สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการลดไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

STUDY ON THE REDUCTION OF NITRIC OXIDE FROM FBC FIRING RICE HUSK

T 0 5 5 6 9 5 1

โดย

นายจีรศักดิ์ สีละบุตร

นายทวิช ไชยแสน

นายวิวัฒน์ วงษ์ภูธรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55695
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ค. 2548

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

ปีการศึกษา 2546

การศึกษาการลดไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

โดย

นายจีรศักดิ์ สีละบุตร

นายทวิช ไชยแสน

นายวิวัฒน์ วงษ์ภูธรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. วันพุทธ แซ่ฉั่ว

ผศ. ดร. วัชระ เพิ่มชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการลดไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

(Study on the Reduction of Nitric Oxide from FBC Firing Rice Husk)

ผู้จัดทำ

1. นายจีรศักดิ์ สีละบุตร
2. นายทวิช ไชยแสน
3. นายวิวัฒน์ วงษ์ภูธรณ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. วันพุทธ แซ่ฉั่ว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ดร. วัชระ เพิ่มชาติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการลดไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

จีรศักดิ์ สีละบุตร
ทวิช ไชยแสน
วิวัฒน์ วงษ์ภูธรณ์
อ. วันพุทธ แซ่ฉั่ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ดร. วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาการลดไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีแนวทางการลดไนตริกออกไซด์ 2 วิธี คือ 1) การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นเบดในเตาเผาจากทรายซิลิกาเป็นทรายอลูมินาที่มีอลูมินาเป็นองค์ประกอบ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 2) การใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อย ตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา ในการศึกษาได้ทำการวัดมลพิษที่เกิดขึ้นภายในเตา ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนตริกออกไซด์ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 กก./ชม. และอากาศส่วนเกินระหว่าง 20-120% ผลการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนวัสดุเบดมีผลทำให้ปริมาณไนตริกออกไซด์ลดลงอย่างมากตามปฏิกิริยา $NO + CO \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + CO_2$ (เกิดขึ้นบนเบด) เช่นเดียวกับการใช้เชื้อเพลิงผสมก็สามารถลดปริมาณไนตริกออกไซด์ได้เช่นกัน สำหรับประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามีค่าระหว่าง 94-97% และ 89-93% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THE REDUCTION OF NITRIC OXIDE FROM FBC FIRING RICE HUSK

Mr. Jeerasak Seelabot

Mr. Tawit Chaiyashan

Mr. Wiwat Wongphuton

Ms. Wanphut Sae-chua Advisor

Asst. Prof. Dr. Watchara Permchart Advisor

Year 2003

ABSTRACT

This report presents a study on the reduction of NO from FBC firing rice husk. There were two approaches in this study : 1) switching the bed material from SiO_2 sand to 50% and 99% Al_2O_3-content sand respectively, as well as 2) using the fuel mixed between rice husk and sugar cane bagasse. The combustion and thermal efficiencies were also investigated. In the study, CO and NO concentrations were measured. Fuel feed rate was fixed at 84.2 kg/hr whereas the excess air was varied in the range of 20 to 120%. The results have shown that the changing of the bed material has the effect to reduce NO concentration as followed to the reaction: $NO + CO \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + CO_2$ (activated on the bed material). Besides, NO can also be reduced by using the blended fuel between rice husk and sugar cane bagasse. In addition, the combustion and thermal efficiencies were found to be in the ranges of 94 to 97% and 89 to 93% respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
สารบัญ		ค
รายการตาราง		ฉ
รายการภาพประกอบ		ช
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ		ฎ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1. ที่มาของโครงงาน	1
	1.2. วัตถุประสงค์	2
	1.3. ของเขตของการศึกษา	2
	1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
	2.1. เชื้อเพลิงชีวมวล	4
	2.2. การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประโยชน์	5
	2.2.1. กระบวนการทางชีวภาพ	5
	2.2.2. กระบวนการทางความร้อน	5
	2.3. ทฤษฎีการเผาไหม้	8
	2.4. การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด	12
	2.4.1. เตาเผาแบบดั้งเดิม	14
	2.4.2. เตาเผาประเภท Subri Clay – Metalkiln	15
	2.4.3. เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Bubbing Type	15
	2.4.4. เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Circulating Type	16
	2.5. มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้	18
	2.6. การหาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด	20
	2.6.1. การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้	20
	2.6.2. การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน	20
	2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินงาน	27
	3.1. การประกอบเตา	27
	3.2. การจัดเตรียมเครื่องมือวัด	28
	3.3. การจัดเตรียมเชื้อเพลิง	30
	3.4. การจัดเตรียมทรายที่จะใช้เป็นเบดในการทดลอง	33
	3.5. วิธีการทดลอง	34
	3.5.1. วิธีการทดลองการเผาแกลบกับทรายซิลิกา	34
	3.5.2. วิธีการทดลองการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์	35
	3.5.3. วิธีการทดลองการเผาเชื้อเพลิงผสมกับทรายซิลิกา	36
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	37
	4.1. คุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการทดลอง	37
	4.2. ผลการทดลองเผาแกลบกับทรายซิลิกา	38
	4.3. ผลการทดลองเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์	41
	4.4. เปรียบเทียบลักษณะของ CO และ NO ที่วัสดุเบดต่างกัน	45
	4.4.1. CO Profiles	45
	4.4.2. NO Profiles	46
	4.5. การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อยกับทรายซิลิกา	47
	4.5.1. ส่วนผสมแกลบ 45 เปอร์เซ็นต์ และชานอ้อย 55 เปอร์เซ็นต์	47
	4.5.2. ส่วนผสมแกลบ 75 เปอร์เซ็นต์ และชานอ้อย 25 เปอร์เซ็นต์	50
	4.5.3. เปรียบเทียบลักษณะของ CO และ NO	53
	4.6. การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา	55
	4.6.1. ประสิทธิภาพการเผาไหม้	55
	4.6.2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	56
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	58
	5.1. สรุปผลการศึกษา	58
	5.2. ข้อเสนอแนะ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	60
ก. การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา	60
ข. ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	64
กิตติกรรมประกาศ	75
เอกสารอ้างอิง	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความต้องการการใช้พลังงานภายในประเทศไทย	3
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของทรายที่ใช้เป็นเบดในการเผาไหม้	37
4.2	ขนาดเฉลี่ยของทรายที่ใช้เป็นเบดในการเผาไหม้	37
4.3	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ	55
4.4	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ	57

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน	5
2.2	การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน	5
2.3	ตัวอย่างขนาดของวัสดุคงรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยา	12
2.4	ลักษณะการฟลูอิดไดซ์	13
2.5	ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	14
2.6	เตาเผาแบบดั้งเดิม	14
2.7	เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายใต้ความดันบรรยากาศ	15
2.8	เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายใต้ความดันสูง	16
2.9	เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน	17
3.1	เตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ทำการปรับปรุงและประกอบใหม่	27
3.2	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	28
3.3	เครื่องวัดไอเสีย รุ่น 350	29
3.4	ตำแหน่งที่วัดไอเสีย	30
3.5	แกลบ	30
3.6	แกลบ 75% และชานอ้อย 25%	31
3.7	แกลบ 45% และชานอ้อย 55%	31
3.8	แกลบ 25% และชานอ้อย 75%	32
3.9	ชานอ้อย	32
3.10	ทรายซิลิกา	33
3.11	ทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์	33
4.1	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 40 kg/hr	38
4.2	ปริมาณ O_2ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 40 kg/hr	38
4.3	ปริมาณ CO_2 ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 40 kg/hr	38
4.4	ปริมาณ CO ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 40 kg/hr	38
4.5	ปริมาณ NO ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 40 kg/hr	39
4.6	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	39
4.7	ปริมาณ O_2ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	39
4.8	ปริมาณ CO_2 ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	39
4.9	ปริมาณ CO ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.10	ปริมาณ NO ของการเผาแกลบกับทรายซิลิกาที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	40
4.11	ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน	40
4.12	ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน	41
4.13	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	41
4.14	ปริมาณ O_2 ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	41
4.15	ปริมาณ CO_2 ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	41
4.16	ปริมาณ CO ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	42
4.17	ปริมาณ NO ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	42
4.18	ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	43
4.19	ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 20 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	43
4.20	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 40 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	44
4.21	ปริมาณ O_2 ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 40 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	44
4.22	ปริมาณ CO_2 ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 40 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	44
4.23	ปริมาณ CO ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 40 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	44
4.24	ปริมาณ NO ของการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์ ความสูงทราย 40 cm ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	45
4.25	เปรียบเทียบ CO ของวัสดุเบดต่าง กัน	45
4.26	เปรียบเทียบ NO ของวัสดุเบดต่างกัน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.27	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	47
4.28	ปริมาณ O_2ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	47
4.29	ปริมาณ CO_2 ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	48
4.30	ปริมาณ CO ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	48
4.31	ปริมาณ NO ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	48
4.32	ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกันของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55%	49
4.33	ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกันของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 45% BG 55%	50
4.34	อุณหภูมิการเผาไหม้ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	50
4.35	ปริมาณ O_2ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	50
4.36	ปริมาณ CO_2 ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	51
4.37	ปริมาณ CO ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	51
4.38	ปริมาณ NO ของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25% ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr	51
4.39	ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกันของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25%	52
4.40	ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกันของการเผาเชื้อเพลิงผสม RH 75% BG 25%	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.41	การเปรียบเทียบ CO ของเชื้อเพลิง	53
4.42	การเปรียบเทียบ NO ของเชื้อเพลิง	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

A	หมายถึง	ร้อยละของขี้เถ้าในเชื้อเพลิง (% wt)
BG	หมายถึง	ชานอ้อย
C	หมายถึง	ร้อยละของคาร์บอนในเชื้อเพลิง (% w)
Cc	หมายถึง	ปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในขี้เถ้า (%)
EA	หมายถึง	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
H	หมายถึง	ร้อยละของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
N	หมายถึง	ร้อยละของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
O	หมายถึง	ร้อยละของออกซิเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
ppm	หมายถึง	ส่วนในล้านส่วน
q_3	หมายถึง	การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (%)
q_4	หมายถึง	การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิง (%)
q_5	หมายถึง	การสูญเสียความร้อนที่ผนังเตา (%)
RH	หมายถึง	แกลบ
S	หมายถึง	ร้อยละของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง (%wt)
U_{mf}	หมายถึง	Minimum Fluidization Velocity
Wr	หมายถึง	ร้อยละของความชื้นในเชื้อเพลิง (% wt)
EA	หมายถึง	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
$\propto$	หมายถึง	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
η	หมายถึง	ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (%)
η_{th}	หมายถึง	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
AFBC	คำย่อ	Atmospheric Fluidized Bed Combustion
CFBC	คำย่อ	Circulating Fluidized Bed Combustion
HHV	คำย่อ	Higher Heating Value (kJ/kg_{fuel})
LHV	คำย่อ	Lower Heating Value (kJ/kg_{fuel})
LPG	คำย่อ	Liquid Petroleum Gas
PFB	คำย่อ	Pressurized Fluidized Bed
PFBC	คำย่อ	Pressurized Fluidized Bed Combustion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

จากปัญหาที่โลกได้ประสบ เรื่อง พลังงานที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาการนำพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า การใช้ประโยชน์จากพลังงานน้ำ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ รวมไปถึงพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งในประเทศไทยได้มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลมาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน

ปัจจุบันพลังงานที่ได้จากชีวมวลประมาณร้อยละ 30 ซึ่งได้มาจากเชื้อเพลิงไม้ (ร้อยละ 22) ชานอ้อย (ร้อยละ 64) และแกลบ (ร้อยละ 14) [19] และภายในประเทศไทยได้มีหน่วยงานและสถานศึกษาที่ได้ทำการค้นคว้าถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่นเดียวกับที่ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้มีการสร้างเตาเผาชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Biomass fluidized bed combustor) ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2543 [2] และได้มีการทดลองเผาเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อหาประสิทธิภาพที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะการเผาไหม้ ตลอดจนเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเตาเผานี้ ในปี พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2545 ตามลำดับ [3,4]

จากโครงงานการศึกษาการเผาไหม้ขี้เลื่อยในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบดเมื่อปีการศึกษา 2544 [3] ซึ่งเป็นการทดลองการเผาไหม้โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พบว่าความชื้นของเชื้อเพลิงมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ และในโครงงานการศึกษาการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด เมื่อปีการศึกษา 2545 [4] ซึ่งได้ศึกษาการเผาไหม้โดยใช้แกลบและชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาเตาเดิม ได้พบปัญหาเกี่ยวกับการลดความชื้นของชานอ้อยที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง จากการที่นักศึกษาผู้ทำโครงงานได้ทำการลดความชื้นโดยการนำชานอ้อยไปตากแดด พบว่า เมื่อชานอ้อยแห้งจะจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ไม่สามารถป้อนเข้าไปในตัวเตาได้ และยังพบปัญหาเกี่ยวกับมลพิษที่เกิดจากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ขึ้นในปริมาณที่สูง นักศึกษาผู้ทำโครงงาน จึงมีข้อเสนอแนะว่า ควรหาวิธีการลดมลพิษจากก๊าซไนตริกออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบ และจากการศึกษาโครงงานทั้งสองโครงงาน พบว่า พิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา เฉพาะส่วนของประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency) เท่านั้น ไม่ได้คิดถึงการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นบนผนังเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่กล่าวมา โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาแนวทางการลดก๊าซไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้แกลบ โดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นเบดในเตาเผาจากทรายซิลิกาเป็นทรายอลูมินา การเพิ่มความชื้นในแกลบ และการใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อยหรือขี้เลื่อย ตลอดจนเพิ่มการพิจารณาถึงการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นบนผนังเตา เพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพรวมของเตา (Overall efficiency)

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาแนวทางการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบในเตาเผาชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1. ศึกษาการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- เปลี่ยนเบดเป็นทรายอลูมินา
- ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับชานอ้อยหรือขี้เลื่อย โดยตัวแปรที่จะทำการศึกษาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสม ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน และความชื้นของเชื้อเพลิงผสม

1.3.2. มลพิษที่จะทำการวัด ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนตริกออกไซด์ (NO) โดยใช้การวิเคราะห์ไอเสียแบบ Dry basis

1.3.3. ประเมินการสูญเสียที่ผนังเตา เพื่อหาค่าประสิทธิภาพรวมของเตาเผา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อย ที่ใช้ในการเผาไหม้ รวมถึงแนวทางการลดก๊าซไนตริกออกไซด์โดยเปลี่ยนวัสดุเบด ตลอดจนทราบค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ และประสิทธิภาพรวมของเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องในทุกภาคเศรษฐกิจ ถึงแม้ว่าจะมีการชะลอตัวบ้างในบางช่วง แต่แนวโน้มของความต้องการใช้พลังงานของประเทศยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราค่อนข้างสูง

ความต้องการใช้พลังงานในประเทศไทยสามารถแบ่งประเภทพลังงานออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง อันได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงหมุนเวียน และพลังงานที่ได้จากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในภาคเศรษฐกิจจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ต่างกันออกไปตามลักษณะแต่ละภาคเศรษฐกิจ

ตารางที่ 2.1 ความต้องการการใช้พลังงานภายในประเทศไทย [19]

ปี	2540		2541		2542		2543		2544	
	เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า
เกษตรกรรม	2624	14	2643	18	2840	14	2778	13	2832	15
เหมืองแร่	100	18	82	12	129	10	75	10	84	9
อุตสาหกรรมการผลิต	13116	2943	11189	2627	12476	3083	12862	3420	13428	3571
การก่อสร้าง	314	55	226	39	207	30	118	31	102	26
บ้านที่อยู่อาศัยและธุรกิจการค้า	6097	3994	6096	4157	6310	3804	6536	4015	6680	4240
การขนส่ง	20253	-	18075	-	18297	-	18019	3	18629	3
การผลิตไฟฟ้า	24841	-	23054	-	21679	-	22010	-	24048	-
รวม	67345	7024	61365	6853	61938	6941	62398	7492	65803	7864

จากตาราง 2.1 จะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงในภาคการเกษตร มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจาก ปี 2540 จนถึง ปี 2544 ตลอดจนปริมาณการใช้พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญภาคการขนส่งและภาคการผลิตไฟฟ้า ที่ส่วนใหญ่เป็นการใช้พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงแทบทั้งสิ้น จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงนั้นมีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย และ มีปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทุกๆ ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) หมายถึงอินทรีย์สารซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ เชื้อเพลิงชีวมวลนับว่าเป็นเชื้อเพลิงที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์นำมาใช้ ทั้งในด้านการให้ความร้อนแก่อาหารและให้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันเป็นพลังงานที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ได้จากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuels) เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถพบได้ทั่วๆ ไป เช่น หญ้า ต้นไม้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ จะได้จากการแปรรูปหรือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ตัวอย่างเช่น ต้นข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าว ฟางข้าวที่ได้จากการนวดข้าวเพื่อเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง แกลบจากการสีข้าว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่ในปริมาณมากได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด เมล็ดยางพารา ถั่วเหลือง และข้าวฟ่าง

ในภาพรวมแล้วชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้มากที่สุด เป็นอันดับสองที่สี่รองจากน้ำมัน ถ่านหินและ ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งคิดเป็น 13% ของพลังงานที่ใช้โดยมนุษย์ เหตุผลในการนำชีวมวลมาใช้คือเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีองค์ประกอบของกำมะถัน ดังนั้นจึงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับฝนกรด (Acid rain) ได้ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากันนี้ ก็จะถูกดูดซับจากบรรยากาศในระหว่างวัฏภาคการเติบโตของชีวมวล ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลจะหมุนเวียนคาร์บอนจากบรรยากาศ ทำให้ลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อนขึ้น (Global warming) ได้ ซึ่งต่างจากการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์เพราะการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ จะเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ โดยไม่มีการหมุนเวียนนำคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ นอกจากนี้การใช้ชีวมวลยังช่วยลดปริมาณของวัสดุที่ต้องนำไปฝังกลบ และการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจะทำให้เกิดเถ้าน้อยกว่าการเผาไหม้ถ่านหิน ทำให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเถ้า และเถ้าจากชีวมวลนั้นสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเป็นการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกร และเกษตรกรยังสามารถปลูกพืชพลังงาน เช่น หญ้า ต้นไม้หรือพืชอื่นๆ ที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงและแปรรูปไปเป็นพลังงานทดแทนได้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้พิเศษแก่เกษตรอีกทางได้อีกด้วย และถ้าหากในอนาคตมีการสนับสนุนให้นำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้นจะทำให้วัสดุที่เหลือจากการเกษตรมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย และเป็นการใช้พลังงานหมุนเวียนได้อย่างคุ้มค่า

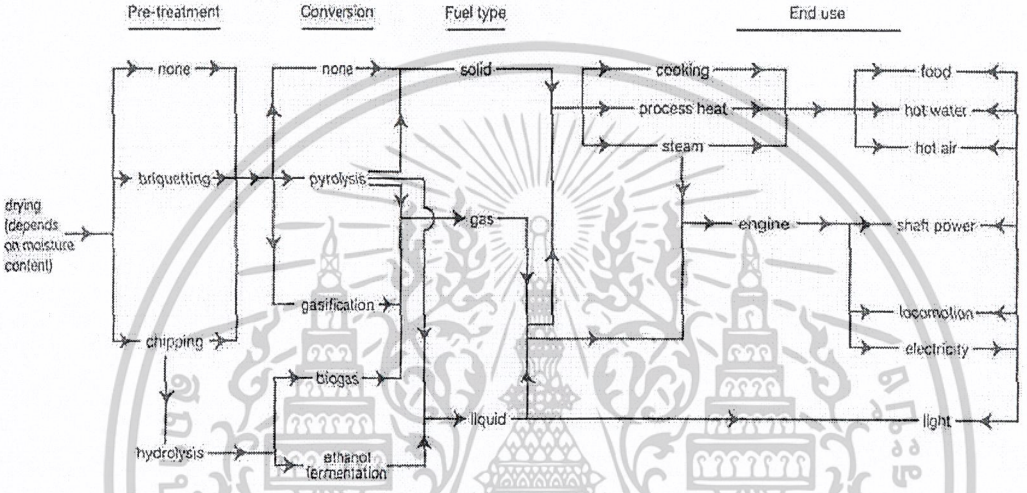
ปริมาณชีวมวล (วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร) ที่สามารถผลิตได้ในเมืองไทยนั้น จะแปรผันขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ซึ่งสามารถประเมินได้จากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ทำให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตไปเป็นปริมาณชีวมวล (Crop/Residue ratio) ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความสามารถและประสิทธิภาพของเครื่องมือหรือเครื่องจักร รวมถึงกรรมวิธีต่างที่นำมาใช้ในการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ ด้วย แม้กระทั้งกระบวนการในการเพาะปลูกพืช ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศให้มากขึ้นปริมาณของชีวมวลก็จะสูงขึ้นตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประโยชน์

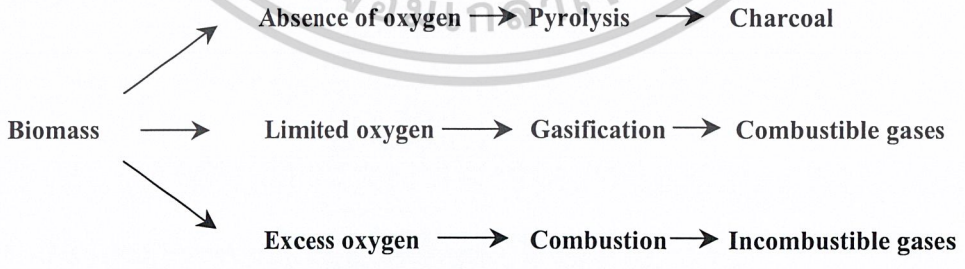
การเปลี่ยนรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน มีอยู่ 2 กระบวนหลัก ๆ คือ

2.2.1 กระบวนการทางชีวภาพ (Bio convertion process) เป็นกระบวนการที่นำวัสดุชีวมวลไปทำการหมัก (Fermentation) เช่น มูลสัตว์หรือซากพืชซากสัตว์ให้เกิดก๊าซชีวภาพหรือเอทานอลออกมาแล้วนำสิ่งที่ได้ไปใช้งาน ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน

2.2.2 กระบวนการทางความร้อน (Thermal convertion process) เป็นการเปลี่ยนรูปโดยใช้ความร้อน ดังภาพที่ 2.1 มีอยู่ 3 วิธีหลัก ๆ คือ



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Pyrolysis** คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของกระบวนการ Pyrolysis จะทำให้เกิดผลผลิตออกมา 3 ประเภท คือ ของแข็ง เช่น (Char, Charoal หรือ ถ่าน) ของเหลว (น้ำมันสารระเหย หรือกรด) และก๊าซต่าง ๆ โดยที่อัตราส่วนของผลผลิตที่ได้นั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลและสภาพของการเกิดปฏิกิริยา โดยปัญหาหลักของวิธี Pyrolysis คือสามารถสร้างได้เพียงขนาดเล็ก ๆ เท่านั้น ส่วนก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยานั้นมีพลังงานต่ำ โดยตัวอย่างกระบวนการทาง Pyrolysis

การผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากชีวมวลและกระบวนการ Pyrolysis ผลิตภัณฑ์ถ่าน ถ่านถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงท้องถิ่นที่เกิดจากชีวมวลและหาได้เกือบทุกประเทศ ถ่านเกิดจากปฏิกิริยา Carbonization กระบวนการเกิดปฏิกิริยา Carbonization มีขั้นตอน 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นปฏิกิริยาชนิดดูดความร้อน เพื่อไล่ความชื้นออกจากชีวมวล ในขั้นตอนแรกจะใช้อุณหภูมิจนถึง 200 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นกระบวนการเตรียมการเกิดปฏิกิริยา Carbonization ซึ่งก็เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเช่นกัน ในขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 170 – 300 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้จะเกิด ผลิตภัณฑ์ประเภทก๊าซซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) และก๊าซคาร์ บอนไดออกไซด์(CO_2) ส่วนในขั้นตอนที่ 3 ของกระบวนการจะเป็นปฏิกิริยาประเภทคายความร้อนโดยเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 250–300 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้จะเกิดสารพวกน้ำมันดิบและกรด Pyroligneous ที่เกิดในปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ในขั้นตอนที่ 4 จะเกิดอุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้องค์ประกอบที่ระเหยได้ยังคงอยู่ ในกระบวนการจะถูกขับออกไปซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์บอนของถ่านเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ Carbonization ของชีวมวลมีดังนี้

$$C_{6n}(H_2O)_{5n} \longrightarrow 6nC + 5nH_2$$

- **Gasification** คือการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปก๊าซเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้ที่ที่มีอากาศปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ แต่จะเกิดความร้อนเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ มากมาย เช่น ปฏิกิริยารีดักชั่น ไพโรไลซีส และการอบแห้งขึ้น ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการผลิตก๊าซได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน น้ำ ไนโตรเจน เถ้า และน้ำมันดิบ

การผลิตก๊าซมี 2 แบบ คือ การผลิตก๊าซแบบใช้ออกซิเจน และการผลิตก๊าซแบบใช้อากาศ ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีคุณสมบัติในเชิงความร้อนที่แตกต่างกัน โดยก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซแบบใช้ออกซิเจนจะมีค่าความร้อนประมาณ 10 – 18 MJ/m^3 และก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซแบบใช้อากาศจะมีค่าความร้อนต่ำ แต่ในทางปฏิบัติเทคโนโลยีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับเป็นที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากราคาถูกและปลอดภัยกว่าการนำออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการโดยตรง

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล

การผลิตก๊าซชีวมวลโดยอาศัยกระบวนการผลิตก๊าซประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- กระบวนการอบแห้ง ขั้นตอนนี้เป็นการระเหยความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวล
- กระบวนการไพโรไลซีส (Pylolysis) เป็นขั้นตอนสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ได้คาร์บอนในรูปถ่าน มีเทน กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ (Tar) และPyroligneous
- กระบวนการรีดักชั่น (Reduction) ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชั่นให้เป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้ ก๊าซหลักที่ได้จากกระบวนการนี้คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจน
- กระบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation) เป็นขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงชีวมวลกับอากาศหรือออกซิเจน โดยจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการคายความร้อน

- **Direct combustion** การเผาไหม้โดยตรงเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับการลุกไหม้และการคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน ๆ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก และจะใช้อากาศแทน โดยอากาศจะมีก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักส่วนก๊าซอื่นมีปะปนอยู่น้อยมาก (ในอากาศมีก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 79 โดยปริมาตร หรือก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 23 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก)

ขั้นตอนของกระบวนการเผาไหม้โดยตรง กระบวนการเผาไหม้ในเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. เริ่มต้นด้วยก๊าซออกซิเจนสัมผัสเชื้อเพลิง
2. เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)
3. การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาที่ผิว
4. การทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนนอกไซด์กับออกซิเจนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Theory of combustion)

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมี วัสดุติดไฟจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นพร้อมกับปล่อยความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันวัสดุนั้นก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์ผลิตภัณฑ์จากการเผาเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เพราะจะปล่อยควัน เขม่า คาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของออกซิเจน ไอเสียที่เกิดขึ้นก็จะมีส่วนประกอบของก๊าซ SO_2 และ NO ออกมาด้วยเพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงสุด และเกิดมลพิษน้อยที่สุด การควบคุมประมาณอากาศที่ใช้เพื่อการเผาไหม้ให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น องค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้สมบูรณ์ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature) เวลา (time) และความปั่นป่วน (turbulent) ทั้ง 3 ตัวแปรนี้เรียกว่า " 3T " สารติดไฟแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิติดไฟต่ำสุดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว สารทุกชนิดจะติดไฟได้ต้องมีอุณหภูมิถึง หรือสูงกว่าอุณหภูมิติดไฟ พร้อมทั้งต้องมีออกซิเจนอยู่ด้วยที่อุณหภูมิสูงกว่าจะติดไฟ อัตราความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะสูงกว่าอัตราความร้อนที่สูญเสียให้แก่บริเวณรอบๆ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นการช่วยให้การเผาไหม้เกิดได้เองอย่างต่อเนื่อง

เวลาเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการออกแบบเตาเผา ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตา เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรจะนานกว่าเวลาที่ต้องใช้ในการเผาเชื้อเพลิง ซึ่งกฎข้อนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาด และรูปร่างของเตาเผาสำหรับอัตราการเผาไหม้ที่ต้องการ เนื่องจากอัตราความเร็วความเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นเวลาที่ต้องใช้ในการเผาไหม้จะสั้นลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเกิดคำถามเชิงเศรษฐศาสตร์ตามมา นั่นคือ ถ้าเตาเล็กลงอุณหภูมิที่ใช้เผาต้องสูงขึ้นเพื่อออกซิไดซ์เชื้อเพลิงภายในระยะเวลาที่เชื้อเพลิงสามารถคงอยู่ในเตา ดังนั้นเตาควรจะมีขนาดเล็กลงเท่าใด นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิเผาไหม้สูงจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาด้วย ซึ่งมักจะมีราคาแพง

ความปั่นป่วนเป็นการช่วยให้เชื้อเพลิงผสมกับออกซิเจนอย่างทั่วถึง เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบการเผาไหม้ที่ให้ประสิทธิภาพสูง ถ้าก๊าซติดไฟและอากาศไม่ได้รับการผสมกันอย่างทั่วถึงในเตา การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ ถึงแม้ว่าเตาเผาจะมีขนาดที่ออกแบบไว้ถูกต้อง พร้อมกันนี้ต้องมีออกซิเจนพอเพียงด้วย ความปั่นป่วนจะช่วยเร่งการระเหยของเชื้อเพลิงเหลวให้กลายเป็นไอเพื่อการเผาไหม้ ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง ความปั่นป่วนจะช่วยทำลาย boundary layer ของก๊าซจากการเผาไหม้ที่เกาะอยู่รอบๆ ผิวเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ช้าลง เนื่องจากออกซิเจนไม่สามารถเข้าถึงผิวเชื้อเพลิงเพื่อทำปฏิกิริยาได้

การควบคุมตัวแปร 4 ตัว ซึ่งได้แก่ ออกซิเจน อุณหภูมิ เวลา และความปั่นป่วน ให้ถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดก๊าซมลพิษน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปฏิกิริยาของการเผาไหม้

เนื่องจากเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และปริมาณธาตุอื่นปะปนอยู่บ้าง เช่น กำมะถัน เมื่อนำไปเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 7{,}900 \text{ kcal/g}$$
$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO + 2{,}100 \text{ kcal/g}$$
$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 3{,}400 \text{ kcal/g}$$
$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 + \text{Heat}$$

2.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการเผาไหม้

ขบวนการเผาไหม้ที่ดีควรมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณออกซิเจนตามปริมาณข้างต้น ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical air) คือ ปริมาณน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์จนคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ อากาศที่ต้องการทางทฤษฎีนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ ปรากฏการที่เห็นชัดสองอย่างของการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ คาร์บอนในไอเสียที่ออกมา เพื่อแก้ปัญหานี้จึงต้องใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินพอสำหรับการสันดาปที่สมบูรณ์

$$\text{Excess air, decimal} = \frac{21}{(21O_2 + 0.5CO)} \qquad (1)$$

2.3.3 การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

การรวมตัวที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน ก็คือการที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือของเหลว การผสมกันนั้นก็ยากขึ้น

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อน แล้วจึงจะทำการเผาไหม้ จะทำให้รวมตัวได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ที่ดี เหมือนเชื้อเพลิงเป็นก๊าซ ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าไปผสมกับคาร์บอนทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ฉะนั้นขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งจะประกอบด้วยพฤติกรรม 4 ข้อดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิง
2. มีการทำปฏิกิริยากันระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน
3. มีการปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ออกมาจากผิว
4. เกิดสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ปกคลุมผิวนอกสุดของเชื้อเพลิง

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า อัตราการเผาไหม้นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว และสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงเป็นการเพิ่มพื้นที่การสัมผัสให้มากขึ้น

2.3.4 การติดไฟหรือการลุกไหม้

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเผาไหม้ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในตอนเริ่มต้น และจะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้สูงขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบนี้เกิดขึ้นได้เองต้องมี

- บริเวณที่จำกัดสำหรับสะสมความร้อน
- สารเชื้อเพลิง
- อากาศ

การลุกไหม้ไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง ส่วนใหญ่จะใช้ปริมารความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คืออุณหภูมิซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้

2.3.5 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลวหรือก๊าซซึ่งทราบส่วนประกอบสามารถนำมาชี้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ แต่เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติมักจะมีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน จึงทำให้เกิดปัญหาดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เป็นการยากที่จะหาค่าต่ำสุด สำหรับใช้เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้และอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด
2. การเผาไหม้ไม่ได้เกิดเป็นแบบผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีพื้นที่ของเชื้อเพลิงในการสัมผัสกับอากาศจำกัด คือ จะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของเชื้อเพลิงเข้าไปเรื่อย ๆ ฉะนั้น แม้ว่าจะให้ออกซิเจนมากเกินพอ ปริมาณออกซิเจนก็จะเกิดปฏิกิริยาเฉพาะบริเวณที่ผิวของเชื้อเพลิงเท่านั้น

จากปัญหาทั้งสองข้อของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้น จะเห็นว่าการออกแบบระบบของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นควรคำนึงถึงเหตุผลต่างๆ ดังนี้

ก. ควรจะให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดปฏิกิริยามากที่สุดเท่าที่สามารถจะเป็นไปได้ ทำได้โดย การบดเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นอนุภาคเล็ก และให้มีการทำให้ก๊าซในเตาเกิดการเคลื่อนที่อย่างรุนแรง เพื่อที่จะกวาดให้พื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงแข็งนั้นปราศจากสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาหรือเถ้า เช่น เทคนิคฟลูอิดไดเซชั่น

ข. อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วที่พื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงสัมผัสหรือเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจะต้องมีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างพอเพียงเพื่อให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้หมด

ค. ระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องกัน

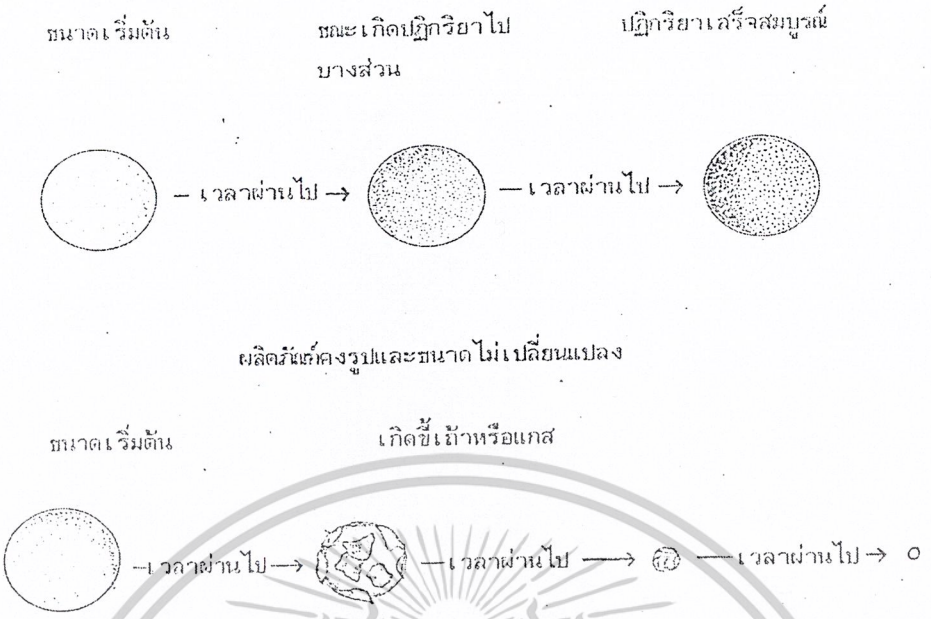
ปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงแข็งได้แก่

$$A_g + bB_s \longrightarrow \text{Products}$$

ปฏิกิริยาชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 2 รูปคือ

1. ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาขนาดของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีส่วนผสมของสิ่งปลอมปนมาก และเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วไม่เกิดขี้เถ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปเดิม
2. เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วขนาดของเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



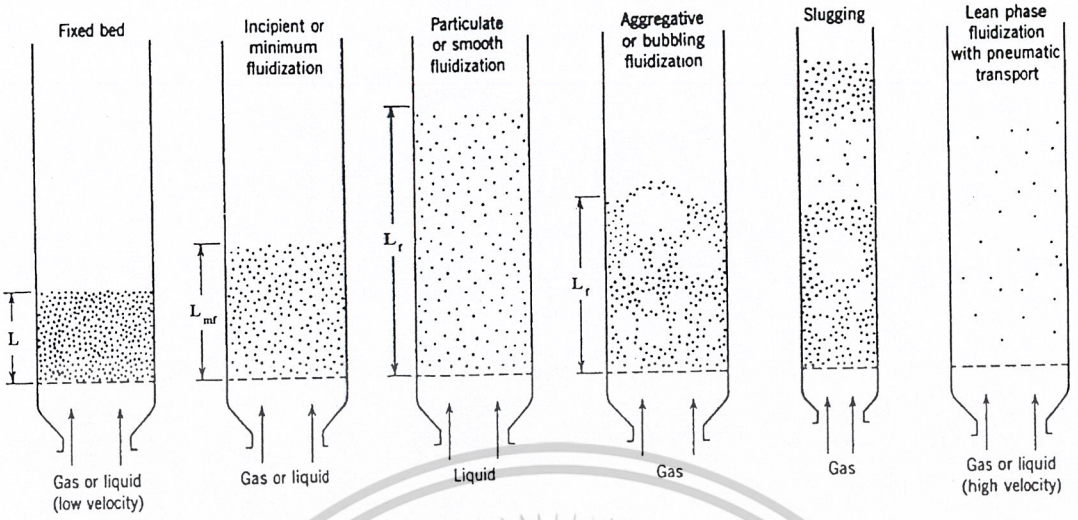
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างขนาดของวัสดุคงรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยา

2.4 การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด

ระบบฟลูอิดไดซ์เบดมีข้อได้เปรียบเหนือระบบเผาไหม้ประเภทอื่น เพราะสามารถใช้กับถ่านหินคุณภาพต่ำได้ เช่น ถ่านหินที่มีปริมาณเถ้าและซัลเฟอร์สูงมีค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้อุณหภูมิใช้งานทั่วไปยังต่ำกว่าเตาเผาแบบทั่วไป ทำให้ลดปัญหาการหลอมละลายของเถ้าและการเกิด NO เป็นต้น ระบบฟลูอิดไดซ์เบดแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบที่ใช้ความดันบรรยากาศและระบบความดันก๊าซสูง ภายในเตาฟลูอิดไดซ์ประกอบด้วยเบด ซึ่งทำจากวัสดุเฉื่อย เช่น กรวด หิน ทราย เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้จะลอยตัวเมื่อมีก๊าซไหลผ่านทางด้านล่างของเตา ซึ่งดูแล้วมีลักษณะเหมือนของไหลอัตราความเร็วของก๊าซจะต้องมีความเร็วสูงถึงระดับหนึ่ง ที่ซึ่งแรงเสียดทานของก๊าซที่ผิววัสดุเฉื่อยสามารถค้ำจุนน้ำหนักของวัสดุนั้นให้ลอยตัวอยู่ได้ แต่ความเร็วของก๊าซนี้ก็ไม่ควรสูงจนเกินไปจน ทำให้เกิดการพาวัสดุออกไปนอกเตา ซึ่งจะเกิดในช่วงระหว่างแพคเบด (Packed bed) และการถูกพัดพาออกไป (Carried over) ภายในเตาเองจะเกิดปรากฏการณ์ขึ้นสองสถานะระหว่างก๊าซและของแข็ง

สถานะแรกประกอบด้วยอนุภาคของแข็งของก๊าซที่ค้ำจุนอนุภาคให้ลอยตัว และสถานะที่สองจะเป็นปริมาณก๊าซส่วนเกินที่ไหลผ่านเบดในลักษณะเป็นฟองอากาศ การเคลื่อนที่ของฟองอากาศส่วนเกินนี้ก่อให้เกิดลักษณะสมบัติทางพลศาสตร์ของไหลและพลศาสตร์ความร้อน ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีเดียวกับของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

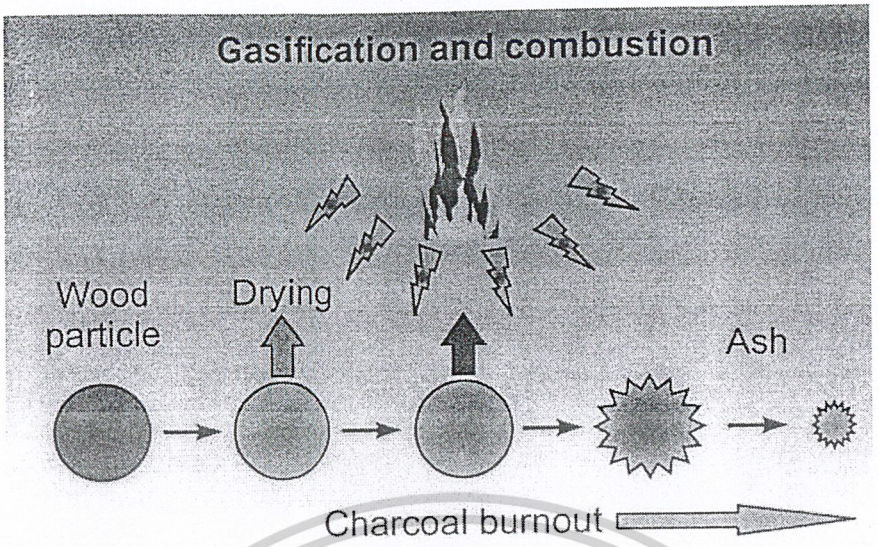


ภาพที่ 2.4 ลักษณะการฟลูอิดไดซ์

ปัญหาสำคัญอันหนึ่งของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuels) ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทถ่านหิน หรือเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass fuels) เช่นแกลบ ขี้เลื่อย ชานอ้อย ฯลฯ คือการเผาไหม้ที่ทำได้ยากและไม่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ เนื่องจากลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion คือก่อนเชื้อเพลิงจะติดไฟที่ผิวนอกก่อนแล้วจึงค่อยๆลามเข้าไปในเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปก่อนจะกลายเป็นขี้เถ้า (Ash) ขัดขวางการลามเข้าไปในก้อนเชื้อเพลิงของเปลวไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงมักจะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ต่างจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวหรือก๊าซที่จะมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศก่อน จึงเรียกว่า Premixed จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

สำหรับการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด ได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถใช้เป็นระบบบำบัด SO_2 ในขณะการเผาไหม้ ควบคู่ไปกับการเผาถ่านหินได้ โดยเตาเผาแบบนี้สามารถผสมถ่านหินกับวัสดุที่สามารถทำปฏิกิริยาจับ SO_2 ในขณะทำการเผาไฟไหม้ไปพร้อมกันได้ การเผาไหม้ในระบบนี้ถ่านหินจะถูกทำให้เคลื่อนที่ปั่นป่วนด้วยอากาศ (Fluidizing) ไปพร้อมกับวัสดุเบด (Bed materials) ตลอดเวลาในขณะที่เผาไหม้ โดยที่ห้องเผาไหม้จะมีวัสดุเบดดังกล่าวทำหน้าที่รักษาความร้อนให้สม่ำเสมอ และขณะเดียวกันก็จะช่วยขัดสี (Attrition) เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากก้อนเชื้อเพลิงตลอดเวลา จึงทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้อย่างหมดจด วัสดุที่ใช้เป็นเบดในเตาแบบนี้จะเป็นวัสดุเฉื่อย (Inter materials) ที่ทนความร้อนได้ดี และในขณะเดียวกันก็ทำปฏิกิริยาจับ SO_2 ด้วย ได้แก่ วัสดุจำพวกเซรามิกส์ เช่น หินปูน โดโลไมท์ ทราย และ กรวด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

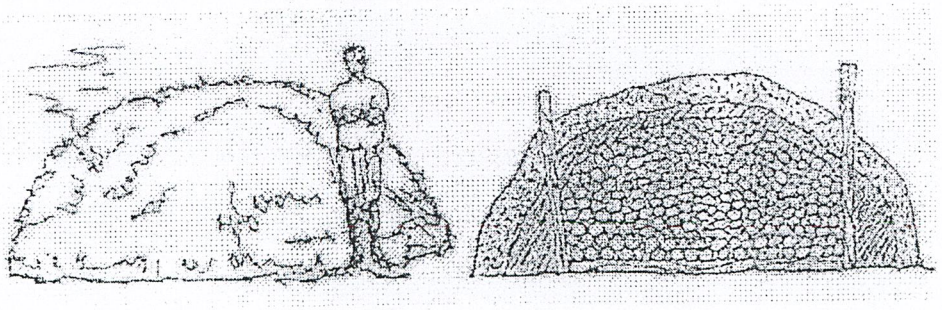
2.4.1 เตาเผาแบบดั้งเดิม

ลักษณะของเตาเผา เป็นเตาที่ทำด้วยดินหรือคลุมด้วยดิน ใช้ในการเผาเอาถ่านมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท

ก. เตาเผาแบบกองดิน (Earth – moundkiln) เป็นประเภทที่สร้างได้ง่ายที่สุด โดยใช้ไม้และฟางกองบนพื้น และคลุมด้วยดินอีกทีหนึ่ง

ข. เตาแบบ Pit – kiln เตาประเภทนี้จะขุดดินเป็นหลุม แล้วนำไม้ที่ต้องการจะเผาลงไปในเตา แล้วนำดินมาปิดคลุมทั่วทั้งเตา

ขั้นตอนการเผาไหม้และการติดไฟของเตาทั้ง 2 ชนิด มักจะลุกไหม้จนถึงที่ก้นเตา ในบางกรณีจุดไฟที่ส่วนบนโดยเริ่มเผาไหม้จำนวนเล็กน้อยเพื่อให้เกิดก๊าซร้อน ซึ่งจะช่วยให้ในการเผาไหม้ที่เหลือให้กลายเป็นถ่าน อากาศที่ทำให้เกิดโซนเผาไหม้ จะเข้ามาทางรูที่เจาะผ่านชั้นดิน และชั้นหญ้าโดยรูจะทำหน้าที่เป็นทางออกของควันที่เกิดในเตา หรือเป็นท่อระบาย



ภาพที่ 2.6 เตาเผาแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

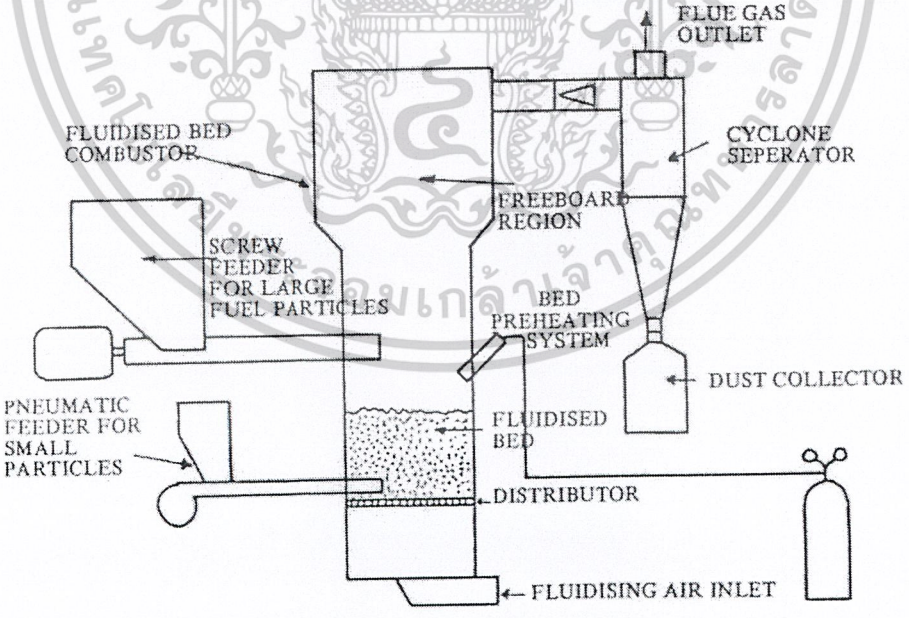
2.4.2 เตาเผาประเภท Subri Clay – Metalkiln

