

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน
Bagasse Combustion Behavior in a Circulating
Fluidized -bed

โดย

นายชัยรัตน์ เต็งชัยศรี

นายนิติกร มั่นสุข

นายอนุสร วงศ์ประเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

๑๗.
๕๔๒๔๗
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72915
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ย. 2550

b. 11๗๙๔๖๑2
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิด ไคซ์แบบหมุนเวียน
Bagasse Combustion Behavior in a Circulating Fluidized-bed

โดย

นายชัยรัตน์ เต็งชัยศรี

นายนิติกร นุ่นสุข

นายอนุสร วงศ์ประเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบหมุนเวียน

(Bagasse Combustion Behavior in a Circulating Fluidized – bed)

คณะผู้จัดทำ

นายชัยรัตน์ เต็งชัยศรี รหัสประจำตัว 47015354

นายนิติกร นุ่นสุข รหัสประจำตัว 47015398

นายอนุสร วงศ์ประเทศ รหัสประจำตัว 47015418





อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน

นายชัยรัตน์ เต็งชัยศรี

นายนิติกร นุ่นสุข

นายอนุสร วงศ์ประเทศ

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอถึงการศึกษาการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีการหมุนเวียนภายใน โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเผาไหม้ขานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด ตลอดจนศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเขา รวมถึงก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเขา คือ อากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนการทดลองได้ทำการทดลองในการทดลองในเตาเผาที่มีลักษณะ คือ ผนังเตาเผาเป็นแบบผิวเรียบทั้งด้านล่าง และ ฟริบอร์คใหญ่ใส่ไซโคลนเข้าไปข้างใน โดยที่ฟริบอร์คใหญ่ใส่ไซโคลนเข้าไปข้างในเพื่อทำให้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ย้อนกลับไปเผาไหม้ซ้ำ ทำให้เกิดการหน่วงของเชื้อเพลิงอยู่ในเตานานขึ้น จากการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของขานอ้อยที่ 6-12 kg/hr โดยการปรับอากาศส่วนเกิน 3 ค่า คือ 20%, 40%, 60% ตามลำดับ ในการทดลองทำการปรับค่าลมหลักและลมรองมี 3 ค่า คือ 50%/50%, 40%/60%, 30%/70% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า อากาศส่วนเกินที่ 20% และค่าลมหลักลมรองอัตราส่วนที่ 50%/50% ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr มีการเผาไหม้ที่ดี การทดลองเป็นการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ตลอดความสูงของตัวเตา และก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเตา ได้แก่ CO, CO₂, NO_x จากผลการทดลองพบว่า สำหรับเตาเผาแบบผิวเรียบด้านล่างและฟริบอร์คใหญ่ด้านบนที่มีไซโคลนภายใน ซึ่งเตาเผาแบบมีไซโคลนภายในจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้กำหนดให้ไม่เกิน 1000°C จากการวิเคราะห์ที่ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-200 ppm ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 94 - 97%

Bagasse Combustion Behavior in a Circulating Fluidized –bed

Chairat Tengchaisri

Nitikorn Nunsuk

Anusorn Wongprathat

Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge Advisor

Abstract

The project presents combustion characteristics in a fluidized-bed bagasse furnace with circulation. The objectives are to study characteristics of sugarcane bagasse combustion in a circulating fluidized-bed combustor. The effects of this combustor were studied.

The experiments were made in the typical fluidized bed with the large freeboard and the bed with cyclone in the large freeboard for reburning fuel in the combustor. Each type of the beds was test for the same mass flow rate of the bagasse ranging from 6-12 kg/hr and for percent excess air of 20%, 40%, 60% with varying primary air per secondary air at 50:50, 40:60, 30:70 respectively. The optimum test run was found at the excess air of 20% and primary air per secondary air friction of 50%:50% at mass flow rate of 8.92 kg/hr. From the test, axial temperature and gaseous emissions particularly in CO, CO₂, NO_x along over the combustor height in FBC as well as the combustor stack were measured. From experimental results, maximum flue gas temperatures for each beds are found between 700 and 750°C and the maximum temperature in the combustor is about 1000°C for air friction of 50:50%. From exhaust gas emission measurements, it is found that CO is in a range of 100–200 ppm, NO_x between 100-300 ppm and combustion efficiency ranging from 94 to 97 %.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้ทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความเมตตากรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ท่านได้ให้คำแนะนำ และเป็นแนวทางในการแก้ไขในงานวิจัยได้อย่างดีตลอดมา คณะผู้วิจัยจึงมีความรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณคุณลุงมณฑา เขียมเมืองที่ให้คำชี้แนะและช่วยเหลือ

ขอขอบคุณพี่ โอ ป.เอก และ พี่โกศ ป.โท ที่ให้ความช่วยเหลือ ขอขอบคุณอาจารย์เดียร์ ที่วิทยาเขตชุมพร ที่ช่วยสอนพร้อมกราฟโปรแกรม LINUX

ขอขอบคุณเพื่อน ME 07 ที่ให้ความช่วยเหลือ ขอใจน้องที่ป ME 08 ที่ช่วยสอน โปรแกรม LINUX

ขอขอบคุณบริษัท นิวกว้างชั่นหลี่ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึง ปู่ ย่า ตา ยาย เป็นบุคคลที่สำคัญที่สุด ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษา คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ.....	5
2.2.1.1 งานวิจัยของ ดิษฐพร ดวงสาโสมานนท์.....	5
2.2.1.2 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ ถิลาผาดิกุล.....	6
2.2.1.3 งานวิจัยของ เสรีย์ ผู้ประกาย.....	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
2.2.2.3 งานวิจัยของ LIN, C.H. และคณะ.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎี.....	16
3.1 บทนำ.....	16
3.1.1 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	16
3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	17
3.2.1 การผสม.....	18
3.2.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้.....	18
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.....	32
3.6 กระบวนการเผาไหม้อนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด.....	34
3.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด (Ignition of coal particle in fluidized bed).....	35
3.8 วิธีการไหลเวียนย้อนกลับ.....	36
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ.....	38
4.1 บทนำ.....	38
4.2 การออกแบบเตาเผา.....	38
4.2.1 ลักษณะของเตาเผา.....	39
4.2.2 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ.....	39
4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของเบด.....	45
4.4.1 การหาสัดส่วนช่องว่าง(Void fraction, ϵ_m) และความกลม (Sphericity, ϕ_s).....	45
4.4.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่ากับ (diameter of sphere having the volume, d_p).....	45
4.4.3 ความหนาแน่น.....	45
4.4.4 การหาปริมาณความชื้น.....	46
4.4.5 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิด ไคซ์เบด (U_{mf}).....	46
4.4.6 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิด ไคซ์ (Terminal Velocity of Particles, U_t).....	48
4.5 การคำนวณหาความเร็วและRe ในเตาเผา.....	49
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	51
5.1 บทนำ.....	51
5.1.1 การจัดเตรียมขานอ้อยในการทดลอง.....	51
5.2 เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบไซโคลนภายใน.....	52
5.3 ระบบป้อนเชื้อเพลิง.....	53
5.4 ชุดป้อนอากาศและท่อทางเดินอากาศ.....	54
5.5 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	55
5.6 ระบบวัดอุณหภูมิ.....	56
5.7 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย.....	57
5.8 อุปกรณ์อุ่นเตาเผา.....	57
5.9 ระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์.....	58
5.10 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	59
5.11 การอุ่นเตา.....	59
5.12 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	61
6.1 บทนำ.....	61
6.2 ผลการทดลอง.....	61
6.3 กราฟแก๊สไอเสียที่ได้จากการทดลอง.....	66
6.4 ภาพซีเอนเอ็กซ์ที่ได้จากการทดลอง.....	70
6.5 สรุปผลการทดลอง.....	74
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	75
7.1 สรุปผล.....	75
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก คุณสมบัติของเชื้อเพลิงซานอ้อย.....	80
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	86
ภาคผนวก ค บทคัดย่อ.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชานอ้อย.....	40
4.2 ปริมาณอากาศกรณีอัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric) ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.3 ค่า Re และ ความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเคาเผาที่ใช้ในการทดลอง.....	50
ก-1 คุณสมบัติของชานอ้อย.....	82
ก-2 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง.....	82
ก-3 ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยปี 2544-2545.....	83
ก-4 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง.....	84
ก-5 ปริมาณชีวมวลในปี 2540 และ 2544.....	85
ข-1-9 บันทึกผลการทดลอง.....	105



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวคลื่น.....6
2.2	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาออร์เทคหลายชั้น (MVC).....7
2.3	แสดงส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนที่นำมาประกอบเป็นเตาเผา.....8
2.4	แผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....9
2.5	เตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด.....10
2.6	ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผา conical FBC.....11
2.7	ลักษณะของเตาเผาต้นแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน.....13
2.8	ไดอะแกรมของระบบเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (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	ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด.....25
3.8	แสดงความดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในชุดการทดลอง.....28
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความกลบและความพรุนของเบด.....30
3.10	ลักษณะของตัวกระจายแบบแผ่นเจาะรู.....32
3.11	คุณภาพของฟลูอิดไดซ์เบดที่เกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน.....33
3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re_r).....34
3.13	รูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาค a, b, เป็น preignition และ c, d, e เป็น postignition.....35
3.14	รูปแสดงวิธีการทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนย้อนกลับ.....36
4.1	แสดงลักษณะและรูปร่างเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบไซโคลนภายใน.....38
4.2	ลักษณะการป้อนของเชื้อเพลิงขานอ้อย.....39
4.3	รูปร่างลักษณะเฉพาะของขานอ้อย.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงลักษณะชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง.....	51
5.2 ลักษณะเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบไซโคลนภายใน.....	52
5.3 แสดงลักษณะการป้อนเชื้อเพลิง Inverter, Motor, Screw Feed, and Hopper.....	53
5.4 แสดง Blower และ Motor.....	54
5.5 แสดงท่อทางเดินของอากาศที่เข้าสู่เตา.....	54
5.6 ลักษณะของแผ่นออริฟิส.....	55
5.7 มานอมิเตอร์.....	55
5.8 เครื่องบันทึกข้อมูล Fluke 2680 A (Data logger).....	56
5.9 เทอร์โมคัปเปิล.....	56
5.10 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350M XL.....	57
5.11 อุปกรณ์อุ่นเตา.....	57
5.12 Cyclone ที่ดักฝุ่นซีเถ้า.....	58
5.13 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบค.....	59
6.1 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี ไซโคลนอัตราการป้อน 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	62
6.2 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี ไซโคลนอัตราการป้อน 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	63
6.3 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี ไซโคลนภายในเปลี่ยนลมหลักต่อลมรอง 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%	64
6.4 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี ไซโคลนภายในเปลี่ยนลมหลักต่อลมรอง 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%.....	65
6.5 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	66
6.6 แสดงค่า CO ₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบที่มีไซโคลนภายใน อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	66
6.7 แสดงค่า NO _x ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบคแบบผนังเตาเป็นแบบผิว เรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 แสดงค่า O_2 ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบที่มีไซโคลนภายใน อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%.....	67
6.9 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลักต่อลมด้านรองเป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ	68
6.10 แสดงค่า CO_2 ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมหลักต่อรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ.....	68
6.11 แสดงค่า NO_x ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิว เรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมหลักต่อลมรองเป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%.....	69
6.12 แสดงค่า O_2 ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิว เรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมหลักต่อลมรองเป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%.....	69
6.13 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% ลมหลัก ต่อลมรอง 30%/70%.....	70
6.14 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% ลมหลัก ต่อลมรอง 40%/60%.....	70
6.15 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% ลมหลัก ต่อลมรอง 50%/50%.....	71
6.16 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลัก ต่อลมรอง 30%/70%.....	71
6.17 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลัก ต่อลมรอง 40%/60%.....	72
6.18 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลัก ต่อลมรอง 50%/50%.....	72
6.19 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลัก ต่อลมรอง 30%/70%.....	73

- 6.20 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลัก ต่อลมรอง
40%/60%.....73
- 6.21 จี๊ถั่วที่อัตราป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลัก ต่อลมรอง
50%/50%.....74



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_0	พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส, (m^2)
AF	อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง
AF_{ac}	อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติ
AF_{th}	อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
Ar	เลขอาคิมิดิส (Archimedes number)
C_p	specific heat, ($J/kg \cdot K$)
C_d	Drag Coefficient, ไร้มิติ
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่งัดลอย
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}	อัตราการป้อนขานอ้อย, (kg/min)
n	จำนวนโมล
P	ความดันของอากาศชื้น, (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, ($kJ/kg \cdot K$)
R_v	ค่าคงที่ของไอน้ำ, ($kJ/kg \cdot K$)
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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ω	อัตราส่วนความชื้น , (kg/kg-dry air)
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ , (kg/m ³)
ρ_g	ความหนาแน่นของอากาศอิมคิวที่อุณหภูมิใด 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
$Effn$	ประสิทธิภาพการเผาไหม้

บทที่ 1

บทนำ

ความต้องการในการใช้พลังงานในปัจจุบันนี้มีปริมาณมากขึ้นและประกอบกับแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ คือ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่มีอยู่ตามแหล่งต่างๆ มีอัตราลดลงอย่างมาก ดังนั้น ปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนพลังงานจึงดูเหมือนว่าเป็นประเด็นสำคัญที่จะเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา จึงเกิดความคิดริเริ่มที่จะหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนแหล่งพลังงานที่มีใช้อยู่เดิม โดยที่แหล่งพลังงานแหล่งใหม่ที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น ควรจะเป็นแหล่งพลังงานที่หาได้ง่าย และก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในประเทศไทยนั้นพื้นฐานอาชีพโดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้น วัตถุประสงค์เพื่อใช้จากการเกษตร (Agricultural Residuals) หรือที่รู้จักกันในสายงานทางด้านพลังงานทดแทนว่า “ชีวมวล” (Biomass) ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ตรงข้ามกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีราคาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ และยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลพิษในอัตราที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากที่สุดในปัจจุบัน คือ มลภาวะทางอากาศ (Air pollution) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับท้องถิ่น (Local), ระดับภูมิภาค (Regional) และระดับโลก (Global)

เนื่องจากขบวนการย่อยจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นแบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อน แล้วจึงค่อยๆ ลามไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนก็จะกลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน ที่เรียกว่า Premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิง แข็ง จากการศึกษา มีรายงานจำนวนมากของเตาเผาหลายชนิดที่มีการใช้วัสดุชีวมวลหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ในจำนวนเหล่านั้น เทคโนโลยีฟลูอิด ไคซ์เบดดูเหมือนว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือเศษเหลือจากการเกษตรเป็นพลังงาน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบตามธรรมชาติ คือ สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสม ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิ

1.1 ความเป็นมา

ประเทศไทยก็ได้มีแนวทางที่จะหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตรา และขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้นถ้ามีการนำเอาสิ่งที่มีอยู่มากมายภายในประเทศที่ได้จากเกษตรกรรม เช่น ชี้อ้อย ฟาง ชานอ้อย แกลบ ขยะ กากตะกอน ฯลฯ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงาน ทดแทนการใช้น้ำมัน ก๊าซ หรือถ่านหิน ก็สามารถช่วยลดการนำเข้าและยังสามารถลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

โครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานชีวมวล คือ ชานอ้อย เมื่อถึงฤดูการเก็บอ้อยของโรงงานผลิตน้ำตาล วัสดุที่เหลือจากการบีบเอาน้ำอ้อยไปจนหมด เรียกว่า กากอ้อย หรือ ชานอ้อย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด และประเมินประสิทธิภาพการเผาไหม้(Combustion Efficiency) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ตลอดจนมลพิษ (Emissions) ที่เกิดจากการเผาไหม้

เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ผลิตพลังงานให้เป็นประโยชน์มานานแล้ว แต่เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ซึ่งหากจะนำเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนควรจะมีขนาดเล็กและมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิที่ดี แต่เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดขนาดเล็กมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีการออกแบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีไซโคลนภายใน โดยติดตั้งในช่วงฟรียบอร์ดใหญ่เพื่ออาศัยผลของการเกิด Circulation เพื่อทำให้ห้องเผาไหม้ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดมีขนาดเล็กลง และยังคงมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกันกับฟลูอิดไคซ์เบดขนาดใหญ่ โดยโครงการที่มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังต่อไปนี้

- 1.2.1 เพื่อทำการออกแบบสร้าง และทดสอบเตาเผาแบบไซโคลนภายใน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของชานอ้อยในห้องเผาไหม้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการกระจายของอุณหภูมิและเสถียรภาพของเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาแบบที่มีไซโคลนภายใน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบที่มีไซโคลนภายใน ได้แก่ อัตราป้อนเชื้อเพลิง, ปริมาณอากาศส่วนเกิน
- 1.2.5 เพื่อศึกษาผลของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีไซโคลนภายใน เป็นแนวคิดที่มีการออกแบบซึ่งอาศัยเทคนิคของการเกิด Circulation และการย้อนกลับของเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้ หรือเป็นการกลับมาเผาซ้ำสำหรับเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดความปั่นป่วน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดีขึ้นและเพื่อช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้และทำให้เปลวไฟภายในเตามีความเสถียรยิ่งขึ้น และการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีไซโคลนภายใน
- 1.4.3 ทำการทดสอบการเผาไหม้เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีไซโคลนภายใน
- 1.4.4 ทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศส่วนเกินจำนวน 3 ค่า คือ 20%, 40% และ 60%
- 1.4.5 ทำการปรับค่าการป้อนเชื้อเพลิงชานอ้อย คือ 6-12 kg/hr ตามลำดับกับอัตราการไหลของอากาศ
- 1.4.6 ทำการวัดอุณหภูมิเพื่อศึกษาพฤติกรรมและการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผา
- 1.4.7 ทำการวัดอุณหภูมิที่ไอเสียทางออกดูการเปลี่ยนแปลงและความเสถียรภาพของอุณหภูมิของแต่ละสภาวะ
- 1.4.8 มลพิษที่ทำการวัดค่าของไอเสีย คือ CO, CO₂ และ NO_x โดยใช้เครื่องมือวัดแบบ TESTO 350M XL

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ทำการศึกษารวบรวมทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง และคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิง (ชานอ้อย)
- 1.5.2 ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาในอดีต เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาทดลอง
- 1.5.3 เลือกแบบและทำการทดลอง เพื่อหารูปแบบของไซโคลนที่เหมาะสมในการออกแบบ ชุด Cold Model
- 1.5.4 นำแบบที่ได้จากชุด Cold Model มาออกแบบไซโคลนให้ได้สัดส่วนตามขนาดจริงของห้องเผาไหม้
- 1.5.4 ออกแบบและสร้าง Slop ที่ส่วน Freeboard เพื่อให้เชื้อเพลิงไม่ตกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 สร้างและประกอบชุดไซโคลนเข้ากับในห้องเผาไหม้

1.5.7 ทำการทดลองหาค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเตาเผาแบบที่มีไซโคลน และบันทึกผลการทดลอง

1.5.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.9 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้การศึกษารเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้นและสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการเป็นต้นแบบในการออกแบบเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดที่มีไซโคลนข้างในให้มีลักษณะที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมครัวเรือน หรือสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเตาไปประยุกต์ในงานด้านเกษตรกรรม เช่น การนำไปอบไร่ ความชื้นพืชผลทางการเกษตร และยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสร้างเตาเผาในโรงงานในรูปแบบของ Fluidized Bed Boiler หรือ Combustor-Boiler System ซึ่งมีขนาดใหญ่และต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูงขึ้นตามไปอีกด้วย ดังนั้นหากจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพียงชนิดเดียวตลอดทั้งปี นั้นย่อมเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงนั้น ขึ้นอยู่กับฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ดังนั้นเราจึงคาดหวังว่าจะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้มาเป็นแนวทางในการการเลือกใช้และจัดการการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อที่จะสามารถมีเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดแทนกันได้ตลอดทั้งปี ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงปัญหาต่างๆที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงด้วย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

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

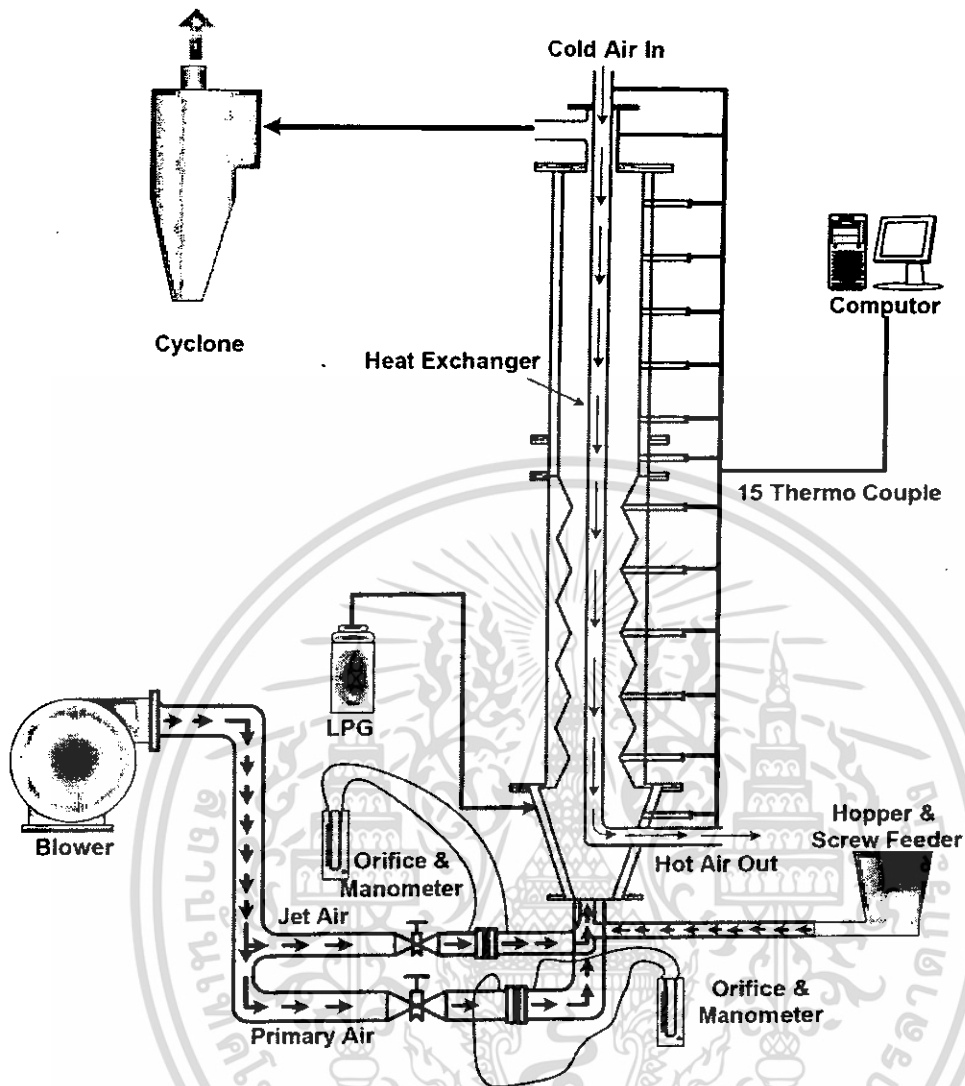
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะของเตาเผาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน สำหรับประเทศไทยมีการค้นคว้าวิจัยเตาเผาหลายประเภทด้วยกันเช่นเตาเผาออร์ต, เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด หรือ เตาเผาไซโคลน เป็นต้น ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศมากมาย

2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ

2.2.1.1 งานวิจัยของ ดิษฐพร ตุงโสทรานนท์ [1] ได้ทำการศึกษาเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่มีผิวคลื่น ห้องเผาใหม่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 200 มิลลิเมตร (D) สูง 2.4 เมตร ผิวคลื่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1D เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5D และได้ทำการทดลองกับเตา 4 แบบ คือ เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบผิวเรียบ เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบมีคอคอด เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบคลื่นล่าง และ เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบคลื่นบน 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 วิศวกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดลองเตาเผาฟลูอิดไคซ์แบบผิวคลื่นทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นกว่าแบบผิวเรียบ แต่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังไม่ดีพอ จากการที่เชื้อเพลิงมีการหลุดลอยออกจากห้องเผาไหม้เร็วเกินไป

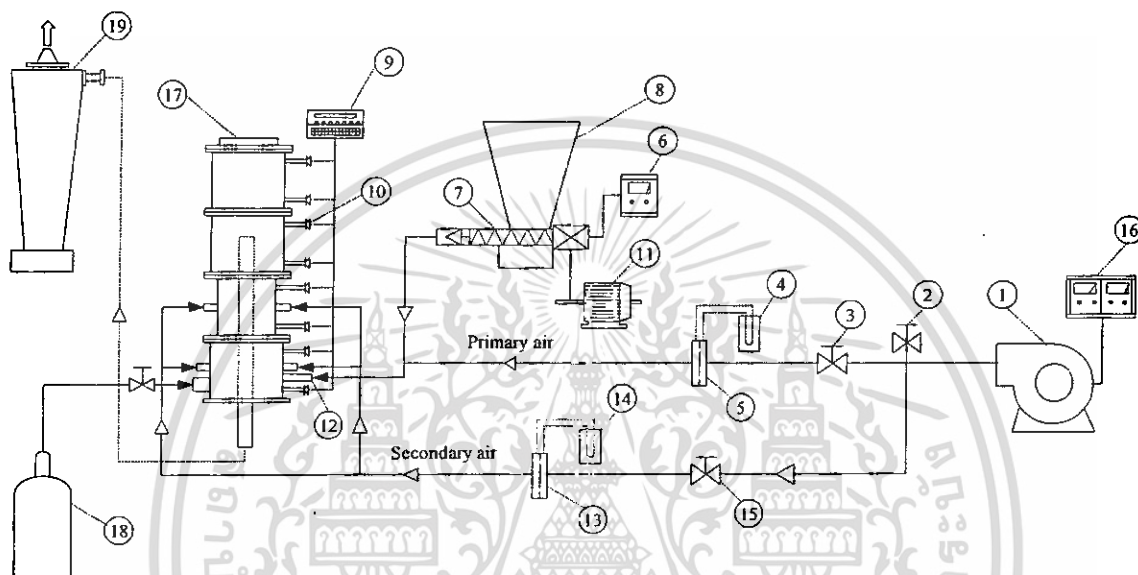
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โค้ดแกรมการทดลองของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบผิวคลื่น

2.2.1.2 งานวิจัยของ วิศิษฐ์ ดีลาผาดิกุล [2] ศึกษาชั้นวอร์เทกของเตาเผาเกลบ ที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้ภายในเตาซึ่งเตาเผาไหม้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 300 มิลลิเมตร (D) โดยมีแกนกลางภายในเป็นท่อทึงไอเสีย และมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้บนแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังเตาเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน ขนาดของเตาเผาไหม้ส่วนบนและส่วนล่าง ถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดจาก 1.0D เป็น 0.75D และ 0.5D ตามที่ได้ออกแบบไว้ การเปลี่ยนขนาดเตาเผาส่วนบนและส่วนล่างนี้ ก่อให้เกิดการหมุนวนหลายชั้นภายในเตาเผาไหม้ รายละเอียดของอุปกรณ์ในการทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 2.1 โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในเตา เมื่อทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยแต่ละการทดลอง จะกำหนดอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0, 0.15, และ 0.25 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเกลบคงที่เท่ากับ 0.3 kg/min. จากการทดลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเผาส่วนบนและส่วนล่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5D และ 1.0D ตามลำดับ ที่ค่า Φ เท่ากับ 0.8 และที่ค่า λ เท่ากับ 0.0 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดในเตาเผาเท่ากับ 1,192 องศาเซลเซียส ที่บริเวณวงแหวนของห้องเผาไหม้ โดยวันที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณน้อย และ จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผาออร์เทค พบว่าประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 1.5%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 18.3% และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 205 ppm.

