูนเป็นตัวลดการปล่อยซัลเฟอร์โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินปูนคือ 710 ไมโครเมตร อัตราส่วนของแคลเซียมต่อซัลเฟอร์กำหนดให้อยู่ที่ 3 ทุกการทดลอง

การเผาไหม้เศษยางที่มีขนาดแตกต่างกันในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวนนั้น การใช้เศษยางขนาดใหญ่กว่าจะทำให้ปริมาณสารระเหยในปริมาณเล็กน้อยถูกเผาไหม้ใน Freeboard ผลการทดลองทำให้เห็นแล้วว่าอุณหภูมิเบดที่คงตัวจะเป็นการใช้ยางที่มีขนาดใหญ่กว่าเชื้อเพลิง

คุณลักษณะของการเผาไหม้มีความสำคัญและมีอิทธิพลจากอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิและอากาศส่วนที่ 3 การเพิ่มขึ้นของการฉีดอากาศทุติยภูมิและอากาศส่วนที่ 3 พร้อมกันจะทำให้เพิ่มความเข้มของการหมุนวนและความเร็วของแก๊สตามแกนใน Freeboard, ทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้, การปล่อยมลพิษมีผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ

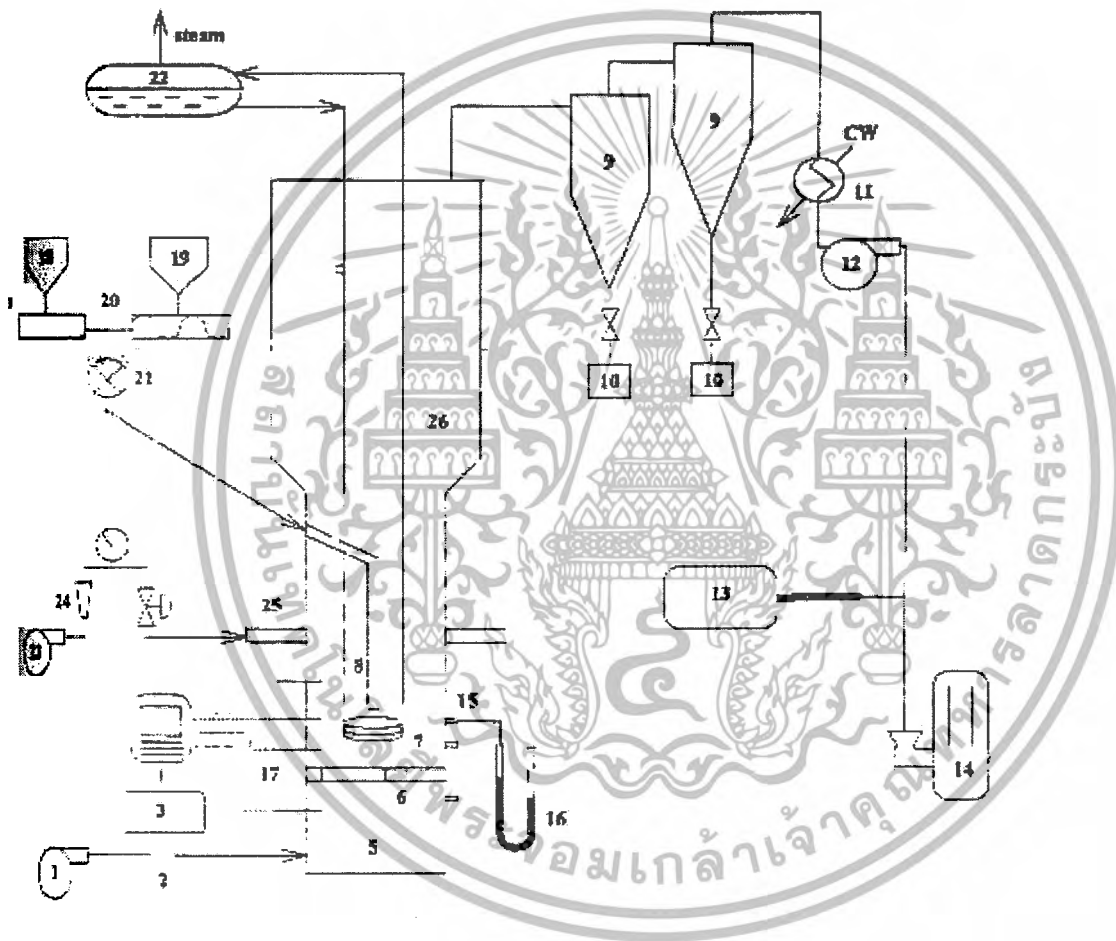


ภาพที่ 2.7 ลักษณะของเตาเผาต้นแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน(VFBC)

2.2.2.3 งานวิจัยของ LIN, C.H. และคณะ [9] ได้ทำการทดสอบการเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนวน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 m. โดยใช้ถ่านหินบิทูมินัสที่พบภายในประเทศ 3 ขนาด (+3.5, -9.7 mm; +1.4, -3, -1.4 mm.) ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยอัตราการป้อนถ่านหินคงที่เท่ากับ 36 kg/hr. ส่วนอากาศปฐมภูมิถูกจัดที่ 95 % ของอากาศทางทฤษฎี ขณะที่ความเร็วเป็น 1.2 m/s (ประมาณ 3.5 เท่าของ umf) ไดอะแกรมของระบบการเผาไหม้สามารถดูได้จากรูป 2.5 เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ทำการศึกษาหาขนาดของทรายในฟลูอิดไดซ์เบดและความเร็วของแก๊สที่ทำให้เกิดความเร็วดำสุดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.345 m/s อากาศฟลูอิดไดซ์เซชันและอากาศปฐมภูมิของการเผาไหม้ ซึ่งมาจาก 2 Blower แบบ Roots ขนาด 15 แรงม้า อากาศทุติยภูมิมาจากเทอร์โบโบเวอร์ขนาด 3 แรงม้า คอมเพรสเซอร์ขนาด 20 แรงม้าใช้สำหรับส่งอากาศผ่านท่อไปยังห้องเผาไหม้, ซึ่งเป็นการสร้างจากสเตนเลส (316) และหุ้มเซรามิกไฟเบอร์หนา 0.1 m. ความสูงของเตาเผาทั้งหมดเป็น 4.68 m. ความลึกของเบดเป็น 0.6 m. และความสูงของ Free board เป็น 2.5 m. โดยรายละเอียดของเตาเผาแสดงในรูปที่ 2 คอลย์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปรับได้อยู่ภายในเตาเผาเป็นตัวช่วยควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับพื้นที่ผิวของคอลย์ในเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดวางหัวฉีด (สำหรับการฉีดอากาศหตุติภูมิ) ในFree board แสดงในรูปที่ 27 การจัดวางนี้วางในแนวระดับและมุมของหัวฉีดเป็น 60 องศา มีการกำหนดความสูงของหัวฉีดของอากาศหตุติภูมิ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญเมื่อจะทำการหาประสิทธิภาพของการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม ระดับความสูงของการฉีดอากาศหตุติภูมิทั้งสาม (ที่ 0.9, 1.3 และ 1.85) เหนือแผ่นกระจายที่ทำการทดสอบเทอร์โมคัปเปิ้ลและแท็บความดันติดตั้งตามแนวตั้งของเตาเผาเพื่อใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความดัน ท่อไอเสียมีการหล่อเย็นที่ 200 °C ก่อนที่จะปล่อยออกไปยังบรรยากาศ อนุภาคของแก๊สไอเสียจะถูกเก็บไว้ในชุดไซโคลนทั้ง 2 และสกรับเบอะแบบเปียก



- | | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 1. โบเวอร์ | 2. ออร์ฟิมาตร | 3. Pressure transducer | 4. ตัวบันทึก |
| 5. กล้องลม | 6. แผ่นกระจาย | 7. คอลย์ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน | 8. ท่อส่ง |
| 9. ไซโคลน | 10. ตัวแก๊สคอนภาค | 11. ท่อระบายความร้อน | 12. พัดลม |
| 13. เครื่องมือวัดมลพิษ | 14. Scrubber | 15. ตัววัดความดัน | 16. มานอมิเตอร์ |
| 17. เทอร์โมคัปเปิ้ล | 18. Hopper สำหรับ Timestone | 19. Hopper สำหรับ ถ่านหิน | |
| 20. Screw feeder | 21. Air lock | 22. Drum | 23. เทอร์โบโบเวอร์ |
| 24. โรตาริเตอร์ | 25. อากาศหตุติภูมิ | 26. Free board | 27. Stack |

ภาพที่ 2.8 โคอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด(VFBC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคของถ่านหินเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง ถ้าไม่มีการฉีดอากาศทุติยภูมิอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินเกือบสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ ตำแหน่งของการฉีดอากาศทุติยภูมิควรอยู่ในตำแหน่งล่างในบริเวณเหนือช่วงการขยายตัวแต่ที่ตำแหน่งสูงกว่าสำหรับช่วงต่ำกว่าช่วงขยายตัวอย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการเผาไหม้ซึ่งสูงเป็น 96 % ง่ายต่อการควบคุมภายใต้การศึกษาใน VFBC

การศึกษานี้เป็นการสนับสนุนให้เห็นว่าปริมาณการไม่เผาไหม้ของ CO ในแก๊สไอเสียหรือการไม่เผาไหม้สารระเหยในอนุภาคของถ่านหินของจีเอ้าสามารถเป็นลบในเงื่อนไขของการทำงานอย่างไรก็ตามการสูญเสียของคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ในเบดเป็นลบในคำอื่นประสิทธิภาพของการเผาไหม้สามารถคำนวณได้ด้วยเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ในจีเอ้า ในการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากการเผาไหม้ได้จากสมการ 1-3 มีความคล้ายคลึงกันและผลต่างเฉลี่ยระหว่างผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่า 3% อย่างไรก็ตามวิธีจากสมการ 3 เป็นที่วางใจได้และมีจุดมุ่งหมายดีกว่า 2 วิธีอื่นสุดท้ายสำหรับ VFBC ก็ใช้การศึกษานี้ การปล่อย Nox ต่ำกว่า 100 ppm

จากงานวิจัยทั้งหมดยังไม่มียานวิจัยใด ๆ ที่ศึกษาถึงผลของการทำห้องเผาไหม้ให้เป็นฝิวคิริบที่ทำให้เกิด Recirculation เพราะฉะนั้นการศึกษาดังกล่าวถึงอิทธิพลของฝิวคิริบ และ ฟรีบอร์ใหญ่ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบฝิวคิริบ และ ฟรีบอร์คใหญ่ต่ออิทธิพลของการเผาไหม้รวมถึงมลพิษที่ออกมาจากเตาเผา ซึ่งส่วนแล้วเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาหาผลที่เกิดขึ้นกับการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบฝิวคิริบ และ ฟรีบอร์คใหญ่ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าเชื้อเพลิงก๊าซและของเหลวมาก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะต้องอาศัยพื้นผิวใหม่ของเชื้อเพลิงในการเกิดออกซิเจนไปจับตัวกับคาร์บอนส่วนที่เหลือในเชื้อเพลิงเพื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรจะทำการศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง, ทฤษฎีความชื้นและองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการทับถมตัวของซากพืชซากสัตว์ ภายใต้อิทธิพลของโลกหรือที่เรียกว่าเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่งคือ เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ไม้ ชีวเสี้ยว และแกลบข้าว เป็นต้น เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลนี้ส่วนใหญ่จะได้จากสิ่งที่เหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม

3.1.1 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแยกประเภทได้เป็น 4 ประเภท คือ

3.1.1.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (Forest biomass) ซึ่งสามารถแยกออกเป็น ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และ ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) ในเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณของลิกนิน (Lignin) อยู่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ในไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างของเชื้อเพลิงประเภทนี้ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ และชีเสี้ยว

3.1.1.2 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร (Agriculture biomass) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบข้าว, ฟางข้าว ซึ่งสารพวกนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำ โดยประมาณ 0 – 20 เปอร์เซ็นต์

3.1.1.3 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (Industrial biomass) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากการผลิตน้ำตาล คือ ซานอ้อย นอกจากนี้ยังมีกากสับประรดที่ได้จากโรงงานผลิตสับประรดกระป๋อง เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก

3.1.1.4 เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (Domestic waste) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะเทศบาล เป็นต้น

3.1.2 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวล โดยทั่วไปจะเป็นเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันตามประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวลและการที่เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณความชื้นและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าแตกต่างกันด้วยดังนี้

ชานอ้อย	มีค่าความร้อน	1,900	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
ขยะ	มีค่าความร้อน	2,000	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
แกลบ	มีค่าความร้อน	3,300	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
ขี้เลื่อย	มีค่าความร้อน	4,000	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

แกลบ

แกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบที่ได้จากส่วนประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถอธิบายที่มาของแกลบได้ดังนี้ เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด คาริออปซิส (Caryopsis) ส่วนที่เป็นเมล็ดที่ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเชื้อหุ้มผล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ เปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Pale) ประกบกัน แบบตะขอกหิน (Interlocking fold) ทั้งสองข้างตลอดแนวความยาวภายในเปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวนี้มีช่องว่างระหว่างเม็ด และเปลือกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ผิวของเปลือกทั้งสองส่วนจะมีหนามแข็งเล็กๆติดอยู่โดยรอบทั่วไป

ข้อดี มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงได้ดีพอสมควรและราคาถูกมาก

ข้อเสีย เมื่อถูกเผาไหม้จะมีปริมาณขี้เถ้าสูงพอประมาณ 15.7 – 21.3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความชื้นสูง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีทำให้ทราบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลของขี้เลื่อยและแกลบดังนี้

แกลบ			
ธาตุคาร์บอน	ประมาณ	40 – 42	เปอร์เซ็นต์
ออกซิเจน	ประมาณ	36 – 37	เปอร์เซ็นต์
ไฮโดรเจน	ประมาณ	5	เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจน	ประมาณ	1	เปอร์เซ็นต์
ขี้เถ้า	ประมาณ	14 – 17	เปอร์เซ็นต์
LHV	ประมาณ	12.27	MJ/kg

3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่าง

รวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เผาไหม้ได้ในที่มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในด้านการกัดกร่อนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษในอากาศ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. เวลาในการเผาไหม้ต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมด
2. อุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง
3. การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะต้องอยู่ในลักษณะการไหลผสมแบบปั่นป่วน (turbulence)

3.2.1 การผสม

การรวมตัวที่ระหว่งเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ก็คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเชื้อเพลิงเป็นของแข็งหรือของเหลว การผสมกันนั้นก็ยุ่งยากมากขึ้น

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อนหรือเป็นฝอย แล้วจึงทำการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้รวมตัวได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ได้ดีเหมือนเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟได้พร้อมกับได้ความร้อนออกมาส่วนหนึ่ง จากนั้นออกซิเจนจะเข้าไปผสมกับคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุดซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟได้เองแล้วพร้อมกับได้ความร้อนออกมาด้วย

ฉะนั้นกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นจะประกอบด้วยพฤติกรรม 4 ขั้นตอน คือ

1. เริ่มต้นด้วยออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่เป็นคาร์บอน
2. เกิดการรวมตัวของคาร์บอนกับออกซิเจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาพร้อมกับความร้อน
3. มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ออกจากผิวของเชื้อเพลิง

4. มีการรวมตัวกันของคาร์บอนมอนนอกไซด์กับออกซิเจนอีกครั้งจนกระทั่งกลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า อัตราการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสให้มากขึ้น

3.2.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับตรงกันกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในตอนแรกและเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous combustion) นั้นต้องมี

1. บริเวณที่จำกัดสำหรับการสะสมความร้อน
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศ

การลุกไหม้นั้นไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูง การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ

ดังนั้นการติดไฟหรือการลุกไหม้นั้นขึ้นอยู่กับหลายสิ่ง เช่น ชนิดของสารเชื้อเพลิง, สถานะของเชื้อเพลิง และอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศ

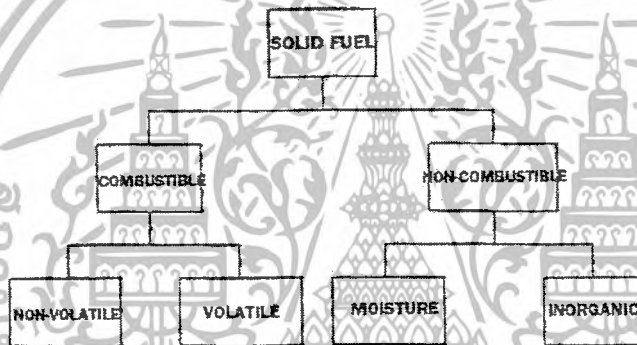
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ฝืน ขี้เถ้าถ่าน ถ่านฟอสเฟต เป็นต้น ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่างไปจากเชื้อเพลิงเหลว และแก๊ส เพราะว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่างๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้ดังรูปที่ 3.1

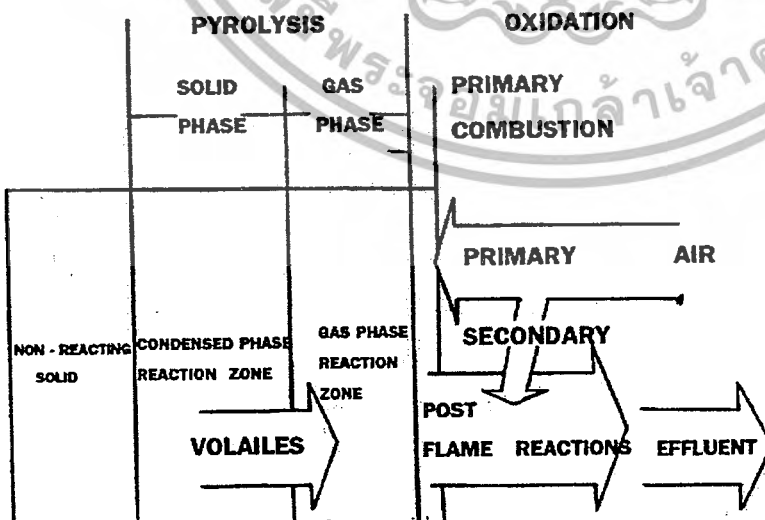
สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เรียกว่า สารเฉื่อย (Inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับ ก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งจะไม่ช่วยในการเผาไหม้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ก็อาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต(Silicates) ซัลไฟด์ (Sulfides) และเกลือฮาโลเจน (Halogen salt) เป็นต้น เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นขี้เถ้า บางส่วนจะตกในหีบที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เรียกว่า เถ้าลอย (Fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (Volatile) และส่วนที่ไม่ระเหย (Non-volatile) ในส่วนที่ไม่ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มากๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึง สารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ หลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 3.2

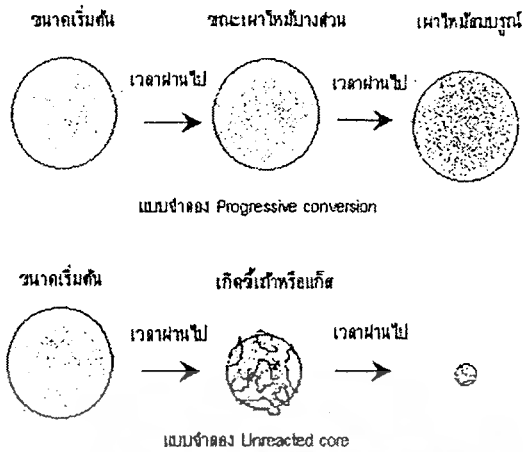


ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

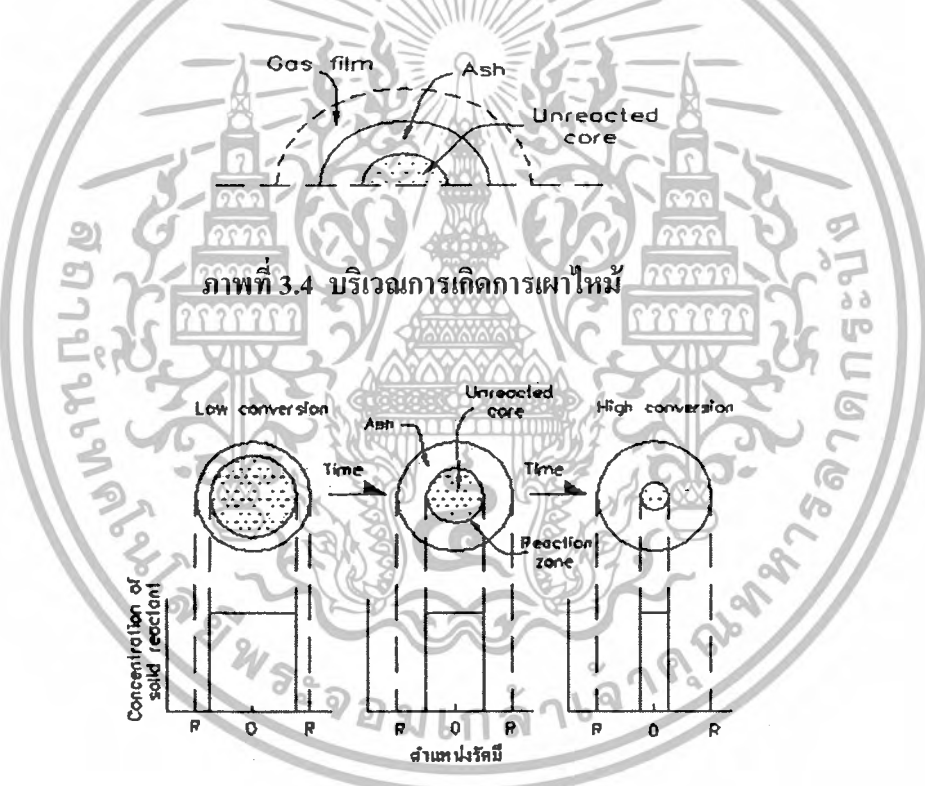


ภาพที่ 3.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง



ภาพที่ 3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้

สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์ม หรือชั้นขี้เถ้า
3. ขนาดของเชื้อเพลิง
4. ความต้านทานของชั้นขี้เถ้ากับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นขี้เถ้าจะสูงกว่า

ชั้นฟิล์มมากดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิฉะนั้นอย่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของแก๊สฟิล์มชั้นจี้ได้ และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air)

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่าอัตราส่วนผสมบาง(Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่าอัตราส่วนผสมหนา(Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงจึงกำหนดให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(percent excess air)} = \left[\frac{(A/F)_{Actual} - 1}{(A/F)_{Stoic}} \right] \times 100\% \quad (3.1)$$

3.5 ทฤษฎีฟลูอิดไดเซชัน

ฟลูอิดไดเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่อนุภาคของแข็งขนาดเล็กถูกทำให้อยู่ในสภาพคล้ายของไหลด้วยการพองโดยก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านเบดของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง โดยมีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

3.5.1 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน

กระบวนการฟลูอิดไดเซชันแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองแบบ คือ

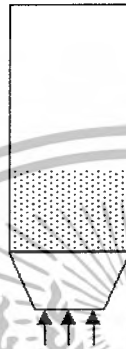
3.5.1.1 ฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ (Two - phases fluidization) หมายความว่าในหอทดลอง หรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะคือ ของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดเซชันจึงแบ่งออกอีก 2 ประเภท คือ

1. ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (Gas fluidization)
2. ฟลูอิดไดเซชันของของเหลว (Liquid fluidization)

3.5.1.2 ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ (Three - phases fluidization) หมายความว่าภายในหอทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกันคือ ของแข็ง, ของเหลวและก๊าซ สำหรับฟลูอิดไดเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ

3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึงอาณาเขตในหอทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวยด้วยของไหลในห้องทดลอง จะระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอทดลอง ดังรูปที่ 3.6



ของไหลความเร็วต่ำ

ภาพที่ 3.6 แสดงระดับของเบดในหอทดลอง

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันลดในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.7 ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้คือ