ได้ถูกพัฒนาจากเตาเผาแบบหลุมให้ใช้ท่อโลหะและหลังคา คลุมหลุมผนังด้านข้างหลุมที่ทำด้วยดินเหนียวอัดแน่นเพื่อให้เกิดความแข็งแรงยิ่งขึ้น

2.4.3 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Bubbing Type มี 2 แบบ

ก. แบบที่เกิดการเผาไหม้ภายใต้ความดันบรรยากาศ (Atmospheric fluidizedbed)

เป็นปรากฏการที่ของแข็งขนาดเล็กหรือเบด จะสัมผัสกับของไหลหรือก๊าซที่ความดันบรรยากาศ ถ้าความเร็วของของไหลค่อนข้างต่ำเบดจะอยู่ในสภาพนิ่ง (Fixed) ดังภาพที่ 2.7 เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดเบดขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระ เรียกสภาวะนี้ว่าจุดต่ำสุดของการของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบดโดยความเร็วของไหลที่จุดนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดเซชั่น (Minimum fluidization velocity,U_{mf}) ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ของไหลที่ใช้อาจจะเป็นก๊าซหรือของไหลก็ได้

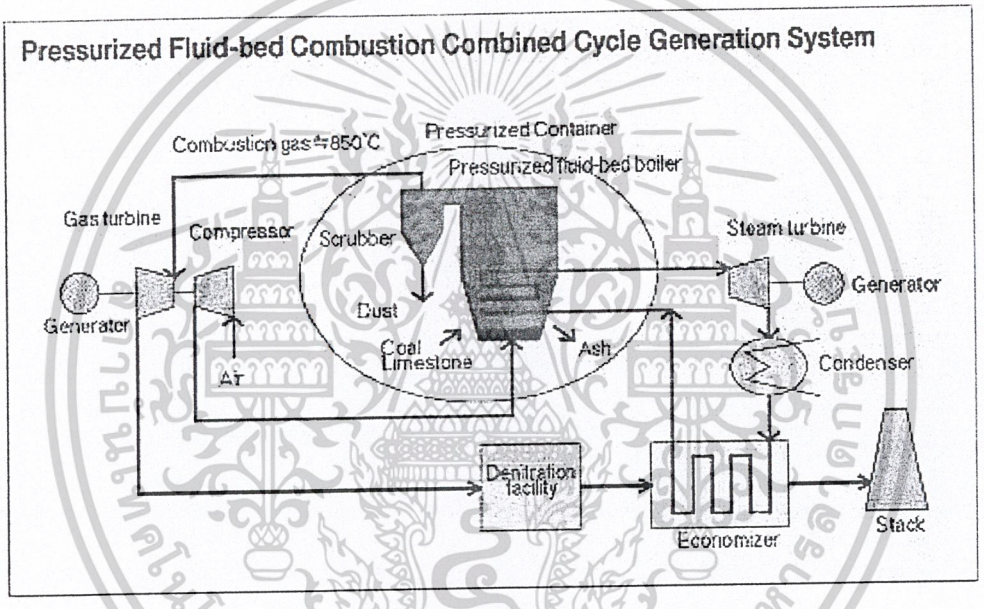


ภาพที่ 2.7 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายใต้ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แบบที่เกิดการเผาไหม้ภายใต้ความดันสูง (Pressurized fluidizedbed)

จากการทำงานของระบบการเผาไหม้จะใช้ความดันในการทำงาน โดยการเพิ่มความดันให้กับอากาศที่เข้าภายในระบบทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น เนื่องจากอากาศที่อัดจะมีปริมาณ O_2 มากขึ้นกว่าปกติ จึงทำให้การเผาไหม้ในระดับอุณหภูมิเดียวกันกับแบบ Atmosphere สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงมากกว่าเดิม ซึ่งผลที่ตามมาจากการเพิ่มความดันจะทำให้ขนาดของเตาเผาเมื่อเทียบกับขนาดเตาเผาของแบบ Atmosphere จะมีขนาดเล็กกว่า ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการทำงานได้ แต่เตาที่ใช้ในการทำงานแบบนี้จะต้องสร้างอย่างแข็งแรงขึ้นด้วย เพื่อป้องกันการเสียหายจากความดันที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.8 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบภายใต้ความดันสูง

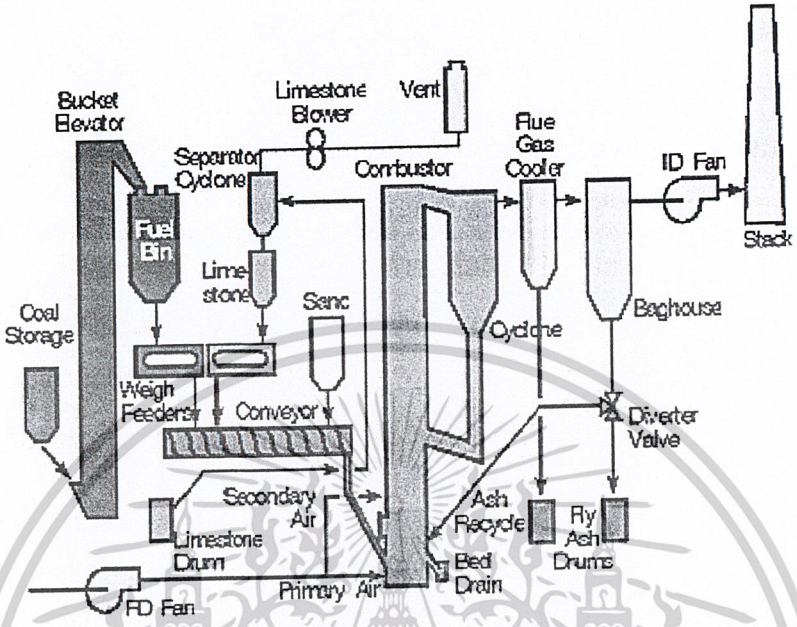
2.4.4 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Circulating Type หรือ Circulating

เตาเผาแบบ (Circulating fluidizedbed) เป็นเตาที่มีลักษณะการทำงานคือ จะนำเอาเศษคาร์บอนที่ยังเหลือจากการเผาไหม้นำกลับมาเผาไหม้ใหม่ เพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีและเหลือเศษคาร์บอนน้อยที่สุด การทำงานคือ อากาศถูกกระจายออกเพื่อทำให้ของแข็งมีการเคลื่อนที่คล้ายของไหลแล้วมีการสะสมความร้อนในเบดเพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาโดย Feeder และลอยตัวขึ้นด้วยแรงยกตัวจากอากาศ เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ขั้นแรกยังมีคาร์บอนเหลืออยู่จะถูกแยกตัวออกจากก๊าซต่าง ๆ ด้วยไซโคลนตัวแรกแล้วนำเศษคาร์บอนนี้มาเผาใหม่และเศษคาร์บอนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลองกรุงฯ

ยังผ่านไซโคลนตัวแรกตัวแรกยังถูกแยกอีกด้วยไซโคลนตัวที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นการเผาไหม้ด้วยเตาแบบ Circulating fluidized bed นี้จึงเหลือคาร์บอนน้อยมากและมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดี



ภาพที่ 2.9 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบ Atmospheric fluidizedbed กับแบบ Circulating fluidizedbed เป็นเทคโนโลยีที่ต่างประเทศใช้กันมามากว่า 60 ปีแล้ว ทั้งในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ข้อได้เปรียบของเตาทั้งสองชนิดนี้คือ อุณหภูมิของการเผาไหม้ที่ต่ำ โดยเฉลี่ยแล้วเตาเผาแบบนี้มีอุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ที่ 800 – 900 องศาเซลเซียส จึงทำให้ลดปัญหามลพิษที่เกิดจาก NO

เมื่อทำการเปรียบเทียบเตาทั้งสองแบบแล้วพบว่า เตาแบบ Circulating fluidizedbed จะสามารถขยายกำลังการผลิตได้สูงกว่าแบบ Atmospheric fluidizedbed ปกติหม้อไอน้ำระบบ Circulating- fluidizedbed มีขนาด 100 – 200 MW_e ในขณะที่แบบ Atmospheric fluidizedbed มีขนาดไม่เกิน 75 MW_e เนื่องจากระบบ Circulating fluidizedbed ใช้ความเร็วอากาศในการฟลูอิดไดซ์ 12- 30 ft/sec ซึ่งสูงกว่าแบบ Atmospheric fluidizedbed 2-3 เท่า เพื่อช่วยหมุนเวียน Solid- Particle จากไซโคลนให้กลับเข้ามาในห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง ขนาดของวัสดุเบดที่ใช้ใน Circulating fluidizedbed จะมีขนาด 50-300 μm ซึ่งจะเล็กกว่าใน แบบ Atmospheric fluidizedbed มีขนาด 1000-2000 μm ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ Circulating fluidizedbed สูงมากกว่า 98 %

สำหรับในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยี PFBC ได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงไฟฟ้า และระบบที่ผลิตทั้ง heat และ power ร่วมกัน (Cogenetion system) PFBC เป็นระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์ภายใต้ความดันสูง (10 – 13 atm หรือ 1– 1.5 Mpa) ที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55695

800 – 900 ° C ในระบบแบบนี้ทั้งตัว combuster และ cyclone จะถูกบรรจุอยู่ภายใน pressure vessel เพื่อให้ระบบอยู่ภายใต้ความดันที่ควบคุม flue gas ที่ออกมามีแรงดันมากพอที่จะขับ gas turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และขณะเดียวกันก็ผลิตกำลังเพื่อใช้ขับ compressor เพื่อสร้างแรงดันให้กับระบบส่วน steam ที่ได้ก็จะนำไปขับ steam turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยสัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตจาก steam turbine และ gas turbine โดยเฉลี่ยเป็น 80 : 20 % ข้อได้เปรียบอื่น ๆ ของระบบ PFBC คือ

1. เมื่อระบบอยู่ภายใต้ความดันจะทำให้สามารถลดขนาดของเตาลงได้

2. สามารถลดอัตราส่วน Ca/S ratio ที่ใช้จับ SO_2 ได้

3. อัตราการปล่อย NO น้อยกว่าระบบ AFBC และ CFBC สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PFBC นั้นมากกว่า 40 % และสามารถทำได้ถึง 45 % ส่วน capacity ของเตาเผานี้ สามารถทำได้สูงถึง 250 – 360 MW.

2.5 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

การเผาไหม้เชื้อเพลิงก่อให้เกิดมลพิษทั้ง CO และ CO_2 และทั้งในส่วนที่เราสนใจนั้นก็คือ NO มลพิษเหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นการทำลายชั้นบรรยากาศจนทำให้เกิดปรากฏการเรือนกระจก อีกทั้งยังมีมลพิษที่เป็นผลต่อร่ายกายมนุษย์อีกด้วย

การเกิด NO มีด้วยกัน 3 วิธีด้วยกัน [17] คือ

- **Thermal NO** เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนในระบบการเผาไหม้ โดยการรวมตัวกันของ ออกซิเจนกับไนโตรเจนในเชื้อเพลิง โดยมีพลังงานความร้อนเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวระหว่าง ออกซิเจน กับ ไนโตรเจน thermal NO จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยอุณหภูมิของการเผาไหม้โดยอุณหภูมิที่จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนเป็นไนโตรเจนออกไซด์ ต้องมีอุณหภูมิมากกว่า 1500 องศาเซลเซียส

- **Prompt NO** เกิดจากความสัมพันธ์ ระหว่างไฮโดรคาร์บอน และ ไนโตรเจนในขั้นแรกของการเผาไหม้ ในเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง การเกิด NO แบบนี้มีน้อยกว่า 5% ของกระบวนการเกิด NO ทั้งหมด Prompt NO จะเกิดมากที่เฉพาะในเปลวไฟ อย่างเช่นตัวอย่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ จะทำให้เกิด NO มากเกือบ 95% จึงทำให้มีการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติในเวลาต่อมา

- **Fuel NO** การเปลี่ยนแปลง ไนโตรเจน เป็น NO ในเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ส่วนอุณหภูมิของการเผาไหม้มีส่วนน้อยมากที่จะทำให้เกิด NO ปริมาณการเกิด NO จะเกิดขึ้น เมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 0% จนไปคงที่ที่ความเข้มข้นประมาณ 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่จะทำการศึกษาจะทำการตรวจสอบเฉพาะในส่วนของ Fuel NO เนื่องจากการเผาไหม้ในเตาแบบนี้เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ไม่มีเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ และอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้มีไม่ถึง 1500 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดเฉพาะ NO ที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างออกซิเจนกับไนโตรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง (แกลบ) เท่านั้น

กลไกการลด NO [6]

เชื้อเพลิงชีวมวล เมื่อมีการเผาไหม้แล้วจะเกิดก๊าซต่างที่เป็นมลพิษโดยที่ก๊าซพิษในกลุ่มของ NO_X ที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะเกิด NO (Nitric Oxide) โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

$$NO + CO \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + CO_2$$

$$NO + H_2 \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + H_2O$$

$$NO + \frac{5}{2}H_2 \rightarrow NH_3 + H_2O$$

$$NO + \frac{2}{3}H_3 \rightarrow \frac{5}{6}N_2 + H_2O$$

$$NO + HCN \rightarrow N_2, CO, CO_2, H_2O$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อ NO มีการทำปฏิกิริยากับก๊าซชนิดอื่นผลของการทำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีก๊าซ N_2 เกิดขึ้น โดยมีแนวทางในการลดค่าของก๊าซ NO ดังนี้

1. การทำปฏิกิริยาของ NO+CO ที่มีหินปูนเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

2. การทำปฏิกิริยาของ NO+CO ที่เกิดขึ้นบนถ่านไม้ โดยถ่านไม้จะช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซ CO เข้าไปในกลไกการเผาไหม้ทำให้ช่วยลดการกระตุ้นการ Oxidized บนผิวหน้าของถ่านไม้โดยมีปฏิกิริยาดังนี้

$$(-CO) + CO \rightarrow (-C) + CO_2$$

3. การทำปฏิกิริยาของ NO+CO ที่เกิดขึ้นบนขี้เถ้า ขี้เถ้านี้ค่อนข้างจะไม่มีประสิทธิภาพในการช่วยลด NO โดยใช้ CO

4. การทำปฏิกิริยาของ NO+CO ที่เกิดขึ้นบนเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทำปฏิกิริยาของ NO+CO บน Quartz Sand ปฏิกิริยาการลด NO โดยใช้ CO ที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำไม่เป็นที่น่าพอใจ

จากการทำปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นดังกล่าว ตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในทดสอบครั้งนี้จะทำการเปลี่ยนวัสดุเบดจากทรายซิลิกามาใช้ทรายอลูมินาแทน เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณ NO ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เมื่อมีการใช้เบดที่เป็นทรายอลูมินาจะช่วยในการลด NO ลงกว่าเบดที่เป็นทรายซิลิกาหรือไม่และมากน้อยเท่าใด

2.6 การหาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

2.6.1 การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ [3]

$$\eta = 100-q_3-q_4 \tag{2}$$

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการคือ

η = ประสิทธิภาพการเผาไหม้, เปอร์เซ็นต์ (%)

q_3 = การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์, เปอร์เซ็นต์ (%)

q_4 = การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิง, เปอร์เซ็นต์ (%)

2.6.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน [3]

$$\eta_{th} = 100-q_3-q_4-q_5 \tag{3}$$

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการคือ

η_{th} = การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน, เปอร์เซ็นต์ (%)

q_3 = การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์, เปอร์เซ็นต์ (%)

q_4 = การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิง, เปอร์เซ็นต์ (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.1 ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการนำความร้อน [20]

$$Q_C = \frac{2\pi kH}{\ln(b/a)}(T_i - T_o) \quad (4)$$

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการ คือ

Q_C = ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการนำความร้อน, วัตต์

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, วัตต์ต่อเมตร-องศาเคลวิล

T_i = อุณหภูมิภายในเตา, องศาเคลวิล

T_o = อุณหภูมิภายนอกเตา, องศาเคลวิล

b = รัศมีภายนอก, เมตร

a = รัศมีภายใน, เมตร

2.6.2.2 ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาความร้อน [20]

$$Q_V = hA\Delta T \quad (5)$$

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการ คือ

Q_V = ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาความร้อน, วัตต์ (W)

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเคลวิล (W/m^2-K)

A = เป็นพื้นที่หน้าตัดของเตา, ตารางเมตร (m^2)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ, องศาเคลวิล (K)

สมการของ Hilpert

$$Nu \equiv \frac{hD}{k} = CRe^m Pr^{1/3} \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของ Zhukauskas

$$Nu = C Re^{m} Pr^{n} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \qquad (7)$$

โดยที่ $0.7 < Pr < 500$

$1 < Re < 10^6$

สมการของ Churchill และ Berstein สามารถใช้ที่ Re และ Pr ได้ทุกค่าและได้รับการแนะนำให้ใช้สมการนี้เมื่อ $Re\ Pr > 0.2$

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + (0.4/Pr)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282{,}000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \qquad (8)$$

2.6.2.3 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) [20]

การพาความร้อนแบบไหลผ่านแผ่นวางในแนวดิ่ง

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387\ Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \qquad (9)$$

การพาความร้อนแบบไหลผ่านแผ่นวางในแนวระดับ

$$Nu = 0.27 Ra^{1/4} \qquad (10)$$

โดยที่ $10^5 \le Ra \le 10^{10}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการคือ

Nu = Nusselt number

Ra = Rayleigh number

Re = Reynold number

Pr = Prandtl number

2.6.2.4 การสูญเสียความร้อนการแผ่รังสี (Radiation) [20]

$$Q_r = \varepsilon\sigma A(T_i - T_O)^4 \qquad (11)$$

เมื่อตัวแปรที่ใช้ในสมการคือ

Q_r = การสูญเสียความร้อนการแผ่รังสี , วัตต์ (W)

ε = คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ

σ = Stafan-Boltzman constant ($\sigma = 5.67\times10^{-8}$ W/m^2K^4)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- วัชระ เพิ่มชาติ (2545) [11] ได้ทำการศึกษาการวิจัยการเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่ทำด้วยเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 3 เมตร และหุ้มด้วยฉนวนเซรามิกส์ไฟเบอร์หนา 5 มิลลิเมตร ใช้ทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.5 มิลลิเมตร เป็นเบดในการเผาไหม้ ความสูงของเบด 30 เซนติเมตร ที่อัตราการป้อนขี้เลื่อย 58-81 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตลอดความสูงของเตา

ผลการศึกษาพบว่า ทั้งความชื้นและปริมาณอากาศส่วนเกินมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยที่จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยสู่อากาศแต่อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นและปริมาณอากาศส่วนเกินให้เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของเตามีค่าสูงกว่า 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Suwanayuen, S. et al. (1992) [14] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ของแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 45 × 45 ตารางเซนติเมตร มีขนาดความสูง 25 เมตร โดยตัวเตาทำจากเหล็กหล่อ ภายในก่ออิฐทนไฟหนา 25 เซนติเมตร ใช้ทรายขนาด 0.5-0.6 มิลลิเมตรเป็นเบด ความสูงของเบด 0.32 เมตร โดยใช้ตัวกระจายลมแบบ Plat มีหัว Nozzle แบบท่อตั้ง 12 หัว (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 นิ้ว และสูง 17 เซนติเมตร) เจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตรโดยรอบ แกลบถูกป้อนทางใต้เบดด้วยระบบการลำเลียงแบบนิวแมติก ระบบอุ่นเตาใช้ LPG อุ่นให้เบดมีความร้อนประมาณ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 20 นาที จากนั้นจึงเริ่มป้อนแกลบ โดยมุ่งศึกษาถึงผลกระทบของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ต่อการถ่ายเทความร้อนของเตาฟลูอิดไดซ์เบด พบว่าอุณหภูมิของเตาประมาณ 880 ± 10 องศาเซลเซียสทั่วทั้งเตา ที่อัตราป้อนแกลบ 13.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการเผาไหม้มากกว่า 95% ที่อากาศส่วนเกิน 70-200% และถ้าเพิ่มความเร็วฟลูอิดไดซ์ จะทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนในเบด แต่จะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนช่วงเหนือเบดแทน และได้แนะนำให้ใช้การลำเลียงด้วยสกรูในการป้อนแกลบใต้เบด เพื่อป้องกันเชื้อเพลิงติดในท่อลำเลียง ที่จะทำให้เกิด Interlocking ของแกลบ

- Liu, D. C. et al. (1996) [18] ได้ทำการศึกษาการลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยการใช้ระบบการเผาไหม้ร่วมกัน (Co-combustiom) ระหว่างถ่านหินกับเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้เตาที่ทำด้วย Quartz glass เส้นผ่าศูนย์กลางของเตามีขนาด 20 มิลลิเมตร มีความสูง 60 เซนติเมตร ใช้เบดเป็นทรายซิลิกาและถ่านหินมีขนาด 180-210 ไมโครเมตรโดยทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ 975-1225 องศาเคลวิน ใช้ Thermocouple เป็นตัววัดอุณหภูมิสอดลงไปตามแนวดิ่งทางด้านบนของเตา ใช้เครื่องมือในการวัดก๊าซที่มีความแม่นยำสูงที่เรียกว่า Electron capture detector รุ่น HP 5890G ทดสอบโดยการเผาไหม้ร่วมกันระหว่างถ่านหินชนิด GL coal กับเศษไม้ และการเผาไหม้ร่วมกันระหว่าง CF coal กับแกลบ ผลของการทดสอบปรากฏว่าการเผาไหม้ร่วมกันระหว่างถ่านหินชนิด GL coal กับเศษไม้ และการเผาไหม้ร่วมกันระหว่าง CF coal กับแกลบสามารถทำให้การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยระบบการเผาไหม้ร่วมกันของถ่านหินกับเชื้อเพลิงชีวมวลจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่อถ่านหินสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่อถ่านหินเพิ่นขึ้นจาก 5% ถึง 15% สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นจาก 24.7% เป็น 36.7% การทดสอบดังกล่าวนี้ทำการทดสอบที่ประเทศจีน

- วิทยา หอสุวรรณานนท์ และ วิโรจน์ เสระศาสตร์ (2545) [3] ได้ทำการศึกษาการเผาแกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่ทำด้วยเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 3 เมตร และหุ้มด้วยฉนวนเซรามิกส์ไฟเบอร์หนา 5 มิลลิเมตร ใช้ทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.5 มิลลิเมตร เป็นเบดในการเผาไหม้ ในการทดลองได้ตลอดจนกระทั่งได้มีการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผา รวมไปถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน และอัตราการป้อนของเชื้อเพลิง ผลของการทดสอบปริมาณไอเสียที่ปล่อยออกจากเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด เช่นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่าปริมาณก๊าซมลพิษดังกล่าวสามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้ ส่วนปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่ออกจากเตายังมีปริมาณที่สูงอยู่เมื่อใช่แกลบเป็นเชื้อเพลิง จึงมีการเสนอแนะให้เปลี่ยนวัสดุเบดจากทรายซิลิกาเป็นทรายอลูมินา ที่อาจจะสามารถลดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนได้ ส่วนอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาอยู่ระหว่าง 700-900 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินโดยประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่สูงคือ เมื่อใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 89-91% และเมื่อใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 98-99% แต่ปัญหาเมื่อทำการเผาไหม้ชานอ้อยมีความชื้นมากเกินไปจะทำให้เตาดับไม่สามารถเผาได้อย่างต่อเนื่องและเมื่อนำไปตากแห้งก็จะจับเป็นก้อนแข็ง จึงมีข้อเสนอแนะให้นำเชื้อเพลิงชนิดอื่นทำการผสมร่วมกับชานอ้อยให้ความชื้นลดลง อาจจะสามารถทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้ต่อเนื่องเตาไม่ดับ