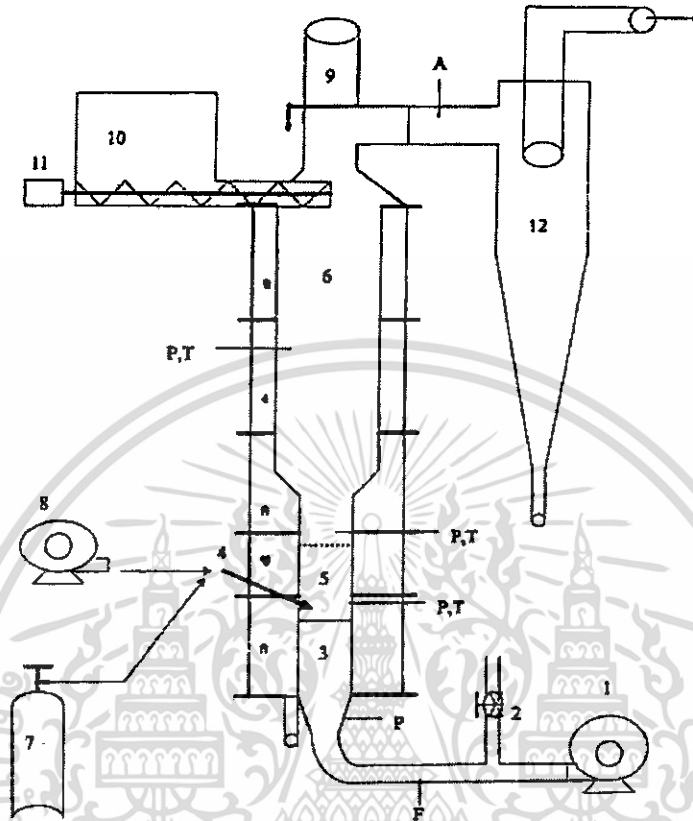


- (1) Blower (2) Ball valve (3) Globe valve (4) U-tube manometer (5) Orifice meter
 (6) Inverter (7) Screw feeder (8) Hopper (9) Temperature indicator (10) Thermocouple
 (11) Motor (12) Primary air (13) Orifice meter (14) U-tube manometer (15) Globe valve
 (16) Inverter (17) Combustor (18) LPG (19) Cyclone

รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมการทดลองของเตาเผาออร์เทคหลายชั้น (MVC)

2.2.1.3 งานวิจัยของ เสรีย์ ตู้อู่ประกาย [3] ศึกษาและออกแบบเตาเผาภาคตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้ภาคตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง เป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์ทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 2.2 โดยลักษณะเตาเผาเป็นรูปทรงกระบอก หล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ 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 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ศึกษาอัตราการป้อนการตะกอนที่ 10, 15, 20, 25, 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมงพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

สูงสุดเท่ากับ 95.62 % ที่อัตราการป้อน 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำลายกา
 ตะกอนสูงสุดเท่ากับ 95.89 % ที่อัตราการป้อนกากตะกอน 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 |

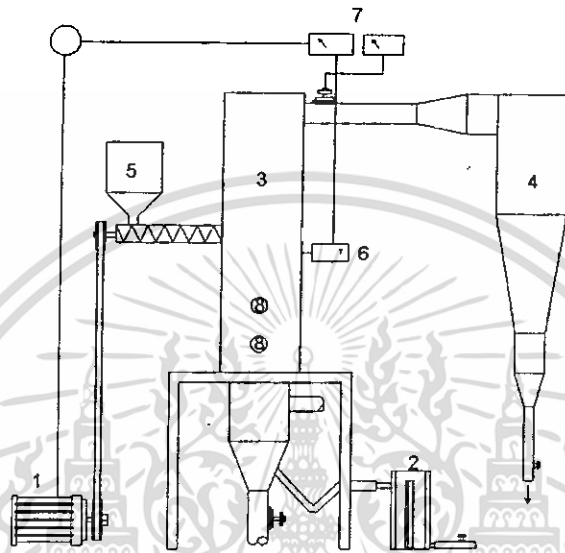
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนที่นำมาประกอบเป็นตัวเตา

2.2.1.4 งานวิจัยของ ศศิวิมล สูงสว่าง [4] ได้ทำการวิจัยการเผาไหม้ของแกลบโดยใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดเพื่อทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมของการเผาไหม้แกลบที่ทำให้ได้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มทุน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเทคโนโลยีในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่แกลบที่เหลือใช้ให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

โดยในการทดลองนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด และศึกษาการทำงานรวมถึงกลไกการทำงานของเครื่องมือวิจัยของเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 1 จากการศึกษาทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดังนี้ คือ อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไคซ์เบด ในการทดลองได้ทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้แกลบในเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบดคือ ความเร็วของอากาศเท่ากับ 32.77 m/s และอุณหภูมิของการเผาไหม้มีค่าประมาณ



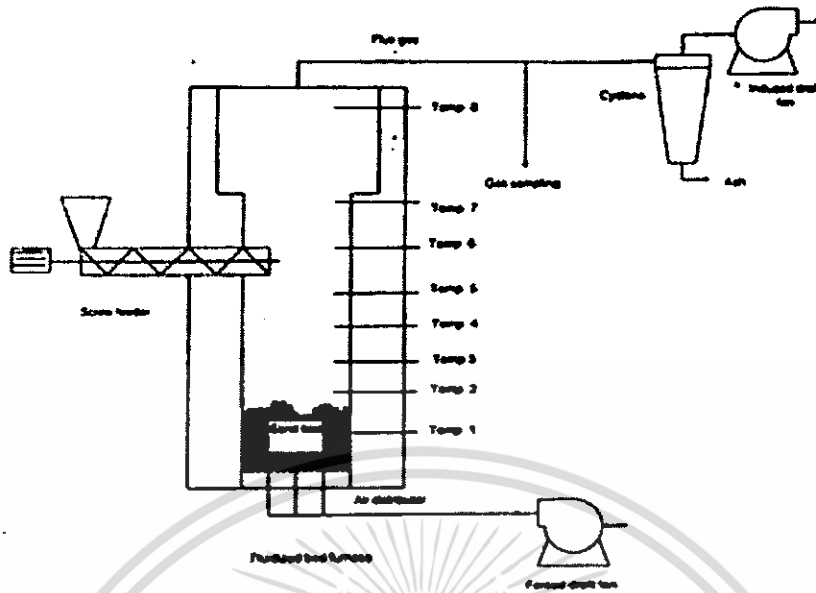
1. มอเตอร์
2. เครื่องวัดความเร็วของอากาศ
3. ฟลูอิด ไคซ์เบดคอลัมน์
4. ไซโคลน
5. เครื่องป้อนวัสดุคิบ
6. เครื่องวัดอุณหภูมิ
7. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
8. ช่องสำหรับรับการเผาไหม้ภายในคอลัมน์

รูปที่ 2.4 แผนภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

700 องศาเซลเซียส ซึ่งประสิทธิภาพของการเผาไหม้ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 96.91 โดยที่ กำหนดอัตราการป้อนแกลบไว้ที่ 3.05 kg/hr และชี้แกลบที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีใช้อยู่พบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้แบบฟลูอิด ไคซ์เบดมีค่าสูงกว่า ประมาณร้อยละ 47 - 53

2.2.1.5. งานวิจัยของ สุวิทย์ เตีย และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบด ซึ่ง ได้ทำการนำเตาฟลู-อิด ไคซ์เบดมาใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กากมันสำปะหลัง, เปลือกถั่วลิสง และฟางข้าว เพื่อทำการศึกษถึงผลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเผาไหม้ โดยที่ทำการกำหนดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้มีค่าคงที่ คือ 15 กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

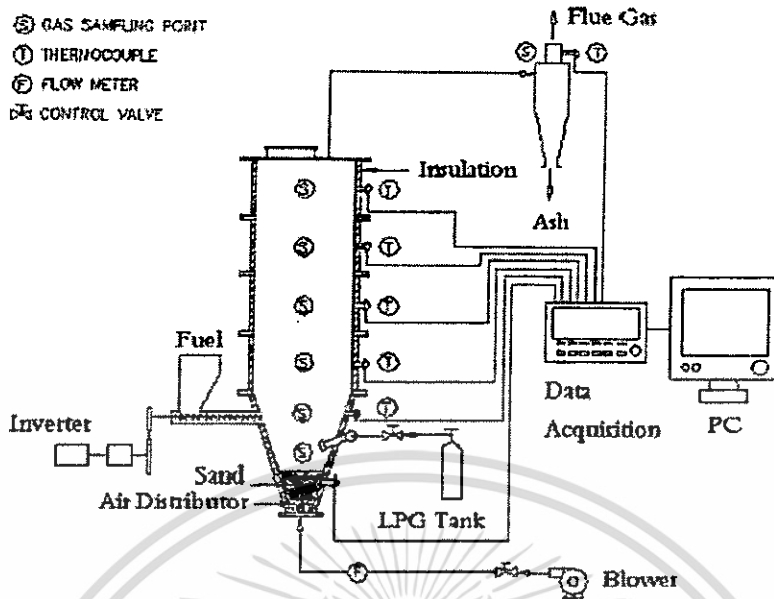


รูปที่ 2.5 เตาเผาไหม้แบบฟลูอิด ไคซ์เบด

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

2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

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



รูปที่ 2.6 โค้ดแกรมการทดลองของเตาเผา conical FBC

ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Testo-350 M โดยทำการวัดส่วนประกอบของก๊าซ (CO , CO_2 , O_2 และ NO) ในก๊าซไอเสีย โดยตัวอย่างในการทดสอบจะทำการวัดช่องวัดพิเศษภายในเตาเผา และที่ทางออกของไซโคลนและน้ำจืดที่ได้จากการเผาไหม้สำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้ไปวิเคราะห์ พื้นฐานของการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนมีอยู่ด้วยกัน 2 ตัวแปรคือคาร์บอนที่ยังเผาไหม้ภายในขี้เถ้าและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบของอุณหภูมิตามแนวแกนของเตาเผา Conical FBC อัตราการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลกระทบที่ชัดเจนต่ออากาศส่วนเกินและความสูงของเบดซึ่งเป็นอิทธิพลรองของอุณหภูมิรูปแบบของ CO และ NO ตามแนวแกนมีค่าสูงสุดอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกิน อย่างไรก็ตาม CO และ NO ตามแนวแกนมีผลมาจากความสูงของเบดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา Conical FBC สำหรับการเผาถ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 81 ถึง 86% ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

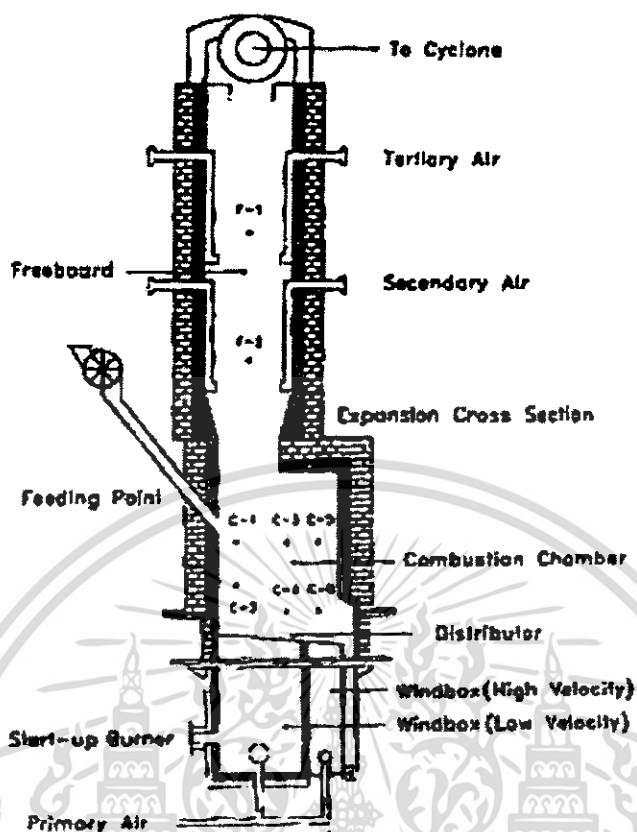
ส่วนของ Freeboard มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร และมีความสูง 4 เมตร หัวฉีดของอากาศทุติยภูมิจะถูกวางเป็น 2 ระดับบน Freeboard แต่ละระดับประกอบไปด้วยหัวฉีดจำนวน 4 หัววางไว้ให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน และมีการแบ่งระดับของหัวฉีดทั้ง 2 ระดับนี้เราเรียกส่วนล่างว่าอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) และเรียกส่วนบนว่าอากาศส่วนที่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

ระบบป้อนเชื้อเพลิงนี้มีการป้อนเชื้อเพลิงเหนือเบด และมีการป้อนทั้งเศษยางกับหินปูน โดยทั้งเศษยางและหินปูนจะถูกส่งไปตามทางส่งเข้าไปในห้องเผาฟลูอิดไดซ์เบด จุดที่มีการป้อนจะอยู่ที่ด้านข้างของส่วนที่มีความเร็วต่ำ

ขยะยาง ได้ถูกนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา การศึกษานี้ได้ใช้เศษยาง 2 ขนาด คือ 10-20 มิลลิเมตร และ 50-100 มิลลิเมตร ส่วนประกอบและองค์ประกอบของธาตุของขยะยางและได้ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 520 ไมโครเมตร ปริมาณกำมะถันที่สูงของขยะยางจะให้ปริมาณซัลเฟอร์ออกไซด์ที่สูงในการเผาไหม้ การทดลองนี้ได้ใช้หินปูนเป็นตัวลดการปล่อยซัลเฟอร์โดยขนานเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหินปูนคือ 710 ไมโครเมตร อัตราส่วนของแคลเซียมต่อซัลเฟอร์กำหนดให้อยู่ที่ 3 ทุกการทดลอง

การเผาไหม้เศษยางที่มีขนาดแตกต่างกันในเตาเผาค้นแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวนนั้น การใช้เศษยางขนาดใหญ่กว่าจะทำให้ปริมาณสารระเหยในปริมาณเล็กน้อยถูกเผาไหม้ใน Freeboard ผลการทดลองทำให้เห็นแล้วว่าอุณหภูมิเบดที่คงตัวจะเป็นการใช้ยางที่มีขนาดใหญ่กว่าเชื้อเพลิง

คุณลักษณะของการเผาไหม้มีความสำคัญและมีอิทธิพลจากอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิและอากาศส่วนที่ 3 การเพิ่มขึ้นของการฉีดอากาศทุติยภูมิและอากาศส่วนที่ 3 พร้อมกันจะทำให้เพิ่มความเข้มของการหมุนวนและความเร็วของแก๊สตามแกนใน Freeboard, ทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้, การปล่อยมลพิษมีผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเตาเผาต้นแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน (VFBC)

2.2.2.3 งานวิจัยของ LIN, C.H. และคณะ [9] ได้ทำการทดสอบการเผาไหม้เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนวน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.45 m. โดยใช้ถ่านหินบิทูมินัสที่พบภายในประเทศ 3 ชนิด (+3.5, -9.7 mm; +1.4, -3, -1.4 mm.) ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยอัตราการป้อนถ่านหินคงที่เท่ากับ 36 kg/hr. ส่วนอากาศป้อนถูกจัดที่ 95 % ของอากาศทางทฤษฎี ขณะที่ความเร็วเป็น 1.2 m/s (ประมาณ 3.5 เท่าของ umf) ไคอะแกรมของระบบการเผาไหม้สามารถดูได้จากรูป 2.5 เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ทำการศึกษาหาขนาดของทรายในฟลูอิดไคซ์เบดและความเร็วของแก๊สที่ทำให้เกิดความเร็วค่าสุดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไคซ์เซชัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.345 m/s อากาศฟลูอิดไคซ์ซิ่งและอากาศป้อนภูมิของการเผาไหม้ ซึ่งมาจาก 2 Blower แบบ Roots ขนาด 15 แรงม้า อากาศทุติยภูมิมาจากเทอร์โบโมเวอร์ขนาด 3 แรงม้า คอมเพรสเซอร์ขนาด 20 แรงม้าใช้สำหรับส่งอากาศผ่านท่อไปยังห้องเผาไหม้, ซึ่งเป็นการสร้างจากสแตนเลส (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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคของถ่านหินเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง ถ้าไม่มีการฉีดอากาศทุติยภูมิอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินเกือบสูงจะ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้, ตำแหน่งของการฉีดอากาศทุติยภูมิควรจะอยู่ในตำแหน่งล่างใน บริเวณเหนือช่วงการขยายตัวแต่ที่ตำแหน่งสูงกว่าสำหรับช่วงต่ำกว่าช่วงขยายตัวอย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการเผาไหม้ซึ่งสูงเป็น 96 % ง่ายต่อการควบคุมภายใต้การศึกษาใน VFBC

การศึกษานี้เป็นการสนับสนุนให้เห็นว่าปริมาณการไม่เผาไหม้ของ CO ในแก๊สไอเสีย หรือการไม่เผาไหม้สารระเหยในอนุภาคของถ่านหินของซีเอ็นเอสามารถเป็นลบในเงื่อนไขของการ ทำงานอย่างใดก็ตามการสูญเสียของคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ในเบดเป็นลบในคำอื่นประสิทธิภาพของ การเผาไหม้สามารถคำนวณได้ด้วยเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ในซีเอ็นเอ ในการ เปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากการเผาไหม้ได้จากสมการ 1-3 มีความคล้ายคลึงกันและผลต่างเฉลี่ย ระหว่างผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่า 3% อย่างไรก็ตามวิธีจากสมการ 3 เป็นที่วางใจได้และมีจุดมุ่งหมาย ดีกว่า 2 วิธีอื่นสุดท้ายสำหรับ VFBC ก็ใช้การศึกษานี้ การปล่อย Nox ต่ำกว่า 100 ppm

จากงานวิจัยทั้งหมดยังไม่มียานวิจัยใด ๆ ที่ศึกษาถึงผลของการทำห้องเผาไหม้ให้เป็น ไซโคลนที่ทำให้เกิด Recirculation เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาที่มีฟริบอร์คเล็กเป็น ผิวนเรียบ และ ฟริบอร์คใหญ่ ที่มีไซโคลนอยู่ภายในจะมีอิทธิพลต่อการเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดอย่างไร รวมถึงมลพิษที่ออกมาจากเตาเผา ซึ่งล้วนแล้วเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาศึกษา หาผลที่เกิดขึ้นกับการเผาไหม้ของขานอ้อยภายในเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผิวนเรียบ และ ฟริบอร์ค ใหญ่ด้านบนที่มีไซโคลนอยู่ภายใน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 บทนำ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการทบทมตัวของซากพืชซากสัตว์ ภายใต้อิทธิพลของโลกหรือที่เรียกว่าเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่งคือ เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ไม้ ชี้อ่อน ชานอ้อย และแกลบข้าว เป็นต้น เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลนี้ส่วนใหญ่จะได้จากสิ่งที่เหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม

Biomass หรือที่ภาษาไทยเรียกว่า ชีวมวล หมายถึงวัตถุดิบที่ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ สามารถกล่าวได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์นำมาใช้ในการทำอาหารและให้ความร้อน ซึ่งในปัจจุบันเราสามารถพูดได้ว่า พลังงานชีวมวลถือเป็นแหล่งพลังงานสมัยใหม่ที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล เราสามารถพบเชื้อเพลิงชีวมวลรอบๆตัวเรา อาทิเช่น ต้นไม้ หญ้า และพืชทะเลต่างๆและมูลสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชีวมวลเกิดขึ้นจากพืช หรือ สิ่งมีชีวิตที่ได้เติบโตผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยที่พืชรวมกับคาร์บอน ไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) เคมีที่ก่อเกิดจะกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ และทำให้เกิดบล็อกโครงสร้างของชีวมวล

3.1.1 เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแยกประเภทได้เป็น 4 ประเภท คือ

3.1.1.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (Forest biomass) ซึ่งสามารถแยกออกเป็นไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) ในเชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณของลิกนิน (Lignin) อยู่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ในไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างของเชื้อเพลิงประเภทนี้ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ และชี้อ่อน

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 ชานอ้อย นอกจากนี้ยังมีกากสับปะรดที่ได้จากโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋อง เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความชื้นสูงมาก

3.1.1.4 เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้จากคน (Domestic water) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากขยะเทศบาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอนาคตอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานจากชีวมวลจะผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันแก๊สแบบ Combined-Cycle แทนการผลิตด้วยกังหันไอน้ำแบบธรรมดาที่มีใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพแล้วจะมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่า นอกจากนี้เทคโนโลยีที่อยู่ภายใต้การพัฒนาในปัจจุบันจะสามารถเพิ่มปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตโดยใช้ชีวมวลถึง 50 % หรืออาจจะมากกว่า โดยจะต้องมีการวางแผนระยะยาวถึงแหล่งผลิตชีวมวลให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้ชีวมวลในแง่ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีการปล่อยกำมะถัน ดังนั้นจะช่วยลดการเกิดฝนกรดได้ ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากันนี้ก็จะถูกดูดซับจากบรรยากาศในระหว่างวัฏภาคของการเจริญเติบโตของชีวมวล(พืช) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลจะหมุนเวียนคาร์บอนจากบรรยากาศทำให้ลดผลกระทบจากภาวะ Global Warming นอกจากนี้แล้วการใช้ชีวมวลจะช่วยลดปริมาณขยะหรือวัสดุที่ต้องนำไปฝังกลบ ยิ่งไปกว่านี้การเผาไหม้ชีวมวล ยังก่อให้เกิดเถ้าที่น้อยกว่าการเผาไหม้ถ่านหิน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเถ้า และมีสถานที่ฝังกลบเถ้าจากชีวมวลสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยและใช้เป็นส่วนผสมของเซรามิคได้อีกด้วย

ประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ อาจกล่าวได้ว่าการที่เราใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงถือเป็นการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกร ซึ่งนอกจากจะเพาะปลูกพืชตามปกติแล้ว ยังสามารถปลูกพืชพลังงานให้เป็นรายได้พิเศษอีกทางหนึ่งด้วยและยังสามารถสร้างงานได้อย่างมากมายในชนบท นอกจากนี้ในชนบทแล้วในภาคอุตสาหกรรม การผลิตพลังงานจากชีวมวลยังสร้างงานที่ต้องการความชำนาญสูงเพื่อการผลิตอุปกรณ์ การปฏิบัติงานในโรงงานรวมถึงผู้ขายอุปกรณ์ทางเกษตร

3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ สารเผาไหม้ได้ในที่นี้มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มปัญหาในด้านการกัดกร่อนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษในอากาศ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. เวลาในการเผาไหม้ต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จนหมด
2. อุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่าง

ต่อเนื่อง

72915

3. การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะต้องอยู่ในลักษณะการไหลผสมแบบปั่นป่วน (turbulence)

3.2.1 การผสม

การรวมตัวที่ติระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ก็คือ การที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจน ได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเชื้อเพลิงเป็นของแข็งหรือของเหลว การผสมกันนั้นก็จะต้องยากมากขึ้น

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อนหรือเป็นฝอย แล้วจึงจะทำการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้รวมตัวได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ได้ดี เหมือนเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟได้พร้อมกับได้ความร้อนออกมาส่วนหนึ่ง จากนั้นออกซิเจนจะเข้าไปผสมกับคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุดซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟได้เองแล้วพร้อมกับได้ความร้อนออกมาด้วย

ฉะนั้นกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นจะประกอบด้วยพฤติกรรม 4 ขั้นตอน คือ

1. เริ่มต้นด้วยออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่เป็นคาร์บอน
2. เกิดการรวมตัวของคาร์บอนกับออกซิเจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกมาพร้อมกับความร้อน
3. มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ออกจากผิวของเชื้อเพลิง
4. มีการรวมตัวกันของคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนอีกครั้งจนกระทั่งกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า อัตราการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสให้มากขึ้น

3.2.2 การติดไฟหรือการลุกไหม้

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในตอนแรกและเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้

เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous combustion) นั้นต้องมี

1. บริเวณที่จำกัดสำหรับการสะสมความร้อน
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศ

การลุกไหม้นั้นไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูง การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ

ดังนั้นการติดไฟหรือการลุกไหม้นั้นขึ้นอยู่กับหลายสิ่ง เช่น ชนิดของสารเชื้อเพลิง, สถานะของเชื้อเพลิง และอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศ

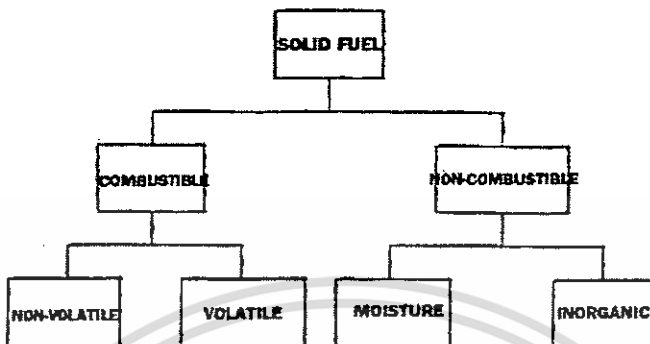
3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ถ่านหิน ฝืน ชีลื้อย แกลบ ฟางข้าว โปด เป็นต้น ขบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง จะมีความแตกต่าง ไปจากเชื้อเพลิงเหลว และแก๊ส เพราะว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง มักจะเป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของสารต่างๆ ภายในไม่แน่นอน นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งด้วย เพราะเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีทั้งเผาไหม้ได้ และไม่สามารถเผาไหม้ได้ดังรูปที่ 3.1

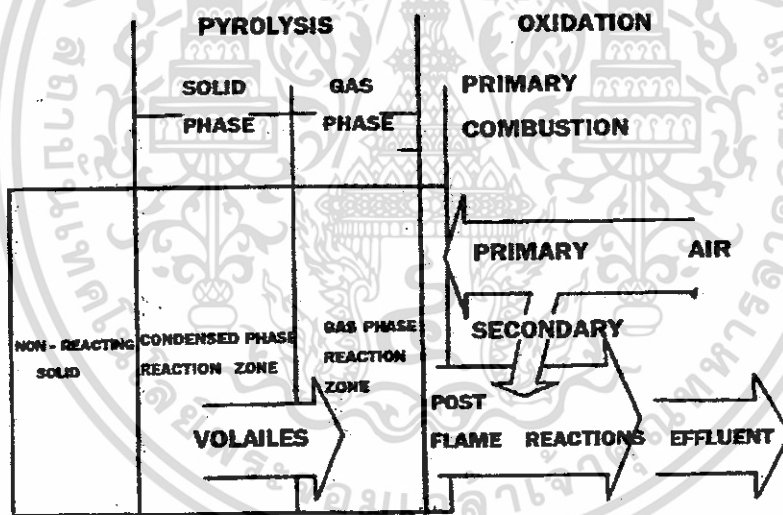
สารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เรียกว่า สารเฉื่อย (Inert) สารเฉื่อยนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับก๊าซไนโตรเจนในอากาศ ซึ่งจะไม่ช่วยในการเผาไหม้ แต่ในบางครั้งสารเฉื่อยเหล่านี้ก็อาจจะเกิดปฏิกิริยาได้ในบางขบวนการของการเผาไหม้ โดยเฉพาะในขบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ สารเฉื่อยที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ความชื้น และสารประกอบเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นชีลื้อย สารอนินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะเป็นพวกซิลิเกต (Siligates) ซัลไฟด์ (Sulfides) และเกลือฮาโลเจน (Halogen salt) เป็นต้น เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง สารเหล่านี้จะกลายเป็นชีลื้อย บางส่วนจะตกในห้องที่เผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะปลิวไปกับไอเสียที่เรียกว่า เถ้าลอย (Fly ash) เชื้อเพลิงแข็งที่สามารถแยกได้เป็นส่วนที่ระเหยได้ (Volatile) และส่วนที่ไม่ระเหย (Non-volatile) ในส่วนที่ไม่ระเหยนี้ ประกอบด้วยคาร์บอน สารประกอบคาร์บอน C_xH_y โดยที่ค่า x มีค่ามากกว่า y มากๆ หรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นเอง ส่วนสารที่ระเหยได้ในที่นี้ หมายถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบที่ระเหยใช้ในช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ หลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 3.2

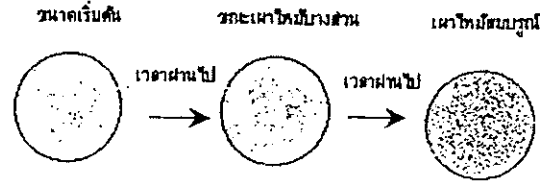


รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง

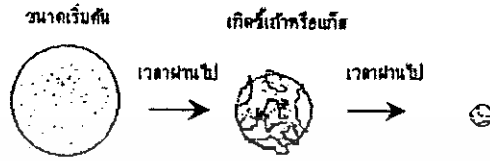


รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

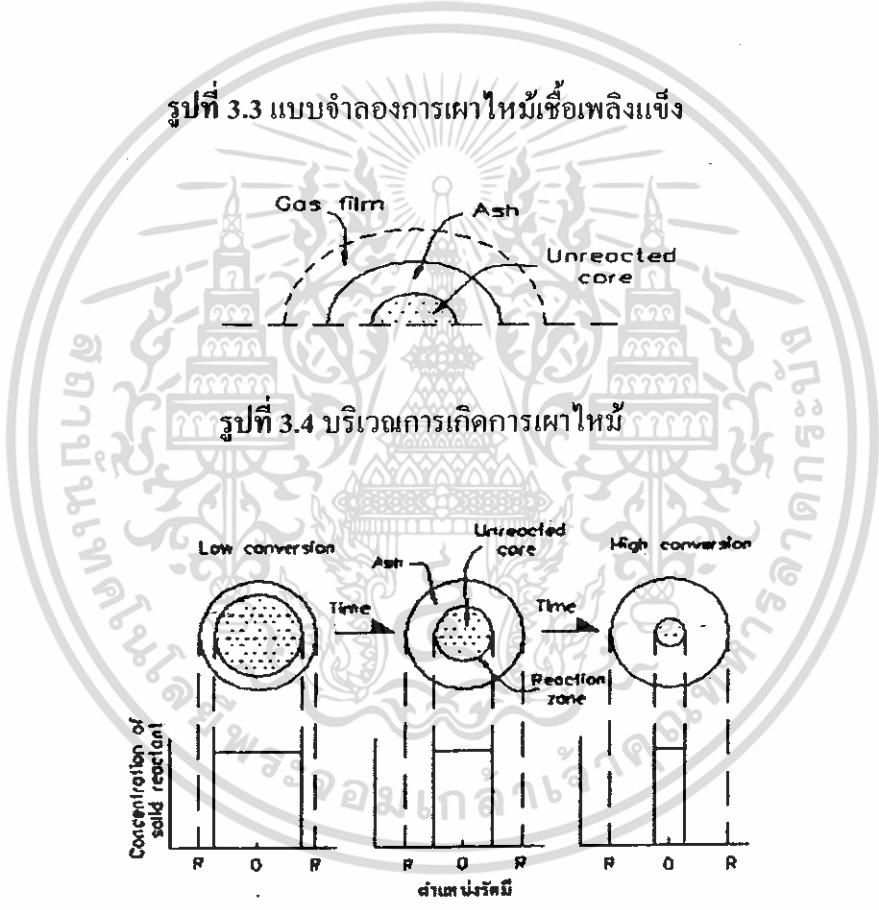


แบบจำลอง Progressive conversion

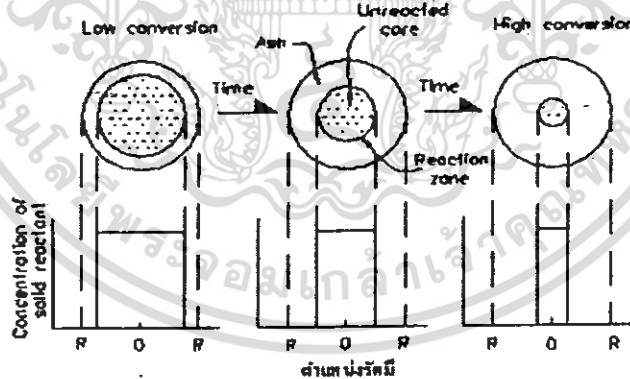


แบบจำลอง Unreacted core

รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 3.4 บริเวณการเกิดการเผาไหม้



รูปที่ 3.5 ลักษณะชั้นเชื้อเพลิงระหว่างการเผาไหม้

สิ่งที่มีผลต่ออัตราความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

1. อุณหภูมิ โดยทั่วไปขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. เวลาของการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์ม หรือชั้นขี้เถ้า
3. ความต้านทานของชั้นขี้เถ้ากับชั้นฟิล์ม โดยปกติความต้านทานของชั้นขี้เถ้าจะสูงกว่าชั้นฟิล์มมากดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นฟิล์มจึงอาจจะตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขนาดของเชื้อเพลิง
5. ความต้านทานรวม ซึ่งรวมทั้งความต้านทานของแก๊สฟิล์มชั้นขี้เถ้า และปฏิกิริยาการเผาไหม้

3.4 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air)

ในการเผาไหม้จริงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะมากกว่าหรือน้อยกว่าทางทฤษฎี ถ้าปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่าอัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่าอัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture) เพื่อความสะดวกในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงจึงกำหนดให้อยู่ในรูปของ เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่เปอร์เซ็นต์ โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

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

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 ฟลูอิด ไคเซชันสามสถานะ (Three - phases fluidization) หมายความว่าภายในหอทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกันคือ ของแข็ง, ของเหลวและก๊าซ สำหรับฟลูอิด ไคเซชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิด ไคเซชันสองสถานะ

3.5.2 ลักษณะฟลูอิดไคซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึงอาณาเขตในหอทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในห้องทดลองจะระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอทดลอง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงระดับของเบดในหอทดลอง

ปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันลดในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.7 ถ้าดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้คือ

3.5.2.1 เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed)

3.5.2.2 เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (Expanded bed)