3.5.2.1 เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed)

3.5.2.2 เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (Expanded bed)

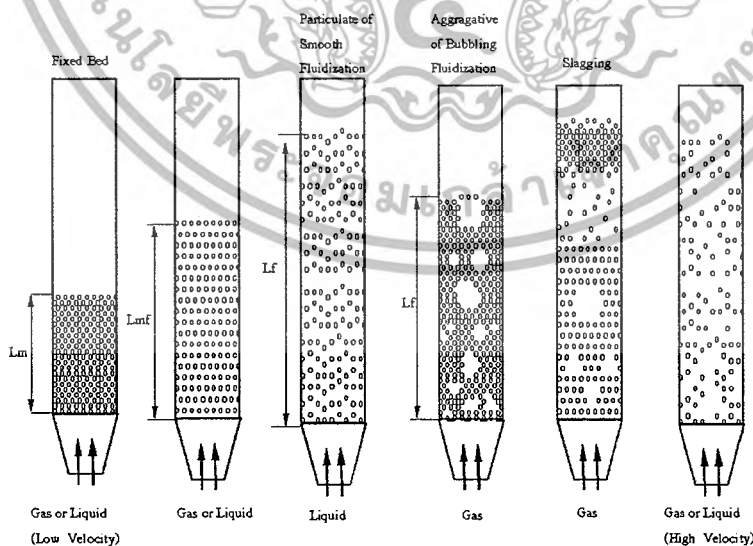
3.5.2.3 เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุดๆหนึ่ง ซึ่งแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และแรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไป อนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบดจะลอยตัวเป็นอิสระ แรงกระทำเนื่องจากความดันลดในเบดหน้าตัดใดๆ ของเบดจะเท่ากับน้ำหนักของของไหลและอนุภาคของแข็งระหว่างหน้าตัดนั้นๆ เบดในสภาพเช่นนี้เป็นเบดที่เริ่มฟลูอิดไดซ์ เรียกเบดในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไดซ์เบด (Incipiently fluidized bed) หรือเบดที่มีสภาพฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด (Minimum fluidization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.4 เมื่อของไหลมีความเร็วมากกว่าความเร็วที่กล่าวในหัวข้อ 3.5.2.3 อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนตัวห่างออกจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล จะเริ่มเกิดฟองก๊าซ (Bubbles) เกิดขึ้นอนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งจะรุนแรงยิ่งขึ้น เเบคในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบด (Bubliling fluidized bed) ส่วนของเบคที่ไม่รวมฟองเรียกว่า อิมัลชันเฟส (Emulsion phase)

3.5.2.5 ฟลูอิดไดซ์เบคที่สามารถบ่งบอกระดับเบคได้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบคแบบหนาแน่น (Dense phase fluidized bed) และเมื่อความเร็วของของไหลมากกว่าความเร็วขณะหลุดลอย (Terminal velocity) อนุภาคของของแข็งจะหลุดลอยไปกับกระแสการไหลของของไหลสถานะเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบคแบบเจือจาง (Lean phase fluidized bed) หรือการขนถ่ายด้วยของไหล (Pneumatic or Hydraulic transport)

3.5.2.6 ฟลูอิดไดซ์เบคที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบคเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและการหมุนรอบตัวเองของอนุภาคของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เราเรียกเบคแบบนี้ว่าเบคสม่ำเสมอ (Smoothly fluidized bed) ฟลูอิดไดซ์เบคที่ของไหลเป็นก๊าซลักษณะของเบคจะแตกต่างจากของเหลวมาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ขึ้นแล้วก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของอนุภาคของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวแล้วเกิดเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซจะแทรกตัวเองขึ้นมาถึงบนผิวหน้าของเบค และแตกตัวในที่สุด การเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งภายในเบคจะเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิดไดเซชัน

เป็นการเปรียบเทียบการได้เปรียบและการเสียเปรียบระหว่างการใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคอื่นๆ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.3.1 ข้อได้เปรียบ

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วจึงสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะเสียพลังงานน้อยกว่า เพราะแรงเสียดทานและแรงดันตกคร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือ ปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเต็มเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย
5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบดนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบด อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

3.5.3.2 ข้อเสียเปรียบ

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็วจึงบางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบดสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์เลวลง หรืออนุภาคของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสั่นสะเทือนของหอทดลองหรือเกิดการกักคร่อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากกระทบกับผนังหอทดลอง
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบดสูงๆหรือเบดหลายๆชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบด ทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปล่า ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้กับอนุภาคของแข็งที่เปียกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบด
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไปเม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบดไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง จะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3.5.4 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไดเซชัน

ขณะที่ของของไหลไหลผ่านขึ้นมาด้านใกล้ผนัง ความเร็วของไหลจะต่ำมากหรือเกือบไม่มีการไหลเลยเนื่องจากเกิดแรงเสียดทาน เมื่อในหอตลอดที่บรรจุอนุภาคของแข็งมีอิทธิพลของฝาผนังเกิดขึ้น ขอบเขตการไหลชนิดเรียบจะสูงมากขึ้น พื้นที่ในการไหลของของไหลในหอตลอดจะลดน้อยลง หรือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำงานที่แท้จริงของของไหลเล็กกว่าเดิมมาก ประสิทธิภาพการทำงานจะน้อยลงด้วย

ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเกิดฟลูอิดไดเซชันคือ

1. ความเร็วของของไหล
2. ตัวกระจายของไหล
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอตลอด
4. อนุภาคของแข็ง
5. ความหนาแน่นของของไหล
6. ความหนืด
7. ความสูงของเบด

ความสูงของเบดเมื่อเริ่มฟลูอิดไดเซชันสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{L_0}{L_{mf}} = \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{1 - \varepsilon_0} \quad (3.2)$$

ขณะที่อนุภาคของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระแสดงว่า อนุภาคของแข็งกำลังอยู่ในสมดุลของแรง ซึ่งได้แก่แรงที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง แรงพยุงของของไหล (Bouyance force) และแรงต้านการไหล (Drag force) อาจเขียนในสมการสมดุลแรงต่างๆได้ดังนี้

$$(\text{แรงพยุงของของไหล}) + (\text{แรงต้านทานการไหล}) = (\text{น้ำหนักของอนุภาคของแข็งในเบด}) \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ความดันลดในเบด)(พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์) = (ปริมาตรของเบด)(แฟรคชันของของแข็ง)(น้ำหนักจำเพาะของของแข็ง) (3.4)

$$\Delta P_b A_t = W = (A_t L_{mf})(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (3.5)$$

จัดเทอมใหม่สำหรับสภาพฟลูอิดไอเซชันต่ำสุด

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (3.6)$$



ภาพที่ 3.8 แสดงความดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆในชุดการทดลอง

จากสมการความดันตกคร่อมที่ผ่านเบดหนึ่งจะได้ว่า กลไกของความดันตกคร่อมในเบดที่ใช้อนุภาคของแข็งขนาดสม่ำเสมอแล้ว พบว่าความดันตกคร่อมนี้เป็นสัดส่วนกับแฟลคเตอร์ 2 แฟลคเตอร์ คือ

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})\mu U}{\varepsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)^2} + \frac{1.75(1 - \varepsilon_{mf})\rho_g U^2}{\varepsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)} \quad (3.7)$$

เทอมแรกทางด้านขวาของสมการ 3.7 แทนการสูญเสียความดันเนื่องจากผลของความเสียดทาน เทอมที่สองเป็นผลของการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ $Re_p < 20$ โดยที่แรงเสียดทานจะมีค่ามากกว่า ดังนั้นสมการที่ 3.7 สามารถตัดเทอมที่สองได้เป็น

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})\mu U}{\varepsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)^2} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $Re_p > 1000$ ผลของการสูญเสียพลังงานจลน์จะมีค่ามากกว่าผลของแรงเสียดทาน สมการที่ 3.7 จัดใหม่ได้เป็นดังนี้

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{1.75(1 - \varepsilon_{mf}) \rho_g U^2}{\varepsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)} \quad (3.9)$$

ซึ่งสมการของ Ergun นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ 3.7 ได้ เมื่อเบดอยู่ที่จุดเริ่มเกิดฟลูอิดไอเซชัน ดังนั้นจะแทนสมการที่ 3.7 ลงในสมการที่ 3.6 ในขณะที่เริ่มเกิดฟลูอิดไอเซชันได้ตั้งสมการที่ 3.10

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (3.10)$$

ในเบดที่ให้อนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะทำให้สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันได้แล้ว เพราะฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันเมื่อ $Re_p < 20$ สามารถคำนวณได้จาก

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_{mf}^3}{150 \mu (1 - \varepsilon_{mf})} \quad (3.11)$$

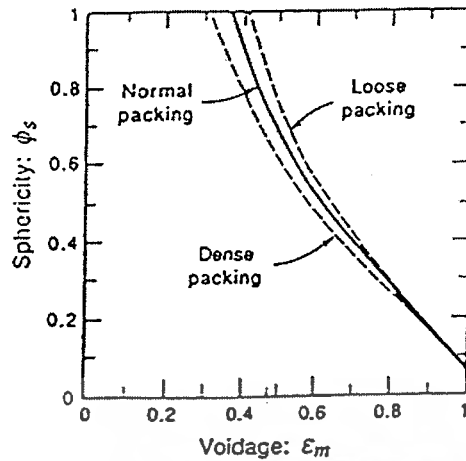
สำหรับอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ต้องใช้ความเร็วของไหลสูงมาก ๆ จึงทำให้อนุภาคของแข็งลอยเป็นอิสระได้ ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของของไหลที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันเมื่อ $Re_p > 1000$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U_{mf} = \sqrt{\frac{\phi_s d_p (\rho_s - \rho_g) g \varepsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_g}} \quad (3.12)$$

ค่าความกลมของอนุภาค (ϕ_s) ใบบ่งบอกถึงรูปร่างว่าอนุภาคเบี่ยงเบนจากทรงกลมมากน้อยเพียงใด นิยามว่า

$$\phi_s = \frac{\text{พื้นที่ผิวของทรงกลม}}{\text{พื้นที่ผิวของอนุภาค}} \quad \text{เมื่อปริมาตรเท่ากัน} \quad (3.13)$$

จากรูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด จะเห็นว่าเมื่อความกลมของอนุภาคลดลง ค่าความพรุนจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด

ถ้ายังไม่ทราบค่าของ ϵ_{mf} และ ϕ_s Wen และ Yu (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{1}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} = 14 \quad (3.14)$$

$$\frac{(1 - \epsilon_{mf})}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} = 11 \quad (3.15)$$

แทนค่าสมการที่ 3.15 ลงในสมการที่ 3.10 แล้วค่า U_{mf} จะได้

$$U_{mf} = \frac{\mu}{d_p \rho_g} \sqrt{\left\{ (33.7)^2 + \frac{0.0408 d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \right\}} - 33.7 \quad (3.16)$$

สมการที่ 3.16 นี้ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 34% ในช่วง $0.001 < Re_p < 4000$

ความเร็วเริ่มหลุดลอยหรือความเร็วตกอิสระของอนุภาคของแข็งเป็นความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านฟลูอิดไดซ์เบดถูกจำกัดด้วยความเร็วต่ำสุด ความเร็วเริ่มหลุดลอยแสดงได้ตั้งสมการ

$$U_T = \left[\frac{4 d_p (\rho_s - \rho_g)}{3 \rho_g C_d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ C_d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งหาได้จากการทดลอง และจากการทดลองพบว่าค่า C_d ขึ้นอยู่กับค่า Re_p ดังสมการ

$$C_d = \frac{24}{Re_p} \quad \text{เมื่อ} \quad Re_p < 0.4 \quad (3.18)$$

$$C_d = \frac{10}{\sqrt{Re_p}} \quad \text{เมื่อ} \quad 0.4 < Re_p < 500 \quad (3.19)$$

$$C_d = 0.43 \quad \text{เมื่อ} \quad 500 < Re_p < 200000 \quad \text{หรือ} \quad 1000 < Re_p \quad (3.20)$$

แทนค่าจากสมการ 3.18, 3.19 และ 3.20 ลงในสมการที่ 3.17 แล้วหาค่า U_t จะได้

$$U_t = \frac{g(\rho_s - \rho_g)d_p^2}{18\mu} \quad \text{เมื่อ} \quad Re_p < 0.4 \quad (3.21)$$

$$U_t = d_p \left[\frac{4(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{225\rho_g\mu} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{เมื่อ} \quad 0.4 < Re_p < 500 \quad (3.22)$$

$$U_t = \left[\frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{เมื่อ} \quad 500 < Re_p < 200000 \quad \text{หรือ} \quad 1000 < Re_p \quad (3.23)$$

เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้อนุภาคของแข็งหลุดลอยออกจากเบด ความเร็วของของไหลที่ใช้ในระบบฟลูอิดไดซ์เบดจะต้องมีค่าอยู่ระหว่างความเร็ว U_{mf} และความเร็ว U_t ในการคำนวณหาความเร็ว U_{mf} เนื่องจากอนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาด ดังนั้นขนาดของอนุภาคของแข็งที่ใช้จะเป็นขนาดโดยเฉลี่ย ส่วนการคำนวณความเร็ว U_t จะใช้ขนาดของอนุภาคของแข็งที่เล็กที่สุดปะปนอยู่ในเบด

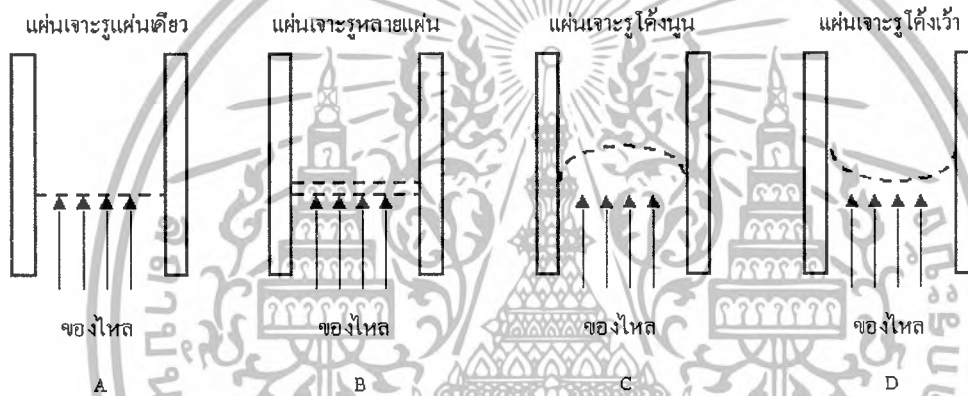
3.5.5 แผ่นกระจายของไหล

หน้าที่ของแผ่นกระจายของไหลคือ เป็นอุปกรณ์ป้องกันเพื่อมิให้อนุภาคหลุดลงมาด้านล่างและสามารถให้ของไหลไหลผ่านได้ โดยสามารถกระจายของไหลออกได้เต็มพื้นที่ผิวหน้าตัดของตัวเครื่อง โดยที่ความเร็วของของไหลที่เหนือแผ่นกระจายของไหลควรมีค่าเท่ากันทุกจุด และองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสภาวะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือ ความดันตกคร่อม โดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหล ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ดี ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 % ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว

ลักษณะของแผ่นกระจายของไหลแบบต่างๆมีดังต่อไปนี้

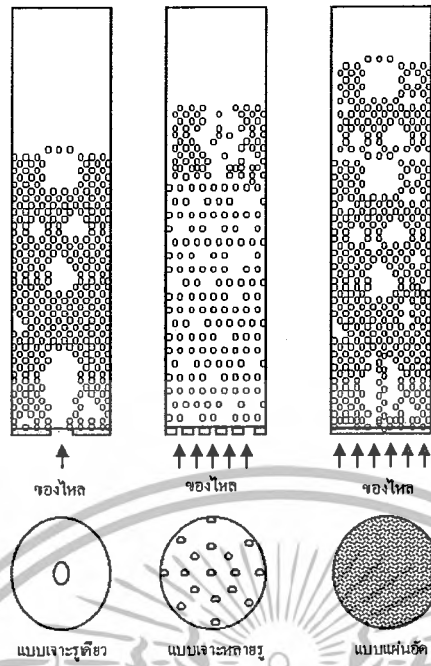
3.5.5.1 แบบแผ่นเจาะรู (Perforate plate) แผ่นกระจายของไหลแบบแผ่นเจาะรูนั้น ทำได้โดยการนำแผ่นวัสดุมาเจาะรูให้มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ โดยทั่วไปถ้าเจาะรูน้อยลักษณะของอนุภาคเหนือแผ่นกระจายในขณะลอยตัว หรืออยู่ในสภาวะเสมือนของไหลจะมีผลทำให้ความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ จะมีฟองอากาศใหญ่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อความเร็วสูงๆ ดังนั้นจำนวนรูและการเจาะจึงมีส่วนสำคัญ แผ่นกระจายของไหลแบบนี้ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการและเครื่องทดลองขนาดกลางเพราะทำง่าย ราคาถูก และมีคุณสมบัติดีพอสมควร แสดงได้ในรูปที่ 3.9



ภาพที่ 3.10 ลักษณะของตัวกระจายแบบแผ่นเจาะรู

ในขณะที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบดด้วยความเร็วของของไหลต่ำสุด ลักษณะของเบดยังเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเบด จากนั้นถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้น ความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกระจายของไหลที่รองรับเบดว่าเป็นชนิดใด อย่างเช่น ตัวกระจายทำด้วยแผ่นโลหะเจาะรูฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวกระจายของไหลที่เป็นรูพรุน ซึ่งเกิดจากใช้เม็ดโลหะขนาดเล็กมาอัดด้วยความดันอัดสูงๆจนติดกับแผ่นกระจายของไหล ตัวกระจายของไหลแบบหลังนี้ของไหลผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ฟองก๊าซจึงเกิดขึ้นได้เป็นจำนวนมาก ตัวกระจายที่เป็นแผ่นเจาะรูของไหลจะผ่านออกไปเหมือนกับเจ็ท (Jet) จำนวนการเกิดของฟองก๊าซขึ้นอยู่กับจำนวนรูเจาะบนตัวกระจายดังแสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 คุณภาพของฟลูอิดไอเดนซ์ที่เกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน

การออกแบบแผ่นกระจายของไหลนั้นมีสิ่งที่สำคัญคือ ความดันลดของก๊าซที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ สำหรับกฎของการคำนวณความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศนั้น สมการที่สามารถใช้ในการออกแบบได้ดี คือ

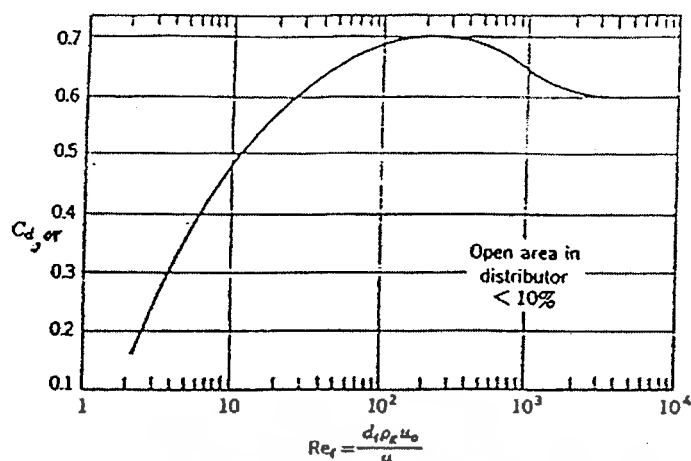
$$\Delta P_d = (0.2 \text{ ถึง } 0.4) \Delta P_b \quad (3.24)$$

โดยที่ค่า Reynolds Number (Re) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของออริฟิส (Orifice coefficient, $C_{d,or}$) ที่เหมาะสมจากรูปที่ 3.11

คำนวณหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูออริฟิสจากสมการ 3.25

$$U_{or} = C_{d,or} \left[2g_c \frac{\Delta P_d}{\rho_g} \right]^{1/2} \quad (3.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re_d)

กำหนดจำนวนรูเจาะของตะแกรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของตะแกรงหรือตัวกระจาย
ได้จากสมการ

$$U_0 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or} \quad (3.26)$$

3.6 กระบวนการเผาไหม้อนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอน
ดังนี้

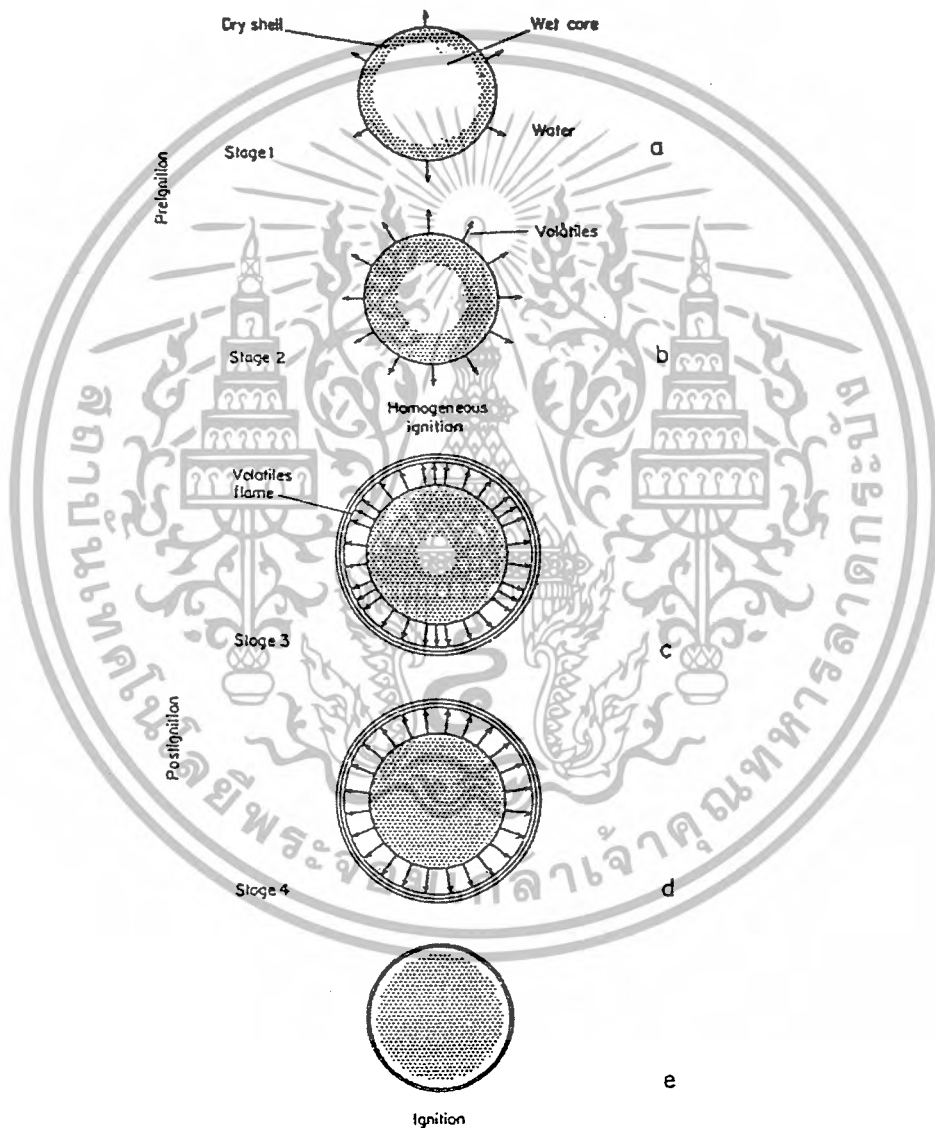
- ก. drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
- ข. devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
- ค. ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่อยออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค
- ง. combustion of volatile เป็นขบวนการเผาไหม้สารระเหย ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นล้อมรอบอนุภาค
- จ. ignition of char particle เป็นขบวนการจุดประกายบนผิวหน้าของอนุภาคที่เหลือ โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค
- ฉ. combustion of residual char particle เป็นขบวนการเผาไหม้อนุภาคที่เหลือ หลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด (Ignition of coal particle in fluidized bed)

อนุกรมเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอนุกรมเบดติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยเชื้อเพลิงอื่น (ก๊าซ/น้ำมัน) จนอนุกรมเบดสูงเกินไป

Wildgger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส (ดังรูปที่ 3.12)



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อน้ำในอนุภาคไสลลงในเบดร้อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก และส่วนที่ชื้นอยู่ภายในอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนนานขึ้น ส่วนที่ชื้นจะมีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดส่วนที่แห้งเพิ่มขึ้น

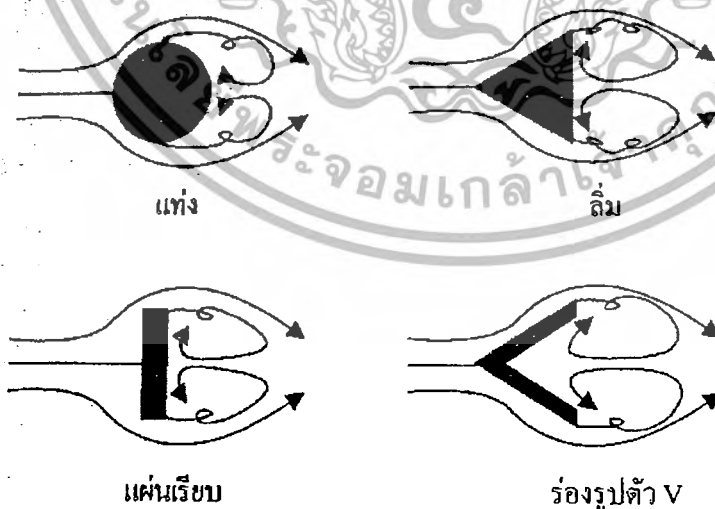
- ขั้นตอนที่ 2 อุณหภูมิในส่วนที่แห้งเริ่มเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการระเหยออกของสารระเหย เนื่องจากการแตกของพันธะภายใน โครงสร้างของอนุภาค

- 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

3.8 วิธีการไหลเวียนย้อนกลับ



ภาพที่ 3.14 รูปแสดงวิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้มีหลักการ คือ ลดและเปลี่ยนทิศทางการไหลของส่วนผสมให้ต่ำลงและไหลหมุนเวียนย้อนกลับจนส่วนผสมมีเวลามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟด้วยตัวเองและเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้ ทำได้โดยการนำวัสดุรูปทรงต่างๆ ไปวางขวางทิศทางการไหลของส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 3.14 ทำให้เกิดบริเวณที่มีความเร็วต่ำและหมุนเวียนย้อนกลับในกระแสหลักของการไหลของส่วนผสมซึ่งจะช่วยให้เกิดการเสถียรของเปลวไฟได้ดีขึ้น

3.9 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency)

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ในที่นี้เป็นการคำนวณโดยสมมุติให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สมบูรณ์มีประสิทธิภาพ 100 % จากนั้นหักลบด้วย ความร้อนสูญเสียเนื่องจากคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดในเชื้อเพลิง (q_3) และความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (q_4)

$$\eta_{com} \equiv 100 - (\%q_3 + \%q_4) \quad [\%] \quad (3.27)$$

นอกจากประสิทธิภาพที่ทางความร้อนที่สูงแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือเรื่องของมลพิษ การปล่อยมลพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), unburn hydrocarbons และ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ต้องอยู่ในระดับที่ต่ำที่สุดด้วย

หากสมมุติว่า คาร์บอนในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนแปลงเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้อย่างหายบายๆ โดยพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบไอเสียเท่านั้น ดังนี้. Saxena, S.C., jonshi, C.K. [17]

$$\eta_{com} \equiv \frac{\% \text{CO}_2 \text{ in flue gas}}{\% (\text{CO} + \text{CO}_2) \text{ in flue gas}} \times 100 \quad (3.28)$$

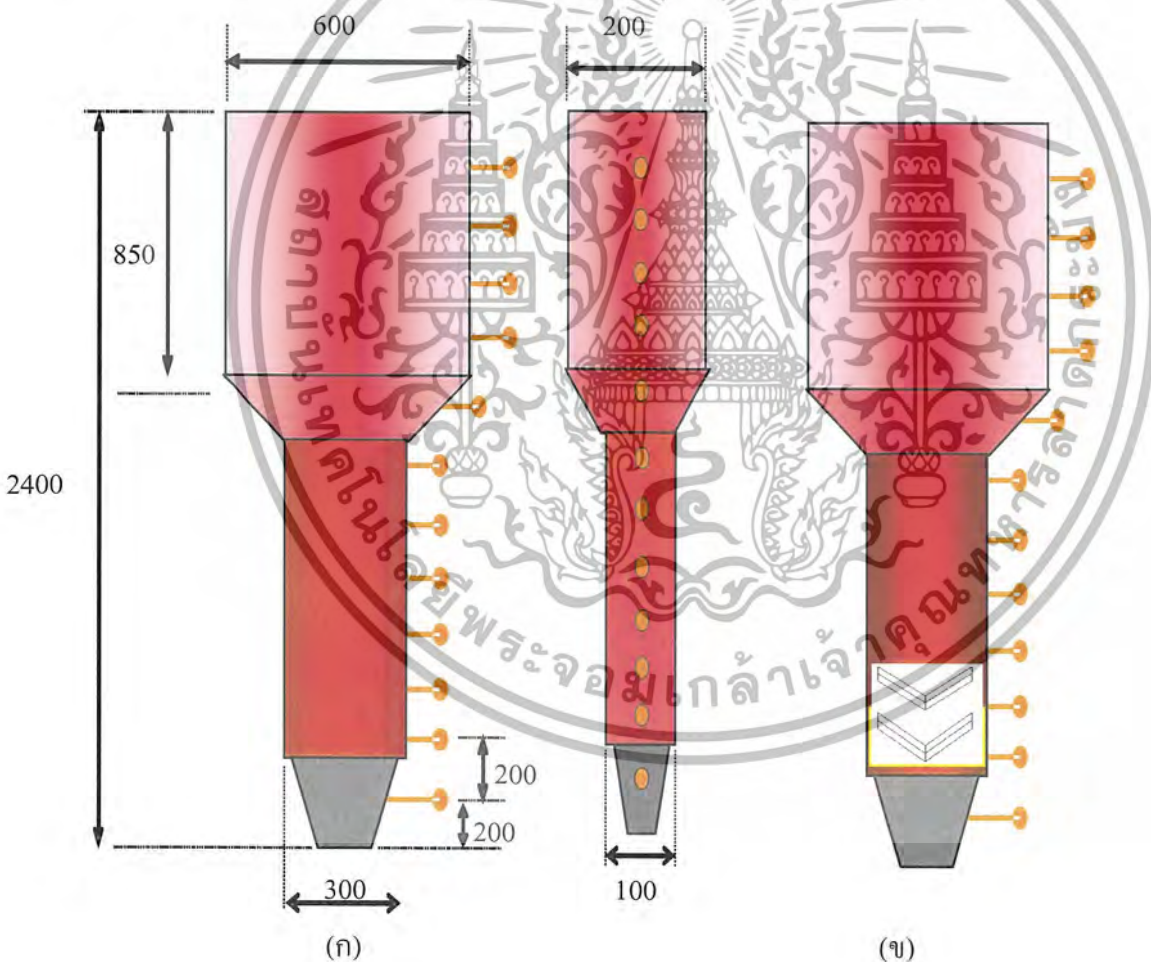
บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

4.1 บทนำ

หัวข้อที่สำคัญในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ การออกแบบและการคำนวณ ซึ่งการออกแบบเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบติดครีบนี้นำหลักการของการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับมาประยุกต์ร่วมกับหลักการของฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อที่จะให้ประสิทธิผลของเตาเผายังคงเดิมเมื่อมีการทำการลดขนาดลงมา

4.2 การออกแบบเตาเผา

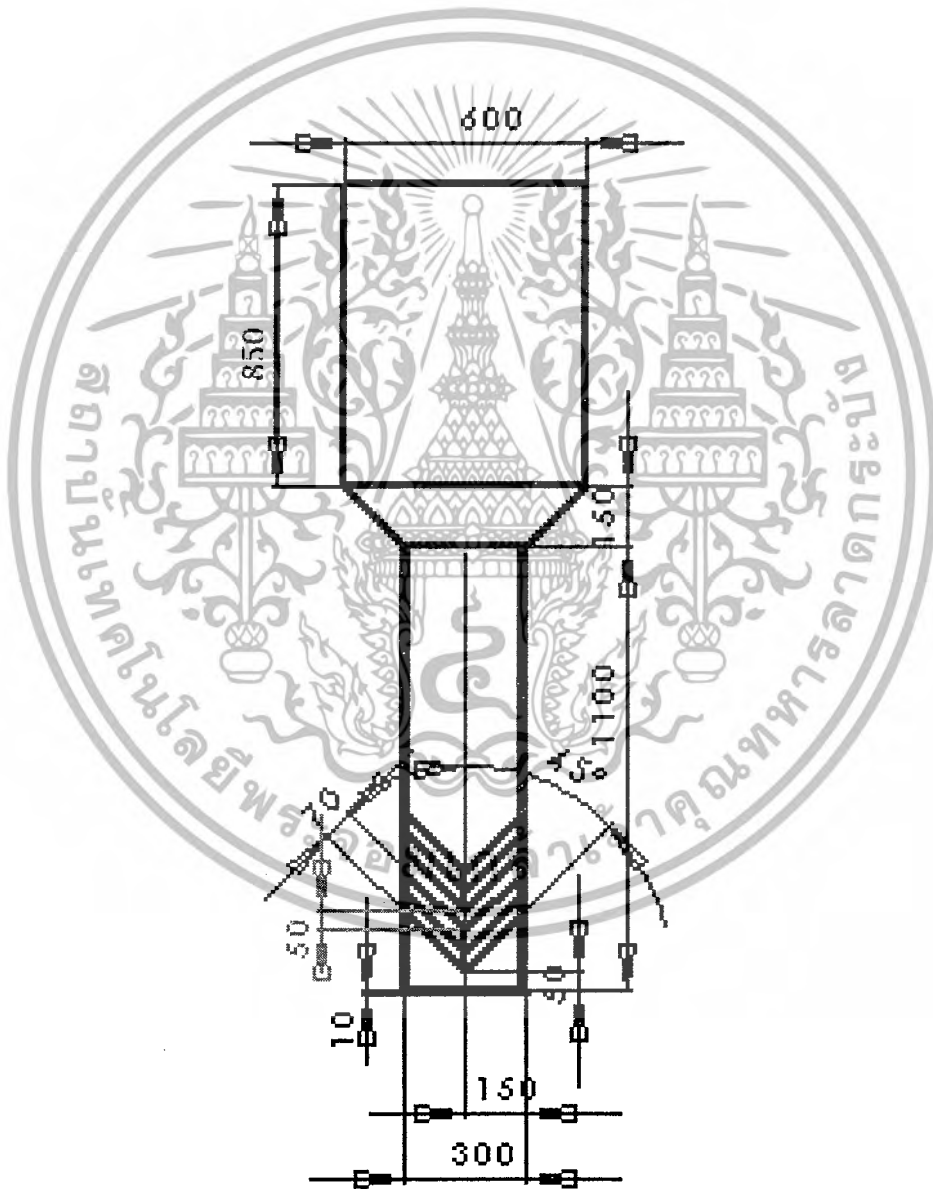


ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบต่างๆที่ได้ทำการออกแบบ (ก) เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบปริมาตรใหญ่ (ข) เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบติดครีบบริมาตรใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ลักษณะของเตาเผา

เตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ได้ทำการออกแบบนี้มีทั้งสิ้น 2 ลักษณะ เพื่อที่จะได้ทำการเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้น โดยที่เตาเผาทั้ง 2 แบบนี้จะพิจารณาที่ความสูงเดียวกันทั้งหมด คือ 2,400 mm. โดยรูปทรงของเตาเผาเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ในส่วนของห้องเผาไหม้จะมีขนาด กว้าง 300 มิลลิเมตร สูง 1100 มิลลิเมตร หน้า 100 มิลลิเมตร สำหรับส่วนของฟริบอร์คใหญ่มีขนาดคือ กว้าง 600 มิลลิเมตร สูง 850 มิลลิเมตร หน้า 200 มิลลิเมตร สำหรับครีปที่ติดตั้งนั้นทำจากเหล็กฉากขนาด 40x40x4 มิลลิเมตร ออกแบบให้ทำมุม 45 องศา กับผนังเตาด้านข้างจำนวน 2 ชุด ติดตั้งที่ความสูงจากขอบล่างของห้องเผาไหม้ขึ้นมา 50 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตรตามลำดับ

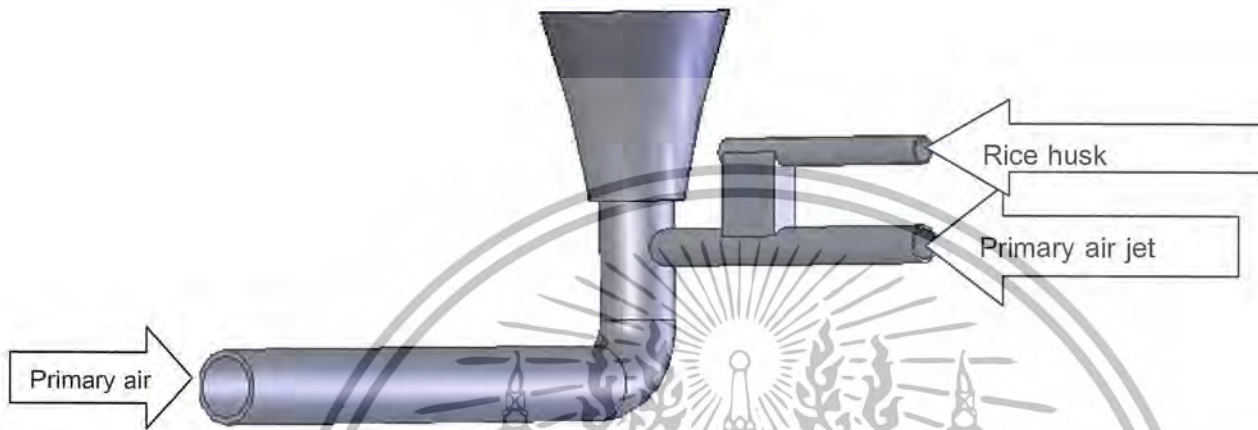


ภาพที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของเตาที่ติดครีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ

การใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเป็นแบบเกลียว (Screw Feeder) โดยป้อนผสมกับอากาศในท่อลม Primary air jet ขนาด 60 มิลลิเมตรเป็นลมที่ช่วยพาอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงโดยใช้อากาศพาเชื้อเพลิงเคลือบเข้าสู่ห้องผสมทางด้านข้าง ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการป้อนของเชื้อเพลิงเคลือบ

ในการออกแบบดังกล่าวนี้ เพื่อป้องกันเปลวไฟย้อนกลับไปยังชุดป้อนเชื้อเพลิงซึ่งจะทำให้ใบเกลียวเสียหาย และยังช่วยลดการติดขัดของเชื้อเพลิงเคลือบในท่อก่อนเข้าเตาเผา

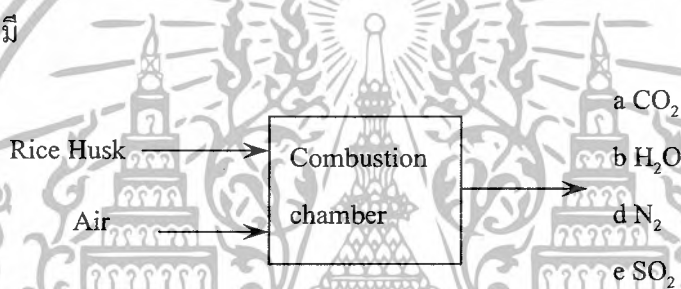
อากาศที่ใช้ในการทดลองจะใช้อากาศด้วยกัน 2 ส่วน คือ อากาศปฐมภูมิส่วนที่ 1. (Primary Air) อากาศปฐมภูมิส่วนที่ 2.(Primary Air Jet) โดยอากาศปฐมภูมิเป็นอากาศที่ช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชันได้จาก Blower ที่มีขนาด 10 hp เป็นแหล่งจ่ายอากาศเข้าห้องทดลอง ในการทดลองกำหนดให้ใช้อากาศปฐมภูมิเข้าทางด้านล่างของเตาเผา โดยที่อากาศปฐมภูมิส่วนที่ 2. (Primary Air Jet) มีหน้าที่ช่วยลำเลียงเชื้อเพลิงเคลือบเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านข้าง

4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

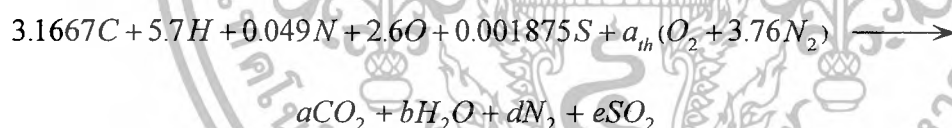
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ

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
จีเส้า	19.8	-	-

การสมดุลปฏิกิริยาเคมี



สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

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

$$a = 3.1667$$

$$H : \quad 5.7 \quad \longrightarrow \quad = 2b$$

$$b = 2.85$$

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

$$e = 0.001875$$

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

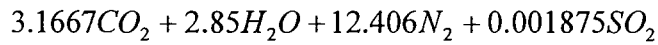
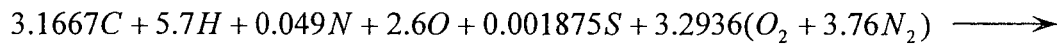
$$a_{th} = 3.2936$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N : \quad 0.049 + a_h(2 \times 3.76) \quad \longrightarrow \quad = \quad 2d$$

$$d = 12.406$$

ทำการแทนค่าลงในสมการจะได้



จำนวนโมลของอากาศแห้งจะปฏิกิริยาเคมีนี้มีค่าเท่ากับ

$$4.76a_h = 4.76 \times 3.2936 = 15.678 \text{ kmol}$$

เนื่องจากการสมดุลสมการของเราใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นเราจะต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยที่เราจะทำการกำหนดสถานะของอากาศดังนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) เท่ากับ 53%

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สถานะนี้ได้เท่ากับ

เปิดค่าจากตาราง จะได้

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

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

จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศจากสมการ

$$\left(\frac{N_{v,H_2O,air}}{N_{v,total}} \right) = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{v,total}} \right) \quad (4.1)$$

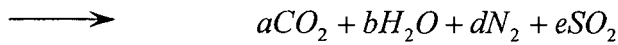
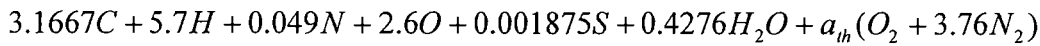
$$N_{v,H_2O,air} = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{v,total}} \right) N_{v,total}$$

$$= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) \times (15.678 + N_{v,H_2O,air}) \text{ kmol}$$

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

เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชื้นใหม่จะได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทำการสมดุลสมการจะได้

$$C : 3.1667 \longrightarrow = a$$

$$a = 3.1667$$

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

$$b = 3.2776$$

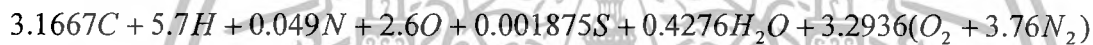
$$S : 0.001875 \longrightarrow = e$$

$$e = 0.001875$$

$$O : 2.6 + 0.4276 + (a_{th} \times 2) = 2a + b + 2e \longrightarrow a_{th} = 3.2936$$

$$N : 0.049 + (a_{th} \times 3.76 \times 2) = 2d \longrightarrow d = 12.408$$

นำค่าตัวแปรที่ทำการคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการจะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชั้น
กับเชื้อเพลิงเหลวที่อัตราการเผาไหม้พอ คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (4.2)$$

มวลของอากาศเท่ากับ

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

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

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

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$= 5.368$$

จากสมการ (3.1) เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(percent excess air)

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

เพราะฉะนั้น ทำการหาอัตราการใช้ของอากาศที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.64 kg/hr จะได้
กรณีอัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric)

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

$$A = 5.368 \times 8.64 \text{ kg/hr}$$

$$= 46.40 \text{ kg/hr}$$

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอากาศกรณีอัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric) ที่ใช้ในการทดลอง

อัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (kg/hr)	ปริมาณอากาศที่อัตราส่วนผสมพอดี (kg/hr)
7.24	38.86
8.64	46.40
10.43	55.97

4.4 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของเบดที่เป็นแกลบ[3]

4.4.1 การหาสัดส่วนช่องว่าง(Void fraction, ε_m) และความกลม(Sphericity, ϕ_s)ของแกลบ

$$\varepsilon_m = \frac{\text{void volume}}{\text{Volume of (particles + voids)}} \quad (4.3)$$

จากการทดลองปริมาตรของ n-hexane ก่อนผสม = 55 mm.

ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง = 20.5 mm.