- Tario, A. S. et al. (1996) [17] ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้าการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยอ้างอิงถึงกระบานการทางอุตสาหกรรมในการพัฒนาประเทศ โดยที่เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศและในอนาคตยุโรปจะใช้พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลรวมกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน

การวัดการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ได้มีการรายงานจาก 14 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าที่ใช้ชีวมวลผลของการศึกษา ที่มีการทดลองในประเทศ ศรีรังกา ส่วนของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาในส่วนของ Air heaters และ Boilers และช่วงขนาดของโรงไฟฟ้าที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 132 kW ถึง 20 MW เชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบด้วย ยูคาลิปตัสยางไม้ เชื้อเพลิงจากไม้ที่ได้มาจากป่าตามธรรมชาติและกากที่เหลือจากการเกษตรเช่น แกลบและชานอ้อยที่มีความชื้อตั้งแต่ 10% ถึงมากกว่า 50% และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจาก 0.08% จนถึง 0.4% เฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสำหรับในโรงไฟฟ้าที่พบคือ 47 gNO_2/GJ โดยมี 18% ที่เกิดขึ้นจากกระบานการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบไนโตรเจนในเชื้อเพลิง

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้าที่มีการทดสอบมีค่าประมาณ 50% โดยจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า มาตรฐานของการซ่อมแซมบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า และชนิดของโรงไฟฟ้า โดยปกติพบว่า Boilers ทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า Air heaters ได้มีการพิจารณาวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 70% โดยหลัก

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการพิจารณาถึง การลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล มีการให้ความรู้และฝึกฝนผู้ปฏิบัติงาน และมีการใช้เครื่องมือเบื้องต้นสำหรับการปฏิบัติงานในโรงไฟฟ้าที่ถูกต้อง

- Winter, F. et al. (1999) [21] ได้ทำการศึกษาการเกิด NO แลพะ N_2O ขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล 6 ชนิด (ไม้สน, ไม้บีช, arder wood, หญ้าแห้ง, เศษข้าวมอลต์ และPeat) ภายใต้การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด และภายในเตาที่มีอุณหภูมิสูงๆ โดยทำการวัดความเข้มข้นของ CO, CO_2, CH_4, NO, N_2O, HCN, NH_3 รวมถึงสานประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ตำแหน่งช่องระบายก๊าซ และวัดความเข้มข้นทันทีหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเสร็จสิ้น ส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงชีวมวลจะทำให้เกิด Volatile – Nitrogen (ประมาณ 66% ถึง 75%) ในระหว่างกระบวนการ Devolatilization NO และN_2O ก็จะเกิดขึ้น แต่ N_2O จะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว จากปฏิกิริยา $N_2O+H \longrightarrow N_2+OH$ ในส่วนปริมาณการเกิด HCN และ NH_3 จะเกิดจากการเผาไหม้ไม้ อัตราส่วนการเกิด HCN/ NH_3 จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ H/N ภายในเชื้อเพลิง ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองได้รองรับถึงสมมติฐานที่ว่า ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่จริงภายในไม้และเชื้อเพลิงชีวมวลกลไกการเกิด NO และ N_2O เป็นผลที่เกิดขึ้นจากปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง และปริมาณออกซิเจนที่สูงจะทำให้อัตราการเผาไหม้สูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย

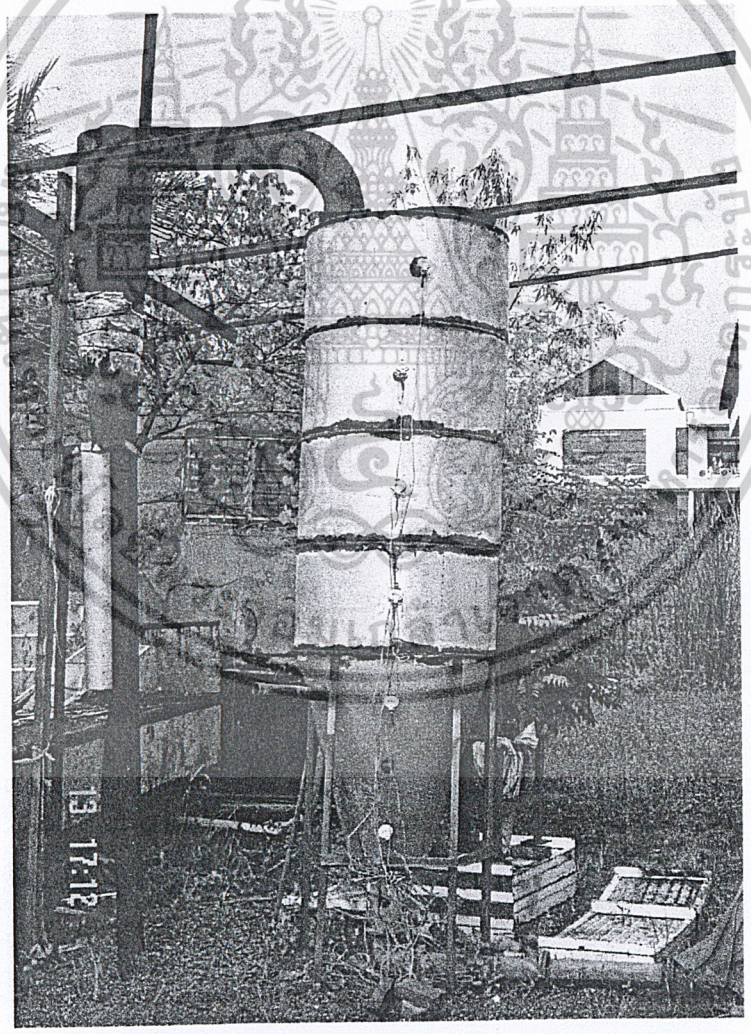
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การประกอบเตา

จากการที่เมื่อสิ้นสุดการศึกษาและการทดลองของโครงงานการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2545 ได้มีการรื้อถอนเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ทำการทดสอบ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการประกอบและซ่อมแซมเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อให้เตากลับมามีสภาพเดิมและสามารถใช้งานได้ ก่อนการทดสอบ โดยที่ส่วนประกอบของเตายังคงเดิมและมีการหุ้มฉนวน Ceramic Fiber หนา 5 cm ที่ตัวเตาเผาเช่นเดิม



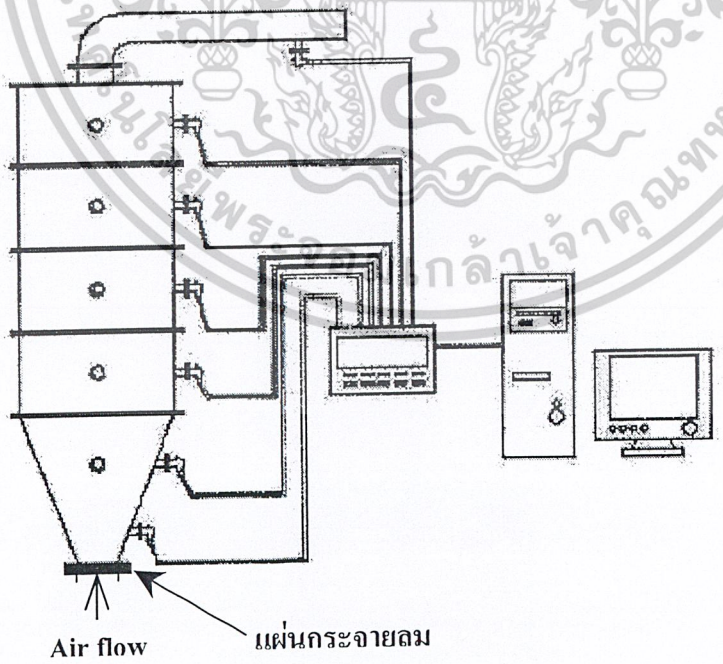
ภาพที่ 3.1 เตาฟลูอิดไดซ์เบดที่ทำการปรับปรุงและประกอบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจัดเตรียมเครื่องมือวัด

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermocouple and Data logger) เป็นเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบChromel-Alumel วัดที่เบดและเหนือเบดที่ระดับความสูงต่างๆ ดังแสดงในภาพ 3.2 โดยมีการวัดอุณหภูมิ 7 จุด โดยที่ 2 จุดเป็นการวัดที่บริเวณทรงกรวยของตัวเตาเผา 4 จุดใช้วัดในส่วนของทรงกระบอกของตัวเตา และอีก 1 จุด วัดในส่วนของทางออกเตา โดยแต่ละตำแหน่งมีระยะการติดตั้งดังนี้

จุดที่ 1 วัดที่ระยะ 20 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 2 วัดที่ระยะ 80 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 3 วัดที่ระยะ125 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 4 วัดที่ระยะ 175 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 5 วัดที่ระยะ 225 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 6 วัดที่ระยะ 275 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม
จุดที่ 7 วัดที่อุณหภูมิทางออกของเตา

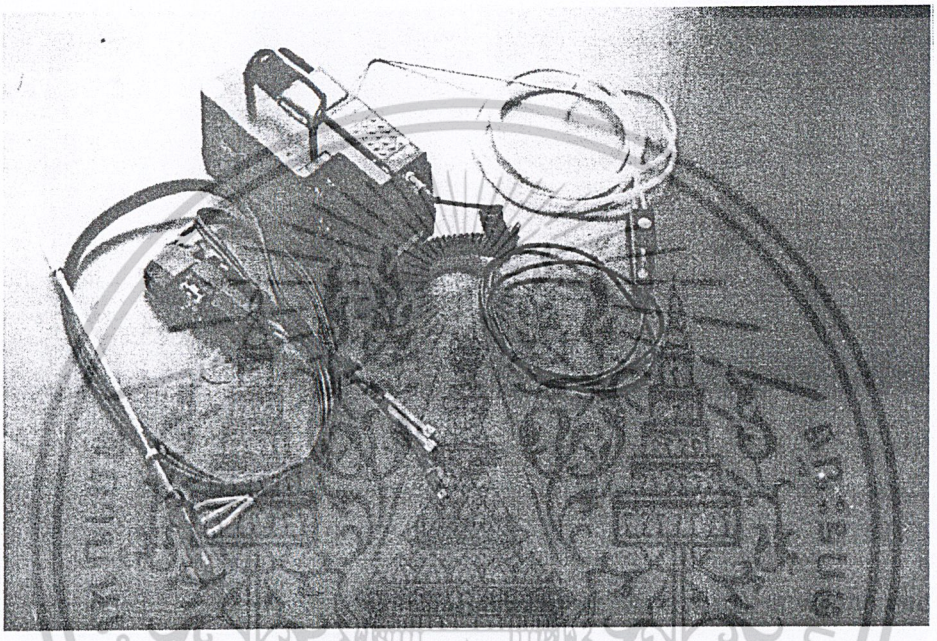


ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องมือวิเคราะห์ไอเสีย (Flue Gas Analyzer) เป็นการวัดค่าไอเสียและปริมาณอากาศส่วนเกินที่ได้จากการเผาไหม้ ก๊าซที่จะทำการวัดและศึกษาได้แก่ CO, CO_2, O_2, NO โดยเครื่องมือวัดไอเสียที่ใช้คือ Test รุ่น 350 มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ยื่นเข้าไปในเตา
2. ส่วนแสดงและบันทึกผล



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดไอเสีย รุ่น 350

โดยที่จะมีตำแหน่งการวัดดังนี้

จุดที่ 1 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 50 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม

จุดที่ 2 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 80 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม

จุดที่ 3 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 125 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม

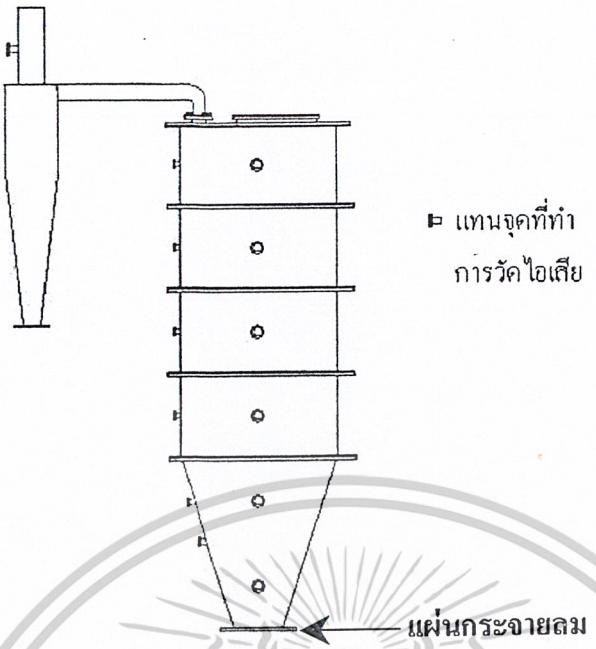
จุดที่ 4 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 175 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม

จุดที่ 5 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 225 เซนติเมตร เหนือแผ่นกนะจายลม

จุดที่ 6 วัดไอเสียเหนือเบดที่ระยะ 275 เซนติเมตร เหนือแผ่นกระจายลม

จุดที่ 7 วัดที่ทางออกของเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งที่วัดไอเสีย

3.3 การจัดเตรียมเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่จะใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดด้วยกันคือ แกลบและชานอ้อย ในขั้นแรกของการทดลองนี้จะทำการทดลองเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง ซึ่งแกลบที่ได้จากโรงสี เป็นแกลบที่ได้มาจากกระบวนการสีข้าวที่มีความชื้นต่ำสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้เลย



ภาพที่ 3.5 แกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่สองจะทำการจัดทำเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับชานอ้อย ซึ่งชานอ้อยที่ได้มาจากโรงน้ำตาลอาจมีความชื้นที่สูงมากเมื่อนำมาผสมกับแกลบก็จะได้ระดับความชื้นที่ลดต่ำลงมา ชานอ้อยที่ได้มาจากโรงน้ำตาลที่บางทีอาจมีความชื้นที่สูงเกินไปจึงต้องนำไปตากแดดเพื่อลดระดับความชื้นลงบางส่วน



ภาพที่ 3.6 แกลบ 75% และชานอ้อย 25%

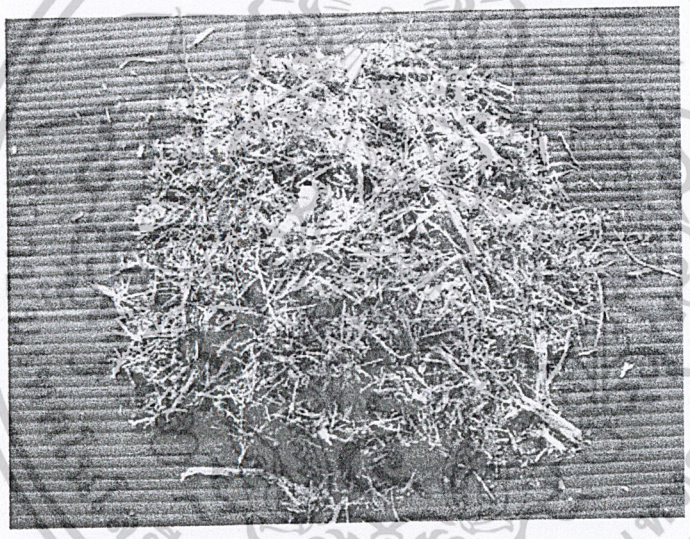


ภาพที่ 3.7 แกลบ 45% และชานอ้อย 55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แกลบ 25% และชานอ้อย 75%



ภาพที่ 3.9 ชานอ้อย

จากภาพที่ 3.6, 3.7 และ 3.8 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงผสม โดยการเทียบอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแกลบและชานอ้อย มีอัตราส่วนการผสมดังนี้

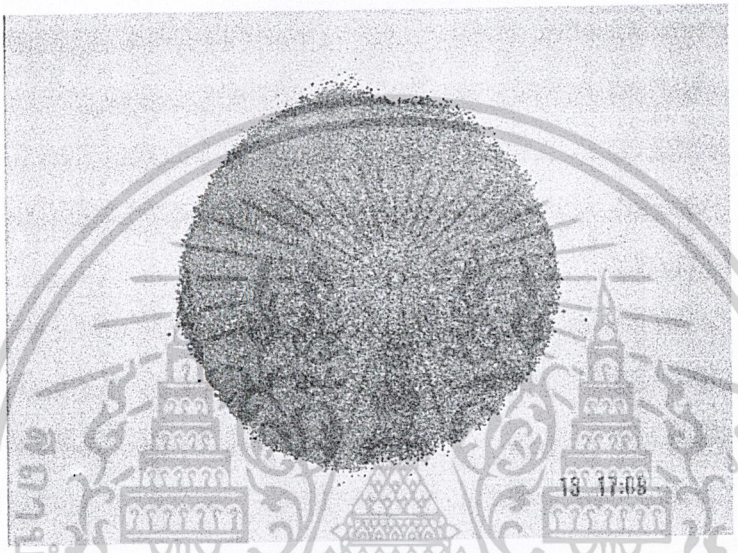
- แกลบ 75% ชานอ้อย 25%
- แกลบ 45% ชานอ้อย 55%
- แกลบ 25% ชานอ้อย 75%

ได้ทำการนำเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและความชื้นเพื่อศึกษาองค์ประกอบหลักภายในเชื้อเพลิงที่ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจัดเตรียมทรายที่จะใช้เป็นเบดในการทดลอง

ทรายที่จะใช้เป็นเบดในการทดลองนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือทรายซิลิกาและทรายอลูมินา 99% เพื่อเป็นการเปรียบเทียบปริมาณ NO ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ใช้ทรายเป็นเบดชนิดใดที่จะเกิดปริมาณ NO น้อยที่สุด



ภาพที่ 3.10 ทรายซิลิกา



ภาพที่ 3.11 ทรายอลูมินา 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่นำมาใช้เป็นวัสดุเบดทั้งทรายซิลิกาและทรายอลูมินาโดยการใช้วิธีการร่อนด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนักของทรายให้มีจานวนที่พอเหมาะก่อนทำการทดลองดังนี้

- น้ำหนักทรายซิลิกา 1130 กรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง
- น้ำหนักทรายอลูมินา 630 กรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง

2. นำตัวอย่างของทรายซิลิกาตัวอย่างที่ 1 ใส่ลงในชุดตะแกรงร่อน โดยเรียงตะแกรงตามขนาดของเบอร์ ตะแกรงชั้นบนสุดจะมีขนาดรูตะแกรงใหญ่สุดโดยเรียงลำดับดังนี้ ตะแกรงเบอร์ 16, 30, 40, 45, 50, 80, 100 และเบอร์ 200 ส่วนสุดท้ายจะเป็น pan

3. ให้เครื่องสั่นทำงาน 15 นาที

4. ชั่งตัวอย่างทรายที่อยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างทราย

5. ทำการทลลองตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 โดยการใช้ตัวอย่างทรายของทรายซิลิกาตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างทรายอลูมินาอีก 2 ตัวอย่างจนครบ

6. คำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างทราย ทั้งตัวอย่างทรายซิลิกาและตัวอย่างทรายอลูมินาชนิดละ 2 ตัวอย่าง แล้วนำมาเฉลี่ยหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 วิธีการทดลองการเผาแกลบกับทรายซิลิกา

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และตรวจสอบสภาพเตาให้พร้อมก่อนการทดสอบ อันได้แก่ การติดตั้งแผ่นกระจายลม ท่อสำหรับต่อกับเตาเผาเพื่อเป่าลมเข้าไปในเตาหัวเผาและแก๊ส LPG สำหรับ ทำการอุ่นเบดให้อุณหภูมิสูงขึ้น การเติมทรายลงไปในเตาที่ใช้เป็นวัดสุเบด การใส่ Thermocouple ชนิด K เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิที่ความสูงต่างๆ ภายในเตาทั้ง 7 จุดโดยส่วนปลายของ Thermocouple อีกด้านต่อเข้ากับ Data logger เพื่อบอกค่าอุณหภูมิที่วัด ณ ตำแหน่งต่างๆ เตรียมฝาเปิดช่องหัวเผาและฝาเปิดช่องดูไฟภายในเตาเพื่อดูไฟในเตาเมื่อไฟดับจะได้จุดเตาใหม่อีกรอบ

2. อุ่นเบดในเตา โดยค่อยๆ เปิดแก๊ส LPG จากนั้นใช้ผ้าชุบน้ำมันพันตรงส่วนปลายของเหล็กที่มีความยาวประมาณ 2.5 เมตร จุดไฟแล้วสอดเข้าไฟในช่องดูไฟจนไฟใกล้หัวเผาภายในเตา จนไฟติดจึงค่อยดึงเหล็กออกแล้วเปิดช่องดูไฟด้วยฝาเปิดที่ทำด้วยกระจกสามารถมองผ่านเข้าไปดูไฟในเตาได้ จากนั้นเปิด Blower เพื่อเป่าลมเข้าไปในเตาเล็กน้อย ส่วนอีกคนปรับไฟที่หัวเผาภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับจนเปลวไฟมีสีฟ้า แล้วค่อยๆ เพิ่มลมจนเกิดการเคลื่อนที่ของเบด (Fluidization) อ่านค่าอุณหภูมิที่ความสูงเตา 0.2 เมตรจาก Data logger จนอุณหภูมิมีค่าประมาณ 600 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดแก๊สและถอดชุดแก๊สออกแล้วค่อยเปิดด้วยฝาเปิดช่องหัวเผา จึงค่อยๆ ป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ละน้อยด้วยเกลียวลำเลียงที่อัตราการป้อนต่ำๆ เพื่อช่วยให้อุณหภูมิในเตาสูงโดยเร็วจนอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 700 องศาเซลเซียสหรือมากกว่าจึงค่อยเริ่มทำการทดลอง

3. ทดลองเผาแกลบโดยช่วงแรกใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 40 kg/hr

4. วัดปริมาณอากาศส่วนเกินด้วยเครื่องวัดไอเสียที่ปล่องควันของเตาเผา โดยจะให้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ทดลองครั้งแรกมีค่าประมาณ 20% โดยการปรับปริมาณอากาศที่ลิ้นปรับปริมาณลมในท่อที่ต่อจาก Blower จากนั้นทำการก๊าซ CO, CO_2, O_2, NO โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียและอ่านค่าอุณหภูมิจาก Data logger จากทุกๆ ตำแหน่งที่จะต้องวัดดังที่กล่าวมาข้างต้น

5. ทำการทดลองตามข้อ 4 อีกครั้งโดยเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินเป็น 60% และ 120% โดยประมาณตามลำดับ จากนั้นวัดอุณหภูมิผนังเตาด้านนอกและอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

6. เก็บตัวอย่างขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ตามค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ กันเพื่อส่งไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อนำเอาปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลือในขี้เถ้า ไปคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา

7. ทำการทดลองตามข้อ 4 ถึงข้อ 6 อีกครั้งโดยเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเป็น 84.2 kg/hr จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิและก๊าซชนิดต่างๆ ตามความสูงของเตา โดยเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินที่วัดดังนี้ 60 และ 120% ตามลำดับ จากนั้นวัดอุณหภูมิผนังเตาด้านนอกและอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและเก็บตัวอย่างขี้เถ้าไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

8. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

9. สรุปผลการทดลอง

3.5.2 วิธีการทดลองการเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์

1. อุ่นเบดเช่นเดียวกับการใช้ทรายซิลิกามาเป็นวัสดุเบด โดยใช้ความสูงเบดครั้งแรกที่ความสูง 20 เซนติเมตร และใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 84.2 kg/hr

2. อ่านค่าปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นและอุณหภูมิภายในเตา ตามจุดต่างๆ ที่จะต้องทำการวัดตามความสูงของเตา โดยวัดที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันดังนี้ 20, 60 และ 120% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดอุณหภูมิของผนังเตาตามความสูงที่กำหนด และอุณหภูมิของอากาศภายนอกในขณะนั้น จากนั้นเก็บตัวอย่างขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ตามค่าปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ กัน ส่งไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อนำเอาปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลือในขี้เถ้า ไปคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา

4. เริ่มทำตามขั้นตอนข้อที่ 1 ถึง 3 ใหม่โดยการเปลี่ยนความสูงของวัสดุเบดใหม่เป็น 40 เซนติเมตร โดยอัตราการป้อนเชื้อเพลิงยังคงเท่าเดิมคือ 84.2 kg/hr

5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

6. สรุปผลการทดลอง

3.5.3 วิธีการทดลองการเผาเชื้อเพลิงผสมกับทรายซิลิกา

1. เริ่มทำการอุ่นเบดที่เป็นทรายซิลิกาเช่นเดียวกับการทดลองการเผาแกลบกับทรายซิลิกาในวิธีการทดลองที่ 3.5.1 ที่ความสูงของเบดคงที่คือ 20 เซนติเมตรและอัตราการป้องเชื้อเพลิงผสมที่ 84.2 kg/hr

2. ทดลองครั้งแรกโดยใช้เชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนแกลบ 75% ชานอ้อย 25% โดยน้ำหนัก

3. วัดปริมาณอากาศส่วนเกินด้วยเครื่องวัดไอเสียที่ปล่องควันของเตาเผา โดยจะให้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ทดลองครั้งแรกมีค่าประมาณ 20% โดยการปรับปริมาณอากาศที่ลิ้นปรับปริมาณลมในท่อที่ต่อจาก Blower จากนั้นทำการก๊าซ CO, CO_2, O_2, NO โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียและอ่านค่าอุณหภูมิจาก Data logger จากตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงเตา

4. ทำการทดลองตามข้อ 3 อีกครั้งโดยการเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินที่วัดดังนี้ 60 และ 120% ตามลำดับ

6. ทำการทดลองตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 อีกครั้งโดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงผสมที่ได้จากการผสมแกลบกับชานอ้อย โดยการผสมจะทดสอบผสมที่เหลือคือ

- ใช้แกลบ 45% ผสมกับชานอ้อย 55%
- ใช้แกลบ 25% ผสมกับชานอ้อย 75%

7. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

8. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของทรายที่ใช้เป็นเบดในการเผาไหม้ [3]

ส่วนประกอบทางเคมี (%)	ทรายซิลิกา	ทรายอลูมินา 99%
SiO_2	89.9	0.3
Al_2O_3	7.8	99.3
Fe_2O_3	1.2	0.2
TiO_2	-	-
CaO	0.1	0.1
MgO	0.9	0.1
K_2O	0.1	-
Na_2O	-	-

ที่มา : บริษัทผู้จำหน่ายทราย

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของทรายทั้งสองชนิดแล้ว จะสังเกตได้ว่าทรายอลูมินา 99% จะมีส่วนผสมของ Al_2O_3 มากกว่าทรายซิลิกา ในขณะที่ทรายซิลิกาจะมีส่วนผสมของ SiO_2 มากกว่าเช่นกัน ดังนั้นจากองค์ประกอบดังกล่าวของทรายอลูมินาที่มี Al_2O_3 มากกว่าจึงสามารถลดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ โดยองค์ประกอบของทรายอลูมินาได้ข้อมูลมาจากบริษัทที่ทำการจำหน่ายทรายชนิดนี้

ตารางที่ 4.2 ขนาดเฉลี่ยของทรายที่ใช้เป็นเบดในการเผาไหม้

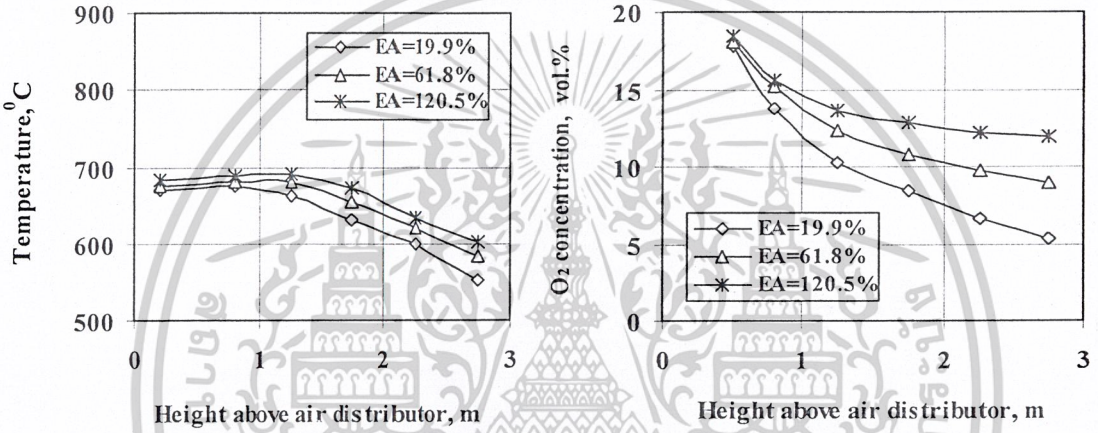
วัสดุเบด	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)
ทรายซิลิกา	0.196
ทรายอลูมินา 99%	0.396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบหาค่าปริมาณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่เป็นวัสดุเบด โดยวิธีการร่อนด้วยตะแกรงโยก (Sieve Analysis) จะสังเกตเห็นว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายอลูมิน่าจะมีขนาดใหญ่กว่าทรายซิลิกา

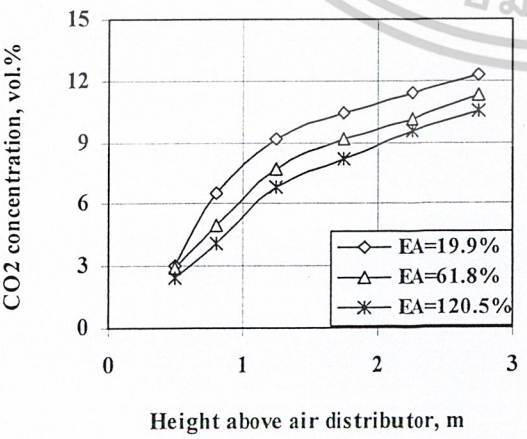
4.2 ผลการทดลองเผาแกลบกับทรายซิลิกา

- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 40 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินปริมาณ 20, 60 และ 120%

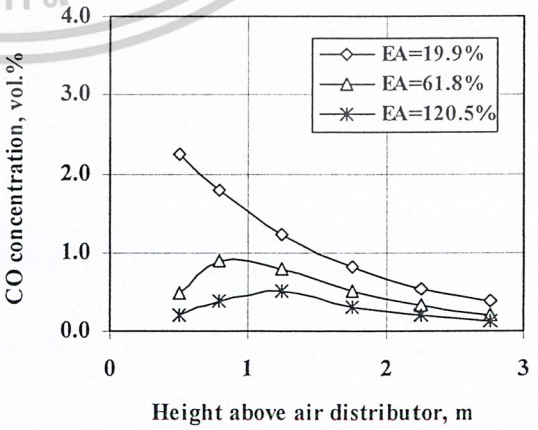


ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิการเผาไหม้

ภาพที่ 4.2 ปริมาณ O_2

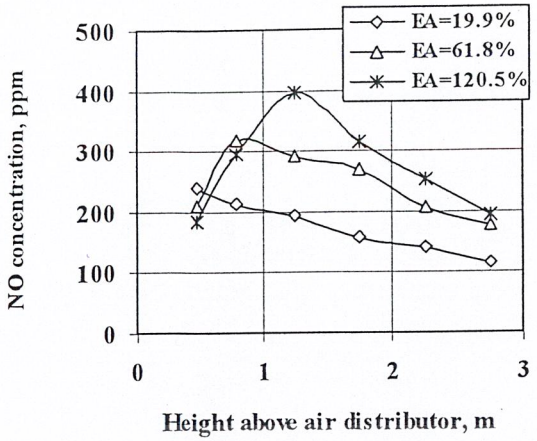


ภาพที่ 4.3 ปริมาณ CO_2



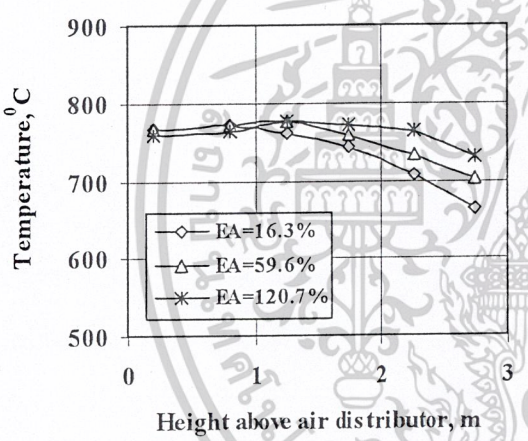
ภาพที่ 4.4 ปริมาณ CO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

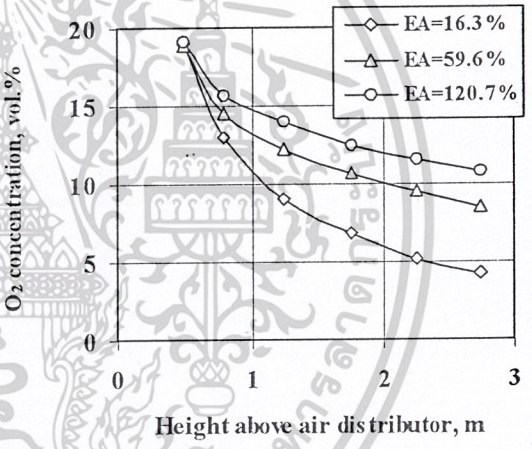


ภาพที่ 4.5 ปริมาณ NO

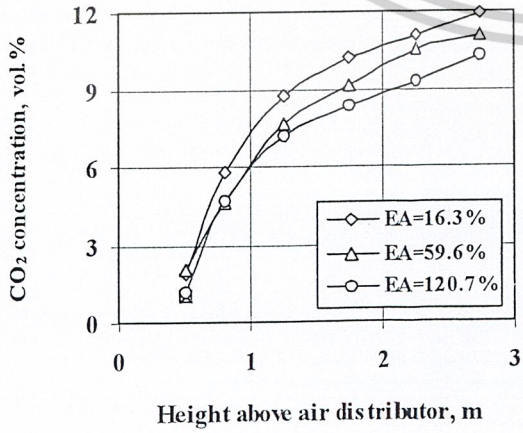
- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินปริมาณ 20, 60 และ 120%



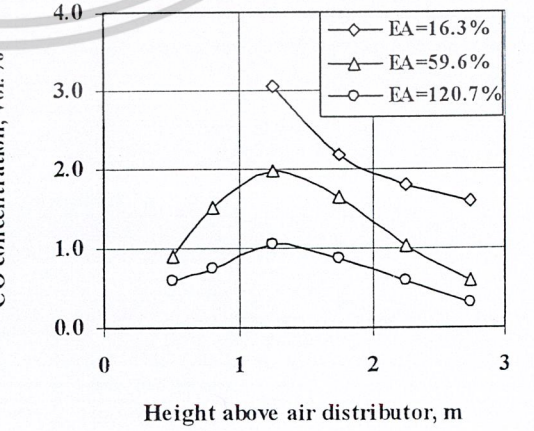
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิการเผาไหม้



ภาพที่ 4.7 ปริมาณ O_2

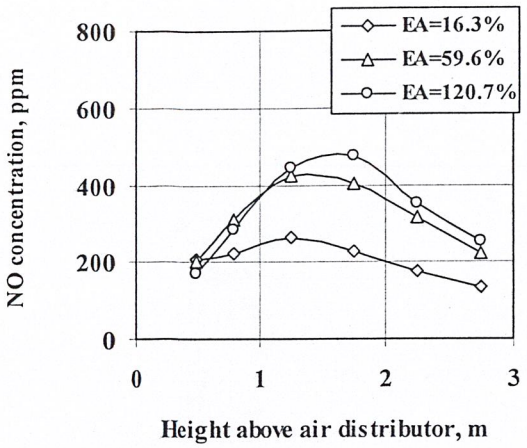


ภาพที่ 4.8 ปริมาณ CO_2



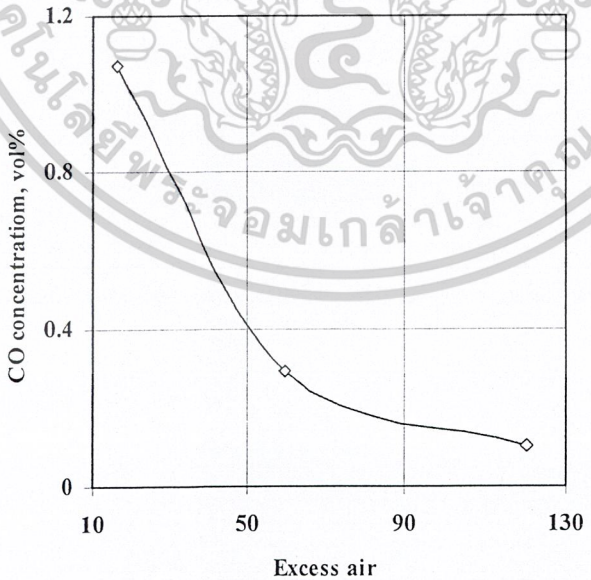
ภาพที่ 4.9 ปริมาณ CO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



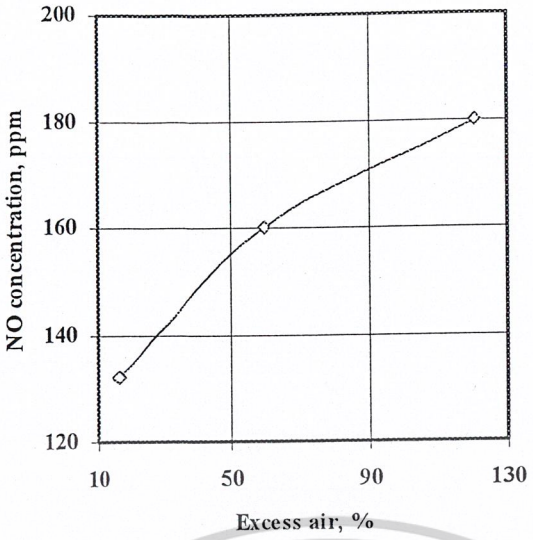
ภาพที่ 4.10 ปริมาณ NO

จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.10 จะสังเกตได้ว่า ที่อัตราการป้องเชื้อเพลิง 40 kg/hr จะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาที่น้อยกว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มากกว่าคือที่ 84.2 kg/hr ส่วนการกระจายตัวของก๊าซต่าง ๆ เป็นดังนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และจะลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น ก๊าซออกซิเจนจะลดลงเมื่ออัตราการป้อนของเชื้อเพลิงมากขึ้นและปริมาณอากาศส่วนเกินที่น้อยลง ส่วนค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์จะมีปริมาณมากขึ้นเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินสูงขึ้น



ภาพที่ 4.11 ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

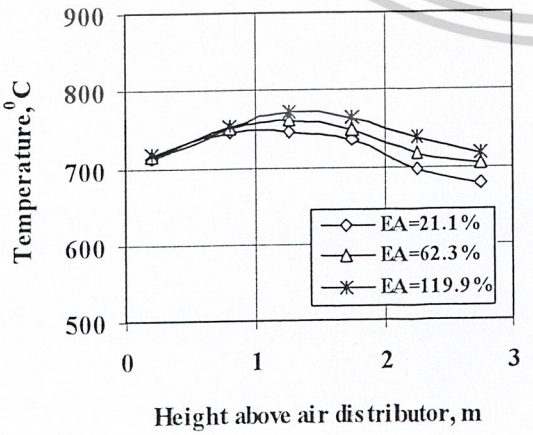


ภาพที่ 4.12 ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

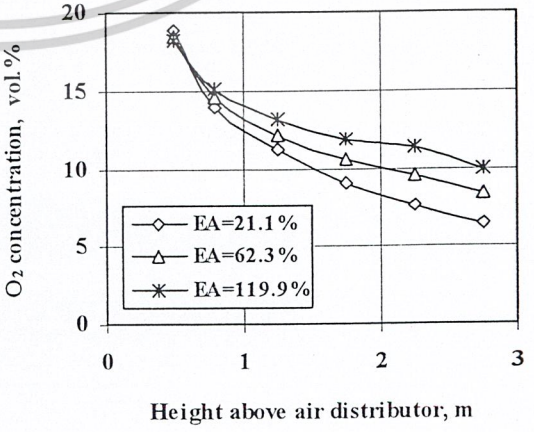
จากภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12 แสดงลักษณะปริมาณการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์ ที่ออกจากปล่องควันของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด เทียบกับปริมาณอากาศส่วนเกินระดับต่าง ๆ ที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดในการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 kg/hr จะสังเกตเห็นว่า ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินมีมากขึ้น ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้น

4.3 ผลการทดลองเผาแกลบกับทรายอลูมินา 99 เปอร์เซ็นต์

- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินปริมาณ 20, 60 และ 120%

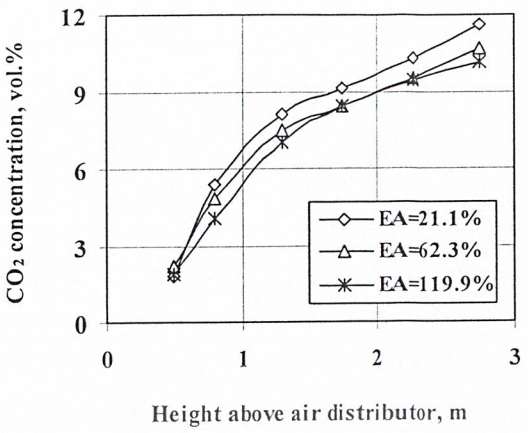


ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิการเผาไหม้

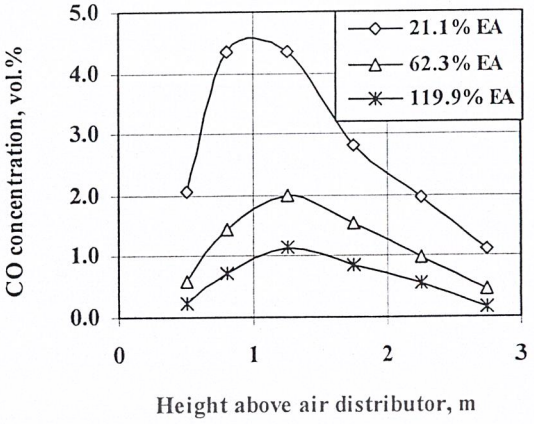


ภาพที่ 4.14 ปริมาณ O_2

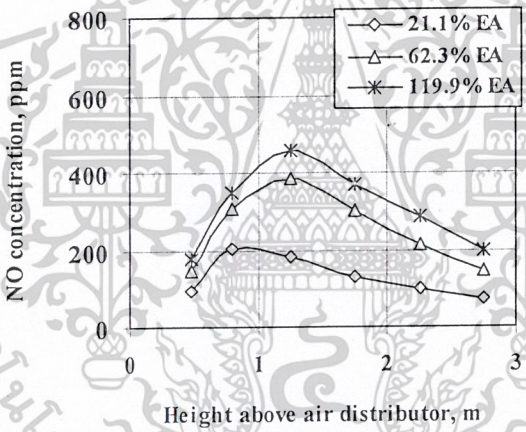
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ปริมาณ CO_2



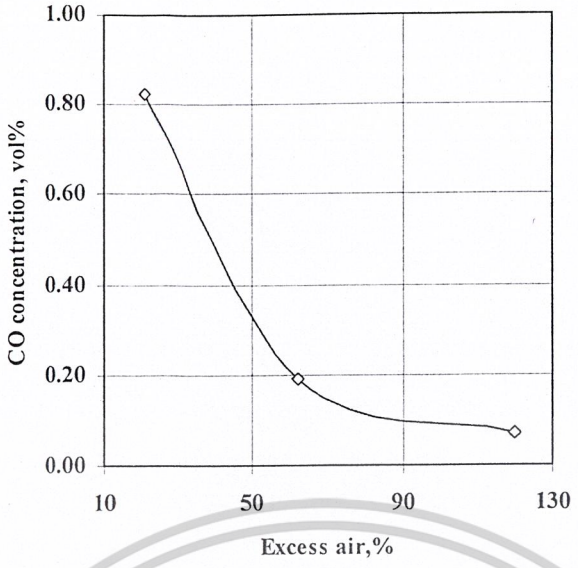
ภาพที่ 4.16 ปริมาณ CO



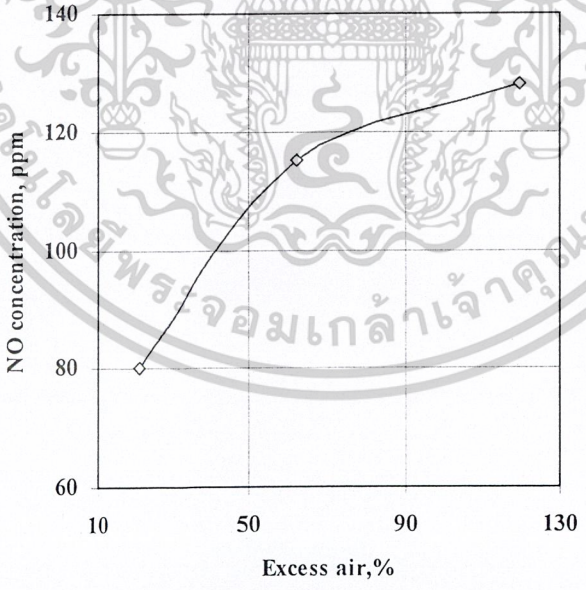
ภาพที่ 4.17 ปริมาณ NO

จากกราฟที่ 4.13 ถึง 4.17 เป็นกราฟแสดงข้อมูลการเผาไหม้ภายในเตาเมื่อเป็นวัสดุเบดจากทรายซิลิกาเป็นทรายอลูมินาเผาไหม้กับแกลบที่อัตราการป้อนประมาณ 84.2 kg/hr ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ต่างกัน 3 ค่าเช่นเดียวกับการทดสอบการเผาไหม้แกลบกับทรายซิลิกา จากกราฟอุณหภูมิจะเห็นว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาอยู่ระหว่าง 700-800 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกิน ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเมื่ออากาศส่วนเกินสูงขึ้น แต่ปริมาณก๊าซต่างๆ ทั้งหมดจะมีปริมาณที่น้อยกว่าการเผาไหม้แกลบเมื่อใช้ทรายซิลิกาเป็นวัดสุเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