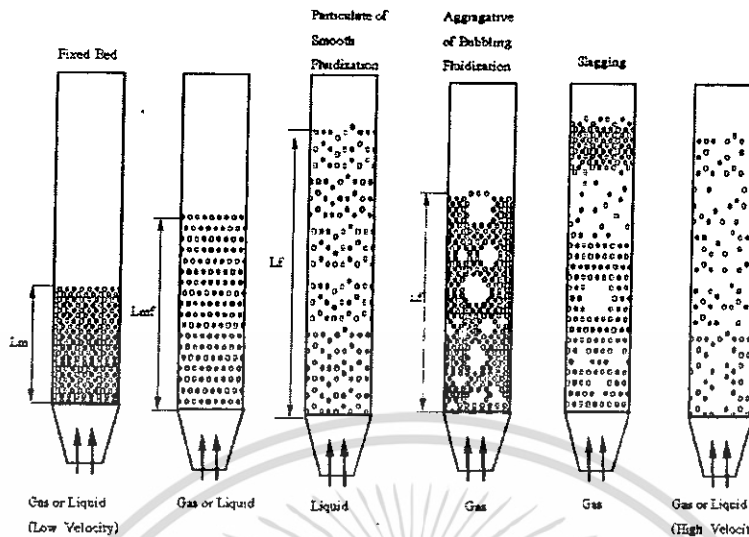
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.5.2.4 เมื่อของไหลมีความเร็วมากกว่าความเร็วที่กล่าวในหัวข้อ 3.5.2.3 อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนตัวห่างออกจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล จะเริ่มเกิดฟองก๊าซ (Bubbles) เกิดขึ้นอนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งจะรุนแรงยิ่งขึ้น เบดในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบด (Bubbling fluidized bed) ส่วนของเบดที่ไม่รวมฟองเรียกว่า อิมัลชันเฟส (Emulsion phase)

3.5.2.5 ฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถบงบอกระดับเบดได้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (Dense phase fluidized bed) และเมื่อความเร็วของของไหลมากกว่าความเร็วขณะหลุดลอย (Terminal velocity) อนุภาคของของแข็งจะหลุดลอยไปกับกระแสการไหลของของไหล สถานะเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบเจือจาง (Lean phase fluidized bed) หรือการขนถ่ายด้วยของไหล (Pneumatic or Hydraulic transport)

3.5.2.6 ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและการหมุนรอบตัวเองของอนุภาคของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เราเรียกเบดแบบนี้ว่าเบดสม่ำเสมอ (Smoothly fluidized bed) ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นก๊าซลักษณะของเบดจะแตกต่างจากของเหลวมาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ขั้นแล้วก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของอนุภาคของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวแล้วเกิดเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซจะแทรกตัวเองขึ้นมายังบนผิวหน้าของเบด และแตกตัวในที่สุด การเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งภายในเบดจะเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 3.7 ลักษณะของฟลูอิด ไคซ์เบด

3.5.3 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของฟลูอิด ไคซ์เบด

เป็นการเปรียบเทียบการ ได้เปรียบและการเสียเปรียบระหว่างการ ใช้เทคนิคฟลูอิด ไคซ์เบด กับเทคนิคอื่นๆ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.3.1 ข้อได้เปรียบ

1. เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดคงที่ตลอด ซึ่งต่างจากเบดนิ่งซึ่งอุณหภูมิจะไม่เท่ากันตลอดทั้งเบด
2. การทำงานด้วยฟลูอิด ไคซ์เบดจะเสียพลังงานน้อยกว่า เพราะแรงเสียดทานและแรงคั่นตกร่อมเบดน้อยกว่าแบบบรรจุมาก
3. มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน ส่วนอนุภาคที่มีน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแยกขนาดของอนุภาคของแข็งได้ นอกจากนี้แรงเสียดทานต่อการไหลของของไหลมีน้อยกว่ามาก
4. จากคุณสมบัติที่คล้ายของไหลจึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ คือ ปล่อยให้ของแข็งไหลออกจากเบดและไหลเดิมเข้าไปในเบดได้ การควบคุมก็จะทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหล จะมีมากกว่าเมื่อเทียบกับเบตนิ่งที่มีอนุภาคของแข็งเท่ากัน จึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร
6. ที่อนุภาคของไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบต อนุภาคของแข็งนี้สามารถจะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนให้กับของไหลได้มากกว่า

3.5.3.2 ข้อเสียเปรียบ

1. เนื่องจากการผสมกันอย่างรวดเร็ว บางครั้งอนุภาคของของแข็งมีช่วงเวลาอยู่ในเบตสั้นเกินไป เมื่อทำงานแบบต่อเนื่องจึงทำให้ผลลัพธ์เลวลง หรืออนุภาคของแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด
2. การสั่นสะเทือนของหอตลอดหรือเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากอนุภาคของแข็งมากระทบกับผนังหอตลอด
3. เวลาที่ของไหลสัมผัสกับอนุภาคของแข็งสั้นมาก จึงต้องใช้เบตสูงๆ หรือเบตหลายๆชั้นซึ่งเปลืองเงินลงทุนมาก
4. มักเกิดฟองก๊าซในเบต ทำให้การสัมผัสกันไม่ดีเป็นการสูญเสียเปลือง ถ้ายังเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะต้องใช้ตัวเร่งช่วยแล้ว ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลง
5. ใช้กับอนุภาคของแข็งที่เป็ยกหรือเป็นยางไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบต
6. การทำงานมีข้อจำกัด เพราะถ้ามีความเร็วของของไหลมากเกินไป เม็ดของแข็งก็จะออกมาจากเบต ไปพร้อมกับของไหล
7. ในปฏิกิริยาที่ทำให้ตัวเร่งมีขนาดลดลง จะต้องปรับความเร็วของก๊าซเพื่อไม่ให้ตัวเร่งปลิวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3.5.4 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไดเซชัน

ขณะที่ของของไหลไหลผ่านขึ้นมาด้านใกล้ผนัง ความเร็วของไหลจะต่ำมากหรือเกือบไม่มีการไหลเลยเนื่องจากเกิดแรงเสียดทาน เมื่อในหอตลอดที่บรรจุอนุภาคของของแข็งมีอิทธิพล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฝาน้ำแข็งเกิดขึ้น 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

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

$$(\text{ความดันลดในเบด})(\text{พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์}) = (\text{ปริมาตรของเบด})(\text{แฟรคชันของของแข็ง})$$

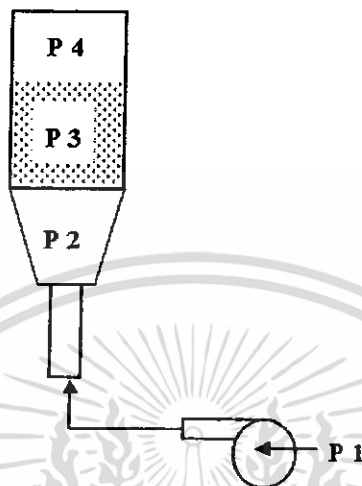
$$(\text{น้ำหนักจำเพาะของของแข็ง}) \quad (3.4)$$

$$\Delta P_b A_f = W = (A_f L_{mf})(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_a) \frac{g}{g_c} \quad (3.5)$$

จัดทอมใหม่สำหรับสภาพฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf})(\rho_p - \rho_a) \frac{g}{g_c} \tag{3.6}$$



รูปที่ 3.8 แสดงความดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในชุดการทดลอง

จากสมการความดันตกคร่อมที่ผ่านเบดหนึ่งจะได้ว่า กลไกของความดันตกคร่อมในเบดที่ใช้อนุภาคของแข็งขนาดสม่ำเสมอแล้ว พบว่าความดันตกคร่อมนี้เป็นสัดส่วนกับแฟคเตอร์ 2 แฟคเตอร์ คือ

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \epsilon_{mf}) \mu_a U}{\epsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)^2} + \frac{1.75(1 - \epsilon_{mf}) \rho_g U_a^2}{\epsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)} \tag{3.7}$$

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

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \epsilon_{mf}) \mu_a U}{\epsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)^2} \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $Re_p > 1000$ ผลของการสูญเสียพลังงานจลน์จะมีค่ามากกว่าผลของแรงเสียดทาน สมการที่ 3.7 จัดใหม่ได้เป็นดังนี้

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{1.75(1-\epsilon_{mf})\rho_a U_a^2}{\epsilon_{mf}^3 (\phi_s d_p)} \tag{3.9}$$

ซึ่งสมการของ Ergun นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ 3.7 ได้ เมื่อเบดอยู่ที่จุดเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน ดังนั้นจะแทนสมการที่ 3.7 ลงในสมการที่ 3.6 ในขณะที่เริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน ได้ดังสมการที่ 3.10

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_a}{\mu_a} \right]^2 + \frac{150(1-\epsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_a)}{\mu_a \epsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \frac{d_p^3 \rho_a (\rho_p - \rho_a) g}{\mu_a^2} \tag{3.10}$$

ในเบดที่ไซอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะทำให้สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันได้แล้ว เพราะฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันเมื่อ $Re_p < 20$ สามารถคำนวณได้จาก

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_p - \rho_a) g \epsilon_{mf}^3}{150 \mu_a (1-\epsilon_{mf})} \tag{3.11}$$

สำหรับอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ต้องใช้ความเร็วของไหลสูงมากๆ จึงทำให้อนุภาคของแข็งลอยเป็นอิสระได้ ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของของไหลที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันเมื่อ $Re_p > 1000$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

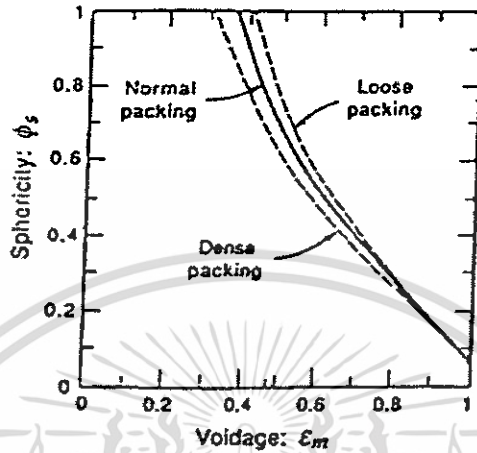
$$U_{mf} = \sqrt{\frac{\phi_s d_p (\rho_p - \rho_a) g \epsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_a}} \tag{3.12}$$

ค่าความกลมของอนุภาค (ϕ_s) ไซบ่งบอกถึงรูปร่างว่าอนุภาคเบี่ยงเบนจากทรงกลมมากน้อยเพียงใด นิยามว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด จะเห็นได้ว่าเมื่อความกลมของอนุภาคลดลง ค่าความพรุนจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความกลมและความพรุนของเบด

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

$$\frac{1}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} = 14 \tag{3.14}$$

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

แทนค่าสมการที่ 3.15 ลงในสมการที่ 3.10 แล้วค่า U_{mf} จะได้

$$U_{mf} = \frac{\mu}{d_p \rho_a} \sqrt{\left\{ (33.7)^2 + \frac{0.0408 d_p^3 \rho_a (\rho_p - \rho_a) g}{\mu_a^2} \right\} - 33.7} \tag{3.16}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเริ่มหลุดลอยหรือความเร็วตกอิสระของอนุภาคของแข็งเป็นความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านฟลูอิดไอซ์เบดถูกจำกัดด้วยความเร็วต่ำสุด ความเร็วเริ่มหลุดลอยแสดงได้ดังสมการ

$$U_t = \left[\frac{4d_p(\rho_p - \rho_a)}{3\rho_a C_d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

โดยที่ C_d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งหาได้จากการทดลอง และจากการทดลองพบว่าค่า C_d ขึ้นอยู่กับค่า Re_p ดังสมการ

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

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

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

แทนค่าจากสมการ 3.18, 3.19 และ 3.20 ลงในสมการที่ 3.17 แล้วหาค่า U_t จะได้

$$U_t = \frac{g(\rho_p - \rho_a)d_p^2}{18\mu_a} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (3.21)$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

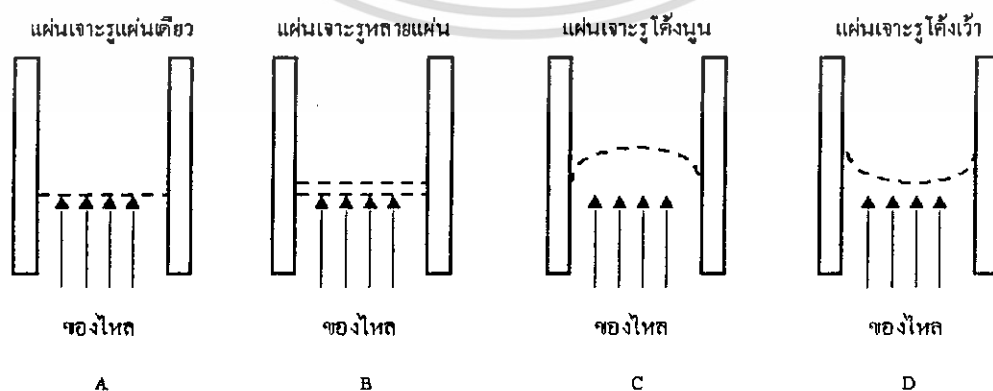
เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้อนุภาคของแข็งหลุดลอยออกจากเบด ความเร็วของของไหลที่ใช้ในระบบฟลูอิดไดซ์เบดจะต้องมีค่าอยู่ระหว่างความเร็ว U_{mf} และความเร็ว U_c ในการคำนวณหาความเร็ว U_{mf} เนื่องจากอนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาด ดังนั้นขนาดของอนุภาคของแข็งที่ใช้จะเป็นขนาดโดยเฉลี่ย ส่วนการคำนวณความเร็ว U_c จะใช้ขนาดของอนุภาคของแข็งที่เล็กที่สุดปะปนอยู่ในเบด

3.5.5 แผ่นกระจายของไหล

หน้าที่ของแผ่นกระจายของไหลคือ เป็นอุปกรณ์ป้องกันเพื่อมิให้อนุภาคหลุดลงมาด้านล่างและสามารถให้ของไหลไหลผ่านได้ โดยสามารถกระจายของไหลออกได้เต็มพื้นที่ผิวหน้าตัดของตัวเครื่อง โดยที่ความเร็วของของไหลที่เหนือแผ่นกระจายของไหลควรมีค่าเท่ากันทุกจุด และองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ลักษณะของกลุ่มอนุภาคอยู่ในสภาวะเสมือนของไหลได้ดีหรือไม่ก็คือ ความดันตกคร่อม โดยของไหลที่ไหลผ่านแผ่นกระจายของไหล ถ้าหากความดันตกคร่อมน้อยเกินไปจะไม่ดี ความดันตกคร่อมโดยทั่วไปจะต้องไม่ต่ำกว่า 10 % ของความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านกลุ่มอนุภาคขณะลอยตัว

ลักษณะของแผ่นกระจายของไหลแบบต่างๆมีดังต่อไปนี้

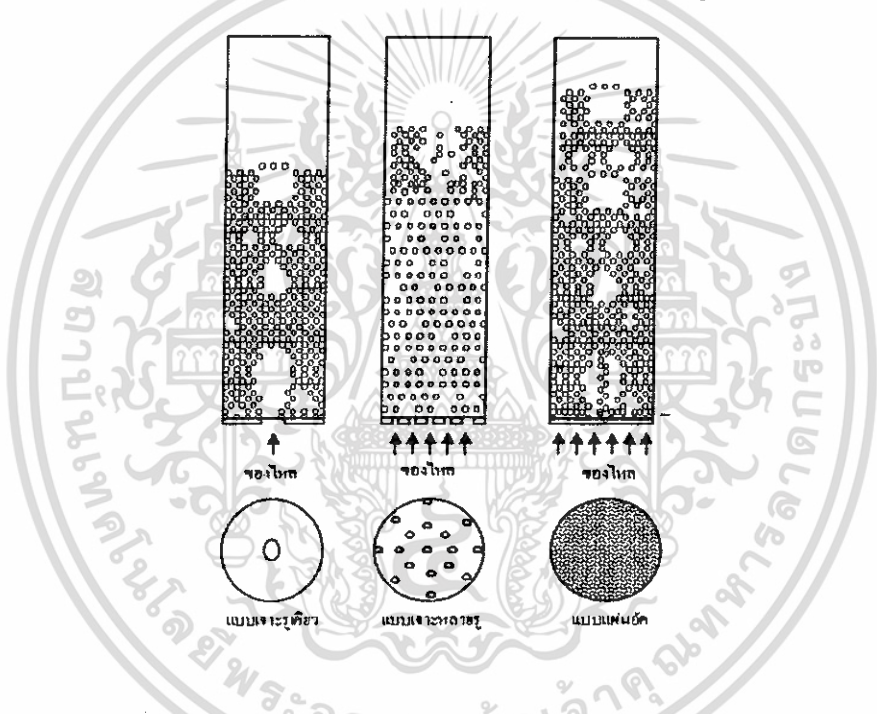
3.5.5.1 แบบแผ่นเจาะรู (Perforate plate) แผ่นกระจายของไหลแบบแผ่นเจาะรูนั้น ทำได้โดยการนำแผ่นวัสดุมาเจาะรูให้มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ โดยทั่วไปถ้าเจาะรูน้อยลักษณะของอนุภาคเหนือแผ่นกระจายในขณะลอยตัว หรืออยู่ในสภาวะเสมือนของไหลจะมีผลทำให้ความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ จะมีฟองอากาศใหญ่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อความเร็วสูงๆ ดังนั้นจำนวนรูและการเจาะจึงมีส่วนสำคัญ แผ่นกระจายของไหลแบบนี้ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการและเครื่องทดลองขนาดกลาง เพราะทำง่าย ราคาถูก และมีคุณสมบัติดีพอสมควร แสดงได้ในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลักษณะของตัวกระจายแบบแผ่นเจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เกิดฟลูอิด ไคเซเบดด้วยความเร็วของของไหลต่ำสุด ลักษณะของเบคยังเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเบค จากนั้นถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้น ความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกระจายของไหลที่รองรับเบคว่าเป็นชนิดใด อย่างเช่น ตัวกระจายทำด้วยแผ่นโลหะเจาะรูฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวกระจายของไหลที่เป็นรูพรุน ซึ่งเกิดจากใช้เม็ดโลหะขนาดเล็กมาอัดด้วยความดันอัดสูงๆจนติดกับแผ่นกระจายของไหล ตัวกระจายของไหลแบบหลังนี้ของไหลผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ฟองก๊าซจึงเกิดขึ้นได้เป็นจำนวนมาก ตัวกระจายที่เป็นแผ่นเจาะรูของไหลจะผ่านออกไปเหมือนกับเจ็ท (Jet) จำนวนการเกิดของฟองก็ขึ้นอยู่กับจำนวนรูเจาะบนตัวกระจายดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 คุณภาพของฟลูอิด ไคเซชันเกิดจากแผ่นกระจายของไหลต่างชนิดกัน

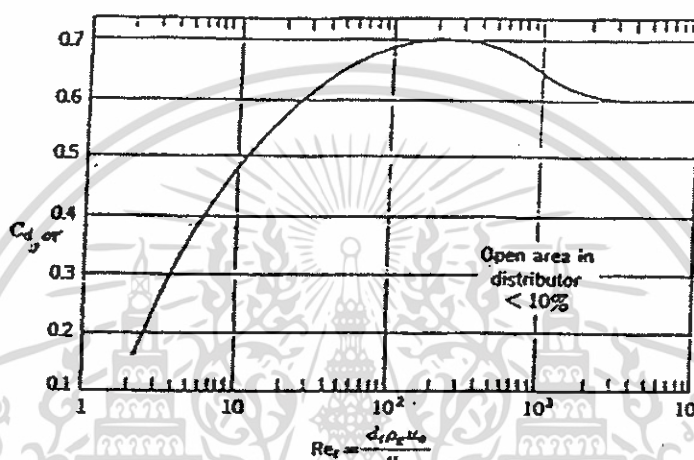
การออกแบบแผ่นกระจายของไหลนั้นมีสิ่งที่สำคัญคือ ความดันลดของก๊าซที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ สำหรับกฎของการคำนวณความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศนั้น สมการที่สามารถใช้ในการออกแบบได้ดี คือ

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

โดยที่ค่า Reynolds Number (Re) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของออริฟิส (Orifice coefficient ; $C_{d,or}$) ที่เหมาะสมจากรูปที่ 3.11 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูออริฟิซจากสมการ 3.25

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



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

กำหนดจำนวนรูเจาะของตะแกรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของตะแกรงหรือตัวกระจายได้จากสมการ

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

3.6 กระบวนการเผาไหม้อนุภาคในฟลูอิดไคซ์เบด

เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 mm ถูกป้อนเข้าสู่เตาเผา จะเกิดปรากฏการณ์เป็นขั้นตอนดังนี้

- ก. drying เป็นการกำจัดความชื้นในอนุภาค ขณะเริ่มต้นรับความร้อนในเตาเผา
- ข. devolatilization เป็นขั้นตอนการสลายตัวของอนุภาคเกิดเป็นสารระเหย
- ค. ignition of volatile เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดจากจุดประกายของสารระเหย ที่ถูกปล่องออกมา และอยู่ล้อมรอบอนุภาค
- ง. combustion of volatile เป็นขบวนการเผาไหม้สารระเหย ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นล้อมรอบ

อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

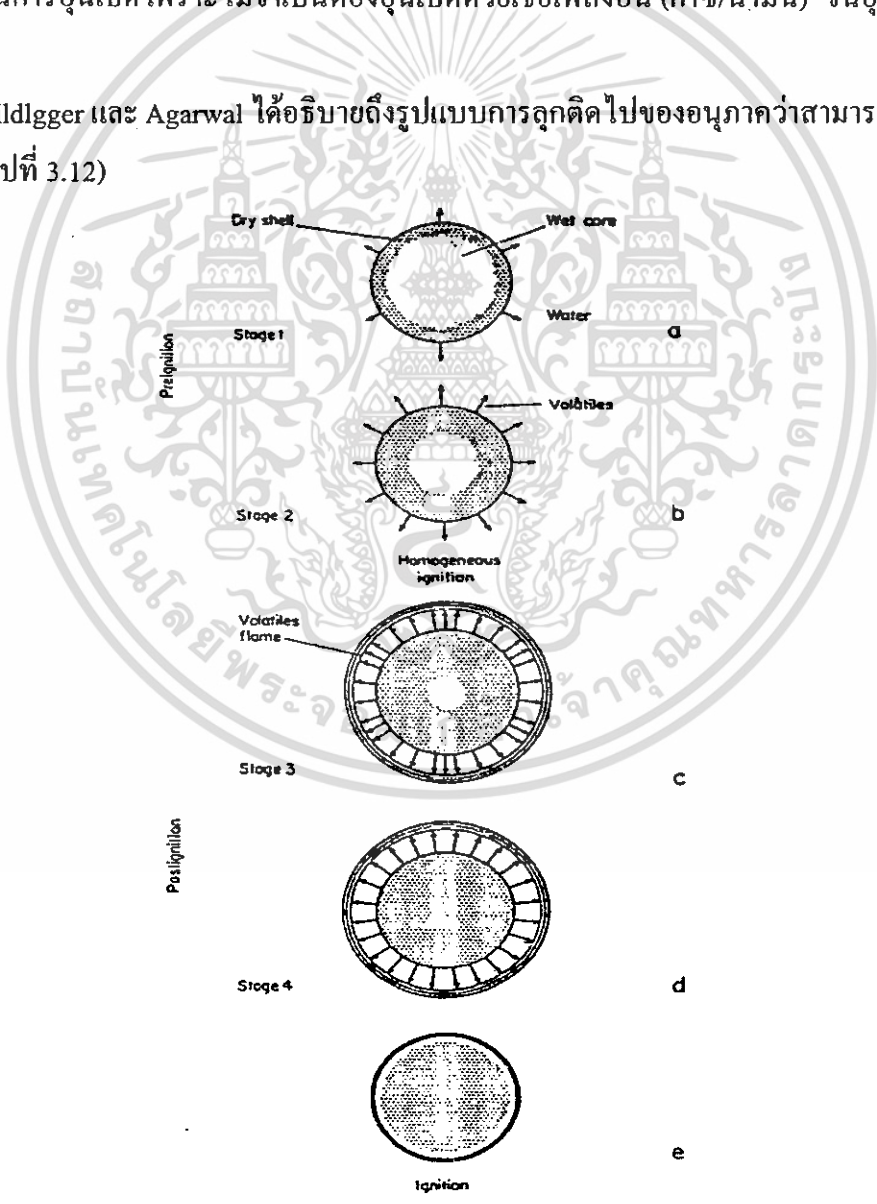
จ. ignition of char particle เป็นขบวนการจุดประกายบนผิวหน้าของอนุภาคที่เหลือ โดยเริ่มจากเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ผิวด้านนอก แล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนเกิดทั่วทั้งอนุภาค

ฉ. combustion of residual char particle เป็นขบวนการเผาไหม้ของอนุภาคที่เหลือ หลังจากที่สารระเหย ระเหยออกจากอนุภาคบางส่วนหรือหมดแล้ว เมื่อเผาไหม้หมดจะเหลือขี้เถ้า

3.7 การลุกติดไฟของอนุภาคในฟลูอิดไดซ์เบด (Ignition of coal particle in fluidized bed)

อุณหภูมิเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลุกติดไฟของอนุภาค เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงอุ่นเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิติดไฟจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอุ่นเบด เพราะไม่จำเป็นต้องอุ่นเบดด้วยเชื้อเพลิงอื่น (ก๊าซ/น้ำมัน) จนอุณหภูมิสูงเกินไป

Wildgger และ Agarwal ได้อธิบายถึงรูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาคว่าสามารถแบ่งเป็น 2 เฟส (ดังรูปที่ 3.12)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.13 รูปแบบการลุกติดไฟของอนุภาค a, b, เป็น preignition และ c, d, e เป็น postignition
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำอนุภาคใส่ลงในเบร็อนจะเกิดการระเหยของความชื้นทันทีทำให้เกิดรอยต่อระหว่างส่วนที่แห้งซึ่งอยู่ภายนอก และส่วนที่ชื้นอยู่ภายในอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับความร้อนมากขึ้น ส่วนที่ชื้นจะมีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดส่วนที่แห้งเพิ่มขึ้น

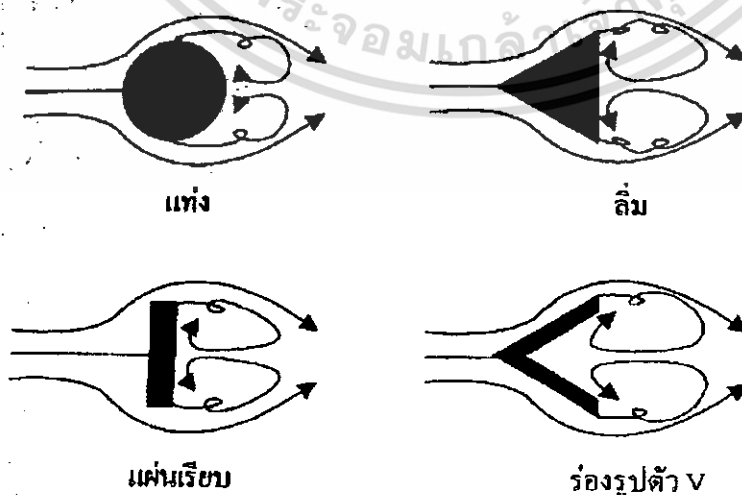
- ขั้นตอนที่ 2 อุณหภูมิในส่วนที่แห้งเริ่มเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการระเหยออกมาของสารระเหย เนื่องจากการแตกของพันธะภายใน โครงสร้างของอนุภาค

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

- ขั้นตอนที่ 1 เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของอนุภาคมีปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิสูงเพียงพอทำให้เกิดการจุดประกายของสารระเหยออกมา เกิดเป็นเปลวไฟชั้นล้อมรอบอนุภาค ความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด drying และ devolatilization เพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้ drying จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

- ขั้นตอนที่ 2 อนุภาคเกิด devolatilization คือสารระเหยที่ระเหยออกมาจะถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟล้อมรอบอนุภาคและจะดับเหลือแต่อนุภาค เมื่อสารระเหยหมดหรือระเหยออกมาน้อยจนไม่สามารถติดไฟ

3.8 วิธีการไหลเวียนย้อนกลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14 รูปแสดงวิธีการทำให้เกิดการไหลเวียนย้อนกลับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้มีหลักการ คือ ลดและเปลี่ยนทิศทางการไหลของส่วนผสมให้ต่ำลงและไหลหมุนเวียนย้อนกลับจนส่วนผสมมีเวลามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการคิกไฟด้วยตัวเองและเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้ ทำได้โดยการนำวัตถุรูปทรงต่างๆ ไปวางขวางทิศทางการไหลของส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 3.14 ทำให้เกิดบริเวณที่มีความเร็วต่ำและหมุนเวียนย้อนกลับในกระแสหลักของการไหลของส่วนผสมซึ่งจะช่วยให้เกิดการเสถียรของเปลวไฟได้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

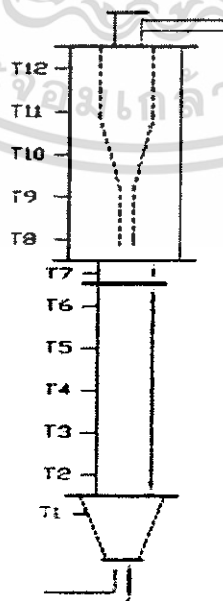
บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณ

4.1 บทนำ

เตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบคที่ทำการทดลอง ซึ่งได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาจากฐานที่วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งแรกได้นำแถบเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง และได้พัฒนามาเรื่อยๆ ซึ่งคณะผู้วิจัยก็ได้ศึกษา และพัฒนาต่อไปอีก คือ การทำให้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ย้อนกลับมาเผาซ้ำก่อนที่จะหลุดลอยกลายเป็นขี้เถ้า การที่ทำให้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์กลับมาเผาใหม่ คือการใส่ไซโคลนเข้าไปข้างในฟรีบอร์ดใหญ่ เชื้อเพลิงที่ยังมีน้ำหนักก็จะตกลงมาเผาใหม่ ส่วนเชื้อเพลิงที่เผาไหม้สมบูรณ์ก็จะหลุดลอยออกจากห้องเผาไหม้ไป และแนวคิดอีกข้อหนึ่ง คือ การหาเชื้อเพลิงที่จะทำให้ไม่เกิดการคกค้างของขี้เถ้าในห้องเผาไหม้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เห็นคุณสมบัติของขานอ้อยที่เกิดการเผาไหม้แล้วขี้เถ้ามีน้อยมาก คุณสมบัติอื่นที่น่าสนใจที่จะนำมาทดแทนเชื้อเพลิงแถบ และปัจจัยหนึ่งคือ การผลิตน้ำตาลแต่ละปีจะเหลือขานอ้อยที่ขังไม่ใช้ประโยชน์อีกมาก ดังนั้นการออกแบบและการคำนวณจะยึดหลักทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสสารและทฤษฎีฟลูอิด ไคซ์เบค เพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง

4.2 การออกแบบเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบคแบบไซโคลนภายใน



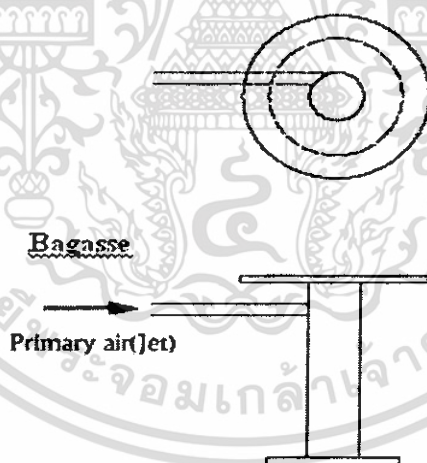
เอกสารนี้เป็น **รูปที่ 4.1** แสดงถึงลักษณะและรูปร่างของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบคแบบไซโคลนภายใน โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ลักษณะของเตาเผา

เตาฟลูอิดไคซ์เบคที่ได้ทำการออกแบบนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้ทำการพิจารณาที่ความสูงเดียวกันทั้งหมด คือ 2,400 mm หีองผสมมีลักษณะเป็นทรงกรวย มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 300 mm เส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 120 mm สูง 300 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่าง 200 mm สูง 1,100 mm สำหรับฟร็อบอร์ดใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 400 mm สูง 1,000 mm สำหรับไซโคลนที่ใส่เข้าไป ในฟร็อบอร์ดใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 150 mm เส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 50 mm ความยาวทั้งหมดของไซโคลน 950 mm ความยาวได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน มีมุม 9 องศา กระทบต่อเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบนและด้านล่าง ไซโคลนยึดติดกับฝาด้านบนที่ทางออกของไอเสีย

4.2.2 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ

การใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเป็นแบบเกลียว (Screw Feeder) โดยป้อนตรงเข้าสู่ท่อขนาด 45 mm. ซึ่งเป็นจุดตั้งลักษณะเข้าแบบตั้งฉาก (90°) กับท่อลม Nozzle Jet เป็นลมที่ช่วยพาอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิง โดยใช้อากาศพาเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะการป้อนขานอ้อยเข้าห้องเผาไหม้

อากาศที่ใช้ในการทดลองจะใช้อากาศด้วยกัน 2 ส่วน คือ อากาศปฐมภูมิส่วนที่1.(Primary Air) อากาศปฐมภูมิส่วนที่2.(Primary Air Jet) โดยอากาศปฐมภูมิเป็นอากาศที่ช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไคซ์เซชันได้จาก Blower ที่มีขนาด 2 hp.เป็นแหล่งจ่ายอากาศเข้าหอดทดลองในการทดลองกำหนดให้ใช้อากาศปฐมภูมิเข้าทางด้านล่างของเตาเผา โดยที่อากาศปฐมภูมิส่วนที่ 2. (Primary Air Jet) มีหน้าที่ช่วยลำเลียงเชื้อเพลิงขานอ้อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านข้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ทางทฤษฎี

4.3.1 ชานอ้อย

ชานอ้อยที่ใช้ในการทดลองเป็นชานอ้อยที่ได้จากส่วนประกอบของต้นอ้อย ซึ่งสามารถอธิบายที่มาของชานอ้อยได้ดังนี้ ได้มาจากการเศษที่เหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกไปจนหมดแล้ว เหลือแต่เส้นใยซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร ชานอ้อยที่ได้มาจากโรงงานมีความชื้นประมาณ 50 % ดังนั้นก่อนที่จะนำมาทดลอง จึงต้องลดความชื้นโดยนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วันแล้วนำตัวอย่างชานอ้อยไปทดลองหาค่าความชื้นมีค่าความชื้น 12.4 %

ข้อดี มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิง ได้ดีราคาถูกและมีชี้เถ้าเหลือจากการเผาไหม้น้อย

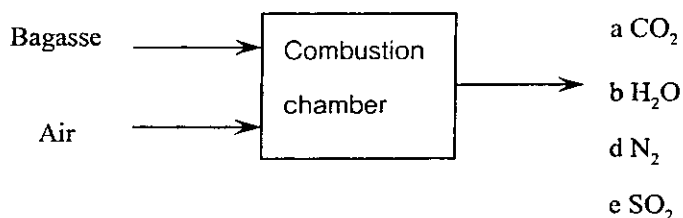
ข้อเสีย มีค่าความชื้นเริ่มต้นในปริมาณที่สูงมาก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีทำให้ทราบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลของชานอ้อยดังนี้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชานอ้อย

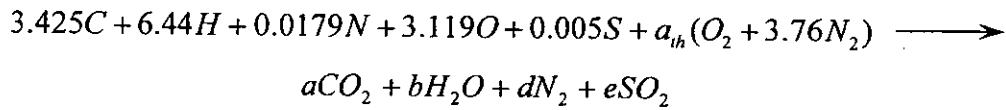
องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	น้ำหนักโมเลกุล	จำนวนโมล
คาร์บอน	41.10	12	3.425
ไฮโดรเจน	6.44	1	6.44
ไนโตรเจน	0.25	14	0.0179
ออกซิเจน	49.90	16	3.119
ซัลเฟอร์	0.16	32	0.005
ชี้เถ้า	2.15	-	-
LHV(MJ/kg)	12.60	-	-
HHV(MJ/kg)	14.21	-	-
Moisture content	12.40	-	-

การสมดุลปฏิกิริยาเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

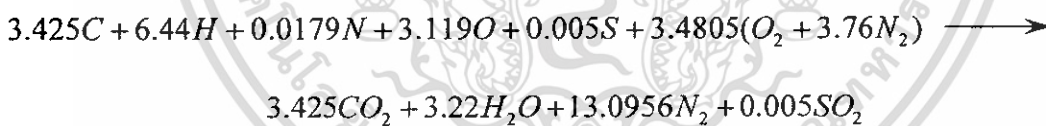
สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

$$\begin{array}{l} C : \quad 3.425 \qquad \longrightarrow \qquad = a \\ \qquad a = 3.425 \\ H : \quad 6.44 \qquad \longrightarrow \qquad = 2b \\ \qquad b = 3.22 \\ S : \quad 0.005 \qquad \longrightarrow \qquad = e \\ \qquad e = 0.005 \\ O : \quad 3.119 + 2a_{th} \qquad \longrightarrow \qquad = 2a + b + 2e \\ \qquad a_{th} = 3.4805 \\ N : \quad 0.0179 + a_{th}(2 \times 3.76) \qquad \longrightarrow \qquad = 2d \\ \qquad d = 13.0956 \end{array}$$

ทำการแทนค่าลงในสมการจะได้



จำนวน โมลของอากาศแห้งจะปฏิกิริยาเคมีนี้มีค่าเท่ากับ

$$4.76a_{th} = 4.76 \times 3.4805 = 16.5672 \text{ kmol}$$

เนื่องจากการสมดุลสมการของเราใช้กับอากาศแห้ง แต่ในการทดลองไม่สามารถทำให้เป็นอากาศแห้งได้ เพราะฉะนั้นเราจะต้องทำการคิดปริมาณความชื้นในอากาศเข้าไปในสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย โดยที่เราจะทำการกำหนดสถานะของอากาศดังนี้

อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature) เท่ากับ 33°C

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) เท่ากับ 53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นทำการหาค่าความดันย่อยในอากาศที่สภาวะนี้ได้จาก
เปิดค่าจากตาราง จะได้

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

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

จำนวนโมลของละอองน้ำในอากาศจากสมการ

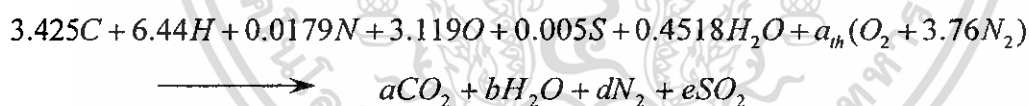
$$\left(\frac{N_{v_{H_2O,air}}}{N_{v_{total}}} \right) = \left(\frac{P_{v_{air}}}{P_{v_{total}}} \right) \quad (4.1)$$

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

$$= \left(\frac{2.690 \text{ kPa}}{101.325 \text{ kPa}} \right) \times (16.5672 + N_{v_{H_2O,air}}) \text{ kmol}$$

$$\therefore N_{v_{H_2O,air}} = 0.4518 \text{ kmol}$$

เพราะฉะนั้นทำการสมดุลสมการการเผาไหม้สำหรับอากาศชั้นใหม่จะได้ดังนี้



ทำการสมดุลสมการจะได้

$$C : 3.425 \longrightarrow = a$$

$$a = 3.425$$

$$H : 6.44 + (0.4518 \times 2) \longrightarrow = 2b$$

$$b = 3.6718$$

$$S : 0.005 \longrightarrow = e$$

$$e = 0.005$$

$$O : 3.119 + 0.4518 + (a_{th} \times 2) \longrightarrow = 2a + b + 2e$$

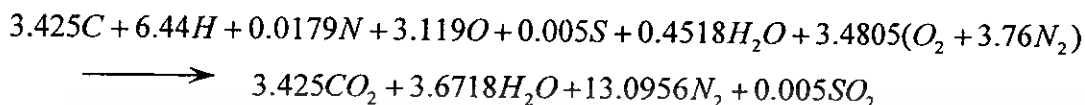
$$a_{th} = 3.4805$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N : 0.0179 + (a_{th} \times 3.76 \times 2) \longrightarrow = 2d$$

$$d = 13.0956$$

นำค่าตัวแปรที่ทำกรคำนวณได้แทนค่ากลับในสมการจะได้สมการเผาไหม้ของอากาศชื้นกับเชื้อเพลิงชานอ้อยที่อัตราการเผาไหม้สมบูรณ์ คือ



จากนั้นทำการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง จากสมการ

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

มวลของอากาศเท่ากับ

$$\begin{aligned} m_{air} &= n_{air} \times MW_{air} = (n_{dry\ air} \times MW_{dry\ air}) + (n_{H_2O} \times MW_{H_2O}) \\ &= (3.4805 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}\right) + (0.4518 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}) \\ &= 448.581 \text{ kg} \end{aligned}$$

มวลของเชื้อเพลิงเท่ากับ

$$\begin{aligned} m_{fuel} &= n_{fuel} \times MW_{fuel} = (n_C \times MW_C) + (n_H \times MW_H) + (n_N \times MW_N) + (n_O \times MW_O) \\ &\quad + (n_S \times MW_S) \\ &= (3.425 \times 12) + (6.44 \times 1) + (0.0179 \times 14) + (3.119 \times 16) + (0.005 \times 32) \text{ kg} \\ &= 97.855 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_{ratio} &= \frac{448.581 \text{ kg}}{97.855 \text{ kg}} \\ &= 4.9930 \end{aligned}$$

จากสมการ (3.1) เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เพราะฉะนั้น ทำการหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองเมื่อกำหนดอัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 8.92 kg/hr จะได้
 กรณีสัดส่วนผสมพอดี (Stoichiometric)

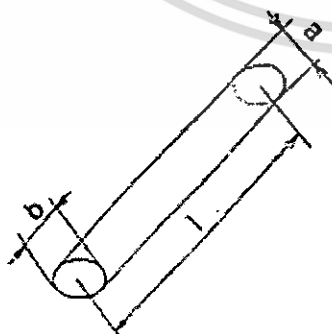
$$\left(\frac{A}{F} \right) = 4.9930$$

$$A = 4.9930 \times 8.92 \text{ kg/hr}$$

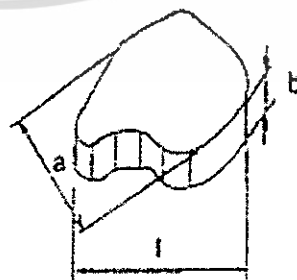
$$= 44.5376 \text{ kg/hr}$$

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอากาศกรณีสัดส่วนผสมพอดี (Stoichiometric) ที่ใช้ในการทดลอง

อัตราป้อนเชื้อเพลิงชานอ้อย (kg/hr)	ปริมาณอากาศที่อัตราส่วนผสมพอดี (kg/hr)
6	29.964
7.5	37.455
9	44.496
10.5	51.912
12	59.928



Fibre type bagasse



Dust type bagasse

รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างลักษณะเฉพาะของชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของเบดที่เป็นชานอ้อย[5]

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

$$\phi_s = \frac{\text{Surface Area of Sphere}}{\text{Surface Area of Particle}} \quad (4.3)$$

เมื่อขนาดของชานอ้อยเฉลี่ย (กว้าง 1 มม. \times 15 มม.)

จากรูป 3.9 เส้น Normal Packing จะได้

$$\phi_s = 0.33$$

$$\epsilon_m = 0.78$$

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

ปริมาตรของชานอ้อย = ปริมาตรทรงกลมเทียบเท่าปริมาตรชานอ้อย

$$4.5 \text{ mm}^3 = \pi \frac{d_p^3}{6}$$

$$d_p = 0.248 \text{ cm.}$$

$$= 2.48 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

4.4.3 ความหนาแน่นของชานอ้อย

$$\text{น้ำหนักของชานอ้อย} = 60 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาตรของชานอ้อย} = 559 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{ความหนาแน่นของชานอ้อย} = \frac{60}{559 \times (1 - 0.78)}$$

$$= 0.4878 \text{ g/ml.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การหาปริมาณความชื้น

น้ำหนักของชานอ้อยก่อนอบ	= 4.5610 กรัม
น้ำหนักของชานอ้อยหลังอบ	= 3.9954 กรัม
น้ำหนักของน้ำในชานอ้อย	= 0.5656 กรัม
ปริมาณร้อยละของความชื้นของชานอ้อย	$= \frac{0.5656 \times 100\%}{4.561}$
	= 12.4%

4.4.5 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลซ์เบด (U_{mf})

ชานอ้อย (bagasse) , $\phi_s = 0.33$

$$\rho_{bagasse} = 0.4878 \text{ g/cm}^3$$

$$d_p = 0.2048 \text{ cm.} = 2.048 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

ที่ 35 °C อากาศ(air)

$$\rho_a = 1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\mu_a = 1.884 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$$

จาก wan และ yu (1965) kuni [14]

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

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

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

$$\varepsilon_{mf}^3 = \frac{1.75}{24.5098 \times 0.33} = 0.2163$$

$$\varepsilon_{mf} = 0.6$$

$$K_1 = \frac{1.75}{0.216 \times 0.33} = 24.55$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_2 = \frac{150(1-0.6)}{0.216 \times 0.33^2} = 2550.76$$

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_a (\rho_p - \rho_a) g}{\mu_a^2} \quad (4.6)$$

แทนค่าในสมการหา Ar

$$Ar = \frac{0.2048^3 \times 0.0012 \times (0.4878 - 0.0012) \times 980.665}{0.00018^2} = 151868.33$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์

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

แทนค่า K_1 , K_2 , Ar จะได้

$$K_1 \frac{[0.2048 \times U_{mf} \times 0.0012]^2}{0.00018^2} + K_2 \frac{[0.2048 \times U_{mf} \times 0.0012]}{0.00018} = 151868.33$$

$$45.6896 U_{mf}^2 + 3482.6377 U_{mf} = 151868.33$$

$$\therefore U_{mf} = 30.9989 \text{ cm/s (ที่อุณหภูมิ } 35 \text{ }^\circ\text{C)}$$

ที่อุณหภูมิ $950 \text{ }^\circ\text{C}$

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

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

$$Ar = \frac{0.2048^3 \times 0.2892 \times 10^{-3} \times (0.4878 - 0.2892 \times 10^{-3}) \times 980.666}{(4.7456 \times 10^{-3})^2} = 5266.98$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าต่างๆเพื่อหาค่า U_{mf}

$$K_1 \frac{[0.2048 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]^2}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} + K_2 \frac{[0.2048 \times U_{mf} \times 0.2892 \times 10^{-3}]}{(4.7456 \times 10^{-4})^2} = 5266.98$$

$$0.3813U_{mf}^2 + 318.1312U_{mf} = 5266.98$$

$$\therefore U_{mf} = 16.24 \text{ cm/s (ที่อุณหภูมิ } 950 \text{ }^\circ\text{C)}$$

4.4.6 ความเร็วสุดท้ายของการฟลูอิดไดซ์ (Terminal Velocity of Particles, U_t)

$$\text{ชานอ้อย } \phi_s = 0.33$$

$$\rho_p = 0.4878 \text{ g/cm}^3$$

$$d_p = 0.2048 \text{ cm}$$

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

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

ตรวจสอบค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

$$\text{Re} = \frac{\rho_a U_{mf} d_p}{\mu_a} \quad (4.8)$$

แทนค่าจะได้

$$\text{Re} = 40.44$$

จากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เราจะใช้สมการ

$$U_t = d_p \left[\frac{4(\rho_p - \rho_a) g^2}{225 \rho_a \mu_a} \right]^{1/3} \quad \text{เมื่อ } 0.4 < \text{Rep} < 500 \quad (4.9)$$

แทนค่าในสมการ 4.9 จะได้

$$U_t = 535.793 \text{ cm/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การคำนวณหาความเร็วและReในเตาเผา

อัตราการไหลของเตาเผาทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 1.569514715 kg/min
 อากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 55 °C

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

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

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

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

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

กรณี ทางเข้าเตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 79 mm.

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 0.079} \right\} = 21312.5661$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(\pi/4)(0.079)^2} = 5.01750777 \text{ m/s}$$

กรณี เตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm.

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 0.2} \right\} = 8418.463$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(\pi/4)(0.2)^2} = 0.7828 \text{ m/s}$$

กรณี เตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเตา 400 m.m

$$Re = \left\{ \frac{1.063609035}{197.816 \times 10^{-7}} \right\} \left\{ \frac{4 \times 0.024594167}{\pi \times 0.4} \right\} = 4209.232$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.024594167}{(\pi/4)(0.4)^2} = 0.1957 \text{ m/s}$$

ตารางที่ 4.4 ค่า Re และ ความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเตาเผาที่ใช้ในการทดลอง

	Re	V(m/s)
ทางเข้าเตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 79 mm.	21312.5661	5.01750777
กรณี เตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm.	8418.463	0.7828
กรณี เตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm.	4209.232	0.1957



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

5.1 บทนำ

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดในการทดลอง ได้สร้างขึ้นโดยนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล ได้ทำการศึกษาแลกเปลี่ยน การทดลองและพัฒนาตามตลอด เนื่องจากบริเวณตัวเตามีอุณหภูมิสูง จึงได้มีการหุ้มฉนวนโดยใช้ใยหินเป็นฉนวนหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ ความหนาในการหุ้ม 50 mm. โดยการหุ้มตลอดฟริบอร์คเล็ก, ฟริบอร์คใหญ่ ทางออกตลอดจนไซโคลนดักขี้เถ้า

การทดลองเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบไซโคลนภายในฟริบอร์คตัวใหญ่ สามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง
2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
3. การอุ่นเตาและติดเตาให้เสถียร
4. ทำการบันทึกอุณหภูมิและก๊าซไอเสีย
5. ใช้อากาศไล้ขี้เถ้าที่ตกค้างแล้วเก็บเครื่องมือ

ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองต่อไป

5.1.1 การจัดเตรียมเชื้อเพลิงขานอ้อยสำหรับการทดลอง

ชีวมวลอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง คือขานอ้อย ซึ่งมีขั้นตอนการจัดเตรียมขานอ้อยก่อนจะนำมาใช้ คือ ขานอ้อยที่ใส่จะนำมาจากโรงงานน้ำตาล นิวกว้างชั้นหลิ อำเภอนนทบุรี จังหวัดชลบุรี ซึ่งขานอ้อยที่ได้มาใหม่จะเป็นขานอ้อยที่มีความชื้นสูง (ประมาณ 50 % มาตรฐานเปียก) ดังนั้นก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง จึงต้องทำการลดความชื้นโดยการนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วัน ให้ความชื้นลดลงก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ เนื่องจากขานอ้อยมีความชื้นมากเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาในการอุ่นเบดให้ร้อนและติดไฟได้ยาก รวมถึงจะมีปัญหาในการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าเตาและความไม่มีเสถียรภาพของเตาเผาขณะทำการเผาไหม้อีกด้วย ขานอ้อยที่ลดความชื้นแล้วจะมีค่าความชื้นประมาณ 12.4 % มาตรฐานเปียก รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างขานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

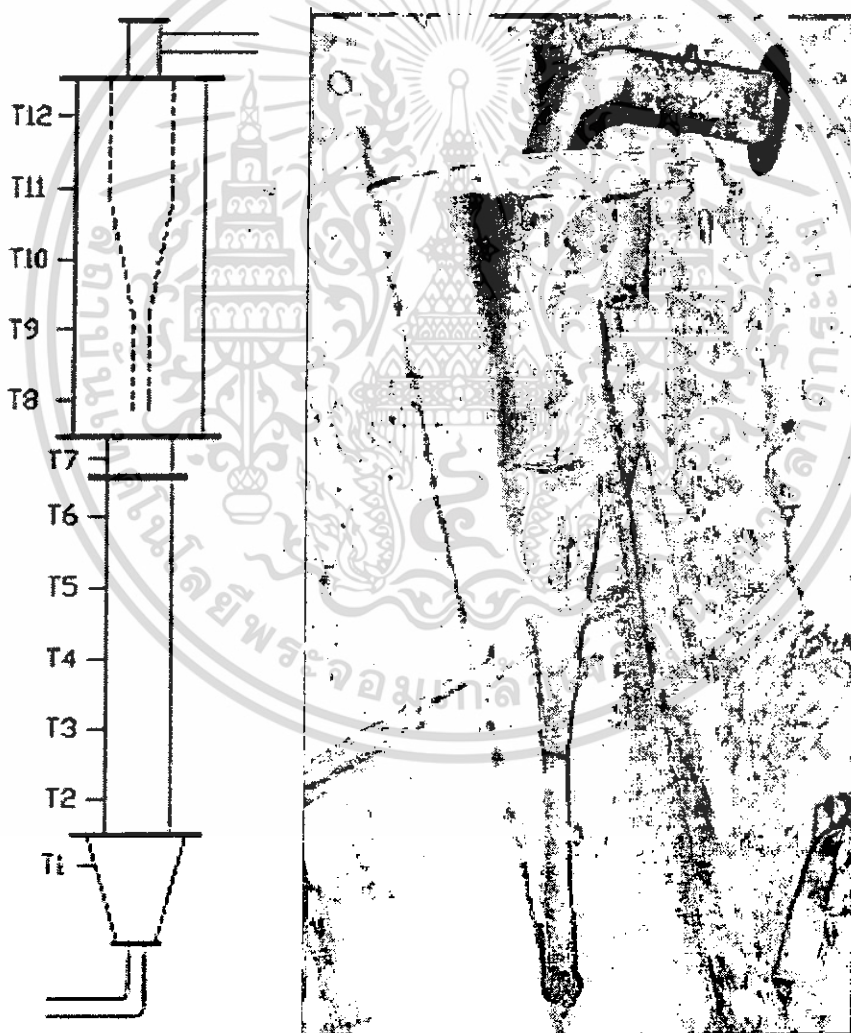


รูปที่ 5.1 ภาพขานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนภายใน

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดมีความสูงทั้งสิ้น 2,400 mm. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ 200 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในพรีบอร์ด 400 mm. และมีความสูงของห้องเผาไหม้ 2,100 mm. สำหรับห้องผสมมีลักษณะเป็นทรงกรวยมีความสูง 300 mm. ด้านนอกของผนังห้องเผาไหม้และห้องผสมได้ทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ ที่ผนังของห้องเผาไหม้ได้ทำการติดตั้งตำแหน่งวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 11 ตำแหน่ง ตามระยะที่กำหนดระยะห่างกันแต่ละจุด 200 mm ไซโคลนภายในพรีบอร์ดใหญ่ด้านบนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm ด้านล่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm มีความยาวทั้งหมด 950 mm ลักษณะของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนภายในดังรูป 5.2

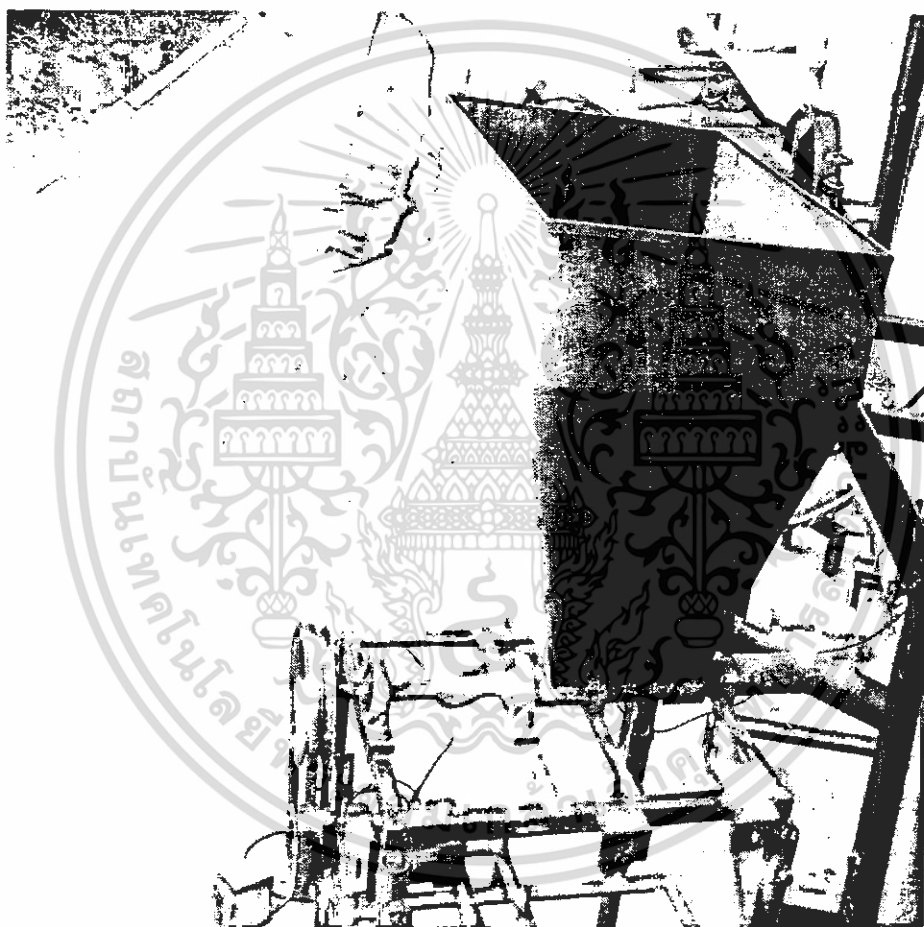


รูปที่ 5.2 ลักษณะเตาเผาฟลูอิด ไดซ์เบดแบบ ไซโคลนภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ระบบป้อนเชื้อเพลิง

ระบบป้อนเชื้อเพลิงสามารถป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตามที่ต้องการ ประกอบด้วย Inverter, Motor, Screw Feed และ Hopper การใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเป็นแบบเกลียว (Screw Feeder) โดยป้อนตรงเข้าสู่ท่อขนาด 45 mm. ทางด้านล่างของห้องเผาไหม้ กับท่อลม Nozzle Jet เป็นลมที่ช่วยพาอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงโดยใช้อากาศพาเชื้อเพลิงชานอ้อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.3

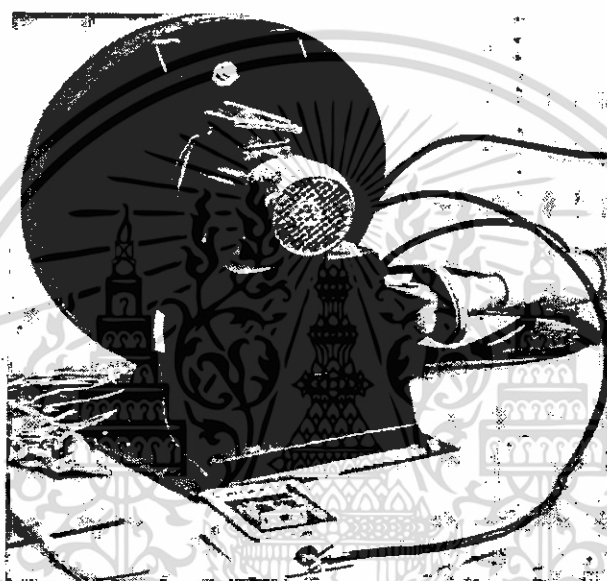


รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการป้อนเชื้อเพลิง

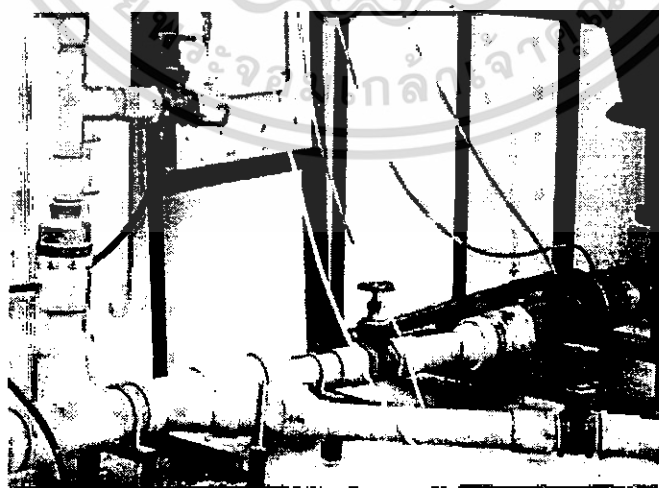
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ชุดป้อนอากาศ

ชุดป้อนอากาศจะประกอบด้วย Blower ชนิดใบพัดแบบ Backward inclined Capacity 100 m³/min Pressure 200 mm Aq Speed 2840 min⁻¹ สร้างความดันของพัดลมที่มากที่สุดเท่ากับ 72.6 เซนติเมตรของน้ำ มอเตอร์ที่ใช้ขับใบพัดลมเป็นชนิด 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า และท่อ PVC ขนาด 76.2 mm สำหรับท่อลมหลัก ท่อ PVC ขนาด 50.8 mm สำหรับลมรอง และยังมีวาล์วควบคุมความดัน (Check Valve) เพื่อปรับอัตราส่วนลมหลัก และลมรอง ที่แสดงในรูป 5.4



รูปที่ 5.4 Blower



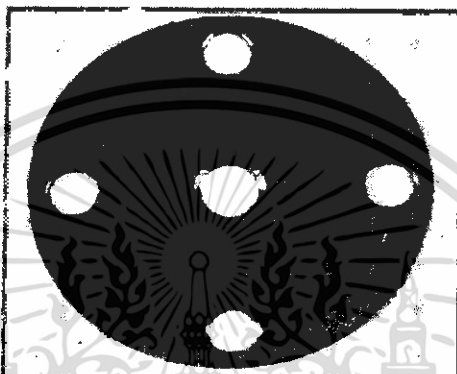
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะท่อทางเดินของอากาศที่ป้อนเข้าเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศ

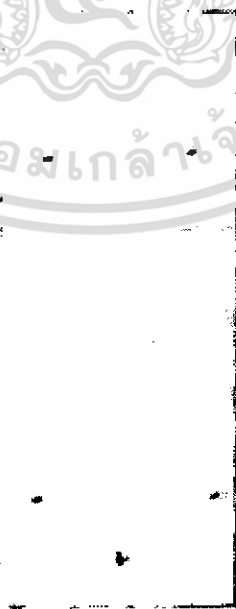
การวัดอัตราการไหลของอากาศสปรูมกวมและอากาศทุดยกวมใช้ออริฟิส (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออริฟิสสามารถอ่านค่าโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าอัตราการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แผ่นออริฟิส (Orifice plate) แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศสปรูมกวมและ อากาศทุดยกวม ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แผ่นออริฟิส

มานอมิเตอร์ (Manometer) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกใช้วัดผลต่างของความดันอากาศสปรูมกวม และชุดที่สอง ใช้วัดผลต่างของความดันอากาศทุดยกวม ซึ่งใช้น้ำเป็นของเหลวภายในทั้งสองชุด ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 มานอมิเตอร์ (Manometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด จะวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K จำนวน 12 ตัว วัดการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา อุณหภูมิไอเสีย ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1200 °C ความยาวของเทอร์โมคัปเปิลเท่ากับ 200 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm และนำมาต่อเข้ากับ Data Logger เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิและบันทึกผลของอุณหภูมิเข้าสู่คอมพิวเตอร์ตลอดระยะเวลาของการทดลอง



รูปที่ 5.8 เครื่องบันทึกข้อมูล Fluke 2680 A (Data logger)



รูปที่ 5.9 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ทั้งเครื่องบันทึกข้อมูล และเทอร์โมคัปเปิลจะต่อเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามระดับความสูงของเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 เครื่องมือวิเคราะห์ ก๊าซไอเสีย

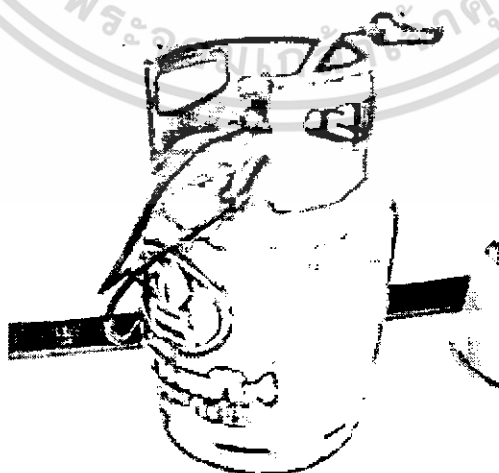
เครื่องวัดก๊าซไอเสีย เป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 5.10 เครื่องมือวิเคราะห์ไอเสีย TESTO 350M XL

5.8 อุปกรณ์อุ่นเตา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดเตาจะประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG, สายแก๊ส, และหัวเผา เพื่ออุ่นเตาให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ประมาณ 500°C - 650°C ก่อนที่จะปิดแก๊ส

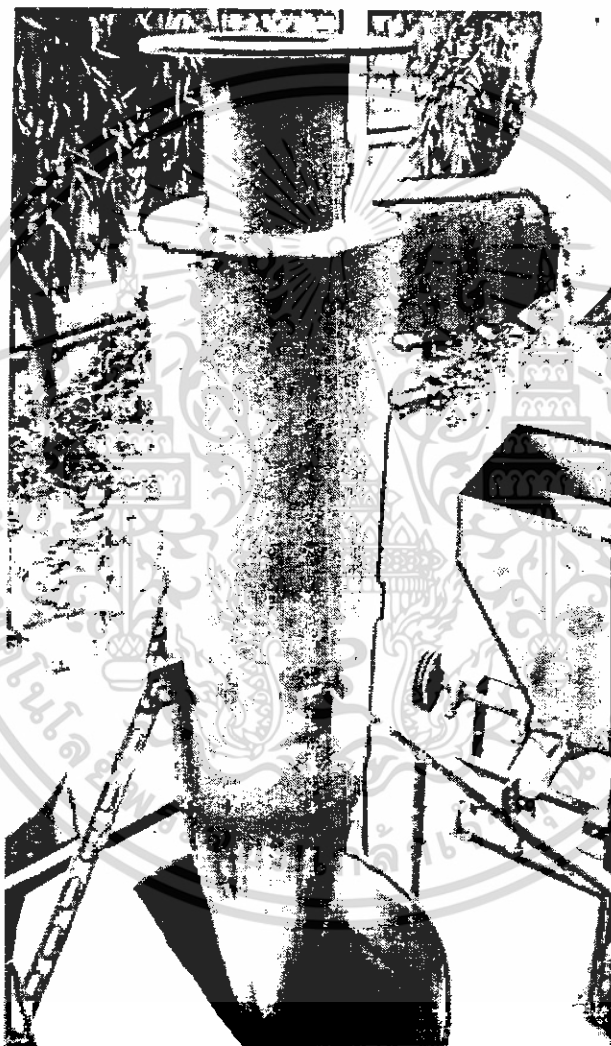


รูปที่ 5.11 อุปกรณ์อุ่นเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 ระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์

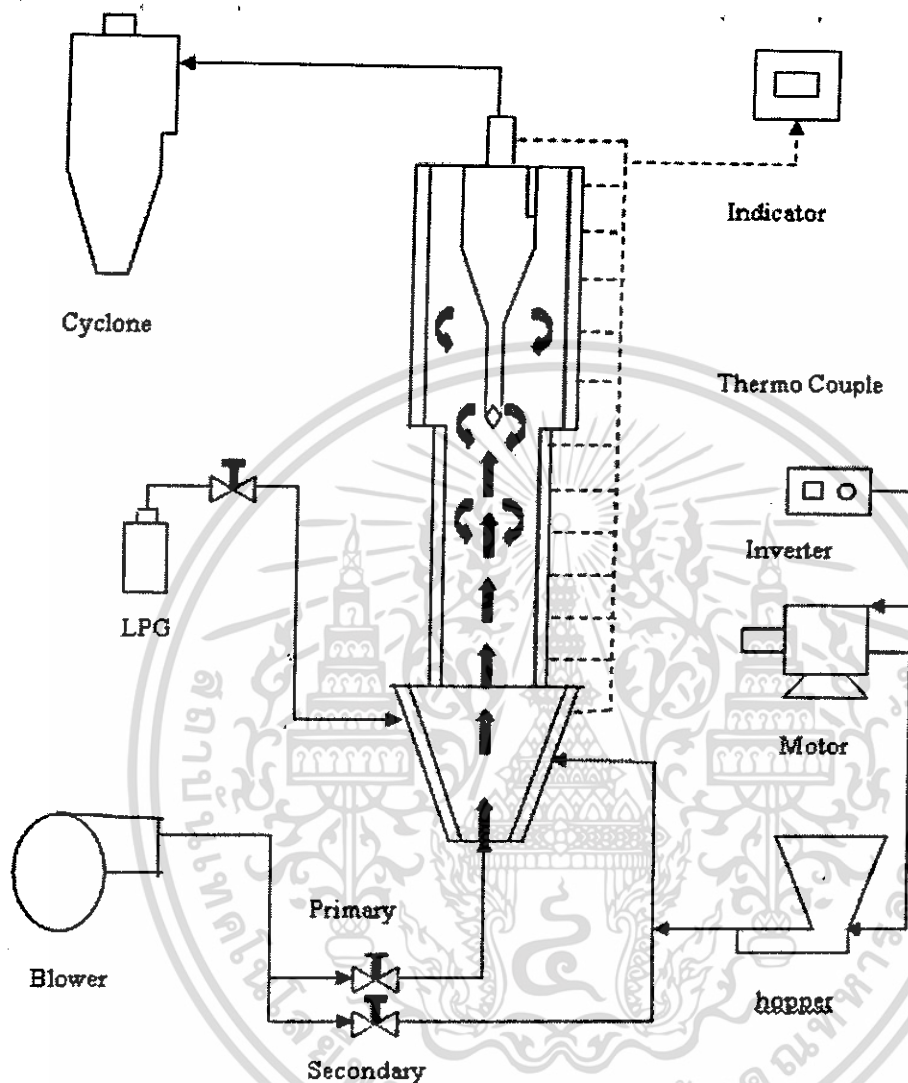
เป็นระบบดักจับฝุ่นซีเมนต์ที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ โดยใช้หลักการของ Cyclone ประกอบด้วยท่อทางเข้าทรงกระบอกส่วน Cyclone เป็นกรวย และก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกทางด้านบนของไซโคลน และซีเมนต์จะถูกดักและปล่อยออกลงสู่ถังเก็บซีเมนต์ เพื่อช่วยลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง



รูปที่ 5.12 Cyclone ที่ดักซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 ลักษณะของอุปกรณ์ในการทดลองเมื่อประกอบแล้ว (Model)



รูปที่ 5.13 แสดงการประกอบอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง

5.11 การอุ่นเตา

ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเตา เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้น จนกระทั่งเชื้อเพลิงขาน้อยที่ป้อนเข้าไปสามารถเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ การอุ่นเตาใช้หัวเผา โดยมีแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ขั้นตอนในการอุ่นเตาดังนี้ จุดไฟที่หัวเผาและทำการปรับวาล์วให้ เปลวไฟที่หัวเผาเป็นสีน้ำเงิน หลังจากนั้นนำหัวเผาใส่เข้าตำแหน่งที่ใช้ในการอุ่นเตาบริเวณส่วนล่าง ของเตา จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาสูงประมาณ $500^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ จึงเริ่มป้อนขาน้อยให้มีอัตรา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลเชิงมวลต่ำๆ เพื่อให้ชานอ้อยเผาไหม้และช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จนอุณหภูมิสูงประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ จึงหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊สที่หัวเผา และนำหัวเผาออกจากห้องเผาไหม้เนื่องจากอุณหภูมิสูงพอที่ทำให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง

5.12 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

1. ทำการอุ่นเตาโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตามีค่าประมาณ $500^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเริ่มป้อนชานอ้อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ $700^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก
2. อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงชานอ้อยเท่ากับ 8.92 kg/hr , อัตราการไหลของอากาศ 77.3 kg/hr
3. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ $400 \text{ mm.}, 600 \text{ mm.}, 800 \text{ mm.}, 1,000 \text{ mm.}, 1,200 \text{ mm.}, 1,350 \text{ mm.}, 1,500 \text{ mm.}, 1,700 \text{ mm.}, 1,900 \text{ mm.}, 2,100 \text{ mm.}$ และ $2,300 \text{ mm.}$ ตามลำดับ ที่ระยะ $r/R = 0.235$ บันทึกผลของอุณหภูมิ สังเกตลักษณะขี้เถ้า และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และวัดค่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่กำหนดไว้ ที่ระยะ $r/R = 0.40, 0.60, 0.80$ และ 1.0 ตามลำดับ
5. อัตราการป้อนชานอ้อยเข้าเตาอยู่ที่ $6-12 \text{ kg/hr}$ แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 3-4
6. ทำการทดลองผลของการปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก และ ลมด้านรอง เป็นสัดส่วน $50\%/50\%, 40\%/60\%, 30\%/70\%$, ตามลำดับ
7. ทำการบันทึกผลของการทดลอง อุณหภูมิตามความสูงของเตา และแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเผาไหม้ชานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนต่อไป

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิจารณ์

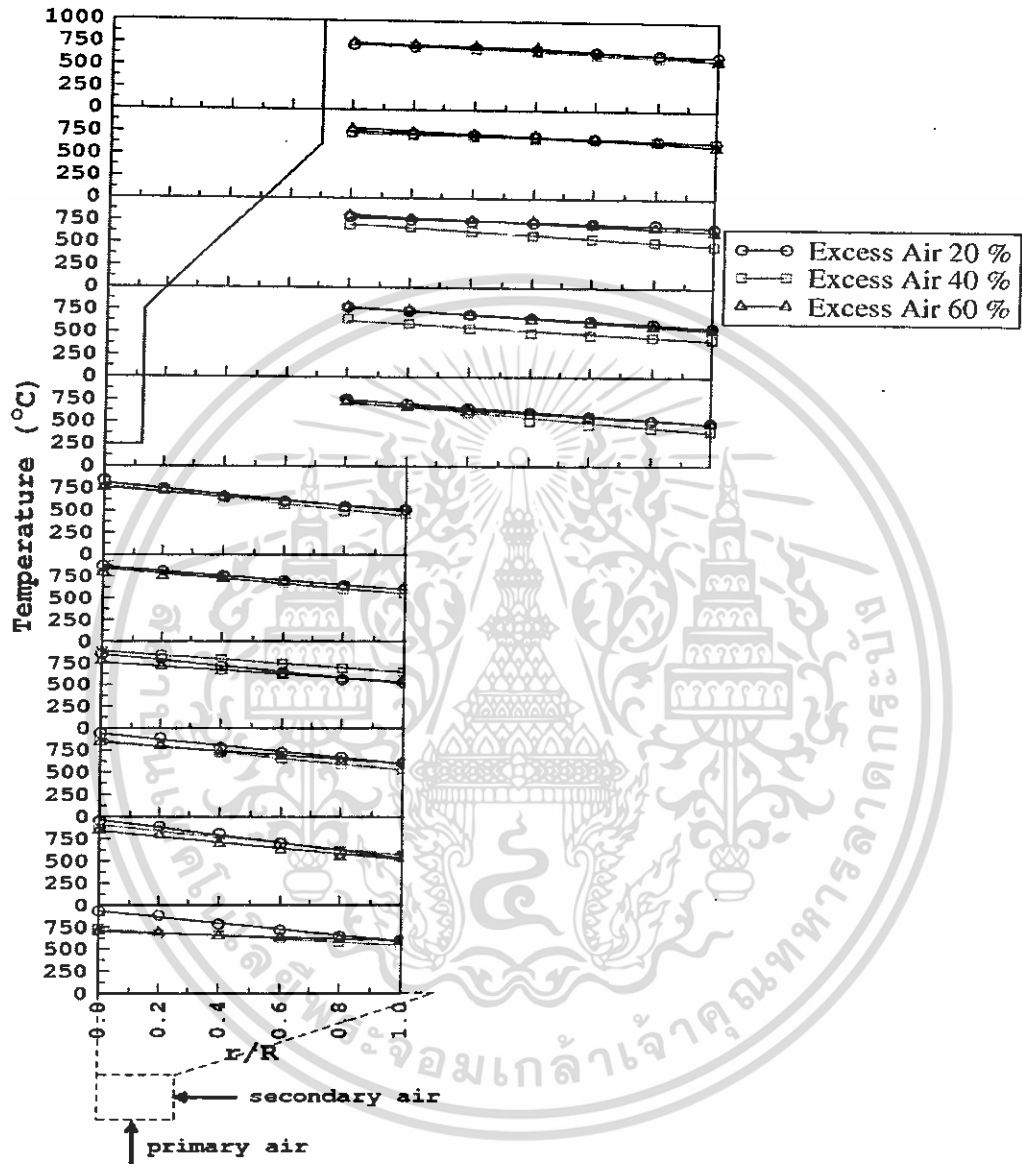
6.1 บทนำ

จากที่ได้ทำการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 ในการทดลองนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงผลของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน โดยการใส่ไซโคลนภายในฟรียอร์ดใหญ่ในห้องเผาใหม่เพื่อให้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไม่สมบูรณ์กลับมาเผาซ้ำอีกครั้ง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของเชื้อเพลิงได้อุณหภูมิที่สูงขึ้น เชื้อเพลิงภายในเตาและอัตราป้อนปริมาณขานอ้อยที่มีผลต่อการเผาไหม้ โดยพิจารณาจาก การกระจายอุณหภูมิภายในเตา โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

1. อัตราการไหลอากาศที่ EA 20 % , 40% , 60%
2. อัตราป้อนปริมาณขานอ้อย 6-12 kg/hr
3. อัตราส่วนลมหลักและลมรองที่ 50%/50% , 40%/60% , 30%/70%

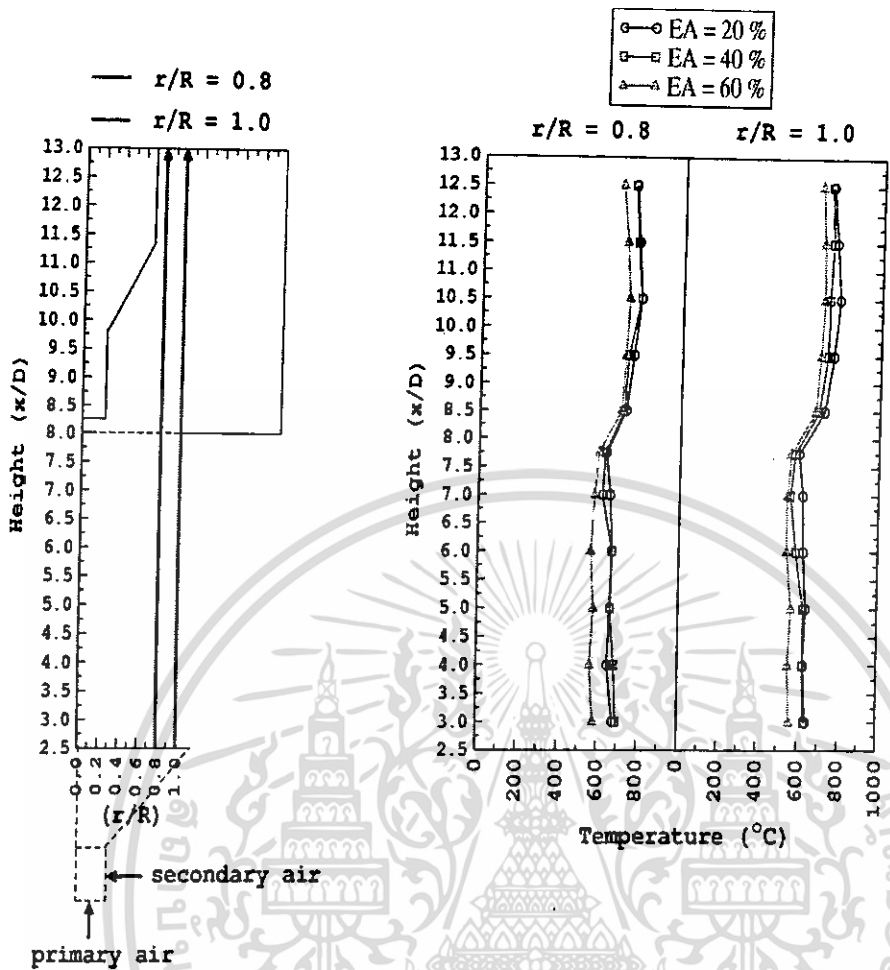
6.2 ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากรูป พบว่าอิทธิพลของการกระจายอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งตามแนวรัศมีและตำแหน่งความสูงนั้นค่อนข้างคงตัวหรือแตกต่างกันเล็กน้อย ในการทดลองความสูงของหอดทดลองที่ 2,400 mm. ที่ฟรียอร์ดเล็กจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm. ลักษณะเตาเผาเป็นแบบผิวเรียบที่ฟรียอร์ดใหญ่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 400 mm. ลักษณะเตาเผาเป็นแบบผิวเรียบ ที่ไซโคลนออกแบบเพื่อให้เชื้อเพลิงย้อนกลับไปเผาซ้ำ ที่ใส่ไว้ในฟรียอร์ดใหญ่ จะเห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความสูงของเตาและอัตราการป้อน EA 20% , 40% , 60% อุณหภูมิสูงสุดจะไม่อยู่ที่จุดเดียว ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เพราะอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน ความเร็วของอากาศจะถูกเป่าเข้าไปทางด้านล่าง ทำให้อุณหภูมิที่สูงสุดก็จะสูงตามความสูงของเตา เพื่อหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองที่เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินประมาณ 20% ที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อัตราส่วนลมหลัก และลมรองที่ 50%/50% มีความเหมาะสมที่สุด และค่าที่ได้นำมาพร้อมกราฟ ดังต่อไปนี้



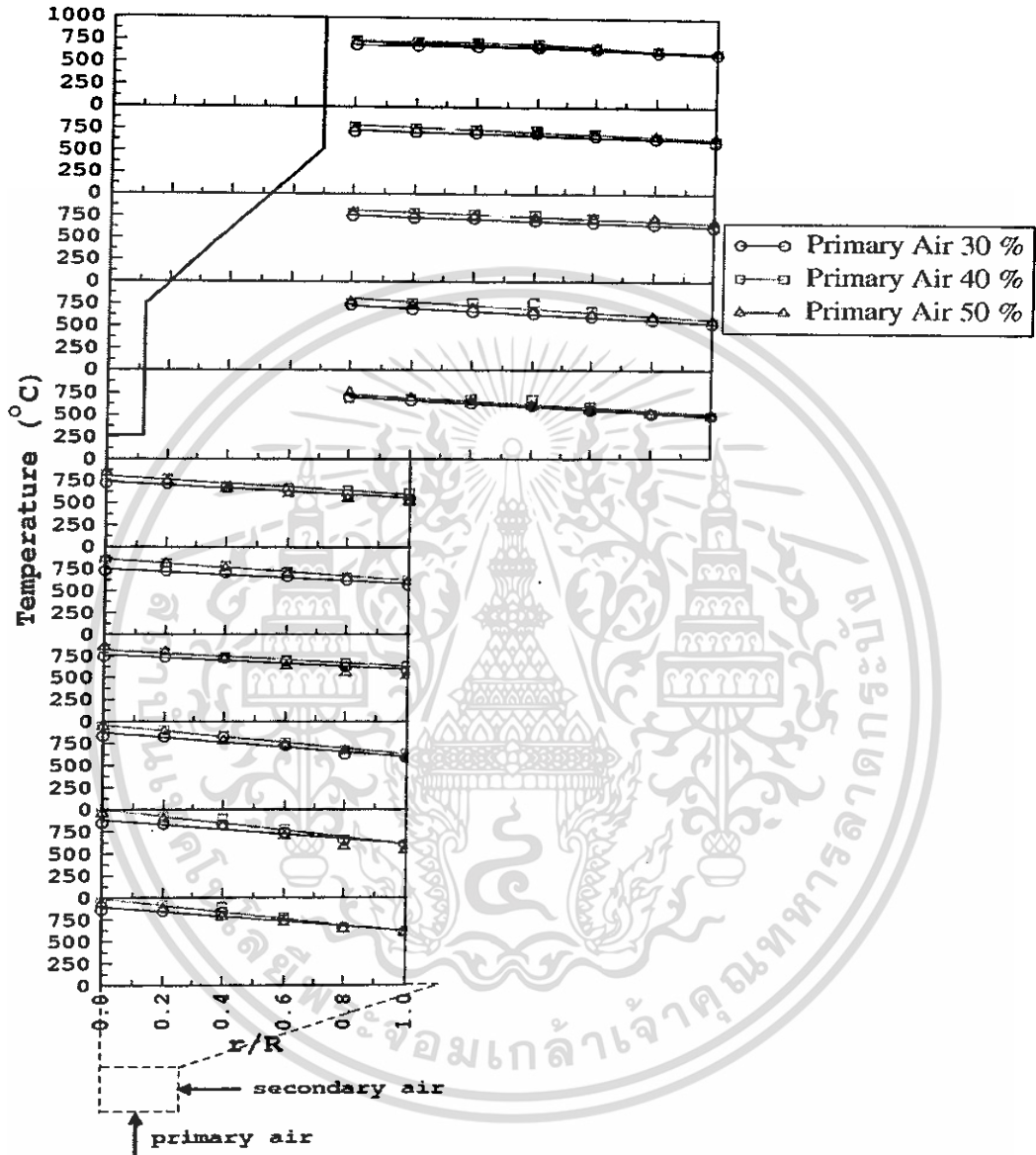
รูปที่ 6.1 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิด ไลซ์แบบบนนิ่งเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี
ไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



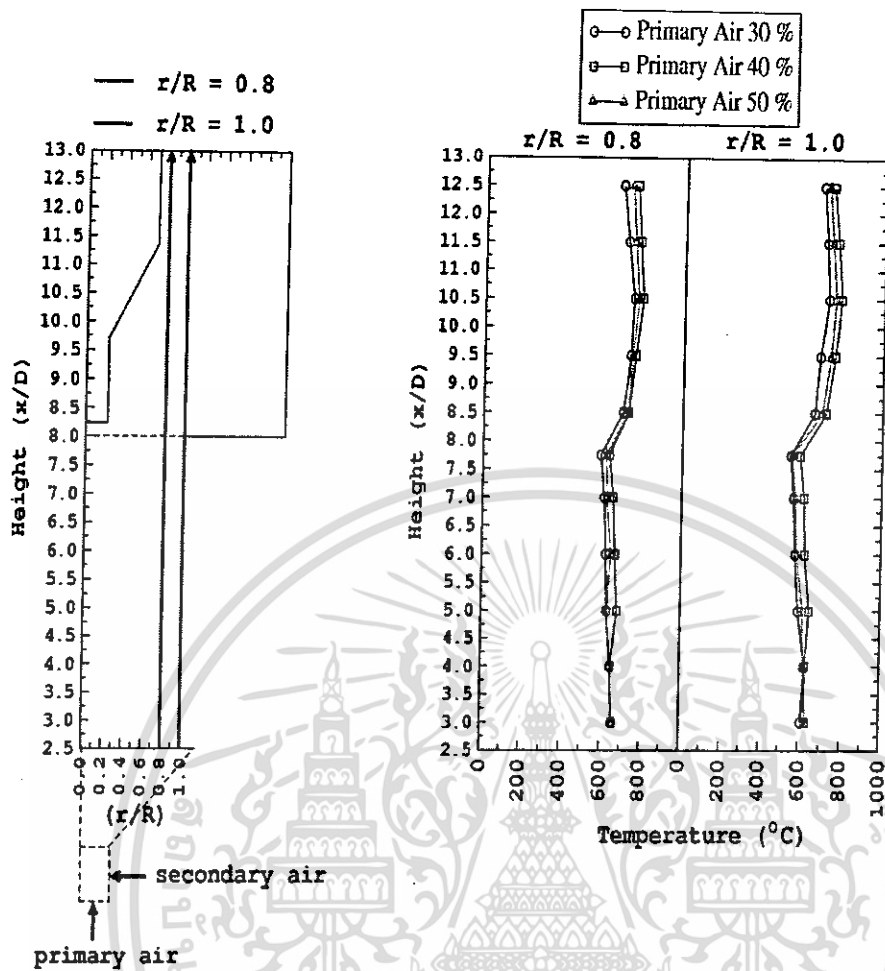
รูปที่ 6.2 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มี
ไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



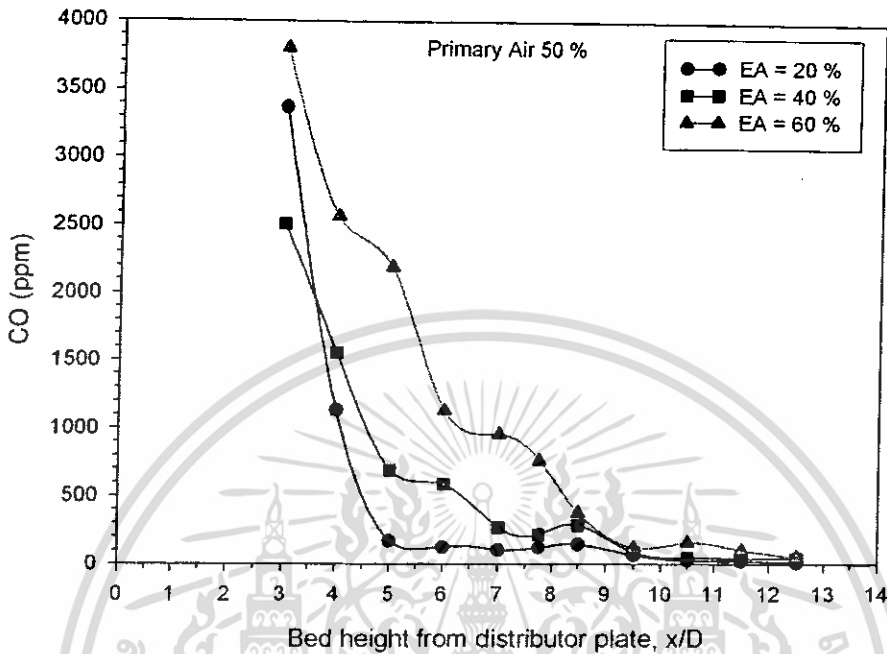
รูปที่ 6.3 แสดงอุณหภูมิตามแนวความรัศมีของเตาเผาฟลูอิด ไลซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในที่ปรับเปลี่ยนลมค้ำหลัก คือ ลมค้ำรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

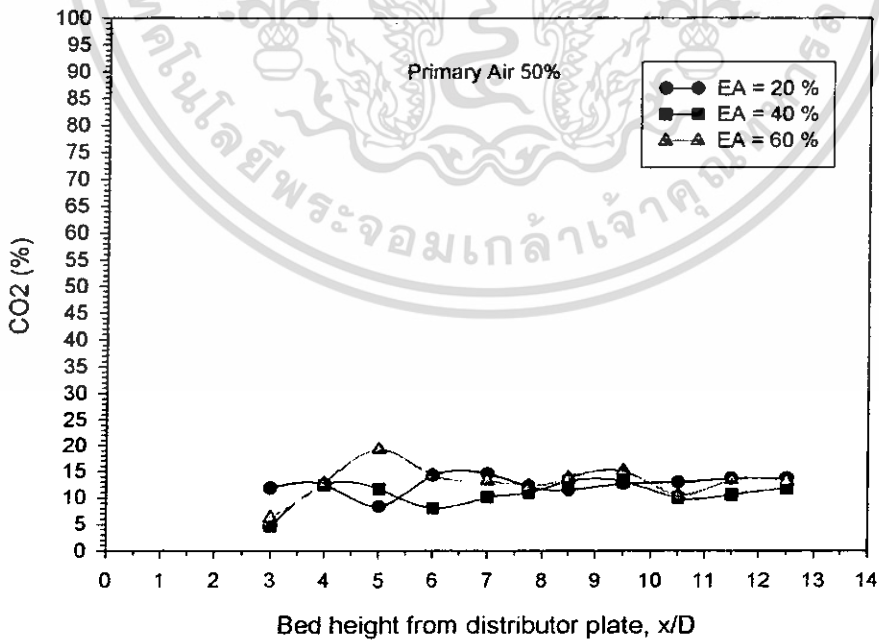


รูปที่ 6.4 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในที่ปรับเปลี่ยนสมส่วนหลัก คือ สมส่วนรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ

6.3 กราฟแก๊สไอเสียที่ได้จากการทดลอง

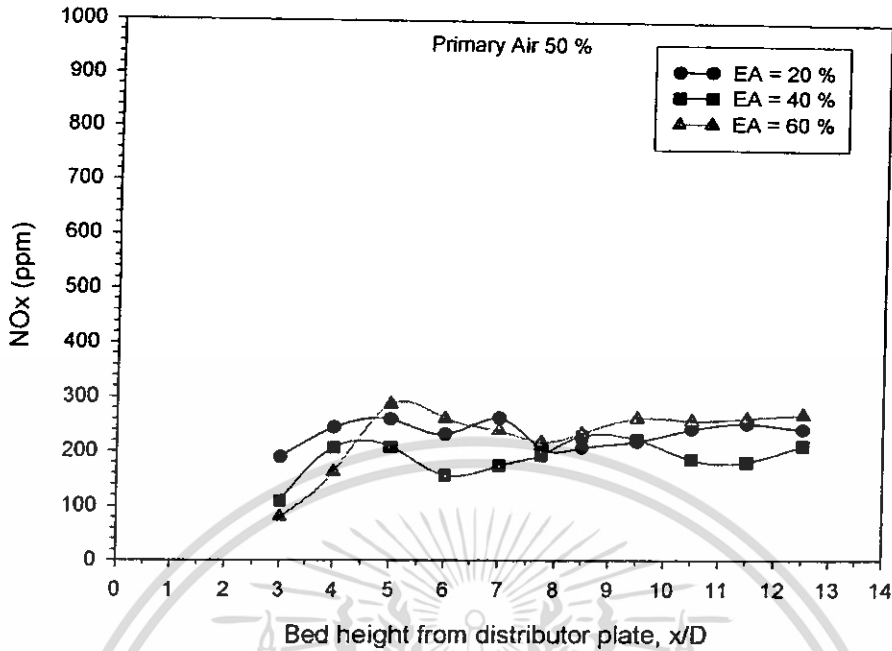


รูปที่ 6.5 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

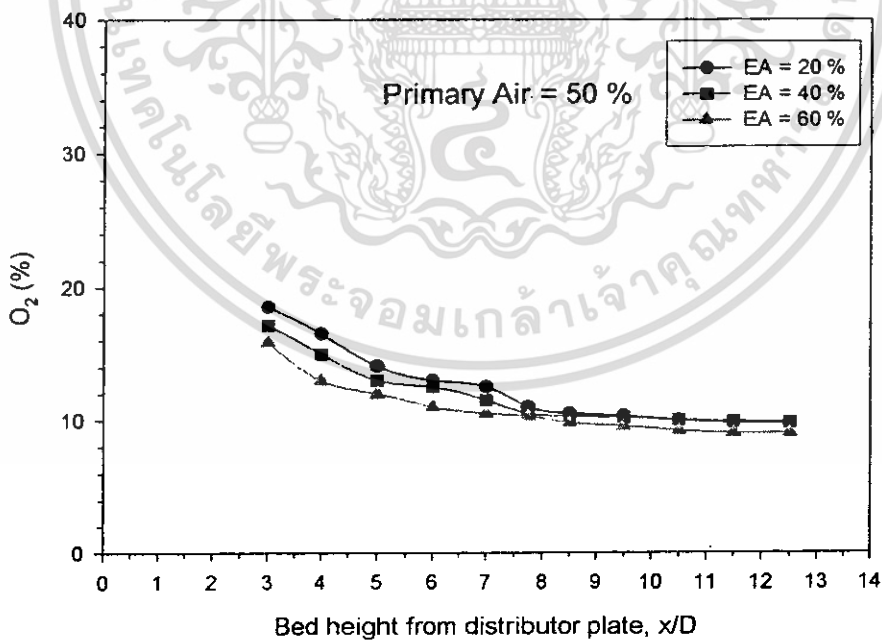


รูปที่ 6.6 แสดงค่า CO₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิด ไคซ์เบดแบบที่มีไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งเพื่อการค้าหรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

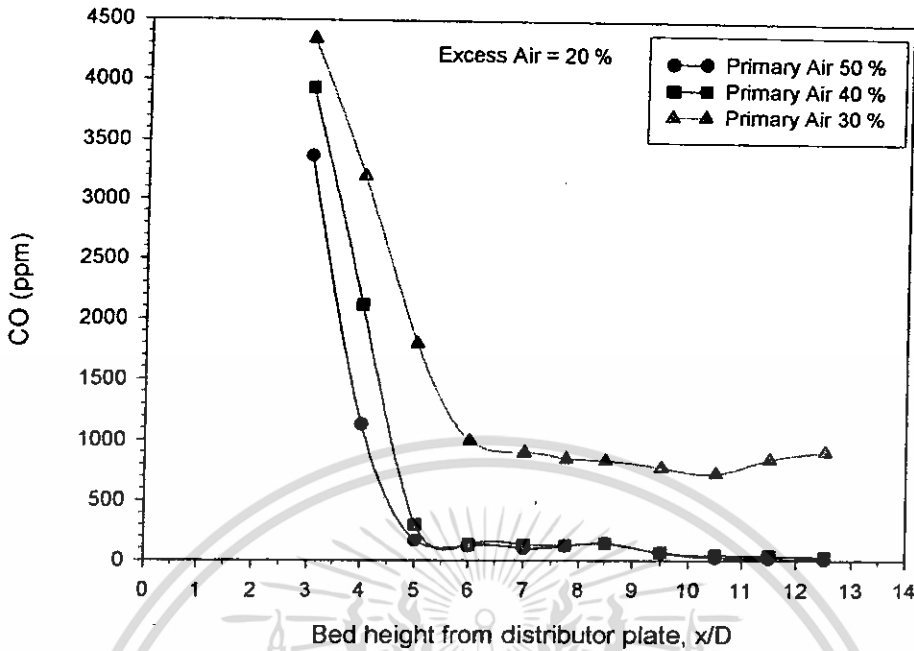


รูปที่ 6.7 แสดงค่า NO_x ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่รับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

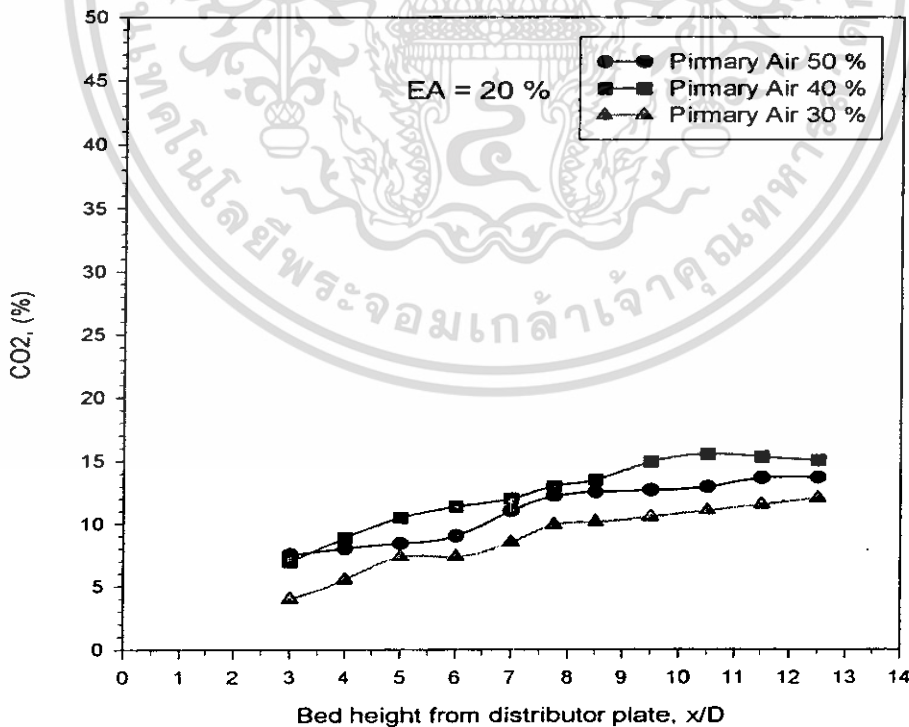


รูปที่ 6.8 แสดงค่า O₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่รับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

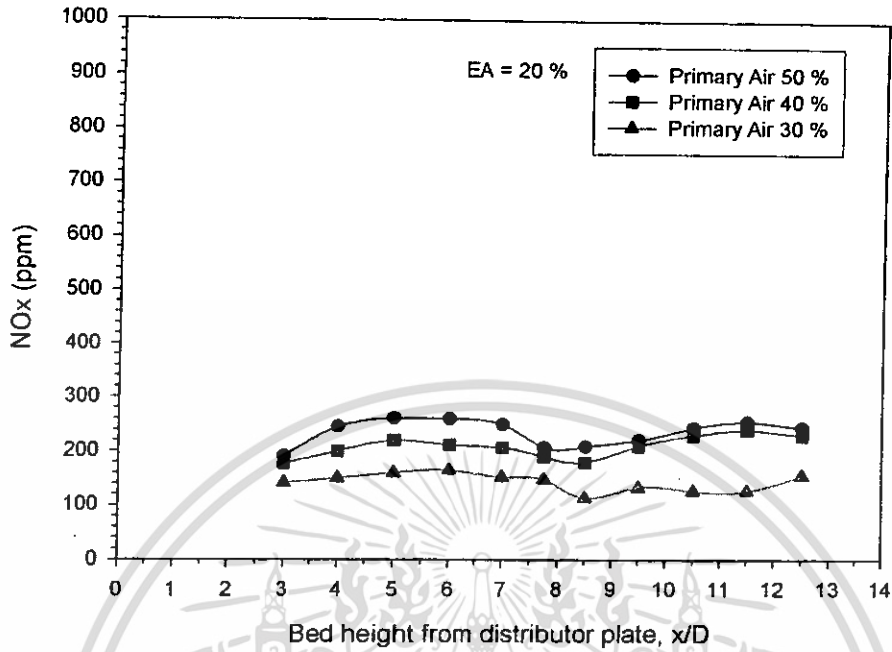
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



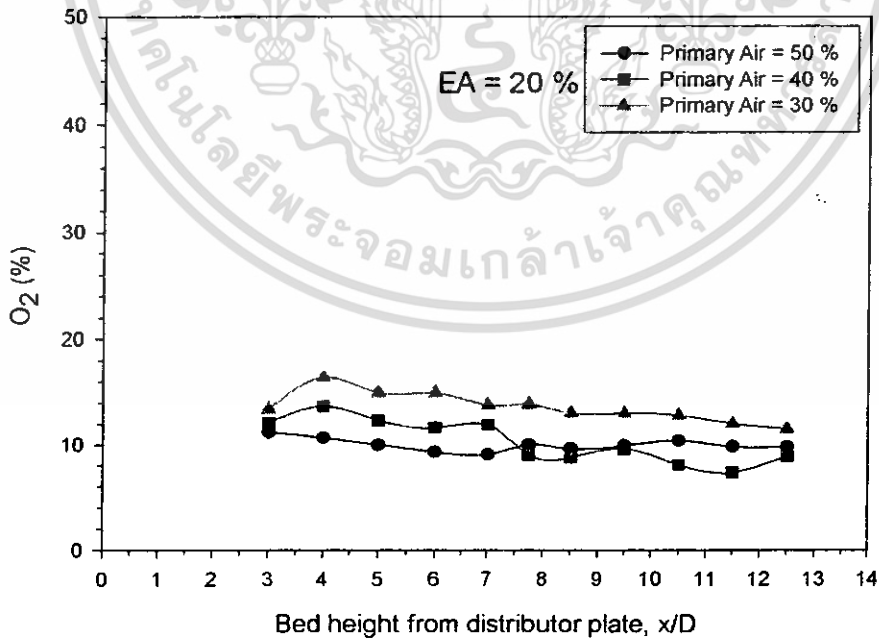
รูปที่ 6.9 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์แบบอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลักต่อลมด้านรองเป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ



รูปที่ 6.10 แสดงค่า CO₂ ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลักต่อลมด้านรอง เอกสารนี้เป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ ขาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 แสดงค่า NO_x ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลักต่อลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ



รูปที่ 6.12 แสดงค่า O₂ ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลักต่อลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, 30%/70%, ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ภาพซีเถ้าของขานอ้อยที่ได้จากการทดลอง

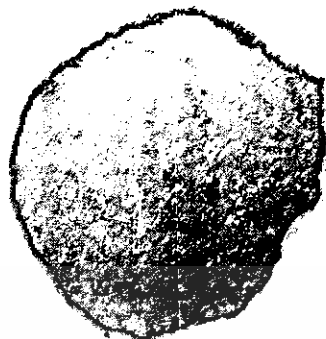


รูปที่ 6.13 ซีเถ้าที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% สมหลักต่อลมรอง 30%/70%



รูปที่ 6.14 ซีเถ้าที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% สมหลักต่อลมรอง 40%/60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

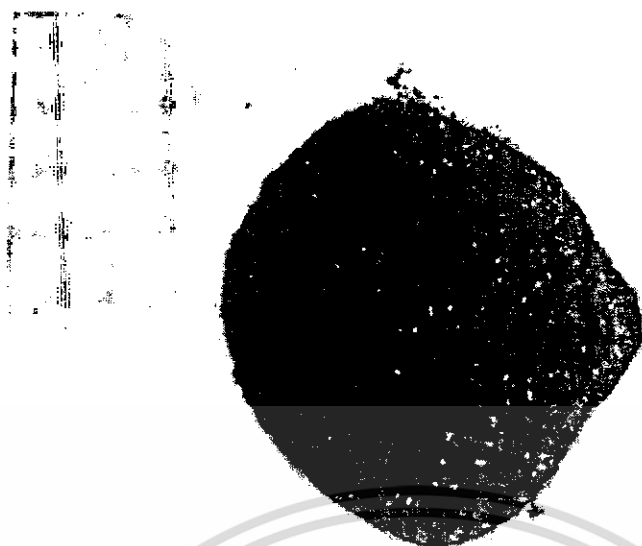


รูปที่ 6.15 ซี้เถ้าที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20% ลมหลักต่อรอง 50%/50%



รูปที่ 6.16 ซี้เถ้าที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลักต่อลมรอง 30%/70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ซี้เถ้าที่อัตราการป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลักต่อลมรอง 40%/60%



รูปที่ 6.18 ซี้เถ้าที่อัตราการป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 40% ลมหลักต่อลมรอง 50%/50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

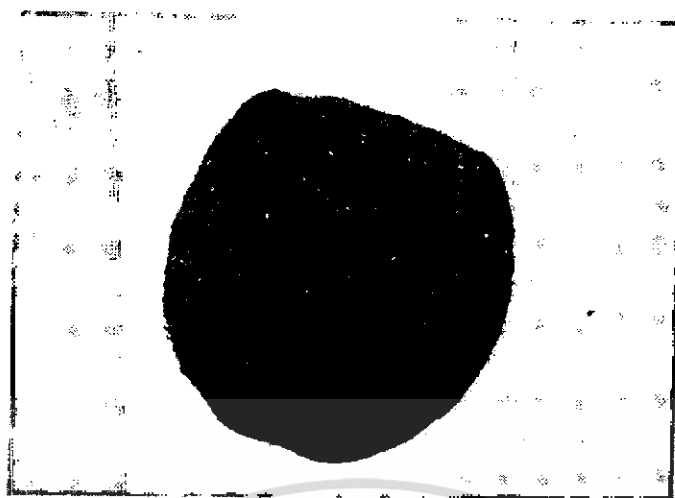


รูปที่ 6.19 ชี้เถ้าที่อัตราการป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลักต่อลมรอง
30%/70%



รูปที่ 6.20 ชี้เถ้าที่อัตราการป้อนชานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลักต่อลมรอง
40%/60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 ไข่ไก่ที่อัตราการป้อนขานอ้อย 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 60% ลมหลักต่อลมรอง 50%/50%

6.5 สรุปผลการทดลอง

1. ที่อากาศส่วนเกิน 20% อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr กับเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดในการทดลองมีความเหมาะสมที่สุด
2. ผลของการปรับเปลี่ยนกระแสลมหลักต่อกระแสลมรองที่สัดส่วน 50%/50% ให้ผลดีที่สุด

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบคที่ได้ทำการทดลองจะพบว่ามี การเผาไหม้ชานอ้อยได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งที่อุณหภูมิภายในเตา ซึ่งสภาวะนี้จะเป็นสภาวะที่เราเลือกทำการศึกษาศึกษาและเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- โดยมีการเพิ่มชุดไซโคลนภายในฟริบอร์คใหญ่ เพื่อให้เชื้อเพลิงกลับมาเผาอีกครั้ง อุณหภูมิไอเสียที่ทางออกมีค่าอยู่ระหว่าง $700 - 750^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสูงสุดที่ห้องเผาไหม้อยู่ที่ 1000°C ที่อากาศส่วนเกินเหมาะสม คือ 20 %
- การกระจายตัวของอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตา สามารถพิจารณาให้เป็นแบบทิศทางเดียว (One Dimension) คือ มีการเปลี่ยนแปลงตามความสูงของเตา โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดหน้าตัดเตาตามแนวรัศมีในปริมาณที่เล็กน้อย
- เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบคสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงชานอ้อยได้อย่างหมดจดและเหลือปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้า น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบปกติ ทำให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงมากยิ่งขึ้น
- ปริมาณไอเสียที่ปล่อยออกจากเตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบค เช่น CO , NO_x , CO_2 เป็นต้น เราจะพบว่าปริมาณก๊าซมลพิษเหล่านี้สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้ โดยเหตุผลนี้แล้วผลพลอยได้จากการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นหนทางหนึ่งในการวางแผนที่จะลดปัญหาทางด้านมลพิษ
- สิ่งที่มีอิทธิพลสูงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 % อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 8.92 kg/hr ในการทดลองจะต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ปริมาณอากาศส่วนเกินจะต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป จึงทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการศึกษาครั้งนี้ เราได้ทำการพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตาด้วย ดังนั้นเราจึงควรที่จะมีการศึกษาศึกษาประสิทธิภาพโดยรวม (Overall Efficiency) ด้วย เพื่อที่จะทำให้เราสามารถทราบถึงปริมาณความร้อนที่จะนำไปใช้งานได้จริงๆว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด
 - ชานอ้อยเป็นเพียงเชื้อเพลิงชีวมวลที่เราได้เลือกนำมาศึกษา แต่ในความเป็นจริงแล้วในประเทศไทยเรายังมีเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นกากถั่วเหลือง, ชังข้าวโพด, ฟางข้าว
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ ด้วย

- กระบวนการทางความร้อนอีกแบบหนึ่ง ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการ Combustion ซึ่งก็คือกระบวนการ Gasification ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เปลี่ยนสภาพมาเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของก๊าซได้ การศึกษาโดยการเปลี่ยนกระบวนการ Fluidized Bed Combustion ให้กลายมาเป็น Fluidized Bed Gasification จึงเป็นสิ่งที่น่าจะได้ทำการศึกษา เช่นเดียวกัน เนื่องจากอุปกรณ์ในการศึกษาเป็นแบบเดียวกัน และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อีกตัวหนึ่งที่เราจะทำการศึกษาเพิ่มเติมก็คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งจากการตรวจเอกสารพบว่า แม้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำ เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบปกติ แต่มลพิษดังกล่าวก็ยังคงอยู่ในระดับที่สูงพอๆกัน

- จากการทดลองจะพบว่าปริมาณของ NO_x ที่ปล่อยออกจากเตายังมีปริมาณที่สูง จึงน่าที่จะทำการศึกษาว่า ถ้าหากเราเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นเบด จะสามารถช่วยลดปริมาณ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากเตาได้หรือไม่

- สมมุติฐานและข้อมูลพื้นฐานต่างๆที่เราได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเผาไหม้ในเตาเผาแบบนี้ได้ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการศึกษาขั้นตอนต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาระบบ Combustion Boiler

- นำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ให้มากกว่านี้ เช่นนำไปอบแห้งเมล็ดพืช หรือ พืชผลทางการเกษตร

- ศึกษาถึงกรณีการใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดมาผสมกัน

บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, “รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2543”, หน้า 5-11, 2543
- [2] ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, “วารสารพลังงาน ฉบับเชื้อเพลิงชีวมวล”, ปีที่ 9, ฉบับที่ 43, หน้า 16-42, 2541
- [3] นายดิษฐพร ตุงโสธานนท์ “พฤติกรรมและการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [4] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล “เตาเผาแกลบวอร์เทคหลายชั้น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [5] เสรีย์ ตู๊ประกาย “การศึกษาและออกแบบเตาเผาจากตะกอนแบบฟลูอิดไคซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540
- [6] ศศิวิมล สูงสว่าง “การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไคซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- [7] สุวิทย์ เตี้ย และคณะ (2542) “ การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด ” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม, หน้า 47 - 63.
- [8] สมศักดิ์ กิระดิฐมิเศรษฐ์ “หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” พิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2539.
- [9] สำเร้ง จักรใจ “การเผาไหม้” พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [10] 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.
- [11] 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 Flame”, 1997, Vol.110, pp. 163 – 172.
- [12] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] 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 Vortexing fluidized – bed combustion mode Powder Technology, 1992, Vol. 69, pp. 139 – 146.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Stephen R., Turns, An Introduction to Combustion (Concepts And Applications). McGraw – Hill International Editions, 1996, pp. 19.
- [17] Daizo K., Octave L., Fluidization Engineering. Butterworth-Heinemann. Second Editions, 1991.
- [18] CHN-900/CHNS-932 Instruction Manual, Version 2.2 ,Leco Corporation,1998



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของขานอ้อย

ขานอ้อย หมายถึง ส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว มีส่วนประกอบอย่างหยาบ ๆ คิดเป็นค่าร้อยละ โดยน้ำหนักของขานอ้อยเปียก (ความชื้นร้อยละ ๔๘) คือ ขานอ้อยหรือไฟเบอร์ (fiber) ๔๘.๕% น้ำ ๔๘.๐% น้ำตาล ๓.๐% และสารประกอบอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวแล้ว ๐.๕% ขานอ้อยใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง

๑. ใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ภายในโรงงานน้ำตาลนั่นเอง ขานอ้อยสามารถใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil) ได้ดี ขานอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ ๕๐หนัก ๓ ตัน เมื่อเผาจะให้พลังงานใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก ๑ ตัน
๒. ใช้ผลิตวัสดุก่อสร้างโดยอาศัยกาก เช่น อัดเป็นแผ่น (particle board) ไม้อัดผิวเส้นใย (fiber-overlaid plywood) และแผ่นกันความร้อน (insulating board) เป็นต้น
๓. ใช้ผลิตเยื่อกระดาษ (pulp) และกระดาษชนิดต่าง ๆ ขานอ้อยส่วนใหญ่ประกอบด้วยลิกนิน (lignin) และมีเซลลูโลสอยู่บ้างเล็กน้อย ไฟเบอร์ของขานอ้อยค่อนข้างสั้น คือ มีความยาวเฉลี่ยเพียง ๑.๔ มิลลิเมตรเท่านั้น ในขณะที่เยื่อใยของไม้ไผ่เฉลี่ย ๒.๕-๔.๐ มิลลิเมตร
๔. ใช้เป็นอาหารสัตว์ ขานอ้อยถ้าให้สัตว์กินโดยตรงมักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับรสชาติ การย่อยของสัตว์ ตลอดจนมีอัตราส่วนตำระหว่างอาหารที่สัตว์กินกับน้ำหนักตัวที่เพิ่ม วิธีที่ดีก็คือ นำมาหมักก่อนที่จะให้สัตว์กิน วัสดุที่หมักประกอบด้วยขานอ้อย ๑ ตัน (ความชื้นร้อยละ ๕๕+๓) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ ๕ ของน้ำหนักแห้ง กากน้ำตาลร้อยละ ๑๕ ยูเรีย ร้อยละ ๐.๘ และข้าวโพดร้อยละ ๑๒ โดยน้ำหนัก ผสมแล้วทำให้มีความชื้นประมาณ ร้อยละ ๖๐ หมักไว้ ๔-๖ สัปดาห์ จึงให้สัตว์กิน
๕. ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิต furfural, furfuryl alcohol และ xylitol
๖. ใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก กากตะกอน หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังใช้ปุ๋ยคอกสัตว์เพื่อรองรับมูลสัตว์ และทำปุ๋ยหมักต่อไป
๗. ใช้เป็นวัตถุดิบดินเพื่อรักษาความชื้นของดินและป้องกันวัชพืช

คุณสมบัติทางกายภาพที่ใช้ในการทดลอง

ขานอ้อยมีคุณสมบัติทางด้านการเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีพอสมควร แต่จะมีข้อเสียคือ มีค่าความชื้นเริ่มต้นสูงมีค่าประมาณร้อยละ 40-50 (wt.%) ดังนั้นก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงมาทำการทดลองจะต้องนำเชื้อเพลิงไปตากแดดประมาณ 2-3 วันเพื่อให้ค่าความชื้นลดลง ซึ่งจากการวัดค่าความชื้นที่เหลือ (ตามมาตรฐานเปียก) มีค่าประมาณร้อยละ 12.4-14.4 (wt.%) โดยเชื้อเพลิงขานอ้อยมีข้อดี คือจะมีปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยมากประมาณร้อยละ 1.84-2.15 (wt.%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของขานอ้อย (Bagasse)

Ultimate analysis (wt.%)	Carbon	41.1
	Hydrogen	6.44
	Oxygen	49.9
	Nitrogen	0.25
	Sulphur	0.16
Proximate analysis (wt.%,daf)	Ash	2.15
	Moisture	12.4
LHV (MJ/kg)	-	12.6

(daf ; dry and ash free basis and LHV ; lower heating value (proximate analysis))

ตารางที่ ก-2 ปริมาณการใช้ชีวมวลโดยเฉลี่ยต่อโรง

ชีวมวล	ปี พ.ศ.			
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	เหนือ	กลาง	ใต้
ไม้ฟัน	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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยในปี 2544/2545 [2]

ชนิด	ผลผลิต (10 ⁶ kg)	วัสดุเหลือ ใช้	ปริมาณ วัสดุ เหลือใช้ (10 ⁶ kg)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (TJ)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (MT)	กำลังไฟฟ้า (MW)
อ้อย	60013.00	ชานอ้อย	3,615.00	14.40	52,056.04	1.23	764.21
		ยอด, ใบ	17,870.19	17.39	310,762.62	7.36	4,105.92
ข้าว	26514.00	แกลบ	3,006.42	14.27	42,901.65	1.02	566.83
		ฟางข้าว	8,106.60	10.24	83,011.61	1.97	1,096.78
น้ำมัน ปาล์ม	4089.00	ทะลายน้ำมัน	1,022.05	17.86	18,253.88	0.43	241.18
		เส้นใย	80.55	17.62	1,419.21	0.03	18.75
		กะลา	7.41	18.64	136.85	0.00	1.81
		กากน้ำตาล	10,647.76	9.83	104,667.44	2.48	1,382.91
		ทะลายน้ำมัน ผู้	952.74	16.33	15,558.20	0.37	205.56
มะพร้าว	1396.00	เปลือก	300.68	16.23	4,880.11	0.12	64.48
		กะลา	84.43	17.93	1,513.83	0.04	20.00
		ทะลายน้ำมัน	57.66	15.40	888.03	0.02	11.73
		ทาง	254.11	16.00	4,065.71	0.10	53.72
มัน สำปะหลัง	16868.00	ต้น	604.14	18.42	11,128.34	0.26	147.03
ข้าวโพด	4466.00	ซัง	816.88	18.04	14,736.44	0.35	194.71
ถั่วลิสง	129.00	เปลือก	41.67	12.66	527.50	0.01	6.97
ฝ้าย	36.00	ลำต้น	116.35	14.49	1,685.94	0.04	22.27
ถั่วเหลือง	292.00	ลำต้น, ใบ	590.97	19.44	11,488.51	0.27	151.79
ข้าวฟ่าง	145.00	ใบและต้น	117.64	19.23	2,262.18	0.05	45.14
เศษไม้	10268.00	กิ่งก้าน	2,669.68	14.98	39,991.81	0.95	528.39
รวมวัสดุ เหลือใช้			48,293.26				
รวม พลังงาน ทั้งหมด					721,935.91	17.10	9,630.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 การเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 20 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชานอ้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 50 % : Secondary Air = 50 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	932.5384	953.6934	943.5932	856.3953	868.3942	843.2953
0.2	884.2834	894.5832	889.6035	799.6592	812.1625	750.0733
0.4	784.5927	811.6219	779.1304	712.3191	758.3916	656.4683
0.6	715.0161	699.9104	724.4841	634.1367	700.6813	601.9311
0.8	645.4375	588.1989	669.8378	555.9543	642.9731	547.3494
1.0	598.4395	545.3442	603.4832	523.3943	602.3945	512.4935
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	753.8439	773.2398	789.7582	749.3685	731.8839
1.0	695.5714	733.2107	755.0018	734.9595	713.9395
1.2	648.8048	695.7347	741.7275	719.6034	699.8838
1.4	602.0382	658.2587	728.4531	704.2473	685.8282
1.6	556.3422	627.1283	719.5977	681.0697	659.4938
1.8	510.6462	595.9979	710.7423	657.8921	633.1594
2.0	489.3832	552.5484	672.4583	642.4383	616.2484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 20 %, Primary Air 50 % : Secondary Air 50 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	19:54:17 PM	19:55:29 PM	19:57:07 PM	20:01:50 PM	20:03:26 PM	20:04:51 PM
O2 [%]	11.24	10.69	14.07	9.3	9.05	10.96
CO [ppm]	3370	1133	167	119	101	119
CO2 [%]	11.85	12.52	8.41	14.2	14.51	12.19
NO [ppm]	189	245	161	231	262	204
NO [ppm]	0.7	0	0	2	2	2.7
FT [°C]	66.3	130.8	118	219.9	201.8	208.9
NOx [ppm]	190	245	161	233	264	207
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1194	616	71	41	30	26
EffN [%]	96.7	96.4	96.3	95.2	95.7	94.9
eta [%]	92.6	92.4	92.3	91.2	91.7	90.9
Rati []	0.0284	0.009	0.002	0.0008	0.0007	0.001
AT [°C]	29.8	29.9	29.9	30.2	30.2	30.2
IT [°C]	30.1	30.4	30.6	31	31.1	31.2
td [°C]	48.8	49.6	43.9	51.5	51.9	49.2
[h] O/h	27.4	27.4	27.4	27.4	27.5	27.5
Pump [l/min]	1.05	1.05	1.05	1.06	1.04	1.04
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	20:06:44 PM	20:07:44 PM	20:08:42 PM	20:10:17 PM	20:12:08 PM
O2 [%]	9.59	9.89	10.36	9.77	9.75
CO [ppm]	145	65	25	19	9
CO2 [%]	11.45	12.65	12.91	13.64	13.66
NO [ppm]	205	229	241	253	243
NO [ppm]	3.7	3.1	2.5	1.7	1.5
FT [°C]	252.6	273.8	296	329.8	350.6
NOx [ppm]	209	221	244	255	244
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	44	29	15	14	7
EffN [%]	94.3	94.1	92.9	92.4	91.9
eta [%]	90.4	90.1	89	88.5	88.1
Rati []	0.001	0.001	0.0002	0.0001	0
AT [°C]	30.2	30.3	30.4	30.4	30.4
IT [°C]	31.2	31.3	31.4	31.5	31.6
td [°C]	51.1	50.5	50.1	50.9	50.9
[h] O/h	27.5	27.5	27.5	27.5	27.6
Pump [l/min]	1.05	1.04	1.04	1.01	1
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 20 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 40 % : Secondary Air = 60 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	943.5834	963.6183	942.4582	819.3384	856.4253	823.5184
0.2	923.6843	926.3384	906.0882	788.0934	815.9197	774.6933
0.4	897.2836	898.3682	840.8443	739.4608	784.8157	692.8109
0.6	776.5283	781.4833	760.7116	703.6776	719.9413	667.7476
0.8	655.7731	664.5874	680.5803	667.8943	655.0669	642.6843
1.0	598.3295	606.9534	635.3915	633.6424	624.3895	612.5832
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	686.9523	758.4389	792.5954	774.5873	745.6943
1.0	684.1989	754.604	781.7687	761.9867	736.2382
1.2	682.3489	758.7653	772.3477	748.7267	726.3751
1.4	680.4989	762.9266	762.9266	735.4863	716.5512
1.6	597.2725	669.6495	724.7479	697.0621	679.4739
1.8	514.0461	576.3723	686.5693	658.6379	642.4357
2.0	483.9372	539.2894	638.3822	621.4365	612.9738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 20 %, Primary Air 40 % : Secondary Air 60 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	18:15:51 PM	18:17:49 PM	18:20:49 PM	18:23:15 PM	18:26:08 PM	18:27:53 PM
O2 [%]	12.14	13.7	12.39	11.65	11.91	9
CO [ppm]	3940	2120	116	133	87	127
CO2 [%]	10.76	8.86	10.46	11.36	11.04	15
NO [ppm]	173	111	184	203	202	298
NO [ppm]	4	16.4	4.7	8.4	5.2	7
FT [°C]	95.2	211.9	196.6	244.2	150.8	185
NOx [ppm]	177	127	188	212	207	190
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1007	1537	60	44	21	49
EffN [%]	95.2	93.3	94.6	93.5	96.2	96
eta [%]	91.2	89.4	90.6	89.6	92.2	92
Rati []	0.0366	---	0.0011	0.0012	0.0008	0
AT [°C]	30.7	30.8	30.8	30.8	31	31
IT [°C]	30.4	30.8	31.1	31.2	31.5	32
td [°C]	47.3	44.6	46.9	48.1	47.7	52
[h] O/h	27	27	27.1	27.1	27.1	27
Pump [l/min]	1.08	1.07	1.07	1.07	1.06	1
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	26