ปริมาตรหลังผสม = 58 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากรูปที่ 3.9 เส้น normal Packing จะ ได้

$$\varepsilon_m = 0.85$$

$$\phi_s = 0.24$$

4.4.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่ากับกลม(diameter of sphere having the volume, d_p)

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

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

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

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

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

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

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

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

4.4.3 ความหนาแน่นของกลม

$$\text{น้ำหนักของกลม} = 10.5881 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาตรของกลม} = 83.3 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นของกลม} &= \frac{10.5881}{83.3 \times (1 - .85)} \\ &= 0.8473 \text{ g/ml.} \end{aligned}$$

4.4.4 การหาปริมาณความชื้น

$$\text{น้ำหนักของกลมก่อนอบ} = 3.0625 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของกลมหลังอบ} = 2.7545 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของน้ำในกลม} = 0.308 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณร้อยละของความชื้นของแกลบ} &= \frac{0.308 \times 100\%}{3.0625} \\ &= 10.06\% \end{aligned}$$

4.4.5 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (U_{mf})

แกลบ(rice husk), $\phi_s = 0.24$

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

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

ที่ 35 °C อากาศ(air)

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

จาก wan และ yu (1965) kuni [14]

$$\frac{1}{K_1} = 0.0408, K_1 = 24.5098$$

$$K_1 = \frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} \quad (4.4)$$

$$K_2 = \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2} \quad (4.5)$$

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

$$\varepsilon_{mf} = 0.6675$$

$$K_1 = \frac{1.75}{0.2975 \times 0.24} = 24.5098$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_2 = \frac{150(1 - 0.6675)}{0.2975 \times 0.24} = 2911.4317$$

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (4.6)$$

แทนค่าในสมการหา Ar

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

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์

$$\frac{1.75 (d_p U_{mf} \rho_g)^2}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s \mu^2} + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf}) d_p U_{mf} \rho_g}{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2 \mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (4.7)$$

แทนค่า K_1, K_2, Ar จะได้

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

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

$$\therefore U_{mf} = 46.509 \text{ cm/s (ที่อุณหภูมิ } 35^\circ\text{C)}$$

ที่อุณหภูมิ 95°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}

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.4.6 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิดไดซ์ (Terminal Velocity of Particles, U_t)

$$\text{แกลบ, } \phi_s = 0.24$$

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

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

$$\text{อากาศ, } \rho_g = 1.2 \times 10^{-3}$$

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

$$d_p^* = d_p \frac{[\rho_g (\rho_R - \rho_g) g]^{1/3}}{\mu^{1/3}} \quad (4.8)$$

แทนค่าจะได้

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

$$d_p^* = 67.038$$

$$U_t^* = \left[\frac{18}{(d_p^*)^2} + 2.335 - \frac{1.774\phi_s}{(d_p^*)^{0.5}} \right] \quad (4.9)$$

แทนค่าจะได้

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

$$U_t^* = 4.20045$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_i = U_i^* \left[\frac{\mu(\rho_R - \rho_g)g}{\rho_g^2} \right]^{1/3} \quad (4.10)$$

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

4.5 การคำนวณหาความสัมพัทธ์ระหว่างขนาดท่อทดลองต่อแผ่นกระจายลม

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทางเข้า 0.079 m, $L_{mf} = 1.3\text{m}$

$$\varepsilon_{mf} = 0.6675$$

$$\rho_{\text{กากขี้}} = 0.8473 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho_{\text{กากขี้}} = \rho_s \end{array} \right\}$$

สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 55 °C

$$\rho_{\text{air}} = 1.063609035 \text{ kg/m}^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho_{\text{air}} = \rho_{\text{gas}} \end{array} \right\}$$

$$\mu = 197.816 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$$

ความเร็วอากาศเข้าเตา $u_0 = 5.01750777 \text{ m/s}$

Step I จากสมการในการหาความดันตกคร่อมในเบด

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (4.11)$$

$$\therefore \Delta P_b = \frac{(1 - 0.6675)(0.8473 \times 10^3 - 1.063609035)(9.81)(1.3)}{1}$$

$$= 3588.357 \text{ Pa}$$

จาก Zuideweg [14] กล่าวว่า $\Delta P_d = (0.2 \text{ ถึง } 0.4) \Delta P_b$ เลือกใช้ 0.3

$$\therefore \Delta P_d = 0.3 \Delta P_b \quad (4.12)$$

$$= (0.3)(3588.357) \text{ Pa} = 1076.507 \text{ Pa}$$

Step II ตรวจสอบหาค่า Re เพื่อหาค่า Cd_{or} ของรู

$$Re_i = \frac{d_i u_0 \rho_g}{\mu} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{(0.079)(5.01750777)(1.063609035)}{197.816 \times 10^{-7}}$$

$$= 21312.566 > 3000$$

∴ จากตาราง

$$Cd_{or} = 0.6$$

Step III หา u_{or} จากสมการ

$$U_{or} = Cd_{or} \left\{ \frac{2\Delta P d}{\rho_g} \right\}^{1/2} \quad (4.14)$$

$$U_{or} = (0.6) \left\{ \frac{(2)(1076.507)}{1.0693609035} \right\}^{1/2}$$

$$U_{or} = 26.995 \text{ m/s}$$

ตรวจสอบ $\frac{u_0}{u_{or}} = \frac{5.01750777}{26.995} = 0.1858$ หรือ $(18.586\%) > 10\%$

Step IV หาจำนวนรูต่อพื้นที่และขนาดของรู

$$U_0 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 u_{or} N_{or} \quad (4.15)$$

โดยที่ N_{or} = จำนวนรูแผ่นกระจายลม

d_{or} = ขนาดของ ϕ รูของ orifice

แทนค่าในสมการ

$$5.01750777 = \left\{ \frac{\pi}{4} \right\} \{26.995\} d_{or}^2 N_{or}$$

$$N_{or} = \frac{0.23665454}{d_{or}^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองค่าโดยเลือกกำหนดรู

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงขนาดของรูและจำนวนรูของเบด

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $d_{or}(m)$	0.002	0.0025	0.003
จำนวนรู $N_{or}(m^{-2})$	59163.635	37864.726	26294.948
จำนวนรู $N_{or}(cm^{-2})$	5.916	3.786	2.629

เลือก $d_{or} = 2.5 \text{ mm}$ จำนวนรูต่อพื้นที่ 3.786 รู/cm^2

$$\therefore A = \frac{\pi}{4} (7.9)^2 = 49.01669935 \text{ cm}^2$$

$$\text{จำนวนรูทั้งหมด} = 3.786 \times 49.01669935 = 185 \text{ รู}$$

4.6 การคำนวณหาความเร็วและ Re ในเตาเผา

อัตราการไหลของเตาเผาทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง $1.569514715 \text{ kg/min}$
 อากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 55°C

$$\rho_{air} = 1.063609035 \text{ kg/m}^3, \mu_{air} = 197.816 \times 10^{-7} \text{ N.S/m}^2$$

$$\therefore Re = \rho \frac{VD}{\mu} = \left\{ \frac{\rho}{\mu} \right\} \left\{ \frac{4Q}{\pi} \right\}$$

$$\text{ทราบว่า } m_{air} = \rho_{air} Q_{air}$$

$$Q_{air} = \frac{1.569514715}{1.063609035} = 1.47565004 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ } Q = 0.024594167 \text{ m}^3/\text{s}$$

กรณี ทางเข้าเตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 mm .

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 0.12} \right\} = 14030.772$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(\pi/4)(0.12)^2} = 2.1746 \text{ m/s}$$

กรณี เตาขนาด 300 x 100 mm.

เนื่องจากเตาเป็นทรงสี่เหลี่ยม

ดังนั้น
$$d = \frac{4A}{p}$$

p คือ เส้นรอบรูปสี่เหลี่ยม

$$d = \frac{4(300 \times 100)}{(300 \times 2) + (100 \times 2)} = 150 \text{ mm}$$

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 1.5} \right\} = 11224.618$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(0.3)(0.1)} = 0.819 \text{ m/s}$$

กรณี เตาขนาด 600 x 200 mm.

$$d = \frac{4(600 \times 200)}{(600 \times 2) + (200 \times 2)} = 300 \text{ mm}$$

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 0.3} \right\} = 5612.309$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(0.6)(0.2)} = 0.2049 \text{ m/s}$$

ตารางที่ 4.4 ค่า Re และ ความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผาที่ใช้ในการทดลอง

	Re	V(m/s)
ทางเข้าเตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120mm.	14030.772	2.174
กรณี เตาขนาด 300 x 100 mm.	11224.618	0.819
กรณี เตาขนาด 600 x 200 mm.	5612.309	0.204



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

5.1 บทนำ

การทดลองเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบติดครีบและไม่มีครีบเราสามารถแบ่งขั้นตอนใน เป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง
2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
3. การอุ่นเตา
4. การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

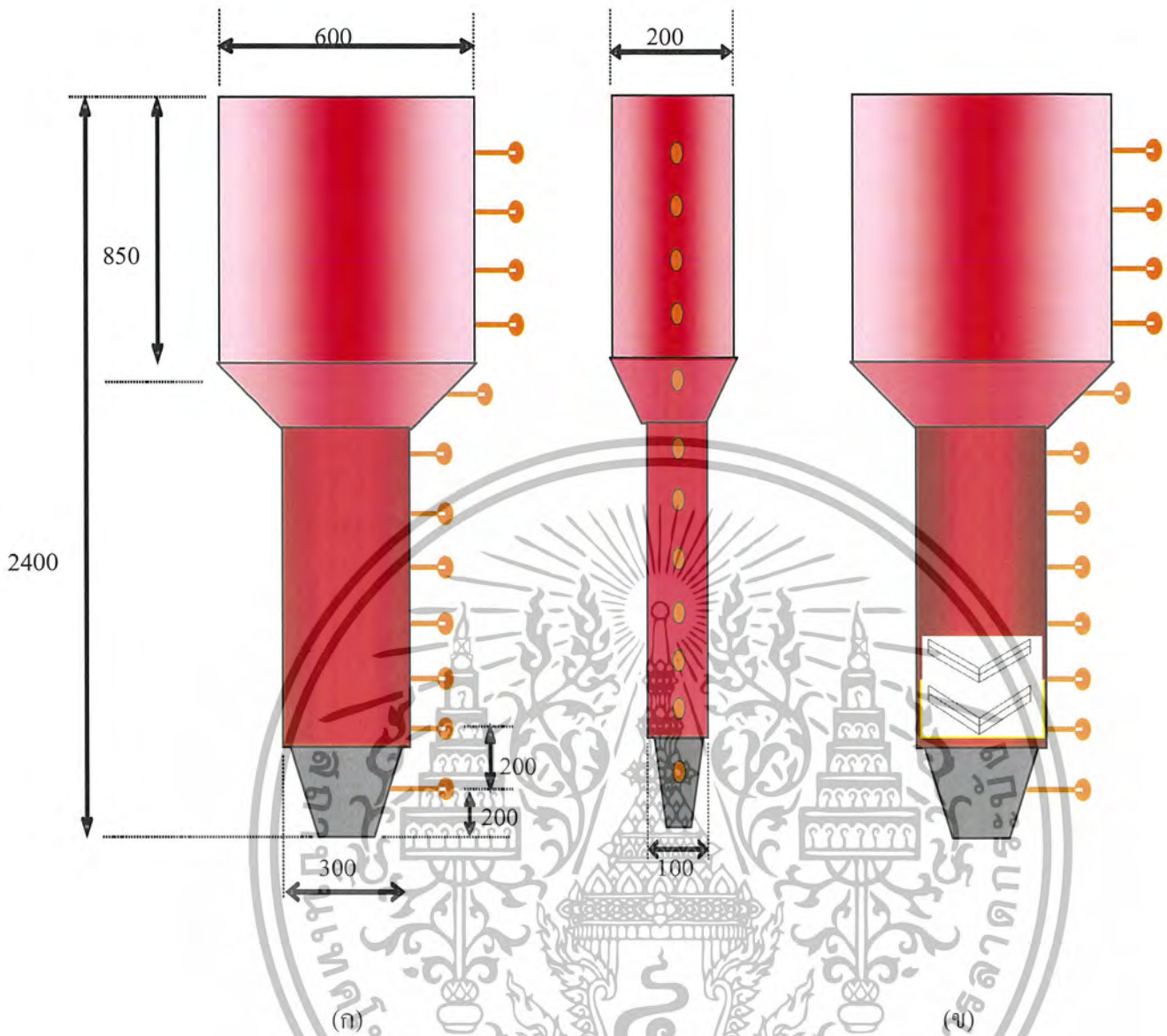
โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนที่ทำการทดลองมีดังนี้

5.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

ในการศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวครีบและ องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง การจัดเตรียมอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดลองมีหลายชนิดประกอบเข้าด้วยกัน รายละเอียดต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.2.1 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดทั้ง มีความสูงทั้งสิ้น 2,400 mm. มีขนาดภายในห้องเผาไหม้คือ กว้าง 300 mm. หน้า 100 mm และ สูง 1100 mm. สำหรับขนาดของฟริบอร์คใหญ่คือ กว้าง 600 mm. หน้า 200 mm. และสูง 850 mm. สำหรับห้องผสมมีลักษณะเป็นทรงกรวยมีความสูง 300 mm. ด้านนอกของผนังห้องเผาไหม้และห้องผสมได้ทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบที่ผนังของห้องเผาไหม้ได้ทำการติดตั้งตำแหน่งวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 11 ตำแหน่ง ตามระยะที่ได้ทำการ กำหนดไว้ ไอเสียหลังจากเผาไหม้แล้วจะนำออกจากห้องเผาไหม้ทางด้านบนของห้องเผาไหม้ กรณีการทดลองเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดครีบ ครีบจะถูกติดตั้งวัดจากขอบล่างสุดของห้องเผาไหม้ ขึ้นมา 50 mm. และ 100 mm ตามลำดับเป็นจำนวน 2 ชุด

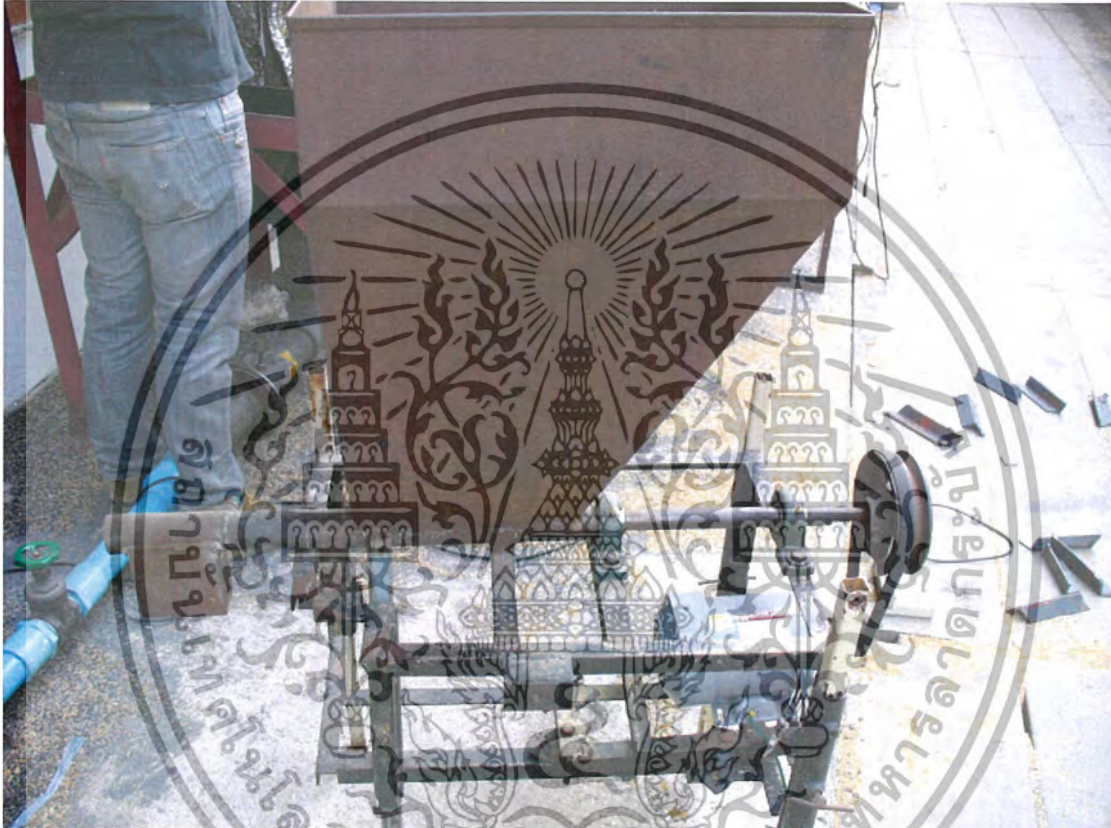


ภาพที่ 5.1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบต่างๆ (ก) เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบและฟรึบอร์คใหญ่ (ข) เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีกรึบและฟรึบอร์คใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิง

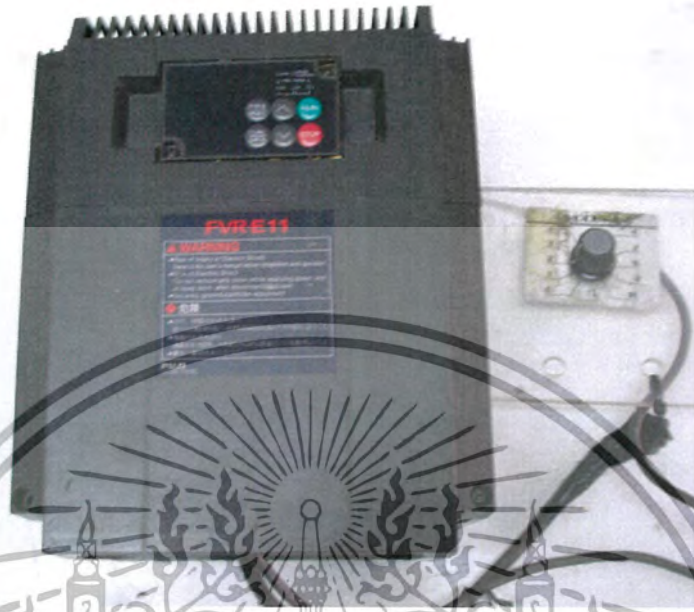
ระบบป้อนเชื้อเพลิงสามารถป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตามที่ต้องการ ระบบป้อนเชื้อเพลิงประกอบด้วย Inverter, Motor, Screw Feed และ Hopper ดังแสดงในรูปที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ระบบป้อนเชื้อเพลิงเกล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter คือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อปรับอัตรา
การไหลของเชื้อเพลิง ใช้ของ Fuji Type; FVR7 5E11S-4JE



ภาพที่ 5.3 Inverter

Motor เป็นต้นกำลังในการขับ Screw Feed ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โดยมีมอเตอร์ที่ใช้มีขนาด
กำลังขับเท่ากับ 1/2 Hp



ภาพที่ 5.4 Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Screw Feed เป็นอุปกรณ์ลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ท่ออากาศปฐมภูมิ Screw Feed สร้างขึ้นจากเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 Screw Feed

Hopper คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5.6 มีลักษณะเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมสามารถบรรจุเคลบได้สูงสุดเท่ากับ 0.05 m^3



ภาพที่ 5.6 Hopper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ชุดป้อนอากาศปฐมภูมิ ประกอบด้วย Blower ชนิดใบพัดแบบ Backward inclined
Capacity 100 m³/min Pressure 200 mm.Aq



ภาพที่ 5.7 แสดง Blower และ Motor

Motor ใช้เป็นตัวขับ Blower ขนาด 7.5 kw 2840 rpm 15 A, 380 V, 4 Pole
วาล์วที่ใช้ในการปรับปริมาณอากาศปฐมภูมิ ใช้ Gate valve ขนาด 3 นิ้ว จำนวน 2 ตัว

5.2.4 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และอากาศทุติยภูมิใช้ ออร์ฟิส (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออร์ฟิสสามารถอ่านค่าโดยใช้ Inclined Manometer เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วและอัตราการไหลของอากาศภายในท่อลำเลียง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แผ่นออร์ฟิส (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และ อากาศทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 5.8 การสร้างออร์ฟิสมิเตอร์ใช้มาตรฐาน (ANSI/API 2530)



ภาพที่ 5.8 ลักษณะของแผ่นออร์ฟิส



ภาพที่ 5.9 Inclined Manometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดความเร็วลม เป็นเครื่องมือที่ได้ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบแผ่นกับออร์ฟิสมาตรฐาน โดยเครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดนี้ใช้หลักการของขดลวดความร้อนมีชื่อเรียกว่า Hot Wire



ภาพที่ 5.10 เครื่องมือวัดความเร็วลม testo 445

5.2.5 ระบบวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด จะวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 12 ตัว วัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา อุณหภูมิไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1200°C ความยาวของเทอร์โมคัปเปิลเท่ากับ 200 mm. เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm. และนำมาต่อเข้ากับ Data Logger เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิและบันทึกผลของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 5.12



ภาพที่ 5.11 เทอร์โมคัปเปิล



ภาพที่ 5.12 Data logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 ชุดอุ่นเตาเผา

ชุดอุ่นเตาเผาเป็นระบบที่มีความสำคัญอีกระบบหนึ่งคือ ก่อนทำการทดลองเผาไหม้ จะต้องทำการอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงจนกระทั่งเชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตัวเอง ระบบอุ่นเตาประกอบด้วย หัวเผา และ ถังเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ซึ่งหัวเผามีขนาดเผาเท่ากับ 5.08 เซนติเมตร และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG ขนาด 15 kg และหัวเผา ขนาด 2 นิ้ว



ภาพที่ 5.13 แสดงถังแก๊สและหัวเผา

5.2.7 ระบบดักจับฝุ่นขี้เถ้า

เป็นระบบดักจับฝุ่นขี้เถ้าที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ โดยใช้หลักการของ Cyclone ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ประกอบด้วยท่อทางเข้าทรงกระบอก ส่วน Cyclone เป็นกรวย และก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของไซโคลน และขี้เถ้าจะถูกดักและปล่อยออกลงสู่ถังเก็บขี้เถ้า เพื่อช่วยลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

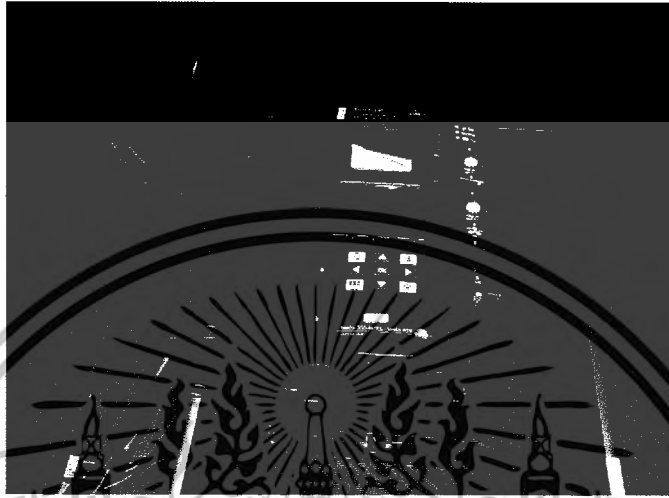


ภาพที่ 5.14 Cyclone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.8 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

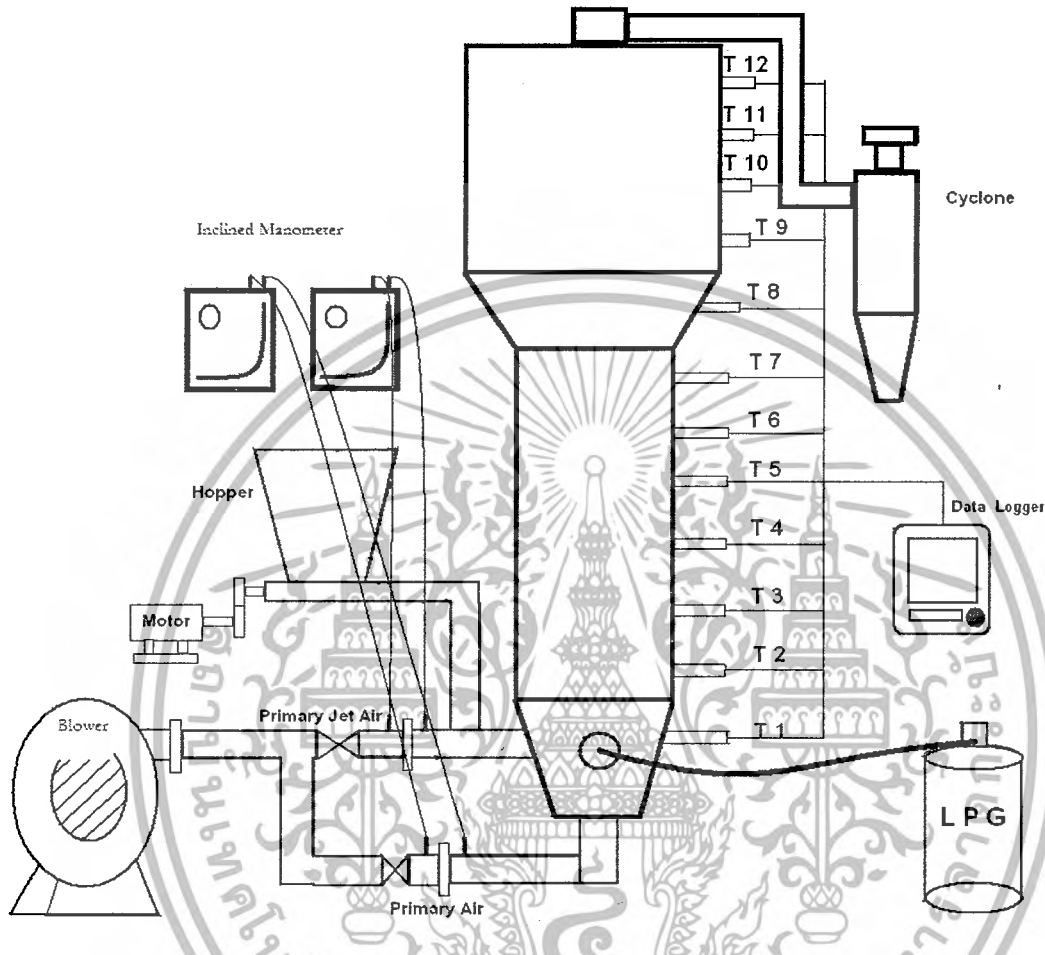
ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองสามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณของแก๊สต่างๆที่ออกมาด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO 350M XL ดังแสดงในรูปที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง



ภาพที่ 5.16 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดซ์เบด

การออกแบบเตาเผาฟลูอิดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง มีความสูงของห้องเผาไหม้และเฟิร์บอร์คใหญ่ทั้งหมด 2,400 mm. ขนาดของห้องเผาไหม้ คือ กว้าง 300 mm. หนา 100 mm. สูง 1100 mm. และมีรายละเอียดปลีกย่อยดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ในการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองมีหลักการทำงานดังนี้ คือ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้มาจาก Blower โดยใช้ needle valve และ Inclined Manometer ในการปรับอัตราการไหลและวัดอัตราการไหล ตามลำดับ ของอากาศปฐมภูมิ ส่วนของอากาศทุติยภูมิสามารถปรับอัตราการไหล โดยใช้ needle valve และใช้ Inclined Manometer ในการวัดอัตราการไหลเช่นเดียวกัน การป้อนแกลบจะใช้ Screw feeder ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการป้อนแกลบโดยใช้ Inverter ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ในตอนเริ่มทำการทดลองจำเป็นต้องใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG เพื่อช่วยในการอุ่นเตาทำให้อุณหภูมิภายใน เตาสูงจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำให้เชื้อเพลิงแกลบเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 12 ตัว เก็บค่าเข้าสู่คอมพิวเตอร์ วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ 11 จุด วัดอุณหภูมิห้องผสม 1 จุด การวัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาจะวัดที่ตำแหน่งความสูงจากด้านล่างห้องผสม 200 mm. ,400 mm. ,600 mm. , 800 mm. , 1000 mm. ,1200 mm. , 1400 mm. , 1550 mm. ,1700 mm. , 1900 mm. , 2100 mm. และ 2300 mm. ตามลำดับ หลังจากนั้นส่วนผสมที่เกิดการเผาไหม้แล้วจะออกทางท่อทิ้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวเตาและชี้ไถ่จะถูกแยกออกด้วย Cyclone

5.4 การอุ่นเตา

ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตา เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจนกระทั่งเชื้อเพลิงแกลบที่ป้อนเข้าไปสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การอุ่นเตาใช้หัวเผาโดยมีแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ขั้นตอนในการอุ่นเตาดังนี้ จุดไฟที่หัวเผาและทำการปรับวาล์วให้เปลวไฟที่หัวเผาเป็นสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำหัวเผาใส่เข้าตำแหน่งที่ใช้ในการอุ่นเตาบริเวณส่วนล่างของเตา จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาสูงประมาณ 500°C - 650°C จึงเริ่มป้อนแกลบให้มีอัตราการไหลต่ำๆ เพื่อให้แกลบเผาไหม้และช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จนอุณหภูมิสูงประมาณ 700°C - 750°C จึงหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊สที่หัวเผา และนำหัวเผาออกจากห้องเผาไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงพอที่ทำให้เชื้อเพลิงแกลบสามารถเผาไหม้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง

5.5 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

1. ทำการอุ่นเตา โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จนกระทั่งอุณหภูมิ ภายในเตามีค่าประมาณ 500°C - 650°C จากนั้นเริ่มป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (มีขนาดประมาณ 2 mm. x 8 mm.) เข้าสู่ห้องเผาไหม้พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 700°C - 750°C แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก

2. อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 8.64 kg/hr แล้วปรับส่วนผสมให้อากาศส่วนเกินเป็น 40% จะต้องใช้้อัตราการไหลของอากาศ 64.96 kg/hr

3. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ 200 mm. ,400 mm. ,600 mm. , 800 mm. , 1000 mm. ,1200 mm. , 1400 mm. , 1550 mm. ,1700 mm. , 1900 mm. , 2100 mm. และ 2300 mm. ตามลำดับ บันทึกผลของอุณหภูมิ สังเกตลักษณะชี้ไถ่ และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และวัดค่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่กำหนดไว้ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ยึดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 8.64 kg/hr แล้วทำการทดลองที่ระยะการวัดคือ $l/L=1$, $l/L=1/3$ และ $l/L=2/3$

5.1 ทดลองที่อากาศส่วนเกิน 50% ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 69.60 kg/hr

5.2 ทดลองที่อากาศส่วนเกิน 60% ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 74.24 kg/hr

5.3 ทดลองที่อากาศส่วนเกิน 70% ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 78.88 kg/hr

6. เมื่อทำการทดลองครบตามข้างต้นแล้วจึงทำการติดตั้งครีบกั้นจากนั้นทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1 จนถึงข้อ 5

7. เปรียบเทียบผลการทดลองของเตาที่ติดครีบกั้นกับเตาที่ไม่ได้ติดครีบกั้น

* l/L คือ อัตราส่วนระหว่างระยะที่ทำการวัดกับระยะกึ่งกลางเตา*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

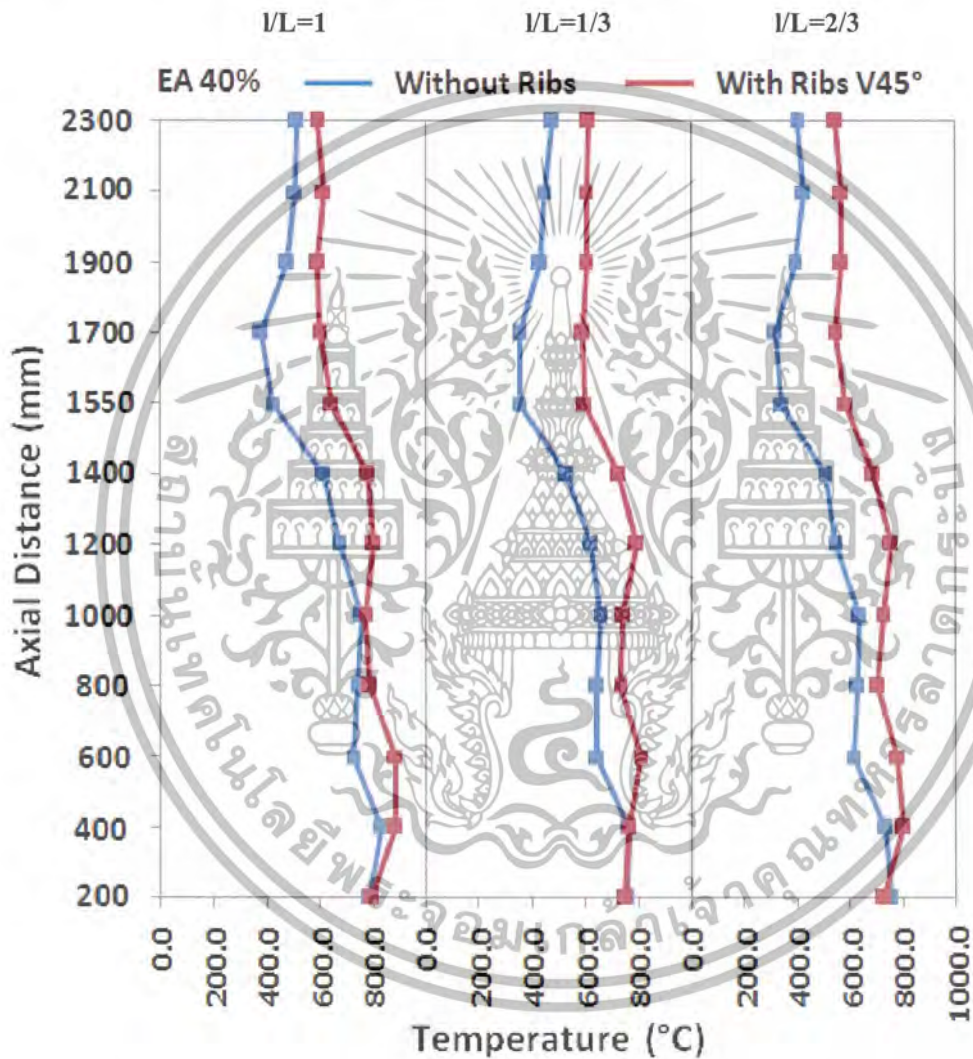
6.1 บทนำ

จากการทดลองนี้ได้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะของห้องเผาไหม้แบบผนังเตาที่ไม่ได้ติดตั้งครีบและมีพรีบอร์ดใหญ่ด้านบน เปรียบเทียบกับเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีลักษณะของห้องเผาไหม้แบบผนังเตาติดตั้งครีบและมีพรีบอร์ดใหญ่ด้านบน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

6.2 การเปรียบเทียบผลกระทบของเตาเผาแกลปฟลูอิดไคซ์เบด ที่ติดตั้งครีบในผนังห้องเผาไหม้ กับเตาที่ไม่ได้ติดตั้งครีบในผนังห้องเผาไหม้

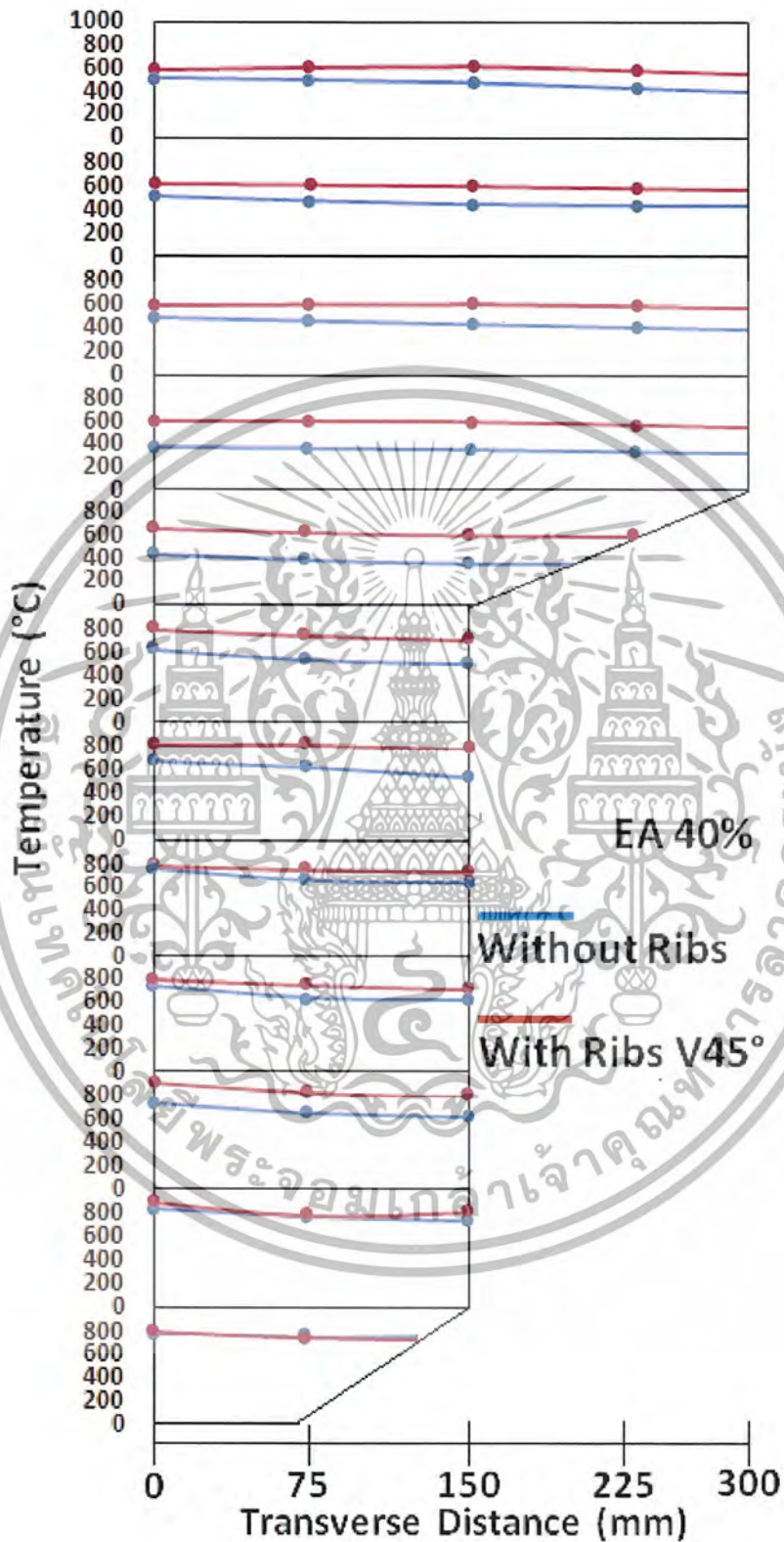
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงผนังของห้องเผาไหม้ โดยที่ในการทดลองจะยังความสูงของหอการทดลองไว้ที่ความสูงค่าเดียวกันคือ 2400 mm. ที่ขนาดของห้องเผาไหม้คือ กว้าง 300 mm. หนา 100 mm. และสูง 1100 mm. ในการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงผนังของห้องเผาไหม้ โดยจะทำการทดลองโดยยึดที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงค่าเดียวคือ 8.64 kg/hr และแน่นอนว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจำเป็นต้องมีปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่มาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบที่ค่าเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินที่ 40% , 50% , 60% และ 70% ตามลำดับ เพื่อดูความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในเตาเผาที่ผนังห้องเผาไหม้ติดตั้งครีบกับเตาเผาที่ผนังเตาไม่ได้ติดตั้งครีบ

6.2.1 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40% ที่อัตราการไหลอากาศ 64.96 kg/hr จากกราฟการกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40% ในภาพที่ 6.1 อุณหภูมิสูงสุดของเตาที่ติดครีบคือ 886.7 องศาเซลเซียส เตาที่ไม่ได้ติดครีบอุณหภูมิสูงสุดคือ 835.2 องศาเซลเซียส ในภาพของการกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็น 40% ภาพที่ 6.2 เตาที่ติดครีบอุณหภูมิจะเสถียรกว่าเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดในแนวระนาบเดียวกันจะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 6.1 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%

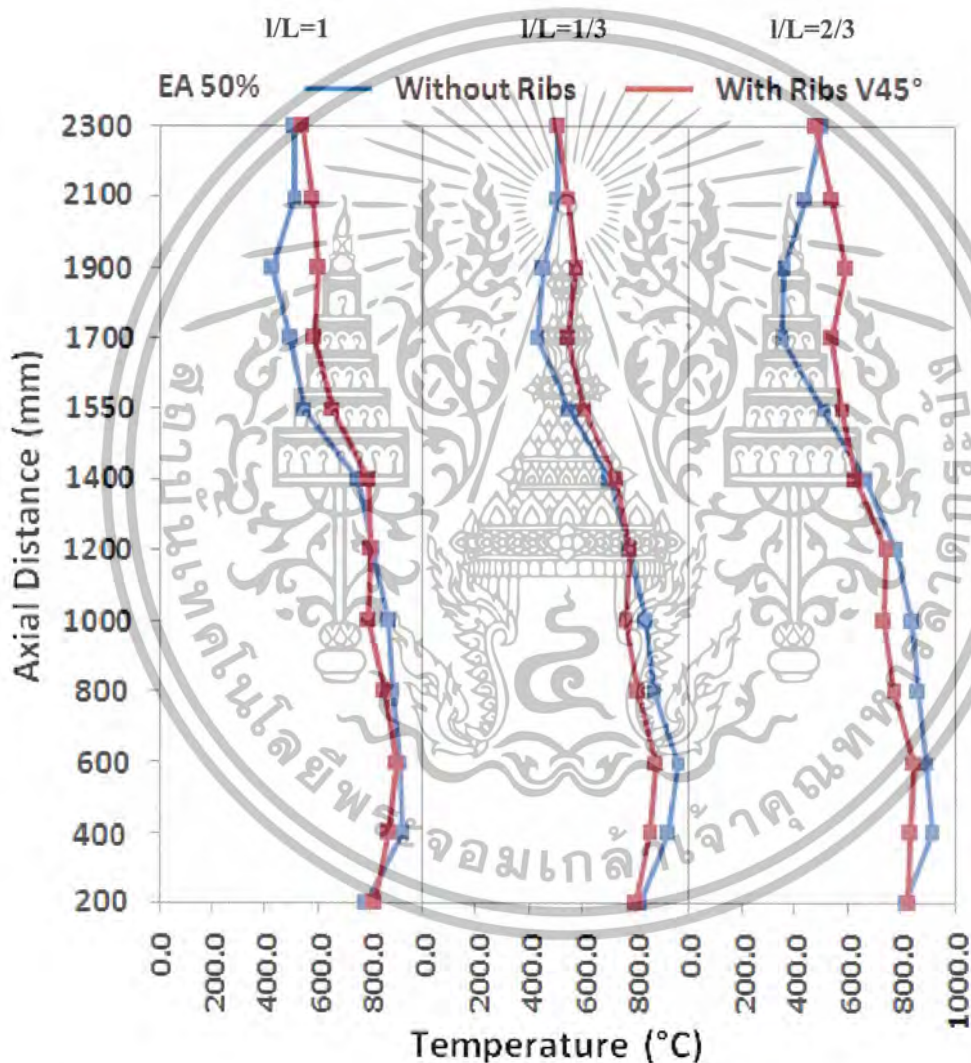
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.2 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%

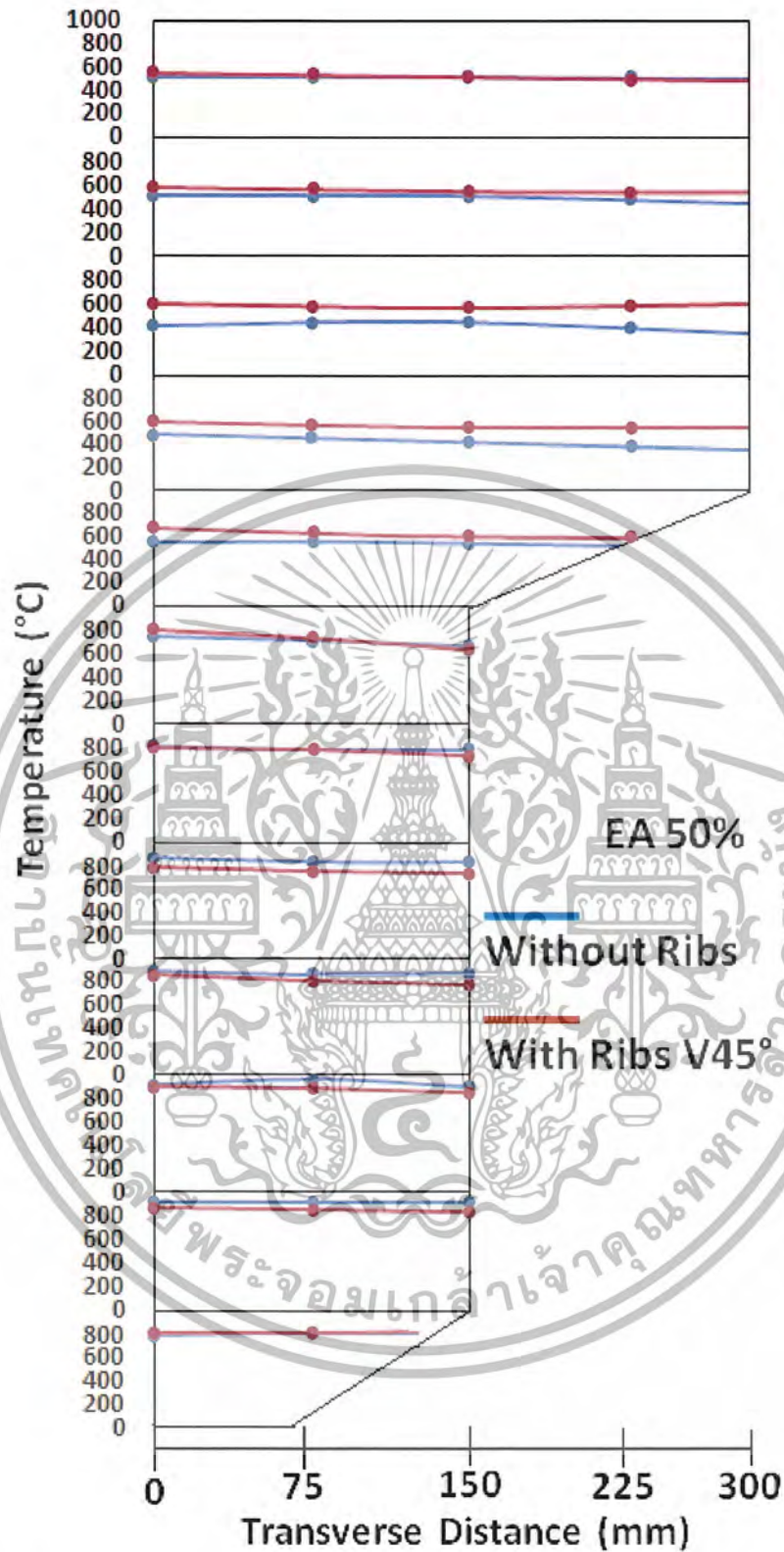
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% ที่อัตราการไหลอากาศ 69.60 kg/hr จากกราฟการกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50% ในภาพที่ 6.3 อุณหภูมิสูงสุดของเตาที่ติดครีบคือ 899.3 องศาเซลเซียส เตาที่ไม่ติดครีบอุณหภูมิสูงสุดคือ 956.3 องศาเซลเซียส ในภาพของการกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็น 50% ในภาพที่ 6.4 เตาที่ติดครีบอุณหภูมิ จะเสถียรกว่าเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดในแนวระนาบจะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 6.3 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