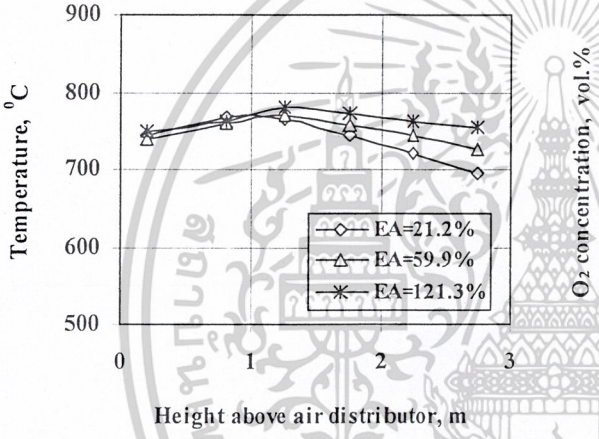


ภาพที่ 4.19 ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

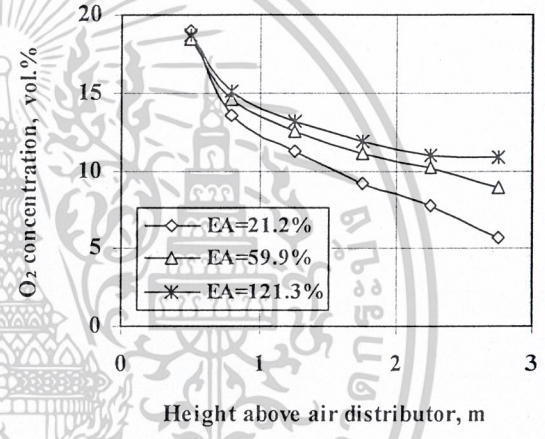
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.18 และ 4.19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกจากปล่องควันของเตาเชื้อเพลิงชีวมวล แบบฟลูอิดไดซ์เบดเทียบกับปริมาณอากาศส่วนเกินระดับต่าง ๆ เมื่อทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr ใช้จะสังเกตเห็นว่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินให้มากขึ้น ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้นเช่นเดียวกับที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดในการทดลอง

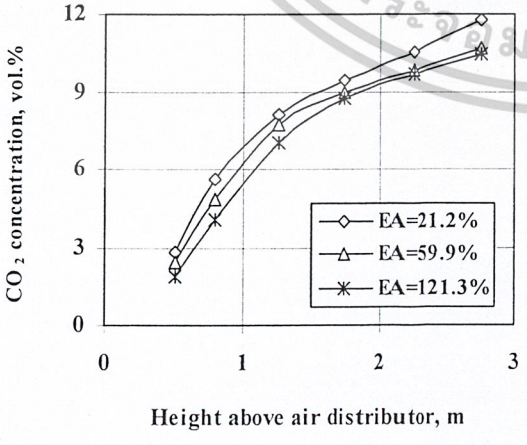
- ความสูงเบด 40 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินปริมาณ 20, 60 และ 120%



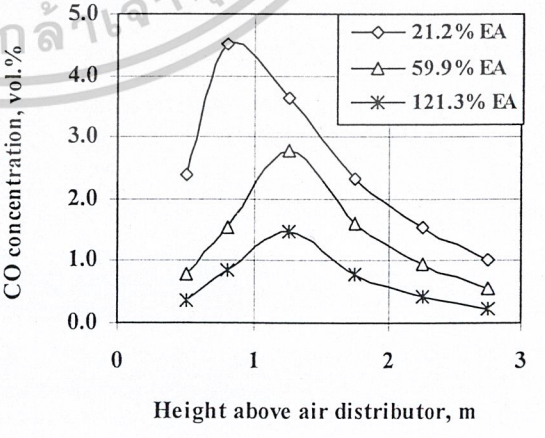
ภาพที่ 4.20 อุณหภูมิการเผาไหม้



ภาพที่ 4.21 ปริมาณ O_2

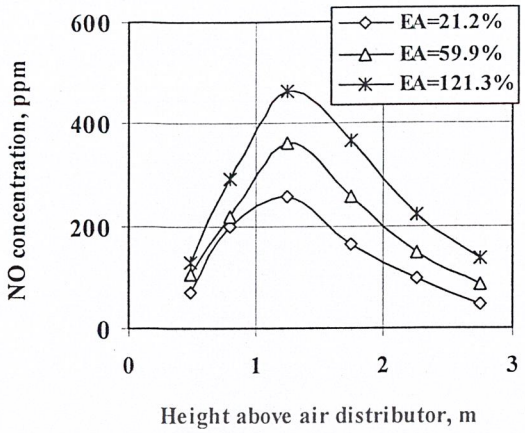


ภาพที่ 4.22 ปริมาณ CO_2



ภาพที่ 4.23 ปริมาณ CO

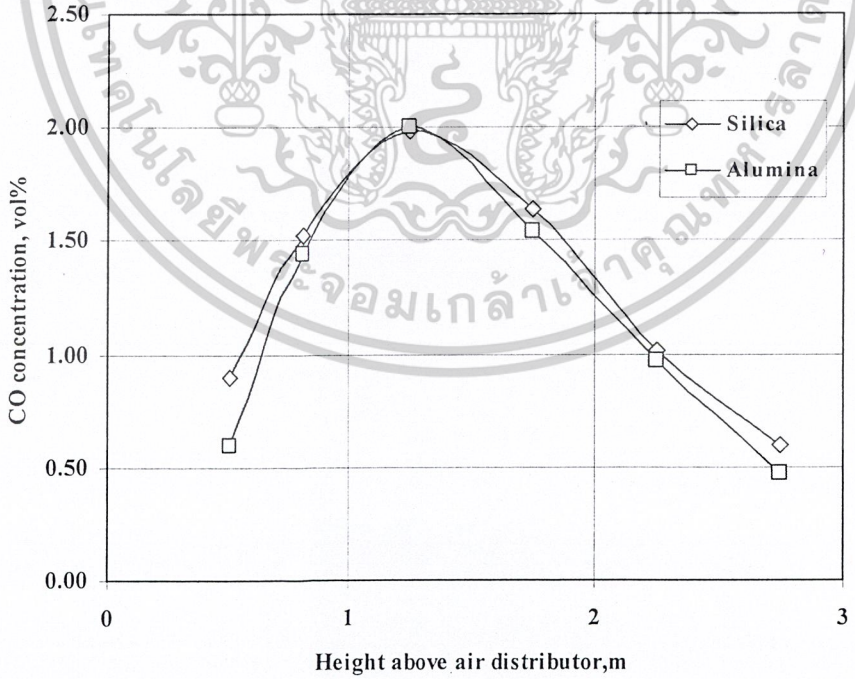
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 ปริมาณ NO

4.4 เปรียบเทียบลักษณะของ CO และ NO ที่วัสดุเบดต่างกัน

4.4.1 CO Profiles

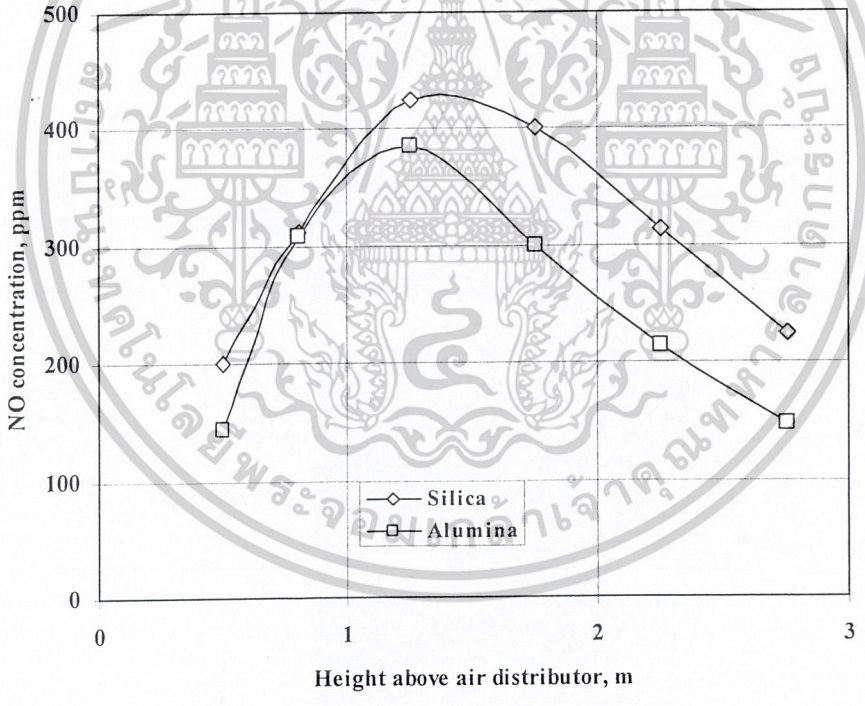


ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบ CO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลการทดลองที่ 4.25 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดภายในเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดเมื่อเปลี่ยนวัสดุเบดชนิดต่าง ๆ กับแกลบโดยใช้ระดับปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 60% ที่ความสูงระดับต่าง ๆ ภายในเตา จะสังเกตได้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดเริ่มต้นเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำกว่าการใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบด และเมื่อความสูงของเตาเพิ่มขึ้นปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่จุดค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือที่ช่วงความสูงประมาณ 1.25 เมตร ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะสูงมาก และจะลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อความสูงของเตาลดลง จนออกจากปล่องจากเส้นกราฟที่เกิดขึ้นปริมาณคาร์บอน ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดจะมีอัตราการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ดีกว่าการที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดในการทดลอง

4.4.2 NO Profiles



ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบ NO

จากกราฟผลการทดลองที่ 4.26 แสดงปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดภายในเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดเมื่อเปลี่ยนวัสดุเบดชนิดต่างๆ กับแกลบโดยใช้ระดับปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 60% ที่ความสูงระดับต่าง ๆ ภายในเตาจะสังเกตเห็นว่า ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกที่เกิดการเผาไหม้ที่มีการวัดที่ความสูงของเตาเผา 0.5 เมตร

เอกสารที่เผยแพร่ในเว็บไซต์นี้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

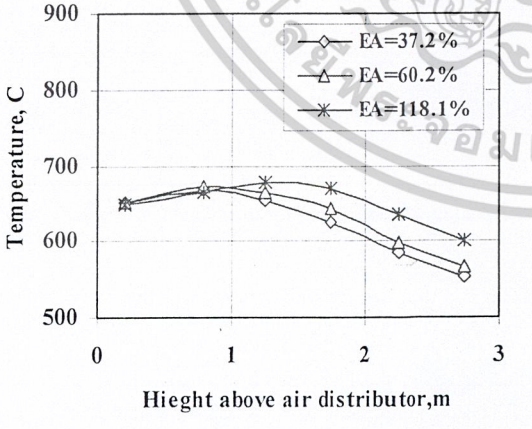
การเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบด จะมีจุดเริ่มต้นการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่สูงกว่าที่ใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดและจากกราฟเส้นทั้งสองจะค่อยๆ มีปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามความสูงของเตาเผา โดยที่ความสูงประมาณ 1.25 เมตรของความสูงเตาเผาปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะมีปริมาณที่สูงที่สุด เส้นกราฟการกระจายตัวของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ใช้ทราย ซิลิกาเป็นวัสดุเบด จะมีจุดสูงสุดของการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่สูงกว่าการกระจายตัวของก๊าซ ไนตริกออกไซด์ที่ใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบด หลังจากนั้นปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะลดต่ำลงเมื่อความสูงของเตาเพิ่มมากขึ้นจากกราฟในช่วงความสูงของเตาระหว่าง 1.25-2.75 เมตร ก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดจะลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ได้มาก และรวดเร็ว ส่วนการใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดนั้น จะลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ได้น้อยกว่าการใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบด

นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ทรายอลูมินา 50% เป็นวัสดุเบดในการทดลอง ซึ่งข้อมูลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ท้ายเล่ม

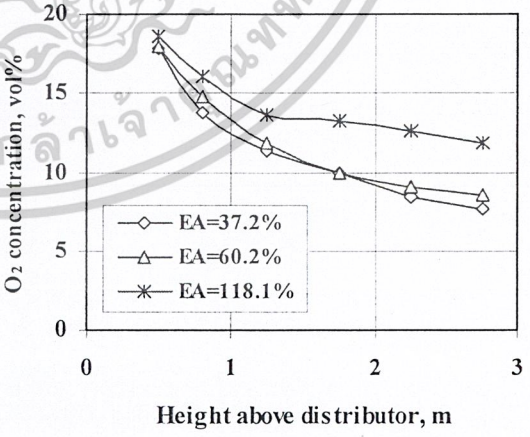
4.5 การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบและชานอ้อยกับทรายซิลิกา

4.5.1 ส่วนผสมแกลบ 45 เปอร์เซ็นต์และชานอ้อย 55 เปอร์เซ็นต์

- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อน 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ

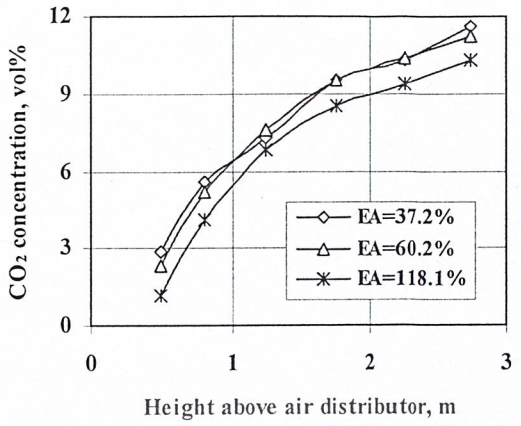


ภาพที่ 4.27 อุณหภูมิการเผาไหม้

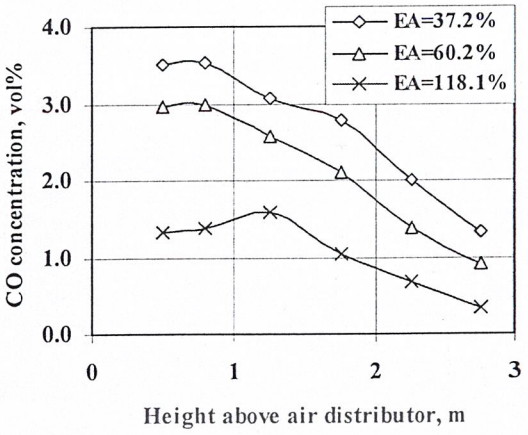


ภาพที่ 4.28 ปริมาณ O_2

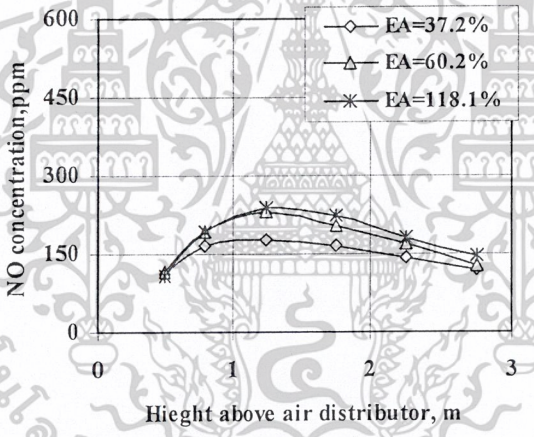
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 ปริมาณ CO_2



ภาพที่ 4.30 ปริมาณ CO



ภาพที่ 4.31 ปริมาณ NO

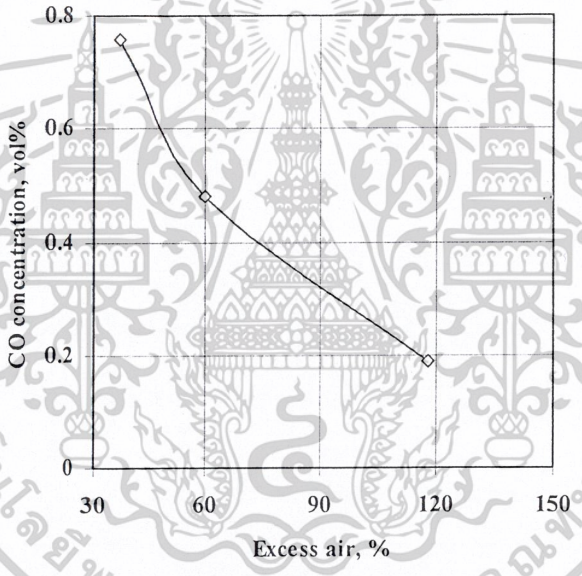
จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.27 ถึง 4.31 ที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดเผาไหม้กับเชื้อเพลิงผสมของแกลบ 45% ชานอ้อย 55% โดยน้ำหนัก จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่กระจายตัวภายในเตาจะมีค่าค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกับอัตราการป้อนที่ 40 kg/hr ที่ใช้ทดลองกับทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบด ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนการผสมของชานอ้อยมีมากเกินไปจนทำให้ความชื้นมีมากจนเกินไปประมาณ 37% (Wet basic) จึงทำให้ความร้อนบางส่วนนำไปใช้ในการลดความชื้นของเชื้อเพลิงก่อนขณะเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิที่เหลืออยู่จึงมีค่าลดลงอย่างที่เห็นในกราฟ

จากการทดลองผสมเชื้อเพลิงจากแกลบและชานอ้อย ซึ่งชานอ้อยมีความชื้นสูงมากเมื่อนำมาผสมกันตามอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วบางอัตราส่วนการผสมสามารถทำการทดลองไม่ได้เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นมีมากเกินไปจนทำให้การเผาไหม้ภายในเตาไม่ต่อเนื่องจนทำให้เตาดับในที่สุดโดยอัตราส่วนที่เริ่มสามารถเผาไหม้ได้ต่อเนื่องดีเริ่มจากอัตราส่วนของชานอ้อยตั้งแต่ 55% ลดลงไปเรื่อย ๆ จึงเลือกอัตราส่วนผสมที่นำมาทดลอง 2 อัตราส่วนผสมดังกล่าวคือ อัตราส่วนแกลบ 45% ชานอ้อย 55% และอัตราส่วนแกลบ 75% ชานอ้อย 25% โดยน้ำหนัก

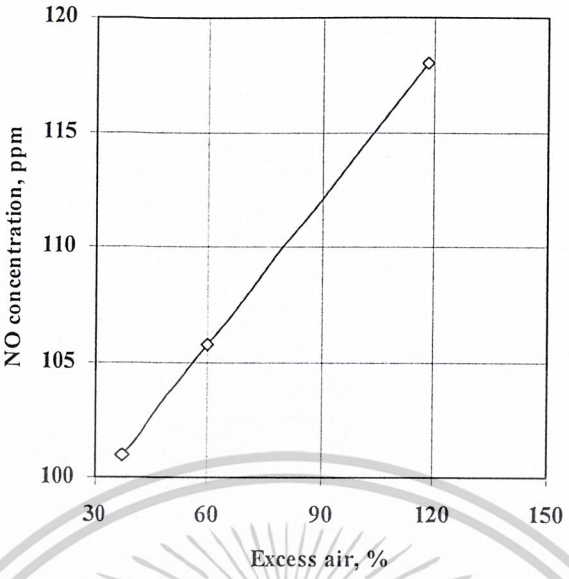
ส่วนปริมาณการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในเตาจะที่อัตราการลดลงที่ดีกว่าเมื่อใช้ทรายซิลิกาเป็น วัสดุเผาไหม้กับแกลบธรรมดาเพียงอย่างเดียวแต่ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกินส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมาดังจะเห็นได้จากกราฟแสดงผลการทดลองข้างต้น



ภาพที่ 4.32 ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

จากกราฟที่ 4.32 แสดงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกที่ปล่องควันของเตาเผาแบบฟลูอิดไซด์เบดเมื่อเผาเชื้อเพลิงผสมแกลบ 45% ชานอ้อย 55% โดยน้ำหนักกับทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ กัน จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงแรกที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 40-60% อัตราการลดลงของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออากาศส่วนเกินตั้งแต่ 60% อัตราการลดของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

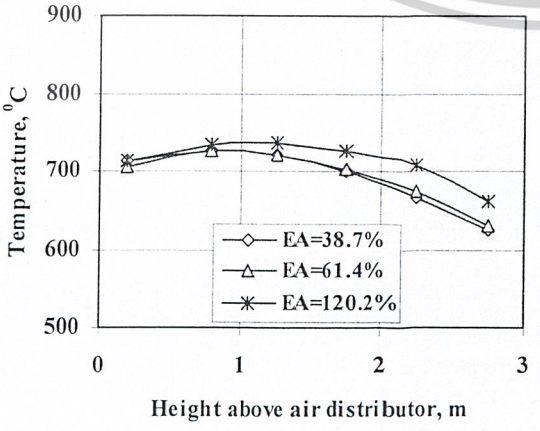


ภาพที่ 4.33 ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

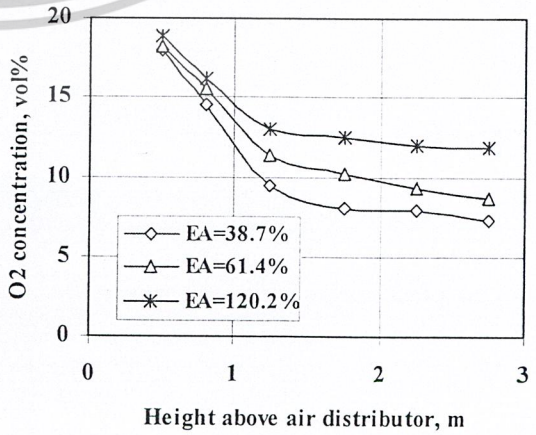
จากกราฟที่ 4.33 แสดงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ออกจากปล่องควันของเตาเผาตามปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ กัน เมื่อเผาเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบ 45% และชานอ้อย 55% โดยน้ำหนักกับทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบด ที่อัตราการป้อนประมาณ 84.2 kg/hr จะสังเกตเห็นว่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณอากาศสูงขึ้น

4.5.2 ส่วนผสมแกลบ 75 เปอร์เซ็นต์และชานอ้อย 25 เปอร์เซ็นต์

- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อน 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ

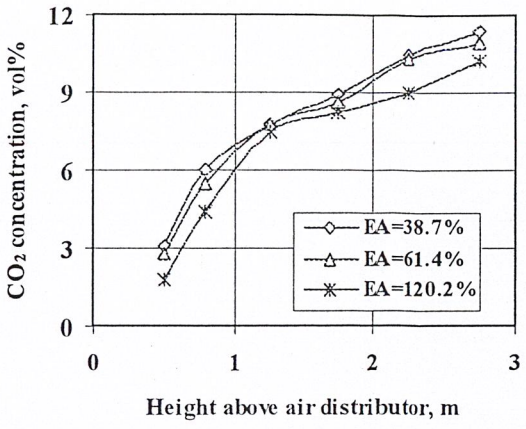


ภาพที่ 4.34 อุณหภูมิการเผาไหม้

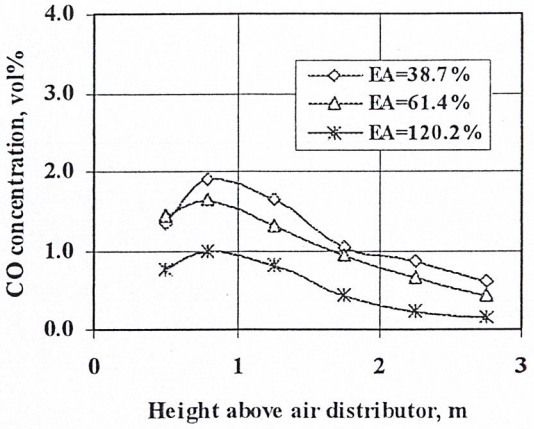


ภาพที่ 4.35 ปริมาณ O_2

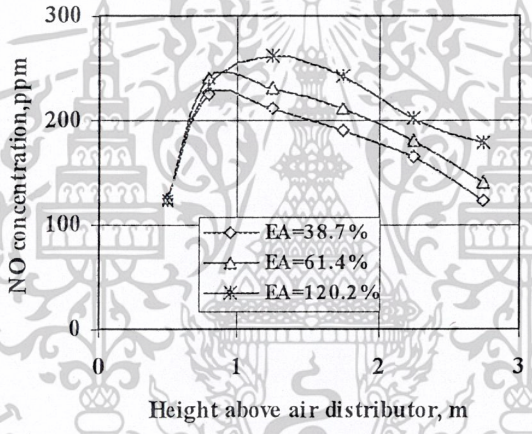
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.36 ปริมาณ CO_2