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	18:29:46 PM	18:32:18 PM	18:51:30 PM	18:53:13 PM	18:57:14 PM
O2 [%]	8.75	9.56	14.65	7.27	8.84
CO [ppm]	143	167	44	40	28
CO2 [%]	14.88	13.75	15.71	16.67	14.76
NO [ppm]	272	269	144	285	279
NO [ppm]	6.2	6.8	4	4.5	2.7
FT [°C]	225.7	245.8	165.1	275.3	316.6
NOx [ppm]	180	210	230	240	230
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	28	29	30	19	22
EffN [%]	95.2	95.1	94.3	94.6	93.2
eta [%]	91.3	91.1	90.4	90.7	89.3
Rati []	0.001	0.0011	0.0006	0.0002	0.0002
AT [°C]	31	30.9	31	30.9	31.1
IT [°C]	31.8	31.9	32.2	32.2	32.3
td [°C]	52.2	50.1	42.7	54.1	52.1
[h] O/h	27.1	27.2	27.2	27.2	27.3
Pump [l/min]	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 3

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 20 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 30 % : Secondary Air = 70 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	858.3874	843.9338	831.4953	742.4387	730.7493	723.4953
0.2	846.6422	833.3747	826.4783	734.0902	723.4833	715.7289
0.4	834.2487	828.9818	824.6541	721.1409	703.4792	679.1624
0.6	746.7351	738.6884	725.7328	690.3794	660.9497	638.7787
0.8	659.2534	648.3975	626.8018	620.5443	618.4074	598.3395
1.0	613.6943	602.9553	589.3795	573.5835	563.3855	545.4952
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	698.4835	732.2754	746.4733	713.5593	693.5389
1.0	659.3205	681.9668	720.5914	707.6646	687.7738
1.2	630.2462	658.0827	717.3745	702.2766	681.3593
1.4	601.1772	634.1986	689.5874	696.8885	674.9806
1.6	553.9612	599.1925	668.4215	667.2177	654.3795
1.8	506.7504	564.1863	647.2959	637.5947	621.8956
2.0	487.4383	524.4783	612.4383	593.5874	603.5382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 20 %, Primary Air 30 % : Secondary Air 70 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	21:21:45 PM	21:23:18 PM	21:24:35 PM	21:25:16 PM	21:26:33 PM	21:28:11 PM
O2 [%]	13.42	16.44	14.95	14.95	12.77	12.88
CO [ppm]	4346	3201	2675	2500	1550	900
CO2 [%]	9.21	5.54	7.35	7.35	9.99	9.86
NO [ppm]	122	59	75	75	112	101
NO [ppm]	18.1	34.5	42.7	42.7	40.2	47.4
FT [°C]	164.5	191.4	195.1	195.1	235.3	251.5
NOx [ppm]	141	94	117	125	152	148
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	554	1036	885	885	701	1031
EffN [%]	93.3	86.9	90.2	90.2	91.6	90.4
eta [%]	89.4	83.2	86.4	86.4	87.8	86.6
Rati []	0.0255	0.0578	0.0364	0.0364	0.0213	0.0297
AT [°C]	29.8	29.9	29.9	29.9	30.1	30.2
IT [°C]	30.2	30.4	30.5	30.5	30.6	30.9
td [°C]	45.1	38.7	42.1	42.1	46.3	46.1
[h] O/h	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
Pump [l/min]	1.08	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	21:29:54 PM	21:31:49 PM	21:33:07 PM	21:34:23 PM	21:35:46 PM
O2 [%]	15.02	13.39	14.25	13.12	12.18
CO [ppm]	835	775	725	847	911
CO2 [%]	7.27	9.24	8.19	9.57	10.72
NO [ppm]	59	103	103	98	141
NO [ppm]	53.9	29.8	23.6	28.5	13.9
FT [°C]	207.7	244.1	254.4	286.9	317.2
NOx [ppm]	113	133	126	126	155
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1070	266	176	318	744
EffN [%]	88.7	91.2	90.5	90.6	90.5
eta [%]	84.9	87.4	86.7	86.8	86.7
Rati []	0.0498	0.0169	0.0089	0.0089	0.0085
AT [°C]	30.5	30.5	30.2	30.3	30.5
IT [°C]	31.1	31.4	31.5	31.7	31.9
td [°C]	42	45.2	43.5	45.7	47.3
[h] O/h	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
Pump [l/min]	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 4

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 40 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขานอ้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 50 % : Secondary Air = 50 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	730.9343	883.2953	852.3952	889.2953	836.3953	789.3952
0.2	673.0972	852.3539	809.9544	847.8662	788.0238	727.0757
0.4	656.5019	799.0594	724.2214	796.5325	734.2861	640.9585
0.6	618.8188	707.1105	654.6642	742.2816	666.5933	567.8357
0.8	581.1358	615.1616	585.1069	688.0306	598.8999	494.7173
1.0	543.2953	567.3953	532.3052	643.2953	552.3953	465.3953
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	724.8437	646.8374	698.9352	732.4579	734.4993
1.0	689.4001	593.5735	676.2226	713.7865	712.1826
1.2	599.1328	542.3707	630.5618	696.9302	688.1186
1.4	508.8655	491.2064	584.9301	680.0174	664.0545
1.6	466.3592	469.0366	551.4354	667.2438	633.4514
1.8	423.8753	446.8667	517.9698	654.4785	602.8482
2.0	393.3587	425.2975	473.5894	637.4729	572.5973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 40 %, Primary Air 50 % : Secondary Air 50 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	14:06:35 PM	14:09:00 PM	14:11:37 PM	14:14:18 PM	14:16:45 PM	14:18:55 PM
O2 [%]	17.14	10.78	11.37	14.35	12.67	11.99
CO [ppm]	2510	1552	688	584	268	216
CO2 [%]	4.69	12.41	11.7	8.08	10.11	10.94
NO [ppm]	109	207	208	155	172	191
NO [ppm]	0.5	1	2	2.2	3.2	5.2
FT [°C]	74.8	149.6	261.2	259.2	236.8	219.3
NOx [ppm]	110	208	210	158	176	196
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	392	65	299	82	65	138
EffN [%]	93.2	96.5	92.9	90.4	93.1	94.1
eta [%]	89.3	92.5	89	86.7	89.2	90.2
Rati []	0.0535	0.002	0.0059	0.0072	0.0026	0.002
AT [°C]	32	32.1	32.2	32.2	32.1	32.5
IT [°C]	37.2	37.1	37.1	37.1	36.8	36.8
td [°C]	36.9	49.4	48.6	43.4	46.4	47.6
[h] O/h	25.4	25.5	25.5	25.5	25.6	25.6
Pump [l/min]	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	14:21:23 PM	14:23:21 PM	14:25:23 PM	14:27:15 PM	14:29:32 PM
O2 [%]	10.17	10.19	12.82	12.28	11.32
CO [ppm]	286	86	48	37	40
CO2 [%]	13.14	13.12	9.94	10.58	11.75
NO [ppm]	228	241	186	182	212
NO [ppm]	3	3.7	2	2.5	1.7
FT [°C]	182.1	210.8	246.8	328.8	383
NOx [ppm]	231	225	188	184	214
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	58	17	22	1	12
EffN [%]	95.8	95.2	92.8	90.7	90
eta [%]	91.8	91.3	89	86.9	86.2
Rati []	0.0022	0.0004	0.0005	0.0003	0.0003
AT [°C]	32.7	32.5	32.5	32.5	32.6
IT [°C]	36.6	36.6	36.6	36.5	36.5
td [°C]	50.3	50.3	46.2	47.1	48.6
[h] O/h	25.6	25.6	25.7	25.7	25.7
Pump [l/min]	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 5

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 40 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขานอ้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 40 % : Secondary Air = 60 %

r/R \ x/D	3	4	5	6	7	7.75
0.0	953.4895	963.2943	924.3953	931.2953	857.3405	823.9248
0.2	930.7381	936.6021	861.3511	866.6673	805.2246	769.5579
0.4	827.5296	898.3433	783.9874	846.1109	788.8642	661.3657
0.6	761.8056	790.8913	693.3977	756.9867	702.4398	589.0707
0.8	696.0852	683.4392	602.8553	667.8625	616.4595	516.7756
1.0	653.3953	643.4963	563.3952	613.9353	573.3953	473.3953
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

r/R \ x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	756.8849	723.9303	789.2538	767.4898	750.4859
1.0	695.9454	635.2022	709.0887	740.9891	730.1336
1.2	576.0004	546.2478	610.2264	707.5481	671.2007
1.4	555.7877	537.7967	613.2839	722.0988	696.5452
1.6	505.9215	497.5451	562.3524	698.0976	654.4065
1.8	456.0554	457.2935	511.3641	674.1072	612.2677
2.0	406.9784	418.3385	478.5889	634.4252	579.8345

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 40 %, Primary Air 40 % : Secondary Air 60 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	21:16:57 PM	21:23:45 PM	21:27:12 PM	21:29:43 PM	21:34:58 PM	21:37:19 PM
O2 [%]	13.66	11.97	13.74	11.47	6.27	10.08
CO [ppm]	-----	50	141	75	104	48
CO2 [%]	8.91	10.97	8.82	11.58	17.89	13.26
NO [ppm]	170	235	183	240	322	259
NO [ppm]	4	2.7	1	0.7	1	1.2
FT [°C]	208.8	302.4	297.8	294.4	197.7	286.6
NOx [ppm]	173	238	184	240	323	260
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1914	29	39	28	90	33
EffN [%]	93.4	91.7	90.1	92.3	96.4	93.3
eta [%]	89.5	87.8	86.3	88.4	92.4	89.4
Rati []	-----	0.0005	0.0016	0.0006	0.0006	0.0004
AT [°C]	29.6	29.8	30.2	30.4	30.3	30.3
IT [°C]	29.1	30.2	30.6	30.9	31.3	31.5
td [°C]	44.7	47.6	44.3	48.4	55.2	50.5
[h] O/h	24.9	25	25	25.1	25.1	25.2
Pump [l/min]	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	21:39:20 PM	21:42:45 PM	21:54:24 PM	21:56:23 PM	21:58:32 PM
O2 [%]	13.46	12.05	11.29	6.98	14.67
CO [ppm]	15	11	7	7	14
CO2 [%]	9.16	11.1	11.8	17.02	7.69
NO [ppm]	180	195	202	278	133
NO [ppm]	0.2	1.9	1.7	1.5	0.7
FT [°C]	213.8	215.3	229.2	331.1	311.3
NOx [ppm]	180	189	204	279	134
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	23	30	37	36	48
EffN [%]	93.4	93.1	94.2	93.6	88.4
eta [%]	89.5	89.8	90.3	89.7	84.7
Rati []	0.0002	0	0	0	0.0002
AT [°C]	30.6	30.7	30.8	29.3	29.9
IT [°C]	31.6	32.1	33	33.4	33.9
td [°C]	45.1	47.3	48.7	54.4	42.7
[h] O/h	25.2	25.2	25.3	25.3	25.4
Pump [l/min]	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 6

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 40 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 30 % : Secondary Air = 70 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	947.3943	967.3095	893.5823	932.5893	892.3952	836.3953
0.2	917.6243	937.7484	840.2199	890.5458	836.9703	781.6494
0.4	804.7668	804.0493	742.3958	817.8903	770.1306	698.2072
0.6	725.3724	716.8557	654.6688	755.0263	693.3698	602.3215
0.8	645.8813	629.6184	566.9419	692.1623	616.6409	506.3471
1.0	598.3955	587.3985	533.3953	612.5933	567.9353	478.3953
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	722.3845	735.0557	768.2475	774.8946	768.4485
1.0	679.2244	706.0438	731.0558	765.3953	752.5358
1.2	612.7382	673.5195	688.5199	756.2091	735.2335
1.4	546.2521	641.0401	645.9841	747.0229	717.9311
1.6	509.7097	597.6531	605.8997	719.8008	687.9872
1.8	473.3442	554.3053	565.8153	692.5493	658.0433
2.0	442.6809	526.3575	529.3545	661.0586	623.5849

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 40 %, Primary Air 30 % : Secondary Air 70 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	18:34:49 PM	18:36:29 PM	18:38:16 PM	18:40:25 PM	18:42:04 PM	18:45:02 PM
O2 [%]	14.17	11.69	10.39	10.45	11.71	12.65
CO [ppm]	2281	50	32	44	55	85
CO2 [%]	8.3	11.31	12.88	12.81	11.28	10.14
NO [ppm]	143	224	265	259	214	197
NO [ppm]	7.2	3.5	3.7	3.7	3.5	3
FT [°C]	212	249.6	257.8	265.4	267.9	143.7
NOx [ppm]	151	227	269	262	218	200
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	405	21	16	14	15	37
EffN [%]	90.9	93.4	93.9	93.7	92.9	96.1
eta [%]	87.1	89.5	90	89.8	89	92.1
Rati []	0.0275	0.0004	0.0003	0.0003	0.0005	0.0008
AT [°C]	30.9	30.7	30.8	30.7	31.2	30.6
IT [°C]	36.1	35.9	35.8	35.5	35.6	35.4
td [°C]	43.7	48.1	50	49.9	48	46.5
[h] O/h	26.1	26.1	26.1	26.1	26.2	26.2
Pump [l/min]	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.91
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	18:46:47 PM	18:48:50 PM	18:50:58 PM	18:54:02 PM	18:58:59 PM
O2 [%]	10.83	9.79	10.71	9.32	13.08
CO [ppm]	43	10	24	12	14
CO2 [%]	12.35	13.61	12.49	14.18	9.62
NO [ppm]	226	254	236	298	190
NO [ppm]	5.2	4.2	3.7	2.7	2.2
FT [°C]	249.8	277.2	291.2	368.7	377.2
NOx [ppm]	231	259	240	301	192
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	20	13	23	12	6
EffN [%]	93.9	93.7	92.9	91.7	88.3
eta [%]	90	89.8	89	87.9	84.6
Rati []	0.0003	0	0.0002	0	0.0001
AT [°C]	31.1	30.9	30.9	30.8	30.7
IT [°C]	35.4	35.3	35.2	35.1	34.9
td [°C]	49.4	50.9	49.5	51.5	45.7
[h] O/h	26.2	26.2	26.3	26.3	26.3
Pump [l/min]	0.91	0.9	0.91	0.9	0.9
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 7

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 60 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 50 % : Secondary Air = 50 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	700.22146	850.2146	843.2645	775.2654	789.2612	760.2185
0.2	688.30458	795.0706	802.4349	715.9563	753.8481	727.9474
0.4	650.89222	697.5299	734.1104	650.7027	718.8589	660.0425
0.6	629.78603	623.0239	679.6953	606.3014	677.9741	598.1236
0.8	608.67984	548.5179	625.2801	561.9001	637.0894	536.2048
1.0	598.25695	538.4956	610.2623	545.2166	629.2626	526.2656
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	722.3944	782.9743	802.3594	782.2791	752.5394
1.0	664.4302	744.2622	769.8616	748.9993	730.6527
1.2	617.0839	691.8191	757.0106	733.7876	717.2668
1.4	569.7375	639.3759	744.1595	718.5759	703.8808
1.6	541.1091	604.3384	709.7813	682.4192	664.9169
1.8	512.4807	569.3009	675.4031	646.2624	625.9529
2.0	483.2594	531.2094	624.3794	593.9023	572.3794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ประยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 60 %, Primary Air 50 % : Secondary Air 50 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	16:53:24 PM	16:55:50 PM	16:57:37 PM	16:59:58 PM	17:01:31 PM	17:03:33 PM
O2 [%]	15.86	10.42	5.16	9.21	10.13	15.87
CO [ppm]	3803	2568	2192	1132	957	762
CO2 [%]	6.24	12.84	19.23	14.32	13.2	12.22
NO [ppm]	80	160	302	253	233	113
NO [ppm]	0.7	2.5	5.7	9.9	7.9	6.9
FT [°C]	83.5	173	148.4	208.4	211.8	129.4
NOx [ppm]	81	163	289	263	241	120
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1005	1644	766	466	187	225
EffN [%]	92.9	96.1	96.7	95	94.7	93.2
eta [%]	89	92.1	92.7	91.1	90.7	89.3
Rati []	0.0609	-----	0.0114	0.0079	0.0073	0.0251
AT [°C]	31.8	31.9	31.9	31.9	31.7	32.2
IT [°C]	32.1	32.4	32.5	32.8	32.8	32.9
td [°C]	40.1	50	56.4	51.6	50.4	40.1
[h] O/h	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8
Pump [l/min]	1.09	1.08	1.09	1.08	1.07	1.07
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	17:05:33 PM	17:06:44 PM	17:08:14 PM	17:10:07 PM	17:12:02 PM
O2 [%]	9.71	8.59	12.38	10	10.18
CO [ppm]	377	120	156	100	49
CO2 [%]	13.71	15.07	10.47	13.36	13.14
NO [ppm]	229	258	166	261	268
NO [ppm]	6.4	5.2	4.5	3.7	3.7
FT [°C]	206.8	266.9	309	367.6	382.4
NOx [ppm]	236	264	171	265	272
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	90	35	62	29	12
EffN [%]	95.3	94.4	91.1	91.3	90.9
eta [%]	91.3	90.5	87.3	87.5	87.1
Rati []	0.0027	0.0008	0.0015	0.0007	0.0004
AT [°C]	32.3	32.2	32.1	32.2	32.1
IT [°C]	33.1	33.1	33.1	33.1	33.2
td [°C]	51	52.4	46.9	50.6	50.3
[h] O/h	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9
Pump [l/min]	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 8

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 60 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 40 % : Secondary Air = 60 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	715.71255	808.2651	824.0656	729.2552	741.2895	721.2624
0.2	712.70117	788.9543	813.4683	717.7961	733.9853	700.4417
0.4	710.55106	742.9531	749.1907	698.6799	723.2955	640.5118
0.6	646.08251	618.3267	643.2902	584.7699	639.7983	542.1801
0.8	581.61396	493.7225	537.3897	470.8826	556.3011	443.8484
1.0	561.65465	482.2145	515.0556	460.2175	531.0662	425.1656
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	683.3292	741.7394	732.9634	716.2974	691.4283
1.0	639.2226	690.3426	725.0038	698.6062	674.2741
1.2	584.6305	632.5406	713.8801	681.8694	656.2345
1.4	530.0385	574.7385	702.7565	665.1326	638.1949
1.6	464.1054	503.7501	623.1209	595.6456	555.8208
1.8	398.1722	432.6634	543.4854	526.1586	473.4467
2.0	358.9734	399.2294	482.4879	468.3292	421.3794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 60 %, Primary Air 40 % : Secondary Air 60 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	15:04:51 PM	15:07:09 PM	15:09:32 PM	15:14:49 PM	15:19:21 PM	15:21:41 PM
O2 [%]	16.19	5.09	6.52	15.19	11.39	18.23
CO [ppm]	4831	904	1383	4577	1557	1221
CO2 [%]	5.84	19.32	17.58	7.06	11.66	3.36
NO [ppm]	98	244	270	79	210	66
NO [ppm]	6.2	4	8.4	19.1	13.6	4.7
FT [°C]	118.4	181.7	264.4	191.1	228.1	106.9
NOx [ppm]	104	248	278	98	224	71
SO2 [ppm]	0	73	0	0	0	0
H2 [ppm]	754	976	439	814	528	146
EffN [%]	89.6	96.7	94.6	88.4	93.3	90.8
eta [%]	85.8	92.6	90.7	84.7	89.4	87
Rati []	0.0828	0.0047	0.0079	0.0649	0.0133	0.0363
AT [°C]	33.1	32.9	34.1	34.7	33.9	34
IT [°C]	40.6	40.5	40.6	40.1	40.2	40.1
td [°C]	39.3	56.5	54.9	41.6	48.5	33.6
[h] O/h	26.4	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5
Pump [l/min]	1.07	1.07	1.08	1.08	1.09	1.08
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	15:23:53 PM	15:25:28 PM	15:27:05 PM	15:28:45 PM	15:30:44 PM
O2 [%]	14.12	11.12	10.15	11.45	12.15
CO [ppm]	202	204	84	115	59
CO2 [%]	8.35	11.99	13.17	11.59	10.75
NO [ppm]	161	225	252	217	199
NO [ppm]	4	4.7	5.4	4.9	5.4
FT [°C]	133.9	181.4	297.3	315.5	323.1
NOx [ppm]	165	230	257	222	204
SO2 [ppm]	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	55	66	3	18	0
EffN [%]	95.8	95.6	93.1	91.7	91
eta [%]	91.8	91.6	89.2	87.9	87.2
Rati []	0.0024	0.0017	0.0006	0.001	0.0005
AT [°C]	32.4	32.5	33.8	32.9	33.5
IT [°C]	40.1	40	40	39.9	39.8
td [°C]	43.8	48.9	50.4	48.4	47.3
[h] O/h	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
Pump [l/min]	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 9

อากาศส่วนเกิน (Excess Air) = 60 %

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงขาน้อย = 8.92 kg/hr

Primary Air = 30 % : Secondary Air = 70 %

$r/R \backslash x/D$	3	4	5	6	7	7.75
0.0	970.33563	956.3625	863.0257	899.2145	825.0526	781.2284
0.2	955.34712	926.7841	829.8392	862.6656	803.8171	750.7432
0.4	870.76644	773.2116	710.0103	791.7133	737.9303	630.8523
0.6	771.27709	679.8164	630.7365	733.4596	678.7906	560.6726
0.8	671.78775	586.4212	551.4567	675.2058	619.6508	490.4928
1.0	656.15514	569.2565	538.2654	655.2641	597.2656	475.2546
1.2	-	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-	-	-
1.8	-	-	-	-	-	-
2.0	-	-	-	-	-	-

$r/R \backslash x/D$	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
0.0	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-
0.8	737.5984	721.5394	747.2983	735.9783	721.9938
1.0	666.6088	625.9975	694.4746	728.5253	717.7495
1.2	576.4118	587.9596	660.0917	721.0559	706.7142
1.4	486.2149	549.9217	625.7088	713.5866	695.6789
1.6	472.7653	518.5612	589.4779	688.6135	661.2839
1.8	459.3157	487.2006	553.2547	663.6405	626.8889
2.0	447.3782	459.3872	523.3392	641.3918	592.3889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซ

Testo t350 XL

EA = 60 %, Primary Air 30 % : Secondary Air 70 %

x/D	3	4	5	6	7	7.75
Time	16:10:47 PM	16:13:04 PM	16:14:55 PM	16:17:52 PM	16:21:04 PM	16:24:00 PM
O2 [%]	5.4	11.42	8.99	11.01	12.22	16.12
CO [ppm]	-----	331	203	237	322	1169
CO2 [%]	18.95	11.63	14.59	12.13	10.67	5.92
NO [ppm]	352	218	284	249	201	105
NO [ppm]	2.5	3.5	3.5	4.2	5.9	6.9
FT [°C]	245.2	224	210.9	277.5	290.2	147.2
NOx [ppm]	355	221	287	253	207	112
SO2 [ppm]	149	0	0	0	0	0
H2 [ppm]	1955	133	123	115	302	572
EffN [%]	95.8	94.2	95.5	93	91.7	92.4
eta [%]	91.8	90.2	91.5	89.1	87.9	88.6
Rati []	-----	0.0028	0.0014	0.002	0.003	0.0197
AT [°C]	32.9	32.5	32.4	32.4	32.2	32.5
IT [°C]	37.5	37.2	37	36.8	36.7	36.6
td [°C]	56.1	48.5	51.9	49.1	47.2	39.5
[h] O/h	25.7	25.8	25.8	25.8	25.9	25.9
Pump [l/min]	0.91	0.9	0.91	0.83	0.91	0.91
O2rf [%]	6	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

x/D	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
Time	16:26:01 PM	16:27:59 PM	16:29:51 PM	16:32:08 PM	16:34:29 PM
O2 [%]	12.35	11.59	10.68	11.86	10.08
CO [ppm]	163	43	70	28	45
CO2 [%]	10.5	11.43	12.54	11.1	13.26
NO [ppm]	179	203	245	193	267
NO [ppm]	8.9	5.7	3.5	3	3.2
FT [°C]	233.7	266.8	272.9	315.8	365.5
NOx [ppm]	187	208	249	196	270
SO2 [ppm]	0	0	0	0	2
H2 [ppm]	45	22	35	5	6
EffN [%]	93.5	93	93.4	91.5	91.4
eta [%]	89.6	89.2	89.5	87.6	87.6
Rati []	0.0015	0.0004	0.0006	0.0002	0.0003
AT [°C]	32.7	32.1	32	32.3	32.4
IT [°C]	36.6	36.4	36.3	36.2	36.1
td [°C]	47	48.2	49.6	47.8	50.5
[h] O/h	25.9	26	26	26	26
Pump [l/min]	0.92	0.91	0.91	0.91	0.92
O2rf [%]	6	6	6	6	6
CO2m [%]	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญาานิพนธ์ได้ที่

www.kmitl.info

บทความประกอบการสอบ วิชา 01054025 Project 2 ภาคเรียนที่ 2/2549 วันศุกร์ที่ 9 มีนาคม 2550

พฤติกรรมการเผาไหม้ชานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน¹

ชัยรัตน์ เต็งชัยศรี², นิตกร นุ่นสุข³, อนุสร วงศ์ประเทศ³,

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์⁴

ทศด้อย

ปริญญาานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอดังการศึกษาการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ชานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีการหมุนเวียนภายใน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเผาไหม้ชานอ้อยในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ตลอดจนศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา รวมถึงข้อเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา คือ อากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนการทดลองได้ทำการทดลองในการทดลองในเตาเผาที่มีลักษณะ คือ ผนังเตาเผาเป็นแบบผิวเรียบทั้งด้านล่าง และ ฟริบอร์ตใหญ่ใส่ไซโคลนเข้าข้างใน โดยที่ฟริบอร์ตใหญ่ใส่ไซโคลนเข้าไปข้างในเพื่อทำให้เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ย้อนกลับไปเผาไหม้ซ้ำ ทำให้เกิดการหน่วงของเชื้อเพลิงอยู่ในเวลานานขึ้น จากการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของชานอ้อยที่ 8.92 kg/hr โดยการปรับอากาศส่วนเกิน 3 ค่า คือ 20%, 40%, 60% ตามลำดับ ในการทดลองทำการปรับค่าลมหลักและลมรองมี 3 ค่า คือ 50%/50%, 40%/60%, 30%/70% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า อากาศส่วนเกินที่ 20% และค่าลมหลัก เรืองอัตราส่วนที่ 50%/50% มีการเผาไหม้ที่ดี การทดลองเป็นการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ตลอดความสูงของตัวเตา และก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเตา แก่ CO, CO₂, NO_x จากผลการทดลองพบว่า สำหรับเตาเผาแบบผิวเรียบด้านล่างและฟริบอร์ตใหญ่ด้านบนที่มีไซโคลนภายใน ซึ่งเตาเผาแบบมีไซโคลนภายในจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้กำหนดให้ไม่เกิน 1000°C จากการวิเคราะห์ที่ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-200 ppm ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 94 - 97%

Abstract

The project presents combustion characteristics in a fluidized-bed bagasse furnace with circulation. The objectives are to study characteristics of sugarcane bagasse combustion in a circulating fluidized-bed combustor. The effects of this combustor were studied.