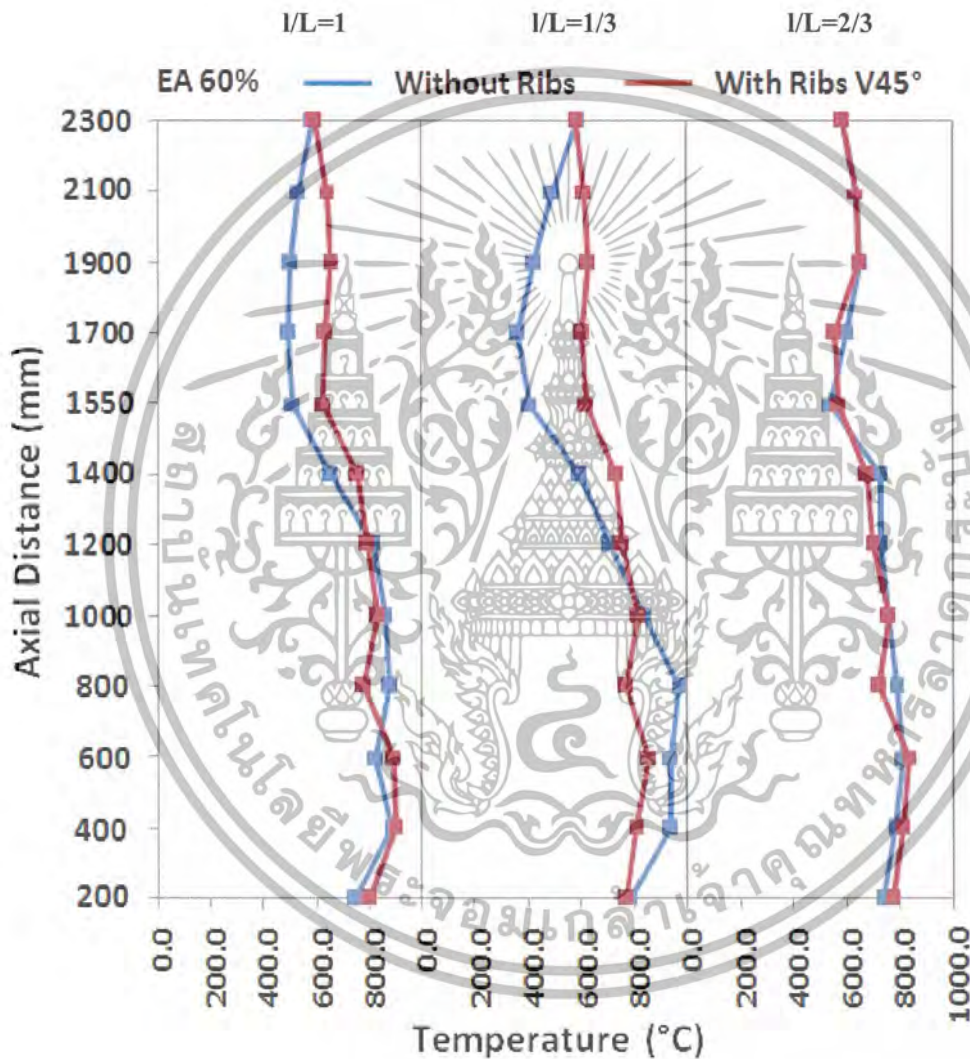


ภาพที่ 6.4 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

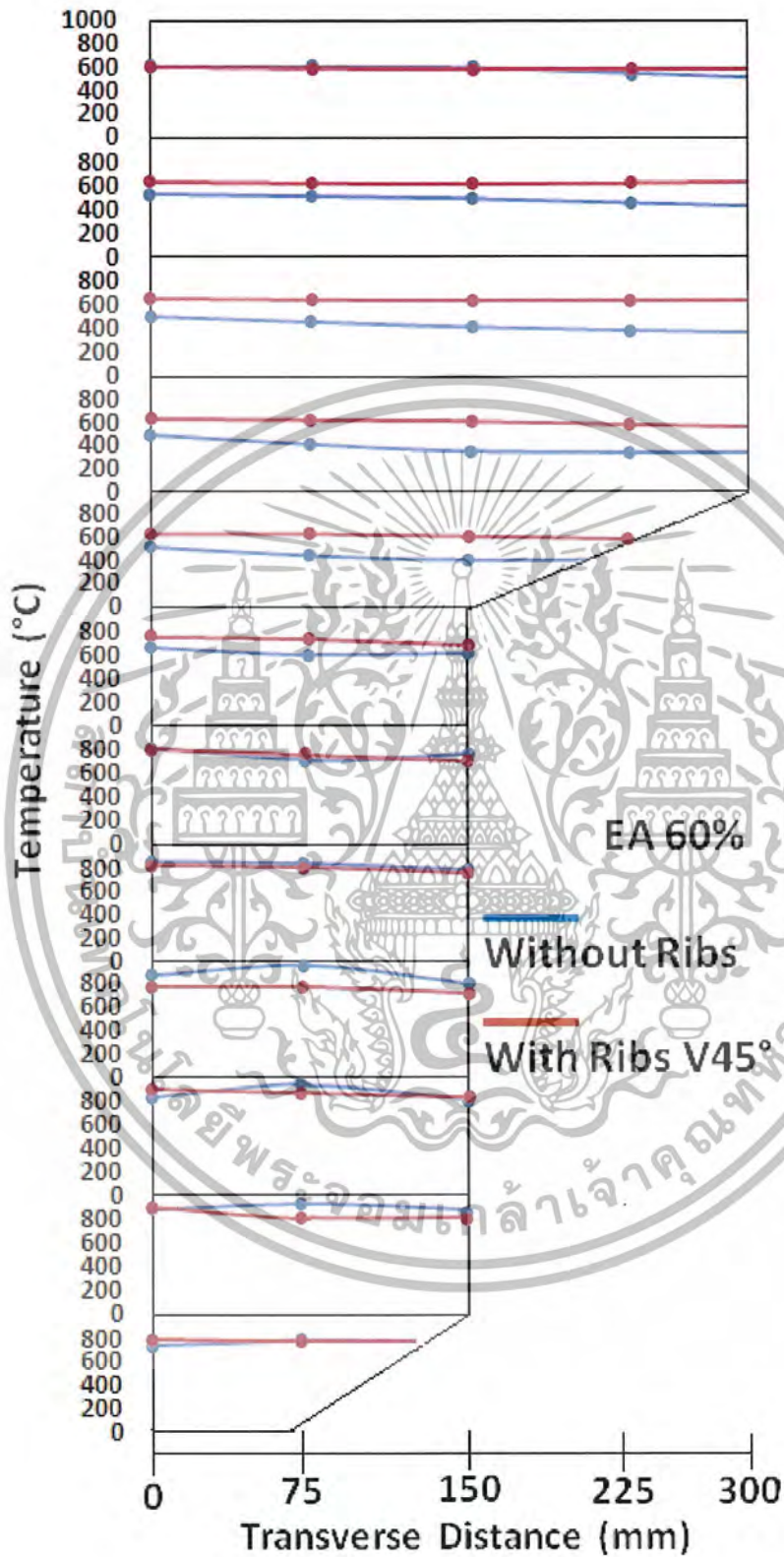
6.2.3 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60% ที่อัตราการไหลอากาศ 74.24 kg/hr

จากภาพการกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60% ในภาพที่ 6.5 อุณหภูมิสูงสุดของเตาที่ติดครีบคือ 893.7 องศาเซลเซียส เตาที่ไม่ติดครีบอุณหภูมิสูงสุดคือ 964.2 องศาเซลเซียส ในภาพของการกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็น 60% ในภาพที่ 6.6 เตาที่ติดครีบอุณหภูมิในแต่ละระดับ จะเสถียรกว่าเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดในแนวระนาบจะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 6.5 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%

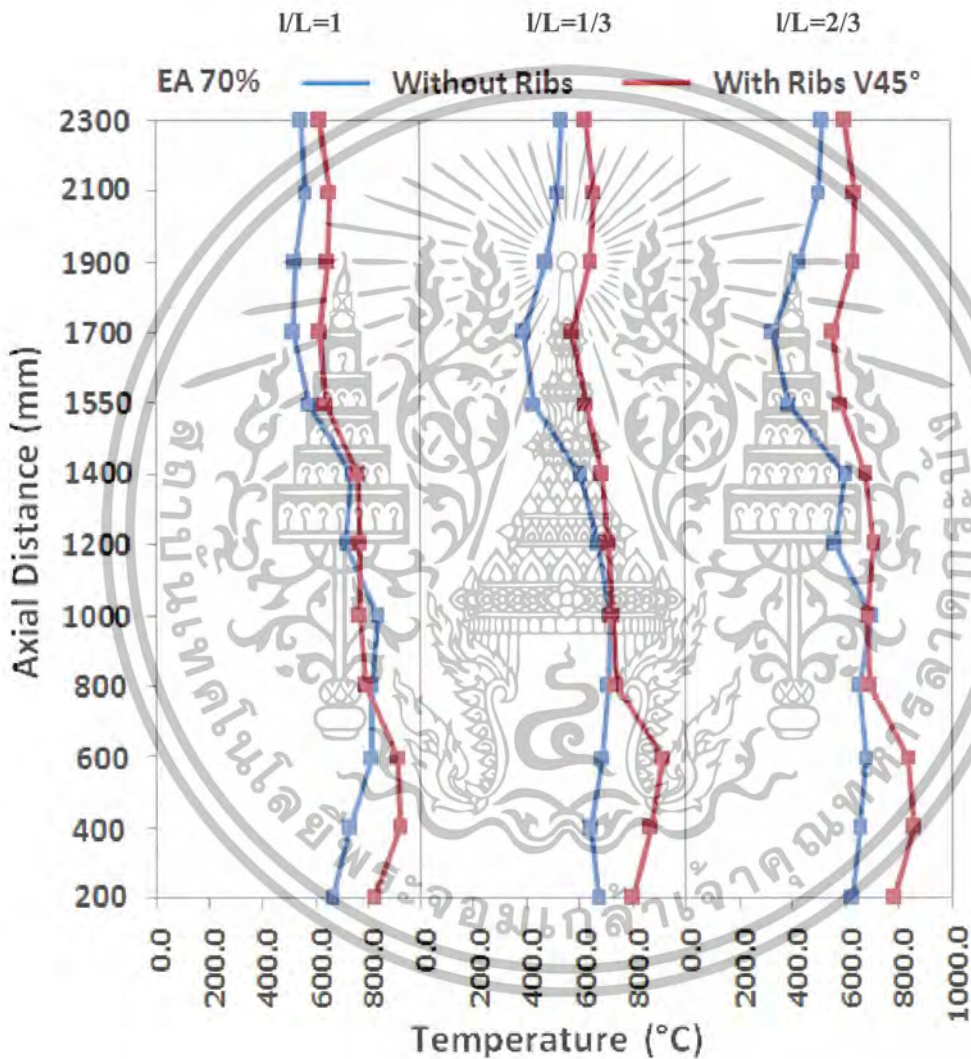
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.6 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60%

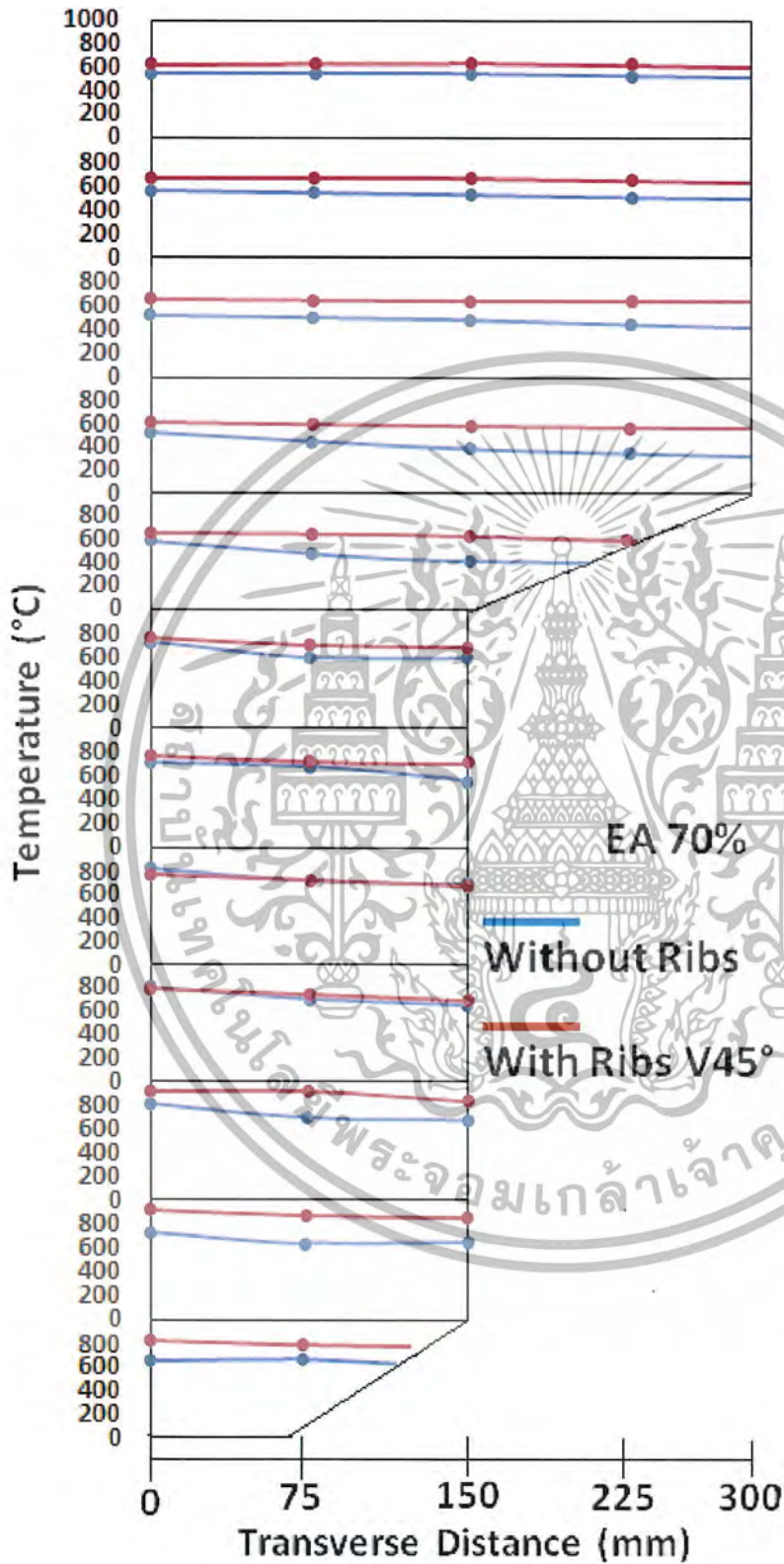
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 ผลการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70% ที่อัตราการไหลอากาศ 78.88 kg/hr จากภาพการกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70% ในภาพที่ 6.7 อุณหภูมิสูงสุดของเตาที่ติดครีบอกคือ 917.4 องศาเซลเซียส เตาที่ไม่ติดครีบอกอุณหภูมิสูงสุดคือ 834 องศาเซลเซียส ในภาพของการกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็น 70% ในภาพที่ 6.8 เตาที่ติดครีบอกอุณหภูมิในแต่ละระดับ จะเสถียรกว่าเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดในแนวระนาบจะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 6.7 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%

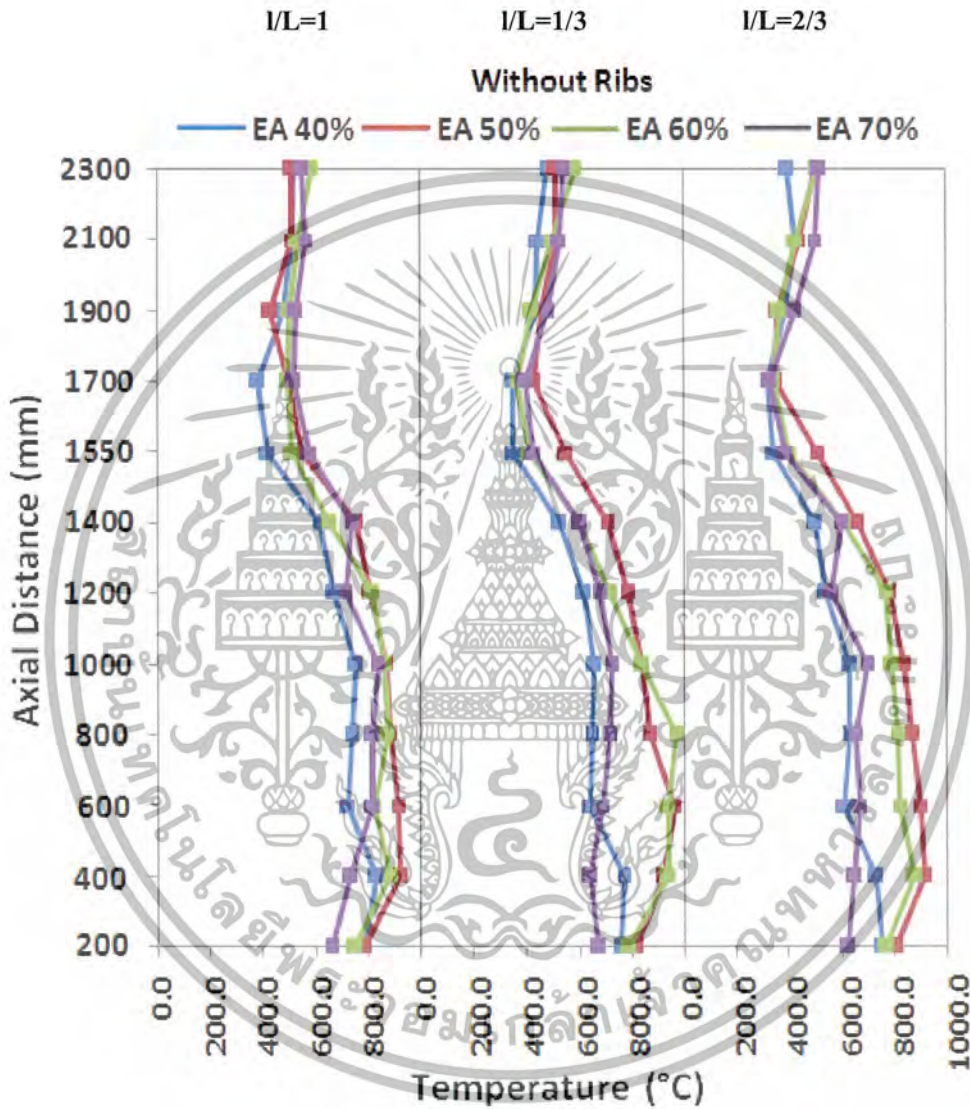
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.8 การกระจายอุณหภูมิตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 70%

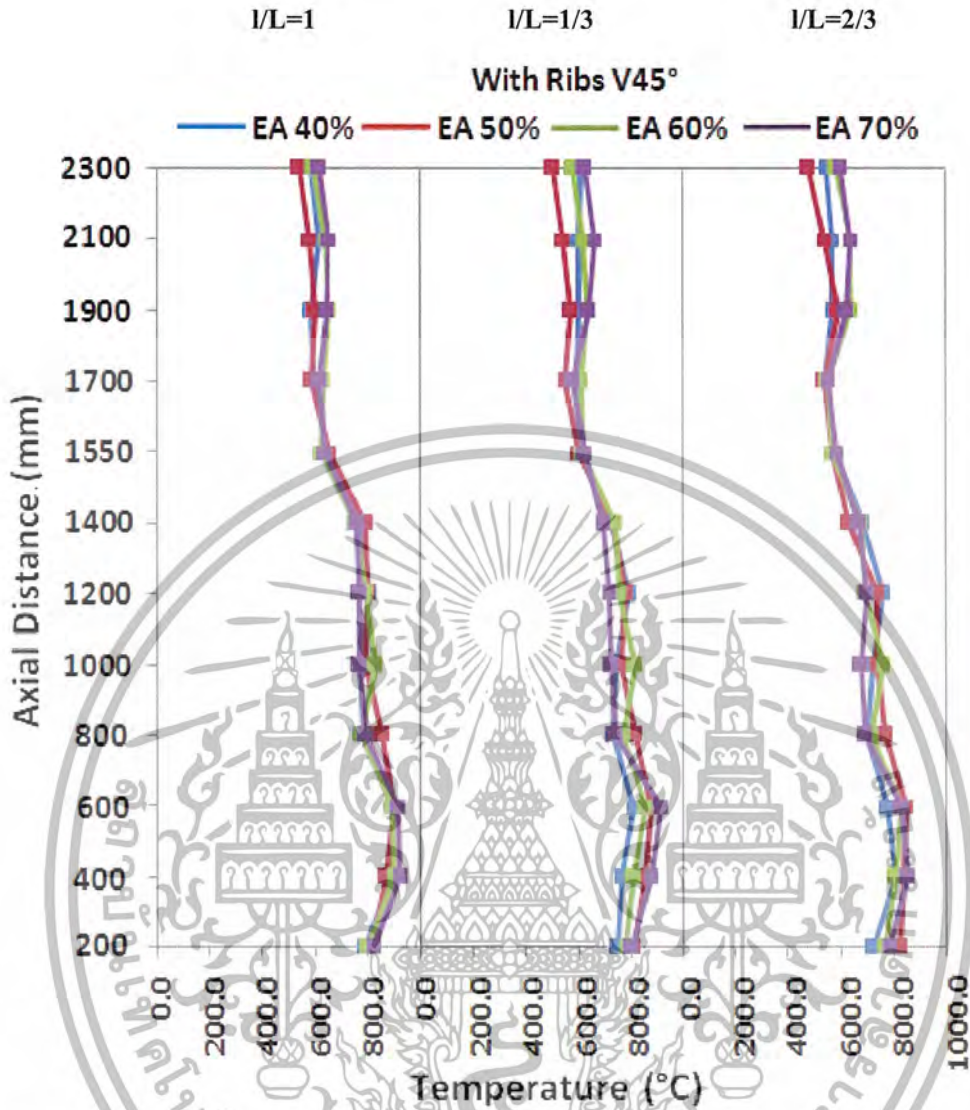
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบเตาที่ไม่ได้ติดครีบบนกับเตาที่ติดครีบบน ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60%, และ 70% จะเห็นได้ว่าเตาที่ติดครีบบนจะมีความเสถียรมากกว่าเตาที่ไม่ได้ติดครีบบน ซึ่งเกิดได้จากการเทียบที่อากาศส่วนเกิน กราฟจะค่อนข้างเป็นเส้นตรงและจะเกิดการซ้อนทับกันขึ้นต่างจากเตาที่ติดครีบบนเส้นกราฟจะมีความตรงน้อยกว่า ดังรูป (6.9-6.12)



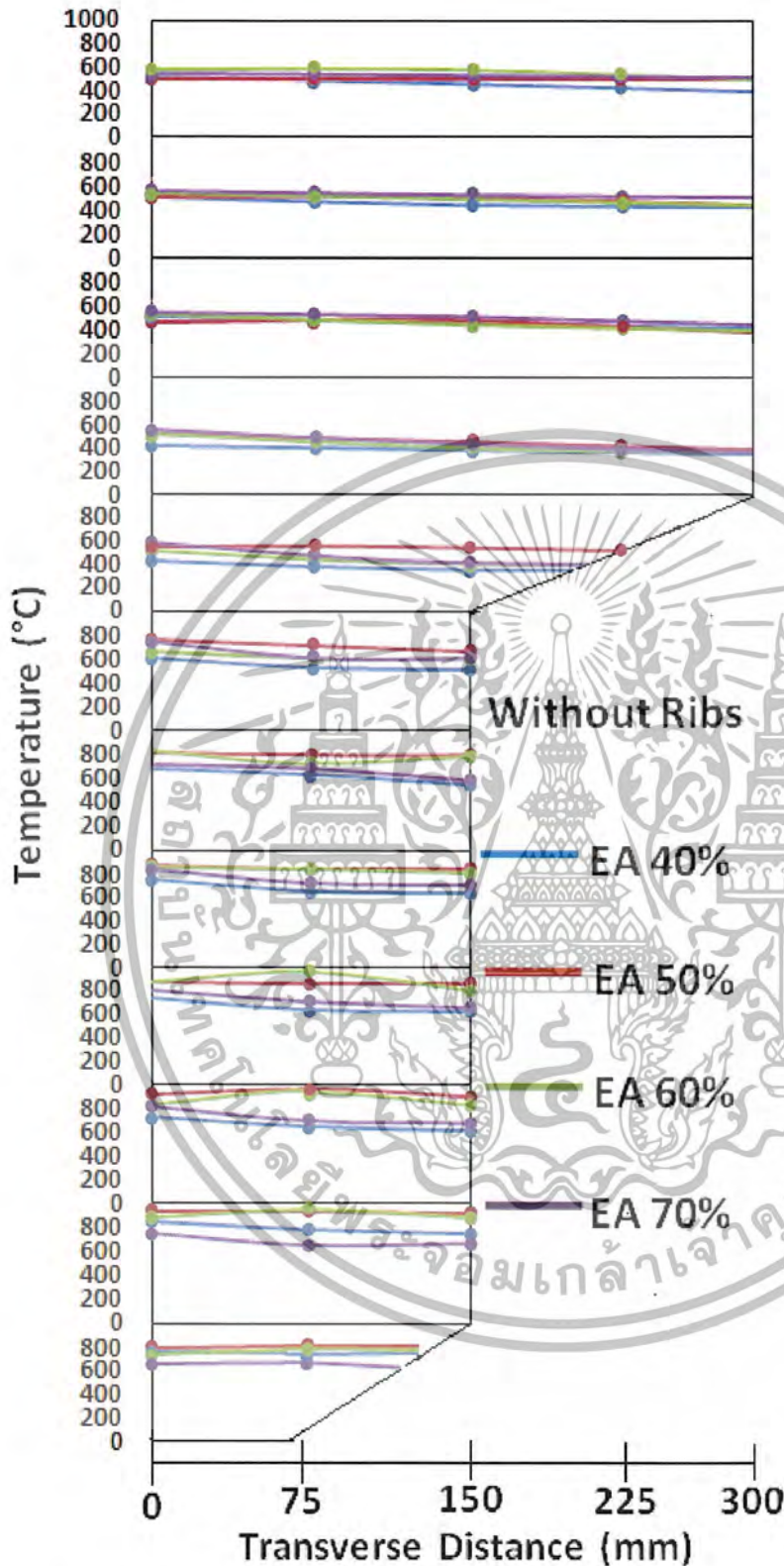
ภาพที่ 6.9 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาที่ไม่มีครีบบนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%, 50%, 60%, 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