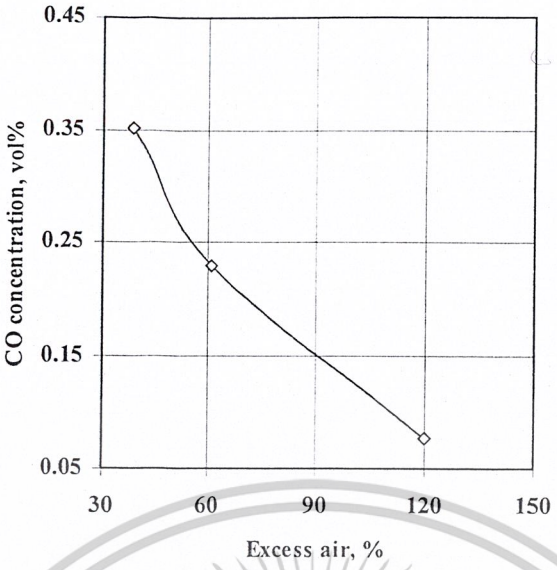
ภาพที่ 4.37 ปริมาณ CO



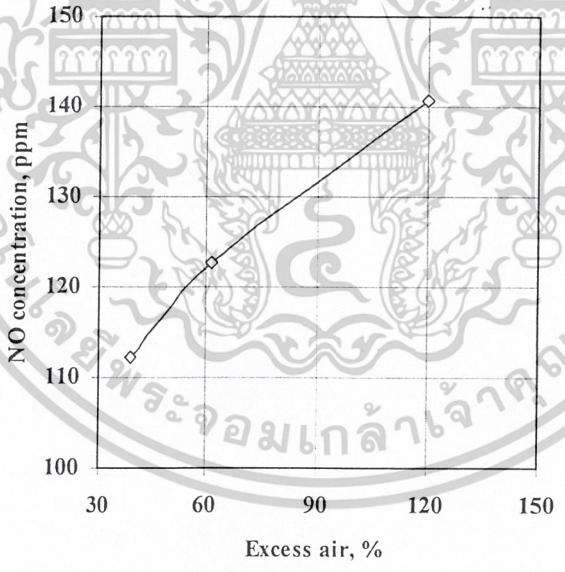
ภาพที่ 4.38 ปริมาณ NO

จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.34 ถึง 4.38 ที่ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดเผาไหม้กับเชื้อเพลิงผสมของแกลบ 75% ชานอ้อย 25% โดยน้ำหนัก ที่อัตราการป้อน 84.2 kg/hr ที่ปริมารอากาศส่วนเกินต่าง ๆ กัน จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่กระจายตัวภายในเตาจะมีค่าสูงใกล้เคียงกับแกลบธรรมดาในอัตราการป้อนที่เท่ากันคือประมาณ 700-750 องศาเซลเซียส โดยมีค่ามากกว่าการเผาเชื้อเพลิงผสมแกลบ 55% ชานอ้อย 45% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีความชื้นที่น้อยกว่าคือประมาณ 17% มาตรฐานเปียก ส่วนการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในเตา จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกินจะที่อัตราการลดลงที่ดีกว่าเมื่อใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเผาไหม้กับแกลบธรรมดาเพียงอย่างเดียว ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.39 ปริมาณ CO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน



ภาพที่ 4.40 ปริมาณ NO ในไอเสียที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.34 ถึง 4.38 ที่เป็นผลการทดลองจากการใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดเผาไหม้กับเชื้อเพลิงผสมของแกลบ 75% ชานอ้อย 25% ความสูงเบด 20 ซม. ที่อัตราการป้อนประมาณ 84.2 kg/hr จะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตามีค่ามากกว่าการใช้เชื้อ

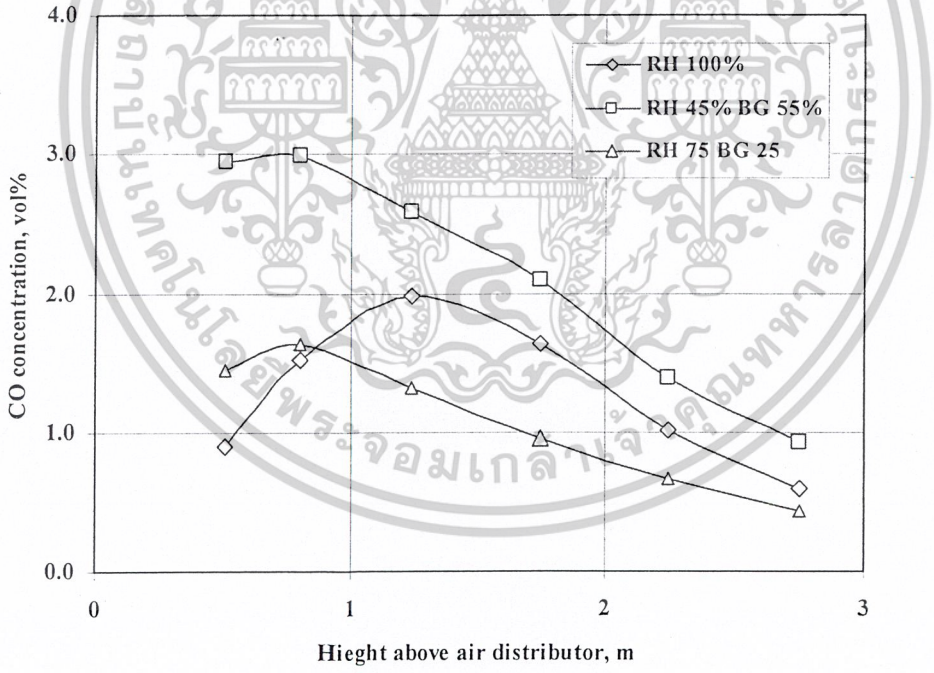
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลิงผสมในอัตราส่วนผสมแกลบ 45% ชานอ้อย 55% เพราะความชื้นมีค่าน้อยกว่าประมาณ 17% (Wet basic) การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนค่อนข้างใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยปริมาณอากาศส่วนเกินยิ่งมากปริมาณการกระจายตัวของก๊าซทั้งสองดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นมากตามด้วย

ส่วนกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.39 และ 4.40 จะแสดงการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น การกระจายตัวของก๊าซไนตริกออกไซด์จะเพิ่มขึ้น ส่วนการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดต่ำลงเรื่อย ๆ

4.5.3 การเปรียบเทียบ CO และ NO

- CO Propfiles



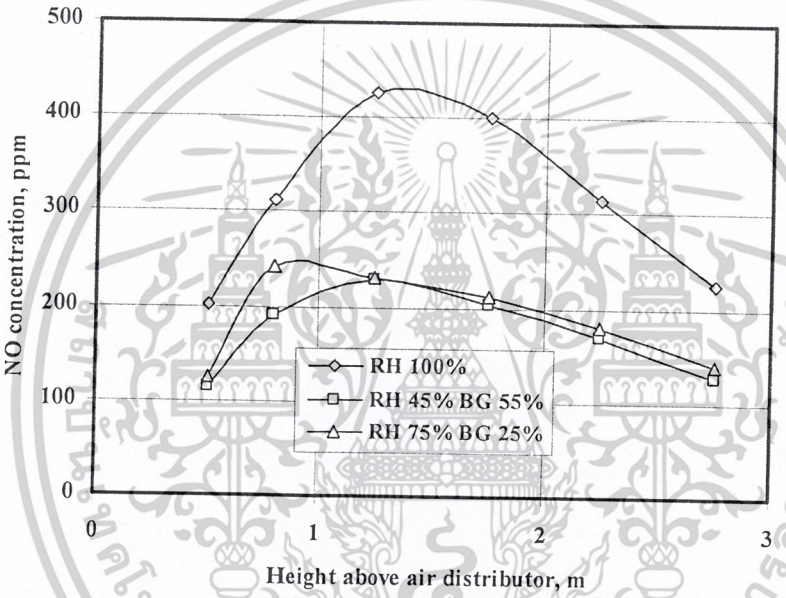
ภาพที่ 4.41 ปริมาณ CO

จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.41 แสดงผลการทดลองของปริมาณการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดเผาไหม้กับเชื้อเพลิงแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมดาและเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับชานอ้อยในอัตราส่วนต่างๆ กัน ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 60% จากกราฟการทดลองจะสังเกตเห็นว่าปริมาณการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแกลบธรรมดาจะมีค่าสูงกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่เกิดจากเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับชานอ้อย ดังจะเห็นว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเรื่อย ๆ ตามอัตราส่วนผสมของแกลบที่ลดลงนั้นเอง

- **NO Profiles**



ภาพที่ 4.42 ปริมาณ NO

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 4.42 แสดงผลการทดลองของปริมาณการกระจายตัวของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดเผาไหม้กับเชื้อเพลิงแกลบธรรมดาและเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับชานอ้อยในอัตราส่วนต่างๆ กัน ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 60% จากกราฟการทดลองจะสังเกตเห็นว่า ปริมาณการกระจายตัวของก๊าซไนตริกออกไซด์ของแกลบธรรมดาจะมีค่าสูงกว่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากเชื้อเพลิงผสมของแกลบกับชานอ้อย ดังจะเห็นว่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จะลดลงเรื่อยๆ ตามอัตราส่วนผสมของแกลบที่ลดลงเช่นเดียวกับการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

4.6.1 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency)

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

วัสดุเบด		Excess Air (%)	CO (ppm)	Cc (wt%)	q_3 (%)	q_4 (%)	η (%)
ชนิด	ความสูง						
SiO_2	20 cm	16.3	10731	0.84.2	5.55	0.36	94.10
		59.6	2948	0.63	5.59	0.26	94.15
		120.7	1018	0.51	3.9	0.21	95.88
Al_2O_3	20 cm	21.2	9157	3.10	5.5	1.28	93.24
		59.9	2331	0.43	3.61	0.18	96.21
		121.3	784.2	1.60	3.42	0.67	95.91
Al_2O_3	40 cm	21.3	8349	3.60	5.55	1.55	92.91
		59.9	2001	0.37	3.81	0.15	96.03
		121.3	715	0.16	2.76	0.06	97.17

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบไม่หมดที่มีคาร์บอนเหลืออยู่ในขี้เถา มีน้อยมากทั้ง 3 การทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 0.1-1.6% ในขณะที่การสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นจากไอเสียที่ออกจากปล่องควันก็ค่อนข้างใกล้เคียงกันด้วยโดยจะลดลงตามปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ นั้น เมื่อเปลี่ยนชนิดของเบดประสิทธิภาพของเตาก็ยังคงสูงอยู่ในช่วง 91% ถึง 97% จากผลดังกล่าวจึงพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนวัสดุเบดของเตาไม่ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)

ตารางที่ 4.4 การสูญเสียความร้อนที่ผนังเตา

วัสดุเบด		Exess Air (%)	T_{air} (^{0}C)	T Surface (^{0}C)	Feed rate (kg/hr)	q_5 (%)
ชนิด	ความสูง					
SiO_2	20 cm	16.3	33	88	84.2	3.71
		59.6	33	86	84.2	3.57
		120.7	33	87	84.2	3.64
Al_2O_3	20 cm	21.2	36	90	84.2	3.66
		59.9	36	90	84.2	3.73
		121.3	36	89	84.2	3.59
Al_2O_3	40 cm	21.3	33	86	84.2	3.57
		59.9	33	89	84.2	3.78
		121.3	33	92	84.2	3.99

จากตารางที่ 4.4 แสดงสูญเสียความร้อนที่ผนังเตาตำแหน่งต่างๆ จากข้อมูลดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าการสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังเตาไม่ขึ้นกับปริมาณอากาศส่วนเกิน ส่วนชนิดของเบดที่นำมาทดลองทั้งทรายซิลิกาและทรายอลูมินา ทั้งที่ความสูงของเบดที่ต่างกันก็ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังเตาแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

Bed material		Exess Air	q_3	q_4	q_5	η_{th}
ชนิด	ความสูง	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SiO_2	20 cm.	16.3	5.55	0.36	3.71	90.39
		59.6	5.59	0.26	3.57	90.58
		120.7	3.90	0.21	3.64	92.23
Al_2O_3	20 cm.	21.2	5.50	1.28	3.66	89.58
		59.9	3.61	0.18	3.73	92.48
		121.3	3.42	0.67	3.59	92.32
Al_2O_3	40 cm.	21.3	5.55	1.55	3.57	89.33
		59.9	3.81	0.15	3.78	92.25
		121.3	2.76	0.06	3.99	93.17

จากตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่คิดจากการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตาตำแหน่งต่างๆ จากข้อมูลดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าการสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังเตา มีปริมาณที่น้อยมากประมาณ 3-4% โดยไม่ขึ้นกับปริมาณอากาศส่วนเกิน ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ยังสูงอยู่นั้นมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าตั้งแต่ 89% ถึง 93% โดยที่มีการสูญเสียความร้อนของเตาส่วนใหญ่ไปกับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกที่ปล่องควันที่เป็นการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบรูณ์ การที่จะลดการสูญเสียส่วนนี้ให้ลดลงก็อาจโดยการเพิ่มปริมาณอาการส่วนเกินให้สูงขึ้นมากกว่า 120% แต่ถ้าเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินมากจนมีความเร็วของอากาศที่สูงเกินความเร็วสูงสุดของการเกิดการฟลูอิดไดซ์ ก็จะทำให้ทั้งทรายที่เป็นวัสดุเบดและเชื้อเพลิงลอยออกที่ปล่องควันก็จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำลงได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ ที่เกิดจากเผาไหม้แกลบในเตาฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งมีแนวทางการศึกษาการลด 2 แนวทางคือ การเปลี่ยนวัสดุเบดที่ใช้ในการเผาไหม้ในเตาฟลูอิดไดซ์เบด โดยวัสดุเบดที่นำมาทดลองเปลี่ยนได้แก่ ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดแทนทรายซิลิกาเดิม แนวทางที่ 2 คือการใช้เชื้อเพลิงผสมที่มาจากแกลบกับชานอ้อยที่อัตราส่วนของการผสมต่าง ๆ กัน นำมาแทนแกลบธรรดาที่ใช้อยู่ หลังจากการทดลองศึกษาและเก็บข้อมูลสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- หลังจากการศึกษาทดลองนำทรายอลูมินา มาใช้เป็นวัสดุเบดแทนทรายซิลิกาในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้แกลบนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่นำทรายซิลิกามาเป็นวัสดุเบดของเตาเผากับการใช้ทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดในการเผาไหม้ พบว่าก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบโดยมีทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบดนั้น จะมีค่าน้อยกว่าการใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบด ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากัน

- การใช้เชื้อเพลิงผสมที่เกิดจากการผสมแกลบกับชานอ้อยในอัตราส่วนต่าง ๆ มาเป็นเชื้อเพลิงทดสอบแทนการใช้แกลบธรรมดา โดยการใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดในการเผาไหม้หลังจากการทดสอบและศึกษาพบว่าการใช้เชื้อเพลิงผสมสามารถลดการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ลงได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ โดยการเปลี่ยนวัสดุเบดแล้วการลดแบบนี้ยังสามารถลดการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ได้น้อยกว่าประมาณ 10-50 ppm เมื่อเทียบที่อัตราการป้อนและปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากันและแตกต่างกันตามอัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสม และนอกจากนั้นการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผสมกับแกลบนั้น บางอัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสมจะมีความชื้นมากเกินไปจนไม่สามารถทำการเผาไหม้ได้ เนื่องจากชานอ้อยมีความชื้นที่สูงมากจนเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ ยิ่งอัตราส่วนของชานอ้อยมากขึ้นปัญหาของการเผาไหม้ที่ไม่ต่อเนื่องก็จะมากขึ้นอีกทั้งจะทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาลดลง

- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไม้แกลบในเตาฟลูอิดไดซ์เบดทั้งแบบที่มีทรายซิลิกาเป็นวัสดุเบดและแบบที่มีทรายอลูมินาเป็นวัสดุเบด พบว่าค่าของประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงและอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันประมาณ 92-97% โดยมีการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น 2 แหล่งคือการสูญเสียความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงที่ถูกพัดพาไปกับขี้เถ้า และการสูญเสียเนื่องจากไอเสียที่ออกจากปล่องควัน โดยที่ปริมาณการสูญเสียจากไอเสียที่ออกจากปล่องควัน จะมีปริมาณมากกว่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน แต่การสูญเสียความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้นำเอาการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเตา โดยเตาที่ใช้ทดสอบหุ้มด้วยฉนวนป้องกันความร้อนจึงมีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังน้อย การสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นจึงมีน้อยมากมีค่าประมาณ 3-4% จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนยังคงมีค่าค่อนข้างสูงเช่นเดียวกันประมาณ 89-93% โดยที่ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่สูญเสียผ่านออกมาทางผนังเตา ยิ่งมีการสูญเสียความร้อนน้อยประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะเพิ่มสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- หากต้องการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ โดยวิธีการเปลี่ยนเบดมาใช้เป็นแบบทรายอลูมินา ก็จำเป็นจะต้องคำนึงถึงต้นทุนและความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนที่จะต้องเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาของทราย อลูมินาค่อนข้างสูง

- การใช้เชื้อเพลิงผสมเพื่อการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ นั้นนอกจากเชื้อเพลิงผสมที่เกิดจากแกลบและชานอ้อยแล้วอาจมีการนำวัสดุทางการเกษตรอื่นๆ มาเป็นตัวผสมโดยมีแกลบเป็นวัสดุหลักในการผสม เนื่องจากแกลบนั้นสามารถเผาไหม้ได้ง่ายและให้ค่าความร้อนสูงแต่มีโอกาสเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์สูง วัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนชานอ้อยได้อาจเป็น ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด กากถั่วเหลือง เป็นต้น แต่จะต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงที่จะนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ

- นอกจากทรายอลูมินาแล้ว ยังมีวัสดุเบดอย่างอื่นที่อาจสามารถลดการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ดีกว่าทรายอลูมินา ซึ่งควรนำมาทดลองเพื่อศึกษาหาวัสดุเบดที่สามารถลดการเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ได้ดีที่สุด วัสดุดังกล่าวได้แก่ Quartz Sand เป็นต้น

- เนื่องจากผนังเตาทำจากแผ่นเหล็กที่มีค่าการนำความร้อนสูงจึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตามากค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ ก็ควรจะต้องออกแบบให้ผนังเตาทำด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำและมีการทนความร้อนได้ดี เช่น วัสดุจำพวกเซรามิกส์ เมื่อทำได้เช่นนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

A	หมายถึง ร้อยละของขี้เถ้าในเชื้อเพลิง (% wt)
C	หมายถึง ร้อยละของคาร์บอนในเชื้อเพลิง (% wt)
Cc	หมายถึง ร้อยละของคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในขี้เถ้า (%)
H	หมายถึง ร้อยละของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
N	หมายถึง ร้อยละของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
O	หมายถึง ร้อยละของออกซิเจนในเชื้อเพลิง (% wt)
q_4	หมายถึง การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิง (%)
q_3	หมายถึง การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (%)
q_5	หมายถึง การสูญเสียความร้อนที่ผนังเตา (%)
S	หมายถึง ร้อยละของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง (% wt)
Wr	หมายถึง ร้อยละของความชื้นในเชื้อเพลิง (% wt)
$\propto$	หมายถึง ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)
η	หมายถึง ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (%)
η_{th}	หมายถึง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
HHV	คำย่อ Higher Heating Value (kJ/kg_{fuel})
LHV	คำย่อ Lower Heating Value (kJ/kg_{fuel})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้

ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้มีการนำโปรแกรม MathCAD 2000 ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการคำนวณมาใช้งานเพื่อความถูกต้องของค่าตัวเลข มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1.1 การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้

ใส่ค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของแกลบลงไปดังนี้

$C := 37.8 \quad H := 5.2 \quad O := 39.0 \quad N := 0.31 \quad S := 0.05 \quad A := 17.6 \quad Wr := 10.3 \ (\text{dry} - \text{basis})$

$X = C + H + O + N + S + A$

$X = 100$

$K := \frac{(100 - Wr)}{100}$

$Cr := C \cdot K \quad Hr := H \cdot K \quad Or := O \cdot K \quad Nr := N \cdot K \quad Sr := S \cdot K \quad Ar := A \cdot K \quad (\text{mass} - \text{as received})$

$Cr = 33.9066 \quad Hr = 4.6644 \quad Or = 34.983 \quad Nr = 0.27807 \quad Sr = 0.04485 \quad Ar = 15.7872$

$LHV := 339 \cdot Cr + 1030 Hr - 109(Or - Sr) - 25.1 \cdot Wr$

$LHV = 1.223188 \times 10^4$

$\alpha := 12.13 \quad (\text{Excess air})$

$Vo := [0.0889(Cr + 0.375 Sr)] + (0.265 \cdot Hr) - (0.0333 Or)$

$Vro2 := 0.01866(Cr + 0.375 Sr)$

$VoN2 := 0.79 Vo + 0.008 Nr$

$VH2O := \left[\frac{(0.0894 Hr + 0.01 \cdot Wr + 0.013 Vo)}{0.804}\right] + 0.0161(\alpha - 1) \cdot Vo$

$Vg := Vro2 + VoN2 + VH2O + (\alpha - 1) Vo$

$Vdg := Vg - VH2O$

$Vdg = 37.43137$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat loss due to unburned carbon

$Cc := 0.16$ (Unburned carbon , wt%)

$$q4 := 321 \cdot \left(\frac{Cc}{100 - Cc} \right) \cdot Ar \cdot \frac{100}{LHV}$$

$q4 = 0.066395$ %

Heat loss due to incomplete combustion

$CO := 715$ (ppm)

$$q3 := \frac{126.4 \, Vdg \cdot CO \cdot (100 - q4)}{LHV \cdot 10000}$$

$q3 = 2.763803$ %

Combustion efficiency

$\eta c := 100 - q3 - q4$

$\eta c = 97.169802$ %

1.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เป็นการคิดประสิทธิภาพเมื่อเกิดการสูญเสียความร้อนที่ผนังเตา การคิดแบบนี้จะทำให้ทราบถึงค่าพลังงานสูงสุดจริงที่เตาสามารถทำได้ มีวิธีคิดดังต่อไปนี้

Heat loss due to external cooling

$vw := 2$ $\left(\text{Wind velocity} , \frac{m}{s} \right)$

$Fw := 9.15$ (Surface area of FBC, m2)

$\varepsilon := 0.8$ $\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Tc := 273 + 92$ $Tc = 365$ (Surface temperature , K)

$Tair := 273 + 33$ $Tair = 306$ (Ambient temperature , K)

$FR := 84.2$ $\left(\text{Feed rate}, \frac{kg}{hr}\right)$

$B := \frac{FR}{3600}$ $\left(\frac{kg}{sec}\right)$

$$\alpha c := \frac{[5.67 + (3.86 \cdot vw)]}{1000} \qquad \left(\frac{kW}{m2 \cdot K}\right)$$

$\alpha c = 0.01339$

$$\alpha r := \frac{\left[\sigma \cdot \varepsilon \cdot \left(Tc + 0.0552 Tair^{1.5}\right) \cdot \left[Tc^2 + \left(0.0552 Tair^{1.5}\right)^2\right] \cdot \left(Tc - 0.0552 Tair^{1.5}\right)\right]}{(Tc - Tair) \cdot 1000}$$

$\alpha r = 7.785484 \times 10^{-3}$

$$q5 := \left[100 \left[\frac{Fw \cdot (\alpha c + \alpha r) \cdot (Tc - Tair)}{B \cdot LHV}\right]\right]$$