The experiments were made in the typical fluidized bed with the large freeboard and the bed with cyclone in the large freeboard for burning fuel in the combustor. Each type of the beds was test for the same mass flow rate of the bagasse ranging from 6-12 kg/hr and for percent excess air of 20%, 40%, 60% with varying primary air per secondary air at 50:50, 40:60, 30:70 respectively. The optimum test run as found at the excess air of 20% and primary air per secondary air friction of 50%:50% at mass flow rate of 8.92 kg/hr. From the test, flue gas temperature and gaseous emissions particularly in CO, CO₂, NO_x along over the combustor height in FBC as well as the combustor efficiency were measured. From experimental results, maximum flue gas temperatures for each beds are found between 700 and 750°C and the maximum temperature in the combustor is about 1000°C for air friction of 50:50%. From exhaust gas emission measurements, it is found that CO is in a range of 100-200 ppm, NO_x between 100-300 ppm and combustion efficiency ranging from 94 to 97 %.

words: bagasse; combustion; heating value; fluidized-bed combustion

อังกฤษ "Bagasse Combustion Behaviors in a Circulating Fluidized-bed"

ศึกษามหาวิทยาลัยวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q/1 รหัส 47015354

ศึกษามหาวิทยาลัยวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q/2 รหัส 47015398 และ 47015418 ตามลำดับ

ศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0-2326-4197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ความต้องการในการใช้พลังงานในปัจจุบันนี้มีปริมาณมากขึ้นและประกอบด้วยแหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ คือ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่มีอยู่ตามแหล่งต่างๆ มีอัตราการลดลงอย่างมาก ดังนั้นปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนพลังงานจึงดูเหมือนว่าเป็นประเด็นสำคัญที่จะเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา จึงเกิดความคิดริเริ่มที่จะหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนแหล่งพลังงานที่มีใช้อยู่เดิม โดยที่แหล่งพลังงานแหล่งใหม่ที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น ควรจะเป็นแหล่งพลังงานที่ทำได้ง่าย และก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในประเทศไทยนั้นพื้นฐานอาชีพโดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้นวัตถุดิบเหลือใช้จากการเกษตร (Agricultural Residuals) หรือที่รู้จักกันในสายงานทางด้านพลังงานทดแทนว่า "ชีวมวล" (Biomass) ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ตรงข้ามกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน และยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลพิษในอัตราที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากที่สุดในปัจจุบัน คือมลภาวะทางอากาศ (Air pollution) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือระดับท้องถิ่น (Local), ระดับภูมิภาค (Regional) และระดับโลก (Global)

เนื่องจากชีวมวลจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามาก ลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นแบบ Diffusion คือ ก้อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อน แล้วจึงค่อยๆ ลามไปข้างในก้อนเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนก็จะกลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน ที่เรียกว่า Premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิง แข็ง จากการศึกษาที่มีรายงานจำนวนมากของเตาเผาหลายชนิดที่มีการใช้วัสดุชีวมวลหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ในจำนวนเหล่านั้นเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบดดูเหมือนว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือเศษเหลือจากการเกษตรเป็นพลังงาน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบตามธรรมชาติ คือ สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ตามความเหมาะสม ท่างานที่อุณหภูมิต่ำ เงื่อนไขการดำเนินงานที่อุณหภูมิคงที่

ชีวมวลคือวัสดุที่เหลือจากการนำอ้อยสดไปคั้นน้ำ ซึ่งอ้อย 1 ตันเมื่อนำไปคั้นน้ำจะได้ชีวมวลออกมาประมาณ 290 กิโลกรัม ค่าความร้อนของชีวมวลมีค่าประมาณ 1900 kcal/kg จึงน่าจะนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนต่อไป เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.1. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและพัฒนาเตาเผาชีวมวลอ้อยฟลูอิดไดซ์เบด
2. ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ
3. เพื่อศึกษาการกระจายของอุณหภูมิและเสถียรภาพของเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาแบบที่มีไซโคลนภายใน
4. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบที่มีไซโคลนภายใน ได้แก่ อัตราป้อนเชื้อเพลิง, ปริมาณอากาศส่วนเกิน
5. เพื่อศึกษาผลของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น

1.2. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เตาเผาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีไซโคลนภายใน เป็นแนวคิดที่มีการออกแบบซึ่งอาศัยเทคนิคของการเกิด Circulation และการย้อนกลับของเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้ หรือเป็นการกลับมาเผาซ้ำสำหรับเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดความปั่นป่วน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดีขึ้นและเพื่อช่วยเพิ่มเวลาในการเผาไหม้และทำให้เปลวไฟภายในเตามีความเสถียรยิ่งขึ้น และการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีอยู่เดิม พบว่าจะต้องมีความสูงของห้องเผาไหม้ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น ดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลน และ ฟรีนอร์ดใหญ่ เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้สามารถลดความสูงของห้องเผาไหม้ได้ ไม่เกิดการแยกชั้นของการไหลของอนุภาค ช่วยให้เชื้อเพลิงสามารถอยู่ภายในห้องเผาไหม้นานขึ้น ทำให้มีเวลาเพียงพอในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบ ฟรีนอร์ดใหญ่ด้านบน และมีไซโคลนภายในเตา
2. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองเป็นชีวมวล
3. ใช้อากาศส่วนเกิน 20%, 40% และ 60% อัตราป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล 8.92 kg/hr
4. ปรับรับอุณหภูมิห้องทดลองเป็นอัตราส่วน 3 ค่า คือ 50%/50% , 40%/60% , 30%/70% ตามลำดับ
5. ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายใน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกนที่กำหนดไว้ของเตาเผา 11 ตำแหน่ง การกระจายอุณหภูมิในแนวรัศมี 6 ตำแหน่ง อุณหภูมิห้องผสม 1 ตำแหน่ง อุณหภูมิไอเสีย 1 ตำแหน่ง
6. วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผา

1.4. ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเตาเผาชีวมวลแบบวอร์เทค, ฟลูอิดไดซ์เบดและไซโคลน รวมทั้งปัญหา, ข้อจำกัดและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
2. ศึกษาถึงทฤษฎีการเผาไหม้, ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เบดและหลักการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออกแบบสร้างและทดสอบเตาเผาขานอ้อยแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบไฮโคลนภายในเตาเผา ในการเก็บข้อมูลที่ศึกษาดังกล่าว

- 4. ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ได้ทำการกำหนดขึ้น
- 5. บันทึกผลการทดลอง
- 6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาและการปรับปรุง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการทับถมตัวของซากพืชซากสัตว์ ภายใต้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่ง คือ เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ไม้ ชี้อ้อย และแกลบข้าว เป็นต้น เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลนี้ส่วนใหญ่จะได้จากสิ่งที่เหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งสามารถหาได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรม

2.1.1. ขานอ้อย

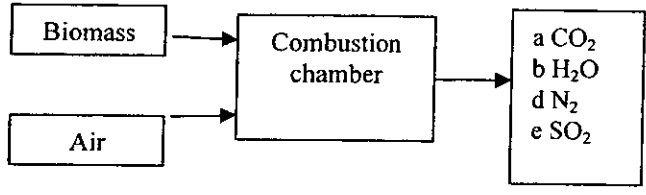
ขานอ้อยที่ใช้ในการทดลองเป็นขานอ้อยที่ได้จากส่วนประกอบของกันอ้อย ซึ่งสามารถอธิบายที่มาของขานอ้อยได้ดังนี้ ได้มาจากการเศษที่เหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกไปจนหมดแล้ว เหลือแต่เส้นใยซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร ขานอ้อยที่ได้มาจากโรงงานมีความชื้นประมาณ 50 % ดังนั้นก่อนที่จะนำมาทดลอง จึงต้องลดความชื้นโดยนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วันแล้วนำตัวอย่างขานอ้อยไปทดลองหาค่าความชื้นมีค่าความชื้น 12.4 %

ข้อดี มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงได้ดีราคาถูกและมีชี้อ้อยเหลือจากการเผาไหม้น้อย

ข้อเสีย มีค่าความชื้นเริ่มต้นในปริมาณที่สูงมาก จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีทำให้ทราบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลของขานอ้อยดังนี้

องค์ประกอบทางเคมี	Bagasse
(12)	41.10
(1)	6.44
(16)	49.90
(14)	0.25
(32)	0.16
ih	2.15
IV(MJ/kg)	12.60
ixture content	12.40

การคำนวณหา AF_{th} อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี เมื่อ $T_{ob} = 33^{\circ}C$ และ มีความชื้นสัมพัทธ์ (RH) = 53 % การสมมูลปฏิกิริยาเคมี



สามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ ดังนี้
 $(3.425 C + 6.44H + 0.0179N + 3.119O + 0.005S + Ash) + 0.4521H_2O + 3.481(O_2 + 3.76N_2) \longrightarrow 3.425CO_2 + 3.672H_2O + 13.098N_2 + 0.005SO_2$
 จะได้ $AF_{th} = 4.994$

2.2. ทฤษฎีฟลูอิดไคซ์ชัน

ฟลูอิดไคซ์ชันเป็นปรากฏการณ์ที่อนุภาคของแข็งขนาดเล็กถูกทำให้ อยู่ในสภาพคล้ายของไหลด้วยการพองโดยก๊าซหรือของเหลวที่ไหลผ่านเบดของแข็งขึ้นไปด้านบนด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง โดยมีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่มีการสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็ง

2.2.1. ประเภทของฟลูอิดไคซ์ชัน

กระบวนการฟลูอิดไคซ์ชันแบ่งตามลักษณะการเกิดได้สองแบบ
 2.2.1.1. ฟลูอิดไคซ์ชันสองสถานะ (Two-phases fluidization) หมายความว่าในหอตทดลอง หรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะคือ ของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไคซ์ชันจึงแบ่งออกอีก 2 ประเภท คือ

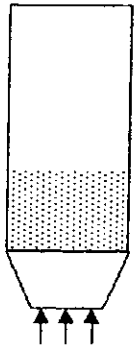
- 1. ก๊าซฟลูอิดไคซ์ชัน (Gas fluidization)
- 2. ฟลูอิดไคซ์ชันของของเหลว (Liquid fluidization)

2.2.1.2. ฟลูอิดไคซ์ชันสามสถานะ (Three-phases fluidization) หมายความว่าภายในหอตทดลองจะประกอบด้วยของสามสถานะในเวลาเดียวกันคือ ของแข็ง, ของเหลว และ ก๊าซ สำหรับฟลูอิดไคซ์ชันสามสถานะเป็นกระบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดไคซ์ชันสองสถานะ

2.2.2. ลักษณะฟลูอิดไคซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึงอาณาเขตในหอตทดลองที่มีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าจะอนุภาคของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในห้องทดลอง จากระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหลจนถึงระดับสูงสุด คือผิวหน้าของอนุภาคของแข็งที่อยู่ในหอตทดลอง ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

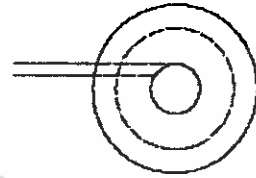


ของไหลความเร็วต่ำ

รูปที่ 1 แสดงระดับของเบตในหอทดลอง

3.2.ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ

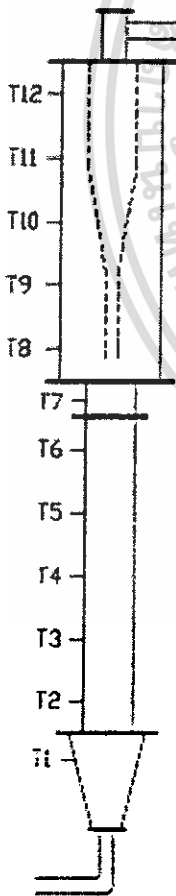
การใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงเป็นแบบเกลียว (Screw Feeder) โดยป้อนตรงเข้าสู่ท่อขนาด 45 mm. ทางด้านล่างของห้องเผาไหม้ กับ ท่อลม Nozzle Jet เป็นลมที่ช่วยพาอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงโดยใช้อากาศพาเชื้อเพลิงชานอ้อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทางด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3



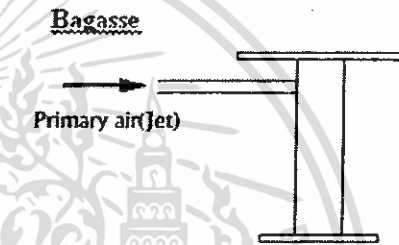
3. การออกแบบเตาเผา

3.1. ลักษณะของเตาเผา

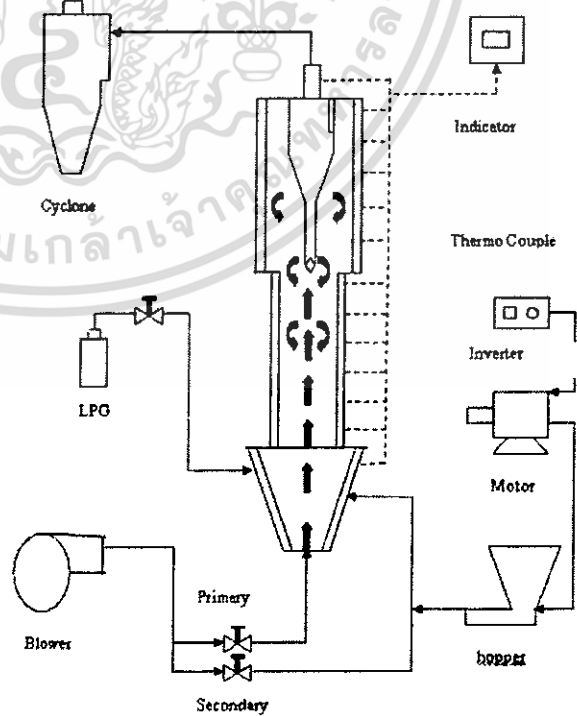
เตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ได้ทำการออกแบบนี้ มีลักษณะ พิจารณาที่ ความสูง คือ 2,400 mm. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ ด้านล่าง(ID) 200 mm. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ ด้านบน(ID) 400 mm. การติดตั้งไซโคลนภายในเฟรบริกใหญ่ ด้านบน



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเตาเผาที่ได้ทำการออกแบบ



รูป 3 ลักษณะการป้อนของเชื้อเพลิงชานอ้อย



รูปที่ 4 การจักระบบการทดลองของเตาเผาชานอ้อยฟลูอิดไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเว็บไซต์นี้โปรดอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณ

4.1. เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน (Percent Excess air)

ในการแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงกำหนดให้อยู่ในรูปของเปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน (percent excess air) คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่า มีปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซนต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100 ถ้าหากปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture) ตรงกันข้ามหากปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่า อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture)

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

โดยที่
EA คือ เปอร์เซนต์อากาศส่วนเกิน (%)
(A/F)_{Actual} คือ อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้จริง
(A/F)_{Stoic} คือ อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้ทฤษฎี

4.2. การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (u_{mf})

จากการประยุกต์สมการของ ERGUN

$$\frac{1.75 (d_p U_{mf} \rho_g)^2}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s \mu^2} + \frac{15(1-\epsilon_{mf}) d_p U_{mf} \rho_g}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s^2 \mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_R - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (2)$$

โดยที่
ε_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่างของซันอ้อย
φ_s คือ สัดส่วนความกลมของซันอ้อย
d_p คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของทลกลมเทียบกับซันอ้อย
ρ_R คือ ความหนาแน่นของซันอ้อย
ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ
μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอากาศ
g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก

4. การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหอตลอดต่อแผ่นกระจายลม

จากสมการในการหาความดันตกคร่อมในเบด

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = (1-\epsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{C_g} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

ΔP_b คือ ความดันตกคร่อมในเบด
L_{mf} คือ ความสูง Reaction zone
ρ_s คือ ความหนาแน่นของซันอ้อย
ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ

ตรวจสอบหาค่า Re เพื่อหาค่า Cd_{or} ของรูจากตาราง

$$Re_t = \frac{d_t u_o \rho_g}{\mu} \quad (4)$$

หา u_{or} จากสมการ

$$U_{or} = Cd_{or} \left\{ \frac{2\Delta P d}{\rho_g} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

หาจำนวนรูต่อพื้นที่และขนาดของรู

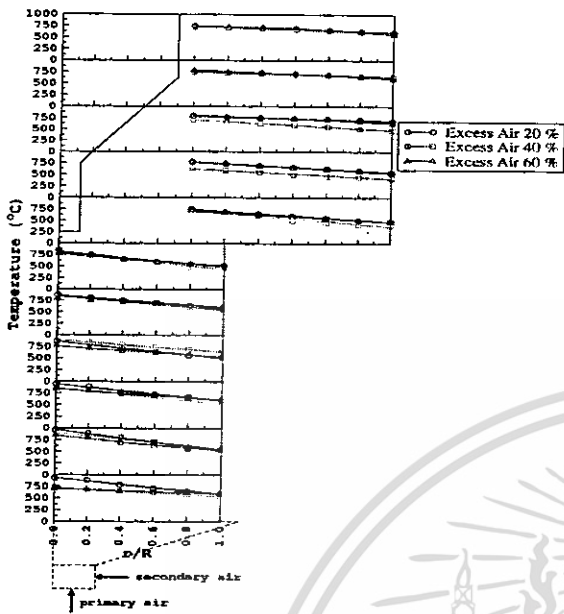
$$U_0 = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 u_{or} N_{or} \quad (6)$$

โดยที่

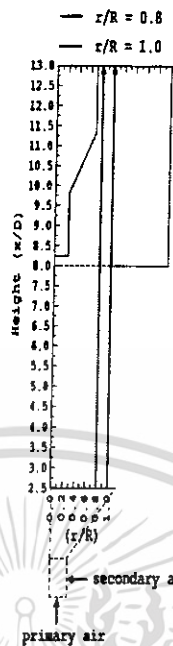
N_{or} คือ จำนวนรูแผ่นกระจายลม
d_{or} คือ ขนาดของ φ รูของ orifice

5. ผลการทดลอง

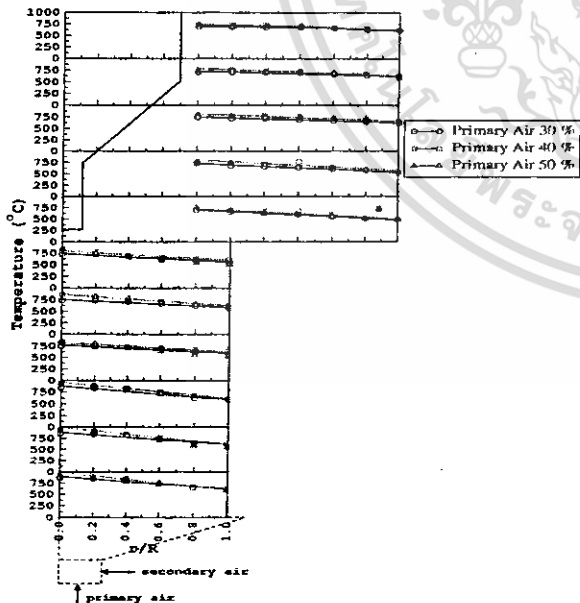
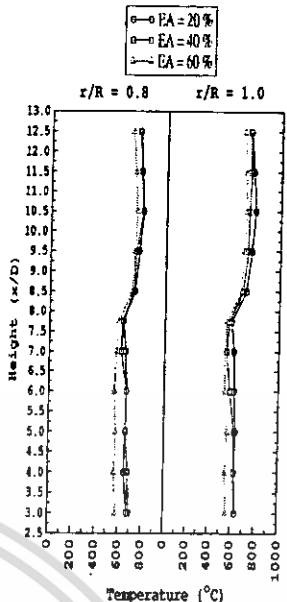
จากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวลของซันอ้อยที่ 8.92 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 20%-40% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับทอลมหลักต่อทอลมรองเป็นอัตราส่วน 3 ค่า คือ 50%/50% , 40%/60% , 30%/70% , ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อากาศ 50%/50% มีการเผาไหม้ดี สำหรับเตาเผาแบบมีไซโคลนภายในจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 1000°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100-200 ppm ก๊าซ NO_x อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 94 - 97%



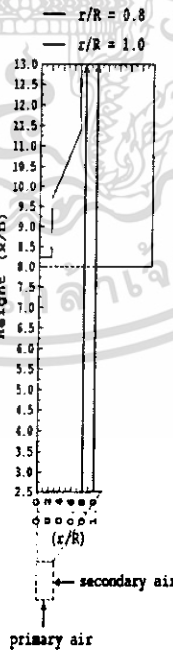
รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%



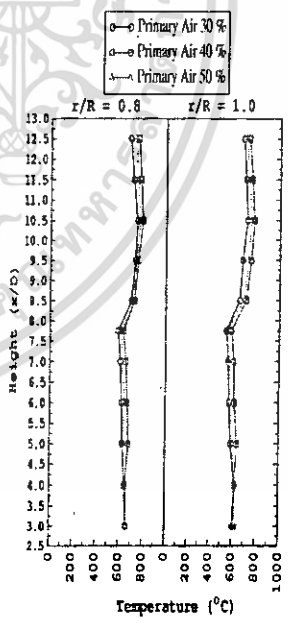
รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%



รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิตามแนวความรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในที่ปรับเปลี่ยนลมต้านหลัก ต่อ ลมต้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ

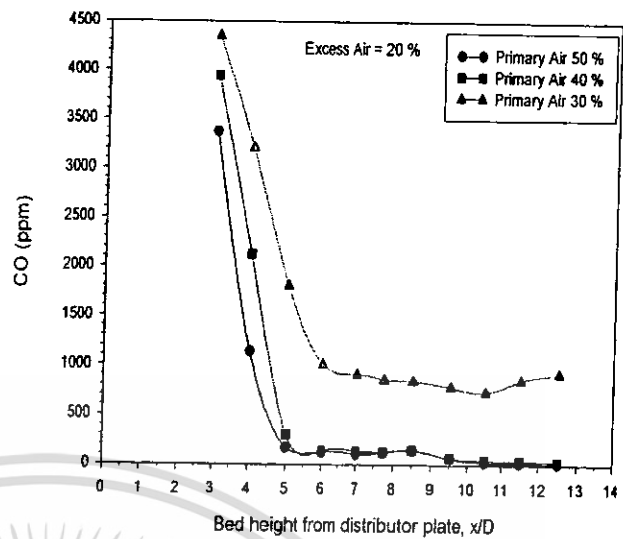
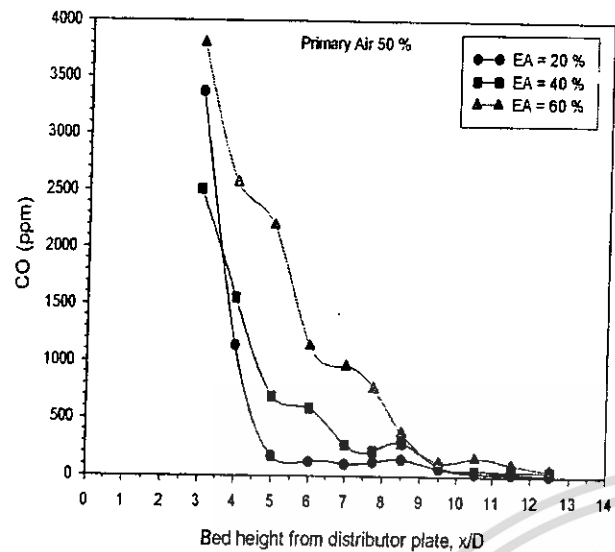


รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในที่ปรับเปลี่ยนลมต้านหลัก ต่อ ลมต้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ



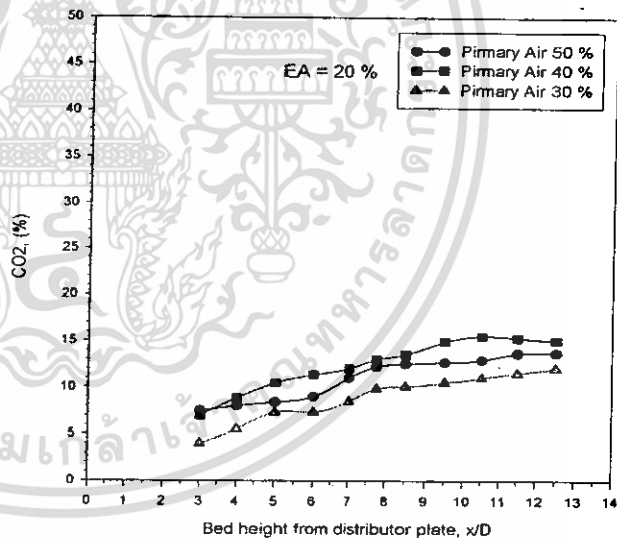
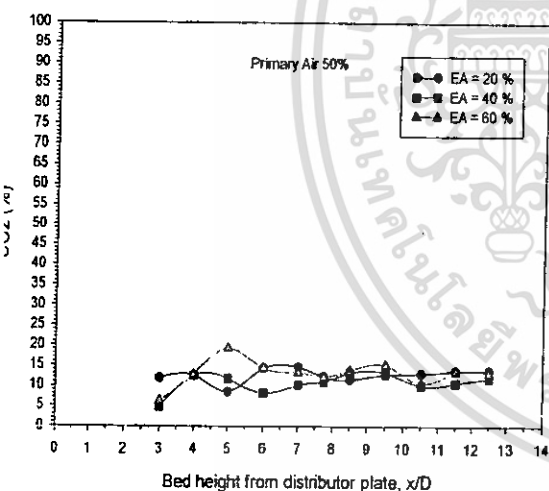
เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัย 30%/70%, ตามลำดับ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

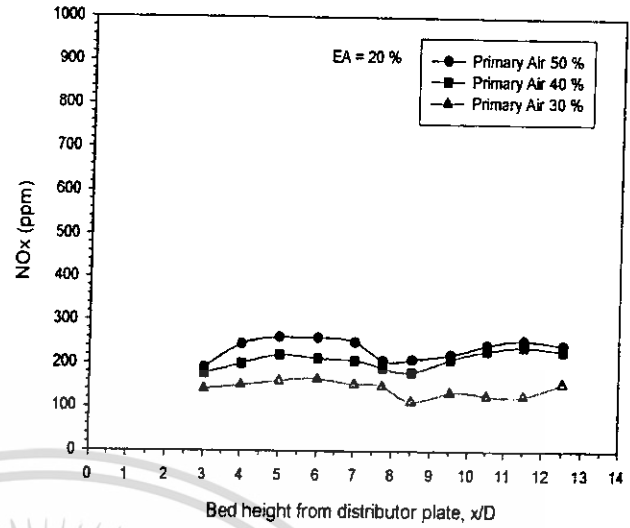
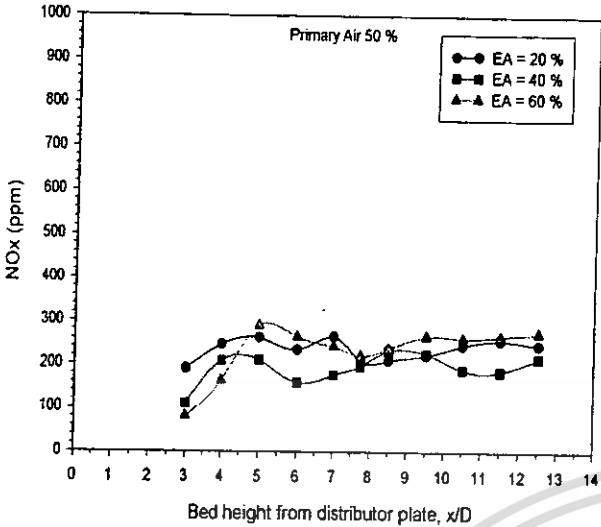
รูปที่ 11 แสดงค่า CO ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก ต่อ ลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ



รูปที่ 10 แสดงค่า CO₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

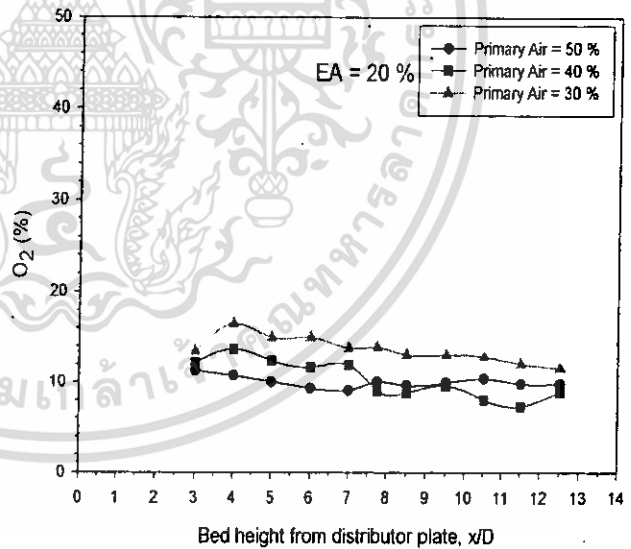
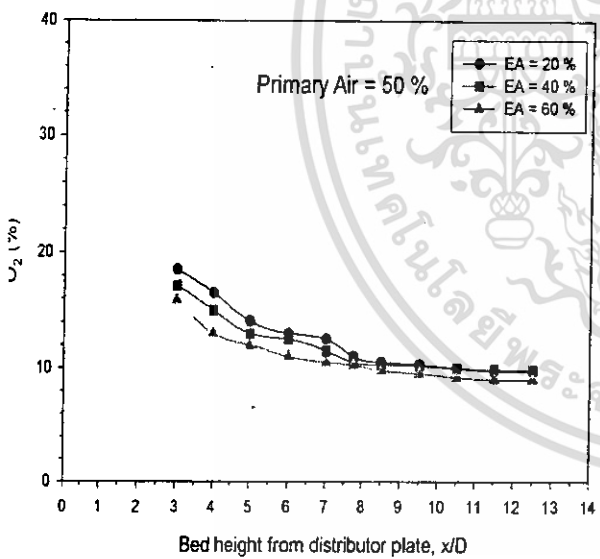
รูปที่ 12 แสดงค่า CO₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก ต่อ ลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงค่า NO_x ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

รูปที่ 15 แสดงค่า NO_x ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายใน อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก ต่อ ลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ



รูปที่ 14 แสดงค่า O₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายในอัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน 20%, 40%, และ 60%

รูปที่ 16 แสดงค่า O₂ ที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบผนังเตาเป็นแบบผิวเรียบที่มีไซโคลนภายใน อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr ที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก ต่อ ลมด้านรอง เป็น 50%/50%, 40%/60%, และ 30%/70%, ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.สรุปผลการทดลอง

- 1.ที่อากาศส่วนเกิน 20% อัตราป้อนเชื้อเพลิง 8.92 kg/hr กับเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดในการทดลองมีความเหมาะสมที่สุด
- 2.ผลของการปรับเปลี่ยนกระแสลมหลักต่อกระแสลมรองที่สัดส่วน 50%/50% ให้ผลดีที่สุด

7.ข้อเสนอแนะ

- ในการศึกษาครั้งนี้ เราได้ทำการพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตาด้วย ดังนั้นเราจึงควรที่จะมีการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวม (Overall Efficiency) ด้วย เพื่อที่จะทำให้เราสามารถทราบถึงปริมาณความร้อนที่จะนำไปใช้งานได้จริงกว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด
- ชานอ้อยเป็นเพียงเชื้อเพลิงชีวมวลที่เราได้เลือกนำมาศึกษา แต่ในความเป็นจริงแล้วในประเทศไทยเรายังมีเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นกากถั่วเหลือง, ชังข้าวโพด, ฟางข้าว เป็นต้น ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆด้วย
- จากการทดลองจะพบว่าปริมาณของ NOx ที่ปล่อยออกมาจากเตายังมีปริมาณที่สูง จึงน่าจะทำการศึกษากว่า ถ้าหากเราเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นเบด จะสามารถช่วยลดปริมาณ NOx ที่ปล่อยออกมาจากเตาได้หรือไม่
- สมมุติฐานและข้อมูลพื้นฐานต่างๆที่เราได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับารเผาไหม้ในเตาเผาแบบนี้ได้ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการศึกษานิตยอนต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาารระบบ Combustion oiler
- นำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ให้มากกว่านี้ เช่นนำไปอบแห้งเมล็ดพืช หรือ พืชผลทางการเกษตร
- ศึกษาถึงกรณีการใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดมาผสมกัน

เอกสารอ้างอิง

- นายดิษฐพร ตุงโสมานนท์ "พฤติกรรมกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดผิวคลื่น" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล "เตาเผาแกลบวอร์เทคหลายชั้น" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
- เสรีย์ ตูประกาย "การศึกษาและออกแบบเตาเผาจากกะกอนแบบฟลูอิดไธซ์เบด" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540

- [4] ศศิวิมล สูงสว่าง "การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไธซ์เบด" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- [5] สำเร้ง จักรใจ "การเผาไหม้" พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [6] 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.
- [7] 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 Flame", 1997, Vol.110, pp. 163 – 172.
- [8] 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
- [9] Daizo K., Octave L., Fluidization Engineering. Butterworth-Heinemann. Second Editions, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้