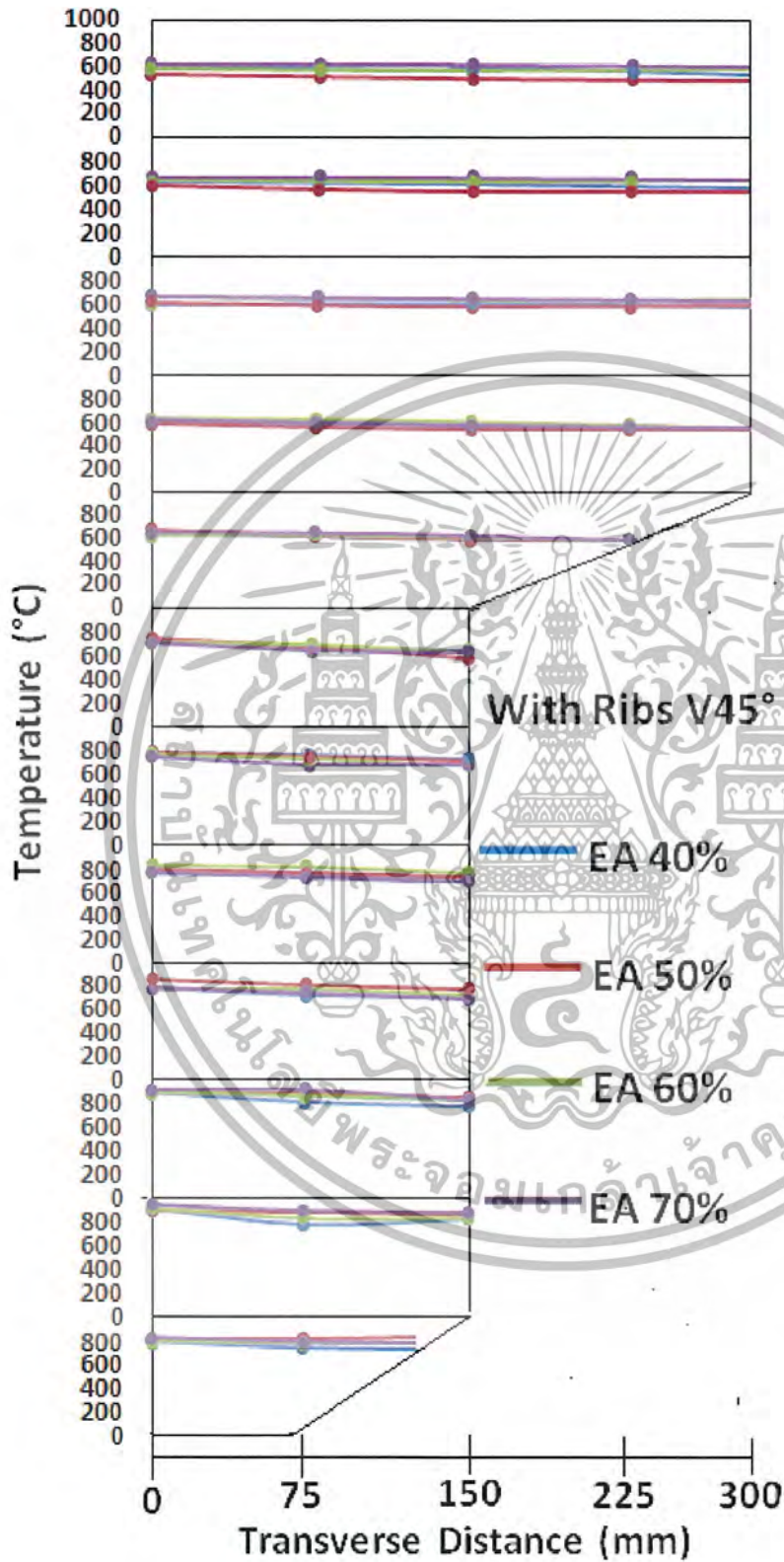
ภาพที่ 6.10 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงของเดามี่ครีปที่มีปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%, 50%, 60%, 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.11 การกระจายอุณหภูมิของเตาที่ไม่มีค้ำตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%, 50%, 60%, 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.12 การกระจายอุณหภูมิของเตาที่มีครีบบตามแนวระดับที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 40%, 50%, 60%, 70%

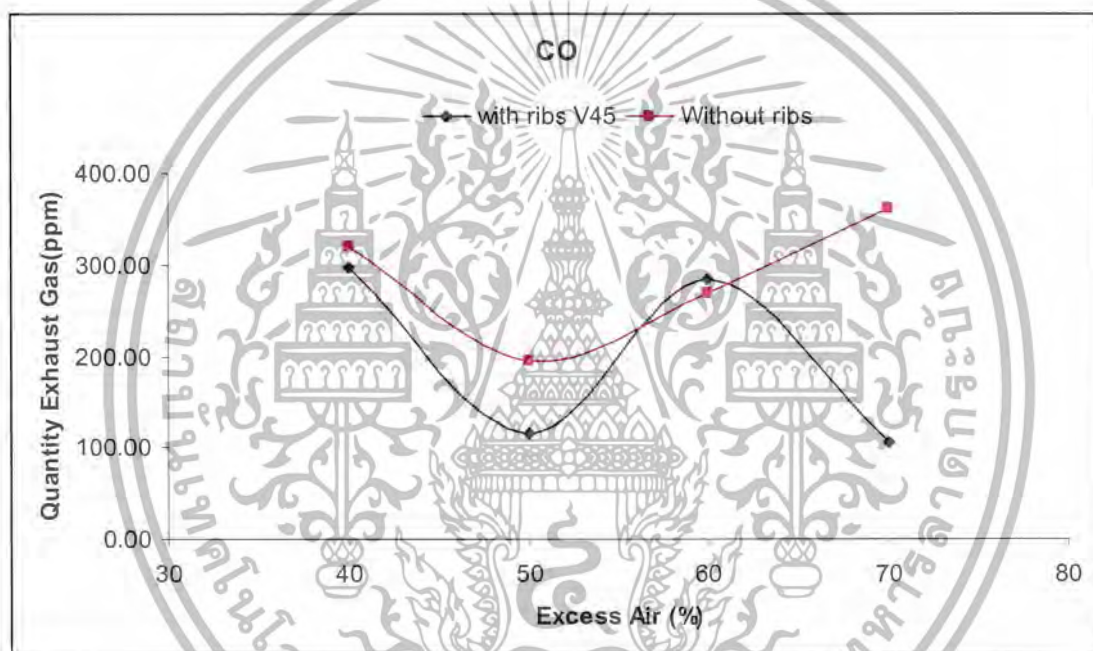
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องวัดไอเสีย

เตาที่ติดครีบบจะมีก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และ ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 25-35 ppm และก๊าซ O_2 อยู่ระหว่าง 17%-20% และ ก๊าซ CO_2 อยู่ระหว่าง 0.9%-2.2%

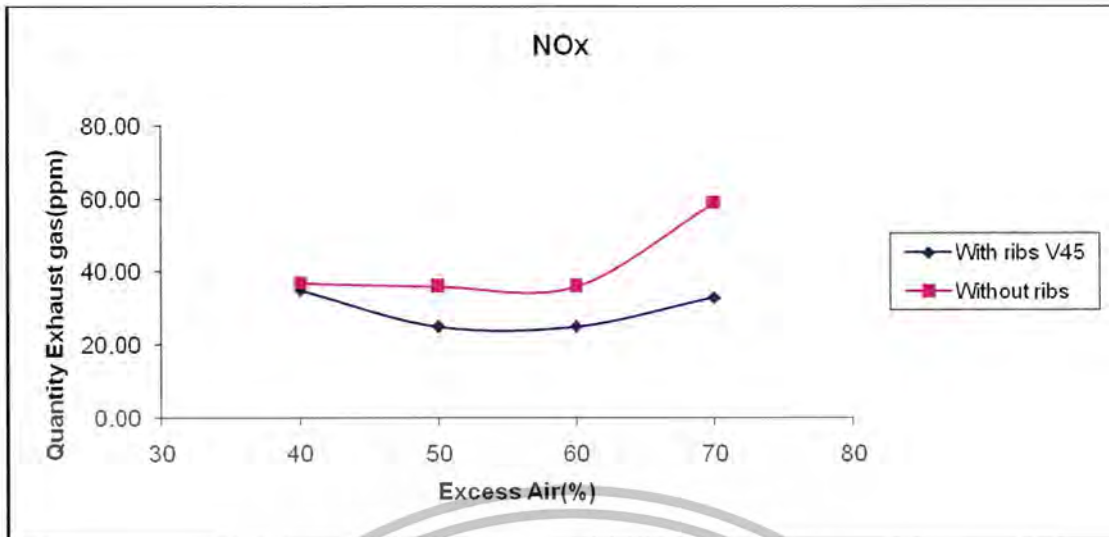
เตาที่ไม่ได้ติดครีบบจะมีก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 190-370 ppm และ ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 35-60 ppm และก๊าซ O_2 อยู่ระหว่าง 18%-20% และ ก๊าซ CO_2 อยู่ระหว่าง 1%-2%

จากการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้จากเครื่องวัดไอเสีย เตาที่มีการติดครีบบประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 99.5%-99.9% ส่วนเตาที่ไม่ได้ติดตั้งครีบบประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 99.3%-99.7% และแสดงลักษณะของขี้เถ้า



ภาพ 6.13 แสดงปริมาณก๊าซ CO สำหรับเตาที่ติดครีบบกับไม่ได้ติดครีบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

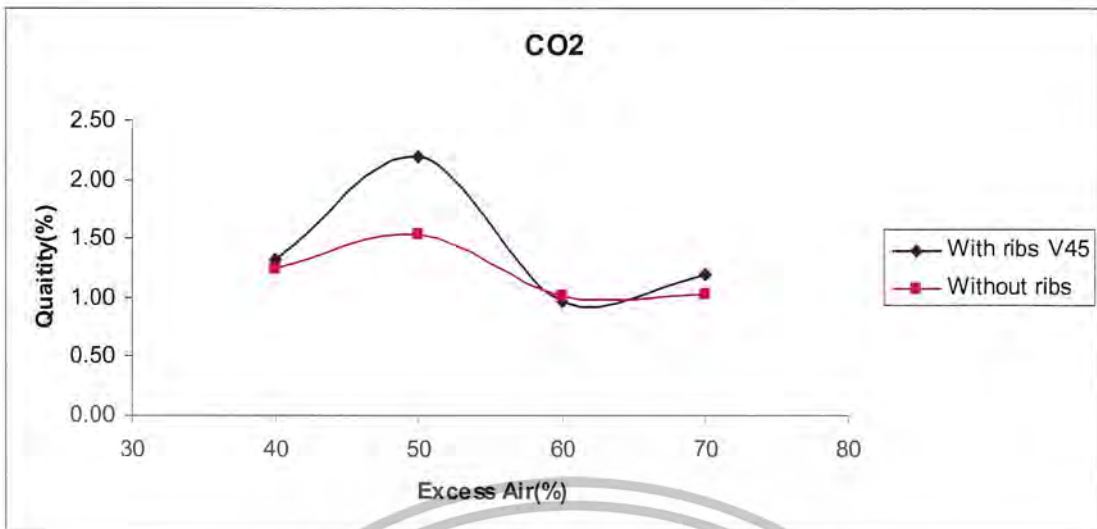


ภาพที่ 6.14 แสดงปริมาณก๊าซ NO_x สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ

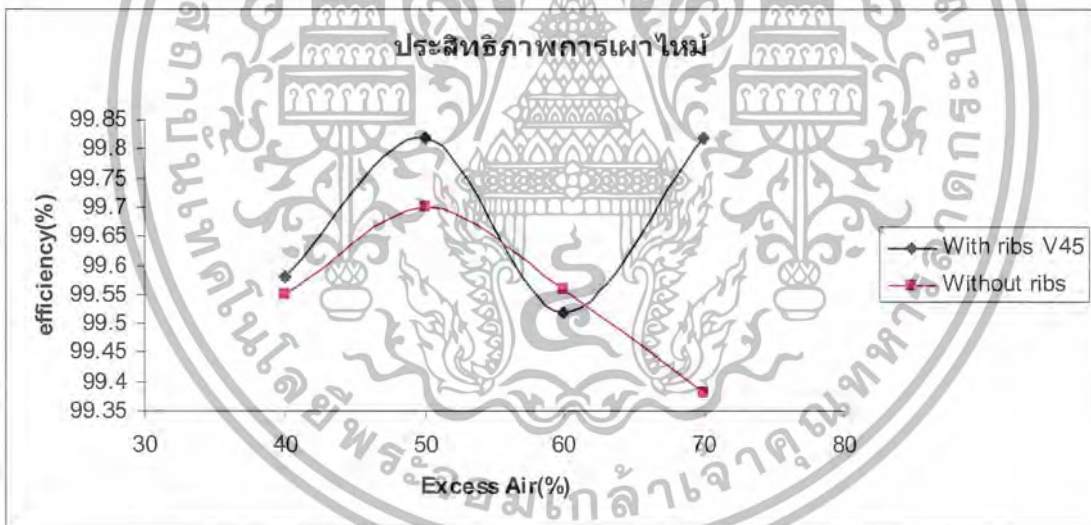


ภาพที่ 6.15 แสดงปริมาณก๊าซ O_2 สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.16 แสดงปริมาณก๊าซ CO_2 สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ



ภาพที่ 6.17 แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้จากไอเสีย สำหรับเตาที่ติดครีบกับไม่ได้ติดครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.18 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบท่ออากาศส่วนเกิน 40%

ภาพที่ 6.19 เถ้าที่ได้จากเตาที่ติดครีบท่ออากาศส่วนเกิน 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.21 ถ่านที่ได้จากเตาที่ติดครีบบท้ออากาศส่วนเกิน 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

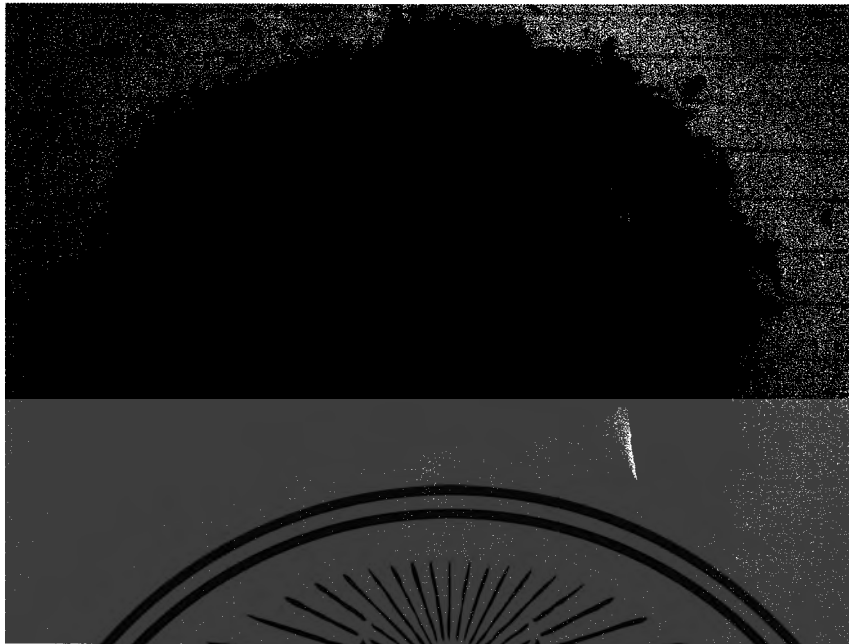


ภาพที่ 6.22 เล้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบบนที่อากาศส่วนเกิน 40%



ภาพที่ 6.23 เล้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบบนที่อากาศส่วนเกิน 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.24 เล้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบบที่อากาศส่วนเกิน 60%



ภาพที่ 6.25 เล้าที่ได้จากเตาที่ไม่ได้ติดครีบบที่อากาศส่วนเกิน 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล

การทดลองนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบพฤติกรรม การเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และศึกษาถึงอิทธิพลของ ผงเถ้าที่เป็นแบบผิวกริบด้านล่างและฟริบอร์คใหญ่ด้านบน เปรียบเทียบกับเตาเผาที่เป็นผิวเรียบ ด้านล่างและฟริบอร์คใหญ่ด้านบน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวล ของกลบ ที่ 8.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 40 %, 50 %, 60 % และ 70 % ในส่วนของผิวกริบนั้นจะทำมุม 45 องศา มีจำนวน 2 คู่ จากนั้นทำการวัด และสังเกตการณ์ ในการกระจายอุณหภูมิในเตาที่ตำแหน่งต่างๆ สังเกตเชื้อเถ้า และก๊าซ ไอเสีย

จากการพิจารณาผลการทดลองการกระจายอุณหภูมิของเตาที่มีกริบกับเตาที่ไม่มีกริบที่ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 40 %, 50 %, 60 % และ 70 % จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทั่ว ทั้งเตาของเตาที่ติดกริบจะมีอุณหภูมิสูงกว่า โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ของเตาที่ติดกริบคือ 917.4 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดนี้จะอยู่ที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70% เมื่อพิจารณาการกระจาย ตัวตามแนวระดับจะเห็นได้ว่า ผลกระทบของการติดกริบ จะช่วยให้เกิดการไหลเวียนย้อนกลับของ อากาศและเชื้อเพลิง ทำให้มีเวลาในการเผาไหม้นานขึ้นประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น ทำให้ อุณหภูมิในทุกค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน ในเตาที่มีกริบจะมีความเสถียรของอุณหภูมิตกกว่าเตาที่ ไม่ติดกริบ โดยเฉพาะที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% และ 60% อุณหภูมิจะมีความเสถียรมากที่สุด

จากการวิเคราะห์ไอเสียเตาที่ติดกริบจะเกิดมลพิษน้อยกว่าเนื่องจากประสิทธิภาพการเผา ไหม้ที่ดีกว่า โดย เตาที่มีการติดกริบประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 99.5%-99.9% ส่วนเตาที่ ไม่ได้ติดกริบประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 99.3%-99.7% เตาที่ติดกริบจะมีก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และ ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 25-35 ppm ส่วนเตาที่ไม่ได้ติดกริบจะมีก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 190-370 ppm และ ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 35-60 ppm

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดทำการศึกษาถึงผลกระทบของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดที่มี ลักษณะของห้องเผาไหม้ที่ต่างชนิดกัน ซึ่งการทดลองได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงการกระจาย อุณหภูมิที่มีความราบเรียบสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด, ผลของมลพิษที่เกิดขึ้น, ฉะนั้นควรจะม การศึกษาถึงตัวแปรอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบให้ได้เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดที่มี ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ศึกษาถึงผลกระทบของขนาดและความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์แบบตติบริบ
2. ศึกษาถึงขนาดครีบนขนาดต่างๆและระยะพิตซ์
3. ทำการวัดปริมาณมลพิษที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาเผา
4. ศึกษาถึงลักษณะของแผ่นกระจายลมแบบต่าง ๆ ว่ามีผลอย่างไรต่อการเผาไหม้
5. ศึกษาถึงการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น ๆ เช่น ชังข้าวโพด, จี้เถี่ย, ชานอ้อย, เปลือกถั่วลิสง กับเตาเผาฟลูอิดไดซ์แบบ
6. ศึกษาถึงการใช้วัสดุทำเบดหลายชนิด เช่น ทราย, ลูกเหล็กและลูกแก้ว เป็นต้น
7. ทำการศึกษาถึงผลของความสูงของวัสดุทำเบด
8. นำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากกว่านี้ เช่นนำไปอบแห้งเมล็ดพืชหรือผลิตผลทางการเกษตร
9. ศึกษาถึงกรณีการใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดมาผสมกันต่อการเผาไหม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] นายวุฒิ แจ่มอัน “พฤติกรรมการณ์เผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [2] นายดิษฐพร ตุงโศธานนท์ “พฤติกรรมการณ์เผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [3] วิศิษฐ์ ติลาผาดิกุล “เตาเผาแกลบวอร์เทคหลายชั้น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [4] เสรีย์ ตู๊ประกาย “การศึกษาและออกแบบเตาเผาจากตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540
- [5] ศศิวิมล สูงสว่าง “การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- [6] สุวิทย์ เตีย และคณะ (2542) “การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม, หน้า 47 - 63.
- [7] สมศักดิ์ กิระดิฐเสริญ “หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” พิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2539.
- [8] สำเร็จ จักรใจ “การเผาไหม้” พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [9] Teng H., Chyang C.S , and Chang S.H, “Character of Waste Tire Incineration in a Prototype Vortexing Fluidizedbed Combustor. Air & Waste Management Association”, 1997, Vol.49, pp. 49 – 57.
- [10] Lin. C.H., Teng J.T. and Chyang C.S., “ Evtuation of the Combustion Efficiency and Emission of Pollutants by Coal Particles in a Vortexing Fluidized Bed, Combustion and Flame”, 1997, Vol.110, pp. 163 – 172.
- [11] Nieh S. and Yang G., “Particle Flow Pattern in the Free board of a Vortexing Fluidized Bed, Powder Technology, 1987, Vol. 50, pp. 121 – 131.
- [12] Nieh, S. Yang G., Zhu A.Q and Zhao C.S. “Measurements of gas – particle flows and elutriation of an 18 inch i.d. cold Vartexing fluidized – bed combustion mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Powder Technology, 1992, Vol. 69, pp. 139 – 146.