$q5 = 3.995799$ %

Thermal efficiency

$\eta t := 100 - q3 - q4 - q5$

$\eta t = 93.174003$ %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

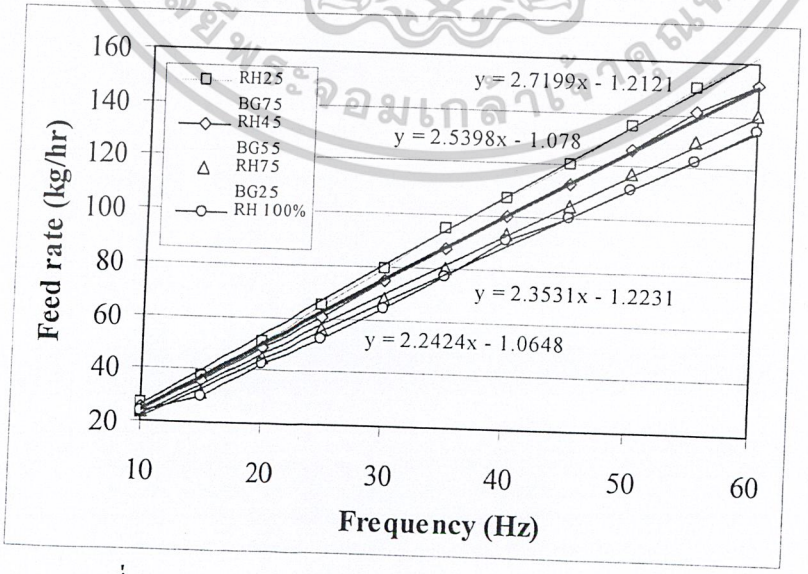
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

ตาราง ข.1 การเปรียบเทียบค่าความถี่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

	RH 25 % BG 75 %	RH 45 % BG 55 %	RH 75 % BG 25 %	RH 100 %
0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	15.9	14.2	12.4	12.1
10	26.4	25.1	24.1	23.9
15	37.5	35.6	31.5	30.1
20	50.6	48.1	44.9	42.1
25	65.1	60.1	55.7	51.9
30	78.9	74.3	68.1	64.4
35	94.9	87.3	80.1	76.9
40	107.1	99.9	93.2	91.2
45	120.1	113.1	104.3	99.8
50	135.4	126.1	117.4	111.5
55	150.6	141.3	129.9	122.4
60	162.5	151.4	140.2	134.4

Hz	31	34	37	38
kg/hr	84.2.8	84.2.3	84.2.8	84.2



ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงผสมที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ข.2 ส่วนผสมของเชื้อเพลิงผสมที่ใช้ในการทดลอง

	RH,kg	BG,kg	Moisture, %
RH 25 % BG 75 %	25	75	41.3
RH 45 % BG 25 %	45	55	36.9
RH 75 % BG 25 %	75	25	17.4
RH 100 %	100	0	10.4

ตารางที่ ข.3 อัตราการป้อนที่ใช้ทดสอบเชื้อเพลิงผสม

	RH25 BG75-41.3%	RH45 BG55-36.9%	RH75 BG25-17.4%	RH100-11.0%
Feed rate, kg/hr	84.2.8	84.2.3	84.2.8	84.2

3. ข้อมูลการทดลองการใช้ทรายอลูมินา 50% เป็นเบดในการทดลอง

ตารางที่ ข.4 องค์ประกอบทางเคมีของทรายอลูมินา 50%

ส่วนประกอบทางเคมี	ทรายอลูมินา 50%
SiO_2	48.1
Al_2O_3	50.2
Fe_2O_3	0.5
TiO_2	0.3
CaO	0.2
MgO	0.2
K_2O	0.3
Na_2O	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ขนาดของทรายอลูมินา 50% เทียบกับทรายซิลิกา

วัสดุเบด	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (ม.ม.)
ทรายซิลิกา	0.196
ทรายอลูมินา 50%	0.170

4. ข้อมูลการหาขนาดเฉลี่ยของเม็ดทราย

ตารางที่ ข.6 ทรายซิลิกาครั้งที่ 1 น้ำหนักรวม 1130 กรัม

เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	414.14	411.25	2.89	-	0.0026	-
30	0.6	480.46	377.22	103.24	0.89	0.0922	0.1036
40	0.43	435.72	311.65	124.07	0.5125	0.1108	0.2162
45	0.35	439.7	314.3	125.4	0.39	0.1119	0.2869
50	0.3	483.55	252.61	231.27	0.3275	0.2065	0.6305
80	0.18	533.51	284.38	249.13	0.24	0.2227	0.9267
100	0.15	364.94	276.22	88.72	0.33	0.0791	0.2367
200	0.07	407.89	273.12	134.77	0.1125	0.1203	1.0693
pan		346.07	284.2.34	60.73	0.0375	0.0542	1.4453
รวม				1120.22		1	4.9182
			ขนาดเม็ดทราย = 1/4.9182 = 0.2033 มม.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ทรายซิลิกาครั้งที่ 2 น้ำหนักรวม 1130 กรัม

เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	414.07	411.14	2.93	-	0.0029	-
30	0.6	479.54	376.92	102.62	0.89	0.1	0.1124
40	0.425	431.81	311.64	120.17	0.5125	0.117	0.2283
45	0.355	418.32	314.15	104.17	0.39	0.1015	0.29
50	0.3	412.5	333.27	79.23	0.3275	0.0772	0.2357
80	0.18	573.07	284.75	288.32	0.24	0.2809	1.1704
100	0.15	372.92	253.14	119.78	0.33	0.1167	0.3536
200	0.075	418.23	273.21	145.02	0.1125	0.1413	1.256
pan		349.36	284.2.26	64.1	0.0375	0.0625	1.6667
รวม				1026.34		1	5.3131
			ขนาดเม็ดทราย = 1/5.3131 = 0.1882 มม.				

ตารางที่ ข.8 ทรายอลูมินา 50% ครั้งที่ 1 น้ำหนักรวม 560 กรัม

เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	411.21	411.14	0.07	-	0.0001	-
30	0.6	447.49	376.53	70.96	0.89	0.1282	0.144
40	0.425	416.75	310.61	106.14	0.5125	0.1918	0.3742
45	0.355	369.37	313.7	55.67	0.39	0.1006	0.2579
50	0.3	348.93	333.22	15.71	0.3275	0.0284	0.0867
80	0.18	403.58	284.39	119.2	0.24	0.2153	0.8971
100	0.15	360.92	318.97	41.95	0.33	0.0758	0.2297
200	0.075	360.21	273.12	87.09	0.0375	0.1573	1.3982
pan		342.09	284.2.35	56.74		0.1025	2.7333
รวม				553.53		1	6.1211
				ขนาดเม็ดทราย = 1/6.1211 =0.1634 มม.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ทรายอลูมินา 50% ครั้งที่ 2 น้ำหนักรวม 600 กรัม

เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	411.33	411.2	0.13	-	0.002	-
30	0.6	448.5	377.71	70.79	0.89	0.1197	0.1345
40	0.425	416.18	311.1	105.08	0.5125	0.1777	0.3467
45	0.355	370.18	314.07	56.11	0.39	0.0949	0.2433
50	0.3	387.38	333.43	53.95	0.3275	0.0912	0.2784.2
80	0.18	407.5	284.8	122.7	0.24	0.2074	0.8642
100	0.15	355.7	315.17	40.53	0.33	0.0684.2	0.2076
200	0.075	359.83	273.04	86.79	0.1125	0.1467	1.304
pan		340.8	284.2.38	55.42	0.0375	0.0937	2.4987
รวม				591.5		1	5.8775
				ขนาดเม็ดทราย = 1 /5.8775 = 0.1701 มม.			

ตารางที่ ข.10 ทรายอลูมินา 90% ครั้งที่ 1 น้ำหนักรวม 630 กรัม

เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	411.32	411.27	0.05	-	0.0001	-
30	0.6	377.3	377.13	0.17	0.89	0.0003	0.0003
40	0.425	465.51	311.36	154.15	0.5125	0.2445	0.4771
45	0.355	692.2	314.01	378.19	0.39	0.6	1.5384.2
50	0.3	377.55	333.42	44.13	0.3275	0.0701	0.214
80	0.18	297.08	284.67	12.4	0.24	0.0197	0.0821
100	0.15	296.51	256.23	40.28	0.33	0.0639	0.1936
200	0.075	273.6	273.11	0.49	0.1125	0.0007	0.0062
pan		284.2.8	284.2.31	0.49	0.0375	0.0007	0.0187
รวม				630.35		1	2.5305
				ขนาดเม็ดทราย = 1 /2.5305= 0.3952 มม.			

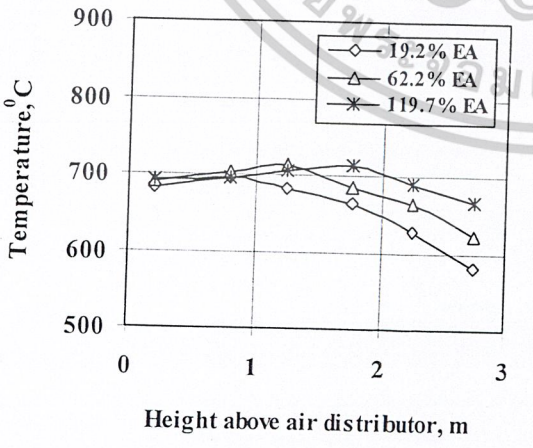
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ทรายอลูมินา 90% ครั้งที่ 2 น้ำหนักรวม 630 กรัม

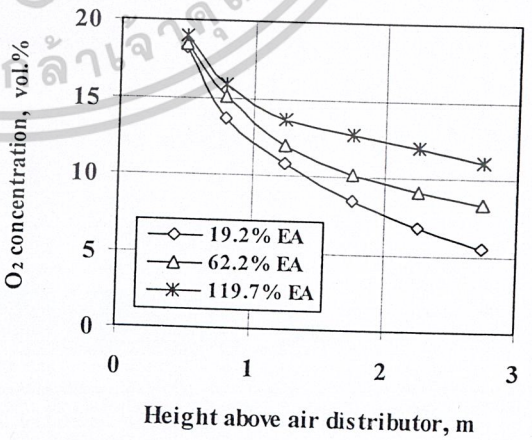
เบอร์ตะแกรง	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	นน.ตะแกรง+ทราย	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักทราย (g)	D1	X1	x1/D1
16	1.18	411.4	411.29	0.11	-	0.0002	-
30	0.6	377.29	377.19	0.1	0.89	0.0002	0.0002
40	0.425	458.31	311.38	146.93	0.5125	0.2336	0.4558
45	0.355	699.07	314.38	384.95	0.39	0.612	1.5692
50	0.3	377.25	333.51	43.74	0.3275	0.0695	0.2122
80	0.18	291.76	284.7	7.06	0.24	0.0112	0.0467
100	0.15	301.47	256.24	45.23	0.33	0.0719	0.2175
200	0.075	273.59	273.14	0.45	0.1125	0.0007	0.0062
pan		284.2.76	284.2.29	0.47	0.0375	0.0007	0.0187
รวม				629.04		1	2.5265
				ขนาดเม็ดทราย = 1 / 2.5265= 0.3958 มม.			

5. ผลการทดลองเผาแกลบกับทรายอลูมินา 50 เปอร์เซ็นต์

- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 40 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

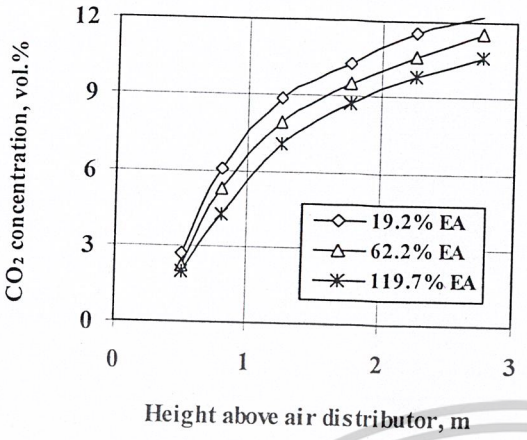


ภาพที่ ข.2 อุณหภูมิการเผาไหม้

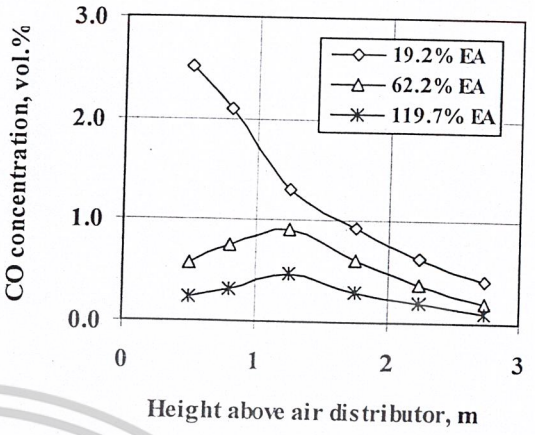


ภาพที่ ข.3 ปริมาณ O_2

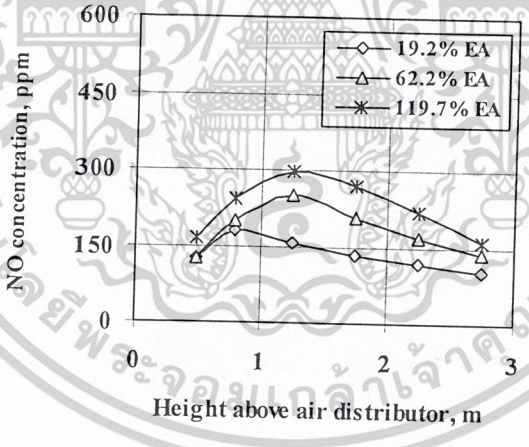
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.4 ปริมาณ CO_2



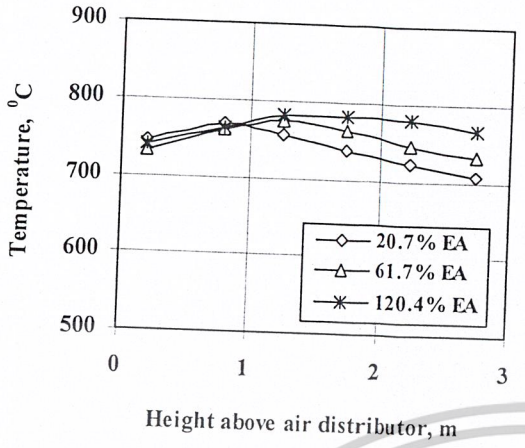
ภาพที่ ข.5 ปริมาณ CO



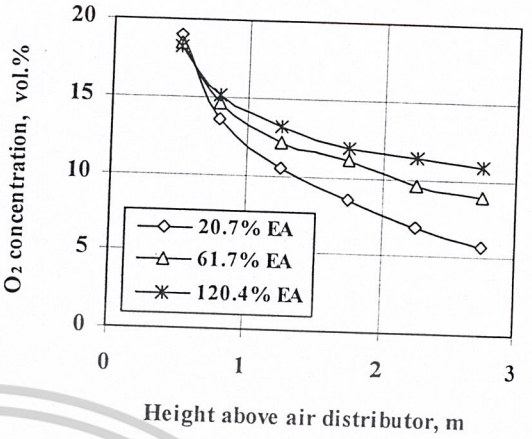
ภาพที่ ข.6 ปริมาณ NO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

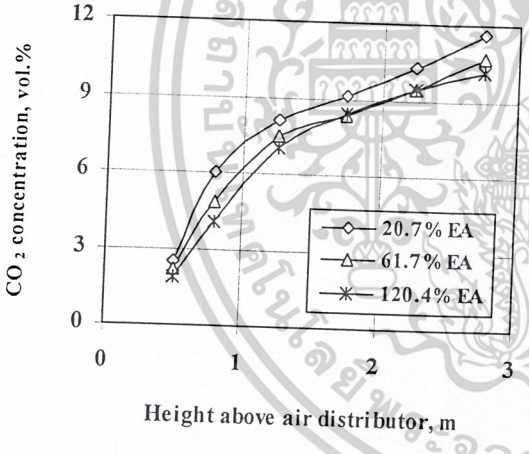
- ความสูงเบด 20 cm อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 84.2 kg/hr ปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ



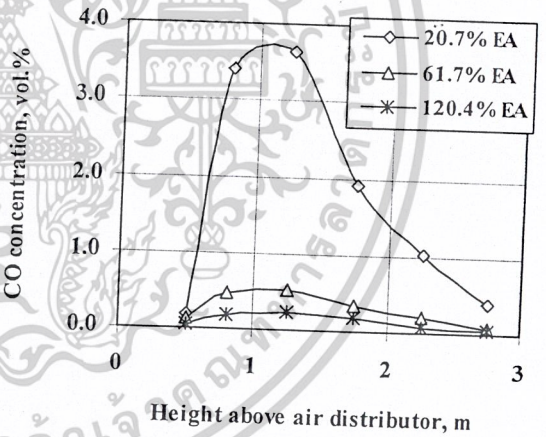
ภาพที่ ข.7 อุณหภูมิการเผาไหม้



ภาพที่ ข.8 ปริมาณ O_2

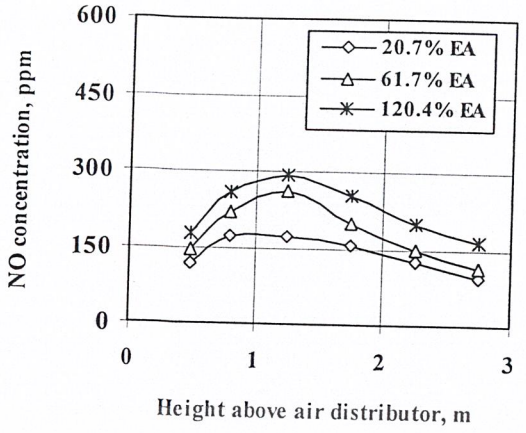


ภาพที่ ข.9 ปริมาณ CO_2

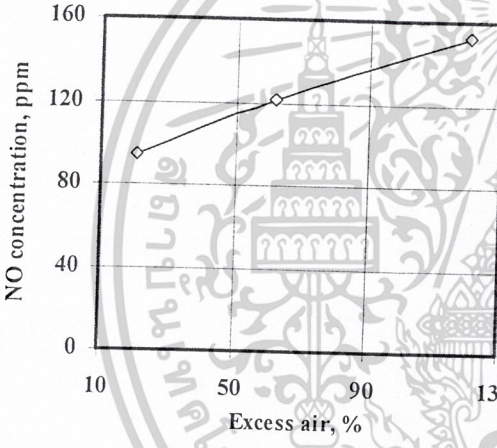


ภาพที่ ข.10 ปริมาณ CO

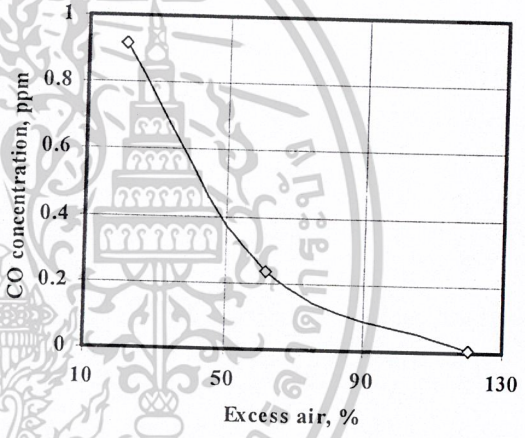
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.11 ปริมาณ NO



ภาพที่ ข.12 ปริมาณ NO ในไอเสีย ที่อากาศส่วนเกินต่างกัน



ภาพที่ ข.13 ปริมาณ CO ในไอเสีย ที่อากาศส่วนเกินต่างกัน

จากภาพที่ ข.2 ถึงภาพที่ ข.13 จะสังเกตได้ว่า ที่ ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 120% ให้ค่าอุณหภูมิความร้อนมากกว่า ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินอื่นๆ ในขณะเดียวกันก็เกินปริมาณCO_2 และ CO น้อยกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนเกินอื่นๆเช่นกัน แต่ ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 120% นี้ จะทำให้เกิดNO มากที่สุด (292 ppm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร. วัชระ เพิ่มชาติ และท่านอาจารย์ วันพุทธ แซ่ฉั่ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษารวมถึงอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดียิ่ง อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรที่ได้ให้ความเอื้อทางด้านอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิศวกรรมเกษตรทุกท่านนอกจากนั้นยังรวมถึงกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อในส่วนของการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีของเชื้อเพลิงและของขี้เถ้าหลังจากการทดลอง

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณจิตราพร กังสวัสดิ์ คุณพัชรา เอมอำไพวงศ์ และคุณน้อย ประทีป ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านธุรการ ตลอดจน นายอภัย คำทั่ง และนายแช่ม สมบูรณ์ เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งคณะผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้เกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ไม่ว่าจะเป็นทั้งที่ปรึกษาและช่วยเหลือ รวมถึงเป็นกำลังใจให้แก่กลุ่มของผู้จัดทำจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

คุณรัชดาภรณ์ แก้วกล่ำ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความอนุเคราะห์ออกแบบโปสเตอร์

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ทรงวุฒิ เดชะ,ธนบดี บุญเวียง และอนุพงษ์ พรหมสวรรค์. 2544. "**การศึกษาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. จักราวุธ แผนประดิษฐ์,ดุสิต โอภากรและอิทธิ ประกายหงส์มณี. 2543. "**การออกแบบและสร้างเตาเผาชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. วิทยา หอสุวรรณานนท์ และวิโรจน์ เสระศาสตร์. 2545. "การศึกษาการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. Werther, J. S. et. al. 2000. "Combustion of agricultural residues." **Progress in Energy and Combustion Science**. (26) : 1-27
5. Natarajan, E et. al. 1998. "Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors." **Biomass and Bioenergy**. 14(5/6) : 533-546
6. Johnson, E. Jan. 1993. "Formation and reduction of nitrogen oxides in fluidized-bed combustion." **Fuel**. 74(9) : 1398-1415
7. Löffler, G. et al. 1996. "Parametric modeling study of volatile notrogen conversion to NO and NO_2 during biomass combustion." **The 5 th Conference on developements in thermochemical biomass conversion**. Bauff : 641-655
10. Boonpraaob, K. 2000. "**Thailand Environment Institute 1996 Annual Conference Linking Local Solutions to Global Need : Thailand's Environment Agenda in The 21st Century.**" Bangkok.
11. วัชระ เพิ่มชาติ,สมพร ธเนศวาณิชย์. "การเผาไหม้ในระบบฟลูอิดไดซ์เบด." **วารสารประสิทธิภาพพลัง**. งาน ปีที่ 11. ฉบับที่ 55
12. วัชระ เพิ่มชาติ. 2545. "ผลของความชื้นและอากาศส่วนเกินต่อการเผาไหม้ขี้เลื่อยในเตาเผาชีวมวล." **การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**. วันที่ 14 พฤษภาคม. หน้า 59-64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Baron, J. et al. 2002. "Combustion of Hydrocabon Fuel in a Bubbling Fluidized Bed." Poland : 410-420

14. Suwanayuen, S. et. al. 1992. "Combustion of Rice Husk in a Fluidized Bed Furnce." **ASEAN Journal Science Technology & Development**. 9 : 107-115

15. Bhattacharya, S. C. et. al. 1983. "Fluidized Bed Combustion of Paddy Husk." **International Symposium/Workshop on Renewable Energy Sources**. Pakistan : 113-120

16. Vanichseni, S. et al. 1989. "Fluidized Bed Combustion of Rice Husk in Thailand." **Proceeding of The 2nd ASEAN Fluidized Bed Combustion Design Workshop**. Phillipines.

17. Tario, A. S. et al. 1996. "NO_x Emissions and Thermal Efficiencies of Small Scale Biomass-Fuelled Combustion Plant with Reference to Process Industries a Development Country." **International Journal of Energy Research**. 20 : 41-55

18. Liu, D. C. et al. 2002. "Reducing N_2O Emission by Co-Combustion of Coal and Biomass." **Energy & Fuel**. (16) : 525-526

19. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. 2544. "รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ.2544." กรุงเทพฯ : เอกสารอัดสำเนา.

20. มนตรี พิรุณเกษตร. 2542. "การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์." กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.

21. Winter, F. et al. 1999. "NO and N_2O Formation During the Combustion of Wood, Straw, Malt Waste and Peat." **Bioresource Technology**. 70 : 39-49

22. McKendry, P. 2002. "Energy prodution from biomass (part 2) : conversion technology." **Bioresource Technology**. 83 : 47-54

23. Grubor, B. D. 1995. "Biomass FBC Combustion-Bed Agglomeration Problem." **Fluidized Bed Combustion**. 1 : 515-522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้