- [13] Parmchart W., Kouprianov V.I. and Tantimuratha L. “Experimental study on a conical fluidized bed Combustor firing rice husk” The Second Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Enviroment, 12 – 14 February 2003, Phuket, Thailand.
- [14] Wan H., and Chyang. C.S., “Transport Disengaging Height and Elutriation Rate of a Vortexing Fluidized Bed Journal of Chemical Engineering of Japan”, 1998, Vol. 31, No. 6 pp. 977 – 986.
- [15] Stephen R., Turns, An Introduction to Combustion (Concepts And Applications). McGraw – Hill International Editions, 1996, pp. 19.
- [16] Daizo K., Octave L., Fluidization Engineering. Butterworth-Heinemann. Second Editions, 1991.
- [17] CHN-900/CHNS-932 Instruction Manual, Version 2.2 ,Leco Corporation,1998



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบ (Rice Husk)

แกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ในการสีข้าวเปลือก 1 ตัน จะได้แกลบออกมาทั้งหมดประมาณ 220 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 22 สำหรับประเทศไทยประเมินได้ว่าในแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4-4.6 ล้านตัน มีศักยภาพเชิงความร้อนเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดิบ 1.46-1.53 ล้านตัน แต่ตามความเป็นจริงถูกนำมาใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทั่วไปเพียงร้อยละ 12 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้อยู่กระจัดกระจาย มีความหนาแน่นไม่มากเป็นผลให้การขนส่งมีราคาแพง ปัจจุบันการใช้แกลบเป็นพลังงานอยู่ในวงจำกัดปริมาณการใช้แกลบน้อย โดยที่แกลบอาจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายวิธี เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเตาเผาเพื่อผลิตความร้อนให้หม้อน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ใช้ผลิตแก๊สเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แทนฟืนและใช้อบโดยวิธีไพโรไลซิส(Pyrolysis) เพื่อใช้แทนถ่าน เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพ

แกลบมีคุณสมบัติทางด้านการเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีคือพอสมควร แต่จะมีข้อเสียคือเมื่อทำการเผาไหม้แล้วแกลบจะมีปริมาณสูงถึงประมาณร้อยละ 15.8-24.9 ค่าความร้อนของแกลบจะอยู่ระหว่าง 2,900-4,580 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่าความชื้นโดยประมาณ 1.1-9.8% กิโลกรัม

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของแกลบ

Proximate	Moisture	(%)	1.1-9.8
Analysis	Fixed	(%)	12.7-17.4
	Volatile matter	(%)	56.4-69.3
	Ash	(%)	15.8-24.9
Ultimate	Carbon	(%)	38.2-55.8
	Silica	(%)	14.7
	Hydrogen	(%)	0.2-5.31
	Oxygen	(%)	29.9-31.7
	Sulphur	(%)	0.07-0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	แก๊สเชื้อเพลิง
การขนส่ง	- ขนส่งง่ายแต่ลำบากในการขนย้าย	- ขนส่งง่ายและขนย้ายง่าย	- แก๊สธรรมชาติขนส่งและขนย้ายง่าย
การเก็บ	- ต้องใช้พื้นที่กว้าง	- ต้องใช้ถัง	- ต้องบรรจุในภาชนะพิเศษ
คุณสมบัติ	- คุณภาพเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน - ค่าความร้อนต่อหน่วยต่ำ - จี๊ด้ามาก - ประสิทธิภาพในการสันดาปต่ำ - ต้องการอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก - มีความยุ่งยากในการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ	- คุณภาพค่อนข้างคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง - ต้องการอากาศในการเผาไหม้น้อย - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย	- คุณภาพคงที่ - ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักรวมสูง - ไม่มีจี๊ด้า - ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด - ต้องการอากาศส่วนเกินจำนวนน้อยมาก - ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย
อุปกรณ์สันดาป	- ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	- ขนาดเล็ก	- ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	- มีผลกระทบต่อการเกิดมลภาวะของบรรยากาศน้อย
ราคา	- ถูก	- ค่อนข้างแพง	- แพงที่สุดต่อความร้อน 1 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544

หน่วย :ตัน

ชีวมวล	ปี พ.ศ.	
	2540 [*]	2544 ^{**}
กากอ้อย	15,410,636	19,357,826.64
แกลบ	5,962,548	5,582,426.4
ลำต้นมันสำปะหลัง	1,591,353	1,656,557.81
ซังข้าวโพด	9,066,220	6,905,058.88
กากถั่วเหลือง	141,483	259,574.21
เส้นใย/เปลือกผลปาล์ม	680,029	1,449,985.40

หมายเหตุ * ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปีเพาะปลูก 2540/44

** ประมาณการ

ตารางที่ ก-4 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อไร่

ชีวมวล	ปี พ.ศ.			
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	เหนือ	กลาง	ใต้
ไม้พืน	279.71	528.29	342.16	541.39
ซังข้าวโพด	1,008	178.23	1,250	-
ถ่านไม้	0.48	0.174	0.021	0.041
ต้นข้าวโพดเหลือทิ้ง	-	-	90	-
แกลบ	185.30	383.65	3,729.64	4.14
เส้นใย/เปลือกผลปาล์ม	-	-	70	14,390
ฟางข้าว	700	17	50	-
เส้นใย/เปลือกผล	-	66	21	101
มะพร้าว	352,805.83	525,984	174,594	-
กากอ้อย	-	-	80	-
ลำต้นมันสำปะหลัง	-	-	70	-
ต้นอ้อยเหลือทิ้งในไร่	-	-	90	-
กากถั่วเหลือง	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริิญาานิพนธ์ได้ที่

www.kmitl.info

บทความประกอบวิชา 01054025 Project 2 ภาคเรียนที่ 2/2551 วันจันทร์ที่ 16 มีนาคม 2552

การพัฒนาการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคريب¹

ธนพล ทูมมานนท์, พิระวัชร มณเฑาะว์, เอกชัย เชื้อชาติ,²

รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์³

บทคัดย่อ

ปริิญาานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีเกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาที่เป็นแบบติดคريبรูปทรงสามเหลี่ยมรูปตัววีจำนวน 2 ชุดด้านล่างและฟรีบอร์ดใหญ่ด้านบน เปรียบเทียบกับเตาเผาที่เป็นผิวเรียบด้านล่างและฟรีบอร์ดใหญ่ด้านบน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของเกลบ ที่ 8.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินจำนวน 4 ค่า คือ 40 %, 50 %, 60 % และ 70 % ในส่วนของผิวคลิปนั้นจะทำมุม 45 องศา มีจำนวน 2 คู่ จากนั้นทำการวัดและสังเกตการณ์ ในการกระจายอุณหภูมิในเตา 12 ตำแหน่ง ขึ้นไต้ และก๊าซไอเสีย จากการทดลองพบว่าเตาแบบผิวคลิปที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเท่ากับ 50 % จะมีการกระจายตัวของห้องเผาไหม้เสถียรที่สุดอุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 750-850 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ทางออกปริมาณของ ก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm ก๊าซ CO_2 อยู่ระหว่าง 1 % - 2% ก๊าซ O_2 อยู่ระหว่าง 17 % - 20 % ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 25-60 ppm

Abstract

The thesis 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 its mixing behavior of the rice husk flow is better in the bed fitted with triangular ribs. Thus, it is interesting to develop those ribs into 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 8.64 kg/hr was kept constant throughout where the excess air was varied to be 40%, 50%, 60% and 70% respectively. The conditions were tested for the bed fitted with 2 sets of V-shaped triangular ribs including the bed without 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 triangular ribs with 50% excess air provides the best and stable combustion with the temperature range between 750-950°C. However, maximum temperature of the ribbed combustor is found to be 917.4°C at 70% excess air. From exhaust gas emission measurements, it is seen that CO is in a range of 100-300 ppm, CO_2 between 1-3%, O_2 between 17-20% and NO_x between 25-60 ppm.

¹ ชื่ออังกฤษ "DEVELOPMENT OF BIOMASS COMBUSTION BEHAVIORS IN A FLUIDIZED-BED WITH RIBS"

² นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q รหัสประจำตัวนักศึกษา 49015493, 49015500 และ 49015554 ตามลำดับ

³ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โทร 02-3264197

1. บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าความต้องการทางด้านการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเจริญของประเทศ ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ถ่านหิน, ปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ประกอบกับเกิดวิกฤตการณ์ของพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้น ภาครัฐและเอกชนจึงมีนโยบายที่จะหาพลังงานอื่นๆ มาช่วยทดแทนพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น นำน้ำมันเชื้อเพลิงมาผสมกับสารสกัดจากพืช เพื่อนำมาผสมกันและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใหม่ เช่น การนำน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม เรียกว่า “ไบโอดีเซล”

เมื่อลองทำการศึกษาและพิจารณาพบว่าหากสามารถหาแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้ไม่มีวันหมดและก่อให้เกิดมลพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และจากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษเหลือจากการเกษตรกรรม สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ในรูปของพลังงานความร้อน เพราะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทั่วทุกภาคของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรมแล้วมีการทำกันมากเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตเรียบร้อยแล้วจะต้องนำข้าวเปลือกไปสี เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวออกมาสำหรับบริโภค

แกลบคือวัสดุที่เหลือจากการสีข้าวซึ่งถ้าสีข้าว 1 ตัน จะได้แกลบออกมาประมาณ 220 กิโลกรัม ค่าความร้อนของแกลบมีค่าประมาณ 3600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จึงจะนำแกลบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนต่อไป เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบด
2. ศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาที่ไม่ได้ติดตั้งครีบในห้องเผาไหม้
3. ศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาที่มีครีบลักษณะสามเหลี่ยมที่ทำมุม 45 องศา จำนวน 2 คู่ ในห้องเผาไหม้

4. เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ภายในเตาและชี้ให้เห็นที่ออกมาเกี่ยวกับก๊าซไอเสีย

1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวคลื่น สำหรับเตาเผาแกลบที่มีอยู่เดิม พบว่า จะต้องมีค่าสูงของห้องเผาไหม้ที่สูงมาก เพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวคลื่น และ ฟรีบอร์ดใหญ่ เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ทำให้สามารถลดค่าสูงของห้องเผาไหม้ได้ ไม่เกิดการแยกชั้นของการไหลของอนุภาค ช่วยให้เชื้อเพลิงสามารถอยู่ภายในห้องเผาไหม้นานขึ้น ทำให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบ และ ฟรีบอร์ดใหญ่
2. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีครีบ และ ฟรีบอร์ดใหญ่
3. เชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (ประมาณ 2 มิลลิเมตร x 8 มิลลิเมตร)
4. ใช้อากาศส่วนเกิน 40%, 50%, 60% และ 70% ของอัตราส่วนผสมของอากาศแบบพอดีโดยยึดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 8.64 kg/hr

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาชีวมวลแบบวอร์เทค, แบบฟลูอิดไดซ์เบดและไซโคลน รวมทั้งปัญหาข้อจำกัดและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
2. ศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้, ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน และหลักการคำนวณ
3. สร้างและทดสอบครีบที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมทำจากเหล็กฉาก โดยจัดให้ทำมุมกับผนังเตา 45 องศา โดยติดตั้งเป็นจำนวน 2 คู่
4. ทำการทดลองเปรียบเทียบถึงผลกระทบต่อ

การเผาไหม้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลักๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ทำการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแกลบ
ฟลูอิดไดซ์เบดแบบที่ไม่ได้ติดตั้งครีบบนห้อง
เผาไหม้

4.2 ทำการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแกลบ
ฟลูอิดไดซ์เบดแบบที่ติดตั้งครีบบนห้องเผาไหม้

5. บันทึกผลการทดลอง

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้
เป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการทับถมตัวของ
ซากพืชซากสัตว์ภายใต้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าเชื้อเพลิงดึก
ดำบรรพ์ (Fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ
ธรรมชาติ เชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่ง คือ เชื้อเพลิงชีวมวล
(Biomass) ซึ่งเป็นวัตถุดิบได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ไม้ ชีลื้อย
และแกลบข้าว เป็นต้น เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลนี้ส่วน
ใหญ่จะได้จากสิ่งที่เหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งสามารถหา
ได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม

2.1.1 แกลบ

แกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบที่ได้จาก
ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถอธิบายที่มาของ
แกลบได้ดังนี้ เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด คาริออพซิส
(Caryopsis) ส่วนที่เป็นเมล็ดที่ติดแน่นอยู่กับผนังของรัง
ไข่หรือเยื่อหุ้มผล สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ เปลือก
ใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Pale) ประกอบกันแบบ
ตะขอพัน (Interlocking fold) ทั้งสองข้างตลอดแนว
ความยาว ภายในเปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวนี้มีช่องว่างระหว่าง
เมล็ด และเปลือกที่ปลายทั้งสองด้าน ผิวของเปลือกทั้ง
สองส่วนจะมีหนามแข็งเล็ก ๆ ติดยู่โดยรอบทั่วไป

ข้อดี คือ มีคุณสมบัติในการเป็นได้ดีและราคาถูกมาก
ข้อเสีย คือ เมื่อถูกเผาไหม้จะมีปริมาณขี้เถ้าสูง
ประมาณ 15.7-21.3 เปอร์เซ็นต์ ของการเผาไหม้ และมี
ปริมาณความชื้นสูง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ
เชื้อเพลิงชีวมวลโดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีทำให้ทราบ
องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลของชีลื้อยและแกลบ
ดังนี้

แกลบ	
ธาตุคาร์บอน	ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์
ออกซิเจน	ประมาณ 41.6 เปอร์เซ็นต์
ไฮโดรเจน	ประมาณ 5.7 เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจน	ประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์
ซีเถ้า	ประมาณ 1.98 เปอร์เซ็นต์
LHV	ประมาณ 12.27 MJ/kg

2.2 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน

ฟลูอิดไดซ์เซชันเป็นปรากฏการณ์ที่อนุภาค
ของแข็งขนาดเล็กถูกทำให้อยู่ในสภาพคล้ายของไหลด้วย
การพองโดยก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านเบดของแข็งขึ้น
ไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง โดยมีการถ่ายเทมวล
สาร ความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการ
สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

2.2.1 ประเภทของฟลูอิดไดซ์เซชัน

กระบวนการฟลูอิดไดซ์เซชันแบ่งตามลักษณะ
การเกิดได้สองแบบ คือ

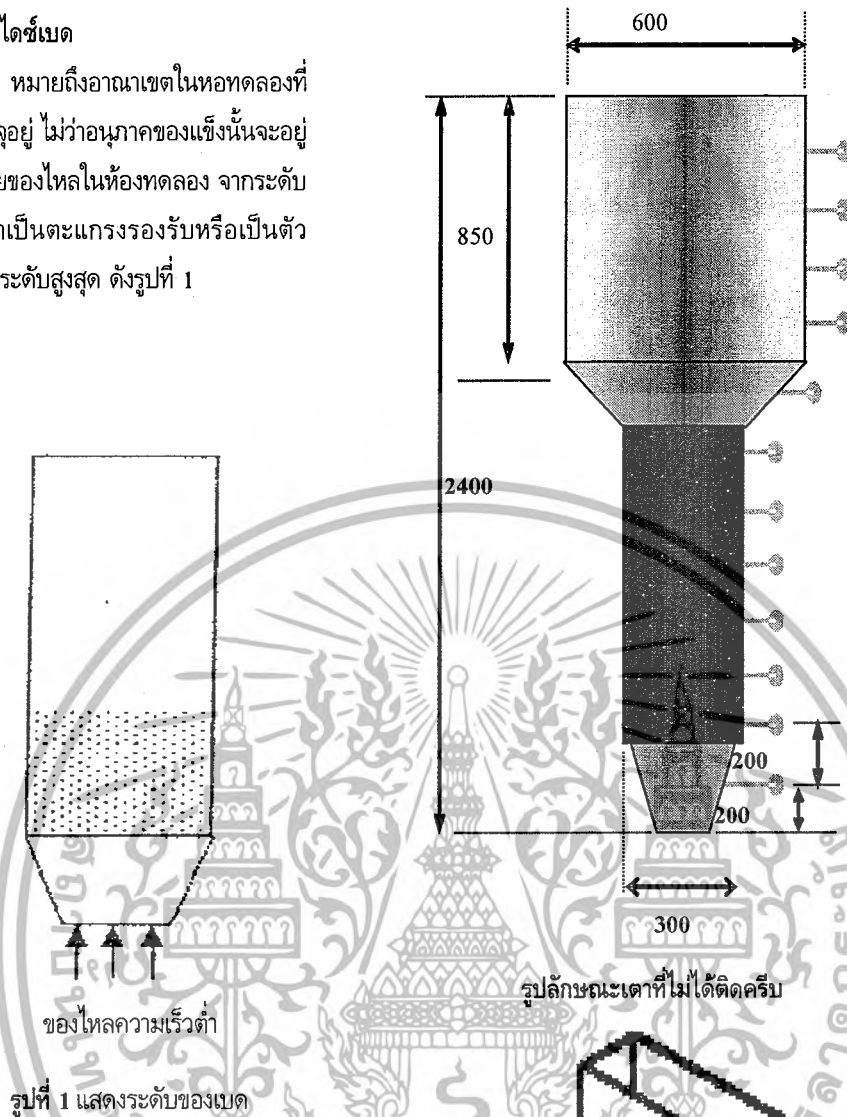
2.2.1.1 ฟลูอิดไดซ์เซชันสองสถานะ (Two-phases
fluidization) หมายความว่าในห้องทดลอง หรือ
เบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะ คือ
ของแข็งกับของไหล โดยที่ของไหลนี้อาจจะเป็น
ก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดซ์เซชันจึง
แบ่งออกอีกสองประเภทคือ ก๊าซฟลูอิดไดซ์เซชัน
(Gas fluidization) และฟลูอิดไดซ์เซชันของ
ของเหลว (Liquid fluidization)

2.2.1.2 ฟลูอิดไดซ์เซชันแบบสามสถานะ (Three-
phases fluidization) หมายความว่าภายในหอ
ทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลา
เดียวกันคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ
สำหรับฟลูอิดไดซ์เซชันสามสถานะเป็น
กระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดไดซ์เซชันแบบ
สองสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ลักษณะฟลูอิดไดซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึงอาณาเขตในหอทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ไม่ว่าอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในห้องทดลอง จากระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด ดังรูปที่ 1



ของไหลความเร็วต่ำ

รูปที่ 1 แสดงระดับของเบด

รูปลักษณะเตาที่ไม่ได้ติดตั้ง

3. การออกแบบเตา

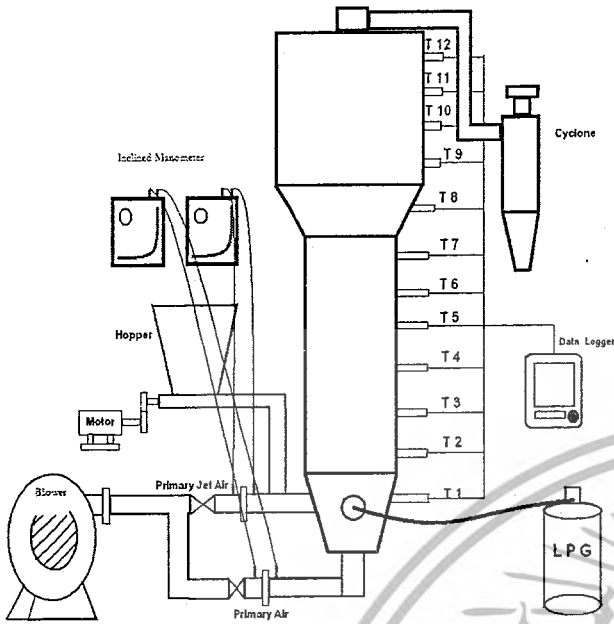
3.1 ลักษณะเตาเผา

เตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ได้ทำการออกแบบนี้มีทั้งสิ้น 2 ลักษณะ เพื่อที่จะได้ทำการเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นโดยที่เตาเผาทั้ง 2 แบบนี้จะพิจารณาถึงความสูงเดียวกันทั้งหมด คือ 2,400 mm. โดยรูปทรงของเตาเผาเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ในส่วนของห้องเผาไหม้จะมีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร สูง 1100 มิลลิเมตร หน้า 100 มิลลิเมตร สำหรับส่วนของฟริบอร์ดใหญ่มีขนาดคือ กว้าง 600 มิลลิเมตร สูง 850 มิลลิเมตร หน้า 200 มิลลิเมตร สำหรับครีบที่ติดตั้งนั้นทำจากเหล็กฉากขนาด 40x40x4 มิลลิเมตร ออกแบบให้ทำมุม 45 องศา กับผนังเตาด้านข้างจำนวน 2 ชุด ติดตั้งที่ความสูงจากขอบล่างของห้องเผาไหม้ขึ้นมา 50 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร

ตามลำดับ

รูปลักษณะเตาที่ติดตั้งครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการจัดระบบการทดลอง

EA คือ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%)

$(A/F)_{Actual}$ คือ อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้จริง

$(A/F)_{Stoic}$ คือ อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้ทฤษฎี

4.2 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์

เบด (U)_{mf}

จากการประยุกต์สมการของ ERGUN

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

4. การคำนวณ

4.3 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air)

ในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงกำหนดให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air) คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100 ถ้าหากปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture)

โดยที่

ϵ_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่างของแกลบ

ϕ_s คือ สัดส่วนความกลมของแกลบ

d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเทียบกับแกลบ

ρ_R คือ ความหนาแน่นของแกลบ

ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอากาศ

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก

4.3 การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหอ

ทดลองต่อแผ่นกระจายลม

จากสมการในการหาความดันตกคร่อมในเบด

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

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

โดยที่

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔP_b	คือ ความดันตกคร่อมในเบต
L_{mf}	คือ ความสูง Reaction Zone
ρ_R	คือ ความหนาแน่นของแก๊ส
ρ_g	คือ ความหนาแน่นของอากาศ

ตรวจสอบหาค่า Renold's number เพื่อหาค่า Cd_{or} ของรู Orifice

$$RE = \frac{\rho_g U d}{\mu}$$

หา U_{or} จากสมการ

$$U_{or} = Cd_{or} \left[\frac{2\Delta P d}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}$$

หาจำนวนรูต่อพื้นที่และขนาดของรู

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

โดยที่

N_{or}	คือ จำนวนรูแผ่นกระจายลม
d_{or}	คือ ขนาดของ ϕ รูของ orifice

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40% เตาที่ติดครีบจะทำอุณหภูมิได้สูงกว่า โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่กลางเตาคือ 886.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของเตาไม่ได้ติดครีบที่ ระยะกลางเตาคือ 835.2 องศาเซลเซียส

จากการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% อุณหภูมิของเตาไม่ได้ติดครีบจะสูงกว่าเตาที่ติด

ครีบในส่วนของห้องเผาไหม้แต่ในส่วนของฟริบอร์ตใหญ่ เตาที่ติดครีบจะทำอุณหภูมิได้สูงกว่า โดยอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่เตาไม่ได้ติดครีบสูงสุดที่ W/3 คือ 956.3 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิสูงสุดของเตาที่ติดครีบอยู่ที่กลางเตาคือ 899.3 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า จะมีความเสถียรของอุณหภูมิค่อนข้างมาก

จากการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60% เห็นได้ว่าอุณหภูมิของเตาไม่ได้ติดครีบจะสูงกว่า ในช่วงของห้องเผาไหม้ แต่เตาที่ติดครีบอุณหภูมิจะเสถียรกว่าและช่วงของฟริบอร์ตใหญ่จะมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิของเตาที่ติดครีบจะอยู่ที่กลางเตาคือ 893.7 องศาเซลเซียส ส่วนเตาที่ได้ติดครีบจะอยู่ที่ W/3 คือ 964.2 องศาเซลเซียส

จากการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 70% เห็นได้ว่าอุณหภูมิของเตาที่ติดครีบจะสูงกว่าและจะค่อนข้างเสถียรโดยทำอุณหภูมิสูงสุดได้ที่กลางเตาคือ 917.4 องศาเซลเซียส สำหรับเตาที่ได้ติดครีบจะทำอุณหภูมิสูงสุดได้ที่กลางเตาคือ 834 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ทางออกปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm ก๊าซ CO_2 อยู่ระหว่าง 1%-3% ก๊าซ O_2 อยู่ระหว่าง 17% - 20% ก๊าซ NOX อยู่ระหว่าง 25-60 ppm

6. สรุป

สรุปได้ว่าการติดครีบนั้น อาศัยผลของการเกิดการไหลวนไปมา (recirculation) กรณีของผิวเคลื่อนส่งผลต่อการเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดอย่างรวดเร็ว กรณีติดตั้งครีบที่ผนังห้องเผาไหม้ส่งผลต่อการเผาไหม้การกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีมีค่าสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดทุกความสูงของเตาเผาที่ได้ทำการวัด และ ฟริบอร์ตใหญ่ช่วยทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้นานขึ้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นายวุฒิ แจ่มอ่อน “พฤติกรรมการเผาไหม้กลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

[2] นายดิษฐพร ตุงโสธานนท์ “พฤติกรรมการเผาไหม้กลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

[3] นายมนตรี วงศ์บุบผา และคณะ “การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

[4] Teng H., Chyang C.S., and Chang S.H., “Character of Waste Tire in a Prototype Vortexing Fluidized Bed Combustor . Air & Waste Management Association”, 1997, Vol.49, pp.49-57.

[5] Lin. C.H., Teng J.T. and Chyang c.s., “Evaluation of the Combustion Efficiency and Emission of Pollutants by Coal Particles in a Vortexing Fluidized Bed Combustion and Frame”, 1997, Vol.110, pp.163-172.

[6] Nieh S. and Yang G., “Particle Flow Patten in the Free board of a Vortexing Fluidized Bed Powder Technology , 1987 , Vol. 50, pp. 121-131.

[7] Daize K., Octave L., “Fluidization Engineering. Butterworth-Heinemann. Second Editions, 1991.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้